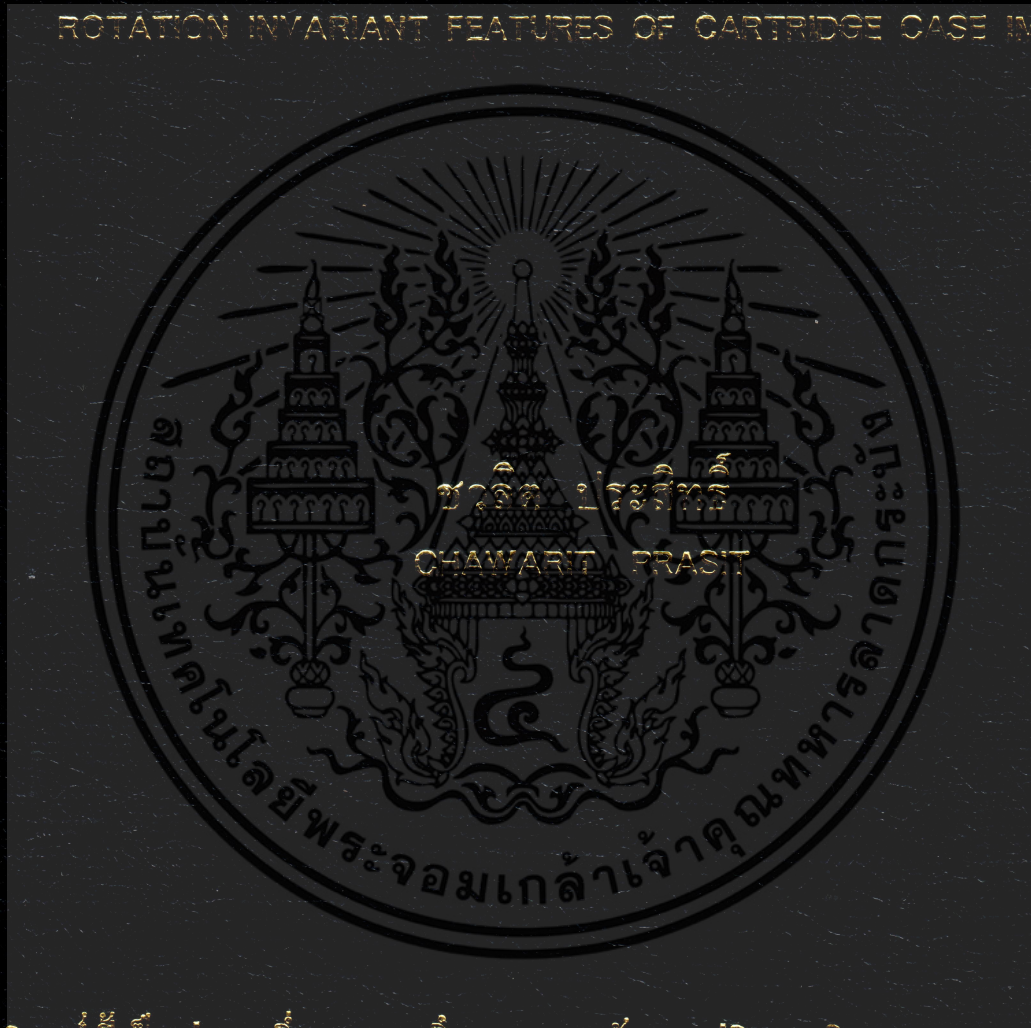


การตรวจสอบอาวุธปืนโดยพิจารณาจากระบบผลตอบสนองอิมพัลส์จำนวน
จำกัดที่แสดงคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุนของภาพถ่าย
ปลอกกระสุนปืน

FIREARM IDENTIFICATION BASED ON FIR SYSTEM CHARACTERIZING
ROTATION INVARIANT FEATURES OF CARTRIDGE CASE IMAGE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่สนับสนุนโดยศูนย์วิจัยวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2553

KMITL-2010-EN-M-230-147

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การตรวจสอบอาวุธปืนโดยพิจารณาจากระบบผลตอบสนองอิมพัลส์จำนวน
จำกัดที่แสดงคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุนของภาพถ่าย
ปลอกกระสุนปืน

FIREARM IDENTIFICATION BASED ON FIR SYSTEM CHARACTERIZING
ROTATION INVARIANT FEATURES OF CARTRIDGE CASE IMAGE



ฉพ.
๒๕๒๘๒๗
๒๐๖๓

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **117100**
วันเดือนปี **23 ส.ค. 2554**

b. 12384018
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2553

KMITL-2010-EN-M-230-147

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FIREARM IDENTIFICATION BASED ON FIR SYSTEM CHARACTERIZING
ROTATION INVARIANT FEATURES OF CARTRIDGE CASE IMAGE**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภา **KMITL-2010-EN-M-230-147** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2010

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันฯ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การตรวจสอบอาวุธปืนโดยพิจารณาจากระบบผลตอบสนองอิมพัลส์จำนวนจำกัดที่แสดงคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุนของภาพถ่ายปลอกกระสุนปืน

Thesis Title Firearm Identification Based on FIR System Characterizing Rotation Invariant Features of Cartridge Case Image

นักศึกษา นายชวลิต ประสิทธิ์

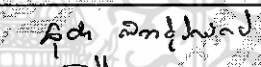



รหัสประจำตัว 48061064

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.พิทักษ์ ชรรมวลริน

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2010-EN-M-230-147

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุธีรา	พันธุธีรานุรักษ์	
รศ.ดร.อรรถดิษฐ์	เหล่าสกุล	
ดร.สัญญา	อุณขาว	
ผศ.ดร.พิทักษ์	ชรรมวลริน	

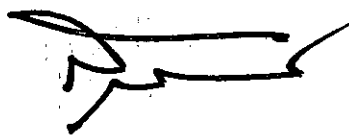
วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 4 ตุลาคม พ.ศ. 2553 เวลา 08.00-10.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)


คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 4 ตุลาคม พ.ศ. 2553

สำนักทะเบียนและประมวลผล สจจ.

เอกสารที่ส่งเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ไม่วันที่ 27 เดือน 10 พ.ศ. 53

ลงชื่อ..... 

งานนี้เป็นการศึกษาเท่านั้น ไม่ผูกมัดเห็นาไปเซบประโยชน์ด้านการค้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การตรวจสอบอาวุธปืน โดยพิจารณาจากระบบผลตอบสนอง
อิมพัลส์จำนวนจำกัดที่แสดงคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงตามการ
หมุนของภาพถ่ายปลอกกระสุนปืน

นักศึกษา

นายชวลิต ประสิทธิ์

รหัสนักศึกษา

48061064

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมสารสนเทศ

พ.ศ.

2553

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.พิทักษ์ ธรรมวาริน

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการตรวจสอบอาวุธปืน โดยพิจารณาจากระบบผลตอบสนอง
ต่ออิมพัลส์จำนวนจำกัดที่แสดงคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุนของภาพถ่ายปลอกกระสุนปืน
ซึ่งคุณสมบัติที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุนของภาพถ่ายปลอกกระสุนปืน สามารถแสดงได้โดยค่า
สมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของภาพถ่ายปลอกกระสุนปืนในระดับสี่เทานวงกลมที่มีรัศมีที่
แตกต่างกันของข้อมูลภาพพิกัดเชิงขั้วที่ได้มาจากการแปลงภาพถ่ายจานท้ายปลอกกระสุนปืน
จากนั้นนำค่าสมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่คำนวณได้มาใช้เป็นอินพุตและเอาต์พุตของระบบ
ตอบสนองอิมพัลส์จำนวนจำกัด โดยผลตอบสนองอิมพัลส์จำนวนจำกัดของระบบที่คำนวณได้จะ
ถูกใช้เป็นลักษณะเด่นที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวของอาวุธปืนแต่ละกระบอก ในลำดับสุดท้ายสามารถ
ทำการตรวจสอบอาวุธปืนโดยใช้ฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของฟิชเชอร์ (Fisher's Linear
Discriminant Function : FLDF) ประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอสามารถแสดงได้ด้วยผลจากการ
ทดลองในการตรวจสอบยืนยันอาวุธปืนจากปลอกกระสุนปืนตัวอย่าง

Thesis Title	Firearm identification based on FIR system characterizing Rotation Invariant Features of Cartridge case Image
Student	Mr. Chawarit Prasit
Student ID.	48061064
Degree	Master of Engineering
Program	Information Engineering
Year	2010
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Pitak Thumwarin

ABSTRACT

We propose a FIR (Finite impulse response) firearm identification system characterizing rotation invariant feature of cartridge case image. The firearm can be identified by using the impulse response of the FIR system characterizing the rotation invariant feature of the cartridge case image. In this case, the rotation invariant feature can be extracted by the magnitude of Fourier coefficients of polar image of the cartridge. Then the obtained Fourier coefficients are used as the input and the output of the FIR system, respectively. The impulse response of the FIR system is used as the unique feature for firearm identification. Finally, the firearm can be identified by the Fisher's linear discriminant function. The experimental results are taken to show the effectiveness of the proposed method.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดี จากความกรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิทักษ์ ธรรมวาริน ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้ง ในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุน ทุนสนับสนุนการวิจัย ทุนวิจัยมหาดบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการ เชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว.- อุตสาหกรรม (สัญญาเลขที่ MRG-WI525E135)

ขอขอบคุณ คุณวิฑูรย์ เวชสิทธิ์ ผู้จัดการฝ่ายการตลาดและทีมงานบริษัทดับบลิวเจ เทคโนโลยีจำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้อสนับสนุนและให้คำแนะนำการเลือกใช้อุปกรณ์ในงานวิจัย

ขอขอบคุณนิตยสารอาวุธปืนที่สนับสนุนและให้คำแนะนำในการเก็บตัวอย่างปลอกกระสุน ปืน

ขอขอบพระคุณท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทียนชัย สุวรรณเวช ซึ่งเป็นท่านหนึ่งที่เป็น ผู้เชี่ยวชาญด้านอาวุธปืน ที่ให้คำแนะนำในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ พ.ต.ท. กิตติศักดิ์ ยาคุ่มภัย กลุ่มงานตรวจอาวุธและเครื่องกระสุนปืน กองพิสูจน์ หลักฐานกลาง สำนักงานพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานตำรวจแห่งชาติ ที่ให้คำแนะนำความรู้ต่างๆ ใน การตรวจสอบอาวุธปืนและกลไกการทำงานของอาวุธปืน ที่เป็นประโยชน์กับงานวิจัยฉบับนี้

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่าง ๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือ ในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ Prof.Dr TAKENOBU MATSUURA ที่ให้คำแนะนำต่างๆ ใน การทำงานวิจัยฉบับนี้ และท้ายสุดขอขอบคุณบิดา มารดาและครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง ๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ชวลิต ประสิทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและปัญหาสำหรับการตรวจสอบปลอกกระสุนปืน.....	1
1.2 หลักการใหม่ที่ได้มีการนำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้.....	2
1.3 การเปรียบเทียบกับหลักการที่มีอยู่เดิม.....	2
1.4 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย.....	5
2.1 อนุกรมฟูรีเยร์ตรีโกณมิติ (Trigonometric Fourier Series).....	5
2.1.1 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ฟูรีเยร์ a_0	5
2.1.2 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ฟูรีเยร์ a_n	6
2.1.3 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ฟูรีเยร์ b_n	7
2.2 อนุกรมฟูรีเยร์เชิงซ้อน (Complex Form of Fourier Series).....	9
บทที่ 3 การประมวลผลเบื้องต้น.....	10
3.1 การประมาณค่าจุดศูนย์กลางวงกลมบริเวณงานท้ายปลอกกระสุนปืนและรัศมี.....	13
3.2 การแปลระบบพิกัดฉาก (Cartesian Coordinates) เป็นระบบพิกัดเชิงขั้ว (Polar Coordinates).....	16
3.3 การประมาณค่าด้วยฟูรีเยร์ (Fourier Approximation).....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การดึงคุณสมบัติที่สำคัญ.....	29
4.1 ระบบผลตอบแทนของอิมพัลส์จำนวนจำกัดของคุณสมบัติที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการ หมุนของภาพบล็อกกระสุนปืน.....	29
บทที่ 5 การตรวจสอบอาวุธปืน.....	33
5.1 ขั้นตอนการตรวจสอบปลอกกระสุนปืน โดยใช้ฟังก์ชันจำแนก แบบเชิงเส้นของพีชเชอร์.....	36
บทที่ 6 การทดลอง.....	39
6.1 ฐานข้อมูลภาพถ่ายปลอกกระสุนปืนที่ใช้ในการทดลอง.....	39
6.2 ผลการทดลองการตรวจสอบปลอกกระสุนปืน.....	39
6.2.1 ผลการทดลองการตรวจสอบปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม.....	40
6.2.2 ผลการทดลองการตรวจสอบปลอกกระสุนปืนขนาด 11 มม.....	45
6.2.3 ผลการทดลองการตรวจสอบปลอกกระสุนปืนขนาด .38.....	50
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	56
7.1 การพัฒนาในอนาคต.....	57
บรรณานุกรม.....	58
ภาคผนวก.....	59
ภาคผนวก ก. ภาพปลอกกระสุนปืนที่ใช้ในงานวิจัย.....	60
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	78
ประวัติผู้เขียน.....	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
6.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการตรวจสอบยืนยันอาวุธปืนขนาด 9 มม. จากการทดลองปรับเปลี่ยนขนาดมิติในการคำนวณ โดยใช้วิธีการพีชเชอร์.....	43
6.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการตรวจสอบยืนยันอาวุธปืนขนาด 9 มม. จากการทดลองปรับเปลี่ยนค่าจำนวนสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์และจากการทดลอง จะทำการกำหนดให้ขนาดของมิติมีค่าเท่ากับ 5 มิติ.....	43
6.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการตรวจสอบยืนยันอาวุธปืนขนาด 11 มม. จากการทดลองปรับเปลี่ยนขนาดมิติในการคำนวณ โดยใช้วิธีการพีชเชอร์.....	48
6.4 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการตรวจสอบยืนยันอาวุธปืนขนาด 11 มม. จากการทดลองปรับเปลี่ยนค่าจำนวนสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์และจากการทดลอง จะทำการกำหนดให้ขนาดของมิติมีค่าเท่ากับ 6 มิติ.....	48
6.5 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการตรวจสอบยืนยันอาวุธปืนขนาด .38 จากการทดลองปรับเปลี่ยนขนาดมิติในการคำนวณ โดยใช้วิธีการพีชเชอร์.....	53
6.6 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการตรวจสอบยืนยันอาวุธปืนขนาด .38 จากการทดลองปรับเปลี่ยนค่าจำนวนสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์และจากการทดลอง จะทำการกำหนดให้ขนาดของมิติมีค่าเท่ากับ 4 มิติ.....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงภาพปลอกกระสุนปืนขนาด 11 มม. และรอยที่เกิดจากเข็มแทงชนวน.....	1
1.2 แสดงภาพถ่ายปลอกกระสุนปืนที่เกิดจากเข็มแทงชนวนที่มีลักษณะเป็นวงกลม (circular pin mark).....	2
1.3 แสดงภาพถ่ายของปลอกกระสุนปืนที่เกิดจากเข็มแทงชนวนที่มีลักษณะการกระแทกของเข็มแทงชนวนบริเวณด้านข้างของงานท้ายปลอกกระสุนปืน (rim firing pin mark).....	3
1.4 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายของปลอกกระสุนปืนที่เกิดจากเข็มแทงชนวนที่มีลักษณะแตกต่างกัน.....	3
3.1 แสดงภาพตัวอย่างภาพปลอกกระสุนปืนขนาด .38 รอยที่เกิดจากเข็มแทงชนวนและรอยที่เกิดจากการที่ปลอกกระสุนปืนกระแทกกับแป้นปิดท้ายรังเพลิงที่นำไปใช้ในการทดลอง.....	10
3.2 แสดงภาพตัวอย่างภาพปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม. รอยที่เกิดจากเข็มแทงชนวนและรอยที่เกิดจากการที่ปลอกกระสุนปืนกระแทกกับแป้นปิดท้ายรังเพลิงที่นำไปใช้ในการทดลอง.....	11
3.3 แสดงภาพตัวอย่างภาพปลอกกระสุนปืนขนาด 11 มม. รอยที่เกิดจากเข็มแทงชนวนและรอยที่เกิดจากการที่ปลอกกระสุนปืนกระแทกกับแป้นปิดท้ายรังเพลิงที่นำไปใช้ในการทดลอง.....	11
3.4 แสดงการถ่ายภาพปลอกกระสุนปืนที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้.....	12
3.5 แสดงปลอกกระสุนปืน ในรูปฟังก์ชันต่อเนื่องแบบ 2 มิติระบบพิกัดคาร์ทีเซียน.....	13
3.6 แสดงการประมาณค่าจุดศูนย์กลางวงกลมและจุดบนบริเวณรอบวงกลม.....	14
3.7 แสดงตัวอย่างของภาพปลอกกระสุนปืนที่ได้จากการคำนวณการประมาณค่าจุดศูนย์กลางวงกลมที่ใช้ในการแยกวัตถุบริเวณที่ต้องการพิจารณา บริเวณรอยที่เกิดจากเข็มแทงชนวนและรอยที่เกิดจากการที่ปลอกกระสุนปืนกระแทกกับแป้นปิดท้ายรังเพลิง.....	16
3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดฉากกับพิกัดเชิงขั้ว.....	17
3.9 การแปลงระบบพิกัดฉาก (x, y) ของภาพปลอกกระสุนปืนบริเวณรอยที่เกิดจากเข็มแทงชนวนไปเป็นระบบพิกัดเชิงขั้ว (r, θ)	17
3.10 $ a_m^{(k)} $ ได้มาจากปลอกกระสุนปืนที่มาจากปืนกระบอกเดียวกันและที่มาจากปืนคนละกระบอก ที่ถูกหมุนไปด้วยองศาที่แตกต่างกัน.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 ภาพแสดงค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาดกำลังสองของการประมาณค่าฟูเรียร์ $\hat{f}(r, \theta)$ ประสิทธิภาพการประมาณค่าฟูเรียร์ในการลดความแตกต่างที่เกิดจากวัสดุที่ใช้ผลิต Primer ring แสดงได้ในรูปที่ 3.12.....	21
3.12 แสดงภาพการประมาณค่าของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์จากภาพต้นฉบับ (ก) แสดงค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่ได้จากปลอกกระสุนปืนต้นฉบับ	22
(ข) แสดงค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่ได้จากภาพ (ก) ที่ค่า $M=50$	22
3.13 แสดงภาพเปรียบเทียบงานทำของปลอกกระสุนปืนที่มีความแตกต่างกันของสีชนิด โลหะ บริเวณจอกเก็บที่อยู่บริเวณวงกลมด้านใน โดยปลอกกระสุนปืนทั้งสองยิงมาจากปืนกระบอกเดียวกัน.....	23
3.14 แสดงภาพตัวอย่างปลอกกระสุนปืนขนาด 11 มม. ที่ยิงมาจากปืนรุ่น COLT SERIES 70 ในการหาจุดศูนย์กลางของวงกลมบริเวณงานทำของปลอกกระสุนปืนและการแปลงระบบคูลัมตัดคาร์ที่เขียนเป็นระบบพิกัดเชิงขั้วของวงกลม.....	23
3.15 แสดงภาพตัวอย่างปลอกกระสุนปืนขนาด 11 มม. ที่ยิงมาจากปืนรุ่น SIG P220 ในการหาจุดศูนย์กลางของวงกลมบริเวณงานทำของปลอกกระสุนปืนและการแปลงระบบคูลัมตัดคาร์ที่เขียนเป็นระบบพิกัดเชิงขั้วของวงกลม.....	24
3.16 แสดงภาพตัวอย่างปลอกกระสุนปืนขนาด .38 ที่ยิงมาจากปืนรุ่น TAURUS 85S ในการหาจุดศูนย์กลางของวงกลมบริเวณงานทำของปลอกกระสุนปืนและการแปลงระบบคูลัมตัดคาร์ที่เขียนเป็นระบบพิกัดเชิงขั้วของวงกลม.....	25
3.17 แสดงภาพตัวอย่างปลอกกระสุนปืนขนาด .38 ที่ยิงมาจากปืนรุ่น S&W M67 ในการหาจุดศูนย์กลางของวงกลมบริเวณงานทำของปลอกกระสุนปืนและการแปลงระบบคูลัมตัดคาร์ที่เขียนเป็นระบบพิกัดเชิงขั้วของวงกลม.....	26
3.18 แสดงภาพตัวอย่างปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม. ที่ยิงมาจากปืนรุ่น HK USP ในการหาจุดศูนย์กลางของวงกลมบริเวณงานทำของปลอกกระสุนปืนและการแปลงระบบคูลัมตัดคาร์ที่เขียนเป็นระบบพิกัดเชิงขั้วของวงกลม.....	27
3.19 แสดงภาพตัวอย่างปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม. ที่ยิงมาจากปืนรุ่น GLOCK 26 ในการหาจุดศูนย์กลางของวงกลมบริเวณงานทำของปลอกกระสุนปืนและการแปลงระบบคูลัมตัดคาร์ที่เขียนเป็นระบบพิกัดเชิงขั้วของวงกลม.....	28
4.1 แสดงระบบผลตอบแทนของอิมพัลส์จำนวนจำกัดที่มีค่าสมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่คำนวณได้จากกรณีที่แตกต่างกันเป็นอินพุทและเอาท์พุท.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ พงศน์ อภินันท์ ผลิตและเผยแพร่โดยสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 แสดงผลตอบสนองของอิมพัลส์ $h_{k+p,k}$ ที่คำนวณได้จากปลอกกระสุนปืนขนาด 11 มม. ที่ยิงมา จากปืนกระบอกเดียวกันและที่ยิงมาจากปืนคนละกระบอกที่หมุนไป ด้วยองศาที่แตกต่างกัน.....	30
4.3 แสดงผลตอบสนองของอิมพัลส์ $h_{k+p,k}$ ที่คำนวณได้จากปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม. ที่ยิงมาจากปืนกระบอกเดียวกันและที่ยิงมาจากปืนคนละกระบอกที่หมุน ไปด้วยองศาที่แตกต่างกัน.....	31
4.4 แสดงผลตอบสนองของอิมพัลส์ $h_{k+p,k}$ ที่คำนวณได้จากปลอกกระสุนปืนขนาด .38 ที่ยิงมาจากปืนกระบอกเดียวกันและที่ยิงมาจากปืนคนละกระบอกที่หมุน ไปด้วยองศาที่แตกต่างกัน.....	32
5.1 แสดงภาพการฉายข้อมูลลงบนแกนที่เหมาะสม ซึ่งทำให้ข้อมูลที่เป็นสมาชิกของแต่ละกลุ่ม แยกกลุ่มข้อมูลกัน ได้ชัดเจนมากที่สุด.....	33
5.2 แสดงแผนผังระบบการตรวจสอบอาวุธปืนจากภาพถ่ายปลอกกระสุนปืน ซึ่งขั้นมีขั้นตอนการตรวจสอบดังแสดงขั้นตอนดังต่อไปนี้.....	35
6.1 แสดงตัวอย่างภาพปลอกกระสุนปืนที่ได้มาจากปืนที่มีขนาดเดียวกัน (9 มม.) ที่ใช้ในการทดลอง	40
6.2 แสดงตัวอย่างการนำฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของฟิชเชอร์ (Fisher's Linear Discriminant Function: FLDF) เพื่อทำให้การแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลภาพปลอก กระสุนปืนที่ได้มาจากปืนแต่ละกระบอกที่ใช้ในการทดลอง (9 มม.) กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาด 1 มิติ	41
6.3 แสดงตัวอย่างการนำฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของฟิชเชอร์ (Fisher's Linear Discriminant Function: FLDF) เพื่อทำให้การแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลภาพปลอก กระสุนปืนที่ได้มาจากปืนแต่ละกระบอกที่ใช้ในการทดลอง (9 มม.) กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาด 2 มิติ.....	41
6.4 แสดงตัวอย่างการนำฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของฟิชเชอร์ (Fisher's Linear Discriminant Function: FLDF) เพื่อทำให้การแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลภาพปลอก กระสุนปืนที่ได้มาจากปืนแต่ละกระบอกที่ใช้ในการทดลอง(9 มม.) กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาด 3 มิติ	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.5 แสดงค่าระยะห่างแบบยูคลิดที่คำนวณได้จากปลอกกระสุนปืน ที่มาจากปืนกระบอกเดียวกันและปืนคนละกระบอกกัน.....	44
6.6 แสดงตัวอย่างภาพปลอกกระสุนปืนที่ได้มาจากปืนที่มีขนาดเดียวกัน ที่ใช้ในการทดลอง (same caliber (11mm)).....	45
6.7 แสดงตัวอย่างการนำฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของฟิชเชอร์ (Fisher's Linear Discriminant Function: FLDF) เพื่อทำให้การแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลภาพ ปลอกกระสุนปืนที่ได้มาจากปืนแต่ละกระบอกที่ใช้ในการทดลอง (11 มม.) กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาด 1 มิติ.....	46
6.8 แสดงตัวอย่างการนำฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของฟิชเชอร์ (Fisher's Linear Discriminant Function: FLDF) เพื่อทำให้การแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลภาพปลอกกระสุน ปืนที่ได้มาจากปืนแต่ละกระบอกที่ใช้ในการทดลอง (11 มม.) กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาด 2 มิติ.....	46
6.9 แสดงตัวอย่างการนำฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของฟิชเชอร์ (Fisher's Linear Discriminant Function: FLDF) เพื่อทำให้การแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลภาพปลอก กระสุนปืนที่ได้มาจากปืนแต่ละกระบอกที่ใช้ในการทดลอง (11 มม.) กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาด 3 มิติ.....	47
6.10 แสดงค่าระยะห่างแบบยูคลิดที่คำนวณได้จากปลอกกระสุนปืนที่มาจากปืนกระบอกเดียวกัน และปืนคนละกระบอกกัน.....	49
6.11 แสดงตัวอย่างภาพปลอกกระสุนปืนที่ได้มาจากปืนที่มีขนาดเดียวกัน ที่ใช้ในการทดลอง (.38).....	50
6.12 แสดงตัวอย่างการนำฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของฟิชเชอร์ (Fisher's Linear Discriminant Function: FLDF) เพื่อทำให้การแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลภาพปลอกกระสุนปืนที่ได้มาจากปืน กระบอกเดียวกันที่ใช้ในการทดลอง (.38) กำหนดจำนวนมิติ ให้มีขนาด 1 มิติ.....	51
6.13 แสดงตัวอย่างการนำฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของฟิชเชอร์ (Fisher's Linear Discriminant Function: FLDF) เพื่อทำให้การแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลภาพปลอกกระสุนปืนที่ได้มาจากปืน กระบอกเดียวกันที่ใช้ในการทดลอง (.38) กำหนดจำนวนมิติ ให้มีขนาด 2 มิติ.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.14 แสดงตัวอย่างการนำฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของฟิชเชอร์ (Fisher's Linear Discriminant Function: FLDF) เพื่อให้การแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลภาพปลอกกระสุนปืนที่ได้มาจากปืนกระบอกเดียวกันที่ใช้ในการทดลอง (.38) กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาด 3 มิติ.....	52
6.15 แสดงค่าระยะห่างแบบยูคลิดที่คำนวณได้จากปลอกกระสุนปืนที่ได้มาจากปืนกระบอกเดียวกันและปืนคนละกระบอกกัน.....	54

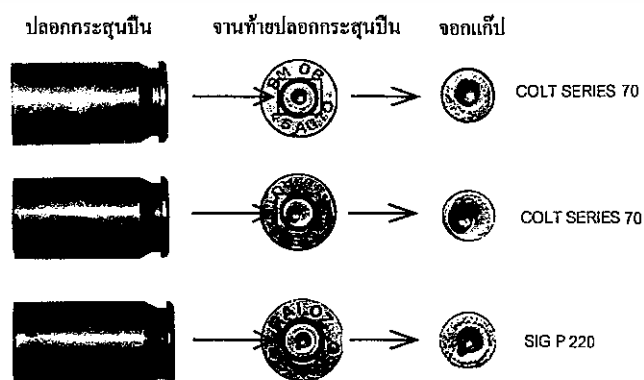


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและปัญหาสำหรับการตรวจสอบปลอกกระสุนปืน

ในทางนิติวิทยาศาสตร์ปัญหาในการตรวจสอบปลอกกระสุนปืนที่พบในที่เกิดเหตุจากการก่ออาชญากรรมถือเป็นปัญหาที่สำคัญปัญหาหนึ่ง ปลอกกระสุนปืนที่พบในที่เกิดเหตุสามารถนำมาเป็นหลักฐานที่สำคัญในการที่จะนำมาซึ่งผู้กระทำผิด ตลอดจนสามารถนำไปสู่การเชื่อมโยงกับคดีอาชญากรรมอื่นๆ อีกหลายคดีจากการใช้อาวุธปืนกระบอกเดียวกันนี้ในการก่อเหตุ เนื่องจากอาวุธปืนแต่ละกระบอกจะทิ้งร่องรอยที่เกิดจากการยิงไว้บนปลอกกระสุนปืนที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน ถึงแม้ว่าจะเป็นปืนที่มีขนาดเดียวกัน โมเดลเดียวกัน ผลิตมาจากโรงงานเดียวกัน ร่องรอยดังกล่าวจะมีความแตกต่างกันถ้าปลอกกระสุนปืนนั้นยังมาจากปืนคนละกระบอกและมีความใกล้เคียงกันถ้าปลอกกระสุนปืนนั้นถูกยิงมาจากปืนกระบอกเดียวกัน ดังนั้นทางนิติวิทยาจึงได้นำร่องรอยดังกล่าวมาใช้เป็นหลักฐานในการพิสูจน์ยืนยันว่าปลอกกระสุนปืนใดๆ ที่เก็บได้มาจากที่เกิดเหตุ ถูกยิงมาจากปืนกระบอกเดียวกันหรือไม่ ซึ่งในการตรวจสอบร่องรอยบนปลอกกระสุนปืนดังกล่าวส่วนใหญ่แล้วจะกระทำโดยผู้เชี่ยวชาญในการทำการตรวจสอบ โดยในการตรวจสอบจะทำการตรวจสอบด้วยตาเปล่า ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วจำนวนปลอกกระสุนที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบและตรวจสอบมีปริมาณมาก อาจทำให้ใช้เวลานานในการทำการตรวจสอบ นอกจากนั้นยังอาจเกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้ง่ายจากการตรวจสอบด้วยตาอีกด้วย เพื่อให้การตรวจสอบอาวุธปืนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับการตรวจสอบปลอกกระสุนปืนขึ้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้นำเสนอระบบอัตโนมัติสำหรับการตรวจสอบปลอกกระสุนปืน โดยนำภาพถ่ายของงานท้ายปลอกกระสุนปืนซึ่งมีร่องรอยที่เกิดจากเข็มแทงชนวนและร่องรอยที่เกิดจากปลอกกระสุนปืนกระแทกที่แป้นปิดท้ายรังเพลิง (breach face) มาใช้ในการตรวจสอบ



รูปที่ 1.1 แสดงภาพปลอกกระสุนปืนขนาด 11 มม. และรอยที่เกิดจากเข็มแทงชนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเอาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 หลักการใหม่ที่ได้มีการนำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1. ได้นำเสนอขบวนการตรวจสอบหาจุดศูนย์กลางจากภาพถ่ายของงานท้ายปลอกกระสุนปืนเพื่อแยกบริเวณร่องรอยที่เกิดจากเข็มแทงชนวนเพื่อใช้ในการตรวจสอบปลอกกระสุนปืน
2. ได้นำค่าสัมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์มาประยุกต์ใช้ในการแสดงคุณสมบัติที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุนของภาพถ่ายงานท้ายปลอกกระสุนปืน
3. ได้นำเสนอขบวนการกรองข้อมูล เพื่อลดข้อมูลที่เกิดการเบี่ยงเบน
4. ได้นำผลตอบสนองอิมพัลส์ ของระบบตอบสนองอิมพัลส์จำนวนจำกัด มาใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่คำนวณได้จากระบบพิกัดเชิงขั้ว (Polar Coordinate) ของภาพถ่ายงานท้ายปลอกกระสุนปืนในรัศมีที่แตกต่างกัน ซึ่งผลตอบสนองอิมพัลส์ที่คำนวณได้จะนำมาใช้แสดงเอกลักษณ์ของปืนแต่ละกระบอก
5. เพื่อให้การตรวจสอบปลอกกระสุนปืนเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้นำหลักการของฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของฟิชเชอร์ (Fisher's Linear Discriminant Function: FLDF) มาใช้ในการตรวจสอบคุณลักษณะเด่นที่คำนวณได้จากภาพถ่ายงานท้ายปลอกกระสุนปืน

1.3 การเปรียบเทียบกับหลักการที่มีอยู่เดิม

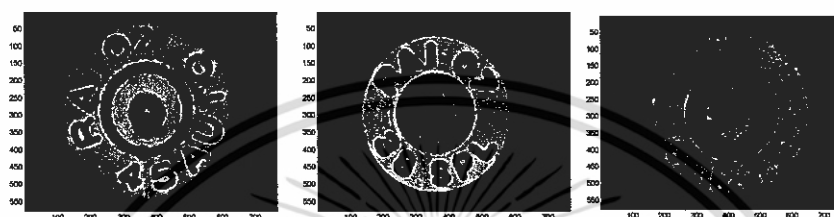
จากงานวิจัยที่ได้นำเสนอวิธีการที่ผ่านมาในการตรวจสอบอาวุธปืน ได้แสดงไว้ในรายงานฉบับที่ [1] และ [2] โดยยังมีข้อจำกัดในวิธีการในการนำเสนอ จากงานวิจัยในฉบับที่ [1] ที่ได้นำเสนอวิธีการยังมีข้อจำกัดในการพิจารณา โดยจะพิจารณาเฉพาะรอยที่เกิดจากเข็มแทงชนวนที่มีลักษณะเป็นวงกลม (circular pin mark) เพียงอย่างเดียว ดังแสดงในรูปที่ 1.2 และงานวิจัยฉบับที่ [2] จะพิจารณาเฉพาะรอยที่เกิดจากเข็มแทงชนวนที่มีลักษณะการกระแทกของเข็มแทงชนวนบริเวณด้านข้างของงานท้ายปลอกกระสุนปืน (rim firing pin mark) ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบอาวุธปืน โดยไม่จำกัดลักษณะของรอยที่เกิดจากเข็มแทงชนวน ซึ่งมีได้หลายรูปแบบเช่นมีลักษณะที่เป็นวงกลมและที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมเป็นต้นดังแสดงในรูปที่ 1.4 เป็นต้น



รูปที่ 1.2 แสดงภาพถ่ายปลอกกระสุนปืนที่เกิดจากเข็มแทงชนวนที่มีลักษณะเป็นวงกลม (circular pin mark) ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 แสดงภาพถ่ายของปลอกกระสุนปืนที่เกิดจากเข็มแทงชนวนที่มีลักษณะการกระแทกของเข็มแทงชนวนบริเวณด้านข้างของงานท้ายปลอกกระสุนปืน (rim firing pin mark)



รูปที่ 1.4 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายของปลอกกระสุนปืนที่เกิดจากเข็มแทงชนวนที่มีลักษณะแตกต่างกัน

1.4 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาหลักการพิจารณาร่องรอยที่เกิดจากเข็มแทงชนวนและรอยที่เกิดจากการกระแทกที่เป็นปัดท้ายของรังเพลิง จากภาพถ่ายที่ได้จากงานท้ายของปลอกกระสุนปืนและนำร่องรอยดังกล่าวมาใช้ในการคำนวณหาลักษณะเด่นที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวของปืนแต่ละกระบอก
2. เพื่อหาวิธีการแบบใหม่สำหรับดึงลักษณะเด่นหรือเอกลักษณ์ของปืนแต่ละกระบอก จากภาพถ่ายปลอกกระสุนปืนที่มีคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุนของปลอกกระสุนปืน และนำเอกลักษณ์ที่คำนวณได้ มาใช้สำหรับการตรวจสอบยืนยันอาวุธปืนจากภาพถ่ายปลอกกระสุนปืน

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1. ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลภาพถ่ายของงานทำยพลอกกระสุนปืน โดยกำหนดเงื่อนไขให้แสงสว่างและตำแหน่งของกล้องคงที่
2. เก็บข้อมูลภาพตัวอย่างงานทำยพลอกกระสุนปืนเพื่อใช้ในการทดลองโดยแบ่งเป็นขนาดของพลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม.จำนวน 600 ภาพ ขนาดพลอกกระสุนปืน 11 มม.จำนวน 900 ภาพและขนาดพลอกกระสุนปืน .38 จำนวน 750 ภาพ
3. ศึกษาและนำเสนอกระบวนการดึงลักษณะเด่น (Feature Extraction) จากคุณสมบัติที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุน
4. ศึกษาและนำเสนอกระบวนการตรวจสอบอาวุธปืน (Firearm identification)
5. ทดลองทำการตรวจสอบอาวุธปืนกับฐานข้อมูลที่เก็บภาพถ่ายงานทำยพลอกกระสุนปืน และแสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเพื่อยืนยันถึงประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึง อนุกรมฟูรีเยร์ (Fourier series) ซึ่งใช้แสดงนิพจน์ของฟังก์ชันเป็นคาบ (periodic function) ใดๆ ในเทอมของฟังก์ชันไซน์และโคไซน์ซึ่งเป็นฟังก์ชันตรีโกณมิติที่มีสมบัติเชิงตั้งฉาก (orthogonal property) ในบางกรณี อนุกรมฟูรีเยร์สามารถแสดงให้อยู่ในรูปแบบเชิงซ้อนได้ ซึ่งฟังก์ชัน $f(t)$ ที่มีคุณสมบัติเป็นคาบ (periodic) ก็ต่อเมื่อมีจำนวนบวก T ที่ทำให้ $f(t+T) = f(t)$ สำหรับทุก t เรียก T ว่าเป็นคาบของฟังก์ชัน $f(t)$ กราฟของฟังก์ชันคาบนี้จะสามารถเขียนได้จากการเขียนซ้ำของกราฟของฟังก์ชันในช่วงที่มีความกว้าง T ใดๆ และจากคุณสมบัติความเป็นคาบของฟังก์ชันจะได้ว่า สำหรับจำนวนเต็ม n ใดๆ $f(t+nT) = f(t)$ สำหรับทุก t นอกจากนี้ ถ้า $f(t)$ และ $g(t)$ เป็นฟังก์ชันคาบที่มีคาบเป็น T แล้ว จะได้ว่า $h(t) = af(t) + bg(t)$ เมื่อ a และ b เป็นค่าคงที่ใดๆ เป็นฟังก์ชันคาบที่มีคาบเป็น T

2.1 อนุกรมฟูรีเยร์ตรีโกณมิติ (Trigonometric Fourier Series)

กำหนดให้ฟังก์ชัน $f(t)$ เป็นฟังก์ชันคาบที่มีคาบเท่ากับ 2π สามารถเขียนฟังก์ชัน $f(t)$ ให้อยู่ในรูปของอนุกรมตรีโกณมิติได้ดังแสดงในสมการที่ 2.1

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nt + b_n \sin nt) \quad (2.1)$$

2.1.1 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ฟูรีเยร์ a_0

การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ฟูรีเยร์จากสมการ (2.1) โดยเทียบกับ t จาก $-\pi$ ถึง π จะได้

$$\begin{aligned} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) dx &= \int_{-\pi}^{\pi} \left[a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nt + b_n \sin nt) \right] dt \\ &= a_0 \int_{-\pi}^{\pi} dt + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \int_{-\pi}^{\pi} \cos ntdt + b_n \int_{-\pi}^{\pi} \sin ntdt \right) \end{aligned}$$

เอกสารเนื่องจาก $\int_{-\pi}^{\pi} \cos ntdt$ และ $\int_{-\pi}^{\pi} \sin ntdt$ มีค่าเท่ากับศูนย์ทั้งคู่ และ $\int_{-\pi}^{\pi} dt = 2\pi$ นั่นคือ โดยขั้นตอนการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) dt$$

2.1.2 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ a_n

สามารถคำนวณได้โดยวิธีที่คล้ายกันกับการหา a_0 ก่อนอื่นคูณทั้งสองข้างของสมการ (2.1) ด้วย $\cos mx$ โดยที่ m เป็นจำนวนเต็มบวกใดๆ จากนั้นคำนวณค่าทั้งสองข้างของสมการ (2.1) โดยเทียบกับ t จาก $-\pi$ ถึง π จะได้

$$\int_{-\pi}^{\pi} f(t) \cos mtdt = \int_{-\pi}^{\pi} \left[a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nt + b_n \sin nt) \right] \cos mtdt \quad (2.2)$$

พิจารณาคำนวณข้างมือของสมการ (2.2)

$$a_0 \int_{-\pi}^{\pi} \cos mtdt + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \int_{-\pi}^{\pi} \cos nt \cos mtdt + b_n \int_{-\pi}^{\pi} \sin nt \cos mtdt)$$

จะเห็นว่าพจน์แรกมีค่าเท่ากับศูนย์ และจากความสัมพันธ์ของฟังก์ชันตรีโกณจะได้

$$\int_{-\pi}^{\pi} \cos nx \cos mtdt = \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} \cos(n+m)t dt + \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} \cos(n-m)t dt$$

และ

$$\int_{-\pi}^{\pi} \sin nx \cos mtdt = \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} \sin(n+m)t dt + \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} \sin(n-m)t dt$$

มีค่าเท่ากับศูนย์ทุกกรณีเว้นกรณีที่ $n=m$ ที่ทำให้ $\cos(n-m)t = 1$ หรือ

$$\frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} \cos(n-m)t dt = \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} dt = \pi \quad \text{ดังนั้นด้านขวามือสมการ (2.2) จะมีค่าเท่ากับ}$$

$$a_m \int_{-\pi}^{\pi} \cos nt \cos mtdt = a_m \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} \cos(n-m)t dt$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= a_m \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} dt$$

$$= a_m \pi$$

นั่นคือจากสมการที่ (2.2) จะได้

$$\int_{-\pi}^{\pi} f(t) \cos mt dt = a_m \pi$$

หรือ

$$a_m = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \cos mt dt \quad n = 1, 2, \dots$$

2.3.3 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ b_n

คูณทั้งสองข้างของสมการ (2.1) ด้วย $\sin mt$ โดยที่ m เป็นจำนวนเต็มบวกใดๆ จากนั้นคำนวณค่าทั้งสองข้างของสมการ (2.1) โดยเทียบกับ t จาก $-\pi$ ถึง π จะได้

$$\int_{-\pi}^{\pi} f(t) \sin mt dt = \int_{-\pi}^{\pi} \left[a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nt + b_n \sin nt) \right] \sin mt dt \quad (2.3)$$

หลักจากคำนวณค่าแล้วพิจารณาด้านขวามือของสมการ (2.3) เป็น

$$a_0 \int_{-\pi}^{\pi} \sin mt dt + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \int_{-\pi}^{\pi} \cos nt dt + b_n \int_{-\pi}^{\pi} \sin nt \sin mt dt \right)$$

พิจารณาในทำนองเดียวกันกับการคำนวณค่า a_n จะเห็นได้ว่าพจน์แรกและพจน์ที่สองมีค่าตามความสัมพันธ์ของฟังก์ชันตรีโกณ

$$\int_{-\pi}^{\pi} \sin nt \sin mt dt = \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} \cos(n-m)t dt - \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} \cos(n+m)t dt$$

ซึ่งมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ในกรณี $n = m$ ที่ทำให้ $\cos(n - m)xt = 1$ นั่นคือ

$$\begin{aligned} \int_{-\pi}^{\pi} \sin nt \sin mtdt &= \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} \cos(n - m)t dt \\ &= \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} dt \\ &= \pi \end{aligned}$$

