

**KEBERKESANAN PENGAMBANGAN ENTROPI BERSILANGAN DAN
ENTROPI TSALLIS UNTUK SISTEM PENGECEMAN
BALISTIK FORENSIK AUTOMATIK**

(Effectiveness of Cross-Entropy and Tsallis Entropy Thresholding for
Automatic Forensic Ballistics Identification System)

ZUN LIANG CHUAN, ABDUL AZIZ JEMAIN, CHOONG-YEUN LIONG &
NOR AZURA MD GHANI

ABSTRAK

Kelongsong peluru yang dijumpai di tempat kejadian adalah penunjuk yang penting dalam penyiasatan kes jenayah bersenjata api. Pihak penguat kuasa undang-undang berupaya untuk mengenal pasti jenis dan model senjata api yang digunakan oleh penjenayah menerusi kelongsong peluru yang ditemui di tempat kejadian jenayah. Pemetakan rantau tumpuan berdasarkan kedudukan kesan pin peletup pada tapak kelongsong adalah langkah yang kritikal dalam sistem pengecaman balistik automatik. Walaupun beberapa kaedah pengesanan kedudukan kesan pin peletup telah disarankan dalam pelbagai kajian lepas; namun begitu, kaedah yang disarankan itu amat kompleks dan memerlukan masa pelaksanaan yang panjang. Justeru, kajian ini mengemukakan suatu sistem pengecaman balistik forensik automatik yang terampil dan pantas. Penganggar pengesanan kedudukan kesan pin peletup yang digunakan dalam sistem didapati adalah terampil dan teguh terhadap hingar. Sistem yang disarankan terbentuk daripada gabungan operasi penuras penajaman Laplacean, operasi penormalan histogram, dua kaedah pengambangan berasaskan entropi, dan penganggar kuasa dua terkecil penyuaian bulatan tak berpemberat. Dua kaedah pengambangan berasaskan entropi yang terkenal yang mengoptimimum dan meminimum kriterium entropi tertentu diterokai dalam makalah ini. Sebanyak 747 imej kesan pin peletup yang dikumpulkan daripada lima pucuk pistol model Parabellum Vektor SP1 9mm digunakan untuk menguji keterampilan sistem yang disarankan. Kadar kejituan pengecaman senjata api bagi sistem terbaik yang dirumuskan dalam makalah ini adalah 95.4% dengan purata masa pelaksanaan 0.37 saat per imej.

Kata kunci: balistik forensik; kriminalistik; pengecaman spesimen balistik; pengambangan berasaskan entropi

ABSTRACT

Firearm cartridge cases found in the crime scenes are important clues in investigation of crimes that involved firearms. Law enforcement agencies are able to identify the type and model of firearms used by criminal based on the cartridge cases found in the crime scenes. Segmenting the region of interest based on the position of key impressions formed on the cartridge cases is a critical stage in an automatic ballistic identification system. Although several methods have been proposed to detect the position of key impressions in various previous studies; however, the proposed methods are very complex and time consuming. Hence, the aim of this study is to propose an automatic ballistic identification system that is efficient in terms of accuracy and speed. The estimator used to detect the firing pin impression in the proposed system is found to be efficient and robust to noise. The proposed systems involve combination of Laplacian sharpening filter, histogram normalisation, two types of entropy-based thresholding, and an unweighted least square approach for fitting of circular estimator. Two popular entropy-based thresholding methods that optimise and minimise a particular entropy criterion have been investigated in this study. A total of 747 firing pin impression images collected from five pistols of model Vektor Parabellum SP1 9mm were

used to test the proposed systems. The firearm identification accuracy rate for the best proposed system is 95.4% with an average execution time of 0.37 seconds per image.

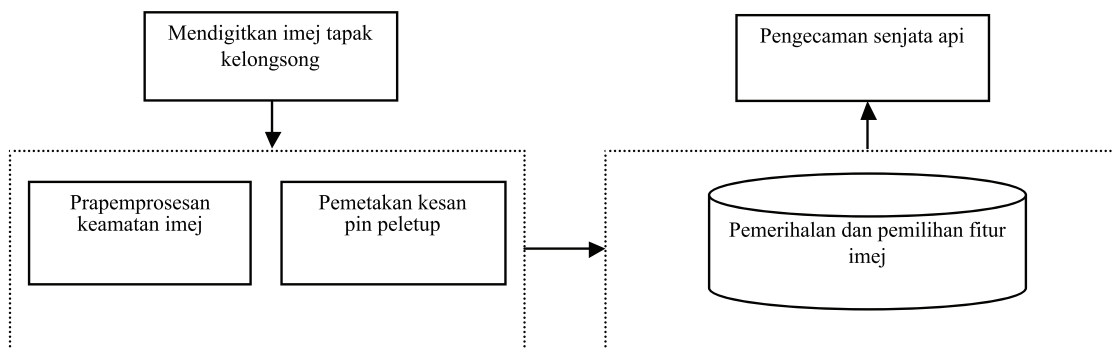
Keywords: forensic ballistics; criminalistics; ballistics specimen identification; entropy-based thresholding

