การรู้จำลายมือเขียนตัวเลขไทยด้วยนีโอคอคนิตรอน

THAI NUMERIC HANDWRITTEN CHARACTER RECOGNITION BY THE NEOCOGNITRON

T031011

จิตรลดา ผลนิมิตร

CHITRLADA PHOLNIMIT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2541

ISBN 974-622-206-6

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 31011
วัน, เดือน, ปี 8 ก.ย. 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

THAI NUMERIC HANDWRITTEN CHARACTER RECOGNITION BY THE NEOCOGNITRON

CHITRLADA PHOLNIMIT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN COMPUTER SCIENCE
AND INFORMATION TECHNOLOGY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
1998

ISBN 974-622-206-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 1998

SCHOLL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การรู้จำลายมือเขียนตัวเลขไทยด้วยนีโอคอคนิตรอน
นักศึกษา	นางสาวจิตรลดา ผลนิมิตร
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.บุญธีร์ เครือตราชู
หลักสูตร	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ
พ.ศ.	2541

บทคัดย่อ

นิวรอลเน็ตเวิร์คโมเดล "นีโอคอคนิตรอน" เป็นโมเดลที่ออกแบบมาเพื่อให้มีความสามารถในการรู้จำรูปแบบโดยขึ้นกับการผันแปรรูปร่างของรูปแบบเพียงเล็กน้อย ความสามารถที่จะรู้จำรูปแบบได้ถูกต้องมากขึ้นนั้น ขึ้นอยู่กับการคัดเลือกชุดข้อมูลในการเรียนรู้ จากที่ได้มีการทดลองรู้จำลายมือเขียนในภาษาอื่น เช่น ตัวเลขอารบิค ตัวอักษรภาษาอังกฤษ และเกาหลี ได้ผลดี การรู้จำตัวอักษรจะขึ้นอยู่กับความเหมือนของรูปแบบ แต่การขึ้นอยู่กับการผิดรูป ขนาด หรือตำแหน่งของรูปแบบมีเพียงเล็กน้อย โดยไม่ต้องทำการนอร์มัลไลซ์ตำแหน่ง ขนาด การเขียนผิดรูป และขจัดสัญญาณรบกวนออกก่อน ดังนั้น ในการวิจัยนี้จึงต้องการทดสอบกับลายมือเขียนตัวอักษรไทยซึ่งมีฟีเจอร์ของตัวอักษรแตกต่างไปจากภาษาที่ได้ทดลองมาแล้ว ว่านีโอคอคนิตรอนสามารถเรียนรู้ฟีเจอร์ของตัวอักษรไทย และแยกแยะลายมือเขียนตัวอักษรไทยได้หรือไม่

ในงานวิจัยนี้ได้สอนให้นีโอคอคนิตรอนทำการเรียนรู้เพื่อรู้จำลายมือเขียนตัวเลขไทย 10 ตัว เพื่อทดสอบความเป็นไปได้ที่จะใช้นีโอคอคนิตรอนในการรู้จำลายมือเขียนตัวอักษรไทย จากผลการทดลองพบว่าเป็นโมเดลที่เหมาะสำหรับใช้ในการรู้จำลายมือเขียน แต่เวลาที่ใช้ในการประมวลผลค่อนข้างมาก จากการทดสอบกับข้อมูลลายมือเขียนตัวเลขไทยแบบต่างๆ จำนวน 1023 ตัว ได้ผลการจดจำถูกต้องประมาณ 86.6 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Thai Numeric Handwritten Character Recognition by The Neocognitron
Student	Miss Chitrlada Pholnimit
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Boontee Kruatrachue
Degree	Master of Science in Computer Science and Information Technology
Year	1998

ABSTRACT

A neural network model, called the "neocognitron" is designed for deformation visual pattern recognition. The ability to correctly recognize deformed pattern depends on the choice of training pattern set. In previous researchs, handwritten character recognition such as Arabic numeral, English alphabetic and Hangul (Korean) syllabic have shown good results. Character recognition is performed on the basis of similarity in shape between patterns, but with a little effect from deformation, changes in size or shifts in position. It does not require any preprocessing such as normalizing the position, size, deformation or reduction noise of the input patterns. This study will test the neocognitron with Thai handwritten character, which have different features. To find its ability of learning and classifying Thai handwritten character.

In this research, the neocognitron is trained to recognize 10 Thai numeric character in order to test the feasibility of using neocognitron as a model for Thai handwritten characters recognition. The result of this study show the possibility of neocognitron as a powerful model to recognize deformed handwritten character. However, the processing time appears to be very long. According to the experiment using various inputs of Thai numeric handwritten 1023 characters, network can correctly recognize about 86.6 percentage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับความเมตตากรุณาจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญธีร์ เครือตราชู ซึ่งได้ให้คำปรึกษา ในการแก้ไขปัญหาทุกๆ เรื่อง และให้คำแนะนำชี้แนะแนวทางในการทำวิจัยตลอดมา ผู้วิจัยรู้สึกเคารพและซาบซึ้งในความกรุณาจากท่าน ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ทุกท่านที่ได้สั่งสอนวิชาพื้นฐาน และอบรมผู้วิจัย ให้กำลังใจในการทำงานวิจัยนี้ รวมทั้งอาจารย์ผู้สอนในสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศทุกท่าน ที่ได้สอนความรู้ในทุกๆ วิชา อันเป็นประโยชน์ต่อการนำมาใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณท่านต่างๆ เหล่านี้ ที่มีส่วนร่วมให้งานวิจัยนี้สำเร็จ

คุณเฉลิมเกียติ อินทนากรวิวัฒน์ ผู้ได้ค้นคว้าข้อมูลจากห้องสมุดในต่างประเทศและอนุเคราะห์ส่งมาให้ผู้วิจัย เพื่อใช้ประกอบการค้นคว้า

คุณวรรณี ลาภวัฒนกิจ คุณวิชัย ศุภสุธีกุล คุณเพ็ญพรรณ ใช้ฮวดเจริญ และคุณอุทัยวรรณ ตรีจิตรวัฒนากูล (ผู้ล่วงลับไปแล้ว) เพื่อนรุ่นพี่ที่ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา และให้กำลังใจอย่างมากในการทำวิทยานิพนธ์

คุณศักดิ์พงษ์ จันทร์ใบ ผู้ให้คำปรึกษาในการทำโปรแกรม การแก้ปัญหาต่างๆ ด้านเทคนิค รวมทั้งคุณแม่และน้องสาว ผู้เป็นกำลังใจอย่างสูงสุดต่อผู้วิจัย

นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่น และรุ่นน้อง ที่ได้ให้กำลังใจกันและกันตลอดเวลาที่ศึกษาอยู่ และขอขอบพระคุณพี่บุญช่วย พร้อมทั้งเจ้าหน้าที่อีกหลายท่านที่ช่วยดำเนินการในด้านต่างๆ ในระหว่างการศึกษาให้เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณมูลนิธิเพื่อการศึกษาคอมพิวเตอร์และการสื่อสาร (C&C) เป็นอย่างสูงที่ได้มอบทุนในการศึกษาเป็นระยะเวลา 2 ปี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

จิตรลดา ผลนิมิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญภาพ.....IX

บทที่ 1. บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....3

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....4

1.5 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย.....4

1.6 วิธีที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย.....5

1.7 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา.....5

1.8 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....6

บทที่ 2. หลักการทำงานของนีโอคอคนิตรอน..... 8

2.1 หลักการเบื้องต้นของนีโอคอคนิตรอน..... 8

2.2 โครงสร้างของนีโอคอคนิตรอน.....9

2.3 หลักการในการจดจำรูปแบบของนีโอคอคนิตรอน.....11

2.3.1 หลักการทำงานของ S-cells.....11

2.3.2 สมการการจดจำของ S-cells.....15

2.3.3 หลักการทำงานของ C-cells.....18

2.3.4 สมการการจดจำของ C-cells..... 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 การเรียนรู้ของนีโอคอกนิตรอน 24

2.5 วิเคราะห์การแยกแยะฟีเจอร์โดย S-cell 29

2.5.1 วิเคราะห์การเชื่อมต่อเข้าสู่ S-cell 30

2.5.2 วิเคราะห์การปรับค่าถ่วง 32

2.5.3 วิเคราะห์ในเวกเตอร์สเปซแบบหลายมิติ 33

2.5.4 วิเคราะห์การเชื่อมต่อในการเรียนรู้ 36

2.6 วิเคราะห์หน้าที่ของ C-cell 36

บทที่ 3. อัลกอริทึม และค่าของเซลในแต่ละขั้นตอนของการประมวลผล 40

3.1 อัลกอริทึมในขั้นตอนการสร้างเน็ตเวิร์ค 40

3.2 อัลกอริทึมที่ 2 ในขั้นตอนของการเรียนรู้ (Training Stage) 41

3.2.1 อัลกอริทึมที่ 2.1 : Layer 1 Training Stage 41

3.2.2 อัลกอริทึมที่ 2.2 : Layer 2,3,4 Training Stage 42

3.3 อัลกอริทึมในขั้นตอนการจดจำตัวอักษร 43

3.3.1 อัลกอริทึมที่ 3 : U_s Recognition - Feature extracting 43

3.3.2 อัลกอริทึมที่ 4 : U_c Recognition - Feature integrating 43

3.4 การประมวลผลและค่าของเซลในขั้นตอนการเรียนรู้ 44

3.5 การประมวลผลและค่าของเซลในขั้นตอนการจดจำของ S-cell 66

3.5.1 ค่ากระตุ้นของ S-cell 69

3.5.2 ค่ายับยั้งของ S-cell 74

3.5.3 ผลของการแยกแยะฟีเจอร์ใน S-cell 81

3.6 การประมวลผลและค่าของเซลในขั้นตอนการจดจำของ C-cell 86

3.7 การประมวลผลโดยรวมทั้งเน็ตเวิร์คในการจดจำตัวอักษร 92

บทที่ 4. การคัดเลือกชุดข้อมูลในการเรียนรู้ลายมือเขียนตัวเลขไทย 98

4.1 ปัจจัยในการคัดเลือกชุดข้อมูลตามฟีเจอร์ของตัวอักษร 98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.1 ขนาดของตัวแปรเชื่อมต่อเน็ตเวิร์ค (A_l และ D_l) 98

4.1.2 การกำหนดฟีเจอร์ใดๆ ไม่ควรให้เด่นมากเกินกว่าฟีเจอร์อื่น 99

4.1.3 การกำหนดฟีเจอร์ที่มีการผิดรูป (deformed) ในชุดเดียวกัน 100

4.1.4 การเลือกตำแหน่งในฟีเจอร์สำหรับการเรียนรู้ของซีดเซล 101

4.1.5 การออกแบบฟีเจอร์ที่มีรูปแบบในการเขียนแตกต่างกันมาก 101

4.2 การปรับฟีเจอร์สำหรับชุดข้อมูลในการเรียนรู้ของระบบการจดจำตัวเลขไทย 104

4.2.1 ชุดข้อมูลในการเรียนรู้ของเลเยอร์ U_{S1} 104

4.2.2 ชุดข้อมูลในการเรียนรู้ของเลเยอร์ U_{S2} 105

4.2.3 ชุดข้อมูลในการเรียนรู้ของเลเยอร์ U_{S3} 107

4.2.4 ชุดข้อมูลในการเรียนรู้ของเลเยอร์ U_{S4} 108

บทที่ 5. ผลการทดลองและปัญหาที่พบ 110

5.1 การรับข้อมูลลายมือเขียน 110

5.2 การปรับค่าพารามิเตอร์ของโมเดล 112

5.3 ปัญหาในการปรับชุดข้อมูลการเรียนรู้ 114

5.3.1 ปัญหาการจดจำตัวอักษรขนาดเล็กมาก 114

5.3.2 ปัญหาการปรับขนาดค่าถ่วงที่ใช้ในการเชื่อมต่อ 116

5.3.3 ปัญหาการเพิ่มความสามารถในการจดจำตัวอักษรที่ผิดรูป 117

5.4 ผลการจดจำลายมือเขียนด้วยนีโอคอคนิตรอน 118

5.4.1 ลักษณะเด่นของการจดจำลายมือเขียนด้วยนีโอคอคนิตรอน 118

5.4.2 ผลการจดจำลายมือเขียนตัวเลขไทย 120

5.4.3 จำนวนเซลที่ใช้ทั้งเน็ตเวิร์ค 124

5.4.4 เวลาที่ใช้ในการจดจำและการเรียนรู้ 125

บทที่ 6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 127

6.1 บทสรุป 127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.2 แนวทางการพัฒนาในอนาคต.....130

บรรณานุกรม.....131

ภาคผนวก ก บทความวิชาการ.....133

ประวัติผู้เขียน.....141

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

5.1 แสดงผลการทดสอบกับค่าพารามิเตอร์ *r* ชุดต่างๆ....112

5.2 แสดงพารามิเตอร์และขนาดของเพลนและค่าถ่วงต่างๆ
ที่เลือกใช้ในการจดจำตัวเลขไทย....113

5.3 แสดงเปรียบเทียบจำนวนเซลทั้งเน็ตเวิร์คของการจดจำเลขอารบิค และเลขไทย..... 125

5.4 แสดงเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้และการจดจำ
ด้วยเครื่องเพนเทียมความเร็ว 133 เมกกะเฮิร์ซ หน่วยความจำ 32 เมกกะไบต์....126

5.5 แสดงเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้และการจดจำ
ด้วยเครื่องเพนเทียม II ความเร็ว 233 เมกกะเฮิร์ซ หน่วยความจำ 64 เมกกะไบต์..... 126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 แสดงเปรียบเทียบระหว่างโมเดลแบบตามลำดับชั้นของสมอง และโครงสร้างนิวรอลเน็ตเวิร์คของนีโอคอคนิตรอน 9

2.2 แสดงโครงสร้างเน็ตเวิร์คแบบลำดับชั้นของนีโอคอคนิตรอน 10

2.3 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างเซลของหนึ่งเซลเพลนในแต่ละเลเยอร์ 11

2.4 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างเซลเพลนของ S-cell ในเลเยอร์ที่ 1 ไปยัง C-cell ในเลเยอร์ที่ 1 12

2.5 แสดงการประมวลผลเพื่อให้ได้ค่าของ S-cell 13

2.6 แสดงการรับสัญญาณข้อมูลเพื่อมาประมวลผลของ S-cell 14

2.7 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างเซลต่างๆ ในกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์ของ S-cells 14

2.8 แสดงการจดจำรูปแบบที่มีการผิดรูป 19

2.9 แสดงกระบวนการในการจดจำรูปแบบของนีโอคอคนิตรอน 22

2.10 แสดงโครงสร้างของนีโอคอคนิตรอนและการเชื่อมต่อทุกเลเยอร์ 23

2.11 แสดงชุดข้อมูลในการเรียนรู้ทั้ง 4 เลเยอร์ 26

2.12 แสดงเทรนนิ่งแพทเทิร์นเพื่อสอนให้เพลนแรกของเลเยอร์ที่ 2 เรียนรู้ 27

2.13 แสดงเพลนของค่าถ่วงชุดที่มีการเรียนรู้เทรนนิ่งแพทเทิร์นแรกของเลเยอร์ที่ 2 ในภาพที่ 2.12 28

2.14 แสดงเทรนนิ่งแพทเทิร์นเพื่อสอนให้เพลนที่สองของเลเยอร์ที่ 2 เรียนรู้ 28

2.15 แสดงค่าถ่วงชุดที่มีการเรียนรู้เทรนนิ่งแพทเทิร์นแรกของเลเยอร์ที่ 2 ตามภาพที่ 2.14 29

2.16 แสดงการเชื่อมต่อและค่าถ่วงต่างๆ ในกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์ 30

2.17 แสดงกระบวนการปรับค่าถ่วงของการเชื่อมต่อเพื่อนำไปใช้ในการแยกแยะฟีเจอร์ 32

2.18 แสดงการเปรียบเทียบความเหมือนของรูปแบบในเวกเตอร์สเปซแบบหลายมิติ 35

2.19 แสดงการเปรียบเทียบความเหมือนของรูปแบบในแบบสองมิติ 37

2.20 แสดงการเชื่อมต่อจาก S-cells มายัง C-cell 38

2.21 แสดงการทำเบลอร์เกิดขึ้นในแต่ละเซลเพลนของเลเยอร์ของ C-cell 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3.1 แสดงผลและค่าของเซลในการเรียนรู้ในเลเยอร์ที่ 1 44

3.2 แสดงค่าถ่วง a_1 และ b_1 ในเลเยอร์ที่ 1 เมื่อใช้ค่า $q_1 = 900000$ ในการเรียนรู้ 46

3.3 แสดงผลและค่าในเซลของการเรียนรู้เทรนนิ่งแพทเทิร์นของเพลนที่ 1 ในเลเยอร์ U_{S2} 48

3.4 แสดงเทรนนิ่งแพทเทิร์นสำหรับการเรียนรู้ของ U_{S2} เพลนแรกอีก 3 แพทเทิร์น 60

3.5 แสดงเทรนนิ่งแพทเทิร์นทั้ง 4 สำหรับการเรียนรู้ของ U_{S2} เพลนที่สอง 63

3.6 แสดงตัวอย่างผลการแยกแยะฟีเจอร์ของตัวเลข ๒ เมื่อผ่านกระบวนการจดจำของ U_{S1} 67

3.7 แสดงการตรวจสอบหาฟีเจอร์บนเพลนของ C-cell โดยการเลื่อนอาเรย์ค่าถ่วงไปบนเพลนตามการเชื่อมต่อ ในการแยกแยะฟีเจอร์ของ S-cell 68

3.8 แสดงอินพุตแพทเทิร์น ๔ ตัวอย่างในการแยกแยะฟีเจอร์ของ S-cell 69

3.9 แสดงตัวอย่างการจดจำตัวอักษร และผลของเซลในแต่ละเพลน เมื่อผ่านการประมวลผลของเลเยอร์ที่ 1 แล้ว 92

3.10 แสดงผลการจดจำของนีโอคอกนิตรอนสามารถได้ผลลัพธ์เดียวกันได้ แม้ว่าเซลที่ถูกกระตุ้นจะต่างกัน 94

3.11 แสดงเทรนนิ่งแพทเทิร์นของเลเยอร์ที่ 4 95

4.1 แสดงการแยกแยะฟีเจอร์ที่เกี่ยวข้องกับเส้นตรงในเลข ๒ 100

4.2 แสดงการกำหนดฟีเจอร์ให้มีการซ้อนทับตรงกลาง และคลาดเคลื่อนในเซลรอบๆ 101

4.3 แสดงการเลือกตำแหน่งในฟีเจอร์ให้ตรงกับซีดเซล 101

4.4 แสดงการกำหนดฟีเจอร์ที่มีรูปร่างเดียวกันในตัวอักษรหลายๆ ตัว 102

4.5 แสดงการกำหนดฟีเจอร์ให้เห็นความแตกต่างของตัวอักษรที่คล้ายกัน 103

4.6 แสดงการกำหนดฟีเจอร์ที่ไม่สามารถแยกออกมาได้ในเลเยอร์เดียว 103

4.7 แสดงเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่ทำการสอนให้กับ U_{S1} 104

4.8 แสดงเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่ทำการสอนให้กับ U_{S2} 106

4.9 แสดงเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่ทำการสอนให้กับ U_{S3} 107

4.10 แสดงเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่ทำการสอนให้กับ U_{S4} 109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

5.1 แสดงตัวอย่างการรับลายมือเขียนเลข ๕ 111

5.2 แสดงตัวอย่างอินพุตแพทเทิร์นที่ผ่านการแปลงให้อยู่ในรูป 0,1 111

5.3 แสดงตัวเลข ๑ ที่มีขนาดเล็ก และผลการจดจำผิด 115

5.4 แสดงค่าในเพลนของ U_{C1} บางเพลนของเลข ๑ ขนาดเล็ก เมื่อถูกทำเบลอร์แล้ว 115

5.5 แสดงตัวอย่างผลการจดจำของเลข ๘ ที่มีสัญญาณรบกวน 118

5.6 แสดงตัวอย่างผลการจดจำเลข ๖ ที่ตัวอักษรมีขนาดเปลี่ยนแปลง 119

5.7 แสดงตัวอย่างผลการจดจำตัวเลข ๒ ที่ตำแหน่งเปลี่ยนแปลง 119

5.8 แสดงตัวอย่างผลการจดจำเลข ๓ ที่ตัวอักษรมีลักษณะเอียง 119

5.9 แสดงตัวอย่างผลการจดจำเลข ๔ ที่มีการเปลี่ยนแปลงเรื่องความหนาของตัวอักษร 120

5.10 แสดงตัวอย่างอินพุตแพทเทิร์นที่นีโอคอคนิตรอนสามารถจดจำถูกต้อง 121

5.11 แสดงตัวอย่างอินพุตแพทเทิร์นที่นีโอคอคนิตรอนจดจำไม่ถูกต้อง 122

5.12 แสดงตัวอย่างตัวพิมพ์เลข ๒ ที่นำมาทดสอบ 123

5.13 แสดงตัวอย่างอินพุตแพทเทิร์นตัวพิมพ์เลขไทยแบบตัวอักษรอังศนายูพีซี 12 จุดต่อนิ้ว ที่สามารถจดจำได้ถูกต้อง 124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันได้มีการพัฒนางานวิจัยในด้านของการรู้จำตัวอักษรไว้หลายวิธี แต่ที่ผ่านมาในการวิจัยเรื่องการรู้จำรูปแบบตัวอักษรที่เป็นลายมือเขียน ยังพบปัญหาว่าในวิธีหรือโมเดลที่ใช้ในงานวิจัยนั้นมีข้อจำกัดในเรื่องของขนาดตัวอักษร ตำแหน่งของตัวอักษรในกรอบอ้างอิง และการเปลี่ยนแปรรูปร่างหรือการเขียนผิดรูปของตัวอักษร โดยตัวอักษรที่นำเข้ามาทดสอบนั้น จำเป็นต้องกำหนดขนาดของตัวอักษรในการเขียนให้มีขนาดเท่ากัน และกำหนดตำแหน่งเฉพาะลงไปในกรอบอ้างอิงก่อน จึงจะสามารถนำตัวอักษรนั้นเข้ามาเป็นอินพุตของการวิเคราะห์ได้ อีกทั้งยังไม่สามารถให้ผลที่ถูกต้องในการทดสอบกับตัวอักษรที่มีการเขียนผิดรูปแบบไปจากตัวอย่างได้ ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักในงานวิจัยสำหรับการรู้จำตัวอักษรที่เป็นลายมือเขียน เพราะมักจะพบการเขียนตัวอักษรตัวเดียวกัน แต่เขียนออกมาได้หลากหลายแบบ อีกทั้งการเขียนตัวอักษรในงานจริงก็ยังยากที่จะให้มีขนาดตัวอักษรเท่ากันไปตลอด หรือให้อยู่ในตำแหน่งที่ถาวรในกรอบอ้างอิงใดๆ ของตัวอักษรหนึ่งๆ ได้

เนื่องจากได้มีการพัฒนางานวิจัยในด้านการรู้จำหรือการจดจำตัวอักษรที่เป็นตัวพิมพ์จนได้ผลดี สามารถนำมาสร้างเป็นโปรแกรมสำหรับการจดจำตัวอักษรเพื่อการจัดเก็บเอกสารที่ได้มาจากการถ่ายเอกสารจากหน้ากระดาษแล้วจัดเก็บเข้าเป็นข้อมูลในเครื่องคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง และพัฒนาจนเกิดเป็นวิธีหรือโมเดลต่างๆ ที่สามารถใช้งานได้ดี แต่ละวิธีมีจุดเด่นหรือจุดด้อยต่างๆ กัน เพื่อให้เลือกใช้งานได้ แต่ในงานวิจัยทางด้านการจดจำลายมือเขียน ยังไม่ค่อยพบวิธีหรือโมเดลที่เหมาะสมกับการจดจำลายมือเขียน เพราะตัวอักษรที่มาจากลายมือเขียนนั้น มีรูปแบบตัวอักษรแม้ในการเขียนตัวเดียวกันได้หลากหลายมากกว่าตัวอักษรที่มาจากตัวพิมพ์ เพราะตัวอักษรที่มาจากตัวพิมพ์เราสามารถกำหนดฟอนต์ และขนาดของตัวอักษรในการทดสอบการจดจำได้ง่าย แต่ตามธรรมชาติของลักษณะตัวอักษรที่มาจากลายมือเขียน ขึ้นอยู่กับการเขียนของแต่ละคน ไม่สามารถบอกได้ว่าฟอนต์ที่ผู้เขียนแต่ละคนจะเขียนออกมาเป็นรูปแบบใด และขนาดเท่าใด นอกจากนี้การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบุตำแหน่งที่ผู้เขียนจะเขียนตัวอักษรออกมาก็ทำได้ยาก ทำให้งานวิจัยในการจดจำตัวอักษรที่เป็นลายมือเขียนพบปัญหามากกว่า จึงยังไม่สามารถพัฒนาโมเดลที่เฉพาะขึ้นมาได้

ถ้าหากสามารถทำการวิจัยจนพบวิธีหรือโมเดลที่เหมาะสมกับการจดจำลายมือเขียน ก็จะสามารถนำไปพัฒนาในการวิเคราะห์เอกสารที่มาจากลายมือเขียน ซึ่งจะเกิดประโยชน์อีกมาก โดยเฉพาะกับภาษาไทยซึ่งมีรูปแบบตัวอักษรต่างจากภาษาอื่น

ในปัจจุบันได้มีโมเดลหนึ่งของวิธีทางนิวรอลเน็ตเวิร์คที่น่าสนใจ คือโมเดลนีโอคอคนิตรอน (Neocognitron) ที่ได้วิจัยและพัฒนามาเพื่อให้มีความสามารถในเรื่องของการจดจำรูปแบบเสมือนจริง (visual pattern recognition) โดยเฉพาะ โดยได้มีการทดสอบกับการจดจำลายมือเขียนตัวเลขอารบิคในขั้นต้น[4] ต่อมาได้มีการทดสอบกับการจดจำลายมือเขียนตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่[7] ซึ่งได้ผลดี นอกจากนี้ยังมีรายงานการพัฒนาและทดสอบการจดจำลายมือเขียนตัวอักษรเกาหลี[8] ไม่เฉพาะแต่การจดจำตัวอักษรเท่านั้น ยังมีการทดสอบกับการแยกแยะรูปภาพอิมเมจ[5] เฉพาะในเรื่องของการเลื่อนตำแหน่งวัตถุบนกรอบอ้างอิงอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาให้เกิดเป็นโมเดลที่แตกต่างออกไป และเหมาะสมกับงานที่ต้องการวิเคราะห์และจดจำรูปแบบตัวอักษรที่เป็นลายมือเขียน

2. โมเดลที่ได้นี้จะต้องเหมาะสมกับการจดจำรูปแบบที่มีความผันแปรของตัวอักษรมากๆ ไม่ขึ้นกับขนาด ตำแหน่ง และการเขียนผิดรูปของตัวอักษร

3. เนื่องจากตัวอักษรไทยมีความซับซ้อนและโครงสร้างในการเขียนตัวอักษรที่ต่างไปจากภาษาอังกฤษมาก ถ้าพิจารณาเฉพาะตัวเลขจะพบว่าการจดจำรูปแบบของตัวเลขไทยจะทำได้ยากกว่าตัวเลขอารบิค เนื่องจากมีฟีเจอร์หรือลักษณะเด่นในตัวเลขแต่ละตัวมากกว่า จึงต้องการทดสอบโมเดลที่สนใจนี้ว่าจะเหมาะสมกับการรู้จำลายมือเขียนของตัวอักษรไทยที่มีความซับซ้อนมากกว่าที่ได้มีการทดลองมาแล้วหรือไม่

4. เพื่อศึกษาข้อจำกัดต่างๆของโมเดล เช่นความเร็วในการเรียนรู้และการจดจำ ความเป็นเจนเนอรัลไลเซชัน (generalization) และการคัดเลือกฟีเจอร์สำหรับการเรียนรู้

5. การวิจัยนี้เน้นในเรื่องของการคัดเลือกฟีเจอร์ที่เหมาะสมในการเรียนรู้ของโมเดล เพื่อให้ได้โมเดลที่มีความเร็วพอสมควรที่จะเป็นไปได้ในการจดจำรูปแบบที่เป็นลายมือเขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาเพื่อพัฒนาโมเดลไปสู่งานวิจัยในด้านการจดจำรูปแบบ เสมือนจริง ที่ต้องการจดจำรูปแบบที่มีความซับซ้อนมากขึ้น

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เนื่องจากการจดจำลายมือเขียนตัวอักษรมีความซับซ้อนของรูปแบบมาก ทำให้โมเดลที่จะเลือกใช้ควรจะมีจุดเด่นในเรื่องของการผิดรูปได้มากพอสมควร และควรจะใช้วิธีในการแยกแยะรูปแบบโดยไม่วิเคราะห์ตัวอักษรโดยรวมทั้งตัว หรือวิเคราะห์จากตำแหน่งหรือจุดเริ่มต้นในการลากเส้นก่อนหลังของการเขียนตัวอักษรแต่ละตัว เพราะอาจจะทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาดได้ง่าย เนื่องมาจากการสับสนในการเขียนตัวอักษรนั้นที่สามารถเขียนได้ตามความเคยชินของผู้เขียน และอาจจะผิดรูปไปจากตัวอย่างที่โมเดลได้ทำการเรียนรู้ไว้ ก่อนที่จะได้นำผลจากการเรียนรู้นั้นไปวิเคราะห์ ดังนั้นจึงควรจะทำการวิเคราะห์ตัวอักษรแต่ละตัวจากฟีเจอร์หรือคุณลักษณะเด่นของตัวอักษรนั้น และตามความซับซ้อนของฟีเจอร์มากกว่า

ตามปกติแล้วตัวอักษรแต่ละตัวจะมีฟีเจอร์เฉพาะของตัวอักษรนั้น หรือบางครั้งอาจจะมีฟีเจอร์เดียวกันแต่ประกอบเข้ากับฟีเจอร์อื่นทำให้เกิดเป็นตัวอักษรอีกตัวหนึ่งได้ ดังนั้นการจดจำจึงควรจะพิจารณาจากการแยกแยะว่ามีฟีเจอร์ใดบ้างที่ควรจะเกิดขึ้นในตัวอักษรตัวใด เมื่อได้ผลจากการแยกแยะแล้วต้องพิจารณาต่ออีกว่าฟีเจอร์ที่แยกแยะหรือพบว่ามีในตัวอักษรที่ทดสอบนั้น มีฟีเจอร์ใดอื่นอีกบ้างร่วมกับ การให้ค่าของความชัดเจนในการตรวจพบแต่ละฟีเจอร์ในตัวอักษรนั้นออกมาด้วย เพราะอาจจะมีการแยกแยะแล้วพบฟีเจอร์อื่นที่ไม่ควรมี ได้จากการผิดรูปของตัวอักษร จึงต้องมาพิจารณาต่อว่าผลในการแยกแยะฟีเจอร์ใดๆ นั้นมีค่ามากพอที่จะสรุปว่าเป็นตัวอักษรตัวใด

นอกจากการแยกแยะตามฟีเจอร์แล้ว ควรจะต้องคำนึงถึงความซับซ้อนของฟีเจอร์ที่จะประกอบกันขึ้นมาเป็นลักษณะเด่นของตัวอักษรแต่ละตัวด้วย เพราะบางฟีเจอร์อาจจะมีความซับซ้อนไม่มาก ยกตัวอย่างเช่น ในตัวอักษรภาษาไทย จะต้องมีส่วนของหัว ส่วนที่เป็นเส้นตรง และส่วนที่เป็นฟีเจอร์อื่นประกอบกันขึ้นมาเป็นตัวอักษร เราจะเห็นว่าเมื่อพิจารณาส่วนที่เป็นเส้นตรงจะไม่ค่อยมีความซับซ้อนเท่าใด เมื่อเทียบกับส่วนที่เป็นหัว หรือเป็นหยักต่างๆ แล้วเมื่อเอาฟีเจอร์เหล่านี้มาประกอบกันเข้าเป็นส่วนของตัวอักษรบางส่วนก็จะซับซ้อนขึ้นตามลำดับ ดังนั้นโมเดลที่ต้องการศึกษาควรจะแยกการพิจารณาตามความซับซ้อนของฟีเจอร์ในการแยกแยะตัวอักษรแต่ละตัวด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

จากที่พบปัญหาในการจดจำลายมือเขียนในเรื่องของขนาดตัวอักษร ตำแหน่งตัวอักษรในกรอบอ้างอิง และการผิดรูปตัวอักษรนั้น การใช้นิวรอลเน็ตเวิร์คโมเดลนีโอคอคนิตรอนจะสามารถแก้ปัญหาในเรื่องดังกล่าวได้ เพราะจุดเด่นของโมเดลจากการวิจัยและที่ได้มีการรายงานมาแล้ว พบว่ามีความสามารถในเรื่องดังกล่าวโดยเฉพาะ ดังนั้นตัวอักษรที่นำเข้ามาทดสอบการจดจำสามารถมีขนาดเท่าใดก็ได้ภายในกรอบอ้างอิง และตำแหน่งของตัวอักษรจะอยู่ในกรอบอ้างอิงที่ใดก็ได้ รวมทั้งการเปลี่ยนแปรรูปร่างตัวอักษรมีได้มากขึ้น เหมาะสมกับการแยกตัวอักษรที่เป็นลายมือเขียน นอกจากนี้ยังไม่ต้องทำการเปลี่ยนให้เป็นตัวปกติ (thining) ก่อนสำหรับตัวอักษรที่เป็นตัวหนา หรือแม้กระทั่งการแยกตัวอักษรที่มีสัญญาณรบกวน (noise) อยู่ในรูปแบบด้วยก็ไม่ต้องทำการขจัดสัญญาณรบกวนออกก่อน

การเพิ่มประสิทธิภาพในการจดจำรูปแบบของนิวรอลเน็ตเวิร์คโมเดลนี้ ไม่จำเป็นต้องปรับโครงสร้างของโมเดลมากนัก เพียงแต่ใช้วิธีเพิ่มข้อมูลในการเรียนรู้ (training pattern) ในงานวิจัยนี้เลือกการเรียนรู้ (learning) ของโมเดลเป็นแบบซุปเปอร์ไวซ์เล้ร์นนิ่ง (supervised learning) ทำให้เน็ตเวิร์คสามารถจดจำรูปแบบได้รวดเร็ว และเนื่องจากโมเดลนี้ที่มีความเป็นเจนเนอรัลไลเซชัน (generalization) จึงไม่จำเป็นต้องทำการสอนเน็ตเวิร์คให้เรียนรู้ฟีเจอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปทั้งหมดของตัวอักษร สามารถเลือกฟีเจอร์ที่เด่นๆ ของตัวอักษรให้ครอบคลุมในการเรียนรู้ก็พอ การคัดเลือกฟีเจอร์เพื่อให้เกิดเป็นชุดข้อมูลในการเรียนรู้ที่ดีนั้น มีความสำคัญกับเน็ตเวิร์คมาก ถ้าฟีเจอร์มีจำนวนมาก จะทำให้เวลาในการประมวลผลมากตามไปด้วย ดังนั้นจึงต้องพิจารณาในการเลือกฟีเจอร์ให้เหมาะสมกับชุดของตัวอักษร ที่เราต้องการให้เรียนรู้

1.5 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาโมเดลนีโอคอคนิตรอนแล้วทำการสร้างอัลกอริทึมจากทฤษฎีที่มีการนำเสนอไว้ในบทความต่างๆ ของผู้พัฒนาโมเดลนี้ และอิมพลีเมนต์โปรแกรมของโมเดลเพื่อทำการสอนให้เน็ตเวิร์คเรียนรู้ลายมือเขียนตัวเลขไทย 10 ตัว แล้วทำการทดสอบการจดจำตัวเลขไทยทั้ง 10 ตัวนี้ เพื่อศึกษาถึงความเหมาะสมที่จะเลือกเป็นโมเดลสำหรับการแยกแยะลายมือเขียนภาษาไทย รวมทั้งข้อจำกัดต่างๆของโมเดล คือความเร็วในขั้นตอนของการเรียนรู้ ความเร็วในขั้นตอนของการแยกแยะตัวอักษรของเน็ตเวิร์ค ความเป็นเจนเนอรัลไลเซชันเพราะมีความสำคัญในการคัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกชุดข้อมูลในการเรียนรู้ และศึกษาถึงวิธีการคัดเลือกชุดข้อมูลในการเรียนรู้จากฟีเจอร์ของตัวอักษรเพื่อให้ได้เป็นชุดข้อมูลในการเรียนรู้ที่ดีเพราะมีผลกับความเร็วของเน็ตเวิร์ค และประสิทธิภาพในการแยกแยะตัวอักษรแต่ละตัว

1.6 วิธีที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบด้วยโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาซี ทำงานบนไมโครคอมพิวเตอร์ ระบบปฏิบัติการของวินโดวส์ ทำการเก็บข้อมูลตัวอักษรด้วยการใช้โปรแกรมรับข้อมูลโดยการใช้เมาส์ลากตัวอักษรแต่ละตัวที่จะทำการทดสอบแล้วเก็บเป็นไฟล์ข้อมูลบิตแมพ แล้วจึงนำมาแปลงเป็นข้อมูล 0,1 เพื่อเป็นอินพุตของโปรแกรมสำหรับการจดจำตัวอักษรนั้น โปรแกรมที่ทำการทดสอบนี้ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ซีพียูเพนเทียม ความเร็ว 133 เมกกะเฮิร์ซ หน่วยความจำ 32 เมกกะไบต์

1.7 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

ที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยทางด้านการรู้จำหรือการจดจำตัวอักษรภาษาไทยหลายวิธี ในที่นี้ขอยกมาแสดงไว้เฉพาะงานวิจัยที่เกี่ยวกับการจดจำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทย ดังนี้

งานวิจัยของ Pipat Hiranvanichakorn เรื่อง A Recognition Method of Handprinted Thai Characters by Local Features[10] ใช้หลักการในการวิเคราะห์ฟีเจอร์พื้นฐาน (local feature) ของตัวอักษรไทย โดยพิจารณาจากทิศทางที่เปลี่ยนแปลงไปของการลากเส้นขึ้นมาเป็นตัวอักษร เพื่อวิเคราะห์หาส่วนเว้า (concavity) และส่วนโค้งนูน (convexity) โดยส่วนของเส้นโค้งบนตัวอักษรจะถูกเก็บไว้ในดิกชันนารีส่วนของเส้นโค้งของตัวอักษร

งานวิจัยของ Pipat Hiranvanichakorn เรื่อง An On-line Recognition Method of Thai Characters[11] เป็นวิธีการพิจารณาแบบออนไลน์ โดยใช้หลักการแบ่งการลากเส้นบนตัวอักษรออกเป็นแปดส่วนย่อยตามทิศทาง และวิเคราะห์ตัวอักษรว่าประกอบมาจากฟีเจอร์ ซึ่งได้แก่ ลำดับของการลากส่วนโค้งของเส้น ชนิดของส่วนโค้ง และตำแหน่งที่สัมพันธ์กันของส่วนโค้ง นอกจากนี้ยังใช้วิธีการแยกแยะแบบหลายขั้นเพื่อเพิ่มความอัตราการรู้จำให้มากขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยของ ประสาร ตังติสานนท์ เรื่อง การจดจำรูปแบบตัวอักษรคัดลายมือภาษาไทย โดยใช้วิธีแยกลักษณะเด่น [13] ใช้วิธีการพิจารณาโครงสร้างในส่วนของลายเส้น และพื้นเบื้องหลังตัวอักษร ในการวิเคราะห์ตัวอักษรมี 3 ขั้นตอนใหญ่ คือ ขั้นตอนการเปลี่ยนลายเส้นและพื้นเบื้องหลังให้เป็นรหัสเบื้องต้น (intitial feature extraction) , ขั้นตอนการลดทอนรหัสเบื้องต้นที่ซ้ำซ้อน และขั้นตอนการนำลายเส้นและพื้นเบื้องหลังตัวอักษรมาเป็นคุณสมบัติของรูปแบบตัวอักษร

งานวิจัยของ สุรพันธ์ เอื้อไพบูลย์ เรื่อง การจดจำอักษรลายมือเขียนภาษาไทยโดยการพิจารณาหัวตัวอักษร [14] ใช้วิธีวิเคราะห์จากส่วนวงกลมเล็กคือส่วนหัวของตัวอักษรภาษาไทย วิธีการวิเคราะห์แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน เริ่มจากขั้นแรก เตรียมภาพตัวอักษรที่ได้จากการใช้กล้องเก็บภาพนำข้อมูลเข้ามาเตรียมไว้ 2 ชุด เรียกว่าเป็นชุดปกติ และชุดภาพตัวอักษรที่ผ่านการทำให้บาง ขั้นที่สองทำการค้นหาส่วนหัวจากตัวอักษรปกติ และหาคุณสมบัติทางโทโพโลยีจากตัวอักษรชุดที่ถูกทำให้บาง ขั้นที่สามแบ่งตัวอักษรออกเป็นกลุ่มตามจำนวนหัว ขั้นสุดท้ายทำการวิเคราะห์อักษรด้วย 4 เทคนิค ได้แก่ Subhead Region, Feature Code, Head Style และ Width per Height ratio

งานวิจัยของ สุรสิทธิ์ ราตรี เรื่อง การรู้จำอักษรตัวพิมพ์ภาษาไทยโดยวิธีค้นหาลักษณะโครงสร้างลายเส้น[15] ใช้วิธีการพิจารณาโครงสร้างของตัวอักษรเป็นส่วนๆ แยกกัน แล้วนำคุณสมบัติต่างๆ ของตัวอักษรนั้นๆมารวบรวมเป็นคุณลักษณะเด่นของตัวอักษรแต่ละตัว

1.8 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ ได้กล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ และสมมติฐานของการศึกษา รวมทั้ง ทฤษฎีหรือแนวคิด ขอบเขต และวิธีที่ใช้ในการทำวิจัยนี้

บทที่ 2 อธิบายหลักการทั้งหมดของโมเดลนีโอคอคนิตรอน ประกอบไปด้วย หลักการเบื้องต้น โครงสร้างของเน็ตเวิร์ค หลักการในการจดจำ และการเรียนรู้ของนีโอคอคนิตรอน และการวิเคราะห์เพื่อให้เข้าใจหลักการที่กล่าวมา

บทที่ 3 แสดงอัลกอริทึมในขั้นตอนต่างๆของการประมวลผล ทั้งในขั้นตอนการจดจำและการเรียนรู้ เพื่อให้เห็นภาพการทำงานของนีโอคอคนิตรอนชัดเจนขึ้น จึงได้แสดงค่าของเซลในขั้นตอนต่างๆ ตามอัลกอริทึมไว้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 กล่าวถึงการคัดเลือกชุดข้อมูลในการเรียนรู้ภาษาไทย ซึ่งมีปัจจัยในการคัดเลือกชุดข้อมูลที่ควรคำนึงถึงซึ่งผู้วิจัยได้รวบรวมมาจากการทดลองแล้วพบปัจจัยเหล่านี้ และได้แสดงชุดข้อมูลในการเรียนรู้ทั้ง 4 เลเยอร์ที่ได้ทดลองแล้วได้ผลดีที่สุด

บทที่ 5 กล่าวถึงการทดลอง ผลการทดลอง และปัญหาในการปรับชุดข้อมูลในการเรียนรู้โดยได้แสดงสรุปพารามิเตอร์ต่างๆที่เลือกใช้ในการทดลองไว้ด้วย

บทที่ 6 เป็นการสรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนาในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการทำงานของนีโอคอคนิตรอน

2.1 หลักการเบื้องต้นของนีโอคอคนิตรอน

กลไกที่ซับซ้อนที่สุดที่ยากจะเข้าใจและออกแบบเครื่องจักรกลหรือคอมพิวเตอร์ให้ทำงานได้ดีเท่ากับที่สมองมนุษย์ทำได้ คือความสามารถในเรื่องของการเรียนรู้ คิด และจดจำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของการจดจำรูปแบบเสมือนจริง (visual pattern recognition) จึงมีการพยายามเรียนรู้การทำงานของสมองในเรื่องของการประมวลผลข้อมูลแบบเสมือนจริง (visual information-processing) แล้วนำความรู้ที่ได้นี้มาสังเคราะห์โมเดลของนิวรอลเน็ตเวิร์คขึ้นมาเพื่อเลียนแบบการทำงานของเซลสมองในเรื่องของการมองเห็นและการจดจำรูปแบบ จึงเกิดหลักการของระบบสำหรับการจดจำรูปแบบขึ้นมาเป็นโมเดลนีโอคอคนิตรอน พัฒนาโดยศาสตราจารย์คูนิฮิโก ฟูกูชิมา (Prof. Kunihiko Fukushima) ในปี คศ. 1980

นีโอคอคนิตรอนเลียนแบบการทำงานของสมอง [1] ในส่วนที่เกี่ยวกับการมองเห็นของฮีรี-บรัม พบว่าเซลสมองส่วนต้นจะมีหน้าที่รับผิดชอบการเลือกโลคอลฟีเจอร์หรือฟีเจอร์พื้นฐานของรูปแบบที่มองเห็น ตัวอย่างของโลคอลฟีเจอร์ (local features) เช่น เส้นตรง หรือมุมที่วางตัวต่างๆ กัน ส่วนเซลสมองในส่วนที่สูงขึ้นจะทำหน้าที่แยกคัดเลือกรูปที่เฉพาะขึ้นไปเช่น วงกลม สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม หรือหน้าคน เรียกว่าเป็นโกลบอลฟีเจอร์ (global features) จึงกล่าวได้ว่าในระบบการมองเห็นจะมีลักษณะเป็นโครงสร้างแบบลำดับชั้น (hierarchical structure) ซึ่งจะแยกแยะฟีเจอร์พื้นฐานหรือโล คอลฟีเจอร์ออกมาก่อนเป็นอันดับแรก แล้วรวมไปเป็นฟีเจอร์ที่ซับซ้อนขึ้นหรือโกลบอลฟีเจอร์ เซลสมองในระดับที่สูงกว่าจะรับสัญญาณจากเส้นประสาทสมองในพื้นที่ของเรตินาที่กว้างกว่าเดิมมาแยกแยะต่อโดยไม่ขึ้นกับตำแหน่งของรูปแบบนั้น

จากกลไกดังกล่าวของเซลสมองจึงเกิดเป็นโครงสร้างของนีโอคอคนิตรอนที่มีโครงสร้างเน็ตเวิร์คลำดับชั้นแบบหลายเลเยอร์ (hierarchical multilayered network) ประกอบด้วยเซลคล้ายเซลสมอง และตัวแปรเชื่อมต่อระหว่างเซล โดยตัวแปรนี้สามารถเพิ่มความสามารถในการจดจำได้จากการเรียนรู้รูปแบบที่เราสอนให้ เมื่อผ่านการเรียนรู้ไปจนจบแล้ว เซลในเลเยอร์สูงที่สุดของนีโอคอค-

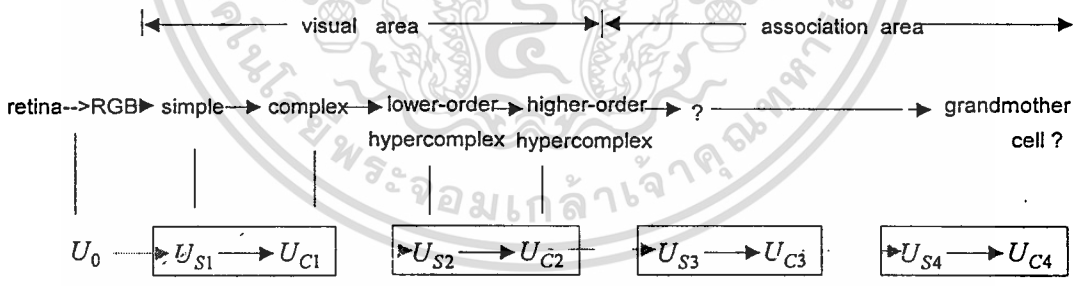
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิตรอน ซึ่งมีเพียงเซลเดียวจะเป็นตัวแสดงผลการจดจำอินพุตแพทเทิร์น (input pattern) ที่เข้ามา โดยนีโอคอคนิตรอนจะแยกแยะตามความเหมือนของรูปร่างระหว่างรูปแบบโดยไม่ขึ้นกับขนาด การเลื่อนตำแหน่ง หรือการผิดรูปของอินพุตแพทเทิร์น

2.2 โครงสร้างของนีโอคอคนิตรอน

นีโอคอคนิตรอนเป็นนิวรอลเน็ตเวิร์คหลายเลเยอร์แบบฟีดฟอร์เวิร์ด (feed-forward multilayer) ในแต่ละเลเยอร์จะประกอบด้วยเซลที่ค่าในเซลเป็นค่าบวก และการเชื่อมต่อระหว่างเซลที่ประกอบกันขึ้นมาเป็นเลเยอร์จะเป็นการเชื่อมต่อแบบไปข้างหน้า (forward connection) ดังแสดงเปรียบเทียบระหว่างโมเดลแบบตามลำดับชั้น ของสมองและโครงสร้างนิวรอลเน็ตเวิร์คของนีโอคอคนิตรอน ในรูปที่ 2.1[3]

รูปที่ 2.1 แสดงเปรียบเทียบระหว่างโมเดลแบบตามลำดับชั้นของสมอง และโครงสร้างนิวรอลเน็ตเวิร์คของนีโอคอคนิตรอน

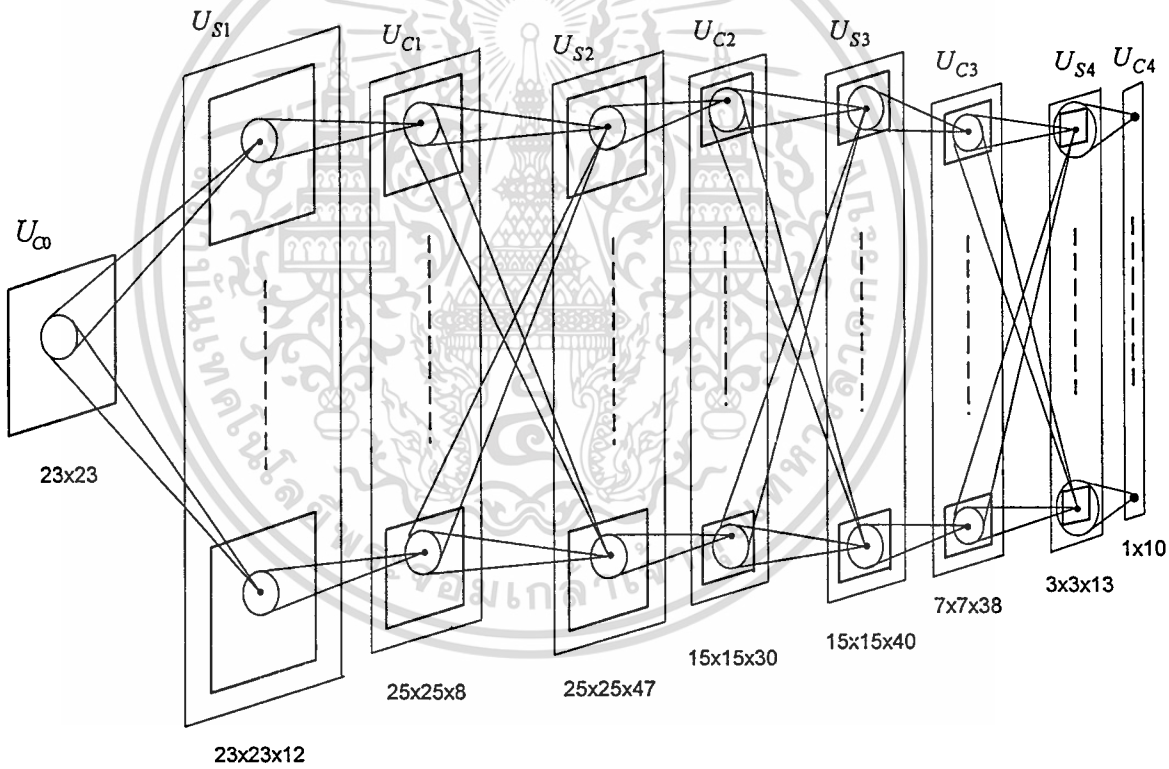


ในสเตจ (stage) แรกสุดของเน็ตเวิร์คคือ อินพุตเลเยอร์จะเรียกว่า U_0 เป็นอาเรย์ 2 มิติของรีเซพทีฟเซล (receptive cell) u_0 ในโมเดลนี้เราจะเรียกอาเรย์ของเซลว่าเป็นเซลเพลน (cell-plane) หรือ เพลน (plane) ส่วนสเตจต่อๆ ไปจะประกอบด้วย 2 เลเยอร์ คือ เลเยอร์ของ S-cells ซึ่งเรียกว่า U_{Sl} ตามด้วยเลเยอร์ของ C-cells ซึ่งเรียกว่า U_{Cl} (ในสเตจที่ l) และเรียงสลับกันระหว่าง U_{Sl} และ U_{Cl} เช่นนี้ไปทุกๆ สเตจ โดยที่ S-cells หรือ C-cells ในแต่ละเลเยอร์จะถูกแบ่งไปเป็นกลุ่มย่อยในรูปของเซลเพลนตามจำนวนฟีเจอร์ที่ต้องรับผิดชอบ นอกจากนี้ในแต่ละเลเยอร์ U_S จะมีส่วนประกอบย่อยนอกเหนือจากเพลนของ S-cells แล้วยังมีอีกหนึ่งเพลนของเซลยับยั้ง (inhibitory cells) หรือ V-cells เรียกว่า U_V

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.2 เป็นโครงสร้างแบบลำดับชั้นของนีโอคอคนิตรอน และการเชื่อมต่อสัญญาณ (synaptic connection) ระหว่างเลเยอร์ รูปสี่เหลี่ยมที่วาดด้วยเส้นทึบแสดงถึง S-plane หรือ C-plane ส่วนสี่เหลี่ยมแนวตั้งที่วาดด้วยเส้นบางแสดงถึง S-layer ที่มี S-plane อยู่ในเลเยอร์นี้ หรือ C-layer ที่มี C-plane อยู่ ตัวเลขด้านล่างแสดงถึงขนาดของเพลน (2 มิติ กว้าง x ยาว) และ จำนวนเพลนในเลเยอร์นั้นๆ ตัวเลขที่แสดงอยู่นี้เป็นขนาดของเพลนจริงๆในเน็ตเวิร์คที่ออกแบบมาให้ทำการจดจำตัวเลขไทย

รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างเน็ตเวิร์คแบบลำดับชั้นของนีโอคอคนิตรอน

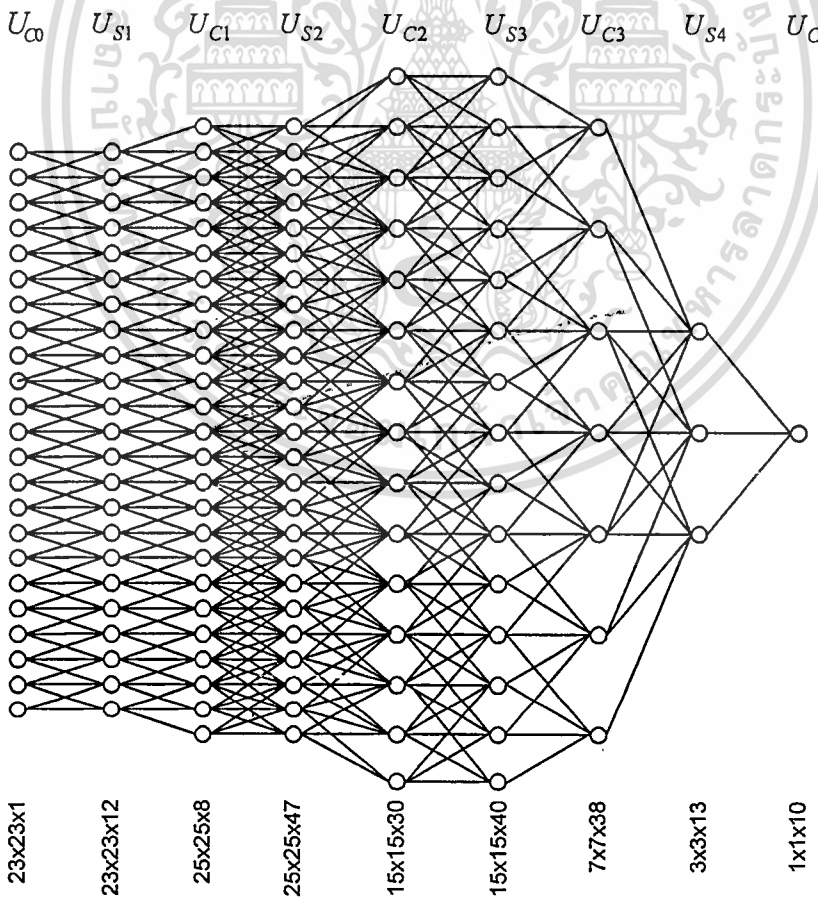


การออกแบบโครงสร้างของนีโอคอคนิตรอนต้องคำนึงถึงรูปแบบหรือตัวอักษรที่ต้องการให้ทำการแยกแยะดังนี้ การกำหนดจำนวนสเตจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของรูปแบบที่เราต้องการให้เน็ตเวิร์คนี้ทำการจดจำ และการจำนวนเพลนในแต่ละเลเยอร์ขึ้นอยู่กับจำนวนฟีเจอร์ที่ต้องการให้แยกแยะในเลเยอร์นั้น โดยทุกเซลในหนึ่งเพลนจะรับผิดชอบฟีเจอร์เดียวกัน (1 เพลน รับผิดชอบต่อการแยกแยะ 1 ฟีเจอร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ ความหนาแน่นของเซลในเพลนของแต่ละเลเยอร์ จะออกแบบให้มีจำนวนเซลน้อยลง เมื่ออยู่ในเลเยอร์ที่สูงขึ้น อันเป็นผลมาจากการเชื่อมต่อระหว่างเซล เซลในเลเยอร์ที่สูงกว่าจะรับเอาข้อมูลจากกลุ่มของรีเซพทีฟเซล (receptive cells) ในเลเยอร์ก่อนหน้านั้น กลุ่มของรีเซพทีฟเซลนี้เปรียบได้กับมุมของการมองเห็นของตามนุษย์ โดยเซลที่กำลังสนใจจะรับเอาข้อมูลจากเซลที่อยู่ในตำแหน่งที่สัมพันธ์กันร่วมกับข้อมูลจากเซลในตำแหน่งที่อยู่ใกล้เคียงมาด้วย ขนาดของกลุ่มเซลใช้ในการเชื่อมต่อนี้จะเป็นตัวกำหนดขนาดอาเรย์ของค่าถ่วง (weight) ของฟีเจอร์ในแต่ละเลเยอร์ ซึ่งจะมีขนาดใหญ่ขึ้นในเลเยอร์ที่สูงขึ้น จนกระทั่งในเลเยอร์ที่สูงที่สุด แต่ละ C-plane จะมีเพียงเซลเดียวสำหรับแสดงผลลัพธ์สุดท้าย แต่ละ C-cell ในเลเยอร์นี้จะหมายถึงแต่ละรูปแบบที่ต้องการแยกแยะ

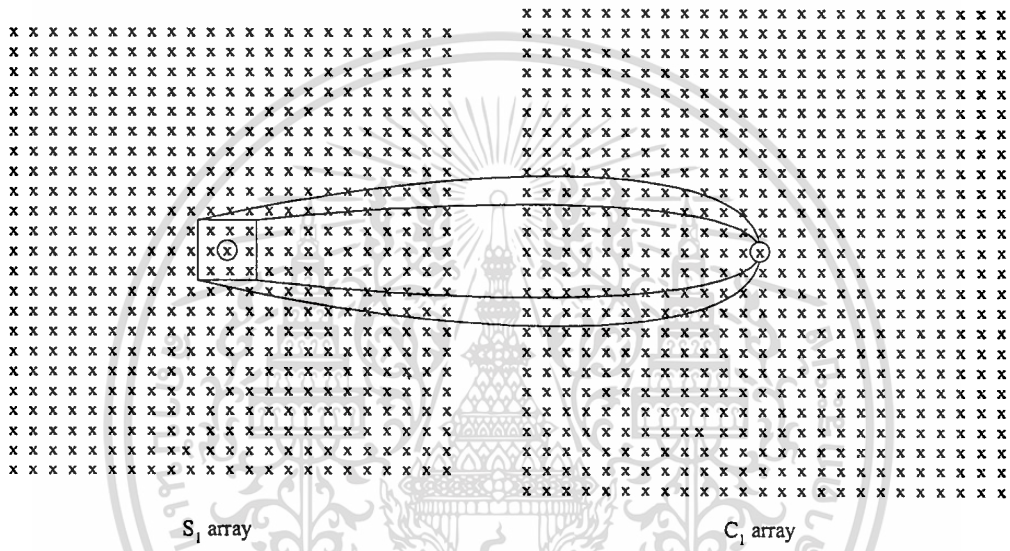
รูปที่ 2.3 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างเซลของหนึ่งเซลเพลนในแต่ละเลเยอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาในรูปที่ 2.3 เป็นการเชื่อมต่อระหว่างเซลในแต่ละเพลนของนีโอคอคนิตรอนที่ออกแบบมาเพื่อการจดจำตัวเลขไทย และในรูปที่ 2.4 แสดงถึงการเชื่อมต่อระหว่างเซลในเพลนที่จะได้รับข้อมูลมาจากกลุ่มของรีเซพทีฟเซล ตัวอย่างในที่นี้ได้แก่ การเชื่อมต่อจากเพลนของ U_{S1} ไปยัง C-cell ในเพลนของ U_{C1} จะใช้รีเซพทีฟเซลขนาด 3 x 3

รูปที่ 2.4 แสดงการเชื่อมต่อจากเซลเพลนของ S-cell ในเลเยอร์ที่ 1 ไปยัง C-cell ในเลเยอร์ที่ 1



