



# รายงานฉบับสมบูรณ์

## Final Report

ระบบอัตโนมัติสำหรับการตรวจพินิจภาพโดยใช้คุณสมบัติที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุน

An automatic system for visual inspection based on rotation invariance feature

ดร. พิทักษ์	ธรรมวาริน
รศ. ดร.กนก	เจนจิระพงศ์เวช
รศ. ดร.ชวลิต	เบญจางคประเสริฐ
รศ. อรลภ	แสงอรุณ
รศ. ดร.อรรถสิทธิ์	เหล่าสกุล
รศ. ดร. ปิติเขต	สุรักษา
นางสาววันวิสา	ัชชวงษ์

ห้องปฏิบัติการวิจัย ระบบส่งสัญญาณ  
สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กันยายน พ.ศ. 2551

Signal Transmission System Laboratory

Research Center for Communications and Information Technology

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

September 2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ (Research Center for Communications and Information Technology: ReCCIT) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 วงเงินงบประมาณ 175,864 บาท



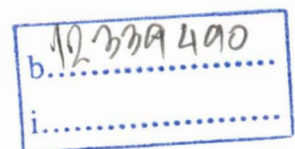
RCH

TL

152.8

๙๒๒๘

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **120182**  
วัน, เดือน, ปี **9 ก.พ. 2555**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทสรุปย่อ

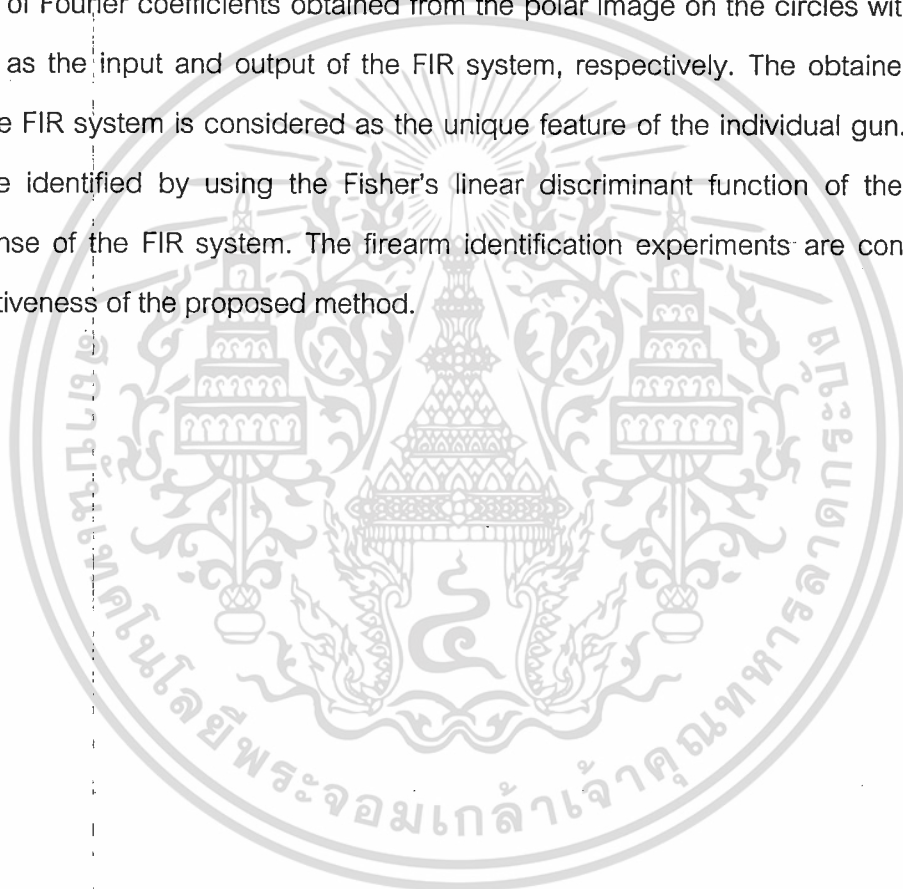
งานวิจัยนี้เป็นกรนำเสนอการพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับการตรวจพินิจภาพถ่ายปลอกกระสุนปืนเพื่อนำมาใช้ในการตรวจสอบยืนยันอาวุธปืนที่ใช้ในการก่ออาชญากรรมจากปลอกกระสุนปืนที่เก็บได้จากที่เกิดเหตุโดยใช้คุณสมบัติที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุน คุณสมบัติที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุน แสดงได้โดยค่าสมบรูณ์ของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของระดับสีเทาที่อยู่ในวงกลมที่ได้มาจากพิกัดเชิงขั้วในรัศมีที่แตกต่างกันของภาพถ่ายปลอกกระสุนปืน นอกจากนั้นเพื่อดีงคุณลักษณะสำคัญจากภาพถ่ายของปลอกกระสุนปืน จะนำค่าสมบรูณ์ของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของระดับสีเทาที่อยู่ในวงกลมที่ได้มาจากพิกัดเชิงขั้วในรัศมีที่แตกต่างกันมาเป็นอินพุตและเอาต์พุตของระบบผลตอบสนองอิมพัลส์จำนวนจำกัด(Finite-Impulse Response) สุดท้ายสามารถตรวจสอบอาวุธปืนได้โดยใช้ฟังก์ชันการแบ่งแยกแบบเชิงเส้นของ Fisher



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Abstract

We propose an automatic system for firearm identification 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.



## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ .....	I
บทสรุปย่อ .....	II
Abstract .....	III
บทที่ 1 บทนำ (Introduction) .....	1
บทที่ 2 การดึงคุณสมบัติที่สำคัญ (Feature Extraction)	3
บทที่ 3 ระบบผลตอบสนองอิมพัลส์จำนวนจำกัดที่แสดงคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุน..... ของปลอกกระสุนปืน (FIR System Characterizing Rotation Invariant Feature of Cartridge Case Image)	8
บทที่ 4 การตรวจสอบอาวุธปืน (Firearm Identification) .....	10
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง (Experiments) .....	12
บทที่ 6 บทสรุป (Conclusion) .....	18
บทที่ 7 เอกสารอ้างอิง (References) .....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LESSON 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้งานทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LESSON 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.