นั่นคือจากสมการที่ (2.3) จะได้

$$\int_{-\pi}^{\pi} f(t) \sin mtdt = b_m \pi$$

หรือ

$$b_m = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \sin mtdt \quad n = 1, 2, \dots$$

ดังนั้นการคำนวณหาสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูรีเยร์สามารถหาได้จาก a_0, a_n และ b_n สามารถเรียกว่าสมการออยเลอร์ (Euler Formula)

$$a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) dt$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \cos ntdt \quad n = 1, 2, \dots$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \sin ntdt \quad n = 1, 2, \dots$$

หรือเรียกอีกอย่างสัมประสิทธิ์ฟูรีเยร์ของ $f(t)$ ส่วนอนุกรมตรีโกณมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nt + b_n \sin nt)$$

เรียกว่า อนุกรมฟูรีเยร์ (Fourier Series)

2.2 อนุกรมฟูรีเยร์เชิงซ้อน (Complex Form of Fourier Series)

ในการนำอนุกรมฟูรีเยร์มาใช้งานส่วนใหญ่จะเป็นการง่ายและสะดวกเมื่อแทนอนุกรมฟูรีเยร์ให้อยู่ในเทอมของเอกซ์โพเนนเชียลเชิงซ้อน (complex exponential) $e^{\pm n\omega_0 t}$ ดังนั้นจึงอาศัยการพิจารณาจากอนุกรมฟูรีเยร์ของฟังก์ชันคาบรอบ $f(t)$ ใดๆ จากสมการที่ (2.1)

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nt + b_n \sin nt)$$

สามารถเขียนให้อยู่ในรูปเชิงซ้อนได้โดย

$$e^{int} = \cos nt + i \sin nt \quad (a)$$

$$e^{-int} = \cos nt - i \sin nt \quad (b)$$

นำ (a) บวก (b) แล้วหารด้วยสอง จะได้

$$\cos nt = \frac{1}{2}(e^{int} + e^{-int}) \quad (2.4)$$

$$\sin nt = \frac{1}{2i}(e^{int} - e^{-int}) \quad (2.5)$$

ดังนั้น

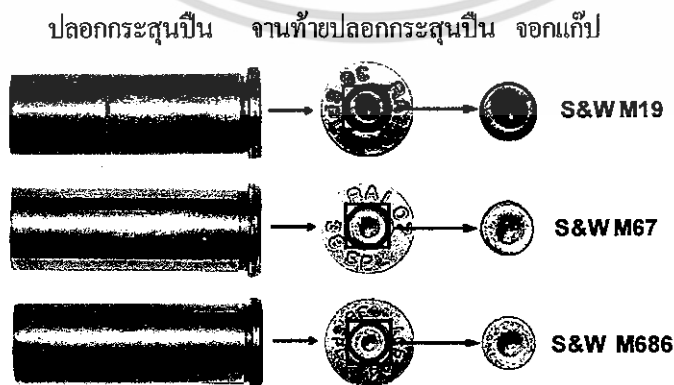
$$a_n \cos nt + b_n \sin nt = \frac{1}{2} a_n (e^{int} + e^{-int}) + \frac{1}{2i} b_n (e^{int} - e^{-int})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

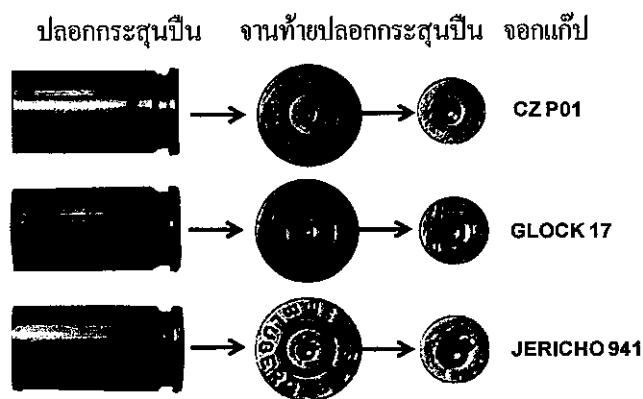
บทที่ 3

การประมวลผลเบื้องต้น

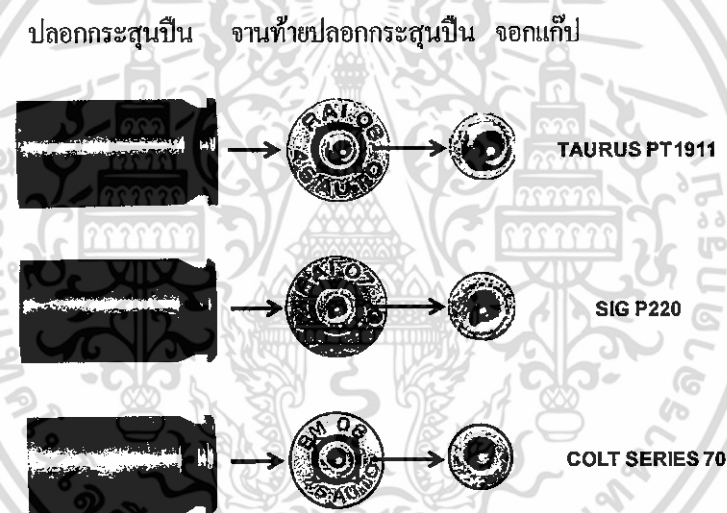
ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการประมวลผลเบื้องต้น (Preprocessing) ที่ใช้ในการดึงลักษณะเด่นของรอยที่เกิดขึ้นในบริเวณจอกแก้วที่อยู่บนงานท้ายปลอกกระสุนปืนซึ่งจะเป็นรอยที่เกิดเข็มแทงชนวนและรอยที่เกิดจากการที่ปลอกกระสุนปืนกระแทกกับแป้นปิดท้ายของรังเพลิง ซึ่งรอยดังกล่าวจะเป็นลักษณะที่แสดงคุณสมบัติเฉพาะตัวของปลอกกระสุนปืนว่ามาจากปืนกระบอกเดียวกันหรือปืนคนละกระบอก จากรูปที่ 3.1 ถึง รูปที่ 3.3 จะแสดงตัวอย่างของปลอกกระสุนปืนที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งถูกยิงมาจากปืนจำนวน 3 ขนาดด้วยกัน โดยมาจากปืนขนาด .38 ปืนขนาด 9 มม. และ ปืนขนาด 11 มม. ซึ่งรอยที่เกิดขึ้นบนปลอกกระสุนปืนจะนำมาใช้ในการตรวจสอบว่าปลอกกระสุนปืนใด ๆ ถูกยิงมาจากปืนกระบอกเดียวกันหรือไม่ จะได้จากการถ่าย ภาพของปลอกกระสุนปืนเป็นภาพในระดับสีเทาที่มีระดับสีเทา 256 ระดับ จากนั้นจะเป็นขั้นตอนการแก้ปัญหาจากการหมุนไปของภาพถ่ายปลอกกระสุนปืนที่องศาที่แตกต่างกันทำให้ภาพปลอกกระสุนปืนที่ยิงจากปืนกระบอกเดียวกันมีความต่างกัน โดยในขั้นแรกจะนำภาพปลอกกระสุนปืนที่ได้จะมาทำการแยกบริเวณที่จะใช้ในการพิจารณา ซึ่งบริเวณที่จะพิจารณาจะเป็นร่องรอยที่เกิดจากเข็มแทงชนวนและรอยที่เกิดจากปลอกกระสุนปืนกระแทกกับแป้นปิดท้ายรังเพลิง ซึ่งเราสามารถแยกบริเวณที่จะพิจารณาได้จากการคำนวณหาจุดศูนย์กลางของภาพงานท้ายของปลอกกระสุนปืนและกำหนดขอบเขตของรัศมีให้ครอบคลุมพื้นที่ของจอกแก้ว จากนั้นจะแปลงระบบภาพปลอกกระสุนปืนจากระบบพิกัดคาร์ทีเซียนมาเป็นระบบพิกัดเชิงขั้ว และนำภาพปลอกกระสุนปืนในระบบพิกัดเชิงขั้ว กระจายลงในอนุกรมฟูเรียร์ ซึ่งคุณสมบัติที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุนของภาพปลอกกระสุนปืนสามารถแสดงได้ด้วยค่าสมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์นั่นเอง



รูปที่ 3.1 แสดงภาพถ่ายตัวอย่างภาพปลอกกระสุนปืนขนาด .38 รอยที่เกิดจากเข็มแทงชนวน เอกสารนี้เป็น และรอยที่เกิดจากการที่ปลอกกระสุนปืนกระแทกกับแป้นปิดท้ายรังเพลิงที่นำไปใช้ในการการคำนวณว่ากรณีใด ทดลอง อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



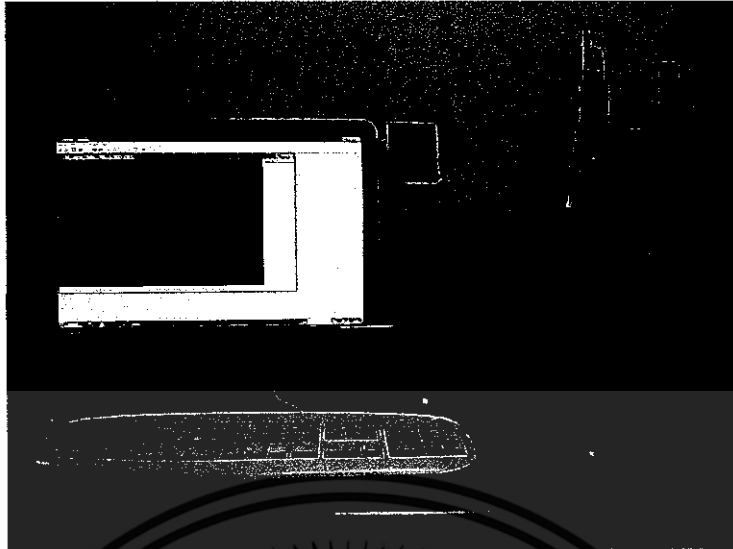
รูปที่ 3.2 แสดงภาพตัวอย่างภาพปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม. รอยที่เกิดจากเข็มแทงชนวน รอยที่เกิดจากเข็มแทงชนวนและรอยที่เกิดจากการที่ปลอกกระสุนปืนกระแทกกับแป้นปิดท้ายรังเพลิงที่นำไปใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.3 แสดงภาพตัวอย่างภาพปลอกกระสุนปืนขนาด 11 มม. รอยที่เกิดจากเข็มแทงชนวน รอยที่เกิดจากเข็มแทงชนวนและรอยที่เกิดจากการที่ปลอกกระสุนปืนกระแทกกับแป้นปิดท้ายรังเพลิงที่นำไปใช้ในการทดลอง

ภาพที่ได้จากปลอกกระสุนปืนในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้มาจากการใช้กล้องถ่ายภาพที่ถูกแปลงให้เป็นภาพแบบดิจิทัล ซึ่งภาพที่นำมาใช้จะเป็นภาพของระดับสีเทาที่มีความแตกต่างกันของระดับสีเทา 256 ระดับ โดยกำหนดเงื่อนไขในการควบคุมแสงและตำแหน่งให้มีค่าคงที่ ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำรอยที่เกิดจากเข็มแทงชนวนและรอยที่เกิดจากการกระแทกกับแป้นปิดท้ายรังเพลิงของอาวุธปืน บนงานทำยของปลอกกระสุนปืนในบริเวณจอกแก้วมาใช้ในการพิจารณาถึงคุณลักษณะเด่นที่เป็นเอกลักษณ์ของปืนแต่ละกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงการถ่ายภาพปลอกกระสุนปืนที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้

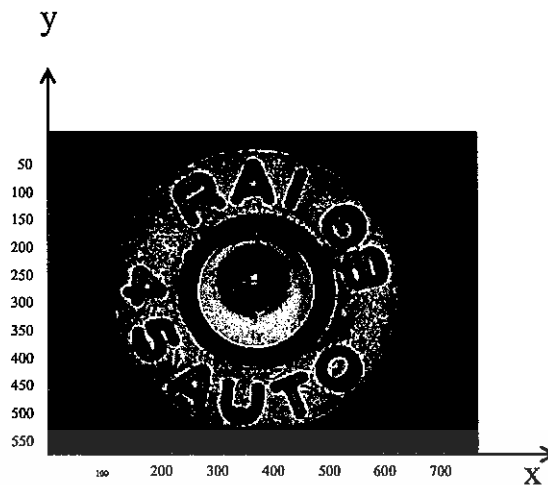
รูปที่ 3.1-3.3. แสดงตัวอย่างของภาพปลอกกระสุนปืนที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยแสดงรอยที่เกิดจากเข็มแทงขนวนและรอยที่เกิดจากการที่ปลอกกระสุนปืนกระแทกกับแป้นปิดท้ายรังเพลิง ซึ่งเป็นภาพถ่ายปลอกกระสุนปืนที่ถูกยิงจากปืนที่มีขนาดลำกล้อง .38 ปืนขนาดลำกล้อง 9 มม. และ ปืนขนาดลำกล้อง 11 มม. จากนั้นจะนำภาพในระดับสีเทาของภาพถ่ายดังกล่าวมาแสดงในรูปของฟังก์ชันต่อเนื่องแบบ 2 มิติในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนได้จากสมการที่ 3.1 และ 3.2 ดังต่อไปนี้

$$f(x, y) = \sum_{n=0}^Q \sum_{m=0}^Q F(n, m) \phi(x-n, y-m) \quad (3.1)$$

เมื่อ

$$\phi(x, y) = \frac{\sin \pi x}{\pi x} \cdot \frac{\sin \pi y}{\pi y} \quad (3.2)$$

และ Q เป็นขนาดของภาพที่มีค่าเป็นจำนวนเต็ม $F(n, m)$ เป็นค่าของระดับสีเทา ณ ตำแหน่งที่ (n, m)

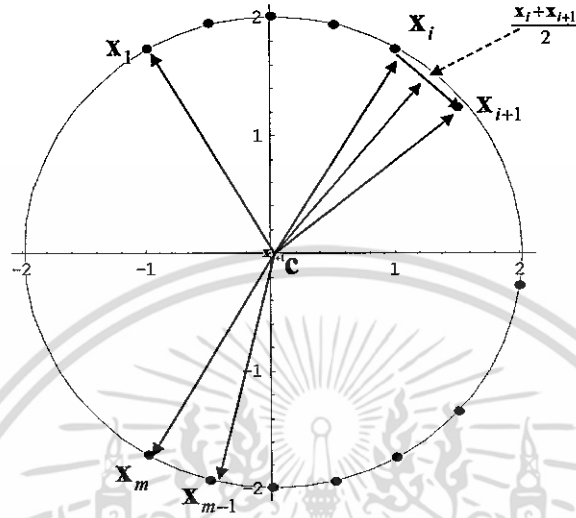


รูปที่ 3.5 แสดงปลอกกระสุนปืนในรูปฟังก์ชันต่อเนื่องแบบ 2 มิติระบบคู่ลำดับคาร์ทีเซียน

3.1 การประมาณค่าจุดศูนย์กลางวงกลมบริเวณงานท้ายปลอกกระสุนปืนและรัศมี

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงการประมวลผลเบื้องต้น เพื่อทำการแยกวัตถุบริเวณที่จะนำมาพิจารณาก่อนที่จะนำไปสู่ขั้นตอนกระบวนการในการตรวจสอบ ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะบริเวณจอกเก็บ (Primer Cap) ของปลอกกระสุนปืน โดยภาพของปลอกกระสุนปืนที่จะนำมาใช้จะเป็นภาพที่อยู่ในระดับสีเทาที่มีความแตกต่างกันของระดับสีเทา 256 ระดับ จากนั้นจะทำการหาค่าแห่งขอบของงานท้ายของภาพถ่ายปลอกกระสุนปืน เพื่อที่จะนำค่าแห่งดังกล่าวไปคำนวณหาจุดศูนย์กลางบริเวณงานท้ายของปลอกกระสุนปืนแล้วนำมาพิจารณาคำหนดความยาวของรัศมีในการแยกวัตถุบริเวณที่จะพิจารณาก่อนที่จะนำไปสู่ขั้นตอนการตรวจสอบต่อไป การประมาณค่าจุดศูนย์กลางบริเวณงานท้ายปลอกกระสุนปืนทำได้ดังต่อไปนี้

การประมาณค่าจุดศูนย์กลางของวงกลมบนงานท้ายปลอกกระสุนปืน (\mathbf{c}) โดยใช้จุดที่อยู่บนขอบวงกลม (\mathbf{x}_i) ซึ่งในที่นี้คือจุดที่ได้จากตำแหน่งบนขอบงานท้ายปลอกกระสุนปืนและจุดถัดไป (\mathbf{x}_{i+1}) ที่อยู่บนวงกลมแสดงได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงการประมาณค่าจุดศูนย์กลางวงกลมและจุดบนบริเวณรอบวงกลม

เมื่อค่า \mathbf{c} แสดงจุดศูนย์กลางของวงกลมและค่า \mathbf{x}_i เป็นจุดบนบริเวณรอบวงกลม

$$\mathbf{c} = \begin{pmatrix} c_x \\ c_y \end{pmatrix}, \mathbf{x}_i = \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix} \text{ และ } \mathbf{x}_{i+1} = \begin{pmatrix} x_{i+1} \\ y_{i+1} \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

เมื่อเวกเตอร์สองเวกเตอร์ได้แก่เวกเตอร์ $\mathbf{c} - \frac{\mathbf{x}_{i+1} + \mathbf{x}_i}{2}$ และเวกเตอร์ $\mathbf{x}_{i+1} - \mathbf{x}_i$ มีลักษณะที่ตั้งฉากกัน เมื่อนำเวกเตอร์ทั้งสองมาคูณกันจะมีค่าเป็นศูนย์ ดังแสดงได้จากสมการที่ 3.4

$$\left(\mathbf{c} - \frac{\mathbf{x}_{i+1} + \mathbf{x}_i}{2} \right)^T (\mathbf{x}_{i+1} - \mathbf{x}_i) = 0 \quad (3.4)$$

โดยที่เวกเตอร์ \mathbf{x}^T เป็นค่าสลับเปลี่ยนของเวกเตอร์ \mathbf{x} สามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$(\mathbf{x}_{i+1} - \mathbf{x}_i)^T \mathbf{c} = \frac{1}{2} (\mathbf{x}_{i+1} - \mathbf{x}_i)^T (\mathbf{x}_{i+1} + \mathbf{x}_i) \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้จุดที่อยู่บนบริเวณวงกลมมีทั้งหมด m จุด ได้แก่จุดที่ $x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$ และจุดถัดไปตามสมการต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} (\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1)^T \\ (\mathbf{x}_3 - \mathbf{x}_2)^T \\ \vdots \\ (\mathbf{x}_m - \mathbf{x}_{m-1})^T \end{bmatrix} \mathbf{c} = \frac{1}{2} (\|\mathbf{x}_{i+1}\|^2 - \|\mathbf{x}_i\|^2) \quad (3.6)$$

โดยกำหนดให้ค่าเวกเตอร์ A เป็นเวกเตอร์แสดงระยะห่างของจุด (\mathbf{x}_{i+1}) กับจุด (\mathbf{x}_i) บนวงกลม และเวกเตอร์ b_i แสดงค่าระยะห่างของขนาดที่จุด (\mathbf{x}_{i+1}) และจุด (\mathbf{x}_i) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$b_i = \|\mathbf{x}_{i+1}\|^2 - \|\mathbf{x}_i\|^2 = (x_{i+1}^2 + y_{i+1}^2) - (x_i^2 + y_i^2)$$

เมื่อ b_i เป็นการหาขนาดที่จุด \mathbf{x}_{i+1} และจุด \mathbf{x}_i โดยที่ i เป็นจำนวนจุดใดๆ บนวงกลม

$$A = \begin{bmatrix} (\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1)^T \\ (\mathbf{x}_3 - \mathbf{x}_2)^T \\ \vdots \\ (\mathbf{x}_m - \mathbf{x}_{m-1})^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1 & \mathbf{y}_2 - \mathbf{y}_1 \\ \mathbf{x}_3 - \mathbf{x}_2 & \mathbf{y}_3 - \mathbf{y}_2 \\ \vdots & \vdots \\ \mathbf{x}_m - \mathbf{x}_{m-1} & \mathbf{y}_m - \mathbf{y}_{m-1} \end{bmatrix}, \mathbf{b} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_{m-1} \end{bmatrix}$$

จากสมการที่ 3.6 สามารถเขียนได้ใหม่

$$A\mathbf{c} = \mathbf{b} \quad (3.7)$$

สามารถคำนวณหาค่าที่น้อยที่สุด (Minimize) ของ $\|e\|^2 = \|\mathbf{b} - A\mathbf{c}\|^2$ ได้จาก

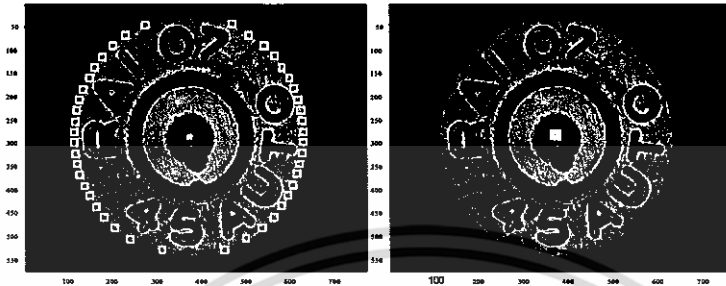
$$e = \mathbf{b} - A\mathbf{c} \quad (3.8)$$

โดยกำหนดให้ค่าจุดศูนย์กลางของวงกลมที่เหมาะสม (\mathbf{c}) สามารถคำนวณได้จาก

$$\mathbf{c} = \frac{1}{2} (A^T A)^{-1} A^T \mathbf{b} \quad (3.9)$$

$$r = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \|c - x_i\|^2} \quad (3.10)$$

ตัวอย่างผลของการประมาณค่าจุดศูนย์กลางดังกล่าวแสดงได้ในรูปที่ 3.7



แสดงผลจากการคำนวณหาจุดศูนย์กลางของวงกลมจากภาพถ่ายปลอกกระสุนปืน
คือจุดจากตำแหน่งบนขอบจานท้ายปลอกกระสุนปืนและจุดถัดไป

รูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างของภาพปลอกกระสุนปืนที่ได้จากการคำนวณการประมาณค่าจุดศูนย์กลางวงกลมที่ใช้ในการแยกวัตถุบริเวณที่ต้องการพิจารณา บริเวณรอยที่เกิดจากเข็มแทงชนวนและรอยที่เกิดจากการที่ปลอกกระสุนปืนกระแทกกับแป้นปิดท้ายรังเพลิง

3.2 การแปลงระบบพิกัดฉาก (Cartesian Coordinates) เป็นระบบพิกัดเชิงขั้ว (Polar Coordinates)

เนื่องจากภาพถ่ายจานท้ายของปลอกกระสุนปืนที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพที่ถูกแปลงให้เป็นภาพแบบดิจิทัล ซึ่งในแต่ละครั้งนั้นจะมีการหมุนไปของปลอกกระสุนปืนในองศาที่ต่างกัน เพื่อที่จะได้มาซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุนของปลอกกระสุนปืน บริเวณที่เกิดร่องรอยของเข็มแทงชนวนที่ใช้ในการพิจารณา ในขั้นแรกจะทำการแปลงระบบพิกัดของภาพถ่ายบริเวณรอยที่เกิดจากเข็มแทงชนวนที่เป็นระบบพิกัดฉาก (Cartesian Coordinates (x, y)) ให้อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว (Polar Coordinates (r, θ)) สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$x = r \cos \theta \quad (3.11)$$

$$y = r \sin \theta \quad (3.12)$$

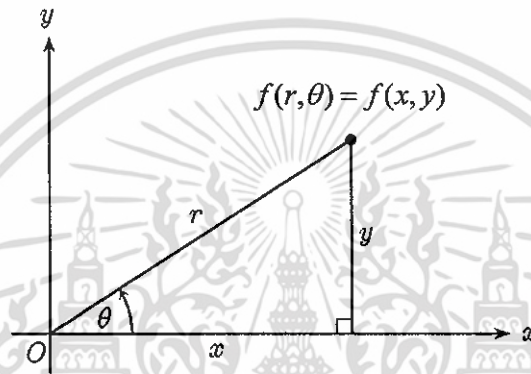
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (3.13)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y}{x} \tag{3.14}$$

โดยที่ $r \geq 0$, $0 \leq \theta \leq 2\pi$

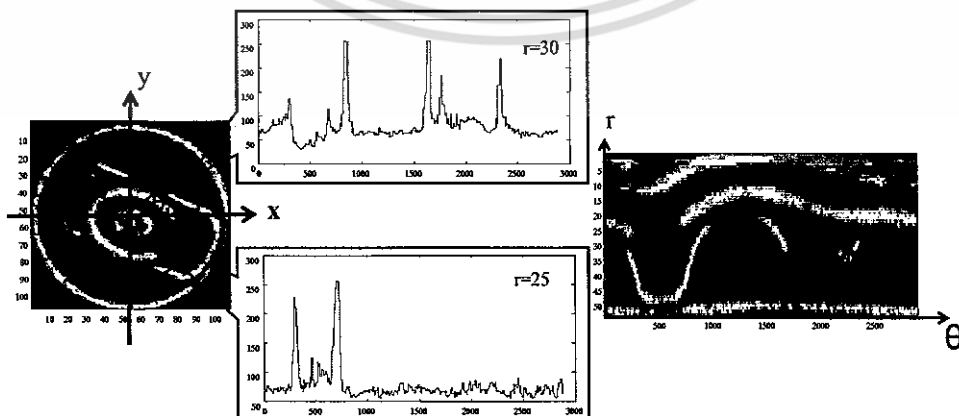
จากสมการข้างต้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 3.8 โดยกำหนดให้รัศมีของระบบพิกัดเชิงขั้วและจุดกำเนิดของระบบพิกัดฉากเป็นจุดเดียวกัน และแกนเชิงขั้วของระบบพิกัดเชิงขั้วทับกับแกน x ด้านบวกของระบบพิกัดฉาก



รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดฉากกับพิกัดเชิงขั้ว

ซึ่งสามารถแปลงระบบพิกัดฉาก เป็นระบบพิกัดเชิงขั้วได้ในรูปของ $\hat{f}(r, \theta)$ โดยที่

$$\hat{f}(r, \theta) = \hat{f}(r \cos \theta, r \sin \theta) \tag{3.15}$$



เอกสารรูปที่ 3.9 การแปลงระบบพิกัดฉาก (x, y) ของภาพฟลอคกราดุสเป็นบริเวณจอกเก็บไปเป็นระบบพิกัดเชิงขั้ว (r, θ) ทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่างการแปลงระบบพิกัดฉากของภาพถ่ายปลอกกระสุนปืนบริเวณจอก
เก็บไปเป็นระบบพิกัดเชิงขั้ว

3.3 การประมาณค่าด้วยฟูรีเยร์ (Fourier Approximation)

สำหรับการตรวจสอบปลอกกระสุนปืนในกรณีที่ปลอกกระสุนปืนมีขนาดเท่ากันแล้ว
รอยเข็มแทงชนวนและรอยที่เกิดจากการที่ปลอกกระสุนปืนกระแทกกับแป้นปิดท้ายรังเพลิง ถือเป็น
เป็นสิ่งสำคัญสิ่งหนึ่งสำหรับใช้ในการตรวจสอบปลอกกระสุนปืน อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะ
กำหนดตำแหน่งการถ่ายภาพของปลอกกระสุนปืนให้มีค่าคงที่แต่ในความเป็นจริงแล้วเราไม่
สามารถควบคุมการหมุนของปลอกกระสุนปืนให้อยู่ในตำแหน่งเดียวกันได้ จากสาเหตุนี้จึงทำให้
ภาพถ่ายของปลอกกระสุนปืนที่ยังมาจากกระบอกเดียวกันมีความแตกต่างกัน ดังนั้นคุณสมบัติที่
ไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุนของปลอกกระสุนปืนถือว่าเป็นสิ่งสำคัญที่จำเป็นสำหรับการสร้าง
ระบบอัตโนมัติสำหรับตรวจสอบปลอกกระสุนปืน เพื่อที่จะได้มาของคุณสมบัติดังกล่าวเราจึง
ตั้งสมมติฐานให้ฟังก์ชัน $\hat{f}(r, \theta)$ ได้ โดยปราศจากความสูญเสียคุณสมบัติโดยทั่วไปดังนี้

$$\hat{f}(r, \theta) = \hat{f}(r, \theta + 2m\pi) \quad (3.16)$$

โดยกำหนดให้ m เป็นจำนวนเต็ม และ $\hat{f}(r, \theta)$ จะถูกกระจายลงบนอนุกรมฟูรีเยร์ โดย
กำหนดให้ $r = r_k$ (เป็นค่าคงที่) ดังต่อไปนี้

$$\hat{f}(r_k, \theta) = \sum_{m=-M}^M a_m^{(k)} e^{jm\theta} \quad (3.17)$$

เมื่อ

$$a_m^{(k)} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \hat{f}(r_k, \theta) e^{-jm\theta} d\theta \quad (3.18)$$

กำหนดให้ k เป็นจำนวนรัศมีของภาพปลอกกระสุนปืน โดยที่ $g(r_k, \theta) = \hat{f}(r_k, \theta + \alpha)$
เป็นภาพปลอกกระสุนปืนที่ได้จากการหมุนไปของ $\hat{f}(r_k, \theta)$ ไปด้วยมุม α เมื่อเทียบกับจุด

เอกสารกำเนิดเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\hat{g}(r_k, \theta) = \hat{f}(r_k, \theta + \alpha) \quad (3.18)$$

จากนั้นค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ b_m^k ของ $\hat{g}(r_k, \theta)$ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$b_m^{(k)} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \hat{f}(r_k, \theta) e^{-jm\theta} e^{-jm\alpha} d\theta \quad (3.19)$$

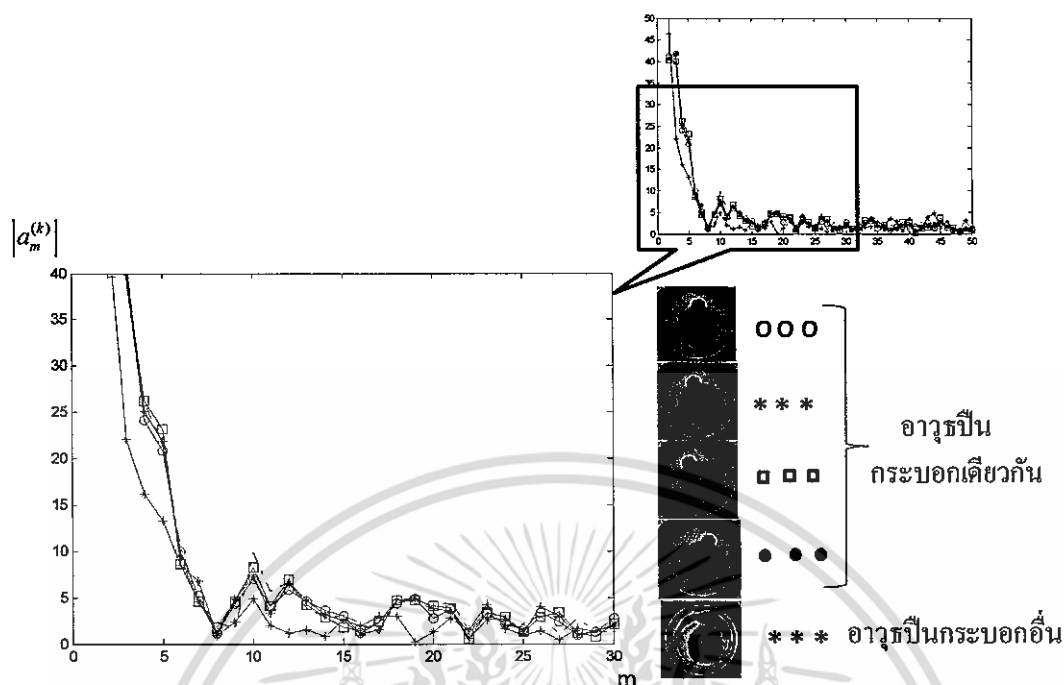
สามารถแสดงให้เห็นแล้วว่าค่า $|a_m^{(k)}|$ มีคุณสมบัติที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุน ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$u_m^{(k)} \equiv |b_m^{(k)}| = |a_m^{(k)}| \quad (3.20)$$

จาก $e^{j\theta} = \cos \theta + j \sin \theta$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} |e^{jm\alpha}| &= \sqrt{\cos^2 m\alpha + \sin^2 m\alpha} \\ &= \sqrt{1} \\ &= 1 \\ |b_m^{(k)}| &= |a_m^{(k)}| |1| \end{aligned} \quad (3.21)$$

จากสมการที่ 3.21 แสดงให้เห็นว่าค่าสัมบูรณ์ของค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์จะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง แม้ว่าปลอกกระสุนจะหมุนไปตามองศาใดๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 จากรูปแสดงค่าสัมบูรณ์คุณสมบัติ $|a_m^{(k)}|$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าสัมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่ได้มาจากปลอกกระสุนปืนที่ยิงมาจากปืนกระบอกเดียวกันจะมีค่าใกล้เคียงกันถึงแม้ว่าจะเป็นภาพถ่ายจากปลอกกระสุนปืนที่หมุนไปในองศาที่แตกต่างกันและจะมีค่าแตกต่างจากของค่าสัมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์จากปลอกกระสุนปืนที่ยิงมาจากปืนคนละกระบอก



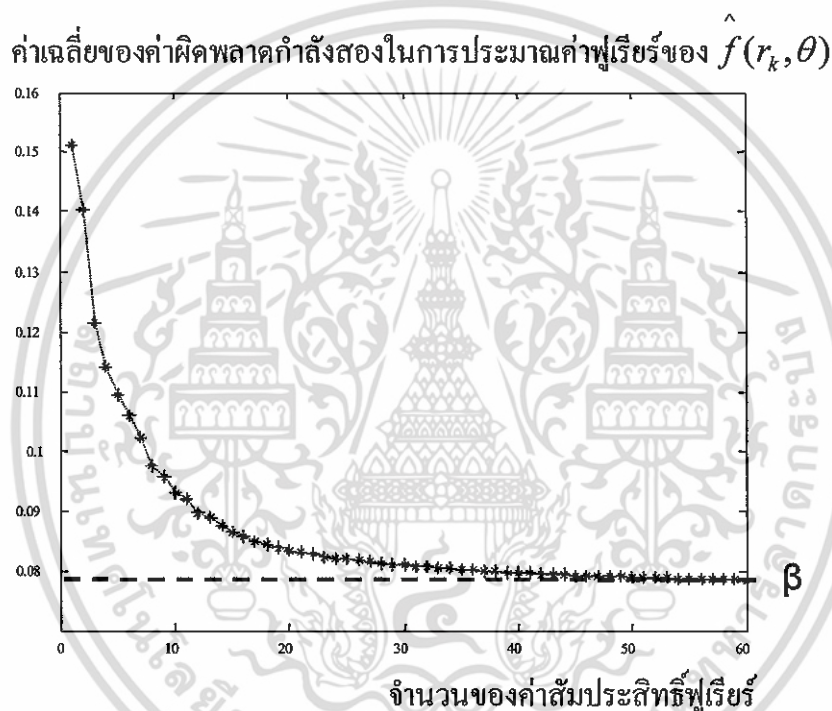
รูปที่ 3.10 $|a_m^{(k)}|$ ได้มาจากพลาถกกระสุนปืนที่มาจากปืนกระบอกเดียวกันและที่มาจากปืนคนละกระบอก ที่ถูกหมุน ไปคัวของศาที่แตกต่ากัน

จากสมการที่ 3.20 เราจะกำหนดเวกเตอร์ \mathbf{u}_k แสดงค่าสมบรูณ์ของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของพลาถกกระสุนปืนบนวงกลมของรัศมีที่ k ซึ่งจะเป็นเวกเตอร์แสดงคุณสมบัติที่สำคัญที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุนของภาพพลาถกกระสุนปืนดังนี้

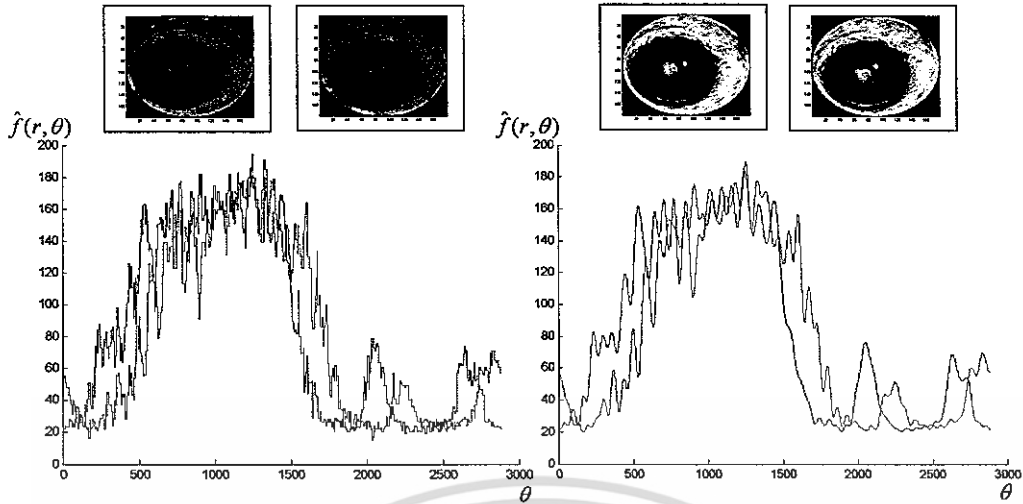
$$\mathbf{u}_k^T = [u_0^{(k)}, \dots, u_M^{(k)}], (k = 1, \dots, K) \quad (3.22)$$

เมื่อ \mathbf{u}_k^T เป็นค่าสลับเปลี่ยน (Transpose) ของ \mathbf{u}_k ซึ่งใช้เป็นคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับการตรวจสอบพลาถกกระสุนปืน

นอกจากนี้ยังสามารถใช้การประมาณค่าฟูเรียร์ในการช่วยลดความเบี่ยงเบนของภาพถ่ายบล็อกกระสุนปืนที่เกิดบนบริเวณพื้นผิวของจอกแก้ว โดยการกำหนดจำนวนของค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่เหมาะสม จำนวนค่าของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่เหมาะสม สามารถกำหนดได้จากค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาดกำลังสอง (mean square error) ของการประมาณค่าฟูเรียร์ ซึ่งพิจารณาจากเส้นขีดแบ่ง β ซึ่งค่าขีดแบ่ง β กำหนดได้จากการเรียนรู้จากข้อมูลอ้างอิงที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยสามารถแสดงภาพจากค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาดกำลังสองของการประมาณค่าฟูเรียร์จากรูปที่ 3.11 ซึ่งจากรูปที่ 3.11 จะเห็นได้ว่ากำหนดค่า $\beta = 0.07$ จะได้จำนวนของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์มีค่าเท่ากับ 50



รูปที่ 3.11 ภาพแสดงค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาดกำลังสองของการประมาณค่าฟูเรียร์ $\hat{f}(r, \theta)$ ประสิทธิภาพการประมาณค่าฟูเรียร์ในการลดความแตกต่างที่เกิดจากวัสดุที่ใช้ผลิต Primer ring แสดงได้ในรูปที่ 3.12



(ก) แสดงค่าสัมประสิทธิ์ฟูรีเยร์ที่ได้จาก
 ปลอกกระสุนปืนต้นฉบับ

(ข) แสดงการประมาณของสัมประสิทธิ์
 ฟูรีเยร์ที่ได้จากภาพ (ก) ที่ ค่า $M=50$

รูปที่ 3.12 แสดงภาพการประมาณค่าของสัมประสิทธิ์ฟูรีเยร์จากภาพต้นฉบับ

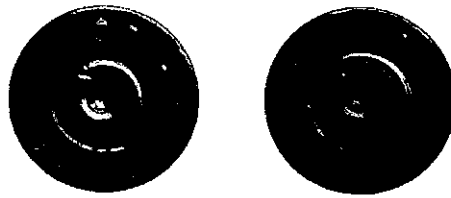
จากรูปที่ 3.12 เป็นการแสดงการประมาณค่าของสัมประสิทธิ์ฟูรีเยร์จากภาพถ่ายปลอกกระสุนปืนต้นฉบับในรูป (ก) ซึ่งผลจากการประมาณค่าของสัมประสิทธิ์ฟูรีเยร์ของภาพถ่ายปลอกกระสุนปืนจากภาพถ่ายปลอกกระสุนปืนต้นฉบับแสดงได้ในรูป (ข) จากการประมาณค่าฟูรีเยร์ที่ $M=50$

นอกจากนั้นเพื่อลดความแตกต่างกันของสีของจอกแก้วที่งานทำปลอกกระสุนปืนดังแสดงในรูปที่ 3.13 ซึ่งทำได้โดยการทำให้อัตราส่วนของผลรวมของระดับสีเทาซึ่งแสดงได้โดยค่า $u_0^{(k)}$ จากสมการ 3.20 ให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกันดังนี้

$$\hat{u}_k^T = [\hat{u}_0^{(k)}, \hat{u}_1^{(k)}, \dots, \hat{u}_M^{(k)}], (k=1, \dots, K) \quad (3.19)$$

$$\hat{u}_m^{(k)} = \frac{u_m^{(k)}}{u_0^{(\max)}} \quad (3.20)$$

เมื่อ $u_0^{(\max)} = \max \{u_0^{(1)}, u_0^{(2)}, \dots, u_0^{(K)}\}$ และ \hat{u}_k พิจารณาเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุนของปลอกกระสุนปืน



รูปที่ 3.13 แสดงภาพเปรียบเทียบงานทำของปลอกกระสุนปืนที่มีความแตกต่างกันของสีชนิดโลหะของจอกแก้วที่อยู่บริเวณวงกลมด้านใน โดยปลอกกระสุนปืนทั้งสองยิงมาจากปืนกระบอกเดียวกัน

ภาพต้นฉบับ	ภาพระดับสีเทา	ภาพแสดงจุดศูนย์กลางวงกลม	แสดงภาพจอกแก้วในรูปทึดจาก	แสดงภาพจอกแก้วในรูปทึดเชิงขั้ว