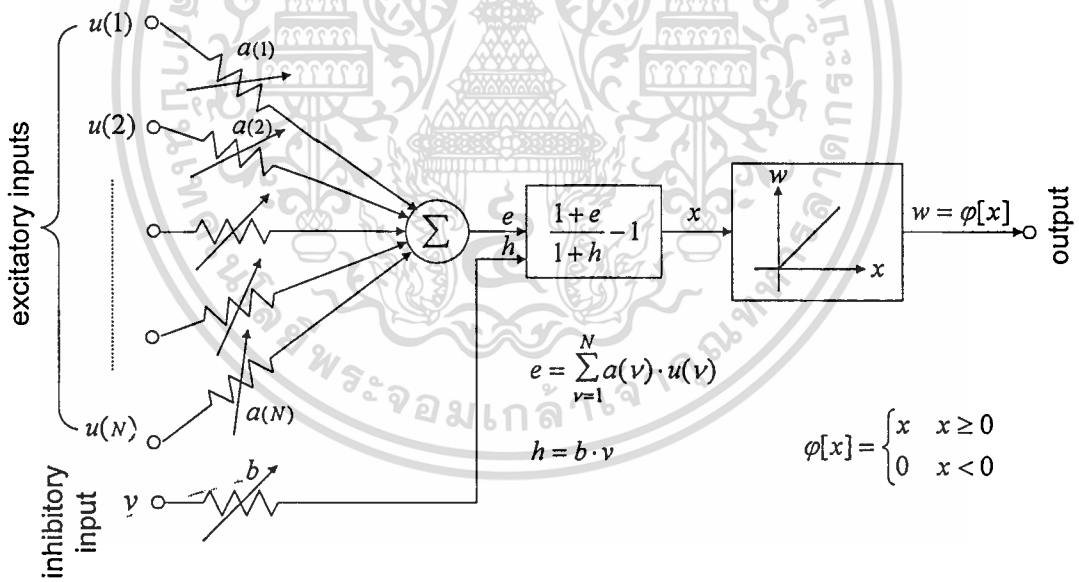
2.3 หลักการในการจดจำรูปแบบของนีโอคอคนิตรอน

2.3.1 หลักการทำงานของ S-cells S-cells ใน S-plane เป็นเซลที่ทำหน้าที่แยกแยะฟีเจอร์ (feature-extracting) ในเน็ตเวิร์ค โดยการเชื่อมต่อที่เข้าสู่ S-cells จะเป็นตัวแปรที่สามารถปรับค่าได้ในระหว่างกระบวนการของการเรียนรู้ หลังจากผ่านการเรียนรู้แล้วค่าของตัวแปรหรือค่าถ่วงของ S-cells จะถูกนำไปใช้ในการแยกแยะฟีเจอร์ของอินพุตแพทเทิร์นร่วมกับค่ายับยั้ง V-cell โดย S-cells จะแอคทีฟก็ต่อเมื่อเกิดมีฟีเจอร์เป้าหมายที่รับผิดชอบอยู่ในตำแหน่งเฉพาะบนเพลนในเลเยอร์ก่อนหน้านั้น โดยฟีเจอร์ที่แต่ละ S-plane จะต้องรับผิดชอบนั้นกำหนดมาในกระบวนการของการเรียนรู้แล้ว ในขณะที่เน็ตเวิร์คอยู่ในขั้นตอนของการเรียนรู้จะได้รับการสอนให้แต่ละเพลนในแต่ละเลเยอร์รับผิดชอบฟีเจอร์ตามหลักการที่กล่าวมาแล้วว่า โลคอลฟีเจอร์จะถูกแยกแยะตั้งแต่เลเยอร์แรกๆ ส่วนในเลเยอร์สูงๆ จะทำการแยกแยะโกลบอลฟีเจอร์ซึ่งเป็นฟีเจอร์ที่ซับซ้อนขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

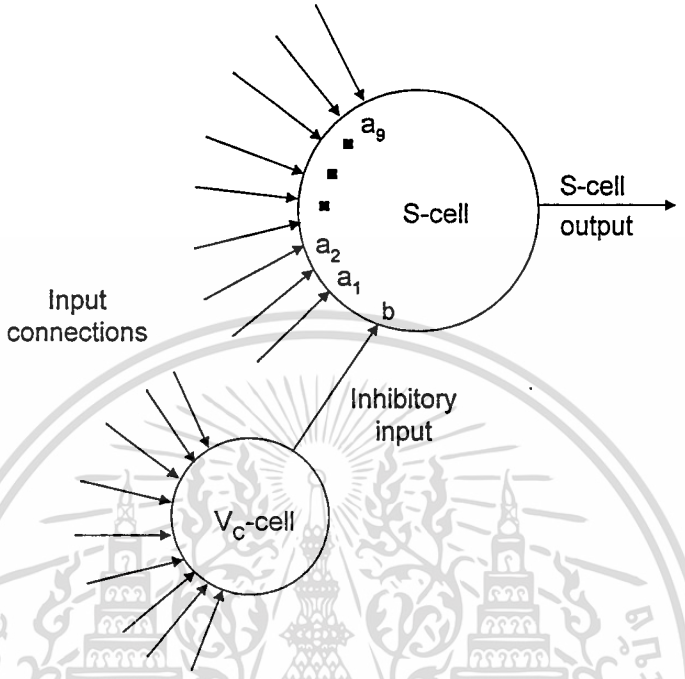
การรับสัญญาณข้อมูลมาประมวลผลเพื่อให้ได้ค่าของ S-cell แสดงในรูปที่ 2.5[3] และในรูปที่ 2.6[1] โดย a เป็นตัวแปรค่าถ่วง (variable-weight) จาก C-cell มายัง S-cell ส่วน b เป็นตัวแปรค่าถ่วงจากเซลยับยั้ง V-cell มายัง S-cell ค่าของ a และ b จะได้มาจากการเรียนรู้ การที่จะได้ค่าผลลัพธ์จากสัญญาณอินพุตนั้น จะนำผลรวมค่ากระตุ้น (e) ของอินพุตตัวกระตุ้น (excitatory inputs) จากกลุ่มของ C-cell มาเปรียบเทียบกับค่ายับยั้ง (h) ของอินพุตยับยั้ง (inhibitory input) ผลลัพธ์ที่ได้จะได้เป็นค่าของ S-cell โดยถ้าค่ากระตุ้นมีค่ามากกว่าค่ายับยั้งในระดับหนึ่ง ค่าของ S-cell ก็จะแอคทีฟ พิจารณาในรูปที่ 2.7[6] เป็นการเชื่อมต่อของกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์ (feature-extracting) ของ S-cell กับ C-cell ในเลเยอร์ก่อนหน้านั้น

รูปที่ 2.5 แสดงการประมวลผลเพื่อให้ได้ค่าของ S-cell

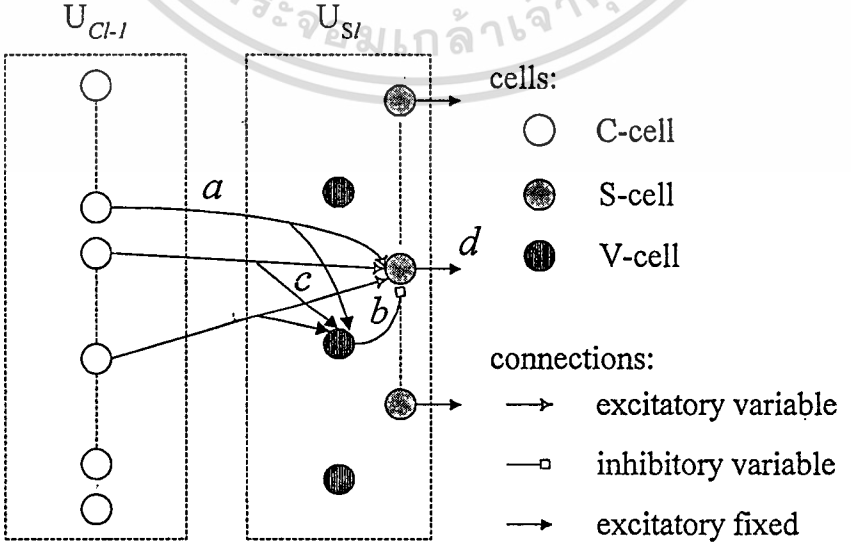


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6 แสดงการรับสัญญาณข้อมูลเพื่อมาประมวลผลของ S-cell



รูปที่ 2.7 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างเซลต่างๆในกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์ของ S-cells



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 สมการการจดจำของ S-cells ในที่นี้จะใช้สัญญลักษณ์ $u_{Sl}(n,k)$ แสดงถึงผลลัพธ์ของ S-cell ในเลเยอร์ที่ l ,เพลนที่ k และ n เป็นโคออดิเนตแสดงตำแหน่งของเซลในเพลนของ U_{Sl} สำหรับ S-cells นั้น k จะอยู่ในช่วง $1 \le k \le K_{Sl}$ ส่วน C-cells นั้น k อยู่ในช่วง $1 \le k \le K_{Cl}$ ค่าของ K_{Sl} และ K_{Cl} เป็นจำนวนของเพลนในเลเยอร์ที่ออกแบบไว้แล้วจากโครงสร้างของนีโอคอคนิตรอนในรูปที่ 2.2

ค่าผลลัพธ์ของ S-cell ได้จาก

$$u_{Sl}(n,k) = r_l \cdot \varphi\left[\frac{1+\sum_{K=1}^{K_{Cl-1}}\sum_{v\in A_l} a_l(v,\kappa,k)\cdot u_{Cl-1}(n+v,\kappa)}{1+\frac{r_l}{1+r_l}\cdot b_l(k)\cdot u_{Vl}(n)} - 1\right],\ k = 1,2,\ldots,K_{Sl} \qquad (2.1)$$

โดยที่ $$\varphi[x] = \begin{cases} x & \text{if } x \ge 0 \\ 0 & \text{if } x < 0 \end{cases} \qquad (2.2)$$

ในกรณีที่ l =1 ในสมการที่ 2.1 จะได้ว่า $u_{Cl-1}(n,k)$ แทนด้วย $u_0(n)$ โดยที่ $K_{Cl-1} = 1$

ค่าของ $a_l(v,\kappa,k)$ เป็นตัวแปรค่าถ่วงที่รับมาจาก C-cell ในเลเยอร์ก่อนหน้านั้น ซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็นค่าถ่วงตัวกระตุ้น (excitatory modifiable synapses) ของ S-cell ส่วน $b_l(k)$ เป็นตัวแปรค่าถ่วงที่รับมาจากเซลยับยั้ง (inhibitory cell) ถือว่าเป็นค่าถ่วงตัวยับยั้ง (inhibitory modifiable synapses) ของ S-cell โดยค่าถ่วง a เป็นอาเรย์ค่าถ่วงประจำแต่ละเพลนที่ κ ของ C-cell มายังเพลนที่ k ของ S-cell ส่วนค่าถ่วง b_l นั้นเป็นค่าถ่วงเดี่ยวของแต่ละเพลนไม่ได้เป็นอาเรย์

ค่าถ่วงทั้งสองนี้ได้มาจากการเรียนรู้ เพื่อจะนำมาใช้ในคำนวณหาค่ากระตุ้นจากการคูณค่าถ่วงตัวกระตุ้นกับค่าของเซลในเพลนของ C-cell ที่สัมพันธ์กันในตำแหน่งที่ต้องการแล้วรวมเข้าด้วยกันทุกเพลนในเลเยอร์ก่อนหน้านั้น และใช้ในการคำนวณหาค่ายับยั้งจากการคูณค่าถ่วงตัวยับยั้งกับเซลยับยั้งในตำแหน่งบนเพลนของ V-cell ที่สัมพันธ์กับ S-cell ที่เราต้องการ แล้วเอามาเปรียบเทียบกันด้วยการหาร ถ้าค่ากระตุ้นมีค่ามากกว่าค่ายับยั้ง จะได้ผลการเปรียบเทียบเป็นค่ามากกว่าศูนย์ ค่าของ S-cell นั้นจะแอคทีฟขึ้นแสดงว่ามีฟีเจอร์ที่ S-cell นั้นต้องรับผิดชอบอยู่บนตำแหน่งที่กำลังสนใจในเพลนของ C-cell แต่ถ้าค่ากระตุ้นมีค่าน้อยกว่าค่ายับยั้ง จะได้ผลการเปรียบเทียบน้อยกว่าศูนย์หรือติดลบ ดังนั้นค่าของ S-cell นั้นจะไม่แอคทีฟขึ้นคือเป็นค่าศูนย์แสดงว่าไม่มีฟีเจอร์ที่รับผิดชอบ แต่ถ้าเป็นกรณีที่ค่ากระตุ้นกับค่ายับยั้งมีค่าเท่ากัน ผลของ S-cell จะได้เป็นศูนย์ เพราะผลการเปรียบเทียบออกมาเป็นศูนย์ จะเห็นว่าไม่มี S-cell ใดที่จะมีค่าติดลบได้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดของอาเรย์ของค่าถ่วง a จะแทนด้วย A_l เป็นขนาดของอาเรย์ของกลุ่มเซลของ C-cell ในเลเยอร์ก่อนหน้านั้นที่ใช้เชื่อมต่อไปยัง S-cell ในเลเยอร์ที่กำลังสนใจ พิจารณาประกอบในรูปที่ 2.3 จะได้ว่าขนาดของ $A_1 = 3\times 3$, $A_2 = 5\times 5$, $A_3 = 5\times 5$ และ $A_4 = 5\times 5$ โดยที่ v เป็นตำแหน่งของเซลในอาเรย์ของค่าถ่วงที่อยู่ในอาเรย์ของ A_l สังเกตว่าเราจะไม่เห็นพารามิเตอร์ n ใน $a_l(v,\kappa,k)$ และ $b_l(k)$ เนื่องจากทุกๆ S-cell ในเพลนหนึ่งๆจะรับเอาค่าถ่วงที่ได้มาจากการสอนฟีเจอร์เดียวกันดังที่ได้กล่าวถึงไปแล้วนั่นเองจึงไม่จำเป็นต้องมีโคออดิเนตของเซลในเพลนด้วย

ค่าของพารามิเตอร์ r_l เป็นค่าบวกที่กำหนดระดับการเลือกฟีเจอร์ในกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์ โดยค่า r_l ที่สูงขึ้นแสดงว่าจะมีการยอมให้มีการผิดรูปหรือเพี้ยนไปจากฟีเจอร์ที่รับผิดชอบอยู่ได้น้อยลง ในการวิจัยนี้เลือกใช้ $r_1 = 1.5$, $r_2 = 3.6$, $r_3 = 0.6$ และ $r_4 = 0.6$

สำหรับค่าของ V-cell ซึ่งเป็นเซลที่ส่งค่ายับยั้ง ให้กับ S-cell หาได้จาก

$$u_{Vl}(n) = \sqrt{\sum_{K=1}^{K_{Cl-1}} \sum_{v\in A_l} c_l(v)\cdot\left\{u_{Cl-1}(n+v,\kappa)\right\}^2} \tag{2.3}$$

เมื่อ $c_l(v)$ เป็นค่าถ่วงคงที่ตัวกระตุ้น (fixed excitatory weight) ที่ไม่สามารถปรับค่าได้จากเซลที่ตำแหน่ง v ในอาเรย์ของกลุ่มเซลที่ใช้เชื่อมต่อระหว่าง C-cells ในเลเยอร์ก่อนหน้านั้นมายัง V-cell โดยหามาจาก

$$c_l(v) = \gamma_l^{|v|} \tag{2.4}$$

เมื่อ $|v|$ เป็นค่าของฟังก์ชันระยะทาง (distance function) ระหว่างเซลในตำแหน่ง v กับจุดศูนย์กลางของกลุ่มรีเซพทีฟเซล (center of receptive field) ซึ่งหาได้จาก

$$v = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \tag{2.5}$$

เมื่อ (x_1, y_1) เป็นโคออดิเนตของจุดศูนย์กลางของ c_l และ (x_2, y_2) เป็นโคออดิเนตของจุดรอบๆในอาเรย์ของ c_l และขนาดของ c_l จะมีขนาดเท่ากับอาเรย์ของค่าถ่วง a หรือ A_l ดังนั้นเราจะได้ว่า

สำหรับเลเยอร์ที่ 1 ซึ่งขนาดอาเรย์ของ c_l มีขนาดเท่ากับ 3x3

ถ้าให้ $\begin{bmatrix} 0,0 & 0,1 & 0,2 \\ 1,0 & 1,1 & 1,2 \\ 2,0 & 2,1 & 2,2 \end{bmatrix}$ แสดงตำแหน่งบนอาเรย์ของ c_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อผ่านฟังก์ชันระยะทางแล้วเราจะได้อาเรย์ของ $|v|$ สำหรับเลเยอร์ที่ 1 เป็นดังนี้

$$|v| = \begin{bmatrix} \sqrt{2} & \sqrt{1} & \sqrt{2} \\ \sqrt{1} & 0 & \sqrt{1} \\ \sqrt{2} & \sqrt{1} & \sqrt{2} \end{bmatrix} \cong \begin{bmatrix} 1.412 & 1 & 1.412 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1.412 & 1 & 1412 \end{bmatrix}$$

ส่วนในเลเยอร์ที่ 2 ถึงเลเยอร์ที่ 4 ขนาดของอาเรย์ c_l มีขนาดเท่ากับ 5x5

ถ้าให้ $\begin{bmatrix} 0,0 & 0,1 & 0,2 & 0,3 & 0,4 \\ 1,0 & 1,1 & 1,2 & 1,3 & 1,4 \\ 2,0 & 2,1 & 2,2 & 2,3 & 2,4 \\ 3,0 & 3,1 & 3,2 & 3,3 & 3,4 \\ 4,0 & 4,1 & 4,2 & 4,3 & 4,4 \end{bmatrix}$ เป็นตำแหน่งบนอาเรย์ 5x5 ของ c_2 , c_3 และ c_4

เมื่อผ่านฟังก์ชันระยะทางแล้วเราจะได้อาเรย์ของ $|v|$ สำหรับเลเยอร์ที่ 2 ถึงเลเยอร์ที่ 4 เป็นดังนี้

$$|v| = \begin{bmatrix} \sqrt{8} & \sqrt{5} & 2 & \sqrt{5} & \sqrt{8} \\ \sqrt{5} & \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} \\ 2 & 1 & 0 & 1 & 2 \\ \sqrt{5} & \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} \\ \sqrt{8} & \sqrt{5} & 2 & \sqrt{5} & \sqrt{8} \end{bmatrix}$$

ส่วนพารามิเตอร์ γ_l ในการวิจัยนี้เลือกใช้ $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = 0.7$ และ $\gamma_4 = 0.4$ โดยที่ $c_l(v)$ ต้องนอร์มัลไลซ์ด้วย ดังสมการ

$$\sum_{K=1}^{K_{Cl-1}} \sum_{v \in A_l} c_l(v) = 1 \qquad (2.6)$$

ดังนั้นเราจะได้ c_l ก่อนการนอร์มัลไลซ์ด้วยจำนวนเพลนของ C-cell ในเลเยอร์ก่อนหน้านั้น ของแต่ละเลเยอร์ที่มีค่ามากในเซลตรงกลางเพลน ดังต่อไปนี้

$$c_1 = \begin{bmatrix} 0.6039 & 0.7000 & 0.6039 \\ 0.7000 & 1.0000 & 0.7000 \\ 0.6039 & 0.7000 & 0.6039 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$c_2 \text{ และ } c_3 = \begin{bmatrix} 0.3647 & 0.4504 & 0.4900 & 0.4504 & 0.3647 \\ 0.4504 & 0.6000 & 0.7000 & 0.6000 & 0.4504 \\ 0.4900 & 0.7000 & 1.0000 & 0.7000 & 0.4900 \\ 0.4504 & 0.6000 & 0.7000 & 0.6000 & 0.4504 \\ 0.3647 & 0.4504 & 0.4900 & 0.4504 & 0.3647 \end{bmatrix}$$

$$c_4 = \begin{bmatrix} 0.0749 & 0.1289 & 0.1600 & 0.1289 & 0.0749 \\ 0.1289 & 0.2737 & 0.4000 & 0.2737 & 0.1289 \\ 0.1600 & 0.4000 & 1.0000 & 0.4000 & 0.1600 \\ 0.1289 & 0.2737 & 0.4000 & 0.2737 & 0.1289 \\ 0.0749 & 0.1289 & 0.1600 & 0.1289 & 0.0749 \end{bmatrix}$$

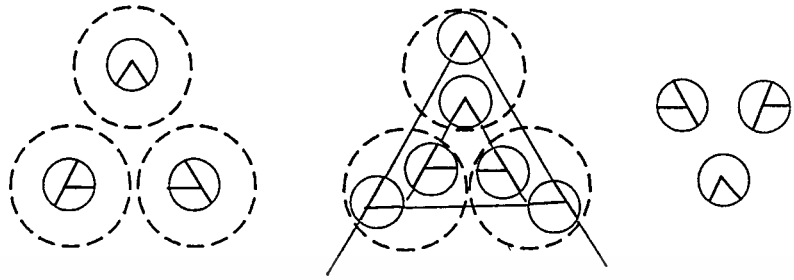
2.3.3 หลักการทำงานของ C-cells เมื่อผ่านขั้นตอนของการแยกแยะฟีเจอร์โดยแต่ละเพลนของ S-cell แล้ว บางฟีเจอร์ที่มีการวางตัวหลากหลายกัน สามารถที่จะรวมกันเข้า (joining) ไปเป็นฟีเจอร์เดียวใน C-cell ได้ ดังนั้นจึงเหมือนกับว่า S-cell ทำการแยกแยะฟีเจอร์ แล้วรวมข้อมูลของฟีเจอร์นั้นๆเข้าไปที่ C-cell เป็นเช่นนี้สลับกันไปจนถึงเลเยอร์สุดท้าย

ในโครงข่ายของนีโอคอคนิตรอนนั้น C-cells ทำหน้าที่ยอมให้มีการเลื่อนตำแหน่งของฟีเจอร์ (tolerating positional error) กับรูปแบบตัวอักษรได้ การเชื่อมต่อจาก S-cells มายัง C-cell นั้นจะเป็นค่าถ่วงคงที่ (fix weight) ไม่สามารถปรับค่าได้ แต่ละ C-cell จะรับสัญญาณข้อมูลจากกลุ่มของ S-cells ที่ทำการแยกแยะฟีเจอร์เดียวกัน แต่ตำแหน่งของฟีเจอร์ต่างกันมา C-cell จะแอคทีฟเมื่อเริ่มมี S-cell เพียงเซลเดียวที่แอคทีฟขึ้น แม้ว่าถ้าฟีเจอร์เกิดการเลื่อนตำแหน่งไป แล้ว S-cell อื่นในกลุ่มของรีเซพทีฟเซลจะแอคทีฟขึ้นมาแทน S-cell เดิมแล้วก็ตาม แต่ C-cell เดิมก็จะยังถูกกระตุ้นอยู่เช่นเดิม

หน้าที่ในการแยกแยะฟีเจอร์ของ C-cell ไม่ขึ้นกับการเลื่อนตำแหน่งของอินพุตแพทเทิร์น กระบวนการยอมให้มีการเลื่อนตำแหน่งของฟีเจอร์นี้จะเกิดขึ้นทีละน้อยๆในแต่ละสเตจไม่ได้เกิดขึ้นทั้งหมดในขั้นตอนเดียว ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เน็ตเวิร์คมีความสามารถในการจดจำรูปแบบที่มีการผิดรูปได้ แต่การยอมให้มีการเลื่อนตำแหน่งนี้ไม่ควรจะมีขนาดใหญ่เกินไปในสเตจใดสเตจหนึ่ง เพราะจะทำให้มีการยอมให้ตำแหน่งเพี้ยนมากเกินไป จนทำให้เน็ตเวิร์คแยกแยะผิดรูปแบบ หรือไม่สามารถแยกแยะต่อไปได้ ดังในรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.8 แสดงการจดจำรูปแบบที่มีการผิดรูป



2.8.1) 2.8.2) 2.8.3)

2.8.1) เป็นการแยกแยะโลคอลฟีเจอร์สามฟีเจอร์ 2.8.2) แสดงถึงผลลัพธ์ในการแยกแยะฟีเจอร์ทั้งสามนั้นที่มีการผิดรูป ซึ่งถ้าหากมีการยอมให้มีการเลื่อนตำแหน่งได้ มากเกินไปอาจจะทำให้การแยกแยะฟีเจอร์ให้ผลลัพธ์ออกมาผิดพลาดได้ดังในรูป 2.8.3)

เนื่องจากตำแหน่งที่เปลี่ยนไปจากการเลื่อนตำแหน่งของโลคอลฟีเจอร์ จะยอมให้เกิดขึ้นได้ในกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์ และกระบวนการรวมข้อมูลของฟีเจอร์ (feature integrating) เดียวกันของแต่ละ S-layer มายัง C-layer ผลสุดท้ายในเลเยอร์ที่สูงที่สุดซึ่งรวมเอาข้อมูลของอินพุตแพทเทิร์นไว้ทั้งหมด ก็จะแสดงผลลัพธ์ออกมาที่ C-cell เดียวกัน ด้วยเหตุผลนี้เองที่ทำให้การจดจำรูปแบบตามรูปร่างของอินพุตแพทเทิร์นของนีโอคอคนิตรอน จึงเป็นอิสระไม่ขึ้นกับขนาดหรือตำแหน่งของรูปแบบนั้น

2.3.4 สมการการจดจำของ C-cells ผลลัพธ์ของ C-cell ในตำแหน่งที่ n ของเพลนที่ k ของเลเยอร์ U_C ที่ l หาได้จาก

$$u_{Cl}(n,k) = \psi\left[\sum_{\kappa=1}^{K_{Sl}} j_l(\kappa,k)\sum_{v\in D_l} d_l(v)\cdot u_{Sl}(n+v,\kappa)\right] \tag{2.7}$$

เมื่อ $\psi[]$ เป็นฟังก์ชันกำหนดความเข้มของ C-cell หาได้จาก

$$\psi[x] = \frac{\varphi[x]}{1+\varphi[x]} \tag{2.8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของ S-cell ในหลายๆ เพลน บางครั้งอาจรวมไปที่ C-cell เพียงเซลเดียวได้ ในการรวมกันของฟีเจอร์ โดยที่ $j_l(\kappa,k)$ แสดงถึงการรวมกัน (joining) ระหว่าง S-cell ในเพลนที่ κ กับ C-cell ในเพลนที่ k ถ้าหากว่า C-cell ในเพลนที่ k มีการรับเอาสัญญาณอินพุตจาก S-cell ในเพลนที่ κ แล้วค่าของ $j_l(\kappa,k)$ จะเป็น 1 แต่ถ้าในทางตรงกันข้ามจะเป็น 0

$d_l(v)$ (≥ 0) เป็นค่าถ่วงคงที่ตัวกระตุ้น (fixed excitatory weight) จาก S-cells มายัง C-cells ไม่สามารถปรับค่าได้ หาได้จาก

$$d_l(v) = \delta_l^{|v|} \tag{2.9}$$

โดย $|v|$ เป็นฟังก์ชันระยะทางเหมือนในสมการที่ 2.5 ส่วนพารามิเตอร์ δ_l ใช้เป็น $\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = 0.7$ และ $\delta_4 = 1.0$ D_l เป็นขนาดของอาเรย์กลุ่มเซลของ S-cell ที่เชื่อมต่อไปยัง C-cell ดังในรูปที่ 2.3 จะได้ว่าขนาดของ $D_1 = 3\times 3$, $D_2 = 7\times 7$, $D_3 = 5\times 5$ และ $D_4 = 3\times 3$

ดังนั้นเราจะได้ d_l ของแต่ละเลเยอร์ดังต่อไปนี้

$$d_1 = \begin{bmatrix} 0.6039 & 0.7000 & 0.6039 \\ 0.7000 & 1.0000 & 0.7000 \\ 0.6039 & 0.7000 & 0.6039 \end{bmatrix}$$

ส่วนเลเยอร์ที่สองขนาดของ $D_2 = 7\times 7$ จะมีฟังก์ชันระยะทาง $|v|$ สำหรับเลเยอร์นี้ดังนี้

$$|v| = \begin{bmatrix} \sqrt{18} & \sqrt{13} & \sqrt{10} & 3 & \sqrt{10} & \sqrt{13} & \sqrt{18} \\ \sqrt{13} & \sqrt{8} & \sqrt{5} & 2 & \sqrt{5} & \sqrt{8} & \sqrt{13} \\ \sqrt{10} & \sqrt{5} & \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} & \sqrt{10} \\ 3 & 2 & 1 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ \sqrt{10} & \sqrt{5} & \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} & \sqrt{10} \\ \sqrt{13} & \sqrt{8} & \sqrt{5} & 2 & \sqrt{5} & \sqrt{8} & \sqrt{13} \\ \sqrt{18} & \sqrt{13} & \sqrt{10} & 3 & \sqrt{10} & \sqrt{13} & \sqrt{18} \end{bmatrix}$$

ดังนั้นจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d_2 = \begin{bmatrix} 0.2202 & 0.2764 & 0.3237 & 0.3430 & 0.3237 & 0.2764 & 0.2202 \\ 0.2764 & 0.3647 & 0.4504 & 0.4900 & 0.4504 & 0.3647 & 0.2764 \\ 0.3237 & 0.4504 & 0.6039 & 0.7000 & 0.6039 & 0.4504 & 0.3237 \\ 0.3430 & 0.4900 & 0.7000 & 1.0000 & 0.7000 & 0.4900 & 0.3430 \\ 0.3237 & 0.4504 & 0.6039 & 0.7000 & 0.6039 & 0.4504 & 0.3237 \\ 0.2764 & 0.3647 & 0.4504 & 0.4900 & 0.4504 & 0.3647 & 0.2764 \\ 0.2202 & 0.2764 & 0.3237 & 0.3430 & 0.3237 & 0.2764 & 0.2202 \end{bmatrix}$$

ส่วนในเลเยอร์ที่ 3 และ 4 จะได้

$$d_3 = \begin{bmatrix} 0.3647 & 0.4504 & 0.4900 & 0.4504 & 0.3647 \\ 0.4504 & 0.6000 & 0.7000 & 0.6000 & 0.4504 \\ 0.4900 & 0.7000 & 1.0000 & 0.7000 & 0.4900 \\ 0.4504 & 0.6000 & 0.7000 & 0.6000 & 0.4504 \\ 0.3647 & 0.4504 & 0.4900 & 0.4504 & 0.3647 \end{bmatrix}$$

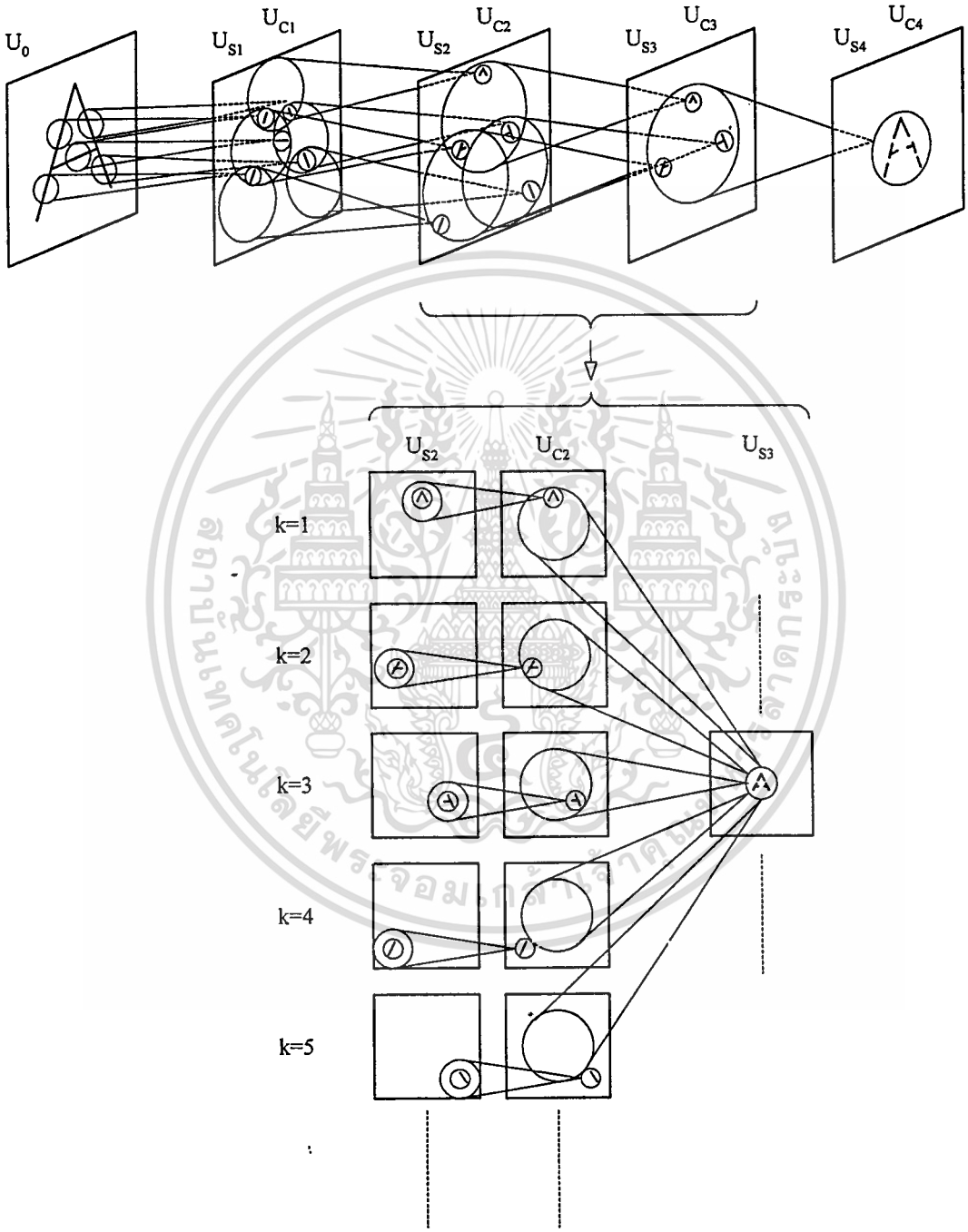
$$d_4 = \begin{bmatrix} 1.0 & 1.0 & 1.0 \\ 1.0 & 1.0 & 1.0 \\ 1.0 & 1.0 & 1.0 \end{bmatrix}$$

โดยไม่จำเป็นต้องนอร์มัลไลซ์ค่าของ $d_l(v)$ ด้วยจำนวนเพลนในเลเยอร์ก่อนหน้านั้น เหมือนกับการนอร์มัลไลซ์ $c_l(v)$ ในสมการที่ 2.6 แต่ต้องนอร์มัลไลซ์ด้วยค่าผลรวมของทุกเซลในอาเรย์ของ $d_l(v)$ ทั้งหมด เพราะถ้าพิจารณาจากสมการที่ 2.7 จะพบว่าค่าของ U_{Cl} ไม่ได้มาจากผลรวมของเซลในตำแหน่งเดียวกันทุกเพลนในเลเยอร์ของ U_{Sl} ก่อนหน้านั้น แต่ขึ้นกับค่าของ $j(\kappa,k)$ ว่ามีการรวมเข้าด้วยกันของฟีเจอร์ในเพลนใดมายังเพลนของ U_{Cl} ที่กำลังหาค่าอยู่บ้าง จึงไม่ต้องนอร์มัลไลซ์ด้วยจำนวนเพลนของ U_{Sl} ก่อนหน้านั้น

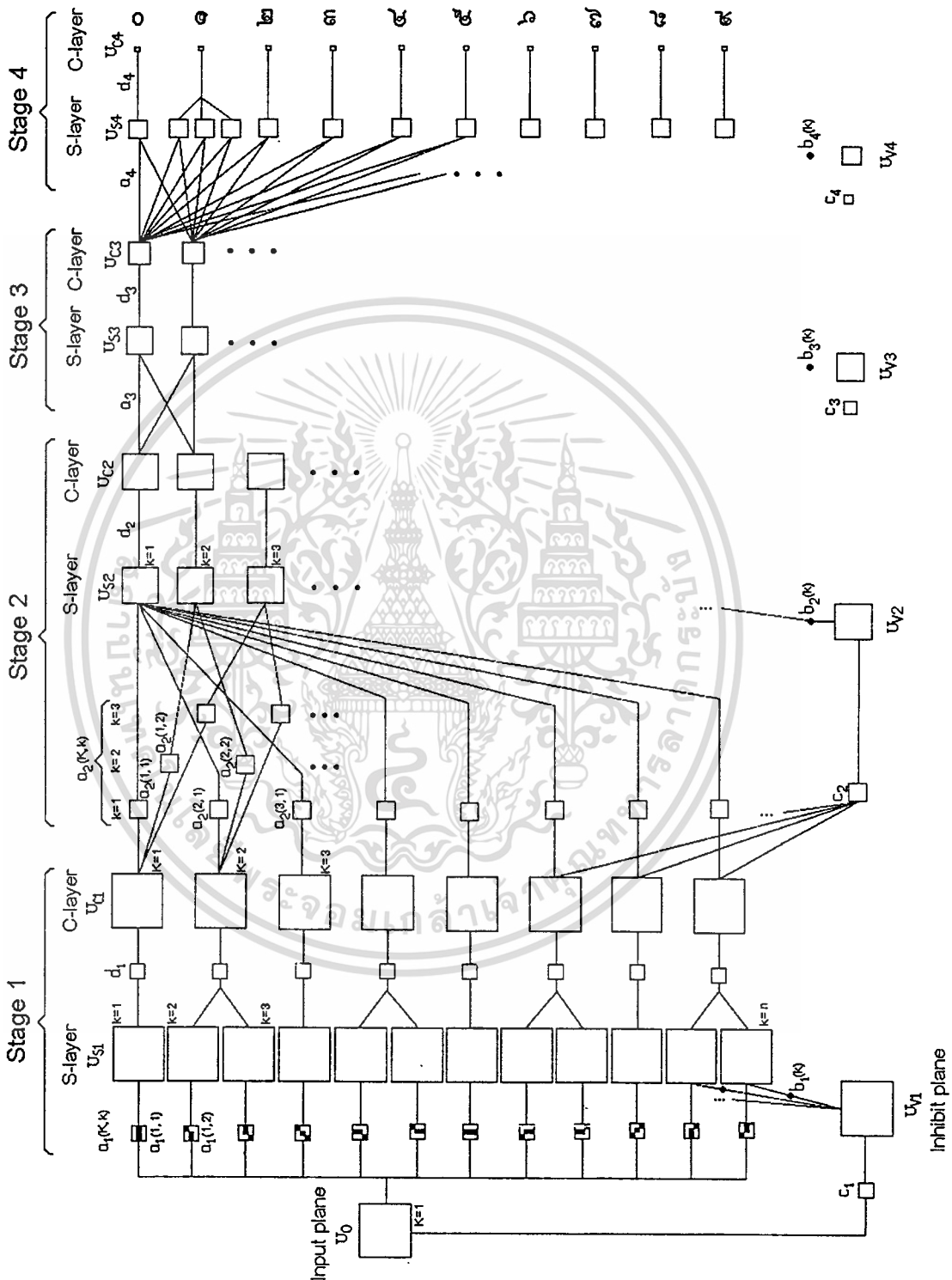
ในเน็ตเวิร์คของนีโอคอคนิตรอน ทั้งโครงข่ายประกอบด้วยเลเยอร์ของ S-cells กับ C-cells สลับกันไป ทำให้กระบวนการแยกแยะฟีเจอร์ของ S-cells และการยอมให้มีการเลื่อนตำแหน่งของฟีเจอร์ของ C-cells เกิดขึ้นสลับซ้ำกันไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงเลเยอร์ที่สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.9 เพื่ออธิบายกระบวนการในการจดจำรูปแบบของนีโอคอคนิตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.9 แสดงกระบวนการในการจดจำรูปแบบของนีโอคอคนิตรอน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างของนีโอคอกนิตรอนและการเชื่อมต่อทุกเลเยอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาจากรูปที่ 2.10 การเชื่อมต่อในแต่ละเลเยอร์จะประกอบด้วย ค่าถ่วงที่ได้จากการเรียนรู้ มีค่าถ่วงตัวกระตุ้น a_l ของแต่ละการเชื่อมต่อจากทุก C-plane ไปยัง S-plane และค่าถ่วงยับยั้ง b_l จะเป็นค่าเดียวประจำทุกๆ เพลนของ S-plane ดังในเลเยอร์ที่ 1 เนื่องจากมี C-plane ซึ่งเป็นอินพุตเพลนเพียงเพลนเดียวในเลเยอร์นี้ จึงมี a_1 ในการเชื่อมต่อจากอินพุตเพลน (κ=1) ไปยังทุกๆ S-plane ในเลเยอร์ที่ 1 ที่มีจำนวน 12 เพลน ดังนั้นจะได้ค่าถ่วง a_1 จำนวน 12 อาเรย์ และค่าถ่วง b_1 อีก 12 ค่า เพื่อใช้ในการแยกแยะฟีเจอร์ของแต่ละเพลน

ในเลเยอร์ที่ 2 จะมีค่าถ่วง a_2 ประจำทุกๆ การเชื่อมต่อจากแต่ละเพลนของ C-plane (U_{C1}) มายัง S-plane ของเลเยอร์ที่ 2 (U_{S2}) และมีค่าถ่วง b_2 หนึ่งค่าต่อหนึ่งเพลนของ U_{S2} ดังนั้นแต่ละเพลนของ U_{Sl} จะมีค่าถ่วง a_l หนึ่งชุด จำนวนเท่ากับจำนวนเพลนของ C-plane ในเลเยอร์ก่อนหน้านั้น (U_{Cl-1}) และมีค่าถ่วง b_l อีกหนึ่งค่า ดังนั้นถ้ารวมทั้งเลเยอร์จะได้จำนวนค่าถ่วง a_2 เป็นจำนวนเท่ากับจำนวนของ C-plane คูณกับจำนวนของ S-plane ส่วนค่าถ่วง b_l จะมีเท่ากับจำนวนของ S-plane

ในแต่ละเลเยอร์จะมีเพลนยับยั้งขนาดเท่ากับ S-plane อีกหนึ่งเพลน เพื่อทำหน้าที่ในการส่งค่ายับยั้งผ่านค่าถ่วง b_l ไปยัง S-plane โดยค่ายับยั้งนี้จะได้มาจากผลรวมจากค่าของเซลในทุกๆ เพลนของ C-plane ในเลเยอร์ก่อนหน้ากระทำกับค่าถ่วงคงที่ c_l ซึ่งมีหนึ่งอาเรย์ขนาดเท่ากับขนาดของ a_l ต่อหนึ่งเลเยอร์

ส่วนการเชื่อมต่อจาก S-plane ไปยัง C-plane จะมีค่าถ่วงคงที่ d_l ซึ่งมีหนึ่งอาเรย์ต่อหนึ่งเลเยอร์ และจะใช้ค่าในอาเรย์เดียวกันนี้ทั้งเลเยอร์ในการเชื่อมต่อจาก S-plane เฉพาะเพลนที่มีการเชื่อมต่อมายัง C-plane ตามการรวมฟีเจอร์ (joining) โดย d_l จะมีขนาดเท่ากับขนาดของการเชื่อมต่อตามที่ได้ออกแบบไว้ ดูในรูปที่ 2.3

2.4 การเรียนรู้ของนีโอคอคนิตรอน

ขั้นตอนในการปรับค่าตัวแปรค่าถ่วง $a_l(v,\kappa,k)$ และ $b_l(k)$ ของ S-cells อยู่ในขั้นตอนของการเรียนรู้ ซึ่งจะทำการเรียนรู้ฟีเจอร์ของรูปแบบที่เราต้องการให้เน็ตเวิร์คทำการจดจำ การเรียนรู้ของนีโอคอคนิตรอน สามารถเป็นได้ทั้งอันซุปเปอร์ไวซ์เลิร์นนิ่ง (unsupervised learning หรือ learning-without-a-teacher หรือ) และ ซุปเปอร์ไวซ์เลิร์นนิ่ง (supervised learning หรือ learning-with-a-teacher)[3] ในการดำเนินงานวิจัยนี้ได้เลือกการเรียนรู้เป็นแบบซุปเปอร์ไวซ์เลิร์นนิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเรียนรู้จะเกิดขึ้นเริ่มจากเลเยอร์แรกไปจนถึงเลเยอร์สูงที่สุดเรียงตามลำดับ เลเยอร์ที่สูงกว่าเรียนรู้ได้หลังจากเมื่อเลเยอร์ก่อนหน้านั้นผ่านการเรียนรู้ไปแล้ว เนื่องจากทุกๆ เซลในเพลนของนีโอคอคนิตรอนจะรับผิดชอบฟีเจอร์เดียวกัน ดังนั้นต้องทำการเลือกว่าจะให้เซลใดในเพลนทำหน้าที่เป็นเรพรีเซนเททีฟเซล (representative cell) เพื่อรับการสอนหลังจากนั้นทุกๆ เซลในเพลนก็จะได้ค่าถ่วงเดียวกันกับเซลที่เลือกขึ้นมานี้ โดยปกติแล้วถ้าไม่ต้องการเน้นจุดสำคัญของฟีเจอร์ มักจะเลือกเซลที่อยู่ตำแหน่งกลางเพลนเป็นเรพรีเซนเททีฟเซล ในกรณีของซุปเปอร์ไวซ์เลิร์นนิ่งจึงต้องทำการเลือกว่าเซลใดในเพลนใดจะทำหน้าที่เป็นเรพรีเซนเททีฟเซลให้กับเทรนนิ่งแพทเทิร์นใด

สมการในการเรียนรู้ จะเป็นดังนี้

$$\Delta a_l(v,\kappa,\hat{k}) = q_l \cdot c_l(v) \cdot u_{Cl-1}(\hat{n}+v,\kappa) \tag{2.10}$$

$$\Delta b_l(\hat{k}) = q_l \cdot u_{Nl}(\hat{n}) \tag{2.11}$$

โดยเลือก S-cell $U_{Sl}(\hat{n},\hat{k})$ ตำแหน่งของเซลที่ $\hat{n}$ ในเพลนที่ $\hat{k}$ เป็นเรพรีเซนเททีฟเซลทำหน้าที่เหมือนเป็นซีดเซล (seed cell) ของเพลน ในการเรียนรู้เพื่อให้ได้ค่าของ $a_l(v,\kappa,\hat{k})$ และ $b_l(\hat{k})$ เป็นค่าถ่วงสำหรับฟีเจอร์ที่ทำการสอนให้กับเพลนนี้ แล้วทุกๆ S-cell ในเพลนเดียวกันนี้ ก็จะใช้ค่าถ่วงนี้เหมือนกันในการแยกแยะฟีเจอร์ที่เพลนรับผิดชอบในขั้นตอนของการจดจำ

เมื่อเลือกเรพรีเซนเททีฟเซลได้แล้ว เราจะได้ตำแหน่งของ $u_{Cl-1}(\hat{n}+v,\kappa)$ และ $u_{Nl}(\hat{n})$ ที่สัมพันธ์กันกับการวางตำแหน่งของเทรนนิ่งแพทเทิร์นในอินพุตเลเยอร์ เช่นถ้าต้องการให้ตำแหน่งกลางเพลนเป็นซีดเซลก็ต้องวางเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่กลางเพลนของอินพุตเลเยอร์ด้วย

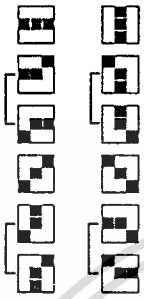
q_l เป็นค่าอัตราการเรียนรู้ (training rate) กำหนดความเร็วในการปรับค่าถ่วงในซุปเปอร์ไวซ์เลิร์นนิ่ง จะเลือกใช้ค่ามากเพื่อให้การปรับค่าถ่วงของแต่ละเทรนนิ่งแพทเทิร์นเสร็จสมบูรณ์ภายในขั้นตอนเดียว

การเรียนรู้ของนีโอคอคนิตรอนต้องมีการคัดเลือกชุดข้อมูลในการเรียนรู้สำหรับแต่ละเลเยอร์มาก่อน โดยต้องกำหนดว่าแต่ละเทรนนิ่งแพทเทิร์นจะทำการสอนให้กับเพลนในในเลเยอร์นั้น โดยปกติแล้วจะใช้การสอนให้แต่ละเพลนเรียนรู้ไปทีละเทรนนิ่งแพทเทิร์นเรียงกันไปทีละเพลน โดยเทรนนิ่งแพทเทิร์นแรกจะเป็นฟีเจอร์ที่จะสอนให้กับเพลนแรกของเลเยอร์เสมอ

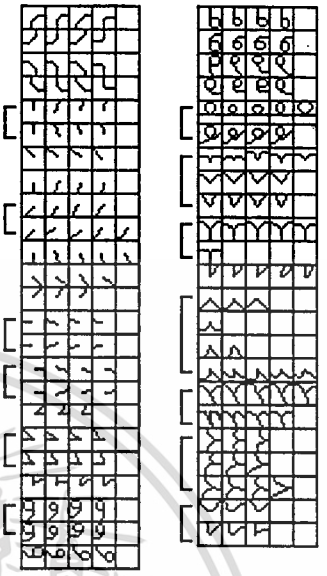
จากชุดในการเรียนรู้ของนีโอคอคนิตรอนเพื่อจดจำลายมือเขียนตัวเลขไทยทั้ง 4 เลเยอร์ ขอยกมาแสดงไว้ในรูปที่ 2.11 เพื่อประกอบการอธิบายในเรื่องการเรียนรู้เทรนนิ่งแพทเทิร์นของนีโอคอคนิตรอนให้ได้ค่าถ่วงประจำฟีเจอร์ในแต่ละเพลน เส้นที่ลากด้านข้างเทรนนิ่งแพทเทิร์นแสดงการรวมเข้าด้วยกันของฟีเจอร์นั้น ส่วนรายละเอียดการคัดเลือกชุดข้อมูลนี้อธิบายไว้ในบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

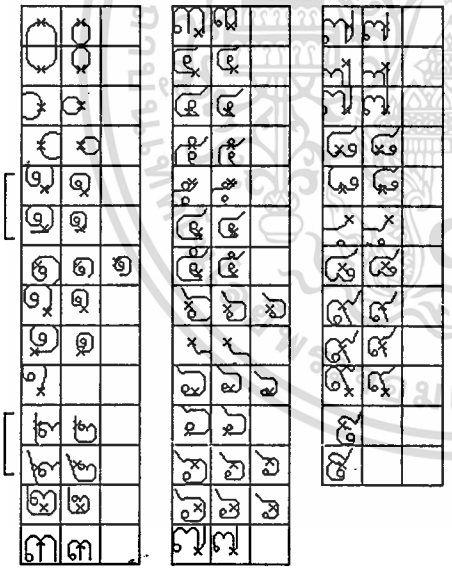
รูปที่ 2.11 แสดงชุดข้อมูลในการเรียนรู้ทั้ง 4 เลเยอร์



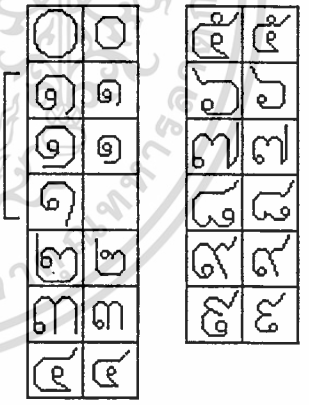
12 เทรนนิ่งแพทเทิร์นสำหรับเลเยอร์ U_{S1}



47 เทรนนิ่งแพทเทิร์นสำหรับเลเยอร์ U_{S2}



40 เทรนนิ่งแพทเทิร์นสำหรับเลเยอร์ U_{S3}



13 เทรนนิ่งแพทเทิร์นสำหรับเลเยอร์ U_{S4}

ในเลเยอร์แรกการเรียนรู้เทรนนิ่งแพทเทิร์นเพื่อหาค่าถ่วง a_1 จะเป็นการคูณแต่ละเทรนนิ่งแพทเทิร์น (มีค่าประจำเซลเป็น 0 หรือ 1) ด้วยค่าถ่วงคงที่ c_1 ตามสมการที่ 2.10 และได้ค่าถ่วง b_1 จากการหาค่าเฉลี่ยของเทรนนิ่งแพทเทิร์นนั้นบนอินพุตเพลนตามสมการที่ 2.11

ส่วนในเลเยอร์ที่สอง ก่อนการเรียนรู้ในแต่ละเพลนของเลเยอร์ที่สอง เพื่อหาค่าถ่วง a_2 ทั้งชุดประจำเพลนนั้น ต้องเลือกเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่เป็นฟีเจอร์สำหรับเพลนนั้นก่อน แล้ววางเทรน

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิ่งแพทเทิร์นบนอินพุตเพลน ผ่านกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์และการรวมฟีเจอร์เข้าด้วยกันของ U_{S1} และ U_{C1} ให้ได้ค่าในเซลของ C-plane ในเลเยอร์ที่ 1 ซึ่งเป็นค่าแสดงว่ามีการตรวจพบฟีเจอร์ใดในเทรนนิ่งแพทเทิร์นนั้นบ้างในเลเยอร์ที่ 1 แล้วค่าในเซลของ U_{C1} นี้จะเป็นอินพุตสำหรับกระบวนการเรียนรู้ของ a_2 และ b_2 ประจำเพลนนั้นต่อไป

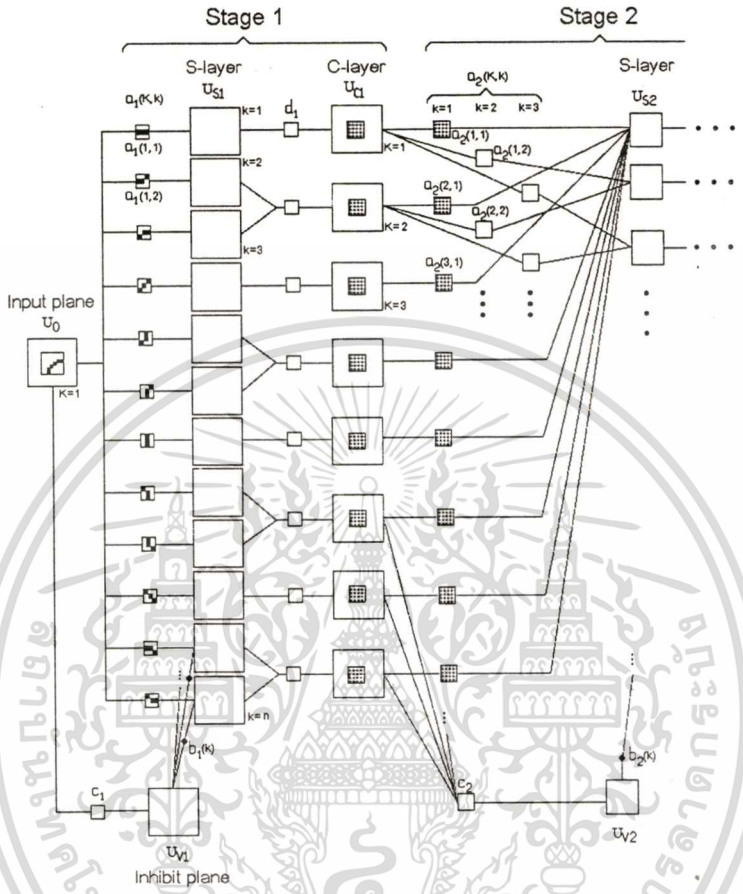
ตัวอย่างเช่น การเรียนรู้เทรนนิ่งแพทเทิร์นแรกของเลเยอร์ที่ 2 จากรูปที่ 2.11 ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.12 เมื่อผ่านการแยกแยะฟีเจอร์ในเลเยอร์ที่ 1 แล้ว ในเลเยอร์นี้จะเลือกเซลตรงจุดกลางเพลนเป็นเรพพรีเซนเททีฟในการเรียนรู้ เพื่อให้ได้ค่าของ a_2 โดยค่าในตำแหน่งจุดกลางเพลนและเซลรอบๆ ขนาดเท่ากับ a_2 ในแต่ละเพลนของ U_{C1} จะนำมาคำนวณตามสมการที่ 2.11 เพื่อให้ได้ค่าของ a_2 ที่ประจำการเชื่อมต่อจากเพลนที่ κ ของ U_{C1} ไปยังเพลนที่ $k=1$ ของ U_{S2} เพลนแรกนี้ ดังนั้นทุกๆ เพลนของ C-cell ในเลเยอร์ก่อนหน้านั้นที่ได้แยกแยะฟีเจอร์ในเลเยอร์ที่ 1 ของเทรนนิ่งแพทเทิร์นนี้มาแล้วจะมีค่าถ่วงที่แสดงการเชื่อมต่อมายังเพลนแรกของเลเยอร์ที่ 2 ที่จะทำการแยกแยะฟีเจอร์ดังในรูปที่ 2.12 ต่อไป ว่าฟีเจอร์นี้มีโลคอลฟีเจอร์ที่ควรจะตรวจพบในเลเยอร์ที่ 1 ในเพลนใดบ้าง ถ้าในเลเยอร์ที่ 1 ไม่มีการตรวจพบฟีเจอร์ใด ค่าในเพลนจะเป็นศูนย์ทั้งหมด แล้วค่าถ่วง a_2 ที่คำนวณมาจากเพลนนั้นจะเป็นศูนย์ด้วย แสดงว่าในฟีเจอร์นี้ของเลเยอร์สองไม่มีโลคอลฟีเจอร์นั้น

รูปที่ 2.12 แสดงเทรนนิ่งแพทเทิร์นเพื่อสอนให้เพลนแรกของเลเยอร์ที่ 2 เรียนรู้

รูปที่ 2.13 แสดงเพลนของค่าถ่วง a_2 ชุดที่ได้รับค่าเมื่อผ่านการเรียนรู้ไปแล้ว โดยการแรเงาในอาเรย์นั้นไว้ ส่วนค่าในเซลในกรอบเล็กบนเพลนของ U_{C1} แสดงกลุ่มของเซลในขนาดเดียวกับ a_2 ที่นำมาคำนวณ จากการเลือกจุดกลางเพลนเป็นเรพพรีเซนเททีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.13 แสดงเพลนของค่าถ่วงชุดที่มีการเรียนรู้เทรนนิ่งแพทเทิร์นแรกของเลเยอร์ที่ 2 ในรูป 2.12

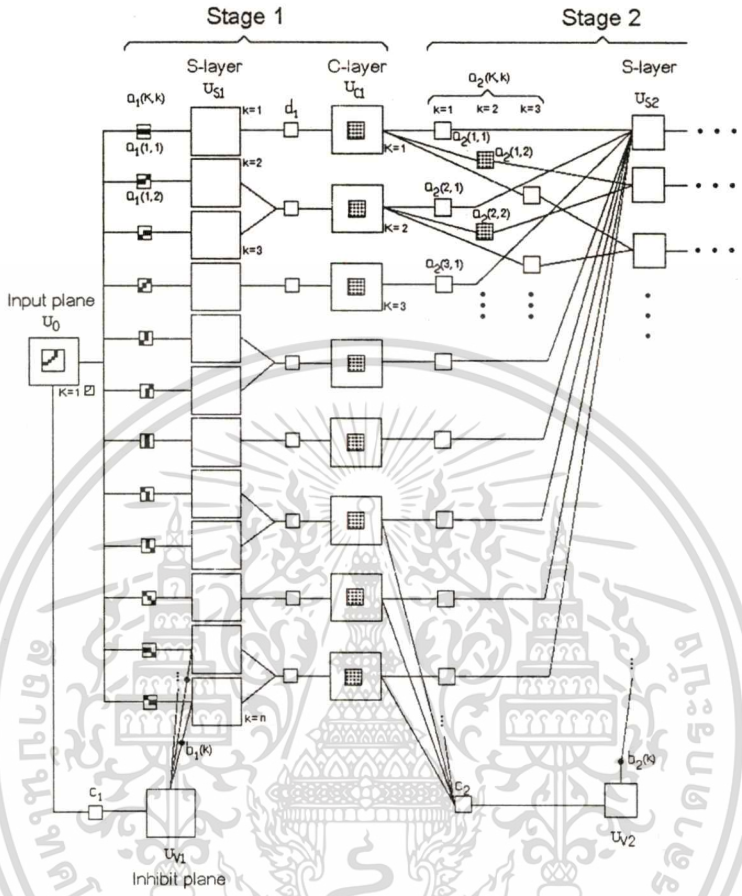


เมื่อทำการสอนให้เรียนรู้เทรนนิ่งแพทเทิร์นของเลเยอร์ที่ 2 ในเพลนที่ 2 ต่อ ดังในรูปที่ 2.14 จะได้ชุดของค่าถ่วง a_2 ของเลเยอร์ที่ 2 ($k=2$) ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.15 ซึ่งเป็นชุดค่าถ่วง a_2 ประจำการแยกแยะฟีเจอร์ของเพลนที่ 2 ในเลเยอร์ของ U_{S2} และจะเป็นเช่นนี้เรื่อยๆ เมื่อมีการเรียนรู้เทรนนิ่งแพทเทิร์นประจำเพลนใด ก็จะได้ค่าถ่วงชุดที่ใช้เชื่อมต่อมายังเพลนนั้นจากทุกๆเพลนในเลเยอร์ก่อนหน้านั้น เปรียบเสมือนกับเป็นการหาน้ำหนักของทุกเส้นทางที่ใช้เชื่อมต่อมายังแต่ละเพลนที่ทำการรับผิดชอบแต่ละฟีเจอร์

รูปที่ 2.14 แสดงเทรนนิ่งแพทเทิร์นเพื่อสอนให้เพลนที่สองของเลเยอร์ที่ 2 เรียนรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.15 แสดงค่าถ่วงชุดที่มีการเรียนรู้เทรนนิ่งแพทเทิร์นของเพลนที่สองในเลเยอร์ 2 ตามรูป 2.14



ในรูปที่ 2.11 ชุดข้อมูลในการเรียนรู้ของแต่ละเลเยอร์ ในแต่ละเพลนนั้นยังมีการเรียนรู้ฟีเจอร์เดียวกันแต่มีการผิดรูปกันได้โดยแสดงไว้ในแถวแนวนอนเดียวกันของเทรนนิ่งแพทเทิร์นของแต่ละเพลน การเรียนรู้ในการประมวลผลจะทำการเรียนรู้ในแถวแนวตั้งแรกให้หมดทุกเพลนก่อนแล้วเริ่มแถวใหม่ก็จะตรงกับเพลนแรกในเลเยอร์นั้น โดยค่าถ่วงที่ได้จากการเรียนรู้ชุดของเทรนนิ่งแพทเทิร์นของแต่ละเพลนจะรวมกันตามสมการที่ 2.11 ได้เป็นค่าของ a_l

2.5 วิเคราะห์การแยกแยะฟีเจอร์โดย S-cell

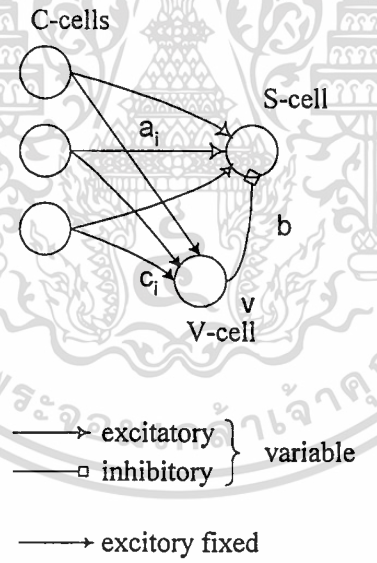
ในหัวข้อนี้ขอกล่าวถึงการวิเคราะห์การทำงานตามสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้ ซึ่งเป็นขั้นตอนในกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์ของ S-cell และ C-cell รวมทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเรียนรู้ของเน็ตเวิร์ค เพื่อให้เข้าใจถึงกลไกในการแยกแยะฟีเจอร์หลังจากผ่านการเรียนรู้ไปแล้ว ของนีโอคอคนิตรอนมากยิ่งขึ้น