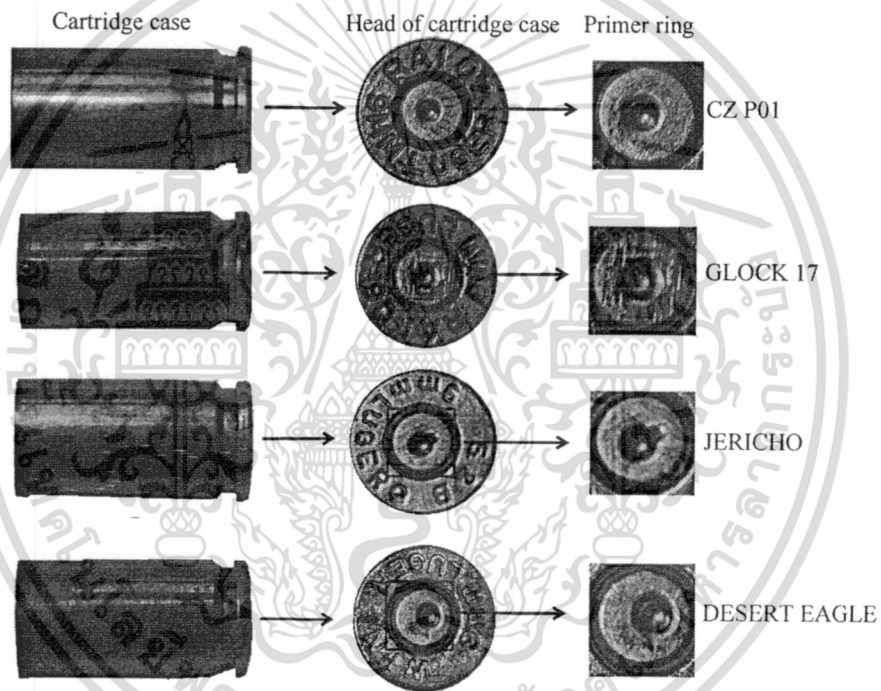


Figure 1: The mark of the cartridge cases fired by pistol of different makes.

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

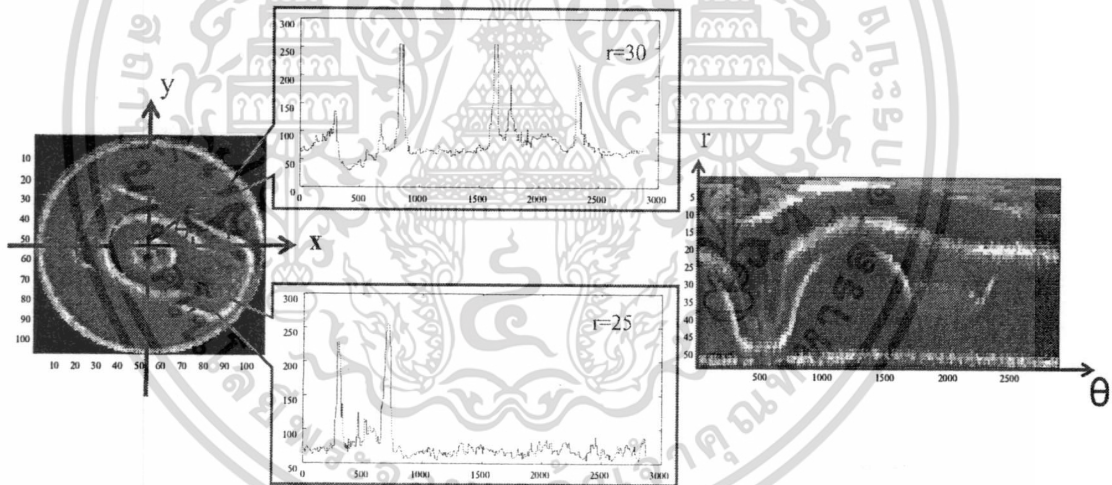


Figure 2: Polar image of cartridge case on circles with different radii from the primer dent of a spent case head.

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  $\theta$  as

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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  $\alpha$  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

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

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  $u_k$ .

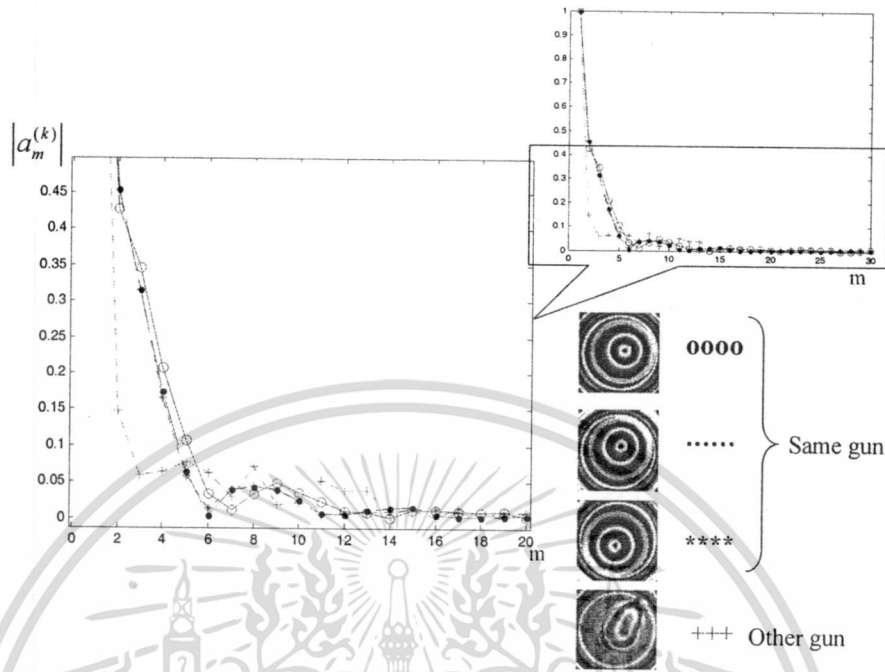


Figure 3: Fourier coefficients ( $|a_m^{(k)}|$ ) obtained from the spent cartridge heads of the same and different guns rotated at different degrees.

