ระบบการจดจำลายนิ้วมือ

FINGERPRINT RECOGNITION SYSTEM

โดย

นายปัญญา มินยง

นายธเนศ ศิริสันติสัมฤทธิ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

008478

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2534

ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

สาขาวิชา เทคโนโลยีการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง

ระบบการจดจำลายนิ้วมือ

FINGERPRINT RECOGNITION SYSTEM

ผู้จัดทำ

1. นาย ปัญญา มินยง 33.161110
2. นาย ธเนศ ศิริสันติสัมฤทธิ์ 33.161210

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ เกษตร ศิริสันติสัมฤทธิ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์

ระบบการจดจำลายนิ้วมือ

นักศึกษา

นาย ปัญญา มินยง

นาย ชเนศ ศิริสันติสัมฤทธิ์

ระดับการศึกษา

อุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต

เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา

พ.ศ. 2534

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาและการออกแบบจดจำลายนิ้วมือ เพื่อการตรวจสอบและพิสูจน์ลายนิ้วมืออัตโนมัติ ด้วยการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยลดเวลาในการค้นหาให้น้อยลง

เนื่องจากลายนิ้วมือมีลักษณะเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของแต่ละบุคคล จึงสามารถนำเอาคุณสมบัตินี้ไปใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ อาทิ เช่น งานอาชญากรรม งานธนาคาร เป็นต้น ภาพลายนิ้วมือขนาด 256 พิเซล * 256 เส้น ที่ถูกถ่ายด้วยกล้องถ่ายภาพ เป็นระดับสีเทา 256 ระดับ จะถูกนำมาเปลี่ยนเป็นไบนารีอิมเมจ จากนั้น จะทำการแบ่งไบนารีอิมเมจ ของลายนิ้วมือออกเป็น 16 ส่วน แต่ละส่วนมีขนาด 48*48 พิเซล ทำการหาข้อมูลทิศทางของลายโดยใช้รหัส 8 ทิศทางและลักษณะโดดเด่นของลายนิ้วมือไปพร้อม ๆ กัน ต่อจากนั้นทำการขยายลักษณะที่โดดเด่นโดยเปลี่ยนมาเป็นลายเส้น ซึ่งกระบวนการนี้ จะใช้หลักการของไวยกรณ์แบบที ข้อดีของการใช้ไวยกรณ์แบบนี้ คือสามารถตัดข้อมูลที่ไม่เป็นประโยชน์ออก เป็นผลทำให้มีหน่วยความจำในการบันทึกข้อมูลมีขนาดน้อยลง และที่สำคัญที่สุด คือ เวลาในการค้นหาและตรวจสอบน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title

FINGERPRINT RECOGNITION

Name

PANYA MINYONG

TANET SIRISANTISAMRID

Thesis Advisor

KASET SIRISANTISAMRID

Level of Study

B.Ind. Tech. (Industrial Instrumentation Technology)

Academic Year

1991

ABSTRACT

This research is studied and designed fingerprint recognition to check and verify automatic fingerprint with computer

The fingerprints are the identifical of persons. So we can take it to be use in criminal and banking i.e. Each fingerprint containing 256 pixels*256 line. That is taken with the 256 gray level by TV. camera and then it is changed to the binary image subsequenly, it is divided into 16 section. Each section have 48*48 pixels. Then search directional data of impressice method by 8 directional codes, shereas it fine feature of fingerprint, sequenly extend to line that this process used Tree grammar. Advatage of Tree grammar is delete unnecessary data. Effect to decrease memory. Importance is decrease check and search times.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 พื้นฐานการประมวลผลข้อมูลภาพ 3

2.1 การแทนภาพในระบบดิจิตอล 3

2.2 องค์ประกอบของระบบประมวลข้อมูลภาพแบบดิจิตอล 4

2.3 การเพิ่มความชัดเจนของภาพ 7

บทที่ 3 หลักการสร้างไวยกรณ์แบบที 28

3.1 หลักของไวยกรณ์แบบที 28

3.2 รูปแบบของไวยกรณ์แบบที 32

3.3 รูปแบบการเขียนไวยกรณ์แบบที 34

บทที่ 4 ระบบการจดจำลายนิ้วมือ 38

4.1 พื้นฐานเบื้องต้น 38

4.2 ขั้นตอนการจดจำลายนิ้วมือ 40

4.2.1 ขั้นตอนการพิมพ์ลายนิ้วมือ 41

4.2.2 การเพิ่มความชัดเจนของภาพ 41

4.2.3 การหาจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือ 42

4.2.4 การจัดการเบื้องต้น 44

4.2.5 การกำจัดขั้นสุดท้าย 49

4.2.6 การแปลงโค้ดตัวอักษร 57

4.2.7 การจำแนกลายนิ้วมือ 58

บทที่ 5 ผลการทดลอง และ สรุปงานวิจัย 67

ภาคผนวก กิตติกรรมประกาศ

หนังสืออ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในปัจจุบันจำนวนประชากรของประเทศ มีจำนวนเพิ่มขึ้นทุกปี ส่งผลให้เกิดปัญหาต่างๆ มากยิ่งขึ้น ซึ่งปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นมีผลกระทบต่อความมั่นคงของประเทศชาติ ปัญหาอย่างหนึ่ง คือ ปัญหาทางด้านอาชญากรรม ปัญหาดังกล่าวจะเกิดขึ้นตามจำนวนของประชากร แต่ความสามารถของเจ้าหน้าที่ตำรวจยังมีเท่าเดิม ฉะนั้นปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น จึงไม่สามารถคลี่คลายได้ทัน วิธีหนึ่งที่ใช้ในการคลี่คลายปัญหาของเจ้าหน้าที่ตำรวจ จะให้การตรวจสอบลายนิ้วมือของผู้ต้องสงสัย นำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลลายนิ้วมือที่ทางเจ้าหน้าที่เก็บรวบรวมอยู่ และยังมีขีดความสามารถที่จำกัดในการใช้บุคคลทำการตรวจสอบลายนิ้วมือ ทั้งทางด้านเวลา และความถูกต้องในการตรวจสอบ ฉะนั้นจึงนำมาเพื่อการพัฒนาประยุกต์ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยการสร้างโปรแกรมในการจดจำลายนิ้วมือ เพื่อที่จะเก็บข้อมูลลายนิ้วมือ ในลักษณะที่โดดเด่นของแต่ละลาย ซึ่งโปรแกรมการจดจำลายนิ้วมือนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอน โดยขั้นตอนต่าง ๆ จะเป็นการพิมพ์ภาพลายนิ้วมือ ขั้นตอนนี้จะนำลายนิ้วมือที่พิมพ์แล้วไปทำการขยาย และนำภาพลายนิ้วที่ขยายแล้วมาเก็บภาพด้วยกล้องวีดีโอ การเพิ่มความชัดเจนของภาพ ภาพที่ได้จากกล้องวีดีโอจะมีระดับสีเทา 256 ระดับ นำมาทำให้เหลือเพียงสองระดับ การหาจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือ เป็นการนำลายนิ้วมือมาหาจุดศูนย์กลางเพื่อที่จะใช้ในการตัด windows การจัดการเบื้องต้น ขั้นตอนนี้จะเปลี่ยนภาพ binary image ที่ได้มาเป็นโคด 8 ทิศทาง การกำจัดขั้นสุดท้าย ซึ่งจะนำเอาโคด 8 ทิศทางมาทำการลดอีกครั้งในกรณีที่มีการเลอะของหมึก พิมพ์ไม่ติด และอื่น ๆ การแปลงโคด เป็นการแปลงโคด 8 ทิศทางที่ผ่านขั้นตอนการกำจัดขั้นสุดท้ายเรียบร้อยแล้ว มาทำการเปลี่ยนให้เป็นโคดตัวอักษร และการจำแนกลายนิ้วมือ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญ คือจะตรวจสอบว่าลายนิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบนั้นเป็นของใคร ขั้นตอนเหล่านี้จะช่วยในการลดข้อมูลของลายนิ้วมือให้เหลือข้อมูลน้อยที่สุด และข้อมูลที่ได้นี้จะเป็นข้อมูลที่มีลักษณะโดดเด่นด้วย ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ จะกล่าวในบทที่ 4 ต่อไป โปรแกรมในการจดจำลายนิ้วมือนี้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการตรวจสอบลายนิ้วมือ อาทิเช่น งานทะเบียนประชาชน งานทางด้านธนาคาร เป็นต้น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งสำคัญของโปรแกรมการจดจำลายนิ้วมือ นี้คือ การพิสูจน์ลายนิ้วมือว่าลายนิ้วมือทั้งสองเป็นของคน ๆ เดียวกันหรือไม่ หรือเป็นลายนิ้วมือของใคร ซึ่งจะเห็นว่า การใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการตรวจสอบ และจดจำลายนิ้วมือ จะใช้เวลาในการตรวจสอบน้อยลง มีความถูกต้องมากขึ้น มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบสูงขึ้น ซึ่งเป็นข้อดีของการทำงานวิจัยชิ้นนี้

ส่วนเนื้อหาต่าง ๆ ที่ได้กล่าวถึงในบริญญานิพนธ์นี้ บทที่ 2 จะกล่าวถึงพื้นฐานการประมวลภาพ การแทนภาพในระบบดิจิตอล องค์ประกอบของระบบประมวลข้อมูลภาพแบบดิจิตอล และการเพิ่มความชัดเจนของภาพ และในบทที่ 3 จะกล่าวถึง หลักการสร้างไวยากรณ์แบบที รูปแบบของไวยากรณ์แบบที และรูปแบบการเขียนไวยกรณ์แบบที ซึ่งเนื้อหาต่าง ๆ จะได้อธิบายอย่างละเอียดในแต่ละบท ตามลำดับ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

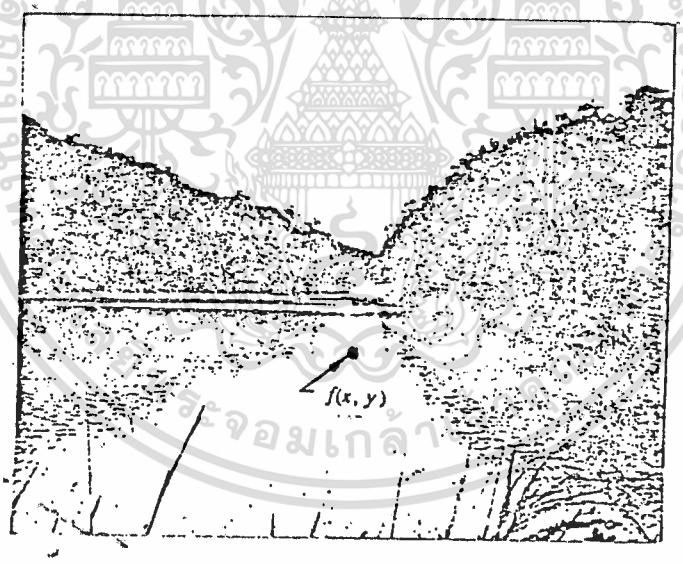
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
พื้นฐานการประมวลข้อมูลภาพ
(Introduction Image Processing)

ในบทนี้จะกล่าวถึง องค์ประกอบพื้นฐานในการประมวลภาพข้อมูล และการเพิ่มความชัดเจนของภาพ ซึ่งจะพูดถึง รูปแบบของอิมเมจ การฟิลเตอร์ การตัดระดับเทรสโฮลด์ และวิธีฮีสโตรแกรม ซึ่งล้วนแต่เป็นพื้นฐานของ Image processing

2.1 การแทนภาพในระบบดิจิตอล (Digital Image Representation)

ในระบบภาพโดยทั่วไป สามารถแทนด้วยฟังก์ชั่นของความเข้มแสงในระนาบสอง มิติ :f(x,y) โดยที่ x และ y แทนตำแหน่งคู่ลำดับที่เกิดขึ้นในภาพจริง และค่าฟังก์ชั่น f ณ จุด (x,y) ใด ๆ จะเป็นสัดส่วนโดยตรง กับความสว่างหรือระดับสีเทา (gray level) ของภาพที่จุดนั้น ๆ แสดงได้ดังรูป 2.1



รูปที่ 2.1 ค่าของฟังก์ชั่น f(x,y) ในระบบภาพดิจิตอล

สำหรับข้อมูลภาพแบบดิจิตอล f(x,y) มีลักษณะที่ไม่ต่อเนื่องทั้งในระนาบสเปเชียล (spatial) ดังนั้นจึงพิจารณาให้ข้อมูลภาพแบบดิจิตอล แทนอยู่ในรูปของเมตริกซ์ ซึ่งเมตริกซ์จะมีแถวและหลักที่มีลักษณะเป็นเอกลักษณ์ และมีความสัมพันธ์กับค่าสมาชิกในแถว และหลัก ที่แทนด้วยระดับสีเทาของภาพที่จุดนั้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงแม้ว่าขนาดของข้อมูลภาพแบบดิจิตอล จะแปรเปลี่ยนไปตามการประยุกต์ใช้งาน แต่จะมีข้อดีที่ได้เปรียบ ถ้ากำหนดให้มีลักษณะเฉพาะเป็นอะเรย์แบบสมมาตร (square array) และจำนวนของระดับสีเทาเป็นเลขจำนวนเต็มกำลังสอง เช่นภาพที่ได้จาก โทรทัศน์โมโนโครม มีขนาด 512*512 พิเซล และมีจำนวน 128 ระดับสีเทา เป็นต้น

2.2 องค์ประกอบของระบบประมวลข้อมูลภาพดิจิตอล (Elements of A Digital Image Processing System)

องค์ประกอบพื้นฐานที่จำเป็นโดยทั่วไปในระบบการประมวลข้อมูลภาพประกอบด้วย 5 ส่วน ใหญ่ ๆ คือ

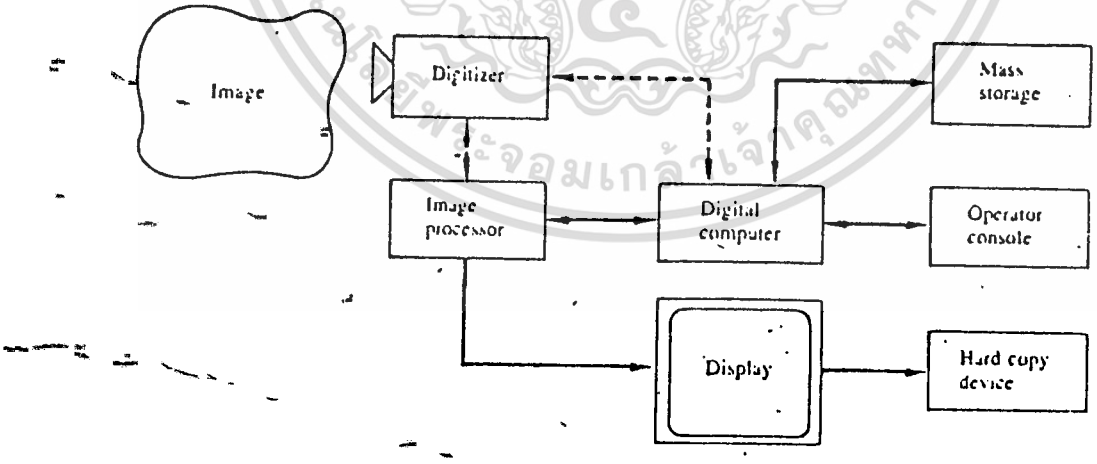
2.2.1 ส่วนเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Digitizer)

2.2.2 เครื่องประมวลผลข้อมูลภาพ (Image Processor)

2.2.3 เครื่องคอมพิวเตอร์แบบดิจิตอล (Digital computer)

2.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการแสดงผล และบันทึกผล (Display and Recording Devices)

2.2.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บรักษาข้อมูล (storage Devices)



รูปที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบของระบบการประมวลผลแบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ส่วนเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล (Digitizer)

ส่วนของดิจิไตเซอร์ ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณภาพให้อยู่ในรูปของตัวเลข เพื่อใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้าดิจิตอลคอมพิวเตอร์ ส่วนนี้ได้แก่ กล้องโทรทัศน์ดิจิไตเซอร์ ภายในประกอบด้วยหลอดวิดิคอน ทำหน้าที่ เป็นสื่อนำไฟฟ้าทางแสง ภาพจะถูกโฟกัสลงบนผิวของหลอด ซึ่งถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งจากการควอนไทซิ่งสัญญาณนี้จะได้ภาพดิจิตอลเกิดขึ้น

2.2.2 เครื่องประมวลข้อมูลภาพ (Image Processor)

เครื่องประมวลข้อมูลภาพ แบบดิจิตอล เป็นหัวใจของระบบการประมวลข้อมูลภาพ เครื่องประมวลข้อมูลภาพ ประกอบด้วยชุด ฮาร์ดแวร์ที่มี 4 ฟังก์ชั่นพื้นฐาน คือ การหยุดภาพนิ่ง (image acquisition) การเก็บข้อมูลภาพ (storage) การประมวลภาพในระดับต่ำ (แต่รวดเร็ว) (Low-Level (fast) processing) และการแสดงผล (display) โดยทั่วไปโมดูลของการหยุดภาพนิ่ง จะมีสัญญาณ โทรทัศน์เป็นหน่วยอินพุท และทำการเปลี่ยนสัญญาณนี้ให้เป็นข้อมูลแบบดิจิตอล เครื่องประมวลข้อมูลภาพ สมัยใหม่ ส่วนมากจะใช้การดิจิไตซ์ภาพโทรทัศน์ ในเวลา 1 เฟรม (one frame-time) เช่น ในเวลา 1/30 วินาที จึงมักเรียกว่า เครื่องจับภาพนิ่ง (frame grabber)

โมดูลของการเก็บภาพแบบที เรียกว่า เฟรมบัฟเฟอร์ (frame buffer) จะทำหน้าที่เก็บรักษาหน่วยความจำ ของภาพแบบดิจิตอล โดยทั่วไปจะมีเครื่องมือ 2-3 ชุด ที่รวมเข้าไว้ในเครื่องประมวลข้อมูลภาพ คุณสมบัติการหยุดภาพของโมดูลการเก็บภาพประกอบด้วยหน่วยความจำที่สามารถอ่านข้อมูลจากอัตราของโทรทัศน์ปกติ มีอัตรา 30 ภาพ ต่อวินาที ลักษณะนี้เป็นไปตามการทำงานของโมดูลการหยุดภาพนิ่ง ที่ประกอบไปด้วยภาพที่สมบูรณ์ในการเก็บภาพที่เร็วเท่าที่ภาพถูกจับให้นิ่ง หน่วยความจำสามารถเปลี่ยนให้เป็นแอดเดรสของโทรทัศน์ได้โดยชุดแสดงผลของภาพที่จอมอนิเตอร์

เครื่องประมวลข้อมูลภาพ ยังมีหน้าที่ในฟังก์ชั่นระดับต่ำอีกด้วย (Low-level function) เช่น การประมวลผลทางคณิตศาสตร์ และทางตรรกศาสตร์ หรือที่เรียกว่า หน่วยตรรกเลขคณิต (Arithmetic-Logic Unit: ALU) โดยถูกออกแบบพิเศษเพื่อที่จะเพิ่มความเร็วในการประมวลผลแบบขนาน ส่วนโมดูลแสดงผล (display module) ทำหน้าที่อ่านหน่วยความจำของภาพ แล้วทำการเปลี่ยนข้อมูลของภาพที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบดิจิตอลให้เป็นสัญญาณวีดีโอ แบบอนาล็อก และแสดงผลสัญญาณที่แปลงได้นั้น ให้ออกทางมอนิเตอร์โทรทัศน์ หรืออุปกรณ์วีดีโอ ชนิดอื่น

2.2.3 เครื่องคอมพิวเตอร์แบบดิจิตอล (Digital Computer)

ถึงแม้ว่า เครื่องประมวลข้อมูลภาพ อาจเปรียบได้กับความสามารถในการประมวลผลภายใน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.2.2 แต่ว่าระดับของการประมวลผลยังอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ในด้านความทันสมัย ซึ่งโดยทั่วไปพบว่า เครื่องประมวลข้อมูลภาพนี้ จะถูกต่อเชื่อม (interface) กับเครื่องคอมพิวเตอร์ ระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการประมวลข้อมูลภาพมีตั้งแต่ อุปกรณ์จำพวก ไมโครโปรเซสเซอร์ จนถึงระบบคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ ที่มีความสามารถในการประมวลผลข้อมูลภาพ ซึ่งจะต้องมีอะเรย์ใหญ่ ๆ ด้วย ส่วนพารามิเตอร์ที่สำคัญ ที่มีอิทธิพลต่อโครงสร้างของเครื่องคอมพิวเตอร์ ที่ใช้สำหรับการประมวลข้อมูลภาพ คือ การเพิ่มการประยุกต์ใช้งาน และความต้องการของขนาดข้อมูลในการประมวลผล สำหรับการประยุกต์ใช้ที่พบโดยทั่วไป จะเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล หรือ มินิคอมพิวเตอร์ แต่ถ้าต้องการใช้เกี่ยวข้องกับโปรแกรมขนาดใหญ่ ที่มีข้อมูลมาก ก็สามารถใช้คอมพิเตอร์ระดับเมนเฟรมได้ ในกรณีนี้ เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยความจำของแอสเดรสจำนวนมาก และมีความเร็วสูงก็จะเป็นข้อได้เปรียบ