1. Pengenalan

Kaedah tradisional merupakan kaedah perintis yang digunakan dalam makmal forensik untuk melaksanakan tugas pengecaman senjata api, iaitu menerusi pepadanan dengan menggunakan mikroskop perbandingan yang berkontras rendah (Nichols 1997). Pepadanan ini dilaksanakan dengan membandingkan ciri dan jaluran unik antara tapak kelongsong atau anak peluru yang ditemui di tempat kejadian jenayah dengan sampel kelongsong peluru atau anak peluru. Walau bagaimanapun, kaedah tradisional ini amat subjektif dan bergantung kepada kepakaran dan pengalaman ahli balistik serta memerlukan masa pelaksanaan yang panjang untuk melengkapkan satu pepadanan. Oleh itu, kaedah pengecaman tradisional ini tidak berupaya menampung bebanan penyiasatan kes jenayah yang semakin meningkat pada masa kini. Kelemahan yang terdapat pada kaedah tradisional ini telah mencetuskan motivasi kepada beberapa organisasi dan penyelidik untuk menyarankan sistem pengecaman pola yang berkemampuan memperbaiki kelemahan yang terdapat pada kaedah tradisional. Sejak tahun 1990-an, beberapa sistem pengecaman senjata api yang lebih canggih telah berjaya disarankan oleh penyelidik untuk tahap pengujian beta serta didagangkan secara komersil dalam pasaran (Leng & Huang 2012).

Sistem pengimejan balistik seperti sistem CIBLE, sistem TAIS (Heard 2008), sistem DRUGFIRE (Jones & Guerci 1997), sistem FIREBALL (Smith 1997) dan sistem IBIS (Kinder & Bonfanti 1999) adalah sistem pengimejan balistik yang telah didagangkan secara komersil dalam pasaran. Di samping itu, sistem pengimejan balistik ini juga adalah sistem yang telah digunakan secara meluas dalam makmal forensik sejak dua dekad yang lepas (Geradts *et al.* 2001). Dengan menggunakan sistem ini, masa pelaksanaan untuk melaksanakan tugas pengecaman senjata api disingkatkan dari beberapa minggu kepada beberapa jam (Li 2003). Hal sedemikian adalah disebabkan keupayaan sistem pengimejan balistik memadamkan imej secara automatik. Sistem pengimejan balistik akan menghasilkan suatu senarai pendek yang menunjukkan urutan kesamaan ciri dan jaluran berdasarkan imej kelongsong peluru yang disimpan dalam pangkalan data pada sistem tersebut. Walaupun begitu, kelemahan yang terdapat pada kaedah tradisional, iaitu kebergantungan kepada kepakaran dan pengalaman ahli balistik masih tidak dapat diatasi. Ini adalah kerana hasil pepadanan yang dirumuskan dengan menggunakan sistem pengimejan balistik adalah masih bergantung kepada pengesahan daripada ahli balistik. Untuk mengatasi masalah ini, para penyelidik telah melanjutkan kajian dalam penyusunan sistem pengecaman balistik automatik yang lebih mantap dan tanpa menghendaki penerangan fizikal.

Berdasarkan sistem pengecaman balistik saranan sorotan kajian, komponen-komponen utama yang lazim terkandung dalam sistem adalah diilustrasikan dalam Rajah 1. Dalam fasa pemetakan, langkah yang paling penting adalah mengesan kedudukan kesan pin peletup pada tapak kelongsong yang berbentuk bulatan. Merujuk kepada sistem saranan Xin *et al.* (2000), Zhou *et al.* (2001) dan Sakarya *et al.* (2012), mereka telah menggunakan penganggar penjelmaan Hough untuk mengesan kesan pin peletup pada tapak kelongsong. Li (2003) pula telah menggunakan penganggar kuasa dua terkecil penyuai elips ke atas sistemnya untuk mengesan kesan pin peletup. Di samping itu, Ghani *et al.* (2010) dan Kamaruddin *et al.* (2011) juga telah menyarankan suatu sistem yang cekap dalam pengecaman senjata api tetapi pengesanan kedudukan kesan pin peletup dilaksanakan secara manual.



