สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การตรวจสอบความถูกต้องของลายเซ็นประเภทออฟไลน์

AN OFF-LINE SIGNATURE VERIFICATION

โดย

นางสาววรรณพินิต กฤษณะวานิช

นายวินิจ สุวิมลศุภกร

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62631
วัน,เดือน,ปี 21 ส.ค. 2549

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AN OFF-LINE SIGNATURE VERIFICATION

BY

MISS WANPINIT KRISANAVANIT

MR. WINID SUWIMONSUPPAKORN

A THESIS SUBMITTED IN PARTAIL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การตรวจสอบความถูกต้องลายเซ็นของลายเซ็นประเภทออฟไลน์
TITLE	An Off-line Signature Verification
โดย	**นางสาววรรณพินิต กฤษณะวานิช รหัสประจำตัว 45010669**
	นายวินิจ สุวิมลศุภกร รหัสประจำตัว 45010715
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร.พิทักษ์ ธรรมวาริน
ระดับการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2548

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบจากอาจารย์ที่ปรึกษาเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

.....

(ดร.พิทักษ์ ธรรมวาริน)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การตรวจสอบความถูกต้องของลายเซ็นประเภทประเภทออฟไลน์	
ชื่อนักศึกษา	นางสาววรรณพินิต กฤษณะวานิช	รหัสนักศึกษา 45010669
	นายวินิจ สุวิมลศุภกร	รหัสนักศึกษา 45010715
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.พิทักษ์ ธรรมวาริน	
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ	
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ	
ปีการศึกษา	2548	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการตรวจสอบความถูกต้องของลายเซ็นประเภทออฟไลน์ โดยจะทำการจัดเก็บลายเซ็นลงบนคอมพิวเตอร์ด้วยสแกนเนอร์ สามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานได้เป็น 3 ขั้น ขั้นแรกเป็นการเตรียมลายเซ็นที่ได้จากสแกนเนอร์ให้อยู่ในมาตรฐานและรูปแบบเดียวกันเพื่อลดความเบี่ยงเบนของลายเซ็นและเพิ่มความถูกต้องในการตรวจสอบ ขั้นที่สองจะเป็นการดึงคุณลักษณะเด่น (Feature) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวบุคคลที่ได้จากลายเซ็นของแต่ละบุคคล ซึ่งในปริญญานิพนธ์นี้ ลักษณะเด่นดังกล่าวแสดงได้โดยค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของค่าระดับสีเทาที่ได้จากภาพของลายเซ็น และขั้นสุดท้ายคือการตรวจสอบความถูกต้องของลายเซ็นกระทำโดยการคำนวณค่าระยะทางแบบยูคลิดระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่คำนวณจากลายเซ็นอ้างอิงและลายเซ็นที่นำมาตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	An Off-line Signature Verification	
Student	Miss Wanpinit Krisanavanit	ID. 45010669
	Mr.Winid Suwimonsuppakorn	ID.45010715
Advisor	Dr.Pitak Thumwarin	
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering	
Department	Information Engineering	
Academic Year	2005	

Abstract

This thesis presents an off-line signature verification method. First, the signature was collected by using scanner and collected its image into computer. Then the fluctuation of the *signature can be reduced by using the pre-processing process. Second, the feature of handwriting* which is the individual feature for the particular person was extracted. In this thesis, the feature of *handwriting was represented by the Fourier coefficients of gray level obtained from an image of* the signature. Finally, the signature can be verified by the Euclidean distance between the Fourier *coefficients obtained from the reference signature and the signature to be verified.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจสำเร็จไปได้ หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและความร่วมมือจากบุคคลหลายฝ่ายด้วยกัน บุคคลสำคัญได้แก่ อาจารย์พิทักษ์ ธรรมวาริน อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ผู้ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ ให้คำปรึกษา รวมทั้งตรวจแก้ไข และเอาใจใส่ห่วงใยเป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาทั้งหมดที่ทำปริญญานิพนธ์ ซึ่งขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกๆท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ วิชาการต่างๆ อีกทั้งคำแนะนำทั้งทางด้านการศึกษา การทำงาน แนวความคิดต่างๆ รวมถึงกำลังใจและความช่วยเหลือเมื่อประสบปัญหา รวมถึงเพื่อนๆร่วมภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ที่ให้กำลังใจ ความช่วยเหลือและความร่วมมืออันดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดที่ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้คือ บิดา มารดาที่เคารพรักยิ่ง ผู้เป็นกำลังและสนับสนุนในทุกๆด้าน จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

นางสาววรรณพินิต กฤษณะวานิช

นายวินิจ สุวิมลศุภกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย			ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ			ข
กิตติกรรมประกาศ			ค
สารบัญ			ง
สารบัญรูป			ฉ
สารบัญตาราง			ช
บทที่ 1	**บทนำ**		
	1.1	แนวคิดและที่มาของปัญหา	1
	1.2	วัตถุประสงค์	1
	1.3	ขอบเขตของโครงงาน	1
	1.4	ระบบการทำงาน	2
	1.5	ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน	2
บทที่ 2	**ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**		
	2.1	ชีวมาตร (Biometrics)	3
		2.1.1 ความหมาย	3
		2.1.2 ประเภทของลายเซ็น	4
		2.1.3 คุณลักษณะเด่นของลายเซ็น (Signature features)	6
		2.1.4 ระบบการตรวจสอบลายเซ็น (Signature verification system)	7
		2.1.5 ตัววัดความแม่นยำทางเทคนิค	9
	2.2	การประมาณค่าด้วยฟูเรียร์ (Fourier Approximation)	10
	2.3	การวัดระยะแบบยูคลิด (Euclidean distance)	13
บทที่ 3	**ขั้นตอนการทำงานและการวิเคราะห์**		
	3.1	ขั้นตอนเบื้องต้นในการทำงาน (Preprocessing)	14
		3.1.1 การรับภาพจากสแกนเนอร์	14
		3.1.2 การกำจัดสิ่งรบกวนในภาพ (Removing Noise)	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	3.1.3	การแปลงสีของภาพ (Image color)	15
	3.1.4	การหากรอบภาพ	17
3.2	การดึงคุณลักษณะเด่นของลายเซ็น (Feature extraction)		18
	3.2.1	การแบ่งจำนวนเซลล์ (Cell) กับการวิเคราะห์	18
	3.2.2	รูปร่างของรายเซ็น	23
	3.2.3	การวิเคราะห์ภาพระดับสีเทา	25
	3.2.4	การประยุกต์ใช้อนุกรมฟูเรียร์	27
3.3	การตรวจสอบความถูกต้อง (Signature verification)		29
	3.3.1	ลายเซ็นตัวอย่างหรือข้อมูลอ้างอิง (Training Data)	29
	3.3.2	การตรวจสอบโดยหาระยะแบบยูคลิด	32
	3.3.3	การวัดประสิทธิภาพ	33
บทที่ 4	**ผลการทดลองและการวิเคราะห์**		
4.1	ฐานข้อมูล		35
4.2	ผลการทดลอง		35
	4.1.1	การทดลองโดยการตรวจสอบรูปร่างของลายเซ็น	35
	4.1.2	การทดลองโดยอาศัยคุณลักษณะเด่นแบบพลวัตเทียม	39
บทที่ 5	**สรุป**		
5.1	สรุปผลการทำงาน		42
5.2	ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงาน		42
5.3	แนวทางในการพัฒนาต่อ		43
บรรณานุกรม			44
ภาคผนวก			45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	1.1	แสดงขั้นตอนการทำงานของการตรวจสอบลายเซ็นประเภทออฟไลน์	2
รูปที่	2.1	ลายเซ็นออนไลน์, (ก) การเซ็นลายเซ็นลงบนแท็ปเลต, (ข) แสดงตัวอย่างข้อมูลไดนามิค	4
รูปที่	2.2	ลายเซ็นออฟไลน์, (ก) การเซ็นลายเซ็นลงบนกระดาษ, (ข) การรับภาพลายเซ็นเข้าคอมพิวเตอร์ด้วยเครื่องสแกนเนอร์, (ค) ตัวอย่างลายเซ็นออฟไลน์	5
รูปที่	2.3	ภาพการซ้อนทับของลายเซ็นจากบุคคลเดียวกันหลายๆช่วงเวลา เพื่อแสดงความเบี่ยงเบนของลายเซ็น	6
รูปที่	2.4	ลักษณะการปลอมแปลงลายเซ็น, (ก) ลายเซ็นต้นแบบ, (ข) ลายเซ็นปลอมที่มีรูปร่างแตกต่างจากลายเซ็นต้นแบบ (Random Forgery), (ค) ลายเซ็นปลอมทั่วไป (Casual Forgery), (ง) ลายเซ็นปลอมจากผู้เชี่ยวชาญ (Skilled or Traced Forgery)	8
รูปที่	2.5	การวัดประสิทธิภาพของระบบการตรวจสอบลายเซ็น	9
รูปที่	2.6	ฟังก์ชันคู่ (Even periodic function), (ก) สัญญาณ 1 คาบ, (ข) สัญญาณ 1/2 คาบ	10
รูปที่	2.7	ฟังก์ชันคู่ $f_1(x)$ และ $f_2(x)$, สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ และการประมาณค่าด้วยฟูเรียร์	12
รูปที่	2.8	รูปสัญญาณ $f_1(x)$ และ $f_2(x)$	13
รูปที่	3.1	สิ่งรบกวนภายในภาพ	15
รูปที่	3.2	แสดงการวิเคราะห์สีของภาพขนาด 16x16 พิกเซล, (ก) ภาพสีต้นแบบ, (ข) ภาพต้นแบบที่ถูกแปลงให้เป็นภาพระดับสีเทา และตารางแสดงค่าของสีในแต่ละพิกเซลของภาพ, (ค)ภาพต้นแบบที่ถูกแปลงเป็นภาพขาว-ดำ และตารางแสดงค่าของสีในแต่ละพิกเซลของภาพ	16
รูปที่	3.3	การหากรอบของภาพ, (ก) ภาพขนาด 16x18 พิเซล ก่อนทำการหากรอบของภาพ, (ข) ภาพหลังจากทำการหากรอบภาพขนาด 15x13 พิกเซล	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	3.4	(ก) แสดงลายเซ็นจากบุคคลเดียวกันที่มีขนาดต่างกัน, (ข) ความเบี่ยงเบนของลายเซ็นอันเกิดจากขนาด	18
รูปที่	3.5	การแบ่งเซลล์เพื่อลดความเบี่ยงเบนทางขนาดของลายเซ็น, (ก) แบ่งเซลล์ 8x8 เซลล์, (ข) แบ่งเซลล์ 16x16 เซลล์	19
รูปที่	3.6	แสดงการลดความเบี่ยงเบนทางขนาดด้วยการแบ่งเซลล์ ออกเป็น 8x8 เซลล์ , (ก) ภาพขนาด 212x203 พิกเซล, (ข) ภาพขนาด 420x405 พิกเซล	20
รูปที่	3.7	ภาพที่ทำการหากรอบแล้วมีขนาด 101x458 พิกเซล	20
รูปที่	3.8	ภาพแสดงการแบ่งเซลล์	21
รูปที่	3.9	แสดงวิธีการแบ่งเซลล์ 16x16 เซลล์กับภาพขนาด 101x458 พิกเซล	22
รูปที่	3.10	แสดงการแบ่งเซลล์ 16x16 เซลล์ในการวิเคราะห์	23
รูปที่	3.11	(ก) ภาพลายเซ็นที่ทำการวิเคราะห์ด้วยขนาด 16x16 เซลล์: แสดงข้อมูลเปอร์เซ็นต์สีดำของลายเซ็น 256 ข้อมูล, (ข) กราฟแสดงข้อมูลเปอร์เซ็นต์สีดำของลายเซ็น	24
รูปที่	3.12	ภาพลายเซ็นแสดงค่าระดับสีเทา	25
รูปที่	3.13	การทอนค่าพิกเซลใน 1 เซลล์, (ก) ค่าพิกเซลใน 1 เซลล์ก่อนทำการทอนค่า, (ข) ค่าพิกเซลใน 1 เซลล์หลังทำการทอนค่าแล้ว	26
รูปที่	3.14	แสดงการเป็นฟังก์ชันคู่ของลายเซ็น	27
รูปที่	3.15	การประยุกต์ใช้ฟูเรียร์และเปอร์เซ็นต์สีดำแต่ละเซลล์ของลายเซ็น	28
รูปที่	3.16	ลายเซ็นตัวอย่างจำนวน 5 ลายเซ็นและสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์	30
รูปที่	3.17	(ก) สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์จาก 5 ลายเซ็นตัวอย่าง, (ข) ลายเซ็นอ้างอิง/สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์จาก 5 ลายเซ็นตัวอย่าง	31
รูปที่	3.18	ระยะทางยูคลิดระหว่างลายเซ็นอ้างอิงกับลายเซ็นในลักษณะต่างๆ	32
รูปที่	3.19	กราฟแสดงการตรวจสอบลายเซ็นและระยะทางยูคลิด	33
รูปที่	3.20	แสดงประสิทธิภาพของระบบ (FRR&FAR)	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	3.1	แสดงการคำนวณประสิทธิภาพการตรวจสอบลายเซ็นจากกราฟแสดงการตรวจสอบลายเซ็นและระยะทางยูคลิด	33
ตาราง	3.2	สรุปผลการตรวจสอบลายเซ็นของบุคคลหนึ่ง	34
ตาราง	4.1	ผลการทดลองการตรวจสอบรูปร่างของลายเซ็น	35
ตาราง	4.2	ผลการทดลองการตรวจสอบรูปร่างของลายเซ็นโดยใช้เปอร์เซ็นต์สีดำในแต่ละเซลล์ของภาพลายเซ็นในการวิเคราะห์ และปรับปรุงโดยใช้สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์	37
ตาราง	4.3	ผลการทดลองการตรวจสอบลายเซ็นโดยใช้สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของค่าเฉลี่ยระดับสีเทา	39
ตาราง	4.4	สรุปผลการทดลองการตรวจสอบลายเซ็น	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา

การเซ็นลายเซ็นถือเป็นการแสดงตัวบุคคลอย่างหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน โดยเฉพาะในประเทศไทยการเซ็นลายเซ็นได้มีการใช้ในการประกอบกิจกรรมหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็น การจดทะเบียน การทำธุรกรรมกับทางธนาคาร การทำสัญญา เป็นต้น ซึ่งเรื่องเหล่านี้ถือเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องมีการยืนยันตัวบุคคลที่ถูกต้อง ดังนั้นปัญหาการตรวจสอบการปลอมแปลงลายเซ็นจึงถือเป็นเรื่องสำคัญเรื่องหนึ่งของสังคมไทย โดยทั่วไปการตรวจสอบความถูกต้องของลายเซ็นจะเป็นการเปรียบเทียบลายเซ็นที่จะตรวจสอบกับลายเซ็นต้นแบบด้วยตาเปล่าโดยอาศัยความชำนาญของผู้ตรวจสอบเป็นหลัก ซึ่งไม่มีหลักการตายตัว และอาจเกิดความผิดพลาดได้มาก รวมทั้งใช้เวลาในการตรวจสอบค่อนข้างนาน

เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ปริญญานิพนธ์นี้จึงนำเสนอที่จะใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการตรวจ-สอบลายเซ็น โดยใช้ลายเซ็นประเภทออฟไลน์เพราะสามารถตรวจสอบลายเซ็นที่เซ็นลงบนกระดาษได้โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษอื่นๆมาช่วยในการเก็บลายเซ็น

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบลายเซ็นประเภทออฟไลน์โดยใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งจะนำคุณลักษณะเด่นของลายเซ็นที่เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของแต่ละบุคคลเข้ามาใช้ในการตรวจสอบความถูกต้อง

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

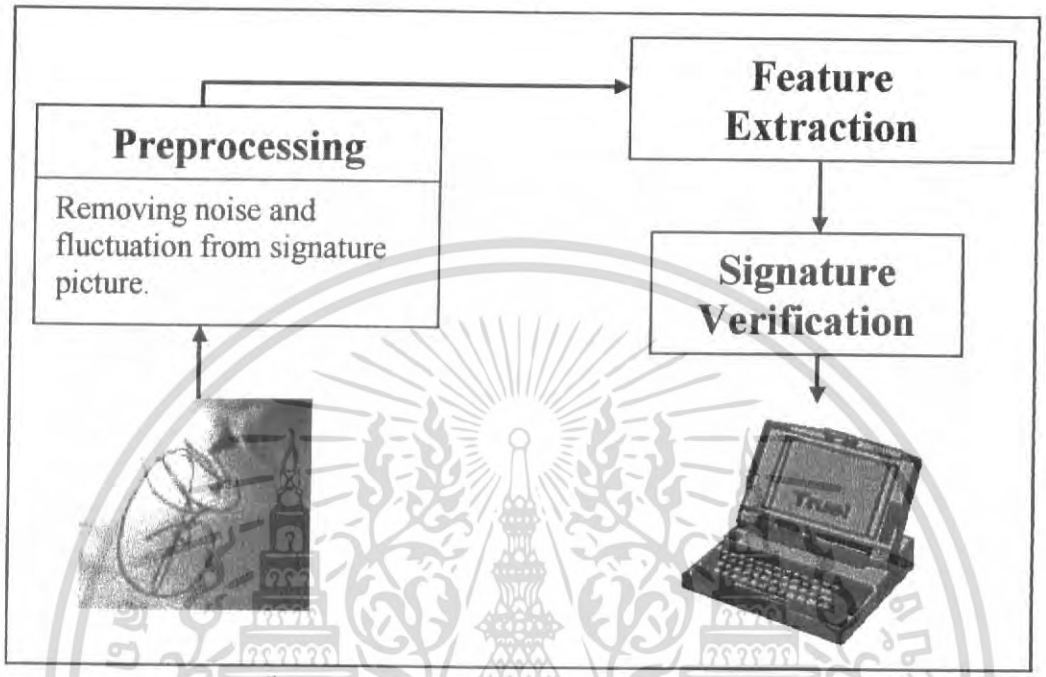
1.3.1 ค้นหาลักษณะเด่นของลายเซ็นของแต่ละบุคคล

1.3.2 นำลักษณะเด่นมาใช้สร้างระบบอย่างง่าย เพื่อนำมาช่วยในการตรวจสอบประสิทธิภาพ

1.3.3 ทำการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพโดยการใช้ตัวอย่างที่ได้จากการจัดเก็บข้อมูลทั้งที่เป็นลายเซ็นของเจ้าของ และลายเซ็นที่ได้จากการปลอมแปลงขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ระบบการทำงาน



รูป 1.1 แสดงขั้นตอนการทำงานของการตรวจสอบลายเซ็นประเภทออฟไลน์

1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

1.5.1 ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 รวบรวมองค์ประกอบที่ใช้ในการทำงาน

1.5.3 ค้นหาลักษณะเด่นของลายเซ็น

1.5.4 เก็บตัวอย่างลายเซ็น

1.5.5 ทดลอง ทดสอบและประเมินผลประสิทธิภาพของระบบที่ได้จากการวิเคราะห์

1.5.6 ทำการออกแบบ และสร้างระบบอย่างง่าย

1.5.7 ทดลอง และทดสอบการทำงานทั้งหมด

1.5.8 จัดทำเอกสารของโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีวมาตร (Biometrics)

2.1.1 ความหมาย

ชีวมาตร (Biometrics) เป็นคำที่มาจากภาษากรีก 2 คำ คือ คำว่า "Bio" ซึ่งแปลว่า ชีวิต (Life) และคำว่า "Metro" ซึ่งหมายถึงการวัดหรือมาตรวัด (Measure) ซึ่งเมื่อรวมกัน "ชีวมาตร" จึงหมายถึงวิธีการหรือเทคนิคในการตรวจสอบ แยกแยะสิ่งมีชีวิต โดยวัดจากคุณลักษณะของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ ศาสตร์ทางด้านชีวมาตรได้มีการนำมาใช้เป็นเวลานานแล้ว โดยศาสตร์ทางด้านนี้เป็นการอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์หรือทางสถิติมาใช้แก้ปัญหาทางด้านชีววิทยาต่างๆ ซึ่งเป้าหมายสำคัญของชีวมาตร ก็คือ การระบุตัวบุคคล หรือการตรวจสอบบุคคลโดยอัตโนมัติ* สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

(1) การใช้ลักษณะทางกายภาพ (Physiological Characteristic)
- ลายนิ้วมือ (Fingerprint)
- ลักษณะใบหน้า (Facial Recognition)
- ลักษณะของมือ (Hand Geometry)
- ลักษณะของนิ้วมือ (Finger Geometry)
- ลักษณะใบหู (Ear Shape)
- ม่านตา (Iris) และ เรตินา (Retina) ภายในดวงตา
- กลิ่น (Human Scent)

(2) การใช้ลักษณะทางพฤติกรรมแต่ละบุคคล (Behavior Characteristic)
- การเซ็นชื่อ (Signature)
- การพิมพ์ (Keystroke Dynamics)
- การเดิน (Gait Recognition)
- เสียง (Voice Recognition)

---

* การตรวจสอบบุคคลโดยอัตโนมัติ คือการใช้หลักการการตรวจสอบทางคอมพิวเตอร์ด้วยการเลียนแบบพฤติกรรมของมนุษย์ ซึ่งถือได้ว่าเป็นรูปแบบหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันการใช้งานในระบบคอมพิวเตอร์เริ่มมีบทบาทเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการใช้ชีวมาตรในการตรวจสอบตัวบุคคลก็มีความสำคัญและจำเป็นเพิ่มขึ้นไปด้วย

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานการใช้ชีวมาตรในการตรวจสอบตัวบุคคล เช่น การช่วยผู้รักษากฎหมายในการจับตัวผู้กระทำผิดด้วยการตรวจสอบลายนิ้วมือ งานทางด้านรักษาความปลอดภัยด้วยการตรวจสอบเรตินาผู้ผ่านเข้าออก การจัดการเรื่องการพิสูจน์ตัวบุคคลของสถาบันการเงินด้วยลายเซ็น เป็นต้น

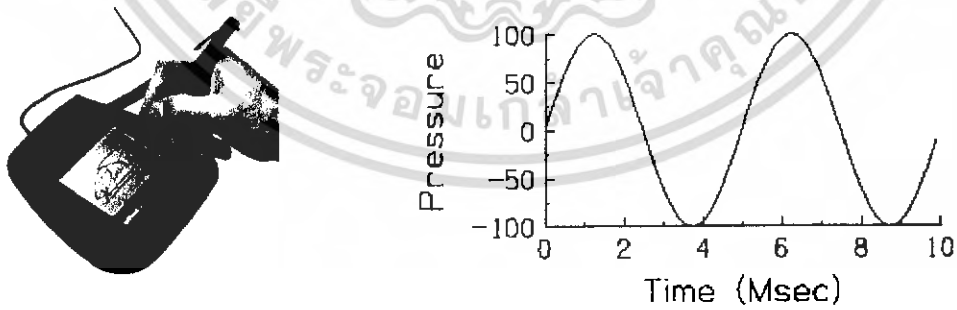
2.1.2 ประเภทของลายเซ็น

จากการที่กล่าวมาแล้ว ลายเซ็นหรือการเซ็นชื่อถือเป็นลักษณะทางพฤติกรรมของแต่ละบุคคลซึ่งสามารถใช้เทคนิคชีวมาตรในการตรวจสอบได้

ในการตรวจสอบสามารถแบ่งประเภทของลายเซ็นได้เป็น 2 ประเภท คือ

(1) ลายเซ็นออนไลน์ (On-line signature)

ลายเซ็นประเภทนี้ เป็นลายเซ็นที่เกิดจากการทำการเซ็นลายเซ็นลงบนอุปกรณ์พิเศษ เช่น ดิจิไทเซอร์ (Digitizer), แท็ปเลต (Tablet) เป็นต้น โดยอุปกรณ์เหล่านี้จะทำหน้าที่รับลายเซ็นและเก็บข้อมูลของลายเซ็น โดยข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลไดนามิค (Dynamic information) นั่นคือเป็นข้อมูลที่สามารถวัด หรือเก็บค่าได้ ณ ขณะที่ทำการเซ็นลายเซ็น ข้อมูลจะมีรายละเอียดสัมพันธ์กับเวลา (Time information/Time domain) ยกตัวอย่างเช่น แรงกดของปากกา (Pen pressure), ความเร็วในขณะเซ็น (Speed), อัตราเร่งในการเซ็น (Acceleration) เป็นต้น [5]



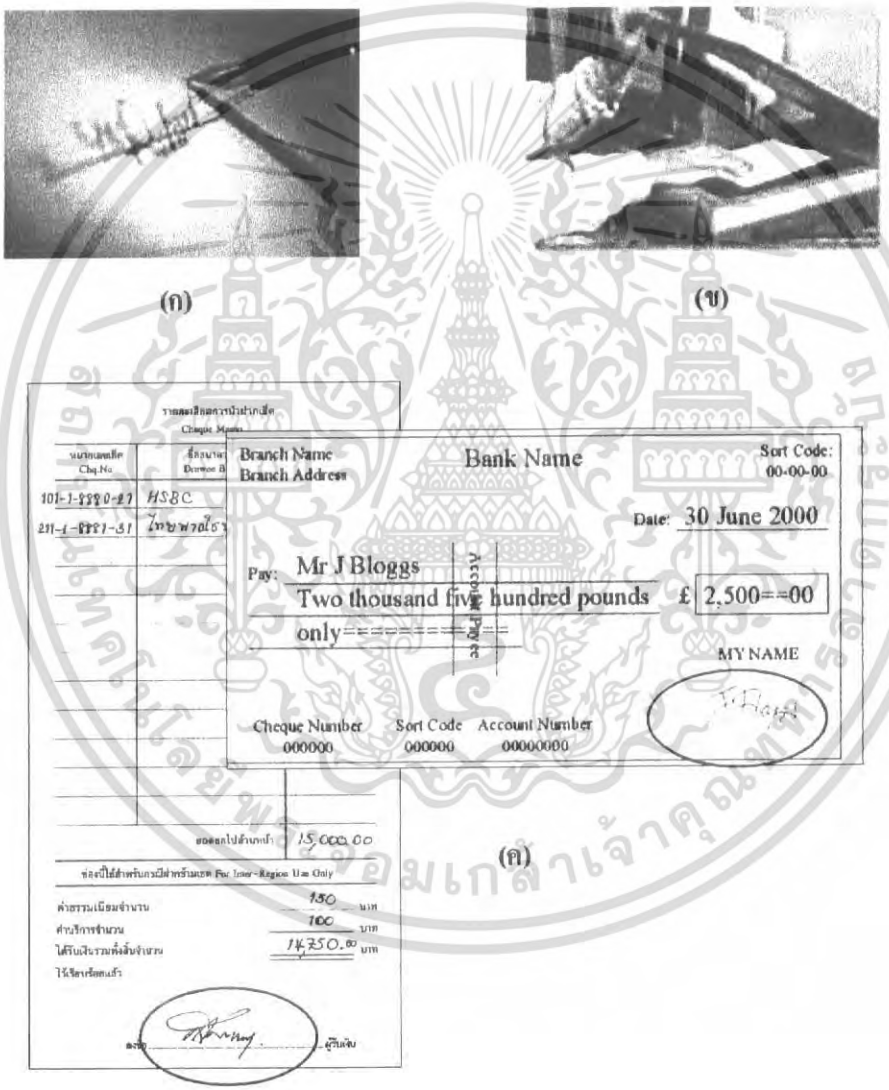
(ก) (ข)

รูป 2.1 ลายเซ็นออนไลน์ (ก) การเซ็นลายเซ็นลงบนแท็ปเลต (ข) แสดงตัวอย่างข้อมูลไดนามิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ลายเซ็นออฟไลน์ (Off-line signature)

ลายเซ็นที่ไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์พิเศษในการเซ็น ตัวอย่างเช่น การใช้ปากกาเซ็นลงบนกระดาษ โดยข้อมูลหรือส่วนสำคัญของลายเซ็นก็คือ ตัวลายเซ็นที่เห็นอยู่บนกระดาษ การจะนำมาวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบด้วยคอมพิวเตอร์ จึงทำได้โดยการใช้เครื่องสแกนเนอร์ (Scanner) หรือ กล้องถ่ายภาพดิจิตอล (Digital camera) เป็นต้น



รูป 2.2 ลายเซ็นออฟไลน์ (ก) การเซ็นลายเซ็นลงบนกระดาษ (ข) การรับภาพลายเซ็นเข้าคอมพิวเตอร์ด้วยเครื่องสแกนเนอร์ (ค) ตัวอย่างลายเซ็นออฟไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบการตรวจสอบลายเซ็น ลายเซ็นออฟไลน์จะทำการตรวจสอบได้ยากกว่าลายเซ็นออนไลน์เนื่องจากข้อมูลไดนามิคของลายเซ็นออฟไลน์ได้สูญหายไป ถึงแม้ว่าการตรวจสอบจะยากกว่า แต่ลายเซ็นออฟไลน์ก็ยังคงมีจุดเด่นในเรื่องของความสะดวกในการเข้าถึงคือ ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์พิเศษในการเซ็นลายเซ็น อีกทั้งยังเป็นที่นิยมใช้กันมากในประเทศไทย