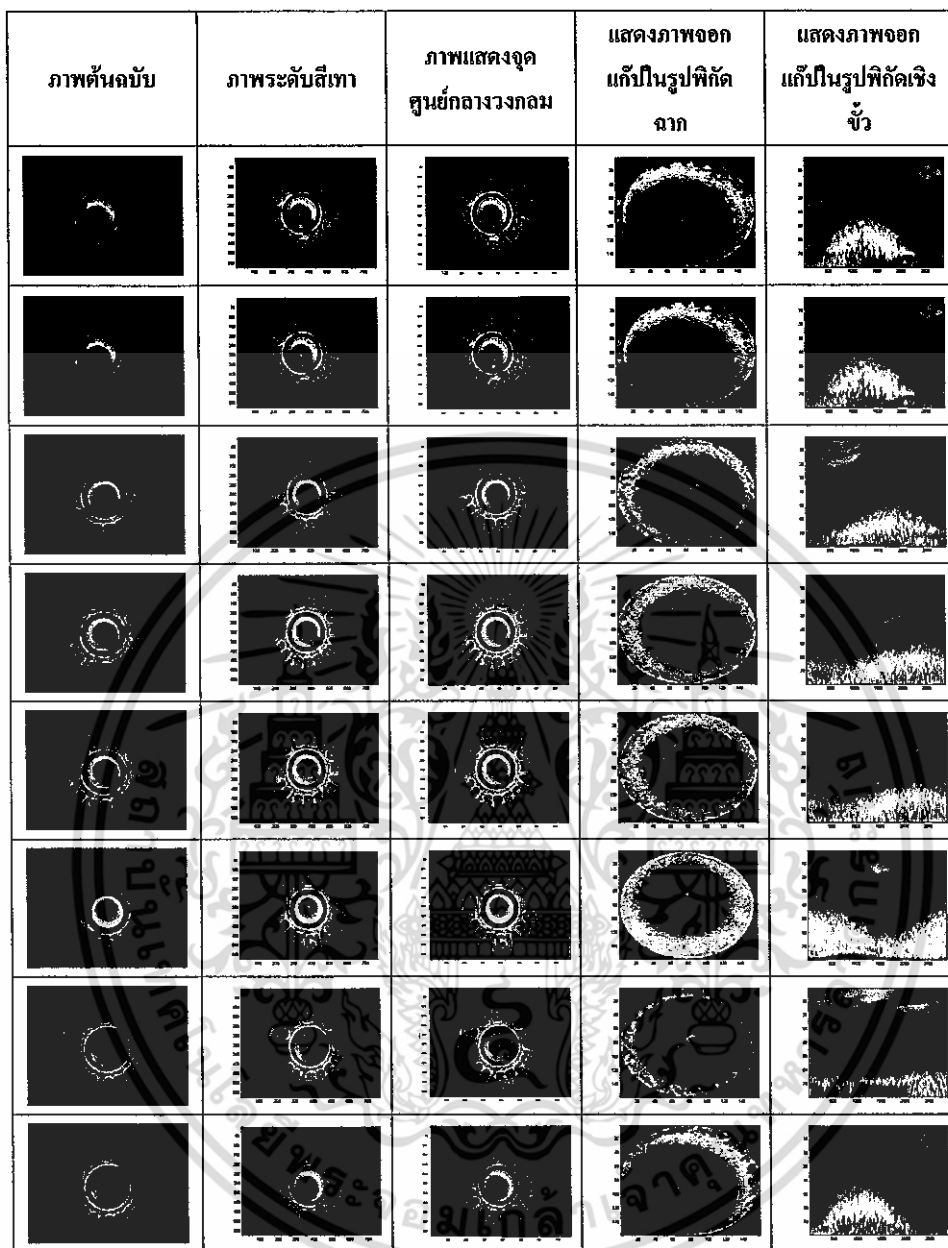
รูปที่ 3.14 แสดงภาพตัวอย่างปลอกกระสุนปืนขนาด 11 มม. ที่ยิงมาจากปืนรุ่น COLT SERIES 70

ในการหาจุดศูนย์กลางของวงกลมบริเวณงานทำของปลอกกระสุนปืนและการแปลงระบบ

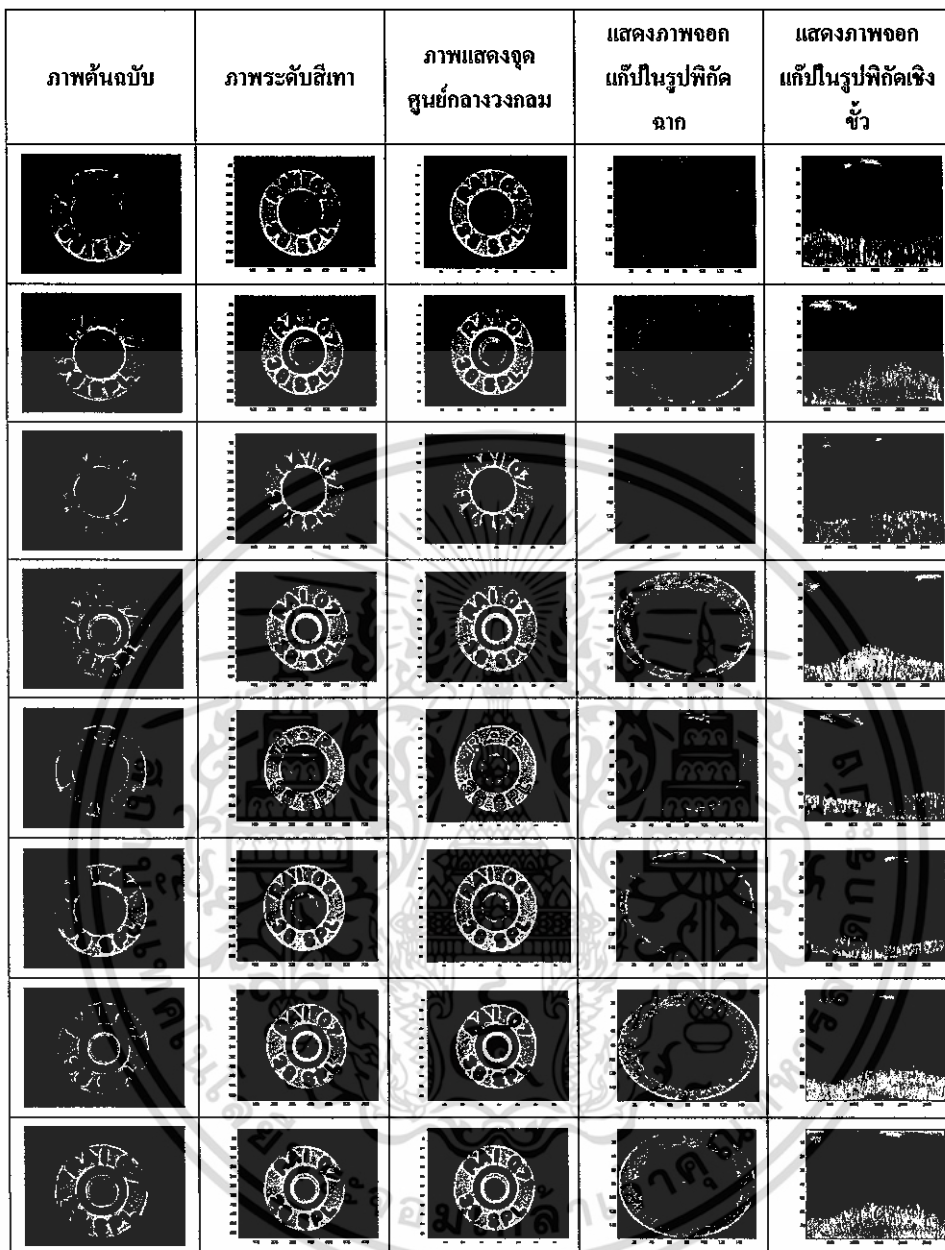
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพต้นฉบับ	ภาพระดับสีเทา	ภาพแสดงจุดศูนย์กลางวงกลม	แสดงภาพจอกแก้วเป็นรูปฟักดาก	แสดงภาพจอกแก้วเป็นรูปฟักเชิงขั้ว

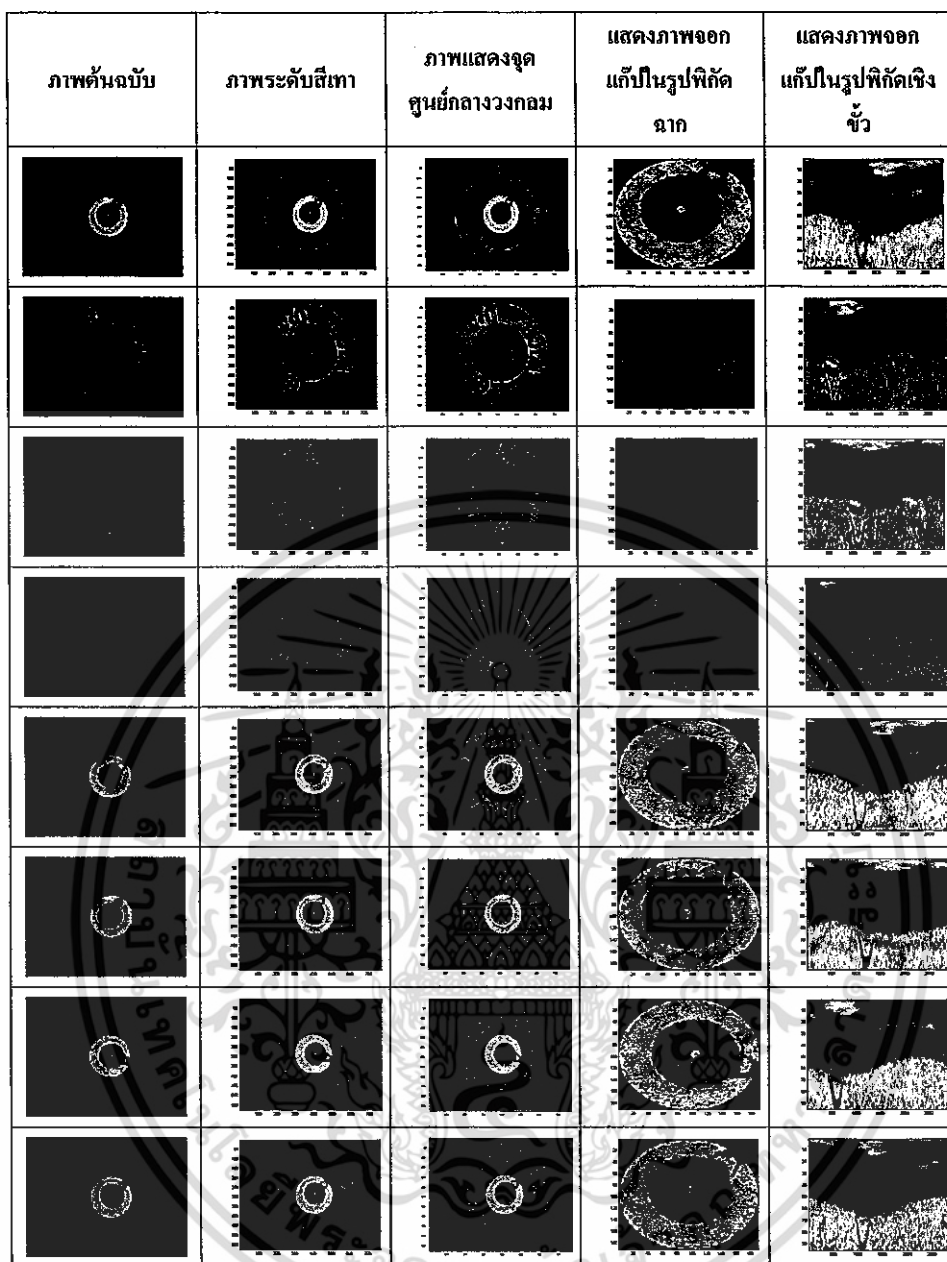
รูปที่ 3.15 แสดงภาพตัวอย่างปลอกกระสุนปืนขนาด 11 มม. ที่ยิงมาจากปืนรุ่น SIG P220 ในการหาจุดศูนย์กลางของวงกลมบริเวณงานทำของปลอกกระสุนปืนและการแปลงระบบค่าตัวคาร์ทีเซียนเป็นระบบพิกัดเชิงขั้วของวงกลม



รูปที่ 3.16 แสดงภาพตัวอย่างปลอกกระสุนปืนขนาด .38 ที่ยิงมาจากปืนรุ่น TAURUS 85S ในการหาจุดศูนย์กลางของวงกลมบริเวณงานท้ายของปลอกกระสุนปืนและการแปลงระบบพิกัดคาร์ทีเซียนเป็นระบบพิกัดเชิงขั้วของวงกลม



รูปที่ 3.17 แสดงภาพตัวอย่างปลอกกระสุนปืนขนาด .38 ที่ยิงมาจากปืนรุ่น S&W M67 ในการหาจุดศูนย์กลางของวงกลมบริเวณงานท้ายของปลอกกระสุนปืนและการแปลงระบบพิกัดคาร์ทีเซียนเป็นระบบพิกัดเชิงขั้วของวงกลม



รูปที่ 3.18 แสดงภาพตัวอย่างปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม. ที่ยิงมาจากปืนรุ่น HK USP ในการหาจุดศูนย์กลางของวงกลมบริเวณงานท้ายของปลอกกระสุนปืนและการแปลงระบบคู่ลำดับคาร์ทีเซียนเป็นระบบฟัคัดเชิงขั้วของวงกลม

ภาพต้นฉบับ	ภาพระดับสีเทา	ภาพแสดงจุดศูนย์กลางวงกลม	แสดงภาพออกเก็บในรูปแบบพิกัดฉาก	แสดงภาพออกเก็บในรูปแบบพิกัดเชิงขั้ว

รูปที่ 3.19 แสดงภาพตัวอย่างปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม. ที่ยิงมาจากปืนรุ่น GLOCK 26 ในการหาจุดศูนย์กลางของวงกลมบริเวณงานท้ายของปลอกกระสุนปืนและการแปลงระบบพิกัดคาร์ทีเซียนเป็นระบบพิกัดเชิงขั้วของวงกลม

บทที่ 4

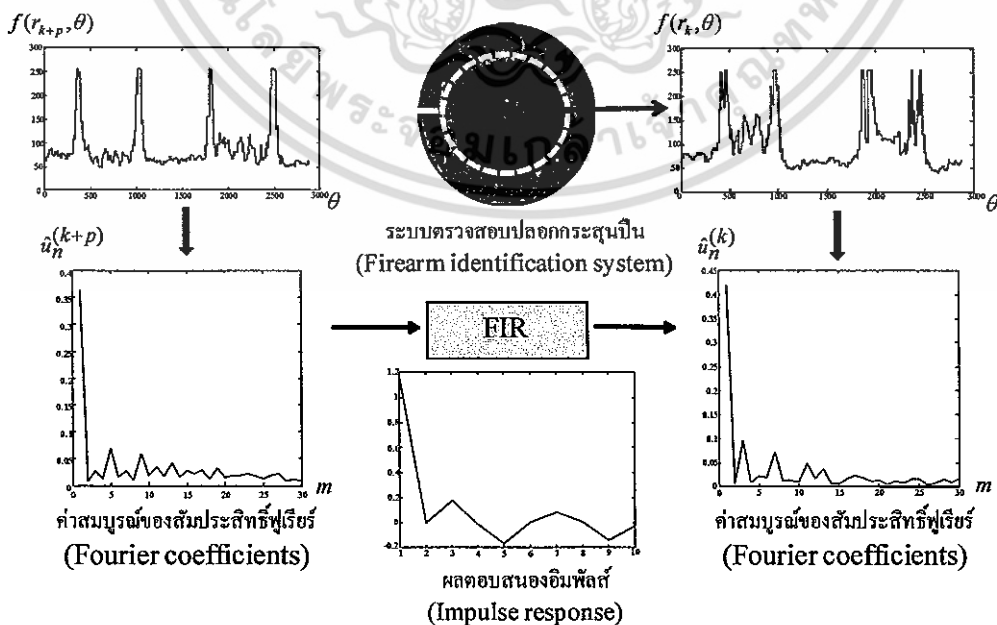
การดึงคุณสมบัติที่สำคัญ

4.1 ระบบผลตอบสนองอิมพัลส์จำนวนจำกัดของคุณสมบัติที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุนของภาพปลอกกระสุนปืน

ในบทนี้กล่าวถึงการดึงคุณสมบัติที่สำคัญ (Feature Extraction) ที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุนของปลอกกระสุนปืนแต่ละปลอก โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เราพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับสีเทาของภาพถ่ายจานท้ายปลอกกระสุนปืนที่อยู่บนวงกลมที่มีรัศมีที่แตกต่างกัน เป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการนำมาทำการตรวจสอบอาวุธปืนได้ ซึ่งเราพิจารณาว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงได้โดยใช้ระบบผลตอบสนองอิมพัลส์จำนวนจำกัดที่มีค่าสมบรูณ์ของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่คำนวณได้จากรัศมีที่ต่างกันเป็นอินพุตและเอาต์พุตตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4.1 และสามารถแสดงระบบผลตอบสนองอิมพัลส์ดังกล่าวได้ตามสมการต่อไปนี้

$$\hat{u}_n(k+p) = \sum_{m=0}^L h_m(k+p,k) u_{n-m}(k) \quad (4.1)$$

เมื่อกำหนดให้ $(n = 0, 1, \dots, M)$, $(k = 0, 1, \dots, K - p)$



เอกสารรูปที่ 4.1 แสดงระบบผลตอบสนองอิมพัลส์จำนวนจำกัดที่มีค่าสมบรูณ์ของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่ไม่ว่าคำนวณได้จากรัศมีที่ต่างกันเป็นอินพุตและเอาต์พุตของอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

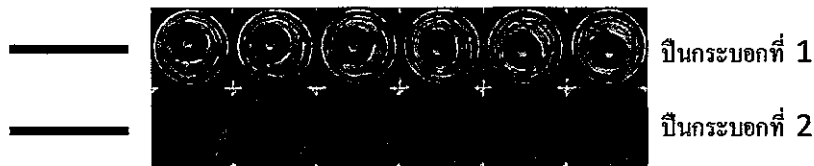
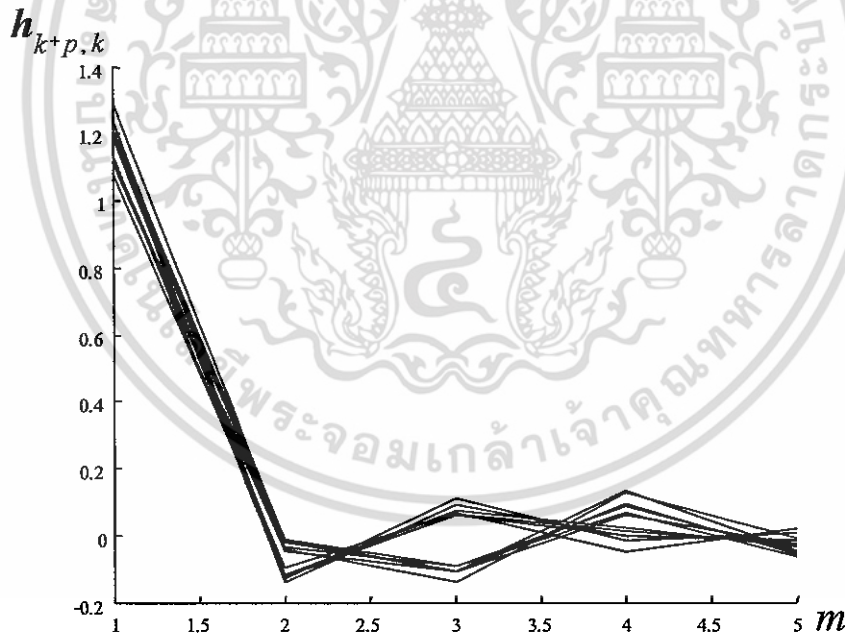
เมื่อ $h_m^{(k+p,k)}$ เป็นผลตอบสนองอิมพัลส์จำนวนจำกัดและ $u_n^{(k)}, \hat{u}_n^{(k+p)}$ เป็นค่าสมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์บนวงกลมที่รัศมีแตกต่างกัน โดยใช้เป็นอินพุตและเอาต์พุตของระบบผลตอบสนองอิมพัลส์จำนวนจำกัดตามลำดับ ผลตอบสนองอิมพัลส์ $h_m^{(k+p,k)}$ สามารถคำนวณได้จากค่าต่ำสุดของค่าผิดพลาดกำลังสอง (least-square error) ดังแสดงในสมการที่ 4.2

$$E = \sum_{n=0}^M (u_n^{(k+p)} - \sum_{m=0}^L h_m^{(k+p,k)} u_{n-m}^{(k)})^2 \rightarrow \min \quad (4.2)$$

กำหนดเวกเตอร์แสดงเอกลักษณ์ของปืนแต่ละกระบอก h_{k+p} ดังนี้

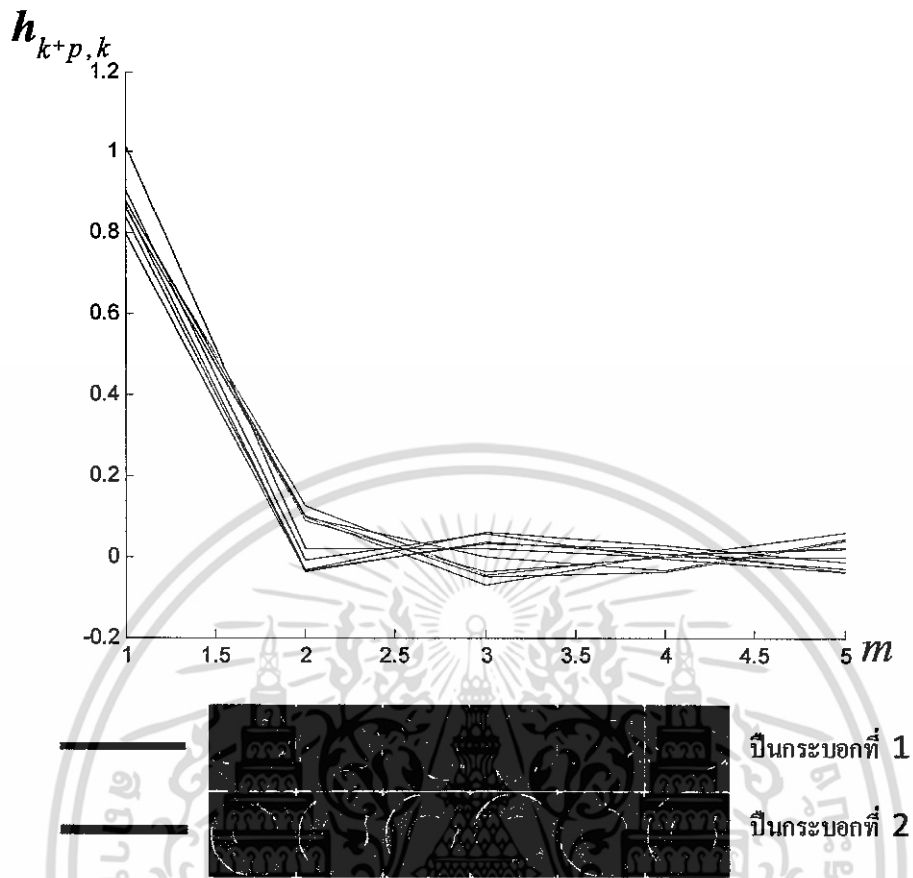
$$h_{k+p}^T = [h_1^{(k+p,k)}, h_2^{(k+p,k)}, \dots, h_L^{(k+p,k)}] \quad (4.3)$$

$h_{k+p,k}^T$ เป็นค่าสลับเปลี่ยน (Transpose) ของ $h_{k+p,k}$

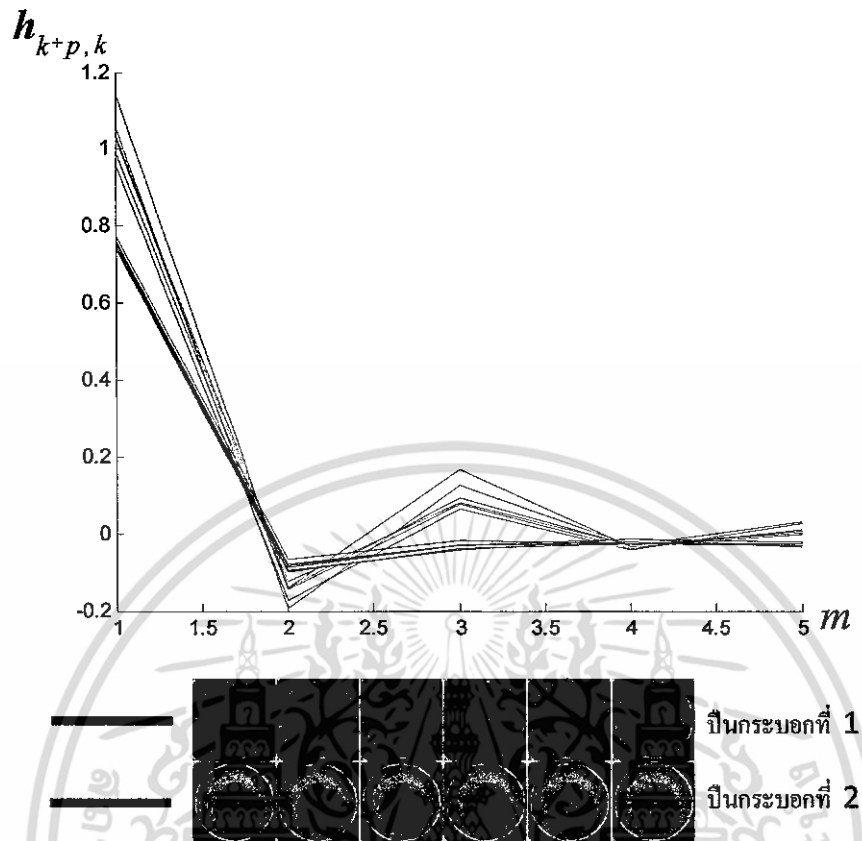


รูปที่ 4.2 แสดงผลตอบสนองอิมพัลส์ $h_{k+p,k}$ ที่คำนวณได้จากปลอกกระสุนปืนขนาด 11 มม. ที่

ยิงมาจากปืนกระบอกเดียวกันและที่ยิงมาจากปืนคนละกระบอกที่หมุนไปด้วยองศาที่แตกต่างกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงผลตอบสนองอิมพัลส์ $h_{k+p,k}$ ที่คำนวณได้จากปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม. ที่ยิงมาจากปืนกระบอกเดียวกันและที่ยิงมาจากปืนคนละกระบอกที่หมุนไปด้วยองศาที่แตกต่างกัน



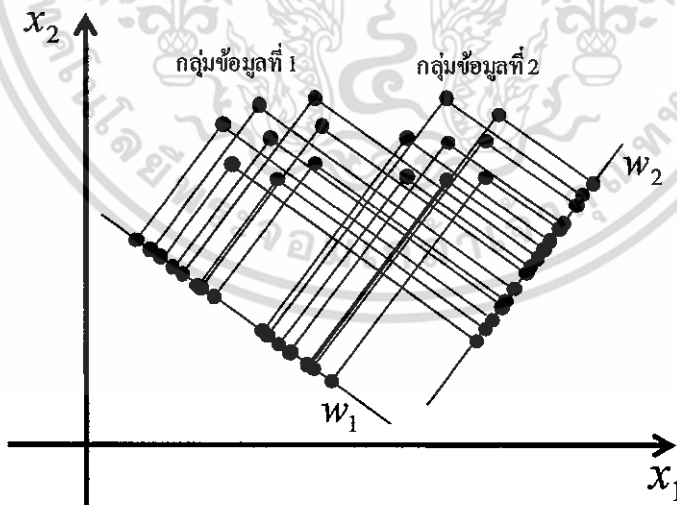
รูปที่ 4.4 แสดงผลตอบสนองอิมพัลส์ $h_{k+p,k}$ ที่คำนวณได้จากปลอกกระสุนปืนขนาด .38 ที่ยิงมาจากปืนกระบอกเดียวกันและที่ยิงมาจากปืนคนละกระบอกที่หมุนไปด้วยของศาที่แตกต่างกัน

รูปที่ 4.2-4.4 แสดงผลตอบสนองอิมพัลส์ $h_{k+p,k}$ ที่คำนวณได้จากปลอกกระสุนปืนที่ยิงมาจากปืนกระบอกเดียวกันและยิงมาจากปืนคนละกระบอก ที่หมุนไปด้วยของศาที่แตกต่างกันของภาพปลอกกระสุนปืน จะเห็นได้ว่าผลตอบสนองอิมพัลส์ $h_{k+p,k}$ ที่คำนวณได้จากปลอกกระสุนปืนที่ยิงมาจากปืนกระบอกเดียวกันจะมีค่าใกล้เคียงกันและจะมีค่าที่แตกต่างกันกับค่าที่คำนวณได้จากปลอกกระสุนปืนที่ยิงมาจากปืนคนละกระบอก ดังนั้นสามารถพิจารณาได้ว่าผลตอบสนองอิมพัลส์เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของอาวุธปืนแต่ละกระบอก

บทที่ 5

การตรวจสอบอาวุธปืน

ในบทนี้ กล่าวถึงกระบวนการของขั้นตอนการตรวจปลอกกระสุนปืน เพื่อพิสูจน์ว่าปลอกกระสุนปืนที่นำมาทำการตรวจสอบเป็นปลอกกระสุนปืนที่ถูกยิงมาจากปืนกระบอกเดียวกันหรือไม่ โดยการตรวจสอบปลอกกระสุนปืนที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้จากการนำผลตอบสนองของอิมพัลส์ ของระบบตอบสนองอิมพัลส์จำนวนจำกัด ที่แสดงคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุนที่คำนวณได้ มาใช้ในการตรวจสอบยืนยันอาวุธปืนจากปลอกกระสุนปืน เพื่อให้การตรวจสอบปลอกกระสุนปืนเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้นำฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของฟิชเชอร์ (Fisher's Linear Discriminant Function: FLDF) มาใช้ในการตรวจสอบปลอกกระสุนปืน จุดประสงค์ในการใช้ฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของฟิชเชอร์ (Fisher's Linear Discriminant Function: FLDF) เพื่อเป็นการลดขนาดจำนวนข้อมูลและไม่ทำให้ข้อมูลเสียคุณสมบัติที่สำคัญ จากการฉายข้อมูลลงบนแกนข้อมูลที่เหมาะสมและนอกจากนั้นยังทำให้คุณลักษณะเด่นที่คำนวณได้จากปืนกระบอกเดียวกันมีค่าใกล้เคียงกันมากยิ่งขึ้นและค่าดังกล่าวที่คำนวณได้จากปืนคนละกระบอกมีความแตกต่างกันมากยิ่งขึ้น โดยสามารถแสดงได้จากรูปที่ 5.1 ดังนี้

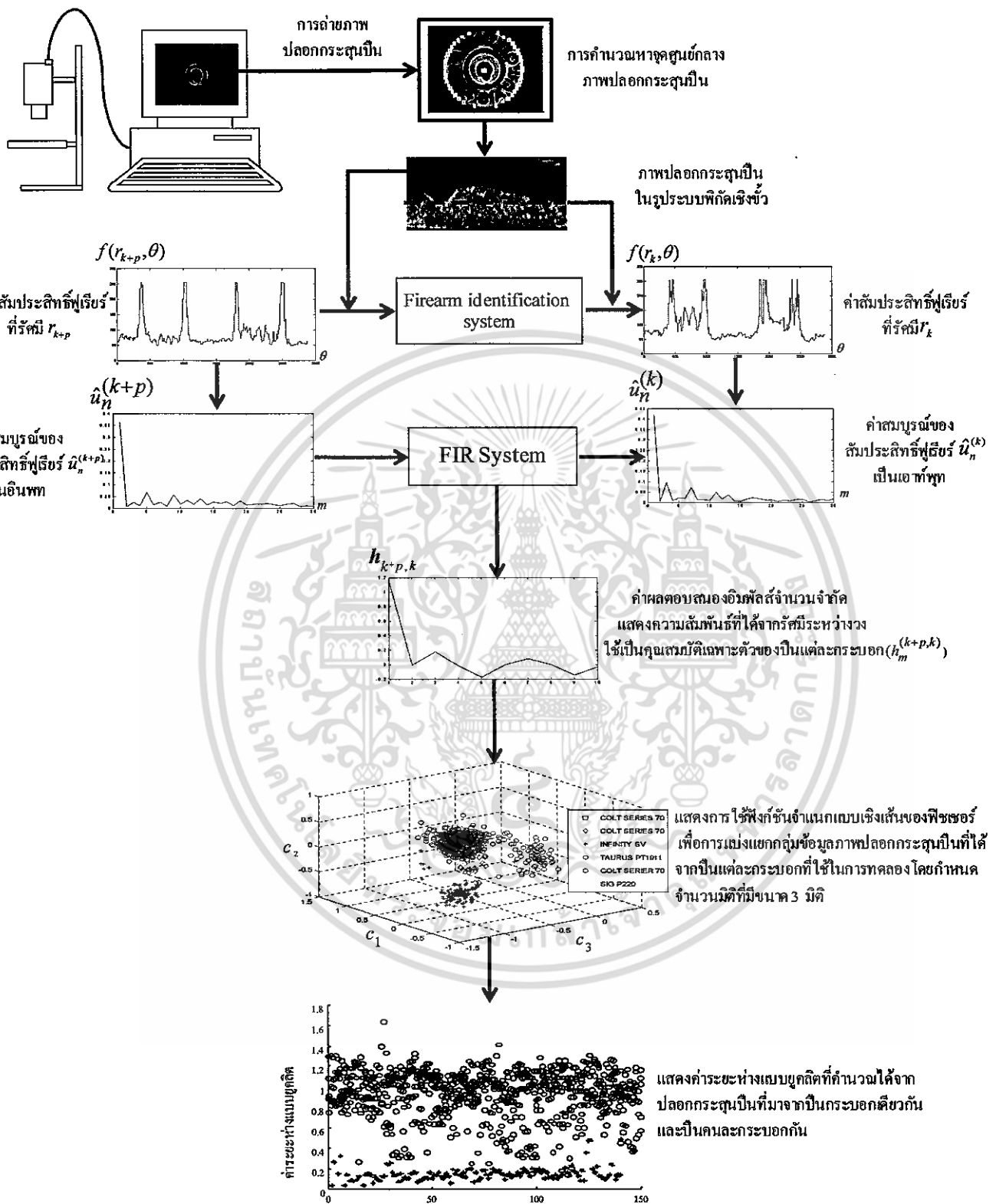


รูปที่ 5.1 แสดงภาพการฉายข้อมูลลงบนแกนที่เหมาะสม ซึ่งทำให้ข้อมูลที่เป็นสมาชิกของแต่ละกลุ่มแยกกลุ่มข้อมูลกัน ได้ชัดเจนมากที่สุด

จากรูปที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าการฉายค่าลงบนแกน ψ_1 จะทำให้เกิดการแบ่งแยกข้อมูลระหว่างกลุ่มข้อมูลที่ 1 และ กลุ่มข้อมูลที่ 2 ได้ชัดเจนกว่าการฉายค่าลงบนแกน ψ_2

ในการตรวจสอบออวูธปีน การพิจารณาเราจะนำค่าความสัมพันธ์ที่ได้ระหว่างค่าระดับสีเทาของภาพถ่ายงานทำยปลูกกระสุนปืนที่อยู่บนวงกลมที่มีรัศมีที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงได้โดยใช้ค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ที่คำนวณได้จากบทที่ผ่านมา และเป็นคุณสมบัติที่สำคัญเฉพาะตัวของปลูกกระสุนปืนแต่ละปลูก มาใช้ในการตรวจสอบออวูธปีน จากนั้นจะใช้ฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของฟิชเชอร์ (Fisher's Linear Discriminant Function: FLDF) มาช่วยในการลดขนาดข้อมูลและช่วยให้ข้อมูลที่ได้จากออวูธปีนคนละกระบอกมีความแตกต่างกันมากขึ้น ซึ่งสามารถแสดงกระบวนการตรวจสอบปลูกกระสุนปืนตามแผนผังดังแสดงในรูปที่ 5.2





รูปที่ 5.2 แสดงแผนผังระบบการตรวจสอบอาวุธปืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 5.2 แสดงแผนผังระบบการตรวจสอบอาวุธปืนจากภาพถ่ายปลอกกระสุนปืน ซึ่งขั้นตอนนี้
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีข้อดีและข้อเสีย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 การตรวจสอบดังแสดงขั้นตอนดังต่อไปนี้

5.1 ขั้นตอนการตรวจสอบปลอกกระสุนปืนโดยใช้ฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของฟิชเชอร์

- (1) นำค่า $\mathbf{h}_{k+p,k}$ ที่คำนวณได้ซึ่งเป็นค่าเวกเตอร์แสดงเอกลักษณ์ที่ได้จากปลอกกระสุนปืนตามสมการที่ 4.3 มาเรียงต่อกันดังนี้

$$\mathbf{v}^T = [v_1, v_2, \dots, v_K] = [\mathbf{h}_{k+p,k}^T, \dots, \mathbf{h}_{k+p,K-p}^T] \quad (5.1)$$

โดยกำหนดให้ $(k = 1, 2, \dots, K - p)$

โดยให้ค่า \mathbf{v}^T เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญในรูปเวกเตอร์ของปลอกกระสุนปืนเพื่อใช้ในการตรวจสอบอาวุธปืนโดยใช้ฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของฟิชเชอร์ (Fisher's Linear Discriminant Function: FLDF)

- (2) คำนวณหาค่าระยะห่างของความเบี่ยงเบนภายในกลุ่มข้อมูล (scatter matrix) S_w จากสมการที่ 5.2 ถึง สมการที่ 5.4

$$S_w = \sum_{i=1}^{K^\#} S_i \quad (5.2)$$

$$S_i = \sum_{\mathbf{v} \in \omega_i} (\mathbf{v} - \boldsymbol{\mu}_i)(\mathbf{v} - \boldsymbol{\mu}_i)^T, (i = 1, 2, \dots, K^\#) \quad (5.3)$$

$$\boldsymbol{\mu}_i = \frac{1}{N_i} \sum_{\mathbf{v} \in \omega_i} \mathbf{v} \quad (5.4)$$

กำหนดให้ค่า $K^\#$ เป็นจำนวนกลุ่มทั้งหมดและค่า N_i เป็นจำนวนข้อมูลของปลอกกระสุนปืนทั้งหมดภายในกลุ่มที่ ω_i . $\boldsymbol{\mu}_i$ คือค่าเฉลี่ยของข้อมูลกลุ่ม ω_i

- (3) ทำการคำนวณหาค่าระยะห่างของความเบี่ยงเบนระหว่างกลุ่มข้อมูล (scatter matrix) โดยกำหนดให้มีค่าเป็น S_B

$$S_B = \sum_{i=1}^{K'} N_i (\mu_i - \bar{\mu})(\mu_i - \bar{\mu})^T \quad (5.5)$$

$$\bar{\mu} = \frac{1}{N} \sum_{v} v \quad (5.6)$$

$\bar{\mu}$ คือค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมดจากทุกกลุ่ม

- (4) คำนวณหาค่า eigenvector และค่า eigenvalue ได้ดังนี้

กำหนดฟังก์ชัน $J(w)$ แสดงค่าอัตราส่วนระหว่างขนาดของผลรวมของค่าระยะห่างของข้อมูลแต่ละกลุ่มกับขนาดของผลรวมของค่าระยะห่างระหว่างข้อมูลภายในกลุ่ม ดังแสดงสมการดังต่อไปนี้

$$J(w_i) = \frac{|S_B|}{|S_W|} = \frac{w_i^T S_B w_i}{w_i^T S_W w_i} \quad (5.7)$$

จากนั้นคำนวณค่าสูงสุดของ $J(w)$ ได้ดังนี้

$$\frac{d}{dw} [J(w_i)] = \frac{d}{dw} \left[\frac{w_i^T S_B w_i}{w_i^T S_W w_i} \right] = 0 \quad (5.8)$$

$$[w_i^T S_W w_i] \frac{d[w_i^T S_B w_i]}{dw} - [w_i^T S_B w_i] \frac{d[w_i^T S_W w_i]}{dw} = 0 \quad (5.9)$$

$$[w_i^T S_W w_i] 2S_B w_i - [w_i^T S_B w_i] 2S_W w_i = 0 \quad (5.10)$$

$$\left[\frac{w_i^T S_W w_i}{w_i^T S_W w_i} \right] S_B w_i - \left[\frac{w_i^T S_B w_i}{w_i^T S_W w_i} \right] S_W w_i = 0 \quad (5.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ $S_B w_i - JS_W w_i = 0$ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (5.12) การคำนวณค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S_W^{-1} S_B w_i = J w_i \quad (5.13)$$

จากสมการที่ 5.13 สามารถแสดงให้อยู่ในรูปของ eigenvector และ eigenvalue ได้ โดย w_i คือ eigenvector และ J คือ eigenvalue

(5) สามารถกำหนดค่าเมตริกซ์ U ได้ดังนี้

$$U = [w_1^T, w_2^T, \dots, w_N^T] (J_1 > J_2 > \dots > J_N) \quad (5.14)$$

โดยให้ $N < K$

(6) คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ c ได้ดังนี้

$$c = Uv \quad (5.15)$$

เมื่อ $c = [c_1, c_2, \dots, c_N]^T$ ใช้ในการตรวจสอบอาวุธปืน

(7) เมื่อ $c^{(i)}$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่คำนวณจากปลอกกระสุนปืนที่นำมาทำการตรวจสอบจะถูกกำหนดว่ายังมาจากปืนกระบอกที่อยู่ในกลุ่มของ

$$\omega_i \in \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{K^#}\} \quad (5.16)$$

เมื่อ $S_{\min}(c_i, c^{(i)}) = \min\{S(c_i, c^{(i)})\}, i = 1, 2, \dots, K^{\#}$

c_i คือค่าสัมประสิทธิ์ที่คำนวณจากปลอกกระสุนปืนอ้างอิงกระบอกที่ i^{th} เมื่อ $S_{\min}(c_i, c^{(i)})$ เป็นค่าระยะห่างแบบยูคลิด (Euclidean distance) ที่มีค่าต่ำสุดระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากปลอกกระสุนปืนที่นำมาทำการตรวจสอบ $c^{(i)}$ กับค่าสัมประสิทธิ์ปลอกกระสุนปืนอ้างอิงภายในกลุ่ม (ω_i) โดยที่ $K^{\#}$ เป็นจำนวนของกลุ่มข้อมูล ซึ่งในที่นี้คือจำนวนกระบอกของปืนที่ใช้อ้างอิง

บทที่ 6

การทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองการตรวจสอบปลอกกระสุนปืน เพื่อที่จะแสดงประสิทธิภาพของวิธีตรวจสอบปลอกกระสุนปืนที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ในขั้นแรกจะอธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับฐานข้อมูลภาพถ่ายปลอกกระสุนปืนที่ใช้ในการทดลองในหัวข้อที่ 6.1 ซึ่งจะแสดงตัวอย่างของภาพตัวอย่างปลอกกระสุนปืนที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ในรูปที่ 6.1, 6.4 และ 6.11 จากนั้นจะอธิบายวิธีการทดลองการตรวจสอบปลอกกระสุนปืนซึ่งแสดงในหัวข้อที่ 6.2 และแสดงถึงประสิทธิภาพของการตรวจสอบปลอกกระสุนปืนของวิธีที่เสนอในงานวิจัยนี้ โดยในการทดลองจะทำการทดลองจากอาวุธปืนที่มีขนาด 9 มม. ในหัวข้อที่ 6.2.1 ทำการทดลองจากอาวุธปืนที่มีขนาด 11 มม. ในหัวข้อที่ 6.2.2 และทำการทดลองจากอาวุธปืนที่มีขนาด .38 ในหัวข้อที่ 6.2.3

6.1 ฐานข้อมูลภาพถ่ายปลอกกระสุนปืนที่ใช้ในการทดลอง

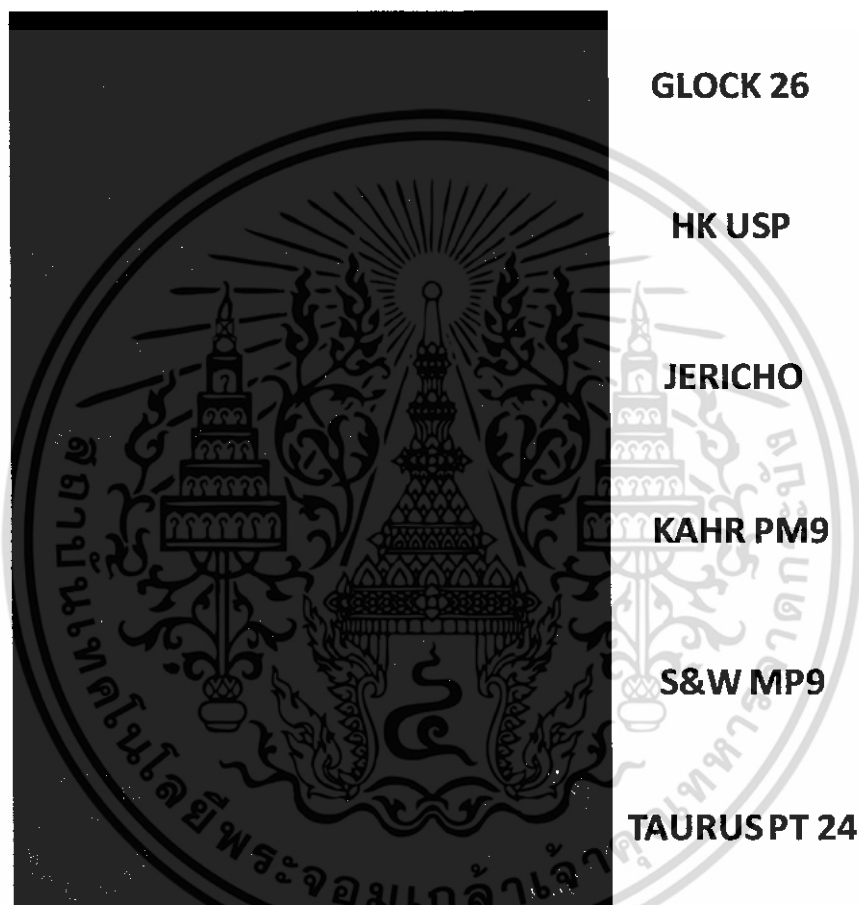
ฐานข้อมูลของภาพถ่ายปลอกกระสุนปืนที่ใช้ในการทดลองได้มาจากการถ่ายภาพของปลอกกระสุนปืนด้วยการใช้กล้องแบบอนาล็อกจากนั้นจะทำการแปลงภาพถ่ายให้อยู่ในรูปของภาพถ่ายแบบดิจิทัลโดยมีการควบคุมตำแหน่งและไฟส่องสว่างให้คงที่ ข้อมูลภาพถ่ายปลอกกระสุนปืนที่ใช้ในการทดลองได้มาจากอาวุธปืนจากปืน 3 ขนาด ซึ่งประกอบด้วยภาพถ่ายปลอกกระสุนปืนจำนวน 600 ภาพจากปืนขนาด 9 มม. ภาพถ่ายปลอกกระสุนปืนจำนวน 900 ภาพจากปืนขนาด 11 มม. และภาพถ่ายปลอกกระสุนปืนจำนวน 750 ภาพจากปืนขนาด .38 สามารถแสดงภาพปลอกกระสุนปืนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองได้ในรูปที่ 6.1, 6.4 และ 6.7 ซึ่งเป็นการแสดงตัวอย่างภาพปลอกกระสุนปืนที่ใช้ในงานวิจัยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

6.2 ผลการทดลองการตรวจสอบปลอกกระสุนปืน

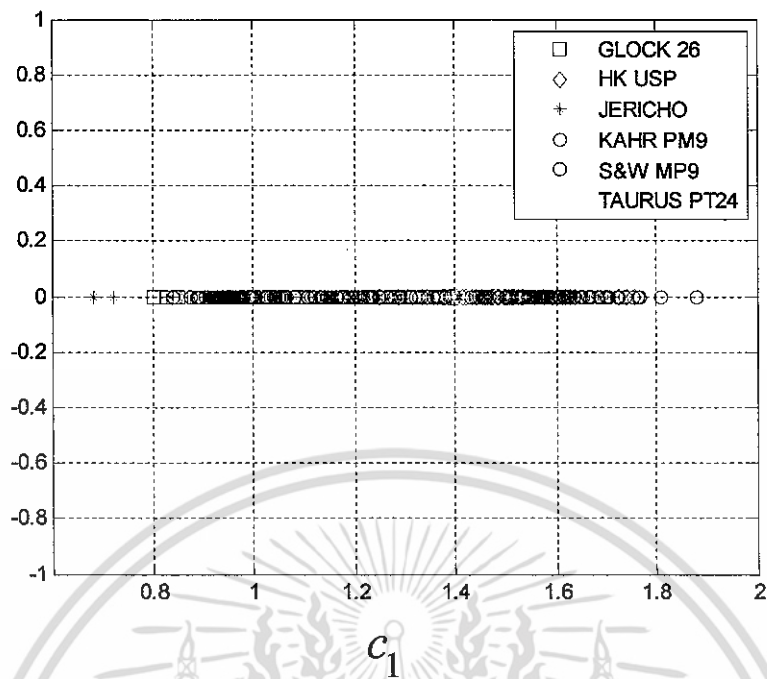
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการตรวจสอบปลอกกระสุนปืนและประสิทธิภาพของวิธีการที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประสิทธิภาพของวิธีการตรวจสอบปลอกกระสุนปืนสามารถแสดงได้จากเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการตรวจสอบยืนยันอาวุธปืนจากปลอกกระสุนปืน โดยใช้สมการที่ 5.10

6.2.1 ผลการทดลองการตรวจสอบปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม.