Rajah 1: Komponen-komponen utama bagi sistem pengecaman balistik automatik

Kelemahan utama bagi sistem saranan sorotan kajian yang dibincangkan di atas adalah penggunaan penganggar atau kaedah yang sangat kompleks dan memerlukan masa pelaksanaan yang panjang untuk mengesan kedudukan kesan pin peletup pada tapak kelongsong. Kelemahan ini telah mencetuskan motivasi kajian ini untuk menyarankan suatu sistem pengecaman balistik automatik, dengan penganggar yang digunakan dalam sistem adalah cekap dalam pengesanan kedudukan kesan pin peletup dan teguh kepada hingar. Dalam kajian ini, kesan pin peletup diberikan tumpuan kerana kajian Ghani *et al.* (2010) telah membuktikan bahawa kesan ini adalah paling teguh dan memadai dalam pengecaman senjata api.

2. Kaedah Pelaksanaan Sistem Pengecaman Balistik Automatik

Bahagian ini disediakan untuk menerangkan secara perinci tentang langkah-langkah pelaksanaan bagi sistem yang disarankan dalam makalah ini, dengan menggunakan perisian R seperti berikut:

Langkah 1. Input imej kesan pin peletup, $P = [f(x, y)]_{M \times N}$ dengan nilai keamatan, $f \in \{l/255; l = 0, 1, 2, \dots, 255\}$ dan $x, (y) = 0, 1, 2, \dots, M - 1, (N - 1)$.

Langkah 2. Menajamkan keamatan sempadan bulatan kesan pin peletup dalam imej P dengan menggunakan operasi penuras penajaman Laplacean. Operasi penuras penajaman Laplacean digunakan bertujuan untuk menonjolkan pinggir sempadan bulatan kesan pin peletup dan melaraskan peralihan keamatan antara sempadan bulatan kesan pin peletup dan latar belakangnya. Penuras penajaman Laplacean telah digunakan sebagai penuras penajaman ruang kerana hasil analisis kajian telah menunjukkan bahawa penuras ini adalah paling terampil dalam pengecaman senjata api berbanding dengan penuras penajaman Canny (Canny 1986), penuras penajaman Marr-Hildreth (Marr & Hildreth 1980) dan penuras penajaman Sobel (Sobel 1978) selepas diuji dengan set data yang digunakan dalam kajian ini. Dalam langkah ini, suatu imej baru, $P_L = [f_L(x, y)]_{(M-2) \times (N-2)}$ dihasilkan, dengan nilai keamatan $f_L \in (-\infty, \infty)$ dihitung berdasarkan Pers. (1) seperti berikut:

$$f_L(x, y) = 255 \text{ vek}(\mathbf{S})' \text{ vek}(\mathbf{W}) \quad (1)$$

dengan

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{W} = \begin{bmatrix} f(x-1, y+1) & f(x, y+1) & f(x+1, y+1) \\ f(x-1, y+0) & f(x, y+0) & f(x+1, y+0) \\ f(x-1, y-1) & f(x, y-1) & f(x+1, y-1) \end{bmatrix},$$

mewakili pemvektoran matriks, mewakili sub-matriks bagi imej \mathbf{P} dan $x, y = 1, 2, 3, \dots, M-2, (N-2)$.

- Langkah 3. Memampatkan nilai keamatan bagi imej dengan menggunakan operasi penormalan histogram. Pemampatan nilai keamatan bagi imej adalah diperlukan kerana nilai keamatan yang dihasilkan selepas proses penajaman adalah di luar julat $\{l/255; l = 0, 1, 2, \dots, 255\}$. Pemampatan nilai keamatan bagi imej \mathbf{P}_L dapat dilaksanakan dengan menggunakan fungsi penormalan seperti berikut:

$$f_U(x, y) = \frac{1}{255} \left\lfloor \frac{f_L(x, y) - \min f_L}{\max f_L - \min f_L} \times 255 \right\rfloor \quad (2)$$

Dalam Pers. (2), fungsi lantai telah digunakan untuk membundarkan pembilang kepada nilai integer. Hal ini demikian kerana kadar pengecaman senjata api yang lebih tinggi telah dihasilkan berbanding dengan membundarkan pembilang kepada nilai integer secara langsung. Dengan itu, suatu imej baru, $\mathbf{P}_U = [f_U(x, y)]_{(M-2) \times (N-2)}$ dihasilkan.