2.5.1 วิเคราะห์การเชื่อมต่อเข้าสู่ S-cell จากความเข้าใจในเรื่องของการเชื่อมต่อเข้าสู่ S-cell ที่ได้กล่าวถึงไปแล้ว เราได้ทราบแล้วว่า S-cell จะรับสัญญาณข้อมูลมาจากตัวแปรค่าถ่วงกระตุ้นจากกลุ่มของ C-cell ในเลเยอร์ก่อนหน้านั้น พร้อมกับรับข้อมูลจากตัวแปรค่าถ่วงยับยั้งที่เชื่อมต่อระหว่างเซลยับยั้ง V-cell มายัง S-cell โดยที่ V-cell นี้จะรับสัญญาณค่าถ่วงคงที่ตัวกระตุ้นจากกลุ่มของ C-cell เดียวกับที่ส่งสัญญาณให้กับ S-cell นั่นเอง รูปที่ 2.16 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างเซล ที่ระบุตัวแปรค่าถ่วงของแต่ละการเชื่อมต่อแล้ว

รูปที่ 2.16 แสดงการเชื่อมต่อและค่าถ่วงต่างๆ ในกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์



ต่อไปจะขอวิเคราะห์การทำงานในกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์ของ S-cell

ถ้าให้ u เป็นค่าผลลัพธ์ที่ได้มาของ S-cell โดยที่ a_i เป็นค่าถ่วงตัวกระตุ้นในการเชื่อมต่อจาก C-cell (เซลที่ i) ซึ่งมีค่าของเซลเป็น x_i และ S-cell ยังรับค่าจากตัวแปรยับยั้ง b ในการเชื่อมต่อจาก V-cell ซึ่งมีค่าของเซลเป็น v ดังนั้นเราจะได้สมการแสดงผลลัพธ์ของ S-cell ที่มีการทำงานเช่นเดียวกับสมการที่ 2.1 เมื่อเขียนใหม่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$u = r\varphi\left[\frac{1+\sum_i a_i x_i}{1+\frac{r}{1+r}bv}-1\right] \tag{2.12}$$

โดยที่ r เป็นค่าคงที่เพื่อบอกประสิทธิรูปในการยับยั้งของ V-cell และ $\varphi[\,]$ เป็นฟังก์ชันดังนี้

$$\varphi[x]=\begin{cases}x & \text{if } x \geq 0\\ 0 & \text{if } x < 0\end{cases} \tag{2.13}$$

V-cell จะรับค่าคงที่ตัวกระตุ้น c_i จากการเชื่อมต่อจากกลุ่มของ C-cell เดียวกับ S-cell โดยค่าของ V-cell จะเป็นค่าเฉลี่ยความเข้ม (weighted root mean square) ของผลลัพธ์ในกลุ่มของ C-cell ที่รับมานั้น หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ในเซลทุกๆเซล ที่ผ่านการแยกแยะฟีเจอร์ในเลเยอร์ก่อนหน้านั้นแล้วมาเก็บไว้ในกลุ่มของ C-cell ที่กำลังเชื่อมต่อกับ V-cell หรือ S-cell ที่เรากำลังสนใจอยู่นี้ ดังนั้นได้สมการของ V-cell เป็น

$$v=\sqrt{\sum_i c_i\{x_i\}^2} \tag{2.14}$$

ถ้า $bv \neq 0$ แล้วจะเขียนสมการที่ 2.12 ได้ใหม่เป็น

$$u=\gamma\varphi\left[\frac{\sum a_i x_i}{bv}-\frac{r}{1+r}\right] \tag{2.15}$$

โดยที่ γ เป็นฟังก์ชันดังนี้

$$\gamma = (1+r)\frac{\frac{r}{1+r}bv}{1+\frac{r}{1+r}bv} \tag{2.16}$$

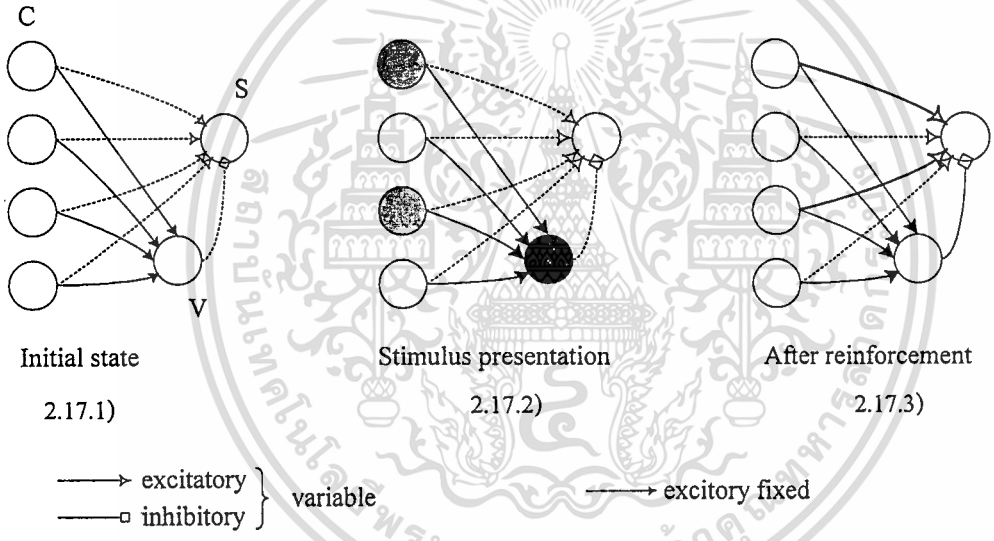
โดยทั่วไปแล้ว ค่าถ่วงตัวยับยั้ง b จะถูกปรับให้เป็นค่ามาก ดังนั้นค่าของ γ จะมีค่าเข้าใกล้ค่าคงที่ $(1+r)$ สรุปได้เป็น

$$\gamma \approx (1+r) \quad \text{เมื่อ} \quad \frac{r}{1+r}bv > 1 \tag{2.17}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 วิเคราะห์การปรับค่าถ่วง การปรับค่าถ่วงของนีโอคอคนิตรอน อยู่ในขั้นตอนการเรียนรู้ของเน็ตเวิร์ค ดังในรูปที่ 2.17 แสดงการปรับค่าถ่วงให้กับเซลที่ทำหน้าที่รับผิดชอบต่อฟีเจอร์ โดยค่าเริ่มต้นของตัวแปรค่าถ่วงที่ใช้ในการเชื่อมต่อจะมีค่าเป็นศูนย์ อาจกล่าวได้ว่า S-cell จะมีค่าในการเชื่อมต่อที่ไม่สามารถแยกแยะอะไรได้เฉพาะในช่วงแรกของการเริ่มต้นของการสร้างโครงข่ายเท่านั้น พอผ่านขั้นตอนในการเรียนรู้ไปแล้วการเชื่อมต่อที่เป็นค่าเริ่มต้นที่มีค่าไม่มากพอในการแยกแยะฟีเจอร์ก็จะถูกปรับให้มีค่ามากจนสามารถแยกแยะฟีเจอร์ได้

รูปที่ 2.17 แสดงกระบวนการปรับค่าถ่วงของการเชื่อมต่อเพื่อนำไปใช้ในการแยกแยะฟีเจอร์



พิจารณารูปที่ 2.17 2.17.1) เป็นช่วงเริ่มต้นที่ยังไม่มีการเรียนรู้ การเชื่อมต่อจะยังไม่ถูกปรับค่าให้ พอ S-cell เริ่มถูกปรับค่าให้เมื่อผ่านการเรียนรู้จากตัวกระตุ้นที่สอนให้กับเซลแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 2.17.2) จากที่ได้อธิบายไปแล้ว เมื่อมีการกระตุ้นให้กับเซล ตัวแปรในการเชื่อมต่อจาก C-cell และ V-cell ที่กำลังสนใจก็จะถูกปรับค่า ดังในรูปที่ 2.17.3) จะเห็นว่าการเชื่อมต่อจากเซลที่โดนกระตุ้นจะถูกปรับค่า โดยพบว่าตัวแปรค่ากระตุ้นที่เชื่อมต่อมายัง S-cell มีค่ามากขึ้น (ได้เส้นสัญญาณเป็นเส้นทึบ) และตัวแปรค่ายับยั้งที่มาจาก V-cell ก็จะถูกปรับค่าในขณะเดียวกันนี้ด้วย

หลังการเรียนรู้ S-cell จะได้รับความสามารถในการแยกแยะฟีเจอร์ที่มีการสอนเข้ามาในระหว่างการเรียนรู้ โดยที่ตัวแปรค่ากระตุ้นที่ S-cell ได้รับนั้นจะแสดงว่ามีฟีเจอร์ที่สัมพันธ์กันคือต้องรับผิดชอบกำลังถูกแยกแยะอยู่หรือไม่ หรือถ้าฟีเจอร์ที่ไม่สัมพันธ์กับค่าถ่วงนั้นเกิดมีขึ้นมาในการแยกแยะ ค่ายับยั้งจาก V-cell จะมีค่ามากกว่าค่ากระตุ้นจาก C-cell ผลลัพธ์ของ S-cell ก็จะไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงออกมา เพราะ S-cell จะแอคทีฟก็เมื่อมีฟีเจอร์ที่ S-cell ต้องรับผิดชอบเท่านั้น หรือกล่าวได้ว่าหน้าที่ของ V-cell คือคอยดูฟีเจอร์ที่ไม่สัมพันธ์กับ S-cell ว่าเกิดมีขึ้นหรือไม่ ถ้าเกิดมีขึ้นก็จะทำหน้าที่ของตัวยับยั้งในการแยกแยะฟีเจอร์ ด้วยการหาผลต่างของฟีเจอร์ที่ไม่สัมพันธ์กับ S-cell ซึ่งจะไปลดค่าในการคัดเลือกฟีเจอร์นั้นลง ทำให้ฟีเจอร์ไม่โดนแยกแยะออกมาใน S-cell นั้น

สมการการเรียนรู้ที่กำลังจะวิเคราะห์ต่อไป เขียนได้ดังนี้

$$\Delta a_i = q c_i x_i \tag{2.18}$$

$$\Delta b = qv$$

$$= q\sqrt{\sum_i c_i \{x_i\}^2} \tag{2.19}$$

เมื่อ q เป็นค่าคงที่แสดงถึงความเร็วในการปรับค่าถ่วงของการเรียนรู้ หรือเรียกได้ว่าเป็นอัตราการเรียนรู้

2.5.3 วิเคราะห์ในเวกเตอร์สเปซแบบหลายมิติ (Multidimensional vector space) ต่อไป เพื่อให้เข้าใจชัดเจนขึ้น จึงขอวิเคราะห์กระบวนการแยกแยะฟีเจอร์ของ S-cell ในระบบเวกเตอร์ โดยขอใช้สัญญลักษณ์เวกเตอร์ต่อไปนี้ คือ

$$\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3, \cdots)$$
$$\mathbf{a} = (a_1, a_2, a_3, \cdots)$$
$$\mathbf{c} = (c_1, c_2, c_3, \cdots)$$

แทนการแสดงความรับผิดชอบของแต่ละเซล หรือค่าในการเชื่อมต่อของเซล โดยในที่นี้ถ้ากำหนดให้ค่าถ่วงซึ่งเป็นค่าผลลัพธ์จาก inner product ของสองเวกเตอร์ $\mathbf{x}$ และ $\mathbf{y}$ เป็น

$$(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sum_i c_i x_i y_i \tag{2.20}$$

โดย $\mathbf{c}$ เป็นเวกเตอร์ค่าถ่วง ซึ่งอิลิเมนท์ทั้งหมดมีค่าเป็นบวก $(c_i > 0)$

จากการใช้ inner product ที่กล่าวมานี้ จะได้ว่า ฟังก์ชันระยะทางของเวกเตอร์หรือ นอร์ม (norm) จะกำหนดได้เป็น

$$\|\mathbf{x}\| = \sqrt{(\mathbf{x}, \mathbf{x})} \tag{2.21}$$

จากนั้นทำการกระตุ้น S-cell ด้วยตัวกระตุ้นในระหว่างการเรียนรู้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mathbf{x}^{(1)},\mathbf{x}^{(2)},\mathbf{x}^{(3)},\cdots \tag{2.22}$$

แล้ว จะได้

$$\mathbf{X}=\sum_i \mathbf{x}^{(n)} \quad \text{หรือ} \quad X_i=\sum_i x_i{}^{(n)} \tag{2.23}$$

ถ้าให้ระยะทางเริ่มต้นของตัวแปรที่ในการเชื่อมต่อทั้ง a และ b คือศูนย์แล้ว จากสมการที่ 2.18 และ 2.19 เราจะได้เป็น

$$\begin{aligned} a_i &= qc_i\sum_n x_i{}^{(n)} \\ &= qc_iX_i \end{aligned} \tag{2.24}$$

$$\begin{aligned} b &= q\sqrt{\sum_n\sum_i c_i\left\{x_i{}^{(n)}\right\}^2} \\ &= q\sum_n\left\|\mathbf{x}^{(n)}\right\| \end{aligned} \tag{2.25}$$

แทนสมการที่ 2.15 ด้วย a_i ในสมการที่ 2.24 และ b ในสมการที่ 2.25 แล้วจะได้

$$u=\gamma\varphi\left[\lambda s-\frac{r}{1+r}\right] \tag{2.26}$$

เมื่อตัวแปร s และ λ กำหนดได้เป็น

$$s=\frac{(\mathbf{X},\mathbf{x})}{\|\mathbf{X}\|\cdot\|\mathbf{x}\|} \tag{2.27}$$

$$\lambda=\frac{\|\mathbf{X}\|}{\sum_n\left\|\mathbf{x}^{(n)}\right\|} \tag{2.28}$$

ตัวแปร s แทนการเปรียบเทียบความเหมือนกันหรือเท่ากันของเวกเตอร์ $\mathbf{x}$ และ $\mathbf{X}$ ในเวกเตอร์สเปซแบบหลายมิติ ส่วนค่าของ λ หลังจากเรียนรู้ไปแล้วจะได้เป็นค่าคงที่ค่าบวกมีค่าเข้าใกล้ 1.0 ที่จะได้อธิบายต่อไป

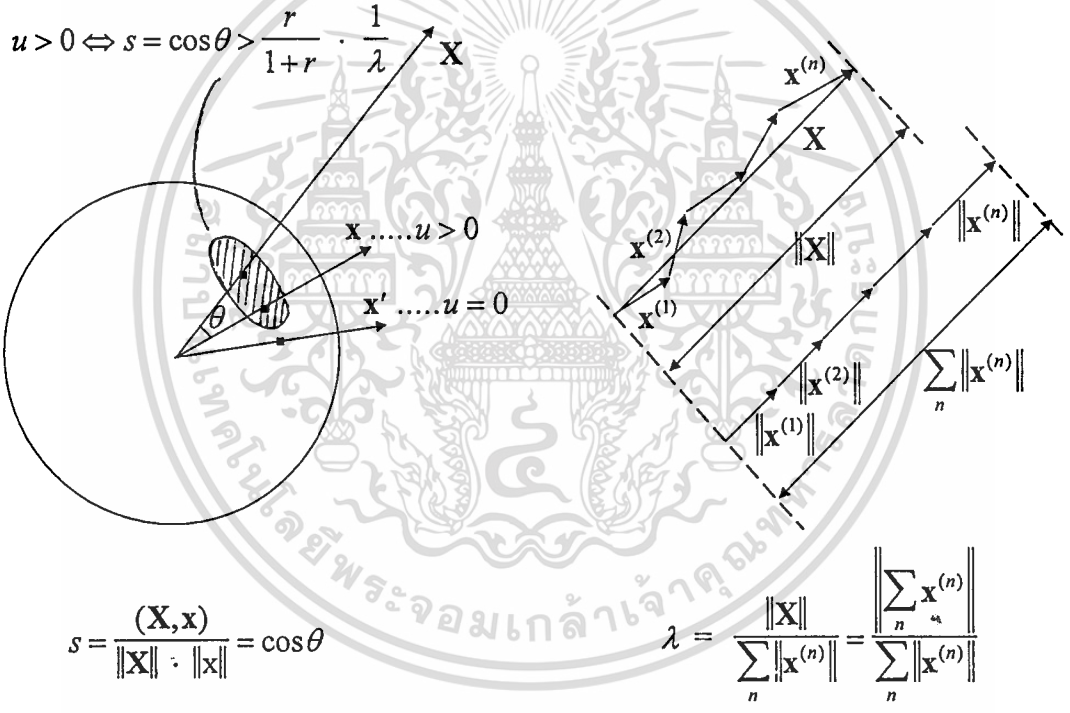
เนื่องจาก s ในสมการที่ 2.27 หามาจาก inner product ของสองเวกเตอร์แล้วนอร์มัลไลซ์ด้วยฟังก์ชันระยะทางของสองเวกเตอร์นั้น ดังนั้น s จะมีค่าเท่ากับ 1 ($s=1$) ก็ต่อเมื่ออินพุตเวกเตอร์ $\mathbf{x}$ มีทิศทางเดียวกับ $\mathbf{X}$ ซึ่งเป็นผลรวมของเทรนนิ่งเวกเตอร์ที่ใช้ในการสอนหรือกระตุ้นให้เน็ตเวิร์คเรียนรู้ทั้งหมด แต่ถ้าอินพุตเวกเตอร์ $\mathbf{x}$ ไม่ได้มีทิศทางเดียวกับ $\mathbf{X}$ แล้ว เราจะได้ว่า s จะมีค่าน้อยกว่า 1 ($s<1$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2.26 จะได้ค่า u มากกว่าศูนย์ $(u>0)$ ถ้าอินพุตเวกเตอร์ $\mathbf{x}$ มีความคล้ายคลึงกับ $\mathbf{X}$ มากพอที่จะทำให้ได้

$$s > \frac{r}{1+r} \cdot \frac{1}{\lambda} \tag{2.29}$$

รูปที่ 2.18 แสดงการเปรียบเทียบความเหมือนของรูปแบบในเวกเตอร์สเปซแบบหลายมิติ



2.18.1) 2.18.2)

พิจารณารูปที่ 2.18 ประกอบ อาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า S-cell จะได้ค่าผลลัพธ์เป็นค่าบวกถ้าทิศทางของอินพุตเวกเตอร์ $\mathbf{x}$ ตกลงในส่วนที่เป็นพื้นที่แรเงาของเวกเตอร์สเปซแบบหลายมิติที่แสดงในรูปที่ 2.18.1) แต่ถ้าอินพุตเวกเตอร์ $\mathbf{x}$ มีทิศทางออกไปนอกพื้นที่แรเงาส่วนนี้ S-cell ก็จะไม่แอคทีฟสำหรับอินพุตเวกเตอร์นี้

ขนาดของพื้นที่แรเงาซึ่งเป็นพื้นที่ที่ใช้ในการเปรียบเทียบความเหมือนของรูปแบบนี้จะมีขนาดเล็กลงเมื่อค่าของพารามิเตอร์ r มีค่ามากขึ้น ดังนั้นเราจึงสามารถปรับการคัดเลือกฟีเจอร์ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S-cell ได้ด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์ r นี้ ทำให้สามารถควบคุมการคัดเลือกฟีเจอร์ที่มีการผิดรูปหรือมีสัญญาณรบกวนได้ โดยค่าพารามิเตอร์ r ที่มีค่ามากขึ้นจะทำให้พื้นที่ในการเปรียบเทียบมีขนาดเล็กลง นั่นคือ จะยอมให้ฟีเจอร์มีการบิดเบี้ยวหรือผิดรูปได้น้อยลง หมายถึงจะรับผิดชอบเฉพาะฟีเจอร์ที่ตรงกับข้อมูลที่สอนให้เท่านั้นหรือไม่เช่นนั้นก็ต้องใกล้เคียงมากๆ ดังนั้น อินพุตเวกเตอร์ $\mathbf{x}$ ที่มาเปรียบเทียบกับ $\mathbf{X}$ ต้องมีทิศทางใกล้กับผลรวมของเทรนนิ่งเวกเตอร์มากๆ จึงจะสามารถตกลงในพื้นที่ได้

ส่วนค่าของ λ ในสมการที่ 2.28 มีค่าอยู่ในช่วง $\lambda \leq 1$ เนื่องจากทุกๆ เทรนนิ่งเวกเตอร์ $\mathbf{x}^n$ ที่ทำการสอนให้เซลนั้น โดยส่วนใหญ่แล้วจะมีทิศทางของเทรนนิ่งเวกเตอร์เหล่านี้จะเป็นทิศทางเดียวกัน ดังนั้นค่านอร์มของผลรวมของ $\mathbf{x}^n$ (norm of sum) จะมีค่าใกล้เคียงหรือเกือบจะเท่ากับค่าของผลรวมของนอร์มของ $\mathbf{x}^n$ (sum of norm) ดังในรูปที่ 2.18.2) ทำให้อัตราส่วนเมื่อเปรียบเทียบออกมาแล้วจะได้ค่าของ λ มีค่าเข้าใกล้ 1 เมื่อค่าของ λ น้อยกว่าหนึ่งเสมอ ดังนั้นค่าของ $r/\{(1+r)\lambda\}$ ทางด้านขวาของสมการที่ 2.29 จะไม่สามารถมีค่ามากกว่า 1 ได้เลย แต่ทั้งนี้ค่าพารามิเตอร์ r จะต้องเป็นค่าคงที่ค่าเดียวกันนี้ไปตลอดการเรียนรู้

2.5.4 วิเคราะห์การเชื่อมต่อในการเรียนรู้ หลักการหนึ่งของนีโอคอคนิตรอนที่สำคัญในการเรียนรู้คือเมื่อมีการเลือกเซลในการเรียนรู้มาจากเซลเพลนของ S-cell ขึ้นมาเป็นซีดเซลแล้ว ไม่เพียงแต่ซีดเซลเท่านั้นที่จะได้รับการสอนแล้วมีการปรับค่าให้ แต่ยังรวมถึงเซลรอบๆข้างของ S-cell นั้นที่จะได้รับอินพุตในการเชื่อมต่อแล้วปรับค่าให้ในทิศทางเดียวกับซีดเซล แล้วจึงนำกลุ่มของซีดเซลกับเซลรอบๆ ที่ได้รับการสอนให้แล้วปรับค่าในการเรียนรู้นี้ไปใช้ในการเชื่อมต่อ

หลังจากนั้นในขั้นตอนของการแยกแยะฟีเจอร์ ทุกๆ เซลอื่นๆในเซลเพลนของ S-cell ก็จะได้รับการเชื่อมต่อเดียวกันนี้เหมือนๆ กับที่ซีดเซลได้รับเช่นกัน โดยทุกๆ เซลในเซลเพลนจะได้รับอินพุตในการเชื่อมต่อจากเซลในตำแหน่งที่สัมพันธ์กันของ C-cell ในเลเยอร์ก่อนหน้านั้น โดย C-cell จะมีการเลื่อนตำแหน่งของเซลขนานไปกับการเลื่อนตำแหน่งของ S-cell ผ่านค่าถ่วงในการเชื่อมต่อของกลุ่มเซลที่สนใจนั้น แล้วเลื่อนกลุ่มเซลที่สนใจไปตาม S-cell ที่กำลังประมวลผลในการแยกแยะฟีเจอร์ซ้ำกันไปเรื่อยๆ ดังนั้นทุกๆ S-cell ในเพลนนั้นก็จะรับผิดชอบต่อฟีเจอร์เดียวกัน แต่แตกต่างกันที่ตำแหน่งของฟีเจอร์บนตัวอักษรที่กำลังทำการแยกแยะ

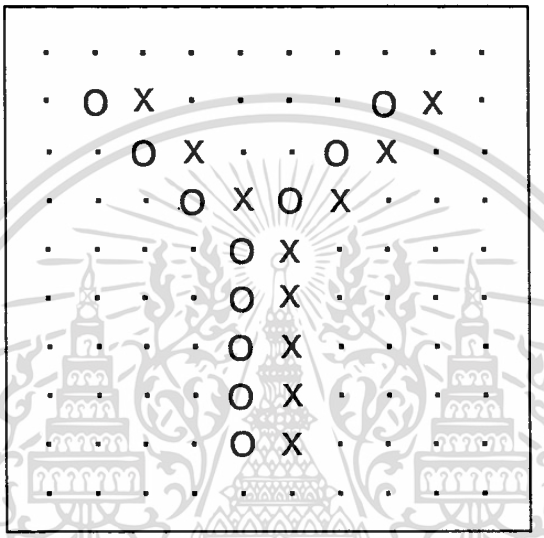
2.6 วิเคราะห์หน้าที่ของ C-cell

ในหัวข้อนี้จะยกเลิกการเปรียบเทียบความเหมือน s ของสมการที่ 2.27 ในการวิเคราะห์บนเวกเตอร์สเปซแบบหลายมิติ แต่จะพิจารณาในการการเปรียบเทียบความเหมือนของรูปแบบบนสอง

เอกสารนี้เผยแพร่เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิติแทน ดังในรูปที่ 2.19 การเปรียบเทียบรูปแบบสองรูปแบบ โดยที่รูปแบบแรกเขียนด้วยวงกลม อีกรูปแบบหนึ่งเขียนด้วยกากบาท ทั้งสองรูปแบบนี้ถือว่าคล้ายกันมากสำหรับการพิจารณาในสองมิติ แต่ถ้าเป็นในเวกเตอร์สเปซแบบหลายมิติ เวกเตอร์ของทั้งสองรูปแบบนี้จะ orthogonal กัน

รูปที่ 2.19 แสดงการเปรียบเทียบความเหมือนของสองรูปแบบในแบบสองมิติ



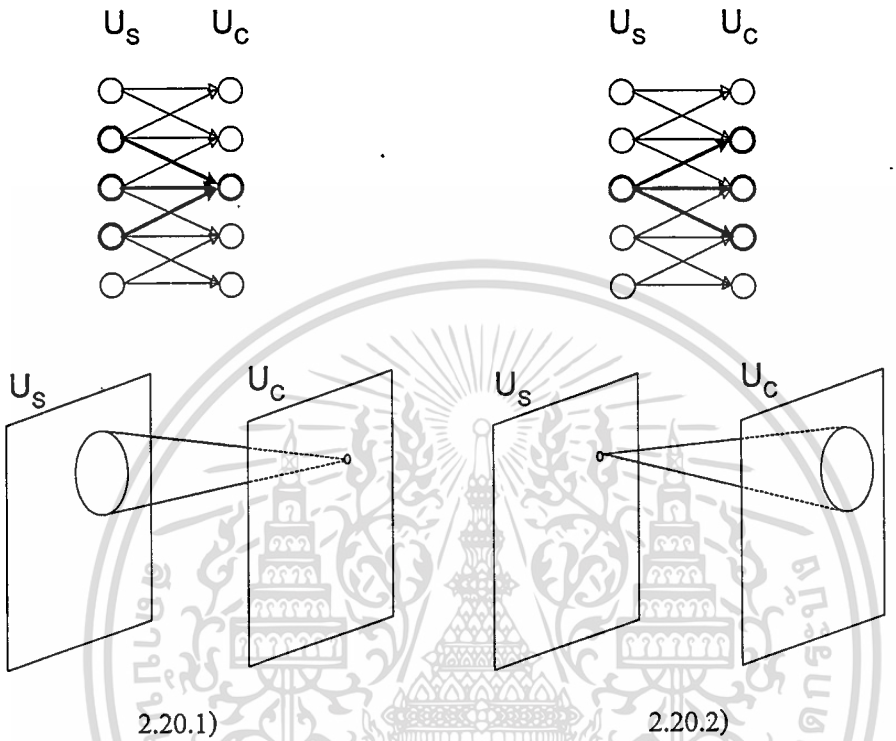
หน้าที่สำคัญของ C-cell ในการพิจารณาแบบสองมิติ คือเป็นเลเยอร์ที่แทรกเข้ามาในเน็ตเวิร์คแล้วยอมให้ฟีเจอร์ที่ผ่านการแยกแยะมาจาก S-cell แล้ว สามารถจะมีการเลื่อนตำแหน่งได้ โดยที่การเชื่อมต่อเข้าสู่ C-cell จะเป็นค่าคงที่ไม่สามารถปรับค่าได้ และแต่ละ C-cell จะรับสัญญาณกระตุ้นจากกลุ่มของ S-cell ที่ได้แยกแยะฟีเจอร์เดียวกันมา

ถ้าหากว่าอินพุตแพทเทิร์นมีการผิดรูปหรือเลื่อนตำแหน่งไปเล็กน้อยจากเทรนนิ่งแพทเทิร์นแล้ว ผลลัพธ์ในการรับผิดชอบต่ออินพุตแพทเทิร์น และผลลัพธ์ในการรับผิดชอบต่อเทรนนิ่งแพทเทิร์นจะไม่มีการซ้อนทับกันในเลเยอร์ของ S-cell เพราะเวกเตอร์ผลลัพธ์ในการรับผิดชอบต่อแพทเทิร์นทั้งสองจะ orthogonal ต่อกันในเวกเตอร์สเปซแบบหลายมิติ

ในเลเยอร์ของ C-cell การรับผิดชอบของเลเยอร์นี้ต่อ S-cell คือการทำเบลอร์กับค่าของ S-cell ทำให้ผลลัพธ์ในการรับผิดชอบต่ออินพุต และเทรนนิ่งแพทเทิร์นมีการซ้อนทับกันในเลเยอร์ของ C-cell ทำให้การเปรียบเทียบความเหมือนหรือค่า s ของ S-cell มีค่ามากพอที่จะทำให้ผลลัพธ์ในการรับผิดชอบต่อรูปแบบของ S-cell ในเลเยอร์ต่อไปออกมาเป็นบวกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.20 แสดงการเชื่อมต่อจาก S-cells มายัง C-cell

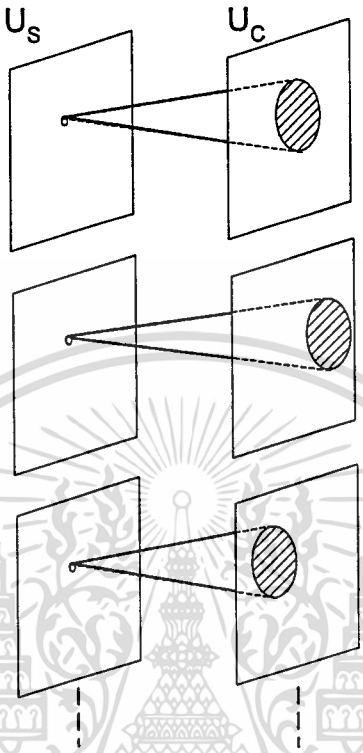


พิจารณาในรูปที่ 2.20 2.20.1) โดย C-cell จะแอคทีฟก็ต่อเมื่อมีอย่างน้อยหนึ่ง S-cell ที่แอคทีฟอยู่แต่ถ้ามองในอีกด้านหนึ่งจะพบว่าหนึ่งเซลของ S-cell จะให้สัญญาณกระตุ้นไปยังกลุ่มของ C-cell หลายๆ เซลได้เช่นกันดังในรูปที่ 2.20.2) หมายความว่าผลลัพธ์ของ C-cell จึงเป็นการทำเบลอร์ (blurred) ของผลลัพธ์ของ S-cell ในทางกลับกันด้วย

แต่ต้องคำนึงถึงว่า การเปรียบเทียบความเหมือนกันระหว่างสองรูปแบบในรูปที่ 2.19 จะมีค่ามากขึ้นด้วยก์ารทำเบลอร์ให้กับรูปแบบ ถ้ามีการทำเบลอร์ให้กับอินพุตแพทเทิร์นโดยตรง จะทำให้รายละเอียดโครงสร้างในรูปแบบของอินพุตแพทเทิร์นจะถูกเบลอร์ไปด้วย แล้วความแตกต่างในรายละเอียดโครงสร้างจะไม่สามารถแยกแยะได้ ดังนั้นในนีโอคอคนิตรอนการทำเบลอร์นั้นเกิดขึ้นในเลเยอร์ของ C-cell หลังจากที่ได้มีการแยกแยะโลคอลฟีเจอร์ออกมาก่อนแล้วในเลเยอร์ของ S-cell และการทำเบลอร์จะเกิดขึ้นอย่างเป็นอิสระกันในแต่ละเซลเพลนดังแสดงในรูปที่ 2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.21 แสดงการทำเบลอร์เกิดขึ้นในแต่ละเซลเพลนของเลเยอร์ของ C-cell



ถ้าพิจารณาการโอนข้อมูลผลลัพธ์จาก S-cell ในเลเยอร์ก่อนหน้านั้นไปยัง C-cell ในเลเยอร์ระดับกลางๆแล้ว เราอาจกล่าวได้ว่า S-cell จะทำการแยกแยะความเหมือนระหว่างอินพุตที่เป็นตัวกระตุ้นกับเทรนนิ่งแพทเทิร์นด้วยการพิจารณาถึงระดับการซ้อนทับกันระหว่างรูปแบบที่ถูกทำการเบลอร์มาแล้วนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อัลกอริทึม และค่าของเซลในแต่ละขั้นตอนของการประมวลผล

จากทฤษฎีการทำงานในเน็ตเวิร์คของนีโอคอคนิตรอนในบทที่ 2 ที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น ในบทนี้ขอกล่าวถึงการทำงานของนีโอคอคนิตรอนในการโปรแกรมด้วยอัลกอริทึม ซึ่งแบ่งออกเป็นอัลกอริทึมในขั้นตอนของการสร้างและการกำหนดค่าเริ่มต้นให้เน็ตเวิร์ค อัลกอริทึมในขั้นตอนของการเรียนรู้ และอัลกอริทึมในขั้นตอนของการแยกแยะตัวอักษร เนื่องจากเน็ตเวิร์คของนีโอคอคนิตรอนนั้นประกอบด้วย 2 เลเยอร์คือ S-layer และ C-layer ประกอบกันขึ้นมาเป็นเน็ตเวิร์ค ในที่นี้ระบบของการแยกแยะลายมือเขียนตัวเลขไทยได้ออกแบบมาทั้งหมด 4 เลเยอร์

โดยที่ในขั้นตอนของการแยกแยะตัวอักษรนั้น ประกอบด้วยการทำงานของ S-layer และ C-layer การทำงานของทุกๆ S-layer จะเป็นกระบวนการของการแยกแยะฟีเจอร์ ส่วนของทุกๆ C-layer นั้นจะเป็นกระบวนการรวมฟีเจอร์ ดังนั้นอัลกอริทึมในขั้นตอนของการแยกแยะตัวอักษร จึงสรุปออกมาได้เป็น 2 อัลกอริทึม คืออัลกอริทึมของ S-layer (U_S Recognition - Feature extracting) และอัลกอริทึมของ C-layer (U_C Recognition - Feature integrating)

3.1 อัลกอริทึมในขั้นตอนการสร้างเน็ตเวิร์ค

3.1.1 อัลกอริทึมที่ 1 (Initial Stage) อัลกอริทึมนี้เป็นการสร้างเพลนในแต่ละเลเยอร์ของเน็ตเวิร์ค และค่าถ่วงต่างๆ ในเน็ตเวิร์ค

Step 0. Create layers U_S, U_C, U_V and initial cells in planes to zero

Step 1. Create variable excitatory weights a and initial cells in weight to zero

Step 2. Create variable inhibitory weights b and initial value to zero

Setp 3. Create fixed excitatory weights c

Step 4. for each layer do step 5-6

Step 5. Generate value in cells of c (eq. 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

where $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = 0.7$ and $\gamma_4 = 0.4$

Step 6. Normalize fixed weight c (eq. 6)

Step 7. Create fixed excitatory weights d

Step 8. for each layer do step 9

Step 9. Generate value in cells of d (eq. 9)

where $\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = 0.7$ and $\delta_4 = 1.0$

Step 10. Create joining j and initial all unit to zero

Step 11. Load joining data from file to set joining value to 1

3.2 อัลกอริทึมที่ 2 ในขั้นตอนของการเรียนรู้ (Training Stage)

นีโอคอคนิตรอนจะทำการเรียนรู้ด้วยชุดข้อมูลในการเรียนรู้สำหรับแต่ละเลเยอร์ โดยที่เลเยอร์แรกจะต้องทำการเรียนรู้ก่อน แล้วจึงจะทำการเรียนรู้ในเลเยอร์ต่อไป จนถึงเลเยอร์สุดท้ายได้ โดยที่เลเยอร์ใดจะทำการเรียนรู้ได้นั้น เลเยอร์ในก่อนหน้านั้นจะต้องทำการเรียนรู้ก่อน และจะเริ่มต้นการเรียนรู้ด้วยการวางเทรนนิ่งแพทเทิร์นของแต่ละเลเยอร์ที่อินพุตเพลน U_{C0} ทีละเทรนนิ่งแพทเทิร์น แล้วผ่านกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์มาจนถึง C-layer ก่อนหน้า S-layer ที่จะทำการเรียนรู้ ดังนั้น ในอัลกอริทึมนี้ แบ่งออกเป็นอัลกอริทึม 2.1 ของขั้นตอนการเรียนรู้ของเลเยอร์ที่ 1 ซึ่งไม่ต้องมีการแยกแยะฟีเจอร์ของเทรนนิ่งแพทเทิร์นมาในเลเยอร์ก่อนหน้า และอัลกอริทึมที่ 2.2 ของขั้นตอนการเรียนรู้ของเลเยอร์ที่ 2, 3 และ 4 ซึ่งจำเป็นจะต้องผ่านการแยกแยะฟีเจอร์ของเทรนนิ่งแพทเทิร์นมาในเลเยอร์ก่อนหน้านั้น

3.2.1 อัลกอริทึมที่ 2.1 : Layer 1 Training Stage ($l = 1$)

Step 0. for each U_{S1} planes ($k = 0$ to $k <$ no. of U_{S1} planes) do step 1-4

Step 1. Load training pattern for this plane from file to $a_1(\kappa, v, k)$

where $\kappa = 0$

Step 2. initial sum-of-product to zero

Step 3. train a_1 : (eq. 10)

Step 3.1 for each cell (v) of c_1 do step 3.2-3.3

Step 3.2 update weight a_1 by calculate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$temp\_a = a_1(0,v,k)$$

$$a_1(0,v,k) = q_1 \cdot c_1(v) \cdot a_1(0,v,k)$$

Step 3.3 calculate sum-of-product = sum-of-product +

$$\left(c_l(v) \cdot \left(temp\_a^2\right)\right)$$

Step 4. train b_1: (eq. 11)

Step 4.1 update weight b_1 by calculate

$$b_1(k) = q_1 \cdot \sqrt{\text{sum-of-product}}$$

3.2.2 อัลกอริทึมที่ 2.2 : Layer 2,3,4 Training Stage

Step 0. for each layer (l) do step 1-11

Step 1. for each set of training pattern do step 2-11

Step 2. for each U_{Sl} planes ($\hat{k} = 0$ to $\hat{k}$ < no. of U_{Sl} planes) do step 3-11

Step 3. Load training pattern for this plane ($\hat{k}$) of this layer (l) from file to center of input plane (U_{C0})

Step 4. for each preceding layer ($R = 1$ to $R < l$) do step 5-6

Step 5. U_S Recognition (layer = R)

Step 6. U_C Recognition (layer = R)

Step 7. now, we have U_{Cl-1}, initial sum-of-product to zero

Step 8. for each U_{Cl-1} planes ($\kappa = 0$ to κ < no. of U_{Cl-1} planes) do step 9-10

Step 9. choose representative cell ($\hat{n}$) to be a seed cell of plane

Step 10. train a_l : (eq. 10)

Step 10.1 for each cell (v) of c_l do step 10.2-10.3

Step 10.2 update weight a_l by calculate

$$a_l(\kappa,v,\hat{k}) = a_l(\kappa,v,\hat{k}) + \left(q_l \cdot c_l(v) \cdot U_{Cl-1}(\kappa,\hat{n}+v)\right)$$

Step 10.3 calculate sum-of-product = sum-of-product

$$+ \left(c_l(v) \cdot U^2_{Cl-1}(k,\hat{n}+v)\right)$$

Step 11. train b_l: (eq. 11)

Step 11.1 update weight b_l by calculate

$$b_l(\hat{k}) = b_l(\hat{k}) + q_l \cdot \sqrt{\text{sum-of-product}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 อัลกอริทึมในขั้นตอนการจดจำตัวอักษร

3.3.1 อัลกอริทึมที่ 3 : U_S Recognition - Feature extracting อัลกอริทึมนี้เป็นกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์ในการจดจำตัวอักษรของ S-layer ใดๆ (เมื่อให้ layer = l)

Step 0. for each U_{Sl} planes ($k = 0$ to $k <$ no. of U_{Sl} planes) do step 1-12

Step 1. for each cell (n) of U_{Sl} planes (all unit in plane) do 2-12

Step 2. initial inhibit = 0 and value = 0

Step 3. for each U_{Cl-1} planes ($\kappa = 0$ to $\kappa <$ no. of U_{Cl-1} planes) do step 4-7

Step 4. initial excite = 0 and sum-of-product = 0

Step 5. for each cell (v) of $a_l(\kappa, v, k)$ do step 6-7

Step 6. calculate excite = excite +

$$\left(a_l(\kappa, v, k) \cdot U_{Cl-1}(n+v, \kappa)\right)$$

Step 7. calculate sum-of-product = sum-of-product +

$$\left(c_l(v) \cdot U^2_{Cl-1}(n+v, \kappa)\right)$$

Step 8. calculate inhibit = $\sqrt{\text{sum - of - product}}$

Step 9. update $U_{Vl}(n)$ = inhibit

Step 10. calculate e = excite, h = $\dfrac{r}{1+r_l} \cdot b_l(k) \cdot U_{Vl}(n)$

where $r_1 = 1.5$, $r_2 = 4.0$, $r_3 = 1.0$ and $r_4 = 0.8$

Step 11. calculate value = $\dfrac{1+e}{1+h} - 1$

Step 12. update $U_{Sl}(k, n) = r_l \cdot \max(\text{value}, 0)$

3.3.2 อัลกอริทึมที่ 4 : U_C Recognition - Feature integrating อัลกอริทึมนี้เป็นกระบวนการรวมฟีเจอร์ในการจดจำตัวอักษรของ C-layer ใดๆ (เมื่อให้ layer = l)

Step 0. for each U_{Cl} planes ($k = 0$ to $k <$ no. of U_{Cl} planes) do step 1-9

Step 1. for each cell (n) of U_{Cl} planes (all unit in plane) do 2-9

Step 2. initial value = 0

Step 3. for each U_{Sl} planes ($\kappa = 0$ to $\kappa <$ no. of U_{Sl} planes) do step 4-7

Step 4. initial sum-of-product = 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Step 5. for each cell (v) of $d_l(v)$ do step 6

Step 6. calculate sum-of-product = sum-of-product +

$$\left(d_l(v) \cdot U_{Sl}(n+v,\kappa)\right)$$

Step 7. calculate value = value + ($j(\kappa,k)$ · sum-of-product)

Step 8. calculate ψ (value) (eq. 8)

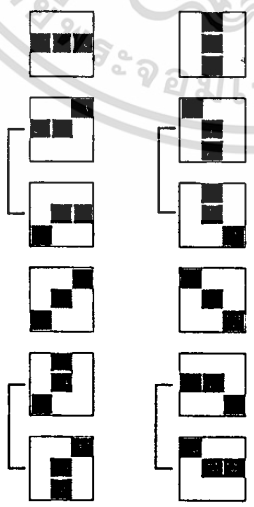
Step 9. update $U_{Cl}(k,n) = \psi$ (value)

3.4 การประมวลผลและค่าของเซลในขั้นตอนการเรียนรู้

ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงการประมวลผลในการเรียนรู้ของเซลในเพลน ซึ่งค่าของเซลในเพลนที่ปรากฏขึ้นมา (มีค่ามากกว่า 0) แทนการแอคทีฟของเซลอันเนื่องมาจากการกระตุ้นของฟีเจอร์ใดๆ ที่ตำแหน่งของเซลบนเพลนนั้น ส่วนค่าของเซลในเพลนที่แทนเทรนนิ่งแพทเทิร์นจะเป็นค่า 1 เพื่อแสดงเซลที่มีการแอคทีฟ และ 0 แสดงเซลที่ไม่แอคทีฟ ตามฟีเจอร์ในเทรนนิ่งแพทเทิร์น

รูปที่ 3.1 แสดงค่าในเซลเมื่อผ่านแต่ละขั้นตอนในการเรียนรู้ของ U_{S1} ในเลเยอร์ที่ 1 ตามอัลกอริทึมที่ 2-1

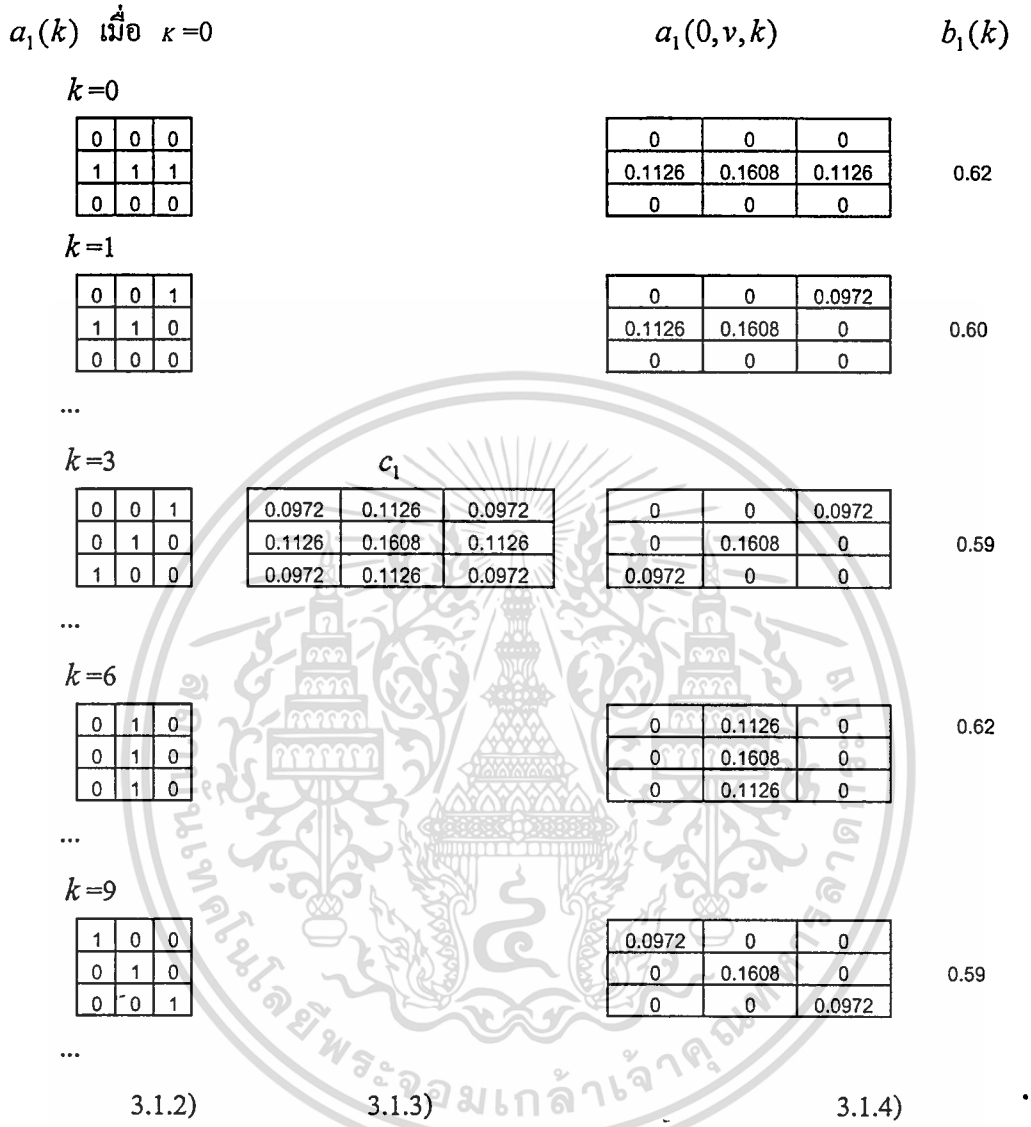
รูปที่ 3.1 แสดงผลและค่าในเซลของการเรียนรู้ในเลเยอร์ที่ 1



3.1.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 (ต่อ)



3.1.1) เทรนนิ่งแพทเทิร์นสำหรับการเรียนรู้ของ U_{S1} ทั้ง 12 เพลน

3.1.2) ค่าในเซล $a_1(0,v,k)$ ของแต่ละเพลน (แสดงไว้เป็นตัวอย่างเฉพาะบางเพลนเท่านั้น) เมื่อผ่านขั้นตอนการโหลดเทรนนิ่งแพทเทิร์นในรูป 2.17.1) ของ Step 1.

3.1.3) เป็นอาเรย์ของค่าถ่วงคงที่ c_1

3.1.4) แสดงตัวอย่างค่าของ $a_1(0,v,k)$ เมื่อผ่านการเทรนแล้วด้วยเทรนนิ่งแพทเทิร์นของแต่ละเพลนตามสมการที่ 2.10 ของ Step 3. และค่าของ $b_1(k)$ ตามสมการที่ 2.11 เมื่อผ่าน Step 4. โดยให้อัตราการเรียนรู้ $q_1 = 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนของการหาค่าถ่วงในการเรียนรู้ โดยยังไม่ได้ตั้งค่าอัตราการเรียนรู้สำหรับนำไปใช้ แต่ในการทดลองพบว่าการให้ค่าอัตราการเรียนรู้ควรจะใช้ค่าที่สูงเพื่อที่จะทำให้การปรับค่าถ่วงเสร็จสมบูรณ์ภายในขั้นตอนการเทรนรอบเดียว และได้ค่าถ่วงที่มากพอจะนำไปใช้ในการแยกแยะฟีเจอร์ต่อไป เพราะถ้าเลือกใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ค่าน้อยเกินไป จะทำให้ค่าที่แสดงว่ามีการพบฟีเจอร์ในเซลใดๆ หรือค่าที่บอกว่าฟีเจอร์ใดแอคทีฟขึ้นมามีค่าน้อยตามไปด้วย จนในเลเยอร์ต่อไปอาจจะไม่สามารถแยกแยะต่อได้ หรือให้ค่าในเลเยอร์สุดท้ายที่แสดงว่าเป็นตัวอักษรใดออกมาเป็นค่าที่น้อยมากจนไม่อาจกล่าวได้ว่าการแยกแยะนั้นแสดงผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือสำหรับตัวอักษรนั้น

ดังนั้นในรูปที่ 3.2 ขอแสดงค่าถ่วง a_1 และ b_1 ในเลเยอร์ที่ 1 เมื่อเลือกใช้ค่า q_1 เท่ากับ 900,000 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการทดลองจริง จะพบว่าได้ค่าถ่วงสูงพอสมควร แต่ในเลเยอร์ต่อๆ ไปค่าถ่วงจะน้อยลงไปเรื่อยๆ เมื่อผ่านการแยกแยะฟีเจอร์ในเทรนนิ่งแพทเทิร์นบนเลเยอร์ก่อนหน้านั้นมาก่อนที่จะทำการเทรนในเลเยอร์ที่ทำการเรียนรู้ เพราะค่าในเซลของ U_{SI} และ U_{CI} ที่ได้จากการแยกแยะฟีเจอร์ในเลเยอร์ก่อนหน้านั้น โดยส่วนใหญ่เซลที่แอคทีฟขึ้นมาจะมีค่าน้อยกว่า 1 เมื่อเอาค่าในเซลของ U_{CI} นั้นมาทำการเรียนรู้ จึงจะได้ค่าถ่วงที่น้อยกว่าในเลเยอร์ที่ 1 นี้

รูปที่ 3.2 แสดงค่าถ่วง a_1 และ b_1 ในเลเยอร์ที่ 1 เมื่อใช้ค่า $q_1 = 900000$ ในการเรียนรู้

$a_1(0,v,k)$ $b_1(k)$

$k=0$

0	0	0
101360.55	144800.78	101360.55
0	0	0

559258.16

$k=1$

0	0	87439.26
101360.55	144800.78	0
0	0	0

547942.08

...

$k=3$

0	0	87439.26
0	144800.78	0
87439.26	0	0

536387.33

...

$k=6$

0	101360.55	0
0	144800.78	0
0	101360.55	0

559258.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 (ต่อ)

...

$k=9$

87439.26	0	0
0	144800.78	0
0	0	87439.26

536387.33

...

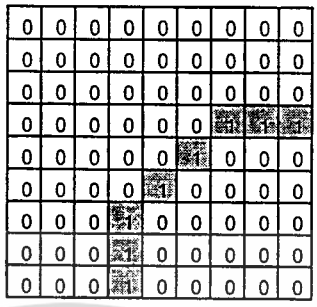
พิจารณารูป 3.2 เป็นค่าถ่วงที่นำไปใช้ในการแยกแยะฟีเจอร์ในรูป 3.1.1 ในเลเยอร์ที่ 1 ต่อไปในขั้นตอนของการจดจำตัวอักษร โดยจะพบว่าค่าถ่วงในอาเรย์ของ a_1 จะมีค่ามากตรงกลางเพลนแล้วค่อยๆ ลดค่าลงไปในเซลรอบๆจุดกลางเพลนนั้น ตามค่าของค่าถ่วงคงที่ c_1 ที่หามาจากฟังก์ชันระยะทางในสมการที่ 4,5 และ 6 โดยจุดตรงกลางเพลนจะมีฟังก์ชันระยะทางซึ่งแสดงถึงระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของรีเซฟทีฟฟิลด์น้อยที่สุด เพราะอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน แต่ในเซลรอบๆ ยิ่งห่างออกไปจะได้ค่าฟังก์ชันระยะทางมากขึ้น แต่ค่าถ่วงในเซลนั้นจะน้อยลงไป ทำให้ค่าถ่วง a_1 ที่ได้จากการเรียนรู้จึงมีลักษณะตาม c_1 ที่ได้ค่ามากตรงกลางเพลน ที่เป็นเช่นนี้ก็เพื่อเน้นฟีเจอร์ที่ตรงจุดกลางในการแยกแยะ โดยถ้าพบว่ามีจุดที่เซลแอคทีฟตรงกับจุดกลางของเพลนค่าถ่วง เซลนั้นก็จะโดนกระตุ้นด้วยค่าถ่วงที่จุดกลางมากกว่าเซลที่แอคทีฟขึ้นรอบๆจุดกลาง ส่วนเซลที่ตรงกับจุดที่ไม่มีเซลใดแอคทีฟขึ้นมาในฟีเจอร์ก็จะเป็นค่าศูนย์ เมื่อไปแยกแยะแล้วพบเซลที่แอคทีฟตรงกับจุดที่ค่าถ่วงเป็นศูนย์นี้ ก็จะไม่โดนกระตุ้น และไม่สนใจ (ได้ค่าเป็นศูนย์) ทำให้เซลที่ไม่เกี่ยวข้องกับฟีเจอร์ที่กำลังแยกแยะในเพลนนั้นไม่แอคทีฟขึ้นมาให้การวิเคราะห์สับสน

ส่วนค่าของ b_1 หาได้จากสมการที่ 2.11 ในการเรียนรู้จะได้เป็นค่าถ่วงตัวยับยั้ง b_1 ในกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์ ซึ่งเป็นค่าที่ได้มาจากการหาค่าเฉลี่ยของค่าถ่วง a_1 ด้วยวิธีการรูทมีนสแควร์ (root-mean-square) ของทุกๆเซล ในทุกเพลนของอาเรย์ a_1

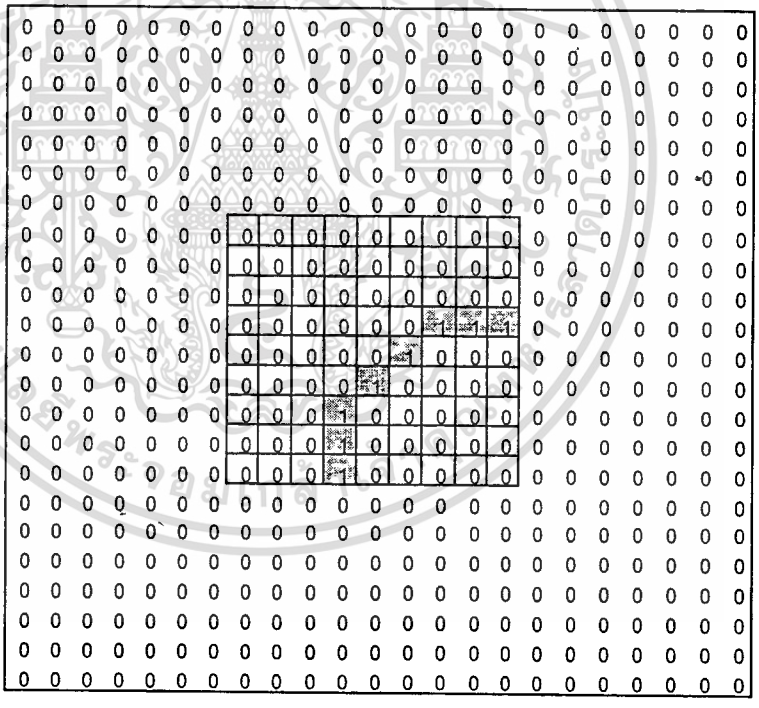
ต่อไปจะแสดงผลของการเรียนรู้ในเลเยอร์ที่ 2 โดยใช้ค่าถ่วงของเลเยอร์ที่ 1 มาทำการแยกแยะฟีเจอร์ในเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่ทำการเทรนให้เฉพาะเพลนที่ 1 ของ U_{S2} เพื่อเป็นตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.3 ทดสอบเมื่อให้ q_1 และ $q_2^{'}$ มีค่าเป็น 900000 จะได้ผลค่าในเซลดังที่จะแสดงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 แสดงผลและค่าในเซลของการเรียนรู้เทรนนิ่งแพทเทิร์นของเพลนที่ 1 ในเลเยอร์ U_{S2}



3.3.1)



3.3.2)

3.3.1) เทรนนิ่งแพทเทิร์นตัวอย่างที่ทำสอนให้เพลนที่ 1 ของเลเยอร์ 2 เรียนรู้

3.3.2) เมื่อทำการโหลดเทรนนิ่งแพทเทิร์นไว้ที่กลางเพลนของอินพุตเพลน U_{C0}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อโหลดเทรนนิ่งแพทเทิร์นไว้บนอินพุตเพลนดังรูปที่ 3.3.2) แล้วผ่านการแยกแยะฟีเจอร์ที่เป็นเส้นแนวนอนด้วยค่าถ่วง a_1 และ b_1 ประจำเพลนที่ 1 ของ U_{S1} ตามค่าที่แสดงไว้ในรูป 3.2 แถวที่ k=0 ด้วยสมการที่ 2.1 (ซึ่งจะแสดงวิธีการประมวลผลอย่างละเอียดและค่าในเซลในหัวข้อต่อไป) แล้วจะได้ค่าในเซลบนเพลนแรกของ U_{S1} จากการแยกแยะฟีเจอร์ดังนี้

$U_{S1}(k=0)$

0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ส่วนผลของการแยกแยะฟีเจอร์ในเพลนอื่นๆ ด้วยค่าถ่วง a_1 และ b_1 ประจำแต่ละเพลนของ U_{S1} แล้วจะได้ค่าในเซลบนแต่ละเพลนของ U_{S1} จากการแยกแยะฟีเจอร์ดังนี้

$U_{S1}(k=1)$ ในเพลนที่ 2

0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$U_{S1}(k=2)$ ในเพลนที่ 3

0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

$U_{S1}(k=3)$ ในเพลนที่ 4

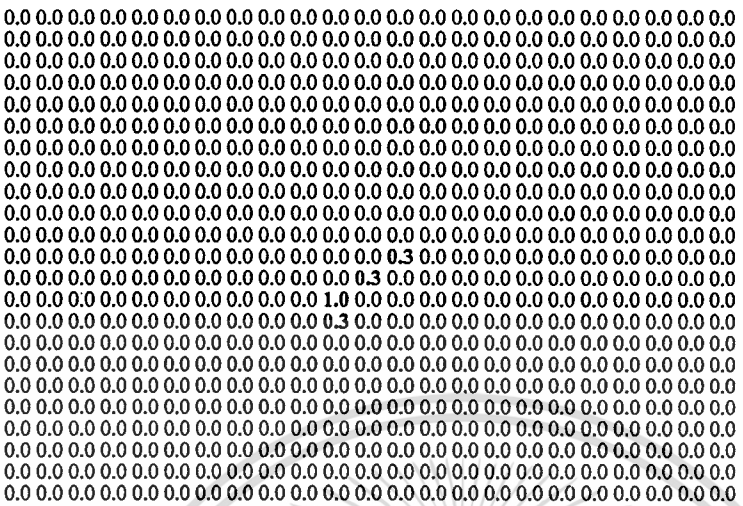
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

$U_{S1}(k=4)$ ในเพลนที่ 5

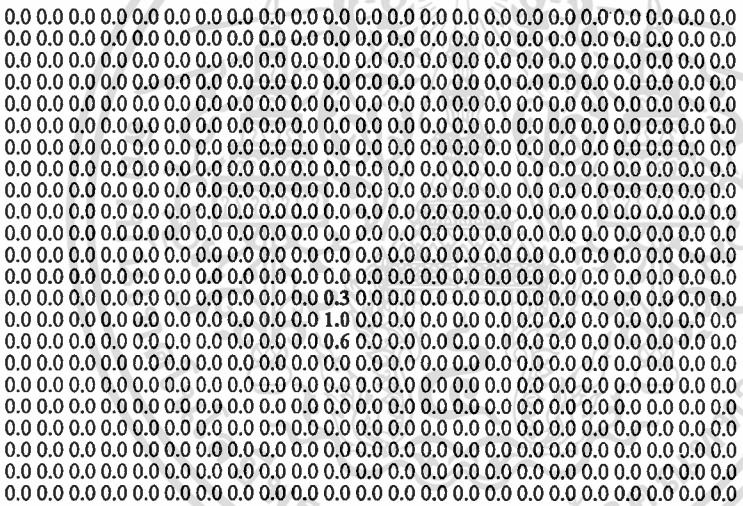
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