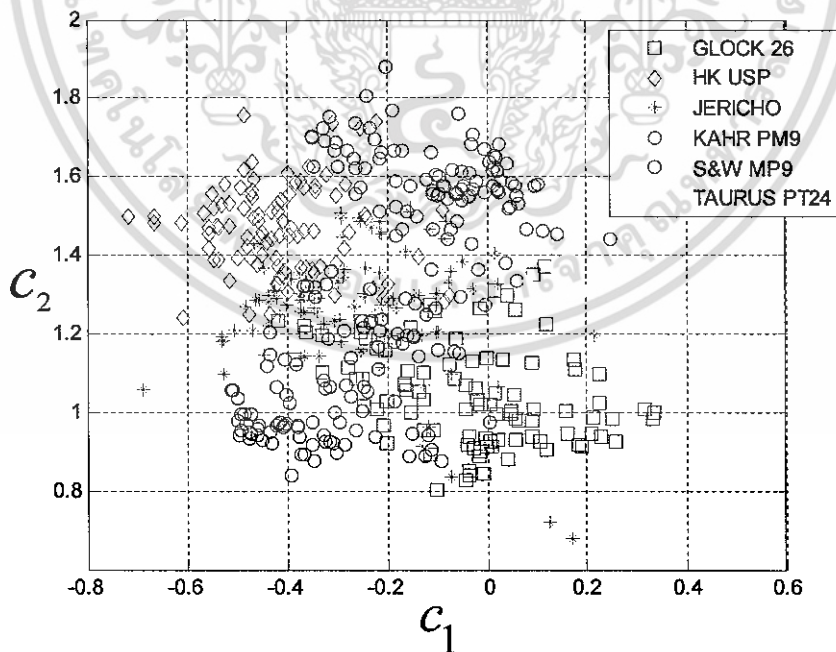
ในการทดลองการตรวจสอบกระสุนปืนขนาด 9 มม. จะใช้ปลอกกระสุนปืนจำนวนทั้งหมด 600 ปลอกมาใช้ในการทดลอง รูปที่ 6.1 แสดงตัวอย่างของปลอกกระสุนปืนที่มาจากปืน 6 กระบอก ซึ่งในแต่ละแถวของภาพจะแสดงภาพของปลอกกระสุนปืนที่มาจากปืนกระบอกเดียวกัน



รูปที่ 6.1 แสดงตัวอย่างภาพปลอกกระสุนปืนที่ได้มาจากปืนที่มีขนาดเดียวกัน (9 มม.) ที่ใช้ในการทดลอง.

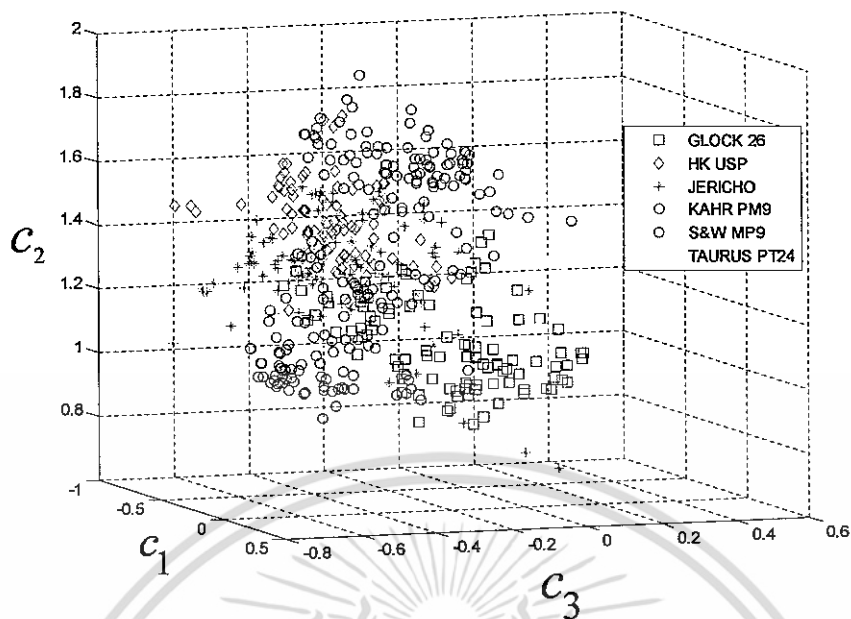


รูปที่ 6.2 แสดงตัวอย่างการนำฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของพีชเซอร์ เพื่อให้การแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลภาพปลอกกระสุนปืนที่ได้มาจากปืนแต่ละกระบอกที่ใช้ในการทดลอง (9 มม.) กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาด 1 มิติ.



รูปที่ 6.3 แสดงตัวอย่างการนำฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของพีชเซอร์ เพื่อให้การแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลภาพปลอกกระสุนปืนที่ได้มาจากปืนแต่ละกระบอกที่ใช้ในการทดลอง (9 มม.) กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาด 2 มิติ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 แสดงตัวอย่างการนำฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของพีชเซอร์ เพื่อทำให้การแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลภาพปลอกกระสุนปืนที่ได้มาจากปืนแต่ละกระบอกที่ใช้ในการทดลอง (9 มม.) กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาด 3 มิติ.

ในการทดลองภาพถ่ายปลอกกระสุนปืน 9 ภาพ จากปลอกกระสุนปืน 9 ปลอกที่ถูกยิงมาจากปืนกระบอกเดียวกันที่มีขนาด 9 มม. จะถูกใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงของปืนแต่ละกระบอกที่ใช้ในการทดลอง โดยรูปที่ 6.2 - 6.4 จะแสดงประสิทธิภาพของการทดลองจากการใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลภาพปลอกกระสุนปืนที่มีขนาด 9 มม. ซึ่งแสดงการฉายค่าลงบนแกนโดยใช้วิธีการพีชเซอร์ ซึ่งในรูปที่ 6.2 กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาดเท่ากับ 1 มิติ รูปที่ 6.3 กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาดเท่ากับ 2 มิติ และในรูปที่ 6.4 กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาดเท่ากับ 3 มิติ จากนั้นจากการทดลองประสิทธิภาพได้ทำการปรับเปลี่ยนค่าในการกำหนดขนาดของมิติจากวิธีการพีชเซอร์ โดยได้แสดงผลการทดลองจากการปรับเปลี่ยนค่าจากการกำหนดขนาดของมิติไว้ในตารางที่ 6.1 จะเห็นได้ว่าขนาดมิติที่ 5 เป็นขนาดมิติที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของขนาดปืน 9 มม. ซึ่งจะให้ค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยความถูกต้องที่ดีที่สุด และตารางที่ 6.2 เป็นการทดลองปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ โดยกำหนดให้ขนาดมิติที่ 5 มิติใช้ในการทดลอง ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่เหมาะสมจะมีค่าเท่ากับ 50 ดังแสดงรายละเอียดจากตารางที่ 6.2

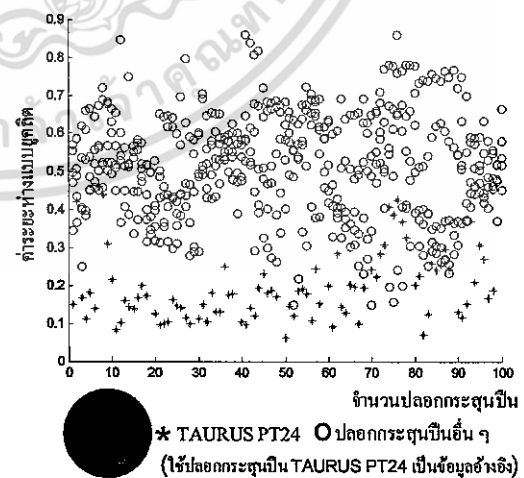
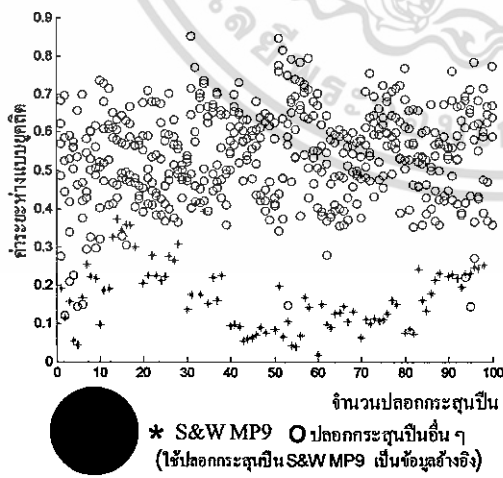
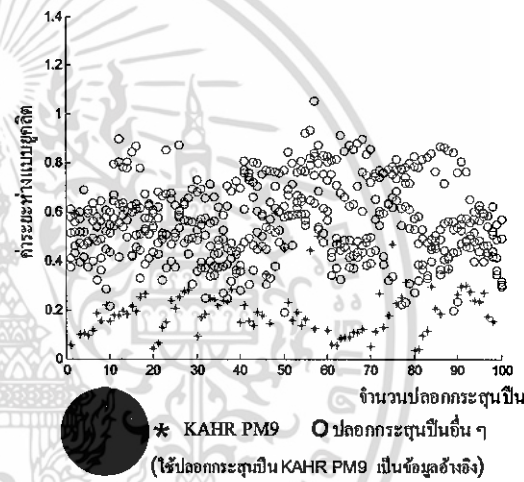
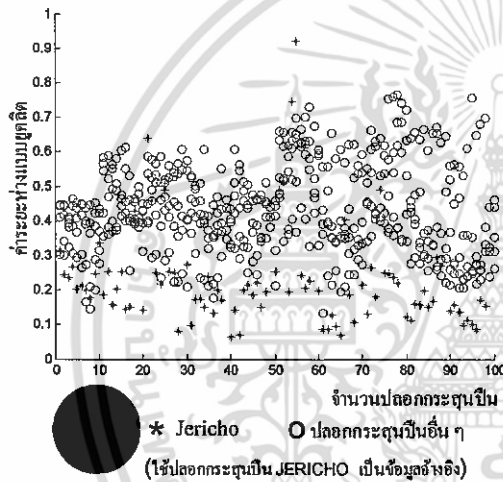
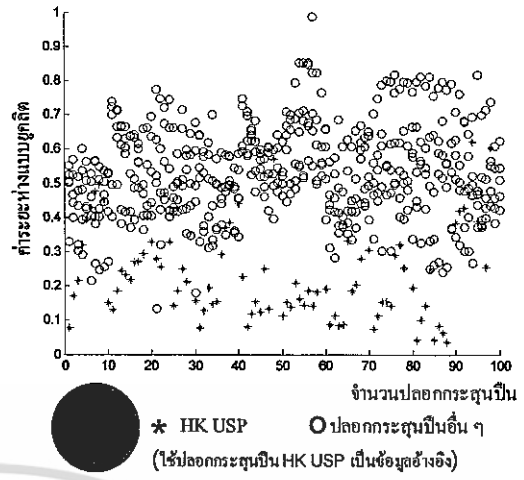
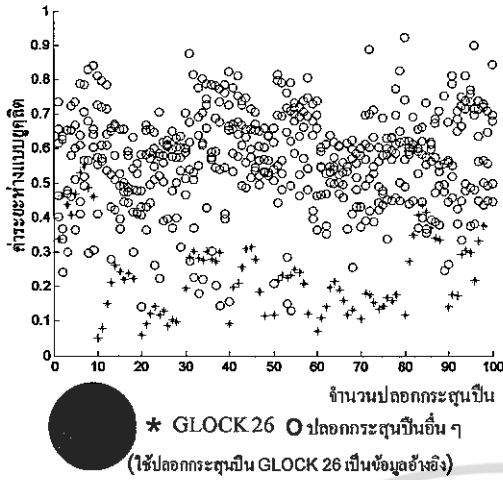
ตารางที่ 6.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการตรวจสอบยืนยันอาวุธปืนขนาด 9 มม.จากการทดลองปรับเปลี่ยนขนาดมิติในการคำนวณ โดยใช้วิธีการพีชเชอร์

จำนวน ขนาดมิติ	ลำดับ	ปืน กระบอก ที่ 1	ปืน กระบอก ที่ 2	ปืน กระบอก ที่ 3	ปืน กระบอก ที่ 4	ปืน กระบอก ที่ 5	ปืน กระบอก ที่ 5	เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ยรวม
	รุ่น	GLOCK 26	HK USP	JERICO	KAHR PM9	S&W MP9	TAURUS PT24	
1	เปอร์เซ็นต์ ความ ถูกต้อง	44%	34%	48%	70%	43%	49%	48%
2		61%	64%	69%	66%	69%	79%	68%
3		59%	75%	77%	80%	69%	91%	75.16%
4		69%	77%	82%	76%	83%	95%	80.33%
5		73%	79%	84%	87%	83%	95%	83.5%
6		62%	65%	56%	66%	68%	75%	65.33%

ตารางที่ 6.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการตรวจสอบยืนยันอาวุธปืนขนาด 9 มม. จากการทดลองปรับเปลี่ยนค่าจำนวนสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์และจากการทดลองจะทำการกำหนดให้ขนาดของมิติมีค่าเท่ากับ 5 มิติ

จำนวน สัมประสิทธิ์ ฟูเรียร์	ลำดับ	ปืน กระบอก ที่ 1	ปืน กระบอก ที่ 2	ปืน กระบอก ที่ 3	ปืน กระบอก ที่ 4	ปืน กระบอก ที่ 5	ปืน กระบอก ที่ 5	เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ยรวม
	รุ่น	GLOCK 26	HK USP	JERICO	KAHR PM9	S&W MP9	TAURUS PT24	
10	เปอร์เซ็นต์ ความ ถูกต้อง	61%	85%	70%	75%	67%	51%	68.16%
20		66%	86%	71%	75%	67%	51%	69.33%
30		64%	86%	71%	76%	67%	51%	69.33%
40		63%	87%	70%	74%	67%	51%	68.66%
50		63%	87%	70%	73%	67%	52%	68.66%
60		61%	87%	71%	73%	67%	51%	68.33%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



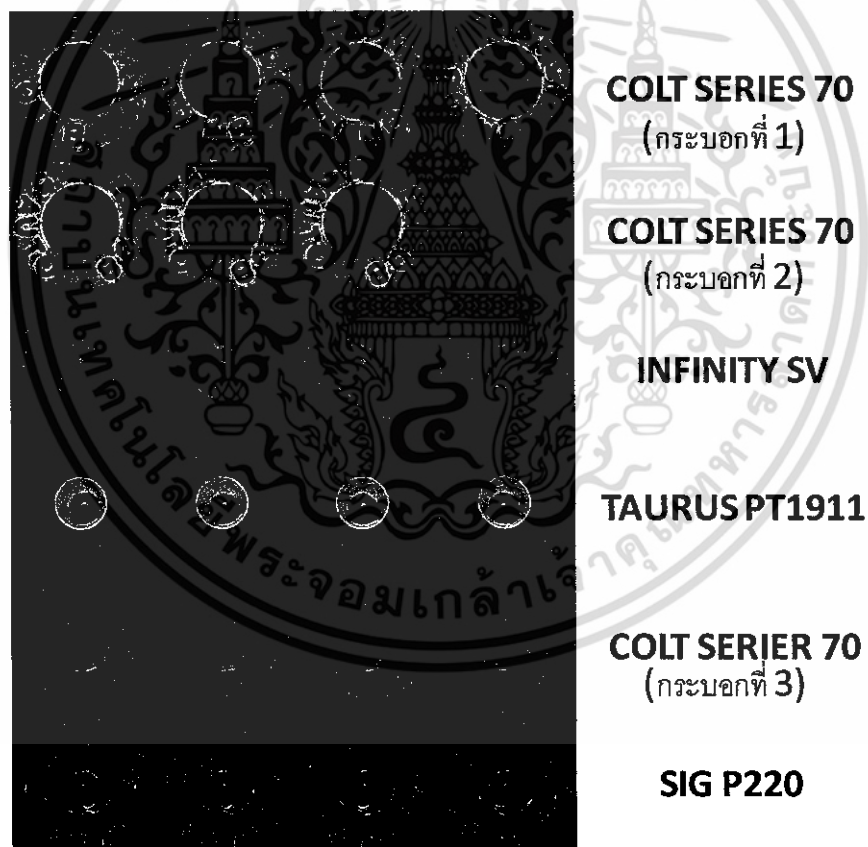
รูปที่ 6.5 แสดงค่าระยะห่างแบบยูคลิดที่คำนวณได้จากปลอกกระสุนปืนที่มาจากปืนกระบอกเดียวกัน และเป็นคนละกระบอกกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

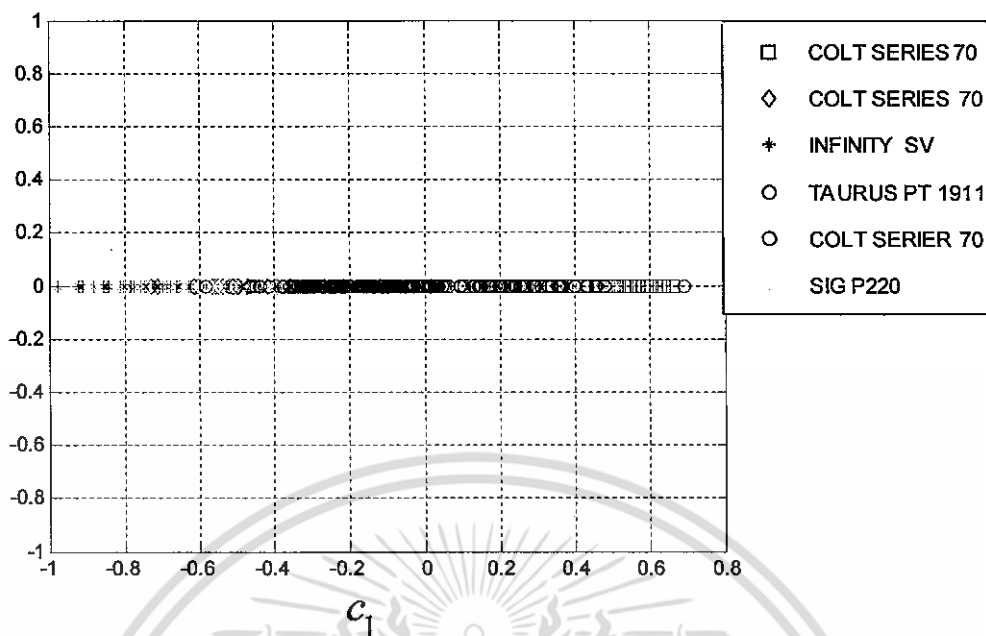
รูปที่ 6.5 จะเป็นการแสดงค่าระยะห่างแบบยูคลิดระหว่างค่าที่คำนวณได้จากการฉายภาพ สำหรับปืนขนาด 9 มม. ซึ่งในที่นี้ใช้ การฉายค่าด้วยวิธีการของพีชเซอร์ขนาด 5 มิติ และกำหนด จำนวนสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ค่าเท่ากับ 50 ที่คำนวณได้จากภาพถ่ายปลอกกระสุนปืนที่นำมาทดสอบและ ปลอกกระสุนปืนอ้างอิง

6.2.2 ผลการทดลองการตรวจสอบปลอกกระสุนปืนขนาด 11 มม.

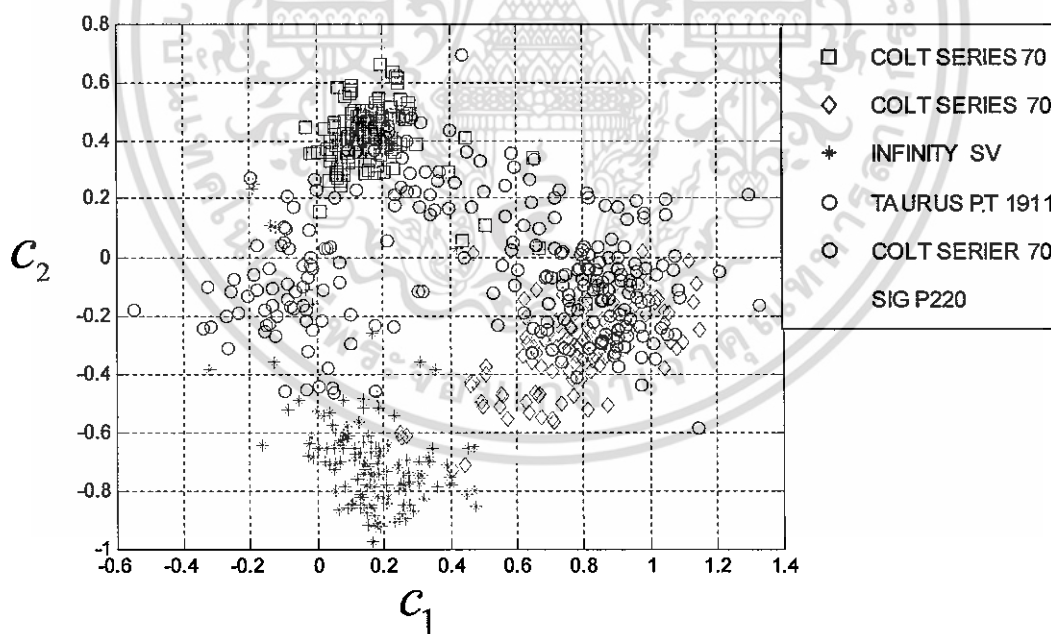
ในการทดลองการตรวจสอบกระสุนปืนขนาด 11 มม. จะใช้ปลอกกระสุนปืนจำนวน ทั้งหมด 900 ปลอก นำมาใช้ในการทดลอง รูปที่ 6.4 แสดงตัวอย่างของปลอกกระสุนปืนที่มาจาก ปืน 6 กระบอก ซึ่งในแต่ละแถวของภาพจะแสดงภาพของบอกระสุนปืนที่มาจากปืนกระบอก เดียวกัน



รูปที่ 6.6 แสดงตัวอย่างภาพปลอกกระสุนปืนที่ได้มาจากปืนที่มีขนาดเดียวกัน (11 มม.) ที่ใช้ในการ ทดลอง.

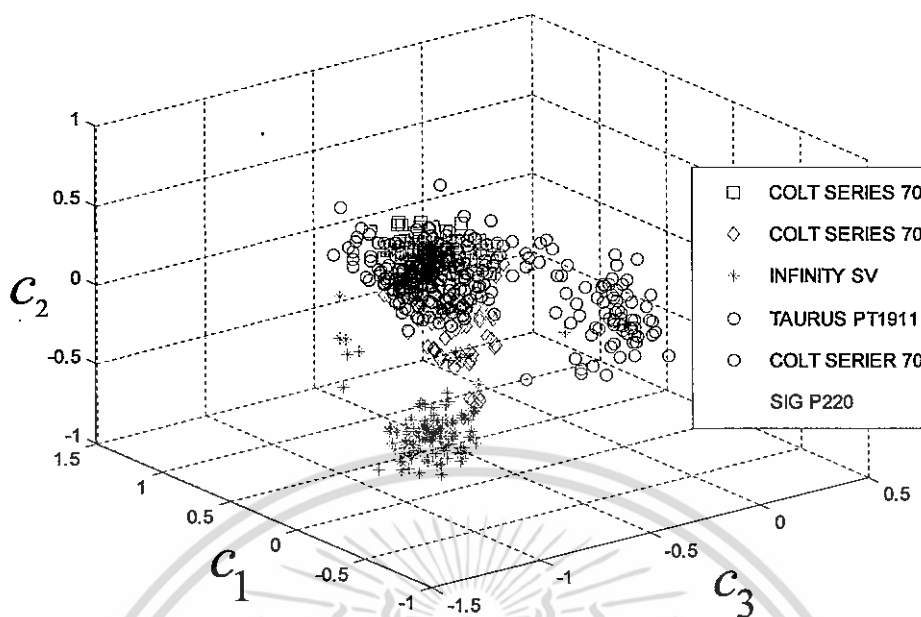


รูปที่ 6.7 แสดงตัวอย่างการนำฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของพีชเซอร์ เพื่อทำให้การแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลภาพพลอกกระสุนปืนที่ได้มาจากปืนแต่ละกระบอกที่ใช้ในการทดลอง (11 มม.) กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาด 1 มิติ.



รูปที่ 6.8 แสดงตัวอย่างการนำฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของพีชเซอร์ เพื่อทำให้การแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลภาพพลอกกระสุนปืนที่ได้มาจากปืนแต่ละกระบอกที่ใช้ในการทดลอง (11 มม.) กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาด 2 มิติ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.9 แสดงตัวอย่างการนำฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของพีชเซอร์ เพื่อทำให้การแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลภาพปลอกกระสุนปืนที่ได้มาจากปืนแต่ละกระบอกที่ใช้ในการทดลอง (11 มม.) กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาด 3 มิติ

ในการทดลองภาพถ่ายปลอกกระสุนปืน 9 ภาพ จากปลอกกระสุนปืน 9 ปลอกที่ถูกยิงมาจากปืนกระบอกเดียวกันที่มีขนาด 11 มม. จะถูกใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงของปืนแต่ละกระบอกที่ใช้ในการทดลอง โดยรูปที่ 6.7 - 6.9 จะแสดงประสิทธิภาพของการทดลองจากการใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลภาพปลอกกระสุนปืนที่มีขนาด 11 มม. ซึ่งแสดงการฉายค่าลงบนแกนโดยใช้วิธีการพีชเซอร์ ซึ่งในรูปที่ 6.7 กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาดเท่ากับ 1 มิติ รูปที่ 6.8 กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาดเท่ากับ 2 มิติ และในรูปที่ 6.9 กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาดเท่ากับ 3 มิติ จากนั้นจากการทดลองประสิทธิภาพได้ทำการปรับเปลี่ยนค่าในการกำหนดขนาดของมิติจากวิธีการพีชเซอร์ โดยได้แสดงผลการทดลองจากการปรับเปลี่ยนค่าจากการกำหนดขนาดของมิติไว้ในตารางที่ 6.3 จะเห็นได้ว่าขนาดมิติที่ 6 เป็นขนาดมิติที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของขนาดปืน 11 มม. ซึ่งจะให้ค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยความถูกต้องที่ดีที่สุด และตารางที่ 6.4 เป็นการทดลองปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ โดยกำหนดให้ขนาดมิติที่ 6 มิติใช้ในการทดลอง ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่เหมาะสมจะมีค่าเท่ากับ 50 ดังแสดงรายละเอียดจากตารางที่ 6.4

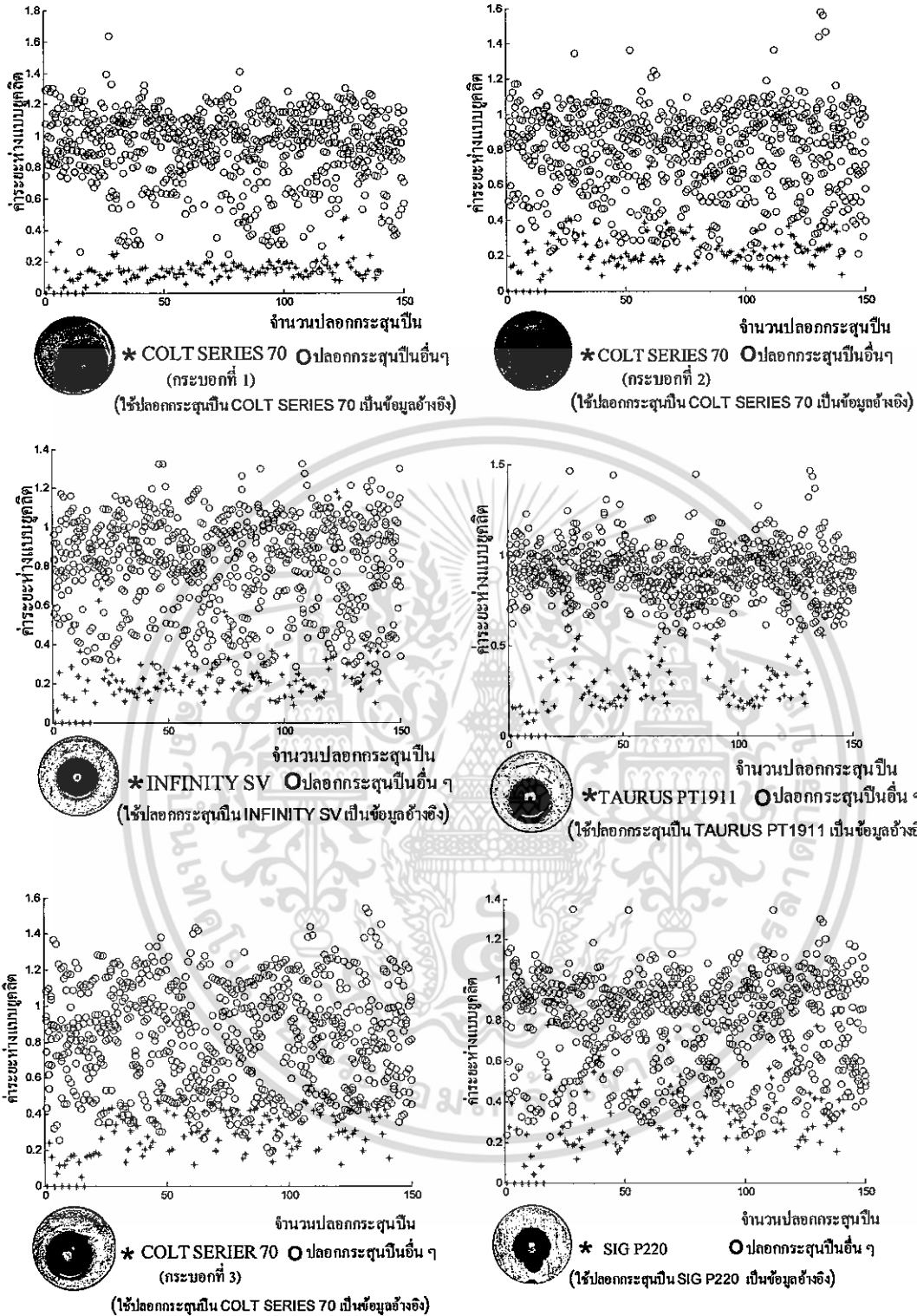
ตารางที่ 6.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการตรวจสอบยืนยันอาวุธปืนขนาด 11 มม.จากการทดลองปรับเปลี่ยนขนาดมิติในการคำนวณ โดยใช้วิธีการพีชเซอร์

จำนวน ขนาดมิติ	ลำดับ	ปืน กระบอก ที่ 1	ปืน กระบอก ที่ 2	ปืน กระบอก ที่ 3	ปืน กระบอก ที่ 4	ปืน กระบอก ที่ 5	ปืน กระบอก ที่ 6	เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ยรวม
	รุ่น	COLT SERIES 70	COLT SERIES 70	INFINITY SV	TAURUS PT1911	COLT SERIES 70	SIGP220	
1	เปอร์เซ็นต์ ความ ถูกต้อง	96.66%	47.33%	64%	21.33%	44.66%	20.66%	49.10%
2		96.66%	60.66%	81.33%	56%	48%	48.66%	65.21%
3		96.66%	65.33%	95.33%	66.66%	50.66%	58%	72.10%
4		96.66%	80.66%	96.66%	68%	58.66%	65.33%	77.66%
5		96.66%	94.66%	95.33%	73.33%	54.66%	58.66%	78.88%
6		96.66%	80.33%	95.33%	72%	56.67%	68.66%	80%
7		96.66%	80.33%	95.33%	56.33%	53.33%	58%	73.33%

ตารางที่ 6.4 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการตรวจสอบยืนยันอาวุธปืนขนาด 11 มม. จากการทดลองปรับเปลี่ยนค่าจำนวนสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์และจากการทดลองจะทำการกำหนดให้ขนาดของมิติมีค่าเท่ากับ 6 มิติ

จำนวน สัมประสิทธิ์ ฟูเรียร์	ลำดับ	ปืน กระบอก ที่ 1	ปืน กระบอก ที่ 2	ปืน กระบอก ที่ 3	ปืน กระบอก ที่ 4	ปืน กระบอก ที่ 5	ปืน กระบอก ที่ 6	เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ยรวม
	รุ่น	GLOCK 26	HK USP	JERICHO	KAHR PM9	S&W MP9	TAURUS PT24	
10	เปอร์เซ็นต์ ความ ถูกต้อง	97.33%	94.66%	95.33%	73%	54.66%	52%	77.83%
20		96.66%	94%	94.66%	71%	56%	62.66%	79.21%
30		96.66%	94.66%	94.66%	70.66%	57.33%	61%	79.21%
40		97.33%	94.66%	95.33%	72%	58.66%	56%	78.99%
50		97.33%	93.33%	95.33%	72%	56.66%	68.66%	80.55%
60		96.66%	90.66%	96.66%	72%	60%	57.33%	78.88%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.10 แสดงค่าระยะห่างแบบยูคลิดที่คำนวณได้จากปลอกกระสุนปืนที่มาจากปืนกระบอกเดียวกันและปืนคนละกระบอกกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.10 จะเป็นการแสดงค่าระยะห่างแบบยูคลิดระหว่างค่าที่คำนวณได้จากการฉายภาพ สำหรับปืนขนาด 11 มม. ซึ่งในที่นี้ใช้ การฉายค่าด้วยวิธีการของพีชเซอร์ขนาด 6 มิติ และกำหนด จำนวนสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ค่าเท่ากับ 50 ที่คำนวณได้จากภาพถ่ายปลอกกระสุนปืนที่นำมาทดสอบและ ปลอกกระสุนปืนอ้างอิง

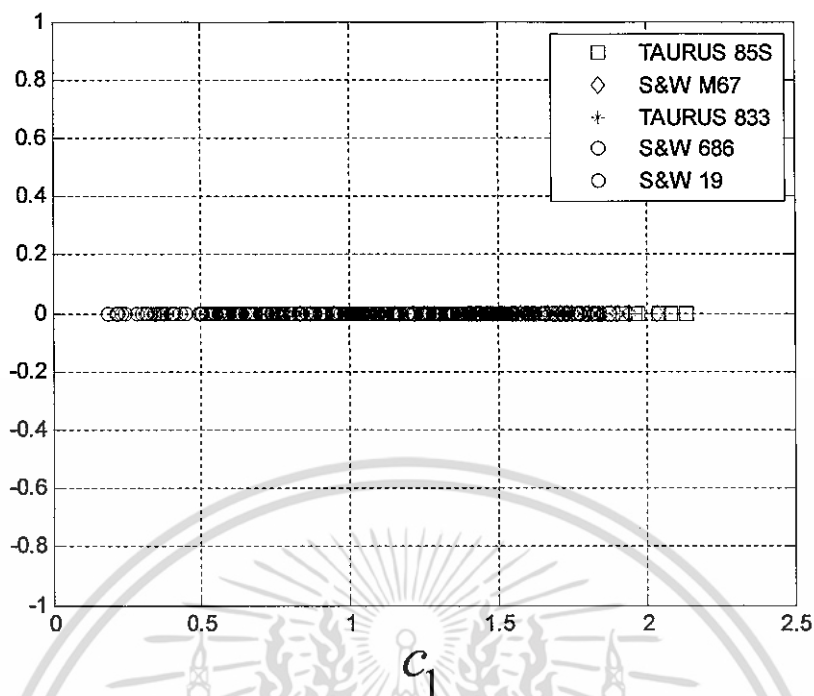
6.2.3 ผลการทดลองการตรวจสอบปลอกกระสุนปืนขนาด .38

ในการทดลองการตรวจสอบกระสุนปืนขนาด .38 จะใช้ปลอกกระสุนปืนจำนวน ทั้งหมด 750 ปลอก นำมาใช้ในการทดลอง รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างของปลอกกระสุนปืนที่มาจาก ปืน 6 กระบอก ซึ่งในแต่ละแถวของภาพจะแสดงภาพของปลอกกระสุนปืนที่มาจากปืนกระบอก เดียวกัน

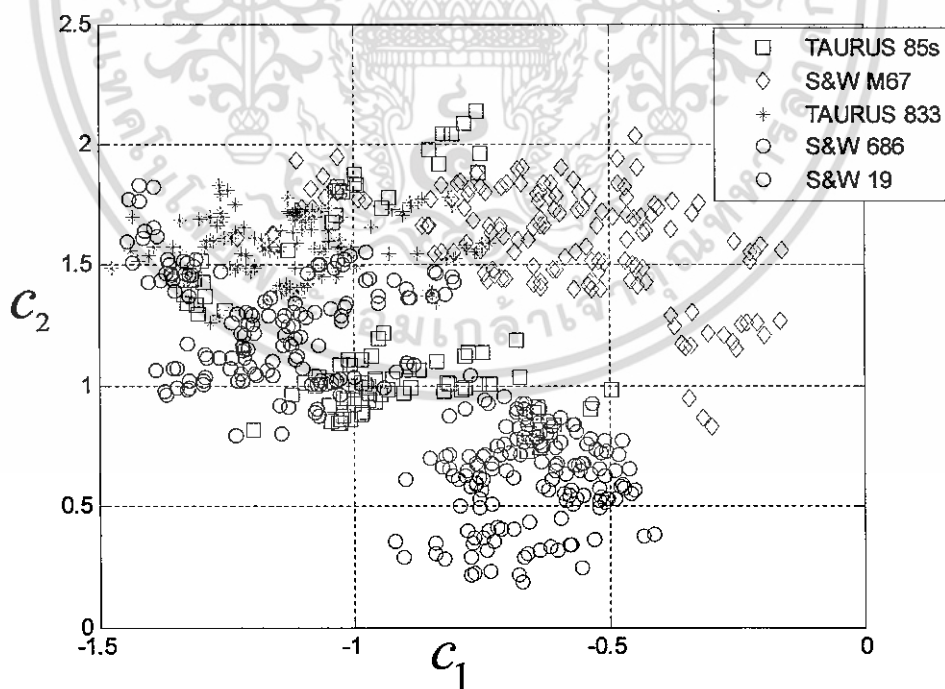


รูปที่ 6.11 แสดงตัวอย่างภาพปลอกกระสุนปืนที่ได้มาจากปืนที่มีขนาดเดียวกัน (.38) ที่ใช้ในการ ทดลอง .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

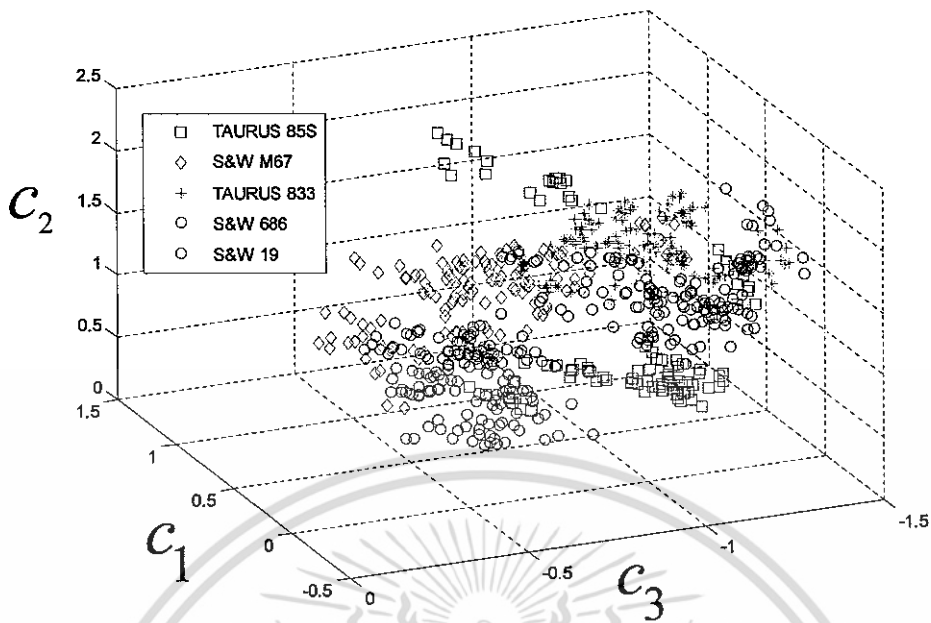


รูปที่ 6.12 แสดงตัวอย่างการนำฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของพีชเซอร์ เพื่อทำให้การแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลภาพปลอกกระสุนปืนที่ได้มาจากปืนกระบอกเดียวกันที่ใช้ในการทดลอง (.38) กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาด 1 มิติ



รูปที่ 6.13 แสดงตัวอย่างการนำฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของพีชเซอร์ เพื่อทำให้การแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลภาพปลอกกระสุนปืนที่ได้มาจากปืนกระบอกเดียวกันที่ใช้ในการทดลอง (.38) กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาด 2 มิติ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.14 แสดงตัวอย่างการนำฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของฟิชเชอร์ เพื่อทำให้การแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลภาพปลอกกระสุนปืนที่ได้มาจากปืนกระบอกเดียวกันที่ใช้ในการทดลอง (.38) กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาด 3 มิติ.