2.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการแสดงผลและบันทึกผล (Display and Recording Devices)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการแสดงผลที่สำคัญ และนิยมใช้กันมากในระบบการประมวลข้อมูลภาพ ได้แก่ จอโมโนโครม หรือ จอโทรทัศน์สี มอนิเตอร์จะถูกขับโดยเอาท์พุทของชุดแสดงผล ภาพในเครื่องประมวลข้อมูลภาพ สัญญาณที่ได้รับนี้ สามารถเข้าสู่ระบบการบันทึกภาพที่อาจใช้ ฮาร์ดก๊อปปี้ได้ (hard copy) เช่น สไลด์สี รูปภาพ และแผ่นใส หรือ ในขณะที่กำลังดูภาพจากมอนิเตอร์ก็ได้ ส่วนสื่อที่ใช้ในการแสดงผล และบันทึกผลที่พบกันทั่วไปคือ จอภาพแบบหลอดภาพรังสีคาโธด ตำแหน่งของภาพทั้งในแนวนอน (horizontal) และแนวตั้ง (vertical) ของแต่ละสมาชิก ในอะเรย์ของภาพจะถูกเปลี่ยนให้เป็นโวลเตจ ซึ่งถูกยิงจากลำแสงอิเลคตรอนของหลอดภาพรังสีคาโธด โดยการขับลำแสงใน 2 มิติ ที่จำเป็นต่อการผลิตภาพเอาท์พุทในแต่ละจุดจะมีการยิงลำแสงอิเลคตรอน ความเข้มของลำแสงจะถูกเปลี่ยนโดยการใช้โวลเตจ ที่เป็นสัดส่วนโดยตรงต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของจุด ที่มีความสัมพันธ์กับในอะเรย์เชิงเลข (numerical array) โดยการเปลี่ยนความเข้มน้อยสุดให้เป็นสีดำ และความเข้มที่มากที่สุดให้เป็นสีขาว ผลการเปลี่ยนความเข้มของแสง ถูกบันทึกด้วยกล้องถ่ายภาพแบบกราฟิก (photographic camera) ที่โฟกัสของจอภาพแบบหลอดภาพรังสีคาโธด

ส่วนอุปกรณ์แสดงผลภาพพิมพ์ที่ใช้ในขั้นต้น จะมีความละเอียดต่ำ ซึ่งสามารถแสดงระดับสีเทาได้ด้วยการพิมพ์จำนวนและความเข้มของอักขระที่พิมพ์ในตำแหน่งนั้น ๆ ในการเลือกอักขระที่เหมาะสมกับการกระจายในแบบระดับสีเทาที่ดี ก็จะทำให้เครื่องพิมพ์สามารถแสดงภาพระดับสีเทาได้

2.2.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บรักษาข้อมูล (Storage Devices)

ข้อมูลภาพดิจิตอลที่มีขนาด 512 * 512 พิเซล แต่ละควอนไตซ์มีข้อมูลขนาด 8 บิท โดยมีสื่อที่ใช้ในการเก็บรักษาข้อมูลที่สำคัญ คือ แผ่นจานแม่เหล็ก (magnetic disks) เทปแม่เหล็ก (magnetic types) และ แผ่นจานนำแสง (optical disks) แต่สื่อที่นิยมใช้ในการเก็บข้อมูลในระดับทั่วไป และที่ใช้ในการวิจัยนี้ คือ แผ่นจานแม่เหล็กนั่นเอง

2.3 การเพิ่มความชัดเจนของภาพ (Image Enhancement)

จุดประสงค์ของเทคนิคการเพิ่มความชัดเจนของภาพ คือ ต้องทำภาพให้มีผลลัพธ์ที่เหมาะสมเฉพาะงานที่จะนำไปประยุกต์ใช้ มากกว่าภาพต้นแบบเดิม ซึ่งมีความสำคัญมาก เพราะว่าการใช้เทคนิคใดเทคนิคหนึ่งนั้น จะมีความเหมาะสมเฉพาะกับงาน ๆ หนึ่งเท่านั้น ไม่สามารถนำเทคนิคเดียวกันนี้มาใช้ร่วมกันได้หมด ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรูปแบบของ อิมเมจ วิธีการฟิลเตอร์ การตัดค่าเทรสโฮลด์ และวิธีการเลือกค่าฮีสโตรแกรม เป็นต้น

2.3.1 โมเดลข้อมูลภาพ (an Image Model)

ในที่นี้คำว่าข้อมูลภาพ หมายถึง ฟังก์ชั่นของความเข้มแสง 2 มิติ โดยมีรูปแบบ f(x,y) ซึ่งขนาด หรือ แอมปิลจูด (amplitute) ของฟังก์ชั่น ที่พิกัดเสปเชี่ยล (spatial coordinates) ที่จุด (x,y) จะแสดงค่าความสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(brightness) ของข้อมูลภาพที่จุดนั้นๆ เมื่อแสงเป็นรูปแบบพลังงานแบบหนึ่ง ดังนั้น f(x,y) จึงต้องมีขนาดไม่เท่ากับศูนย์ และจะต้องมีขนาดไม่เท่ากับอนันต์ (finite) ดังนั้น จะได้ว่า

$$0 < f(x,y) < \alpha \qquad \text{--------(2.1)}$$

พื้นฐานโดยทางธรรมชาติของ f(x,y) อาจจะได้รับการพิจารณาเกี่ยวกับคุณสมบัติ สอง ประการ ดังต่อไปนี้ คือ **ประการแรก** จะพิจารณาเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดแสงทั้งหมดที่เกิดขึ้นเองบนฉาก **ประการที่สอง** จะพิจารณาเกี่ยวกับแสงสะท้อนทั้งหมด ที่เกิดขึ้นจากการสะท้อนของวัตถุในฉากเอง คุณสมบัติทั้งสองประการนี้ จะถูกเรียกว่า การส่องสว่าง (illumination) และการสะท้อน (reflectance) ซึ่งมีรูปแบบฟังก์ชั่น ดังนี้คือ i(x,y) และ r(x,y) ตามลำดับ ทั้งสองฟังก์ชั่นนี้รวมกันจะกลายเป็นรูปแบบของ f(x,y)

จะได้ว่า

$$f(x,y) = i(x,y).r(x,y) \qquad \text{--------(2.2)}$$

เมื่อ

$$0 < i(x,y) < \alpha \qquad \text{--------(2.3)}$$

และ

$$0 < r(x,y) < \alpha \qquad \text{--------(2.4)}$$

จากสมการที่ (2.4) ชี้ให้เห็นถึงข้อเท็จจริงว่า ขอบล่างที่มีค่าเป็น "ศูนย์" คือ การดูดกลืนแสงทั้งหมด (total absorption) และขอบบนที่มีค่าเป็น "หนึ่ง" คือ การสะท้อนของแสงทั้งหมด (total retlectance) ที่เกิดขึ้น ดังนั้น ธรรมชาติของฟังก์ชัน f(x,y) จะถูกกำหนดโดยแหล่งกำเนิดของแสง ขณะที่ฟังก์ชั่น r(x,y) จะถูกกำหนดโดยคุณสมบัติของ ตัววัตถุในฉากนั้นเอง ที่ความเข้มของฟังก์ชั่น ข้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มูลภาพสีเดียว (monochrome image) ที่จุด (x,y) ก็จะถูกเรียกว่า ระดับสีเทา(gray level) หรือ (I) ของอิมเมจ ที่จุดๆ นั้นจากสมการที่ (2.2) ถึง (2.4) จะเป็นตัวบอกว่า (I) ควรจะอยู่ในช่วงใด

จะได้ว่า

$$L_{min} < I < L_{max} \qquad \text{--------(2.5)}$$

ตามทฤษฎีจะได้ว่า L_{min} จะมีค่าเป็นบวก และ L_{max} จะมีค่าเป็นอนันต์ (finite) แต่ในทางปฏิบัติแล้ว $L_{min} = i_{min} * r_{min}$ และ $L_{max} = i_{max} * r_{max}$ และค่าของ L_{min} และ L_{max} ที่คาดหวังไว้ในการประยุกต์ใช้งานในขบวนการข้อมูลภาพ ในที่ร่มจะได้ค่าของ L_{min} มีค่าประมาณเท่ากับ 0.005 และค่าของ L_{max} มีค่าประมาณเท่ากับ 100 ค่าต่าง ๆ ที่อยู่ในช่วงของ L_{min} และ L_{max} ถูกเรียกว่า ช่วงสีเทา (gray scale) ในทางปฏิบัติแล้ว ถ้า I=0 จะได้รับการพิจารณาเป็น "มืด" (black) และเมื่อ I=L จะได้รับการพิจารณาเป็น "สว่าง" (white) ในฉากนั้น ๆ

2.3.2 ฟิลเตอร์ (Filter)

ฟิลเตอร์เป็นตัวกรองสัญญาณภาพเบื้องต้น ให้ได้ภาพที่มีความคมชัดมากยิ่งขึ้น เพื่อที่จะนำภาพไปประยุกต์ใช้ได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งมีมากหลายชนิด แต่ในที่จะกล่าวเฉพาะที่นิยมใช้กันมากเท่านั้น

- การเฉลี่ยค่ารอบย่าน (Neighborhood Average)

การเฉลี่ยค่ารอบย่านเป็นเทคนิคที่ใช้กันในเสปเชียลโดเมนโดยตรงสำหรับการทำภาพให้ชัดเจนยิ่งขึ้น ให้ภาพอินพุท f(x,y) มีขนาด n*n และ g(x,y) เป็นผลของภาพที่ได้จากการปฏิบัติของระดับสีเทาทุก ๆ จุด (x,y) ได้จากการเฉลี่ยค่าระดับสีเทาของพิเซลในภาพ f(x,y) ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$g(x,y) = \frac{1}{M} \sum_{(n,m)} f(n,m) \qquad \text{----------(2,6)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

008478

สำหรับ x,y = 0,1, ... , N-1 และ M คือ ผลรวมของจำนวนจุดในย่านนั้น ๆ

- ฟิลเตอร์แบบมัธยฐาน (Median Filter)

สิ่งสำคัญประการหนึ่งจากการเฉลี่ยค่ารอบย่าน คือ การเกิดความเบลอร์ที่ขอบของภาพ และมีรายละเอียดสัญญาณรบกวนที่ชัดเจน อาจแก้ไขได้โดยการใช้เทรสโฮลด์ (threshold) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่าเทรสโฮลด์จะได้จากการลองผิดลองถูก แต่ถ้าใช้ฟิลเตอร์แบบมัธยฐาน แทนระดับสีเทาของแต่ละพิเซล โดยการใช้ค่าเฉลี่ยมัธยฐานของระดับสีเทา ในรอบย่านนั้น ๆ ของพิเซล จะทำให้ภาพที่ได้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

การหาค่ามัธยฐาน (M) คือ เซ็ตที่มีค่าในเซ็ตครึ่งหนึ่งมากกว่า M และอีกครึ่งหนึ่งน้อยกว่า M การหาค่ามัธยฐาน สามารถหาได้โดยทำการเรียงข้อมูลจากน้อยไปหามาก แล้วนำค่าที่อยู่ตรงกลางนั้น มาใช้แทนค่า M

ตัวอย่าง

สมมติว่า มีย่านขนาด 3*3 มีข้อมูล

(10, 20, 20, 20, 15, 20, 20, 25, 100)

สามารถเรียงข้อมูลใหม่ได้เป็น

(10, 15, 20, 20, 20, 20, 20, 25, 100)

ดังนั้น ค่าที่อยู่ตรงกลางเป็นค่ามัธยฐานมีค่าเท่ากับ 20 นั่นเอง ความคิดที่มีอิทธิพลต่อฟังก์ชั่นของฟิลเตอร์แบบมัธยฐาน คือ จะทำให้จุดที่มีความเข้มที่แตกต่างมากกว่าย่านรอบ ๆ ของมัน

- ฟิลเตอร์แบบความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass filter)

สัญญาณรบกวนในระดับสีเทาของภาพมักจะมีส่วน ของสัญญาณความถี่สูง ของการแปลงฟูเรียร์อย่างมาก ซึ่งจะทำให้เกิดการเบลอร์ของภาพ ดังนั้นจึงต้องหาวิธีการกำจัดเฉพาะช่วงความถี่สูงที่ไม่ต้องการออกไป จากทฤษฎีการทำคอนโวลูชั่นจะได้ว่า

$$G(u,v) = H(u,v)F(u,v) \quad \text{--------(2.7)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ F(u,v) คือ การแปลงฟูเรียร์ของภาพที่ต้องการให้เรียบ ปัญหาก็คือ การเลือก ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชั่น H(u,v) ที่ให้ได้ผลลัพธ์ G(u,v) โดยที่สามารถกำหนดจุดช่วงที่ความถี่สูงของ F(u,v) ออกไปได้ การแปลงอินเวอร์สลาปาส (Inverse Laplace) ของ G(u,v)

$$g(x,y) = L^{-1}[H(u,v)F(u,v)] \text{ -------(2.8)}$$

จะได้ว่า g(x,y) เรียบขึ้น เพราะว่า ส่วนประกอบความถี่สูงไม่สามารถผ่านออกไปได้ แต่ช่วงความถี่ต่ำจะสามารถผ่านไปได้ โดยปราศจากการลดทอนของสัญญาณซึ่งวิธีนี้เรียกว่า ฟิลเตอร์แบบความถี่ต่ำผ่าน ฟังก์ชั่น H(u,v) ถูกเรียกว่า ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชั่นของฟิลเตอร์ (Filter Transfer Function) ซึ่งในการคำนวณจะพิจารณาเฉพาะ H(u,v) เท่านั้น ฟิลเตอร์แบบความถี่ต่ำผ่านนี้ มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน โดยที่แต่ละฟิลเตอร์ จะทำหน้าที่กรองความถี่สูงออกไป ให้เหลือเฉพาะความถี่ต่ำเท่านั้น

เช่น

- ฟิลเตอร์ แบบอุดมคติ (Ideal Filter) จะมี

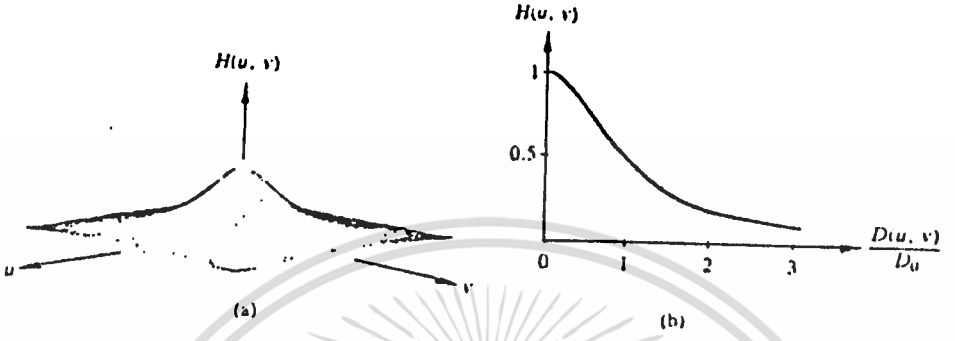
$$H(u,v) = 1 \text{ ถ้า } D(u,v) <= D_o$$
$$H(u,v) = 0 \text{ ถ้า } D(u,v) > D_o \text{ -------(2.9)}$$

เมื่อ D_o คือ ค่าจำเพาะที่ไม่เป็น 0 และ

D(u,v) คือ ระยะทางจาก (u,v) ถึงจุดกำเนิดในระนาบความถี่นั้นคือ

$$D(u,v) = (u^2 + v^2)^{0.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



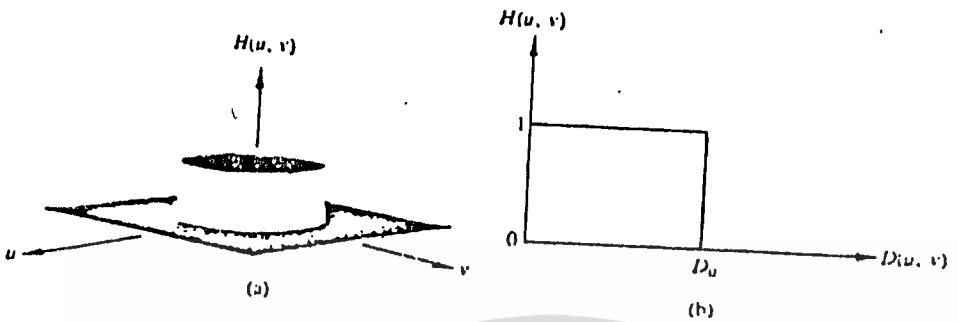
รูปที่ 2.3 การตัดของฟิลเตอร์แบบบัตเตอร์เวิร์ท

- ฟิลเตอร์แบบบัตเตอร์เวิทซ์ (Butterworth Filter)

ฟังก์ชั่นการแปลงของบัตเตอร์เวิทซ์ฟิลเตอร์ ของลำดับที่ n, และมีความถี่ตัดออก (out-off Frequency locus) ที่ระยะทาง D_0 จากจุดกำเนิด กำหนดโดยความสัมพันธ์

$$H(u,v) = \frac{1}{\{1+[d(u,v)/D_\delta]^{2n}\}} \qquad \text{------(2.10)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) (b)

รูปที่ 2.4 (a) แสดงภาพฟิลเตอร์แบบความถี่ต่ำผ่าน
(b) การตัดของฟิลเตอร์ทางอุดมคติ

ความแตกต่างระหว่างฟิลเตอร์แบบความถี่ต่ำผ่านในอุดมคติ และฟิลเตอร์แบบความถี่ต่ำผ่าน แบบบัตเตอร์เวิทซ์ คือไม่มีความต่อเนื่องที่ชัดเจนว่า ตำแหน่งที่กำจัดความถี่ตัดออก ระหว่างความถี่ที่ยอมให้ผ่านกับความถี่ที่กรอง โดยทั่วไปมักกำหนดความถี่ตัดออกที่จุด H(u,v) ซึ่งค่าที่ได้ลดลงจากค่าที่มากที่สุด ในสมการ(2.10) จะพบว่า $H(u,v) = 0.5$ (ลดลง 50 % จากค่าที่มากที่สุด) เมื่อ $D(u,v) = D_o$ แต่ค่าอื่น ๆ โดยทั่วไปนิยมใช้ที่ $1/\sqrt{2}$ ของค่าที่มากที่สุด ของ H(u,v) ดังสมการ (2.10) จะได้ค่าที่ต้องการเมื่อ $D(u,v) = D_o$ คือ

$$H(u,v) = 1/\{1+[\sqrt{2}-1][D(u,v)/D_o]^{2n}\}$$

$$= 1/\{1+0.414[D(u,v)/D_o]^{2n}\}$$

2.3.3 การตัดระดับเทรสโฮลด์ (Thresholding)

เทรสโฮลด์ เป็นวิธีหนึ่งที่มีความสำคัญในการลดทอนจุดที่เราไม่สนใจออกจากภาพ เพื่อที่จะทำให้มีความชัดเจนมากขึ้น ในส่วนนี้จะกล่าวถึง เทคนิคสำหรับ

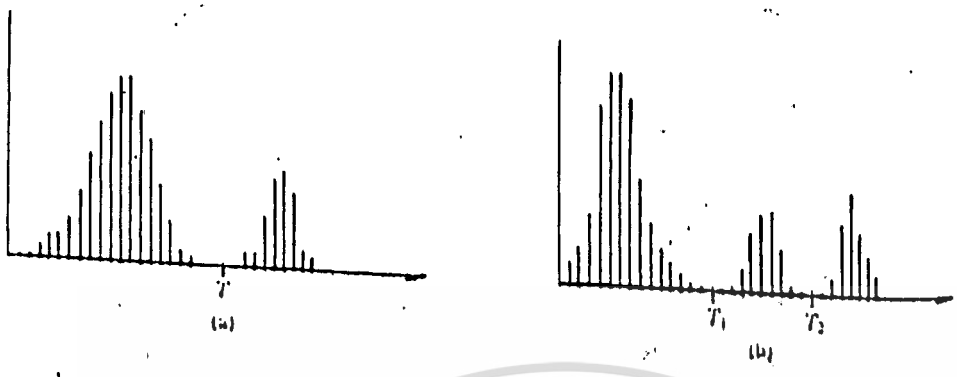
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตัดระดับเทรสโฮลด์ ซึ่งจะสร้างส่วนของภาพที่เป็นจุดขาว หรือ ดำ จุดที่เราสนใจ อาจจะเป็นจุดขาว หรือดำก็ได้ โดยการกระทำดังกล่าวจะทำอยู่ในรูปของ binary Inage ซึ่งมีค่าของ gray values อยู่ 2 ค่า คือ "0" กับ "1"

1 **พื้นฐาน**

เนื่องจากภาพฮีสโตรแกรม ระดับสีเทาที่แสดงดังรูป 2.5(a) ตำแหน่งของภาพ r(x,y) ซึ่งประกอบด้วยความสว่างของวัตถุที่ถูกมอง บนความมืดของฉาก ดังนั้น พิเซลของวัตถุที่ถูกมอง และพิเซลของพื้นวัตถุที่อยู่ในกลุ่มของระดับสีเทา จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ระดับ โดยการแยกวัตถุที่มองออกจากพื้นของวัตถุ ด้วยการเลือกตัดระดับเทรสโฮลด์ (T) ที่จุดใด ๆ ของ (x,y) ซึ่งถ้า f(x,y) > T เรียกว่า "**จุดของวัตถุ**" นอกนั้นเรียกว่า "**จุดพื้นของวัตถุ**" รูป 2.5(b) ในกรณีนี้ ฮีสโตรแกรมของภาพจะถูกแบ่งออกเป็น3 ช่วง โดยเราสามารถใช้พื้นฐานการจำแนกที่จุด (x,y) ซึ่งจะเป็นส่วนที่จัดอยู่ในประเภทของ "วัตถุที่ถูกมอง (object)" ถ้า T_1 < f(x,y) <=T_2 และจะเป็นพื้นของวัตถุถ้า f(x,y) <= T_1 ลักษณะแบบนี้ เป็นการตัดระดับเทรสโฮลด์หลายระดับ ซึ่งจะทำให้เกิดความเชื่อมั่นน้อยกว่าแบบการตัดระดับเทรสโฮลด์ระดับเดียว (single thres hold) เพราะว่ามันเป็นการยากในการสร้างระดับเทรสโฮลด์หลายระดับ ที่จะให้ได้ผลในการแยกขอบเขตของสิ่งที่น่าสนใจ ออกจากพื้นวัตถุ โดยเฉพาะตัวเลขของฮีสโตรแกรมที่มีลักษณะกว้าง ตัวอย่างนี้ จะใช้การตัดระดับเทรสโฮลด์ด้วยวิธี single thress hold (ตัดค่าเทรสโฮลด์ระดับเดียว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงฮีสโตรแกรมระดับสีเทา
(a) การตัดระดับเทรสโฮลด์ระดับเดียว (b) การตัดระดับเทรสโฮลด์หลายระดับ