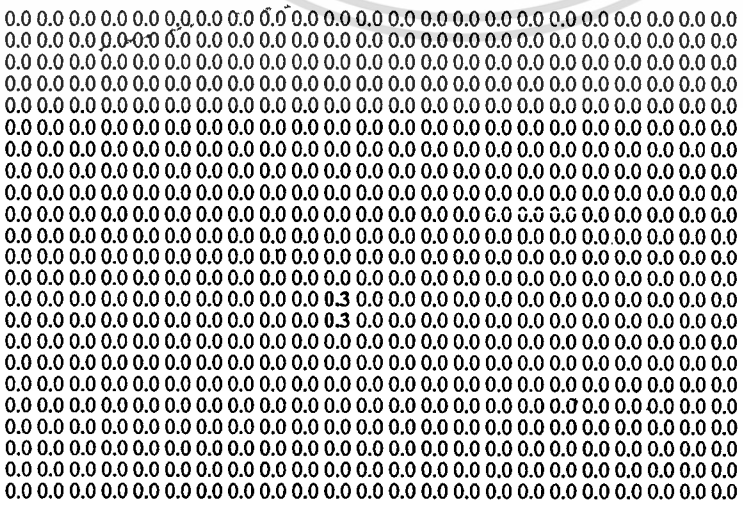
$U_{S1}(k=5)$ ในเพลนที่ 6



$U_{S1}(k=6)$ ในเพลนที่ 7

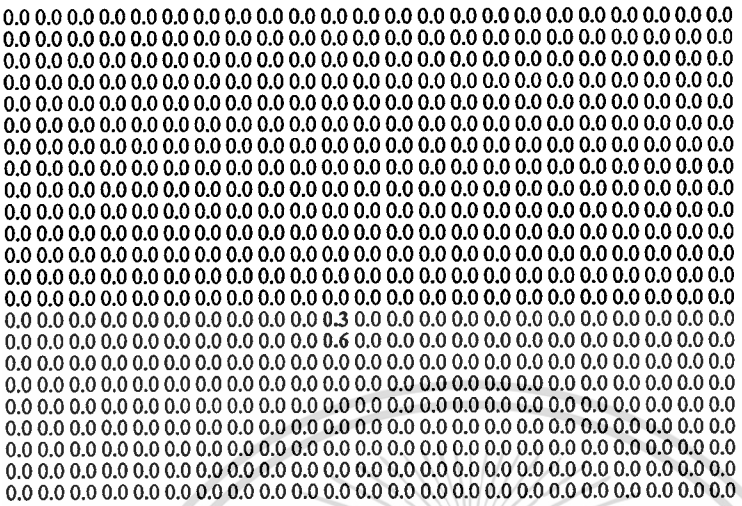


$U_{S1}(k=7)$ ในเพลนที่ 8

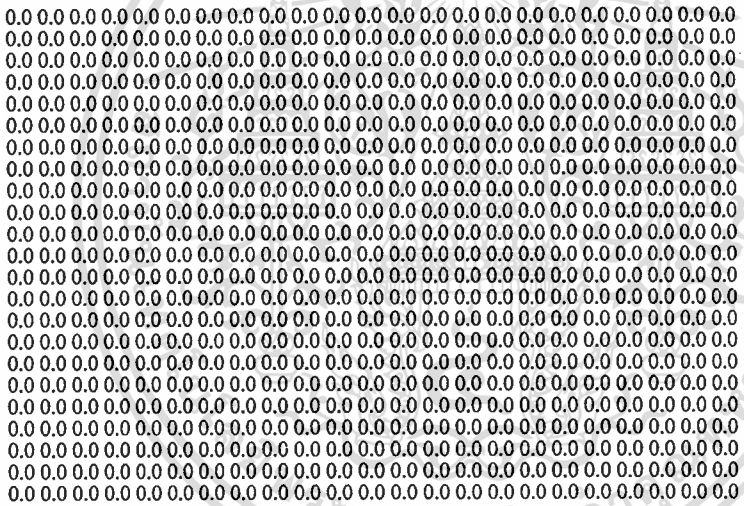


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

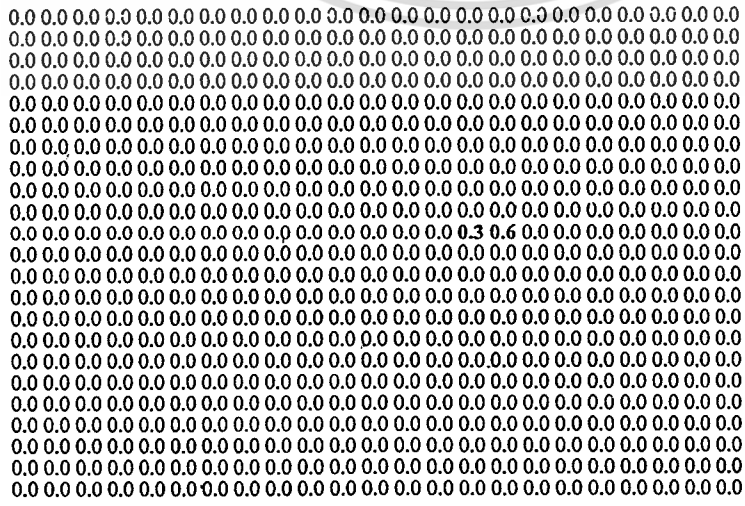
$U_{S1}(k=8)$ ในเพลนที่ 9



$U_{S1}(k=9)$ ในเพลนที่ 10

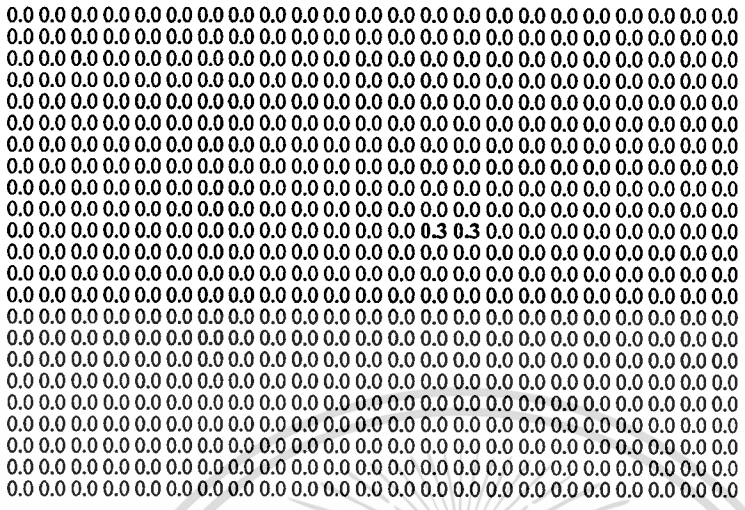


$U_{S1}(k=10)$ ในเพลนที่ 11



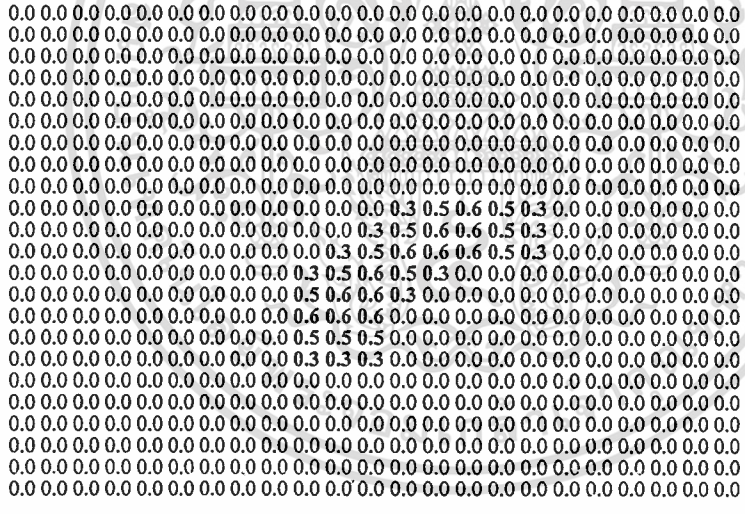
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$U_{S1}(k=11)$ ในเพลนที่ 12



เมื่อค่าในเพลนยับยั้ง (Inhibit plane U_{V1}) สำหรับเทรนนิ่งแพทเทิร์นนี้ ของเลเยอร์ที่ 1 เป็นดังนี้

Inhibit plane U_{V1}



จากค่าในเซลบนเพลนของ U_{S1} แต่ละเพลนนั้นจะมีค่ามากกว่า 0 ในเซลที่แอคทีฟขึ้นมา เพราะมีฟีเจอร์ของเพลนที่กำลังแยกแยะอยู่บนเทรนนิ่งแพทเทิร์นนี้บนตำแหน่งนั้น (n) แต่ถ้าไม่พบว่ามีฟีเจอร์ที่กำลังแยกแยะอยู่บนตำแหน่งใดในเพลนเลย ก็จะได้ค่าของเซลออกมาเป็นศูนย์หมด เช่นในตัวอย่างเพลนที่ 10 $(k=9)$ แต่การแยกแยะต้องพิจารณาร่วมกับในเพลนยับยั้ง บนตำแหน่งที่สัมพันธ์กันด้วย ตามสมการที่ 2.1

เมื่อผ่านขั้นตอนของการรวมฟีเจอร์เข้าด้วยกันและการทำเบลอร์ในเลเยอร์ U_{C1} ของค่าที่ได้จากการแยกแยะฟีเจอร์ทั้ง 12 เพลนของ U_{S1} ที่แสดงมาแล้วนั้น จะได้ออกมาเป็นค่าในเซลบนเพลนของ U_{C1} ที่สัมพันธ์กับการรวมเข้าด้วยกัน (พิจารณาตามเส้นที่ลากด้านข้างของเทรนนิ่งแพท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทิร์นในรูปที่ 3.1.1) ประกอบ) ดังต่อไปนี้

การรวมเข้าด้วยกัน (joining) ในการเชื่อมต่อจาก U_{S1} ไปยัง U_{C1}

$U_{S1}(0) \rightarrow U_{C1}(0)$

$U_{S1}(1), U_{S1}(2) \rightarrow U_{C1}(1)$

$U_{S1}(3) \rightarrow U_{C1}(2)$

$U_{S1}(4), U_{S1}(5) \rightarrow U_{C1}(3)$

$U_{S1}(6) \rightarrow U_{C1}(4)$

$U_{S1}(7), U_{S1}(8) \rightarrow U_{C1}(5)$

$U_{S1}(9) \rightarrow U_{C1}(6)$

$U_{S1}(10), U_{S1}(11) \rightarrow U_{C1}(7)$

แล้วจะได้ค่าในเพลนของ U_{C1} แต่ละเพลนดังต่อไปนี้

$U_{C1}(k=0)$ ในเพลนที่ 1

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.11**	**0.35**	**0.45**	**0.40**	**0.19**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.12**	**0.39**	**0.51**	**0.46**	**0.21**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.11**	**0.35**	**0.45**	**0.40**	**0.19**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

$U_{C1}(k=1)$ ในเพลนที่ 2

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.28**	**0.41**	**0.48**	**0.35**	**0.20**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.18**	**0.41**	**0.53**	**0.53**	**0.41**	**0.23**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.18**	**0.33**	**0.49**	**0.49**	**0.48**	**0.35**	**0.20**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.09**	**0.26**	**0.40**	**0.34**	**0.18**	**0.01**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.10**	**0.27**	**0.26**	**0.18**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.09**	**0.10**	**0.09**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$U_{C1}(k=2)$ ในเพลนที่ 3

$U_{C1}(k=3)$ ในเพลนที่ 4

$U_{C1}(k=4)$ ในเพลนที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$U_{C1}(k=5)$ ในเพลนที่ 6

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.13	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.33	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.46	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.41	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.23	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

$U_{C1}(k=6)$ ในเพลนที่ 7

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

$U_{C1}(k=7)$ ในเพลนที่ 8

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.28	0.40	0.35	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.33	0.46	0.41	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.28	0.40	0.35	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าในเซลบนเพลนของ U_{C1} ทั้ง 8 เพลนนี้จะเป็นอินพุตสำหรับการเรียนรู้ของ U_{S2} ตามสมการที่ 2.10 และ 2.11 โดยใช้ค่าของ c_2 ซึ่งเป็นค่าถ่วงคงที่สำหรับเลเยอร์ที่ 2 นี้ขนาด 5 x 5 ดังมีค่าต่อไปนี้ (วิธีการหาค่าได้แสดงกล่าวถึงไปแล้ว)

0.3647	0.4504	0.4900	0.4504	0.3647
0.4504	0.6000	0.7000	0.6000	0.4504
0.4900	0.7000	1.0000	0.7000	0.4900
0.4504	0.6000	0.7000	0.6000	0.4504
0.3647	0.4504	0.4900	0.4504	0.3647

ขนาดของ a_2 ของเลเยอร์ U_{S2} จะมีขนาด 5 x 5 และจะมีเพลนค่าถ่วงสำหรับทุกๆ เพลนของ U_{C1} ที่เชื่อมต่อมายัง U_{S2} เพลนใดๆ พิจารณาประกอบจากรูปที่ 2.10 ดังนั้นจึงพบว่าการหาค่าถ่วงในการเรียนรู้ของอัลกอริทึมที่ 2.2 จากสมการที่ 2.10 ใน Step10.2 ต่อไปนี้

$$a_l(\kappa,\nu,\hat{k}) = a_l(\kappa,\nu,\hat{k}) + \left(q_l \cdot c_l(\nu) \cdot U_{Cl-1}(\kappa,\hat{n}+\nu)\right)$$

จะเป็นการหาค่าถ่วงของ $a_2(\kappa,\nu,\hat{k})$ ที่สัมพันธ์กับการเชื่อมต่อจาก U_{C1} ในเพลนที่ κ มายัง U_{S2} ในเพลนที่ $\hat{k}$ เดียวกัน ซึ่ง $\hat{k}$ เป็นเพลนของ U_{S2} ที่ต้องเลือกขึ้นมาทำการเรียนรู้ฟีเจอร์ที่ต้องการ ในที่นี้จะใช้การเรียนรู้เรียงจากเพลนที่ 1 ไปจนถึงเพลนสุดท้าย เพื่อให้ง่ายต่อการเขียนโปรแกรม แล้วจึงระบุว่าฟีเจอร์ที่ต้องการให้ทำการเรียนรู้ในแต่ละเพลนนั้นเป็นฟีเจอร์ใด จึงทำการ โหลดเข้าสู่อินพุตเพลน ดังนั้นในการที่จะโหลดเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่เป็นฟีเจอร์ของเพลนใดนั้น จะทราบอยู่แล้วว่าต้องการเทรนให้กับเพลนที่ $\hat{k}$ เป็นเท่าใดของ U_{S2} แล้วการคำนวณค่าถ่วงก็จะทราบว่ากำลังจะคำนวณให้กับ $a_2(\kappa,\nu,\hat{k})$ เมื่อ $\hat{k}$ เป็นเพลนที่เท่าใด ส่วนการระบุค่าพารามิเตอร์ κ มาจากการนำค่าของ U_{C1} มาคำนวณว่านำมาจากเพลนใด แล้วถ้าหากมีเทรนนิ่งแพทเทิร์นสำหรับเพลนเดียวกันนี้หลายๆ เทรนนิ่งแพทเทิร์นที่ใกล้เคียงกัน แต่มีบางส่วนไม่เหมือนกัน เพื่อเพิ่มความสามารถในการเรียนรู้ฟีเจอร์ที่มีการผิดรูป ก็สามารถทำการเทรนให้กับเพลนเดิมนี้ได้ โดยค่าถ่วงที่ได้จะนำมาหาผลรวมแล้วเก็บไว้ในเซลค่าถ่วงของเพลน

เนื่องจากทุกเซลในเพลนใดๆ ของนีโอคอคนิตรอนจะทำหน้าที่รับผิดชอบฟีเจอร์เดียวกันสำหรับเพลนนั้น ดังนั้นในการเรียนรู้แบบซุปเปอร์ไวซ์เลิร์นนิ่งจึงจำเป็นต้องระบุตำแหน่งของเซลในเพลนที่กำลังทำการเรียนรู้ว่าต้องการให้เซลใดเป็นตัวแทนของทุกเซลในเพลน เรียกว่าเป็นเรพพรีเซนเททีฟเซล หรือเป็นซีดเซลในการเรียนรู้ ซึ่งตำแหน่งนี้คือพารามิเตอร์ $\hat{n}$ ในสมการที่ 2.10 เป็นตำแหน่งของเซลในเพลนที่ $\hat{k}$ ของ U_{S2} สำหรับในเลเยอร์ที่ 2 นี้จะใช้ตำแหน่งของเซลที่กลางเพลนเป็นซีดเซลในการเรียนรู้ เมื่อพิจารณาจากผลที่แสดงค่าในเซลของ U_{C1} จะได้ว่าเซลที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมพันธ์กับตำแหน่งซีดเซลนั้นก็คือเซลในกลางเพลนของ U_{C1} เช่นกันเนื่องจากขนาดของเพลนมีขนาดเท่ากัน ดังนั้นค่าของเซลในเพลนของ U_{C1} ที่นำมาใช้คำนวณค่าถ่วง a_2 และ b_2 จะอยู่บริเวณรอบๆจุดกลางเพลน เป็นขนาด 5 x 5 ตามตำแหน่ง v ในอาเรย์ของค่าถ่วงคงที่ c_2

ส่วนค่าถ่วงยับยั้ง b_2 จะเป็นค่าเดียวสำหรับเพลนที่ $\hat{k}$ ใดๆ ของ U_{S2} ดังนั้นชุดของค่าถ่วงสำหรับเพลนใดๆที่ $\hat{k}$ ของ U_{S2} จะประกอบด้วยอาเรย์ของค่าถ่วงกระตุ้น a_2 เป็นจำนวนเท่ากับจำนวนเพลนของ U_{C1} ที่ระบุการเชื่อมต่อระหว่างเพลนใดๆ ของ U_{C1} มายังเพลนที่ $\hat{k}$ ของ U_{S2} ร่วมกับค่าถ่วงยับยั้ง b_2 อีกหนึ่งค่า อาจกล่าวได้ว่าทุกการเชื่อมต่อที่ประกอบเข้าด้วยกัน (combination) ระหว่างเพลนของ U_{Cl-1} กับเพลนของ U_{Sl} จะมีอาเรย์ค่าถ่วงกระตุ้น a_l ในการเชื่อมต่อนั้น แต่ทุกๆ การเชื่อมต่อที่เข้ามาที่เพลนใดของ U_{Sl} จะใช้ค่าถ่วงยับยั้ง b_l ตัวเดียวกัน

จากที่ได้แสดงค่าในเซลของการเรียนรู้เทรนนิ่งแพทเทิร์นในเพลนแรกของ U_{S2} จนได้ค่าในเซลของ U_{C1} ทั้ง 8 เพลนจากการแยกแยะฟีเจอร์ของเทรนนิ่งแพทเทิร์นนี้แล้ว เมื่อผ่านสมการการเรียนรู้ใน Step. 10 และ 11 แล้วจะได้ค่าถ่วงของ a_l และ b_l สำหรับเทรนนิ่งแพทเทร์นนี้ เพื่อเป็นค่าถ่วงของการเชื่อมต่อเข้ามายังเพลนแรกของ U_{S2} เพื่อใช้ในการคัดเลือกฟีเจอร์ของตัวอักษรตามเทรนนิ่งแพทเทิร์น ดังต่อไปนี้

$a_2(\kappa,v,0)$ เมื่อ κ = 0 จากเพลนที่ 1 ของ U_{C1}

0.000000	0.000000	0.000000	408.506204	1069.655322
0.000000	0.000000	0.000000	624.239565	1505.651869
0.000000	0.000000	0.000000	634.845447	1437.370878
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

$a_2(\kappa,v,0)$ เมื่อ κ = 1 จากเพลนที่ 2 ของ U_{C1}

0.000000	0.000000	0.000000	1071.310868	1264.627866
0.000000	0.000000	1056.695854	2126.429441	2042.744260
0.000000	1056.695854	2835.725739	2929.193008	2029.629655
327.078605	1354.788677	2380.535570	1727.438029	699.752953
302.823069	1035.285654	1099.340154	679.955751	0.000000

$a_2(\kappa,v,0)$ เมื่อ κ = 2 จากเพลนที่ 3 ของ U_{C1}

0.000000	0.000000	0.000000	373.115195	344.794356
0.000000	0.000000	1664.887126	1874.974440	1385.844072
0.000000	1664.887126	4027.954982	3169.323079	1521.443694
373.115195	1874.974440	3169.323079	2432.316889	1071.310700
344.794356	1385.844072	1521.443694	1071.310700	0.000000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$a_2(\kappa,\nu,0)$ เมื่อ κ = 3 จากเพลนที่ 4 ของ U_{C1}

0.000000	0.000000	0.000000	327.078605	302.823069
0.000000	0.000000	1056.695854	1354.788677	1035.285654
0.000000	1056.695854	2835.725739	2380.535570	1099.340154
1071.310868	2126.429441	2929.193008	1727.438029	679.955751
1264.627866	2042.744260	2029.629655	699.752953	0.000000

$a_2(\kappa,\nu,0)$ เมื่อ κ = 4 จากเพลนที่ 5 ของ U_{C1}

0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
408.506204	624.239565	634.845447	0.000000	0.000000
1069.655322	1505.651869	1437.370878	0.000000	0.000000

$a_2(\kappa,\nu,0)$ เมื่อ κ = 5 จากเพลนที่ 6 ของ U_{C1}

0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
452.248711	689.848558	702.824173	0.000000	0.000000
876.250243	1274.000643	1177.478909	0.000000	0.000000

$a_2(\kappa,\nu,0)$ เมื่อ κ = 6 จากเพลนที่ 7 ของ U_{C1}

0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

$a_2(\kappa,\nu,0)$ เมื่อ κ = 7 จากเพลนที่ 8 ของ U_{C1}

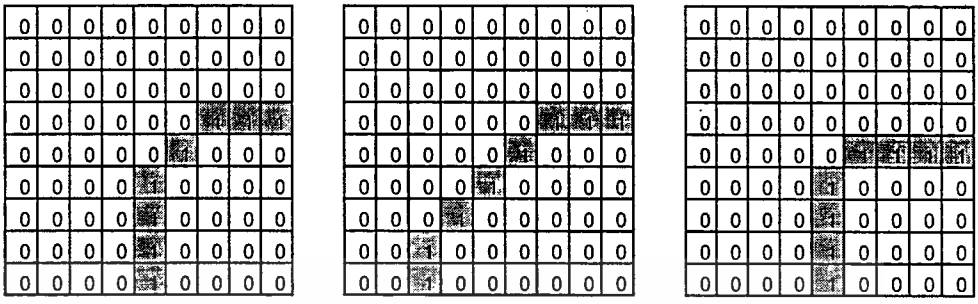
0.000000	0.000000	0.000000	452.248711	876.250243
0.000000	0.000000	0.000000	689.848558	1274.000643
0.000000	0.000000	0.000000	702.824173	1177.478909
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

$b_2(0)$ = 179947.089294

แต่การเรียนรู้ของ U_{S2} เพลนแรกนี้ ในการแยกแยะฟีเจอร์ของตัวอักษรที่ทำการทดลองนั้น เราไม่ได้ใช้ค่าถ่วงมาจากการเรียนรู้เทรนนิ่งแพทเทิร์นในรูปที่ 3.3 เพียงแพทเทิร์นเดียวเท่านั้น แต่จะใช้ค่าถ่วงมาจากการเรียนรู้เทรนนิ่งแพทเทิร์นที่มีลักษณะใกล้เคียงกันในชุดข้อมูลการเรียนรู้อื่นอีก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกแยะฟีเจอร์นี้ที่อาจมีการผิดรูปให้มากขึ้น โดยต้องทำการเทรนฟีเจอร์ที่ผิดรูปเข้าไปทีละครั้งเพื่อให้ได้ค่าถ่วงสำหรับชุดของฟีเจอร์ที่ผิดรูปนี้ขึ้นมา เน็ตเวิร์คจึงจะสามารถแยกแยะฟีเจอร์นี้ในตัวอักษรที่มีการผิดรูปได้มากขึ้น ดังนั้นในที่นี้ สำหรับการเรียนรู้ของ U_{S2} เพลนแรก จะทำการเรียนรู้อีก 3 เทรนนิ่งแพทเทิร์น ดังรูปต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 แสดงเทรนนิ่งแพทเทิร์นสำหรับการเรียนรู้ของ U_{S2} เพลนแรกอีก 3 แพทเทิร์น



เมื่อผ่านการเรียนรู้ไปจนครบทุกเทรนนิ่งแพทเทิร์นสำหรับเพลนนี้แล้ว โดยส่งแต่ละเทรนนิ่งแพทเทิร์นเข้าทำการเรียนรู้ทีละครั้ง แล้วหาผลรวมค่าถ่วงที่ได้จากการเรียนรู้ จะได้ค่าถ่วง a_2 และ b_2 สำหรับเทรนนิ่งแพทเทิร์นทั้ง 4 ตามสมการที่ 2.10 และ 2.11 ดังต่อไปนี้

$a_2(\kappa,\nu,0)$ เมื่อ $\kappa = 0$ จากเพลนที่ 1 ของ U_{C1}

0.000000	0.000000	0.000000	1225.518613	3208.965965
0.000000	0.000000	634.845447	3644.084713	6390.485726
0.000000	0.000000	1033.750527	4244.418145	6611.136105
0.000000	0.000000	634.845447	1771.366018	1873.530118
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

$a_2(\kappa,\nu,0)$ เมื่อ $\kappa = 1$ จากเพลนที่ 2 ของ U_{C1}

0.000000	0.000000	0.000000	3213.932605	3793.883599
0.000000	0.000000	4834.974949	8473.531939	7946.281718
0.000000	3129.994937	10961.550419	11582.340530	8291.789174
1007.034355	4070.126723	8708.718635	7105.274828	3917.307797
1120.924413	3221.254353	3302.694961	2014.068711	0.000000

$a_2(\kappa,\nu,0)$ เมื่อ $\kappa = 2$ จากเพลนที่ 3 ของ U_{C1}

0.000000	0.000000	0.000000	1119.345585	1034.383068
0.000000	0.000000	5574.506875	6195.908191	4530.647412
0.000000	4489.465245	12862.675934	10414.530525	5027.655440
1444.425895	5449.261071	10140.607710	7767.242696	3587.047296
1477.014557	4171.449790	4421.790353	2888.851791	0.000000

$a_2(\kappa,\nu,0)$ เมื่อ $\kappa = 3$ จากเพลนที่ 4 ของ U_{C1}

0.000000	0.000000	0.000000	981.235814	908.469208
0.000000	0.000000	3678.389177	4565.845792	3432.935566
0.000000	5443.166482	12239.399648	9584.275183	3719.847546
1751.266619	8027.295195	11723.783327	8218.306531	2386.743060
2548.691434	7563.700130	7843.269394	5023.895442	20.436680

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$a_2(\kappa,\nu,0)$ เมื่อ $\kappa = 4$ จากเพลนที่ 5 ของ U_{C1}

0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	1269.690894	2067.501054	1269.690894	0.000000
408.506204	4166.971600	5314.609054	3542.732035	0.000000
1446.608004	5661.218310	6035.417820	3747.060236	0.000000

$a_2(\kappa,\nu,0)$ เมื่อ $\kappa = 5$ จากเพลนที่ 6 ของ U_{C1}

0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	1405.648346	2284.800100	1405.648346	0.000000
452.248711	3592.016897	4662.585368	2902.168339	0.000000
1292.821507	4741.880617	4949.782037	3015.631262	0.000000

$a_2(\kappa,\nu,0)$ เมื่อ $\kappa = 6$ จากเพลนที่ 7 ของ U_{C1}

0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

$a_2(\kappa,\nu,0)$ เมื่อ $\kappa = 7$ จากเพลนที่ 8 ของ U_{C1}

0.000000	0.000000	0.000000	1356.746133	2628.750730
0.000000	0.000000	702.824173	3520.629843	5329.817561
0.000000	0.000000	1142.400050	4088.353117	5418.588291
0.000000	0.000000	702.824173	1451.084169	1507.815631
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

$b_2(0) = 725656.328598$

ค่าของเซลในอาเรย์ของค่าถ่วง a_2 และ b_2 ของเพลนแรก และตำแหน่งที่เซลของค่าถ่วงแอคทีฟ (มีค่ามากกว่าศูนย์) ขึ้นมา ตามที่ได้แสดงมาเป็นตัวอย่างนี้ สามารถทำความเข้าใจได้ด้วยการพิจารณาจากฟีเจอร์ของเลเยอร์แรกในรูปที่ 3.1.1) ประกอบ จะพบว่าเมื่อเทรนนิ่งแพทเทิร์นชุดที่ทำการเลือกมาเทรนให้กับเพลนแรกของ U_{S2} ทำการเรียนรู้ ผ่านการแยกแยะฟีเจอร์โดย U_{S1} ในเลเยอร์ที่ 1 มาก่อน โดยจะทำการคัดเลือกฟีเจอร์บนเทรนนิ่งแพทเทิร์นตามความรับผิดชอบของแต่ละเพลนในเลเยอร์ที่ 1 จนกระทั่งได้ผลเป็นค่าในเซลบนแต่ละเพลนหลังจากผ่านการแยกแยะฟีเจอร์โดย S-plane และการรวมฟีเจอร์โดย C-plane ในเลเยอร์ที่ 1 ที่ได้แสดงค่าไว้ในเพลนของ U_{S1} และ U_{C1} ตามลำดับมาแล้วนั้น หากพิจารณาว่าค่าในเซลของ U_{C1} เป็นค่าที่แสดงว่ามีฟีเจอร์ใดในเลเยอร์แรกที่เพลนนั้นๆ รับผิดชอบอยู่ในตำแหน่งใดบนเพลน โดยความเป็นจริงแล้วค่าของเซลจะปรากฏอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับเซลในตำแหน่งกลางเพลน (แต่อาจจะห่างมากจากเซลในตำแหน่งกลางเพลนได้จากตำแหน่งของฟีเจอร์ที่ปรากฏอยู่บนเทรนนิ่งแพทเทิร์นนั้นร่วมกับกระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บวนการเบลอร์ของฟีเจอร์ใน C-layer ด้วย) เนื่องจากเราได้ทำการวางเทรนนิ่งแพทเทิร์นในตำแหน่งกลางอินพุตเพลน ดังนั้นตำแหน่งของเซลที่แอคทีฟขึ้นมาตามฟีเจอร์ที่เพลนที่รับผิดชอบก็จะปรากฏ ขึ้นในเซลบริเวณใกล้เคียงกับจุดกลางเพลน

เมื่อจะทำการเรียนรู้ในเลเยอร์ที่สอง การเลือกเรพพรีเซนเททีฟเซลขึ้นมาเป็นซีดเซลในการเรียนรู้ สำหรับในเลเยอร์ที่สองนี้จะทำการเลือกจุดกลางเพลนของ U_{S2} เป็นเรพพรีเซนเททีฟเซลในการเรียนรู้แต่ละเทรนนิ่งแพทเทิร์นเช่นกัน ดังนั้นเราจะได้เซลที่อยู่รอบๆ จุดกลาง ในบริเวณของกลุ่มรีเซพทีฟเซลขนาดเดียวกับขนาดของอาเรย์ค่าถ่วงในเลเยอร์ที่กำลังเรียนรู้ เช่นในขณะนี้กำลังพิจารณาอาเรย์ค่าถ่วงในเลเยอร์ที่ 2 หรือของ U_{S2} มีขนาด 5x5 ดังนั้นจากค่าของเซลที่อยู่ตรงกลางเพลน ซึ่งถือว่าเป็นเรพพรีเซนเททีฟเซลในการเรียนรู้และเซลรอบๆ ในขนาด 5 x 5 ของ U_{C1} เพลนนั้นจะถูกส่งเข้าไปเรียนรู้เพื่อให้ได้ค่าถ่วง a_2 ตามสมการที่ 2.10 โดยจะแทนที่ตำแหน่งของเซลในอาเรย์ของรีเซพทีฟเซลด้วยพารามิเตอร์ v

ดังนั้นถ้าเราพิจารณาจากค่าถ่วงในอาเรย์ของ a_2 ในแต่ละเพลน ที่ได้แสดงไว้นี้ จะพบว่าตำแหน่งที่มีค่ามากกว่าศูนย์จะมาจากเซลในกลุ่มรีเซพทีฟของ U_{C1} บนเพลนที่สัมพันธ์กัน โดยที่ค่าของเซลนั้นมีค่ามากกว่าศูนย์ ซึ่งหมายความว่ามีฟีเจอร์ในเลเยอร์ที่ 1 ที่เพลนนั้นทำการแยกแยะออกมาจากเทรนนิ่งแพทเทิร์นของ U_{S2} เพลนที่กำลังเรียนรู้อยู่นี้ ปรากฏอยู่ในตำแหน่งนั้นด้วย ในตัวอย่างสำหรับเทรนนิ่งแพทเทิร์นนี้ของ U_{S2} เพลนแรกนั้นจะพบว่าเมื่อผ่านการแยกแยะฟีเจอร์ที่เป็นเส้นแนวนอนตามฟีเจอร์ในเพลนที่ 1 ของเลเยอร์ที่ 1 มา แล้วนำผลมาทำการเรียนรู้ได้เป็น $a_2(\kappa, v, k)$ โดยที่ $\kappa = 0$ แทนเพลนที่ 1 ของ U_{C1} และ $k = 0$ แทนเพลนที่ 1 ของ U_{S2} หรือเขียนใหม่ได้เป็น $a_2(0, v, 0)$ นั้น จะพบว่าเซลบนอาเรย์ของค่าถ่วงนี้ตำแหน่งที่มีค่าในเซลซึ่งหมายความว่ามีการรับผิดชอบต่อฟีเจอร์นี้จะอยู่ในส่วนมุมบนด้านขวาของอาเรย์ค่าถ่วง เพราะส่วนที่เป็นเส้นแนวนอนของเทรนนิ่งแพทเทิร์นนี้ อยู่บริเวณค่อนไปทางส่วนบนด้านขวาในเพลนของเทรนนิ่งแพทเทิร์นนี้ และตำแหน่งที่ค่าในเซลมีค่ามากแสดงว่าตำแหน่งนั้นตรงกับที่ฟีเจอร์อยู่ในตำแหน่งนั้นพอดี ค่าที่ได้มาจากการแยกแยะฟีเจอร์ใน U_{C1} จะมีค่ามากมาก่อน เมื่อทำการเรียนรู้ตามสมการที่ 2.10 จึงได้ค่ามากด้วย ส่วนเซลในบริเวณรอบๆ เซลที่มีฟีเจอร์นั้น ค่าของเซลจากการแยกแยะฟีเจอร์ก็จะน้อยลงไปตามลำดับ ดังนั้นค่าถ่วงในเลเยอร์นี้ในเซลรอบๆ ที่ได้ก็จะน้อยตามไปด้วย

พิจารณาเพิ่มในเพลนที่ 5 ของ $a_2(\kappa, v, 0)$ ซึ่งเป็นเพลนที่สัมพันธ์กับฟีเจอร์เส้นแนวตั้งนั้นจะได้ว่าตำแหน่งของเซลในอาเรย์ค่าถ่วงที่มีค่าของเซลมากกว่าศูนย์จะอยู่ส่วนล่างค่อนไปทางซ้าย ซึ่งก็ตรงกับตำแหน่งเส้นแนวตั้งในเพลนของเทรนนิ่งแพทเทิร์นนี้เช่นกัน ถ้าเพลนใดตรงกับฟีเจอร์ที่มีการแยกแยะมาในเลเยอร์ก่อนหน้านั้นอย่างใดก็จะได้ค่าถ่วงของเซลในอาเรย์ค่าถ่วงบน

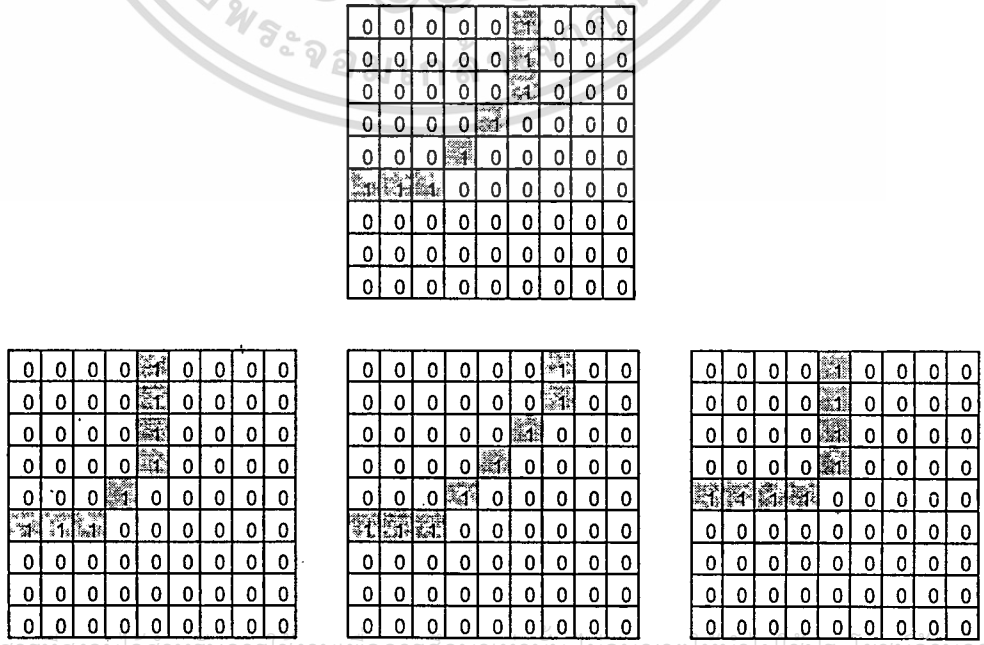
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งบริเวณที่มีฟีเจอร์นั้นปรากฏอยู่ แต่ถ้าแยกแยะแล้วไม่พบฟีเจอร์ใด เช่นในตัวอย่างเทรนนิ่งแพทเทิร์นนี้ไม่มีส่วนของเส้นทะแยงจากมุมบนด้านซ้ายมายังมุมล่างด้านขวา ค่าของเซลในอาเรย์ค่าถ่วง $a_2(\kappa,v,0)$ บนเพลนที่สัมพันธ์กับฟีเจอร์นี้ซึ่งเป็นเพลนที่รับค่ามาจากเพลนที่ 7 ของ U_{C1} ก็จะได้เป็นค่าศูนย์ทั้งหมด หมายถึงว่าไม่มีการรับผิดชอบต่อฟีเจอร์นี้ในเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่กำลังเรียนรู้อยู่ เพราะค่าที่ได้จากการแยกแยะฟีเจอร์ในเพลนนี้ของ U_{C1} จะได้ค่าเป็นศูนย์ทั้งเพลนมาก่อนเช่นกันดังที่ได้แสดงไปแล้ว

สรุปได้ว่าอาเรย์ค่าถ่วงของเทรนนิ่งแพทเทิร์นในเพลน (k) ของ U_{Sl} ที่รับผิดชอบ นั้นจะมีค่าในตำแหน่งตามที่ได้แยกแยะฟีเจอร์มาในเพลน (κ) ของ U_{Cl-1} บนเลเยอร์ก่อนหน้านั้น ตามความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ k และ κ ที่แสดงถึงเพลนที่สัมพันธ์กันในค่าถ่วง $a_2(\kappa,v,k)$ ส่วนค่าถ่วง $b_2(k)$ เป็นค่าถ่วงยับยั้งของเพลน (k) ของ U_{S2} ซึ่งเป็นค่าที่หามาจากสมการที่ 2.11 โดยเป็นการหาค่าเฉลี่ยของค่าถ่วง a_2 ของทุกๆเซล ในทุกเพลนของอาเรย์ค่าถ่วง a_2 สำหรับเทรนนิ่งแพทเทิร์นนี้ ดังนั้นเมื่อผ่านการเรียนรู้ในเลเยอร์ที่ 2 ตามเทรนนิ่งแพทเทิร์นของเพลนใด ก็จะได้ชุดของอาเรย์ค่าถ่วง $a_2(\kappa,v,k)$ จำนวน 8 เพลน กับอีกหนึ่งค่าของ $b_2(k)$ ตามตัวอย่าง

เพื่อเป็นการเปรียบเทียบในการพิจารณาค่าถ่วงจากการเรียนรู้ในเพลนของค่าถ่วง a_2 และ b_2 สำหรับเทรนนิ่งแพทเทิร์นชุดอื่นของ S-plane อื่นใน U_{S2} จึงขอแสดงชุดของเทรนนิ่งแพทเทิร์นสำหรับการเรียนรู้ของ U_{S2} ในเพลนที่ 2 ดังในรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 แสดงเทรนนิ่งแพทเทิร์นทั้ง 4 สำหรับการเรียนรู้ของ U_{S2} เพลนที่สอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อผ่านการเรียนรู้ครบทุกเทรนนิ่งแพทเทิร์นแล้วจะได้ค่าถ่วง a_2 และ b_2 จากสมการที่ 2.10 และ 2.11 เพื่อใช้เป็นค่าถ่วงในการแยกแยะฟีเจอร์ดังในรูป 35 ของ U_{S2} เพลนที่สอง ดังต่อไปนี้

$a_2(\kappa,v,1)$ เมื่อ κ = 0 จากเพลนที่ 1 ของ U_{C1}

0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1873.530118	1771.366018	634.845447	0.000000	0.000000
6611.136105	4244.418145	1033.750527	0.000000	0.000000
6390.485726	3644.084713	634.845447	0.000000	0.000000
3208.965965	1225.518613	0.000000	0.000000	0.000000

$a_2(\kappa,v,1)$ เมื่อ κ = 1 จากเพลนที่ 2 ของ U_{C1}

0.000000	2014.068711	3302.694961	3221.254353	1120.924413
3917.307797	7105.274828	8708.718635	4070.126723	1007.034355
8291.789174	11582.340530	10961.550419	3129.994937	0.000000
7946.281718	8473.531939	4834.974949	0.000000	0.000000
3793.883599	3213.932605	0.000000	0.000000	0.000000

$a_2(\kappa,v,1)$ เมื่อ κ = 2 จากเพลนที่ 3 ของ U_{C1}

0.000000	2888.851791	4421.790353	4171.449790	1477.014557
3587.047296	7767.242696	10140.607710	5449.261071	1444.425895
5027.655440	10414.530525	12862.675934	4489.465245	0.000000
4530.647412	6195.908191	5574.506875	0.000000	0.000000
1034.383068	1119.345585	0.000000	0.000000	0.000000

$a_2(\kappa,v,1)$ เมื่อ κ = 3 จากเพลนที่ 4 ของ U_{C1}

20.436680	5023.895442	7843.269394	7563.700130	2548.691434
2386.743060	8218.306531	11723.783327	8027.295195	1751.266619
3719.847546	9584.275183	12239.399648	5443.166482	0.000000
3432.935566	4565.845792	3678.389177	0.000000	0.000000
908.469208	981.235814	0.000000	0.000000	0.000000

$a_2(\kappa,v,1)$ เมื่อ κ = 4 จากเพลนที่ 5 ของ U_{C1}

0.000000	3747.060236	6035.417820	5661.218310	1446.608004
0.000000	3542.732035	5314.609054	4166.971600	408.506204
0.000000	1269.690894	2067.501054	1269.690894	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

$a_2(\kappa,v,1)$ เมื่อ κ = 5 จากเพลนที่ 6 ของ U_{C1}

0.000000	3015.631262	4949.782037	4741.880617	1292.821507
0.000000	2902.168339	4662.585368	3592.016897	452.248711
0.000000	1405.648346	2284.800100	1405.648346	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$a_2(\kappa,\nu,1)$ เมื่อ κ = 6 จากเพลนที่ 7 ของ U_{C1}

0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000

$a_2(\kappa,\nu,1)$ เมื่อ κ = 7 จากเพลนที่ 8 ของ U_{C1}

0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
1507.815631 1451.084169 702.824173 0.000000 0.000000
5418.588291 4088.353117 1142.400050 0.000000 0.000000
5329.817561 3520.629843 702.824173 0.000000 0.000000
2628.750730 1356.746133 0.000000 0.000000 0.000000

$b_2(1)$ = 725656.328598

จะพบว่าค่าที่ได้ในอาเรย์ค่าถ่วง $a_2(\kappa,\nu,1)$ สำหรับเทรนนิ่งแพทเทิร์นชุดนี้ของเพลนที่ 2 ใน U_{S2} จะได้ค่าของเซลค่าถ่วงที่มากกว่าศูนย์ในตำแหน่งที่มีฟีเจอร์บนเพลนที่สัมพันธ์กันนั้นในเลเยอร์ U_{C1} รับผิดชอบและทำการแยกแยะเทรนนิ่งแพทเทิร์นนี้มาก่อนเช่นเดิม เช่นถ้าพิจารณาในเพลนที่ 1 ของค่าถ่วงชุดนี้ จะได้ว่าตำแหน่งที่มีค่าถ่วงปรากฏขึ้นมาคือในด้านซ้ายล่างของอาเรย์ เนื่องจากในเทรนนิ่งแพทเทิร์นชุดนี้มีฟีเจอร์ที่เป็นเส้นแนวนอนอยู่ในตำแหน่งด้านซ้ายค่อนมาข้างล่างของเพลนดังในรูปที่ 3.5 เช่นกัน

สำหรับการเรียนรู้เทรนนิ่งแพทเทิร์นของเพลนอื่นๆ ใน U_{S2} ก็จะทำการเรียนรู้และได้ผลเป็นอาเรย์ค่าถ่วงเช่นเดียวกับที่ได้ยกตัวอย่างมาใน 2 เพลนข้างต้น แต่ค่าถ่วงที่ได้มาก็จะแตกต่างกันไปในตำแหน่งของเซลในอาเรย์ค่าถ่วงและขนาดของค่าในเซลนั้น ตามความชัดเจนของฟีเจอร์บนเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่สามารถแยกแยะออกมาได้ในเลเยอร์ก่อนหน้านั้น คือเลเยอร์ U_{C1}

ในการเรียนรู้ของเลเยอร์อื่นๆ ต่อไป เช่นในเลเยอร์ที่ 3 และ 4 การประมวลผลในการเรียนรู้เพื่อให้ได้ค่าถ่วง a_l และ b_l สำหรับเลเยอร์นั้นๆ จะกระทำเหมือนกับในเลเยอร์ที่ 2 คือทำการโหลดเทรนนิ่งแพทเทิร์นแล้ววางลงกลางเพลนของอินพุตเพลน ทำการแยกแยะฟีเจอร์ในเทรนนิ่งแพทเทิร์นนั้นด้วยการใช้ค่าถ่วงในเลเยอร์ก่อนหน้าที่ได้ทำการเรียนรู้มาก่อนแล้ว จนมาถึงเลเยอร์ของ U_{Cl-1} แล้วจึงเลือกว่าเทรนนิ่งแพทเทิร์นนั้นต้องการให้เพลนของ U_{Sl} เพลนที่ $\hat{k}$ ใดเรียนรู้ หลังจากนั้นเลือกเรพพรีเซนเททีฟเซล $\hat{n}$ ที่ต้องการให้เป็นซีดเซลของเพลนในการเรียนรู้เทรนนิ่งแพทเทิร์นนี้ โดยที่อาจจะไม่ได้เป็นจุดกลางเพลนเสมอใด แล้วแต่ว่าลักษณะของเทรนนิ่งแพทเทิร์นของเลเยอร์นั้นเหมาะสมกับการเลือกเรพพรีเซนเททีฟว่าควรจะเป็นเซลที่กลางเพลนหรือไม่ ถ้าไม่เหมาะสมอาจใช้เซลในตำแหน่งที่แน่ชัดในเทรนนิ่งแพทเทิร์นส่วนสำคัญของฟีเจอร์นั้นได้ เช่นในการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้ สำหรับเลเยอร์ที่ 3 แล้วได้เลือกจุดที่จะเป็นซีดเซลขึ้นมาเอง ไม่ได้ใช้เซลกลางเพลนเหมือนในเลเยอร์อื่น ก็สามารถทำได้ด้วยการเก็บตำแหน่งของเซลที่จุดนั้นไว้เพื่ออ้างอิงสำหรับเทรนนิ่งแพทเทิร์นแต่ละตัว แล้วโหลดขึ้นมาพร้อมกับการโหลดเทรนนิ่งแพทเทิร์นก่อนการเรียนรู้ได้เลย

เมื่อทำความเข้าใจการเรียนรู้ของนีโอคอคนิตรอนแล้ว ต่อไปจะได้ทำความเข้าใจการจดจำรูปแบบของนีโอคอคนิตรอนตามขั้นตอนในการประมวลผลของแต่ละเลเยอร์คือในการประมวลผลในขั้นตอนการจดจำรูปแบบตามกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์ของ U_S และในกระบวนการรวมฟีเจอร์หรือการทำเบลอร์ของ U_C ต่อไปนี้

3.5 การประมวลผลและค่าของเซลในขั้นตอนการจดจำของ S-cell (Us Recognition)

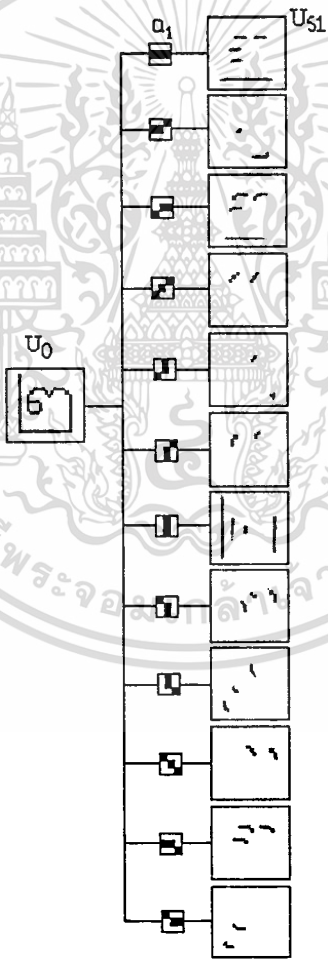
การประมวลผลในขั้นตอนการจดจำของ S-cell จะเป็นกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์ของ U_S ตามอัลกอริทึมที่ 3 ด้วยค่าถ่วงที่ได้จากขั้นตอนการเรียนรู้ ในเน็ตเวิร์คของนีโอคอคนิตรอนจะใช้หลักการในการแยกแยะฟีเจอร์ประกอบอยู่ในขั้นตอนของการเรียนรู้ด้วย ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ก่อนที่จะทำการเรียนรู้ในเลเยอร์ใด ต้องทำการแยกแยะฟีเจอร์ของเทรนนิ่งแพทเทิร์นมาจนถึงเลเยอร์ก่อนหน้านั้น แล้วนำค่าที่ได้จากการแยกแยะฟีเจอร์มาทำการเรียนรู้เพื่อให้ได้ค่าถ่วง ดังนั้นหลักการของการแยกแยะฟีเจอร์ จึงมีความสำคัญต่อการประมวลผลในการจดจำตัวอักษรของนีโอคอคนิตรอนมาก

หลักการแยกแยะฟีเจอร์ของตัวอักษรจะทำการตรวจสอบว่ามีฟีเจอร์ใดที่แต่ละเพลนของ U_S ในแต่ละเลเยอร์รับผิดชอบปรากฏอยู่ในตำแหน่งใดของเพลนบ้าง โดยการพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างค่ากระตุ้นที่ได้จากการกระทำระหว่างค่าในเซลกับค่าถ่วงประจำเพลนนั้น และค่ายับยั้งที่มาจากเซลยับยั้ง ซึ่งจะได้กล่าวโดยละเอียดต่อไป โดยต้องทำความเข้าใจขั้นตอนการตรวจสอบหาตำแหน่งว่ามีฟีเจอร์อยู่ในตำแหน่งใดบนเพลนก่อน การตรวจสอบฟีเจอร์ของ S-cells จะทำได้ด้วยการใช้ตัวแปรเชื่อมต่อระหว่างเลเยอร์ซึ่งคือค่าถ่วง $a_l(\kappa,v,k)$ มาทำการทดสอบทีละกลุ่มรีเซพทีฟเซลในเพลนของ C-cells บนเลเยอร์ก่อนหน้านั้น แล้วประมวลผลตามสมการที่ 2.1 เพื่อให้ได้ผลเป็นค่าของ $U_{Sl}(k,n)$ ของ S-cell เพลนที่ k ตำแหน่งที่ n บนเพลนนั้น ถ้าการเปรียบเทียบค่ากระตุ้นและค่ายับยั้งแล้วตรวจสอบพบว่ามีฟีเจอร์อยู่ในตำแหน่งนั้น ค่าของเซล $U_{Sl}(k,n)$ ก็จะมีค่ามากกว่าศูนย์ หรือเซลนั้นแอคทีฟขึ้นมา ดังในรูปที่ 3.6 เป็นการตรวจสอบหาฟีเจอร์ของเลเยอร์ที่ 1 จากค่าถ่วงที่ได้มาจากการเรียนรู้เทรนนิ่งแพทเทิร์นของเลเยอร์นี้ เซลที่แอคทีฟขึ้นมาในเพลนของ U_{S1} จะบอกตำแหน่งที่ตรวจสอบพบว่ามีฟีเจอร์ที่เพลนนั้นรับผิดชอบอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาการตรวจสอบหาฟีเจอร์บนตำแหน่งต่างๆ ในเพลนของการแยกแยะฟีเจอร์บน S-plane จะทำโดยการเลื่อนกลุ่มเซลที่ทดสอบไปตามการเชื่อมต่อในเลเยอร์นั้น (พิจารณาโดยรวมจากรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4 ที่ได้แสดงไว้แล้ว) โดยค่าในเซลของ S-cell ในเลเยอร์ U_{Sl} จะได้มาจากการประมวลผลจากค่าในเซลของ C-cell ในเลเยอร์ U_{Cl-1} ก่อนหน้านั้นที่ตำแหน่งของเซลสัมพันธ์กันโดยตรง กับกลุ่มเซลรอบๆ เซลนั้น นอกจากนี้ค่าในเซลจะมาจากการประมวลผลที่ซ้อนทับกันในการเชื่อมต่อด้วย ดังในรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.6 แสดงตัวอย่างผลการแยกแยะฟีเจอร์ของตัวเลข ๒ เมื่อผ่านกระบวนการจดจำของ U_{S1}

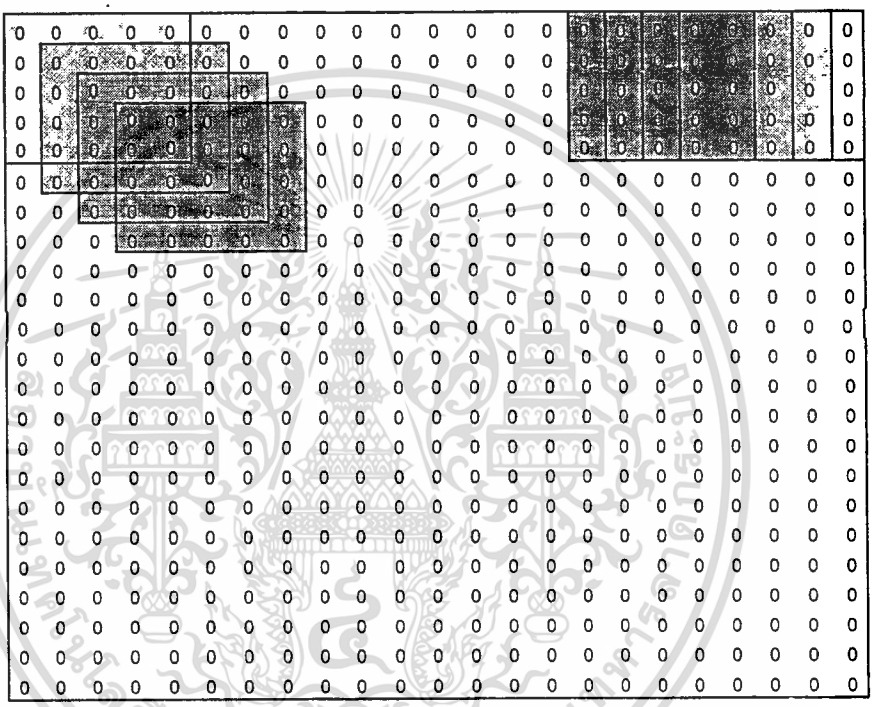


ผลลัพธ์ของการแยกแยะฟีเจอร์ของ S-cell หาได้จากสมการที่ 2.1 โดยทำการเปรียบเทียบผลรวมค่ากระตุ้นในรีเซพทีฟฟิลด์กับค่ายับยั้ง ซึ่งสามารถเขียนแยกออกมาเป็นสมการใหม่เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงการหาค่ากระตุ้น (e) และค่ายับยั้ง (h) สำหรับเป็นแนวทางในการพิจารณาการเปรียบเทียบได้ดังนี้

รูปที่ 3.7 แสดงการตรวจสอบหาฟีเจอร์บนเพลนของ C-cell โดยการเลื่อนอาเรย์ค่าถ่วงไปบนเพลนตามการเชื่อมต่อ ในการแยกแยะฟีเจอร์ของ S-cell



$$e = \sum_{K=1}^{K_{Cl-1}} \sum_{v \in A_l} a_l(v,\kappa,k) \cdot u_{Cl-1}(n+v,\kappa) \tag{3.1}$$

$$h = \frac{r_l}{1+r_l} \cdot b_l(k) \cdot u_{Vl}(n) \tag{3.2}$$

เมื่อ $u_{Vl}(n)$ หาได้จากสมการที่ 2.3

ดังนั้น จึงเขียนสมการ 3.1 ใหม่ได้เป็น

$$h = \frac{r_l}{1+r_l} \cdot b_l(k) \cdot \sqrt{\sum_{K=1}^{K_{Cl-1}} \sum_{v \in A_l} c_l(v) \cdot \left\{u_{Cl-1}(n+v,\kappa)\right\}^2} \tag{3.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ค่ากระตุ้น (e) และค่ายับยั้ง (h) แล้วจะนำมาเปรียบเทียบเพื่อให้ได้ค่าของ S-cell ที่ต้องการในเพลน ดังนี้

$$u_{SI}(n,k) = r_l \cdot \varphi\left[\frac{1+e}{1+h} - 1\right] \tag{3.4}$$

ต่อไปจะได้แสดงผลและค่าในเซลเพื่อให้เห็นผลลัพธ์ของการเปรียบเทียบค่าทั้งสองตามลำดับในขั้นตอนการแยกแยะฟีเจอร์ของ S-cell ในเลเยอร์ที่ 1 หรือ U_{S1} ซึ่งได้ผลมาจากกระบวนการตรวจสอบหาฟีเจอร์ด้วยค่าถ่วงที่ได้มาจากการเรียนรู้ ดังที่ได้แสดงค่าในเซลของอาเรย์ค่าถ่วง a_1 และ b_1 ของแต่ละเพลนในเลเยอร์ที่ 1 มาแล้ว สาเหตุที่เลือกแสดงในเลเยอร์ที่ 1 เพราะมีจำนวนเพลนน้อย ทำให้การเปรียบเทียบทำได้ง่าย สามารถเปรียบเทียบแต่ละเพลน กับฟีเจอร์ที่เพลนนั้นรับผิดชอบได้อย่างชัดเจนกว่าเลเยอร์ในระดับสูง และจำนวนเพลนที่เป็นอินพุต หรือ U_{Cl-1} สำหรับการแยกแยะฟีเจอร์ในเลเยอร์นี้คืออินพุตเลเยอร์ มีเพียงเพลนเดียวคืออินพุต เพลน U_{C0} เท่านั้น โดยในที่นี้ขอเลือกเอาตัวเลข ๔ ดังในรูปที่ 3.8 เป็นอินพุตแพทเทิร์นตัวอย่างสำหรับแสดงการแยกแยะฟีเจอร์