ในการทดลองภาพถ่ายปลอกกระสุนปืน 9 ภาพ จากปลอกกระสุนปืน 9 ปลอกที่ถูกยิงมาจากปืนกระบอกเดียวกันที่มีขนาด .38 จะถูกใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงของปืนแต่ละกระบอกที่ใช้ในการทดลอง โดยรูปที่ 6.12 - 6.14 จะแสดงประสิทธิภาพของการทดลองจากการใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลภาพปลอกกระสุนปืนที่มีขนาด .38 ซึ่งแสดงการฉายค่าลงบนแกน โดยใช้วิธีการฟิชเชอร์ ซึ่งในรูปที่ 6.12 กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาดเท่ากับ 1 มิติ รูปที่ 6.13 กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาดเท่ากับ 2 มิติ และในรูปที่ 6.14 กำหนดจำนวนมิติให้มีขนาดเท่ากับ 3 มิติ จากนั้นจากการทดลองประสิทธิภาพได้ทำการปรับเปลี่ยนค่าในการกำหนดขนาดของมิติจากวิธีการฟิชเชอร์ โดยได้แสดงผลการทดลองจากการปรับเปลี่ยนค่าจากการกำหนดขนาดของมิติไว้ในตารางที่ 6.5 จะเห็นได้ว่าขนาดมิติที่ 4 เป็นขนาดมิติที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของขนาดปืน .38 ซึ่งจะให้ค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยความถูกต้องที่ดีที่สุด และตารางที่ 6.6 เป็นการทดลองปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ โดยกำหนดให้ขนาดมิติที่ 4 มิติใช้ในการทดลอง ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่เหมาะสมจะมีค่าเท่ากับ 50 ดังแสดงรายละเอียดจากตารางที่ 6.6

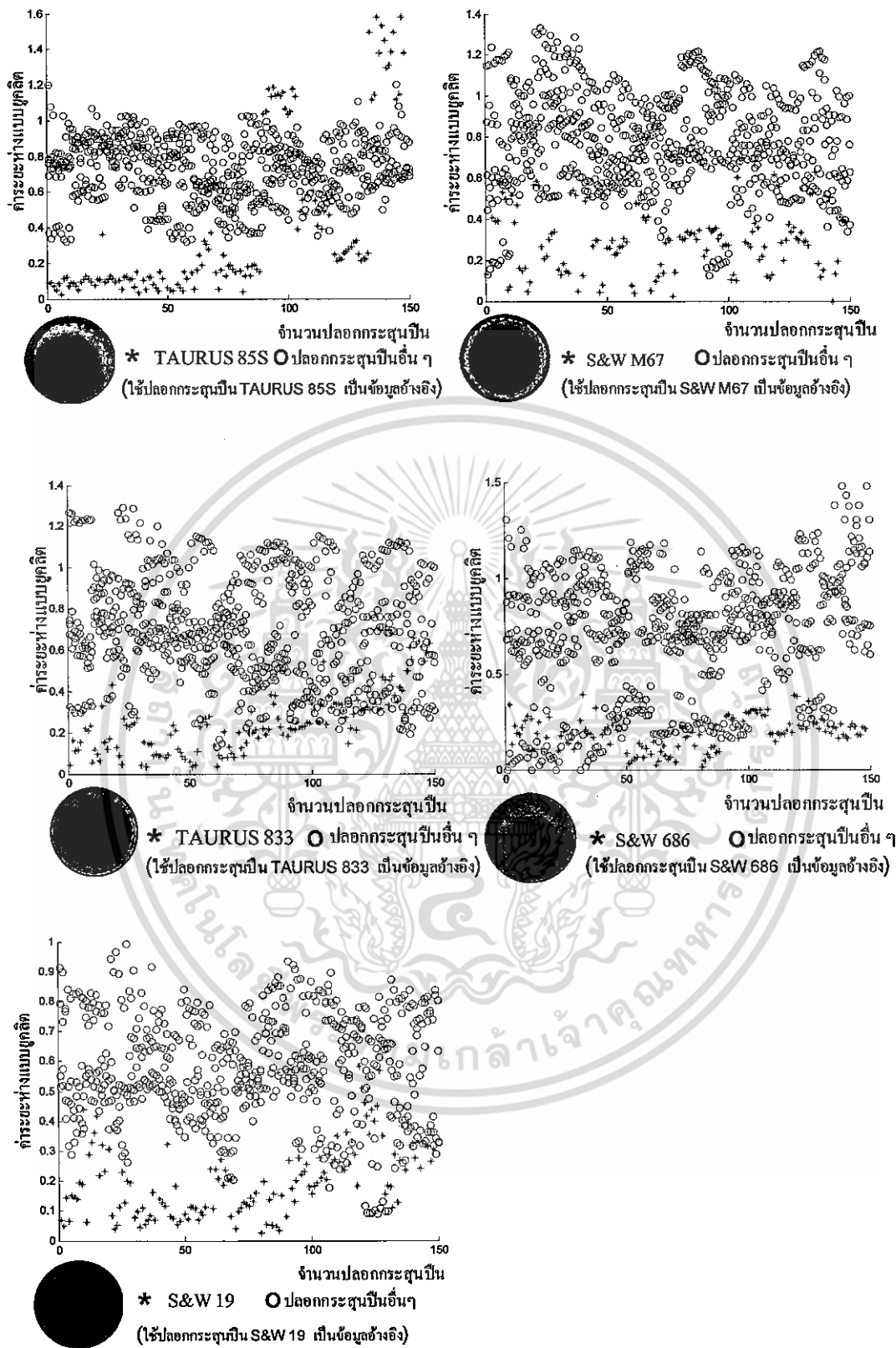
ตารางที่ 6.5 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการตรวจสอบยืนยันอาวูรปีนขนาด .38 จากการทดลองปรับเปลี่ยนขนาดมิติในการคำนวณ โดยใช้วิธีการพีชเซอร์

จำนวน ขนาดมิติ	ลำดับ	ปีน กระบอก ที่ 1	ปีน กระบอก ที่ 2	ปีน กระบอก ที่ 3	ปีน กระบอก ที่ 4	ปีน กระบอก ที่ 5	เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ยรวม
	รุ่น	TAURUS 85S	S&W M67	TAURUS 833	S&W 686	S&W 19	
1	เปอร์เซ็นต์ ความ ถูกต้อง	45.33%	50%	56%	93.33%	49.33%	58.80%
2		91.33%	71.33%	80%	98%	74.66%	82.93%
3		96.66%	75.33%	72%	100%	88.66%	86.53%
4		94%	77.33%	66%	100%	90%	85.46%
5		46.66%	56%	55%	90%	45%	58.53%

ตารางที่ 6.6 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการตรวจสอบยืนยันอาวูรปีนขนาด .38 จากการทดลองปรับเปลี่ยนค่าจำนวนสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์และจากการทดลองจะทำการกำหนดให้ขนาดของมิติมีค่าเท่ากับ 4 มิติ

จำนวน สัมประสิทธิ์ ฟูเรียร์	ลำดับ	ปีน กระบอก ที่ 1	ปีน กระบอก ที่ 2	ปีน กระบอก ที่ 3	ปีน กระบอก ที่ 4	ปีน กระบอก ที่ 5	เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ยรวม
	รุ่น	TAURUS 85S	S&W M67	TAURUS 833	S&W 686	S&W 19	
10	เปอร์เซ็นต์ ความ ถูกต้อง	93.33%	77.33%	65.33%	100%	90.66%	85.33%
20		94.66%	77.33%	65.33%	100%	90%	85.45%
30		95.33%	77.33%	65.33%	100%	90%	85.45%
40		94%	77.33%	65.33%	100%	90%	85.45%
50		94%	77.33%	66%	100%	90%	85.46%
60		94%	77.33%	66%	100%	90%	85.46%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.15 แสดงค่าระยะห่างแบบยูคลิดที่คำนวณได้จากปลอกกระสุนปืนที่มาจากปืนกระบอกเดียวกันและเป็นคนละกระบอกกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.15 จะเป็นการแสดงค่าระยะห่างแบบยูคลิดระหว่างค่าที่คำนวณได้จากการฉายภาพ สำหรับปีนขนาด .38 ซึ่งในที่นี้ใช้ การฉายค่าด้วยวิธีการของพีชเซอร์ขนาด 4 มิติ และกำหนดจำนวน สัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ค่าเท่ากับ 50 ที่คำนวณได้จากภาพถ่ายปลอกกระสุนปืนที่นำมาทดสอบและปลอก กระสุนปืนอ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้กล่าวถึงการสรุปผลของการวิจัยในการนำเสนอวิธีการตรวจสอบอาวุธปืน โดยพิจารณาจากระบบผลตอบแทนต่ออิมพัลส์จำนวนจำกัดที่แสดงคุณสมบัติที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุนของปลอกกระสุนปืน ซึ่งในบทที่ 1 ของวิทยานิพนธ์นี้ได้อธิบายถึงวัตถุประสงค์และที่มาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยสรุป ส่วนในบทที่ 2 จะเป็นการอธิบายถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัย ในบทที่ 3 จะอธิบายถึงการประมวลผลเบื้องต้นของระบบการตรวจสอบอาวุธปืน ซึ่งพิจารณาจากระบบผลตอบแทนต่ออิมพัลส์จำนวนจำกัดที่แสดงคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุนของปลอกกระสุนปืน จากการพิจารณาในขั้นแรกจะทำการหาจุดศูนย์กลางของวงกลม โดยการประมาณค่าจุดศูนย์กลางของวงกลมบริเวณงานท้ายของปลอกกระสุนปืน เพื่อกำหนดรัศมีที่จะทำการแยกบริเวณร่องรอยที่เกิดจากเข็มแทงขนวนเพื่อนำมาใช้ในการพิจารณาตรวจสอบอาวุธปืน จากนั้นเพื่อที่จะคำนวณค่าคุณสมบัติที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุน โดยใช้อนุกรมฟูเรียร์ จำเป็นต้องแปลงระบบภาพของปลอกกระสุนปืนที่ได้ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน $f(x, y)$ ให้อยู่ในรูปของระบบพิกัดเชิงขั้ว $f(r, \theta)$ ของวงกลมที่มีรัศมี R จากนั้นคุณสมบัติที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุนแสดงโดยค่าสมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของภาพพิกัดเชิงขั้วในวงกลมที่มีรัศมีต่างๆ จากการทดลองพบว่าค่าสมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่คำนวณได้มีคุณสมบัติที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุน จากนั้นเพื่อดึงคุณลักษณะเด่นของปืนแต่ละกระบอกจากภาพถ่ายปลอกกระสุนปืนจึงนำค่าสมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของรัศมีที่ต่างกันมาใช้เป็นอินพุตและเอาต์พุตของระบบผลตอบแทนต่ออิมพัลส์จำนวนจำกัด จากการทดลองพบว่าค่าผลตอบแทนต่ออิมพัลส์ที่คำนวณได้จากปืนกระบอกเดียวกันมีค่าใกล้เคียงกันและแตกต่างกันไปจากค่าผลตอบแทนต่ออิมพัลส์ที่คำนวณได้จากปืนคนละกระบอก สุดท้ายเพื่อลดขนาดของข้อมูลและเพิ่มความแตกต่างระหว่างข้อมูลที่คำนวณได้จากปืนคนละกระบอกให้ชัดเจนยิ่งขึ้นจึงได้นำ ฟังก์ชันจำแนกแบบเชิงเส้นของฟิชเชอร์ (Fisher's Linear Discriminant Function : FLDF) มาใช้ จากผลการทดลองพบว่าวิธีการที่นำเสนอ มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบยืนยันอาวุธปืนจากภาพถ่ายปลอกกระสุนปืน

ในส่วนสุดท้ายนี้ การศึกษาการตรวจสอบอาวุธปืนได้บรรลุวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. สามารถแสดงให้เห็นคุณสมบัติที่สำคัญที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุนของปลอกกระสุนปืน

2. สามารถนำระบบผลตอบสนองอิมพัลส์จำนวนจำกัด (Finite impulse response) มาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับสีเทาของภาพพลาตอกระสุนปืนที่อยู่บนวงกลมที่มีรัศมีที่แตกต่างกันซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของปืนแต่ละกระบอกและนำมาใช้ทำการตรวจสอบอาวุธปืนได้

วิธีการที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการนำภาพที่ได้จากร่องรอยของเข็มแทงชนวนบริเวณจันท้ายของปลอกกระสุนปืน มาใช้ในการพิจารณาตรวจสอบอาวุธปืน ซึ่งเป็นเพียงวิธีการหนึ่งเท่านั้นที่ช่วยในการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบการตรวจสอบอาวุธปืน ซึ่งยังมีวิธีการอื่นๆ หรือพิจารณาในส่วนอื่นของกระสุนปืน เช่นบริเวณร่องรอยที่เกิดขึ้นบริเวณหัวกระสุนปืน หรือข้อมูลเชิง 3 มิติ ของจันท้ายปลอกกระสุนปืน เป็นต้น ที่อาจเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการตรวจสอบอาวุธปืน แต่การที่จะทำการเก็บข้อมูลในส่วนดังกล่าวจะต้องมีการพัฒนาอุปกรณ์หรือวิธีการเพิ่มเติมสำหรับช่วยในการเก็บข้อมูลดังกล่าวด้วย

7.1 การพัฒนาในอนาคต

- 1). จะต้องมีการพัฒนาอุปกรณ์ในการเก็บภาพปลอกกระสุนปืนให้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น เนื่องจากกล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพปลอกกระสุนปืนในวิทยานิพนธ์นี้ยังมีความละเอียดที่ยังไม่เพียงพอ ซึ่งจำเป็นที่จะต้องใช้กล้องที่มีความละเอียดมากขึ้นแต่ก็จะได้ภาพปลอกกระสุนปืนที่เห็นรอยที่เนื้อโลหะมากขึ้นและก็จะทำให้เกิดนอยส์ (noise) มากขึ้น จึงต้องมีการพัฒนาวิธีการลดนอยส์ (noise) ให้มีประสิทธิภาพมากตามไปด้วย
- 2). แสงที่ใช้ในการส่องสว่าง ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้แสงสว่างที่มีลักษณะที่เป็นวงกลมทำให้รอยบางรอยไม่สามารถแสดงให้เห็น จึงจำเป็นจะต้องมีการใช้ไฟที่ส่องบริเวณด้านข้างเพื่อให้เกิดรอยบางรอยขึ้น ซึ่งก็อาจทำให้เกิดปัญหาจากการสะท้อนของแสงขึ้นบริเวณพื้นผิวของโลหะและก็จะทำให้เกิดปัญหาการหมุนไปของภาพปลอกกระสุนปืนจากการถ่ายภาพด้วย
- 3). อาจนำระบบเลเซอร์มาช่วยในการเก็บข้อมูลภาพปลอกกระสุนปืน แต่ระบบดังกล่าวจะมีราคาที่สูงมาก

บรรณานุกรม

- [1] Le-pingXin, Jie Zhou and GangRong, "A cartridge identification system for firearm authentication", pp.10405-1408, ICSP2000, 2000.
- [2] Dongguang Li, "A new approach for firearm identification with hierarchical neural networks based on cartridge case image", pp. 923-928, ICCI'06, 2006.
- [3] P.Thumwarin, C.Prasit and T.Matsuura,"FIR Coin Recognition System Characterizing A Rotation Invariance Feature of Coin Image", **International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology**, pp.250-253, 2007.
- [4] P.Thumwarin, C.Prasit and T.Matsuura,"Firearm Identification based on Rotation Invariant Feature of Cartridge Case Image", **Proceeding of SICE Annual Conference 2008**, Aug. 2008, pp 045-049, 2008.
- [5] Jian Yang; Frangi, A.F.; Jing-Yu Yang; David Zhang; Zhong Jin, "KPCA plus LDA: a complete kernel Fisher discriminant framework for feature extraction and recognition", **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, pp. 230 – 244, 2005.
- [6] P.Thumwarin, C.Prasit, T.Suwanvesh and T.Matsuura, "FIR Firearm Identification System", **Asia Simulation Conference 2009 (JSST 2009)**.
- [7] P.Thumwarin, S.Malila, PJanthawong and W.Pibulwej, "A Robust Coin Recognition Method with Rotation Invariance" **IEEE Communications, Circuits and Systems Proceedings, (ICCCAS 2006)**, June. 2006, pp.520 – 523
- [8] Firstsight Vision Ltd., A Guide to Illumination Techniques [Online]. Available from : <http://www.firstsightvision.co.uk/Illumination.html>
- [9] CCS Inc., PDF Catalogue [Online]. Available from : http://www.ccs-grp.com/s2_ps/s1/pdf/ccs_general_catalog_2009-2010.pdf , Retrieved date : August 2010.
- [10] CCS Inc., Technical Documents Drawings [Online]. Available from : http://www.ccs-grp.com/s2_ps/src/pro_sr/1/1/18/0/0/e.html#sr

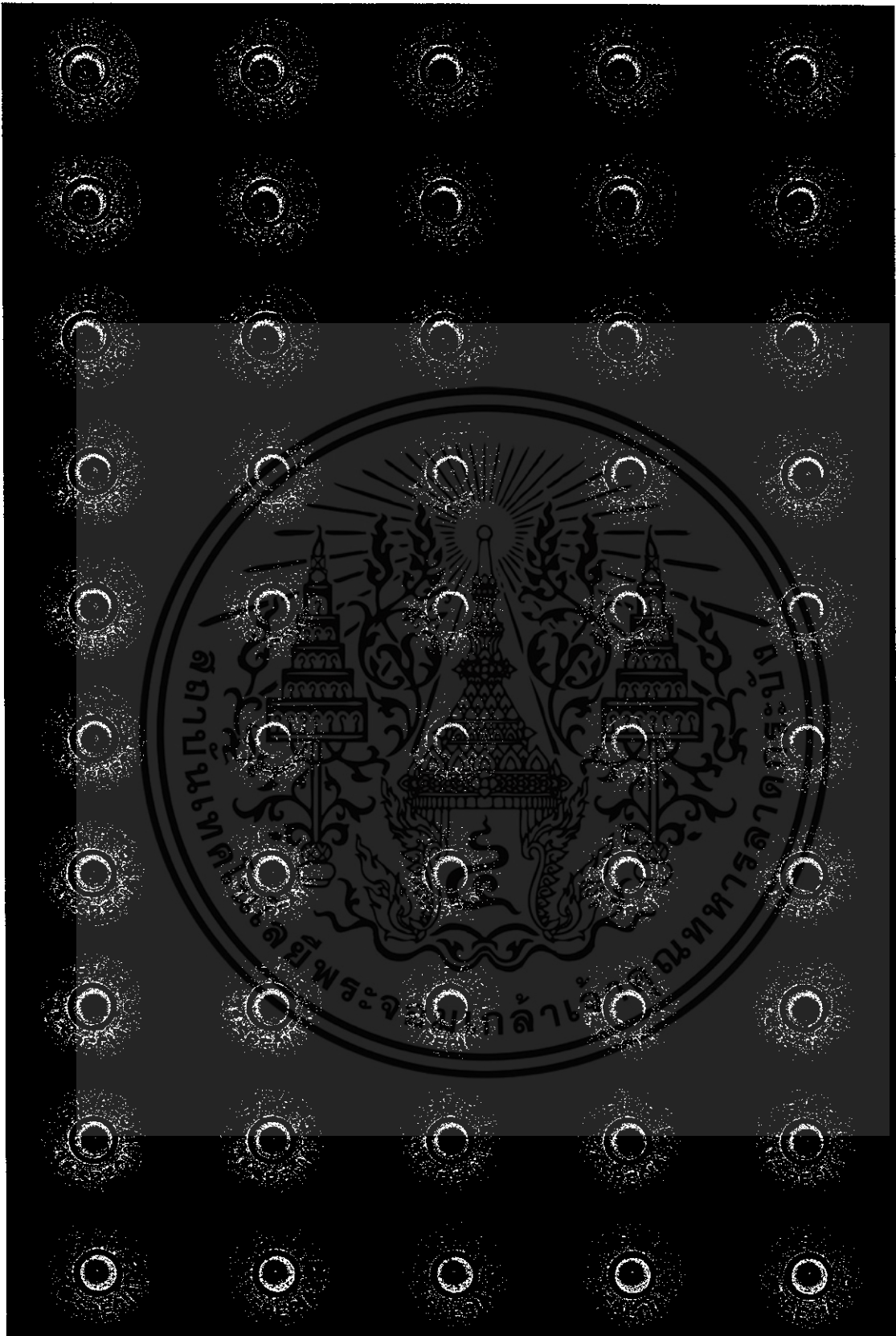


ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

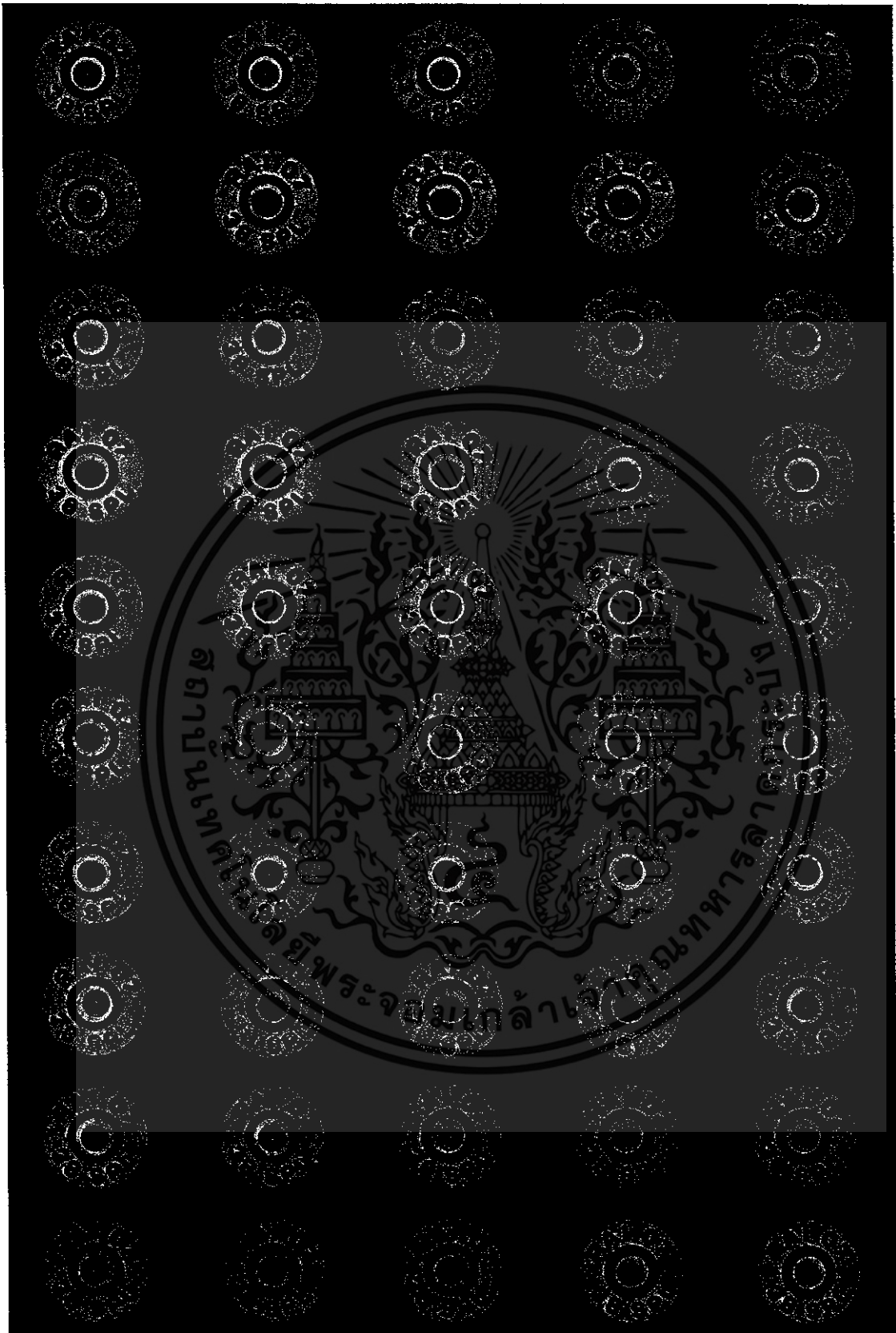


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 ภาพปลอกกระสุนปืนขนาด .38 จากปืน TAURUS 85S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 ภาพลอคกระสุนปืนขนาด .38 จากปืน S&W M67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



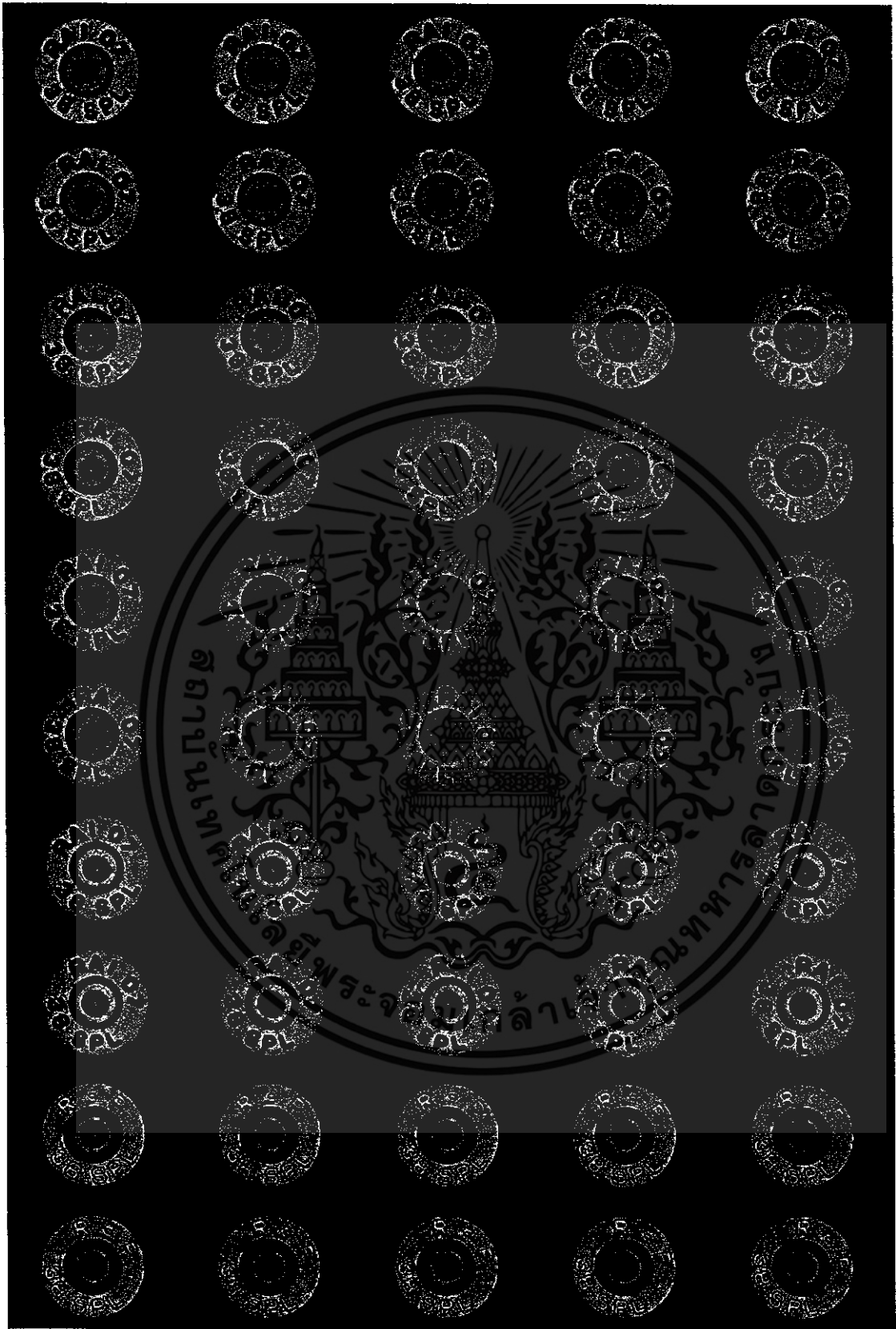
รูปที่ ก.3 ภาพลอกกระสุนปืนขนาด .38 จากปืน TAURUS 833

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



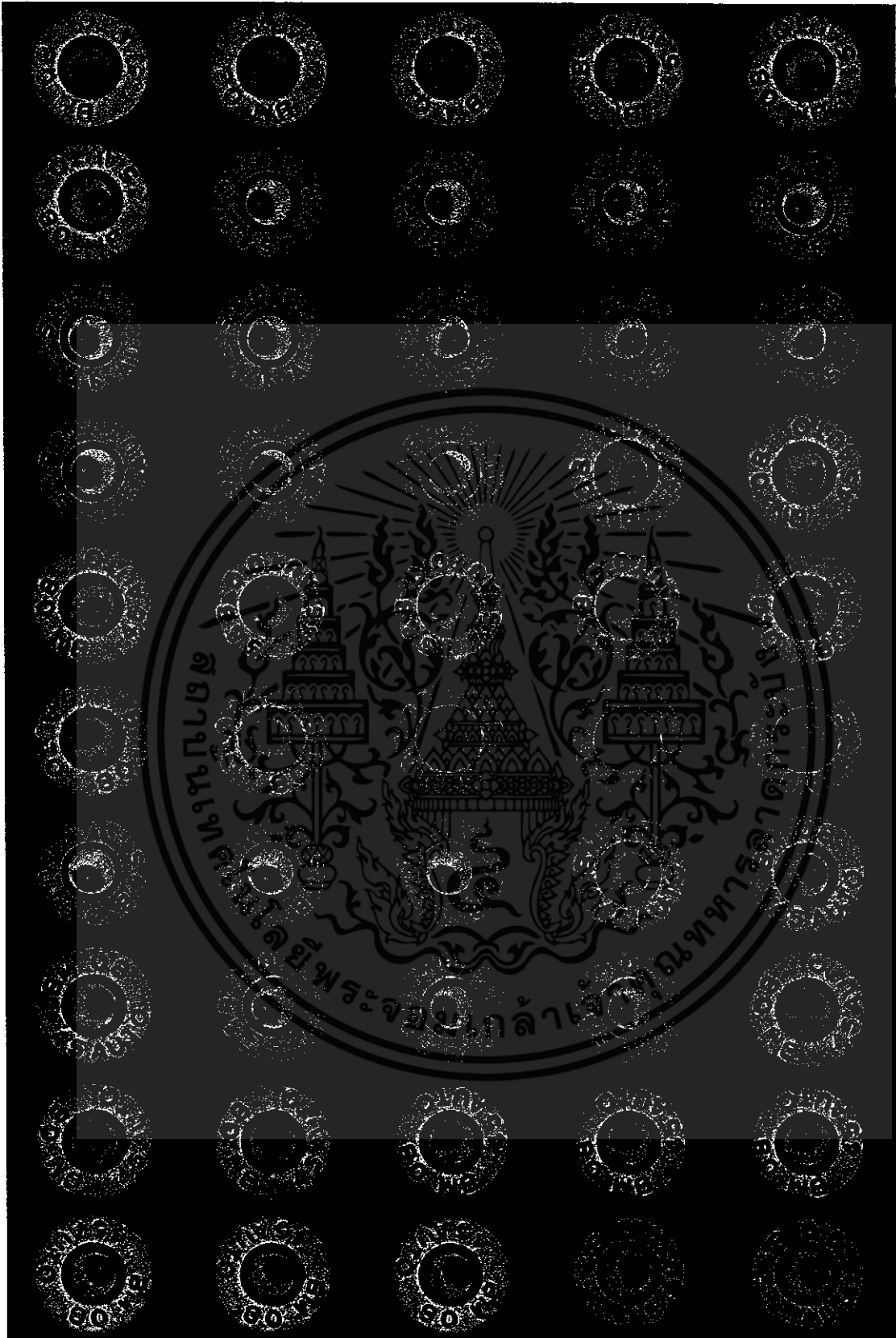
รูปที่ ก.4 ภาพลวดลายกระสุนปืนขนาด .38 จากปืน S&W 686

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 ภาพลอกกระสุนปืนขนาด .38 จากปืน S&W 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.6 ภาพปลอกกระสุนปืนขนาด 11 มม. จากปืน COLT SERIES 70 (กระบอกที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



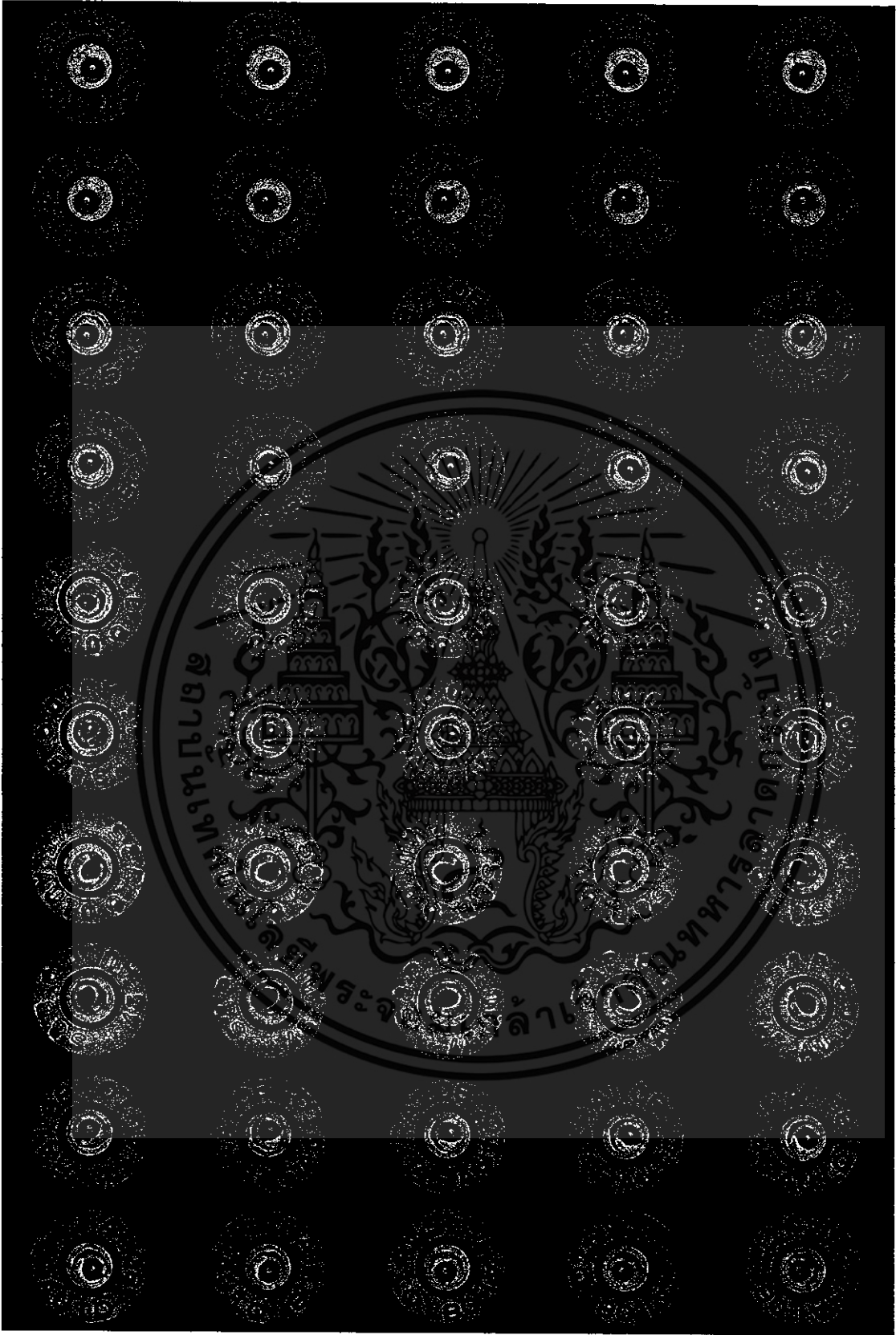
รูปที่ ก.7 ภาพลอกกระสุนปืนขนาด 11 มม. จากปืน COLT SERIES 70 (กระบอกที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



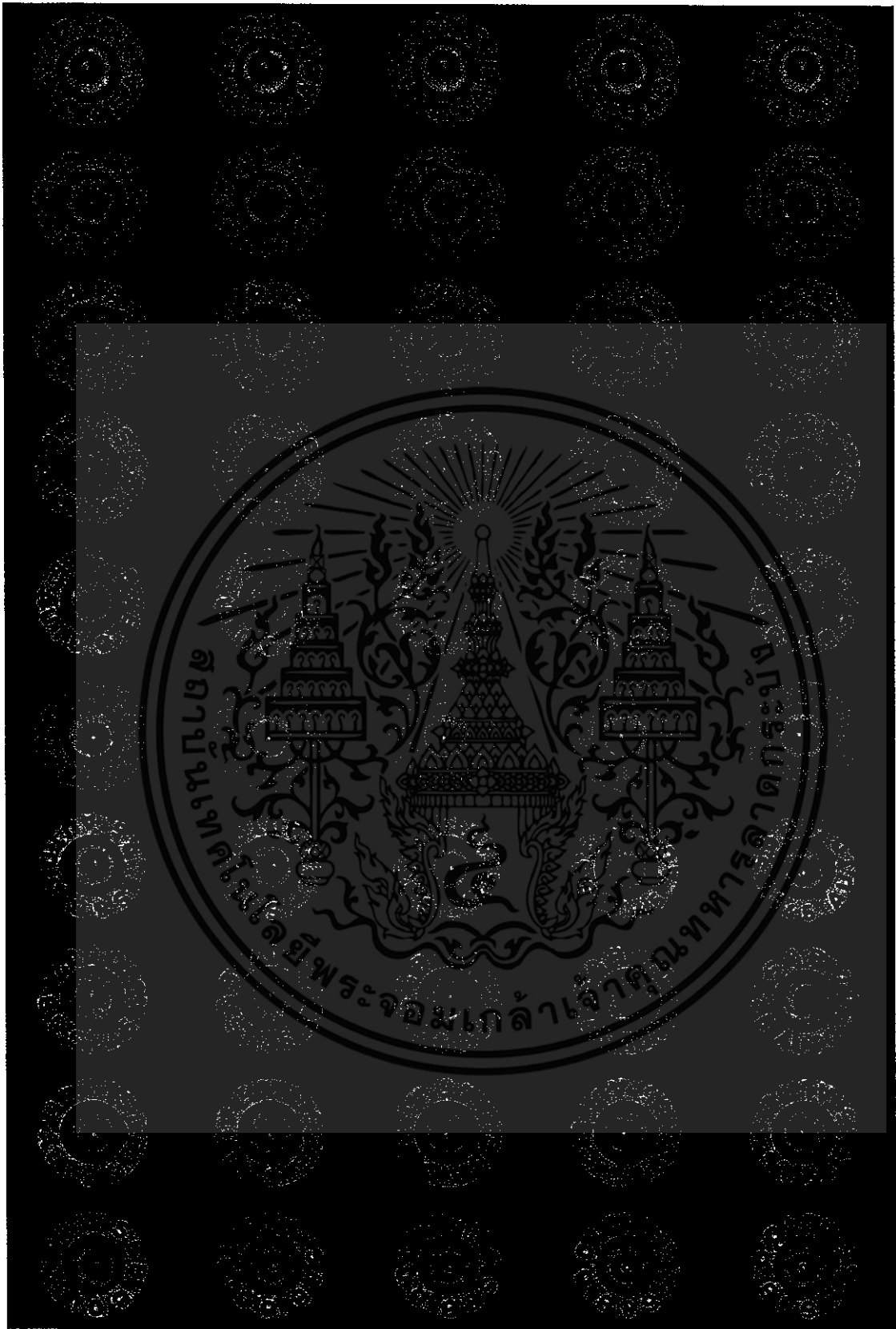
รูปที่ ก.8 ภาพลอกกระสุนปืนขนาด 11 มม. จากปืน INFINITY SV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



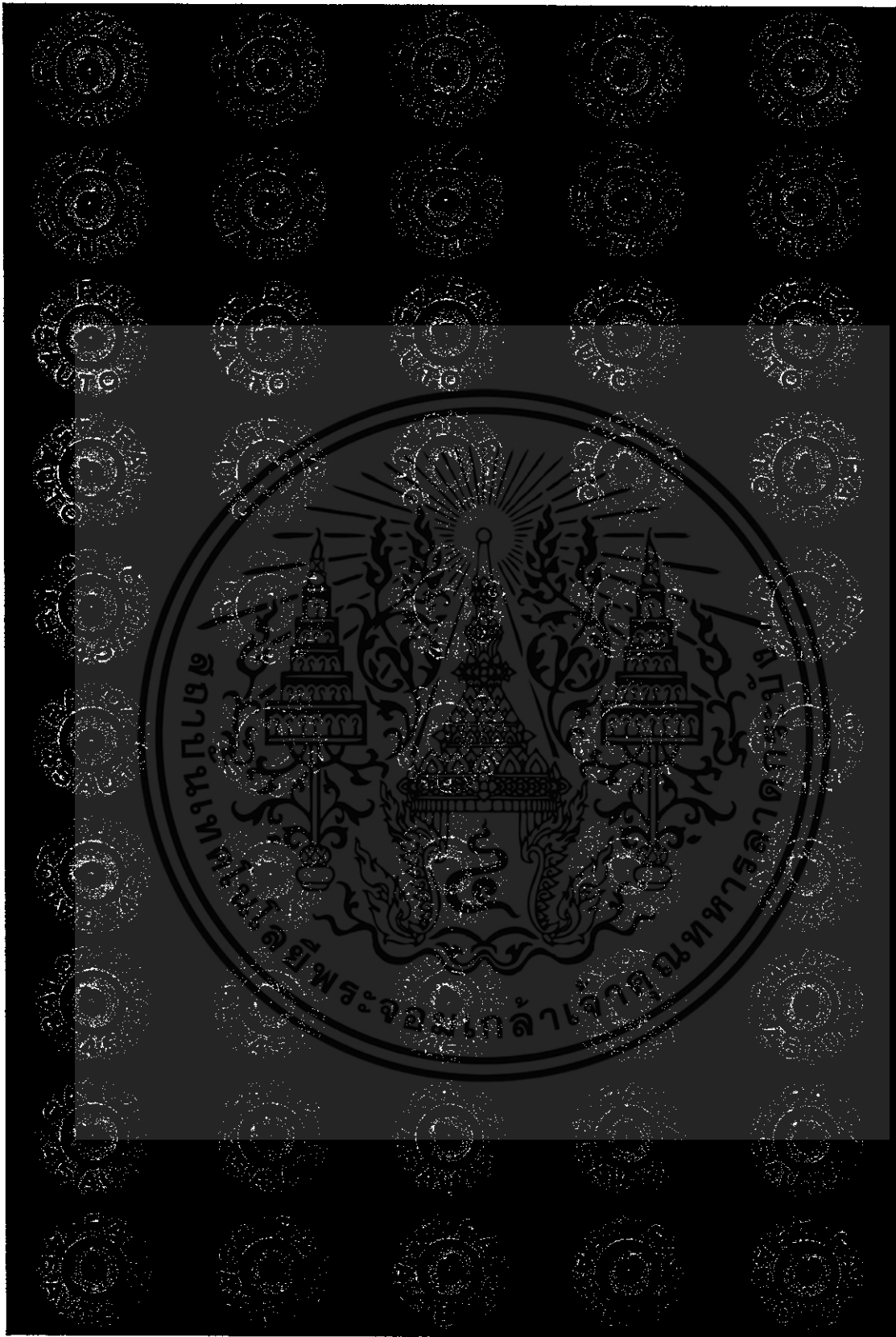
รูปที่ ก.9 ภาพลอกกระสุนปืนขนาด 11 มม. จากปืน TAURUS PT1911