จากพื้นฐานที่กล่าวมาแล้ว ฟังก์ชั่นของการตัดระดับเทรสโฮลด์ (T) จะอยู่ในสมการ

$$T = T[x,y,P(x,y),f(x,y)] \quad \text{-------(2.11)}$$

เมื่อ f(x,y) คือระดับสีเทาของจุด (x,y) และ P(x,y) จะแสดงถึงตำแหน่งของพิเซล จากตัวอย่าง ค่าเฉลี่ยของระดับสีเทา จะอยู่ในบริเวณกึ่งกลางของ(x,y) การสร้างเทรสโฮลด์ของภาพ g(x,y) โดยกำหนด

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x,y) > T \\ 0 & \text{if } f(x,y) <= T \end{cases} \quad \text{-----(2.12)}$$

ดังนั้นในการพิจารณา g(x,y) เราจะพบว่า ถ้าพิเซลนั้นมีค่าเป็น "1" จะเป็นลักษณะของวัตถุ (objects) ขณะเดียวกัน ถ้าพิเซลนั้นมีค่าเป็น "0" จะเป็นลักษณะของพื้นวัตถุ (back ground)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

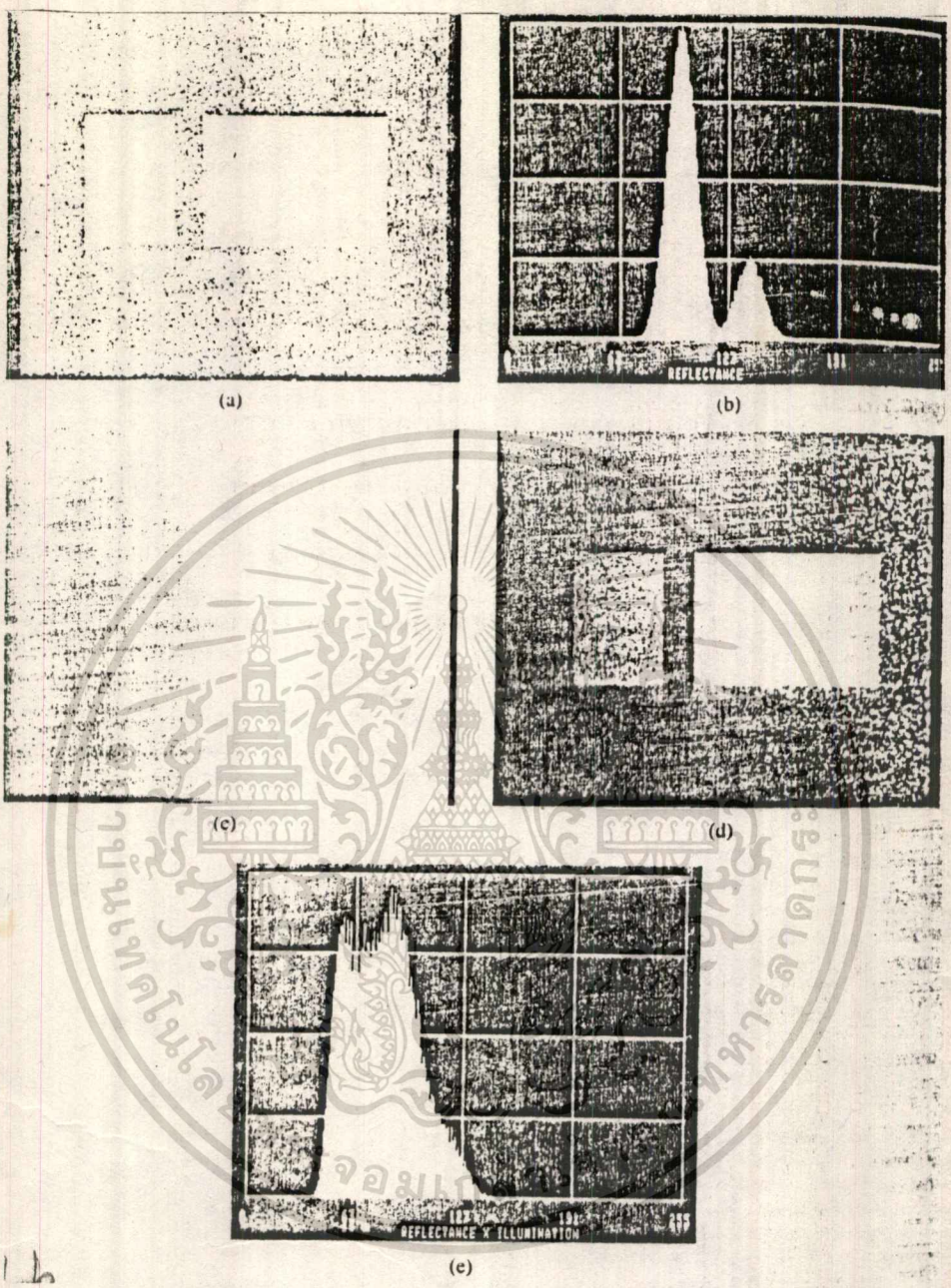
เมื่อ T ขึ้นอยู่กับ f(x,y) เทรสโฮลด์นี้จะถูกเรียกว่า โกบอล (global) ถ้า T ขึ้นอยู่ทั้ง f(x,y) และ P(x,y) เทสรโฮลด์นี้เรียกว่า โลคอส (Local) ถ้า T ขึ้นอยู่กับ ระยะพิกัด x และ y เรียกว่า ไดนามิกส์เทรสโฮลด์ (dynamic threshold)

2. <u>บทบาทของแสงสว่าง</u> (The Role of Illumination)

ระบบภาพโดยทั่วไป อยู่ในรูปของ f(x,y) เช่นเดียวกัน ผลของแสงสะท้อนอยู่ในรูปของ r(x,y) และการส่องสว่างอยู่ในรูปของ i(x,y) เนื้อหาที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นการสรุป การส่องสว่างที่มีผลต่ออิมเมจ

ความรู้เบื้องต้นเกียวกับปัญหานี้ พิจารณาจากคอมพิวเตอร์ จะสร้างฟังก์ชั่นการสะท้อนของแสง (reflectance function) ดังแสดงในรูป 2.6(a) ฮีสโตรแกรมของฟังก์ชั่น แสดงในรูป 2.6(b) โดยใช้การตัดระดับเทรสโฮลด์ระดับเดียว (single threshold) สมมติว่า มีฟังก์ชั่นการสะท้อนของแสงอยู่หลายฟังก์ชั่น ดังรูป 2.6(a) โดยฟังก์ชั่นการส่องสว่างแสดงในรูป 2.6(c) ผลที่ได้ของภาพ f(x,y) แสดงในรูป 2.6(d) ฮีสโตรแกรมของภาพนี้ แสดงในรูป 2.6(e) โดยแท้จริงแล้ว ภาพต้นฉบับบางส่วนจะถูกกำจัดออก โดยการตัดระดับเทรสโฮลด์ นี้เป็นเพียงตัวอย่างการส่องสว่าง ที่แสดง ถึง ธรรมชาติของวัตถุ และพื้นของวัตถุ ที่สามารถจะแยกออกจากกันได้ ส่วนภาพที่มีความสว่างไม่เพียงพอ จะเป็นการยากในการแบ่งระดับของภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 (a) การสร้างฟังก์ชั่นการสะท้อนโดยคอมพิวเตอร์

(b) ฮีสโตรแกรมของฟังก์ชั่นการสะท้อน

(c) การสร้างฟังก์ชั่นการส่องสว่างโดยคอมพิวเตอร์

(d) อิมเมจที่ได้จากฟังก์ชั่นของการส่องสว่าง และฟังก์ชั่นการสะท้อนแสง

(e) ฮีสโตรแกรมของอิมเมจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่ได้สำหรับฮีสโตรแกรมในรูปที่ 2.6(c) โดยการนำเอา ลอกอะริทึม (Logarithm) ของ $f(x,y) = i(x,y)r(x,y)$ ผลรวม $Z(x,y) = \ln f(x,y) + \ln r(x,y) = i'(x,y) + r'(x,y)$ จากทฤษฎีความน่าจะเป็น ถ้า $i'(x,y)$ และ $r'(x,y)$ เป็นตัวแปรสุ่มอิสระ, ฮีสโตรแกรมของ $Z(x,y)$ จะให้คอนโวลชั่น (convolution) ของฮีสโตรแกรม ของ $i'(x,y)$ และ $r'(x,y)$ ถ้า $i(,y)$ เป็นค่าคงที่ , $i'(,y)$ ก็จะเป็นค่าคงที่ด้วย ส่วนฮีสโตรแกรมของ $r'(x,y)$ ยังใช้พื้นฐานรูปร่างของฮีสโตรแกรมที่กว้าง (ผลจากการส่องสว่างไม่เหมือนกัน) องศาของมุมที่บิดเบือน ขึ้นอยู่กับความกว้างของฮีสโตรแกรมของ $i'(x,y)$ ซึ่งในการบิดเบนขึ้นอยู่กับฟังก์ชั่นของการส่องสว่างที่ไม่เหมือนกันด้วย

ก่อนที่จะทำการพิจารณา เราจะต้องนำลอกอะริทึม (logarithm) ของ $f(x,y)$ ที่ถูกแทนด้วยฟังก์ชั่นอิมเมจ (image function) โดยตรง แต่ว่าจุดสำคัญของปัญหานี้จะถูกอธิบายอย่างชัดเจน โดยการใช้ลอกอะริทึมในการแยกส่วนประกอบของการส่องสว่างและการสะท้อนของแสง

เมื่อได้แหล่งกำเนิดการส่องสว่าง ในการแก้ปัญหานี้ ความถี่จะถูกใช้ในทางปฏิบัติ เป็นการชดเชย สำหรับการส่องสว่างที่ไม่สม่ำเสมอ ความสว่างที่เกิดจากการสะท้อนของพื้นผิว ที่ปรากฏบนอิมเมจ $g(x,y) = ki(x,y)$, เมื่อ k เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับพื้นผิว และ $i(x,y)$ เป็นฟังก์ชั่นการส่องสว่างสำหรับอิมเมจ $f(x,y) = i(x,y)r(x,y)$ หาได้จากฟังก์ชั่นการส่องสว่าง การหารของ $f(x,y)$ ด้วย $g(x,y)$ ให้ฟังก์ชั่นเป็นปกติ (normalized function) $h(x,y) = f(x,y)/g(x,y) = r(x,y)/k$ ดังนั้น ถ้า $r(x,y)$ สามารถที่จะถูกแบ่งออกโดยการตัดระดับเทรสโฮลด์ (T) เมื่อ $h(x,y)$ สามารถที่จะถูกแบ่งออกโดยการตัดระดับเทรสโฮลด์ ด้วยค่าของ T/k ที่แสดงนี้เป็นวิธีหนึ่งถ้าความส่องสว่างให้ผลโดย $i(x,y)$ ที่ไม่มีการเปลี่ยนจากอิมเมจหนึ่งไปยังอิมเมจหนึ่ง

3. <u>การเลือกเทรสโฮลด์ที่ดีที่สุด</u> (Optimal Thresholding)

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า ก่อนภาพที่เหลือเพียง 2 ระดับ ความสว่างฮีสโตรแกรมของภาพ อาจจะถูกพิจารณา ความน่าจะเป็นฟังก์ชั่นของความเข้ม $P(x)$ นี้เป็นการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมเอาฟังก์ชั่นความเข้มทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วยขอบเขตความสว่าง และขอบเขตความมืดของภาพ พารามิเตอร์ทั้งหมดจะเป็นไปตามพื้นที่ของภาพ ของแต่ละระดับความสว่าง ถ้าเรารู้ระดับความเข้มของภาพ ก็สามารถที่จะกำหนดค่าเทรสโฮลด์ที่ดีที่สุด (ความผิดพลาดน้อยสุด) สำหรับการแบ่งระดับความสว่างของภาพออกเป็น 2 ระดับ

สมมติว่า ภาพมีการรวมค่าอยู่ 2 ค่า ซึ่งได้จาก เกาส์เซียน (Gaussian) ความน่าจะเป็นรวมของฟังก์ชั่น ความเข้มกำหนดโดย

$$P(x) = P_1 p_1(x) + P_2 p_2(x) \qquad \text{--------(2.13)}$$

สำหรับกรณีของเกาส์เซียนเป็น

$$P(x) = \frac{P_1}{\sqrt{2\pi\sigma_1}} \exp\left[\frac{-(x-\mu 1)^2}{2\sigma_1^2}\right] + \frac{P_2}{\sqrt{2\pi\sigma_2}} \exp\left[\frac{-(x-\mu 2)^2}{2\sigma_2^2}\right] \qquad \text{------(2.14)}$$

เมื่อ μ_1 และ μ_2 เป็นค่าเฉลี่ยของ 2 ระดับความสว่าง o_1 และ o_2 เป็นส่วนเบี่ยงบนมาตราฐานเฉลี่ย และ P_1, P_2 เป็นความน่าจะเป็นของทั้งสองระดับ โดยเหตุที่

$$P_1 + P_2 = 1 \qquad \text{--------(2.15)}$$

สิ่งที่ต้องปฏิบัติ ความเข้มทั้งหมด มี 5 พารามิเตอร์ ที่ไม่ทราบค่า แต่ถ้ารู้ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมด การกำหนดค่าเทรสโฮลด์ที่ดีที่สุดจะทำได้ง่าย

สมมติว่า ขอบเขตของความมืด ตรงกับลักษณะของพื้นภาพ และขอบเขตของความสว่างตรงกับวัตถุที่มอง (object) ในกรณีนี้ $\mu_1 < \mu_2$ และ เราอาจกำหนดค่าเทรสโฮลด์ได้ โดยที่พิเซลทั้งหมด ของระดับสีเทา ที่อยู่ด้านล่างของ T จะถูกพิจารณา เป็นจุดพื้นของภาพ และพิเซลทั้งหมด ที่อยู่เหนือระดับ T จะถูกพิจารณา เป็นจุดของวัตถุ ความน่าจะเป็นในการจำแนก จุดวัตถุ และ จุดของพื้นวัตถุเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_1(T) = \int_{-\alpha}^{T} P_2(x)\,dx \quad \text{---------(2.16)}$$

ทำนองเดียวกัน ความน่าจะเป็นของการจำแนกจุดพื้นของวัตถุ ก็เช่นเดียวกัน

$$E_2(T) = \int_{T}^{\alpha} P_1(x)\,dx \quad \text{---------(2.17)}$$

เนื่องจากความน่าจะเป็นทั้งหมดของความผิดพลาด กำหนดโดย

$$E(T) = P_2E_1(T) + P_1E_2(T) \quad \text{-------(2.18)}$$

จะพบว่า ค่าเทรสโฮลด์ นี้มีความผิดพลาดน้อยที่สุด ส่วนความแตกต่างของ E(T) ตาม T และผลที่ได้เท่ากับ

$$P_1p_1(T) = P_2p_2(T) \quad \text{--------(2.19)}$$

ผลที่ได้จากความเข้มของเกาส์เซียน (Gaussian density) หลังจากการใช้ลอกอะริทึม (taking Logarithm) และ เพื่อให้ง่ายขึ้น จะได้สมการกำลังสองเป็น

$$AT^2 + BT + C = 0 \quad \text{--------(2.20)}$$

โดย

$$A = \sigma_1^2 - \sigma_2^2$$

$$B = 2(\mu_1\sigma_2^2 - \mu_2\sigma_1^2)$$

$$C = \sigma_1^2\mu_2^2 - \sigma_2^2\mu_1^2 + 2\sigma_1^2\sigma_2^2 \ln[\sigma_2P_1/\sigma_1P_2]$$

บางครั้งอาจมีคำตอบอยู่ 2 ค่า แสดงว่ามีค่าเทรสโฮลด์ที่ต้องการอยู่ 2 ค่า ที่ใช้ในการหาค่าตอบที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าความแปรปรวนเท่ากัน $\sigma^2 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ใช้การตัดระดับเทรสโฮลด์ ระดับเดียวก็พอเพียงแล้ว

$$T = \frac{\mu 1+\mu 2}{2} + \frac{\sigma^2}{\mu_1+\mu_2} \ln(P_2/P_1) \quad \text{------(2.21)}$$

ถ้าความน่าจะเป็นของทั้งสอง เท่ากัน $P_1 = P_2$ ค่าเทรสโฮลด์ที่ดีที่สุด ควรจะเป็นค่าเฉลี่ยของค่าทั้งสอง ในความเป็นจริง บางครั้ง $o = 0$ การกำหนดค่าเทรสโฮลด์จะทำให้ง่าย

การวิเคราะห์ พารามิเตอร์จากฮีสโตรแกรม ของภาพ อาจจะใช้ภาพที่เหมือนภาพจริงมากที่สุด หรือ มีความผิดพลาดที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด สำหรับตัวอย่าง ความผิดพลาดระหว่าง ความเข้มทั้งหมด $P(x)$ และ ฮีสโตรแกรมที่ทดลอง $k(x_i)$ เป็น

$$M = 1/N \sum_{i=1}^{N} [P(x_i) - h(x_i)]_i^2 \quad \text{-----(2.22)}$$

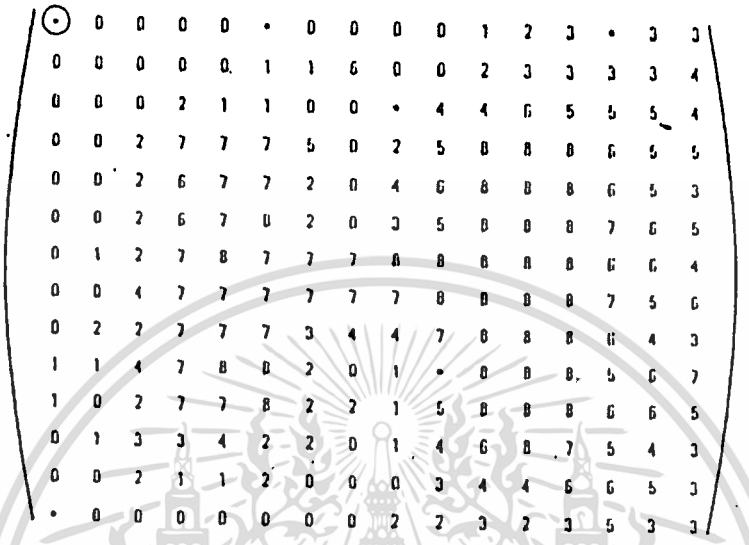
เมื่อสมมติให้ฮีสโตรแกรมมี N จุด

ซึ่งในการสร้าง มันไม่ง่ายที่กำหนด พารามิเตอร์ให้มีความผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งอาจจะใช้วิธีของเกาส์เซียน (gaussian) หรือวิธีของนิวตัน (Newton's method) ช่วยก็ได้

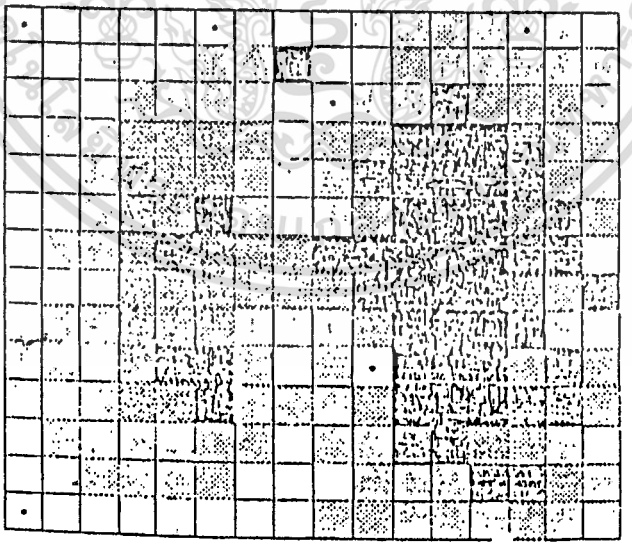
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการตัดระดับเทรสโฮลด์

พิจารณา image f ในรูปที่ 2.7 ซึ่ง gray level อยู่ในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7



รูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

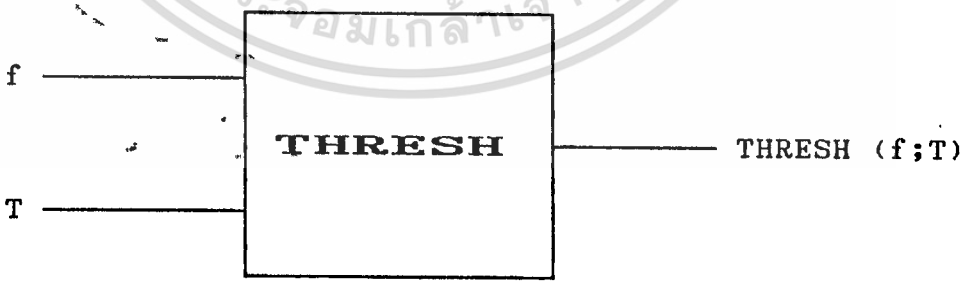
จากรูปทั้ง 2 นั้น gray level กำหนดให้มีค่าจาก 0 ถึง 8 โดยที่ให้ 0 เป็นตำแหน่งที่เป็นสีขาว และ 8 เป็นตำแหน่งสีดำ สมมติว่าเลือกค่าการตัดระดับเทรสโฮลด์ของ image f โดยให้ค่า T มีค่าเท่ากับ 7 นั้นหมายความว่า ค่า gray level ที่น้อยกว่า 7 จะถูกกำจัดออกไป โดยค่าที่เท่ากับ 7 หรือมากกว่า จะถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 1 ซึ่งผลที่ได้จะมีค่าเพียง 2 ระดับ คือ "0" กับ "1" ซึ่งเรียกว่า Binary Image

ซึ่งในระดับที่สูงกว่า หรือเท่ากับ ค่าอ้างอิง เป็นจุดสว่างสุด ถ้าต่ำกว่าค่าอ้างอิง จะเป็นจุดดำ ส่วนจุดที่เป็น * เป็นตำแหน่งที่เราไม่ต้องคำนึงถึง ไม่เกี่ยวข้องกับการทำเทรสโฮลด์