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 was 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

Where  $u_0^{(\max)} = \max\{u_0^{(1)}, u_0^{(2)}, \dots, u_0^{(K)}\}$  and  $\hat{\mathbf{u}}_k$  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.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LESSON 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

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

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

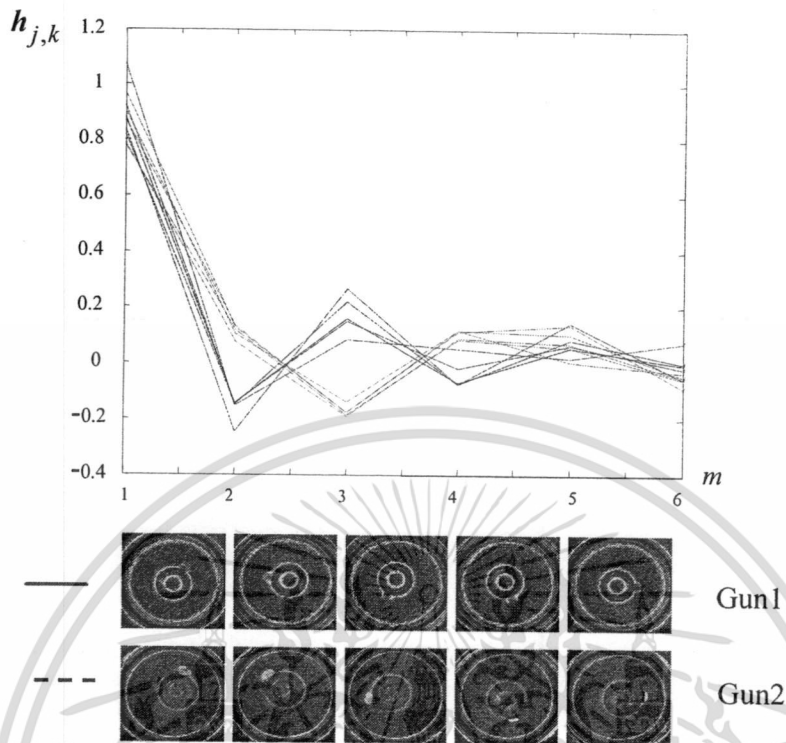


Figure 5: The impulse response  $h_{j,k}$  obtained from the cartridge case fired from the same, and different gun rotated at different degrees.

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.

## LESSON 4

### Firearm Identification

The feature vector  $\mathbf{h}_{j,k}$  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  $\hat{\mathbf{u}}_k$  for a particular bullet as

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

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

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

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

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

(6) Compute projection vector  $c$

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

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LESSON 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.

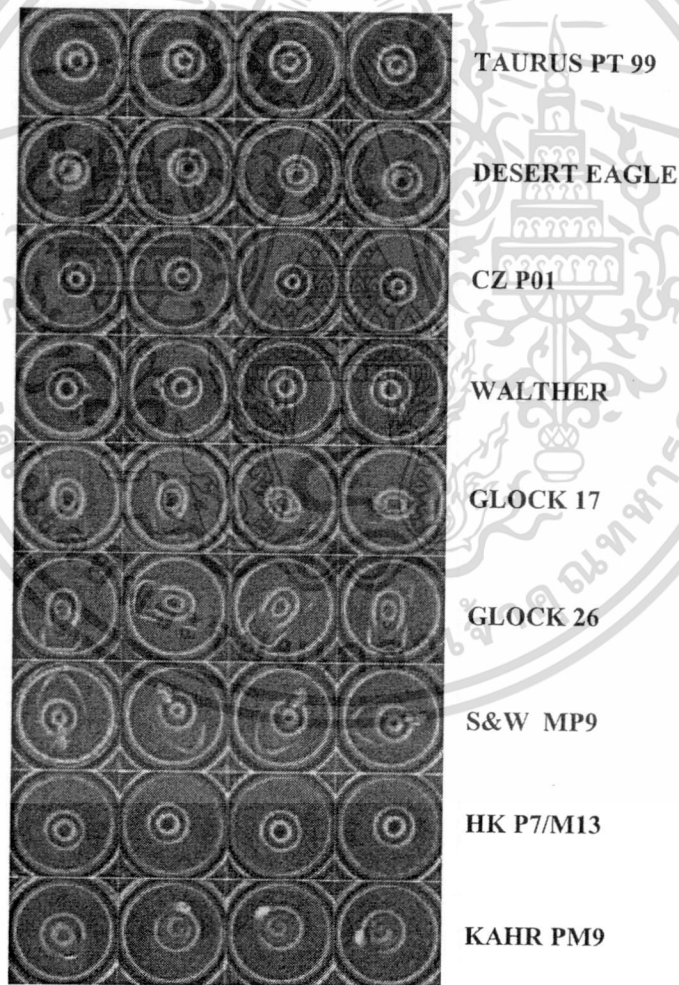
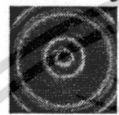
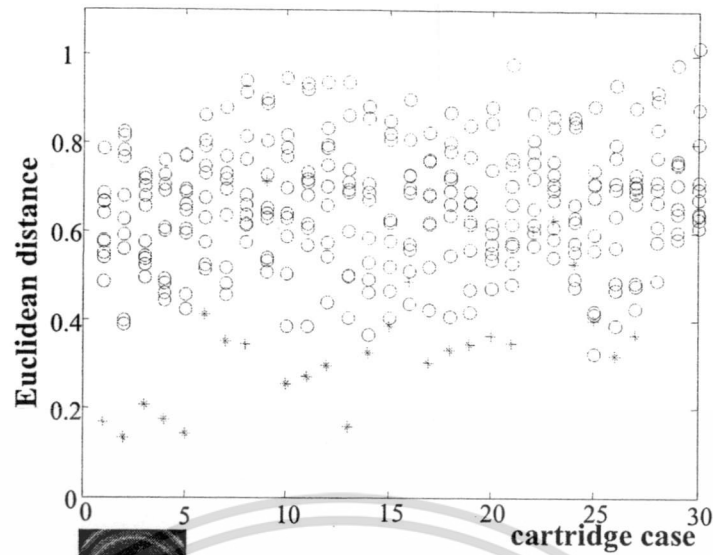