รูปที่ 3.8 แสดงอินพุตแพทเทิร์น ๔ ตัวอย่างในการแยกแยะฟีเจอร์ของ S-cell

```
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

3.5.1 ค่ากระตุ้นของ S-cell ค่ากระตุ้นในแต่ละเซลของการแยกแยะฟีเจอร์ในเลเยอร์ 1 จากสมการที่ 3.1 หาได้จากการหาผลรวมทุกๆ เพลนของผลคูณเชิงสเกลาร์ (sum of product) ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมทริกซ์ที่เป็นอาเรย์ค่าถ่วง $a_l(\kappa,\nu,k)$ กับอาเรย์ของรีเซพทีฟฟิลด์หรือกลุ่มเซลที่เราสนใจใน U_{Cl-1} ณ ตำแหน่งที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของ S-cell ที่เรากำลังจะหาค่าผลลัพธ์ให้ แต่สำหรับตัวอย่างที่จะแสดงค่าในเซลของ S-cell ในเลเยอร์ที่ 1 นี้เนื่องจากมีอินพุตเพลนของ U_{Cl-1} เพียงเพลนเดียว ดังนั้นการพิจารณาจะง่ายขึ้น เนื่องจากไม่ต้องทำการคิดผลรวมของผลคูณเชิงสเกลาร์ของกลุ่มเซลตำแหน่งเดียวกันทุกๆ เพลนของ U_{Cl-1} ด้วย เพียงแต่หาผลลัพธ์ของผลคูณเชิงสเกลาร์ในกลุ่มเซลเฉพาะในอินพุตเพลน U_{C0} เพียงเพลนเดียวเท่านั้น

สำหรับตัวอย่างของอินพุตแพทเทิร์น และค่าถ่วงตามรูปที่ 3.2 ในอัลกอริทึมที่ 3 เมื่อผ่าน Step 3. (step 4-6) แล้ว สามารถหาค่ากระตุ้นจากผลลัพธ์ของผลคูณเชิงสเกลาร์ระหว่าง $a_1(\kappa,\nu,k)$ กับ $U_{Cl-1}(n+\nu,\kappa)$ ของ S-cell ในแต่ละเพลนของ U_{S1} ตามสมการที่ 3.1 ดังที่จะแสดงต่อไป แต่ในที่นี้ขอแสดงค่าในแต่ละเซลด้วยค่ากระตุ้นของแต่ละเซลหารด้วย 100000 เพื่อลดจำนวนตัวเลขให้ง่ายต่อการพิจารณา ส่วนสาเหตุที่ต้องหารด้วยค่านี้เพราะค่าพารามิเตอร์ r ที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 900000 ซึ่งเป็นค่ามาก ทำให้ได้ค่ากระตุ้นออกมาเป็นจำนวนเต็มที่มีค่ามากตามไปด้วย จึงต้องหารเพื่อให้เหลือจำนวนเต็มเพียงหลักเดียว ดังค่าต่อไปนี้

$U_{S1}(k=0)$ ในเพลนที่ 1

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 2.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 2.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 2.5 3.5 2.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 2.5 3.5 3.5 2.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 2.5 2.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 2.5 2.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 2.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 2.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$U_{S1}(k=1)$ ในเพลนที่ 2

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.4 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.4 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.3 1.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.3 1.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.4 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 3.3 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.3 1.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 2.3 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 2.3 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 2.3 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.4 2.5 2.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.3 1.9 0.9 0.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.4 2.5 2.5 3.3 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 2.3 1.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 2.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 0.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.9 0.0 1.4 2.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.9 0.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 3.3 2.5 2.5 2.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

$U_{S1}(k=2)$ ในเพลนที่ 3

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 0.9 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 2.3 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 1.9 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 3.3 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 1.4 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 3.3 2.5 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 0.9 0.0 1.0 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 0.9 0.0 1.0 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 0.9 0.9 1.9 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 2.5 3.3 2.5 1.4 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 0.0 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 2.5 1.4 0.0 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 2.5 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 0.0 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 1.9 2.3 0.9 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 1.4 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

$U_{S1}(k=3)$ ในเพลนที่ 4

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.4 0.9 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 2.3 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 3.2 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 3.2 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.3 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 3.2 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 3.2 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 3.2 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 2.3 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.3 1.4 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.9 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.3 1.7 0.9 0.0 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.9 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.4 0.9 0.0 0.9 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.9 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.4 0.9 0.9 1.7 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.9 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.4 2.3 1.4 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.9 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 2.3 0.9 1.7 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.9 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 0.0 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.9 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 1.4 0.0 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.9 0.0 1.4 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 0.0 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 1.7 1.7 0.9 2.3 0.9 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 2.3 1.4 1.4 1.4 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\dot{U}_{S1}(k=4)$ ในเพลนที่ 5

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.4 0.9 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 **3.3** 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.3 1.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 2.3 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.3 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.3 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 2.3 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 2.3 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.4 1.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.3 1.4 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 2.5 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.4 1.9 1.0 1.0 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 2.5 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.5 0.9 0.0 0.0 2.5 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 2.5 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.5 0.9 0.9 0.9 **3.3** 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 2.5 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.5 2.3 1.4 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 2.5 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.5 1.0 1.9 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 2.5 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 0.0 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 2.5 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.4 0.0 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.0 1.4 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 0.0 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 1.9 1.9 2.3 0.9 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 2.5 1.4 1.4 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

$U_{S1}(k=5)$ ในเพลนที่ 6

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.5 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.9 1.4 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 2.3 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 **3.3** 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.4 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 2.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 **3.3** 0.9 0.9 0.0 2.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 2.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 2.5 0.0 0.0 0.9 2.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 2.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 2.5 1.0 1.0 1.9 1.4 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 2.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 2.5 1.4 1.4 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 2.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 2.3 1.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 2.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 1.4 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 0.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.9 0.0 1.4 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.9 1.9 1.0 2.5 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 2.3 1.4 1.4 1.4 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

$U_{S1}(k=6)$ ในเพลนที่ 7

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.5 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 2.5 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 2.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.4 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 **3.5** 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.5 1.0 1.0 1.0 2.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 **3.5** 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 **3.5** 0.0 0.0 0.0 **3.5** 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 **3.5** 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 **3.5** 1.0 1.0 1.0 2.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 **3.5** 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 **3.5** 1.4 1.4 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 **3.5** 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.5 2.0 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 **3.5** 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 2.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.4 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.0 1.4 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 2.0 2.0 2.5 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 2.5 1.4 1.4 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$U_{S1}(k=7)$ ในเพลนที่ 8

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.5 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 0.9 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 0.0 0.9 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 0.0 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 2.5 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.4 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 2.5 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.5 0.0 0.9 0.9 **3.3** 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 2.5 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.5 0.9 0.0 0.0 2.5 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 2.5 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.5 1.9 1.0 1.0 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 2.5 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.5 2.3 1.4 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 2.5 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.4 1.9 0.9 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 2.5 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.3 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.4 1.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.3 1.4 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 2.3 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 2.3 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 2.3 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.9 **3.3** 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.3 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 2.3 1.4 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0

$U_{S1}(k=8)$ ในเพลนที่ 9

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.4 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 2.5 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 0.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 1.4 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 2.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.4 1.0 1.0 1.9 1.4 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 2.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 2.5 0.0 0.0 0.0 0.9 2.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 2.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 **3.3** 0.9 0.9 0.0 2.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 2.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 2.5 1.4 1.4 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 2.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 **3.3** 1.0 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 2.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 2.3 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 **3.3** 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 2.3 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.0 1.4 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 2.3 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 1.9 1.9 2.3 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 2.5 1.4 1.4 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

$U_{S1}(k=9)$ ในเพลนที่ 10

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.4 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 0.9 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 0.0 0.9 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 0.0 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 0.0 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 1.4 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.4 0.0 0.9 1.7 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.4 0.9 0.0 0.9 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 2.3 1.7 0.9 0.0 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.4 2.3 1.4 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.3 0.9 0.9 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 **3.2** 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 2.3 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.3 2.3 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 **3.2** 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 2.3 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 **3.2** 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 1.7 **3.2** 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.3 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 2.3 1.4 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$U_{S1}(k=10)$ ในเพลนที่ 11

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.4 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 1.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 0.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 1.4 2.5 3.3 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 2.3 1.9 0.9 0.0 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.4 2.5 2.5 2.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.3 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.9 1.4 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2.3 1.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 2.3 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.4 3.3 1.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 2.3 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.4 3.3 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 2.3 1.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 2.3 1.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.4 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

$U_{S1}(k=11)$ ในเพลนที่ 12

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 0.9 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 0.0 0.9 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 0.0 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 2.5 2.5 1.4 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 0.0 0.9 1.9 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 0.9 0.0 1.0 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 0.9 0.0 1.0 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 2.5 3.3 2.5 1.4 0.0 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.4 0.9 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.4 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 3.3 1.4 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.9 3.3 1.4 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.9 2.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 3.3 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 3.3 1.4 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

ค่ากระตุ้นในแต่ละเซลที่แสดงมา จะพบว่ามีค่ามากในตำแหน่งที่มีฟีเจอร์ที่เพลนนั้นๆรับผิดชอบปรากฏอยู่ ตัวอย่างเช่นในเพลนที่ 1 รับผิดชอบฟีเจอร์ที่เป็นเส้นตรงแนวนอน จะได้ค่ากระตุ้นที่มีค่ามากในเซลที่ตรงกับเส้นแนวนอนของเลข ๔ ดังที่ได้แสดงไว้เป็นตัวเข้ม ส่วนเพลนอื่นๆ ค่าที่มากที่สุดที่แสดงไว้เป็นตัวเข้ม หมายถึงเซลนั้นได้รับค่ากระตุ้นมากที่สุด หรือที่ตำแหน่งของเซลตำแหน่งนั้น มีฟีเจอร์ของตัวอักษรเลข ๔ ที่ตรงกับฟีเจอร์ที่เพลนนั้นรับผิดชอบอยู่ ในส่วนของเซลอื่นๆ จะมีค่าน้อยลงไปตามลำดับตามความชัดเจนของฟีเจอร์ว่าเหมือนกับฟีเจอร์ของเพลนมากน้อยแค่ไหน

3.5.2 ค่ายับยั้งของ S-cell การหาค่ายับยั้งของ S-cell พิจารณาอย่างง่ายๆ พบว่าหาค่ามาจากค่าของ $u_{yl}(n)$ คูณกับค่าถ่วง b_1 ของแต่ละ S-plane ส่วนการหาค่าของ $u_{yl}(n)$ หามา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2.3 ซึ่งเป็นการหารากที่สองของผลรวมทุกๆ เพลนของผลคูณเชิงสเกลาร์ระหว่างค่าถ่วง $c_l(v)$ กับค่ากำลังสองของ $U_{Cl-1}(n+v,\kappa)$ เปรียบเหมือนกับเป็นการหาค่าเฉลี่ยของรีเซพทีฟฟิลด์ที่เป็นอินพุตในการหาค่าของ S-cell สำหรับค่าถ่วง c_1 ได้แสดงวิธีการหาไว้ในบทที่ 2 แล้ว จึงขอยกค่าของ c_1 ก่อนการนอร์มัลไลซ์ มาแสดงไว้ ดังนี้

$$c_1 = \begin{bmatrix} 0.6039 & 0.7000 & 0.6039 \\ 0.7000 & 1.0000 & 0.7000 \\ 0.6039 & 0.7000 & 0.6039 \end{bmatrix}$$

เมื่อผ่านการนอร์มัลไลซ์ตามสมการที่ 2.6 ด้วยผลรวมของทุกอิลิเมนท์ในอาเรย์ และจำนวนเพลนของ U_{C0} ซึ่งมีเพียงเพลนเดียว แล้วจะได้เป็น

$$c_1 = \begin{bmatrix} 0.0972 & 0.1126 & 0.0972 \\ 0.1126 & 0.1608 & 0.1126 \\ 0.0972 & 0.1126 & 0.0972 \end{bmatrix}$$

ส่วนค่าในเซลของเพลนยับยั้ง (Inhibit plane U_{V1}) ของเลเยอร์ที่ 1 ได้ค่าสำหรับตัวอย่างอินพุตแพทเทิร์น ๔ ดังต่อไปนี้ (ค่าที่แสดงมานี้ไม่ได้หารด้วย 100000 เหมือนกับค่ากระตุ้นในเซลที่แสดงมาแล้ว เพราะการหาค่าของ U_{VI} ตามสมการ 2.3 ไม่ได้ถูกกระทำด้วยพารามิเตอร์ r)

Inhibit plane U_{V1}

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.3 0.3 0.3 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.5 0.5 0.5 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.3 0.6 0.6 0.5 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.3 0.5 0.6 0.5 0.3 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.3 0.5 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.5 0.3 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.3 0.5 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.5 0.3 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.3 0.5 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.5 0.3 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.3 0.5 0.6 0.5 0.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.3 0.5 0.6 0.5 0.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.3 0.5 0.6 0.5 0.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.5 0.6 0.6 0.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.3 0.5 0.6 0.6 0.6 0.5 0.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.6 0.6 0.6 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.5 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.6 0.6 0.6 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.6 0.6 0.6 0.0 0.6 0.6 0.6 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.6 0.6 0.6 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.6 0.7 0.7 0.6 0.6 0.6 0.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.6 0.6 0.6 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.6 0.7 0.8 0.6 0.6 0.5 0.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.6 0.6 0.6 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.5 0.7 0.7 0.6 0.5 0.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.6 0.6 0.6 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.3 0.5 0.6 0.6 0.5 0.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.5 0.6 0.6 0.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.3 0.5 0.6 0.6 0.6 0.5 0.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.3 0.5 0.6 0.5 0.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.3 0.5 0.6 0.6 0.6 0.5 0.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.3 0.5 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.7 0.8 0.8 0.6 0.5 0.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.3 0.5 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.7 0.7 0.7 0.5 0.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.3 0.5 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.5 0.3 0.0 0.0 0.0 0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่าในเพลนยับยั้งที่แสดงมานี้จะพบว่าเป็นการหาค่าเฉลี่ยของอินพุตแพทเทิร์นที่เข้ามาโดยค่าของเซลจะถูกกระทำด้วยค่าถ่วง c_1 ขนาด 3x3 ดังนั้นจากเซลเดียวในอินพุตแพทเทิร์นเมื่อผ่านการหาค่าในเซลของ U_{pi} ตามสมการที่ 2.3 แล้วค่าเฉลี่ยจะถูกกระจายออกไปในเซลรอบๆด้วยโดยค่าที่อยู่ในตำแหน่งที่อินพุตแพทเทิร์นแอคทีฟอยู่จะมีค่ามาก แล้วน้อยลงตามลำดับในเซลรอบๆ ตามค่าของ c_1 ซึ่งมีค่ามากในเซลตรงกลาง แล้วน้อยลงในเซลรอบๆ

ในอัลกอริทึมที่ 3 เมื่อผ่าน Step 3-9 จะได้ค่ากระตุ้นของเซลนั้นและค่าของ U_{yi} ในตำแหน่งเดียวกับเซลนั้น ต่อไปจึงขอแสดงค่ายับยั้งของ S-cell แต่ละเพลนที่หามาจากสมการที่ 3.2 ในส่วนของอัลกอริทึมที่ 3 จะได้ค่ายับยั้งของเซลนั้นเมื่อผ่าน Step 10 ไปแล้ว ดังค่ายับยั้งของแต่ละ S-cell ในแต่ละเพลน ดังนี้ (ในที่นี้ขอแสดงค่ายับยั้งที่ถูกหารด้วย 100000 เช่นเดียวกับค่ากระตุ้นเพื่อให้พิจารณาเปรียบเทียบกันได้ง่าย)

$U_{S1}(k=0)$ ในเพลนที่ 1

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.1 1.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 1.8 1.5 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.9 2.0 1.5 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.5 2.0 1.9 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.1 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.9 2.1 1.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.0 2.2 1.9 2.2 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.9 2.1 1.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.9 2.1 1.9 0.0 1.9 2.1 1.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.9 2.1 1.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.9 2.3 2.4 1.9 2.2 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.9 2.1 1.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.9 2.4 2.6 2.1 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.9 2.1 1.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.3 2.4 2.1 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.9 2.1 1.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.5 2.0 1.9 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 2.1 2.4 2.7 2.5 2.2 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.3 2.4 2.3 1.8 1.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

$U_{S1}(k=1)$ ในเพลนที่ 2

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.1 1.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 1.7 1.5 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.9 2.0 1.5 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.9 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.5 2.0 1.9 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.0 2.1 1.8 2.1 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.3 2.4 1.8 2.1 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.3 2.5 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.2 2.4 2.1 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.5 2.0 1.9 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 2.1 2.4 2.6 2.5 2.1 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.3 2.3 2.3 1.7 1.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$U_{S1}(k=2)$ ในเพลนที่ 3

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.1 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 1.7 1.5 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.9 2.0 1.5 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.9 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.5 2.0 1.9 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.0 2.1 1.8 2.1 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.3 2.4 1.8 2.1 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.3 2.5 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.2 2.4 2.1 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.5 2.0 1.9 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 2.1 2.4 2.6 2.5 2.1 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.3 2.3 2.3 1.7 1.1 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0

$U_{S1}(k=3)$ ในเพลนที่ 4

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.1 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 1.7 1.5 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.8 2.0 1.5 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 1.5 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.5 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.5 2.0 1.8 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 2.0 2.0 2.0 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.0 2.1 1.8 2.1 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.2 2.3 1.8 2.1 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.3 2.5 2.0 2.0 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.2 2.3 2.0 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.5 2.0 1.8 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 2.0 2.0 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.5 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 2.0 2.0 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 2.0 2.3 2.6 2.4 2.1 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.2 2.3 2.2 1.7 1.1 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0

$U_{S1}(k=4)$ ในเพลนที่ 5

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.1 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 1.7 1.5 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.9 2.0 1.5 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.9 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.5 2.0 1.9 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.0 2.1 1.8 2.1 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.3 2.4 1.8 2.1 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.3 2.5 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.2 2.4 2.1 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.5 2.0 1.9 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 2.1 2.4 2.6 2.5 2.1 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.3 2.3 2.3 1.7 1.1 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$U_{S1}(k=5)$ ในเพลนที่ 6

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.1 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 1.7 1.5 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.9 2.0 1.5 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.9 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.5 2.0 1.9 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.0 2.1 1.8 2.1 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.3 2.4 1.8 2.1 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.3 2.5 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.2 2.4 2.1 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.5 2.0 1.9 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 2.1 2.4 2.6 2.5 2.1 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.3 2.3 2.3 1.7 1.1 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0

$U_{S1}(k=6)$ ในเพลนที่ 7

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.1 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 1.8 1.5 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.9 2.0 1.5 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.5 2.0 1.9 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.1 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.9 2.1 1.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.0 2.2 1.9 2.2 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.9 2.1 1.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.9 2.1 1.9 0.0 1.9 2.1 1.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.9 2.1 1.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.9 2.3 2.4 1.9 2.2 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.9 2.1 1.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.9 2.4 2.6 2.1 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.9 2.1 1.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.3 2.4 2.1 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.9 2.1 1.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.5 2.0 1.9 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 2.1 2.4 2.7 2.5 2.2 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.1 2.3 2.4 2.3 1.8 1.1 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0

$U_{S1}(k=7)$ ในเพลนที่ 8

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.1 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 1.7 1.5 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.9 2.0 1.5 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.9 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.5 2.0 1.9 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.0 2.1 1.8 2.1 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.3 2.4 1.8 2.1 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.3 2.5 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.2 2.4 2.1 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.5 2.0 1.9 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 2.1 2.4 2.6 2.5 2.1 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.3 2.3 2.3 1.7 1.1 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\dot{U}_{S1}(k=8)$ ในเพลนที่ 9

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.1 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 1.7 1.5 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.9 2.0 1.5 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.9 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.5 2.0 1.9 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.0 2.1 1.8 2.1 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.3 2.4 1.8 2.1 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.3 2.5 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.2 2.4 2.1 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.5 2.0 1.9 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 2.1 2.4 2.6 2.5 2.1 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.3 2.3 2.3 1.7 1.1 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0

$U_{S1}(k=9)$ ในเพลนที่ 10

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.1 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 1.7 1.5 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.8 2.0 1.5 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.5 2.0 1.8 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 2.0 2.0 2.0 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.0 2.1 1.8 2.1 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.2 2.3 1.8 2.1 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.3 2.5 2.0 2.0 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.2 2.3 2.0 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.5 2.0 1.8 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 2.0 2.0 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 2.0 2.0 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 2.0 2.3 2.6 2.4 2.1 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.2 2.3 2.2 1.7 1.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

$U_{S1}(k=10)$ ในเพลนที่ 11

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.1 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 1.7 1.5 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.9 2.0 1.5 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.9 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.5 2.0 1.9 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.0 2.1 1.8 2.1 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.3 2.4 1.8 2.1 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.3 2.5 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.2 2.4 2.1 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.5 2.0 1.9 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 2.1 2.4 2.6 2.5 2.1 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.3 2.3 2.3 1.7 1.1 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$U_{S1}(k=11)$ ในเพลนที่ 12

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.1 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 1.7 1.5 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.9 2.0 1.5 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.9 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.5 2.0 1.9 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.0 2.1 1.8 2.1 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.3 2.4 1.8 2.1 2.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.8 2.3 2.5 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 2.2 2.4 2.1 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.8 2.0 1.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.5 2.0 1.9 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 1.9 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 1.0 1.6 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.9 2.0 2.0 1.6 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 1.9 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 2.1 2.4 2.6 2.5 2.1 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 1.0 1.6 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.3 2.3 2.3 1.7 1.1 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.5 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0

ค่ายับยั้งที่ได้มานี้ จะพบว่าจะมีค่ามากที่สุดในตำแหน่งที่ตรงกับฟีเจอร์เช่นกัน แต่จะน้อยกว่าค่ากระตุ้นในตำแหน่งนั้น แต่ในตำแหน่งรอบๆ ที่ฟีเจอร์ปรากฏขึ้นมา ค่าจะน้อยลงแต่จะมีค่ามากกว่าค่ากระตุ้นที่ตำแหน่งตรงกันในเซลรอบๆ ดังนั้นค่ายับยั้งในเซลรอบๆ ฟีเจอร์มักจะมีอิทธิพลมากกว่าค่ากระตุ้นทำให้การแยกแยะฟีเจอร์ออกมาชัดเจนขึ้นว่าตรวจสอบพบฟีเจอร์นั้นในตำแหน่งไหนของเพลน ในตำแหน่งอื่นที่ใกล้เคียงถ้าค่ากระตุ้นมีไม่มากพอ เพราะฟีเจอร์ที่ตรวจสอบพบนั้นไม่ชัดเจนก็จะถูกค่ายับยั้งกำจัดไปในกระบวนการเปรียบเทียบระหว่างสองค่าตามสมการที่ 3.4

ในที่นี้ เนื่องจากยกตัวอย่างการแยกแยะฟีเจอร์ของเลเยอร์ที่ 1 โดยที่เป็นการแยกแยะฟีเจอร์ของอินพุตแพทเทิร์นซึ่งเส้นตัวอักษรเป็นเส้นเดี่ยว ดังนั้นเซลรอบๆ ตำแหน่งของเส้นตัวอักษรจึงเป็นค่าศูนย์ ทำให้ค่ากระตุ้นเกิดขึ้นเฉพาะในตำแหน่งของเส้น ส่วนเซลรอบๆ จะได้เป็นค่าศูนย์ตามไปด้วย เพราะไม่มีฟีเจอร์มากระตุ้นให้มีค่าขึ้น แต่ค่ายับยั้งจะปรากฏขึ้นมาในเซลรอบๆด้วย เพราะในการประมวลผลให้ได้ค่ายับยั้งนำมาจากค่าของ U_{V1} ที่เป็นการหาค่าเฉลี่ยของจุดที่เกิดฟีเจอร์ไปในเซลรอบๆด้วย ตามที่ได้อธิบายแล้ว แต่ในส่วนของเลเยอร์ที่สูงกว่านี้อินพุตของการแยกแยะฟีเจอร์ใน U_{SI} จาก U_{CI-1} ของเลเยอร์ก่อนหน้านั้น ค่าในเพลนจะถูกทำเบลอร์มาจากกระบวนการของ C-layer มาแล้ว จึงจะพบว่าค่ากระตุ้นในเซลรอบๆ ฟีเจอร์จะมีค่าด้วย ไม่ได้เป็นศูนย์เช่นนี้