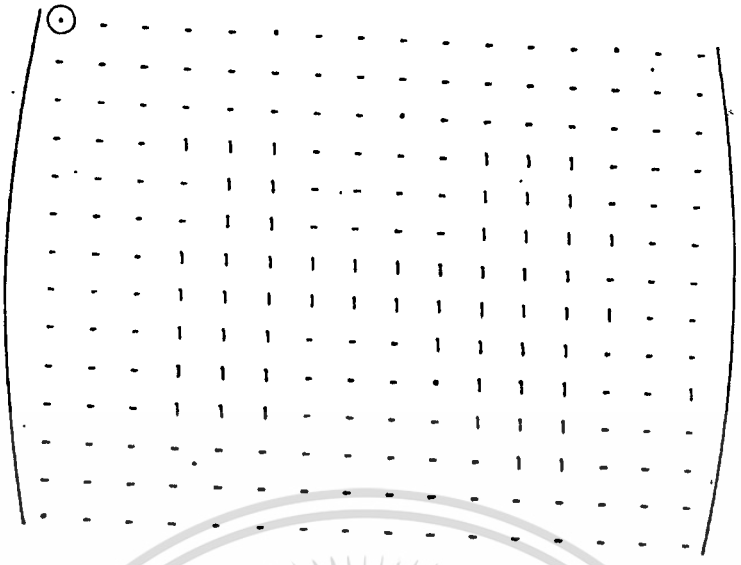
จะเห็นได้ว่าหลักการทำ เทรสโฮลด์ ก็คือ การกระทำในลักษณะของ binary นั่นเอง โดยมี input คือ image f และค่าจำนวนจริงคือค่า T ค่าทาง output ที่ได้นั้น เป็นค่าเฉพาะจุดขาวและจุดดำเท่านั้น

จากนิยาม ของการทำเทรสโฮลด์ คือ

$$[\mathrm{THRESH}(f;T)](i,j) = \begin{cases} 1, & \text{if } f(i,j) \Rightarrow T \\ 0, & \text{if } f(i,j) < T \\ *, & \text{if } f(i,j) = * \end{cases}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



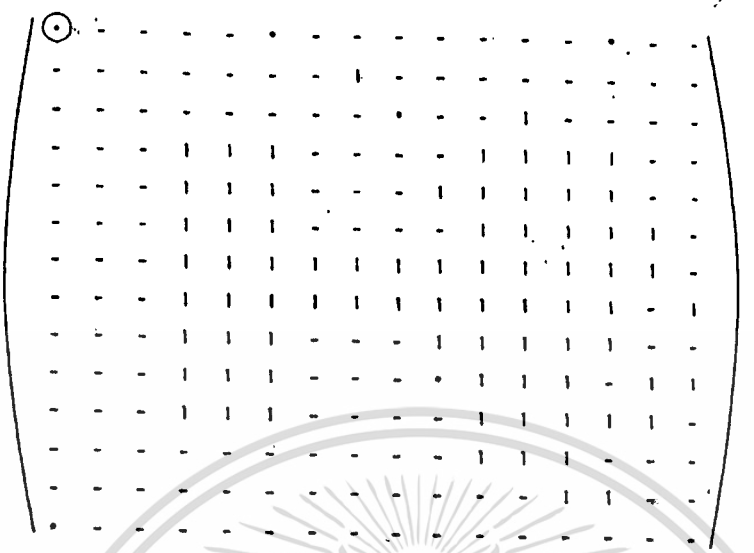
รูปที่ 2.9

จากรูปที่ 2.9 จะเห็นว่าจุด 5 จุด ทางด้านซ้ายบน ของตัว H นั้นมีค่า gray value เป็น 6 ซึ่งเป็นจุดที่ควรจะเป็น ส่วนหนึ่งของตัว H แต่ว่าเมื่อเลือกค่า threshold input เป็น 7 ทำให้จุดนี้ต้องถูกกดลงเป็น "0" ส่วนทางขวามือ ของตัว H นั้น จากข้อมูลจะเห็นว่ามีความเข้มมากกว่าทางซ้ายมือ ซึ่งอาจเกิดจากการให้แสงสว่างที่ไม่ถูกต้องก็ได้

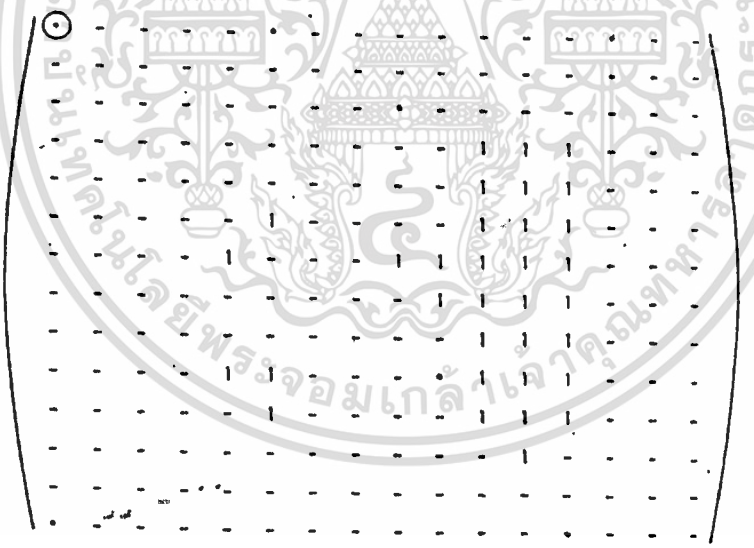
จากที่กล่าวมาแล้วว่า จุด 2 จุด ทางซ้ายมือ นั้นเป็นจุดที่ถูกต้อง ซึ่งมีค่า gray value เป็น 6 อย่างไรก็ตาม เราสามารถที่จะดึงค่านี้ขึ้นมาเป็น "1" ได้โดยให้ค่าเทรสโฮลด์ (T) เท่ากับ 6 เช่นเดียวกันกับทางขวามือ ที่มีจุดที่เกินออกมา ซึ่งจะกำจัดออกได้โดยให้ค่าเทรสโฮลด์ (T) =8 ซึ่งผลที่ได้ของ (T=6) และ (T=8) แสดงดังรูป 2.10 และ 2.11 ตามลำดับ จากรูปจะเห็นว่า ยิ่งทำให้เกิด distortion เพิ่มมากขึ้นไปอีก ดังนั้นที่ (T=7) จึงเป็นจุดที่มีค่าเทรสโฮลด์ดีที่สุด

ในการกำหนดค่า T ที่ดีที่สุด นั้นวิธีอันหนึ่ง ก็คือการทำ Histogram นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ที่ (T=6)



รูปที่ 2.11 ที่ (T=8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. <u>การจัดแบ่งฮีสโตรแกรมให้เท่ากัน</u> (Histogram Equalization)

เป็นวิธีหนึ่งในการเพิ่มความชัดเจนของภาพ ขาวดำ ที่มีการกระจายในช่วงกว้างของระดับสีเทา ในทางอุดมคติแล้ว ค่าตัวเลขของระดับสีเทา ในแต่ละพิเซลนี้จะมีค่าที่ไม่แน่นอน การประมาณค่า โดยใช้ฟังก์ชั่นที่สามารถแสดงการตรวจสอบของฮีสโตรแกรม เป็นการวิเคราะห์ในลักษณะใกล้เคียง นี้เรียกว่า Histogram Equalization

หลักการ ให้ตัวเลขของพิเซลในภาพทั้งหมด เป็น rowmax * colmax และตัวเลขของระดับสีเทา ซึ่งมากกว่าช่วงกว้างที่ต้องการ เป็น g levels เมื่อ ฮีสโตรแกรม ในอุดมคติ จะมี ตัวเลขของพิเซล ที่แต่ละระดับสีเทา อยู่ในแนวระนาบเดียวกัน

$$\text{ตัวเลขอุดมคติของพิเซล ที่แต่ละระดับสีเทา} = \frac{\text{rowmax} * \text{colmax}}{\text{g levels}} \quad \text{--(2.23)}$$

แต่ว่า เราต้องการ กำหนดพิเซลด้วย ค่าต่ำสุดของระดับสีเทาในภาพเก่าไปยังระดับสีเทา "0" ในภาพใหม่

$$F(0) = 0,$$

เมื่อ F(old grey level) = new gray level

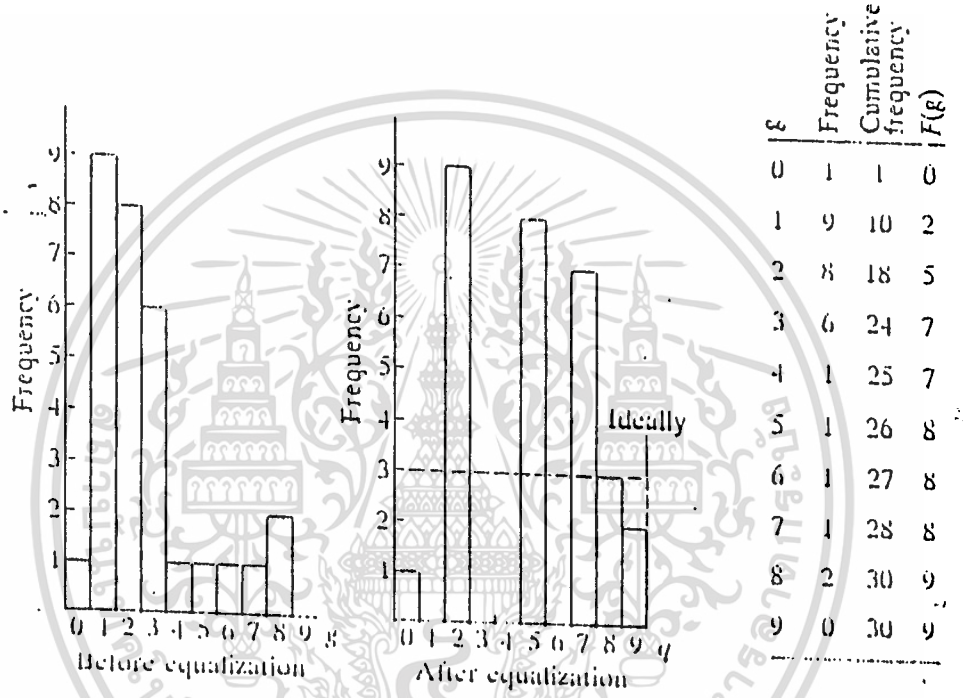
ถ้าผลของการกำหนด ในระดับสีเทาใหม่ เป็น "0" มีค่าน้อยกว่าค่าเดิม การแบ่งพิเซลที่ถูกต้อง เราจะกำหนดพิเซลที่ถัดจากค่าต่ำสุด ของระดับสีเทา ในภาพเก่าด้วยระดับสีเทา "0" ในภาพใหม่ เมื่อระดับ "0" ในภาพใหม่มีลักษณะใกล้เคียงกับภาพเดิม การแบ่งพิเซลที่ถูกต้อง เราจะเลื่อนขั้นไปยังระดับสีเทา "1" และการทำงานของอัลกอระทึม (algorithm) จะเริ่มด้วย การที่ไม่กำหนด (unallocated) พิเซล ที่มีระดับสีเทาต่ำสุด ในภาพเดิม

อาจจะเร็วกว่าที่จะกำหนด พิเซลให้กับระดับสีเทาเป็น "0" ในภาพใหม่สองครั้ง การแบ่งของพิเซลอาจจะถูกต้องก็ได้ ในกรณีผลที่ปรากฏ จะมีการกำหนดระดับสีเทา ให้เห็น "1" ถ้าเราละเลยค่าในระดับสีเทา "1" ในภาพใหม่ และ ย้ายเข้าไปยังระดับสีเทา "2"

การใช้อัลกอระทึม (algorithm) ในส่วนของระดับสีเทาของพิเซล (old gray levels) เก่าทั้งหมด จะถูกกำหนดไปยัง ระดับสีเทาใหม่ (new gray levels)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีที่ใช้ในการ mapping ของระดับสีเทาเก่า ไปยังระดับสีเทาใหม่ เป็นผลต่อเนื่อง การทำงาน ถ้า t(g) เป็น ตัวเลขจริง (actual number) ของพิเซลที่ lod gray level g หรือ น้อยกว่า



รูปที่ 2.12 ขั้นตอนของฮีสโตรแกรม

$$F(g) = \max(0,\ \text{round}\left(\frac{g\ \text{levels} * t(g)}{\text{rowmax} * \text{colmax}}\right) - 1) \quad \text{----(2.24)}$$

ในรูปที่ 2.12 เป็นตัวอย่างของเทคนิคนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

TREE GRAMMAR

1. หลักการของไวยากรณ์แบบที (Tree Grammars)

ระบบที (Tree system) ถูกใช้อธิบายและ recognition of patterns

นิยามพื้นฐาน

นิยามที่ 1 ให้ N^+ เป็นเซ็ตของจำนวนเต็ม

U เป็น free monoid ที่เกิดจาก N^+

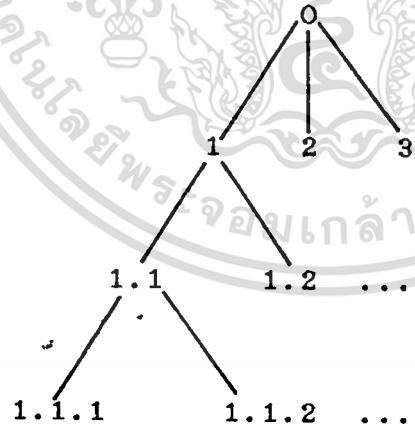
. เป็น operation

O เป็น เอกลักษณ์ของ U

รูปแบบของ $a \in U$ แสดงโดย d(a) มีนิยามว่า

$d(O) = O,\ d(a.i) = d(a) + 1,\ i \in N^+$

$a <= b$ ถ้า $x \in U$ ดังนั้น $a.x = b$ และ b ไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้ ถ้า $a < b$ และ $b < a$ ดังตัวอย่างต่อไปนี้



นิยามที่ 2 D คือ ขอบเขตของ tree ถ้า D จำกัดด้วยเซ็ตย่อยของ U มีลักษณะคือ

1. $b \in D$ และ $a < b$ หมายความว่า $a \in D$
2. $a.j \in D$ และ $i < u$ ใน N^+ หมายความว่า $a.i \in D$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามที่ 3 stratified alphabet คือคู่ของ $< \Sigma, r >$

เมื่อ Σ = เซ็ตที่มีขอบเขตของสัญญลักษณ์ และ

$r : \Sigma \to N = N^{+} \cup \{0\}$ สำหรับ $x \in \Sigma$, $r(x)$ ถูกเรียกว่า stratification ของ x

ให้ $\Sigma_n = r^{-1}(n)$ tree จะถูกกำหนดโดยการ mapping จากขอบเขตของ tree ภายใต้เซ็ตของสัญญลักษณ์

นิยามที่ 4 รูปแบบของ tree นอกเหนือจาก Σ เป็นฟังก์ชั่น $\alpha\ D \to \Sigma$ ดังนั้น D คือขอบเขตของ tree และ $r[\alpha(a)] = \min\{i \mid a.i \in D\}$ ขอบเขตของ tree จะถูกแสดงโดย $D(\alpha)$ หรือ D_α ให้ T_Σ เป็นเซ็ตของทั้งหมดของ tree นอกเหนือจาก Σ

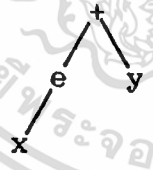
นิยามที่ 5 t เป็นเทอมนอกเหนือจาก $< \Sigma, r >$

ถ้า $t = x \in \Sigma_0$ หรือ

$t = xt1 \ldots tn$ เมื่อ $x \in \Sigma n$ และ ti เป็นเทอมของ $1 <= i <=$

T_Σ เป็นเทอมของเซ็ตนอกเหนือจาก Σ เห็นได้ชัดจากตัวอย่างคือ

ให้ $\Sigma = \{+, e, x, y\}$, $r(+) = 2$, $r(e) = 1$, $r(x) = r(y) = 0$ เขียนเป็น Tree α ได้เป็น



ซึ่ง Tree α เป็นตัวอย่างที่แสดงความหมายของ e(x) + y ความเป็นไปได้อย่างอื่น ที่จะอธิบายเกี่ยวกับ tree α โดยอักษร + e x y ลักษณะเช่นนี้จะเรียกว่า Polish perfix

นิยามที่ 6 regular tree grammar นอกเหนือจาก $< V_T, r >$

$G_t = (V, r', P, S)$

โดยมีเงื่อนไขต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) $\langle V, r' \rangle$ เป็น rank ที่จำกัดด้วย $V_T \subseteq V$ และ $r' | V_T = r$ ความรู้เบื้องต้นของ V_V_T เรียกว่า สัญญลักษณ์ตอนสุดท้าย

2) P เป็นเซ็ตจำกัดที่เป็นผลมาจาก $\phi \rightarrow \psi$ เมื่อ ϕ และ ψ เมื่อ tree นอกเหนือจาก $\langle V, r' \rangle$

3) S เป็นเซ็ตย่อยของ T_v

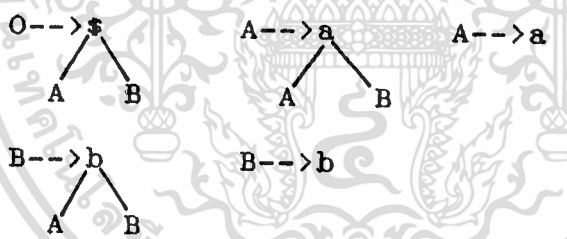
<u>นิยามที่ 7</u> $L(Gt) = \{\alpha \in T_{VT} \mid Y \in S$ ดังนั้น $Y \Rightarrow \alpha$ ใน $Gt\}$ เรียกว่าการแปลงโดย Gt พิจารณา tree grammar

$G_t = (V, r, P, o)$

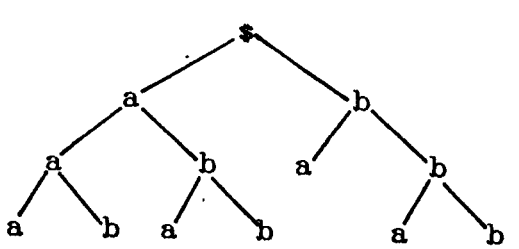
เมื่อ $V = \{ o, A, B, a, b, \$\}$

$V_T = \{a, b, \$\}$, $r(a) = \{2, 0\}$

$r(b) = \{2, 0\}$, $r(\$) = \{2, 0\}$



ซึ่งเขียนเป็น tree ได้ต่อไปเป็นดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามที่ 8 tree grammars $G_t = (V,r',P,s)$ นอกเหนือจาก $\langle V_T,r\rangle$ เป็นส่วนขยาย ถ้าแต่ละตัวใน P เกิดจาก $x_o \dashrightarrow x$ (x1 ... $x_{r(n)}$) หรือ $x_o \dashrightarrow x$ เมื่อ $x \in V_T$ และ $x_o, x_1, \ldots, x_{r(x)}$ เป็นสัญญลักษณ์ตัวสุดท้าย

นิยามที่ 9 ให้ $\langle \Sigma, r\rangle$ เป็นรูปแบบของ alphabet และ $\Sigma = \{ \sigma_1, \sigma_2, \ldots, \sigma_k \}$ เมื่อ tree automaton นอกเหนือจาก Σ เป็นระบบ $M_t = (Q, f_1, \ldots, f_k)$ เมื่อ

1. Q คือ สถานะของเซ็ตที่จำกัด
2. สำหรับแต่ละค่าของ i เมื่อ $1 \le i \le k$
3. $F \subset U$ คือ เซ็ตสุดท้ายของระบบ

ถ้าแต่ละ f_i , $1 \le i \le k$, คือฟังก์ชัน $f_i : Q^{r(\sigma_i)}$

นิยามที่ 10 ผลตอบสนองเกี่ยวกับ ρ ของ tree automaton เมื่อ Mt หาได้จาก

1) ถ้า $\sigma \in \Sigma_o, \rho(\sigma) \sim x$ ถ้า $f_\sigma \sim x$;

2) ถ้า $\sigma \in \Sigma_n$, $n>0, \rho(\sigma\alpha_o, \ldots \alpha_{n-1}) \sim x$ ถ้า $x_o, \ldots, x_{n-1}$

ดังนั้น $f_\sigma(x_o, \ldots, x_{n-1}) \sim x$ และ $\rho(\alpha_i) \sim x_i$; $1 \le i \le n$ ถ้า M เป็น deterministic, ρ เป็นฟังก์ชั่น $\rho : T_\Sigma \dashrightarrow Q$ แสดงโดย

1) ถ้า $\sigma \in \Sigma_o$, $\rho(\sigma) = f\sigma$;

2) ถ้า $\sigma \in \Sigma_n$, $n>0$,

$$\rho(\sigma\alpha_o, \ldots, \alpha_{n-1}) = f_o(\rho(\alpha_o), \ldots, \rho(\alpha_{n-1}))$$

นิยามที่ 11 $T(M_t) = \{ \alpha \in T_\Sigma \mid x \in F$ ดังนั้น $\rho(\alpha) \sim x \}$ ถูกเรียกว่าเป็นที่ยอมรับโดย M_t. M_{t1} และ M_{t2} มีสมาชิกที่เท่ากัน ถ้า $T(M_{t1}) = T(M_{t2})$ tree grammar G_t จะมีค่าเท่ากันกับtree automaton M_t ถ้า $L(G_t) = T(M_t)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับทุกค่าของ tree grammar G_t มีผลกับการกำหนด tree automaton M_t ดังนั้น $T(M_t) = L(G_t)$.

ตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นถึงว่า การเกิดรูปแบบ tree โดย tree grammar ถูกยอมรับโดย tree automaton

ให้ $V_T = \{+,x\}, r(t)=2$ และ $r(x) = 0$

$G_t = (v,r',P,s)$ เป็น grammar นอกเหนือจาก $\langle V_T, r\rangle$

เมื่อ $V = V_T \cup \{S\}$, $r'(s)=0, P=\{S\text{-->}+S_x, S\text{-->}x\}$, และ

$S = \{S\}$

$L(G_t) = \{+^n x^{n+1} \mid n=>0\}$

รูปแบบของ tree แสดงดังรูป

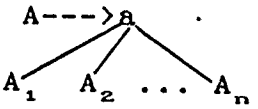
ให้ $M_t = (Q, f_+, f_x, F)$ เป็น deterministic automaton เมื่อ

$Q = \{x, S_x, S\}, f_x = S_x, f_+(S_x,S_x) = f_+(S,S_x)=S, f_+ = x$

ในกรณีอื่นทั้งหมด และ $F=\{S,S_x\}$ ดังนั้น $T(m_t) = \{+^n x^{n+1} \mid n=>0\} = L(G_t)$

รูปแบบของไวยกรณ์แบบที (Inference of Tree Grammars)

การขยายรูปแบบของ tree grammars มีผลมาจาก

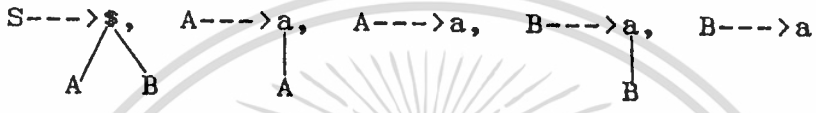


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ A, A_1, A_2, ... ,A_n ใน N และ a ใน Σ นี่คือส่วนของผลของ tree ที่นำมาพิจารณาในส่วนนี้

ให้ $\mathcal{T}_i$ และ $\mathcal{T}_j$ เป็นเซ็ตของ tree ได้มาจากการเริ่มต้น ด้วย A_i และ A_j ตามลำดับ เมื่อ A_i และ A_j เป็นจำนวนที่เท่ากัน หมายความว่า $A_i = A_j$, ถ้า $\mathcal{T}_i = \mathcal{T}_j$

ตัวอย่างนี้ พิจารณาเซ็ตของการขยายผลของ tree



จุดต่อ A และ B เป็นค่าที่เท่ากัน เพราะแต่ละค่าเป็นเซ็ตของ tree

ปัญหาของการหาค่าของ A_i ที่ไม่เท่ากับ A_j ไม่สามารถหาด้วยวิธีธรรมดาได้ อย่างไรก็ตาม ถ้าเซ็ตถูกกำเนิดโดยจุดเริ่มต้นด้วย A_i และ A_j จะเป็นไปได้ที่จะตรวจโดยระบุการเท่ากันของเซ็ต

เพื่อที่จะอ้างอิง node ของ tree โดยเงื่อนไขที่ว่า root มีดัชนีเป็น 0 และถ้า node มีดัชนีเป็น k มี nเป็นจุดสุดท้าย มันถูกกำหนดโดย k.1,k.2, ... ,k.n จากด้านซ้ายไปขวา

ให้ tree ด้วยดัชนีที่กำหนด มี lexicographical ordering relation $<_L$ กำหนดตาม node ให้ r และ s เป็นดัชนี; เมื่อ $r<_L s$ ถ้า

(i) c เป็นดัชนี ดังนั้น s=r.c, หรือ

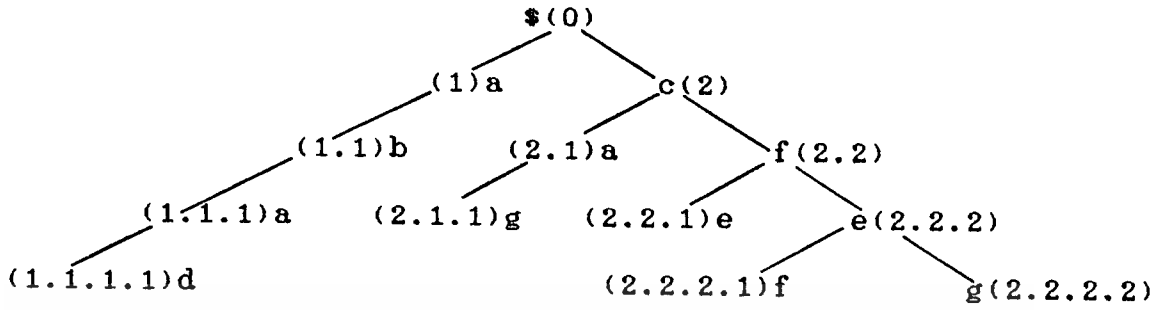
(ii) r=c.i.u และ s= c.j.v เมื่อ

c,u,v เป็นดัชนี

i,j เป็นจำนวนเต็มบวก ที่ i<j

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาตัวอย่าง



ที่ node ที่มีดัชนี r=2.2.2.1 และ s=2.2.2.2 จากรูปเราจะหาว่า $r<_L s$ เมื่อ r=c.i และ c.j ดังนั้น c=2.2.2, i=1, j=2 และ i>j

ให้ T_i และ T_j เป็น tree ซึ่งมี $N_i(k)$ และ $N_j(k)$ เป็น node ที่ระดับ k ให้ A(k) เป็นจำนวนของ node ที่มีระดับเหมือน Gorn address แต่แตกต่างกันที่ label การกำหนดระยะระหว่าง T_i และ T_j ที่ระดับ k เพราะฉนั้น จำนวนของ $B(k)=\lceil A(k)+\left|N_i(k)-N_j(k)\right|\rceil$

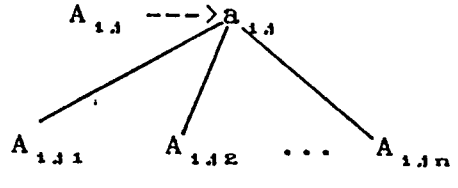
รูปแบบการเขียนไวยกรณ์แบบที (Inference Approach)

วิธีการสร้าง tree grammar จาก เซ็ตของตัวอย่าง input tree $\{T_1, T_2, \ldots, T_m\}$ จะประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

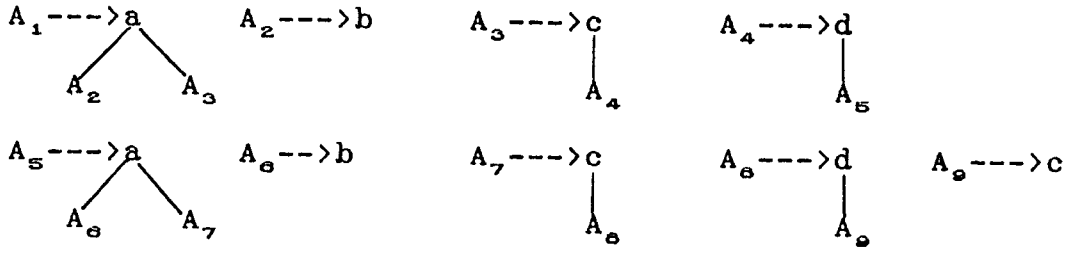
ขั้นตอนที่ 1

ขยายเซ็ตของ P_i หาได้จากตัวอย่างแต่ละ tree T_i; i=1,2, ... ,n แต่ละเซ็ต P_i สามารถสร้างได้จาก T_i เท่านั้น โดยเริ่มด้วย root production

ข้อสังเกต เราพิจารณาจากส่วนขยายเท่านั้น ลำดับที่ j เป็นผลิตผลจาก P_i เป็นรูปแบบคือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



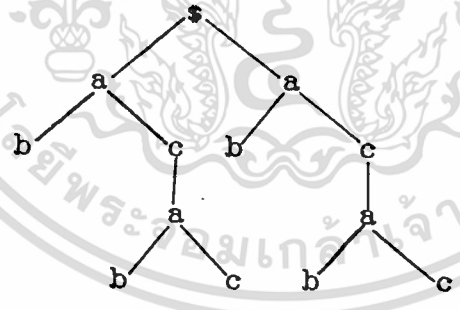
ขั้นตอนที่ 2

ส่วนที่อยู่ทางด้านขวาของแต่ละค่าของ P จะถูกตรวจสอบด้วย $D_L(a_{i,j})$ และ $D_R(a_{i,j})$ ส่วนที่อยู่ทางด้ายขวาทั้งหมด ถูกเรียกว่า degree 0 และส่วนต่อมาเรียกว่า degree 1 ส่วนย่อยทั้งหมดที่อยู่ทางด้านขวาจะถูกเรียกว่า degree 2

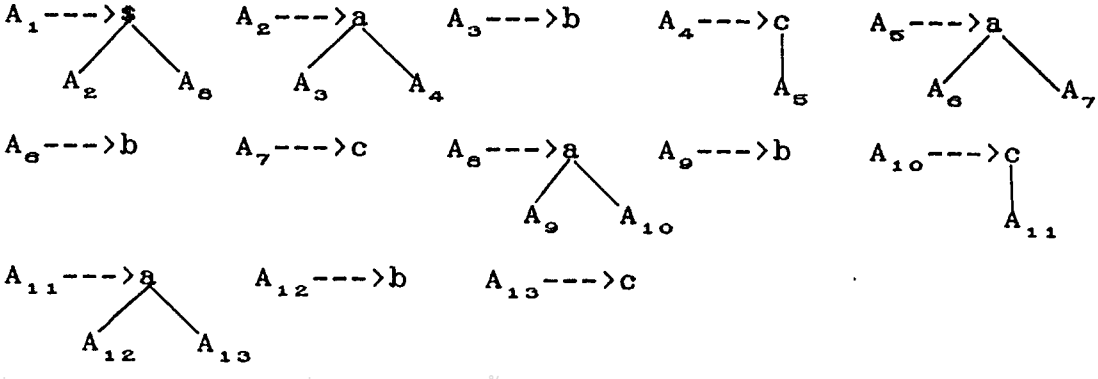
ขั้นตอนที่ 3

ตัวสุดท้ายทั้งหมดของ P ที่มีอยู่ทางด้านขวาของ degree 1 จะถูกตรวจสอบเหมือนกัน ถ้าการรวมกันทั้งหมดทำให้ผลลัพธ์ของจุดสุดท้ายลดลงเรื่อย ๆ เป็นการแยกของการรวมกัน

พิจารณา

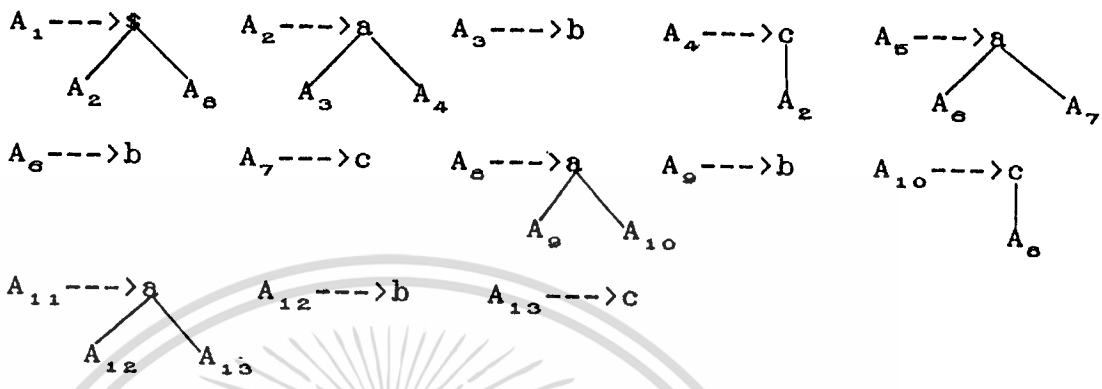


ส่วนขยายคือ

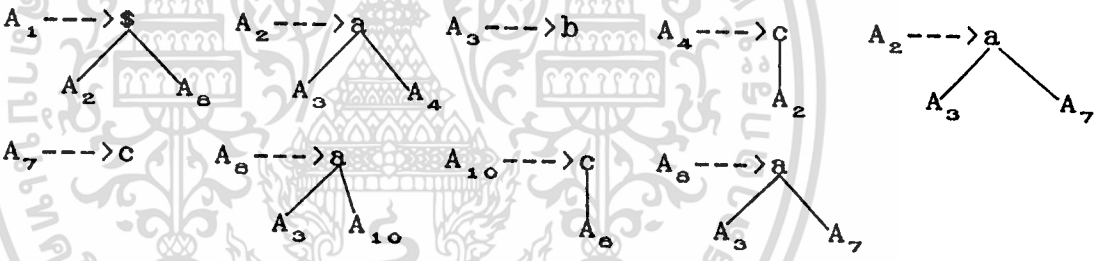


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดรวมทางขวาของ A_2 กับ A_5 และ A_6 กับ A_{11} ถ้าเราให้ $A_5 \equiv A_2$ และ $A_{11} \equiv A_6$ เราจะได้

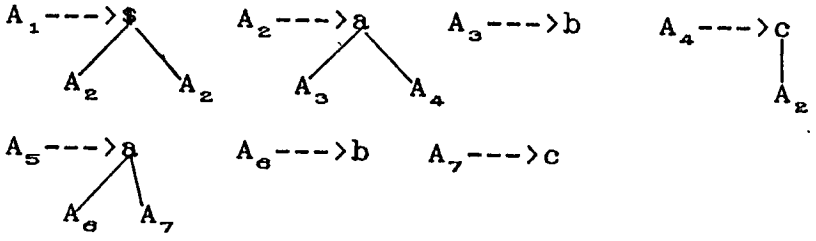


จะเห็นได้ชัดเจนว่า $A_3 \equiv A_6 \equiv A_9 \equiv A_{12}$ และ $A_7 \equiv A_{13}$ ทำการลดต่อจะได้เป็น



ทำต่อได้ว่า A_2 ควรจะเหมือนกับ A_6 ถ้า A_4 เหมือนกันในทางตรงกันข้ามกับ A_{10}, A_4 ควรจะเหมือนกับ A_{10} ถ้า A_2 เหมือนกับ A_6

สมมติว่า การแทนที่ของตัวอย่างข้างบนนี้ เราทดสอบการเหมือนกันเป็นอันดับแรกของจุดต่อทางขวาของ degree 1 เหมือนทฤษฎีตามขั้นตอนที่ 3 ในหัวข้อนี้ เราควรหาว่า $A_2 \equiv A_6$ การรวมกันของ A_6 ด้วย A_2 และ เอา A_6 ออก จะได้ว่า

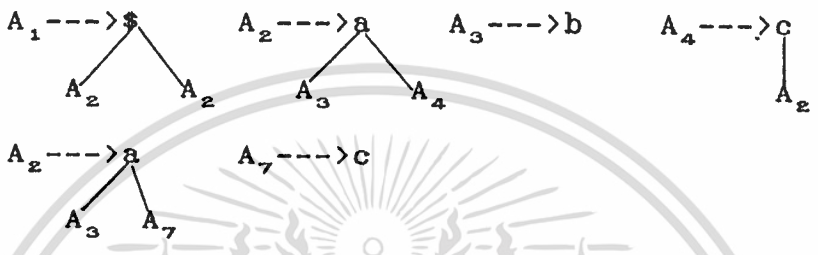


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5

การรวมกันของการเหมือนของจุดรวมของส่วนทางด้านขวาของ degree 0 เพื่อให้ได้เซ็ตสุดท้ายของการลดรูปแบบ

หมายเหตุ การประยุกต์ ขั้นตอนที่ 5 ก่อนที่จะทำขั้นตอนนี้ เราต้องหาว่า $A_6=A_3$ และลดได้ดังต่อไปนี้



ขั้นตอนที่ 6

สำหรับการเริ่มต้นทุก ๆ อย่าง

หมายเหตุ การจะได้บรรลุขั้นตอนนี้ จะต้องเกิดจาก grammar G ทั้งหมดของ tree โดยการเริ่มต้น จากจุดรวมอันเดียวกัน

ขั้นตอนที่ 7

การแสดงไวยกรณ์แบบ tree Gt=(V,r,S,P) เป็นรูปแบบโดยได้จากขั้นตอนที่ 5 และ 6 ด้วยจุดรวม,จุดสุดท้าย และช่วงของผลลัพธ์ที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ระบบการจดจำลายนิ้วมือ

ระบบการจดจำลายนิ้วมือ เป็นระบบที่ใช้ในการตรวจสอบ และพิสูจน์ลายนิ้วอัตโนมัติ โดยการนำภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ มาทำการขยายประมาณ 8 เท่า นำภาพที่ได้มาทำการตัดระดับเทรสโฮลด์ เพื่อให้ได้ภาพที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น จากนั้นจะทำการหาจุดกึ่งกลางของภาพลายนิ้วมือ และทำการแบ่งภาพลายนิ้วมือออกเป็น window เล็ก ๆ ทั้งหมด 16 window ภาพลายนิ้วมือที่ได้ในแต่ละ window จะผ่านขั้นตอนในการจัดการเบื้องต้น (Preprocessing) ซึ่งขั้นตอนนี้ เป็นการเปลี่ยนภาพไบนารี มาเป็นรหัสตัวเลข 8 ทิศทาง และนำภาพที่ได้มาผ่านขั้นตอนการกำจัดขั้นสุดท้าย (Postprocessing) ซึ่งขั้นตอนนี้ เป็นการกำจัดลายนิ้วมือที่เลอะหมึก และลายนิ้วมือที่พิมพ์ไม่ติด และนำภาพที่ได้ผ่านขั้นตอนการแปลงรหัสตัวอักษร ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการแปลงรหัสตัวเลข 8 ทิศทาง มาเป็นรหัสตัวอักษร เราจะเก็บรหัสตัวอักษรที่ได้จากขั้นตอนนี้มาเป็นข้อมูลของลายนิ้วมือแต่ละบุคคล และขั้นตอนสุดท้ายเป็นขั้นตอนการจำแนกลายนิ้วมือ โดยการเปรียบเทียบลายนิ้วมือทั้งสองว่าเป็นลายนิ้วมือของคน ๆ เดียวกันหรือไม่ ซึ่งในรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนจะได้อธิบายอย่างชัดเจนในส่วนที่จะกล่าวถึงต่อไป

4.1 พื้นฐานเบื้องต้น

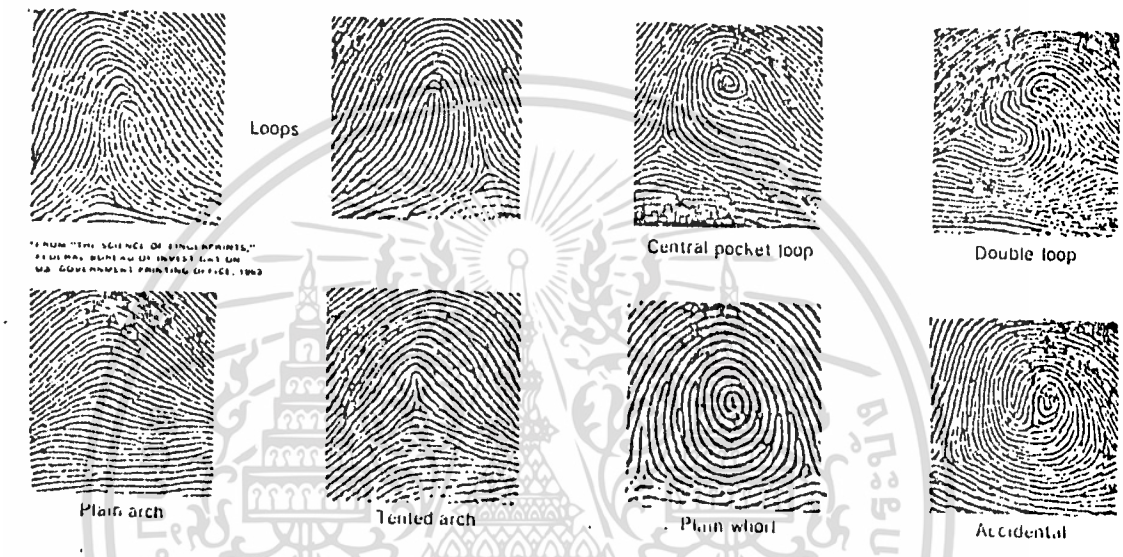
ลักษณะที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของแต่ละบุคคลอย่างหนึ่งก็คือ ลายนิ้วมือ เพราะลายนิ้วมือของแต่ละบุคคลจะไม่เหมือนกัน ลายนิ้วมือมีลักษณะเป็นลายเส้นที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ไม่มีกฎเกณฑ์ ไม่ขึ้นอยู่กับกรรมพันธุ์ ไม่ว่าจะเป็นหญิงหรือชาย หรือเชื้อชาติใดก็ตาม ดังนั้นลายนิ้วมือที่มีลักษณะเป็นเส้นนูนจำนวนมากมาย สามารถที่จะทำการจำแนกลายนิ้วมือออกเป็น 4 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ ลักษณะของเส้นโค้ง ลูป กันหอย และลักษณะหลายอย่างประกอบกัน

เส้นโค้ง หมายถึง ลักษณะของลายที่ลากจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลูป หมายถึง ลักษณะของลาย ที่ลากจากด้านหนึ่งแล้ววกกลับไปออกที่ด้านเดิม

ก้นหอย หมายถึง ลักษณะของลายนิ้วมือที่วนเข้าหาจุดศูนย์กลาง นอกจากนี้ยังมีบางลายที่มีลักษณะข้างต้นมากกว่าหนึ่งลักษณะประกอบกัน ดังรูป 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการจำแนกลายนิ้วมือ

เนื่องจากลายนิ้วมือมีลักษณะเป็นหนึ่งเดียว ลายพิมพ์ของลายนิ้วมือ จึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นตัวแทนของบุคคลได้เป็นอย่างดี เช่น งานทะเบียนประชาชน งานปราบอาชญากรรม และ งานทางด้านธนาคาร เป็นต้น สิ่งสำคัญของงานที่ใช้ลักษณะของลายนิ้วมือแทนบุคคล คือ การพิสูจน์ลายนิ้วมือว่าลายนิ้วมือทั้งสองเป็นของคน ๆ เดียวกันหรือไม่ ซึ่งในการใช้คนในการตรวจสอบว่า ลายนิ้วมือทั้งสอง เป็นของคนเดียวกันหรือไม่ จะเป็นการสูญเสียทั้งแรงงาน และเวลา และผลที่ได้จะเกิดความผิดพลาด ได้มาก จึงนำมาสู่การพัฒนาขบวนการพิสูจน์ลายนิ้วมืออัตโนมัติ เป็นการเพิ่มความสามารถ และ ความเร็วในการตรวจสอบลายนิ้วมือ