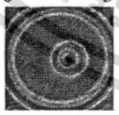
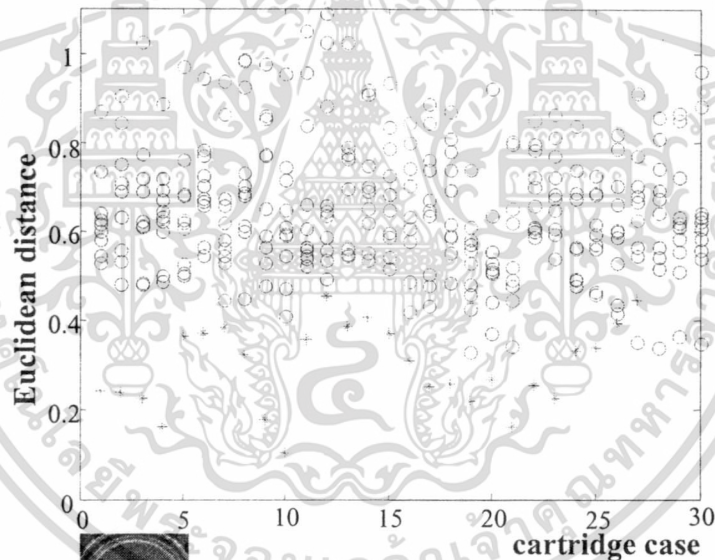
Figure 6: Cartridge case images obtained from the 9 pistols of the same caliber (9mm).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



\* TAURUS PT 99

o Other guns



\* DESERT EAGLE

o Other guns

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

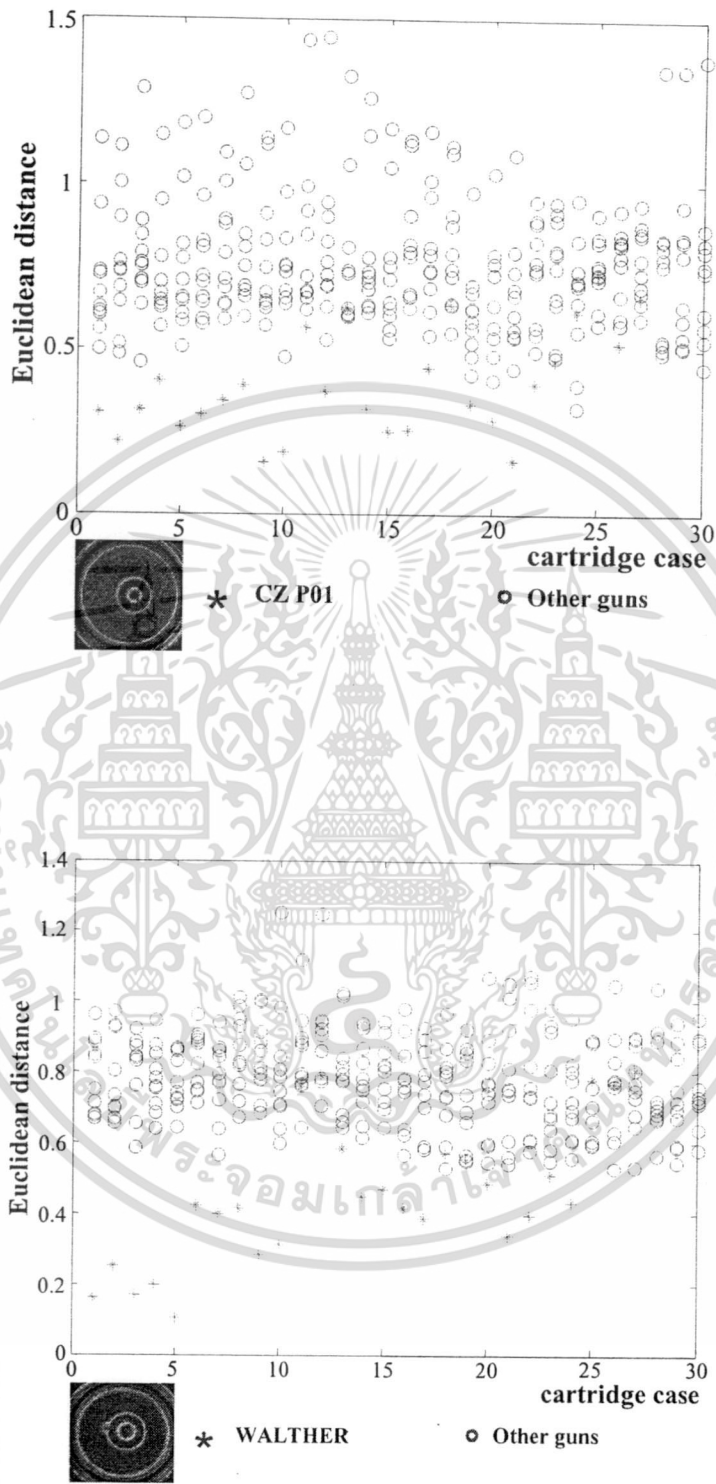


Figure 7: Euclidean distance obtained from the same and different guns(Continued).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