2.1.3 คุณลักษณะเด่นของลายเซ็น (Signature features)

ลายเซ็นของแต่ละบุคคลจะมีคุณลักษณะเด่นเฉพาะตัว โดยคุณลักษณะเด่นเฉพาะตัวนี้จะเป็นสิ่งที่ใช้แยกความแตกต่างระหว่างเจ้าของลายเซ็นกับลายเซ็นที่เซ็นโดยบุคคลอื่นได้

คุณลักษณะเด่นของลายเซ็นส่วนใหญ่จะไม่เปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา หรือตามการเรียนรู้ของเจ้าของ ถึงแม้ว่าการเซ็นแต่ละครั้งของผู้เซ็นจะมีความแตกต่างหรือความเบี่ยงเบนไปบ้าง (รูป 2.3) แต่คุณลักษณะเด่นของลายเซ็นของบุคคลนั้นๆก็ยังคงอยู่

รูป 2.3 ภาพการซ้อนทับของลายเซ็นจากบุคคลเดียวกันหลายๆช่วงเวลา เพื่อแสดงความเบี่ยงเบนของลายเซ็น

ในระบบการตรวจสอบลายเซ็นออฟไลน์นั้นจะสามารถแบ่งคุณลักษณะเด่นของลายเซ็นได้เป็น 2 ประเภทคือ

(1) คุณลักษณะเด่นที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Static feature)

คุณลักษณะเด่นประเภทนี้โดยมากแล้วเหมาะกับการตรวจสอบความถูกต้องของลายเซ็นที่มีการปลอมแปลงอย่างหยาบ เป็นการปลอมแปลงที่ไม่มีการฝึกฝนการเซ็นมาก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างคุณลักษณะเด่นที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ความกว้างและความยาวของลายเซ็น, เส้นผ่านศูนย์กลาง, อัตราส่วน, การเว้นวรรค, ความหนาแน่นของพิกเซลของลายเซ็น, การจัดเรียงพิกเซล, รูปร่าง เป็นต้น [5]

(2) คุณลักษณะเด่นแบบพลวัตเทียม (Pseudo-dynamic features)

คุณลักษณะเด่นแบบพลวัตเทียม คือการนำเอาพื้นฐานความรู้ในเรื่องข้อมูลแบบพลวัตจากลายเซ็นออนไลน์มาประยุกต์ใช้โดยการทำให้คุณลักษณะเด่นที่มีอยู่เป็นคุณลักษณะเด่นเสมือนของลายเซ็นออฟไลน์ คุณลักษณะเด่นประเภทนี้มักใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของลายเซ็นที่มีลักษณะเป็นการปลอมแปลงอย่างมีทักษะ ผู้ปลอมมีการฝึกฝนการเซ็นลายเซ็นมาก่อน ลายเซ็นประเภทนี้จึงตรวจสอบได้ยาก การนำเอาข้อมูลแบบพลวัตเทียม มาช่วยจึงมีประโยชน์เป็นอย่างยิ่ง [5]

ตัวอย่างคุณลักษณะเด่นแบบพลวัตเทียม

ความอ่อน-เข้มของลายเส้น เสมือนกับแรงกดปากกา เป็นต้น

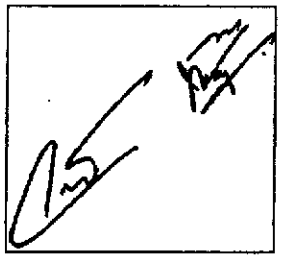
การหาคุณลักษณะเด่นของลายเซ็นจะสามารถทำได้โดยกระบวนการที่เรียกว่า "การดึงคุณลักษณะเด่นของลายเซ็น" (Feature extraction) โดยกระบวนการนี้จะทำการวิเคราะห์หาคุณลักษณะเด่นของลายเซ็นและนำผลที่ได้ส่งต่อไปยังขั้นตรวจสอบ

2.1.4 ระบบการตรวจสอบลายเซ็น (Signature verification systems)

ขั้นตอนในระบบการตรวจสอบลายเซ็นโดยส่วนใหญ่จะประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นการเรียนรู้ (Learning Stage) และขั้นตรวจสอบ (Testing Stage) โดยในขั้นแรกจะเป็นการเก็บรวบรวมลายเซ็น เพื่อนำมาวิเคราะห์หาคุณลักษณะเด่นของลายเซ็น (จากกระบวนการ "การดึงคุณลักษณะเด่นของลายเซ็น") เพื่อใช้ในขั้นตรวจสอบ ซึ่งในขั้นตรวจสอบนี้จะเป็นการนำคุณลักษณะเด่นของลายเซ็นที่ได้ในขั้นการเรียนรู้ไปทำการเปรียบเทียบ คำนวนความคล้ายคลึงหรือความเหมือนระหว่างตัวลายเซ็นอ้างอิง (Reference signature) กับตัวลายเซ็นที่ต้องการทดสอบ (Testing signature) แล้วตรวจสอบความถูกต้องว่าลายเซ็นที่ต้องการทดสอบนั้นเป็นลายเซ็นจริงหรือไม่ [5]

ในระบบการตรวจสอบลายเซ็นนั้นสามารถแยกลักษณะการปลอมแปลงออกได้เป็น 3 ระดับ (รูป 2.4 แสดงตัวอย่างลายเซ็นที่มีการปลอมในลักษณะต่างๆ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

รูป 2.4 ลักษณะการปลอมแปลงลายเซ็น

(ก) ลายเซ็นต้นแบบ

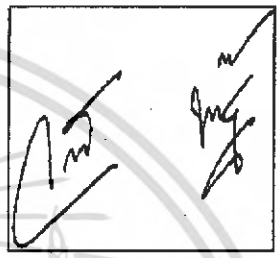
(ข) ลายเซ็นปลอมที่มีรูปร่างแตกต่างจากลายเซ็นต้นแบบ (Random Forgery)

(ค) ลายเซ็นปลอมทั่วไป (Casual Forgery)

(ง) ลายเซ็นปลอมจากผู้เชี่ยวชาญ (Skilled or Traced Forgery)

(ข)

(ค)



(ง)

(1) การปลอมแปลงที่มีรูปร่างแตกต่างกับลายเซ็นต้นแบบ (Random Forgeries)

การปลอมแปลงในลักษณะที่ไม่มีการเจาะจงลายเซ็นต้นแบบ นั่นคือผู้ปลอมแปลงไม่สนใจรูปร่างของลายเซ็นต้นแบบว่าจะเป็นอย่างไร หรือผู้ปลอมแปลงทราบเพียงแต่ชื่อของเจ้าของลายเซ็นเท่านั้น รูปร่างของลายเซ็นต้นแบบและลายเซ็นที่ปลอมแปลงในลักษณะนี้จึงแตกต่างกันอย่างมาก สามารถแยกแยะได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งลายเซ็นจากคนละบุคคลก็ถือเป็นลายเซ็นปลอมประเภทนี้ด้วยเช่นเดียวกัน (รูป 2.4 ข)

(2) การปลอมแปลงทั่วไป (Casual Forgeries)

การปลอมแปลงลายเซ็นลักษณะนี้ถือเป็นการปลอมแปลงอย่างหยาบ คือ ผู้ที่ทำการปลอมแปลงไม่มีพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับส่วนรายละเอียดสำคัญ หรือคุณลักษณะเด่นของลายเซ็นเจ้าของจริงที่จำเป็นต้องมี [4] ผู้ทำการปลอมแปลงไม่มีความชำนาญในการเซ็น การปลอมแปลงลักษณะนี้จึงเป็นการปลอมแปลงที่พบได้ทั่วไป (รูป 2.4 ค)

(3) การปลอมแปลงจากผู้เชี่ยวชาญ (Skilled or Traced Forgeries)

การปลอมแปลงในลักษณะนี้ ผู้ที่ทำการปลอมแปลงจะมีความคุ้นเคยกับลายเซ็นที่จะทำการปลอมแปลงเป็นอย่างดี และมีการฝึกฝนจนชำนาญ ซึ่งลายเซ็นปลอมในลักษณะนี้จะสามารถแยกความแตกต่างกับลายเซ็นจริงได้ยากมาก เมื่อเทียบกับการปลอมแปลงแบบทั่วไป [4] (รูป 2.4 ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 ตัววัดความแม่นยำทางเทคนิค

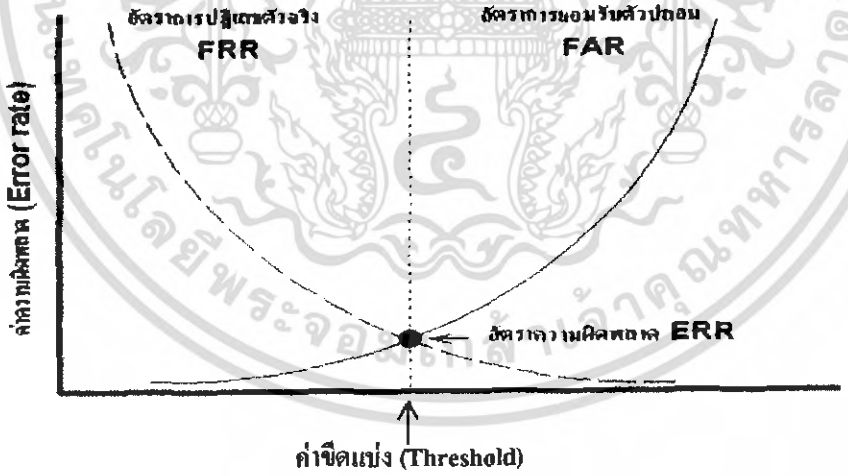
การวัดประสิทธิภาพของระบบการตรวจสอบลายเซ็น จะได้ผลออกมา 2 ประเภท คือ

(1) อัตราการปฏิเสธตัวจริง (False Rejection Rate - FRR)

อัตราการปฏิเสธตัวจริง คือ ค่าอัตราการหลุดรอดของผู้แปลกปลอมจากการตรวจจับ [5] ซึ่งหากมีค่าต่ำแสดงว่าอัตราการปฏิเสธต่ำ นั่นคือไม่ว่าตัวจริงหรือตัวปลอมก็มีโอกาสได้รับอนุญาตให้ผ่านเข้าสู่ระบบได้ง่าย ระบบจะหละหลวม ดังนั้นหากระบบต้องการความปลอดภัยค่อนข้างสูง ก็ควรจะปรับแต่งให้ FRR มีค่าสูงขึ้น

(2) อัตราการยอมรับตัวปลอม (False Acceptance Rate - FAR)

อัตราการยอมรับตัวปลอม คือ ค่าอัตราการปฏิเสธการผ่านแก่ผู้ใช้ที่ถูกต้อง [5] หากมีค่านี้ในอัตราที่ต่ำ ก็จะหมายถึงอัตราการยอมให้ผ่านเข้าสู่ระบบต่ำ ไม่ว่าตัวจริงหรือตัวปลอมก็มีโอกาสถูกปฏิเสธสูง ระบบจะเข้มงวดมาก ฉะนั้นหากต้องการให้ระบบมีความเป็นมิตรกับผู้ใช้ (User friendliness) ก็ควรจะปรับให้ FAR มีค่าสูง อย่างไรก็ตาม การปรับแต่งให้ FAR มีค่าต่ำจะช่วยป้องกันความเสียหายอันเนื่องมาจากการยอมรับตัวปลอมให้ผ่านเข้าสู่ระบบได้โดยง่าย



รูป 2.5 การวัดประสิทธิภาพของระบบการตรวจสอบลายเซ็น

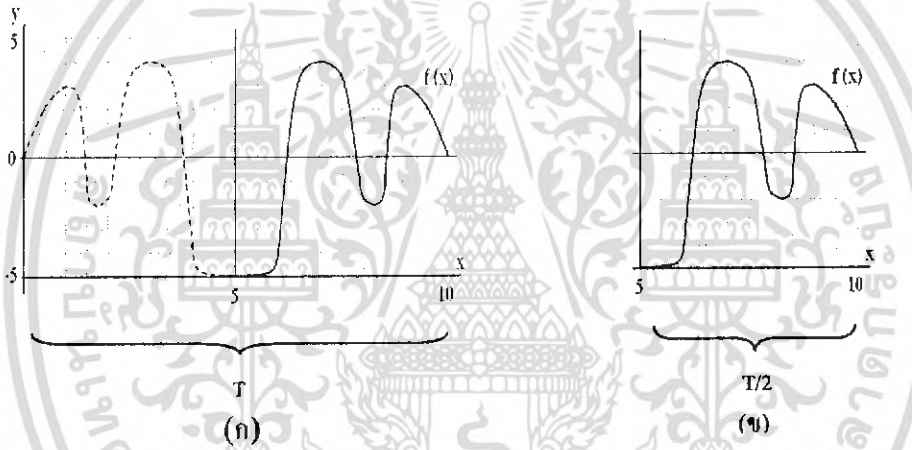
จากรูป 2.5 แสดงให้เห็นถึงอัตราความผิดพลาด (Error Rate : อัตราความผิดพลาด) ซึ่งได้จากการปรับแต่งอัตราการปฏิเสธตัวจริง (FRR) และอัตราการยอมรับตัวปลอม (FAR) การปรับแต่งทั้งสองค่านี้ขึ้นอยู่กับโอกาสในการใช้งานของผู้ใช้ว่าต้องการให้ได้ผลออกมารูปแบบใด เช่น หากต้องการให้ระบบค่อนข้างเข้มงวด นั่นคือการปรับให้ค่าอัตราการยอมรับตัวปลอมต่ำ ซึ่งหากว่าค่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าต่ำมากเกินไป ลายเซ็นของเจ้าของจริงที่มีความเบี่ยงเบนมากก็อาจกลายเป็นลายเซ็นปลอมได้ ในทางกลับกันหากเราต้องการให้ระบบสามารถยอมรับลายเซ็นจริงที่มีความเบี่ยงเบนมากได้ โดยทำการปรับค่าอัตราการยอมรับตัวปลอมให้สูงขึ้น ซึ่งหากอัตรานี้มีค่าสูงเกินไป ระบบก็จะหละหลวมและยอมรับลายเซ็นปลอมมากขึ้น

2.2 การประมาณค่าด้วยฟูเรียร์ (Fourier Approximation)

อนุกรมฟูเรียร์ (Fourier series) เป็นอนุกรมซึ่งสื่อถึงฟังก์ชันคาบ (Periodic function) โดยมีการอธิบายในรูปของฟังก์ชันโคซายน์ (Cosine) และซายน์ (Sine) เพื่อให้ตัวฟังก์ชันคาบอยู่ในรูปทั่วไป



รูป 2.6 ฟังก์ชันคู่ (Even periodic function) (ก) สัญญาณ 1 คาบ (ข) สัญญาณ 1/2 คาบ

อนุกรมฟูเรียร์(Fourier series)

ให้ f(x) คือฟังก์ชันคาบ ที่มีคาบเท่ากับ T และ $\omega = \frac{2\pi}{T}$

แสดงให้ f(x) อยู่ในรูปของฟังก์ชันโคซายน์ (Cosine) และซายน์ (Sine) ได้ว่า

$$f(x) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty}[a_n \cos(n\omega x) + b_n \sin(n\omega x)] \qquad \text{.....(2.1)}$$

โดย

$$a_n = \frac{2}{T}\int_{-T/2}^{T/2} f(x)\cos(n\omega x)dx \quad ;n = 0,1,2,... \qquad \text{..... (2.2)}$$

$$b_n = \frac{2}{T}\int_{-T/2}^{T/2} f(x)\sin(n\omega x)dx \quad ;n = 1,2,... \qquad \text{..... (2.3)}$$

a_n และ b_n คือ ค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ (Fourier Coefficients)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ของฟังก์ชันโคซายน์ (Cosine) และซายน์ (Sine) เรื่องความมีสมมาตร (Symmetry) จะทำให้เราทราบว่าเทอมของโคซายน์คือฟังก์ชันคู่ (Even function) และเทอมของซายน์คือฟังก์ชันคี่ (Odd function) ดังนั้นเมื่อมีการสมมาตรกัน การคำนวนจึงสามารถลดรูปเหลือเพียงแค่เทอมเดียวได้

เช่น หาก f(x) คือ ฟังก์ชันคู่

จาก (2.1) $$f(x)=\frac{1}{2}a_0+\sum_{n=1}^{\infty}[a_n\cos(n\omega x)+b_n\sin(n\omega x)]$$

โดย $$a_n=\frac{2}{T}\int_{-T/2}^{T/2}f(x)\cos(n\omega x)dx \quad ;n=0,1,2,... \quad \text{..... (2.2)}$$

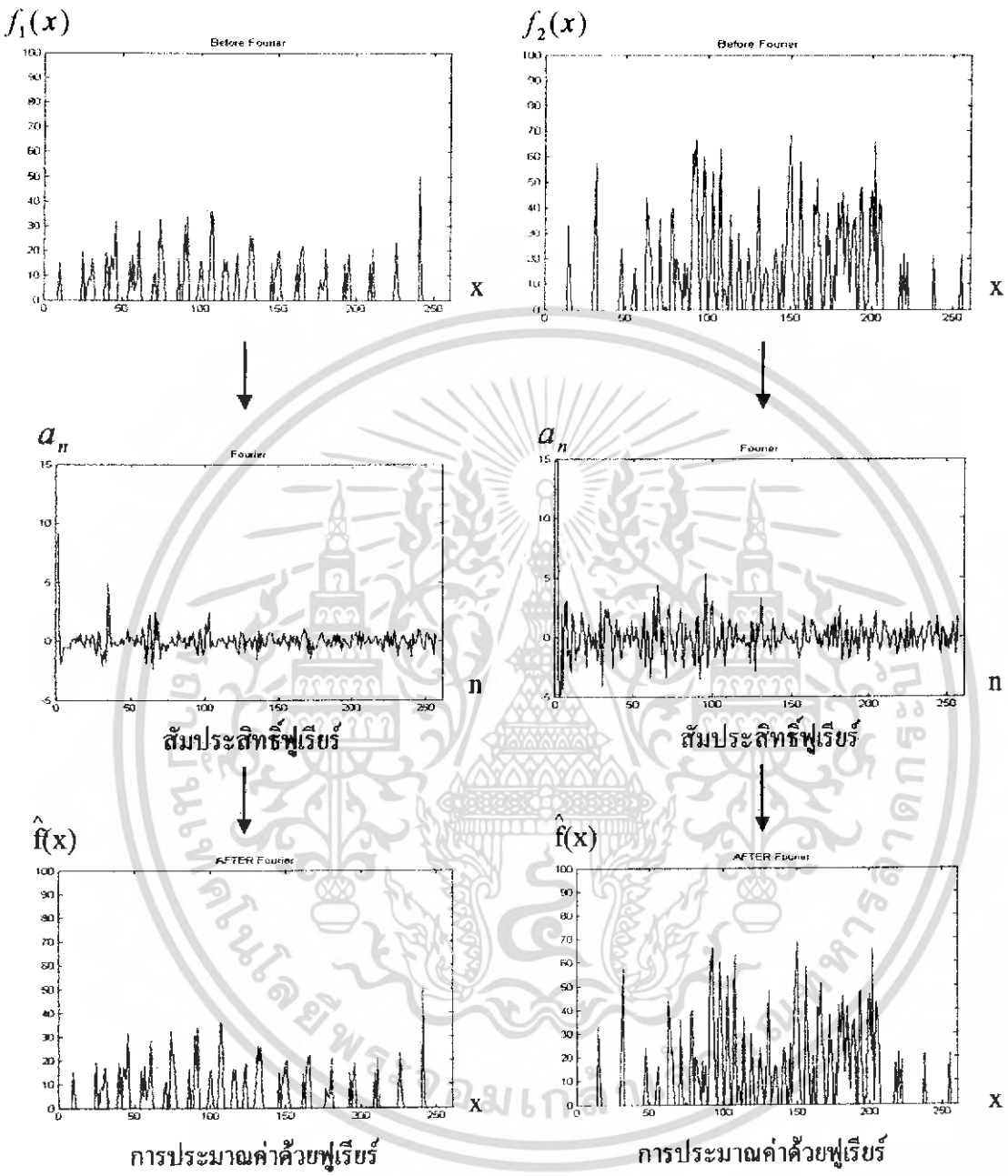
$$b_n=\frac{2}{T}\int_{-T/2}^{T/2}f(x)\sin(n\omega x)dx \quad ;n=1,2,... \quad \text{..... (2.3)}$$

a_n อยู่ในเทอมของโคซายน์จึงเป็นฟังก์ชันคู่ และ b_n อยู่ในเทอมของซายน์จึงเป็นฟังก์ชันคี่ เมื่อกำหนดให้ f(x) คือ ฟังก์ชันคู่ จากหลักการสมมาตรกันจะได้ว่า

$$a_n=2\times\left[\frac{2}{T}\int_{0}^{T/2}f(x)\cos(n\omega x)dx\right]=\frac{4}{T}\int_{0}^{T/2}f(x)\cos(n\omega x)dx \quad \text{..... (2.4)}$$

$$b_n=0 \quad \text{..... (2.5)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.7 ฟังก์ชันคู่ $f_1(x)$ และ $f_2(x)$
สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ และการประมาณค่าด้วยฟูเรียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การวัดระยะแบบยูคลิด (Euclidean distance)

การวัดระยะแบบยูคลิด คือ วิธีการทั่วไปในการวัดระยะทางระหว่างจุด 2 จุดบนระนาบ

ถ้ากำหนดให้ $u=(x_1,y_1)$ และ $v=(x_2,y_2)$ เป็นจุด 2 จุดบนระนาบ

การวัดระยะแบบยูคลิดจะได้เท่ากับ

$$\sqrt{(x_1-x_2)^2+(y_1-y_2)^2} \quad \text{..... (2.6)}$$

ดังนั้นหากจะหาระยะทางระหว่าง a และ b ซึ่งมีข้อมูลดังนี้

$$a=\{x_1,x_2,...,x_n\}$$

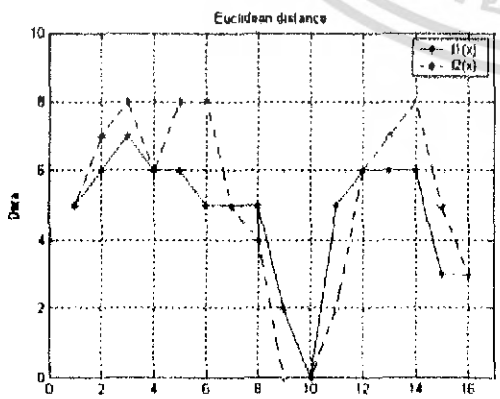
$$b=\{y_1,y_2,...,y_n\}$$

จาก (2.6) จะได้ระยะทางยูคลิดจาก a ไป b

$$d(f_1,f_2)=\sqrt{(x_1-y_1)^2+(x_2-y_2)^2+...+(x_n-y_n)^2} \quad \text{..... (2.7)}$$

เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาระยะทางหรือมุมได้ ไม่ว่าจะเป็นเวกเตอร์ หรือ สัญญาณข้อมูล

หากต้องการหาระยะทางยูคลิดจากสัญญาณ $f_1(x)$ ไปถึงสัญญาณ $f_2(x)$ โดยสัญญาณทั้งสองมีรูปสัญญาณดังรูปที่ 2.7



รูป 2.8 รูปสัญญาณ $f_1(x)$ และ $f_2(x)$

$f_1(x)=\{5,6,7,6,6,5,5,5,2,0,5,6,6,6,3,3\}$

$f_2(x)=\{5,7,8,6,8,8,5,4,0,0,2,6,7,8,5,3\}$

$$d(f_1,f_2)=\sqrt{(5-5)^2+(6-7)^2+...+(3-3)^2}$$

$$\therefore d(f_1,f_2)=6.1644$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนการทำงานและการวิเคราะห์

การตรวจสอบลายเซ็นแบบออฟไลน์มีขั้นตอนในการทำงานหลักๆ 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนเบื้องต้นในการทำงาน (Preprocessing) ที่จะทำหน้าที่เตรียมภาพลายเซ็นที่รับเข้ามาให้พร้อมเหมาะกับการวิเคราะห์ลายเซ็น ส่วนในขั้นตอนที่สองคือ การนำเอาภาพลายเซ็นจากขั้นตอนที่ 1 มาทำการวิเคราะห์หาคุณลักษณะเด่นของลายเซ็นและดึงคุณลักษณะ (Feature extraction) นั้นออกมา เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและตรวจสอบในขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งก็คือขั้นตอนตรวจสอบลายเซ็น (Signature verification)

3.1 ขั้นตอนเบื้องต้นในการทำงาน (Preprocessing)

3.1.1 การรับภาพจากสแกนเนอร์

เนื่องมาจากการวิเคราะห์และตรวจสอบลายเซ็นต้องการภาพลายเซ็นที่มีความละเอียดค่อนข้างสูง ดังนั้นขั้นตอนการรับภาพเข้ามาวิเคราะห์ในคอมพิวเตอร์จึงเป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญและจำเป็นจะต้องมีการกำหนดข้อมูลและค่าความละเอียดของภาพให้มีค่าเท่ากันตามที่ได้กำหนดไว้ เพื่อให้ภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์อยู่ในมาตรฐานเดียวกัน

ข้อมูลเบื้องต้นของลายเซ็นก่อนสแกน

- กระดาษที่ใช้ในการเซ็นลายเซ็น เป็นกระดาษสีขาว เนื้อละเอียดและเรียบ ความหนา 80 แกรม (80 grams)
- จำกัดขนาดพื้นที่ในการเซ็นลายเซ็น เพื่อลดความเบี่ยงเบนของลายเซ็นอันเกิดจากพื้นที่ที่ใช้เซ็นมีขนาดไม่แน่นอน
- ใช้ปากกาลูกลื่นหัวแหลมในการเซ็น

ข้อมูลการรับภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์ (สแกน)

- อัตราส่วนของภาพที่สแกน คือ 100 เปอร์เซ็นต์
- ความละเอียด (Resolution) 300 x 300 จุดต่อตารางนิ้ว (300 dpi) ค่าความละเอียดที่มากจะทำให้ภาพชัดเจน และมีรายละเอียดของภาพมากขึ้น
- บันทึกภาพด้วยไฟล์ชนิดที่ไม่มีการบีบอัดภาพ เพื่อให้รายละเอียดสำคัญไม่สูญหาย ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การกำจัดสิ่งรบกวนในภาพ (Removing Noise)

จากการที่กำหนดให้ใช้กระดาษสีขาวในการรับลายเซ็นจึงทำให้มีปัญหาในเรื่องสิ่งรบกวน ยกตัวอย่างเช่น รอยยับ รอยเลอะต่างๆ ซึ่งสิ่งรบกวนเหล่านี้ ไม่มีความเกี่ยวข้องกับตัวลายเซ็น และจะทำให้คุณลักษณะเด่นของลายเซ็นผิดพลาดหรือไม่ชัดเจน

เพื่อหลีกเลี่ยงกรณีดังกล่าวนี้ จึงจำเป็นต้องมีการกำจัดสิ่งรบกวนพวกนี้ออก เพื่อทำให้พื้นหลังของภาพลายเซ็นเป็นพื้นสีขาวตามที่เรากำหนดไว้ตามข้อมูลเบื้องต้นของลายเซ็นก่อนการสแกน ทั้งนี้ในการกำจัดสิ่งรบกวน ควรจะสังเกตว่าสิ่งรบกวนมีการซ้อนทับลายเซ็นหรือไม่ นั่นคือ หลีกเลี่ยงการใช้ภาพที่มีการซ้อนทับกันของสิ่งรบกวนและลายเซ็น ซึ่งสิ่งรบกวนเหล่านี้จะมีผลอย่างมากต่อการวิเคราะห์

รูป 3.1 สิ่งรบกวนภายในภาพ

3.1.3 การแปลงสีของภาพ (Image color)

ในการพิจารณาที่เน้นการตรวจสอบรูปร่างของลายเซ็น (Shape Information) การแปลงสีของภาพเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ จึงทำการแปลงภาพสี (RGB or Colormap) ให้เป็นภาพขาว-ดำ (Black and white) ซึ่งจะสามารถสังเกตและวิเคราะห์รูปร่างของลายเซ็นได้สะดวกขึ้น ส่วนภาพมาตราส่วนสีเทา (Grayscale) นั้นจะเป็นการวิเคราะห์ที่ซับซ้อนขึ้นเพื่อใช้ในการหาคุณลักษณะเด่นของลายเซ็นที่จะมีข้อมูลประเภทแบบพลวัตเทียมซึ่งสามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบลายเซ็นปลอมอย่างมีทักษะได้ (รูป 3.1)