ระบบการจดจำลายนิ้วมือ ต้องสามารถเก็บข้อมูลจากลายนิ้วมือที่มีลักษณะโดดเด่นของแต่ละลาย เนื่องจากลายนิ้วมือส่วนใหญ่จะเป็นเส้นเดียว แต่จะมีบางลายที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นสั้น ๆ หรือเส้นเดียวที่แยกออกเป็นสองเส้น เรียกว่า **เส้นกิ่ง** (Branch) หรือเป็นเส้นเดียวสองเส้นรวมกัน เรียกว่า **เส้นรวม** (Merging) ภาพลายนิ้วมือภาพหนึ่งจะมีลักษณะเช่นนี้ ปรากฏอยู่ประมาณ 50-100 แห่ง ในระบบการจดจำลายนิ้วมือ จะพิจารณาลายที่มีลักษณะโดดเด่น ให้สัมพันธ์กับตำแหน่งที่เกิดขึ้น

4.2 **ขั้นตอนของการจดจำลายนิ้วมือ**

ระบบการจดจำลายนิ้วมือสามารถแบ่งออกได้ 7 ขั้นตอน ตามแผนภาพดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

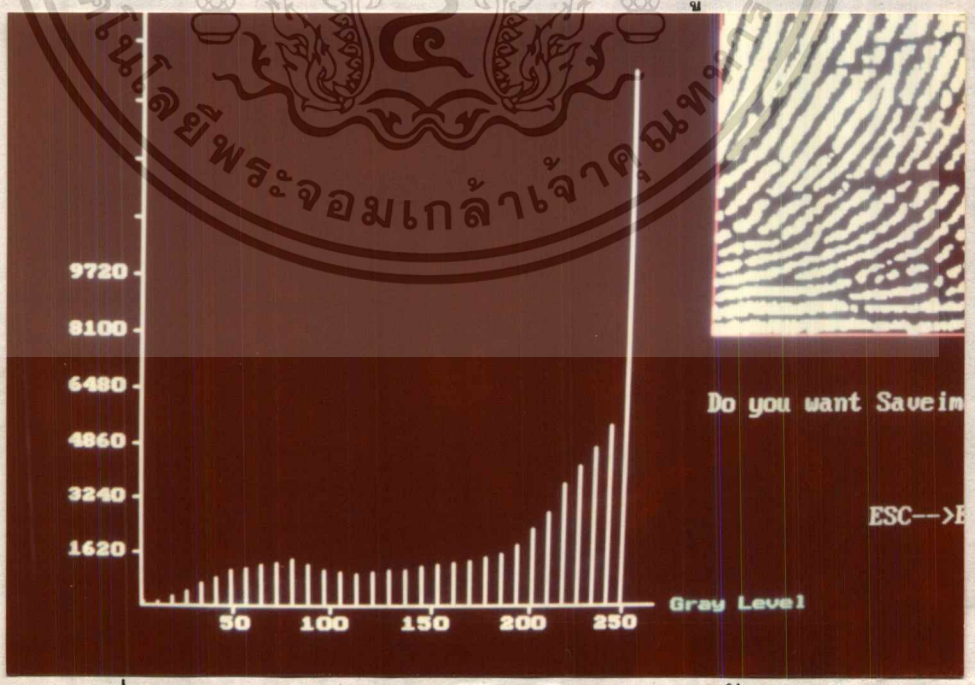
4.2.1 ขั้นตอนการพิมพ์ภาพลายนิ้วมือ

ขั้นตอนนี้เป็นการพิมพ์ภาพลายนิ้วมือด้วยหมึก และนำภาพพิมพ์ที่ได้มาทำการขยายประมาณ 8 เท่า ทำการเก็บภาพลายนิ้วมือโดยการใช้กล้องถ่ายภาพเป็นอุปกรณ์ในการรับภาพ ภาพที่ได้เป็นภาพดิจิตอล ที่มีขนาด 256*256 พิเซล ระดับความสว่าง 0-255 ระดับ(ระดับสีเทา)

เนื่องจากเราต้องการข้อมูลของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ที่มีความถูกต้องมากที่สุด ดังนั้นในการพิมพ์ภาพลายนิ้วมือด้วยหมึกพิมพ์จะมีความชัดเจนมากที่สุด ให้เกิดข้อผิดพลาดน้อยที่สุด เพราะการเกิดข้อผิดพลาดขึ้น นั้นหมายถึง เราได้ข้อมูลที่ผิด อาจนำไปสู่ความผิดพลาดในการยอมรับลายนิ้วมือของคน ๆ เดียวกันได้ ข้อผิดพลาดที่สำคัญ ได้แก่ หมึกพิมพ์เลอะ และหมึกพิมพ์ไม่ติดเป็นต้น

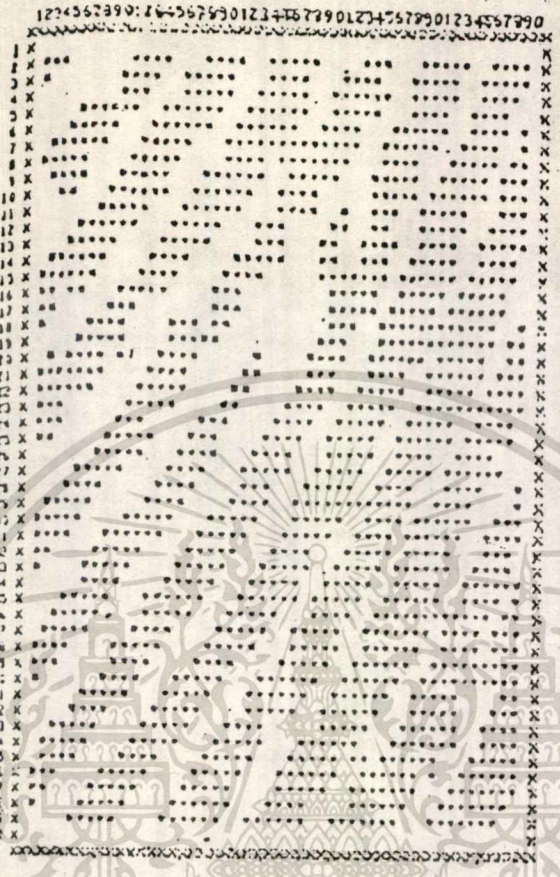
4.2.2 ขั้นตอนการเพิ่มความชัดเจนของภาพ (Picture Engncement)

เนื่องจากภาพลายนิ้วมือที่ได้รับมามีระดับความสว่าง 0-255 ระดับ การเพิ่มความชัดเจนของภาพสามารถทำได้โดย ลดระดับความสว่างของภาพ ในแต่ระพิเซล ให้เหลือเพียง 2 ระดับ ซึ่งเรียกว่า ภาพไบนารี (Binary Image) โดยการตัดระดับค่าเทรสโฮลด์ ใช้วิธีฮีสโตรแกรมในการเลือกค่าระดับความสว่าง โดยลักษณะของลายนิ้วมือจะมีค่าเป็น "1" ส่วนพื้นของลายจะมีค่าเป็น "0" ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การตัดระดับเทรสโฮลด์ของภาพลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงภาพลายนิ้วมือที่ตัดค่าเทรสโฮลด์แล้วภายใน 1 window

4.2.3 ขั้นตอนการหาจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือ

ขั้นตอนนี้เป็นการหาจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือ โดยการตรวจสอบหาของลายเส้นของลายนิ้วมือ โดยการสแกนทั้งหมด 4 แนว คือ แนวนอน (180 องศา) แนวตั้ง (90 องศา) แนวเอียงซ้าย (135 องศา) และแนวเอียงขวา (45 องศา) จุดตัดที่ได้จากการสแกนทั้ง 4 แนว จะเกิดขึ้นสองจุด จุดแรกได้จากการสแกนในแนวระดับ กับการสแกนในแนวตั้ง จุดที่สองได้จากการสแกนในแนวเอียงทั้งสอง

การสแกนในแนวนอน จะทำการสแกนโดยใช้ค่าในการสแกนประมาณ 128*128 พิเซล ซึ่งจะได้ตำแหน่งตรงกลางของภาพทั้งหมด ต่อจากนั้นทำการสแกนจากบนลงล่าง โดยสแกนทีละแถว จากซ้ายไปขวา และช่วงระหว่างแถวต่อแถวในการสแกนจะห่างกันประมาณ 5 พิเซล เพื่อลดการผิดพลาดที่เกิดจากทุกกรณี ถ้าพบขอบลายเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของลายนิ้วมือ โดยยึดขอบด้านซ้ายของลายนิ้วมือ เป็นหลักจะทำการนับจำนวนลายเส้นนิ้วมือไปเรื่อย ๆ จนหมดทั้งแถว (เก็บค่าจำนวนของลายเส้นนิ้วมือในแต่ละแถวไว้) จะทำการสแกนจนหมดทั้งภาพ แล้วจะพบว่าแถวไหนที่มีจำนวนของลายเส้นนิ้วมากที่สุด

การสแกนในแนวตั้ง จะทำการสแกนจากซ้ายไปขวา โดยการสแกนทีละคอลัมน์ จากบนลงล่าง หาจำนวนขอบลายเส้นนิ้วมือ โดยยึดขอบด้านบนเป็นหลัก ว่าคอลัมน์ไหนมีจำนวนลายเส้นมากที่สุด ซึ่งผลที่ได้จะได้จุดตัดที่เกิดขึ้นจากการสแกนในแนวนอนกับแนวตั้ง

ส่วนการสแกนในแนวเอียงซ้าย และในแนวเอียงขวา ก็เช่นเดียวกัน จะทำการสแกนหาจำนวนลายเส้นนิ้วมือที่มากที่สุด และจะได้จุดตัดที่เกิดจากการสแกนในแนวเอียงทั้งสองแนว

ซึ่งจุดตัดทั้งสองจุด อาจจะทับกันหรือไม่ทับกันก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

รูปที่ 4.4 เป็นการหาจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือ

จากนั้นจากการสแกนแนวนอน และแนวตั้ง จะได้จุดตัด หนึ่งจุด และแนวเอียงทั้งสองจะได้จุดตัดอีกหนึ่งจุด จุดตัดของแนวเอียงหาได้จากสมการเส้นตรง โดยรู้ค่า x1,y1 และ x2,y2 ในกรณีที่จุดตัดทับกัน ก็ให้ใช้จุดนั้นได้เลย แต่ถ้าไม่ทับกันจะใช้การลากเส้นเชื่อมจุดทั้งสอง แล้วหารด้วยสอง (ซึ่งค่าที่ได้อาจจะผิดพลาดได้บ้าง)

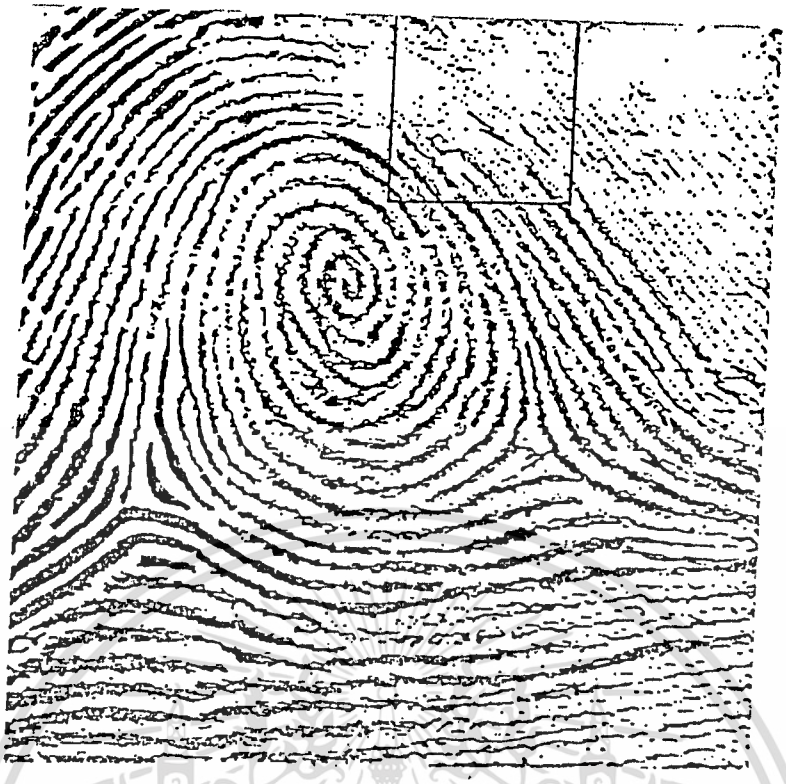
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ขั้นตอนการจัดการเบื้องต้น (Preprocessing)

ขั้นตอนนี้จะทำการแบ่งภาพลายนิ้วมือ ออกเป็นภาพย่อย ๆ จำนวนทั้งหมด 16 ส่วน เพื่อเป็นการลดความยุ่งยากในการแปลงโค๊ตต่าง ๆ โดยแบ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด 4*4 โดยแต่ละส่วนจะมีขนาด 50*50พิเซล การจำแนกลายนิ้วมือจะจำแนกแต่ละหน้าต่าง โดยไม่เกี่ยวกับหน้าต่างอื่น ๆ ดังรูป

รูปที่ 4.5 (ก) วิธีการแบ่งภาพลายนิ้วมือออกเป็น 16 ส่วน โดยยึดจุดกึ่งกลางของลายนิ้วมือเป็นเกณฑ์

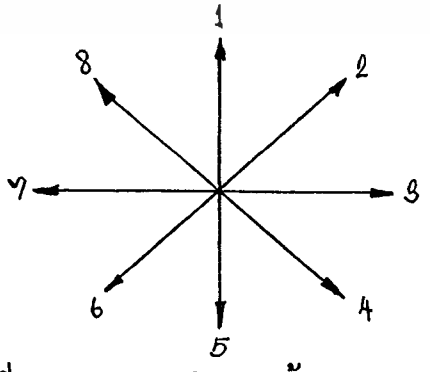
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 (ข) ภาพลายนิ้วมือที่ถูกแบ่งออกเป็น window เล็ก ๆ

จุดประสงค์ของขบวนการนี้ คือ การแทนภาพลายนิ้วมือ จาก Binary Image มาเป็นโค๊ต 8 ทิศทาง ฉะนั้นเราจะต้องมีขบวนการที่สามารถสแกนลายนิ้วมือทีละแถว (row) เมื่อพบลายนิ้วมือแล้ว จะทำการเปลี่ยนโค๊ต 8 ทิศทางทันที ข้อมูลที่เก็บได้ต้องประกอบด้วยข้อมูลที่แสดงลักษณะโดดเด่น ของลายนิ้วมือ ลายนิ้วมือแต่ละมือ แต่ละเส้นจะมีความหนาของแต่ละลายไม่เท่ากันทุกเส้น แต่ความหนาของลายนิ้วมือ แต่ละเส้นจะถูกกำจัดทิ้งไป เมื่อผ่านขั้นตอนนี้ ดังนั้นเราสามารถลดข้อมูลให้น้อยลงได้มาก โดยการแทนลายนิ้วมือที่มีความหนาของแต่ละลาย ให้เหลือเพียงเส้น ๆ เดียว

เราจะแทนข้อมูลเหล่านี้ โดยใช้ตัวเลขที่แสดงถึงทิศทางทั้ง 8 ทิศทาง แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงทิศทางทั้ง 8 ทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนลักษณะเด่นสามารถใช้สัญลักษณ์เหล่านี้แทนได้

+ หมายถึง จุดเริ่มต้นของลาย

. หมายถึง จุดสิ้นสุดของลาย

* หมายถึง ลายสองลายมาบรรจบกัน (ลายรวม)

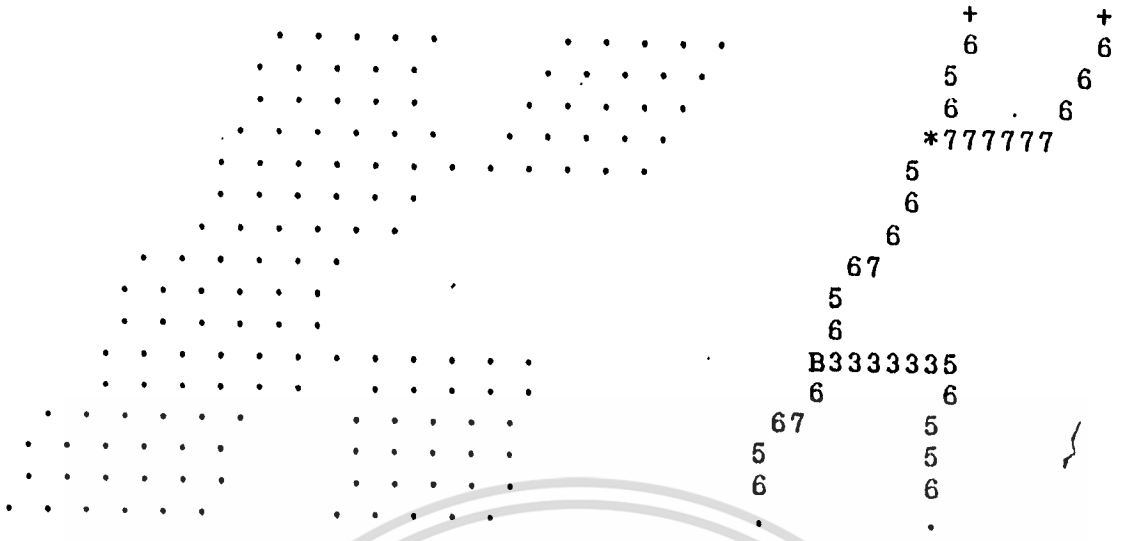
B หมายถึง ลายเดียวแยกออกเป็นสองลาย (ลายแยก)

สัญลักษณ์เหล่านี้ จะถูกแทนเมื่อพบข้อมูลในตำแหน่งทางด้านขอบซ้ายของลาย โดยการสแกนตามแนวนอน ในทิศทางเดียวกับแกน x โดยเริ่มจากพิกัดจุด (x,y) ของภาพลายนิ้วมือ จากตำแหน่งบนซ้าย (0,0) ไปจนถึงล่างขวา (255,255)

X-2 Y-2	X-1 Y-2	X Y-2	X+1 Y-2	X+2 Y-2
X-2 Y-1	X-1 Y-1	X Y-1	X+1 Y-1	X+2 Y-1
X-2 Y	X-1 Y	X Y	X+1 Y	X+2 Y
X-2 Y+1	X-1 Y+1	X Y+1	X+1 Y+1	X+2 Y+1
X-2 Y+2	X-1 Y+2	X Y+2	X+1 Y+2	X+2 Y+2

รูปที่ 4.7 แสดงตารางของตำแหน่งพิกัด (x,y) ในอิมเมจตัวอย่างของการแปลงโค๊ดตัวเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. ภาพไบนารี ของลายนิ้วมือ ข. ลายนิ้วมือที่ได้จากการแปลงโค๊ต

จากรูปข้างบน การแปลงโค๊ตจะทำการสแกนหาจุดเริ่มต้นของลาย โดยสแกนจากซ้ายไปขวา บนลงล่าง สแกนทีละแถว เมื่อพบขอบด้ายซ้ายของลาย ก็จะทำการแปลงโค๊ตเป็นตัวเลข โดยดูทิศทางของลายว่าทิศทางของลายในตำแหน่งต่อไปอยู่ทางทิศไหน ตรงกับโค๊ตเลขอะไร และมีลายรวม, ลายแยก หรือไม่ ฉะนั้นเมื่อสแกนพบลายเส้นตรงไหน เครื่องก็จะแสดงโค๊ตตัวเลข และสัญญลักษณ์ต่าง ๆ ออกมาตรงตำแหน่งนั้น ๆ จนหมดหน้าต่าง ซึ่งจะเห็นได้ว่า ภาพไบนารี ที่มีความหนาของลายไม่เท่ากัน เมื่อทำการแปลงโค๊ตแล้ว ความหนาจะถูกกำจัดทิ้งไป ลักษณะของลาย ทิศทางของลายยังเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

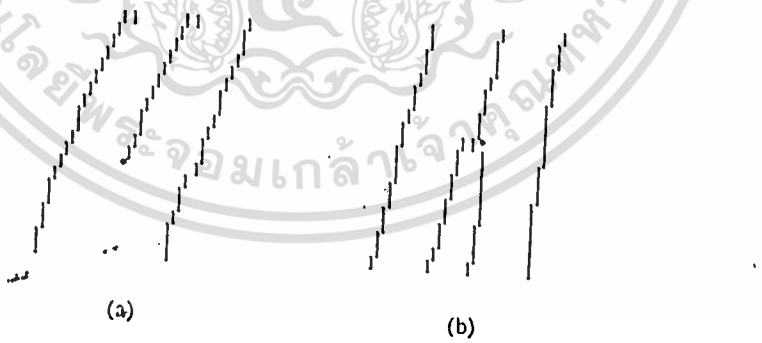
รูปตัวอย่างการเปลี่ยนภาพไบนารีมาเป็นโค๊ต 8 ทิศทาง (preprocessing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 ขั้นตอนการกำจัดขั้นสุดท้าย (Postprocessing)

ขั้นตอนนี้ เป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งในระบบการจดจำลายนิ้วมืออัตโนมัติ ถ้าไม่มีส่วนนี้ การพิสูจน์ลายนิ้วมือมีโอกาสผิดพลาดได้มาก เนื่องจากลักษณะที่โดดเด่นของลายนิ้วมือ จะถูกใช้ในระบบการจดจำลายนิ้วมือ ในการพิมพ์ลายนิ้วมือด้วยหมึกพิมพ์ จะมีปัญหากับปริมาณของหมึกที่พิมพ์ลายนิ้วมือ เช่น หมึกที่พิมพ์มากเกินไป หรือ หมึกเลอะ และ หมึกพิมพ์ที่ไม่เพียงพอ สิ่งเหล่านี้เป็นข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับลายที่มีลักษณะโดดเด่น เช่น บางส่วนของลายมีหมึกเลอะ หรือบางส่วนของลายขาดหายไป เราจะใช้คุณลักษณะของข้อมูลที่ได้จากภาพลายนิ้วมือ ในการกำจัดข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น เพราะว่า ความต่อเนื่องของลายและแนวทิศทางขนานของลาย ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ จะใช้เป็นโครงสร้างของข้อมูล เพื่อช่วยให้การตัดทอนลายนิ้วมือที่ผิดพลาดง่ายขึ้น โดยการวิเคราะห์ที่โครงสร้างของลายนิ้วมือ