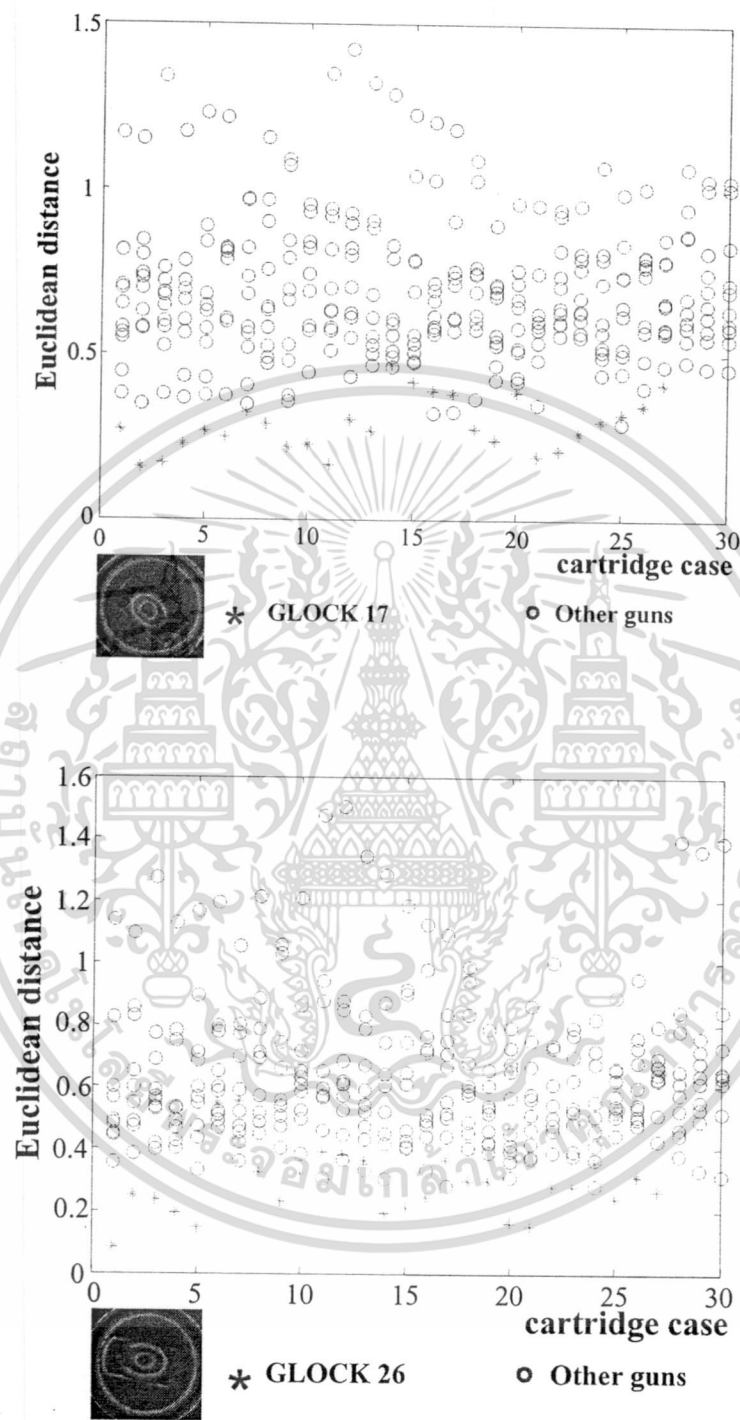


Figure 7: Euclidean distance obtained from the same and different guns(Continued).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

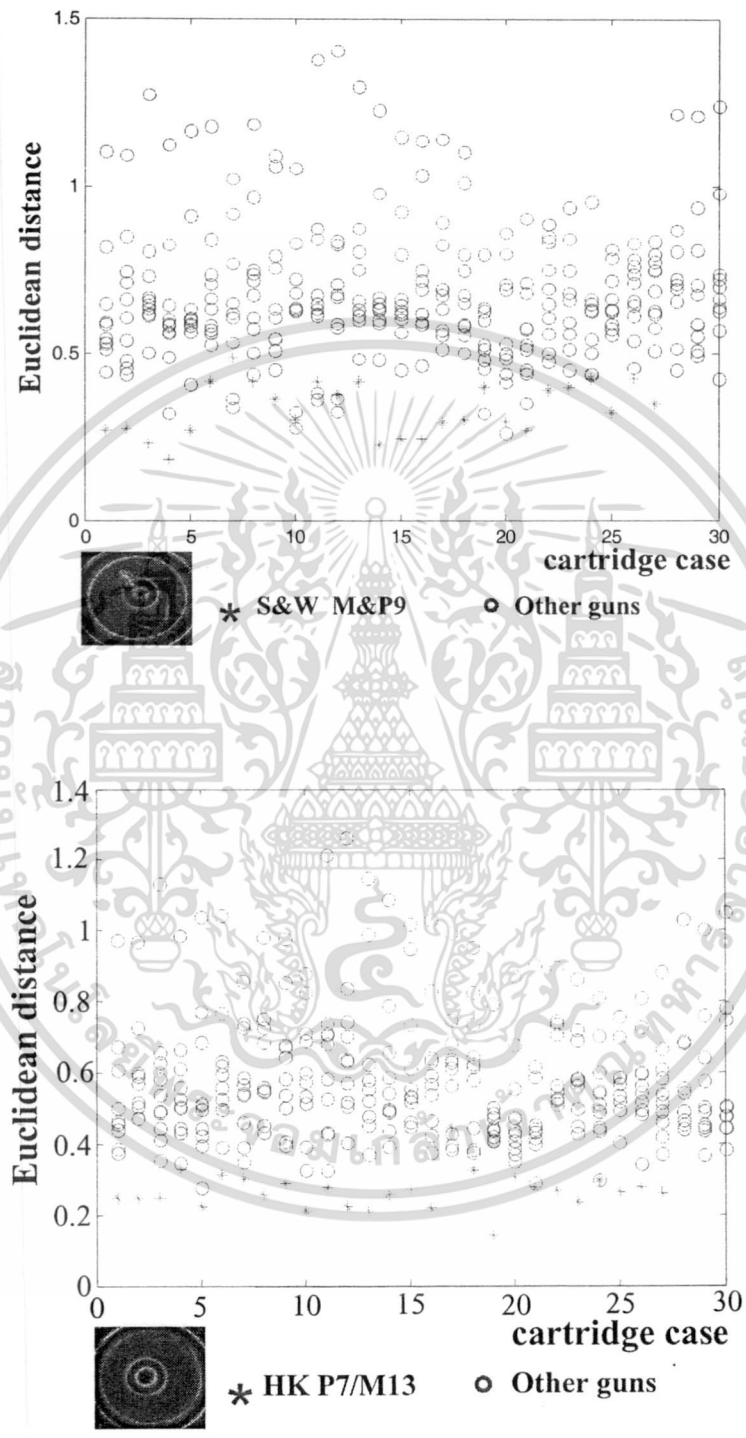


Figure 7: Euclidean distance obtained from the same and different guns(Continued).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