ขั้นตอนการแปลงสี

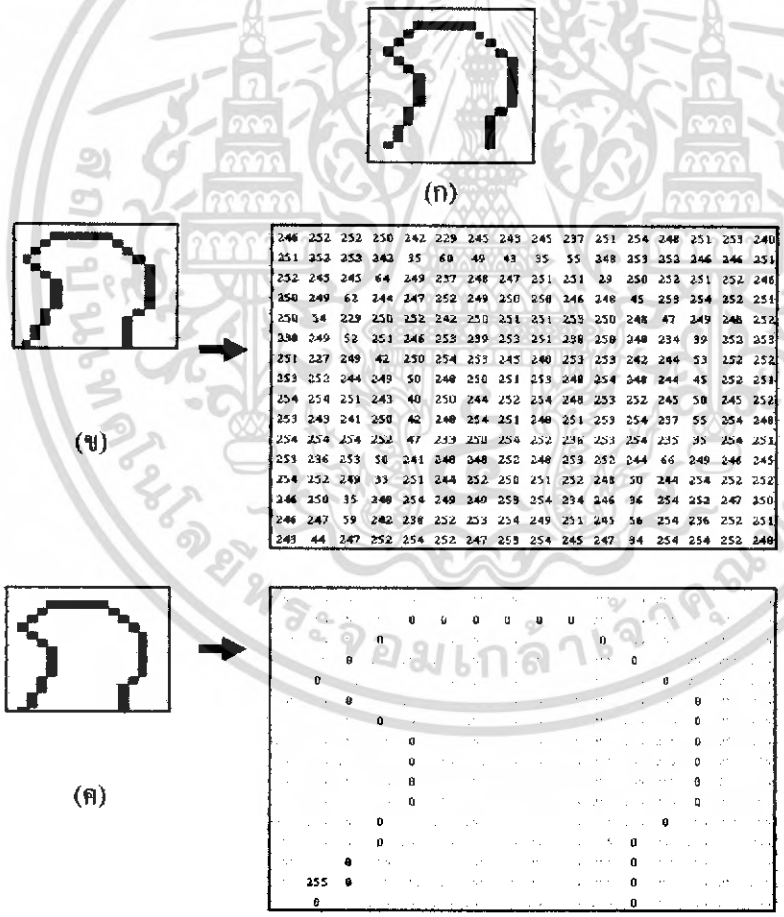
(1) เปลี่ยนภาพสี ให้เป็นภาพมาตราส่วนสีเทา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการนำภาพสีที่รับเข้ามามาทำการตั้งค่าเฉดสี (Hue) และความเข้มของสี (Saturation) ที่มีทั้งหมดให้เป็นศูนย์ โดยค่าความสว่างของภาพ (Luminance) ยังมีค่าคงเดิม จะได้ผลลัพธ์ของภาพออกมาเป็นภาพระดับสีเทา (Grayscale)

(2) เปลี่ยนภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพขาว-ดำ

เป็นการนำภาพระดับสีเทาที่ได้มาทำการแยกสีพื้นหลัง กับสีของวัตถุ ออกจากกันอย่างชัดเจน ด้วยการสร้างภาพแห่งความถี่ (Image histogram) ขึ้นมา เพื่อใช้เป็นตัวหาค่าจุดตัดระหว่างตัวพื้นหลังกับวัตถุ (Threshold) จากนั้นจึงนำค่าที่ได้นี้ไปเป็นตัวกำหนดเงื่อนไขสีในแต่ละพิกเซลของภาพ เช่น หากพบพิกเซลที่มีค่ามากกว่าค่าจุดตัดระหว่างตัวพื้นหลังกับวัตถุที่ตั้งไว้ให้กำหนดเป็นสีขาว (Gray level=255) และหากพิกเซลนั้นมีค่าน้อยกว่าให้กำหนดเป็นสีดำ (Gray level=0) เป็นต้น



รูป 3.2 แสดงการวิเคราะห์สีของภาพขนาด 16 x 16 พิกเซล (ก) ภาพสีต้นแบบ (ข) ภาพต้นแบบที่ถูกแปลงให้เป็นภาพระดับสีเทาและตารางแสดงค่าของสีในแต่ละพิกเซลของภาพ (ค) ภาพต้นแบบที่ถูกแปลงเป็นภาพขาว-ดำ และตารางแสดงค่าของสีในแต่ละพิกเซลของภาพ

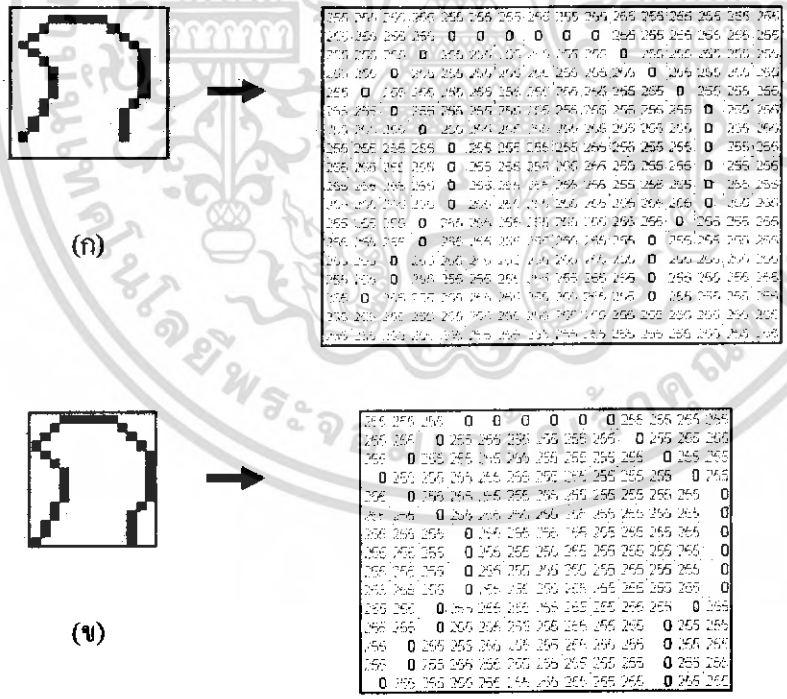
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 3.2 จะแสดงให้เห็นว่าหากทำการวิเคราะห์รูปร่างของลายเซ็นการเลือกใช้ภาพที่ทำการแปลงเป็นสีขาว-ดำ จะวิเคราะห์รูปร่างได้ง่ายกว่า เมื่อเทียบกับภาพระดับสีเทา

3.1.4 การหากรอบของภาพ

โดยทั่วไปผู้ที่ทำการเซ็นลายเซ็น มักจะเซ็นลายเซ็นไม่เท่ากับขนาดพื้นที่ที่กำหนดไว้ให้ ซึ่งส่วนมากจะมีขนาดเล็กกว่าพื้นที่ที่กำหนด ดังนั้นจึงมีบางส่วนของพื้นที่ที่ไม่สำคัญต่อการวิเคราะห์ เนื่องจากไม่มีข้อมูลใดๆเกี่ยวกับลายเซ็นเลย เพื่อลดความเบี่ยงเบนของลายเซ็น, การวิเคราะห์ข้อมูลที่ไม่จำเป็นและเลือกใช้เฉพาะพื้นที่ส่วนที่มีแต่ตัวลายเซ็นเท่านั้น ดังนั้นจึงต้องมีการหากรอบของภาพ

เนื่องจากพื้นกระดาษที่เซ็นลายเซ็นเป็นสีขาว ซึ่งแตกต่างกับสีลายเซ็นค่อนข้างมาก การหากรอบของภาพจึงสามารถทำได้โดยอาศัยหลักการตรวจสอบหาพิกเซลสี (ที่แตกต่างจากสีพื้นหลังอย่างชัดเจน) ณ ตำแหน่งริมสุดของด้านต่างๆ ทั้ง 4 ด้านของลายเซ็น นั่นคือ บน, ล่าง, ซ้าย และขวา หลังจากนั้นจึงทำการตัดส่วนที่ไม่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ออก ดังแสดงในรูป 3.3



รูป 3.3 การหากรอบของภาพ (ก) ภาพขนาด 16 x 18 พิกเซล ก่อนทำการหากรอบของภาพ (ข) ภาพหลังจากทำการหากรอบภาพ ขนาด 15 x 13 พิกเซล

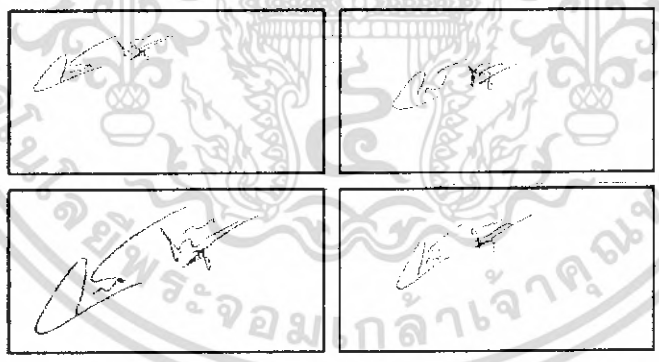
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
62631

ในการหากรอบภาพขาว-ดำ นั้นเป็นส่วนที่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ง่ายเนื่องจากมีค่าเพียง 2 ค่าเท่านั้นคือ 0 และ 255 จากส่วนนี้จึงสามารถนำเอาค่าพิกัดในการตัดหากรอบภาพจากภาพขาว-ดำไปทำการเทียบกับภาพระดับสีเทาที่มาจากขั้นตอนการแปลงสีก่อนหน้า เนื่องจากการแปลงสีของภาพก่อนที่จะมาเป็นภาพขาว-ดำนั้นต้องมีการแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทาก่อน จึงทำการแปลงเป็นภาพขาว-ดำอีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นการนำเอาพิกัดการหากรอบภาพจากภาพขาว-ดำที่ได้ จึงสามารถทำได้เนื่องจากภาพทั้งสองมีขนาดเท่ากันเพียงแต่มีค่าพิกเซลสีไม่เท่ากันเท่านั้น

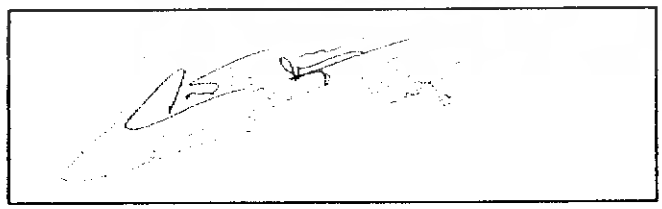
3.2 การดึงคุณลักษณะเด่นของลายเซ็น (Feature Extraction)

3.2.1 การแบ่งจำนวนเซลล์ (Cell) กับการวิเคราะห์

ในการเซ็นลายเซ็นแต่ละครั้ง ถึงแม้ว่าจะเป็นลายเซ็นจากบุคคลคนเดียวกันก็สามารถสังเกตได้ว่า ลายเซ็นมีความเปลี่ยนแปลงหรือแตกต่างจากเดิม แต่โดยภาพรวมแล้วลักษณะลายเซ็นยังคงเดิมอยู่ การเปลี่ยน หรือความแตกต่างเพียงเล็กน้อยนั้น เรียกว่า ความเบี่ยงเบน ซึ่งอาจมีที่มาจากหลายสาเหตุ เช่น ระยะเวลาในการเซ็นที่อาจทิ้งช่วงระยะเวลาไปค่อนข้างมาก ขนาดพื้นที่ที่เซ็นลายเซ็นจำกัด เป็นต้น



(ก)

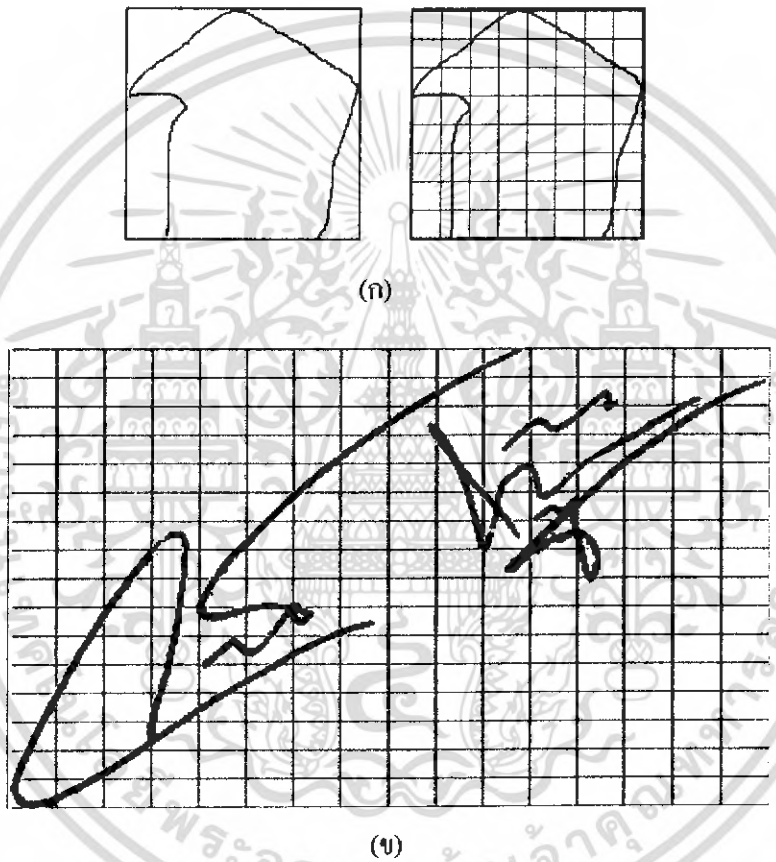


(ข)

รูป 3.4 (ก) แสดงลายเซ็นจากบุคคลเดียวกันที่มีขนาดต่างกัน
(ข) ความเบี่ยงเบนของลายเซ็นอันเกิดจากขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเบี่ยงเบนของลายเซ็นในส่วนของขนาดที่แตกต่างกัน เพื่อให้ขนาดของภาพไม่มีผลกระทบต่อการวิเคราะห์ (รูป 3.4) ดังนั้นจึงนำภาพที่ทำการหาขอบภาพแล้วแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นเซลล์ๆ ตามที่เรากำหนด (รูป 3.5) โดยถึงแม้ภาพที่รับเข้ามามีขนาดต่างกัน การวิเคราะห์เป็นเซลล์ๆก็สามารถทำให้ผลของการวิเคราะห์ของภาพไม่ผิดเพี้ยนซึ่งก็เนื่องมาจากการเฉลี่ยจำนวนพิกเซลภายในภาพแต่ละภาพให้เหมาะกับจำนวนเซลล์ที่เรากำหนดขึ้น แสดงดังรูป 3.5

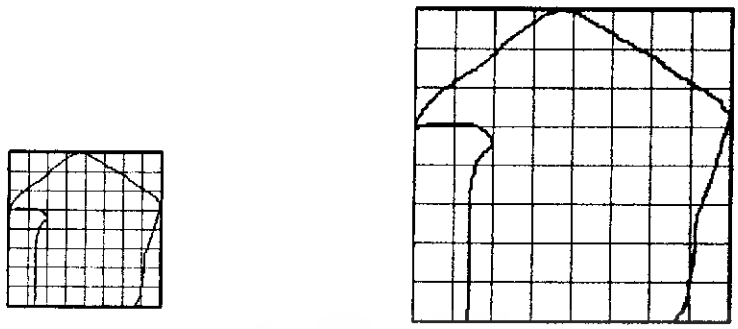


(ก)

(ข)

รูป 3.5 การแบ่งเซลล์เพื่อลดความเบี่ยงเบนทางขนาดของลายเซ็น
(ก) แบ่งเซลล์ 8 x 8 เซลล์ (ข) แบ่งเซลล์16 x 16 เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

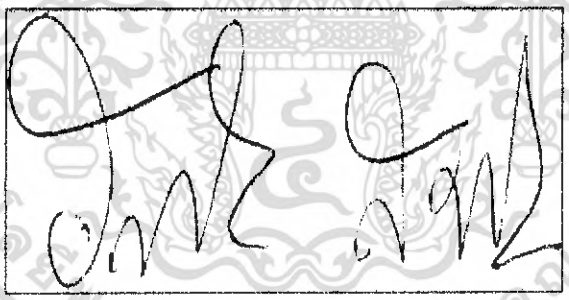


(ก) (ข)

รูป 3.6 แสดงการลดความเบี่ยงเบนทางขนาดด้วยการแบ่งเซลล์ ออกเป็น 8 x 8 เซลล์
(ก) ภาพขนาด 212 x 203 พิกเซล (ข) ภาพขนาด 420 x 405 พิกเซล

ตัวอย่างการแบ่งเซลล์

การแบ่งวิเคราะห์ภาพเป็น 16 x 16 เซลล์ (รูป 3.7: ภาพที่ทำการวิเคราะห์)



รูป 3.7 ภาพที่ทำการหากรอบแล้ว มีขนาด 101 x 458 พิกเซล

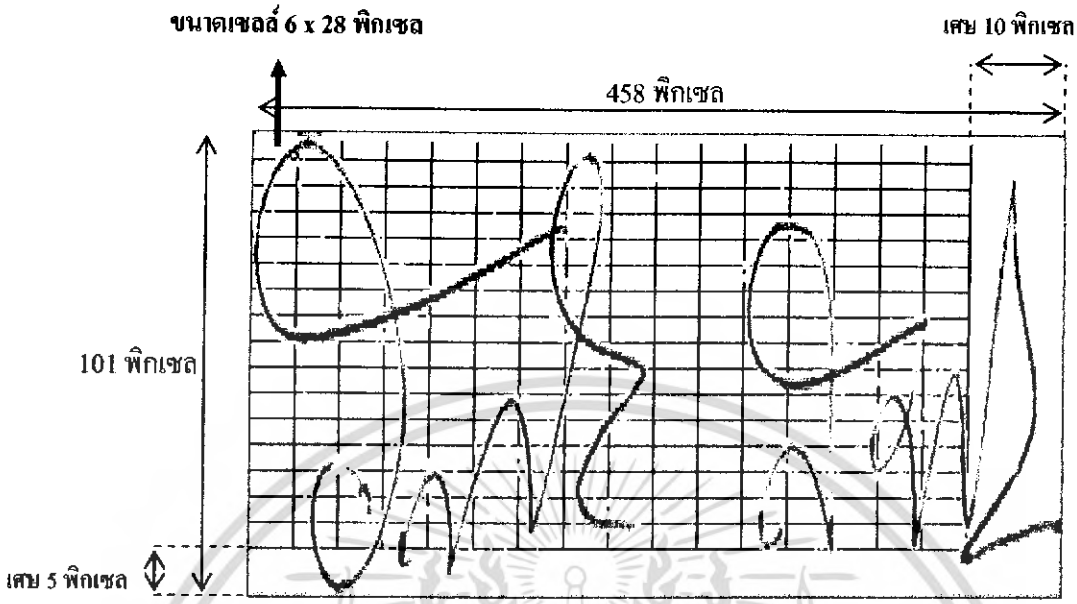
ภาพที่ทำการวิเคราะห์หลังจากหากรอบภาพแล้วมีขนาด 101 x 458 พิกเซล (แนวตั้ง x แนวนอน) ทำการวิเคราะห์ภาพ 16 x 16 เซลล์

(101/16) x (458/16) = 6 x 28 พิกเซล

(101/16) = 6 เศษ 5, (458/16) = 28 เศษ 10

นั่นคือ หมายความว่าในการแบ่งเซลล์ในภาพนี้ พิกเซลที่ถูกบรรจุในแต่ละเซลล์จะมีค่าเท่ากับ 6 x 28 พิกเซล และจะเหลือเศษแนวนอน 5 พิกเซล และแนวตั้ง 10 พิกเซล ดังรูป 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.8 ภาพแสดงการแบ่งเซลล์

การหารแล้วเหลือเศษพิกเซลนั้นทำให้การวิเคราะห์อาจมีผลคลาดเคลื่อนเพราะเศษพิกเซลที่เหลือหากนำมาประกอบเป็นเซลล์ในการวิเคราะห์ จำนวนพิกเซลที่บรรจุอยู่ภายในก็จะมีค่าแตกต่างกับจำนวนพิกเซลในแต่ละเซลล์ส่วนใหญ่มาก

เนื่องมาจากการวิเคราะห์มีความต้องการที่จะลดความเบี่ยงเบนของภาพ และลดเวลาในการประมวลผล (แต่ละภาพมีขนาดเล็กใหญ่ไม่เท่ากันและมีจำนวนพิกเซลมากมายทำให้การวิเคราะห์ประมวลผลใช้เวลามาก) ดังนั้นการแบ่งเซลล์ในการวิเคราะห์ภาพจึงเป็นขั้นตอนสำคัญ ซึ่งจำเป็นที่จะต้องทำให้พิกเซลที่บรรจุอยู่ในแต่ละเซลล์มีจำนวนพอๆกัน ไม่แตกต่างกันมากนักเพื่อให้การตรวจสอบลายเซ็นมีมาตรฐาน และลดความผิดพลาดอันเกิดมาจากเศษในการหาร

จากการคำนวน

(101/16) x (458/16) = 6 x 28 พิกเซล

(101/16) = 6 เศษ 5, (458/16) = 28 เศษ 10

เศษที่ได้ออกมาทั้งแนวตั้งและแนวนอนนั้นจะถูกกระจายไปยังแต่ละเซลล์ในแนวนั้นๆ เช่น แนวตั้ง (101/16) = 6 เศษ 5

เศษ 5 พิกเซลนั้นจะกระจายไปยัง แถวที่ 1-5 จากเดิมแต่ละเซลล์ในแถว(Row) นี้ควรจะมี 6 x 28 พิกเซล เมื่อมีการกระจายพิกเซล ตั้งแต่แถวที่ 1-5 จะมีจำนวนพิกเซลในแนวตั้งเท่ากับ 7 พิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในแนวนอน (458/16) = 28 เศษ 10

เศษ 10 พิกเซลจะกระจายไปยัง หลักที่ 1-10 จำนวนพิกเซลในเซลล์ตามหลัก (Column) ดังกล่าวจะมีจำนวนพิกเซลเท่ากับ 29 พิกเซล

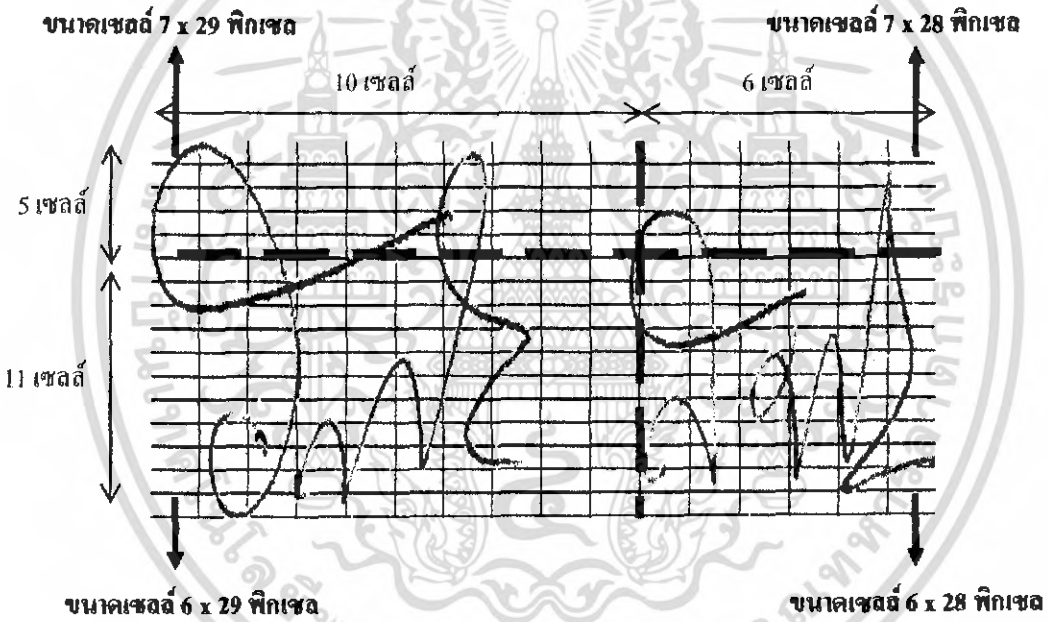
จากขั้นตอนการแบ่งเซลล์จะสรุปได้ว่า (รูป 3.9)

เซลล์ขนาด 7 x 29 พิกเซล จำนวน 5 x 10 เซลล์

เซลล์ขนาด 7 x 28 พิกเซล จำนวน 5 x 6 เซลล์

เซลล์ขนาด 6 x 29 พิกเซล จำนวน 11 x 10 เซลล์

เซลล์ขนาด 6 x 28 พิกเซล จำนวน 11 x 6 เซลล์



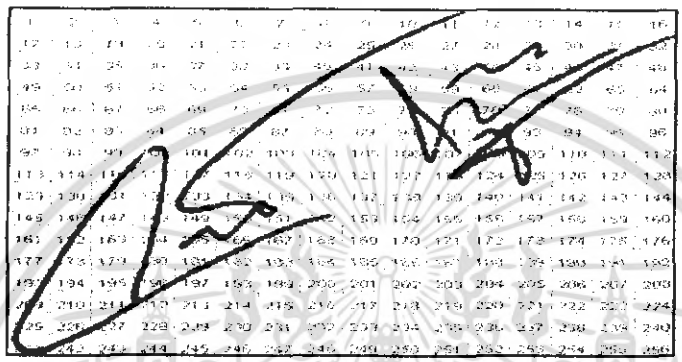
รูป 3.9 แสดงวิธีการแบ่งเซลล์ 16 x16 เซลล์กับภาพขนาด 101 x 458 พิกเซล

จากการที่เราแบ่งเซลล์ในการวิเคราะห์เป็นการวิเคราะห์ภาพเป็นส่วนๆ ซึ่งทำให้รายละเอียดต่างๆที่สามารถหาได้จากลายเซ็นถูกจัดเรียงอย่างเป็นระบบด้วยจำนวนเซลล์ที่กำหนดเอาไว้ นอกเหนือจากนี้ยังเป็นการแก้ไขปัญหาในเรื่องความเบี่ยงทางขนาดของภาพด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 รูปร่างของลายเซ็น

โดยปกติแล้วลายเซ็นของแต่ละบุคคลย่อมมีรูปร่าง (Shape information) แตกต่างกันไป ซึ่งก็จะทำให้เปอร์เซ็นต์ของสีดำของลายเซ็นแตกต่างกันไปด้วยและจากขั้นตอนการแบ่งเซลล์ การวิเคราะห์เป็นส่วนๆ ทำให้สามารถหาเปอร์เซ็นต์ของสีดำในแต่ละเซลล์ของภาพลายเซ็นได้



รูป 3.10 แสดงการแบ่งเซลล์ 16 x 16 เซลล์ในการวิเคราะห์

หากกำหนดการแบ่งเซลล์ภายในภาพเป็นขนาด 16 x 16 เซลล์ จำนวนเซลล์ทั้งหมดภายในภาพจะเท่ากับ 256 เซลล์ ดังรูปที่ 3.10 ซึ่งในทุกๆเซลล์จะมีเปอร์เซ็นต์สีดำ และข้อมูลตรงส่วนนี้สามารถได้ผลเป็นดังรูป 3.11

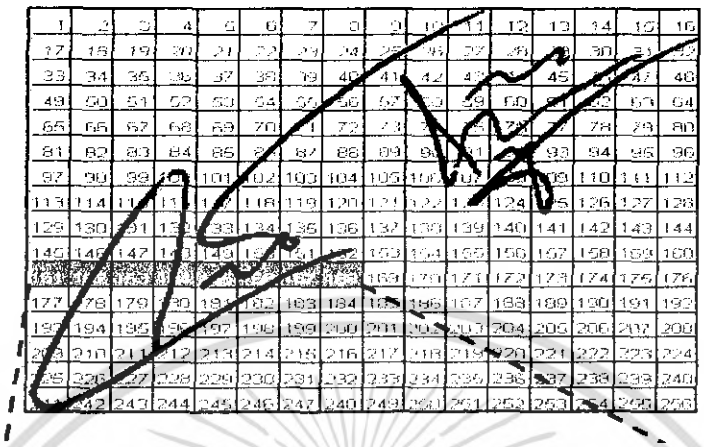
$$P_n = (B_n / N_n) \times 100 \text{ เมื่อ } n=1,2,\ldots,\text{จำนวนเซลล์ในภาพทั้งหมด} \quad \ldots\ldots\ldots (3.1)$$