จากค่ากระตุ้น และค่ายับยั้ง ของ S-cell ในแต่ละเพลนนั้น ได้แยกแสดงทั้งเพลนสำหรับการพิจารณาเปรียบเทียบแล้ว แต่ในการประมวลผลขั้นตอนโดยรวมจะเป็นการหาค่ากระตุ้น และค่ายับยั้งในเซลที่กำลังจะหาค่าให้ S-cell สำหรับการแยกแยะฟีเจอร์ของ S-cell นั้นๆ แล้วเปรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทียบเพื่อให้ได้ค่าของแต่ละ S-cell นั้นเลย (ดูอัลกอริทึมที่ 3 Step 1-12) แต่ในที่นี้ขอแสดงรวมทั้งเพลนทีละค่า เพื่อให้เปรียบเทียบแต่ละเพลน และแต่ละเซลได้ชัดเจน

3.5.3 ผลของการแยกแยะฟีเจอร์ใน S-cell ต่อไปจะแสดงผลจากการเปรียบเทียบค่ากระตุ้น และค่ายับยั้ง เพื่อได้เป็นค่าของ S-cell ซึ่งเป็นผลลัพธ์ในการแยกแยะฟีเจอร์ของอินพุตแพทเทิร์นเลข ๔ ในแต่ละเพลนในเลเยอร์ที่ 1 โดยจะเปรียบเทียบว่าถ้าค่ากระตุ้นมีค่ามากกว่าค่ายับยั้ง เซลนั้นจะได้ผลของการเปรียบเทียบมีค่ามากกว่าศูนย์ ดังนั้นค่าของเซลที่มากกว่าศูนย์ถือว่าเซลนั้นแอคทีฟ หรือแสดงว่าเซลในตำแหน่งนั้นมีฟีเจอร์ปรากฏอยู่ แต่ถ้าเปรียบเทียบแล้วค่ายับยั้งมีค่ามากกว่าค่ากระตุ้น จะได้ผลของการเปรียบเทียบมีค่าน้อยกว่าศูนย์ ดังนั้นค่าของเซลจะเป็นศูนย์ถือว่าไม่แอคทีฟ หรือไม่พบฟีเจอร์ในตำแหน่งนั้น หรือฟีเจอร์ที่ปรากฏอยู่ในตำแหน่งนั้นไม่ชัดเจน ทำให้ค่ายับยั้งซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นค่าเฉลี่ยของค่ากระตุ้นสำหรับเซลนั้น ทำหน้าที่ในการยับยั้งการแยกแยะฟีเจอร์ที่ไม่ชัดเจนได้สำเร็จ ค่าในเซลของ S-cell จึงเป็นศูนย์ กลไกในการใช้ค่ายับยั้งนี้เองทำให้นีโอคอคนิตรอนสามารถแยกแยะฟีเจอร์ได้ถูกต้องมากขึ้น เพราะจะให้ความสำคัญในระดับหนึ่งของค่ากระตุ้นที่เข้ามา ว่าชัดเจนกว่าค่าเฉลี่ยที่ควรจะเป็นของฟีเจอร์นั้นหรือไม่

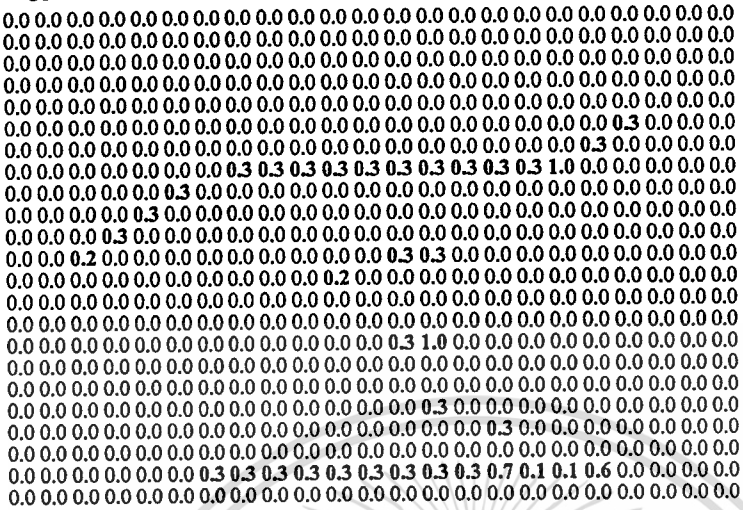
ผลลัพธ์ในเซลของ S-cell เมื่อผ่านอัลกอริทึมที่ 3 Step 11-12 ไปแล้ว สำหรับตัวอักษร ๔ ดังนี้

$U_{S1}(k=0)$ ในเพลนที่ 1

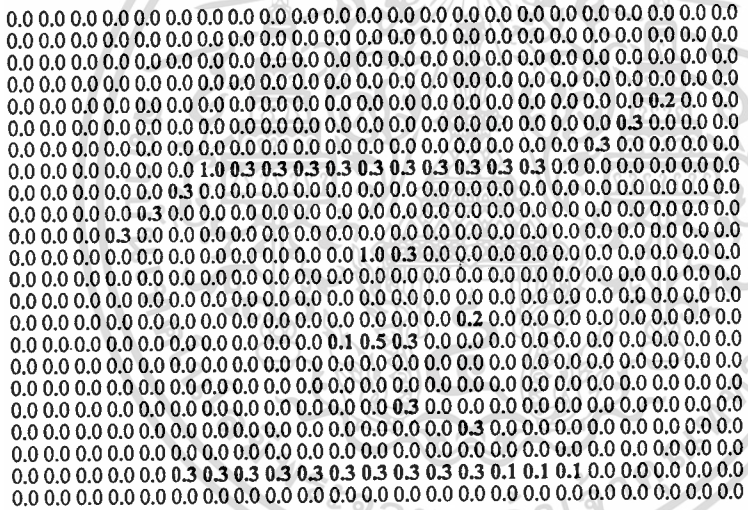
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 **0.3** **1.0** **1.0** **1.0** **1.0** **1.0** **1.0** **1.0** **1.0** **1.0** **1.0** **0.3** 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 **0.3** **1.0** **0.3** 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 **0.1** **0.5** **1.0** **0.3** 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 **0.3** **0.3** 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 **0.3** **0.3** 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 **0.3** **1.0** **1.0** **1.0** **1.0** **1.0** **1.0** **1.0** **1.0** **1.0** **0.7** **0.7** **0.7** **0.6** 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

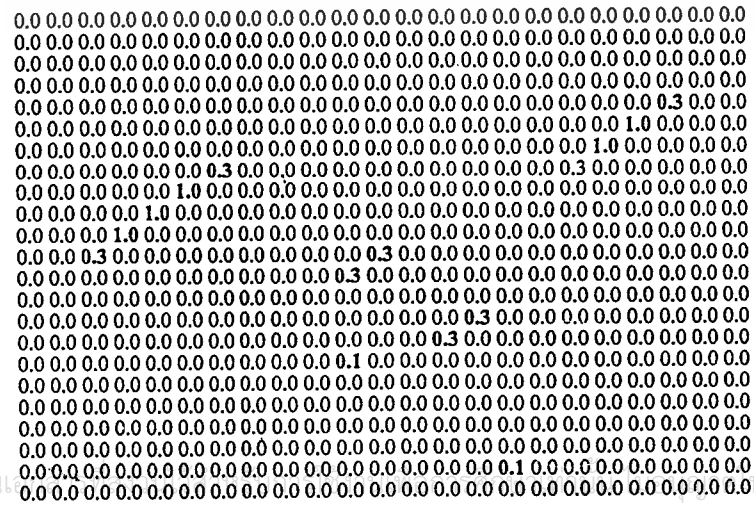
$U_{S1}(k=1)$ ในเพลนที่ 2



$U_{S1}(k=2)$ ในเพลนที่ 3

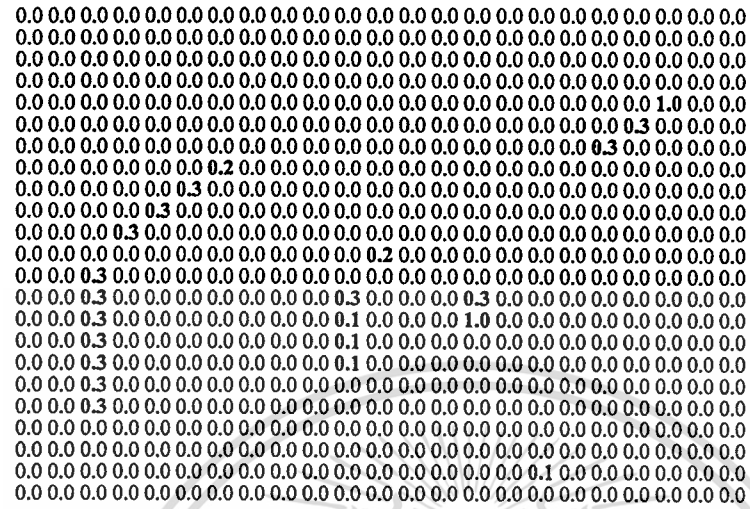


$U_{S1}(k=3)$ ในเพลนที่ 4

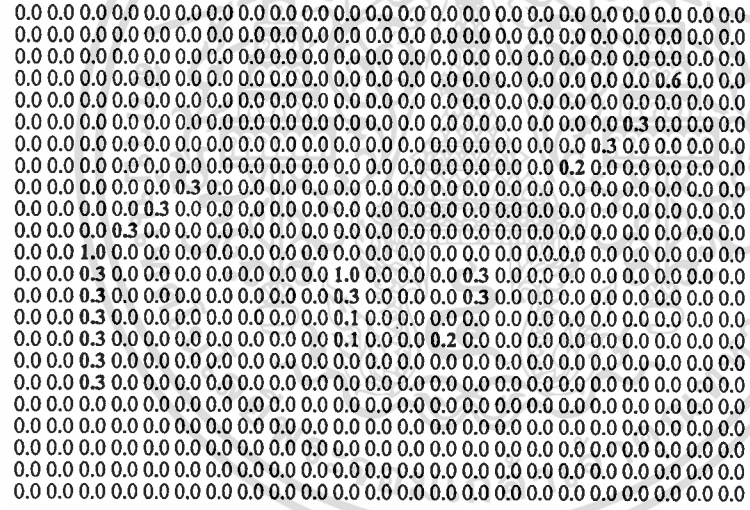


เอกสารนี้เป็นเ ห้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

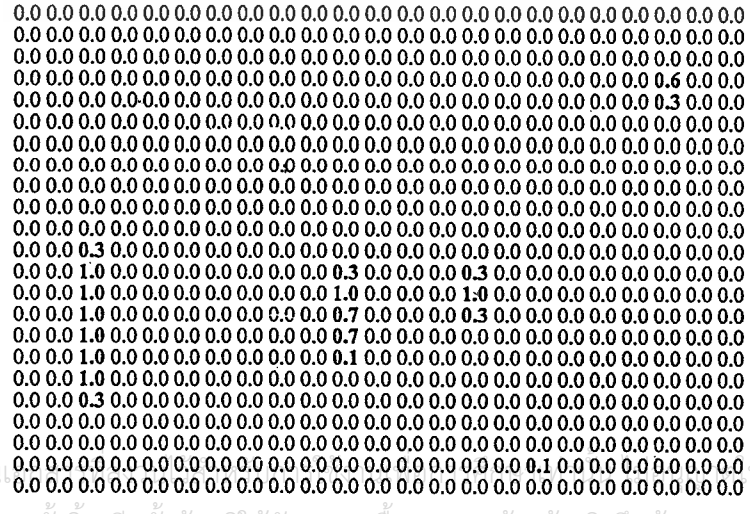
$U_{S1}(k=4)$ ในเพลนที่ 5



$U_{S1}(k=5)$ ในเพลนที่ 6



$U_{S1}(k=6)$ ในเพลนที่ 7



เอกสารนี้เป็นเ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$U_{S1}(k=7)$ ในเพลนที่ 8

0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

$U_{S1}(k=8)$ ในเพลนที่ 9

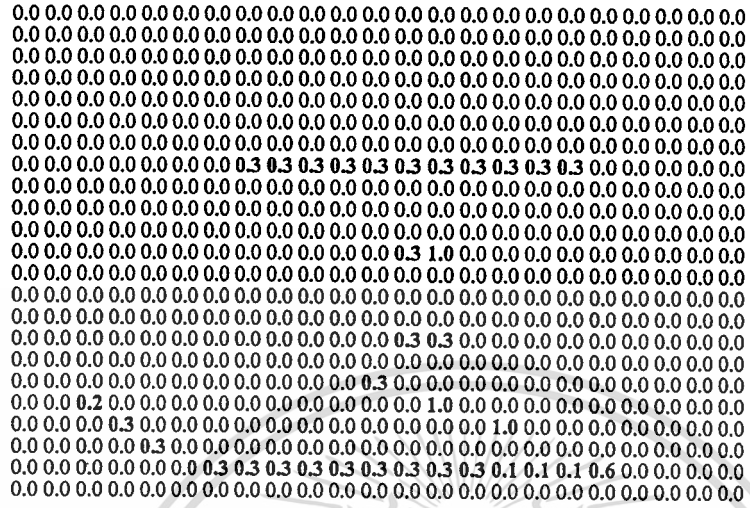
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

$U_{S1}(k=9)$ ในเพลนที่ 10

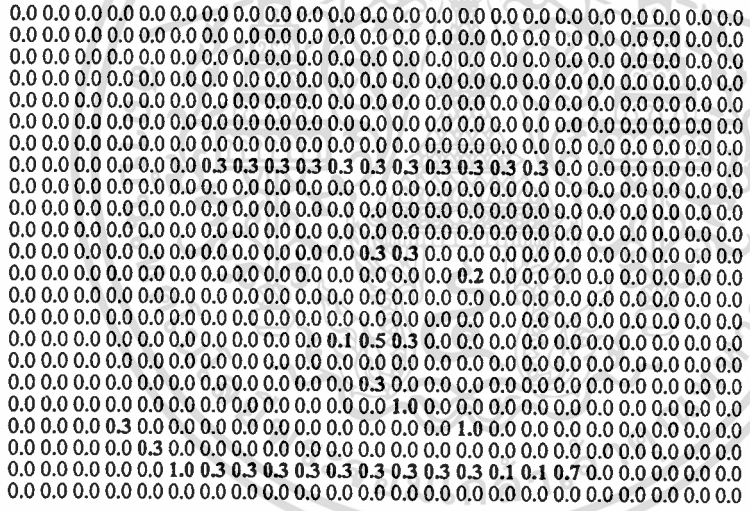
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

เอกสารนี้เป็นเอ... หนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$U_{S1}(k=10)$ ในเพลนที่ 11



$U_{S1}(k=11)$ ในเพลนที่ 12



จะพบว่าเซลจะแอคทีฟเฉพาะตำแหน่งที่ค่ากระตุ้นมีค่ามากกว่าค่ายับยั้ง โดยเป็นตำแหน่งที่มีฟีเจอร์ที่เพลนนั้นรับผิดชอบอยู่ เช่นในเพลนที่ 1 เซลที่แอคทีฟขึ้นมาจะเป็นเซลที่อยู่เฉพาะในตำแหน่งของเส้นแนวนอน ส่วนเซลในตำแหน่งอื่นจะไม่มีการแอคทีฟขึ้นมาสำหรับการแยกแยะฟีเจอร์นี้ และค่าในเซลที่มากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับความชัดเจนของฟีเจอร์ ที่เห็นได้ชัดคือเซลที่ตรงกับส่วนปลายของเส้นจะมีค่าน้อยกว่าส่วนกลางเส้น เพราะเมื่อพิจารณาร่วมกับเซลรอบๆ ในกลุ่มรีเซพทีฟที่ประมวลผลอยู่นั้น จะพบว่าค่าผลรวมของค่ากระตุ้นจะน้อยกว่า เพราะจำนวนอิลิเมนท์ที่แอคทีฟขึ้นมามีจำนวนน้อยกว่าส่วนกลางเส้น ในขณะที่ค่ายับยั้งจะคำนวณจากทุกจุดรอบๆ ที่ถูกเฉลี่ยออกไปด้วย ทำให้อิลิเมนท์รอบๆ ของจุดปลายเส้นมีผลในการเพิ่มค่ายับยั้งขึ้นมาทำงาน ส่งผลให้ค่าในการแยกแยะฟีเจอร์นี้ที่ส่วนปลายของเส้นมีค่าน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำหน้าที่ของค่ายับยั้ง จะช่วยในการคัดเลือกฟีเจอร์ของ S-cell โดยค่าพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการยับยั้ง ในสมการที่ 3.3 คือพารามิเตอร์ r ซึ่งได้กล่าวถึงความสำคัญไปในบทที่สองแล้ว ในการทดลองจึงได้ทำการเลือกพารามิเตอร์ r ขึ้นมาหลายชุด แล้วทดลองจนกว่าจะได้ผลลัพธ์โดยรวมที่น่าพอใจ ดังจะได้กล่าวถึงผลการทดลองในบทที่ 5

ในเลเยอร์ที่สูงขึ้นไปของ S-cell การประมวลผลจะเป็นไปในลักษณะเดียวกัน แต่เนื่องจากอินพุตเพลนของ C-cell ในเลเยอร์ก่อนหน้านั้นมีมากกว่าหนึ่งเพลน ดังนั้นจึงต้องทำการหาผลรวมในทุกๆ เพลน เพื่อเป็นการหาค่าของ S-cell ในการแยกแยะฟีเจอร์เดียวกันบนตำแหน่งเดียวกัน สำหรับ C-cell ในทุกๆ เพลนที่เชื่อมต่อมายัง S-cell นั้นๆ ด้วยการแยกแยะโดยค่าถ่วงประจำระหว่าง C-cell เพลนนั้นๆ กับ S-cell ในเพลนที่ต้องการ ทั้งนี้เพราะในเน็ตเวิร์คจะมีค่าถ่วง $a_l(\kappa,v,k)$ สำหรับทุกการเชื่อมต่อ ในทุกๆ เพลนจากเลเยอร์ของ C-cell ไปยังทุกๆเพลนของ S-cell ดังนั้นเมื่อต้องการหาผลลัพธ์ของ S-cell ในเพลนใดๆ จึงต้องพิจารณาจากค่ากระตุ้นจากทุกๆ เพลนที่เป็นอินพุตจากเลเยอร์ก่อนหน้านั้น แต่ไม่ได้หมายความว่าทุกๆ เพลนจะมีค่ากระตุ้นจากเซลที่แอคทีฟหมดทุกเพลน โดยส่วนใหญ่แล้วค่าในเซลมักจะเป็นศูนย์ ยกเว้นในเพลนที่มีฟีเจอร์ที่เป็นโลคอลฟีเจอร์ต่อเนื่องมาจนถึงโกลบอลฟีเจอร์ของโลคอลฟีเจอร์นั้นๆ จึงจะมีเซลแอค ทีฟขึ้นมาเป็นค่ากระตุ้นสำหรับ S-cell

ดังนั้นการหาค่าผลลัพธ์ของการแยกแยะฟีเจอร์ใน U_S เลเยอร์ที่สูงขึ้น จึงต้องทำการหาผลรวมของทุกๆ เพลนของ C-cell ในเลเยอร์ก่อนหน้านั้น เพราะไม่ทราบว่าในการเชื่อมต่อระหว่างเพลนในแต่ละเลเยอร์นั้น มีเพลนใดที่จะได้ผลลัพธ์มาจากการแยกแยะฟีเจอร์ใดบ้าง เนื่องมาจากการที่ไม่ได้ระบุว่าจะต้องวางเทรนนิ่งแพทเทิร์นสำหรับฟีเจอร์ใดไว้ในเพลนไหน เพื่อรองรับโกลบอลฟีเจอร์ของเทรนนิ่งแพทเทิร์นนั้น แต่สามารถวางเทรนนิ่งแพทเทิร์นของฟีเจอร์ใดๆ ให้กับเพลนไหนในเลเยอร์นั้นก็ได้

3.6 การประมวลผลและค่าของเซลในขั้นตอนการจดจำของ C-cell (Uc Recognition)

การประมวลผลในขั้นตอนการจดจำของ C-cell จะเป็นกระบวนการรวมฟีเจอร์ หรือการทำเบลอร์ของ U_C ตามอัลกอริทึมที่ 4 ด้วยค่าถ่วงคงที่ d ของแต่ละเลเยอร์ ในเน็ตเวิร์คของนีโอคอคนิตรอนเมื่อผ่านกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์ใน S-layer แล้วจะนำผลลัพธ์ของการแยกแยะฟีเจอร์นั้นเข้าสู่กระบวนการรวมฟีเจอร์ของ C-cell ในเลเยอร์เดียวกัน เพื่อให้ฟีเจอร์ที่แยกแยะมาแล้วสามารถมีการเลื่อนตำแหน่งได้ และกระบวนการรวมฟีเจอร์ของ U_C ยังประกอบอยู่ในขั้นตอนของการเรียนรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาก่อนด้วยเช่นเดียวกับการแยกแยะฟีเจอร์ของ U_S ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ก่อนที่จะทำการเรียนรู้ในเลเยอร์ใด ต้องทำการแยกแยะฟีเจอร์ของเทรนนิ่งแพทเทิร์นใน S-layer และรวมข้อมูลฟีเจอร์ใน C-layer มาจนถึงเลเยอร์ก่อนหน้านั้น ดังนั้นค่าถ่วงที่ได้มาจากการเรียนรู้เทรนนิ่งแพทเทิร์นที่ผ่านกระบวนการทำให้ฟีเจอร์นั้นเบลอร์ จึงได้รับข้อมูลของการเลื่อนตำแหน่งฟีเจอร์นั้นๆ มาด้วย หน้าที่ของ C-cell จึงเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้นีโอคอคนิตรอนสามารถจดจำตัวอักษรที่ฟีเจอร์มีการเลื่อนตำแหน่งได้

หน้าที่ของ C-cell ในการรวมข้อมูลของการแยกแยะฟีเจอร์ที่มีการวางตัวหลากหลายกันของ U_S แต่เป็นฟีเจอร์ในลักษณะใกล้เคียงกันรวมกันเข้าสู่เพลนเดียวของ U_C นั้น ขึ้นอยู่กับค่าของพารามิเตอร์ j ในสมการที่ 2.7 ที่กำหนดการรวมข้อมูลจากเพลนใดของ U_S มายังเพลนของ U_C ดังจะได้ทราบถึงการกำหนดเทรนนิ่งแพทเทิร์นในบทต่อไป

จากอัลกอริทึมที่ 4 หลักการรวมฟีเจอร์ของตัวอักษรใน U_C นั้น การหาค่าผลลัพธ์ของ C-cell ใดๆ จะหาได้จากการหาค่าผลรวมทุกเพลนของผลคูณเชิงสเกลาร์ระหว่างเมทริกซ์ของอาเรย์ค่าถ่วงคงที่ d_l และค่าของกลุ่มรีเซพทีฟฟิลด์ $u_{Sl}(n+\nu,\kappa)$ ของ S-cell ที่เชื่อมต่อมายัง C-cell นั้น โดยค่าของ C-cell จะแอคทีฟขึ้นมาเมื่อมี S-cell เพียงเซลเดียวที่แอคทีฟในกลุ่มเซลที่เชื่อมต่อ เพราะการหาผลรวมทุกเพลนในตำแหน่งเดียวกันของ S-cell ที่เชื่อมต่อกันมา จะต้องมาคูณด้วยค่าพารามิเตอร์ $j(\kappa,k)$ ที่จะเป็นค่า 1 ถ้าต้องมีการรวมข้อมูลฟีเจอร์จากเพลนที่ κ ของ U_S มายังเพลนที่ k ของ U_C แต่ถ้าไม่ต้องรวมข้อมูลมาในการเชื่อมต่อระหว่างเพลนที่สนใจอยู่นี้ ค่าของ j ก็จะเป็นค่าศูนย์ ดังนั้น j จึงเป็นตัวกำหนดว่าผลลัพธ์ของ C-cell ในเพลนใด จะรับข้อมูลมาจาก S-cell ในเพลนใดบ้าง แต่เนื่องจากการรวมข้อมูลในการเชื่อมต่อระหว่าง S-cell มายัง C-cell จะขึ้นอยู่กับการกำหนดฟีเจอร์ในเลเยอร์ ทำให้ต้องทำการหาผลคูณเชิงสเกลาร์ในกลุ่มเซลที่อยู่ในตำแหน่งเชื่อมต่อเดียวกันทุกๆ เพลนของ S-cell ในเลเยอร์นั้น แล้วใช้พารามิเตอร์ j เป็นตัวแปรในการกำหนดร่วมด้วยว่าจะหาผลรวมจากเพลนใดบ้าง

ตัวอย่างที่จะขอแสดงค่าของเซลในเพลนของ U_C ต่อเนื่องมาจากตัวอย่างของการแยกแยะฟีเจอร์เลข ๔ ในหัวข้อก่อนหน้านี้ของ U_S เลเยอร์ที่ 1 โดยพิจารณาร่วมกับค่าถ่วง d_1 ก่อนการนอร์มัลไลซ์ที่ได้แสดงการหามาแล้วในบทที่ 2 จึงขอยกมาแสดงประกอบอีกครั้ง

$$d_1 = \begin{bmatrix} 0.6039 & 0.7000 & 0.6039 \\ 0.7000 & 1.0000 & 0.7000 \\ 0.6039 & 0.7000 & 0.6039 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อผ่านการนอร์มัลไลซ์ด้วยผลรวมของค่าในทุกอิลิเมนท์ในอาเรย์แล้ว (ไม่ต้องนอร์มัลไลซ์ค่าถ่วงด้วยจำนวนเพลนในเลเยอร์ก่อนหน้านั้นเหมือน c) จะได้ค่าถ่วง d_1 เป็น

$$d_1 = \begin{bmatrix} 0.0972 & 0.1126 & 0.0972 \\ 0.1126 & 0.1608 & 0.1126 \\ 0.0972 & 0.1126 & 0.0972 \end{bmatrix}$$

จะพบว่าค่าของ d_1 จะเหมือนกับค่าของ c_1 ในหัวข้อก่อนหน้านี้ ถึงแม้ว่าจะนอร์มัลไลซ์ไม่เหมือนกัน แต่จำนวนเพลนที่นำมานอร์มัลไลซ์ c_1 มีเพียงเพลนเดียวของ U_{C0} ดังนั้นจึงมีค่าเท่ากับ d_1 ที่ไม่ต้องนอร์มัลไลซ์ด้วยจำนวนเพลนของ U_{S1}

การรวมเข้าด้วยกัน (joining) ของพารามิเตอร์ $j_1(\kappa,k)$ ตามฟีเจอร์ในเลเยอร์ที่ 1 ที่ได้แสดงในรูปที่ 2.17 ตามเส้นที่ลากด้านข้างของฟีเจอร์ จะเขียนแสดงการเชื่อมต่อระหว่างเพลนที่ κ ของ U_{S1} และเพลนที่ k ของ U_{C1} เฉพาะที่ต้องมีการรวมเข้าด้วยกัน คือ มีค่าเป็น 1 ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
j_1(1,1) &\rightarrow 1 \\
j_1(2,2) &\rightarrow 1 \\
j_1(3,2) &\rightarrow 1 \\
j_1(4,3) &\rightarrow 1 \\
j_1(5,4) &\rightarrow 1 \\
j_1(6,4) &\rightarrow 1 \\
j_1(7,5) &\rightarrow 1 \\
j_1(8,6) &\rightarrow 1 \\
j_1(9,6) &\rightarrow 1 \\
j_1(10,7) &\rightarrow 1 \\
j_1(11,8) &\rightarrow 1 \\
j_1(12,8) &\rightarrow 1
\end{aligned}$$

สำหรับตัวอย่างของอินพุตแพทเทิร์นในรูปที่ 3.3 เมื่อผ่านการแยกแยะฟีเจอร์ของ U_{S1} แล้วเข้าสู่กระบวนการรวมฟีเจอร์ของ C-cell แล้ว โดยประมวลผลตามอัลกอริทึมที่ 4 จะได้ค่าของ $u_{C1}(k,n)$ ในแต่ละเพลนของ U_{C1} ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$U_{C1}(k=0)$ ในเพลนที่ 1

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.35	0.49	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.49	0.35	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.39	0.55	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.55	0.39	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.35	0.49	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.49	0.35	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.35	0.41	0.35	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.39	0.48	0.39	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.35	0.41	0.35	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.19	0.40	0.44	0.35	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.22	0.45	0.51	0.39	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.19	0.40	0.44	0.35	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.21	0.21	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.25	0.31	0.28	0.21	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.21	0.28	0.31	0.25	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.35	0.49	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.57	0.58	0.56	0.50	0.46	0.36	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.39	0.55	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.59	0.55	0.53	0.51	0.42	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.35	0.49	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.53	0.50	0.47	0.46	0.36	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

$U_{C1}(k=1)$ ในเพลนที่ 2

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.10	0.09	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.26	0.27	0.10	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.18	0.34	0.40	0.26	0.09	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.41	0.47	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.48	0.49	0.49	0.33	0.18	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.41	0.53	0.53	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.53	0.53	0.41	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.33	0.49	0.49	0.48	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.47	0.41	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.18	0.33	0.44	0.34	0.18	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.09	0.26	0.40	0.33	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.41	0.44	0.28	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.10	0.27	0.26	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.36	0.50	0.50	0.33	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.09	0.10	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.35	0.44	0.44	0.28	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.10	0.09	0.00	0.09	0.10	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.19	0.33	0.46	0.44	0.35	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.23	0.40	0.52	0.50	0.36	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.21	0.34	0.46	0.41	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.13	0.22	0.22	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.27	0.34	0.31	0.22	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.22	0.31	0.34	0.27	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.28	0.39	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.47	0.53	0.49	0.38	0.30	0.28	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.33	0.45	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.51	0.47	0.37	0.34	0.34	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.28	0.39	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.45	0.40	0.33	0.30	0.28	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

$U_{C1}(k=2)$ ในเพลนที่ 3

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.11	0.10	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.37	0.36	0.11	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.47	0.53	0.37	0.10	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.11	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.37	0.53	0.47	0.28	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.37	0.36	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.36	0.37	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.47	0.53	0.37	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.11	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.28	0.47	0.59	0.47	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.10	0.37	0.53	0.47	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.11	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.11	0.36	0.37	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	0.22	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.10	0.11	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.22	0.20	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.11	0.10	0.00	0.10	0.11	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	0.22	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.03	0.11	0.22	0.20	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.04	0.10	0.11	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$U_{C1}(k=3)$ ในเพลนที่ 4

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.23	0.20	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.41	0.47	0.40	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.49	0.54	0.41	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.34	0.49	0.41	0.28	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.10	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.26	0.40	0.33	0.18	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.26	0.27	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.27	0.26	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.33	0.40	0.26	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.10	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.18	0.33	0.44	0.33	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.28	0.41	0.49	0.34	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.10	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.41	0.53	0.49	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.36	0.35	0.10	0.12	0.13	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.47	0.53	0.48	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.50	0.44	0.09	0.28	0.33	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.43	0.49	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.49	0.43	0.00	0.44	0.50	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.43	0.49	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.34	0.29	0.09	0.44	0.50	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.43	0.49	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.23	0.20	0.10	0.35	0.36	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.43	0.49	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.17	0.14	0.09	0.10	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.39	0.45	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.08	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.28	0.33	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.12	0.13	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.06	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

$U_{C1}(k=4)$ ในเพลนที่ 5

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.21	0.19	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.35	0.28	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.32	0.27	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.12	0.11	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.11	0.12	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.35	0.39	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.12	0.11	0.00	0.11	0.12	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.49	0.55	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.39	0.35	0.00	0.35	0.39	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.55	0.61	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.53	0.46	0.00	0.41	0.48	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.55	0.61	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.55	0.50	0.00	0.35	0.39	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.55	0.61	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	0.45	0.39	0.00	0.11	0.12	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.55	0.61	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.28	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.49	0.55	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.35	0.39	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.11	0.12	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

$U_{C1}(k=5)$ ในเพลนที่ 6

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.23	0.20	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.36	0.30	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.34	0.29	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.13	0.12	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.12	0.13	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.10	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.28	0.33	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.13	0.12	0.10	0.35	0.36	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.39	0.45	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.33	0.28	0.09	0.44	0.50	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.43	0.49	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	0.48	0.42	0.00	0.44	0.50	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.43	0.49	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.47	0.40	0.00	0.28	0.33	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.43	0.49	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.45	0.40	0.00	0.12	0.13	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.43	0.49	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.43	0.39	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.47	0.53	0.48	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.37	0.42	0.31	0.17	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.41	0.53	0.49	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.26	0.32	0.26	0.24	0.17	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.28	0.41	0.49	0.34	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.17	0.24	0.26	0.32	0.26	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.18	0.33	0.40	0.26	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.17	0.32	0.32	0.22	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.26	0.27	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.23	0.21	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.10	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.05	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$U_{C1}(k=6)$ ในเพลนที่ 7

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

$U_{C1}(k=7)$ ในเพลนที่ 8

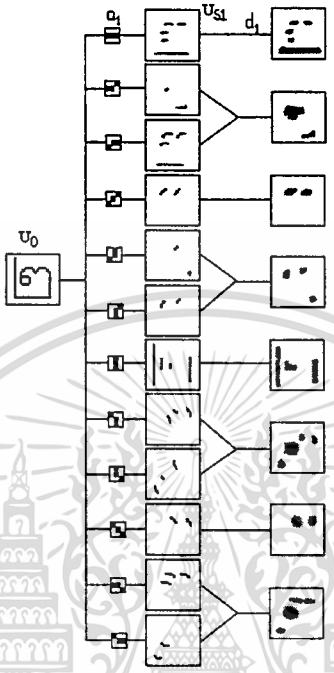
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.12 0.28 0.39 0.43 0.43 0.43 0.43 0.43 0.43 0.43 0.43 0.39 0.28 0.12 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.13 0.33 0.45 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49 0.45 0.33 0.13 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.12 0.28 0.39 0.43 0.43 0.43 0.43 0.43 0.43 0.43 0.43 0.39 0.28 0.12 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.12 0.28 0.44 0.41 0.28 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.13 0.33 0.50 0.50 0.36 0.09 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.12 0.28 0.44 0.44 0.35 0.10 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.01 0.01 0.01 0.00 0.09 0.10 0.09 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.04 0.20 0.34 0.38 0.28 0.12 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.06 0.24 0.40 0.44 0.33 0.13 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.05 0.33 0.44 0.45 0.29 0.12 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.09 0.10 0.09 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.02 0.21 0.44 0.52 0.46 0.28 0.01 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.10 0.27 0.26 0.18 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.18 0.41 0.57 0.60 0.57 0.46 0.28 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.09 0.26 0.40 0.34 0.18 0.01 0.00 0.00 0.00 0.00 0.28 0.46 0.57 0.60 0.52 0.31 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.18 0.33 0.49 0.49 0.48 0.43 0.43 0.43 0.43 0.43 0.43 0.43 0.54 0.59 0.56 0.47 0.41 0.38 0.20 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.18 0.41 0.53 0.53 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49 0.44 0.34 0.37 0.47 0.44 0.23 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.28 0.41 0.47 0.43 0.43 0.43 0.43 0.43 0.43 0.43 0.43 0.38 0.29 0.33 0.41 0.38 0.20 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

จะพบว่าค่าในเพลนของ C-layer แต่ละเพลนจะเป็นการเบลอร์จากค่าในเพลนของ S-layer ก่อนหน้านี้ ตามฟีเจอร์ที่เชื่อมต่อกัน บางเพลนของ C-layer จะรับข้อมูลแล้วรวมฟีเจอร์เข้าด้วยกันจากหลายเพลนของ S-layer ได้ เช่นจากตัวอย่าง เพลนของ C-cell ที่มีการรวมข้อมูลของ S-cell มามากกว่าหนึ่งเพลนคือ เพลนที่ 2,4,6 และ 8

จากรูปที่ 3.6 การจดจำตัวเลข ๒ เมื่อผ่านกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์ของ S-cell ใน U_{S1} และกระบวนการรวมฟีเจอร์ หรือการทำเบลอร์ของ C-cell ใน U_{C1} ไปแล้วจะได้ผลลัพธ์ดังรูปจำลองที่ 3.9 ต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่างการจดจำตัวอักษร และผลของเซลในแต่ละเพลน เมื่อผ่านการประมวลผลของเลเยอร์ที่ 1 แล้ว



พบว่าฟีเจอร์ที่ได้ผ่านการแยกแยะมาแล้วใน S-layer บางเพลนที่ฟีเจอร์ใกล้เคียงกันเช่นในเพลนที่ 2 และ 3 จะถูกรวมไปสู่เพลนเดียวของ C-layer ในเพลนที่ 2 เพราะต้องการให้ข้อมูลของการแยกแยะฟีเจอร์ที่ใกล้เคียงกันนี้ถูกรวมเข้าเป็นผลของการแยกแยะฟีเจอร์เดียว เพื่อให้สามารถแยกแยะฟีเจอร์เดียวกัน แต่เขียนต่างกันมากเกินกว่าจะสอนให้เรียนรู้ได้ในเพลนเดียว นอกจากนี้ค่าในเพลนของ C-layer จะเป็นผลมาจากการทำเบลอร์ของค่าในเซลของ S-layer เพื่อยอมให้ฟีเจอร์มีตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนกันได้ในระดับหนึ่งตามขนาดของค่าถ่วง d_l ที่ใช้ในการเชื่อมต่อแต่ละเลเยอร์

3.7 การประมวลผลโดยรวมทั้งเน็ตเวิร์คในการจดจำตัวอักษร

ในการจดจำตัวอักษรของนีโอคอคนิตรอน เนื่องจากเน็ตเวิร์คจะประกอบด้วยหลายเลเยอร์ของ S-layer และ C-layer สลับกันไป จนถึงเลเยอร์สุดท้าย ดังนั้นจึงเกิดกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์ใน S-cell สลับกับกระบวนการรวมฟีเจอร์ใน C-cell ไปเรื่อยๆ ตามลำดับความซับซ้อนของฟีเจอร์ที่แต่ละเพลนในแต่ละเลเยอร์ทำการรับผิดชอบ

เอกสารนี้มีไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

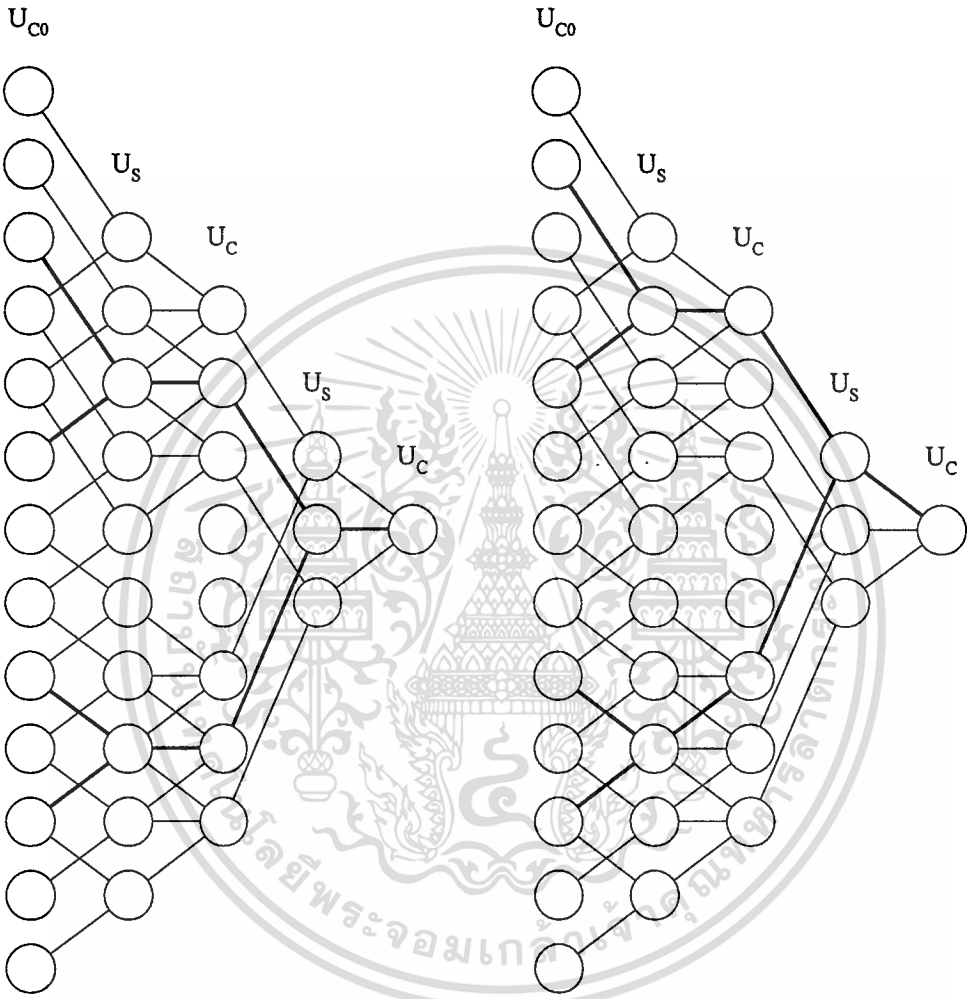
การประมวลผลในเน็ตเวิร์คของนีโอคอคนิตรอน ค่าของเซลที่ไม่ถูกกระตุ้น จะเป็นค่าศูนย์ ส่วนเซลที่ถูกกระตุ้นในเพลนของฟีเจอร์ใด จะได้ค่ามากกว่าศูนย์ สำหรับการจดจำตัวอักษรตัวเดียวกัน ที่มีการเขียนผิดรูปกันนั้น ในเพลนแรกของเน็ตเวิร์ค คืออินพุตเพลน เซลในเพลนจะถูกกระตุ้นในตำแหน่งที่ไม่ตรงกันได้ตามตำแหน่งของการเขียนตัวอักษรนั้น แต่เมื่อผ่านกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์ และกระบวนการรวมฟีเจอร์แล้ว เซลที่ถูกกระตุ้นนี้จะทำหน้าที่ไปกระตุ้นให้เกิดการแยกแยะฟีเจอร์ในเลเยอร์อื่นๆ ต่อไป โดยมีความเป็นไปได้ที่ในเลเยอร์ต้นๆ เซลที่ถูกกระตุ้นหรือแอคทีฟขึ้นมาในฟีเจอร์ของเพลนใดๆ นั้นอาจจะต่างกัน เนื่องมาจากโลคอลฟีเจอร์ที่ทำการแยกแยะในตัวอักษรสองตัวนั้น แตกต่างกันมาก แต่เมื่อผ่านการประมวลผลในเลเยอร์สูงขึ้นไป ข้อมูลของการแยกแยะฟีเจอร์ในเลเยอร์ต้นๆ จะถูกรวมเข้ามา จนในที่สุดจะได้ผลลัพธ์ของการแยกแยะฟีเจอร์เป็นตัวอักษรตัวเดียวกันได้

ที่กล่าวมานี้ เพื่อยกตัวอย่างให้เห็นถึงการประมวลผลโดยรวมของเน็ตเวิร์ค ที่แต่ละเซลในแต่ละเพลนจะทำหน้าที่ตามความรับผิดชอบต่อฟีเจอร์ที่ถูกสอนให้ แล้วทำงานอย่างเป็นอิสระกันในการจดจำตัวอักษร แต่เมื่อผ่านการประมวลผลทั้งเน็ตเวิร์คแล้ว ข้อมูลของการแยกแยะตัวอักษรแต่ละตัว จะถูกสอนให้เน็ตเวิร์คเรียนรู้ว่าในการแยกแยะตัวอักษรใดนั้น เซลในเพลนใดควรจะแอคทีฟขึ้นมาด้วยระดับความสำคัญเท่าใด จากค่าถ่วงประจำเพลนนั้นๆ หรือฟีเจอร์นั้นๆ ไปสู่เพลนในเลเยอร์ถัดไป ข้อมูลของค่าถ่วงที่ประจำอยู่แต่ละเพลนนี้ เปรียบเสมือนเป็นน้ำหนักในการแยกแยะข้อมูลของแต่ละเส้นทางจากเพลนในเลเยอร์ต้นๆ ไปยังเพลนในเลเยอร์ที่สูงขึ้นไป ที่จะนำไปสู่การแยกแยะออกมาเป็นตัวอักษรในเลเยอร์สุดท้าย ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.2 ที่เซลในเลเยอร์สุดท้ายเซลเดียวกันอาจจะแสดงผลขึ้นมาได้แม้ว่าจะรับข้อมูลมาจากเซลในเลเยอร์ต้นๆ ที่ต่างกัน เนื่องมาจากมีการกระตุ้นเซลในตำแหน่งต่างกันได้

ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า การสอนให้นีโอคอคนิตรอนเรียนรู้ฟีเจอร์ของตัวอักษรแต่ละตัวนั้นเป็นการกำหนดน้ำหนักของเส้นทางที่ข้อมูลของอินพุตแพทเทิร์นที่เข้ามาจะถูกประมวลผล จนได้ผลลัพธ์ในเลเยอร์สุดท้ายแสดงออกมาว่าเป็นตัวอักษรตัวใด โดยที่การกำหนดเทรนนิ่งแพทเทิร์นให้กับแต่ละเพลนสามารถกำหนดได้อย่างอิสระ ไม่จำเป็นต้องระบุว่าจะต้องนำเทรนนิ่งแพทเทิร์นวางเรียงกันตามลำดับของตัวอักษรในเลเยอร์สุดท้ายที่จะมีฟีเจอร์นั้น เพียงแต่วางเทรนนิ่งแพทเทิร์นแต่ละตัวของแต่ละเลเยอร์ลงในเพลนใดในเลเยอร์นั้นก็ได้ เมื่อผ่านการเรียนรู้แล้วเน็ตเวิร์คจะจดจำได้เองว่าฟีเจอร์ใดควรจะปรากฏอยู่ในตัวอักษรตัวใด และตัวอักษรต่างกันอาจจะใช้ฟีเจอร์เดียวกันได้ เช่นหัวของตัวเลขเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 แสดงผลการจดจำของนีโอคอคนิตรอนสามารถได้ผลลัพธ์เดียวกันได้ แม้ว่าเซลที่ถูกกระตุ้นจะต่างกัน



การทำงานของนีโอคอคนิตรอนที่ได้แสดงโดยละเอียดมาในหัวข้อก่อนหน้านี้แล้ว ทั้งการแยกแยะฟีเจอร์ของ S-cell และการรวมฟีเจอร์ของ C-cell นั้น การทำงานโดยรวมทั้งเน็ตเวิร์คในเลเยอร์อื่นๆ จะทำงานเช่นเดียวกับการประมวลผลตามอัลกอริทึมเดียวกับที่ได้แสดงแล้วในเลเยอร์ที่ 1 แต่การประมวลผลในเลเยอร์ที่สูงขึ้นไปต้องคำนึงถึงการหาผลรวมทุกเพลนของผลคูณเชิงสเกลาร์ในเลเยอร์ก่อนหน้านั้นด้วย จำนวนเพลนจะไม่ใช่เพลนเดียวจากอินพุตเพลนเหมือนในเลเยอร์ที่ 1 แต่จะเท่ากับจำนวนของเพลนในเลเยอร์ก่อนหน้านั้น

โดยการแยกแยะฟีเจอร์ของ S-cell จะขึ้นอยู่กับตัวแปรค่าถ่วง a_i ประจำการเชื่อมต่อจากแต่

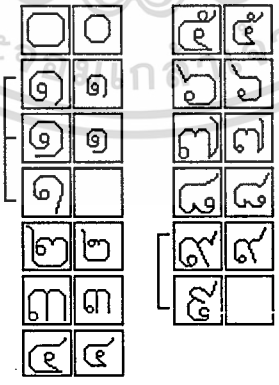
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละเพลนของ C-cell ในเลเยอร์ก่อนหน้านั้น (U_{Cl-1}) มายังแต่ละเพลนของ S-cell ในเลเยอร์ที่กำลังประมวลผลอยู่ (U_{Sl-1}) ร่วมกับตัวแปรค่าถ่วง b_l ในส่วนของการรวมฟีเจอร์ของ C-cell จะขึ้นอยู่กับค่าของ $j_l(\kappa,k)$ ว่ามีการเชื่อมต่อจากเพลนของ S-cell มายังเพลนของ C-cell ใดบ้างในเลเยอร์นั้น ร่วมกับค่าถ่วงคงที่ c_l ที่ประจำแต่ละเลเยอร์

จากตัวอย่างที่แสดงถึงค่าในเซลของการแยกแยะตัวเลข ๔ ในหัวข้อที่ผ่านมาของการแยกแยะฟีเจอร์ใน S-cell และการรวมฟีเจอร์ใน C-cell มาแล้วในเลเยอร์ที่ 1 ในเลเยอร์ต่อไป คือเลเยอร์ที่ 2 จะใช้อินพุตของเลเยอร์นี้จากค่าของ C-cell ที่ได้ในเลเยอร์ที่ 1 แล้วประมวลผลทั้งการแยกแยะฟีเจอร์ใน U_{S2} และการรวมฟีเจอร์ใน U_{C2} ตามค่าถ่วงที่ได้จากการเรียนรู้ฟีเจอร์ของเลเยอร์ที่ 2 ซึ่งจะได้กล่าวถึงการออกแบบฟีเจอร์ในบทต่อไป จนกระทั่งได้ผลลัพธ์ของ C-cell ในเลอร์ที่ 2 ออกมาเป็นอินพุตของเลเยอร์ที่ 3 ในเลเยอร์ต่อๆ ไป จะทำเช่นนี้ไปตลอด แต่ในที่นี้ไม่ขอแสดงผลลัพธ์ค่าของเซลในเลเยอร์ที่ 2 และ 3 เนื่องจากมีจำนวนเพลนเป็นจำนวนมาก

เมื่อทำการประมวลผลสลับกันระหว่าง S-layer และ C-layer จนในเลเยอร์สุดท้ายคือเลเยอร์ที่ 4 จะได้ผลลัพธ์ของการรวมเอาข้อมูลการแยกแยะฟีเจอร์ในเลเยอร์ก่อนหน้านี้ทั้งหมด มาประมวลผลกับค่าถ่วงของเลเยอร์สุดท้ายนี้ตามฟีเจอร์ที่ได้เรียนรู้ในรูปที่ 3.11 ดังได้แสดงไว้ในบทต่อไป แต่ในหัวข้อนี้ขอยกมาแสดงเพื่อประกอบความเข้าใจถึงค่าของแต่ละเพลนก่อน เส้นที่ลากด้านข้างแสดงถึงการรวมเข้าด้วยกันของฟีเจอร์ในเพลนนั้นไปยังเพลนของ U_{C4}

รูปที่ 3.11 แสดงเทรนนิ่งแพทเทิร์นของเลเยอร์ที่ 4



แล้วจะได้ผลลัพธ์ในเซลของ U_{S4} จากตัวอย่างของการจดจำตัวเลข ๔ ดังต่อไปนี้

$U_{S4}(k=0)$ ในเพลนที่ 1

0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$U_{S4}(k=1)$ ในเพลนที่ 2

0.00000 **0.00892** 0.00000
0.13716 0.17334 0.03709
0.01523 0.00000 0.00000

$U_{S4}(k=2)$ ในเพลนที่ 3

0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 **0.02388** 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000

$U_{S4}(k=3)$ ในเพลนที่ 4

0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000

$U_{S4}(k=4)$ ในเพลนที่ 5

0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000

$U_{S4}(k=5)$ ในเพลนที่ 6

0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000

$U_{S4}(k=6)$ ในเพลนที่ 7

0.00000 **0.15730 0.11436**
0.35719 0.67511 0.64146
0.39929 0.75528 0.69907

$U_{S4}(k=7)$ ในเพลนที่ 8

0.00000 0.00000 0.00000
0.00830 0.27649 0.32370
0.00846 0.30523 0.32394

$U_{S4}(k=8)$ ในเพลนที่ 9

0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000

$U_{S4}(k=9)$ ในเพลนที่ 10

0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$U_{S4}(k=10)$ ในเพลนที่ 11

0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000

$U_{S4}(k=11)$ ในเพลนที่ 12

0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000

$U_{S4}(k=12)$ ในเพลนที่ 13

0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000

โดยมีค่าเพลนยับยั้งของ U_{V4} ดังนี้

0.0668 0.0646 0.0537
0.0900 0.0901 0.0776
0.0961 0.1030 0.0975

และค่าในเซลของ U_{C4} ซึ่งมีเพียงเซลเดียวในแต่ละเพลน สำหรับแสดงผลลัพธ์ว่าเป็นตัวอักษรตัวใดที่เขียนไว้ด้านหลังค่านั้น ดังนี้

U_{C4} [0] -> 0.000000000000000 ๐
U_{C4} [1] -> 0.042106404077274 ๑
U_{C4} [2] -> 0.000000000000000 ๒
U_{C4} [3] -> 0.000000000000000 ๓
U_{C4} **[4] -> 0.296823254333306** ๔
U_{C4} [5] -> 0.121618760181728 ๕
U_{C4} [6] -> 0.000000000000000 ๖
U_{C4} [7] -> 0.000000000000000 ๗
U_{C4} [8] -> 0.000000000000000 ๘
U_{C4} [9] -> 0.000000000000000 ๙

จะพบว่าค่าในเซลของเพลนที่ 5 ซึ่งเป็นเซลแสดงผลของเลข ๔ มีค่ามากที่สุด ดังนั้นจึงแสดงว่าการจดจำตัวเลข ๔ ในรูปที่ 3.8 ของนีโอคอคนิตรอน ให้ผลการจดจำถูกต้องออกมาเป็นเลข ๔ โดยที่ค่าในเซลของเพลนที่ 6 ของเลข ๕ จะมีค่ามากกว่าศูนย์ด้วย แสดงว่าอินพุตแพทเทิร์นนี้มีความใกล้เคียงเลข ๕ ด้วย แต่น้อยกว่าเลข ๔ ทำให้ผลลัพธ์ออกมาถูกต้อง แต่ถ้าค่าในเซลของเพลนอื่นที่แสดงผลของเลขอื่นมีค่ามากกว่า แสดงว่าการจดจำนี้ให้ผลที่ไม่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การคัดเลือกชุดข้อมูลในการเรียนรู้ลายมือเขียนตัวเลขไทย

4.1 ปัจจัยในการคัดเลือกชุดข้อมูลตามฟีเจอร์ของตัวอักษร

การคัดเลือกชุดข้อมูลในการเรียนรู้นับว่ามีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของนีโอคอคนิตรอนมาก เพราะนีโอคอคนิตรอนจะทำการแยกแยะตัวอักษรลายมือเขียนได้จากการแยกแยะฟีเจอร์ในตัวอักษรนั้นๆ ตามความซับซ้อนของฟีเจอร์ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละเลเยอร์ แล้วจึงนำมาพิจารณาว่าในตัวอักษรใดที่ควรจะมีฟีเจอร์ตามที่ได้แยกแยะพบมานั้นบ้าง เพราะฉะนั้นหากมีการเลือกฟีเจอร์ของตัวอักษรแต่ละตัวแล้วนำมาเป็นชุดข้อมูลให้เน็ตเวิร์คทำการเรียนรู้ถึงลักษณะเด่นของตัวอักษรแต่ละตัวได้อย่างดีจนสามารถแยกออกจากตัวอักษรตัวอื่นที่คล้ายคลึงกันได้ จะทำให้ประสิทธิภาพในการแยกแยะอินพุตแพทเทิร์นที่เข้ามาได้ผลดีด้วย

การกำหนดเทรนนิ่งแพทเทิร์นให้เน็ตเวิร์คเรียนรู้ตามฟีเจอร์ของตัวอักษร ในนีโอคอคนิตรอนเลเยอร์แรกๆ นั้น จะเรียนรู้จากเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่เป็นโลคอลฟีเจอร์ เช่น การเรียงตัวของเส้นตรงในแบบต่างๆ ส่วนเทรนนิ่งแพทเทิร์นของเลเยอร์ที่สูงขึ้นไปจะเป็นฟีเจอร์ที่ซับซ้อนขึ้นตามลำดับ ส่วนในเลเยอร์สูงที่สุด เทรนนิ่งแพทเทิร์นที่จะใช้ ในกรณีของการจดจำตัวอักษรจะใช้เป็นตัวอักษรแต่ละตัวมาสอนให้เน็ตเวิร์ค โดยถือว่าเป็นโกลบอลฟีเจอร์ที่ใหญ่ที่สุด สำหรับในกรณีที่เป็นลายมือเขียนก็ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวอักษรในทุกๆสไตล์ที่แตกต่างกัน หรือใช้ฟีเจอร์ของตัวอักษรทุกๆฟีเจอร์มาทำการสอนให้เน็ตเวิร์คเรียนรู้ เพียงแต่เลือกเอาฟีเจอร์ที่เด่นๆ ของตัวอักษรเท่านั้น จากการดำเนินงานวิจัยได้พบถึงปัจจัยต่างๆ ที่ต้องคำนึงถึงในการคัดเลือกฟีเจอร์ของตัวอักษรมาเป็นเทรนนิ่งแพทเทิร์นดังต่อไปนี้

4.1.1 ขนาดของตัวแปรเชื่อมต่อเน็ตเวิร์ค (A_l และ D_l) การเรียนรู้ของเน็ตเวิร์คเพื่อให้จดจำรูปแบบได้นั้น ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของนีโอคอคนิตรอน นอกจากต้องออกแบบจำนวนเลเยอร์ให้มากขึ้นตามความซับซ้อนของตัวอักษรแล้ว ต้องคำนึงถึงขนาดอาเรย์ของตัวแปรเชื่อมต่อ A_l และ D_l (จากสมการที่ 2.1 และ 2.7) ในเน็ตเวิร์คด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดของตัวแปรค่าถ่วง A_l ที่ได้รับค่ามาจากการเรียนรู้จากฟีเจอร์โดยตรง การออกแบบขนาดของ A_l ในเลเยอร์ระดับกลางๆนั้น ยิ่งถ้าโลคอลฟีเจอร์ของตัวอักษรอยู่ชิดกันมากขนาดของ A_l ในเลเยอร์นั้นควรจะมีขนาดเล็กลงเพื่อไม่ให้ฟีเจอร์ 2 อันมาปนกันในการแยกแยะฟีเจอร์ของ S-layer ถ้าฟีเจอร์กระจายตัวกันอยู่ ก็สามารถจะให้ A_l มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ หรืออาจจะกล่าวง่ายๆได้ว่า ถ้าตัวอักษรหรือรูปแบบมีความซับซ้อนมากขึ้นโลคอลฟีเจอร์ในเลเยอร์ระดับกลางจะหนาแน่น ดังนั้นขนาดของ A_l จะต้องเล็กลง

เช่นเดียวกับขนาดของค่าถ่วงคงที่ D_l จะต้องสัมพันธ์กับความหนาแน่นของฟีเจอร์เช่นเดียวกับ A_l คือถ้ามีความหนาแน่นของฟีเจอร์มาก ขนาดของ D_l จะต้องเล็กลงเช่นกัน ไม่เช่นนั้นการแยกแยะฟีเจอร์ออกจากกันจะสับสน เพราะ d_l จะเป็นค่าถ่วงในการทำให้ฟีเจอร์เบลอร์เข้ามาปนกันในกระบวนการรวมฟีเจอร์ของ C-layer แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าความหนาแน่นของฟีเจอร์น้อย ขนาดของ D_l สามารถจะใหญ่ขึ้นได้ เพื่อให้ตำแหน่งของฟีเจอร์ในตัวอักษรสามารถเลื่อนได้บ้าง แต่ก็ยังถือว่าเป็นตัวอักษรตัวเดียวกัน

ดังนั้นยิ่งชุดของตัวอักษรที่เราต้องการให้นีโอคอคนิตรอนทำการจดจำมีความซับซ้อนมากก็จำเป็นจะต้องให้มีขนาดของ A_l และ D_l เล็กลง เปรียบเสมือนกับให้มุมมองของรีเซพทีฟฟิลด์ที่กระทำกับฟีเจอร์แคบลง เพื่อให้แยกแยะฟีเจอร์ต่างๆที่มีความซับซ้อนตามตัวอักษรออกจากกันได้ดียิ่งขึ้น แต่ขนาดของ A_l และ D_l นี้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของเซลเพลน หรือตามขนาดใหญ่หรือเล็กของตัวอักษร จะพิจารณาเฉพาะความซับซ้อนของฟีเจอร์ในตัวอักษรเท่านั้น

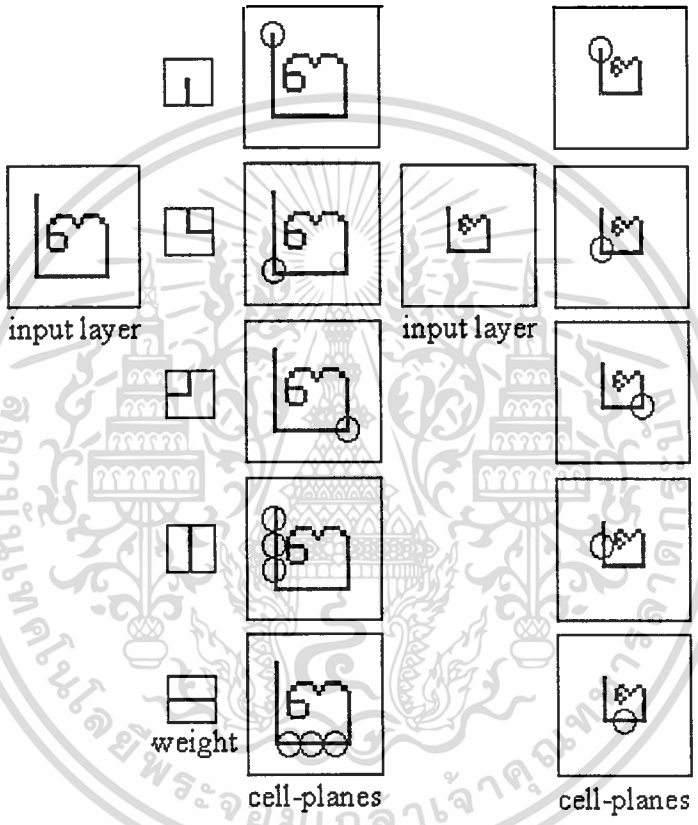
4.1.2 การกำหนดฟีเจอร์ใดๆ ไม่ควรให้เด่นมากเกินกว่าฟีเจอร์อื่น ฟีเจอร์ของตัวอักษรในเลเยอร์ระดับต้นที่เป็นโลคอลฟีเจอร์ จะยังไม่มีความซับซ้อนมากนักเป็นส่วนประกอบของเส้น ดังเช่น จุดตัดระหว่างเส้น มุมของเส้น ความโค้ง และจุดปลาย ควรจะต้องระวังในการกำหนดฟีเจอร์บางฟีเจอร์ที่อาจจะทำให้เกิดเซลแอคทีฟขึ้นมามากเกินไป จะทำให้ฟีเจอร์นั้นเด่นมากกว่าฟีเจอร์อื่นและทำให้ฟีเจอร์อื่นลดความสำคัญลง