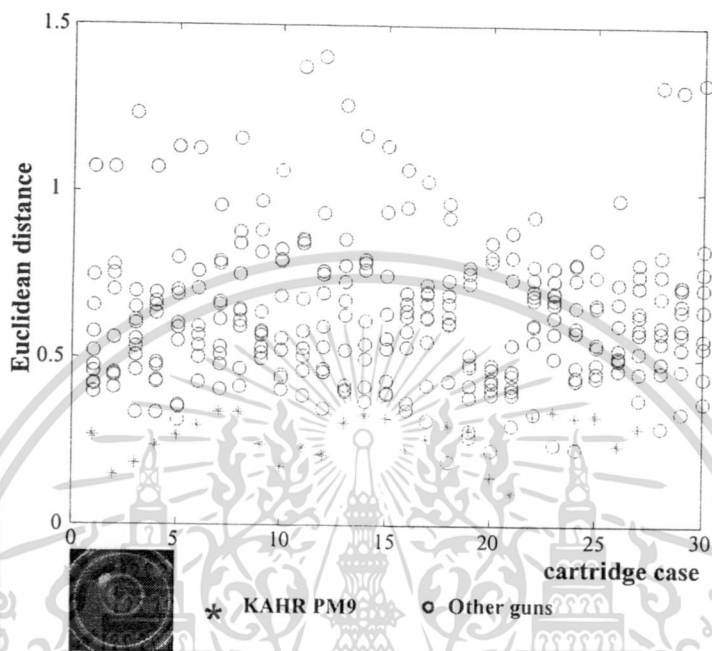


Figure 7: Euclidean distance obtained from the same and different guns(Continued).

## LESSON 5

### 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.

## LESSON 5

### 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.

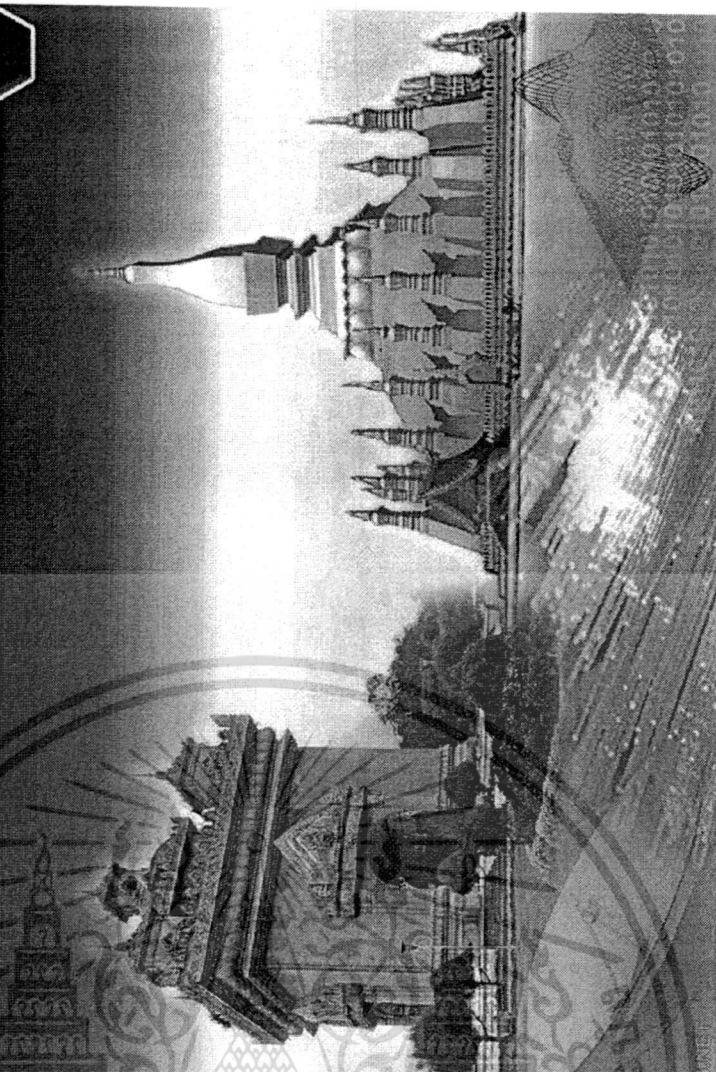
IEEE

IS 2008

# ISCIT 2008

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMMUNICATIONS AND INFORMATION TECHNOLOGIES 2008

October 21-23, 2008  
Don Chan Palace, Vientiane, Lao PDR



ISCIT 2008 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMMUNICATIONS AND INFORMATION TECHNOLOGIES

ISCIT 2008

ORGANIZED BY:

NATIONAL UNIVERSITY OF LAOS  
TOKAI UNIVERSITY

Dongdok, Vientiane, Lao PDR.

P.O Box: 7233

Tel: +856-21-770068 / +856-21-770070

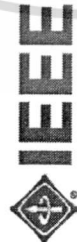
<http://www.nuol.edu.la>

1117 Kitakaname, Hiratsuka-shi,

Kanagawa, 259-1292 Japan

Telephone: +81-463-58-1211

<http://www.tu-tokai.ac.jp/>



IEEE CATALOG NUMBER: CFP08830

ISBN: 978-1-4244-2336-1

LIBRARY OF CONGRESS: 2008902851

THE PROGRAM & ABSTRACT BOOK AND CD-ROM PROCEEDINGS  
ARE SUPPORTED BY:

TOKAI UNIVERSITY  
GENERAL RESEARCH ORGANIZATION

PROGRAM AND ABSTRACT BOOK



RENEASAS  
Everywhere you imagine.

เอกสารนี้  
ไม่ว่ากรณี

ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# An Automatic System for Firearm Identification

Pitak Thumwarin

Faculty 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

**Abstract**— This research proposes an automatic system for firearm identification. In the proposed method, firearm can be identified by using the head of cartridge case image. The unique feature of the individual gun can be extracted by using 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 rotation invariance feature of the cartridge case image. Finally, the Fisher's linear discriminant function is used to identify the gun. The result successfully reveal the effectiveness of the method of implementation for some extent.