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



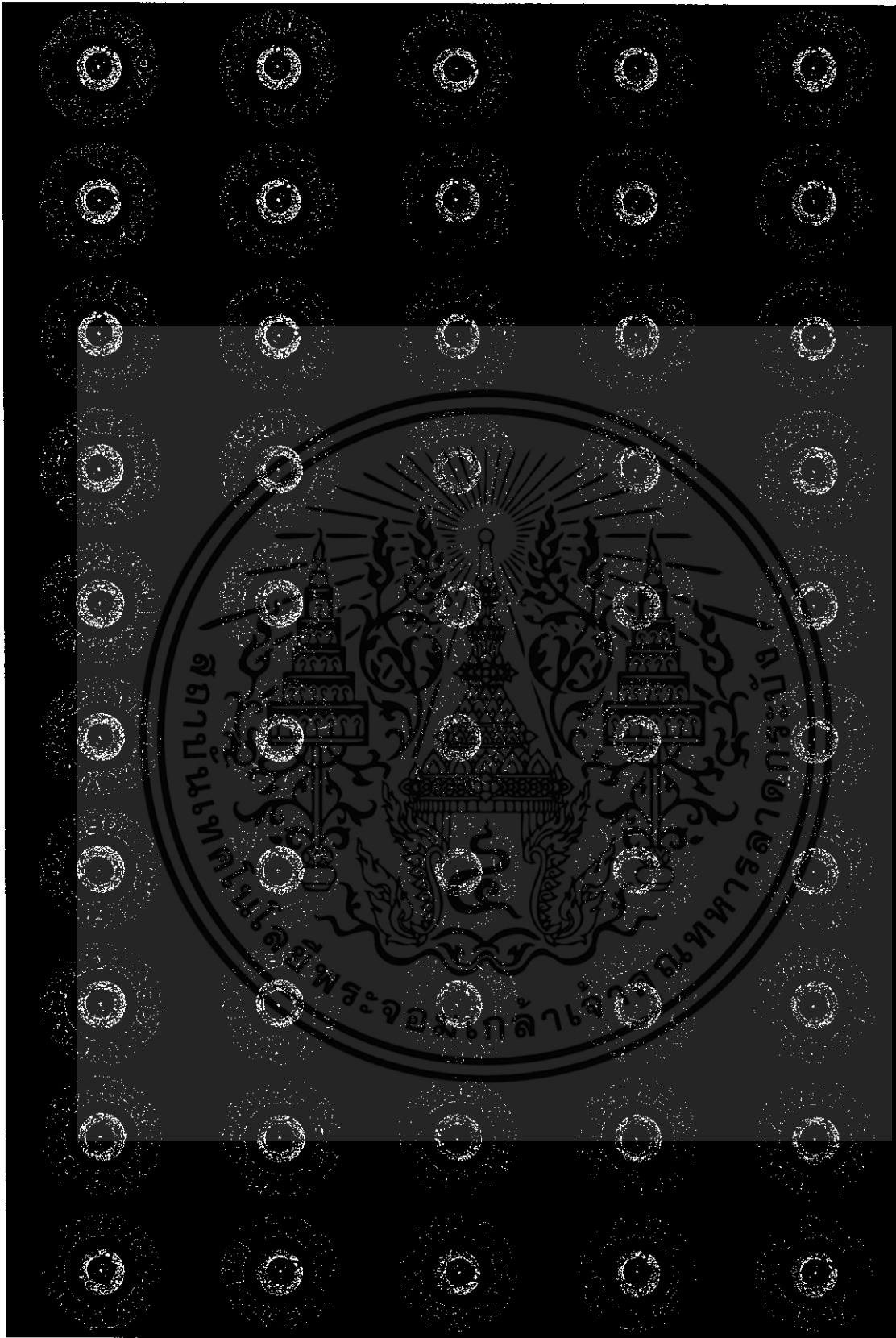
รูปที่ ก.๑ ภาพลอกกระสุนปืนขนาด 11 มม. จากปืน COLT SERIES 70 (กระบอกที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



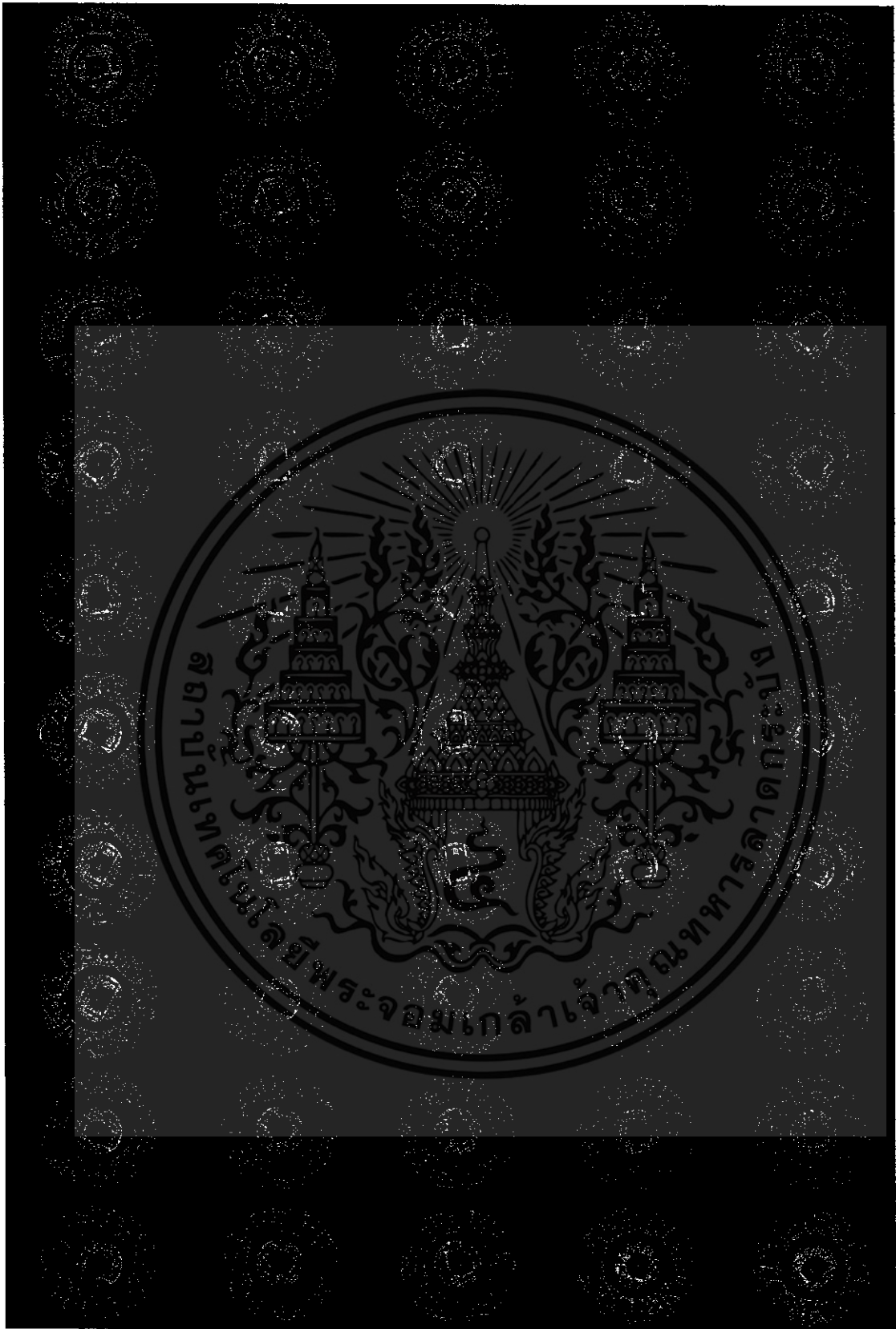
รูปที่ ก.10 ภาพลอกกระสุนปืนขนาด 11 มม. จากปืน SIG P220

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



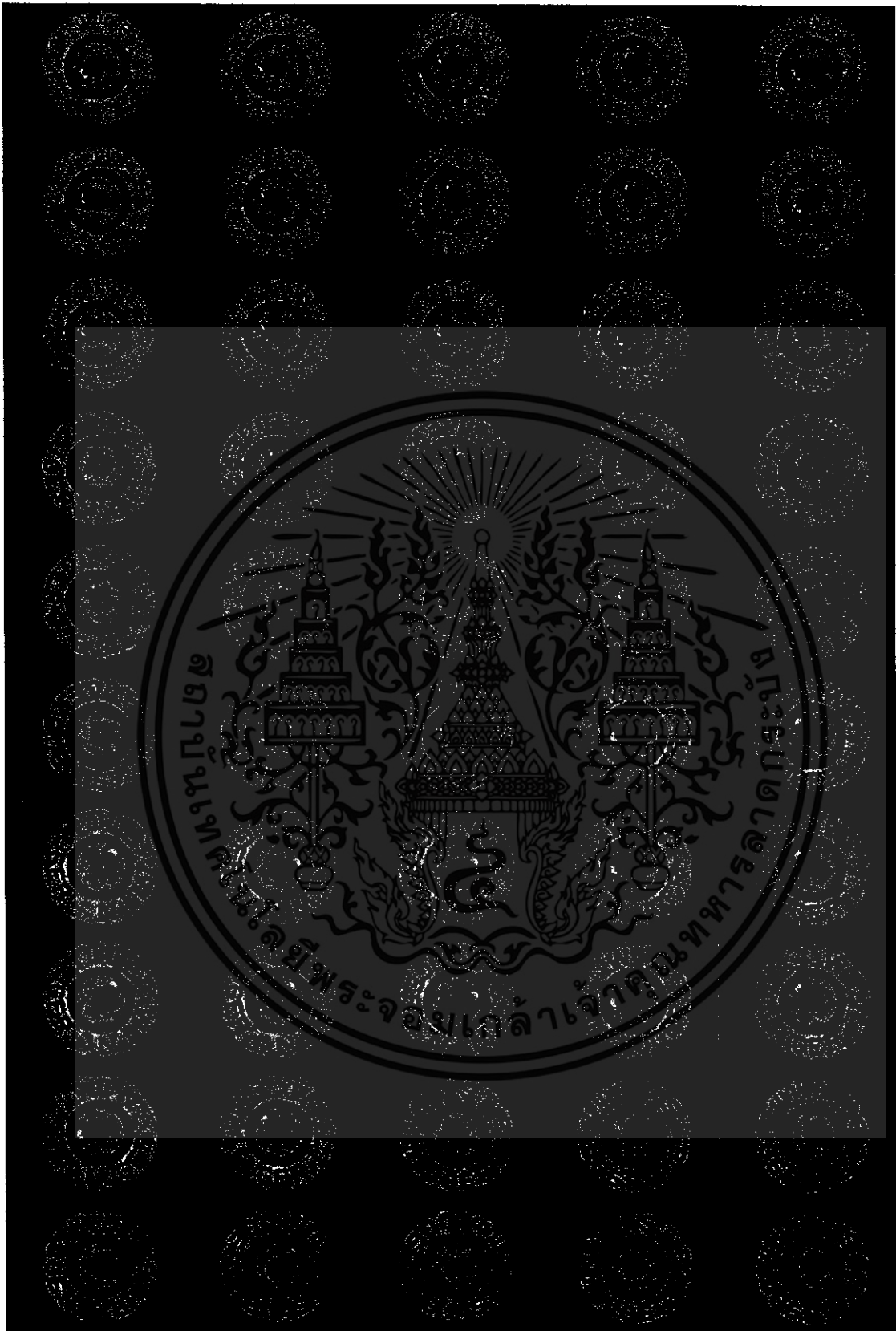
รูปที่ ก.12 ภาพลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม. จากปืน GLOCK 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.13 ภาพลोकกระสุนปืนขนาด 9 มม. จากปืน HK USP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



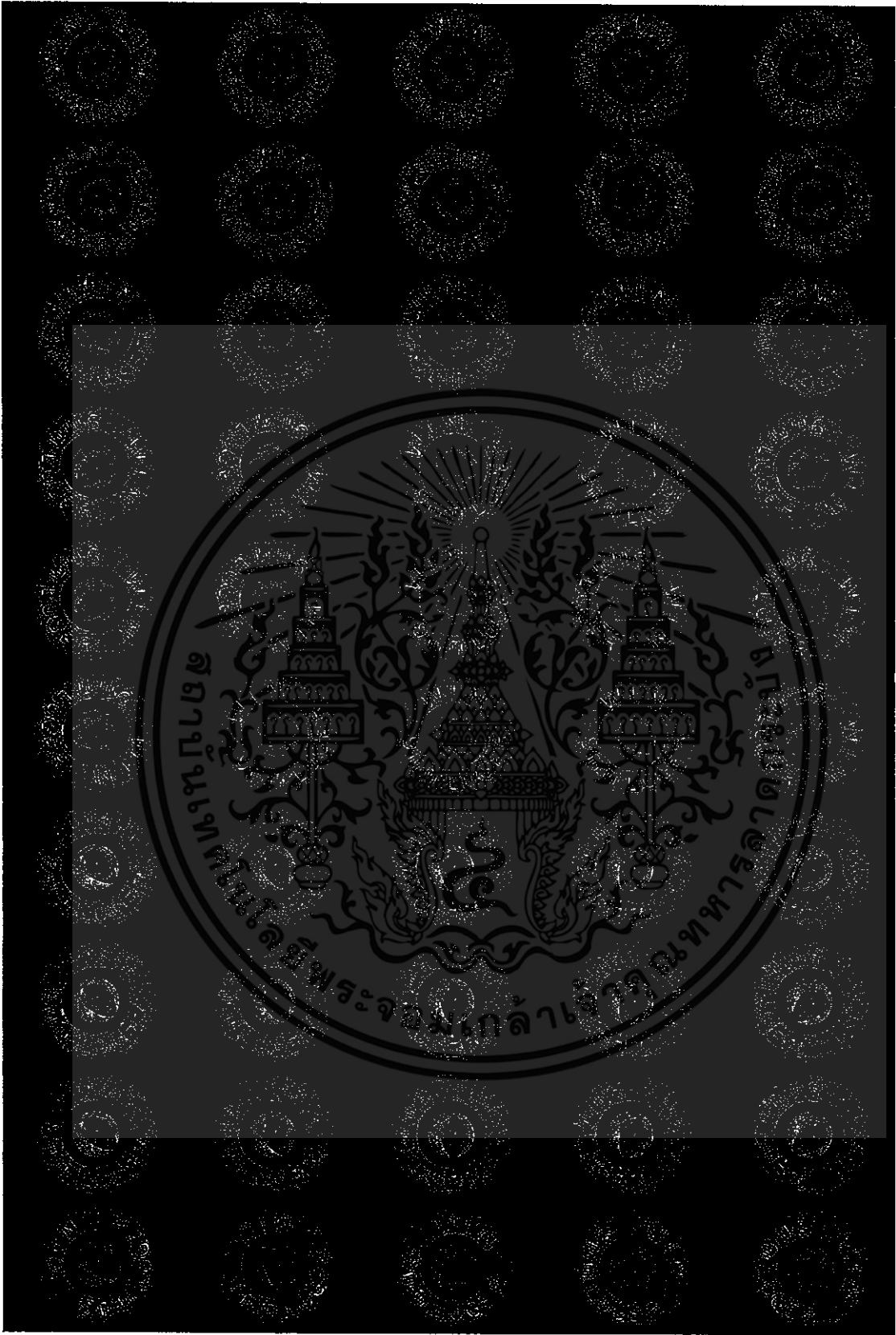
รูปที่ ก.14 ภาพลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม. จากปืน JERICO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



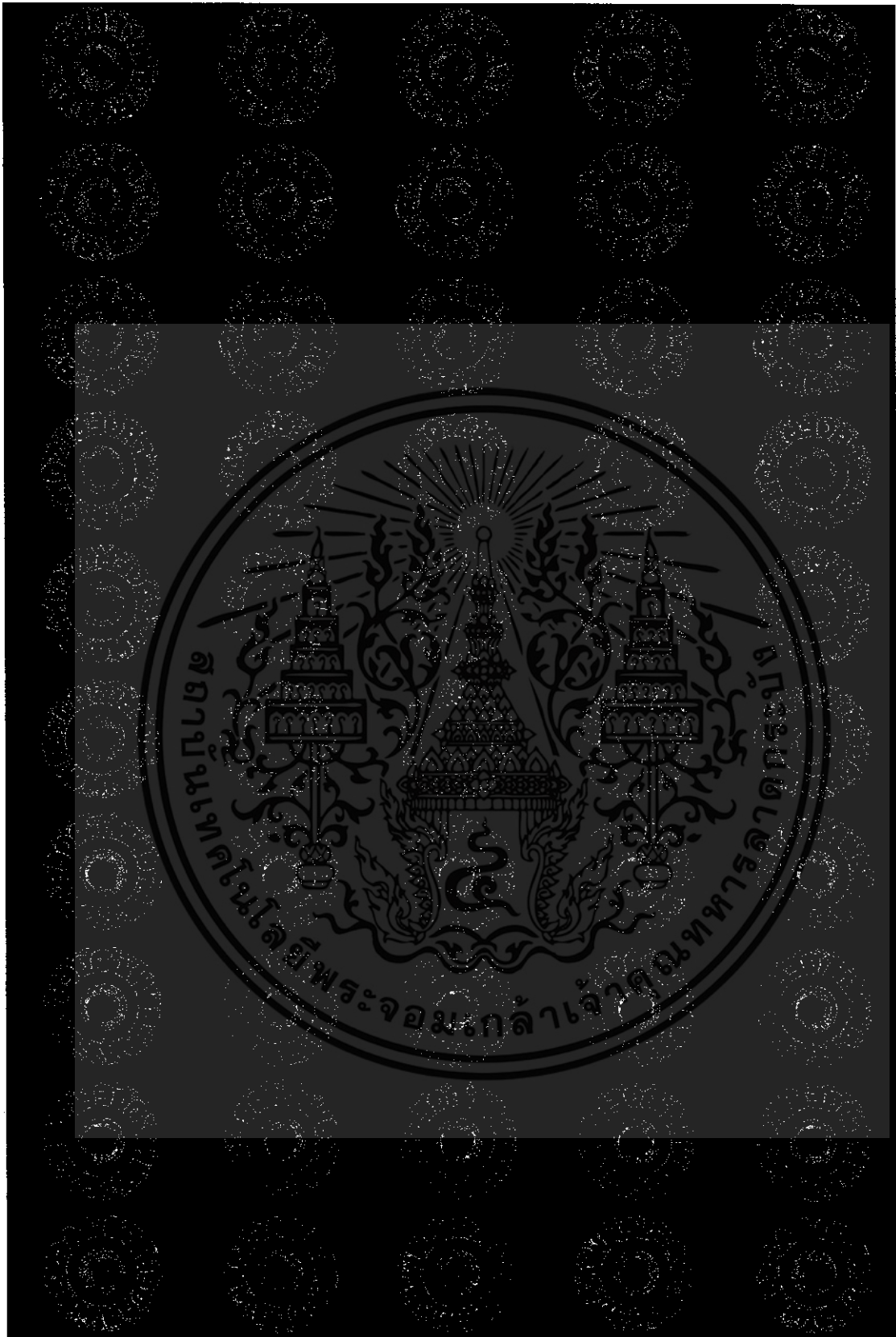
รูปที่ ก.15 ภาพลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม. จากปืน KAHR PM9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.16 ภาพปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม. จากปืน S&W MP9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.17 ภาพลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม. จากปืน TAURUS PT24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. P.Thumwarin, C.Prasit and T.Matsuura, "FIR Coin Recognition System Characterizing A Rotation Invariance Feature of Coin Image", International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology, pp.250-253, 2007.
2. P.Thumwarin, C.Prasit and T.Matsuura, "Firearm Identification based on Rotation Invariant Feature of Cartridge Case Image", Proceeding of SICE Annual Conference 2008, pp 045-049, 2008.
3. P.Thumwarin, C.Prasit, P.boonbumroong and T.Matsuura, "Firearm Identification based on FIR System Characterizing Rotation Invariant of Cartridge Case Image", 2008 23rd International Conference Image and Vision Computing New Zealand, Lincoln University, Christchurch, 26-28 November 2008 (IVCZ 2008)
4. P.Thumwarin, C.Prasit, T.Suwanvesh and T.Matsuura, "FIR Firearm Identification System", Asia Simulation Conference 2009 (JSST 2009).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIR COIN RECOGNITION SYSTEM CHARACTERIZING ROTATION INVARIANT FEATURE OF COIN IMAGE

P.Thumwarin¹, C.Prasit¹ and T.Matsuura²

¹Faculty of Engineering and Research Center for Communications and Information Technology,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Bangkok, 10520 Thailand, ktpitak@kmitl.ac.th

²Faculty of Information Technology and Electronics, Tokai University, 259-1292, Japan
matsuura@dt.u-tokai.ac.jp

ABSTRACT

This paper presents a new coin recognition method based on rotation invariant feature of coin image. The rotation invariant feature is represented by the absolute value of Fourier coefficients of polar image of coin on circles with different radii. In this research, the FIR (Finite impulse response) system characterizing the rotation invariant feature of coin image is introduced. The absolute value of Fourier coefficients obtained from the polar image of coin on circles with different radii are used as the input and output of the FIR system, respectively. Then the obtained impulse response of the FIR system is used as the rotation invariant feature of coin image. Finally, coin can be recognized by calculating the distance between the impulse responses of the FIR systems obtained from the reference coin and the coin to be recognized. The coin recognition experiments are given to show the effectiveness of the proposed method.

I. INTRODUCTION

Coins used in many countries have various patterns such as shape, size, surface design, weight and so on. Some coins used in different countries have similarity in size, weight and surface design but different value. In Thailand also, some patterns of Thai coins are similar to those of coins in other countries. There are many coins operated equipments in the world such as an automatic machine for payment especially vending machine. It is difficult for an automatic system to recognize coins with a similar pattern. Moreover, amulet coin is popular in Thailand. There are various patterns for Thai amulet coins and some patterns are very high value. To recognize such amulet coins, the expert in coin is needed. However, it usually takes long time for operation and there are occasions for the examiners to make some mistakes by visual examination. In this paper, we propose a new method for realizing a simple automatic coin recognition system to recognize coins effectively.

Coin recognition methods have been reported in [1][2]. However, the calculation procedures in those methods are quite complicated. In this paper, we propose a coin recognition method based on rotation invariant feature of coin image. The rotation invariant feature is represented by the absolute value of Fourier coefficients of polar image of coin on circles with different radii. The effectiveness of rotation invariant feature was shown in the work[3][4]. The work[4] proposed a robust coin recognition method with rotation invariance. In the work[4], the feature of coin image obtained

from the polar image of coin on a circle for each radius. However, there are no discussion about the relation between the circles obtained from the coin image with different radii. To discuss the above relation, the FIR system characterizing the feature of coin image is proposed. The absolute value of Fourier coefficients obtained from the polar image of coin on circles with different radii are used as the input and output of the FIR system, respectively. Then the obtained impulse response of the FIR system is used here as the rotation invariant feature of the coin image. Finally, coin can be recognized by calculating the distance between the impulse responses of FIR systems obtained from the reference coin and the coin to be recognized. In the proposed method, the coin recognition problem can be reduced to the system identification problem.

II. FEATURE EXTRACTION

The coin images with 256 gray levels are collected by using digital camera under the condition of same light and same position. Then the coin image is represented by 2D continuous function in Cartesian coordinates as

$$f(x, y) = \sum_{n=0}^Q \sum_{m=0}^Q F(n, m) \phi(x - n, y - m) \quad (1)$$

where

$$\phi(x, y) = \frac{\sin \pi x}{\pi x} \cdot \frac{\sin \pi y}{\pi y} \quad (2)$$

and Q is an integer related to the image size. $F(n, m)$ is gray level at a pixel (n, m) . Then the following function is defined by letting $x = r \cos \theta$, $y = r \sin \theta$ in (1) as

$$\hat{f}(r, \theta) = f(r \cos \theta, r \sin \theta) \quad (3)$$

where $0 \leq r \leq R$, $0 \leq \theta \leq 2\pi$ and $\hat{f}(r, \theta)$ is defined inside the circle of radius R . An example of the polar image of coin is shown in Fig.1. For coin recognition, in case the coins are of the same size, it is considered that the design of coin surface is one of the important feature of coin image. However, it is not easy to recognize coin, because the rotation of the coin produces the rotated coin image. In order to extract the rotation invariant feature of the coin image, it is assumed here that without the loss of generality, $\hat{f}(r, \theta)$ can be represented by a periodic function of θ as

$$\hat{f}(r, \theta) = \hat{f}(r, \theta + 2m\pi) \quad (4)$$

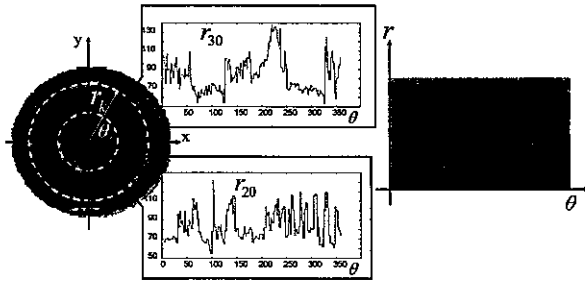


Fig. 1. polar image of coin on circles with different radii

where m is any integer. Then $\hat{f}(r, \theta)$ can be expanded into Fourier series by letting $r = r_k$ (constant) as

$$\hat{f}(r_k, \theta) = \sum_{m=-M}^M a_m^{(k)} e^{jm\theta} \quad (5)$$

where

$$a_m^{(k)} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \hat{f}(r_k, \theta) e^{-jm\theta} d\theta, \quad (6)$$

and k is number of radius of coin images. Let $\hat{g}(r_k, \theta) = \hat{f}(r_k, \theta + \alpha)$ be the rotated coin image of $\hat{f}(r_k, \theta)$ by angle α about its origin. Then it can be seen that the Fourier coefficients $b_m^{(k)}$ of $\hat{g}(r_k, \theta)$ is given as

$$b_m^{(k)} = a_m^{(k)} e^{jm\alpha} \quad (7)$$

Thus we have the following relation:

$$u_m^{(k)} \equiv |b_m^{(k)}| = |a_m^{(k)}| \quad (8)$$

It can be seen from Eq. (8) that the absolute value of Fourier coefficients, $u_m^{(k)}$, of coin on circles with different radii are rotation invariant. Then the following vector is defined as

$$\mathbf{u}_k^T = [u_0^{(k)}, \dots, u_M^{(k)}], (k = 1, \dots, K) \quad (9)$$

where \mathbf{u}_k^T is the transposition of \mathbf{u}_k . Fig.2(a),(b) show Thai 5 baht coins which have the same surface design and also Fig.2(c),(d) show Thai amulet coins which have the same surface design. It can be seen from Fig.2 that the images obtained from the two coins which have the same surface design are quite different because of the effect of light reflection for new and used coins. And some Thai amulet coins have been treated by enamel process and enamel coating on the surface of the amulet coin will become fade for a long time use. In order to recognize those coin images, such a variation in surface of coin can be reduced by Fourier series with a suitable number of coefficients. The effectiveness and detail are shown in our work[4].

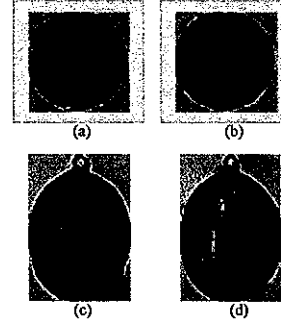


Fig. 2. (a) and (b) Thai 5 baht new and used coins which have the same surface, (c) and (d) Thai amulet new and used coins which have the same surface design.

III. IMPULSE RESPONSE OF FIR SYSTEM CHARACTERIZING COIN IMAGE

It is considered that a relation between the gray level on the circle obtained from circle of coin image with different radii is an important feature for coin recognition. In this section, the above relation can be described by the FIR system having the absolute value of the Fourier coefficients of coin image on circles with different radii as an input and output of the FIR system, respectively. The FIR system is defined by Eq.(10)

$$\hat{u}_n^{(j)} = \sum_{m=0}^L h_m^{(j,k)} u_{n-m}^{(k)}, (n = 0, 1, \dots, M) \quad (10)$$

where $h_m^{(j,k)}$ is the impulse response and $u_n^{(k)}, \hat{u}_n^{(j)}$ are the absolute value of the Fourier coefficients on circles with different radii used as the input and output of the FIR system, respectively. The impulse response $h_m^{(j,k)}$ can be obtained by minimizing the least-square error as

$$E = \sum_{n=0}^M (u_n^{(j)} - \sum_{m=0}^L h_m^{(j,k)} u_{n-m}^{(k)})^2 \rightarrow \min \quad (11)$$

The obtained impulse response $\mathbf{h}_{j,k}^T = (h_1^{(j,k)}, h_2^{(j,k)}, \dots, h_L^{(j,k)})$ is used as the feature parameter vector for coin recognition. $\mathbf{h}_{j,k}^T$ is the transposition of $\mathbf{h}_{j,k}$

IV. COIN RECOGNITION ALGORITHM

In this section, the feature parameter vector $\mathbf{h}_{j,k}$ obtained in the preceding section is used to recognize coin. The coin recognition procedures are given below.

1. Represent a coin image as 2D continuous function

$$f(x, y) = \sum_{n=0}^Q \sum_{m=0}^Q F(n, m) \phi(x - n, y - m) \quad (12)$$

and define $\hat{f}(r, \theta) = f(r \cos \theta, r \sin \theta)$



Fig. 3. US 25 cent coin and Thai 5 baht coin.

2. Compute the Fourier coefficients $b_m^{(k)}$ of the polar image $\hat{f}(r, \theta)$

$$b_m^{(k)} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \hat{f}(r_k, \theta) e^{-jm\theta} d\theta, (m = 0, \dots, M) \quad (13)$$

3. Define the vector representing the rotation invariant feature of the given coin image

$$\mathbf{u}_j^T = [u_0^{(j)}, u_1^{(j)}, \dots, u_M^{(j)}], (j = 1, \dots, K) \quad (14)$$

where $u_m^{(k)} \equiv |b_m^{(k)}|$

4. Compute the impulse response \mathbf{w}_{jk} of FIR system having \mathbf{u}_k and \mathbf{u}_j as the input and output, respectively.

$$\mathbf{w}_{jk} = (U_k^T U_k)^{-1} U_k^T \mathbf{u}_j, (j = 1, 2, \dots, K; j \neq k) \quad (15)$$

where

$$\mathbf{w}_{jk}^T = [w_0^{(j,k)}, \dots, w_L^{(j,k)}], (j = 1, \dots, K) \quad (16)$$

$$U_k = \begin{bmatrix} u_0^{(k)} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ u_1^{(k)} & u_0^{(k)} & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_i^{(k)} & u_{i-1}^{(k)} & u_{i-2}^{(k)} & \dots & u_{i-L}^{(k)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_M^{(k)} & u_{M-1}^{(k)} & u_{M-2}^{(k)} & \dots & u_{M-L}^{(k)} \end{bmatrix}, \quad (17)$$

The obtained impulse response \mathbf{w}_{jk} is used as the feature parameter vector for coin recognition.

5. The coin is recognized as

$$\left. \begin{array}{l} \text{true} \quad \text{if } \sum_{j=1}^K \|h_{jk} - \mathbf{w}_{jk}\| < \eta, \quad k = j + p \\ \text{false} \quad \text{otherwise,} \end{array} \right\} \quad (18)$$

where $\|\cdot\|$ is Euclidean norm, \mathbf{h}_{jk} and \mathbf{w}_{jk} are the feature parameter vector obtained from the reference coin and the coin to be recognized, p is an integer and η is a predetermined threshold value for a particular coin determined by using training data.

V. EXPERIMENTS

In our experiments, coin images were collected by using digital camera. Two experiments are given to show the effectiveness of the proposed method. In the first experiment, Thai 5 baht coin and US 25 cent coin having the similar size (Fig.3) were used for coin recognition. In the second experiment, Thai amulet coins with the similar size were used for coin recognition. The coins used in the

both experiments have various variations such as stains, blur and so on. Fig.4 and Fig.5 show the impulse response vector $\mathbf{h}_{30,34}$ and the absolute value of Fourier coefficients \mathbf{u}_{30} obtained from coins used in the experiments. It should be noted that the coins shown in Fig.4 should be recognized as same. On the other hand the coin shown in Fig.5 should be recognized as different. It can be seen from Fig.4(b) that not only the absolute value of Fourier coefficients of coin image on circle with a radius but also the impulse response of the FIR system having the absolute value of Fourier coefficients of coin image on circle with different radii as the input and output are rotation invariant. The Fig.4(a),(b) show that the impulse response of the given coin image more suitable for describing the feature of coin image than the absolute value of Fourier coefficients. Because in Fig.4(a),(b) the absolute value of Fourier coefficients are slightly different from each other, however the impulse response are very close. In Fig.5 the absolute value of Fourier coefficients and the impulse response of the FIR system for Thai 5 baht coin and US 25 cent coin are shown. It can be seen from Fig.5 that the absolute value of Fourier coefficients and the impulse response of the FIR system obtained from the two coins are quite different. It can be seen from Fig.4 and Fig.5 that the obtained impulse response of the FIR system is effective for coin recognition. The experimental results of the first and second experiments are shown in Fig.6, Fig.7 and Fig.8 respectively. Fig.6 shows the comparison of experimental results for the proposed method and the method in the work[4]. It can be seen that the result of the proposed method is better than that of the method in the work[4].

VI. CONCLUSION

We proposed a new coin recognition method based on rotation invariant feature of coin image. The rotation invariant feature of coin image was represented by the absolute value of Fourier coefficients of polar image of coin on circles with different radii. Then the impulse response of the FIR system having the absolute value of Fourier coefficients obtained from the polar image of coin on circles with different radii as the input and output of the system was used as the feature of coin image. Finally, coin was recognized by calculating the distance between the impulse response obtained from the reference coin and the coin to be recognized. It was found from the experimental results that the proposed method is effective for coin recognition.

VII. REFERENCES

- [1] M.Fukumi, S.Omatu, F.Takeda and T.Kosaka, *Rotation-Invariant Neural Pattern Recognition System with Application to Coin Recognition*, IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 3, No. 2, 1992.
- [2] Ph.Harrop, P-A Besse, C. de Raad, O.Dezuari and R.S. Popovic *Coin Recognition Using and Inductive Proximity Sensor Microsystem*, International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, pp.389-392, 1997.
- [3] T.Matsuura and K.Yamazaki, *A Seal Imprint Verification with Rotation Invariance*, KES 2005, pp.272-280, 2005 .
- [4] P.Thumwarin, S.Malila, P.Janthawong and T.Matsuura, *A Robust Coin Recognition Method with Rotation Invariance*, International Conference on Communications, Circuits and Systems Proceedings, pp.520-523, 2006 .

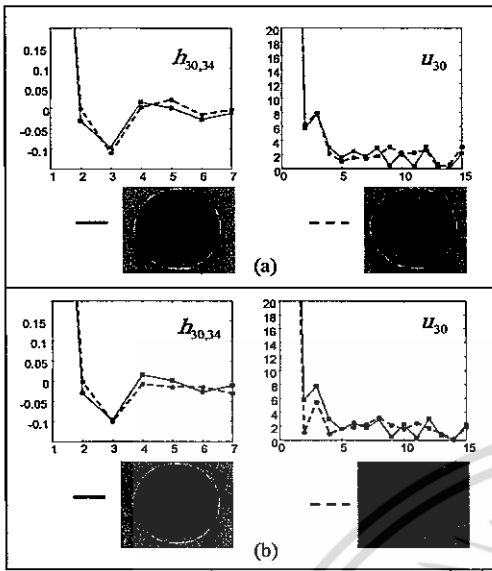


Fig. 4. The impulse response vector $h_{30,34}$ and absolute value of Fourier coefficients u_{30} obtained from Thai 5 baht coins (a) reference coin and new coin (b) reference coin and rotated coin.

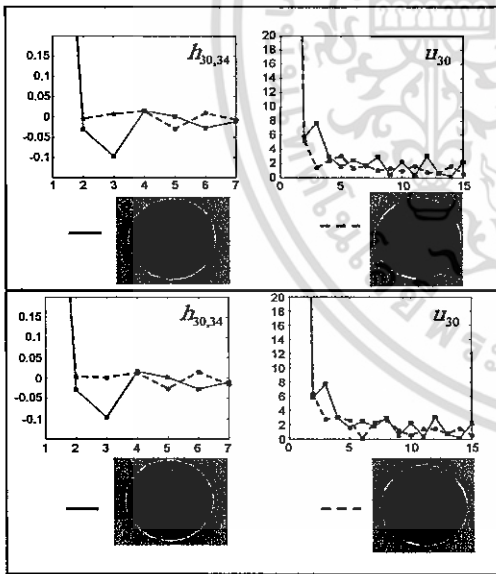


Fig. 5. The impulse response vector $h_{30,34}$ and absolute value of Fourier coefficients u_{30} obtained from Thai 5 baht coins and US 25 cent coins.

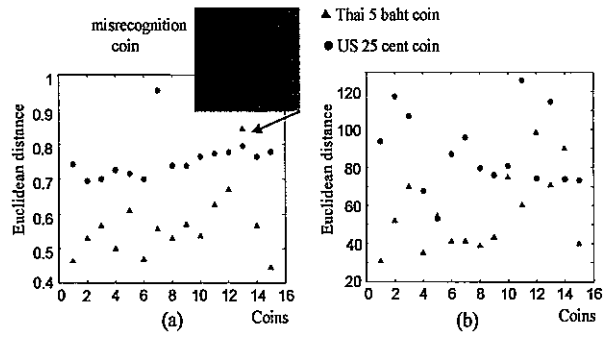


Fig. 6. First experiment: (a) Euclidean distance obtained from Thai 5 baht coins and US 25 cent coins using the proposed method (b) Euclidean distance obtained from Thai 5 baht coins and US 25 cent coins using method in the work[4].

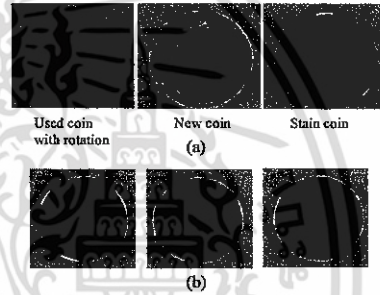


Fig. 7. (a) Example of Thai 5 baht coins used in the first experiment (b) Example of US 25 cent coins used in the first experiment.

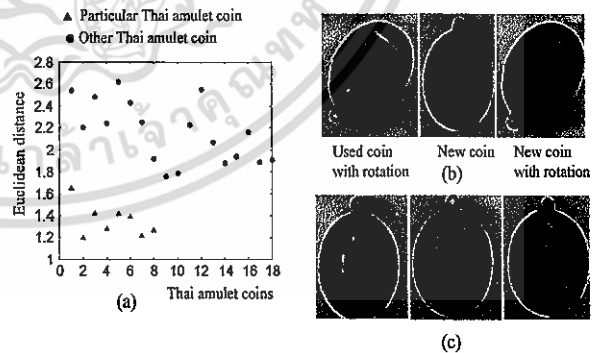


Fig. 8. Second experiment: (a) Euclidean distance obtained from particular Thai amulet coins and other Thai amulet coins (b) Example of particular Thai amulet coins used in the experiment (c) Example of other Thai amulet coins used in the experiment.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SICE Annual Conference 2008

International Conference on Instrumentation, Control and Information Technology

August 20 (Wed.)-22 (Fri.), 2008

The University of Electro-Communications, Chofu, Tokyo, JAPAN

<http://www.sice.or.jp/sice2008/>

secretariat: sice2008-secret@hi.mce.uec.ac.jp



Advisory Board

Chair

Yoshimasa Tachi (President of SICE)

Members

- John J. Book (Georgia Tech., USA)
- Georges E. Djaferis (President of IEEE/CSS)
- Charles W. Einolf, Jr. (President of IEEE/IES)
- Chen Fu (President of CACS, Taiwan)
- Shio Fukuda (Nagoya Univ., Japan)
- Yoshinobu Furuta (Tokyo Denki Univ., Japan)
- Yoshio Harashina (President of Tokyo Denki Univ., Japan)
- Yoshio Hirose (Tokyo Inst. of Tech., Japan)
- Wattana Wattanasakulthong (President of KMUTT, Thailand)
- Byung Kwun Kim (President of ICROS, Korea)
- Yasuhisa Nagashima (Yokogawa Electric Co, Japan)
- Yongkuk Park (Kyung Hee Univ., Korea)
- Ulrich Schmidt (Tech. Univ. of Munich, Germany)
- Antonio Siciliano (President-Elect of IEEE/RAS)
- Prasit Tirasesth (President of KMITL, Thailand)
- Junjun Zhang (Vice-President of SJTU, China)

Organizing Committee

General Chair

Yoshio Hagino (Univ. of Electro-Communications (UEC), Japan)

General Vice-Chair

- Wattana Wattanasakulthong (KMUTT, Thailand)
- Yongkuk Park (KAIST, Korea)

International Program Committee

Chair

Yoshiyuki Kida (UEC, Japan)

Vice-Chair

- Yoshiyuki Kida (Shinshu Univ., Japan)
- Yongkuk Park (KMUTT, Thailand)
- Yoshiyuki Hsu (National Chiao-Tung Univ., Taiwan)
- Yongkuk Park (Inha Univ., Korea)
- Prasit Tirasesth (KMITL, Thailand)
- Yongkuk Park (Singapore National Univ. Singapore)

Regional Program Chair

- Ulrich Schmidt (Tech. Univ. of Munich, Germany)
- Yongkuk Park (Pusan National Univ., Korea)
- Yoshio Harashina (Univ. of Virginia, USA)
- Yongkuk Park (National Cheng-Kung Univ., Taiwan)
- Yongkuk Park (SJTU, China)
- Yongkuk Park (Sapienza Univ. di Roma, Italy)
- Yongkuk Park (KMUTT, Thailand)
- Yongkuk Park (Nanyang Tech. Univ., Singapore)

International Relations

- Yongkuk Park (KMUTT, Thailand)
- Yongkuk Park (Korea Univ., Korea)
- Yongkuk Park (KMITL, Thailand)

The SICE Annual Conference 2008, an international conference on instrumentation, control and information technology, will take place in Chofu, Tokyo, Japan in 2008. This conference covers a wide range of fields from measurement and control to system analysis and design, from theory to application and from software to hardware. The official language of the conference is English. Novel interdisciplinary challenges transferable between plural fields are especially welcome. The conference will be focused on, but not limited to, the following topics:

■ Measurement

- Signal and/or Image Processing
- Opto-Electronic Measurement
- Remote Sensing
- Mass and Force Measurement
- Temperature Measurement
- Ultra-High Precision Measurement
- Networked Sensor System

■ Control

- Multivariable control
- Nonlinear Control
- Robust Control
- Adaptive and Optimal Control
- Intelligent Control
- Modeling, System Identification and Estimation

■ System and Information

- Systems Theory and Engineering
- Biological and Physiological Engineering
- Intelligent Systems
- Neural Networks and Computational Intelligence
- Autonomous Decentralized Systems
- Discrete Event Systems
- Man-Machine Systems

■ System Integration

- Robotics and Mechatronics Systems
- Human Interfaces
- Network and Virtual Reality Systems
- Entertainment Systems
- Medical and Welfare Systems
- Safety, Environment and Eco-Systems
- Agricultural and Bio-Systems
- Rescue Systems

■ Industrial Applications

- Industrial Automation Systems
- Information Management Systems
- Industrial Network Systems
- Macro and Nano Devices
- Components and Devices

■ Advanced Integration

- Emergent Technologies
- Educational Systems/E-Learning
- Fuzzy Systems

■ Others

● Location and Venue

The conference activities will all be taking place in the University of Electro-Communications, Chofu City, Tokyo, Japan. Chofu City is located in the west part of Tokyo, 45 minutes by a rapid train from Tokyo Terminal Station, 2 hours by a super express train from Narita Airport. From its convenient location, there are a lot of institutes that represent Japan as JAXA etc. Chofu is also a historical city with many sightseeing spots as JINDAJI, an old temple. Chofu offers you a perfect location for a great experience of Japanese institutes and a relaxing stroll in downtown before or after your congress day.