โดย P_n : เปอร์เซ็นต์สีดำในเซลล์ n

B_n : จำนวนพิกเซลที่เป็นสีดำในเซลล์

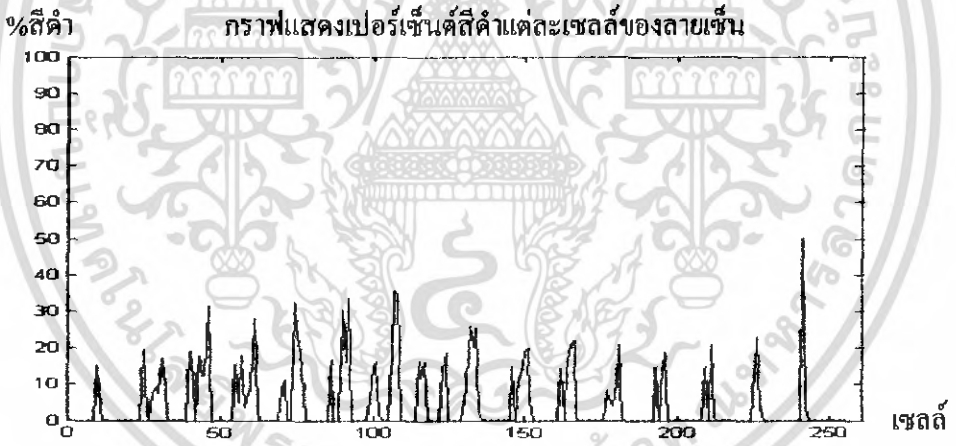
N_n : จำนวนพิกเซลทั้งหมดในเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เซลล์ที่	161	162	163	164	165	166	167	168
%สีดำ	0	11	0	2.62	10.5	18.6	0.71	0

(ก)



(ข)

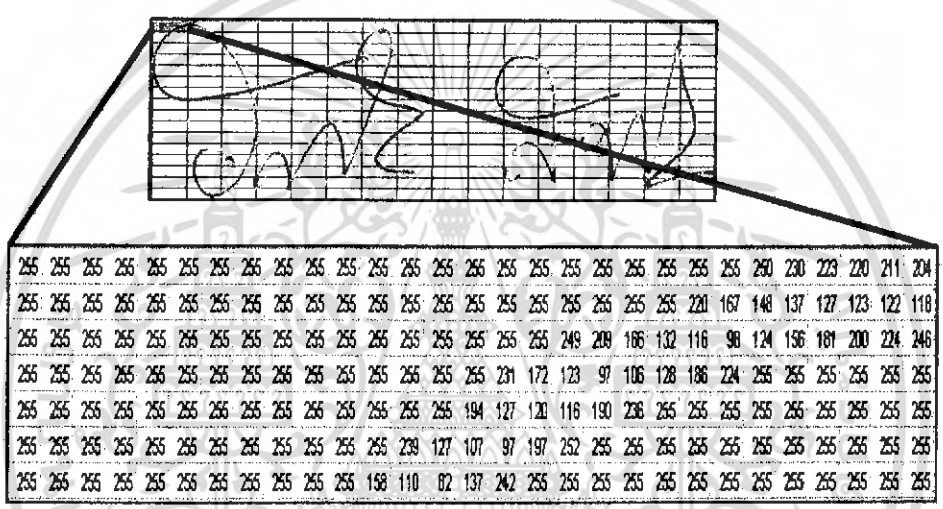
รูป 3.11 (ก) ภาพลายเซ็นที่ทำการวิเคราะห์ด้วยขนาด 16 x 16 เซลล์: แสดงข้อมูลร้อยละสีดำของลายเซ็น 256 ข้อมูล (ข) กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์สีดำของลายเซ็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การวิเคราะห์ภาพระดับสีเทา

เนื่องจากรายละเอียดของภาพระดับสีเทาที่มีมากกว่าภาพขาว-ดำ การวิเคราะห์จึงสามารถตรวจสอบได้มากกว่ารูปร่างของลายเซ็น ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการตรวจสอบลายเซ็นปลอมประเภททั่วไป และลายเซ็นปลอมอย่างมีทักษะเนื่องจากความเป็นไปได้ในการที่รูปร่างของลายเซ็นจะคล้ายกันสามารถเกิดขึ้น การวิเคราะห์ภาพระดับสีเทาจึงเป็นการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบลายเซ็นโดยการดึงเอาคุณลักษณะเด่นประเภทแบบพลวัตเทียมของลายเซ็นขึ้นมา

- การหาค่าเฉลี่ยระดับสีเทาในแต่ละเซลล์



รูป 3.12 ภาพลายเซ็นแสดงค่าระดับสีเทา

จากรูป 3.12 เป็นการนำภาพระดับสีเทามาทำการวิเคราะห์ จากค่าที่เห็นจากรูป จะเห็นว่าระดับสีเทานั้นมีอยู่อย่างหลากหลายและค่าสูงสุดก็คือ 255 (สีขาว) และถือเป็นค่าส่วนใหญ่ในภาพ (พื้นหลังของภาพคือสีขาว) ในการหาค่าเฉลี่ยระดับสีเทาจึงมีการทอนค่าสีในแต่ละพิกเซลลงเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณและการสังเกตผล

$$P'(x,y) = 255 - P(x,y) \quad \text{..... (3.2)}$$

โดย P'(x,y) : ค่าใหม่ของพิกเซล

P(x,y) : ค่าเดิมของพิกเซลก่อนทำการทอน

x: ตำแหน่งในแนวแกน x , y : ตำแหน่งในแนวแกน y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการทอนค่าพิกเซลใน 1 เซลล์

255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	250	230	223	220	211	204
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	220	167	148	137	127	123	122	118
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	249	209	186	132	116	98	124	156	181	200	224	246
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	231	172	123	97	106	128	186	224	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	194	127	120	116	190	236	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	239	127	107	97	197	252	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	158	110	82	137	242	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255

(ก)

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	25	32	35	44	51
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	68	107	116	126	132	133	137
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	46	89	123	139	157	131	99	74	55	31	9
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	83	132	158	149	127	89	31	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	128	135	139	65	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	129	148	158	58	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97	145	173	118	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(ข)

รูป 3.13 การทอนค่าพิกเซลใน 1 เซลล์ (ก) ค่าพิกเซลใน 1 เซลล์ก่อนทำการทอนค่า (ข) ค่าพิกเซลใน 1 เซลล์หลังทำการทอนค่าแล้ว

การหาค่าเฉลี่ยระดับสีเทาในแต่ละเซลล์

$$\text{ค่าเฉลี่ย Grayscale ในแต่ละเซลล์} = \frac{\text{ผลรวมค่า Grayscale ทั้งหมดในเซลล์นั้น}}{\text{จำนวนพิกเซลทั้งหมดในเซลล์นั้น}} \quad \text{..... (3.3)}$$

ตัวอย่างการหาค่าเฉลี่ยระดับสีเทา

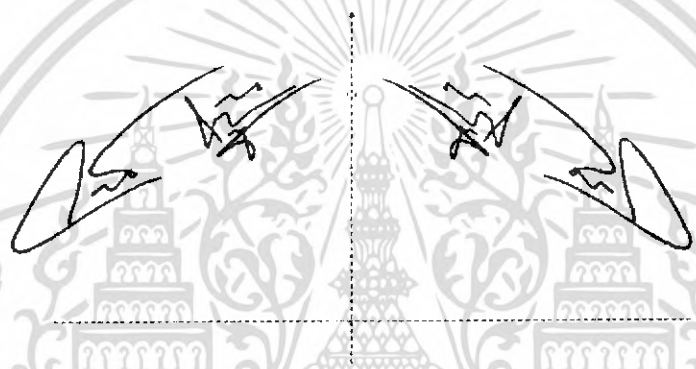
จากรูป 3.13 (ข)

$$\text{ค่าเฉลี่ยระดับสีเทา (Grayscale) ในแต่ละเซลล์} = \frac{612.1667}{7 \times 29 \text{พิกเซล}} = 3.6438$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การประยุกต์ใช้อนุกรมฟูเรียร์

จากความรู้เรื่องการประมาณค่าด้วยฟูเรียร์ ทำให้สามารถตั้งสมมติฐานได้ว่าลายเซ็นนั้นเป็นเสมือนฟังก์ชันคู่รายคาบ (รูป 3.14) ดังนั้นในการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์สีดำ และค่าเฉลี่ยระดับสีเทาในแต่ละเซลล์ของลายเซ็นก็เช่นเดียวกัน เมื่อมีการนำฟูเรียร์เข้ามาใช้เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ ก็จะทำให้สามารถสังเกตผลได้ชัดเจนขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้เป็นคุณลักษณะเด่นในการตรวจสอบลายเซ็นโดยเฉพาะกับการแยกแยะรูปร่างได้



รูป 3.14 แสดงการเป็นฟังก์ชันคู่ของลายเซ็น

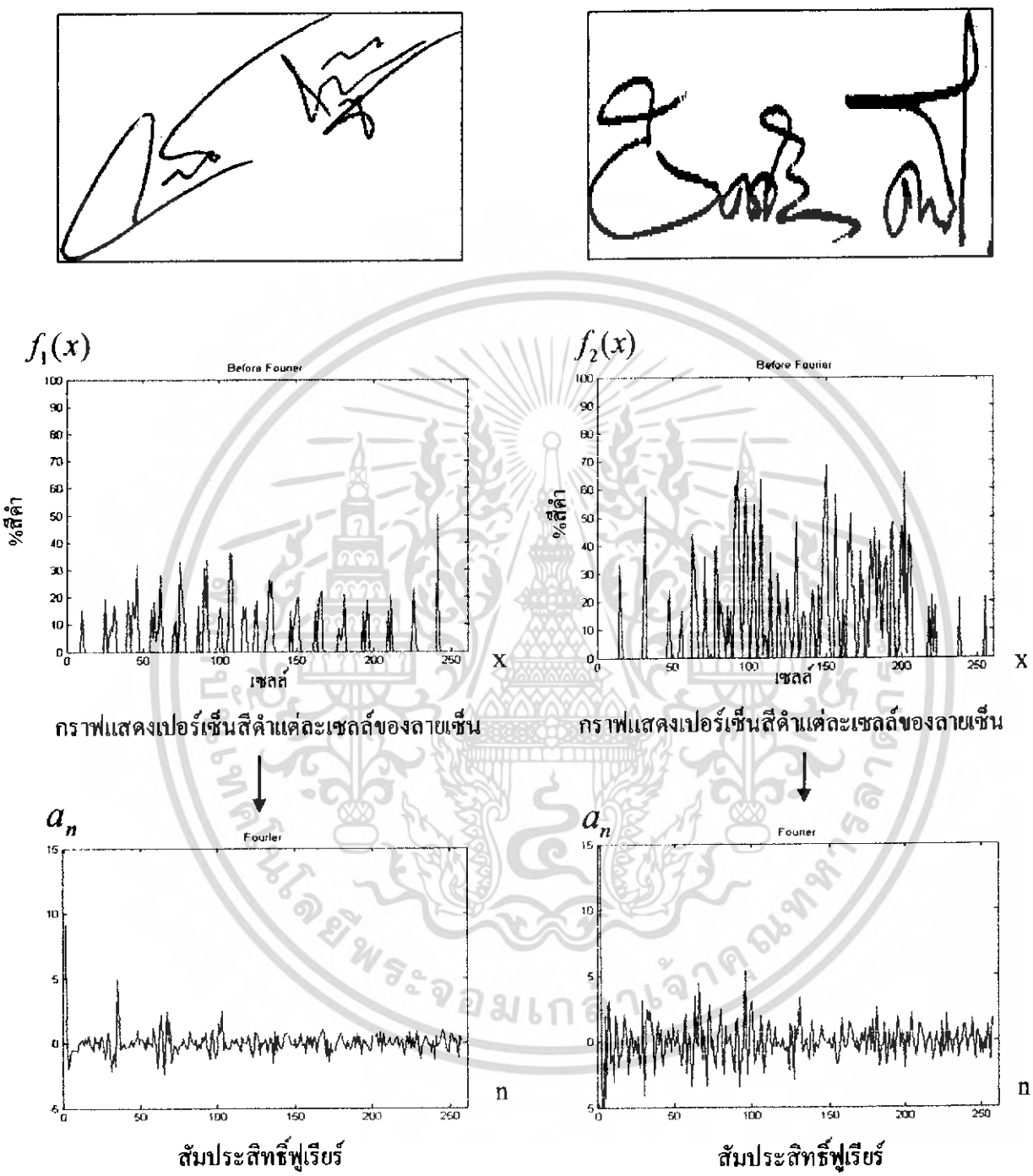
จากสมการ (2.1)

$$f(x) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty}[a_n \cos(n\omega x)]$$

โดยจากสมการ (2.4)

$$a_n = \frac{4}{T}\int_0^{T/2} f(x)\cos(n\omega x)dx$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.15 การประยุกต์ใช้ฟูเรียร์ และเปอร์เซ็นสีดำแต่ละเซลล์ของลายเซ็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การตรวจสอบความถูกต้อง (Signature verification)

ในการตรวจสอบลายเซ็นนั้นจากที่กล่าวมาแล้วว่าจะต้องอาศัยคุณลักษะเด่นของลายเซ็นที่ได้จากขั้นตอนการดึงคุณลักษณะมาเปรียบเทียบกันระหว่างลายเซ็นอ้างอิง (Reference signature) กับลายเซ็นที่ต้องการตรวจสอบ (Testing signature)

3.3.1 ลายเซ็นตัวอย่าง หรือข้อมูลอ้างอิง (Training data)

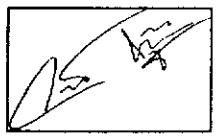
เนื่องมาจากความเบี่ยงเบนของลายเซ็นดังจะเห็นได้ จากรูป 3.4 ในขั้นตอนการตรวจสอบจึงควรใช้ลายเซ็นตัวอย่างที่มีจำนวนเหมาะสม และสมควรที่จะมีจำนวนมากกว่า 1 ลายเซ็น เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ออกมาเป็นข้อมูลคุณลักษณะเด่นอ้างอิงที่ใช้เปรียบเทียบกับข้อมูลคุณลักษณะเด่นนั้นๆจากลายเซ็นที่ต้องการตรวจสอบ ดังนั้นลายเซ็นตัวอย่างจึงถือเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญค่อนข้างมากในขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของลายเซ็น เนื่องจากจำนวนลายเซ็นตัวอย่างที่มีความเหมาะสมกับทั้งระบบการตรวจสอบ และกับทั้งการใช้งานจริง จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการตรวจสอบของระบบ นั่นคือ

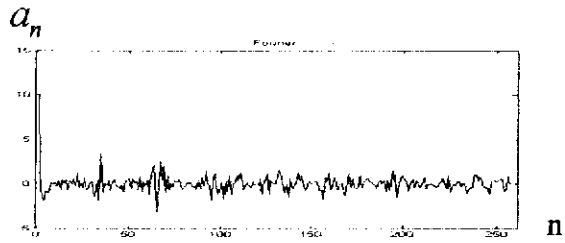
- การใช้จำนวนลายเซ็นตัวอย่างยิ่งมากก็จะยิ่งทำให้ระบบการตรวจสอบลายเซ็นมีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากระบบมีลายเซ็นอ้างอิงจำนวนมากก็จะสามารถทราบได้ว่าส่วนใดเป็นคุณลักษณะเด่นที่แท้จริง และส่วนใดเป็นส่วนที่ไม่จำเป็น ซึ่งหากจำนวนลายเซ็นอ้างอิงมีจำนวนน้อยเกินไป ก็ไม่สามารถทราบแนวโน้มความเบี่ยงเบนของลายเซ็นได้
- จำนวนลายเซ็นตัวอย่างมีจำนวนไม่มากเกินไป จะเหมาะสมกับการใช้งานจริงที่ไม่สามารถจะเก็บตัวอย่างลายเซ็นได้มากมายนัก
- จำนวนลายเซ็นตัวอย่างที่มีจำนวนมากเกินไป จะทำให้ระบบมีความไม่น่าใช้ ยุ่งยาก ทำให้เสียเวลาและผู้ใช้เกิดความเบื่อหน่าย

ในการนำลายเซ็นตัวอย่างมาใช้งานนั้น เมื่อลายเซ็นตัวอย่างมีมากกว่าหนึ่งลายเซ็น ดังนั้นจึงต้องมีการนำคุณลักษณะเด่นของลายเซ็นตัวอย่างมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อจะทำให้เป็นคุณลักษณะเด่นอ้างอิง หรือข้อมูลอ้างอิง (Reference data or Training Data) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับลายเซ็นที่ต้องการตรวจสอบต่อไป

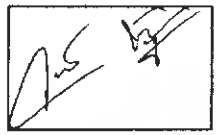
จากขั้นตอนการดึงคุณลักษณะเด่นค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์จากลายเซ็น 5 ลายเซ็นจากบุคคลหนึ่งดังรูป 3.16 เพื่อนำคุณลักษณะเด่นของลายเซ็นส่วนนี้มาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงที่ได้มาจากการเฉลี่ยข้อมูลคุณลักษณะเด่นของลายเซ็นตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.17

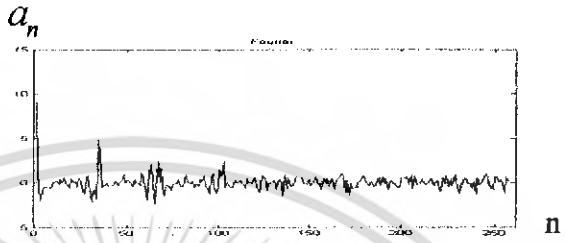
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



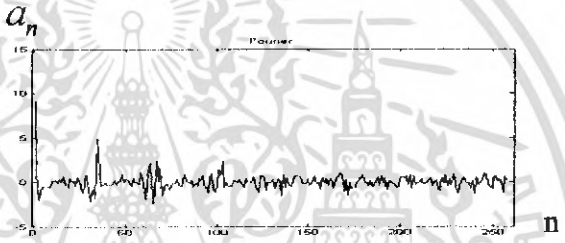


สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ ลายเซ็นตัวอย่างที่ 1

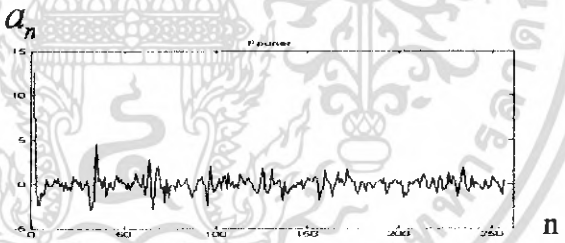




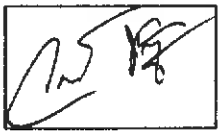
สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ ลายเซ็นตัวอย่างที่ 2

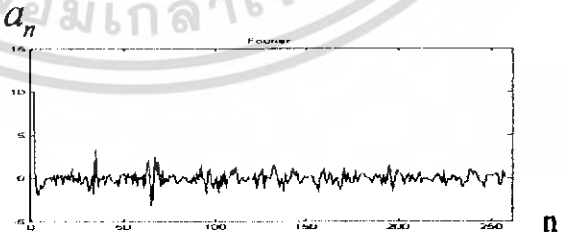


สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ ลายเซ็นตัวอย่างที่ 3



สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ ลายเซ็นตัวอย่างที่ 4

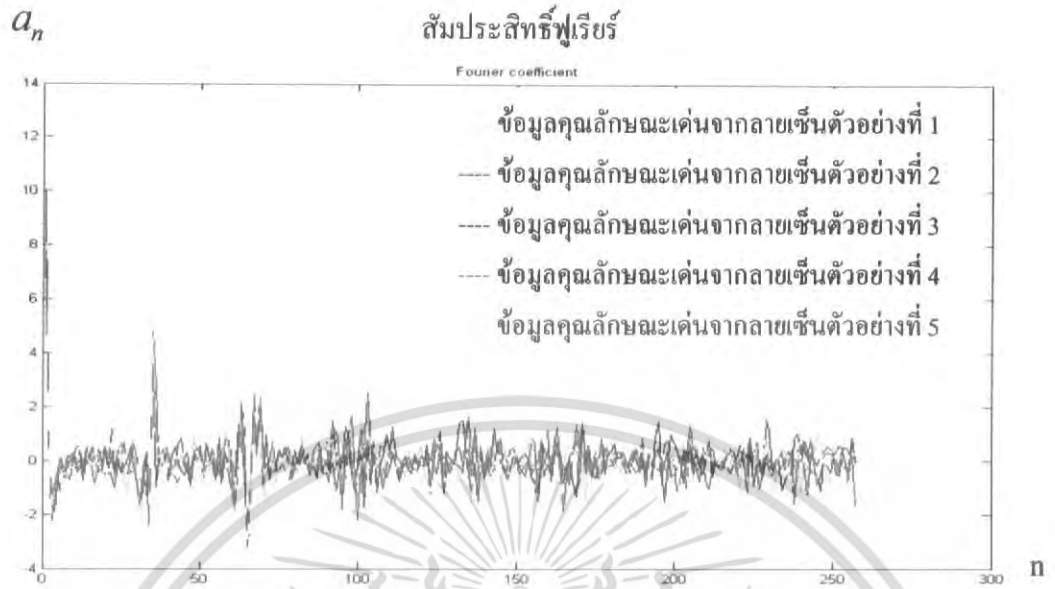




สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ ลายเซ็นตัวอย่างที่ 5

รูป 3.16 ลายเซ็นตัวอย่าง จำนวน 5 ลายเซ็นและสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)

รูป 3.17 (ก) สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์จาก 5 ลายเซ็นตัวอย่าง (ข) ลายเซ็นอ้างอิง / สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์เฉลี่ยจาก 5 ลายเซ็นตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การตรวจสอบโดยหาระยะแบบยูคลิด

เพื่อทำการเปรียบเทียบตรวจสอบสามารถทำได้โดยอาศัยความรู้เรื่องการวัดระยะแบบยูคลิดเข้ามาช่วยหาค่าระยะระหว่างคุณลักษณะเด่นของลายเซ็นอ้างอิงและลายเซ็นตรวจสอบ

กำหนด

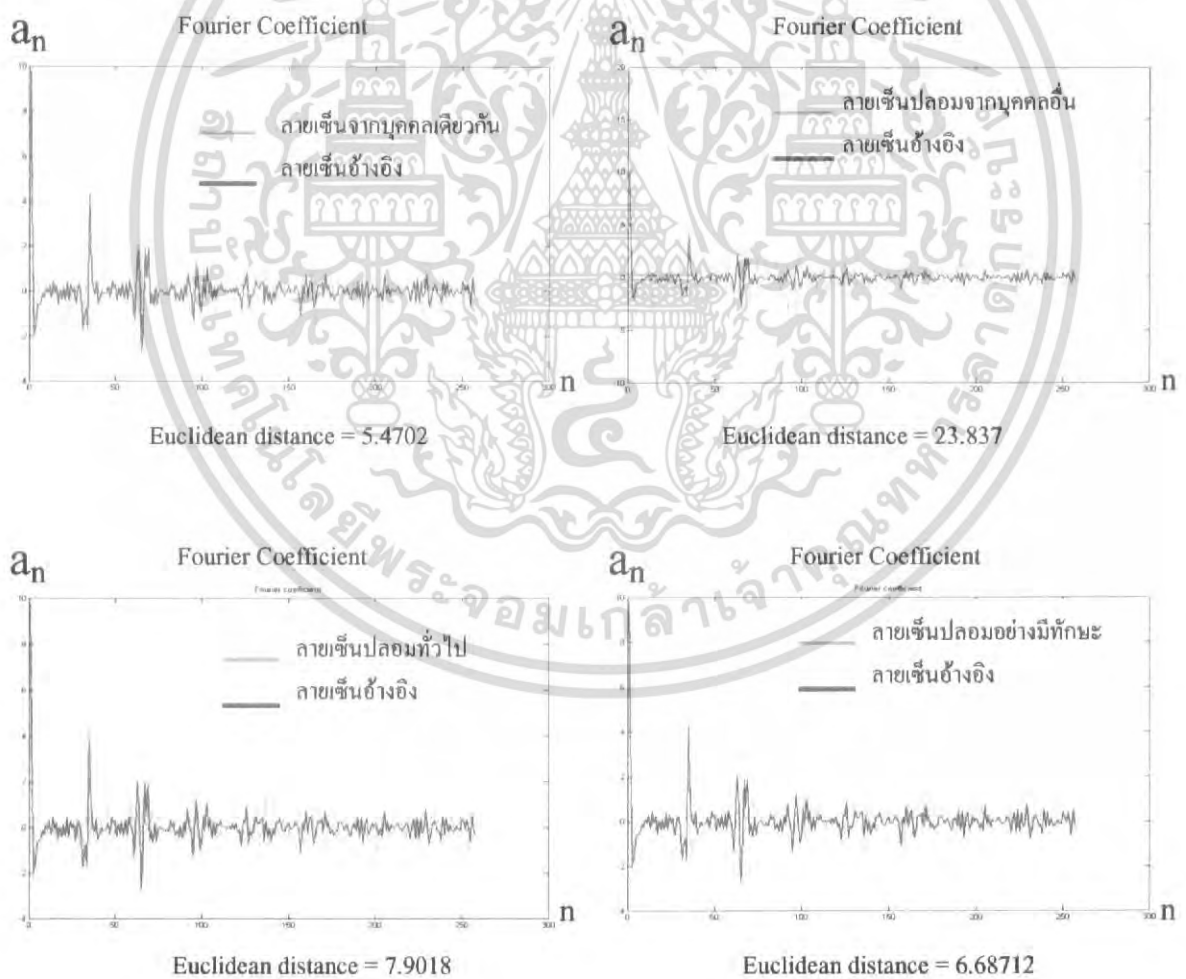
U_k คือ คุณลักษณะเด่นของลายเซ็นที่ใช้เป็นลายเซ็นอ้างอิง ณ ตำแหน่ง k, k = 1,2,3,...

V_k คือ คุณลักษณะเด่นของลายเซ็นที่ต้องการตรวจสอบ ณ ตำแหน่ง k, k = 1,2,3,...