## I. INTRODUCTION

In the investigation of crime committed with a firearm, the problem of the examination of a gun is one of the most important limitations of the investigation process. Generally, the fired cartridge cases found in the scene can be used as the significant evidences leading to subsequently indicate the gun, and the criminal, possibly in the connection to many crime that had been committed with the same gun because an individual firearm will leave some different traces on the spent cartridge cases when compared to those on the others even though the cases are ejected from the firearm of the same caliber, make, and model. Likewise, the aforementioned traces on the fired cartridge cases will have their values close to one another if the cartridge cases come out of the same gun. Forensically, the traces on the spent cases are employed to be confirmable evidences if they are found on the cases of the cartridges fired by the suspected gun. The scrutiny of the traces or scratches on the case is mostly performed with human eyes by the expert. Practically, the quantity of the cartridge cases is large and then the examination is a time consuming process with possibly concurring some errors. In order to effectively identify a suspected firearm, it is necessary to develop an automatic system to verify the fired cartridge case. Consequently, this research has proposed the automatic system to identify them by using the pictures of the case heads at which the mark on the primer is created by a firing pin as well as some scratches made by the breech face of a firearm under suspicion.

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] 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. Moreover, 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. Finally, firearm can be identify by using the Fisher's linear discriminant function.

## II. 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.

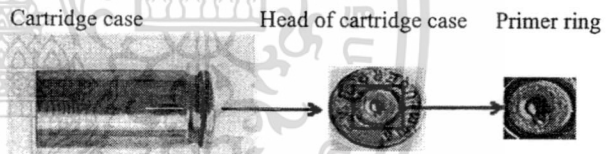


Fig. 1 The mark of the cartridge case.

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  $(n, m)$  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

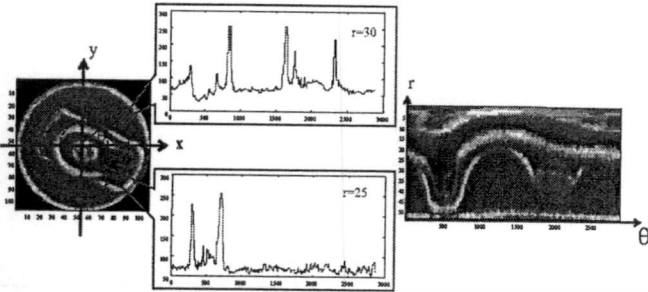


Fig. 2 Polar image of cartridge case on circles with different radii.

For firearm identification, in case of the cartridges are of the same sizes (same calibers), it is indicated that the shape of 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 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  $\theta$  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  $\alpha$  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 relation will be

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

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  $u_k$ .

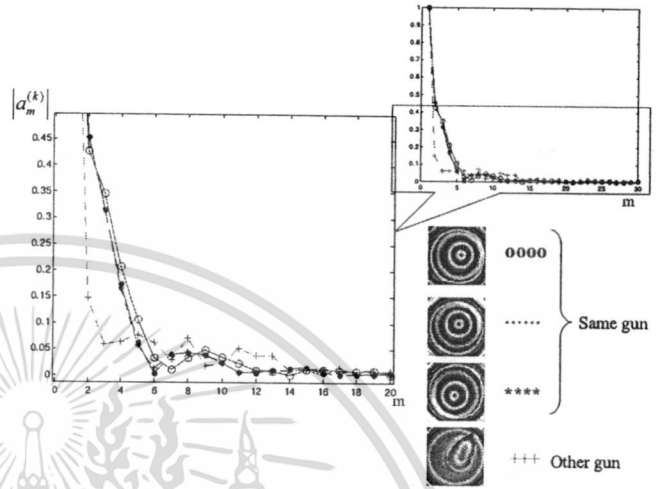


Fig. 3 Fourier coefficients ( $|a_m^{(k)}|$ ) obtained from same, and different guns when rotated at different degrees.

Figure 3 shows the plot of absolute value of Fourier coefficients obtained from the cartridge case fired from the same, and different gun when rotated at different degrees. It can be seen that the value 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 was reported in the work[3][4]. 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. In addition, the effectiveness of using Fourier approximation to reduce such a variation is shown in Fig.4

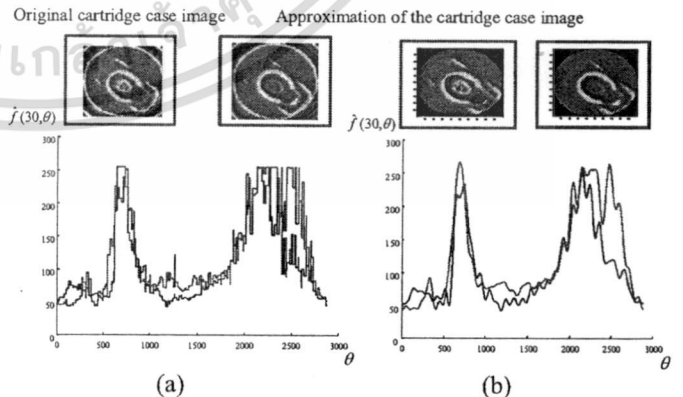


Fig. 4.(a) original cartridge case image (b) Fourier approximation of the cartridge case in image(a) ( $M=30$ )

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

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

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

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

### III. FIREARM IDENTIFICATION ALGORITHM

Accordingly, the feature vector  $\hat{u}_k$  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[5]. 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

$$v^T = [v_1, v_2, \dots, v_K] = [\hat{u}_1^T, \hat{u}_2^T, \dots, \hat{u}_K^T] \quad (12)$$

$v^T$  is a feature vector for the particular gun used for Fisher's linear discriminant.

- (2) Calculate within-class scatter matrix  $S_w$  as

$$S_w = \sum_{i=1}^C S_i \quad (13)$$

$$S_i = \sum_{v \in \omega_i} (v - \mu_i)(v - \mu_i)^T, (i=1, 2, \dots, C) \quad (14)$$

$$\mu_i = \frac{1}{N_i} \sum_{v \in \omega_i} v \quad (15)$$

$C$  is total number of class and  $N_i$  is total number of training data for the particular gun in the class  $\omega_i$ .