ตัวอย่างเช่น การเลือกฟีเจอร์ที่เกี่ยวข้องกับเส้นตรง ให้คำนึงว่าจุดที่เลือกมาเป็นฟีเจอร์ไม่ควรเป็นจุดที่อยู่ตรงกลางเส้นตรง ดังในรูปที่ 4.1 เปรียบเทียบระหว่างเซลเพลนที่แยกแยะฟีเจอร์ที่เป็นมุม จุดปลายเส้น และส่วนของเส้นตรง ในส่วนหางของเลข ๒ พบว่าเซลที่แอคทีฟขึ้นมาในการแยกแยะส่วนของเส้นตรงจะมีจำนวนมากกว่าเซลที่แอคทีฟในการแยกแยะมุม หรือจุดปลายเส้น ที่อาจจะมีเพียงเซลเดียวหรือเซลรอบๆเท่านั้นที่แอคทีฟขึ้นมา นอกจากนี้ถ้าตัวอักษรมีขนาดใหญ่จะมีส่วนทำให้เส้นตรงที่ประกอบเป็นตัวอักษรนั้นมีความยาวมากขึ้น ทำให้จำนวนเซลที่แอคทีฟมีมากขึ้นด้วย การที่มีเซลแอคทีฟ ขึ้นมามากในขั้นตอนของการแยกแยะฟีเจอร์ของ S-cell ในเพลนเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันที่เกิดขึ้นจากเกฎฑ์ของฟีเจอร์เดิม เช่นในกรณีของเส้นตรงนี้ จะทำให้ฟีเจอร์ที่เป็นเส้นตรงมีอิทธิพลมากเนื่องจากค่าผลลัพธ์ที่ได้จากเซลในเพลนมีค่ามาก ผลของฟีเจอร์นี้จะเด่นกว่า และทำให้ฟีเจอร์อื่นลดความสำคัญลงไป แล้วการจดจำรูปแบบที่มีการเขียนผิดรูป จะยุ่งยากและผิดพลาดได้

รูปที่ 4.1 แสดงการแยกแยะฟีเจอร์ที่เกี่ยวข้องกับเส้นตรงในเลข ๒



ดังนั้นโลคอลฟีเจอร์ในเลเยอร์กลางๆ ของการแยกแยะฟีเจอร์ที่เกี่ยวข้องกับเส้นตรง ไม่ควรจะมีฟีเจอร์ที่เป็นส่วนกลางบนเส้นตรง แม้ว่าตัวอักษรที่เป็นอินพุตแพทเทิร์นจะประกอบด้วยส่วนของเส้นตรงเท่านั้นก็ตาม ตัวอักษรนั้นจะถูกแยกแยะด้วยฟีเจอร์ที่เป็นจุดปลายสองด้านของเส้นตรงอยู่แล้ว หรือถ้าด้านใดเป็นฟีเจอร์อื่นก็จะถูกแยกแยะไปตามฟีเจอร์นั้น

4.1.3 การกำหนดฟีเจอร์ที่มีการผิดรูป (deformed) ในชุดเดียวกัน ในการเรียนรู้ฟีเจอร์เดียวกันจากชุดของเทรนนิ่งแพทเทิร์น อาจมีบางเพลนที่ต้องเรียนรู้จากหลายๆ เทรนนิ่งแพทเทิร์นเพื่อเพิ่มความสามารถให้ S-cells ทำการจดจำฟีเจอร์ที่มีการผิดรูปกันได้ ดังเช่นตัวอย่างในเทรนนิ่งแพท เทิร์นของเลเยอร์ U_{S2} ในรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นฟีเจอร์เดียวกัน แต่เขียนต่างกัน การกำหนดฟีเจอร์

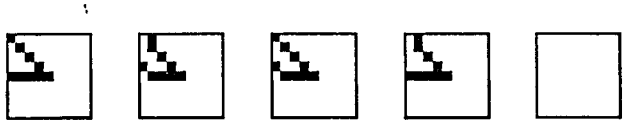
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแนวนอนของบางเพลนในลักษณะนี้ ตำแหน่งของเซลที่ประกอบกันขึ้นมาเป็นฟีเจอร์ในชุดเดียวกันต้องมีความสัมพันธ์กันถ้าตำแหน่งสัมพันธ์กันไม่ดี ผลของการเรียนรู้ฟีเจอร์นี้จะไม่ดีด้วย พิจารณาจากค่าของค่าถ่วงคงที่ตัวกระตุ้น $c_i(v)$ ที่หาได้จากสมการที่ 2.4 จะมีค่ามากตรงกลางแล้วลดลงเรื่อยๆในเซลด้านนอก ทั้งนี้เพื่อให้ S-cells ถูกกระตุ้นจากค่าถ่วงที่เซลตรงจุดกลางของรีเซพทีฟ เซลในการเชื่อมต่อมากกว่าเซลรอบนอก ดังนั้นจึงควรปรับฟีเจอร์ที่มีการผิดรูปในชุดของเทรนนิ่งแพทเทิร์นสำหรับซีดเซลเดียวกันของเพลนใดๆ ให้มีการซ้อนทับกันที่ตรงกลางของฟีเจอร์ และมีการคลาดเคลื่อนกันได้ในเซลรอบๆ

รูปที่ 4.2 แสดงการกำหนดฟีเจอร์ให้มีการซ้อนทับตรงกลาง และคลาดเคลื่อนในเซลรอบๆ

4.1.4 การเลือกตำแหน่งในฟีเจอร์สำหรับการเรียนรู้ของซีดเซล ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ความสามารถในการเรียนรู้เพื่อทำการแยกแยะฟีเจอร์ของเน็ตเวิร์คดีนั้น ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเทรนนิ่ง-แพทเทิร์นที่จะเลือกขึ้นมาเป็นจุดกลางของกลุ่มรีเซพทีฟฟิลด์ เพื่อทำการสอนให้ซีดเซล ตัวอย่างเช่นถ้าต้องการให้เรียนรู้จุดที่เป็นมุมขวาล่างของเลข ๔ ในเลเยอร์ U_{S2} ฟีเจอร์จะวางอยู่ในส่วนซ้ายบนของเทรนนิ่งแพทเทิร์น แทนที่จะวางอยู่ตรงกลาง ดังรูปที่ 4.3 ทั้งนี้เพื่อให้จุดมุมของฟีเจอร์อยู่ตรงกลางแทน แล้วให้ส่วนที่เป็นพื้นที่ว่างถัดจากมุมของฟีเจอร์อยู่ในส่วนขวาล่าง เพื่อเพิ่มความสามารถในการเรียนรู้ฟีเจอร์ที่เป็นมุมของเลข ๔ จากการที่ซีดเซลได้รับการสอนให้เรียนรู้อย่างตรงจุดในฟีเจอร์ที่เราต้องการ

รูปที่ 4.3 แสดงการเลือกตำแหน่งในฟีเจอร์ให้ตรงกับซีดเซล



4.1.5 การออกแบบฟีเจอร์ที่มีรูปแบบในการเขียนแตกต่างกันมาก ในการจดจำลายมือเขียนจะมีรูปแบบในการเขียนที่หลากหลาย ทำให้เกิดเป็นฟีเจอร์เดียวกันที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก ถ้า

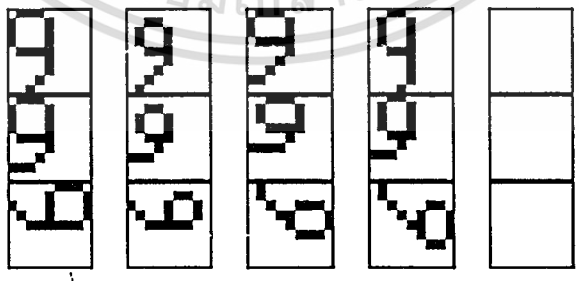
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟีเจอร์ใดมีสไตล์ในการเขียนแตกต่างกันมากเกินที่จะแยกแยะได้ในเพลนเดียวก็ควรที่กำหนดให้ถูกแยกแยะด้วย S-cell ในเพลนอื่นแยกกันในเลเยอร์นั้นก่อน แล้วนำมารวมกันไปสู่ C-cell เพลนถัดไป

การที่ฟีเจอร์เดียวกันแต่มีความแตกต่างกันมากจากสไตล์ของการเขียน ไม่ควรเทรนในเพลนเดียวกันนั้น เนื่องจากความแตกต่างของฟีเจอร์จะทำให้เกิดเซลที่คลาดเคลื่อนจากกันมาก การเรียนรู้ของซีดเซลจากรูปแบบที่มีความแตกต่างจากรูปแบบอื่นมากเกินไปเช่นนี้ ผลของการเรียนรู้ฟีเจอร์จะไม่ดี เนื่องจากค่าของค่าถ่วงจะถูกหักล้างกันไปในฟีเจอร์นั้น แล้วเซลจะไม่สามารถแยกแยะรูปแบบอื่นได้อีกเลย สามารถทำความเข้าใจได้จากการวิเคราะห์สมการในบทที่ 2

4.1.6 ฟีเจอร์ที่มีรูปร่างเดียวกันในตัวอักษรหลายๆตัว ฟีเจอร์บางฟีเจอร์อาจจะปรากฏอยู่ในหลายๆตัวอักษร แต่ลักษณะของฟีเจอร์แตกต่างกันไปตามตัวอักษร ทำให้ฟีเจอร์มีความแตกต่างกันมากเกินกว่าจะแยกแยะได้ในเพลนเดียวกันเพราะจะทำให้ผลของการเรียนรู้ฟีเจอร์นั้นจะไม่ดี ดังนั้นจึงควรจะให้ฟีเจอร์ถูกแยกคนละเพลนกัน ตัวอย่างเช่นฟีเจอร์ส่วนหัวของเลขไทย พิจารณาจากเลข ๑ ๘ ๙ รูปแบบของฟีเจอร์เป็นส่วนหัวของตัวเลขที่ม้วนไปทางเดียวกัน แต่ไม่เหมือนกัน จึงถูกแยกเทรน ดังในเทรนนิ่งแพทเทิร์นของเลเยอร์ U_{S2} ซึ่งจะใช้ S-cell plane จำนวน 3 เพลนในการแยกฟีเจอร์นี้ ดังในรูปที่ 4.4

รูปที่ 4.4 แสดงการกำหนดฟีเจอร์ที่มีรูปร่างเดียวกันในตัวอักษรหลายๆ ตัว

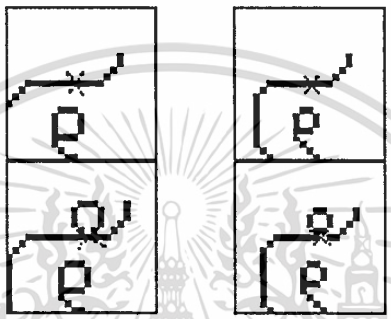


4.1.7 ตัวอักษรที่คล้ายกันควรเลือกฟีเจอร์ที่ทำให้เห็นความแตกต่างของตัวอักษร ตัวอักษรบางตัวมีความคล้ายคลึงกันมาก การเลือกฟีเจอร์เพื่อไม่ให้เกิดความสับสนในการแยกแยะระหว่างตัวอักษรนั้น ควรจะเลือกส่วนที่เน้นให้เห็นความแตกต่างของตัวอักษรนั้น ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดระหว่างเลข ๔ และ ๕ ควรเลือกฟีเจอร์ที่มีอยู่ในตัวอักษรตัวใดตัวหนึ่งเท่านั้น คือส่วนที่ขมวดบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

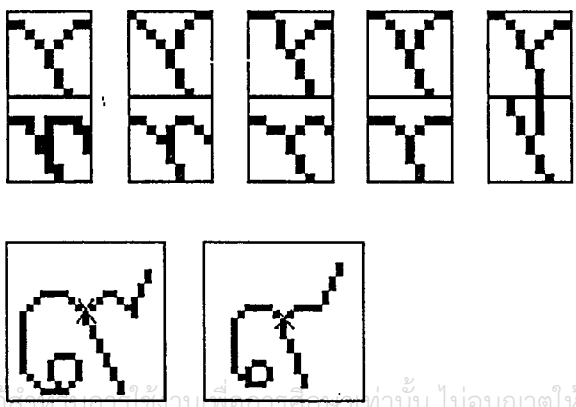
เลข ๕ จึงควรเลือกฟีเจอร์นี้มาเป็นเทรนนิ่งแพทเทิร์น ส่วนของเลข ๔ ก็เลือกในจุดเดียวกันแต่ไม่ปรากฏฟีเจอร์ที่ขมวดเหมือนเลข ๕ เพื่อเน้นให้เห็นความแตกต่างด้วย ดังเช่นในเลเยอร์ U_{S3} ดังรูปที่ 4.5 ในรูปส่วนที่กากบาทไว้คือจุดที่เลือกเป็นเรพรีเซนเททีฟสำหรับให้ซีดเซลเรียนรู้สำหรับสองเลขนี้

รูปที่ 4.5 แสดงการกำหนดฟีเจอร์ให้เห็นความแตกต่างของตัวอักษรที่คล้ายกัน



4.1.8 **ฟีเจอร์ที่ไม่สามารถแยกออกมาในเลเยอร์เดียว** อาจจะมีบางฟีเจอร์ที่ยากต่อการแยกแยะได้โดยตรงภายในขั้นตอนเดียวของเลเยอร์ U_{S2} ตัวอย่างเช่นฟีเจอร์ส่วนหยักตรงกลางของเลข ๙ ที่มีความซับซ้อนมากจากการประกอบกันขึ้นมาจากหลายเส้น จึงอาจเกิดความสับสนในการแยกแยะ แล้วทำให้เกิดการแอคทีฟของเซลขึ้นได้ถึงแม้ว่าจะมีเส้นใดเส้นหนึ่งหายไปในรูปแบบที่เข้ามา ดังนั้นจึงควรออกแบบหลายๆฟีเจอร์ให้ครอบคลุมความแตกต่างที่น่าจะเกิดขึ้นได้รอบจุดตัดในฟีเจอร์ ซึ่งผลลัพธ์จากการแยกแยะตามฟีเจอร์นี้จะรวมไปสู่เลเยอร์ถัดไปเพื่อทำการแยกแยะต่อในเลเยอร์ U_{S3} ดังในรูปที่ 4.6 ใช้ 2 เพลนในเลเยอร์ U_{S2} ร่วมกับอีก 1 เพลนในเลเยอร์ U_{S3}

รูปที่ 4.6 แสดงการกำหนดฟีเจอร์ที่ไม่สามารถแยกออกมาได้ในเลเยอร์เดียว



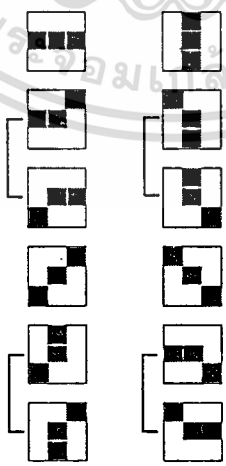
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การปรับฟีเจอร์สำหรับชุดข้อมูลในการเรียนรู้ของระบบการจดจำตัวเลขไทย

จากการออกแบบฟีเจอร์ตามปัจจัยที่กล่าวมา ในระบบการจดจำตัวเลขไทย ได้ทำการปรับฟีเจอร์เพื่อทำเป็นชุดข้อมูลในการเรียนรู้ โดยเฉพาะในเลเยอร์ที่ถือว่ามีความสำคัญมากที่สุดนั้นคือเลเยอร์ U_{S2} การปรับฟีเจอร์ในการทดลองได้ทำการคัดเลือกฟีเจอร์กำหนดขึ้นมาเป็นเทรนนิ่งแพทเทิร์นของแต่ละเลเยอร์ ทำการเทรนให้กับเน็ตเวิร์ค แล้วจึงทดสอบการจดจำตัวอักษร เมื่อพิจารณาจากผลลัพธ์ในการจดจำตัวอักษรแต่ละเพลนตามฟีเจอร์ จะสามารถตรวจพบได้ว่าฟีเจอร์ใดที่ไม่สามารถแยกแยะได้ในตัวอักษรที่มีฟีเจอร์นั้นอยู่ แล้วจึงมาทำการปรับฟีเจอร์นั้นอีกครั้ง โดยพิจารณาตามปัจจัยที่ได้กล่าวมา เมื่อได้เทรนนิ่งแพทเทิร์นใหม่ ก็ทำการสอนให้เน็ตเวิร์คเรียนรู้แล้วทดสอบการจดจำเพื่อให้ได้ผลมาพิจารณาต่อ ทำเช่นนี้หลายๆ ครั้งจนสามารถปรับชุดข้อมูลในการเรียนรู้ ที่ให้ผลในการจดจำเป็นที่น่าพอใจ ดังต่อไปนี้

4.2.1 ชุดข้อมูลในการเรียนรู้ของเลเยอร์ U_{S1} เลเยอร์ U_{S1} จะเรียนรู้ชุดข้อมูลสำหรับแยกแยะฟีเจอร์ที่เป็นส่วนประกอบของเส้นตรงที่วางตัวต่างๆ กัน ในตัวอักษร ดังในรูปที่ 4.7 มี 12 เทรนนิ่งแพทเทิร์นขนาด 3 x 3 ตามโครงสร้างของ U_{S1} ที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 และแสดงไว้ในรูปที่ 3 โดยแต่ละเพลนจะมีรีเซพทีฟฟิลด์ขนาด 3 x 3

รูปที่ 4.7 แสดงเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่ทำการสอนให้กับ U_{S1}



โดยแต่ละเทรนนิ่งแพทเทิร์นจะถูกส่งเข้าไปให้เน็ตเวิร์คเรียนรู้เพียงครั้งเดียว ด้วยการวางเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่กลางเพลนของอินพุตเพลน U_{C0} แล้วให้เซลที่อยู่กลางเซลเพลนของ U_{S1} เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรพรีเซนเท็ทีฟในการเรียนรู้แต่ละเทรนนิ่งแพทเทิร์น แต่เนื่องจากแต่ละเพลนต้องทำการเรียนรู้แต่ละเทรนนิ่งแพทเทิร์นอยู่แล้ว และเป็นการเรียนรู้เพียงชุดเดียว ค่าในเซลของเทรนนิ่งแพทเทิร์นเป็น 0,1 ตามการแอคทีฟของฟีเจอร์ ดังนั้นจึงสามารถทำการอิมพลีเมนต์ในขั้นตอนการเรียนรู้ของ U_{S1} ได้ด้วยการวางแต่ละเทรนนิ่งแพทเทิร์นขนาด 3 x 3 ที่แต่ละเพลนของค่าถ่วง a_1 ขนาด 3 x 3 แล้วคำนวณค่าในเซลของค่าถ่วงได้ด้วยการคูณด้วยค่าถ่วงคงที่ c_1 ทั้ง 9 เซลในตำแหน่งที่สัมพันธ์กัน และอัตราการเรียนรู้ q_1 ได้เป็นค่าถ่วงในแต่ละเซลของ a_1 รวมทั้งได้ค่าเฉลี่ย (root mean square) ของค่าใน 9 เซลนี้มาเป็นค่าถ่วงตัวยับยั้ง b_1 ตามที่ได้แสดงไว้ในอัลกอริทึมที่ 2.1

เส้นที่ลากเชื่อมด้านข้างเทรนนิ่งแพทเทิร์นในรูปที่ 4.7 แสดงการรวมเข้าด้วยกัน (joining) ของ S-cell เพลนที่รวมเป็น C-cell ของเลเยอร์ U_{C1} เนื่องจากขนาดของรีเซพทีฟฟิลด์มีขนาดเล็กมากจึงยากที่จะแยกแยะเส้นตรงที่วางตัวในแนวเดียวกันแต่ต่างแบบกันได้โดยเพลนเดียว จึงอาจมีบางกรณีที่เกิดการรวมเข้าด้วยกันขึ้นดังในรูป โดยเฉพาะเส้นเอียงที่การเอียงไปในทิศทางเดียวกัน แต่การประกอบกันขึ้นมาเป็นเส้นเอียงของค่าในเซลไม่เหมือนกัน ก็จำเป็นต้องใช้การรวมเข้าด้วยกันมาช่วยในการรวมฟีเจอร์ของเส้นเอียงนั้น เข้าไปสู่ C-cell เพลนเดียวกัน เพื่อแสดงว่าเป็นฟีเจอร์ที่ควรจะรวมกันเข้ามาเป็นฟีเจอร์เดียวกันได้

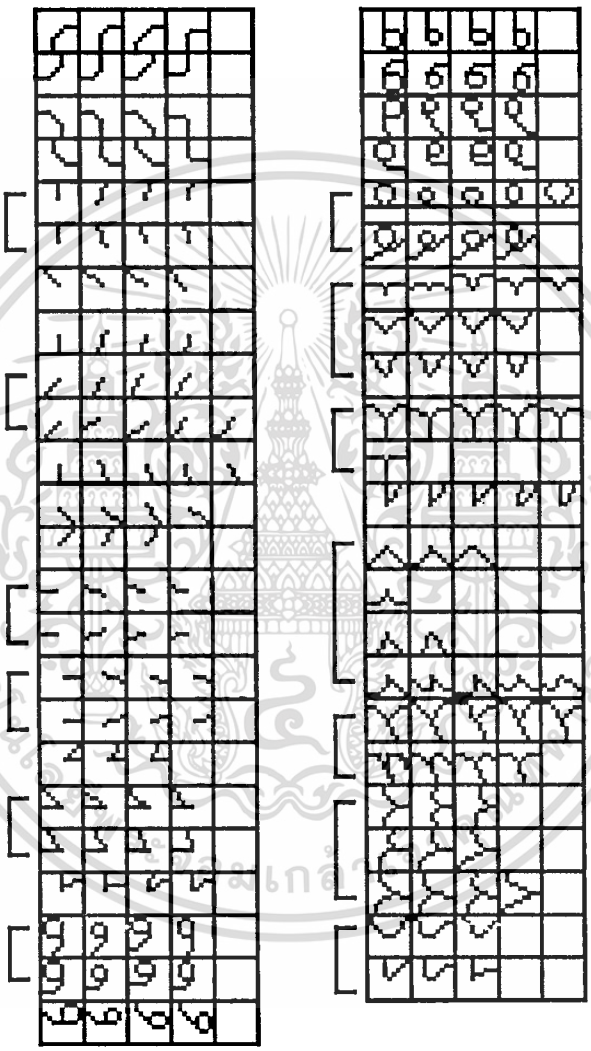
4.2.2 ชุดข้อมูลในการเรียนรู้ของเลเยอร์ U_{S2} เทรนนิ่งแพทเทิร์นที่ทำการสอนให้กับเซลเพลนของ U_{S2} ตามที่ได้คัดเลือกฟีเจอร์ของตัวเลขไทยมาแล้วนั้น มีทั้งหมด 47 เพลนดังในรูปที่ 4.8 เทรนนิ่งแพทเทิร์นจะมีขนาด 9 x 9 โดยเลือกเอาเซลที่อยู่ตรงกลางเพลนเป็นเรพรีเซนเท็ทีฟเช่นเดียวกับ U_{S1} และทำการวางเทรนนิ่งแพท เทิร์นที่กลางอินพุตเพลน (ขนาดของอินพุตเพลนมีขนาด 23 x 23) แล้วผ่านกระบวนการจดจำรูปแบบในเลเยอร์ U_{S1} โดยการแยกแยะฟีเจอร์ในเทรนนิ่งแพทเทิร์นนี้ ด้วยการใช้ค่าถ่วงที่ได้มาจากการเรียนรู้เทรนนิ่งแพทเทิร์นของ U_{S1} มาก่อนแล้วจึงจะเข้าสู่ขั้นตอนการเรียนรู้ของ U_{S2}

เทรนนิ่งแพทเทิร์นของเลเยอร์ที่ 2 นี้ 5 ชุดด้วยกัน ดังนั้นแต่ละเพลนของ S-cell จะถูกสอนให้เรียนรู้ฟีเจอร์เท่ากับจำนวนของเทรนนิ่งแพทเทิร์นเพื่อเพิ่มความสามารถให้แยกแยะฟีเจอร์ที่มีการผิดรูปได้ แล้วแต่ละเทรนนิ่งแพทเทิร์นจะถูกส่งเข้าไปเทรนให้เน็ตเวิร์คเพียงครั้งเดียว ส่วนฟีเจอร์ในบางเพลนที่สามารถการรวมเข้าด้วยกันไปยัง C-cell ของ U_{C2} ได้แสดงตามเส้นด้านข้างในรูป เซลที่เลือกขึ้นมาเป็นเรพรีเซนเท็ทีฟเซลในการเรียนรู้ของ U_{S2} คือจุดที่อยู่ตรงกลางเพลน ดังนั้นเมื่อผ่านการแยกแยะฟีเจอร์ในเลเยอร์ที่ 1 มาก่อนแล้ว ค่าของการตรวจสอบพบฟีเจอร์ทั้ง 12 ฟีเจอร์ในรูป 4.7 ของเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่กำลังเทรนนี้จะปรากฏอยู่บน U_{C1} แต่ละเพลน แล้วจึงนำค่าใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลของกลุ่มรีเซพทีฟฟิลด์ที่อยู่ตรงกลางแต่ละเพลนของ U_{C1} มาทำการคำนวณตามสมการที่ 2.10 เพื่อให้ได้เป็นค่าถ่วงตัวกระตุ้น a_2 และคำนวณตามสมการ 2.11 เพื่อให้ได้เป็นค่าถ่วงตัวยับยั้ง b_2

รูปที่ 4.8 แสดงเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่ทำการสอนให้กับ U_{S2}



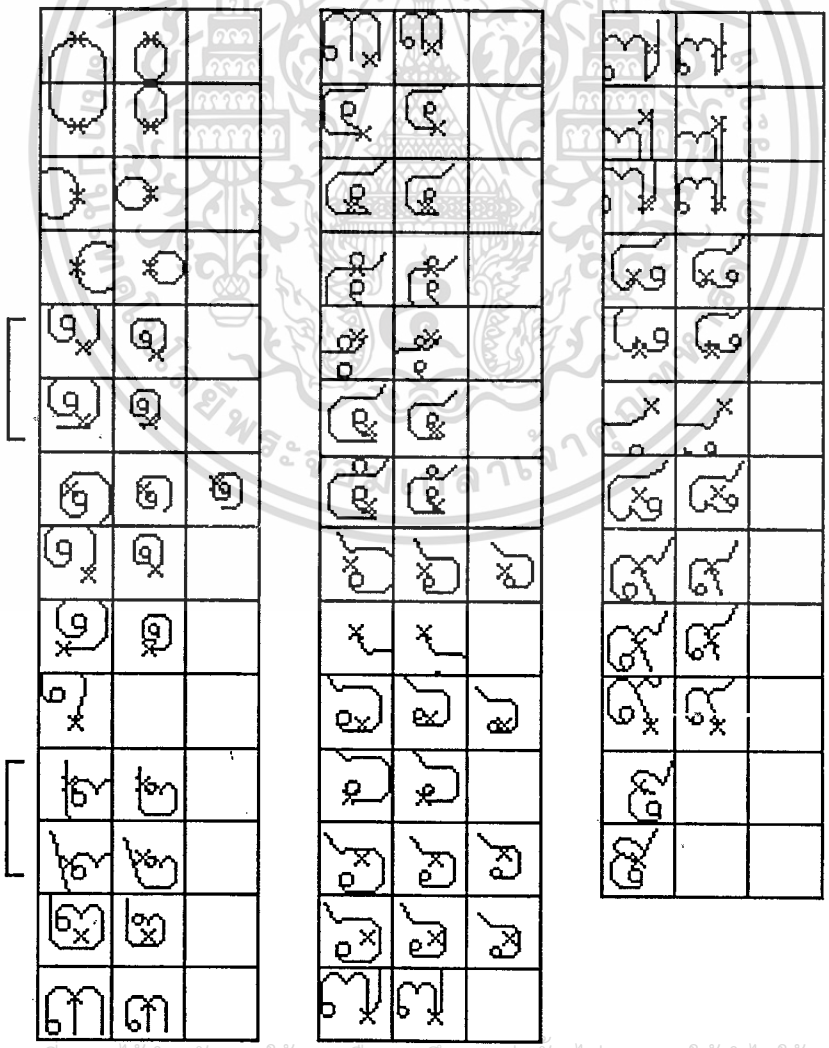
แต่ละเทรนนิ่งแพทเทิร์นในเลเยอร์นี้จะเป็นส่วนประกอบของตัวเลขไทยที่ทำการเลือกขึ้นมาเพื่อให้เน็ตเวิร์คเรียนรู้ที่จะนำไปแยกแยะในระหว่างกระบวนการของการจดจำรูปแบบ ซึ่งจากการดำเนินงานวิจัยจะพบว่าผลที่ได้ในการแยกแยะฟีเจอร์ตามการเรียนรู้ของเลเยอร์ที่ 2 นี้มีความสำคัญต่อการจดจำตัวอักษรเป็นอย่างมาก เพราะฉะนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการคัดเลือกฟีเจอร์ในเลเยอร์ที่ 2 นี้มีความสำคัญมากที่สุดในการคัดเลือกฟีเจอร์ของแต่ละเลเยอร์ในนีโอคอคนิตรอน เพราะเป็นการแยกแยะฟีเจอร์ที่ควรจะมีในแต่ละตัวเลขออกมาก่อน เพื่อนำไปสรุปต่อในเลเยอร์ที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 4 ว่าฟีเจอร์นั้นปรากฏอยู่โกลบอลฟีเจอร์ของตัวเลขใด ถ้าหากว่าการแยกแยะฟีเจอร์ในเลเยอร์นี้ให้ผลออกมาไม่ดี หรือมีค่าไม่มากพอก็จะไม่สามารถแยกแยะต่อได้ในเลเยอร์ถัดไป ทำให้การจดจำตัวอักษรนั้นผิดพลาดได้

4.2.3 ชุดข้อมูลในการเรียนรู้ของเลเยอร์ U_{S3} เทรนนิ่งแพทเทิร์นของ U_{S3} มีทั้งหมด 40 เพลน ดังรูปที่ 4.9 มี 3 ชุดของเทรนนิ่งแพทเทิร์นซึ่งมีขนาดเป็น 23 x 23 ในฟีเจอร์ของเลเยอร์ U_{S3} นี้จะทำการแยกแยะโกลบอลฟีเจอร์โดยการรวมเอาโลคอลฟีเจอร์ที่ได้แยกแยะไว้แล้วในเลเยอร์ U_{S2} หลังจากเรียนรู้แล้ว แต่ละเพลนใน U_{S3} จะรับข้อมูลมาจากหลายๆ เพลนที่แยกแยะฟีเจอร์ต่างๆกันในเลเยอร์ U_{S2}

รูปที่ 4.9 แสดงเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่ทำการสอนให้กับ U_{S3}



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเลเยอร์นี้ไม่ได้เลือกเอาจุดกลางเพลนเป็นซีดเซลของรีเซพทีฟฟิลด์อีกแล้ว แต่จะเลือกเอาจุดที่อยู่ในตำแหน่งที่เป็นจุดสำคัญในเพลนของฟีเจอร์ ดังที่ได้กากบาทไว้ในแต่ละเทรนนิ่ง-แพทเทิร์น แต่ละเพลนของ U_{S3} จะถูกสอนให้เรียนรู้แต่ละฟีเจอร์เท่ากับจำนวนชุดของเทรนนิ่งแพทเทิร์นในแนวนอน โดยแต่ละเทรนนิ่งแพทเทิร์นจะถูกส่งเข้าไปเทรนให้เน็ตเวิร์คเรียนรู้เพียงครั้งเดียว

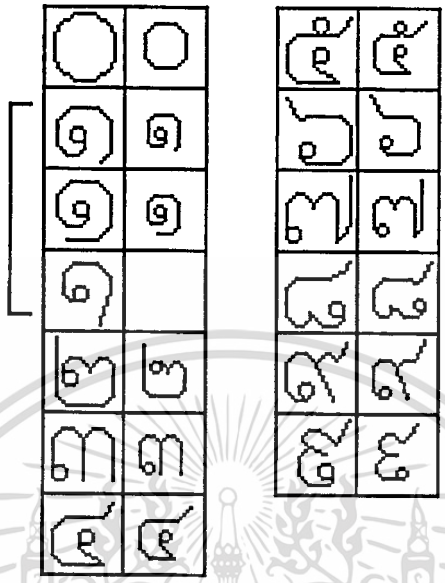
ขั้นตอนการเรียนรู้ของเลเยอร์นี้จะเริ่มด้วยการวางแต่ละเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่อินพุตเพลนในเลเยอร์นี้โดยไม่ต้องสนใจว่าจะต้องวางที่กลางเพลน เพราะขนาดของเทรนนิ่งแพทเทิร์นกับอินพุตเพลนมีขนาดเท่ากัน จึงวางเทรนนิ่งแพทเทิร์นได้โดยตรง แล้วผ่านกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์ที่ปรากฏอยู่บนเทรนนิ่งแพทเทิร์นแต่ละตัวในเลเยอร์ที่ 1 และเลเยอร์ที่ 2 ก่อนตามลำดับ ตามค่าถ่วงของทั้งสองเลเยอร์ที่ได้มาจากการเรียนรู้ก่อนหน้าแล้ว จนได้ค่าในเซลบนเพลนของ U_{S2} ซึ่งแต่ละเพลนก็จะแสดงว่ามีฟีเจอร์ใดในเลเยอร์ที่ 2 อยู่ที่ตำแหน่งใดในเพลนบ้าง แล้วนำค่าในกลุ่มรีเซพทีฟฟิลด์ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของเซลใน U_{S3} ที่เลือกขึ้นมาเป็นซีดเซลในการเทรน แล้วจึงทำการคำนวณตามสมการที่ 2.10 และ 2.11 เพื่อให้ได้ค่าถ่วงตัวกระตุ้น a_3 และค่าถ่วงตัวยับยั้ง b_3 ตามลำดับ

4.2.4 ชุดข้อมูลในการเรียนรู้ของเลเยอร์ U_{S4} เทรนนิ่งแพทเทิร์นของ U_{S4} มีทั้งหมด 13 เพลน ดังรูปที่ 4.10 มี 2 ชุดของเทรนนิ่งแพทเทิร์นซึ่งเป็นโกลบอลฟีเจอร์ของเน็ตเวิร์คที่เลือกเอาตัวเลขไทยแต่ละตัวมาทำการสอนให้ ในเลเยอร์นี้จะเลือกเอาตำแหน่งกลางเพลน เป็นเรพรีเซนเททีฟ ในการเรียนรู้ เช่นเดียวกับในเลเยอร์ U_{S1} และ U_{S2} เลเยอร์นี้จะทำการเรียนรู้ในการแยกแยะโกลบอลฟีเจอร์ที่ทำการรวมทุกๆ ฟีเจอร์ใน 3 เลเยอร์ก่อนหน้านั้นมา บางตัวอักษรที่มีการเขียนต่างรูปแบบกันและยากต่อการแยกแยะได้ในเพลนเดียว จะสามารถใช้ S-cells 2 เพลน แล้วรวมเข้าด้วยกันเป็น C-cell เดียวได้

ขั้นตอนในการเรียนรู้ของเลเยอร์ที่ 4 นี้จะสืบเนื่องมาจากการเรียนรู้ใน 3 เลเยอร์ก่อนหน้านั้น โดยการวางแต่ละเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่อินพุตเพลนเพื่อทำการสอนให้เน็ตเวิร์คเรียนรู้เพียงครั้งเดียว แล้วผ่านกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์บนเทรนนิ่งแพทเทิร์นในเลเยอร์ที่ 1 , 2 และ 3 ตามลำดับด้วยค่าถ่วงของแต่ละเลเยอร์ จนได้ค่าในเซลบนเพลนของ U_{S3} จึงนำค่าในกลุ่มของรีเซพทีฟฟิลด์ตรงจุดกลางเพลนของ U_{S3} มาทำการคำนวณตามสมการที่ 2.10 และ 2.11 ได้เป็นค่าถ่วงตัวกระตุ้น a_4 และ ค่าถ่วงตัวยับยั้ง b_4 ซึ่งเป็นค่าถ่วงในเลเยอร์ที่สูงที่สุดจากการรวมข้อมูลของฟีเจอร์ต่างๆ ที่ประกอบกันในทุกเลเยอร์เข้ามาเป็นตัวอักษรในเลเยอร์ที่ 4 นี้ ดังที่ได้แสดงไว้ในบทก่อนหน้านี้เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 แสดงเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่ทำการสอนให้กับ U_{S4}



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองและปัญหาที่พบ

จากการทดลองเพื่อแยกแยะตัวเลขไทยที่เป็นลายมือเขียนของนีโอคอคนิตรอนหลังจากได้อิมพลีเมนท์พร้อมทั้งทดสอบกับตัวเลขอารบิคจนได้ผลที่น่าพอใจ แล้วออกแบบโครงสร้างโมเดลสำหรับตัวเลขไทยแล้ว ได้ทำการสร้างชุดข้อมูลในการเรียนรู้เริ่มต้นสำหรับทุกเลเยอร์ของเลข ๐ - ๙ สำหรับสอนให้เน็ตเวิร์คจดจำตัวอักษรที่เป็นตัวเทรน หมายถึงตัวอักษรลักษณะเดียวกับตัวที่ทำการสอนให้กับเลเยอร์ที่ 4 (พิจารณาจากเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่ทำการสอนให้กับ U_{S4} ในรูปที่ 4.10) เฉพาะตัวปกติก่อน คือในแถวแรกของชุดข้อมูลในการเรียนรู้ เมื่อทำการสอนเพียงครั้งเดียว แล้วทดสอบการจดจำของตัวเลขทั้ง 10 ตัวนี้ พบว่านีโอคอคนิตรอนสามารถแยกแยะตัวเลขทั้ง 10 ตัวได้ถูกต้องหมด โดยค่าของเซลที่แสดงผลในขั้นตอนสุดท้ายของ U_{C4} ได้ค่าเป็นที่น่าพอใจ

หลังจากนั้นจึงได้ทำการปรับชุดข้อมูลในการเรียนรู้ ให้สามารถจดจำตัวอักษรที่หลากหลายมากขึ้น แล้วทดลองการจดจำจนได้ชุดข้อมูลในการเรียนรู้ ดังที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 4 ในบทนี้จึงขอกล่าวถึงผลการทดลองและปัญหาต่างๆที่พบในระหว่างการทดลอง ดังต่อไปนี้

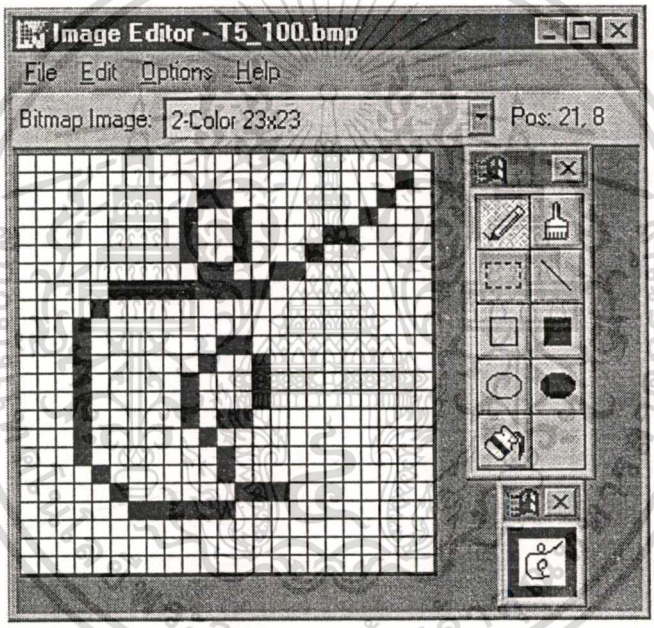
5.1 การรับข้อมูลลายมือเขียน

ตัวอักษรลายมือเขียนที่นำเข้ามาทดสอบการจดจำด้วยนีโอคอคนิตรอน จะมีขนาดเท่าใดก็ได้มีตำแหน่งอยู่ที่ใดก็ได้ ภายในกรอบอ้างอิง และเนื่องจากเป็นลายมือเขียนจึงสามารถรับตัวอักษรที่ผิดรูปร่างจากตัวที่สอนให้เน็ตเวิร์คเรียนรู้ โดยที่ไม่ต้องเปลี่ยนให้เป็นตัวปกติ (thining) ก่อนสำหรับตัวอักษรแบบตัวหนา และไม่ต้องทำการแยกตัวอักษรที่มีสัญญาณรบกวนอยู่ด้วยการขจัดสัญญาณรบกวนออกก่อน สามารถรับตัวอักษรที่ต้องการทดสอบเข้าสู่อินพุตเพลนของนีโอคอคนิตรอนได้เลย

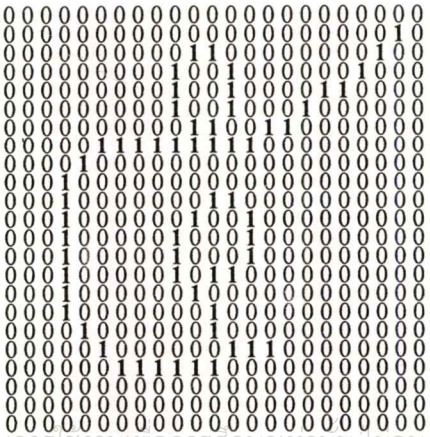
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองนี้ ตัวเลขไทยลายมือเขียนที่จะนำเข้าทดสอบการจดจำด้วยนีโอคอกนิตรอนจะมีขนาดของอาเรย์เท่ากับ 23x23 โดยรับด้วยโปรแกรมแต่งภาพอิมเมจ ใช้เม้าส์เขียนตัวเลขไทยออกมา ดังตัวอย่างการเก็บข้อมูลเลข ๕ ในรูปที่ 5.1 แล้วบันทึกเป็นข้อมูลภาพบิตแมพ เมื่อต้องการทดสอบการจดจำ จะทำการแปลงข้อมูลภาพที่ได้มานี้เป็นข้อมูล 0,1 ดังในรูปที่ 5.2 แล้วจึงนำอินพุตแพทเทิร์นนี้ไปวางที่อินพุตเพลน U_{C0} ของนีโอคอกนิตรอนส่งเข้าไปทดสอบในเน็ตเวิร์คต่อไป

รูปที่ 5.1 แสดงตัวอย่างการรับลายมือเขียนเลข ๕



รูปที่ 5.2 แสดงตัวอย่างอินพุตแพทเทิร์นที่ผ่านการแปลงให้อยู่ในรูป 0,1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การปรับค่าพารามิเตอร์ของโมเดล

การทดลองการจดจำของนีโอคอคนิตรอน ต้องมีการลองทดสอบใช้ค่าพารามิเตอร์บางตัว เช่นค่าของ γ (จากสมการที่ 2.4) , δ (จากสมการที่ 2.9) และ r (จากสมการที่ 2.1) โดยเฉพาะค่า r ซึ่งถือว่าเป็นพารามิเตอร์สำคัญในขั้นตอนการแยกแยะฟีเจอร์ โดยทดสอบว่าค่านี้ในช่วงใดที่จะเหมาะสมกับการแยกแยะฟีเจอร์ของตัวเลขไทย ซึ่งไม่สามารถระบุได้ว่าค่าใดที่ดีที่สุด ในการทดลองนี้จึงจำเป็นต้องทดสอบกับค่าในช่วงต่างๆ จากข้อมูลอินพุตแพทเทิร์นสำหรับทดสอบจำนวนหนึ่ง เพื่อให้ได้ค่าที่น่าพอใจที่สุดก่อน โดยค่านั้นจะให้ผลลัพธ์ในการทดสอบจดจำอินพุตแพทเทิร์นชุดนี้ดีที่สุด คือแยกแยะตัวเลขที่เป็นอินพุตแพทเทิร์นได้ถูกต้องจำนวนมากที่สุด แล้วจึงจะนำค่านั้นเป็นไปใช้ในการทดสอบการจดจำในขั้นตอนของการปรับชุดเทรนนิ่งแพทเทิร์นต่อ โดยได้ทดสอบในเบื้องต้นด้วยอินพุตแพทเทิร์นที่เป็นลายมือเขียนตัวเลขไทยในหลายๆแบบ จำนวน 159 ตัวอักษร ผลการทดสอบบางส่วนกับค่า r ชุดต่างๆ มีแสดงไว้ในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดสอบกับค่าพารามิเตอร์ r ชุดต่างๆ

การทดลอง	r_1	r_2	r_3	r_4	ข้อมูลทดสอบ	จดจำถูก	%
1.	1.7	4.0	1.5	1.0	159	111	69.8
2.	1.6	3.7	0.7	0.7	159	140	88.1
3.	1.5	3.8	1.0	0.8	159	139	87.4
4.	1.5	3.8	0.8	0.8	159	141	88.7
5.	1.5	3.8	0.7	0.7	159	143	89.9
6.	**1.5**	**3.7**	**0.7**	**0.7**	**159**	**145**	**91.2**
7.	**1.5**	**3.6**	**0.6**	**0.6**	**159**	**144**	**90.6**

พารามิเตอร์ r เป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดความสามารถของการตรวจสอบฟีเจอร์ในกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์ของ S-cell ในแต่ละเลเยอร์ของนีโอคอคนิตรอน ค่า r ที่มีค่ามากจะยอมให้ฟีเจอร์ในเลเยอร์นั้นมีการผิดรูปได้น้อย ตรงกันข้ามกับค่า r ที่มีค่าน้อย จะยอมให้ฟีเจอร์ในเลเยอร์นั้นมีการผิดรูปได้มาก ในการทดลองพบว่าต้องเลือกค่า r ให้เหมาะสม ถ้าใช้ค่ามากเกินไปโดยเฉพาะในเลเยอร์ต้นๆ เช่นเลเยอร์ที่ 2 จะทำให้ค่าในเซลบนเพลนของ U_{S2} ไม่ค่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอคทีฟ เนื่องจากการตรวจสอบฟีเจอร์นั้นค่ากระตุ้นจะมีค่าน้อยกว่าค่ายับยั้งซึ่งได้อิทธิพลมาจากค่า r โดยตรง เมื่อไม่ค่อยพบเซลแอคทีฟขึ้นมา ทำให้การแยกแยะฟีเจอร์ในเลเยอร์ต่อๆ ไป จะไม่พบโกลบอลฟีเจอร์ต่อ จะทำให้ผลของการจดจำตัวอักษรนั้นผิด แต่ถ้าใช้ค่าน้อยเกินไป การตรวจพบฟีเจอร์ในเลเยอร์ต้นๆ จะปรากฏมาก เมื่อผ่านเข้าไปในการแยกแยะฟีเจอร์ในเลเยอร์ต่อไปจะทำให้เกิดการสับสน เนื่องจากบางฟีเจอร์ที่ตรวจพบไม่ควรจะแอคทีฟขึ้นมาสำหรับตัวอักษรนั้น ทำให้อาจจะแยกแยะออกมาเป็นตัวอักษรตัวอื่นได้

ดังนั้นการกำหนดค่า r สำหรับเลเยอร์ในระดับต้นๆ โดยเฉพาะเลเยอร์ที่ 2 จึงมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการแยกแยะฟีเจอร์ของนีโอคอคนิตรอนเป็นอย่างมาก จึงต้องทำการทดลองหลายๆครั้ง เพื่อให้ได้ชุดของพารามิเตอร์ r ที่เหมาะสมออกมาก่อน ในการทดลองนี้จึงเลือกใช้ชุดที่ 6 และ 7 ในการทดสอบ แต่ผลการจดจำโดยรวมชุดที่ 6 ได้ผลดีกว่า ดังนั้นจึงเลือกใช้ $r_1 = 1.5,\ r_2 = 3.6,\ r_3 = 0.6$ และ $r_4 = 0.6$

ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆ เช่น γ และ δ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ในการหาค่าถ่วงคงที่ c และ d ตามลำดับ ได้ทำการทดลองเพียงไม่กี่ครั้ง เพื่อดูแนวโน้มของค่าในอาเรย์ของค่าถ่วงคงที่ ให้ค่าในเซลกลางอาเรย์มีค่ามาก แล้วในเซลรอบๆ มีค่าน้อยลงไปเรื่อยๆ เพื่อเน้นให้เซลตรงกลางรีเซพทีฟฟิลด์เด่นขึ้น โดยถ้าพารามิเตอร์ γ และ δ มีค่ามากจะทำให้ความแตกต่างของค่าในเซลรอบๆ และเซลกลางเพลนน้อยลง แต่ถ้าให้มีค่าน้อยลง จะยิ่งเน้นให้เซลกลางเพลนเด่นขึ้น เนื่องจากค่าในเซลรอบๆ จะน้อยกว่ามาก (พิจารณาตามสมการที่ 2.4 และ 2.9) สรุปว่าในการทดลองนี้ได้เลือกใช้พารามิเตอร์ต่างๆ และขนาดของเพลน และค่าถ่วงแต่ละเลเยอร์ ดังแสดงสรุปในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงพารามิเตอร์และขนาดของเพลนและค่าถ่วงต่างๆ ที่เลือกใช้ในการจดจำตัวเลขไทย

เลเยอร์ที่	ขนาดของเพลน		ขนาดของค่าถ่วง			ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ			
l	U_{Sl}	U_{Cl}	a_l	c_l	d_l	γ_l	δ_l	α_l	r_l
l=0		23 x 23				0	0	0	0
l=1	23 x 23	25 x 25	3 x 3	3x3	3 x 3	0.7	0.7	0.25	1.5
l=2	25 x 25	15 x 15	5 x 5	5x5	7 x 7	0.7	0.7	0.25	3.6
l=3	15 x 15	7 x 7	5 x 5	5x5	5 x 5	0.7	0.7	0.25	0.6
l=4	3 x 3	1 x 1	5 x 5	5x5	3 x 3	0.4	1.0	1.0	0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ปัญหาในการปรับชุดข้อมูลการเรียนรู้

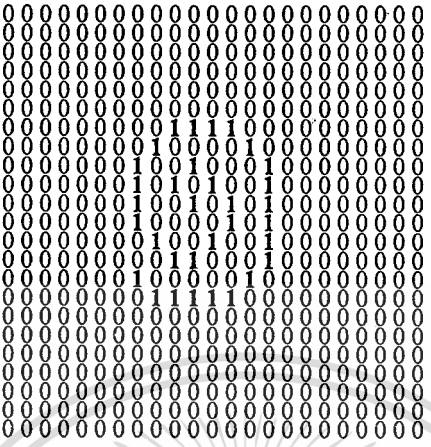
ความสามารถในการจดจำตัวอักษรของนีโอคอคนิตรอน นอกจากจะขึ้นอยู่กับการเลือกใช้พารามิเตอร์ต่างๆ โดยเฉพาะค่า r แล้ว สิ่งที่สำคัญอีกอย่างคือ การคัดเลือกชุดข้อมูลในการเรียนรู้ ซึ่งการทดลองเพื่อให้ได้ผลการจดจำชุดของตัวอักษรที่ต้องการทดสอบที่ดีที่สุดนั้น ต้องทำการปรับชุดข้อมูลในการเรียนรู้ดังที่ได้กล่าวไปแล้วถึงปัจจัยต่างๆที่ต้องคำนึงถึงในบทที่ 4 แต่ในหัวข้อนี้ขอขยายความจากตัวอย่างที่พบในการทดลอง เพื่อให้เห็นความสำคัญของเทรนนิ่งแพทเทิร์นต่อเน็ตเวิร์ค การจะเลือกชุดของเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่เหมาะสมที่สุดนั้น ต้องทำการทดลองแล้วเปรียบเทียบผลการจดจำตัวอักษรในแต่ละตัวหลังจากมีการปรับชุดข้อมูลในการเรียนรู้ไปแล้ว ถ้าพบว่าได้ผลการจดจำผิดมากกว่าเดิม แสดงว่าชุดข้อมูลในการเรียนรู้นั้น ไม่ได้แก้ปัญหาถูกวิธี จะปรับเป็นชุดข้อมูลในการเรียนรู้อื่น แล้วทดลองใหม่ต่อไป

5.3.1 ปัญหาการจดจำตัวอักษรขนาดเล็กมาก ในการทดลองจดจำลายมือเขียนที่ขนาดตัวอักษรต่างกันนั้น พบว่าในตัวอักษรตัวใหญ่ไม่ค่อยพบปัญหา แต่จะพบปัญหาในตัวอักษรขนาดตัวเล็กมาก เพราะในการจดจำตัวอักษรนั้น ต้องผ่านกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์ของ S-cell และกระบวนการรวมฟีเจอร์ของ C-cell เมื่อตัวอักษรมีขนาดเล็กมาก ฟีเจอร์ของตัวอักษรนั้นจะอยู่ใกล้เคียงกันมาก ทำให้การแยกแยะฟีเจอร์แต่ละตัวเกิดการสับสน เนื่องจากจะพบส่วนของฟีเจอร์อื่นปรากฏร่วมอยู่ด้วยในอาเรย์ของรีเซพทีฟฟิลด์ที่สนใจอยู่นั้น โดยเฉพาะเมื่อผ่านการทำเบลอร์ในกระบวนการรวมฟีเจอร์ของ C-cell ด้วยแล้ว ทำให้ฟีเจอร์ต่างๆ ของตัวอักษรตัวเล็กนั้นที่ปกติก็อยู่ใกล้กันมากอยู่แล้ว เกิดการเบลอร์ไปซ้อนทับกันอีก ทำให้การแยกแยะฟีเจอร์ในเลเยอร์ต่อไปทำได้ลำบากมากขึ้นไปอีก จนในเลเยอร์สุดท้ายผลของการจดจำตัวอักษรนั้นจะผิดไป

ดังตัวอย่างที่ยกมาแสดงในรูปที่ 5.3 ซึ่งเป็นตัวเลข ๑ ที่มีขนาดเล็ก และฟีเจอร์อยู่ใกล้กันมาก ไม่สามารถจดจำได้ถูกต้อง ส่วนในรูปที่ 5.4 แสดงให้เห็นค่าเฉพาะในบางเพลนของ U_{C1} ของตัวอย่างนี้ โดยค่าในเพลนถูกเบลอร์มาซ้อนทับกันมาก จนในเลเยอร์ต่อไปจะทำการแยกแยะฟีเจอร์ของเลเยอร์นั้นลำบากขึ้น

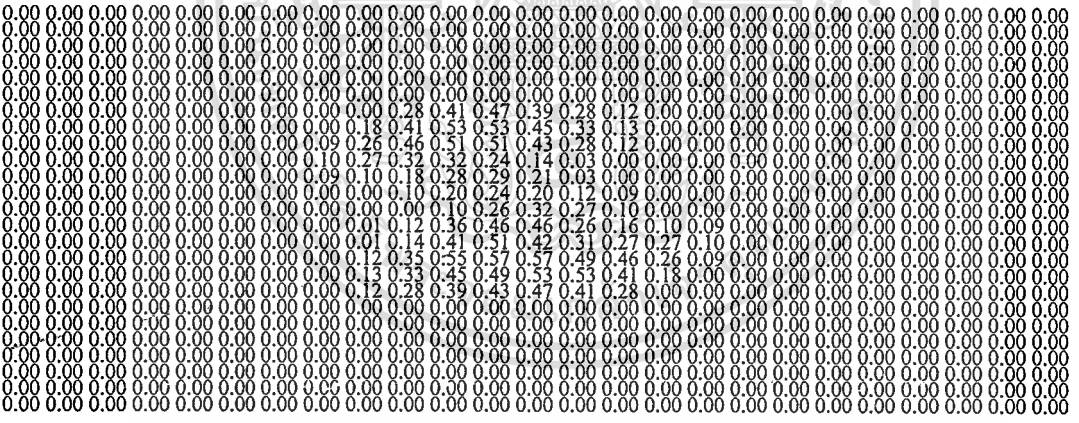
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.3 แสดงตัวเลข ๑ ที่มีขนาดเล็ก และผลการจดจำผิด

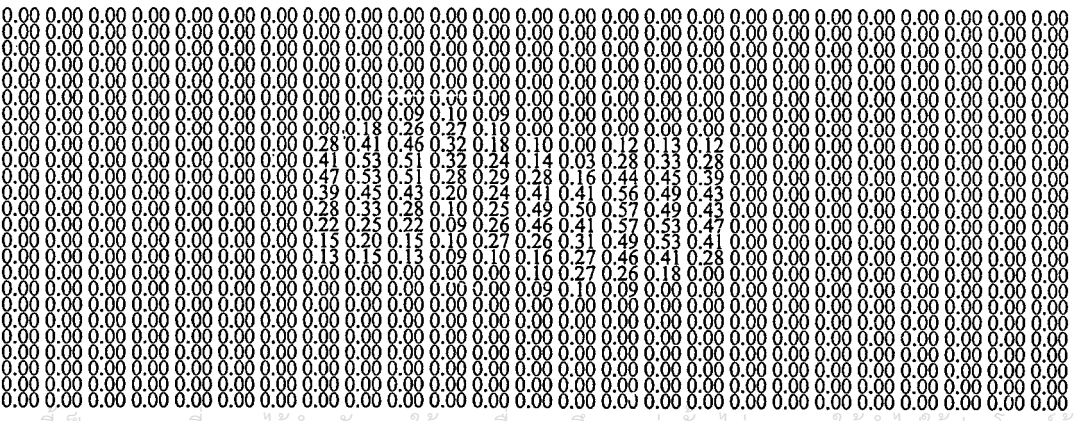


รูปที่ 5.4 แสดงค่าในเพลนของ U_{C1} บางเพลนของเลข ๑ ขนาดเล็ก เมื่อถูกทำเบลอร์แล้ว

เพลนที่ 2

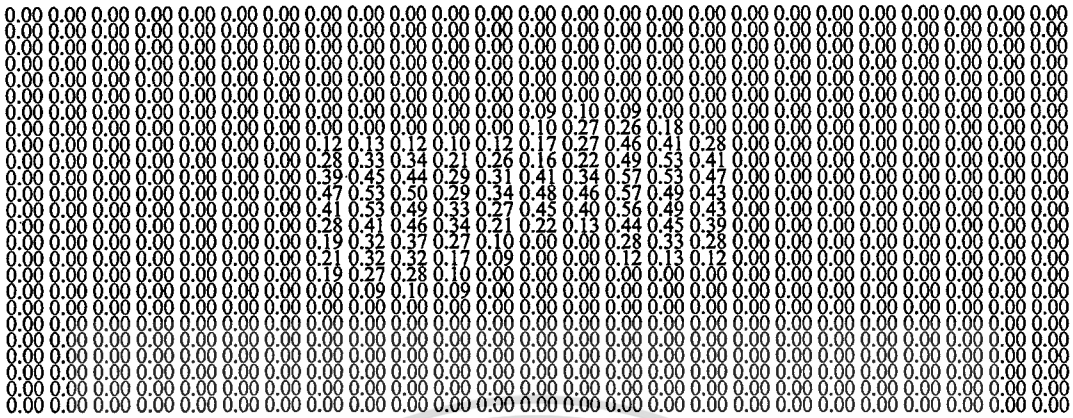


เพลนที่ 4

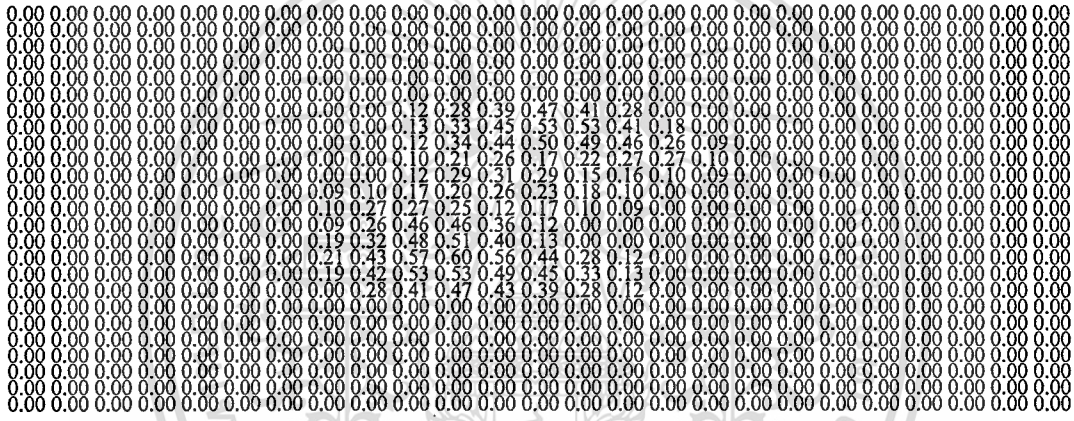


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพลนที่ 6



เพลนที่ 8



5.3.2 ปัญหาในการปรับขนาดค่าถ่วงที่ใช้ในการเชื่อมต่อ จากที่กล่าวถึงปัญหาการจดจำตัวอักษรตัวเล็กที่ฟีเจอร์อยู่ใกล้กันมากเกินไป และจากปัจจัยที่กล่าวถึงในบทที่ 4 ในหัวข้อของขนาดตัวแปรเชื่อมต่อนั้น เนื่องจากในการทดสอบหาตำแหน่งของฟีเจอร์ใด จะใช้อาเรย์ของค่าถ่วงประจำฟีเจอร์นั้นเข้าไปทดสอบกับค่าในเพลน ดังนั้นขนาดของอาเรย์ของค่าถ่วงที่ใช้ในการเชื่อมต่อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดของ A_l และ D_l เมื่อจะทดสอบกับตัวอักษรที่ฟีเจอร์หนาแน่นมากหรืออยู่ใกล้กันมาก ควรจะกำหนดให้ขนาดของ A_l และ D_l มีขนาดเล็ก เพราะจะทำให้การแยกแยะฟีเจอร์ที่ใกล้เคียงกันมากออกจากกันได้ดีขึ้น แต่ในการทดลองจะพบว่าปัญหาของการปรับขนาดค่าถ่วงนั้นยังไม่ใช่วิธีการแก้ปัญหาสำหรับตัวเลขไทย

เพราะว่าเมื่อได้ทำการทดลองเพื่อแก้ปัญหาตัวอักษรขนาดตัวเล็กมาก โดยลดขนาดของ a_2 จาก 5x5 เป็น 3x3 และลดขนาดของ d_2 จาก 7x7 เป็น 5x5 แล้วจะพบว่าผลของการจดจำตัวเลข ๑ และ ๒ จะได้ผลดีขึ้น เนื่องจากฟีเจอร์ในส่วนหัวของตัวเลขพวกนี้จะมีปัญหาที่ฟีเจอร์หนาแน่นมาก เมื่อตัวอักษรมีขนาดเล็ก จะอยู่ใกล้กันเกินกว่าที่ขนาด a_2 เท่ากับ 5x5 จะแยกออกมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ขนาด a_2 เมื่อลดลงเหลือ 3x3 สามารถแยกออกมาได้ แต่ผลของเลข ๐ ที่เคยทดสอบด้วยขนาดของ a_2 และ d_2 ขนาดเดิมที่ การจดจำให้ผลที่ถูกต้อง กลับได้ผลการจดจำผิด

จากการพิจารณาฟีเจอร์ของตัวเลขไทยแล้วจะพบว่า ในตัวเลขไทย ๑ - ๙ ฟีเจอร์จะซับซ้อนในเรื่องของหัวตัวเลข และส่วนหยักต่างๆ แต่ในเลขศูนย์นั้น ไม่มีฟีเจอร์เหล่านี้ไม่ว่าจะเป็นฟีเจอร์ใด มีเฉพาะเส้นตรงและเส้นโค้งเท่านั้น ดังนั้น การใช้ขนาดของ a_2 และ d_2 ที่เล็กลงจึงทำให้ผลการจดจำของเลขศูนย์ผิดไป เนื่องจากมุมมองในการมองฟีเจอร์แคบเกินไปสำหรับฟีเจอร์ที่ไม่ซับซ้อนของเลขศูนย์นั่นเอง ในการทดลองนี้จึงเลือกใช้ขนาดของ a_2 และ d_2 เท่ากับ 5x5 และ 7x7 ตามลำดับ เพราะให้ผลกับตัวเลขส่วนใหญ่ถูกต้องมากกว่า แต่ในส่วนของตัวอักษรตัวเล็กนั้น ถ้าขนาดเล็กมากเกินไป จะยอมรับว่าไม่สามารถจดจำด้วยนีโอคอคนิตรอนที่โครงสร้างนี้ได้

5.3.3 ปัญหาการเพิ่มความสามารถในการจดจำตัวอักษรที่ผิดรูป การปรับชุดข้อมูลในการเรียนรู้ของนีโอคอคนิตรอนเพื่อเพิ่มความสามารถในการจดจำตัวอักษรที่มีการเขียนต่างสไตล์กันนั้น ไม่จำเป็นที่จะต้องทำการเพิ่มเทรนนิ่งแพทเทิร์นสำหรับแต่ละสไตล์ของการเขียนตัวอักษรแต่ละตัว เพราะการเพิ่มเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่สไตล์ต่างกันมากๆ อาจจะไปทำให้การจดจำฟีเจอร์นั้นผิดไปได้ ได้ และยังทำให้จำนวนเพลนเพิ่มมากขึ้น ทำให้เวลาที่ใช้ในการจดจำตัวอักษรมากตามขึ้นไปด้วย

ถ้าหากว่ามีการเขียนตัวอักษรที่สไตล์ต่างกันมากๆ ก็จำเป็นจะต้องเพิ่มเทรนนิ่งแพทเทิร์นให้กับตัวอักษรตัวนั้นให้คำนึงถึงตามปัจจัยที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 4 และต้องทำการทดสอบก่อนว่าในชุดข้อมูลการเรียนรู้ชุดเดิมนั้นไม่สามารถจดจำตัวอักษรที่เขียนในสไตล์ใหม่ได้ถูกต้อง แล้วเมื่อทำการเพิ่มเทรนนิ่งแพทเทิร์นสำหรับตัวอักษรตัวใหม่นี้ ต้องทำการทดสอบผลอีกครั้งว่า ในตัวอักษรแบบเก่าที่เคยทดสอบแล้วว่าจดจำได้ถูกต้องนั้น ยังให้ผลการทดสอบเหมือนเดิมหรือไม่ เพราะในการทดลองพบว่า บางครั้งการเพิ่มสไตล์ของตัวอักษรแบบใหม่เข้าไปนั้น อาจจะไปคล้ายคลึงกับฟีเจอร์ของตัวเลขอื่น ทำให้ผลการจดจำตัวเลขนั้นทั้งที่เขียนแบบเดิม และแบบสไตล์ใหม่ให้ผลการจดจำผิดไปเกือบทั้งหมด เช่นการเพิ่มสไตล์ของเลข ๓ ที่เขียนเอียงไปด้านเดียวกับหยักของเลข ๕ ดังในรูปที่ 5.8 ซึ่งเดิมจะทำให้ผลการทดสอบออกมาเป็นเลข ๕ แต่เมื่อเพิ่มสไตล์ใหม่เข้าไป จะทำให้ผลการทดสอบเลข ๓ โดยรวมทุกตัวไม่ดี

ถ้าเกิดกรณีเช่นนี้ จะต้องเลือกว่าการเพิ่มตัวอักษรที่เขียนในสไตล์ใหม่นั้น ให้ผลโดยรวมของตัวเลขเดียวกันออกมาเป็นเช่นใด ถ้าไม่ดี ก็จำเป็นจะต้องเอาเทรนนิ่งแพทเทิร์นนั้นออกไปจากชุดข้อมูลการเรียนรู้ แล้วหาวิธีการเพิ่มเทรนนิ่งแพทเทิร์นอื่นแทน

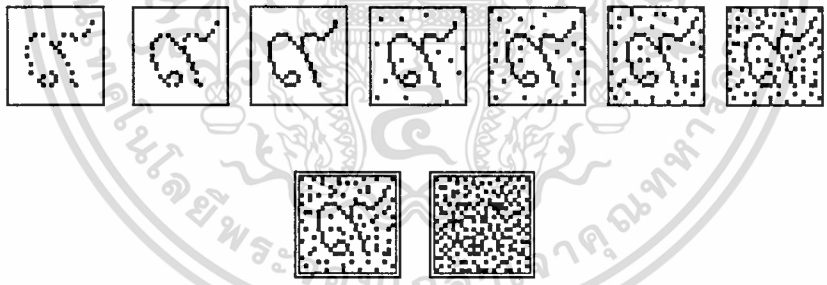
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ผลการจดจำลายมือเขียนด้วยนีโอคอคนิตรอน

ผลการทำงานของนีโอคอคนิตรอนหลังจากผ่านการเรียนรู้แล้ว จะทำการจดจำตัวเลขไทยที่เป็นลายมือเขียน โดยรับอินพุตแพทเทิร์นมาจากการเขียนด้วยเม้าส์ แล้วแปลงข้อมูลที่ได้รับให้อยู่ในรูปของ 0,1 ส่งเข้าไปทดสอบในเน็ตเวิร์ค ตัวอักษรหนึ่งตัวจะผ่านการแยกแยะเพียงรอบเดียว แล้วแสดงผลออกมาใน U_{C4} ว่าเป็นตัวเลขอะไร โดยไม่ขึ้นกับตำแหน่ง, ขนาด สัญญาณรบกวนของตัวเลขในระดับหนึ่ง

5.4.1 ลักษณะเด่นของการจดจำลายมือเขียนด้วยนีโอคอคนิตรอน รูปที่ 5.5-5.8 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ในการทดสอบการจดจำตัวอักษรลายมือเขียนแบบต่างๆ โดยในรูปจะแสดงตัวอักษรที่สามารถจดจำได้ถูกต้องด้วยกรอบเส้นเดี่ยว แต่ตัวอักษรในกรอบเส้นคู่เป็นตัวอักษรที่ให้ผลการจดจำไม่ถูกต้อง

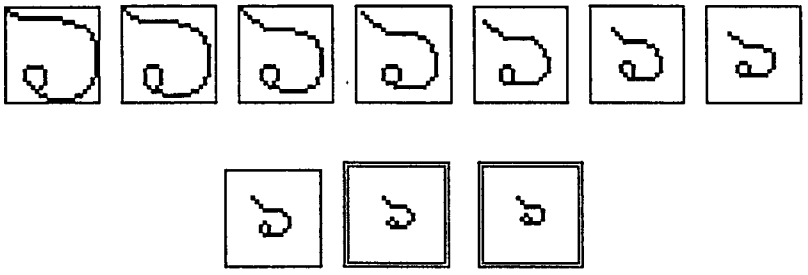
รูปที่ 5.5 แสดงตัวอย่างผลการจดจำของเลข ๕ ที่มีสัญญาณรบกวน



พิจารณารูปที่ 5.5 การมีสัญญาณรบกวนในตัวอักษรที่นำเข้ามาทดสอบ จะไม่มีผลกับการแยกแยะฟีเจอร์ของตัวอักษรนั้น ถ้าไม่ทำให้รูปร่างของฟีเจอร์เปลี่ยนมากเกินไป และในตัวอักษรที่เขียนด้วยเส้นประเช่นกัน ถ้ายังคงรูปร่างของฟีเจอร์อยู่ก็จะสามารถแยกแยะฟีเจอร์นั้นได้ ทำให้ผลการจดจำตัวอักษรออกมาถูกต้อง ส่วนสัญญาณรบกวนที่เข้ามาจะถูกกระบวนการเปรียบเทียบค่ากระตุ้นและค่ายับยั้งขจัดออกไปเองในการแยกแยะฟีเจอร์ ในรูปจะพบว่าเลข ๕ ที่ทดสอบนี้มีฟีเจอร์ของเลข ๕ ชัดเจนมาก จึงทำให้สัญญาณรบกวนไม่มีผลต่อการจดจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.6 แสดงตัวอย่างผลการจดจำเลข ๖ ที่ตัวอักษรมีขนาดเปลี่ยนแปลง



พิจารณารูปที่ 5.6 พบว่าตัวอักษรขนาดใหญ่จะให้ผลการจดจำถูกต้อง แต่จะมีปัญหาในตัวอักษรขนาดเล็กที่จะให้ผลการจดจำไม่ค่อยถูกต้อง จากที่ได้อธิบายไปแล้ว

รูปที่ 5.7 แสดงตัวอย่างผลการจดจำตัวเลข ๒ ที่ตำแหน่งเปลี่ยนแปลง

พิจารณารูปที่ 5.7 เรื่องตำแหน่งของตัวอักษรที่นำเข้ามาทดสอบการจดจำ จะไม่ค่อยพบปัญหาในการจดจำ ถ้าตัวอักษรนั้นยังมีฟีเจอร์อยู่ครบทั้งตัวอักษร

รูปที่ 5.8 แสดงตัวอย่างผลการจดจำเลข ๗ ที่ตัวอักษรมีลักษณะเอียง

พิจารณาตัวอย่างในรูปที่ 5.8 เมื่อตัวเลข ๗ เอียงไปทางด้านที่ทำให้มีมุมของหยักไปเหมือนกับ ฟีเจอร์ที่เป็นส่วนหยักของเลข ๕ ทำให้ผลการจดจำผิดออกมาเป็นเลข ๕ แทนที่จะเป็น ๗ แต่ในการเอียงอีกด้านหนึ่งนั้นไม่มีผล เพราะไม่เหมือนกับฟีเจอร์ของเลขใดเลย จึงสามารถจดจำได้ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.9 แสดงตัวอย่างผลการจดจำเลข ๔ ที่มีการเปลี่ยนแปลงเรื่องความหนาของตัวอักษร

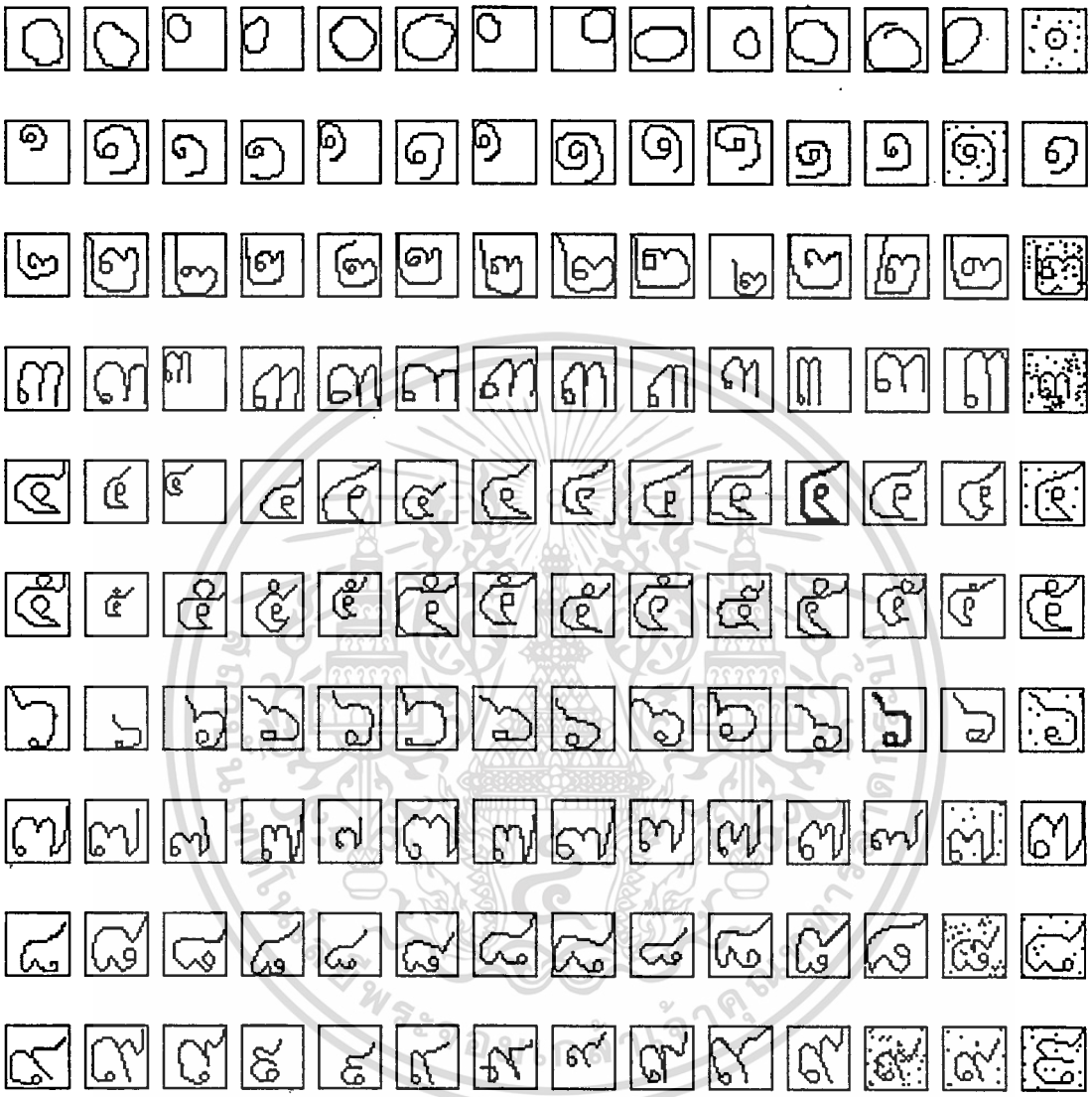
พิจารณารูปที่ 5.9 สำหรับตัวอักษรที่มีความหนามากเกินไปนั้นจะพบว่ามีปัญหาในการแยกแยะฟีเจอร์หลังจากผ่านการทำเบลอร์แล้วค่าในเซลซ้อนทับกันมากเกินไป ทำให้ผลการจดจำผิด

จากผลการทดลองพบว่าความสามารถของนีโอคอคนิตรอนในเรื่องการจดจำลายมือเขียนนั้นสามารถจัดการในเรื่องของสัญญาณรบกวน ตำแหน่ง และขนาดของตัวอักษรได้ดีพอสมควร แต่ในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับฟีเจอร์เช่นการเอียงตัวอักษร หรือการเขียนผิดรูปนั้น ขึ้นอยู่กับฟีเจอร์ที่ทำการสอนให้เน็ตเวิร์คอยู่มาก และการปรับชุดข้อมูลในการเรียนรู้ของเน็ตเวิร์คยังไม่มีทฤษฎีหรือแนวทางที่ชัดเจนนัก ขึ้นอยู่กับการทดลองและพิจารณาเปรียบเทียบผลของการจดจำจากชุดข้อมูลการเรียนรู้ที่ได้ทำการคัดเลือกในแต่ละครั้งของแต่ละตัวอักษร

5.4.2 ผลการจดจำลายมือเขียนตัวเลขไทย ในการทดลองการจดจำลายมือเขียนตัวเลขไทย ๐-๙ จำนวนทั้งหมด 1023 ตัว สามารถจดจำได้ถูกต้อง 886 ตัว คิดเป็นเปอร์เซนต์ความถูกต้องเท่ากับ 86.6 % และพบว่าการจดจำของนีโอคอคนิตรอนขึ้นอยู่กับชุดข้อมูลในการเรียนรู้หรือฟีเจอร์ที่ทำการสอนให้ ถ้าต้องการให้เปอร์เซนต์ความถูกต้องดีขึ้น ต้องทดลองและปรับฟีเจอร์ที่ใช้ให้ได้ชุดข้อมูลในการเรียนรู้ที่ดีกว่า ในรูปที่ 5.10 เป็นตัวอย่างอินพุตแพทเทิร์นของตัวเลขไทยบางส่วน ที่สามารถจดจำด้วยนีโอคอคนิตรอนได้ถูกต้อง ส่วนรูปที่ 5.11 เป็นตัวอย่างอินพุตแพทเทิร์นของตัวเลขไทยบางส่วน ที่ให้ผลการจดจำด้วยนีโอคอคนิตรอนไม่ถูกต้อง

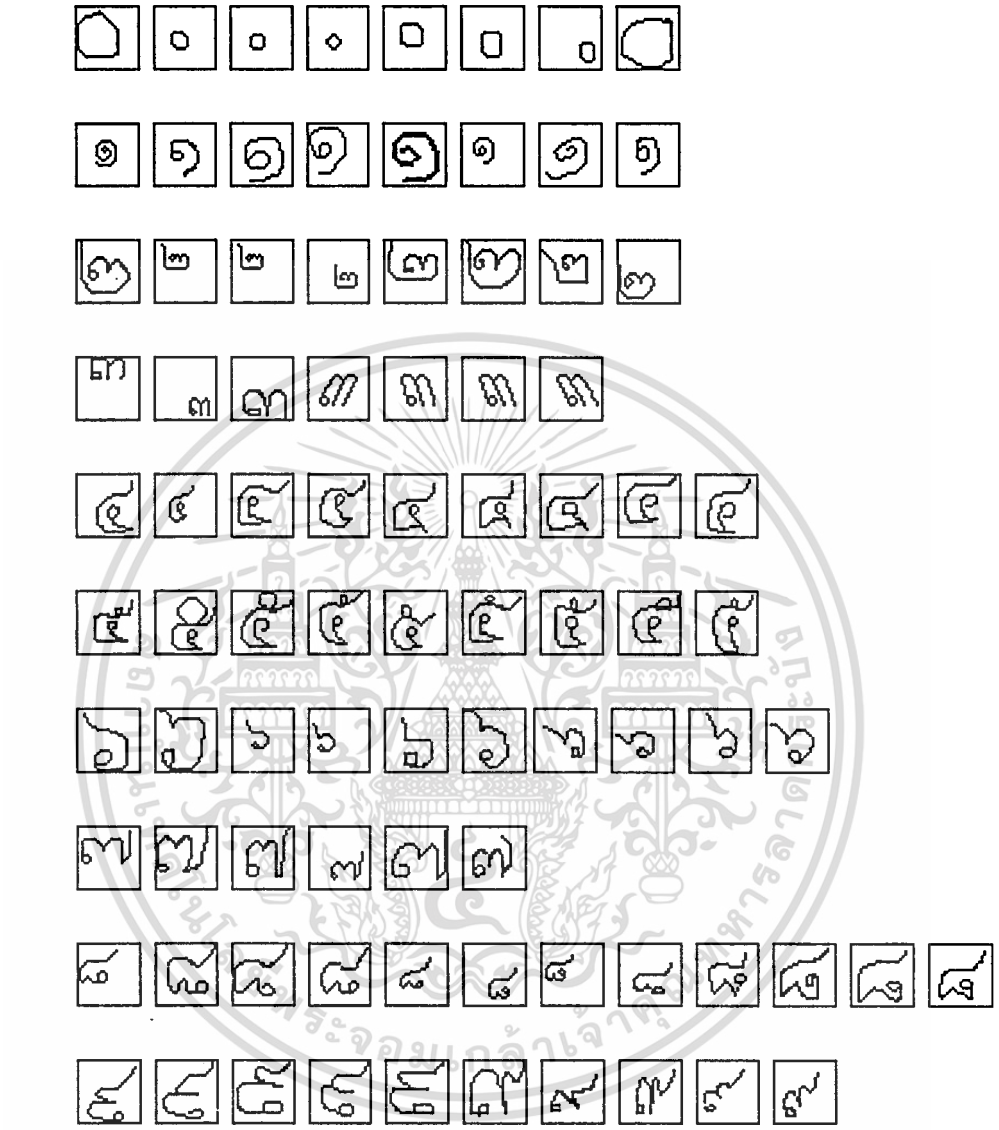
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.10 แสดงตัวอย่างอินพุตแพทเทิร์นที่นีโอคอคนิตรอนสามารถจดจำถูกต้อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.11 แสดงตัวอย่างอินพุตแพทเทิร์นที่นีโอคอคนิตรอนจดจำไม่ถูกต้อง

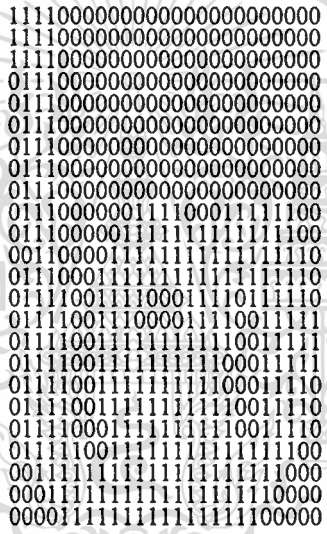


เมื่อได้ทำการทดลองจดจำตัวเลขไทยตัวพิมพ์ โดยนำข้อมูลตัวเลขไทยตัวพิมพ์ ซึ่งเป็นข้อมูลชุดที่ใช้สำหรับการเรียนรู้ของงานวิจัยเรื่องการจดจำภาษาไทยตัวพิมพ์ด้วยนิวรอลเน็ตเวิร์คโมเดลอื่น [16] [17] ที่ได้มีการรายงานออกมาแล้ว โดยชุดข้อมูลชุดนี้ได้มาจากการสแกนตัวอักษรตัวพิมพ์เลขไทยในแบบตัวอักษร (font) อังศนายูพีซี ขนาด 12 จุดต่อนิ้ว ความละเอียดของการสแกนเท่ากับ 300 จะได้ตัวพิมพ์ของตัวเลขไทยตัวเลขละ 20 รูปแบบ รวม 200 ตัวอักษรเป็นอินพุตแพทเทิร์นที่นำเข้ามาทดสอบการจดจำด้วยนีโอคอคนิตรอนโดยใช้ค่าถ่วงจากชุดข้อมูลการเรียนรู้ชุดเดิม พบว่าได้ผลโดยรวมแล้วจดจำถูกต้อง 52 ตัวอักษร คิดเป็นเปอร์เซนต์ความถูกต้องเท่ากับ 26 %

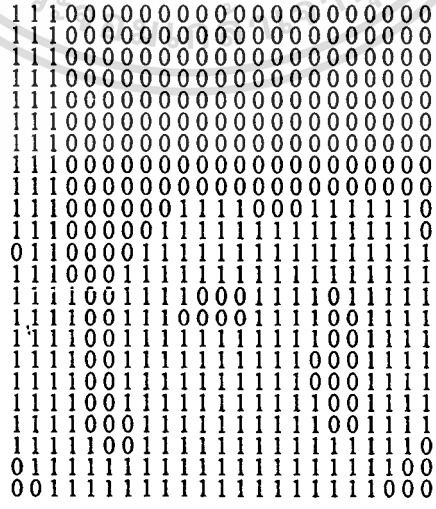
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้เป็นเพราะการสแกนตัวพิมพ์เลขไทยที่เข้ามาจะทำให้เส้นของตัวอักษรประกอบด้วยหลายพิกเซล เมื่อนำเข้ามาใช้ในการจดจำด้วยนีโอคอคนิตรอน จะเปรียบเสมือนกับเป็นตัวหนา เนื่องจากได้ออกแบบให้นีโอคอคนิตรอนทำงานกับตัวอักษรที่เป็นลายมือเขียน และเส้นที่ลากตัวอักษรเป็นเส้นเดี่ยว คือเป็นพิกเซลเดียว รวมทั้งฟีเจอร์ที่ออกแบบมาก็เป็นในลักษณะของฟีเจอร์ตัวอักษรที่เป็นเส้นเดี่ยว ดังนั้นจึงไม่สามารถวิเคราะห์อินพุตแพทเทิร์นตัวพิมพ์ที่ได้มาจากการสแกนในลักษณะนี้ได้ฟีเจอร์ที่ออกแบบไว้ไม่เหมาะสม

รูปที่ 5.12 แสดงตัวอย่างตัวพิมพ์เลข ๒ ที่นำมาทดสอบ



5.12.1)



5.12.2)

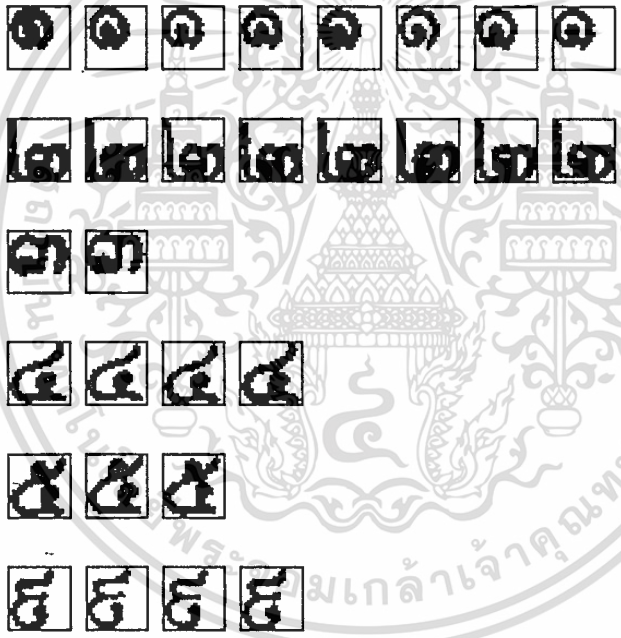
5.12.1) ตัวอย่างตัวพิมพ์เลข ๒ ก่อนการแปลงเป็นอินพุตแพทเทิร์นของนีโอคอคนิตรอน

5.12.2) ตัวพิมพ์เลข ๒ เมื่อแปลงให้เป็นอินพุตแพทเทิร์นของนีโอคอคนิตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองจะพบว่ามีเพียงเลข ๑ และเลข ๒ ที่สามารถจดจำได้ถูกต้องเกิน 90 % ในอักษรตัวพิมพ์ชุดนี้ที่เข้ามาทดสอบ ส่วนตัวเลขอื่นนอกนั้นจดจำได้ถูกต้องน้อยมาก ปัญหาของการนำตัวพิมพ์มาทดสอบจะเหมือนกับปัญหาของลายมือเขียนตัวหนาที่ได้กล่าวไปแล้ว ดังจะได้แสดงยกตัวอย่างตัวพิมพ์ที่นำมาทดสอบ และเมื่อผ่านการแปลงให้อยู่ในรูปที่จะใช้ในการจดจำด้วยนีโอคอคนิตรอน แล้วจะเป็นเหมือนลักษณะของตัวหนา ดังในรูปที่ 5.12 และได้แสดงตัวอย่างตัวพิมพ์เลขไทยที่ทดสอบได้ถูกต้องไว้ในรูปที่ 5.13

รูปที่ 5.13 แสดงตัวอย่างอินพุตแพทเทิร์นตัวพิมพ์เลขไทยแบบตัวอักษรอังศนายูพีซี 12 จุดต่อนิ้ว ที่สามารถจดจำได้ถูกต้อง



ส่วนตัวพิมพ์เลข ๐, ๖, ๗ และ ๘ ไม่มีตัวใดที่สามารถจดจำได้ถูกต้องเลย

5.4.3 จำนวนเซลที่ใช้ทั้งเน็ตเวิร์ค การจดจำตัวอักษรด้วยนีโอคอคนิตรอน ใช้เน็ตเวิร์คขนาดใหญ่พอสมควร โดยจะได้แสดงเปรียบเทียบขนาดของการใช้เซลทั้งเน็ตเวิร์คในการจดจำตัวเลขอารบิค และตัวเลขไทย ในตารางที่ 5.3 พบว่าในการจดจำลายมือเขียนตัวเลขไทยนั้นใช้ขนาดของ เพลน และจำนวนเพลนมากกว่าเพราะฟีเจอร์ของเลขไทยนั้นซับซ้อนกว่าฟีเจอร์ของเลขอารบิค ทำให้จำนวนเซลทั้งเน็ตเวิร์คมากตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 แสดงเปรียบเทียบจำนวนเซลทั้งเน็ตเวิร์คของการจดจำเลขอารบิค และเลขไทย โดยจำนวนของเซลในเลเยอร์ U_{SI} จะรวมเซลของ U_{VI} เข้าไปด้วย

เลเยอร์ที่	การจดจำเลขอารบิค 0 - 9			การจดจำเลขไทย ๐ - ๙		
	จำนวนเซลเพลน	ขนาดเซลเพลน	จำนวนของเซล	จำนวนเซลเพลน	ขนาดเซลเพลน	จำนวนของเซล
U_{C0}	1	19 x 19	361	1	23 x 23	529
U_{S1}	12	19 x 19	4693	12	23 x 23	6877
U_{C1}	8	21 x 21	3528	8	25 x 25	5000
U_{S2}	38	21 x 21	17199	47	25 x 25	29375
U_{C2}	19	13 x 13	3211	30	15 x 15	6750
U_{S3}	35	13 x 13	6084	40	15 x 15	9000
U_{C3}	23	7 x 7	1127	38	7 x 7	1862
U_{S4}	11	3 x 3	108	13	3 x 3	126
U_{C4}	10	1 x 1	10	10	1 x 1	10
รวม	-		36321	-		59529

5.4.4 เวลาที่ใช้ในการจดจำและการเรียนรู้ เวลาในการเรียนรู้และการจดจำตัวอักษรของนีโอคอค นิตรอน ขึ้นอยู่กับจำนวนเทรนนิ่งแพทเทิร์นในชุดข้อมูลการเรียนรู้ ที่จะทำการสอนให้เน็ตเวิร์คเพราะจำนวนเซลจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนเพลนที่รับผิดชอบแต่ละฟีเจอร์ ดังนั้นการคัดเลือกชุดข้อมูลในการเรียนรู้จึงมีความสำคัญต่อผลของการจดจำตัวอักษร และเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้และการจดจำตัวอักษรของนีโอคอคนิตรอนเป็นอย่างมาก

ส่วนเวลาที่ใช้ในการทดลองนี้ สำหรับชุดข้อมูลการเรียนรู้ และขนาดของเน็ตเวิร์คสำหรับการจดจำลายมือเขียนตัวเลขไทย ดังที่ได้แสดงไปแล้วนั้น แสดงไว้ในตารางที่ 5.4 ซึ่งเป็นค่าโดยประมาณสำหรับการทดลองด้วยเครื่องพีซี ใช้ซีพียูเพนเทียมความเร็ว 133 เมกกะเฮิร์ซ หน่วยความจำขนาด 32 เมกกะไบต์ เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้จนครบทั้งเน็ตเวิร์คสำหรับชุดข้อมูลการเรียนรู้ในบทที่ 4 ทั้งหมดทุกเลเยอร์ โดยประมาณใช้เวลา 40 นาที แต่เวลาที่ใช้ในการแยกแยะแต่ละตัวเลขไทยจะใช้เวลาประมาณตัวอักษรละ 20 วินาที ส่วนในตารางที่ 5.5 แสดงเวลาที่ใช้ทดลองด้วยเครื่องพีซีใช้ซีพียู เพนเทียม II ความเร็ว 233 เมกกะเฮิร์ซ หน่วยความจำ 64 เมกกะไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 แสดงเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้และการจดจำด้วยเครื่องเพนเทียมความเร็ว 133 เมกกะ-เฮิร์ซ หน่วยความจำ 32 เมกกะไบต์ (Windows 95)

รายละเอียด	เวลาที่ใช้ (วินาที)
เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ของเลเยอร์ที่ 1	0.04
เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ของเลเยอร์ที่ 2	38
เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ของเลเยอร์ที่ 3	620
เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ของเลเยอร์ที่ 4	220
รวมเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้	878
เวลาที่ใช้ในการจดจำ 1 ตัวอักษร	9

ตารางที่ 5.5 แสดงเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้และการจดจำด้วยเครื่องเพนเทียม II ความเร็ว 233 เมกกะเฮิร์ซ หน่วยความจำ 64 เมกกะไบต์ (Windows NT)

รายละเอียด	เวลาที่ใช้ (วินาที)
เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ของเลเยอร์ที่ 1	0.012
เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ของเลเยอร์ที่ 2	7
เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ของเลเยอร์ที่ 3	156
เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ของเลเยอร์ที่ 4	46
รวมเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้	209