คุณลักษณะ หรือ ลักษณะเด่นซึ่งถูกใช้สำหรับการพิสูจน์ลายนิ้วมือ เรียกว่า "ลักษณะโดดเด่น" ของลายนิ้วมือ (Minutiae) จุดสำคัญของการขัดขวางทางเด่นของลายตามธรรมชาติ เช่น ridge ending เป็นลายช่วงสั้น ๆ และลายแยก (bifurcation) ดังแสดงในรูปที่ 4.8

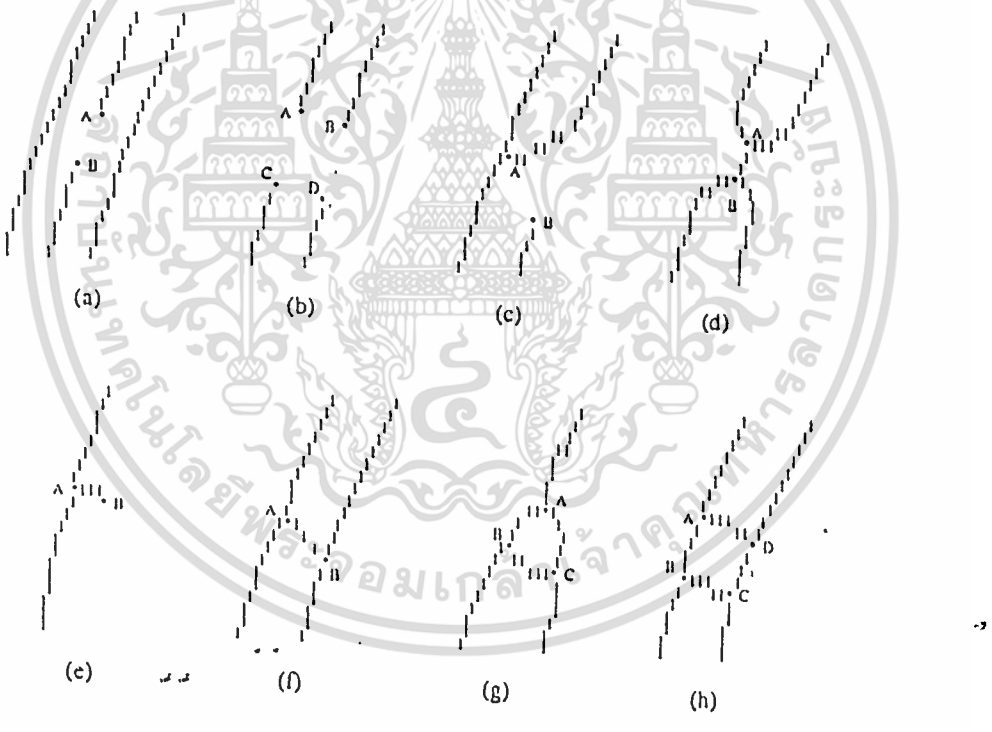


รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะโดดเด่นของลาย a, ridge ending b, bifurcation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

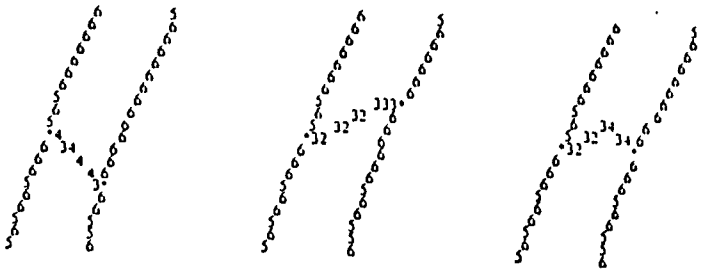
จากรูป ทางเด่นของลายนิ้วมือ จะถูกแทนด้วย "1" ส่วนลักษณะโดดเด่นจะแทนด้วย "*" ลักษณะโดดเด่นของลายนิ้วมือ จะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งเป็นสำคัญ ซึ่งในลายนิ้วมือแต่ละลายจะมีลักษณะโดดเด่นของลายอยู่ประมาณ 50-100 แห่ง

รูปที่ 4.9 แสดงถึงลักษณะโครงสร้างของลายนิ้วมือที่มีข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจริงจากการพิมพ์ลายนิ้วมือด้วยหมึก รูปที่ 4.9(a) และ (b) เป็นการณีของลายขาดเนื่องจากหมึกพิมพ์ไม่ติด รูปที่ 4.9(c) และ (d) เป็นโครงสร้างของลายนิ้วมือที่มีลักษณะการต่อของลายผิดพลาด เนื่องมาจากหมึกเลอะ รูปที่ 4.9(c) เป็นลักษณะของลายที่ไม่เรียบ เนื่องจากมีลายสั้น ๆ ที่แยกออกมา ส่วนรูปที่ 4.9(f),(g) และ (h) เป็นชนิดโครงสร้างที่มีการต่อผิดพลาดที่เรียกว่า bridge, triangle และ ladder ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 โครงสร้างพื้นฐานของลายนิ้วมือที่เกิดความผิดพลาดอันเนื่องจากหมึกพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

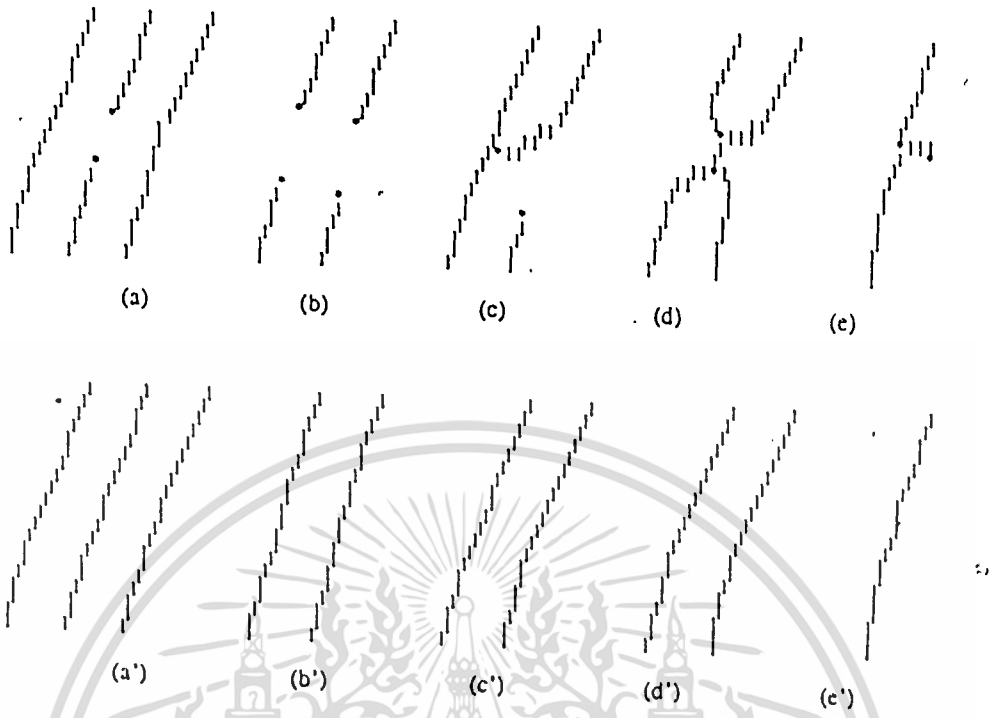


(a) (b) (c)

รูปที่ 4.10 เป็นการแสดงโครงสร้างของลายนิ้วมือแบบ bridge ทั้ง 3 แบบ ที่อยู่ในรูปของโค๊ต 8 ทิศทาง(จากขั้นตอน preporcessing)

จากรูปที่ 4.9(a) และ (b) แสดงถึงโครงสร้างของลายที่ขาด เมื่อผ่านขั้นตอนของ postprocessing แล้ว จะทำการต่อลายที่ขาดของลายทั้ง 2 ดังรูปที่ 4.11 (a')และ (b') ส่วนรูป 4.9(c) และ (d) จะทำการแยกลายที่เชื่อมกันอยู่ออกจากกัน แล้วทำการต่อลายที่ขาด ให้เป็นลายนิ้วมือ 2 เส้นขนานกันดังรูป 4.11 (c') และ (d') และรูปที่ 4.9(c) เราจะทำการกำจัดจุดต่อที่ A และ B ออกผลที่ได้จะเป็นลักษณะลายเส้นเดียวดังรูป 4.11(c')

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะโครงสร้างของลายนิ้วมือ ก่อนและหลังการกำจัดขั้นสุดท้าย (postprocessing)

เทคนิคที่สำคัญของขบวนการนี้คือ การพิสูจน์ว่า ลายสองลายที่เชื่อมกันควรจะเป็นเช่นนั้นจริงหรือไม่ เราสามารถพิจารณาได้จากตำแหน่งของ "*" หรือ "B" ลายที่เกิดจากการเลอะของหมึก จะมีส่วนของลายที่เชื่อมกันในช่วงสั้น ๆ ฉะนั้น ตำแหน่งของ "B" หรือ "*" จะอยู่ใกล้กัน (ระยะไม่เกิน 6 แถว) ที่เกิดขึ้นในลายเดียวกัน เมื่อพบลักษณะเช่นนี้ สรุปได้ว่า เป็นข้อผิดพลาดที่เกิดจากการเลอะของหมึก โปรแกรม postprocessing จะทำการแยกลายสองลายออกจากกัน ส่วนในกรณีลายบางส่วนพิมพ์ไม่ติด สามารถพิสูจน์ได้โดยการพิจารณาจุดสิ้นสุดของลาย (.) กับจุดเริ่มต้นของลาย (+) ที่อยู่ใกล้กัน (ระยะห่างไม่เกิน 6 แถว) แล้วเปรียบเทียบทิศทางของลายทั้งสองว่ามีทิศทางเดียวกันหรือไม่ แล้วตัดสินใจว่าลายทั้งสอง ควรจะต่อกันหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างกรณีหมึกเลอะ

ก. ลายนิ้วมือที่ได้จาก preprocessing ข. ลายนิ้วมือที่ได้จาก postprocessing (กรณีหมึกเลอะ)

จากตัวอย่างข้างบน จะเห็นว่า มีลายรวม "*" และลายแยก "B" อยู่ใกล้กัน ระยะห่างของ "*" และ "B" ไม่เกิน 6 แถว และเกิดขึ้นในลายเดียวกัน ขั้นตอนของ postprocessing จะทำการแยกลายออกเป็นสองลาย โดยจะทำการกำจัดลายที่เชื่อมกัน (เลข 7) ออก แล้วจะทำการกำจัดลายที่แยก(เลข 3) ออก แล้วทำการต่อลาย (B) ที่ขาดให้เป็นลายเดียว โดยจะทำการต่อลายด้วยโค๊ตเลข (5) ลงมาเรื่อย ๆ ดังรูป ข(B')ส่วนลาย (A) ตำแหน่งของ "*" และ "B" จะถูกเปลี่ยนเป็นโค๊ตตัวเลข โดยพิจารณาว่าในตำแหน่งต่อไปนั้นอยู่ทางทิศไหน ตรงกับโค๊ตเลขอะไร ซึ่งจากตัวอย่างจะตรงกับโค๊ตเลข 5 เนื่องจากตำแหน่งที่ต่อจาก "*" อยู่ในตำแหน่งทิศของเลข 5 ส่วนในกรณีของ "B" ก็เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าหากลายรวม "*" กับ "*" หรือ ลายแยก "B" กับ "B" อยู่ใกล้กันในลายเดียวกัน ขั้นตอนของ postprocessing นี้จะไม่ทำการแยกลายทั้งสองออกจากกัน เพราะไม่ถือว่าเป็นกรณีของหมึกเลอะ

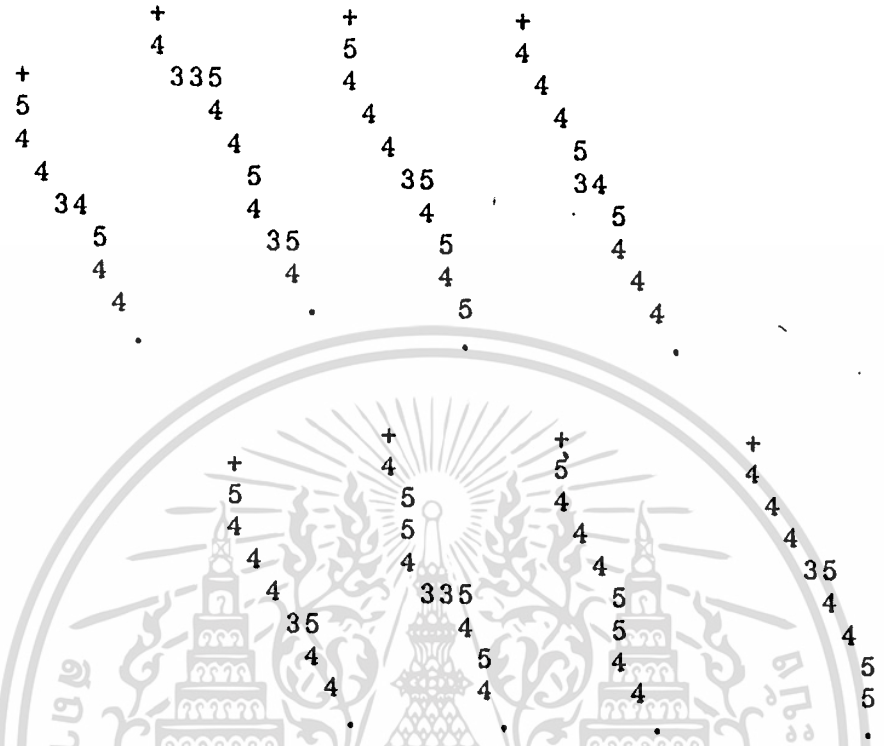
ตัวอย่างกรณีลายพิมพ์ไม่ติด (หมึกขาด)

ก. ลายที่ได้จาก preprocessing ข. ลายที่ได้จาก postprocessing

จากตัวอย่างข้างบน จะเห็นว่า มีจุดสิ้นสุดของลาย "." กับจุดเริ่มต้นของลาย "+" อยู่ห่างกันไม่เกิน 6 แถว และทิศทางของลายทั้งสองอยู่ในทิศทางเดียวกัน สามารถที่ต่อกันได้ ผลที่ได้จากขั้นตอนของ postprocessing จะทำการต่อลายทั้งสองเข้าด้วยกัน โดยใช้โค๊ดเลข(5) ต่อให้เป็นลายเดียวกัน ดังรูป ข.

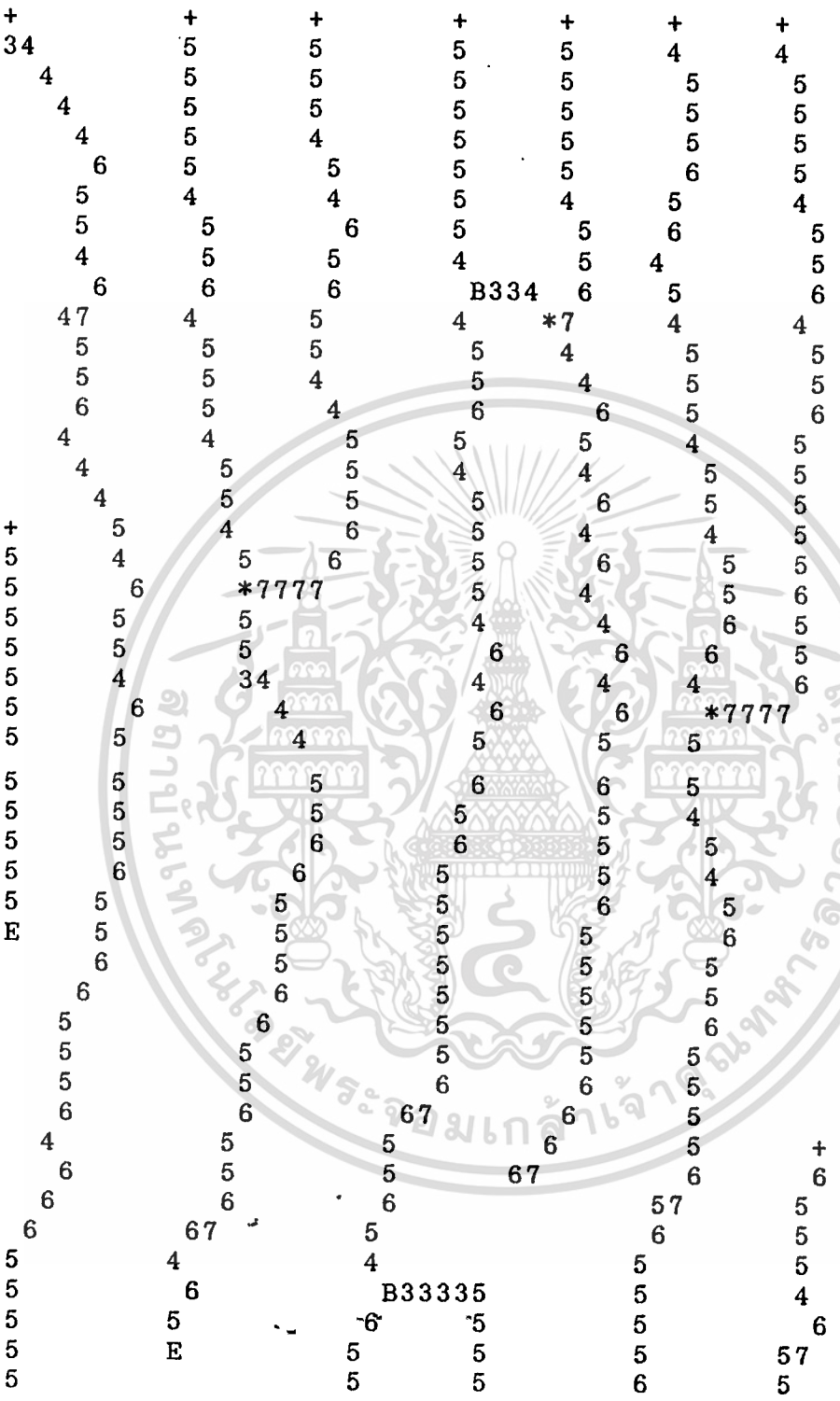
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างกรณีของลายขาดที่ไม่สามารถต่อลายได้



จากตัวอย่างข้างบน ไม่สามารถที่จะทำการต่อลายที่ขาดของแต่ละลาย ได้ เนื่องจากลายที่ขาดในกรณีนี้ไม่ได้เกิดจากการที่พิมพ์หมึกไม่ติด แต่เป็นลักษณะของลายนิ้วมือที่ขาดเนื่องจากแผลเป็น หรือ ลักษณะของลายนิ้วมือเอง ซึ่งลายขาดนี้จะไม่เปลี่ยนแปลงและจะคงอยู่ในลักษณะเช่นนี้ตลอดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตัวอย่างโค๊ต 8 ทิศทางที่ผ่านขบวนการ postprocessing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 ขั้นตอนการแปลงโค๊ตตัวอักษร

ขั้นตอนนี้ เป็นการลดข้อมูลขั้นสุดท้าย และจะทำการเก็บโค๊ตตัวอักษรที่ได้เป็นข้อมูลของแต่ละลายนิ้วมือ การเปลี่ยนโค๊ตตัวเลขที่แสดงทิศทางของลายนิ้วมือ จากขั้นตอนของ postprocessing มาเป็นโค๊ตตัวอักษร โดยการแปลงโค๊ตทีละลาย ในทุก ๆ 7 แถว(row) ของโค๊ตตัวเลข จะถูกแปลงมาเป็นโค๊ตตัวอักษร 1 ตัว จะทำการแปลงโค๊ตจนสิ้นสุดของลาย การเก็บโค๊ตตัวอักษรจะเก็บในรูปของไวยากรณ์แบบที (Tree grammar) โดยจะเรียงลำดับความสำสัญก่อนหลังของลายนิ้วมือที่เกิดขึ้นในแต่ละหน้าต่าง โดยจะเรียงลำดับความสำคัญจากซ้ายไปขวา และจากบนลงล่าง ของลายนิ้วมือที่มีความสำคัญสูงสุด

แสดงโค๊ตตัวอักษรที่แทนลักษณะลายเส้นของลายนิ้วมือ

ลักษณะ	โค๊ต
	A
	B
	C
	D
	E
	F
	G
	X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะ	โค๊ต
	*
จุดสิ้นสุดของลาย	-
อื่น ๆ	M

4.2.6 วิธีในการแปลงโค๊ตตัวอักษร

การแปลงโค๊ตตัวเลขทุก ๆ 7 แถว จะได้โค๊ตตัวอักษร 1 ตัว ลักษณะของการแปลงโค๊ต จะทำการแปลงโค๊ตทีละลาย และลักษณะของการเก็บข้อมูลลายนั้นจะอยู่ในรูปของ f(x,y); ดังนั้น หลักการแปลงโค๊ตตัวอักษรสามารถทำได้ดังนี้

- ในแถวที่ 1 (y=1) จะเก็บค่า x ที่ตำแหน่งโค๊ตตัวเลขของลาย ไว้ที่ตัวแปร x_1
- ในแถวที่ 4 (y=4) จะเก็บค่า x ที่ตำแหน่งโค๊ตตัวเลขของลาย(ตัวแรก) ไว้ที่ตัวแปร x_2
- ในแถวที่ 7 (y=7) จะเก็บค่า x ที่ตำแหน่งโค๊ตตัวเลขของลาย(ตัวแรก) ไว้ที่ตัวแปร x_3