จากสมการ (2.6)

$$\text{Euclidean Distance} = \| U_k - V_k \| \quad \text{..... (3.3)}$$

จากรูป 3.8 คุณลักษณะเด่นที่ใช้คือ สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์เปอร์เซ็นต์สีดำ



รูป 3.18 ระยะทางยูคลิดระหว่างลายเซ็นอ้างอิงกับลายเซ็นในลักษณะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การวัดประสิทธิภาพ

ในการวัดประสิทธิภาพการตรวจสอบลายเซ็นจำเป็นจะต้องมีลายเซ็นจำนวนมากในหลายๆลักษณะที่รับเข้ามาเพื่อนำมาทำการทดสอบวัดประสิทธิภาพของระบบ

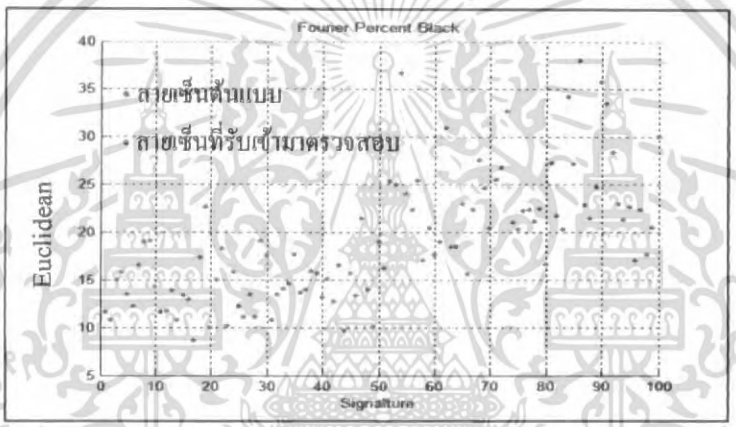
จากสมการ (3.3) ลายเซ็นที่ตรวจสอบจะเป็น

จริง ถ้า $\| U_k - V_k \| < \eta$; $k = 1,2,3,....$

เท็จ ในกรณีอื่นๆ

โดย η คือ ค่าขีดแบ่งจากการคำนวนระยะทางแบบยูคลิดที่เลือก

$\| . \|$ คือ ระยะทางแบบยูคลิด



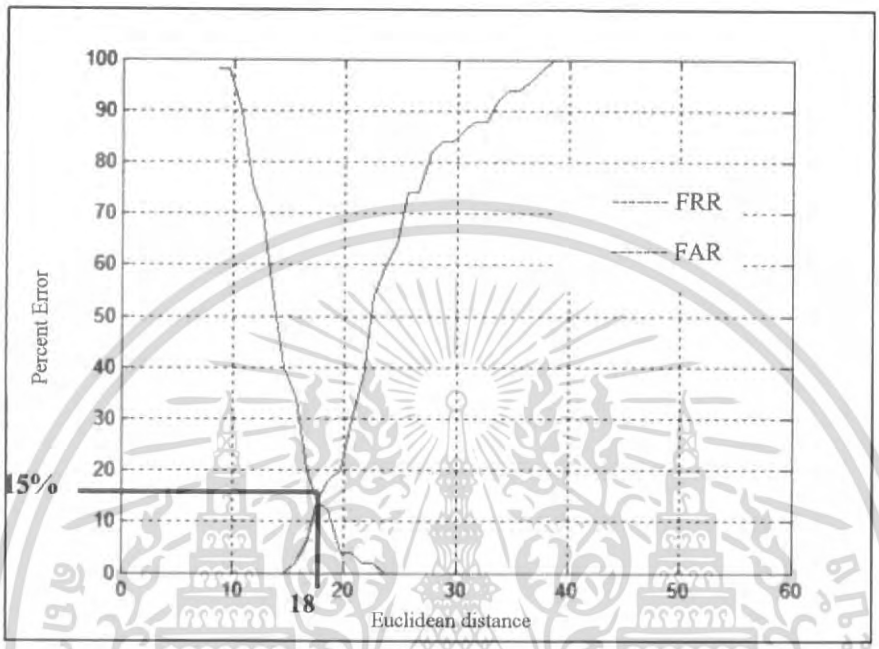
รูป 3.19 กราฟแสดงการตรวจสอบลายเซ็นและระยะทางยูคลิด

η	FRR	FAR
0	100	0
5	100	0
10	96	0
15	34	0
20	4	20
25	0	66
30	0	84
35	0	94
40	0	100

ตาราง 3.1 แสดงการคำนวณประสิทธิภาพการตรวจสอบลายเซ็น
จากกราฟแสดงการตรวจสอบลายเซ็นและระยะทางยูคลิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณในตาราง 3.1 สามารถนำข้อมูลมาวาดกราฟเพื่อวัดประสิทธิภาพของระบบดังรูป 3.19



รูป 3.20 แสดงประสิทธิภาพของระบบ (FRR & FAR)

จำนวนลายเซ็น		ลายเซ็นปลอม	ค่าผิดพลาด (%)	η
อ้างอิง	ทดสอบ			
5	50	50	15	18

ตาราง 3.2 สรุปผลการตรวจสอบลายเซ็นของบุคคลหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 ฐานข้อมูล

การเก็บลายเซ็นเข้าสู่ฐานข้อมูลในคอมพิเตอร์นี้ ได้จากการสแกนภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์ และทำการแบ่งกลุ่มของฐานข้อมูลลายเซ็นออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรก เก็บตัวอย่างลายเซ็นจากบุคคลทั่วไป ในช่วงระยะเวลาต่างๆ จาก 8 บุคคล* บุคคลละ 50 ลายเซ็น และส่วนที่สอง คือ ลายเซ็นปลอมแปลง ซึ่งก็คือลายเซ็นปลอมแปลงแบบทั่วไป และลายเซ็นปลอมแปลงจากผู้เชี่ยวชาญ 400 ลายเซ็น*

(*ข้อมูลในช่วงวันที่ 1 กรกฎาคม-31 ธันวาคม 2548)

4.2 ผลการทดลอง

4.2.1 การทดลองโดยการตรวจสอบรูปร่างของลายเซ็น

4.2.1.1 การทดลองโดยการตรวจสอบรูปร่างของลายเซ็นโดยใช้เปอร์เซ็นต์สีดำในแต่ละเซลล์ของภาพลายเซ็นในการวิเคราะห์

ผลจากการทดลอง

ลายเซ็น	จำนวนลายเซ็น		ลายเซ็นปลอม	ค่าผิดพลาด (%)	η
	อ้างอิง	ทดสอบ			
การตรวจสอบลายเซ็นปลอมที่มีรูปร่างแตกต่างจากลายเซ็นต้นแบบ (Random Forgery)					
A	5	50	50	0	45
B	5	50	50	0	78
C	5	50	50	0	41
D	5	50	50	0	48
E	5	50	50	5	67
F	5	50	50	0	60
G	5	50	50	0	74

ตาราง 4.1 ผลการทดลองการตรวจสอบรูปร่างของลายเซ็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายเซ็น	จำนวนลายเซ็น		ลายเซ็นปลอม	ค่าผิดพลาด (%)	η
	อ้างอิง	ทดสอบ			
H	5	50	50	0	66
			ค่าเฉลี่ย	0.625	
การตรวจสอบลายเซ็นปลอมแบบทั่วไป (Casual Forgery)					
A	5	50	50	30	43
B	5	50	50	44	80
C	5	50	50	30	40
D	5	50	50	29	48
E	5	50	50	22	69
F	5	50	50	28	62
G	5	50	50	25	79
H	5	50	50	35	69
			ค่าเฉลี่ย	30.375	
การตรวจสอบลายเซ็นปลอมจากผู้เชี่ยวชาญ (Skilled Forgery)					
A	5	50	50	32	42
B	5	50	50	56	73
C	5	50	50	34	38
D	5	50	50	32	46
E	5	50	50	70	52
F	5	50	50	48	54
G	5	50	50	55	65
H	5	50	50	73	61
			ค่าเฉลี่ย	50.00	

ตาราง 4.1 (ต่อ) ผลการทดลองการตรวจสอบรูปร่างของลายเซ็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองตรวจสอบรูปร่างของลายเซ็นโดยใช้เปอร์เซ็นต์สีดำในแต่ละเซลล์เป็นตัวเปรียบเทียบตรวจสอบ การตรวจสอบในลักษณะนี้เน้นการตรวจสอบทางด้านรูปร่าง การตรวจสอบทำโดยการแบ่งภาพในการวิเคราะห์ออกเป็น 12 x 24 เซลล์ และทำการตรวจสอบ จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ลายเซ็นปลอมจากบุคคลอื่นให้ผลการทดลองที่ดีสุด เนื่องจากเป็นการตรวจสอบรูปร่าง ลายเซ็นปลอมลักษณะนี้มีความแตกต่างกับลายเซ็นต้นแบบมากที่สุด การตรวจสอบลายเซ็นด้วยวิธีนี้จึงให้ผลค่อนข้างดี

ส่วนการตรวจสอบลายเซ็นปลอมแบบทั่วไป และลายเซ็นปลอมอย่างมีทักษะนั้นมีค่าความผิดพลาด 30.375% และ 50% ตามลำดับ เนื่องจากลายเซ็นปลอมทั้ง 2 ประเภทนี้เป็นลายเซ็นที่มีรูปร่างค่อนข้างคล้ายหรือเหมือนกับลายเซ็นต้นแบบ ดังนั้นการตรวจสอบด้วยวิธีนี้จึงยังให้ผลได้ไม่ดีเท่าที่ควร

4.2.1.2 การทดลองการตรวจสอบรูปร่างของลายเซ็นโดยใช้เปอร์เซ็นต์สีดำในแต่ละเซลล์ของภาพลายเซ็นในการวิเคราะห์ และปรับปรุงโดยใช้สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์

ผลจากการทดลอง

ลายเซ็น	จำนวนลายเซ็น		ลายเซ็นปลอม	ค่าผิดพลาด (%)	η
	อ้างอิง	ทดสอบ			
การตรวจสอบลายเซ็นปลอมที่มีรูปร่างแตกต่างจากลายเซ็นต้นแบบ (Random Forgery)					
A	5	50	50	0	8
B	5	50	50	0	10
C	5	50	50	0	7
D	5	50	50	0	8
E	5	50	50	0	8
F	5	50	50	0	4
G	5	50	50	0	9
H	5	50	50	0	12
			ค่าเฉลี่ย	0	

ตาราง 4.2 ผลการทดลองการตรวจสอบรูปร่างของลายเซ็นโดยใช้เปอร์เซ็นต์สีดำในแต่ละเซลล์ของภาพลายเซ็นในการวิเคราะห์ และปรับปรุงโดยใช้สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายเซ็น	จำนวนลายเซ็น		ลายเซ็นปลอม	ค่าผิดพลาด (%)	ηη
	อ้างอิง	ทดสอบ			
การตรวจสอบลายเซ็นปลอมแบบทั่วไป (Casual Forgery)					
A	5	50	50	29	4
B	5	50	50	43	6
C	5	50	50	25	3
D	5	50	50	25	3
E	5	50	50	30	5
F	5	50	50	29	5
G	5	50	50	22	6
H	5	50	50	37	6
			ค่าเฉลี่ย	30.00	
การตรวจสอบลายเซ็นปลอมจากผู้เชี่ยวชาญ (Skilled Forgery)					
A	5	50	50	31	4
B	5	50	50	50	6
C	5	50	50	35	3
D	5	50	50	27	3
E	5	50	50	45	4
F	5	50	50	50	4
G	5	50	50	50	5
H	5	50	50	35	6
			ค่าเฉลี่ย	40.375	

ตาราง 4.2 (ต่อ) ผลการทดลองการตรวจสอบรูปร่างของลายเซ็นโดยใช้เปอร์เซ็นต์สีดำในแต่ละเซลล์ของภาพลายเซ็นในการวิเคราะห์ และปรับปรุงโดยใช้สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อการตรวจสอบรูปร่างของลายเซ็น โดยใช้เปอร์เซ็นต์ของสีดำในแต่ละเซลล์มาทำการวิเคราะห์จากผลที่ได้ในการทดลองที่แล้วจึงมีแนวความคิดที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพในการตรวจสอบลายเซ็นในเรื่องรูปร่างให้ดีขึ้น ดังนั้นจึงมีการนำเอาความรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่องฟูเรียร์มาใช้ ซึ่งจากการทดลองแสดงให้เห็นแล้วว่าการใช้สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์มาช่วยนั้นต้องมีการเลือกพิจารณาข้อมูลบางส่วนไม่สามารถใช้ข้อมูลทุกส่วนได้ ดังนั้นในการตรวจสอบจึงควรเลือกช่วงข้อมูลที่เหมาะสม (ในที่นี้คือ ช่วง 100 ข้อมูลแรก: : a_0-a_{99}) จึงจะสามารถทำการตรวจสอบลายเซ็นได้มีประสิทธิภาพดี

4.2.2 การทดลองโดยอาศัยคุณลักษณะเด่นแบบพลวัตเทียม

4.2.2.1 การทดลองโดยอาศัยคุณลักษณะเด่นแบบพลวัตเทียมโดยการหาค่าเฉลี่ยระดับสีเทาในแต่ละเซลล์ และปรับปรุงโดยใช้สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์

ผลจากการทดลอง

ลายเซ็น	จำนวนลายเซ็น		ลายเซ็นปลอม	ค่าผิดพลาด (%)	η
	อ้างอิง	ทดสอบ			
การตรวจสอบลายเซ็นปลอมที่มีรูปร่างแตกต่างจากลายเซ็นต้นแบบ (Random Forgery)					
A	5	50	50	0	28
B	5	50	50	0	30
C	5	50	50	0	26
D	5	50	50	0	35
E	5	50	50	0	31
F	5	50	50	0	29
G	5	50	50	0	40
H	5	50	50	0	27
			ค่าเฉลี่ย	0	

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการตรวจสอบลายเซ็นโดยใช้สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของค่าเฉลี่ยระดับสีเทา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายเซ็น	จำนวนลายเซ็น		ลายเซ็นปลอม	ค่าผิดพลาด (%)	η
	อ้างอิง	ทดสอบ			
การตรวจสอบลายเซ็นปลอมแบบทั่วไป (Casual Forgery)					
A	5	50	50	0	24
B	5	50	50	1	27
C	5	50	50	0	23
D	5	50	50	2	33
E	5	50	50	2	26
F	5	50	50	5	27
G	5	50	50	0	37
H	5	50	50	2	26
			ค่าเฉลี่ย	1.50	
การตรวจสอบลายเซ็นปลอมอย่างมีทักษะ (Skilled Forgery)					
A	5	50	50	8	23
B	5	50	50	23	18
C	5	50	50	14	18
D	5	50	50	14	29
E	5	50	50	20	20
F	5	50	50	40	22
G	5	50	50	39	29
H	5	50	50	12	22
			ค่าเฉลี่ย	21.25	

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ผลการทดลองการตรวจสอบลายเซ็นโดยใช้สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของค่าเฉลี่ยระดับสีเทา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองส่วนนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเอาคุณลักษณะเด่นแบบพลวัตเทียมมาใช้ในการตรวจสอบลายเซ็นเพื่อให้สามารถตรวจจับลายเซ็นปลอมอย่างมีทักษะให้ได้ประสิทธิภาพดีขึ้น เนื่องมาจากการตรวจสอบรูปร่างของลายเซ็นโดยใช้ภาพขาว-ดำมาทำการวิเคราะห์นั้นทำได้เพียงการแยกแยะลายเซ็นปลอมจากบุคคลอื่น และการปลอมแบบทั่วไปเท่านั้น จึงเป็นสาเหตุของการนำเอาข้อมูลระดับสีเทามาใช้

เนื่องจากการใช้ค่าเฉลี่ยระดับสีเทาข้อมูลมีความหลากหลายกว่า นั่นคือรายละเอียดของข้อมูลระดับสีเทาในแต่ละพิกเซลสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ได้มากกว่าภาพขาว-ดำที่มีข้อมูลเพียงแค่ 2 ค่า คือข้อมูลที่แสดงสีขาว และสีดำ และรายละเอียดที่มากขึ้นของค่าระดับสีเทาก็เป็นคุณลักษณะเด่นที่ปลอมแปลงยาก จึงทำให้สามารถแยกแยะลายเซ็นปลอมแปลงแบบทั่วไป และลายเซ็นปลอมจากผู้เชี่ยวชาญได้ผลค่อนข้างดีกว่า จะมีเฉพาะบางลายเซ็นเท่านั้นที่การตรวจสอบด้วยวิธีนี้ให้ผลไม่ดีเท่าที่ควร

การทดลอง	Random Forgery	Casual Forgery	Skilled Forgery
	ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด (%)	ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด (%)	ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด (%)
1. การตรวจสอบลายเซ็นด้วยเปอร์เซ็นต์สีดำในแต่ละเซลล์	0.625	30.375	50.00
2. การตรวจสอบลายเซ็นด้วยสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของเปอร์เซ็นต์สีดำ	0	30.00	40.375
3. การตรวจสอบลายเซ็นด้วยสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของค่าเฉลี่ยระดับสีเทา	0	1.50	21.25

ตาราง 4.4 สรุปผลการทดลองการตรวจสอบลายเซ็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5
สรุป

5.1 สรุปผลการทำงาน

ปริญญานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบลายเซ็นประเภทออฟไลน์โดยในขั้นแรกได้นำวิธีการแบ่งเซลล์ของลายเซ็นเข้ามาช่วยแก้ปัญหาความเบี่ยงเบนที่เกิดจากขนาดของลายเซ็น จากนั้นคุณลักษณะเด่นของลายเซ็นจะถูกพิจารณาจากระดับสีเทาที่ได้จากภาพของลายเซ็น เพื่อดึงคุณลักษณะเด่นซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวบุคคล และเพื่อลดจำนวนข้อมูลที่นำมาใช้ในการตรวจสอบลายเซ็น จึงได้นำการประมาณค่าลายเซ็นโดยอนุกรมฟูเรียร์มาใช้ โดยคุณลักษณะเด่นของลายเซ็นจะแสดงผลได้โดยค่าสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูเรียร์ของค่าเฉลี่ยระดับสีเทาที่ได้จากภาพลายเซ็น และสุดท้ายคือการตรวจสอบความถูกต้องของลายเซ็นกระทำโดยการคำนวณค่าระยะทางแบบยูคลิดระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่คำนวณจากลายเซ็นอ้างอิงและลายเซ็นที่นำมาตรวจสอบ

จากผลการทดลองพบว่าวิธีที่นำเสนอใช้ได้ดีกับการตรวจสอบลายเซ็นที่มีรูปร่างแตกต่างจากลายเซ็นต้นแบบ (Random Forgery) และลายเซ็นปลอมแบบทั่วไป (Casual Forgery) แต่สำหรับลายเซ็นที่มีการปลอมแปลงแบบชำนาญ (Skill forgery) ยังคงต้องมีการปรับปรุงวิธีการต่อไปเพื่อให้ได้ผลที่ดียิ่งขึ้น

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงาน

1. ลายเซ็นของแต่ละบุคคลมีความเบี่ยงเบน(Fluctuation) การตรวจสอบและเปรียบเทียบลายเซ็นจึงทำได้ยาก

2. ในการทดลองเมื่อทำการวิเคราะห์ภาพโดยการแบ่งเซลล์ พบว่าขนาดเซลล์อาจมีผลต่อการตรวจสอบลายเซ็น การแบ่งเซลล์ขนาดหนึ่งๆ อาจเหมาะสำหรับลักษณะลายเซ็นบางลักษณะเท่านั้น

3. ลายเซ็นที่เป็นตัวเขียนจะทำการตรวจสอบได้ยากกว่าลายเซ็นแบบทั่วไป เนื่องจากแต่ละตัวอักษรของลายเซ็นที่เป็นตัวเขียนมีช่องว่างซึ่งทำให้เกิดความเบี่ยงเบนสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ

5.3.1 การใช้ค่าความแปรปรวนเพื่อวิเคราะห์แนวโน้มของลายเซ็น

เนื่องจากข้อมูลจากพิกเซลสีในภาพลายเซ็นนั้นมีอยู่อย่างมากมาย หากเราสามารถดึงกลุ่มข้อมูลที่น่าสนใจออกมา แล้วทำการวิเคราะห์โดยอาศัยความรู้เรื่องสถิติในเรื่องค่าความแปรปรวนเข้ามาช่วย อาจสามารถทำให้ประสิทธิภาพของการตรวจสอบดียิ่งขึ้น

ความเบี่ยงเบนของลายเซ็นจากเจ้าของลายเซ็นเองเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นอยู่เสมอ ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่เซ็น ดังนั้นการตรวจสอบจึงเป็นเรื่องยากเนื่องจากความเบี่ยงเบนของลายเซ็นนั้นสูง ดังนั้นการนำเอาการคำนวนค่าความแปรปรวนมาช่วยอาจทำให้ทราบว่าลายเซ็นต้นแบบที่เซ็นต่างเวลากันมากๆเมื่อนำมาเป็นลายเซ็นต้นแบบ ความแปรปรวนจะสามารถเป็นตัวกำหนดได้ว่าลายเซ็นที่ต้องการตรวจสอบมีค่าความแปรปรวนเกินไปจากที่กำหนดหรือไม่ ซึ่งหากค่านั้นเกินก็หมายความว่าลายเซ็นนั้นเป็นลายเซ็นปลอม

5.3.2 การใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงในแต่ละเซลล์

ในการเซ็นลายเซ็นแต่ละครั้ง ในชีวิตจริงการเซ็นลายเซ็นประเภทออฟไลน์นั้นไม่สามารถกำหนดได้ว่าปากกาที่ใช้เซ็นควรจะมีลักษณะไหน หากการเซ็นลายเซ็นเกิดจากปากกาที่มีหัวขนาดใหญ่ข้อมูลพิกเซลสีในภาพก็จะมีความแตกต่างจากการเซ็นการปากกาหัวแหลมขนาดเล็กซึ่งทำให้การตรวจสอบลายเซ็นไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

แต่เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงในการเซ็นลายเซ็นจากบุคคลเดียวกันย่อมมีค่าใกล้เคียงกัน และขนาดของหัวปากกาในการเซ็นย่อมไม่มีผลกับข้อมูลส่วนนี้ การตรวจสอบโดยการใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงจึงน่าจำทำให้ประสิทธิภาพในการตรวจสอบลายเซ็นดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Pitak Thumwarin, On-Line Writer Recognition for Thai based on Impulse Response of FIR System characterizing Handwriting Motion, Course of Electrical Engineering, Graduate school of Engineering, Tokai University, Japan.

[2] Robert Sabourin, Member, IEEE, Ginette Gonest and Françoise J.Prêteux, Off-Line Signature Verification by Local Granulometric Size Distributions, IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, Vol.19, No.9, September 1997.

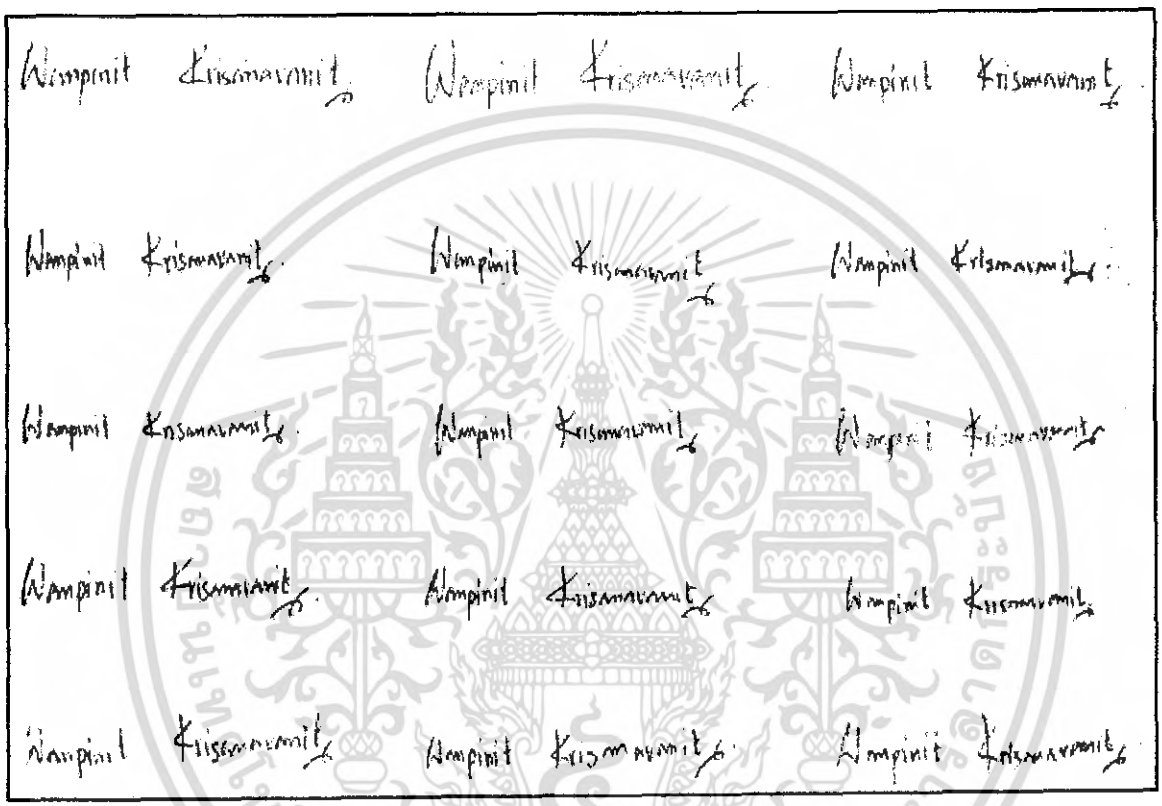
[3] Steven C. Chapra and Raymond P. Canale, Numerical Methods for Engineers : with Programming and Software Applications - 3rd Edition, McGraw-Hill Book Companies : Singapore, 1998.

[4] Weiping Hou, Xiufen Ye and Kejun Wang, A Survey of Off-line Signature Verification, Proceeding of the 2004 International Conference on Intelligent Mechatronics and Automation Chengdu, China, August 2004.

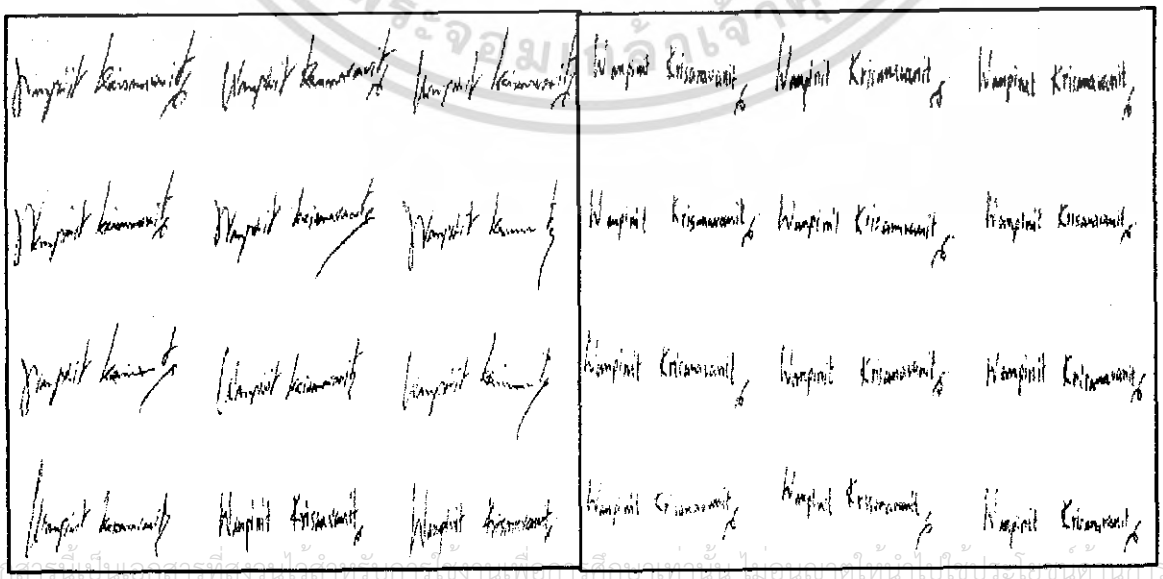
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก
ตัวอย่างลายเซ็นที่ใช้ในการทดลอง

ลายเซ็นต้นแบบ A

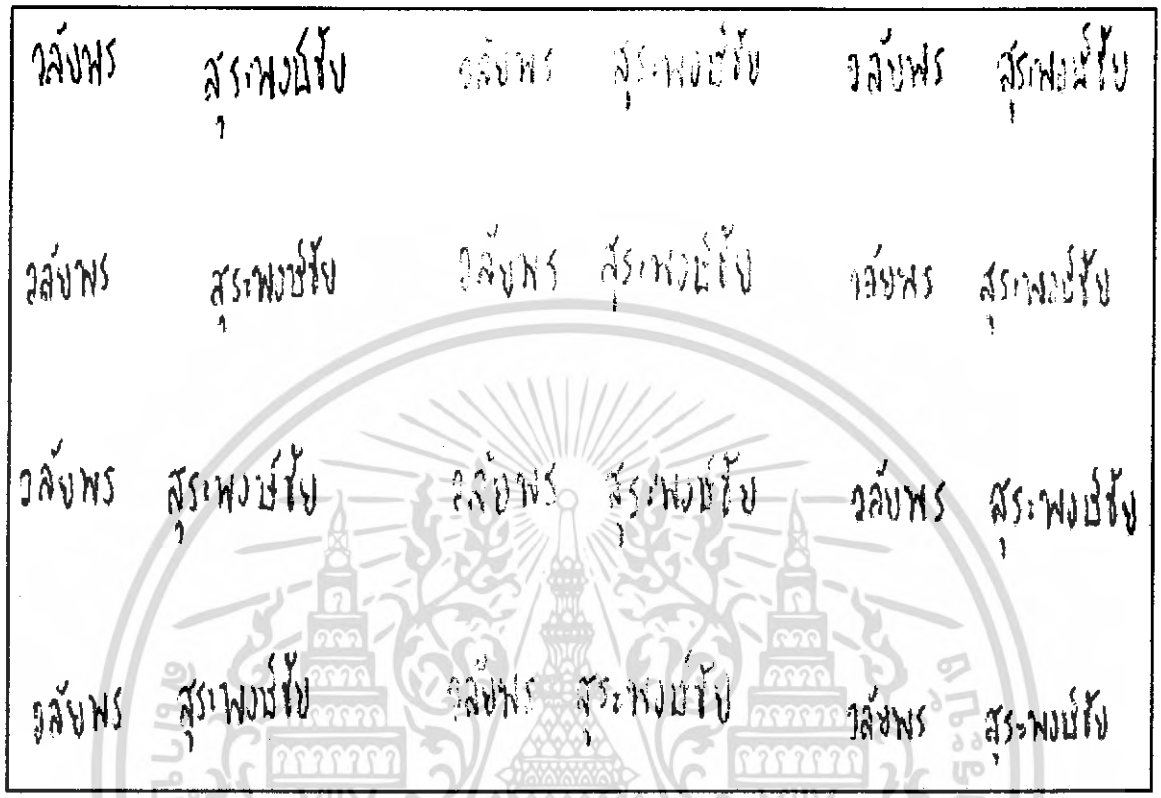


ลายเซ็นปลอมแบบทั่วไป (Casual Forgery) **ลายเซ็นปลอมอย่างมีทักษะ (Skilled Forgery)**