เวลาที่ใช้ในการจดจำ 1 ตัวอักษร	1.8

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

ในการทดลองใช้นิวรอลเน็ตเวิร์คโมเดล "นีโอคอคนิตรอน" ในการจดจำลายมือเขียนภาษาไทย โดยการเรียนรู้ของนิวรอลเน็ตเวิร์คจะใช้การเรียนรู้จากฟีเจอร์ของแต่ละตัวอักษร และแบ่งลำดับความซับซ้อนของฟีเจอร์ที่เรียนรู้ตามเลเยอร์ที่สูงขึ้นของเน็ตเวิร์ค ส่วนการจดจำตัวอักษรนั้นจะใช้วิธีการแยกแยะฟีเจอร์ในเลเยอร์ของ S-cell ที่จะทำหน้าที่ในการแยกแยะฟีเจอร์เดียวกันในเพลนแต่อยู่ในตำแหน่งต่างกัน และการรวมฟีเจอร์ในเลเยอร์ของ C-cell หรือการทำเบลอร์ เพื่อเป็นการยอมให้ฟีเจอร์มีการเลื่อนตำแหน่งได้บ้าง สลับกันไปจนถึงเลเยอร์สุดท้าย

- วิธีการเรียนรู้ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นแบบซุปเปอร์ไวซ์เลิร์นนิ่ง โดยกำหนดว่าเพลนใดจะรับการสอนจากเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่เป็นฟีเจอร์ใด และกำหนดให้มีซีดเซล เป็นเรพพรีเซนเททีฟเซลของเพลนนั้นเพื่อทำการเรียนรู้ให้ได้ค่าถ่วงประจำเพลน ทุกๆเซล ในเพลนจะใช้ค่าถ่วงเดียวกันนี้ในการแยกแยะฟีเจอร์เดียวกันต่อไป การได้รับค่าถ่วงในการเรียนรู้ของนีโอคอคนิตรอนเหมือนเป็นการกำหนดน้ำหนักให้กับฟีเจอร์ในแต่ละเลเยอร์ที่จะเชื่อมต่อไปสู่ฟีเจอร์อื่นที่ซับซ้อนกว่า เป็นการกำหนดว่าตัวอักษรตัวใดควรจะมีฟีเจอร์ใดปรากฏอยู่บ้าง

การจดจำตัวอักษรของนีโอคอคนิตรอนจะสามารถจดจำตัวอักษรที่มีการเขียนผิดรูปไปจากตัวอักษรต้นแบบที่ใช้สอนในการเรียนรู้ได้ค่อนข้างมาก ประสิทธิภาพในการจดจำลายมือเขียนที่ผิดรูปได้มากน้อยหรือไม่ ขึ้นอยู่กับชุดข้อมูลในการเรียนรู้ที่ได้คัดเลือกขึ้นมาจากฟีเจอร์ของตัวอักษรแต่ละกลุ่มที่ทดลอง ในการทดลองกับเลขไทย เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองจดจำเลขอารบิค [4] พบว่าการกำหนดโครงสร้างของทั้งเน็ตเวิร์คในการจดจำเลขไทย จะต้องลองรับรูปแบบของตัวอักษรที่ฟีเจอร์ซับซ้อนกว่าในการจดจำเลขอารบิค ทั้งในเรื่องของขนาดของเพลน ขนาดของตัวแปรเชื่อมต่อ หรือขนาดอาเรย์ของค่าถ่วง จำนวนเพลนในแต่ละเลเยอร์ ที่ขึ้นอยู่กับจำนวนฟีเจอร์ที่ต้องการแยกแยะในเลเยอร์นั้น ดังนั้นในการจดจำลายมือเขียนตัวเลขไทยจึงใช้โครงสร้างนีโอคอคนิตรอนที่ใหญ่กว่ามาก ความเร็วในการประมวลผลจึงมากตามจำนวนเซลในเน็ตเวิร์คด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเรื่องของการคัดเลือกชุดข้อมูลในการเรียนรู้ตัวเลขไทย จะยากมากกว่าจากที่ฟีเจอร์ซับซ้อนมากกว่า การคัดเลือกชุดข้อมูลในการเรียนรู้ไม่มีหลักการแน่ชัด เพียงแต่เป็นแนวทางที่ควรจะใช้เพื่อให้การทำงานของโมเดลได้ผลตามต้องการเท่านั้น และเกิดจากที่พบในการทดลองแล้วเปรียบเทียบผลเป็นส่วนใหญ่ การที่จะให้ได้ชุดข้อมูลการเรียนรู้ที่เหมาะสมที่สุด ต้องทดลองเรียนรู้และจดจำตัวอักษรจากชุดข้อมูลที่คัดเลือกขึ้นมา เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ว่าได้ผลดีกว่าหรือไม่ แต่ในการทดลองจะพบว่าการเพิ่มฟีเจอร์ใหม่ๆ หรือการปรับปรุงเทรนนิ่งแพทเทิร์นแต่ละฟีเจอร์นั้น จะมีผลกระทบกับตัวอักษรที่ทดสอบไปแล้ว โดยอาจจะทำให้ตัวอักษรที่เคยจดจำถูกอาจจะจดจำผิดได้ เพราะการทำงานของนีโอคอคนิตรอนจะใช้วิธีการเปรียบเทียบความเหมือนของฟีเจอร์ ซึ่งอาจจะมีตัวอักษรบางตัวใช้ฟีเจอร์ที่คล้ายกับของตัวอักษรตัวอื่น เมื่อทำการปรับเทรนนิ่งแพทเทิร์นใหม่ อาจจะทำให้การจดจำตัวอักษรตัวเดิม ถูกกำหนดเส้นทางของฟีเจอร์ใหม่ให้ผลการจดจำออกมาเป็นตัวอักษรตัวอื่นซึ่งผิดไปได้

จากการทดลองพบว่านีโอคอคนิตรอนมีจุดเด่นที่น่าสนใจดังนี้

1. การจดจำรูปแบบจะไม่ขึ้นกับขนาด และตำแหน่งของรูปแบบทำให้นีโอคอคนิตรอนมีความเหมาะสมที่จะเป็นโมเดลในการจดจำลายมือเขียน หรือการจดจำรูปแบบเสมือนจริงอย่างอื่น

2. การจดจำรูปแบบที่มีสัญญาณรบกวน หรือตัวอักษรตัวหนา ไม่จำเป็นต้องมีการขจัดสัญญาณรบกวน หรือทำให้เป็นตัวปกติ ก่อนส่งเข้าไปทดสอบกับโมเดล โดยกลไกในกระบวนการแยกแยะฟีเจอร์ของโมเดลจะไม่สนใจค่าของเซลที่อยู่ในตำแหน่งที่ไม่มีความเกี่ยวข้องกับฟีเจอร์ใดๆ ทำให้สัญญาณรบกวนนั้นไม่มีผลต่อการจดจำตัวอักษร ส่วนในกรณีของตัวหนา เป็นการเพิ่มขนาดของฟีเจอร์เดิม ทำให้การตรวจพบฟีเจอร์นั้นๆ มีในหลายๆ ตำแหน่งขนานกัน แต่ต้องไม่มีความหนามาก จนทำให้ฟีเจอร์ถูกเบลอร์มาซ้อนทับกัน แล้วจะไม่มีผลต่อการจดจำรูปแบบนั้น

3. เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้จะใช้เวลาไม่นาน เนื่องจากเป็นซุปเปอร์ไวซ์เลิร์นนิ่ง ด้วยการกำหนดฟีเจอร์ให้แต่ละเพลน และเลือกว่าจะให้เซลใดเป็นเรพพรีเซนเททีฟ โดยการเรียนรู้ของเซลที่เป็นเรพพรีเซนเททีฟจะทำการเรียนรู้เพียงครั้งเดียว แล้วจดจำค่าที่ได้เพื่อใช้เป็นค่าถ่วงประจำเพลนนั้นๆ เพื่อใช้ในการแยกแยะฟีเจอร์ของเพลนต่อไป

และเนื่องจากแต่ละเพลนของ S-cell จะรับผิดชอบการแยกแยะฟีเจอร์เดียวกัน ด้วยการเลือกซีดเซลมาเป็นเรพพรีเซนเททีฟเพื่อรับการเทรนเพียงเซลเดียว หลังจากนั้นเซลอื่นๆ ในเพลนจะใช้ค่าถ่วงเดียวกันที่ได้นี้ในการเชื่อมต่อ ทำให้ลดเวลาการคำนวณในการหาค่าน้ำหนักให้ทุกเซลในเพลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. โมเดลมีคุณสมบัติของความเป็นเจนเนอรัลไลเซชัน ทำให้ไม่ต้องเทรนฟีเจอร์ทั้งหมดที่สามารถจะมีได้ในการเขียนตัวเลขไทยทุกๆ ฟีเจอร์ เพียงแต่ต้องเลือกฟีเจอร์ที่เหมาะสมขึ้นมาให้ครอบคลุมเท่านั้น

ส่วนปัญหาที่เป็นข้อเสียของนีโอคอคนิตรอนพบว่า

1. การคัดเลือกชุดข้อมูลในการเรียนรู้ ไม่มีหลักการที่แน่ชัดว่าควรจะคัดเลือกขึ้นมาอย่างไร การกำหนดว่าฟีเจอร์ใดเป็นโลคอลฟีเจอร์ หรือโกลบอลฟีเจอร์ ใช้การตัดสินใจของผู้ทดลองเท่านั้น

2. การคัดเลือกฟีเจอร์มาเป็นชุดข้อมูลในการเรียนรู้ ทำได้ยาก ต้องใช้วิธีการสังเกตความแตกต่างจากตัวอักษรในชุดที่ทดสอบ หาส่วนของตัวอักษรที่ทำให้ตัวอักษรนั้นแตกต่างไปจากตัวอักษรอื่น หรือแบบของการเขียนตัวอักษรแต่ละตัวจะเขียนออกมาได้เป็นแบบใดบ้าง แล้วฟีเจอร์แต่ละตัวจะเปลี่ยนไปตามแบบหรือไม่

3. การสรุปว่าชุดข้อมูลในการเรียนรู้เหมาะสมหรือไม่ ต้องใช้ผลจากการทดลองเปรียบเทียบทำให้การคัดเลือกให้ได้ชุดข้อมูลที่เหมาะสมกว่าเดิมนั้น ทำได้ยาก ถ้าคัดเลือกมาอย่างไม่ถูกต้อง จะให้ผลการจดจำของนีโอคอคนิตรอนไม่ดี เนื่องจากประสิทธิภาพในการจดจำของนีโอคอคนิตรอนขึ้นอยู่กับฟีเจอร์ที่ทำการสอนให้เรียนรู้เป็นอย่างมาก

4. การปรับให้ได้ชุดข้อมูลในการเรียนรู้ที่ดีกว่าเดิม ทำได้ยากมาก เพราะฟีเจอร์ในแต่ละเลเยอร์มีความสัมพันธ์กันกับฟีเจอร์อื่นด้วย หรือกับฟีเจอร์ในเลเยอร์ที่สูงกว่า ด้วยเหตุนี้ เมื่อทำการปรับฟีเจอร์ใด ของตัวอักษรบางตัว ต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อฟีเจอร์อื่น แล้วอาจทำให้ผลการทดสอบตัวอักษรที่มีฟีเจอร์นั้นเกี่ยวพันกันอยู่เปลี่ยนไปจากเดิมได้

5. การออกแบบโครงสร้างข้อมูลของนีโอคอคนิตรอน ยังมีผลกับประสิทธิภาพในการแยกแยะตัวอักษรเป็นอย่างมาก เพราะแต่ละเซลในแต่ละเพลนจะทำหน้าที่เก็บข้อมูลของตัวอักษรที่เข้ามาทดสอบ เพื่อเป็นข้อมูลอินพุตสำหรับเลเยอร์ต่อไป แต่ถ้าการออกแบบโครงสร้างข้อมูลในการเชื่อมต่อ ซึ่งจะมีการรับข้อมูลจากเซลรอบๆ ในกลุ่มรีเซพทีฟเซลด้วยนั้น ไม่ดี เช่น ให้การเลื่อนอาเรย์ของค่าถ่วงที่ใช้ตรวจสอบฟีเจอร์ไปบนทุกๆ เซลในเพลนนั้น มีการวางข้ามเซลไปทีละ 2 เซล ไม่ใช่เลื่อนทีละเซล ตั้งแต่ในเลเยอร์ระดับต้นๆ แล้ว จะทำให้ข้อมูลในเซลที่ถูกข้ามไปนั้น ไม่ถูกนำมาประมวลผลต่อ ทำให้ข้อมูลของตัวอักษรบางส่วนที่ใช้ในการแยกแยะฟีเจอร์ของตัวอักษรนั้นไม่ครบ แล้วผลการจดจำอาจจะผิดได้

6. เวลาในการจดจำช้า ขึ้นอยู่กับจำนวนเซลในเพลน และจำนวนเพลนในเลเยอร์ ที่มาจากการออกแบบตามความซับซ้อนของฟีเจอร์ในตัวอักษร และฟีเจอร์ที่ใช้ในการเรียนรู้ของตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อักษร โดยแต่ละเพลนทำหน้าที่ในการแยกแยะฟีเจอร์แต่ละฟีเจอร์เลย ดังนั้น การประมวลผลในแต่ละกระบวนการจึงมากตามความซับซ้อนของฟีเจอร์ด้วย ทำให้เวลาในการประมวลผลของโมเดลนี้ค่อนข้างช้า

6.2 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อเรียนรู้การทำงานของโมเดลนีโอคอคนิตรอนว่ามีความเหมาะสมกับงานในด้านการจดจำรูปแบบเสมือนจริง (Visual pattern recognition) โดยเฉพาะกับลายมือเขียนภาษาไทย ที่ได้ทดลองเฉพาะตัวเลขไทยไปแล้ว พบว่าโมเดลนี้มีความเหมาะสมกับการพัฒนาให้เป็นโมเดลในการจดจำลายมือเขียน ซึ่งรูปแบบที่เข้ามาทดสอบมีได้หลากหลายแตกต่างไปจากชุดข้อมูลในการเรียนรู้มาก ดังนั้นในการพัฒนาสำหรับตัวอักษรไทยอื่นๆ สามารถทำได้เพียงแต่ต้องเพิ่มจำนวนเพลนเพื่อรองรับฟีเจอร์ที่ต้องมีการแยกแยะเพิ่มขึ้นอีกมาก แต่ยังติดปัญหาที่เรื่องการใช้ทรัพยากรในเครื่องคอมพิวเตอร์และเรื่องเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเฉพาะในขั้นตอนการจดจด ส่วนในขั้นตอนการเรียนรู้ ถือว่ายอมรับได้ หากว่าต้องการทดลองกับตัวอักษรพยัญชนะไทยซึ่งฟีเจอร์มีความซับซ้อนและมีความใกล้เคียงกันในบางตัวอักษร ต้องใช้ฮาร์ดแวร์ที่มีประสิทธิภาพในการคำนวณผลที่ดี เข้ามาช่วย จะสามารถทดลองในการปรับชุดข้อมูลการเรียนรู้ซึ่งต้องทำเป็นจำนวนหลายครั้งด้วยกัน เพื่อเปรียบเทียบผล ให้ได้เร็วขึ้น และให้ผลในเรื่องเวลาที่ใช้ในการจดจำแต่ละตัวอักษรเร็วกว่านี้

นีโอคอคนิตรอนไม่ได้เหมาะสมเฉพาะแต่การจดจำลายมือเขียนเท่านั้น ยังสามารถออกแบบให้จดจดรูปแบษอื่นๆ เช่นหน้าคน หรือรูปแบบวัตถุ จากที่ได้มีรายงานการทดลองมาแล้ว[5] แต่ถ้ารูปแบบที่ทดสอบมีความซับซ้อนมาก ขนาดของเน็ตเวิร์คจะใหญ่มากตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. Freeman, James A. Freeman and David M Skapura. Neural Networks Algorithms, Applications, and Programming Techniques. Massachusetts : Addison-Wesley, 1991.
2. Robert Hecht-Nielsen. Neurocomputing. Massachusetts : Addison-Wesley, 1990.
3. Fukushima, Kunihiko , Sei Miyake, and Takayuki Ito. "Neocognitron : A Neural Network Model for a Mechanism of Visual Pattern Recognition." IEEE Transaction on System, Man, and Cybernetics, vol. SMC-13 no. 5 (1983) pp. 826-834.
4. Fukushima, Kunihiko. "Neocognitron: A Hierarchical Neural Network Capable of Visual Pattern Recognition." Neural Networks, vol. 1 no. 2 (1988) pp. 119-130.
5. Menon, Murali M and Karl G. Heinemann. "Classification of Patterns Using a Self-Organizing Neural Network." Neural networks, vol. 1 (1988) pp. 201-215.
6. Fukushima, Kunihiko. "Analysis of the Process of Visual Pattern Recognition by the Neocognitron." Neural Networks, vol. 2 no. 6 (1989) pp. 413-420.
7. Fukushima, Kunihiko and Nobuaki Wake. "Handwritten Alphanumeric Character Recognition by the Neocognitron." IEEE Transaction on Neural Networks, vol. 2 no. 3 (1991) pp. 355-365.
8. Kim, Eun Jin and Yillbyung Lee. "Handwritten Hangul Recognition Using a Modified Neocognitron." Neural Networks, Vol. 4 (1991) pp. 743-750.
9. Fausett, Laurene. Fundamentals of Neural Networks Architectures, Algorithm, and Applications. New Jersey : Prentice Hall International Inc, 1994.
10. Hiranvanichakorn, Pipat, Takeshi Agui and Masayuki Nakajima. "A Recognition Method of Handprinted Thai Characters by Local Features." The Transactions of the IECE of Japan, vol. E 68 no. 2 (1985) pp. 83-90.
11. Hiranvanichakorn, Pipat, Takeshi Agui and Masayuki Nakajima. "An On-line Recognition Method of Thai Characters." The Transactions of the IECE of Japan, vol. E 68 no. 9 (1985) pp. 594-601.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

12. ชม กิ้มปาน, "การรู้จำรูปแบบอักษรพิมพ์ภาษาไทยของคอมพิวเตอร์." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ดุษฎีบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2529.

13. ประสาร ตังติสานนท์, "การจดจำรูปแบบตัวอักษรคัดลายมือภาษาไทย โดยใช้วิธีแยกลักษณะเด่น." วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2529.

14. สุรพันธ์ เอื้อไพบูลย์, "การจดจำอักษรลายมือเขียนภาษาไทยโดยการพิจารณาหัวตัวอักษร." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2531.

15. สุรสิทธิ์ ราตรี, "การรู้จำอักษรตัวพิมพ์ภาษาไทยโดยวิธีค้นหาลักษณะโครงสร้างลายเส้น." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2532.

16. อภิรักษ์ จิรายุสกุล, "การวิเคราะห์ตัวพิมพ์อักษรภาษาไทยโดยใช้ CPN." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539.

17. อัญชลี วานิชทวีวัฒน์, "การจดจำอักขระภาษาไทยตัวพิมพ์โดยโครงข่ายประสาทเทียมแบบเซล์ฟออร์แกนไนซิ่งแมปซ์." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

บทความวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจดจำลายมือเขียนตัวเลขไทยด้วยนีโอคอคนิตรอน

Thai numeric hand-written character recognition by the Neocognitron

จิตรลดา ผลนิมิตร และ บุญธีร์ เครือตราชู*

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์

*ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทร (02) 326-9988, 326-9986 E-mail : chitrlad@asiaaccess.net.th

ทคัดย่อ

นิวรอลเน็ตเวิร์คโมเดล "นีโอคอคนิตรอน" เป็นโมเดลที่ออกบบมาเพื่อให้มีความสามารถในการจดจำรูปแบบได้โดยไม่ขึ้นกับการนแปรรูปร่างของรูปแบบ นีโอคอคนิตรอนมีโครงสร้างเน็ตเวิร์คแบบเป็นาดับชั้นและประกอบด้วยหลายเลเยอร์ เมื่อผ่านการเรียนรู้แล้ว การจดจำปแบบจะขึ้นอยู่กับความเหมือนของรูปร่าง แต่ไม่ขึ้นอยู่กับการผิดรูปนาด หรือตำแหน่งของรูปแบบ ความสามารถที่จะจดจำรูปแบบได้ถูกองมากขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับการเลือกชุดข้อมูลในการเรียนรู้ ในการวิจัยจะให้โอคอคนิตรอนเรียนรู้ลายมือเขียนตัวเลขไทย 10 ตัว ชุดข้อมูลในการเรียนในเลเยอร์ระดับล่างจะเป็นโลคอลฟีเจอร์ แล้วรวมไปสู่โกลบอลฟีเจอร์ที่บซ้อนขึ้นในชุดข้อมูลการเรียนรู้ของเลเยอร์ระดับที่สูงกว่า การวิจัยนี้จะนในการศึกษาการคัดเลือกชุดข้อมูลในการเรียนรู้เพื่อการจดจำตัวอักษรที่การผิดรูป และศึกษาความเป็นไปได้ที่ใช้นีโอคอคนิตรอนในโปรแกรมดจำลายมือเขียนภาษาไทย จากการทดลองเบื้องต้นเน็ตเวิร์คสามารถจดาลายมือเขียนตัวเลขไทยจำนวน 1016 ตัว ได้ถูกต้องประมาณ 84.2 %

Abstract

A neural network model, called the "neocognitron" is esigned for a capable of deformation-invariant visual pattern ecognition. The neocognitron is a hierarchical multi-layered network. After learning, pattern recognition is performed on the basis of imilarity in shape between patterns, but without being affected by leformation, changes in size or shifts in position of the input pattern. The ability to correctly recognize deformed pattern depends on the choice of training pattern set. This research will train the neocognitron o recognize 10 Thai numeric handwritten character. A supervised earning is used to train the system. Local features are the training pattern of the lower layer and there are integrated into more complicated global features that are the training pattern of the higher layer. This research emphasizes the study of selecting training patterns to recognize deform character and the feasibility of using neocognitron as a model for Thai-handwritten character recognition. According to the experiment using initial input of Thai numeric hand-written 1016 characters, network can correctly recognize about 84.2 percentage.

1. บทนำ

นีโอคอคนิตรอนเป็นนิวรอลเน็ตเวิร์คโมเดลที่วิจัยมาให้มีความสามารถในเรื่องของ visual pattern recognition ตัวอักษรที่นำเข้ามาทดสอบการจดจำจะมีขนาดเท่าใดก็ได้ภายในกรอบอ้างอิง และตำแหน่งอยู่ในกรอบอ้างอิงที่ใดก็ได้ รวมทั้งการเปลี่ยนแปรรูปร่างตัวอักษรมีได้มากขึ้น และยังไม่ต้องเปลี่ยนให้เป็นตัวปกติ (thining) ก่อนสำหรับตัวอักษรแบบตัวหนา หรือการแยกตัวอักษรที่มีสัญญาณรบกวนอยู่ด้วยก็ไม่ต้องขจัดสัญญาณรบกวนออกก่อน

โดยเริ่มแรกจากที่มีการพัฒนาโมเดลนีโอคอคนิตรอน ได้ทดสอบการจดจำกับลายมือเขียนเลขอารบิค [3-4] และต่อมาได้มีการทดสอบกับลายมือเขียนตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ร่วมกับตัวเลขอารบิค [7] จนกระทั่งมีการนำไปทดสอบกับตัวอักษรภาษาจีน และทดสอบกับลายมือเขียนภาษาเกาหลี [8] ซึ่งผลการทดสอบเบื้องต้นในภาษาเกาหลีนั้นได้ผลการทดสอบที่ถูกต้อง 79 % ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดสอบการเรียนรู้และการจดจำกับลายมือเขียนตัวเลขไทย

เนื่องจากโมเดลนี้มีความเป็น generalization ไม่จำเป็นต้องให้เน็ตเวิร์คเรียนรู้ฟีเจอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปทั้งหมดของตัวอักษร สามารถเลือกฟีเจอร์ที่เด่นๆ ให้ครอบคลุมในการเรียนรู้ก็พอ การคัดเลือกฟีเจอร์เพื่อให้เกิดเป็นชุดข้อมูลในการเรียนรู้ที่ดีนั้น มีความสำคัญกับเน็ตเวิร์คมาก ถ้าฟีเจอร์มีจำนวนมาก เวลาในการประมวลผลจะมากตามไปด้วย

2. ทฤษฎี

2.1 หลักการเบื้องต้นของนีโอคอคนิตรอน

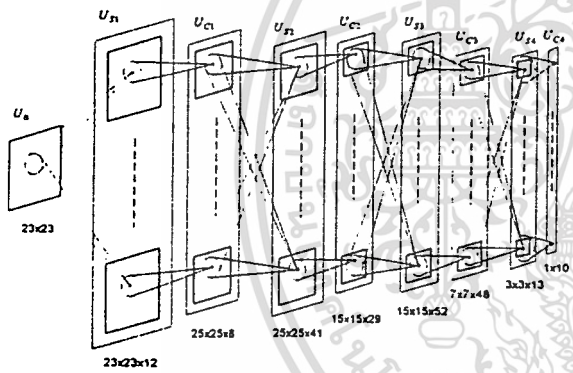
นีโอคอคนิตรอนเป็นโมเดลที่สังเคราะห์ขึ้นมาตามการทำงานของเซลสมองในเรื่องของ visual information-processing โดย Prof. Kunihiko Fukushima เมื่อปี คศ. 1980 เลียนแบบการมองเห็นของชีรบรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเซลสมองส่วนต้นรับผิดชอบการแยกโลคอลฟีเจอร์ซึ่งเป็นฟีเจอร์พื้นฐานของรูปแบบ ตัวอย่างโลคอลฟีเจอร์เช่น เส้นตรงที่วางตัวต่างๆกัน เซลสมองส่วนที่สูงกว่าจะแยกคัดเลือกรูปเฉพาะขึ้นไปเรียกว่า โกลบอลฟีเจอร์ เช่น วงกลม รูปเหลี่ยม หรือหน้าคน กล่าวได้ว่าในระบบการมองเห็นเป็น hierarchical structure ซึ่งจะแยกฟีเจอร์พื้นฐานออกมาก่อน แล้วรวมเป็นฟีเจอร์ที่ซับซ้อนขึ้น จากกลไกดังกล่าวจึงเกิดเป็นโครงสร้างของนีโอคอกนิตรอนแบบ hierarchical multilayered network [1]

2.2 โครงสร้างของนีโอคอกนิตรอน

ในแต่ละเลเยอร์จะประกอบด้วยเซลที่มีค่าบวก การเชื่อมต่อระหว่างเซลเป็นแบบฟอร์เวิร์ดคอนเนคชัน (forward connection) ในเลเยอร์แรกสุดของเน็ตเวิร์คคือ อินพุตเลเยอร์ U_0 ต่อไปประกอบด้วย 2 เลเยอร์ คือ เลเยอร์ของ S-cells ซึ่งเรียกว่า U_{Sl} ตามด้วยเลเยอร์ของ C-cells ซึ่งเรียกว่า U_{Cl} (เลเยอร์ ที่ l) และเรียงสลับกันระหว่าง U_{Sl} และ U_{Cl} เช่นนี้ โดยที่ในแต่ละเลเยอร์จะแบ่งเป็นอาร์เรย์ของเซลเรียกว่าเซลเพลน (cell-plane) หรือเพลน (plane) และในแต่ละเลเยอร์ U_S จะมีอีกหนึ่งเพลนของ inhibitory cells (หรือ V-cells) เรียกว่า U_V

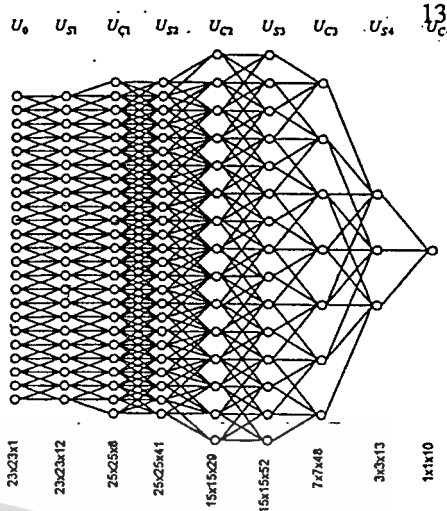


รูปที่ 1 โครงสร้างแบบ Hierarchical network ของนีโอคอกนิตรอน

ในรูปที่ 1 นั้นรูปสี่เหลี่ยมเส้นทึบแสดงถึง S-plane หรือ C-plane ส่วนสี่เหลี่ยมแนวตั้งที่วาดด้วยเส้นบางแสดงถึง S-layer ของ S-plane หรือ C-layer ของ C-plane ตัวเลขด้านล่างแสดงขนาดของเพลน (กว้าง x ยาว) และ จำนวนเพลนในเลเยอร์นั้นๆ

การออกแบบขนาดของเพลนต้องให้เหมาะสมกับของตัวอักษรที่จะทำการจดจำ ในงานวิจัยนี้เลือกขนาดของเพลนเป็น 23x23 สำหรับตัวเลขไทย และการออกแบบจำนวนเลเยอร์จะมากขึ้นถ้ารูปแบบมีความซับซ้อนมาก ส่วนจำนวนเพลนขึ้นอยู่กับจำนวนฟีเจอร์ที่ต้องการให้แยกแยะในแต่ละเลเยอร์ โดยทุกเซลในเพลนจะรับผิดชอบฟีเจอร์เดียวกัน

จำนวนเซลในเพลนจะให้มีจำนวนน้อยลงในเลเยอร์ที่สูงขึ้น เพราะเซลในเลเยอร์ที่สูงกว่าจะรับข้อมูลจากกลุ่มของรีเซพทีฟเซล (receptive cells) ในเลเยอร์ก่อนหน้านั้น ซึ่งเปรียบได้กับมุมในการมองเห็นของลามนุษย์ แล้วขนาดของกลุ่มเซลนี้จะใหญ่ขึ้นเมื่อเลเยอร์สูงขึ้น จนในเลเยอร์สูงที่สุด จะมีเพียง C-cell เซลเดียวสำหรับแสดงผลลัพธ์สุดท้ายแทนแต่ละรูปแบบที่ต้องการแยกแยะ ดังในรูปที่ 2

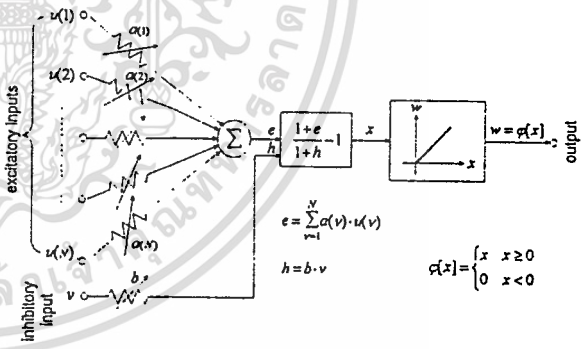


รูปที่ 2 การเชื่อมต่อระหว่างเซลของหนึ่งเพลนในแต่ละเลเยอร์ที่ออกแบบมาสำหรับการจดจำตัวเลขไทย

2.3 หลักการในการจดจำรูปแบบของนีโอคอกนิตรอน

2.3.1 หลักการทำงานของ S-cells

S-cells ทำหน้าที่ในการแยกแยะฟีเจอร์ (feature-extracting) หลังจากผ่านการเรียนรู้แล้ว ค่าของตัวแปรหรือค่าน้ำหนัก (weight) ของ S-cells จะถูกนำไปใช้แยกแยะฟีเจอร์ในอินพุตร่วมกับค่าของ V-cell โดย S-cells จะแอคทีฟเมื่อมีฟีเจอร์ที่รับผิดชอบบนเพลนในเลเยอร์ก่อนหน้านั้น การประมวลผลเพื่อให้ได้ค่าของ S-cell แสดงในรูปที่ 3 [3]



รูปที่ 3 การประมวลผลของ S-cell ใดๆ

$u_{Sl}(n,k)$ แทนผลลัพธ์ของ S-cell ในเลเยอร์ที่ l , เพลนที่ k และ n เป็นโคออดิเคตของเซลในเพลนของ U_{Sl} หาได้จาก

$$u_{Sl}(n,k) = r_l \cdot \varphi\left[\frac{1+\sum_{\kappa=1}^{K_{Cl-1}}\sum_{v\in A_l} a_l(v,\kappa,k)\cdot u_{Cl-1}(n+v,\kappa)}{1+\frac{r_l}{1+r_l}\cdot b_l(k)\cdot u_V(n)} - 1\right]$$

เมื่อ $k = 1,2,\ldots,K_{Sl}$ (1)

โดยที่ $$\varphi[x] = \begin{cases} x & \text{if } x \ge 0 \\ 0 & \text{if } x < 0 \end{cases}$$ (2)

A_l คือขนาดอาเรย์ของ a ซึ่งเป็นค่าน้ำหนักจาก C-cell มายัง S-cell , v เป็นตำแหน่งในอาร์เรย์ของ A_l ส่วน r_l กำหนดระดับการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

อกฟีเจอร์ ในที่นี้ใช้ $r_1 = 1.5,\ r_2 = 3.8,\ r_3 = 0.7$ และ $r_4 = 0.7$

V-cell เป็นเซลที่ส่งค่าขับขั้ง ให้กับ S-cell หาได้จาก

$$u_{VI}(n) = \sqrt{\sum_{\kappa=1}^{K_{CI-1}} \sum_{v \in A_I} c_I(v) \cdot \left\{u_{CI-1}(n+v,\kappa)\right\}^2} \qquad (3)$$

$c_I(v)$ เป็นค่าน้ำหนักคงที่ (fixed excitatory weight) จาก C-ll ในเลเยอร์ก่อนหน้ามายัง V-cell หามาจาก

$$c_I(v) = \gamma_I^{|v|} \qquad (4)$$

เมื่อ $|v|$ เป็น distance function และ $c_I(v)$ ต้องนอร์มัลไลซ์วย ดังสมการ

$$\sum_{\kappa=1}^{K_{CI-1}} \sum_{v \in A_I} c_I(v) = 1 \qquad (5)$$

3.2 หลักการทำงานของ C-cells

หน้าที่ของ C-cells คือยอมให้ฟีเจอร์มีการเลื่อนตำแหน่ง ositional error) ได้ แต่ละ C-cell จะรับข้อมูลจากกลุ่มของ S-cells ที่ กแยะฟีเจอร์เดียวกัน แต่ตำแหน่งของฟีเจอร์ต่างกันมา C-cell จะแอค ์เมื่อเริ่มมี S-cell เพียงเซลเดียวที่แอคทีฟขึ้น แม้ว่าฟีเจอร์มีการเลื่อน แห่งไป S-cell อื่นในกลุ่มของรีเซพทีฟ (receptive field) ที่สนใจ จะ อคทีฟขึ้นมาแทน S-cell เดิม แต่ C-cell เดิมก็จะยังถูกกระตุ้นอยู่

ในเน็ตเวิร์คของนีโอคอคนิตรอน ทั้งโครงข่ายประกอบด้วยเล วร์ของ S-cells กับ C-cells สลับกันไป ทำให้กระบวนการแยกแยะ จอร์ ของ S-cells และการยอมให้มีการเลื่อนตำแหน่งของ C-cells เกิด สลับซ้ำกันไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงเลเยอร์ที่สูงที่สุดซึ่งรวมเอาข้อมูล งอินพุตไว้ทั้งหมด ก็จะแสดงผลลัพธ์ออกมาที่ C-cell เดียวกัน การจด รูปแบบจึงเป็นอิสระไม่ขึ้นกับขนาดหรือตำแหน่งของรูปแบบนั้น

ผลลัพธ์ของ C-cell ในตำแหน่งที่ n ของเพลน ที่ k ของเล วร์ U_C ที่ l หาได้จาก

$$u_{CI}(n,k) = \psi\left[\sum_{\kappa=1}^{K_S} j_I(\kappa,k) \sum_{v \in D_I} d_I(v) \cdot u_{SI}(n+v,\kappa)\right] \qquad (6)$$

เมื่อ $\psi[x] = \dfrac{\varphi[x]}{1+\varphi[x]}$ (7)

D_I เป็นขนาดของอาร์ย์กลุ่มเซลของ S-cell ที่เชื่อมต่อไปยัง cell ค่าของ $j_I(\kappa.k)$ แสดงถึงการใช้ฟีเจอร์ร่วมกัน (joining) ของ จอร์จาก S-cll หลายๆ เพะน มายัง C-cell เดียวกัน ส่วน $d_I(v)$ ≥ 0) เป็นค่าของค่าน้ำหนักงที่จาก S-cells มายัง C-cells หาได้จาก

$$d_I(v) = \delta_I^{|v|} \qquad (8)$$

4 การเรียนรู้ของนีโอคอกนิตรอน

การเรียนรู้ของนีโอคอกนิตรอนเป็นได้ทั้ง learning-without-a-cher และ learning-with-a-teacher ในงานวิจัยนี้ได้เลือกการเรียนรู้ นแบบ learning-with-a-teacher (supervised learnint) โดยการเรียนรู้ เกิดขึ้นเริ่มจากเลเยอร์แรกไปจนถึงเลเยอร์สูงที่สุดเลเยอร์ที่สูงกว่าเรียน ค้หลังจากเมื่อเลเยอร์ก่อนหน้านั้นผ่านการเรียนรู้ไปแล้ว และต้องเลือก ว่าจะให้เซลใดในเพลนเป็นเรพรีเซนเททีฟเซล (representative cell) เพื่อทำการเรียนรู้ หลังจากนั้นทุกๆ เซลในเพลน ก็จะได้ค่าน้ำหนักเดียวกันกับเซลที่เลือกขึ้นมานี้

สมการในการเรียนรู้ จะเป็นดังนี้

$$\Delta a_I(v,\kappa,\hat{k}) = q_I \cdot c_I(v) \cdot u_{CI-1}(\hat{n}+v,\kappa) \qquad (9)$$

$$\Delta b_I(\hat{k}) = q_I \cdot u_{VI}(\hat{n}) \qquad (10)$$

โดยเลือก S-cell ตำแหน่งที่ $\hat{n}$ ในเพลนที่ $\hat{k}$ เป็นเรพรีเซนเททีฟเซลในการเรียนรู้เพื่อให้ได้ค่าของ $a_I(v,\kappa,\hat{k})$ และ $b_I(\hat{k})$ เป็นค่าน้ำหนักสำหรับฟีเจอร์ที่ทำการเรียนรู้ของเพลนนี้ การวางตำแหน่งของเทรนนิ่งแพทเทิร์น (training pattern) ต้องสัมพันธ์กับตำแหน่งของเรพรีเซนเททีฟด้วย ส่วน q_I เป็นค่าอัตราการเรียนรู้ (training rate) กำหนดความเร็วในการปรับค่าน้ำหนักใน learning-with-a-teacher จะเลือกใช้ค่ามากเพื่อให้การปรับค่าน้ำหนักของแต่ละฟีเจอร์ เสร็จสมบูรณ์ภายในขั้นตอนเดียว

3. การออกแบบฟีเจอร์

การกำหนดชุดข้อมูลในการเรียนรู้ให้เน็ตเวิร์ค ตามฟีเจอร์ของตัวอักษร มีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการคัดเลือกฟีเจอร์ ดังต่อไปนี้

3.1 ขนาดของตัวแปรเชื่อมต่อเน็ตเวิร์ค (A_I และ D_I)

การเรียนรู้ของเน็ตเวิร์คเพื่อให้จดจำรูปแบบได้นั้น ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของนีโอคอคนิตรอน นอกจากต้องออกแบบจำนวนเลเยอร์ให้มากขึ้นตามความซับซ้อนของตัวอักษรแล้ว ต้องคำนึงถึงขนาดอาร์เรย์ของตัวแปรเชื่อมต่อ A_I และ D_I ในเน็ตเวิร์ค

โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดของ A_I ซึ่งเป็นค่าน้ำหนักที่ได้รับค่ามาจากการเรียนรู้จากฟีเจอร์โดยตรง การออกแบบขนาดของ A_I ในเลเยอร์ระดับกลางๆนั้น ยิ่งถ้าโลคอลฟีเจอร์ของตัวอักษรอยู่ชิดกันมากขนาดของ A_I ในเลเยอร์นั้นควรจะมีขนาดเล็กลงเพื่อไม่ให้ฟีเจอร์ 2 อันมาปนกันใน S-layer ถ้าฟีเจอร์กระจายตัวกันอยู่ ให้ A_I มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ หรืออาจ กล่าวได้ว่า ถ้าตัวอักษรหรือรูปแบบมีความซับซ้อนมากขึ้น โลคอลฟีเจอร์ในเลเยอร์ระดับกลางจะหนาแน่น ดังนั้นขนาดของ A_I จะต้องเล็กลง

เช่นเดียวกับขนาดของค่าน้ำหนักคงที่ D_L ต้องสัมพันธ์กับความหนาแน่นของฟีเจอร์เช่นเดียวกับ A_I คือถ้ามีความหนาแน่นของฟีเจอร์มาก ขนาดของ D_I จะต้องเล็กลงเช่นกัน ไม่เช่นนั้นการแยกแยะฟีเจอร์ออกจากกันจะสับสน เพราะ d_I จะทำให้ฟีเจอร์เบลอร์เข้ามาปนกันใน C-layer แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าความหนาแน่นของฟีเจอร์น้อย ขนาดของ D_I สามารถจะใหญ่ก็ได้เพื่อให้ตำแหน่งของฟีเจอร์ในตัวอักษรสามารถเลื่อนได้บ้าง แต่ก็ยังถือว่าเป็นตัวอักษรตัวเดียวกัน ดังนั้นยิ่งชุดของตัวอักษรที่ทำการจดจำมีความซับซ้อนมาก ต้องให้ขนาดของ A_I และ D_I เล็กลง เปรียบเสมือนกับให้มุมมองที่กระทำกับฟีเจอร์แคบลง เพื่อให้แยกแยะฟีเจอร์ต่างๆที่มีความซับซ้อนตามตัวอักษรออกจากกันได้

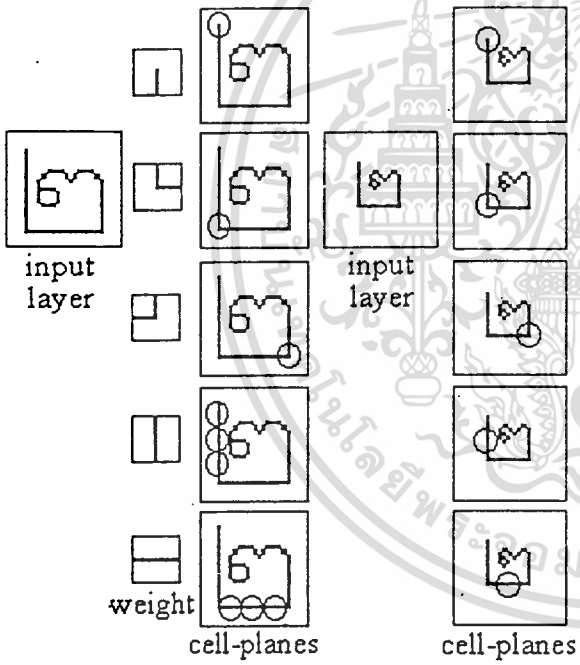
เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ดียิ่งขึ้น แต่ขนาด A_l และ D_l นี้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดเซลเพลนหรือขนาดตัวอักษร ขึ้นกับความซับซ้อนของฟีเจอร์ในตัวอักษรเท่านั้น

3.2 การกำหนดฟีเจอร์ ไม่ควรให้เด่นมากเกินกว่าฟีเจอร์อื่น

ฟีเจอร์ของตัวอักษรในเลเยอร์ระดับต้น โลคอลฟีเจอร์จะเป็นส่วนประกอบของเส้น ดังเช่น จุดตัดระหว่างเส้น มุมของเส้น ความโค้ง และจุดปลาย ควรจะต้องระวังในการกำหนดบางฟีเจอร์ที่อาจจะทำให้เกิดเซลแอคทีฟขึ้นมามากเกินจนทำให้ฟีเจอร์นั้นเด่นมากกว่าฟีเจอร์อื่นและทำให้ฟีเจอร์อื่นลดความสำคัญลง

ตัวอย่างเช่นการเลือกฟีเจอร์ที่เกี่ยวข้องกับเส้นตรง ให้คิดว่าจุดที่เลือกมาเป็นฟีเจอร์ไม่ควรเป็นจุดที่อยู่ตรงกลางเส้นตรง ดังรูปที่ 4 เปรียบเทียบระหว่างเซลเพลนที่แยกแยะฟีเจอร์ที่เป็นมุม จุดปลายเส้น และส่วนของเส้นตรงในส่วนหางของเลข ๒ พบว่าเซลที่แอคทีฟในการแยกส่วนของเส้นตรงมีจำนวนมากกว่าเซลที่แอคทีฟในการแยกมุมระหว่างเส้น ที่อาจจะมีเพียงเซลเดียวหรือเซลรอบๆเท่านั้นที่แอคทีฟขึ้นมา



รูปที่ 4 การแยกแยะฟีเจอร์ที่เกี่ยวข้องกับเส้นตรงในเลข ๒

นอกจากนี้ถ้าตัวอักษรขนาดใหญ่จะทำให้เส้นตรงที่ประกอบเป็นตัวอักษรนั้นมีความยาวมากขึ้น จำนวนเซลที่แอคทีฟมากขึ้นด้วย การที่มีเซลแอคทีฟขึ้นมามากในขั้นตอนของการแยกแยะฟีเจอร์ในเพลนเดียวกันที่เกิดขึ้นจากเกฎฑ์ของฟีเจอร์เดิม เช่นกรณีของเส้นตรงนี้ ทำให้ฟีเจอร์ที่เป็นเส้นตรงมีอิทธิพลมากเพราะค่าผลลัพธ์ที่ได้จากเซลในเพลนมีค่ามาก ผลของฟีเจอร์นี้จะเด่นกว่า ทำให้ฟีเจอร์อื่นลดความสำคัญลงไป แล้วการทำ deformatice-invariant recognition จะยุ่งยากและผิดพลาดได้

3.3 การกำหนดฟีเจอร์ที่มีการ deformed ในชุดเดียวกัน

ในการเรียนรู้ฟีเจอร์เดียวกันจากชุดของเทรนนิ่งแพทเทิร์น อาจมีบางเพลนที่ต้องเรียนรู้จากหลายๆ เทรนนิ่งแพทเทิร์น เพื่อเพิ่มความสามารถให้ S-cells ทำการจดจำฟีเจอร์ที่มีการผิดรูปกันได้ ดังตัวอย่างในเทรนนิ่งแพทเทิร์นของเลเยอร์ U_{S2} ในรูป 5 การกำหนดฟีเจอร์ในแนวนอนของบางเพลนในลักษณะนี้ ตำแหน่งของเซลที่ประกอบกันขึ้นมาเป็นฟีเจอร์ในชุดเดียวกันต้องมีความสัมพันธ์กันถ้าตำแหน่งสัมพันธ์กันไม่ดี ผลของการเรียนรู้ฟีเจอร์นี้จะไม่ดีด้วย พิจารณาจากค่าน้ำหนักคงที่ $c_l(v)$ ที่หาได้จากสมการที่ (4) จะมีค่ามากตรงกลางแล้วลดลงเรื่อยๆ ในเซลด้านนอก เพื่อให้ S-cells ถูกกระตุ้นจากค่าน้ำหนักที่เซลจุดกลางของการเชื่อมต่อมากกว่าเซลรอบนอก ดังนั้นจึงควรปรับฟีเจอร์ที่มีการดีฟอร์ม (deformed) ในชุดของเทรนนิ่งแพทเทิร์น สำหรับซีดเซล (seed cell) เดียวกันของเพลนใดๆ ให้มีการซ้อนทับกันที่ตรงกลาง และยอมให้มีการคลาดเคลื่อนกันได้ในเซลรอบๆ

รูปที่ 5 การกำหนดฟีเจอร์ให้มีการซ้อนทับตรงกลาง และคลาดเคลื่อนในเซลรอบๆ

3.4 การเลือกตำแหน่งฟีเจอร์สำหรับการเรียนรู้ของ seed cell

การทำให้ความสามารถในการเรียนรู้เพื่อแยกแยะฟีเจอร์ของเน็ตเวิร์คดีนั้น ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่เลือกขึ้นมาเป็นจุดกลางของกลุ่มรีเซพทีฟเซลเพื่อให้ซีดเซลเรียนรู้ ตัวอย่างถ้าต้องการให้เรียนรู้จุดที่เป็นมุมขวาล่างของเลข ๔ ในเลเยอร์ U_{S2} ฟีเจอร์จะวางอยู่ในส่วนซ้ายบนของเทรนนิ่งแพทเทิร์น แทนที่จะวางอยู่ตรงกลาง ดังรูปที่ 6 ทั้งนี้เพื่อให้จุดมุมของฟีเจอร์อยู่ตรงกลางแทน แล้วให้ส่วนที่เป็นพื้นที่ว่างถัดจากมุมของฟีเจอร์อยู่ในส่วนขวาล่าง เพื่อเพิ่มความสามารถในการเรียนรู้ฟีเจอร์ที่เป็นมุมของเลข ๔ จากการที่ซีดเซลได้เรียนรู้อย่างตรงจุดในฟีเจอร์ที่เราต้องการ

รูปที่ 6 การเลือกตำแหน่งในฟีเจอร์ให้ตรงกับซีดเซล

3.5 การออกแบบฟีเจอร์ที่มีสไตล์ในการเขียนแตกต่างกันมาก

ลายมือเขียนจะมีรูปแบบการเขียนที่หลากหลาย ทำให้เกิดเป็นฟีเจอร์ที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก ถ้าฟีเจอร์ใดมีสไตล์ในการเขียนแตกต่างกันมากเกินที่จะแยกแยะได้ในเพลนเดียวก็ควรที่จะแยกแยะด้วย S-cell เพลนอื่นแยกกัน แล้วค่อยนำมารวมกันไปสู่ C-cell เพลนถัดไป

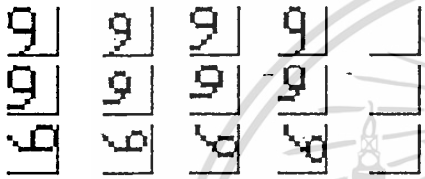
การที่ฟีเจอร์เดียวกันแต่มีความแตกต่างกันมากจากสไตล์ของการเขียน ไม่ควรเทรนในเพลนเดียวกันนั้น เนื่องจากความแตกต่างของฟีเจอร์จะทำให้เกิดเซลที่คลาดเคลื่อนจากกันมาก การเรียนรู้ของซีดเซลจากรูปแบบที่มีความแตกต่างกันมากเกินไปเช่นนี้ ผลของการเรียนรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา

ฟีเจอร์จะไม่ดี เนื่องจากค่าน้ำหนักจะถูกหักล้างกันไปในฟีเจอร์นั้น แล้วเซลจะไม่สามารถแยกแยะรูปแบบอื่นได้อีกเลย สามารถทำความเข้าใจได้จากการวิเคราะห์สมการ [6]

3.6 ฟีเจอร์ที่มีรูปร่างเดียวกันในตัวอักษรหลายๆตัว

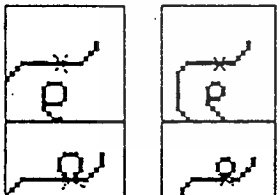
ฟีเจอร์บางฟีเจอร์อาจจะอยู่ในหลายๆตัวอักษร แต่ลักษณะของฟีเจอร์แตกต่างกันไปตามตัวอักษร ทำให้ฟีเจอร์มีความแตกต่างกันมากเกินกว่าจะแยกแยะได้ในเพลนเดียวกันเนื่องมาจากผลของการเรียนรู้ ฟีเจอร์นั้นจะไม่ดี จึงควรจะให้ฟีเจอร์อยู่คนละเพลนกัน เช่นฟีเจอร์ส่วนหัวของเลขไทย พิจารณาจากเลข ๑ ๘ ๙ รูปแบบของฟีเจอร์ส่วนหัวที่ม้วนไปทางเดียวกันแต่ไม่เหมือนกัน จะถูกแยกเทรน ดังในเทรนนิ่งแพทเทิร์นของ U_{S2} ซึ่งจะใช้ 3 เพลนในการแยกฟีเจอร์นี้ ดังในรูป 7



รูปที่ 7 การกำหนดฟีเจอร์ที่มีรูปร่างเดียวกันในตัวอักษรหลายๆ ตัว

3.7 ตัวอักษรที่คล้ายกันควรเลือกฟีเจอร์ที่ทำให้เห็นความแตกต่างของตัวอักษร

ตัวอักษรบางตัวมีความคล้ายคลึงกันมาก การเลือกฟีเจอร์เพื่อไม่ให้เกิดความสับสนในการแยกแยะระหว่างตัวอักษรนั้น ควรจะเลือกส่วนที่เน้นให้เห็นความแตกต่างของตัวอักษรนั้น ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดระหว่างเลข ๔ และ ๕ จึงควรเลือกฟีเจอร์ที่มีอยู่ในตัวอักษรตัวใดตัวหนึ่งเท่านั้น คือส่วนที่ขมวดบนเลข ๕ จึงควรเลือกฟีเจอร์นี้มาเป็นเทรนนิ่งแพทเทิร์น เช่นในเลเยอร์ U_{S3} ดังรูปที่ 8 ในรูปส่วนที่กากบาทไว้คือจุดที่เลือกเป็นเรพรีเซนเททีฟสำหรับให้เรียนรู้



รูปที่ 8 การกำหนดฟีเจอร์ให้เห็นความแตกต่างของตัวอักษรที่คล้ายกัน

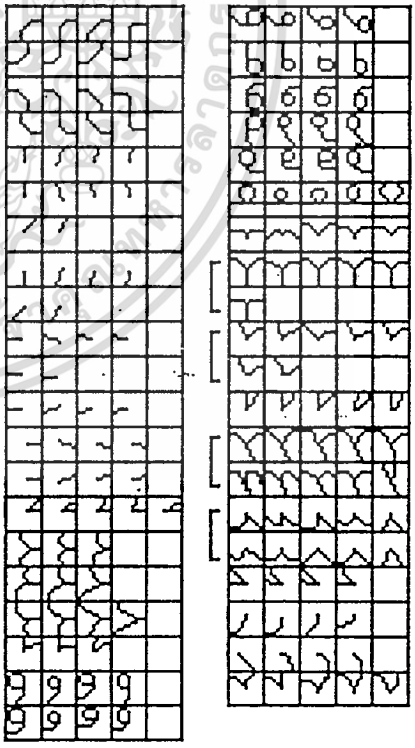
4. การปรับฟีเจอร์สำหรับระบบการจดจำตัวเลขไทย

ในการจดจำตัวเลขไทย ได้ทำการปรับฟีเจอร์เพื่อเป็นชุดข้อมูลในการเรียนรู้ การทดลองจะทำการคัดเลือกฟีเจอร์กำหนดขึ้นมาเป็นเทรนนิ่งแพทเทิร์นของแต่ละเลเยอร์ ทำการเทรนให้กับเน็ตเวิร์ค แล้วทดสอบการจดจำตัวอักษร เมื่อพิจารณาจากผลลัพธ์ในการจดจำแต่ละเพลนตามฟีเจอร์ สามารถตรวจพบได้ว่าฟีเจอร์ใดที่ไม่สามารถแยกแยะได้ในตัวอักษรที่มีฟีเจอร์นั้นอยู่ จึงมาทำการปรับฟีเจอร์นั้นอีกครั้ง เมื่อได้เทรนนิ่งแพทเทิร์นใหม่ ก็ทำการเทรนแล้วทดสอบการจดจำเพื่อให้ได้ผลมาพิจารณาต่อ จนสามารถปรับชุดข้อมูลในการเรียนรู้ที่ให้ผลในการจดจำเป็นที่น่าพอใจ ดังต่อไปนี้

4.1 ชุดข้อมูลในการเรียนรู้ของเลเยอร์ U_{S1}

เลเยอร์ U_{S1} จะเรียนรู้ชุดข้อมูลสำหรับแยกแยะส่วนของเส้นตรงที่วางตัวต่างๆ กัน ดังในรูปที่ 9 มี 12 เทรนนิ่งแพทเทิร์น ขนาด 3 x 3 โดยแต่ละเทรนนิ่งแพทเทิร์นถูกส่งเข้าไปให้เรียนรู้เพียงครั้งเดียว ด้วยการวางเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่กลางเพลนของอินพุตเพลน U_{C0} แล้วให้เซลที่อยู่กลางเซลเพลนของ U_{S1} เป็นเรพรีเซนเททีฟ ในการเรียนรู้แต่ละเทรนนิ่งแพทเทิร์น เส้นที่ลากเชื่อมด้านข้างเทรนนิ่งแพทเทิร์นแสดงการใช้ฟีเจอร์ร่วมกันของ S-cell เพลนที่รวมเป็น C-cell ของ U_{C1}

รูปที่ 9 เทรนนิ่งแพทเทิร์นที่ทำการเทรนให้กับ U_{S1}



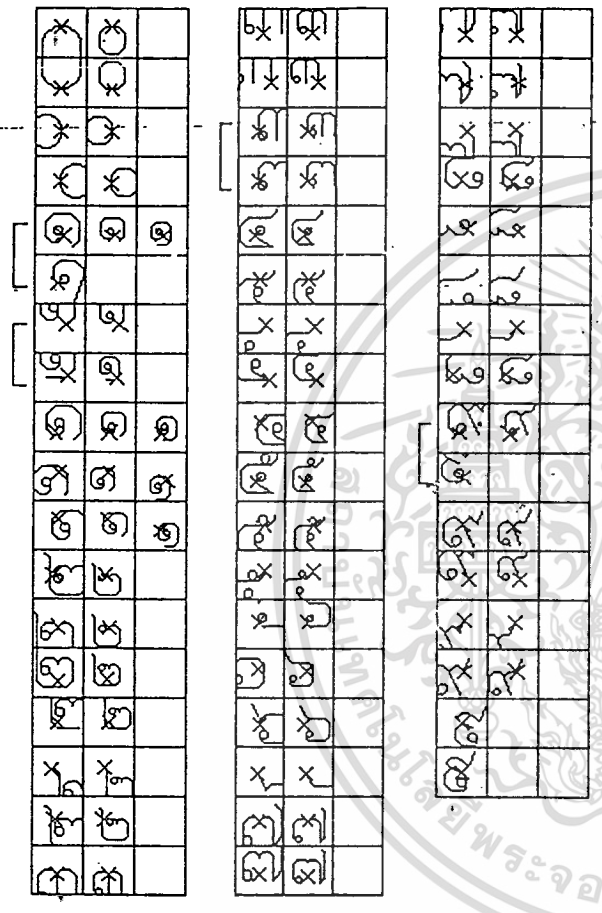
รูปที่ 10 เทรนนิ่งแพทเทิร์นที่ทำการเทรนให้กับ U_{S2}

4.2 ชุดข้อมูลในการเรียนรู้ของเลเยอร์ U_{S2}

รูปที่ 10 เป็นเทรนนิ่งแพทเทิร์นของ U_{S2} ทั้ง 41 เพลน มีขนาด 9 x 9 โดยเลือกเอาเซลที่อยู่ตรงกลางเพลนเป็นเรพรีเซนเททีฟเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียวกับ U_{S1} และทำการวางเทรนนิ่งแพทเทิร์นที่กลางอินพุตเพลน แล้วผ่านกระบวนการจดจำรูปแบบในเลเยอร์ U_{S1} ด้วยการใช้ค่าน้ำหนักที่ได้จากการเรียนรู้ U_{S1} ก่อน จึงเข้าสู่การเทรนให้กับ U_{S2} มีเทรนนิ่งแพทเทิร์น 5 ชุดด้วยกัน โดยแต่ละเพลนจะถูกเทรนให้เรียนรู้ฟีเจอร์เท่ากับจำนวนของเทรนนิ่งแพทเทิร์น เพื่อเพิ่มความสามารถให้แยกแยะดีฟอร์มฟีเจอร์ได้ และมีการใช้ฟีเจอร์ร่วมกันตามเส้นด้านข้างที่ได้แสดงไว้



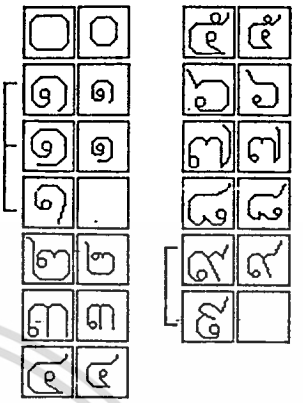
รูปที่ 11 เทรนนิ่งแพทเทิร์นที่ทำการเทรนให้กับ U_{S3}

.3 ชุดข้อมูลในการเรียนรู้ของเลเยอร์ U_{S3}

รูปที่ 11 เป็นเทรนนิ่งแพทเทิร์นของ U_{S3} ทั้งหมด 52 เพลน ขนาดเป็น 23 x 23 ในเลเยอร์นี้จะแยกแยะโกลบอลฟีเจอร์โดยการรวมลโลคอลฟีเจอร์ที่ได้แยกแยะไว้แล้วในเลเยอร์ U_{S2} หลังจากเรียนรู้แล้ว แต่ละเพลนใน U_{S3} จะรับข้อมูลมาจากหลายๆ เพลนที่แยกแยะฟีเจอร์ต่างๆกันในเลเยอร์ U_{S2} แต่ในเลเยอร์นี้ไม่ได้เลือกเอาจุดกลางเพลนเป็นซีลเซลของกลุ่มรีเซพทีฟเซล แต่จะเลือกเอาจุดในตำแหน่งที่เป็นจุดสำคัญของฟีเจอร์ดังที่ได้กากบาทไว้ในแต่ละเทรนนิ่งแพทเทิร์น

.4 ชุดข้อมูลในการเรียนรู้ของเลเยอร์ U_{S4}

รูปที่ 12 เป็นเทรนนิ่งแพทเทิร์นของ U_{S4} ทั้งเพลนเป็นโกลบอลฟีเจอร์ของเน็ตเวิร์คที่เลือกเอาตัวเลขไทยแต่ละตัวมาทำการเทรนให้ในเลเยอร์นี้จะเลือกเอาตำแหน่งกลางเพลนเป็นเรพรีเซนเททีฟในการเรียนรู้ เช่นเดียวกับใน U_{S1} และ U_{S2} บางตัวอักษรที่มีการเขียนต่างรูปแบบกันและยากต่อการแยกแยะได้ในเพลนเดียวจะสามารถใช้ S-cells 2 เพลน แล้วรวมเข้าด้วยกันเป็น C-cell เดียวได้



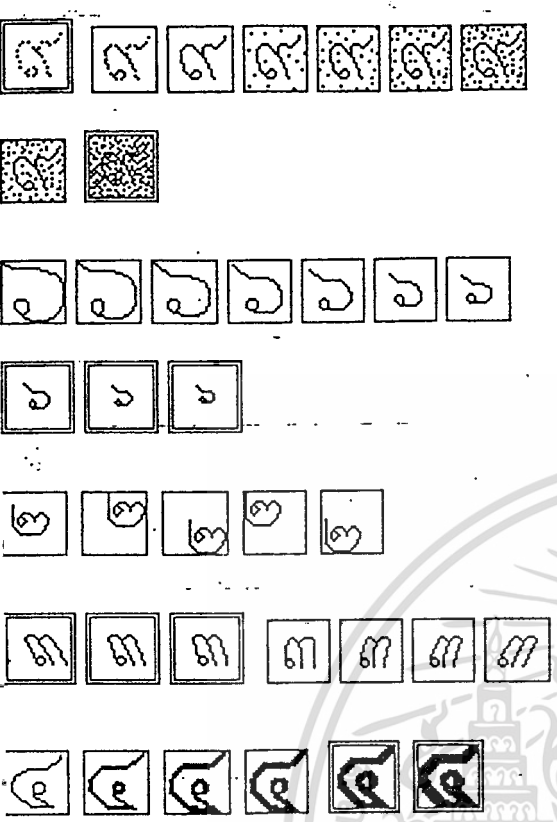
รูปที่ 12 เทรนนิ่งแพทเทิร์นที่ทำการเทรนให้กับ U_{S4}

5. ผลการทดลอง

ผลการทำงานของนีโอคอคนิครอน หลังจากผ่านการเรียนรู้แล้ว จะทำการจดจำตัวเลขไทยที่เป็นลายมือเขียน โดยรับอินพุตแพทเทิร์นมาจากการเขียนด้วยเม้าส์ แล้วแปลงข้อมูลที่ได้รับให้อยู่ในรูปของ 0,1 ส่งเข้าไปทดสอบในเน็ตเวิร์ค ตัวอักษรหนึ่งตัวจะผ่านการแยกแยะเพียงรอบเดียว แล้วแสดงผลออกมาใน U_{C4} ว่าเป็นตัวเลขอะไร โดยไม่ขึ้นกับตำแหน่ง, ขนาด สัญญาณรบกวนของตัวเลขในระดับหนึ่ง ดังรูป 13 เป็นผลลัพธ์ในการทดสอบในเรื่องสัญญาณรบกวนใน (ก) ทดสอบเรื่องการเปลี่ยนแปลงขนาดใน (ข) เรื่องตำแหน่งตัวอักษรใน (ค) เรื่องตัวเอียงใน (ง) และเรื่องตัวหนาใน (จ) ตัวอักษรในกรอบสี่เหลี่ยมเส้นเดี่ยวสามารถจดจำได้ถูกต้อง ส่วนในกรอบสี่เหลี่ยมเส้นคู่ผลการจดจำไม่ถูกต้อง

จากผลการทดลองพบว่านีโอคอคนิครอนจัดการในเรื่องของสัญญาณรบกวน ตำแหน่ง และขนาดของตัวอักษรได้ดีพอสมควร แต่ในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับฟีเจอร์เช่นการเอียงตัวอักษร หรือการเขียนผิดรูปนั้นขึ้นอยู่กับฟีเจอร์ที่ทำการสอนให้โครงข่ายอยู่มาก พิจารณาตัวอย่างในรูปที่ 13 (ง) เมื่อเลข ๓ เอียงไปทางด้านที่ทำให้มีมุมของหยักไปเหมือนกับฟีเจอร์หยักของเลข ๔ ทำให้ผลการจดจำผิดออกมาเป็นเลข ๔ แทนที่จะเป็น ๓ แต่ในการเอียงอีกด้านหนึ่งนั้นไม่มีผล เพราะไม่เหมือนกับฟีเจอร์ของเลขใดเลย จึงสามารถจดจำได้ถูกต้อง

ในเรื่องของการจดจำตัวอักษรที่มีขนาดแตกต่างกันนั้น จะมีปัญหากับตัวอักษรขนาดเล็กมากกว่าตัวอักษรขนาดใหญ่ เพราะในตัวอักษรขนาดเล็กนั้นการแยกฟีเจอร์ออกจากกันทำได้ยากกว่า เนื่องจากเมื่อผ่าน C-layer แล้วฟีเจอร์จะถูกทำเบลอร์ในการยอมให้ฟีเจอร์มีการเลื่อนตำแหน่ง ดังนั้นฟีเจอร์ที่อยู่ใกล้ๆกันในตัวอักษรขนาดเล็ก ก็จะถูกเบลอร์มาซ้อนทับกันทำให้ไม่สามารถแยกฟีเจอร์ในตัวอักษรนั้นได้ ส่วนตัวอักษรตัวใหญ่มักจะไม่พบปัญหาในการจดจำ สำหรับตัวอักษรตัวหนามากเกินไปนั้นจะทำให้ฟีเจอร์ที่เบลอร์ออกไปซ้อนทับเช่นเดียวกัน



รูปที่ 13 ผลการทดสอบเลขไทยแบบต่างๆ

ในการทดลองการจดจำลายมือเขียนตัวเลขไทยเบื้องต้นจำนวนทั้งหมด 1016 ตัว สามารถจดจำได้ถูกต้อง 855 ตัว คิดเป็นเปอร์เซนต์ความถูกต้องเท่ากับ 84.2 % และพบว่าการจดจำของนีโอคอกนิตรอนขึ้นอยู่กับชุดข้อมูลในการเรียนรู้หรือฟีเจอร์ที่ทำการสอนให้ ถ้าต้องการให้เปอร์เซนต์ความถูกต้องดีขึ้น ต้องทดลองและปรับฟีเจอร์ที่ใช้ให้ได้ชุดข้อมูลในการเรียนรู้ที่ดีกว่า รูปที่ 14 เป็นตัวอย่างอิมพุตแพทเทิร์นของตัวเลขไทยบางส่วนที่สามารถจดจำด้วยนีโอคอกนิตรอนได้ถูกต้อง

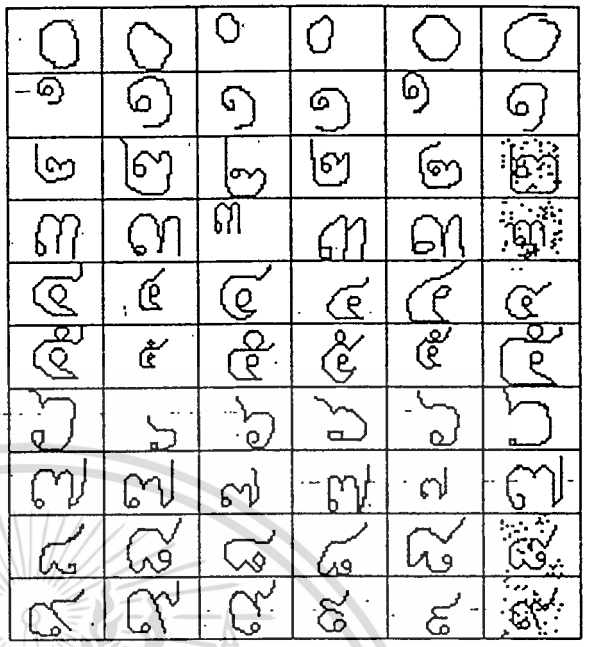
จากการทดลองพบว่านีโอคอกนิตรอนมีจุดเด่นที่น่าสนใจดังนี้

1. การจดจำรูปแบบจะไม่ขึ้นกับขนาด และตำแหน่งของรูปแบบทำให้เหมาะที่จะเป็นโมเดลในการจดจำลายมือเขียน

2. เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้จะใช้เวลาเร็ว เนื่องจากเป็น supervised-training

3. เนื่องจากแต่ละเพลนของ U_{SI} จะรับผิดชอบการแยกแยะฟีเจอร์เดียวกัน ด้วยการเลือกซีคเซลมารับการเทรนแล้วเซลอื่นๆ ในเพลนจะใช้ค่าน้ำหนักเดียวกันที่ได้นี้ในการเชื่อมต่อ ทำให้ลดเวลาการคำนวณในการหาค่าน้ำหนักให้ทุกเซลในเพลน

4. โมเดลมีคุณสมบัติของความเป็น generalization ทำให้ไม่ต้องเทรนฟีเจอร์ทั้งหมดที่สามารถจะมีได้ในตัวเลขไทยทุกๆ ฟีเจอร์ เพียงแต่ต้องเลือกฟีเจอร์ที่เหมาะสมขึ้นมาให้ครอบคลุมเท่านั้น



รูปที่ 14 ตัวอย่างของอินพุตแพทเทิร์นที่จดจำได้ถูกต้อง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] James A. Freeman and David, *Neural Networks Algorithms, Applications, and Programming Techniques*, Addison-Wesley, 1991.

[2] Robert Hecht-Nielsen, *Neurocomputing*, Addison-Wesley, 1990.

[3] Kunihiko Fukushima, Sei Miyake, and Takayuki Ito, "Neocognitron : A neural network model for a mechanism of Visual Pattern Recognition," *IEEE Transaction on System, Man, and Cybernetics*, vol. SMC-13, no. 5, pp. 826-834, 1983.

[4] Kunihiko Fukushima, "Neocognitron: A hierarchicai neural network capable of visual pattern recognition," *Neural Networks*, vol. 1, no. 2, pp. 119-10, 1988.

[5] Murali M. Menon and Karl G. Heinemann. "Classification of patterns using a self-organizing neural network," *Neural networks*, vol. 1, pp. 201-215, 1988.

[6] Kunihiko Fukushima, "Analysis of the process of pattern recognition by the neocognitron," *Neural Networks*, vol. 2, no. 6, pp. 413-420, 1989.

[7] Kunihiko Fukushima and Nobuaki Wake, "Handwritten alphanumeric character recognition by the Neocognitron," *IEEE Transaction on Neural Networks*, vol. 2, no. 3, pp. 355-365, 1991.

[8] Eun Jin Kim and Yillbyung Lee, "Handwritten Hangul Recognition Using a Modified Neocognitron," *Neural Networks*, vol. 4, pp. 743-750, 1991.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นางสาวจิตรลดา ผลนิมิตร
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2513
สถานที่เกิด	จังหวัดระยอง
การศึกษาระดับปริญญาตรี	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์และวิทยาการคอมพิวเตอร์) เกียรตินิยมอันดับสอง ภาควิชา คณิตศาสตร์ประยุกต์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะ วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2534
ผลงานวิชาการ	"การจดจำลายมือเขียนตัวเลขไทยด้วยนีโอคอคนิตรอน " การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้