● Important Dates

- | | |
|-------------------|---|
| February 11, 2008 | Proposal of Organized Sessions |
| February 25, 2008 | Submission of Extended Abstracts for Regular Papers |
| April 25, 2008 | Notification of Paper Acceptance |
| May 16, 2008 | Submission of Final Camera-ready Papers |
| May 16, 2008 | Proposal of Workshops and Tutorials |

● Regular Paper Submission

Prospective authors are invited to submit an extended abstract on 2 pages of A4, 800-1000 words in English. For further information, please visit the SICE2008 conference website at <http://www.sice.or.jp/sice2008/> or contact the program committee (E-mail: sice2008-prog@hi.mce.uec.ac.jp). It is recommended that your draft paper includes paper title, names of all authors, affiliations, postal mails, email addresses and phone/fax numbers.

Organized by The Society of Instrument and Control Engineers (SICE), Japan
Supported by Chofu City, The Univ. of Electro-Communications, Japan
(Tentative) Technically Co-Sponsored by IEEE Industrial Electronics Society, IEEE Robotics and Automation Society, IEEE Control Systems Society, IEEE Systems, Man & Cybernetics, The Instrumentation, Systems and Automation Society (ISA), Institute of Control, Robotics and Systems (ICROS).
(Tentative) In association with China Instrument and Control Society (CIS), Chinese Association of Automation (CAA), Chinese Automatic Control Society (CACS), International Measurement Confederation (IMEKO), IEEE Japan Council, IFAC NMO-Japan



Organized Session Submission

Proposals of organized session are welcome. The goal of organized sessions is to provide focused discussions on a new topic and innovative applications of a new approach. Each session consists of 5-6 papers which will be reviewed via normal review process. The session organizer could submit the proposal electronically by **February 11, 2008**. The proposal is recommended to include a brief statement of the session focus, together with the extended abstract of individual papers submitted. For further instruction, please visit the conference website, or send an e-mail to:

Prof. Hiromitsu Ohmori (Keio Univ., Japan) E-mail: ohm@sd.keio.ac.jp

Workshops and Tutorials

Proposals of workshops or tutorials that address the technical topics related to control, automation, and systems in general are welcome. We encourage such programs that will attract industrial members, and programs with highly anticipated level of interest, impact, creatively and technical background of presenters. Proposals should be submitted to the following e-mail address by **May 16, 2008**. Submitting instructions will appear on the SICE2008 webpage.

Prof. Hiroki Takahashi (UEC, Japan) E-mail: rocky@hc.uec.ac.jp

Laboratory Tour

Pre/post-conference technical tours will be held on Aug. 19(Tue) and 23(Sat). The pre-conference technical tour will start from afternoon and visit national research institutes near the conference venue including JAXA (Japan aerospace exploration agency). The post-conference technical tour will visit open laboratories of University of Electro-Communications, the conference venue. Number of participants may be limited in pre-conference tour.

Student Support Program

UEC will provide a Student Travel Grant Award and SICE International Scholarship which are to help those foreign researchers who are young and come to Japan to present their papers.

Organizing Committee

Program Publication

Keiichi Takadama (UEC, Japan)

Finance

Yuzushi Nakano (UEC, Japan)

Yuzunori Sakurama (UEC, Japan)

Industrial Relation

Keiichi Shin (UEC, Japan)

Yasunori Idesawa (UEC, Japan)

Yoshinori Taguchi (UEC, Japan)

Yoshinobu Oh-hara (UEC, Japan)

Workshop & Tutorial

Hiroki Takahashi (UEC, Japan)

Local Arrangement

Yuzo Tanaka (UEC, Japan)

Hiroshi Ohtake (UEC, Japan)

Yoshiyuki Kajimoto (UEC, Japan)

Registration

Yoshihiko Higuchi (UEC, Japan)

Yuzo Ming (UEC, Japan)

Student Grant Award

Yunikatsu Takase (UEC, Japan)

Yukaaki Nara (UEC, Japan)

Yakoto Shimojo (UEC, Japan)

Dinner Banquet

Yakaji Honda (UEC, Japan)

Yataru Mitsuhashi (UEC, Japan)

Internet Service

Yasayuki Takata (UEC, Japan)

Mitsunori Fujita (UEC, Japan)

Publicity

Kenji Tanaka (UEC, Japan)

Yasuke Chugo (UEC, Japan)

Secretary

Yaoaki Itakura (UEC, Japan)

Yudetsu Oya (Shonan Inst. of Tech., Japan)

Yoshiaki Fukushima (UEC, Japan)

Technical Tour

Yoshihiko Hasegawa (UEC, Japan)

Yasayuki Aoyama (UEC, Japan)

Yakuya Nojima (JAXA, Japan)

Yasahiko Inami (UEC, Japan)

International Program Committee

- Organized Session Chair

Hiromitsu Ohmori (Keio Univ., Japan)

- Organized Session Vice-Chair

Wudhichai Assawinchaichote (KMUTT, Thailand)

QiXin Cao (SJTU, China)

Kouichi Hidaka (Tokyo Denki Univ., Japan)

Hiroshi Ito (Kyushu Inst. of Tech., Japan)

Kanok Janchitrapongvej (KMUTT, Thailand)

Klaus Schilling (Univ. Wuerzburg, Germany)

Kwee-Bo Sim (Chung-Ang Univ., Korea)

- Track Chairs

Measurement

Kenbu Teramoto (Saga Univ., Japan)

Control

Tomohisa Hayakawa (Tokyo Inst. of Tech., Japan)

System and Information

Toshiya Kaihara (Kobe Univ., Japan)

System Integration

Nobuto Matsuhira (Toshiba Co., Japan)

Industrial Applications

Akio Ito (Yokogawa Electric Co., Japan)

Advanced Integration

(To be assigned)

Steering Committee

- Chair

Fumitoshi Matsuno (UEC, Japan)

- Advisers

Shinji Hara (Univ. of Tokyo, Japan)

Masao Ikeda (Osaka Univ., Japan)

Hidehiko Kimura (RIKEN, Japan)

Hidefumi Kobatake (Tokyo Univ. of Agriculture, Japan)

Akira Nagashima (Yokogawa Electric Co., Japan)

- Members

Kojiro Hagino

Eitaku Nobuyama

Hideki Hashimoto

Ryoji Ohba

Seiji Hata

Tetsuya Ohtani

Akira Inoue

Masatoshi Okutomi

Koji Ito

Mitsuji Sampei

Takashi Kida

Susumu Tachi

Masami Konishi

Satoshi Tadokoro

Yoshinori Kuno

Ryoichi Takahashi

Yasuaki Kuroe

Mitsuo Wada

Kazuo Kyuma

Yutaka Yamamoto

Tadashi Matsumoto

Program Committee Members (to be added)

Hai Lin (The National Univ. of Singapore)

Yunong Zhang (Sun Yat Sen Univ.)

Zhuping Wang (Tongji Univ.)

Phaophak Sirisuk (Mahanakorn Univ. of Tech.)

P. Tangamchit (King Mongkut Univ. of Tech. Thonburi)

Phongsak Keeratiwintakorn (King Mongkut Institute of Tech. North Bangkok)

Hirobumi Nishida (Ricoh Co., Ltd.)

Hiroaki Kuze (Chiba Univ.)

Masanari Taniguchi (Tohoku Bunka Gakuen Univ.)

Hidekata Hontani (Nagoya Inst. of Tech.)

Toshiyuki Hayashi (AIST)

Naohiko Sasajima (AIST)

Shun-ichi Azuma (Kyoto Univ.)

Hideaki Ishii (Tokyo Inst. of Tech.)

Keiko Shimizu (Toshiba Co.)

Keiichiro Yasuda (Tokyo Metropolitan Univ.)

Yasuaki Kuroe (Kyoto Inst. of Tech.)

Kinya Fujita (Tokyo Univ. of Agriculture)

Masahiro Shimizu (Tohoku Univ.)

Toshihisa Sato (AIST)

Yukio Horiguchi (Kyoto Univ.)

Tatsushi Nishi (Osaka Univ.)

Isao Ono (Tokyo Inst. of Tech.)

Nobuyuki Matsui (Univ. of Hyogo)

Hajime Suguchi (Yokohama National Univ.)

Takahiro Suzuki (Univ. of Tokyo)

Hideyuki Tsukakoshi (Tokyo Inst. of Tech.)

Yasuhiro Masutani (Osaka Univ.)

Taisuke Sakaki (Kyushu Sangyo Univ.)

Eiichi Ono (AIST)

Yoshitaka Adachi (Shibaura Inst. of Tech.)

Tadashi Yoshidome (Kanagawa Inst. of Tech.)

Masaya Takasaki (Saitama Univ.)

Shuji Hashimoto (Waseda Univ.)

Takeo Oomichi (Meijo Univ.)

Toru Torii (Univ. of Tokyo)

Tetsuo Kotoku (AIST)

Minoru Naganuma (Teikyo Univ. of Science and Tech.)

Masaki Yamakita (Tokyo Inst. of Tech.)

Shigeyasu Kawaji (Kumamoto Univ.)

Masanori Sugisaka (Oita Univ.)

Makoto Shimojo (UEC)

Keigo Watanabe (Saga Univ.)

Satoshi Iwaki (Hiroshima City Univ.)

Shigeki Sugano (Waseda Univ.)

Kazuhiro Kosuge (Tohoku Univ.)

Noriaki Sakamoto (Hosei Univ.)

Tomoyuki Nagashio (UEC)

Firearm identification based on rotation invariant feature of cartridge case

P.Thumwarin¹, C.Prasit¹ and T.Matsuura²

¹Faculty of Engineering and Research Center for Communications and Information Technology,
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
 Bangkok, 10520 Thailand, E-mail: ktpitak@kmitl.ac.th

²Faculty of Information Technology and Electronics, Tokai University, 259-1292, Japan
 E-mail: matsuura@dt.u-tokai.ac.jp

Abstract: This paper, proposes firearm identification method based on rotation invariant feature of cartridge case image. The rotation invariance feature is represented by the absolute value of Fourier coefficients of polar image of cartridge case on circles with different radii. The absolute value of Fourier coefficients is considered as the individual feature of the particular gun. Finally, the firearm can be identified by the distance between the absolute value of Fourier coefficients obtained from the reference cartridge case and the cartridge case to be identified. The firearm identification experiments are given to show the effectiveness of the proposed method.

Keywords: Firearm identification, Cartridge case, Rotation invariant, Fourier series.

1. INTRODUCTION

Firearm identification identifies the firearm using impressed marks left by the gun. In forensic science, the firearm was identified by visual examination. However, it usually takes long time for operation because of the huge of firearm evidences in database and there are occasions for the examiners to make some mistakes by the visual examination. In order to identify the firearm effectively, an automatic system for firearm identification is required. Firearm identification methods have been reported in [1][2]. However, the limitation of method in the work[1] is that the mark of firing pin is nearly like only a small circle(circular pin mark). And the main focus in the work[2] is on the consideration of only rim-firing pin mark identification. We proposed a firearm identification method based on rotation invariant feature of cartridge case image. In the proposed method, the center-fire cartridge identification is investigated. And not only to identify the variation of firing pin marks such as circular pin mark, square pin mark and so on, but also the breech face impressions are taken into account in this paper. We proposed a firearm identification method based on rotation invariant feature of cartridge case image. The rotation invariant feature is represented by the absolute value of Fourier coefficients of polar image of cartridge case on circles with different radii. The obtained absolute value of Fourier coefficients is considered as the individual feature of the particular gun.

2. FEATURE EXTRACTION

The cartridge case images with 256 gray levels are collected by using digital camera under the condition of same light and same position. In this paper, the firing pin marks and breech face impressions with in the primer ring area on the head of cartridge case are used to extract the individual feature for the particular gun. Example of the cartridge image is shown in Fig. 1.

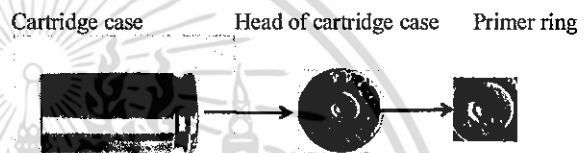


Fig. 1 Cartridge case and Primer ring.

Then the cartridge case image is represented by 2D continuous function in Cartesian coordinates as

$$f(x, y) = \sum_{n=0}^Q \sum_{m=0}^Q F(n, m) \phi(x-n, y-m) \quad (1)$$

$$\text{where } \phi(x, y) = \frac{\sin \pi x}{\pi x} \cdot \frac{\sin \pi y}{\pi y} \quad (2)$$

and Q is an integer related to the image size. $F(n, m)$ is gray level at a pixel (n, m) . Then the following function is defined by letting $x = r \cos \theta, y = r \sin \theta$ in (1) as

$$\hat{f}(r, \theta) = f(r \cos \theta, r \sin \theta) \quad (3)$$

where $0 \leq r \leq R, 0 \leq \theta \leq 2\pi$ and $\hat{f}(r, \theta)$ is defined inside the circle of radius R. An example of the polar image of cartridge case is shown in Fig.2.

For firearm identification, in case the cartridges are of the same size(same caliber), it is considered that the shape of firing pin marks and breech face impressions are the important features to identify the firearm. However, the firing pin mark image and the breech face impressions can be rotated by any random number of degrees. In order to extract the rotation invariant feature of those features, it is assumed here that without the loss of generality, $\hat{f}(r, \theta)$ can be represented by a periodic function of θ as

$$\hat{f}(r, \theta) = f(r, \theta + 2m\pi) \quad (4)$$

where m is any integer.

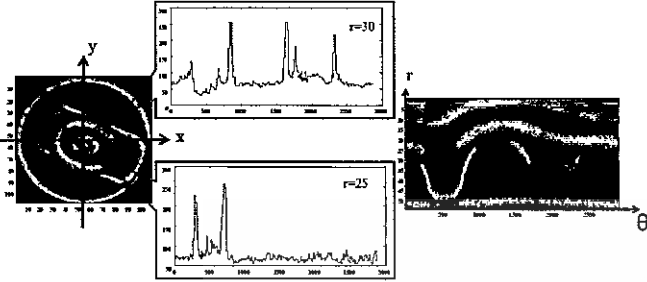


Fig. 2 Polar image of cartridge case on circles with different radii.

Then $\hat{f}(r, \theta)$ can be expanded into Fourier series by letting $r = r_k$ (constant) as

$$\hat{f}(r_k, \theta) = \sum_{m=-M}^M a_m^{(k)} e^{-jm\alpha} \quad (5)$$

where $a_m^{(k)} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \hat{f}(r_k, \theta) e^{-jm\theta} d\theta$ (6)

and ψk is number of radius of cartridge case images. Let $\hat{g}(r_k, \theta) = \hat{f}(r_k, \theta + \alpha)$ be the rotated cartridge case of $\hat{f}(r_k, \theta)$ by angle α about its origin. Then it can be seen that the Fourier coefficient $b_m^{(k)}$ of $\hat{g}(r_k, \theta)$ is give as

$$b_m^{(k)} = a_m^{(k)} e^{jm\alpha} \quad (7)$$

Thus we have the following relation:

$$u_m^{(k)} \equiv \left| b_m^{(k)} \right| = \left| a_m^{(k)} \right| \quad (8)$$

It can be seen form Eq. (8) that the absolute value of Fourier coefficients, $u_m^{(k)}$, of cartridge case on circles with different radii are rotation invariant. Then the feature vector u_k represented the rotation invariant feature of cartridge case images is defined as

$$u_k^T = [u_0^{(k)}, \dots, u_M^{(k)}], (k=1, \dots, K) \quad (9)$$

where u_k^T is the transposition of u_k .

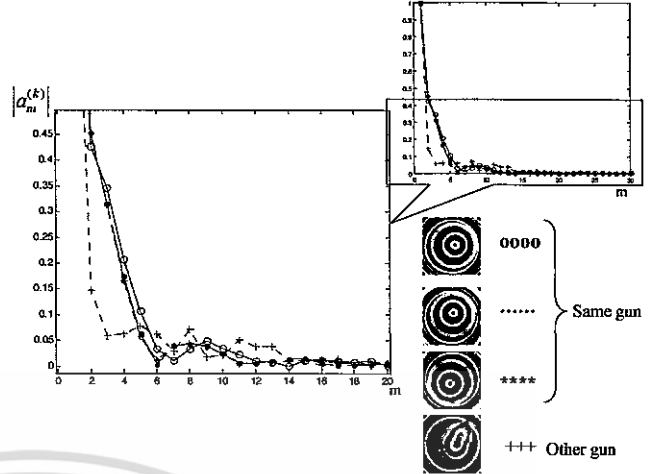


Fig. 3 $|a_m^{(k)}|$ obtained from same and different guns rotated by different degrees.

Figure 3 shows the plot of absolute value of Fourier coefficients obtained from the cartridge case fired from the same and different gun rotated by different degrees. It can be seen that the absolute value of Fourier coefficients obtained from the same gun are quite similar and different from the other gun. The effectiveness of using the Fourier coefficient of polar image to extract the rotation invariant feature were reported in the work[3][4]. Furthermore, the Fourier approximation is used to reduce the variation in surface with in the primer ring area by selecting a suitable number of Fourier coefficients. The suitable number of Fourier coefficient is determined so that the mean square error of the Fourier approximation may be less than the threshold value β , where the threshold value β is determined from training data. Fig. 4 shows the plot of mean square error in Fourier approximation of $\hat{f}(r_k, \theta)$

Mean square error in Fourier approximation of $\hat{f}(r_k, \theta)$

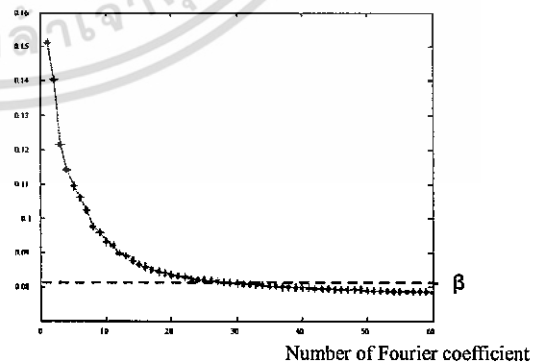


Fig.4 mean square error in Fourier approximation of $\hat{f}(r_k, \theta)$.

The effectiveness of using Fourier approximation to reduce such a variation is shown in Fig.5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Original cartridge case image.

Approximation of the cartridge case image.

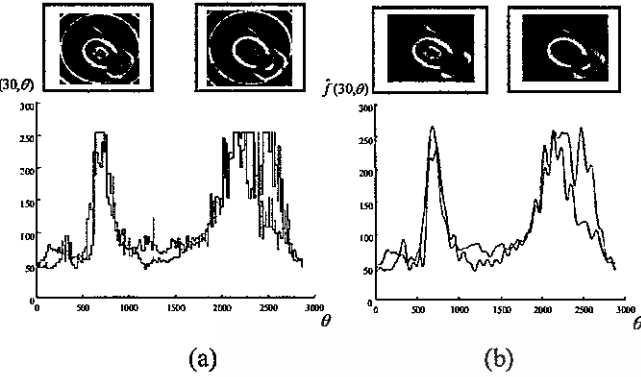


Fig. 5.(a) original cartridge case image (b) Fourier approximation of the cartridge case in image(a) ($M=30$).

Moreover, to reduce the variation in color of the primer, it is desirable to normalize the total sum of the gray level. Therefore in our method $u_0^{(k)}$ is normalized as 1. Then the feature vector of cartridge case image is defined by the Fourier coefficients as.

$$\hat{u}_k^T = [1, \hat{u}_1^{(k)}, \dots, \hat{u}_M^{(k)}], (k=1, \dots, k) \quad (10)$$

$$\hat{u}_m^{(k)} = \frac{u_m^{(k)}}{u_0^{(k)}} \quad (11)$$

\hat{u}_k is considered as the individual feature for the particular gun.

3. FIREARM IDENTIFICATION ALGORITHM

In this section, the vector \hat{u}_k obtained in the preceding section is used for firearm identification. The firearm identification procedures are given bellows:

- (1) Represent a cartridge case image as 2D continuous function

$$f(x, y) = \sum_{n=0}^Q \sum_{m=0}^Q F(n, m) \phi(x-n, y-m) \quad (12)$$

$$\text{where } \phi(x, y) = \frac{\sin \pi x}{\pi x} \cdot \frac{\sin \pi y}{\pi y} \quad (13)$$

and define $\hat{f}(r, \theta) = f(r \cos \theta, r \sin \theta)$.

- (2) Compute the Fourier coefficients $b_m^{(k)}$ of the polar image $\hat{f}(r, \theta)$

$$b_m^{(k)} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \hat{f}(r_k, \theta) e^{-jm\theta} d\theta, (m=0, \dots, M) \quad (14)$$

- (3) Define the feature vector representing the rotation invariant feature of the given cartridge case image

$$u_k^T = [u_0^{(k)}, u_1^{(k)}, \dots, u_M^{(k)}], (k=1, \dots, K) \quad (15)$$

where $u_m^{(k)} = |b_m^{(k)}|$ is absolute value of Fourier coefficients obtained from the preceding section.

- (4) Normalize $u_0^{(k)}$ as

$$\hat{u}_k^T = [1, \hat{u}_1^{(k)}, \dots, \hat{u}_M^{(k)}], (k=1, \dots, k) \quad (16)$$

$$\hat{u}_m^{(k)} = \frac{u_m^{(k)}}{u_0^{(k)}} \quad (17)$$

- (5) Then an unknown cartridge case x is assigned to a class

$$C_i \in \{C_0, C_1, C_2, \dots, C_N\} \quad (18)$$

if $S_{\min}(C_i, x) = \min\{S(C_l, x)\}, l=0, 1, 2, \dots, N$ where $S_{\min}(C_i, x)$ is the minimum Euclidean distance between the feature parameter vectors \hat{u}_k^T obtained from an unknown gun x and that obtained from the reference pattern of known class C_i , N is total number of class.

4. EXPERIMENTS

In the experiment, 116 cartridge case images obtained from 6 guns which have same caliber(9mm) were used for firearm identification. The examples of the cartridge case images obtained from the 6 guns used in the experiment are shown in Fig. 6.

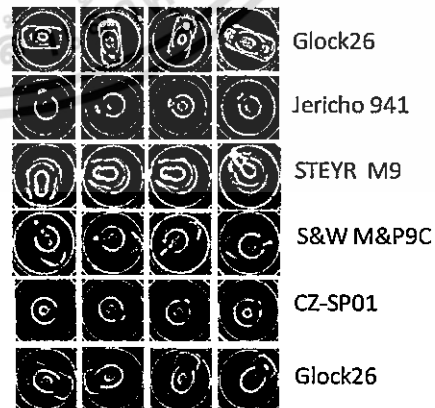


Fig.6 Cartridge case images obtained from the 6 guns.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 7-12 show the plot of Euclidean distance obtained from the same gun(particular gun) and different gun(other guns). It can be seen in Fig. 7-12 that the Euclidean distance obtained from the same guns are less than those obtained from the other guns.

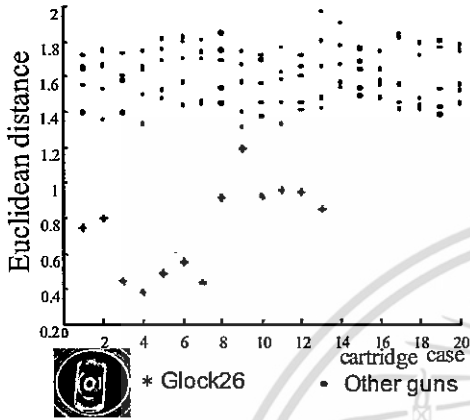


Fig.7 Euclidean distance obtained from the same and different guns.

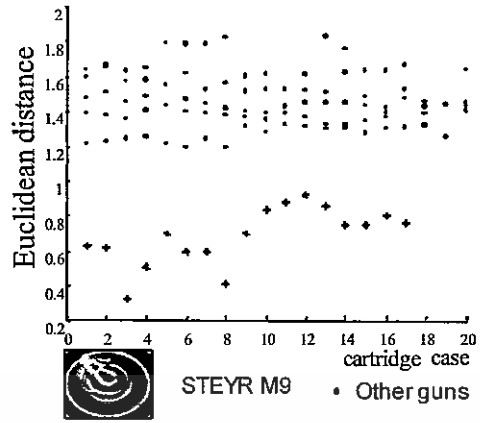


Fig.9 Euclidean distance obtained from the same and different guns.

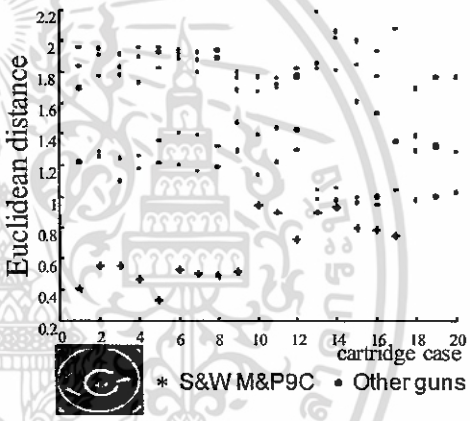


Fig.10 Euclidean distance obtained from the same and different guns.

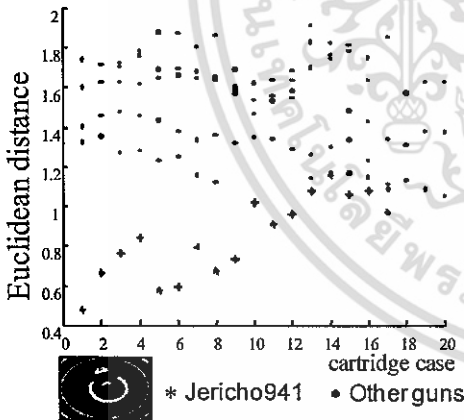


Fig.8 Euclidean distance obtained from the same and different guns.

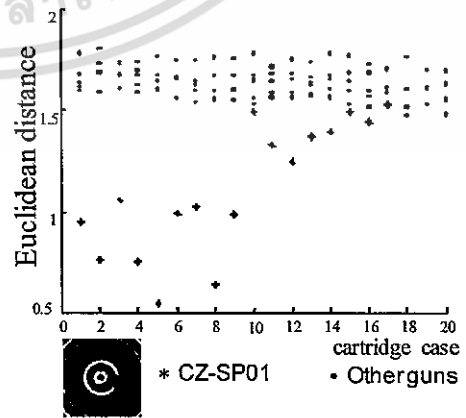


Fig.11 Euclidean distance obtained from the same and different guns.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

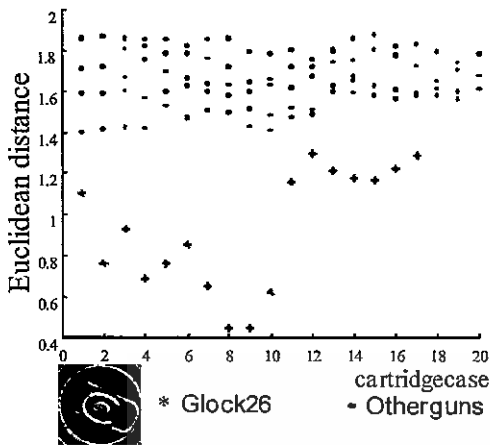


Fig.12 Euclidean distance obtained from the same and different guns.

5. CONCLUSION

We proposed firearm identification method with rotation invariance feature. First, the polar image obtained from the cartridge case was expanded into Fourier series. The rotation invariant feature of cartridge case image was represented by the absolute value of Fourier coefficients of polar image of cartridge case on circles with different radii. Finally, firearm can be identified by calculating the distance between the absolute values of Fourier coefficients obtained from the reference cartridge case and the cartridge case to be identified. The firearm identification experiments are given to show the effectiveness of the proposed method.

ACKNOWLEDGMENT

We wish to thank to the staff of Scientific Crime Detection Division, Royal Thai Police for many kind suggestions. Also our special thank go to Asst. Prof. Dr.Thienchai Suwanvesh for helpful discussions and collecting cartridge case data.

REFERENCES

- [1] Le-pingXin, Jie Zhou and GangRong, “A cartridge identification system for firearm authentication”, pp.10405-1408, ICSP2000, 2000.
- [2] Dongguang Li, “A new approach for firearm identification with hierarchical neural networks based on cartridge case image”, pp. 923-928, ICCI’06, 2006.
- [3] P.Thumwarin, S.Malia, P.janthawong and T.Matsuura, “A Roust Coin Recognition Method with Rotation Invariance”, International Conference on Communications, Circuits and Systems Proceedings, pp.520-523, 2006.
- [4] P.Thumwarin, C.Prasit and T.Matsuura,”FIR Coin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Firearm Identification based on FIR System Characterizing Rotation Invariant Feature of Cartridge Case Image

P. Thumwarin¹, C. Prasit¹, P. boonbumroong¹, T.Matsuura²,

¹Faculty of Engineering and Research Center for Communications and Information Technology,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520 Thailand,

²Department of Electrical and Electronics Engineering, Tokai University, 259-1292, Japan

Email: ktpitak@kmitl.ac.th, matsuura@tokai.ac.jp

Abstract

We propose firearm identification method based on FIR system characterizing rotation invariant feature of cartridge case image. The rotation invariant feature is represented by the absolute value of Fourier coefficients of polar image on circles with different radii of the cartridge case's primer. Then the FIR(Finite impulse response) system characterizing the rotation invariant feature of cartridge case's primer image is introduced. The absolute value of Fourier coefficients obtained from the polar image on the circles with different radii are used as the input and output of the FIR system, respectively. The obtained impulse response of the FIR system is considered as the unique feature of the individual gun. Finally, a firearm can be identified by using the Fisher's linear discriminant function of the obtained impulse response of the FIR system. The firearm identification experiments are conducted to show the effectiveness of the proposed method.

Keywords: firearm identification, rotation invariant, FIR system, Fourier series

1 Introduction

By means of the forensic science, it is feasible to take some fired cartridge cases found in the scene of the crime for further investigation in order to verify a criminal gun because each gun will leave some marks caused by the firing pin, and the breech face on the primer, and the head of a cartridge case which are unique for any individual gun. These marks on the cartridge case head fired by the same gun are very close or identical in appearance to one another but they are different from those fired by the other guns. Consequently, the fired cartridge cases can be used to verify the gun involved in the occurrence. Normally, the amount of the fired cartridge cases brought from the event of many cases could be large, and the visual examination of them by an expert is a time-consuming process with possibly some errors. Therefore, this research was conducted to develop the automated system to identify the guns from their spent cartridge cases. In addition, the ammunition currently manufactured by many companies, as well as those privately loaded by some shooters could have some minute differences among the makers. As a result, the fired cartridge cases ejected from the same gun might have some trivial nicks or scratches. This is, however, one of the important problems in the development of an automated system for

identification of the gun from the fired cartridge cases.

Firearm identification methods have been reported in [1][2]. However, the limitation of method in the work[1] is that the mark of firing pin is nearly like only a small circle(a circular pin mark). And the main focus in the work[2] was emphasized solely on the rim-fire pin mark identification. In this paper, the center-fire cartridge identification is investigated. And not only to identify the variation of firing pin marks such as circular pin mark, square pin mark and so on, but also the breech face impressions are taken into account. In this paper, the rotation invariance features of the cartridge image are extracted by using the absolute value of Fourier coefficients of polar image of cartridge case on circles with different radii. Moreover, the relations between the circles obtained from the cartridge image with different radii are taken into consideration. To discuss the above relation, the FIR system characterizing the feature of cartridge case is proposed. The absolute value of Fourier coefficients obtained from the polar image of cartridge case on circles with different radii are used as the input and output of the FIR system, respectively. Then the obtained impulse response of the FIR system is used here as the unique feature of the particular gun. Finally, firearm can be identified by using the Fisher's linear discriminant function. In

this research, the firearm identification problem is reduced to the be system identification problem.

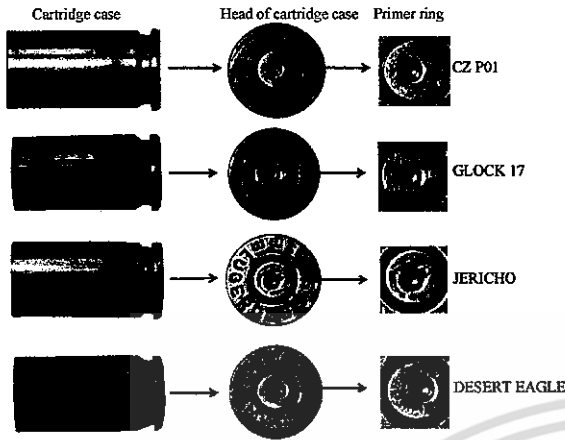


Figure 1: The mark of the cartridge cases fired by pistol of different makes.

2 Feature Extraction

The cartridge case images with 256 gray levels were taken by using digital camera under the identical condition of light and position. The firing pin marks and breech face impressions within the primer ring areas on the head of cartridge case are used to extract the individual feature of the particular gun. Figure 1 shows some cartridge cases and their primer rings obtained from four pistols of the same caliber. Then the cartridge case image is represented by 2D continuous function in Cartesian coordinates as the following expressions:

$$f(x, y) = \sum_{n=0}^Q \sum_{m=0}^Q F(n, m) \phi(x-n, y-m) \quad (1)$$

$$\text{where } \phi(x, y) = \frac{\sin \pi x}{\pi x} \cdot \frac{\sin \pi y}{\pi y} \quad (2)$$

and Q is an integer related to the image size. $F(n, m)$ is gray level at a pixel (n, m) . Then the following function is defined by letting $x = r \cos \theta, y = r \sin \theta$ in (1) as

$$\hat{f}(r, \theta) = f(r \cos \theta, r \sin \theta) \quad (3)$$

where $0 \leq r \leq R, 0 \leq \theta \leq 2\pi$, and $\hat{f}(r, \theta)$ is defined inside the circle of radius R . An example of the polar image of cartridge case is shown in Fig.2

For firearm identification, in case of the firearms are of the same calibers, it is indicated that the shape of their firing pin marks and breech face imprints are the most important features to identify the firearm. However, the firing pin mark image and the breech

face impressions can be rotated at any random numbers of degrees. In order to extract the rotation

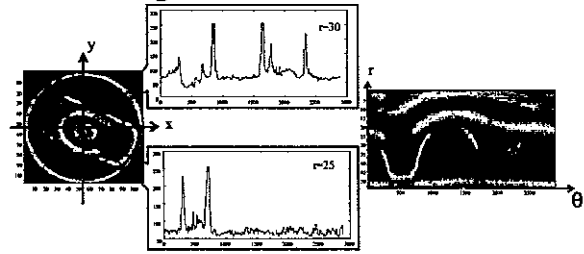


Figure 2: Polar image of cartridge case on circles with different radii from the primer dent of a spent case head.

invariant feature of those features, it is presumably inferred here that, without the loss of generality, $\hat{f}(r, \theta)$ can be expressed by a periodic function of θ as

$$\hat{f}(r, \theta) = f(r, \theta + 2m\pi) \quad (4)$$

where m is any integer. Then $\hat{f}(r, \theta)$ can be expanded into Fourier series by letting $r = r_k$ (constant) as the followings

$$\hat{f}(r_k, \theta) = \sum_{m=-M}^M a_m^{(k)} e^{-jm\theta} \quad (5)$$

where

$$a_m^{(k)} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \hat{f}(r_k, \theta) e^{-jm\theta} d\theta, \quad (6)$$

and k is the number of radius of cartridge case images. Let $\hat{g}(r_k, \theta) = \hat{f}(r_k, \theta + \alpha)$ be the rotated cartridge case of $\hat{f}(r_k, \theta)$ by angle α around its origin. Then it can be seen that the Fourier coefficient $b_m^{(k)}$ of $\hat{g}(r_k, \theta)$ is given as

$$b_m^{(k)} = a_m^{(k)} e^{jm\alpha} \quad (7)$$

Thus the relation will be

$$u_m^{(k)} = \left| b_m^{(k)} \right| = \left| a_m^{(k)} \right| \quad (8)$$

From the Eq. (8) the absolute value of Fourier coefficients, $u_m^{(k)}$, of cartridge case on the circles with different radii are the rotation invariants. Then the feature vector, u_k representing the rotation invariant feature of cartridge case images is defined as

$$u_k^T = [u_0^{(k)}, \dots, u_M^{(k)}], (k = 1, \dots, K) \quad (9)$$

where u_k^T is the transposition of u_k .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวทช. รับผิดชอบการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

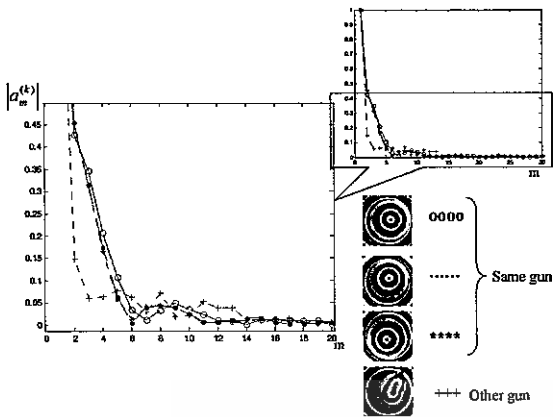


Figure 3: Fourier coefficients ($|a_m^{(k)}|$) obtained from the spent cartridge heads of the same and different guns rotated at different degrees.

Figure 3 shows the plot of absolute value of Fourier coefficients obtained from the cartridge case fired from the same and different gun rotated by different degrees. It indicates that the absolute value of Fourier coefficients obtained from the same gun are quite similar and different from the other gun. The effectiveness of using the Fourier coefficient of polar image to extract the rotation invariant feature were reported in our work[3]. Furthermore, the Fourier approximation is used to reduce the variation in the surface inside of the primer ring area by selecting a suitable number of Fourier coefficients. The effectiveness of using Fourier approximation to reduce such a variation is also reported in the mentioned[3]. Moreover, to reduce the variation cause by color of the primer(Fig.4), it is desirable to normalize the maximum of total sum of the gray level for each cartridge case image. Therefore u_0^k which is maximum value, is normalized as 1 in this case. Then the feature vector of cartridge case image is defined by the Fourier coefficients as the followings.

$$\hat{u}_k^T = [\hat{u}_0^{(k)}, \hat{u}_1^{(k)}, \dots, \hat{u}_M^{(k)}], (k=1, \dots, K) \quad (10)$$

$$\hat{u}_m^{(k)} = \frac{u_m^{(k)}}{u_0^{(max)}} \quad (11)$$

where $u_0^{(max)} = \max\{u_0^{(1)}, u_0^{(2)}, \dots, u_0^{(K)}\}$ and \hat{u}_k is also considered as the rotation invariant feature of the spent case of the particular gun.



Figure 4: Two of heads of the cartridge cases which have different primer colors, fired from the same gun.

3 FIR System Characterizing Rotation Invariant Feature of Cartridge Case Image

It is considered that a relation between the gray levels on the circle obtained from circle of cartridge case image with different radii is an important feature for firearm identification. In this section, the above relation can be described by the FIR system having the absolute value of the Fourier coefficients \hat{u}_k obtained from the preceding section on the circles with different radii as an input and output of the FIR system, respectively. The FIR system is defined by

$$\hat{u}_n^{(j)} = \sum_{m=0}^L h_m^{(j,k)} u_{n-m}^{(k)}, (n=0,1,\dots,M) \quad (12)$$

where $h_m^{(j,k)}$ is the impulse response and $u_n^{(k)}, \hat{u}_n^{(j)}$ are the absolute value of the Fourier coefficients on circles with different radii used as the input and output of the FIR system, respectively. The impulse response $h_m^{(j,k)}$ can be obtained by minimizing the least-square error as

$$E = \sum_{n=0}^M (u_n^{(j)} - \sum_{m=0}^L h_m^{(j,k)} u_{n-m}^{(k)})^2 \rightarrow \min \quad (13)$$

The impulse response $h_{j,k}^T = [h_1^{(j,k)}, h_2^{(j,k)}, \dots, h_L^{(j,k)}]$ is used as the feature parameter vector for firearm identification. $h_{j,k}^T$ is the transposition of $h_{j,k}$.

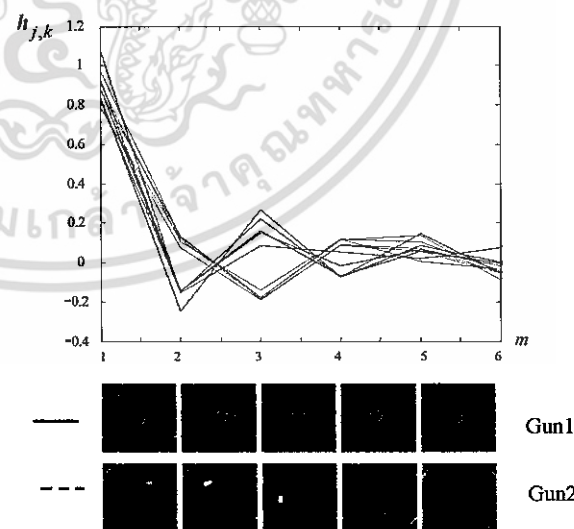


Figure 5: The impulse response $h_{j,k}$ obtained from the cartridge case fired from the same, and different gun rotated at different degrees.

Figure 5 shows the feature parameter vector $h_{j,k}$ obtained from the cartridge case fired from the same, and different gun rotated by different degrees. It can be seen from Fig.5 that the $h_{j,k}$ obtained from the same gun are quite similar but different from those obtained from different gun. Therefore it can be considered that the $h_{j,k}$ is the unique feature of the individual gun.

4 Firearm Identification

The feature vector $h_{j,k}$ obtained from the preceding section is used for firearm identification. The Fisher's linear discriminant function is well known method for class discriminatory and dimensionality reduction[4]. To identify the gun, the Fisher's linear discriminant function is used as follows:

(1) Combine the vector \hat{u}_k for a particular bullet as

$$\mathbf{v}^T = [v_1, v_2, \dots, v_K] = [\hat{u}_1^T, \hat{u}_2^T, \dots, \hat{u}_K^T] \quad (14)$$

where \mathbf{v}^T is a feature vector for the particular gun used for Fisher's linear discriminant.

(2) Calculate within-class scatter matrix S_w as

$$S_w = \sum_{i=1}^C S_i \quad (15)$$

$$S_i = \sum_{v \in \omega_i} (v - \mu_i)(v - \mu_i)^T, (i=1, 2, \dots, C) \quad (16)$$

$$\mu_i = \frac{1}{N_i} \sum_{v \in \omega_i} v \quad (17)$$

where C is total number of class and N_i is total number of training data for the particular gun in the class ω_i .

(3) Calculate between-class scatter matrix S_B as

$$S_B = \sum_{i=1}^C N_i (\mu_i - \bar{\mu})(\mu_i - \bar{\mu})^T \quad (18)$$

$$\bar{\mu} = \frac{1}{N} \sum_{v \in \omega} v \quad (19)$$

(4) Calculate eigenvector and eigenvalue as

$$S_w^{-1} S_B w_i = \lambda_i w_i \quad (20)$$

(5) Define matrix U

$$U = [w_1^T, w_2^T, \dots, w_N^T], (\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_N) \quad (21)$$

where $N < K$

(6) Compute projection vector c

$$c = Uv \quad (22)$$

where $c = [c_1, c_2, \dots, c_N]^T$ is used for firearm identification.