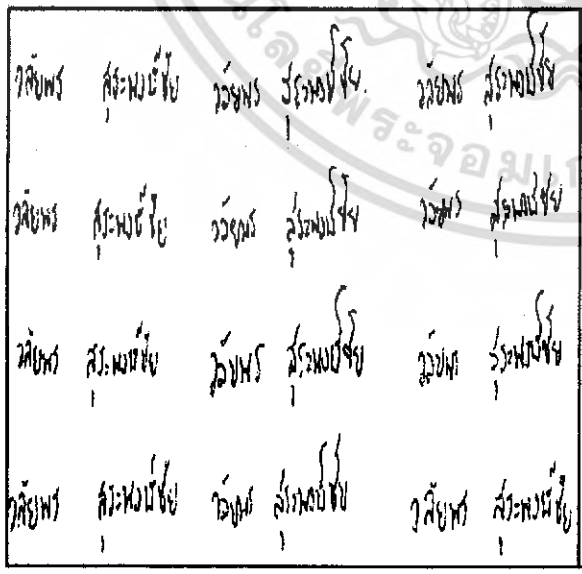


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

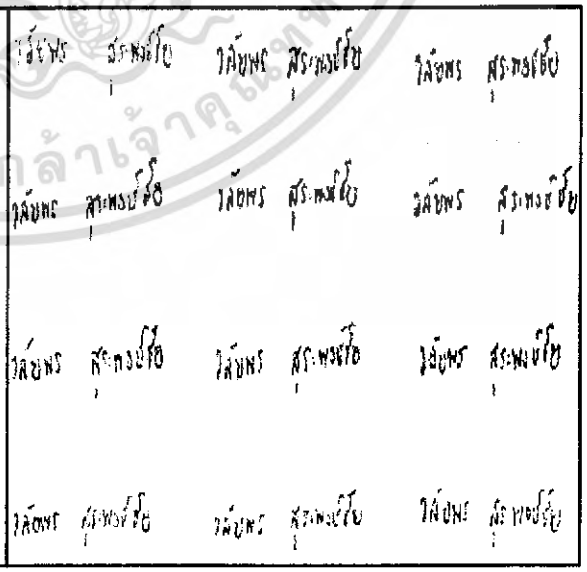
ลายเซ็นต้นแบบ B



ลายเซ็นปลอมแบบทั่วไป (Casual Forgery)

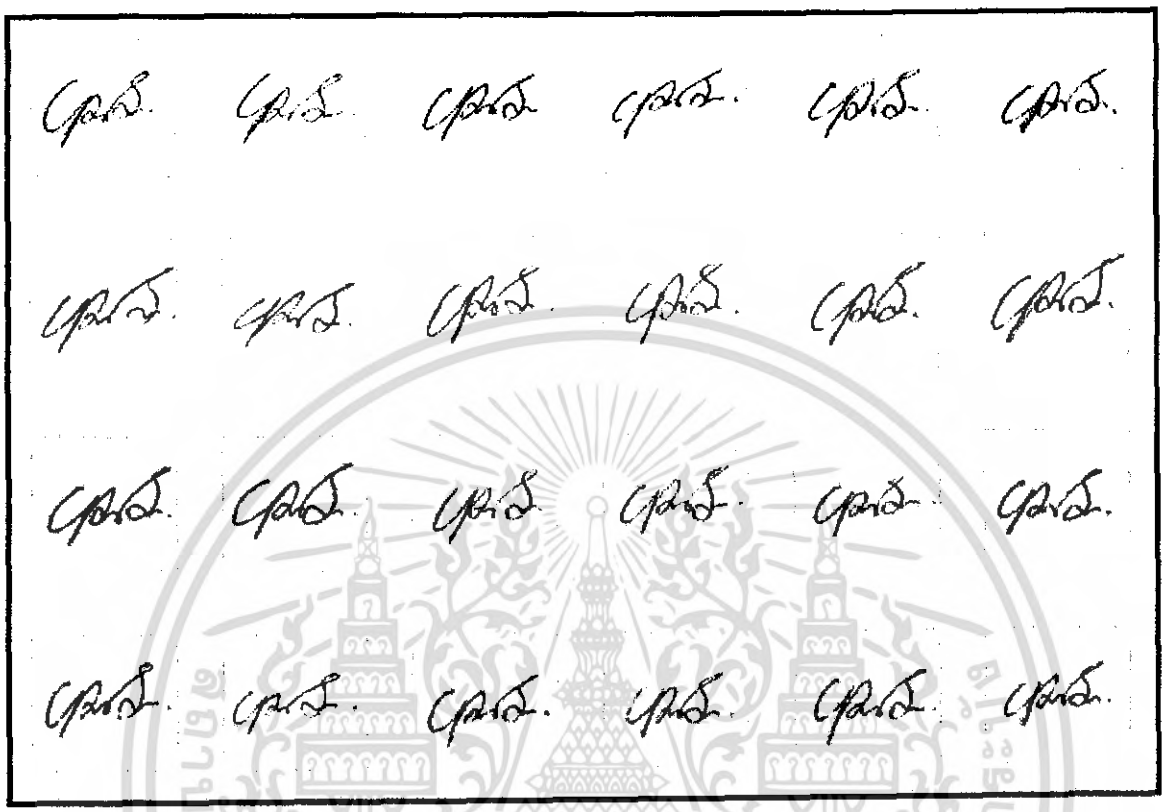


ลายเซ็นปลอมอย่างมีทักษะ (Skilled Forgery)

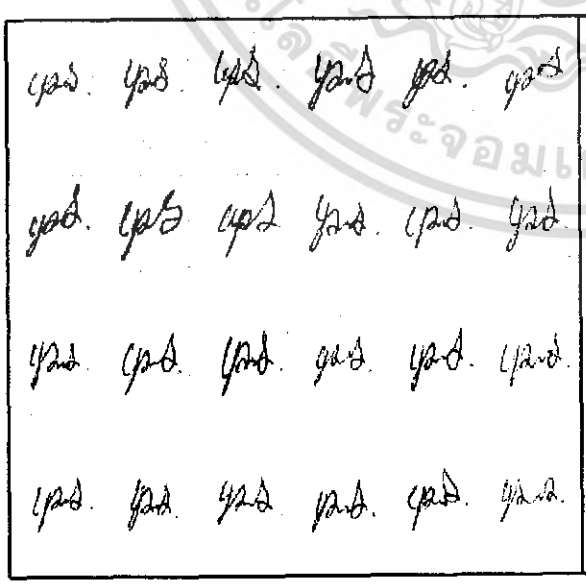


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

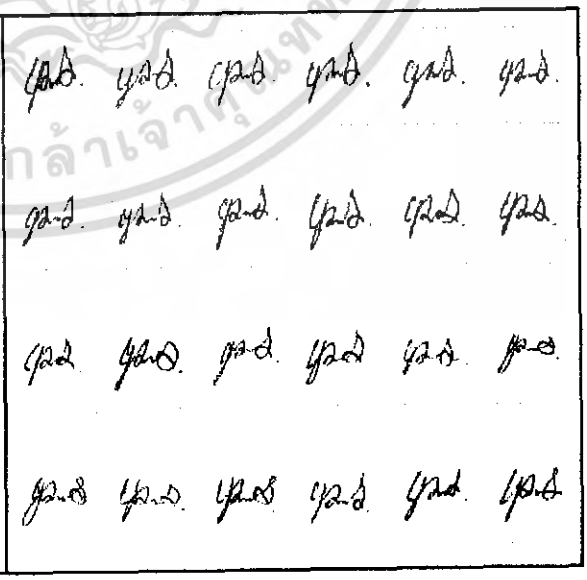
ลายเซ็นต้นแบบ C



ลายเซ็นปลอมแบบทั่วไป (Casual Forgery)



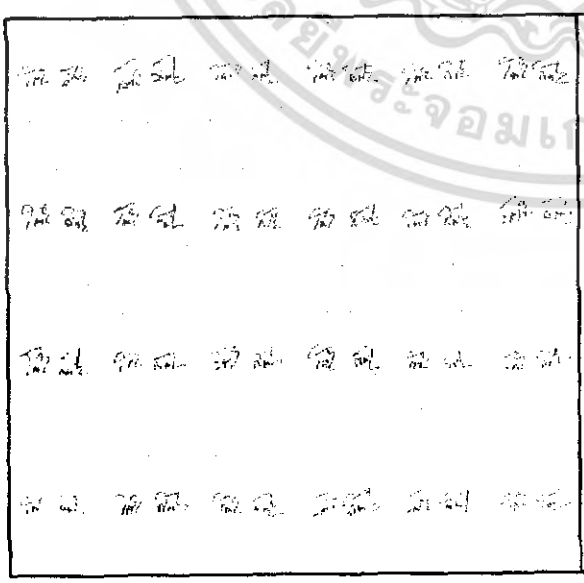
ลายเซ็นปลอมอย่างมีทักษะ (Skilled Forgery)



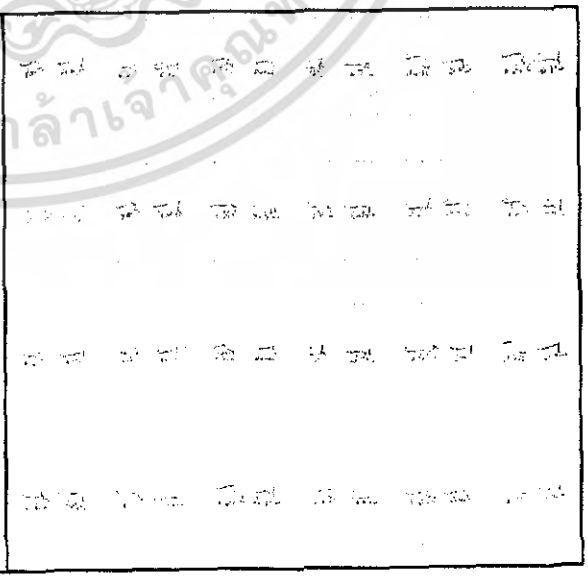
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายเซ็นต้นแบบ D

ลายเซ็นปลอมแบบทั่วไป (Casual Forgery)

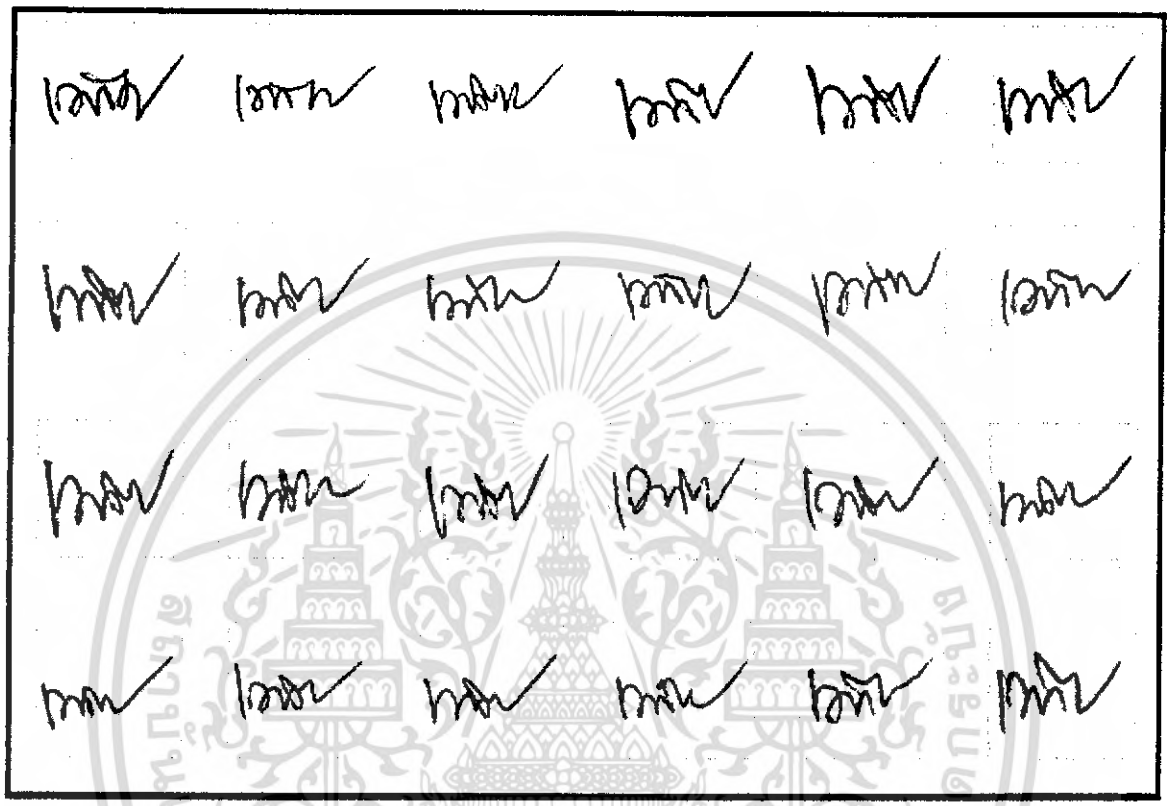


ลายเซ็นปลอมอย่างมีทักษะ (Skilled Forgery)

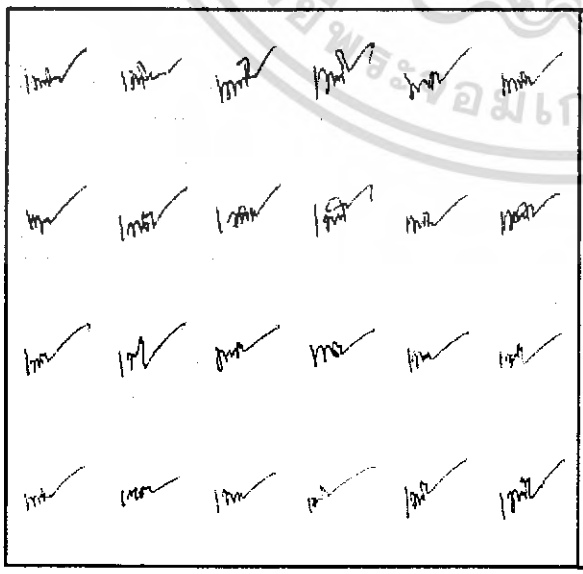


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายเซ็นต้นแบบ E



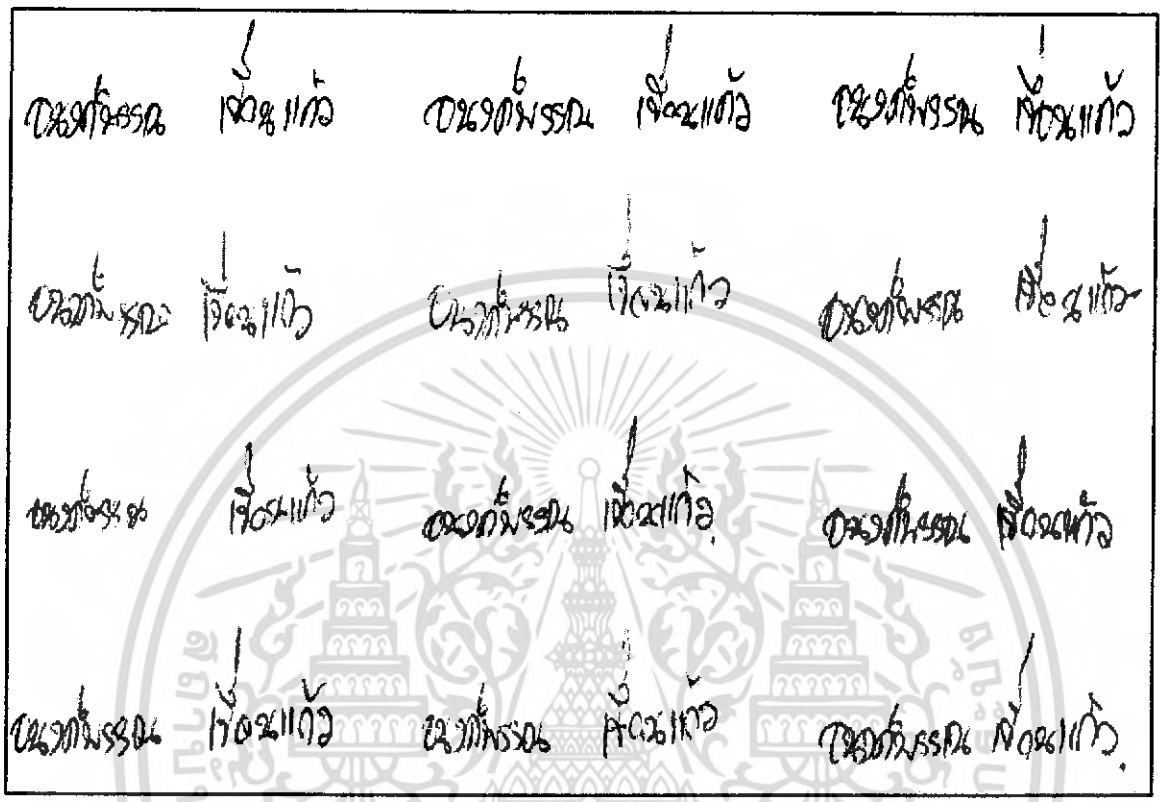
ลายเซ็นปลอมแบบทั่วไป (Casual Forgery)



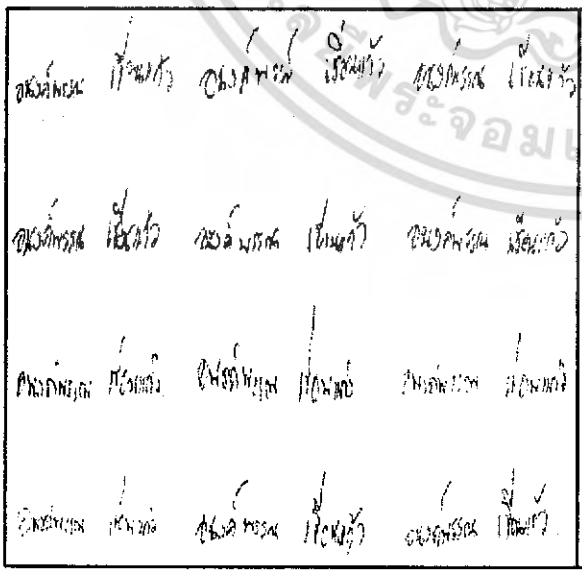
ลายเซ็นปลอมอย่างมีทักษะ (Skilled Forgery)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

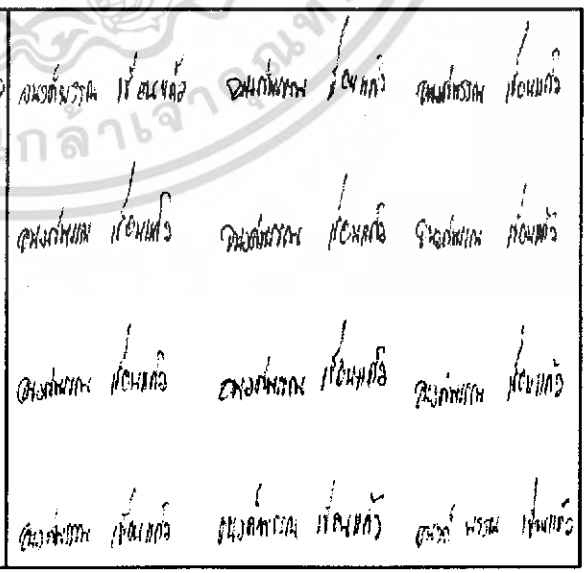
ลายเซ็นต้นแบบ F



ลายเซ็นปลอมแบบทั่วไป (Casual Forgery)



ลายเซ็นปลอมอย่างมีทักษะ (Skilled Forgery)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

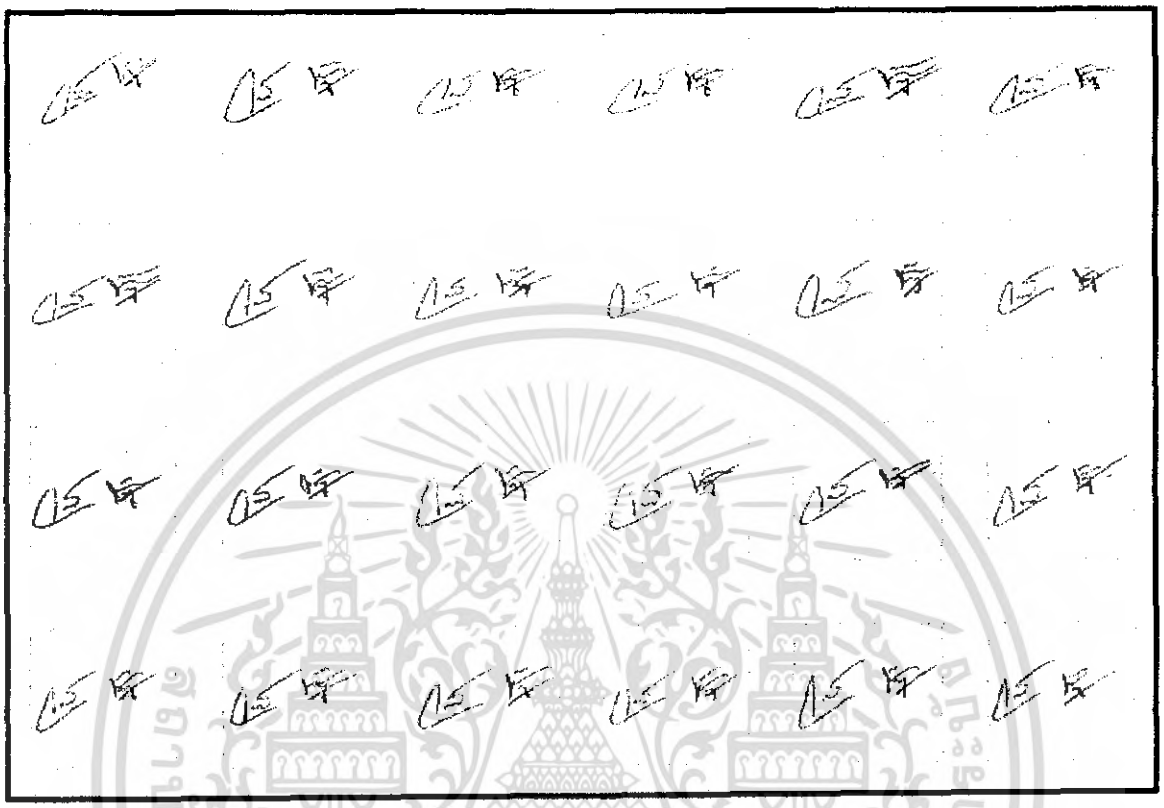
ลายเซ็นต้นแบบ G

ลายเซ็นปลอมแบบทั่วไป (Casual Forgery)

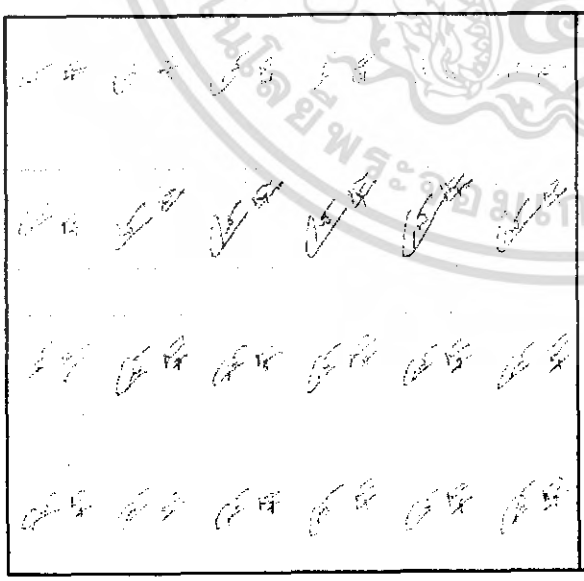
ลายเซ็นปลอมอย่างมีทักษะ (Skilled Forgery)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

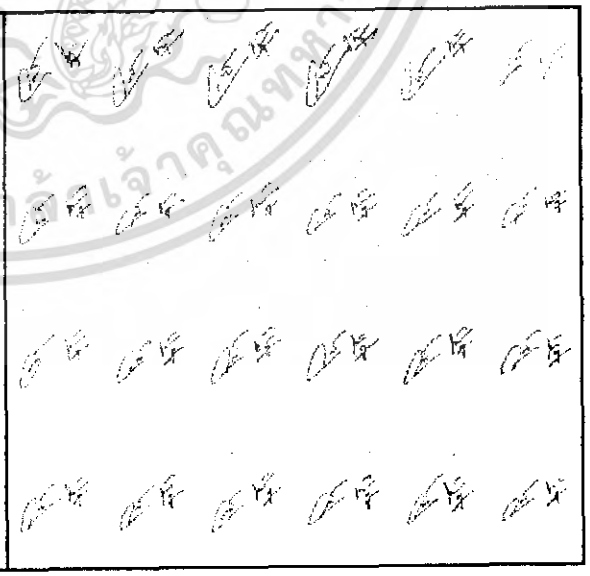
ลายเซ็นต้นแบบ H



ลายเซ็นปลอมแบบทั่วไป (Casual Forgery)

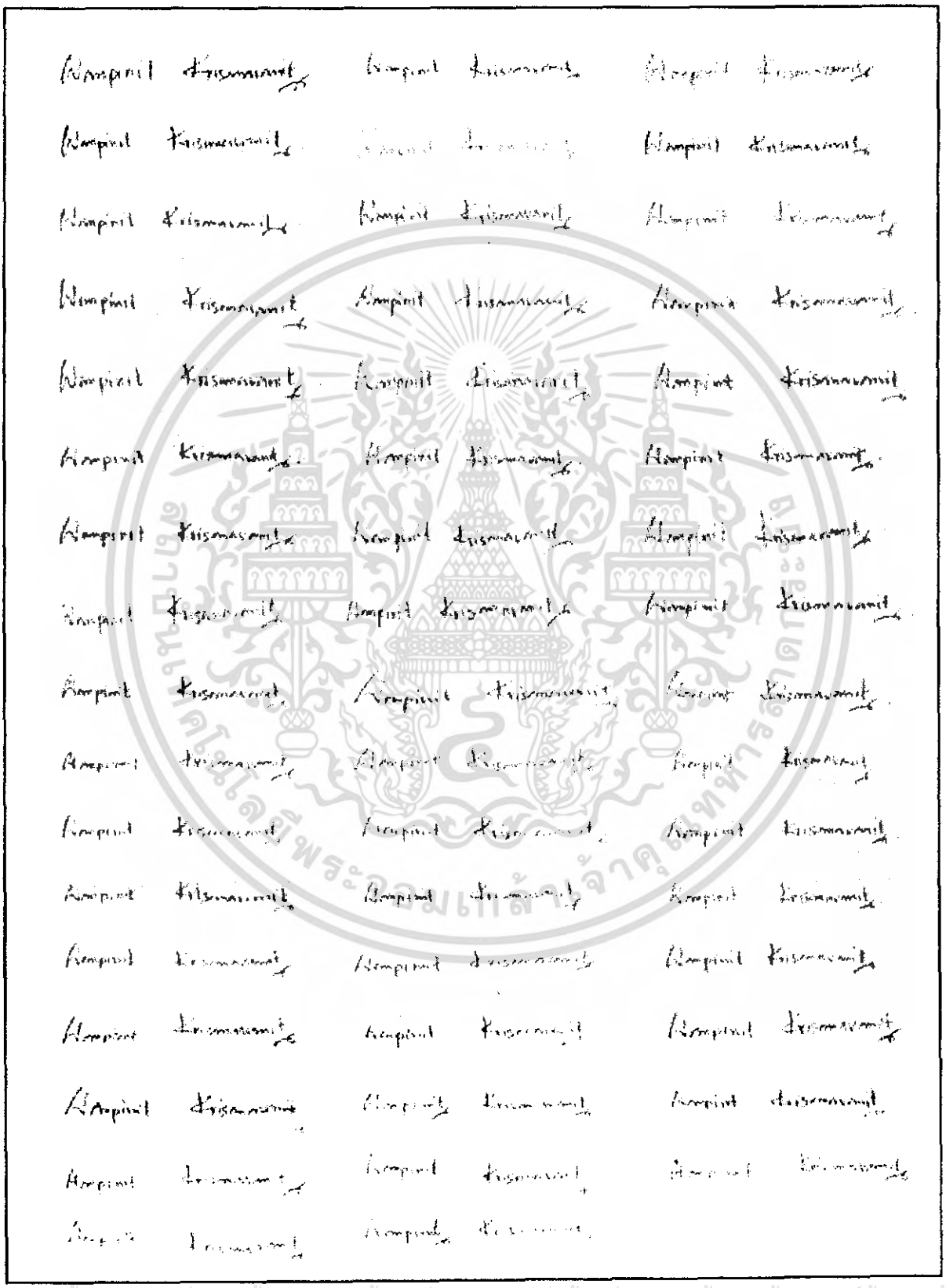


ลายเซ็นปลอมอย่างมีทักษะ (Skilled Forgery)