เงื่อนไขของการแปลงโค๊ตตัวอักษร

กรณีที่ 1 ($X_2<X_1$) /*ลักษณะลายเส้นของลายนิ้วมือเอียงไปทางซ้าย*/

โค๊ต A ได้จาก $(X_1-X_2)>(X_2-X_3)$

โค๊ต D ได้จาก $(X_1-X_2)<(X_2-X_3)$

กรณีที่ 2 ($X_2>X_1$) /*ลักษณะลายเส้นของลายนิ้วมือเอียงไปทางขวา*/

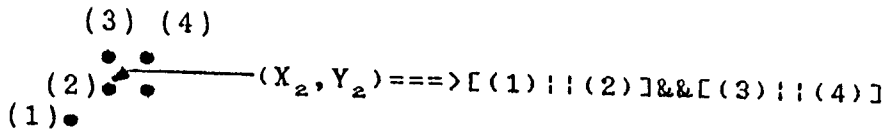
โค๊ต B ได้จาก $(X_3-X_2)<(X_2-X_1)$

โค๊ต C ได้จาก $(X_3-X_2)>(X_2-X_1)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

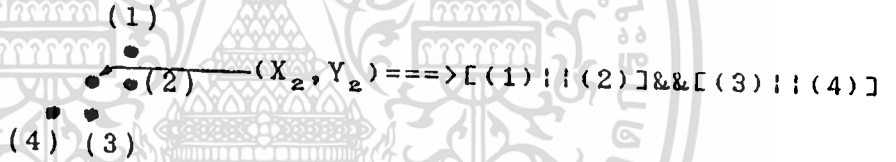
กรณีที่ 3 $(X_1-X_2)=(X_2-X_3)$

โค๊ต A ได้จากเงื่อนไขต่อไปนี้



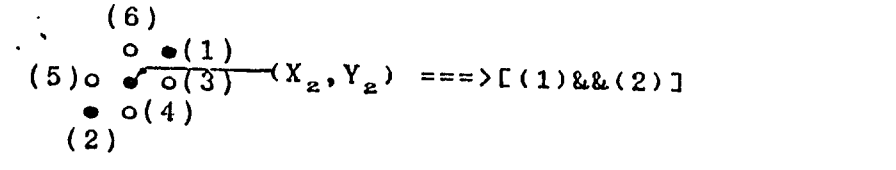
ตำแหน่งของ $f[Y_2+1][X_2-1]$ คือ node(1) หรือ $f[Y_2][X_2-1]$ คือ node(2) มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ (คือมีโค๊ตตัวเลข 8 ทิศทางอยู่ในตำแหน่งนั้น) และ $f[Y_2-1][X_2]$ คือ node(3) หรือ $f[Y_2-1][X_2+1]$ คือ node(4) มีค่าไม่เท่ากับศูนย์

โค๊ต D ได้จากเงื่อนไขต่อไปนี้



ตำแหน่งของ $f[Y_2-1][X_2+1]$ คือ node(1) หรือ $f[Y_2][X_2+1]$ คือ node(2) มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ และ $f[Y_2+1][X_2]$ คือ node(3) หรือ $f[Y_2+1][X_2-1]$ คือ node(4) มีค่าไม่เท่ากับศูนย์

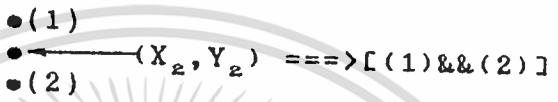
โค๊ต E ได้จากเงื่อนไขต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งของ $f[Y_2-1][x_2+1]$ คือ node(1) และ $f[Y_2+1][X_2-1]$ คือ node(2) มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ส่วน node(3),(4),(5) และ (6) จะต้องมีค่าเท่ากับศูนย์ (คือไม่มีโค๊ตตัวเลข 8 ทิศทางอยู่ในตำแหน่งนั้น)

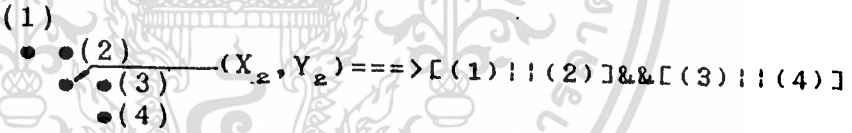
โค๊ต G ได้จากเงื่อนไขต่อไปนี้



ตำแหน่งของ $f[Y_2-1][X_2]$ คือ node(1) และ $f[Y_2+1][X_2]$ คือ node(2) มีค่าไม่เท่ากับศูนย์

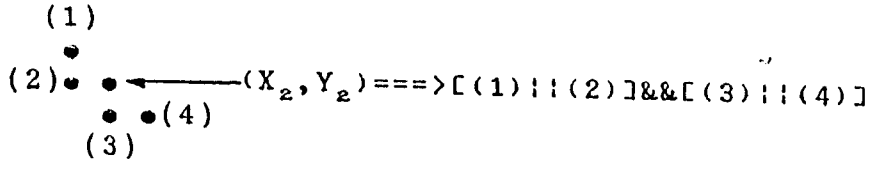
กรณีที่ 4 $(X_3-X_2)=(X_2-X_1)$

โค๊ต B ได้จากเงื่อนไขต่อไปนี้



ตำแหน่งของ $f[Y_2-1][X_2-1]$ คือ node(1) หรือ $f[Y_2][X_2-1]$ คือ node(2). มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ และ $f[Y_2][X_2+1]$ คือ node(3) หรือ $f[Y_2+1][X_2+1]$ คือ node(4) มีค่าไม่เท่ากับศูนย์

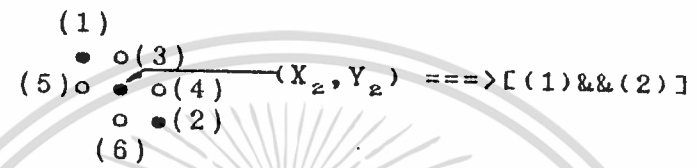
โค๊ต C ได้จากเงื่อนไขต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

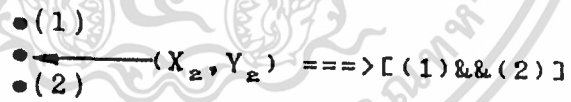
ตำแหน่งของ $f[Y_2-1][X_2-1]$ คือ node(1) หรือ $f[Y_2][X_2-1]$ คือ node(2) มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ และ $f[Y_2+1][X_2]$ คือ node(3) หรือ $f[Y_2+1][X_2+1]$ คือ node(4) มีค่าไม่เท่ากับศูนย์

โค๊ต F ได้จากเงื่อนไขต่อไปนี้



ตำแหน่งของ $f[Y_2-1][X_2-1]$ คือ node(1) และ $f[Y_2+1][X_2+1]$ คือ node(2) มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ส่วน node(3),(4),(5) และ (6) จะต้องมีค่าเท่ากับศูนย์

โค๊ต G ได้จากเงื่อนไขต่อไปนี้



ตำแหน่งของ $f[Y_2-1][X_2]$ คือ node(1) และ $f[Y_2+1][X_2]$ คือ node(2) มีค่าไม่เท่ากับศูนย์

กรณีที่ 5 นอกเหนือจากเงื่อนไขที่กล่าวมาแล้วให้มีโค๊ต M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการแปลงโค๊ตตัวอักษร

```
(I)        (II)
 +          +
 5(X1,Y1) 5                  (III)          (IV)
  4          34                +              +
   4           4                 6(X1,Y1)       5(X1,Y1)
    4 (X2,Y2) 4(X2,Y2)          5              5
     4          5               5              6
      4          4               6(X2,Y2)       5(X2,Y2)
       5(X3,Y3) 6(X3,Y3)        5              5
       4          6             5              6
        5       6                5(X3,Y3)       5(X3,Y3)
        *77777                   6              5
        5     (X1,Y1)          6                5
        6                    6(X2,Y2)           5(X2,Y2)
       6                   5                    6
      5 (X2,Y2)            6                  4
      5                  6(X3,Y3)              5(X3,Y3)
      6                5                       B3333335     (X1,Y1)
     6 (X3,Y3)         6                      5(X1,Y1)5
    5                5(X2,Y2)                 4          34
    .                6                        5        4(X2,Y2)
                   67                         4(X2,Y2)   4
                  6(X3,Y3)                     5          5
                 .                             5          5(X3,Y3)
                                               4(X3,Y3)   6
```

ก. วิธีการแปลงโค๊ตตัวเลข 8 ทิศทาง มาเป็นโค๊ตตัวอักษร

โค๊ตตัวอักษรที่ได้จากรูป ก. จะถูกเก็บอยู่ในรูปของไวยกรณ์แบบที โดยเรียงลำดับลายที่มีความสำคัญสูงสุด (I) เก็บไว้ในคอลัมน์ทางซ้ายดังรูป

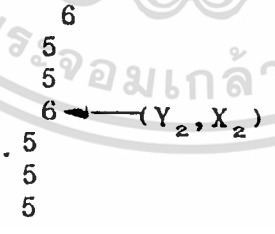
(I)	(II)	(III)	(IV)	
C	B	A	D	
*		E	G	
A		D	X	
.		.	B	F
			.	.

ข. แสดงลักษณะการเก็บโค๊ตตัวอักษรในรูปของไวยกรณ์แบบที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

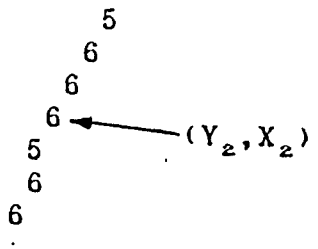
จากตัวอย่างข้างบน ลายแรก (I) จากการสแกนโค๊ตตัวเลขได้ 7 แถว (row) จะได้ [$(X_3-X_2)=3$] และ [$(X_2-X_1)=2$] เพราะฉนั้น [$(X_3-X_2)>(X_2-X_1)$] จะได้โค๊ต "C" และเมื่อทำการสแกนลาย (I) มาเรื่อย ๆ มาเจอลายรวม "*" จะได้โค๊ต "*" ทันที และทำการสแกนลายต่อจาก "*" จะเห็นว่า [$(X_1-X_2)=2$] และ [$(X_2-X_3)=1$] ผลที่ได้ [$(X_1-X_2)>(X_2-X_3)$] จะได้โค๊ต "A" และจะทำการสแนมาเรื่อย ๆ จนพบจุดสิ้นสุดของลาย "." ซึ่งไม่ครบ 7 แถว จะได้โค๊ต "." เป็นจุดสุดท้ายของลาย ในการแปลงโค๊ตตัวอักษร และกับไปที่ตำแหน่ง "*" เพื่อที่จะทำการตรวจเช็คขึ้นไปเรื่อย ๆ ว่าจุดเริ่มต้นของลายที่ (II) อยู่ที่ตำแหน่งไหน เมื่อพบจุดเริ่มต้นของลายที่ (II) แล้วก็จะทำการแปลงโค๊ตตัวอักษร โดยผลที่ได้ [$(X_2-X_1)=3$] และ [$(X_3-X_2)=2$] ฉะนั้น [$(X_3-X_2)<(X_2-X_1)$] จะได้โค๊ต "B" และทำการสแกนมาเรื่อย ๆ จนพบ "*" ที่ถูกสแกนไปแล้วในลายที่ (I) และในช่วงที่สแกนมาไม่ได้ 7 แถว จึงไม่สามารถเก็บโค๊ตตัวอักษรได้

ส่วนลายที่ (III) จากการสแกนโค๊ตตัวเลข 7 แถว แรกจะได้ [$(X_1-X_2)=1$] และ [$(X_2-X_3)=1$] อยู่ในเงื่อนไขของ [$(X_1-X_2)=(X_2-X_3)$] จะต้องพิจารณาที่ (Y_2,X_2) ดังรูป



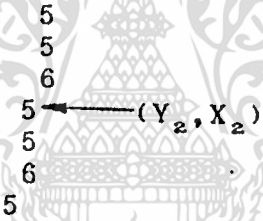
จะเห็นได้ว่า อยู่ในกรณีที่ 3 โค๊ต "A" นั่นเอง ทำการสแกนต่อไป ตำแหน่งของ (X_3,Y_3) จะถูกกำหนดเป็นตำแหน่งของ (X_1,Y_1) แล้วทำการสแกนจนครบ 7 แถว จะได้ [$(X_1-X_2)=2$] และ [$(X_2-X_3)=2$] จะเห็นว่า [$(X_1-X_2)=(X_2-X_3)$] ซึ่งอยู่ในกรณีที่ 3 พิจารณาที่ตำแหน่ง (X_2,Y_2) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



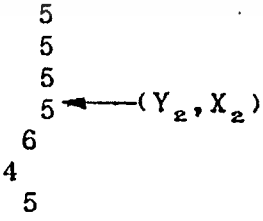
จะเห็นว่าอยู่ในกรณีของโค๊ต "E" เมื่อทำการสแกนต่อไป โดยให้ตำแหน่งของ (X_3, Y_3) เป็นตำแหน่งของ (X_1, Y_1) แล้วทำการสแกนจนครบ 7 แถว จะได้ $[(X_1-X_2)=1]$และ $[(X_2-X_3)=4]$ จะเห็นว่า $[(X_1-X_2)<(X_2-X_3)]$ซึ่งอยู่ในกรณีที่ 1 ตรงกับโค๊ต "D"

ส่วนลายที่ (IV) จาก 7 แถวแรก จะได้ $[(X_1-X_2)=1]$ และ $[(X_2-X_3)=1]$ จะเห็นว่า $[(X_1-X_2)=(X_2-X_3)]$ ซึ่งอยู่ในกรณีที่ 3 พิจารณาที่ตำแหน่ง (Y_2, X_2) ดังรูป



จะเห็นได้ว่าอยู่ในกรณีของโค๊ต "D"

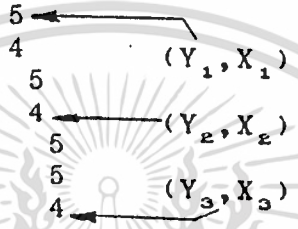
ส่วนในการแปลงโค๊ตตัวอักษรตัวที่ 2 (7 แถวต่อมา) ของลายที่ (IV) ที่ตำแหน่ง (X_3, Y_3) จะถูกกำหนดให้เป็นตำแหน่งของ (X_1, Y_1) จะได้ $[(X_1-X_2)=0]$ และ $[(X_2-X_3)=0]$ ซึ่งอยู่ในกรณีที่ 3 ต้องพิจารณาที่ตำแหน่ง (Y_2, X_2) ต่อ ดังรูป



จะเห็นว่าอยู่ในกรณีของโค๊ต "G"

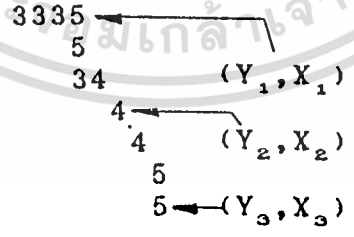
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อทำการสแกนมาเจอลายแยก "B" เราจะได้โค๊ตตัว "X" ทันที แล้วเลื่อนลงมาทำการแปลงโค๊ตตัวอักษรของลายทางซ้ายก่อน โดยเราจะกำหนดโค๊ตตัวเลขที่ต่อจาก "B" คือเลข (5) เป็นตำแหน่ง (X_1,Y_1) แล้วทำการสแกนมาเรื่อย ๆ จนครบ 7 แถว จะได้ $[(X_3-X_2)=1]$ และ $[(X_2-X_1)=1]$ เพราะฉนั้น $[(X_3-X_2)=(X_2-X_1)]$ ซึ่งอยู่ในกรณีที่ 4 ต้องพิจารณาที่ตำแหน่ง (Y_2,X_2) ต่อไป ดังรูป



จะเห็นว่าอยู่ในกรณีของโค๊ต "B"

เมื่อทำการสแกนมาจนถึงจุดสิ้นสุดของลายเราจะได้โค๊ต "." ทันที และเราจะกลับไปที่ตำแหน่งของ "B" เพื่อที่จะทำการแปลงโค๊ตของลายทางขวาที่ยังไม่ได้ทำการแปลงโค๊ต โดยจะกำหนดตำแหน่งของ (X_1,Y_1) ตรงตำแหน่งโค๊ตตัวเลขที่ไม่ใช่เลข (3) ซึ่งในที่ตัวอย่างนี้ตรงกับเลข (5) ดังรูป จะได้ว่า $[(X_3-X_2)=2]$ และ $[(X_2-X_1)=2]$ เพราะฉนั้น $[(X_3-X_2)=(X_2-X_1)]$ ซึ่งอยู่ในกรณีที่ 4 ต้องพิจารณาที่จุด (X_2,Y_2) ดังรูป



จะเห็นได้ว่าอยู่ในกรณีของโค๊ต "F" และเมื่อทำการสแกนมาเรื่อย ๆ จะเจอจุดสิ้นสุดของลาย เราจะได้โค๊ต "." ทันที

ซึ่งผลที่ได้จากการแปลงโค๊ตตัวอักษรนี้ จะทำให้ข้อมูลของลายนิ้วมือมีจำนวนน้อยลง (โค๊ตตัวอักษร 1 ตัว จะได้จากโค๊ตตัวเลขตั้งแต่ 7 ตัวขึ้นไป) ซึ่งเราจะเก็บข้อมูลของขั้นตอนนี้ไว้ในการตรวจสอบลายนิ้วมือต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
R  R  R  R     R  R  R  R
B  C  C  G     C  B  G  G  A
G  A  A  X        C  A  G  D
C  *  B  B  *     G  A  D  .
G  F     G  B     *  D  .
D  A     D  F     C  .
A  A     G  D     A
D  A     A  .     D
D  B     X        D
.  .     D        .
            .
```

ผลที่ได้จากการแปลงโค๊ต 8 ทิศทางมาเป็นโค๊ตตัวอักษร

4.2.7 ขั้นตอนการจำแนกลายนิ้วมือ

จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้คือ การพิสูจน์ว่าลายนิ้วมือที่นำมาตรวจสอบว่า เป็นของใคร โดยการนำภาพลายนิ้วมือที่จะทำการตรวจสอบ มาผ่านขบวนการทั้ง 6 ขั้นตอนก่อน แล้วนำโค๊ตตัวอักษรที่ได้ มาทำการเปรียบเทียบกับโค๊ตตัวอักษรของข้อมูลที่มีอยู่ ว่าตรงกับโค๊ตตัวอักษรของใคร ซึ่งการตรวจสอบจะมีหลักการคือ ทำการนำข้อมูลของตัวอักษรที่มีอยู่แล้วมาทีละ windows แล้วทำการเปรียบเทียบตัวอักษรทุกตัวในแต่ละ windows ว่าแตกต่างกันหรือไม่ ถ้าแตกต่างกันแสดงว่า windows นั้นมีข้อมูลไม่เหมือนกัน แล้วทำการเปรียบเทียบ windows ต่อไปจนครบทั้ง 16 windows และถ้าข้อมูลที่จะยอมรับได้ว่าเป็นลายนิ้วมือของคน ๆ เดียวกันนั้น จะต้องมี windows ที่เหมือนกันมากกว่า หรือเท่ากับ 14 windows จึงจะถือว่าเป็นคน ๆ เดียวกัน แต่ถ้ามีข้อมูลที่น้อยกว่านั้น จะทำการหาข้อมูลของคนอื่นต่อไปที่มีอยู่ ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไข ก็ถือว่าเป็นคน ๆ นั้น แต่ถ้าไม่เจอ และไม่มีข้อมูลอยู่ก็บอกได้ว่า ลายนิ้วนั้นไม่มีฐานข้อมูลอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง และสรุปโครงงาน

ผลการทดลองของโปรแกรมการจดจำลายนิ้วมือ

1. ภาพลายนิ้วมือ ที่ใช้เป็นภาพอินพุทของโปรแกรมการจดจำลายนิ้วมือ ซึ่งเป็นภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพ โดยการรับภาพลายนิ้วมือจากภาพพิมพ์ลายนิ้วมือด้วยหมึกที่ทำการขยาย 8 เท่า

รูปที่ 1 ภาพลายนิ้วมือที่ใช้เป็นภาพอินพุทของโปรแกรมจดจำลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงาน และปริญญานิพนธ์นี้มีอาจที่จะสำเร็จลงได้ตามวัตถุประสงค์ ถ้าขาดความร่วมมือและคำแนะนำต่าง ๆ ดังนั้นในนามของผู้จัดทำจึงต้องขอขอบคุณแก่ผู้ให้ความร่วมมือทุกฝ่าย อาทิ อาจารย์ เพื่อน ๆ ทุกคนที่ได้ช่วยในการให้ข้อคิดเห็น ตลอดผู้ร่วมงานในกลุ่มทุกคนที่ได้ช่วยกันแก้ปัญหา และสุดท้ายคือ อาจารย์ เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทุกด้านในการทำวิจัยครั้งนี้อย่างมาก ตลอดจนจัดสรรหาเครื่องมือในการทดลอง และหวังว่าความดีที่ได้จากปริญญานิพนธ์นี้ ขอมอบกลับสู่ผู้ที่ให้ความร่วมมือ และกำลังใจทุกท่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REFERENCE

[1] KAMESWARE RAO and EDNNETH BALCK "Type Classification of Fingerprints: A Syntactic Approach" IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, Vol. PAMI-2 No.3 MAY 1980 pp 223-231

[2] KING-SUN FU, "Grammatical Inference: Introduction and Survey-Part II" IEEE Transactions on Pattern analysis and machine intelligence, Vol. PAMI8 No.3, MAY 1984 pp 360-375

[3] KING-SUN FU and BHARAT K. BHARGAVA "Tree System for Syntactic Pattern Recognition" IEEE Trans. comput. Vol C-22 DECEMBER 1973 pp 1087-1098

[4] JULIUS T. TOU and RAFAEL C. GONZALEZ "Pattern Recognition Principles"

[5] K.S.FU "Syntactic Methodes in Pattern Recognition" Vol 112

[6] ADRIAN LOW "Introductory Computer Vision and Image Processing"

[7] "FINGERPRINT RECOGNITION SYSTEM" ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้