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

$$S_B = \sum_{i=1}^C N_i (\mu_i - \bar{\mu})(\mu_i - \bar{\mu})^T \quad (16)$$

$$\bar{\mu} = \frac{1}{N} \sum_{v} v \quad (17)$$

- (4) Calculate eigenvector and eigenvalue as

$$S_w^{-1} S_B w_i = \lambda_i w_i \quad (18)$$

- (5) Define matrix  $U$

$$U = [w_1^T, w_2^T, \dots, w_N^T], (\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_N) \quad (19)$$

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

- (6) Compute projection vector  $c$

$$c = Uv \quad (20)$$

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

$$\omega_i \in \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_C\} \quad (21)$$

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

where  $S_{\min}(C_i, x)$  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  $C_i$ .

### IV. EXPERIMENTS

Firearm identification experiments were performed on database consisting of 166 fired cartridge cases collected from 6 pistols of the same caliber(9mm). The samples of the cartridge head images used in the experiments are shown in Fig 5.

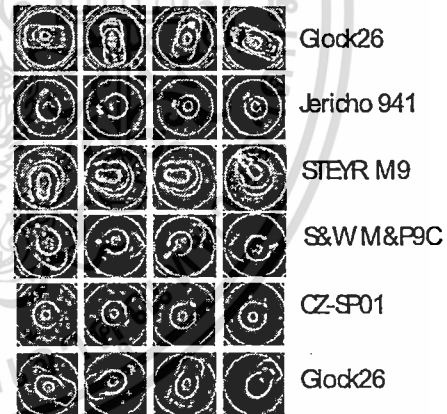


Fig.5 Cartridge case images obtained from the 6 pistols.

Figure 6 (a)(b)(c) shows the scatter plot of  $c$  in different dimensions obtained from the 6 pistols. It can be seen from Fig. 6 that the coordinates obtained from the cases fired by the same pistol approximated to one another whereas they positively differentiated their values obtained from those fired by any separate handguns. This indicated that the projection vector  $c$  possess the characteristics to identify the fired cartridge cases of a gun from the others. As a result, the firearm is finally identified.

## V. CONCLUSION

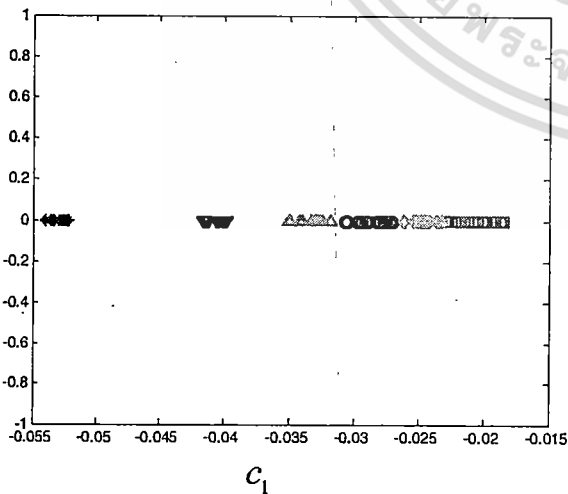
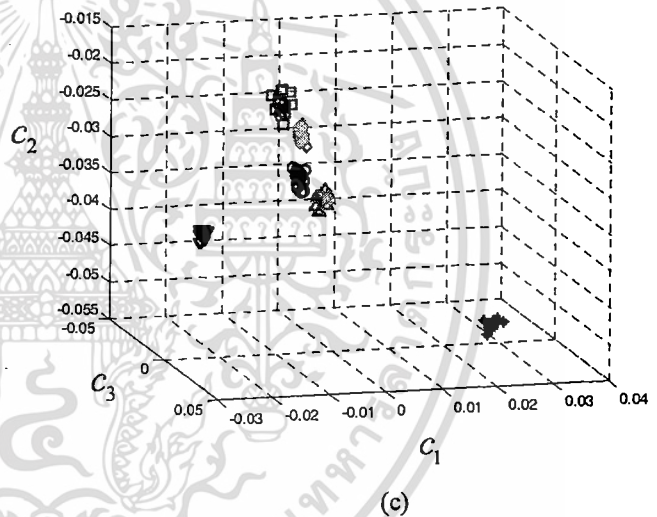
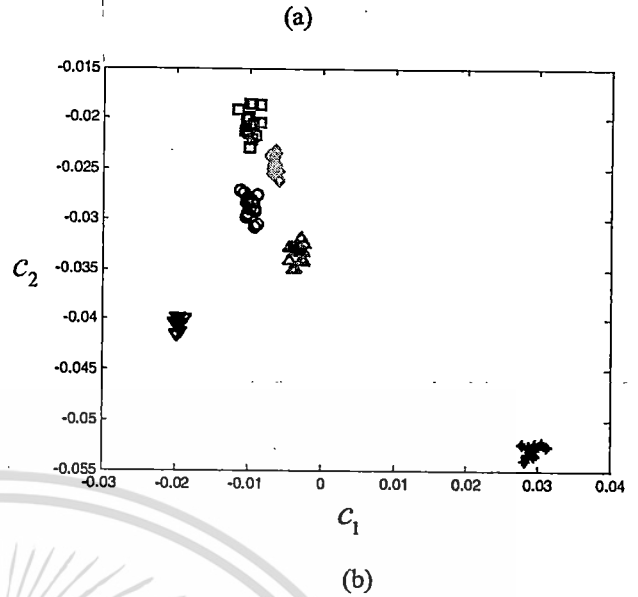
The method of firearm identification was proposed. First of all, the polar image obtained from the cartridge case was expanded into Fourier series to extract the unique feature of the particular gun. The rotation invariant feature of cartridge case image was represented by the absolute value of Fourier coefficients of polar image of cartridge case on circles with different radii. Finally, firearm can be identified by using Fisher's linear discriminant function. It can be concluded that the result of firearm identification successfully revealed the effectiveness of the proposed method.

## ACKNOWLEDGMENT

We 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 Prof.Dr. Takenobu Matsuura for many kind suggestions and Asst. Prof. Dr.Thienchai Suwanvesh for his 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, 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 Recognition System Characterizing A Rotation Invariance Feature of Coin Image", International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology, pp.250-253, 2007.
- [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.



Glock26	*	S&W M&P9C	□
Jericho 941	○	CZ-SP01	◇
Steyr M9	△	Glock26	▽

Fig.6 The plot of  $c$  obtained from 6 pistols (a)  $c = [c_1]$ , (b)  $c = [c_1, c_2]$ , (c)  $c = [c_1, c_2, c_3]$