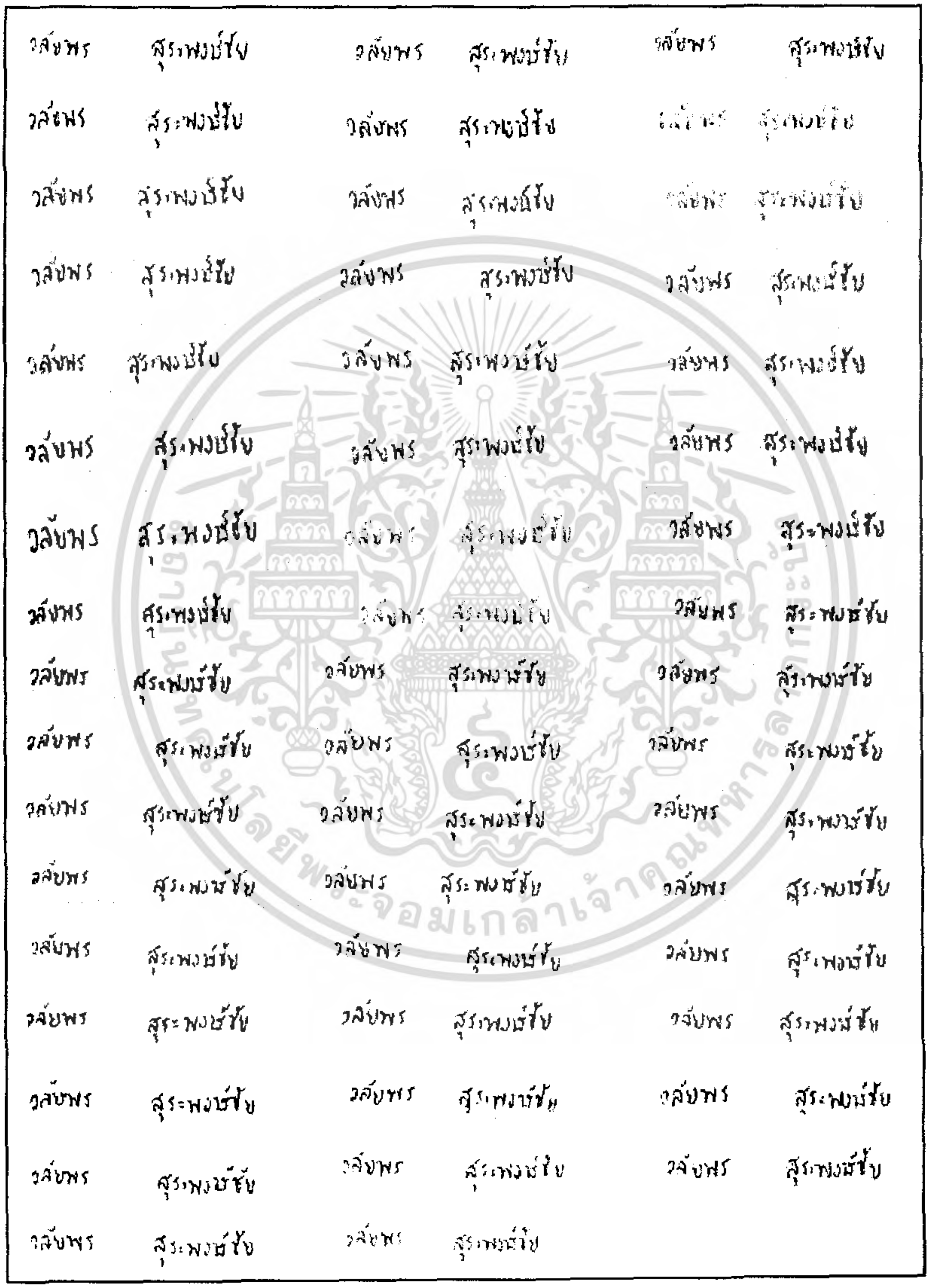
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายเซ็นต้นแบบ A



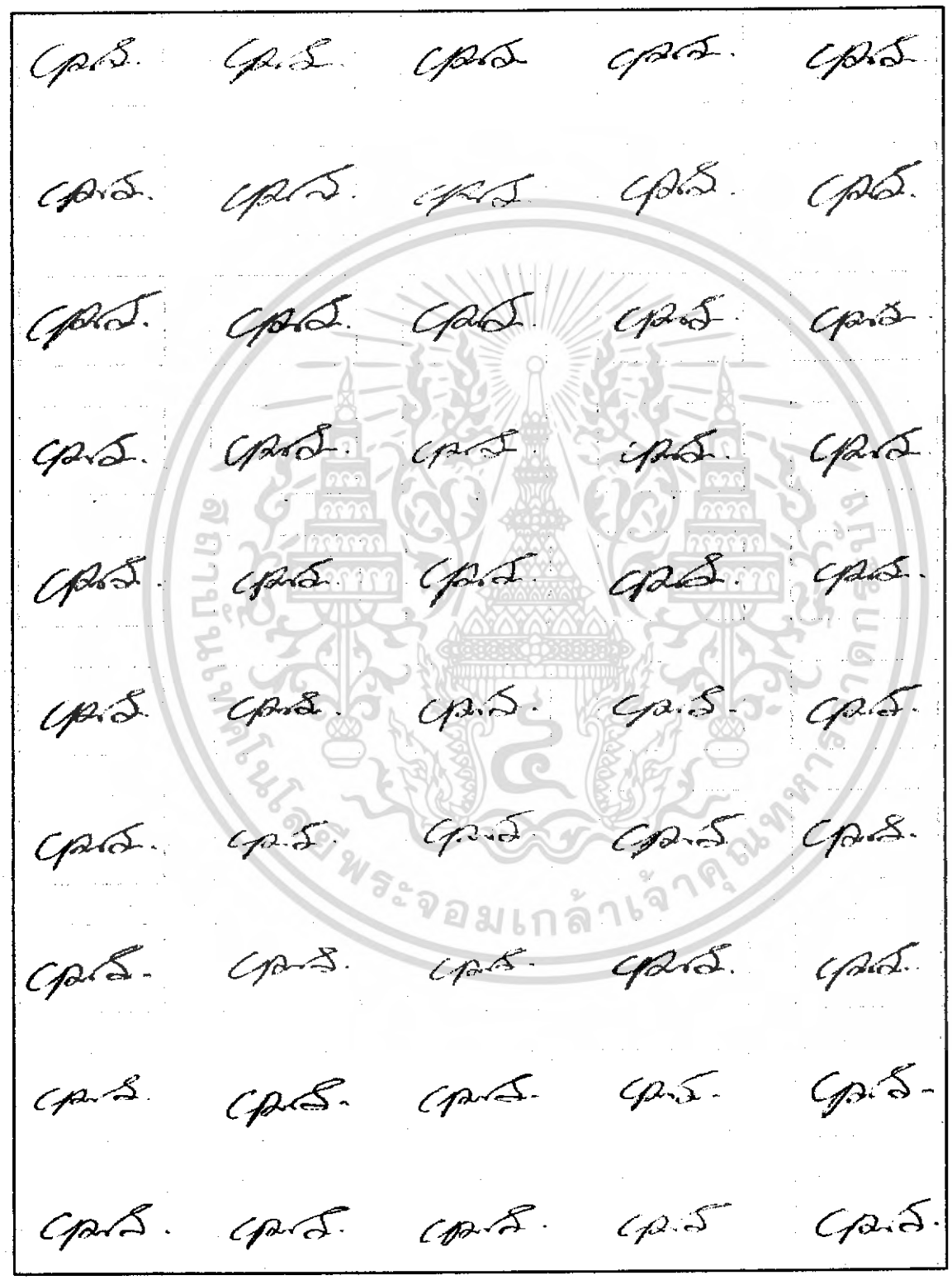
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายเซ็นต้นแบบ B



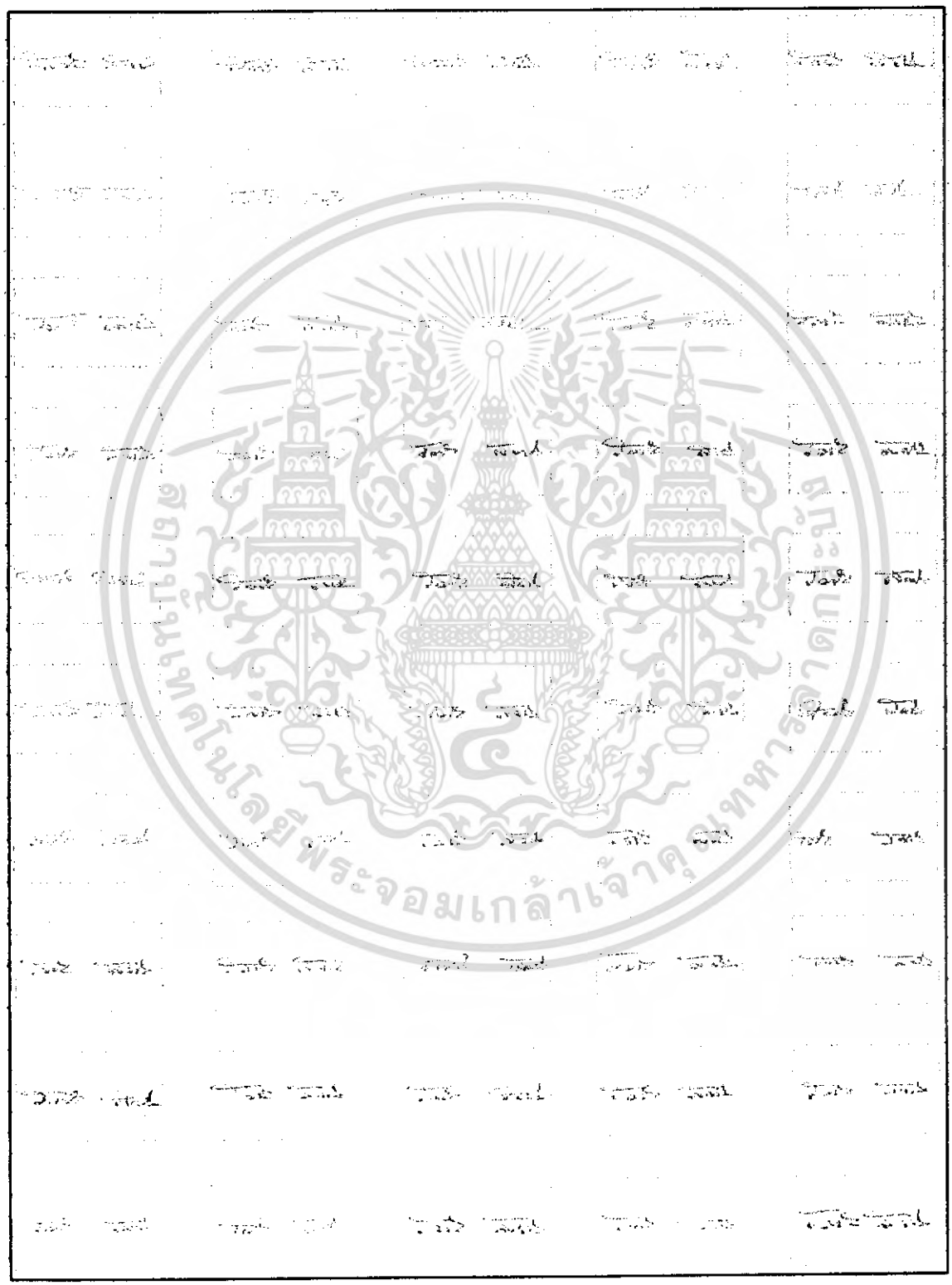
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายเซ็นต้นแบบ C



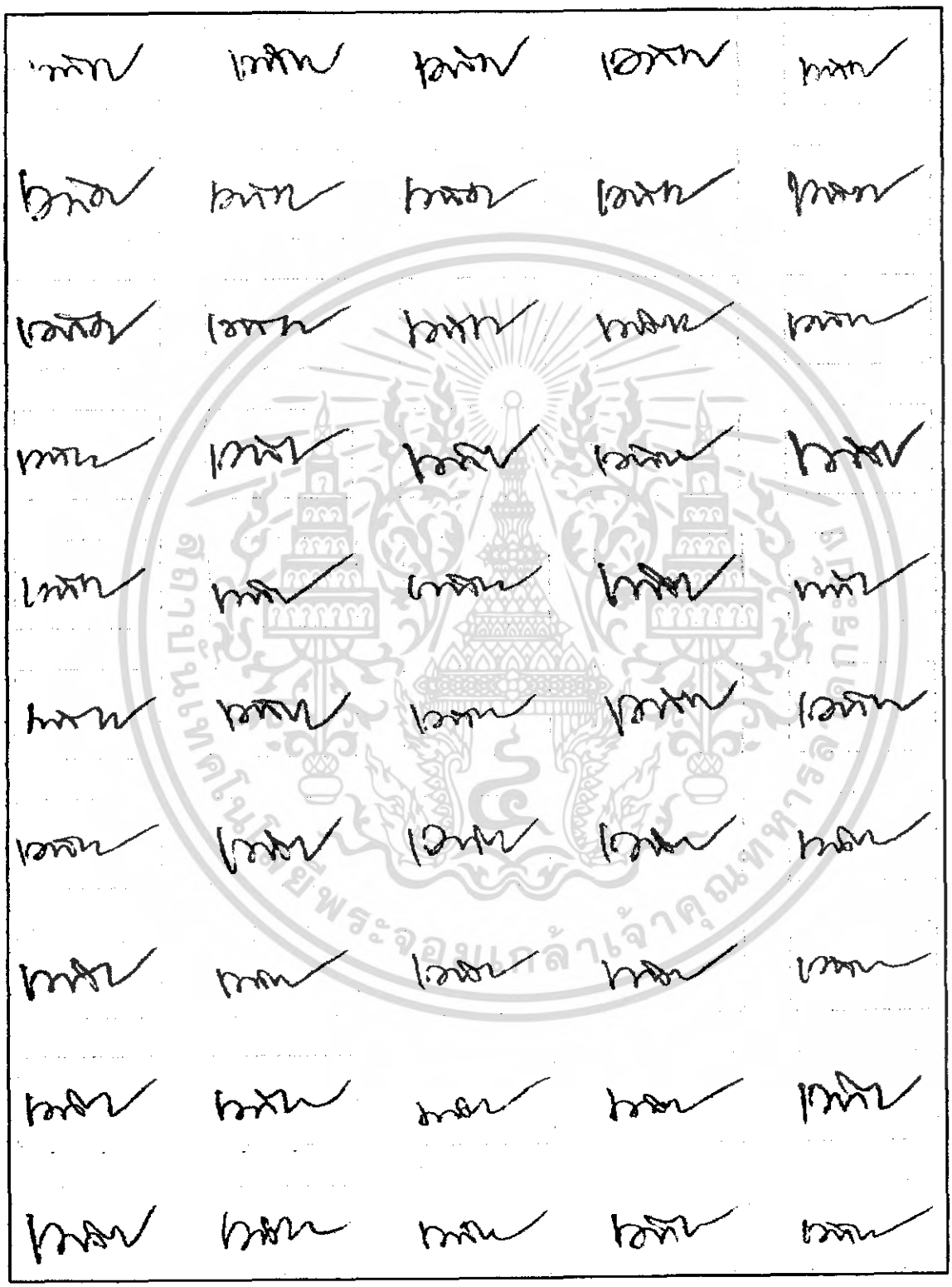
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายเซ็นปลอม D



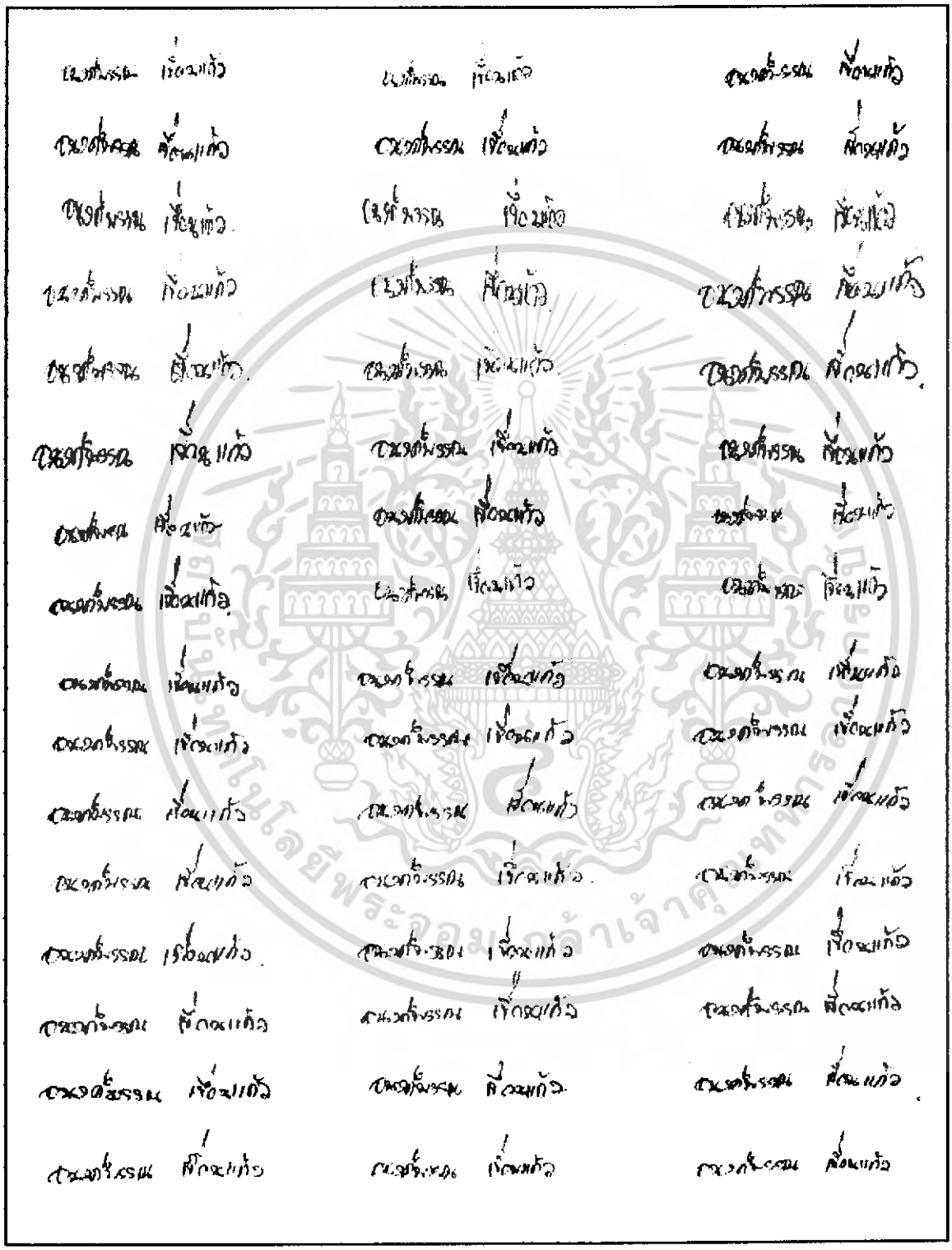
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายเซ็นต้นแบบ E



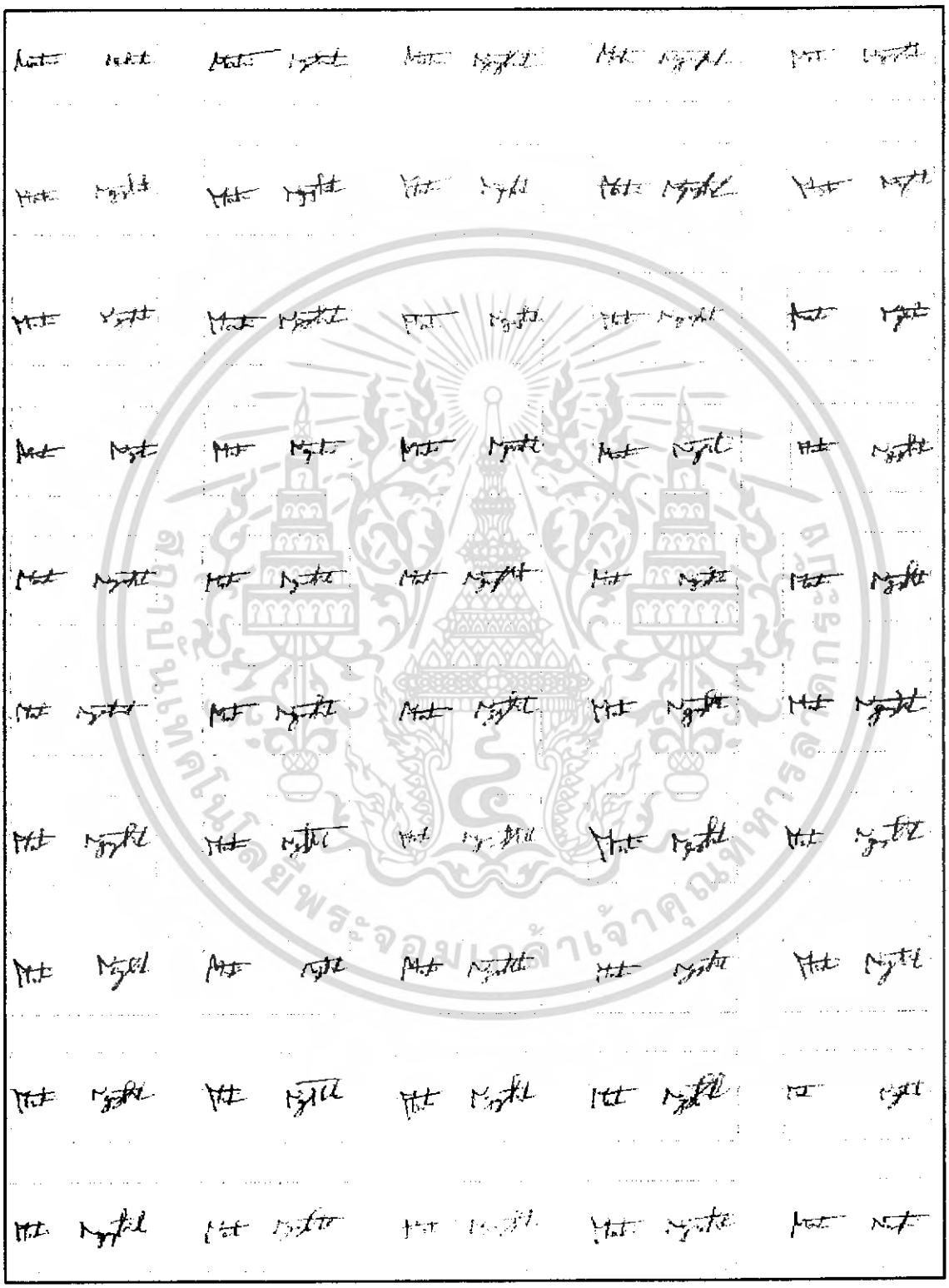
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายเซ็นต้นแบบ F



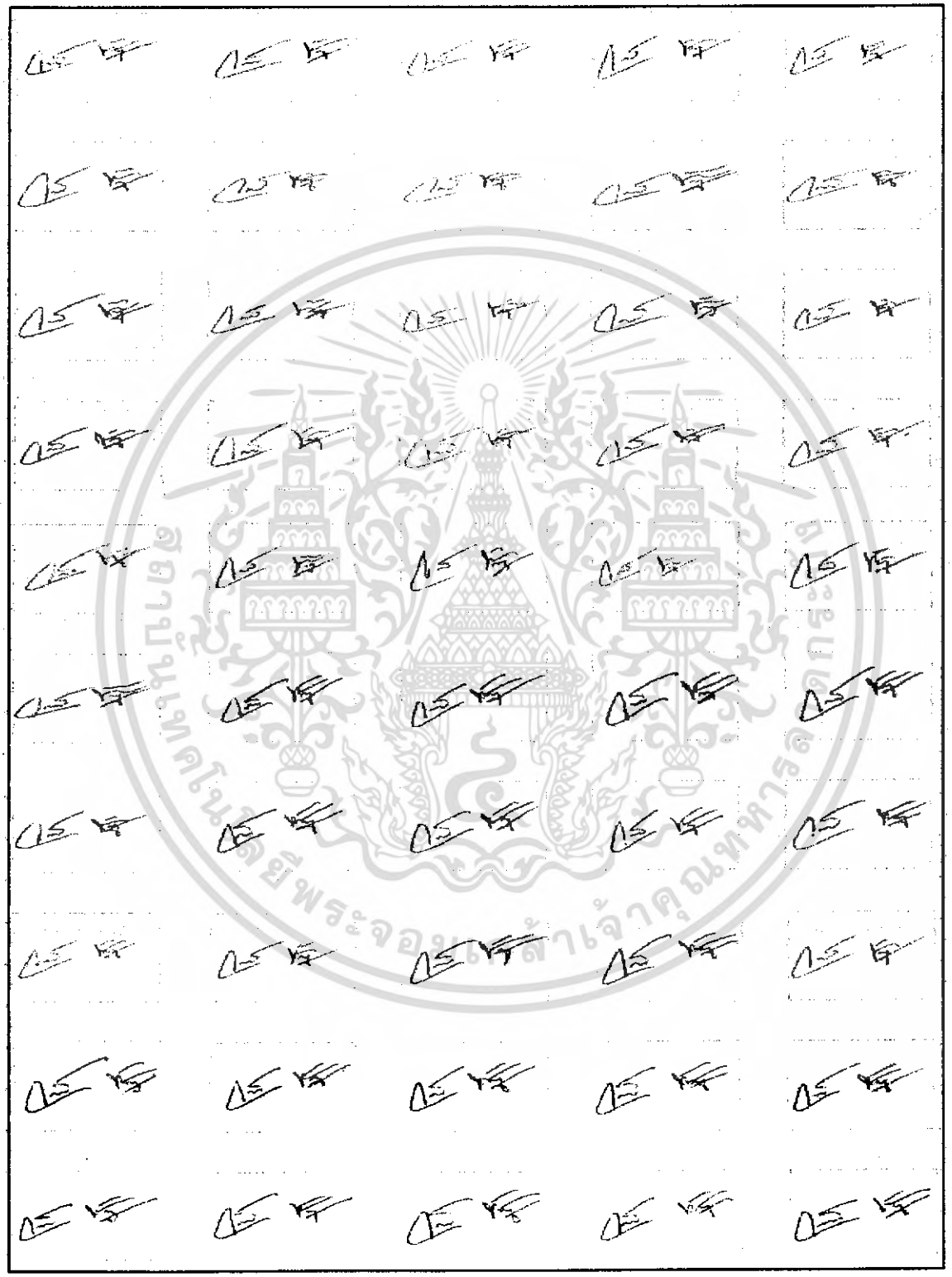
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายเซ็นต้นแบบ G