(7) Then an unknown cartridge case x is assigned to a class

$$\omega_l \in \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_C\} \quad (23)$$

if $S_{\min}(\omega_l, x) = \min_l \{S(\omega_l, x)\}, l=1, 2, \dots, C$

where $S_{\min}(\omega_l, x)$ is the minimum Euclidean distance between the projection vector c obtained from an unknown gun x and that obtained from the reference pattern of known gun class ω_l .

5 Experiments

Firearm identification experiments were performed on database consisting of 270 fired cartridge cases collected from 9 pistols of the same calibre(9mm). Some of the cartridge head images used in the experiments are shown in Fig 6. In addition, the plot of Euclidean distance obtained from the same gun(some particular guns) and different guns(other guns) are also illustrated in Fig. 7. It indicates that the Euclidean distance obtained from the same guns are less than those obtained from the other guns.

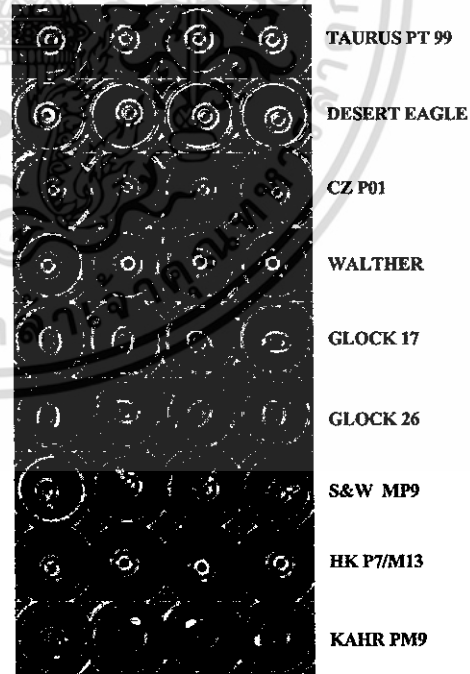


Figure 6: Cartridge case images obtained from the 9 pistols of the same calibre(9mm).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6 Conclusion

We proposed firearm identification method based on FIR system characterizing rotation invariant feature of cartridge case image. The rotation invariant feature of cartridge case image was represented by the absolute value of Fourier coefficients of polar image of cartridge case on circles with different radii. Moreover in order to extract the unique feature of the particular gun from the cartridge case image, the FIR system characterizing the rotation invariant feature of cartridge case image was introduced. The obtained impulse response of the FIR system having the absolute value of Fourier coefficients obtained from the polar image of cartridge case on circles with different radii as the input and output of the system was used as the unique feature of the cartridge case image for the particular gun. Finally, firearm can be identified by using Fisher's linear discriminant function. It was found from the experimental results that the proposed method is effective for firearm identification.

7 Acknowledgements

We wish to thank to the staff of Scientific Crime Detection Division, Royal Thai Police for many of kind suggestions and the Hitachi Scholarship Foundation for the warmest support. Also our special thank go to Asst. Prof. Dr.Thienchai Suwanvesh, and GUNS & GAMES magazine(Thailand) for their helpful discussions and collecting cartridge case samples.

References

- [1] Le-pingXin, Jie Zhou and GangRong, "A cartridge identification system for firearm authentication", pp.10405-1408, ICSP2000, 2000.
- [2] Dongguang Li, "A new approach for firearm identification with hierarchical neural networks based on cartridge case image", pp. 923-928, ICCI'06, 2006.
- [3] P.Thumwarin, C.Prasit and T.Matsuura,"FIR Coin Recognition System Characterizing A Rotation Invariance Feature of Coin Image", International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology, pp.250-253, 2007.
- [4] Jian Yang; Frangi, A.F.; Jing-Yu Yang; David Zhang; Zhong Jin, "KPCA plus LDA: a complete kernel Fisher discriminant framework for feature extraction and recognition", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp. 230 – 244, 2005.

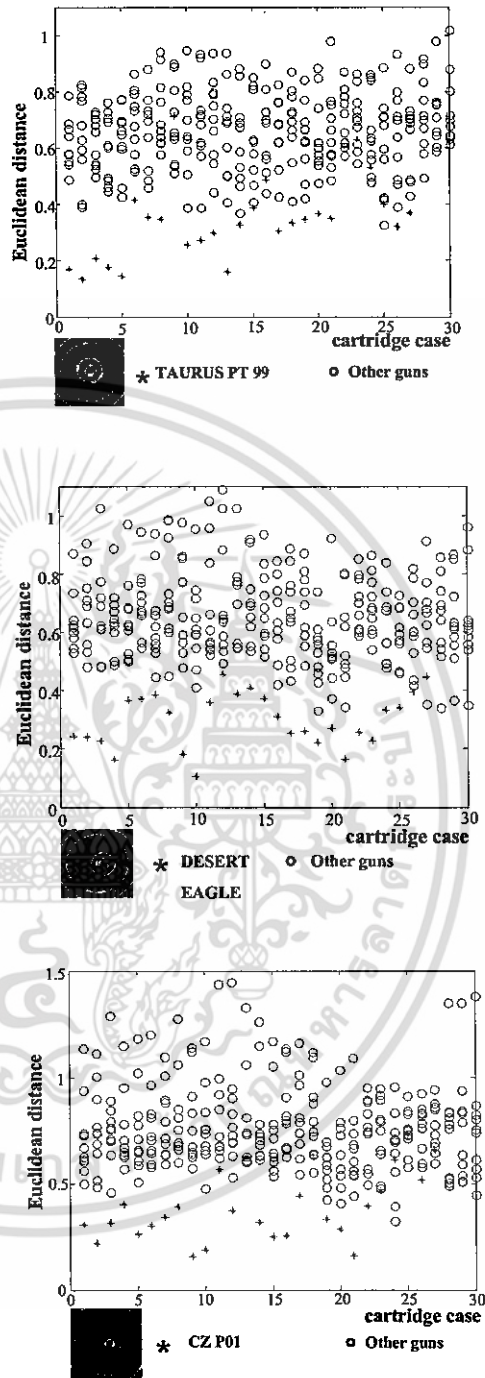


Figure 7: Euclidean distance obtained from the same and different guns.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

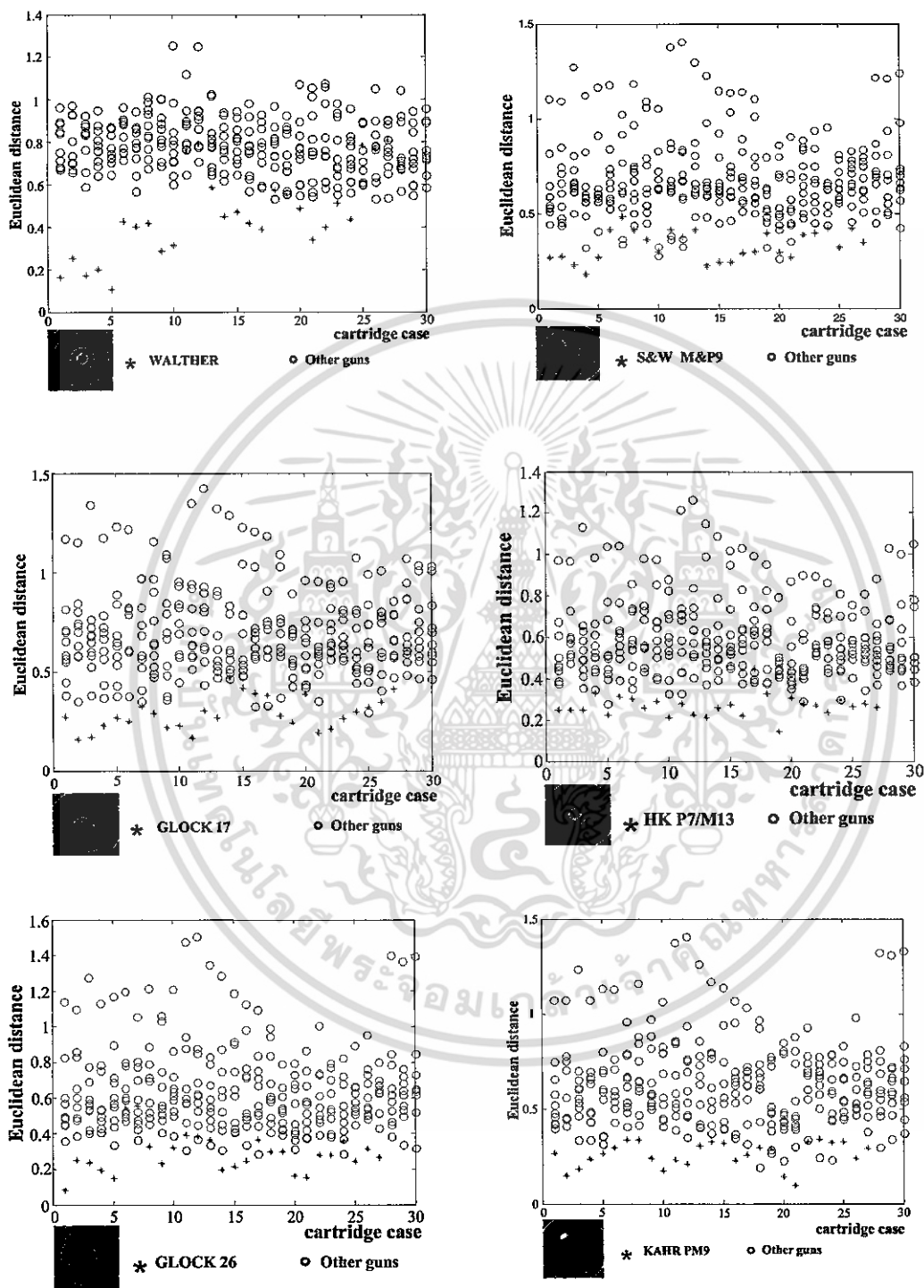


Figure 7: Euclidean distance obtained from the same and different guns(Continued).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASIA SIMULATION CONFERENCE 2009

JSST 2009

October 7-9, 2009

Ritsumeikan University, Shiga, Japan



Call For Papers

The Japan Society for Simulation Technology (JSST), the registered society recognized by the Science Council of Japan, has been actively contributing jointly with Chinese Association of System Simulation (CASS), Korea Society for Simulation (KSS), Federation of European Simulation Societies (EUROSIM), International Association of Mathematics and Computer in Simulation (IMACS), The Modeling and Simulation Society of Australia and New Zealand (MSSANZ) and The Society for Modeling and Simulation International (SCS) to the progresses in simulation and modeling technologies by providing researchers and practitioners with opportunities to share ideas and experiences, since the first Asia Simulation Conference (BICSC'99), Beijing in 1999. As a part of these activities, Asia Simulation Conference 2009 (JSST 2009) will be held to explore challenges in methodologies for modeling, control and computation in simulation and their applications in various fields including social, economic and financial as well as already established scientific and engineering solutions. It includes keynote speeches presented by technology and industry leaders, technical sessions, student poster sessions, as well as vendor exhibits. The conference actively encourages scientists, engineers, managers, educators, students and business professionals who develop and/or use simulation to submit papers and proposals for organized sessions.

ORGANIZATIONS:

HONORARY CHAIR

G. Yagawa (former President of JSST)

GENERAL CHAIR

D. Ono (President of JSST)

STEERING COMMITTEE

Chair: S.Tanaka (JSST, Ritsumeikan U.)

M. Makino (JSST, Chuo U.)

Vice-Chair: H. Hasegawa (JSST, Shibaura Institute of Technology),

K.Hasegawa (Japan Science and Technology Agency)

LOCAL ORGANIZING

COMMITTEE

Chair: K. Hasegawa (JST)

Vice-Chair: S. Nakata (Ritsumeikan U.), A. Saitoh (U. Hyogo), S. Tanaka (JSST, Ritsumeikan U.)

PROGRAM COMMITTEE

Chair: K. Koyamada (JSST, Kyoto U.)

Vice-Chair: N. Sakamoto (Kyoto U.)

PUBLICATION COMMITTEE

Chair: J.Imae (JSST, Osaka Prefecture U.)

Vice-Chair: W. Kozukue (JSST, Kanagawa Institute of Technology),

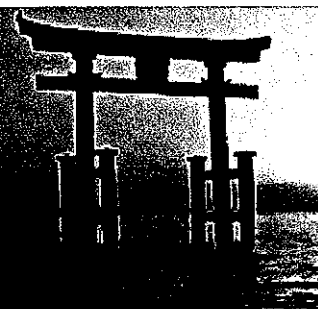
A. Kimura (Ashikaga Institute of Technology)

IMPORTANT DATES: (DEADLINE EXTENDED)

March 15, 2009	Submission of proposals for organized sessions
May 31, 2009	Submission of an extended abstract (A4, 2-page abstract : PDF) (Abstract-submission page : https://emr.research.microsoft.com/JSST2009/Default.aspx)
May 15, 2009	Notification of acceptance
July 10, 2009	
July 15, 2009	Submission of the full text of the paper (A4, 8-page full paper : PDF)
August 20, 2009	

KEYNOTE SPEECH:

- **Tadashi Watanabe** (Project Leader, Next-Generation Supercomputer R&D Center, RIKEN)
"The Next-Generation Supercomputer Project and Technical Issues for Peta-Scale Computing"
- **Hiroshi Okubo** (Department of Aerospace Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University)
"Micro-Satellite "Maido-1 (SOHLA-1)": Lessons Learned in Design, Development and Operation"
- **Marzuki Khalid** (Deputy Vice (Research and Innovation), Universiti Teknologi Malaysia)
"Virtual Laboratory as Effective E-Learning Teaching Aids in Control Systems"
- **Makoto Asai** (SLAC National Accelerator Laboratory)
"A Simulation Toolkit for Elementary Particles and Nuclei : Geant4 – Overview and Its Applications"
- **Takashi Sasaki** (Professor of KEK and SOKENDAI)
"A Simulation Toolkit for Elementary Particles and Nuclei : Toward evidence based medicine: Simulation of Radiation Therapy"
- **Shinichi Hirai** (Department of Robotics, Ritsumeikan University)
"Simulation of Deformation in Robotics"
- **Qidi WU** (School of Electronics and Information technology, School of Economics and Management, Tongji University)
"The status quo and future of Industrial Process Simulation in China"
- **Axel Lehmann** (Universitaet der Bundeswehr Muenchen)
"An Architecture of a Model-Management-System"



TOPICS :

suggested topics include but are not limited to "Artificial Intelligence", "Brain Science", "Computational Engineering", "Evolutionary Computation", "Financial Engineering", "Fluidics; Fuzzy Control", "Genetic Algorithms", "Innovative Computations", "Management Simulation", "Micro Machines", "Mobile Vehicle", "Monte Carlo Simulation", "Neural Networks", "Neurocomputers", "Numerical Simulation", "Risk Handling", "Robotics", "Virtual Reality", "Visualization", "Other Related Fields".

PROCEEDINGS:

Electronic proceedings (CD-ROM) are delivered during the conference. Post-proceedings as a special volume of an academic journal are in plan. For selected papers, the conference makes official recommendation to be re-submitted to one of the following journals:

- 1) International Journal of Modeling, Scientific Computing, and Simulation [IJMSCS] (World Scientific),
- 2) Journal of Visualization [JOV] (The Visualization Society of Japan),
- 3) Transaction of the Japan Society for Simulation Technology [TJSST] (Japan Society for Simulation Technology).

SPONSOR:

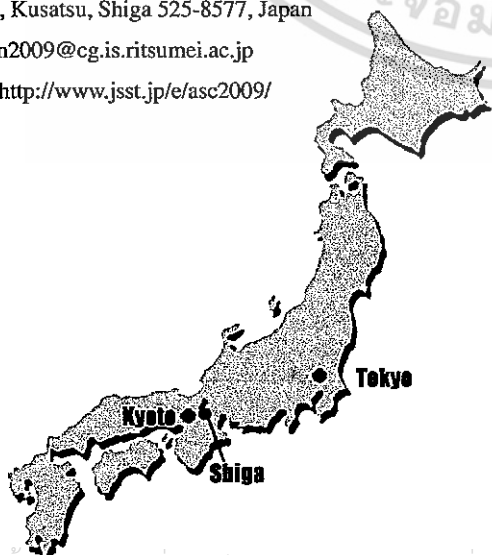
Japan Society for Simulation Technology (JSST)

CO-SPONSORS:

- Chinese Association of System Simulation (CASS)
 - Korea Society for Simulation (KSS)
 - The Institute of Image Information and Television Engineers
 - Society for Art and Science
 - The Behaviormetric Society of Japan
 - The Institute of Image Electronics Engineers of Japan
 - The Remote Sensing Society of Japan
 - The Japan Fluid Power System Society
 - The Institute of Electrical Engineers of Japan
 - The Magnetics Society of Japan
 - The Society of Materials Science, Japan
 - The Operations Research Society of Japan
 - The Japan Society of Mechanical Engineers
 - Society of Biomechanisms Japan
 - Reliability Engineering Association of Japan
 - The Japan Society for Industrial and Applied Mathematics
 - The Virtual Reality Society of Japan
 - Architectural Institute of Japan
 - The Japan Institute of Power Electronics
 - The Society of Instrument and Control Engineers
 - Japan Society of Traffic Engineers
 - Atomic Energy Society of Japan
 - Information Processing Society of Japan
 - Ritsumeikan University, College of Information Science & Engineerin
- (To be added.)

CONTACT ADDRESS:

Satoshi Tanaka
 Ritsumeikan University, College of Information Science and Engineering
 1-1-1 Nojihigashi, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan
 E-MAIL : asiasim2009@cg.is.ritsumeai.ac.jp
 HOME PAGE : <http://www.jsst.jp/e/asc2009/>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIR Firearm Identification System

P. Thumwarin¹, C. Prasil¹, T. Suwanvesh¹, and T.Matsuura²,
¹Faculty of Engineering,

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520 Thailand,
²Department of Electrical and Electronics Engineering, Tokai University, 259-1292, Japan
 Email: ktpitak@kmitl.ac.th, matsuura@tokai.ac.jp

Abstract— We propose a FIR(Finite impulse response) firearm identification system. The firearm can be identified by using the impulse response of the FIR system characterizing the rotation invariant feature of the cartridge case image. In this case, the rotation invariant feature can be extracted by the magnitude of Fourier coefficients of polar image of the cartridge. Then the obtained Fourier coefficients are used as the input and the output of the FIR system. The impulse response of the FIR system is used as the unique feature for firearm identification. Finally, the firearm can be identified by the Fisher's linear discriminant function. The experimental results are taken to show the effectiveness of the proposed method.

Keywords— Firearm identification, cartridge case, Rotation invariant, Fourier series

1 Introduction

It has been already known that there are not any two firearms producing the same unique marks on the cartridge cases even though they are of the same maker and model. In addition, such those marks by the first shot and the several hundred shots subsequently fired from the same gun are still similar. In forensic science, therefore, it is feasible to use such a mark on the cartridge found in the scene of the occurrence to identify the criminal gun. Visual examination by the expert using high quality microscope is popular method to verify the cartridge cases. However, the amount of the fired cartridges brought from the events of many cases could be very large. Consequently, the determining process is time-consuming. In addition, some errors possibly occur during the execution. In order to overcome the a fore-mentioned problems of the automatic system for firearm identification is indispensable. Firearm identification methods have been reported in [1][2][5]. However, the limitation of method in the work[1] is that the mark of firing pin is nearly like only a small circle(circular pin mark). And, the main focus in the work[2] was emphasized solely on the rim-fire pin mark identification.

The author proposed the firearm identification method in the work[5]. In the method, the polar image of the head of cartridge case was used to extract the rotation invariant feature of the cartridge case images. However in the work[5], the method to reduce the variation of the center point of cartridge case images, which is the important information to calculate the polar image, were not taken into account. In this paper, not only the center-fire cartridge identification and the variation of firing pin marks such as circular pin mark, square pin mark, are investigated but also the variation of the center point of the cartridge case images are taken into account. Finally, the FIR firearm identification system is realized by using the magnitude of the Fourier coefficients of the polar image on circles with different radii as the input and the output of the FIR system, respectively. The obtained impulse response is used as the unique feature for firearm identification.

2 Feature Extraction

The cartridge case images with 256 gray levels were taken by using digital camera under the identical condition of light and position. In this paper, the firing pin marks and breech face impressions within the primer ring area on the head of cartridge case are used to extract the individual feature of the particular gun. Example of the cartridge image is shown in Fig. 1.

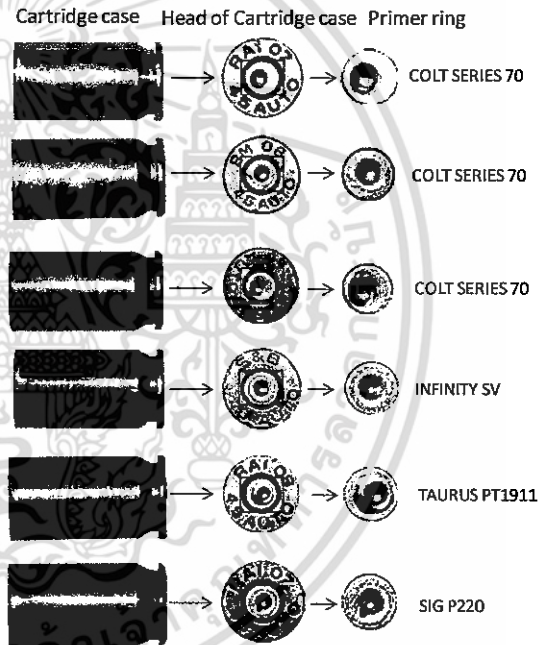


Figure 1: The pin marks of the cartridge cases.

Then the cartridge case image is represented by 2D continuous function in Cartesian coordinates as

$$f(x, y) = \sum_{n=0}^Q \sum_{m=0}^Q F(n, m) \phi(x - n, y - m) \quad (1)$$

Where

$$\phi(x, y) = \frac{\sin \pi x}{\pi x} \cdot \frac{\sin \pi y}{\pi y} \quad (2)$$

and Q is an integer related to the image size. $F(n, m)$ is gray level at a pixel (n, m) . In order to transform the cartridge case image to polar image, the center point of the cartridge case image should be fixed from the image. The center point should satisfy the following equation

$$\left(C - \frac{1}{2}(x_{i+1} + x_i)\right)^T (x_{i+1} - x_i) = 0 \quad (3)$$

In this paper, the center point of the cartridge case image is calculated in the least square sense as follows:

$$\|b - Ac\|^2 \rightarrow \min \quad (4)$$

where the vector C represents a center point of the circle and vector x_i represents sample point on a circle with the same radius obtained from the rim of the head of cartridge case images as:

$$c = (c_x, c_y)^T, x_i = (x_i, y_i)^T, x_{i+1} = (x_{i+1}, y_{i+1})^T \quad (5)$$

$(i = 1, 2, \dots, M)$

$(\cdot)^T$ means transposition. Therefore the optimal center point C can be given as

$$c = \frac{1}{2}(A^T A)^{-1} A^T b \quad (6)$$

Where

$$A = \begin{bmatrix} (x_2 - x_1)^T \\ (x_3 - x_2)^T \\ \vdots \\ (x_M - x_{M-1})^T \end{bmatrix}$$

$$b = \frac{1}{2}(b_1, b_2, \dots, b_{M-1})^T, b_i = \|x_{i+1}\|^2 - \|x_i\|^2$$

The obtained center point C is used to determine the polar image of the cartridge case image. Fig.2 shows the example of the obtained center point C .

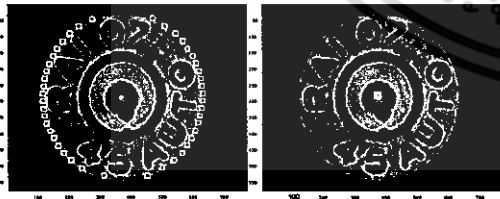


Figure 2: The obtained center point C

In order to calculate the polar image of the cartridge case image, the following function is defined by letting $x = r \cos \theta, y = r \sin \theta$ in (1) as

$$\hat{f}(r, \theta) = f(r \cos \theta, r \sin \theta) \quad (7)$$

where $0 \leq r \leq R, 0 \leq \theta \leq 2\pi$, and $\hat{f}(r, \theta)$ is defined as a function inside the circle with radius R . An example of the polar image of cartridge case is shown in Fig.3

For firearm identification, in case of the firearms of the same calibers, it is indicated that the shape of their firing pin marks and breech face imprints are the most important features to identify the firearm. However, the firing pin mark image and the breech face impressions can be rotated at any random numbers of degrees.

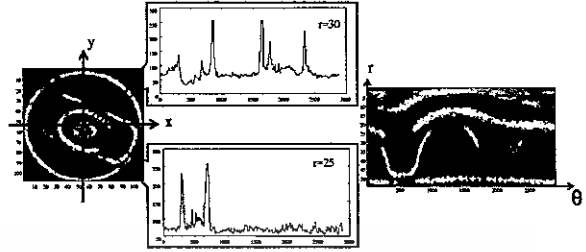


Figure 3: Polar image of a cartridge case on circles with different radii from the primer dent of the spent case head.

In order to extract the rotation invariant feature of those features, it is presumably inferred here that, without the loss of generality, $\hat{f}(r, \theta)$ can be expressed by a periodic function of θ as

$$\hat{f}(r, \theta) = f(r, \theta + 2m\pi) \quad (8)$$

where m is any integer. Then $\hat{f}(r, \theta)$ can be expanded into Fourier series by letting $r = r_k$ (constant) as the followings

$$\hat{f}(r_k, \theta) = \sum_{m=-M}^M a_m^{(k)} e^{-jm\theta} \quad (9)$$

where

$$a_m^{(k)} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \hat{f}(r_k, \theta) e^{-jm\theta} d\theta \quad (10)$$

and k is the number of radius of cartridge case images. Let $\hat{g}(r_k, \theta) = \hat{f}(r_k, \theta + \alpha)$ be the rotated cartridge case of $\hat{f}(r_k, \theta)$ by angle α around its origin. Then it can be seen that the Fourier coefficient $b_m^{(k)}$ of $\hat{g}(r_k, \theta)$ is given as

$$b_m^{(k)} = a_m^{(k)} e^{jm\alpha} \quad (11)$$

Thus the relation will be

$$u_m^{(k)} = \left| b_m^{(k)} \right| = \left| a_m^{(k)} \right| \quad (12)$$

From the Eq. (8) the absolute value of Fourier coefficients, $u_m^{(k)}$, of the cartridge case on the circles with different radii are the rotation invariants. Then the feature vector, u_k representing the rotation invariant feature of cartridge case images is defined as

$$u_k^T = [u_0^{(k)}, \dots, u_M^{(k)}], (k = 1, \dots, K) \quad (13)$$

where u_k^T is the transposition of u_k .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

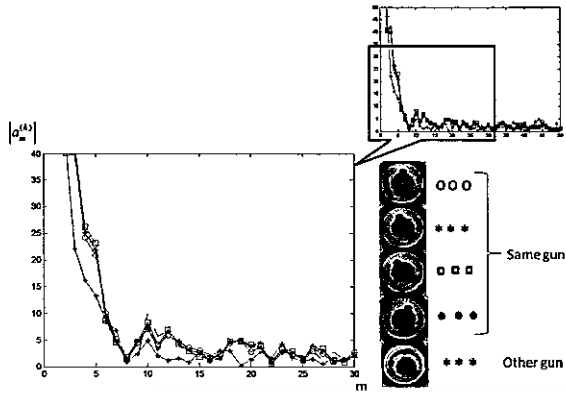


Figure 4: Fourier coefficients ($|a_m^{(k)}|$) obtained from the spent cartridge heads of the same and different guns rotated at different degrees.

Figure 4 shows the plot of absolute value of Fourier coefficients obtained from the cartridge cases fired from the same and different guns rotated by different degrees. It indicates that the absolute value of Fourier coefficients obtained from the same gun are quite similar and different from the other gun. The effectiveness of using the Fourier coefficient of polar image to extract the rotation invariant feature were reported in our work[3]. Furthermore, the Fourier approximation is used to reduce the variation in the surface inside of the primer ring area by selecting an appropriate number of Fourier coefficients.

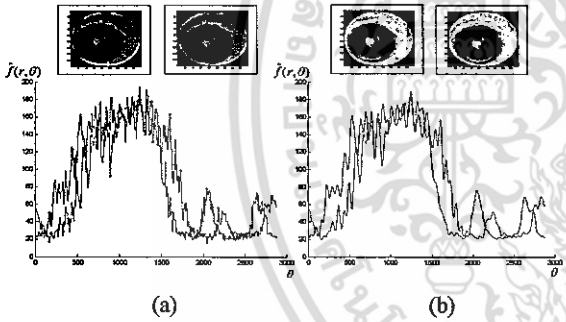


Figure 5: (a). Original Cartridge case image . (b). Fourier approximation of Cartridge case in image (a)(M=50)

The effectiveness of using Fourier approximation to reduce such a variation is also reported in the mentioned [3]. Moreover, to reduce the variation caused by color of the primer (Fig.6), it is desirable to normalize the maximum of total sum of the gray level for each cartridge case image. Therefore u_0^k which is maximum value, is normalized as 1 in this case. Then the feature vector of cartridge case image is defined by the Fourier coefficients as the followings.

$$\hat{u}_k^T = [\hat{u}_0^{(k)}, \hat{u}_1^{(k)}, \dots, \hat{u}_M^{(k)}], (k=1, \dots, K) \quad (14)$$

$$\hat{u}_m^{(k)} = \frac{u_m^{(k)}}{u_0^{(\max)}} \quad (15)$$

where $u_0^{(\max)} = \max\{u_0^{(1)}, u_0^{(2)}, \dots, u_0^{(K)}\}$ and \hat{u}_k is also considered as the rotation invariant feature of the spent case of the particular gun.

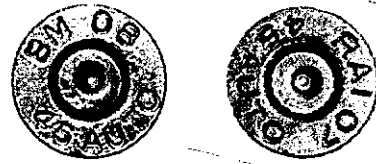


Figure 6: Two of heads of the cartridge cases which have different primer colors, fired from the same gun.

3 FIR System Characterizing Rotation Invariant Feature of Cartridge Case Image

It is noted that a relation between the gray levels on the circle obtained from circle of cartridge case image with different radii is an important feature for firearm identification. In this section, the above relation can be described by the FIR system having the absolute value of the Fourier coefficients \hat{u}_k obtained from the preceding section on the circles with different radii as an input and output of the FIR system, respectively. The FIR system is defined by

$$\hat{u}_n^{(j)} = \sum_{m=0}^L h_m^{(j,k)} u_{n-m}^{(k)}, (n=0, 1, \dots, M) \quad (16)$$

where $h_m^{(j,k)}$ is the impulse response and $u_n^{(k)}, \hat{u}_n^{(j)}$ are the absolute value of the Fourier coefficients on circles with different radii used as the input and output of the FIR system, respectively. The impulse response $h_m^{(j,k)}$ can be obtained by minimizing the least-square error as

$$E = \sum_{n=0}^M (u_n^{(j)} - \sum_{m=0}^L h_m^{(j,k)} u_{n-m}^{(k)})^2 \rightarrow \min \quad (17)$$

The impulse response $\mathbf{h}_{j,k}^T = [h_1^{(j,k)}, h_2^{(j,k)}, \dots, h_L^{(j,k)}]$ is used as the feature parameter vector for firearm identification. $\mathbf{h}_{j,k}^T$ is the transposition of $\mathbf{h}_{j,k}$.

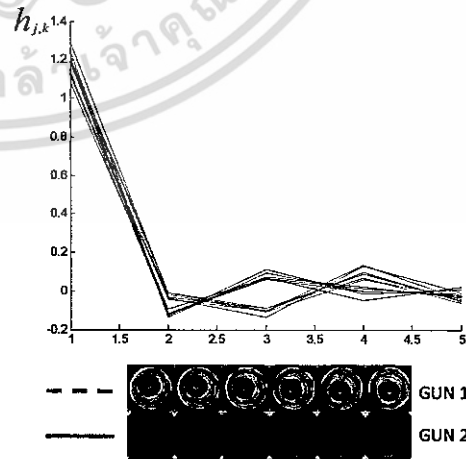


Figure 7: The impulse responses, $\mathbf{h}_{j,k}$ obtained from the cartridge cases fired from the same, and the different gun rotated at different degrees.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 7 shows the feature parameter vector, $h_{j,k}$ obtained from the cartridge cases fired from the same, and different gun rotated by different degrees. It can be seen from Fig.5 that the $h_{j,k}$ obtained from the same gun are quite similar but different from those obtained from the different gun. Therefore it can be considered that the $h_{j,k}$ is the unique feature of the individual gun.

4 Firearm Identification

The feature vector $h_{j,k}$ obtained from the preceding section is used for firearm identification. The Fisher's linear discriminant function is well known method for class discriminatory and dimensionality reduction[4]. To identify the gun, the Fisher's linear discriminant function is used as follows:

- (1). Combine the vector \hat{u}_k for a particular bullet as

$$\mathbf{v}^T = [v_1, v_2, \dots, v_K] = [\hat{u}_1^T, \hat{u}_2^T, \dots, \hat{u}_K^T] \quad (18)$$

where \mathbf{v}^T is a feature vector for the particular gun used for Fisher's linear discriminant.

- (2). Calculate within-class scatter matrix S_W as

$$S_W = \sum_{i=1}^C S_i \quad (19)$$

$$S_i = \sum_{\mathbf{v} \in \omega_i} (\mathbf{v} - \mu_i)(\mathbf{v} - \mu_i)^T, (i = 1, 2, \dots, C) \quad (20)$$

$$\mu_i = \frac{1}{N_i} \sum_{\mathbf{v} \in \omega_i} \mathbf{v} \quad (21)$$

where C is total number of class, and N_i is total number of training data for the particular gun in the class ω_i .

- (3). Calculate between-class scatter matrix S_B as

$$S_B = \sum_{i=1}^C N_i (\mu_i - \bar{\mu})(\mu_i - \bar{\mu})^T \quad (22)$$

$$\bar{\mu} = \frac{1}{N} \sum_{\mathbf{v}} \mathbf{v} \quad (23)$$

- (4). Calculate eigenvector and eigenvalue as

$$S_W^{-1} S_B \mathbf{w}_i = \lambda_i \mathbf{w}_i \quad (24)$$

- (5). Define matrix U

$$U = [\mathbf{w}_1^T, \mathbf{w}_2^T, \dots, \mathbf{w}_N^T], (\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_N) \quad (25)$$

where $\tilde{N} < \tilde{K}$

- (6). Compute projection vector c

$$c = U\mathbf{v} \quad (26)$$

where $c = [c_1, c_2, \dots, c_{\tilde{N}}]^T$ is used for firearm identification.

- (7). Then an unknown cartridge case x is assigned to a class

$$\omega_i \in \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_C\} \quad (27)$$

if $S_{\min}(\omega_i, x) = \min\{S(\omega_i, x)\}, i = 1, 2, \dots, C$

where $S_{\min}(\omega_i, x)$ is the minimum Euclidean distance between the projection vector c obtained from an unknown gun x and that obtained from the reference pattern of known gun class ω_i .

5 Experiments

Firearm identification experiments were performed on database consisting of 900 fired cartridge cases collected from 6 pistols of the same calibre(.45 ACP). Some of the cartridge head images used in the experiments are shown in Fig 8. In addition, the plot of Euclidean distance obtained from the same guns(some particular guns) and different guns(other guns) are also illustrated in Fig. 9. It indicates that the Euclidean distance obtained from the same guns are less than those obtained from the other guns.

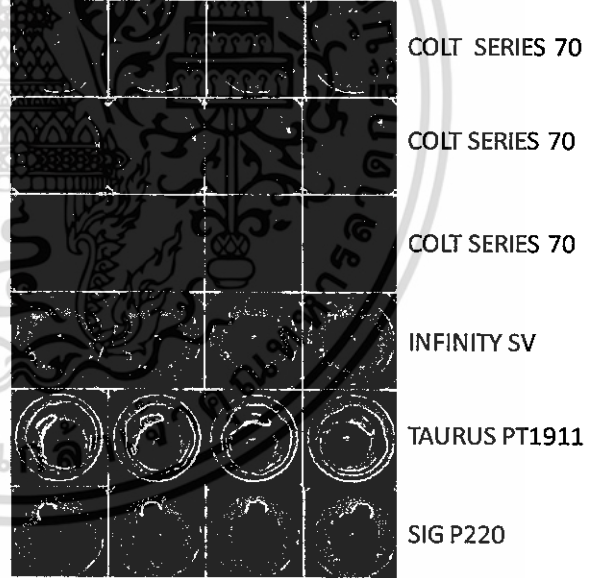


Figure 8: Cartridge case images obtained from the 6 pistols of the same caliber (.45 ACP).

6 Conclusion

The FIR firearm identification system was introduced. The shape of firing pin marks and breech face imprints on the head of cartridge case image were considered as the importance features for firearm identification. The unique feature for a particular gun was extracted by using the rotation invariant feature of the two above features. The rotation invariant feature of cartridge case images was determined by using the absolute value of Fourier coefficients of the polar image of cartridge case image on the circles with different radii. To calculate the polar

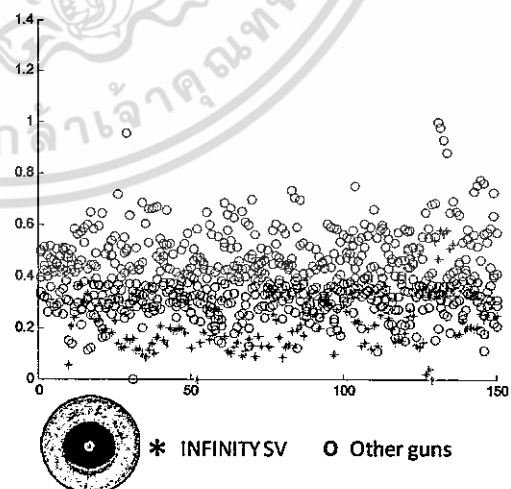
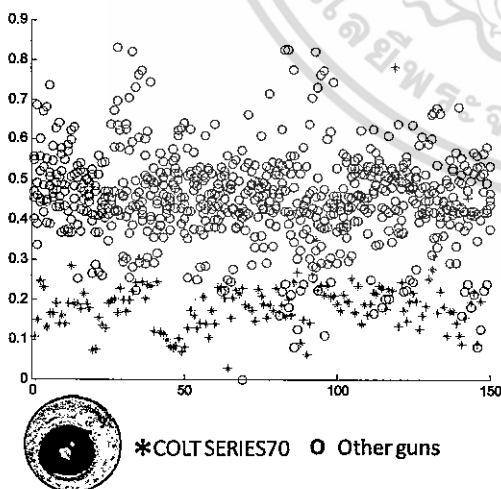
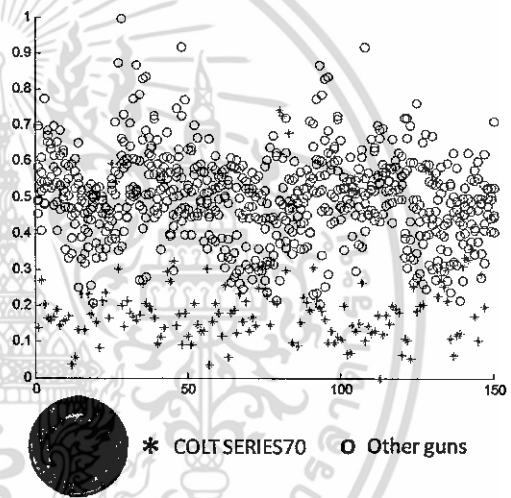
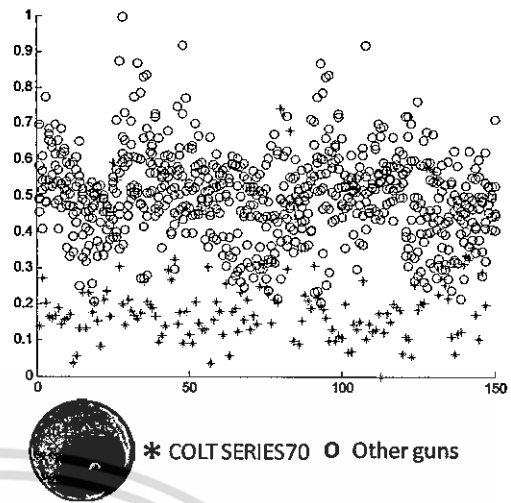
image, the center point of the head of cartridge case image is determined by using least square method. Then FIR firearm identification system was realized by using the absolute value of Fourier coefficients obtained from the polar image of cartridge case on circles with different radii as the input and output of the system, respectively. The obtained impulse response of the FIR system was used as the unique feature of the cartridge case image for the particular gun. Finally, firearm can be identified by using Fisher's linear discriminant function. It was found from the experimental results that the proposed method is effective for firearm identification.

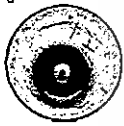
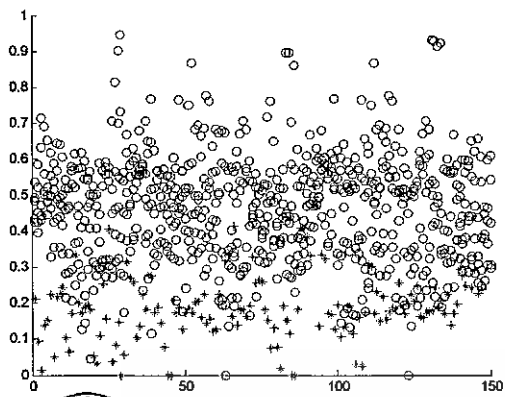
7 Acknowledgements

This research was in part supported by the Thailand Research Fund for research No. MRG-WIS25E135. The authors wish to thank to the staff of Scientific Crime Detection Division, Royal Thai Police for many of kind suggestions. Also our special thank go to W.J. Technology Co.,Ltd. and Mr.Suwit Greeprom, Director of GUNS & GAMES magazine(Thailand) for their helpful discussions and collecting cartridge case samples.

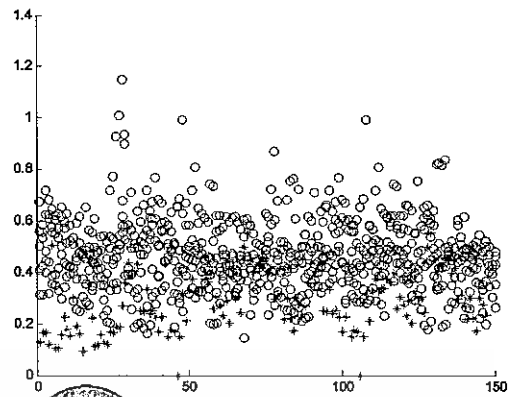
References

- Le-pingXin, Jie Zhou and GangRong, "A cartridge identification system for firearm authentication", pp.10405-1408, ICSP2000, 2000.
- Dongguang Li, "A new approach for firearm identification with hierarchical neural networks based on cartridge case image", pp. 923-928, ICCI'06, 2006.
- P.Thumwarin, C.Prasit and T.Matsuura,"FIR Coin Recognition System Characterizing A Rotation Invariance Feature of Coin Image", International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology, pp.250-253, 2007.
- Jian Yang; Frangi, A.F.; Jing-Yu Yang; David Zhang; Zhong Jin, "KPCA plus LDA: a complete kernel Fisher discriminant framework for feature extraction and recognition", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp. 230 - 244, 2005.
- P.Thumwarin, C.Prasit, P.boonbumroong, T.Matsuura,"Firearm Identification based on FIR System Characterizing Rotation Invariant Feature of Cartridge case ImageFIR", IVCNZ08, 2008.





* TAURUS PT1911 ○ Other guns



* SIG P220 ○ Other guns

Figure 9 Euclidean distance obtained from the same and different guns.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายชวลิต ประสิทธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 16 กันยายน พ.ศ.2517 ที่เขตลาดกระบัง อำเภอ
ลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรีอุตสาหกรรม
ศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2546
และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรม
สารสนเทศ ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2548 โดยในขณะที่เข้าทำการศึกษาอยู่ในระดับ
ปริญญาโทนั้น ได้ทำงานอยู่ในตำแหน่งช่างเทคนิค ที่คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยรับผิดชอบงานอาคารสถานที่และซ่อม
บำรุงของคณะอุตสาหกรรมเกษตร จนถึงปัจจุบัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้