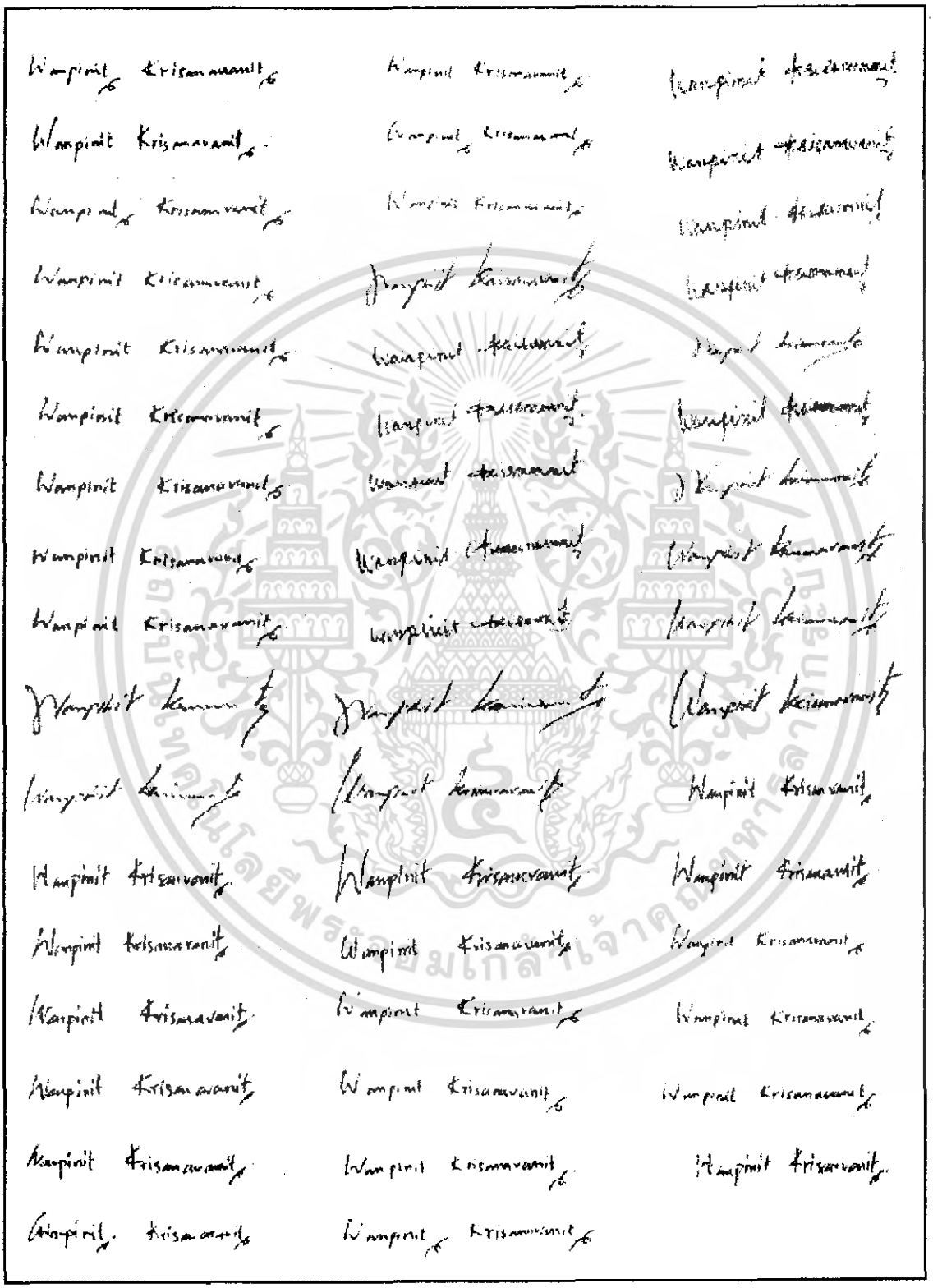
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายเซ็นต้นแบบ H



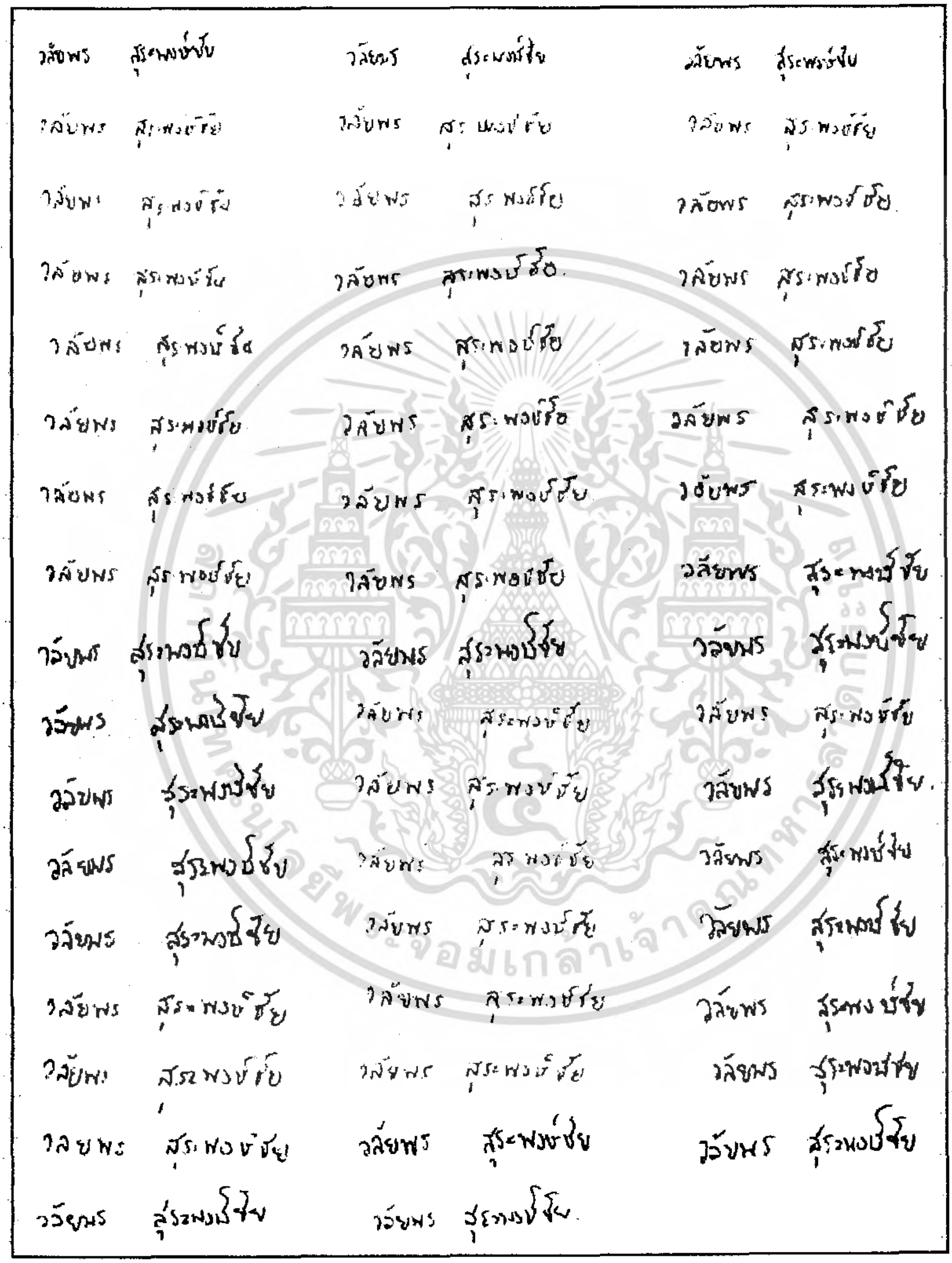
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายเซ็นปลอม A



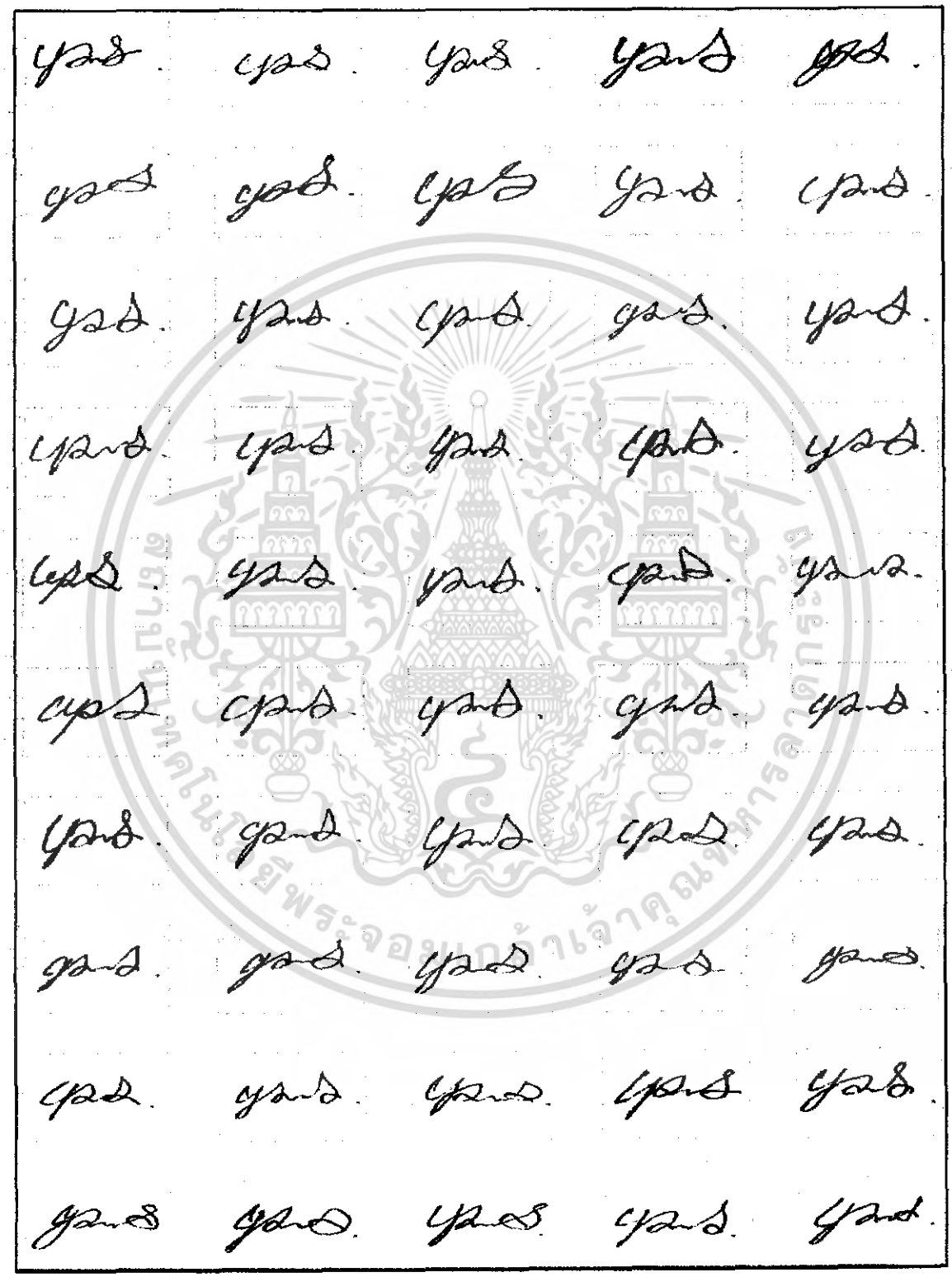
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายเซ็นปลอม B



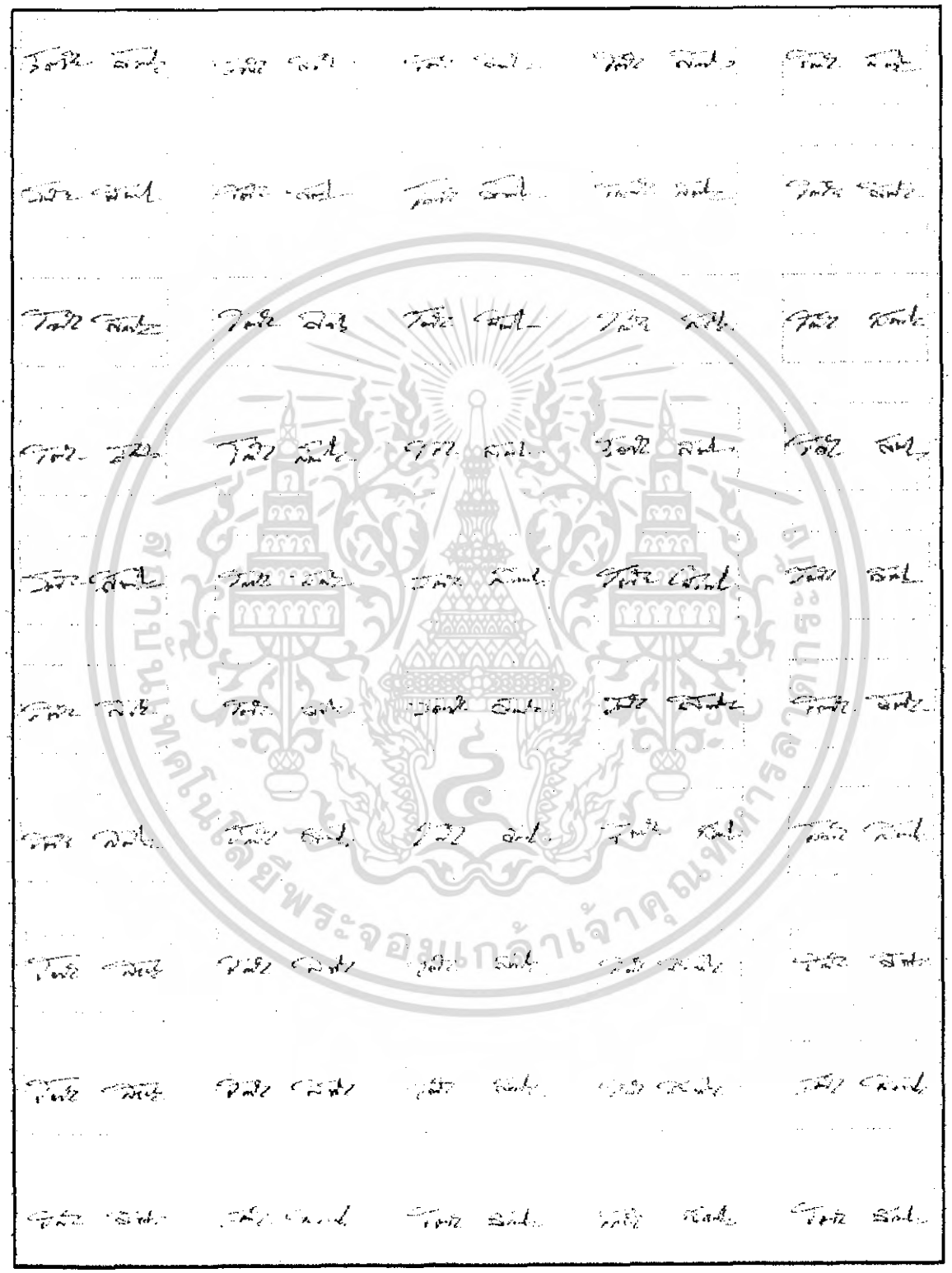
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายเซ็นปลอม C



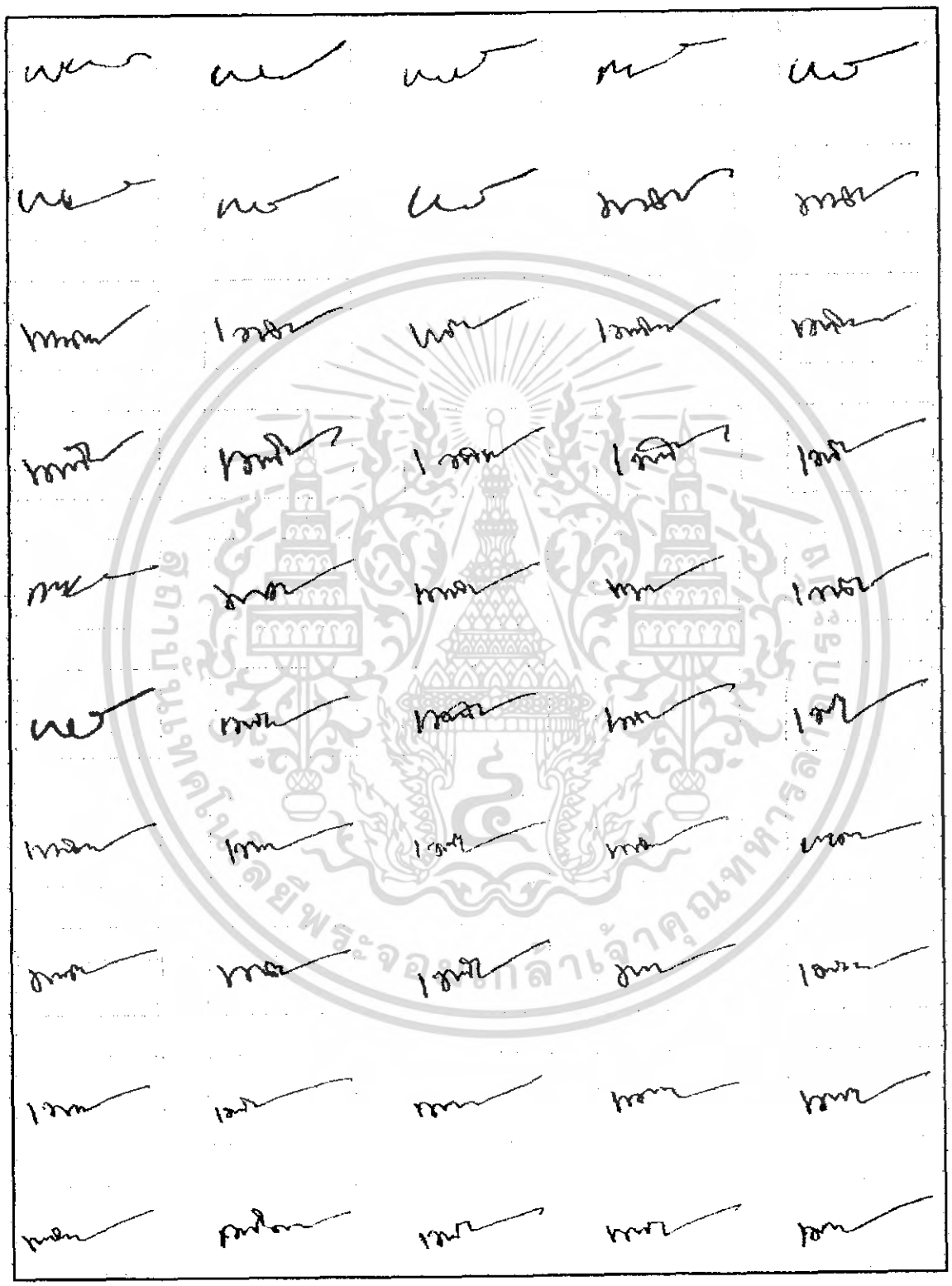
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายเซ็นปลอม D



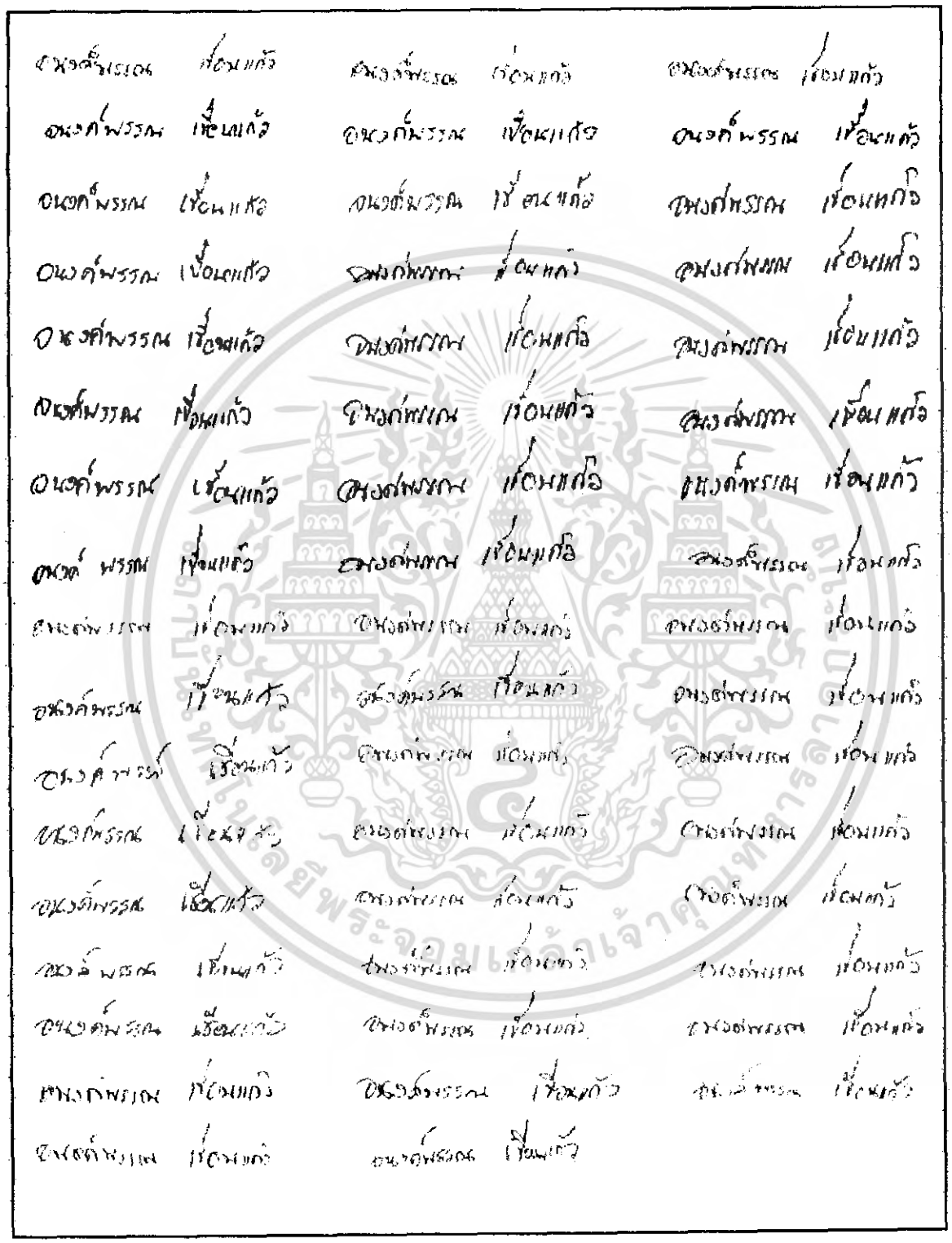
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายเซ็นปลอม E



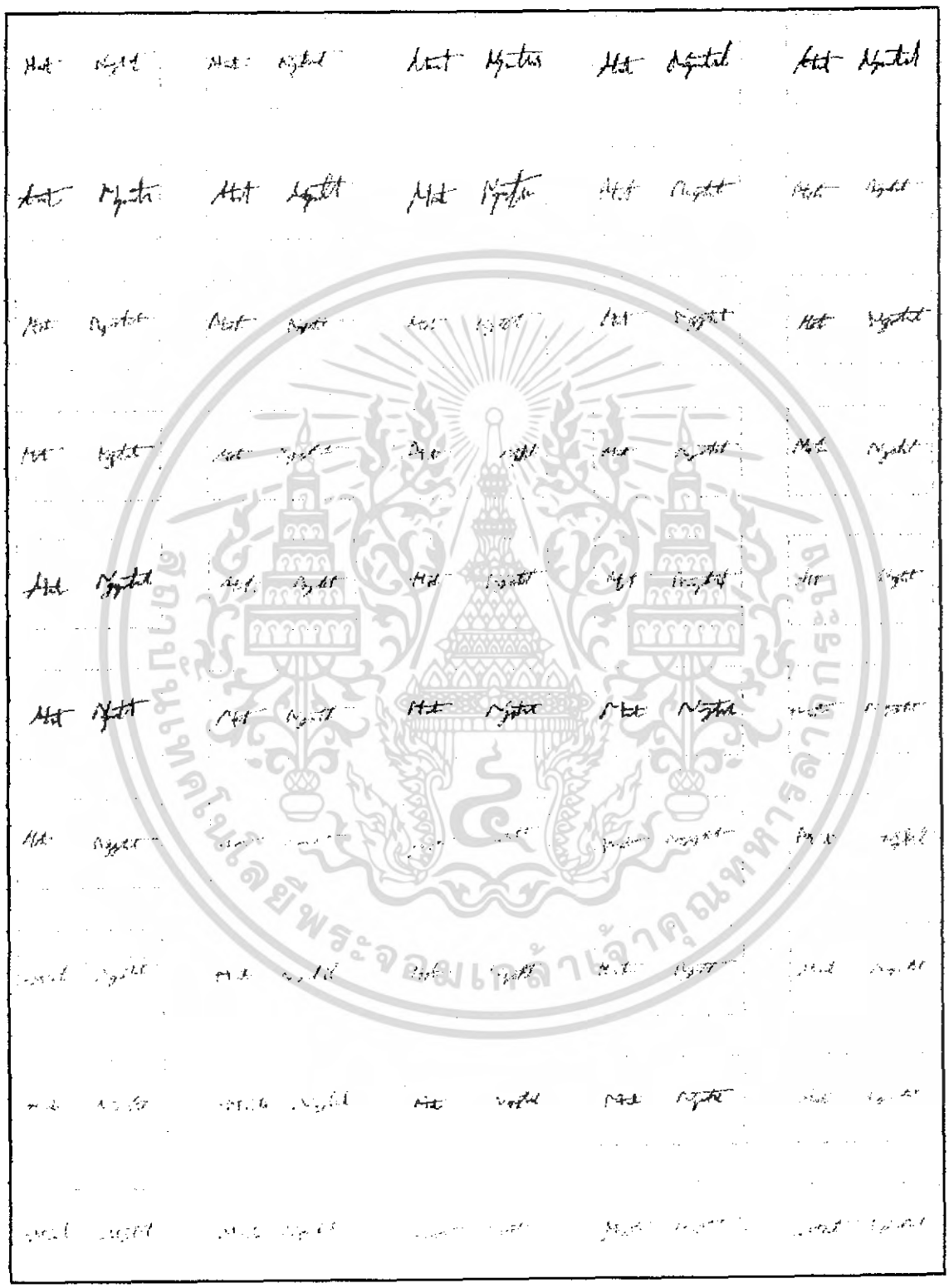
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายเซ็นปลอม F



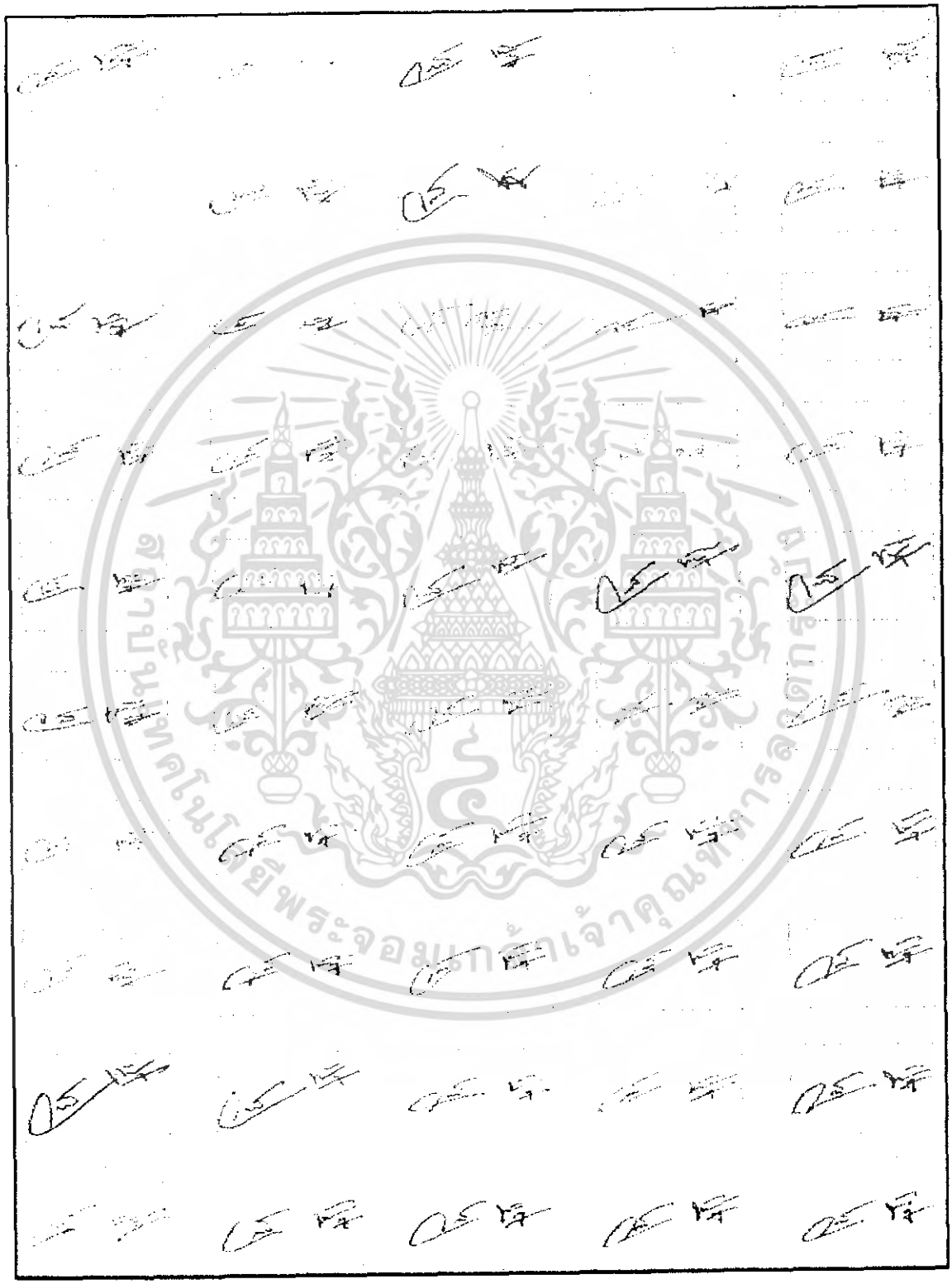
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายเซ็นปลอม G



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายเซ็นปลอม H



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้