- Langkah 4. Menjelmakan imej \mathbf{P}_U kepada imej bersifat perduaan dengan menggunakan kaedah pengambangan berasaskan entropi. Oleh kerana kaedah pengambangan berasaskan entropi yang mengoptimum dan meminimum kriterium entropi masih dititikberatkan oleh penyelidik kebelakangan ini (Fan *et al.* 2011; Lin & Ou 2012; Nie *et al.* 2011; Tang *et al.* 2011), maka dua kaedah pengambangan berasaskan entropi yang mengoptimumkan kriterium entropi Tsallis (Albuquerque *et al.* 2004) dan meminimumkan kriterium entropi bersilangan (Brink & Pendock 1996) telah dipilih untuk tujuan perbandingan. Nilai ambang, \tilde{a}_1 dan \tilde{a}_2 , bagi kedua-dua kaedah masing-masing adalah ditentukan menerusi Pers. (3) dan Pers. (4) seperti berikut:

$$\tilde{a}_1 = \arg \left(\max_a \left[(2-q) \frac{2 - \kappa_G - \kappa_H}{q-1} \right] \right), q = [0, \infty) \quad (3)$$

$$\tilde{a}_2 = \arg \left(\min_a [\mu_G \omega_G + \mu_H \omega_H] \right) \quad (4)$$

$$\text{dengan } \kappa_G = \sum_{g=0}^a \phi_g^q, \kappa_H = \sum_{g=a+1}^{255} \phi_g^q,$$

$$\mu_G = \sum_{g=0}^a g\phi_g, \mu_H = \sum_{g=a+1}^{255} g\phi_g,$$

$$\omega_G = \sum_{g=0}^a n_g \log \frac{\mu_G}{g}, \omega_H = \sum_{g=a+1}^{255} n_g \log \frac{\mu_H}{g},$$

$$n_g = \sum_{x,y}^{M-2, N-2} I(f_{\mathbf{U}}(x,y) = g), \phi_g = \frac{n_g}{(M-2)(N-2)},$$

I mewakili fungsi indikator.

Menerusi nilai ambang yang ditentukan di atas, suatu imej bersifat perduaan adalah dihasilkan, iaitu $\mathbf{P}_{\mathbf{B}} = [f_{\mathbf{B}}(x,y)]_{(M-2) \times (N-2)}$. Dalam makalah ini, dua jenis kriterium untuk $f_{\mathbf{B}}$ adalah diuji, dengan masing-masing diikhtisarkan sebagai kriterium I dan kriterium II seperti berikut:

$$\text{kriterium I: } f_{\mathbf{B}} = \begin{cases} 1 & \text{untuk } f_{\mathbf{U}} < \tilde{a}_1, \tilde{a}_2 \\ 0 & \text{untuk } f_{\mathbf{U}} \geq \tilde{a}_1, \tilde{a}_2 \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{kriterium II: } f_{\mathbf{B}} = \begin{cases} 1 & \text{untuk } f_{\mathbf{U}} \geq \tilde{a}_1, \tilde{a}_2 \\ 0 & \text{untuk } f_{\mathbf{U}} < \tilde{a}_1, \tilde{a}_2 \end{cases} \quad (6)$$

Langkah 5. Menganggarkan titik sauh, $\mathbf{K} = (X_{\mathbf{K}}, Y_{\mathbf{K}})'$ dan saiz jejari, r bagi sempadan bulatan kesan pin peletup, dengan menggunakan penganggar kuasa dua terkecil penyuaiian bulatan tak berpembarat (Moura & Kitney 1991). Berdasarkan sorotan kajian (Peckinpaugh & Holyer 1994; Wu & Yu 2009), penganggar ini adalah terampil dalam pengesanan titik koordinat \mathbf{K} dan r serta teguh kepada hingar yang mencemari imej. Titik koordinat \mathbf{K} adalah diperolehi dengan menyelesaikan sistem linear seperti berikut:

$$\begin{bmatrix} X_{\mathbf{K}} \\ Y_{\mathbf{K}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2(\lambda\alpha_{20} - \alpha_{00}\alpha_{10}^2) & 2(\lambda\alpha_{11} - \alpha_{10}\alpha_{01}) \\ 2(\lambda\alpha_{11} - \alpha_{10}\alpha_{01}) & 2(\lambda\alpha_{02} - \alpha_{00}\alpha_{01}^2) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \lambda(\alpha_{30} + \alpha_{12}) - \alpha_{10}(\alpha_{20} + \alpha_{02}) \\ \lambda(\alpha_{03} + \alpha_{21}) - \alpha_{01}(\alpha_{20} + \alpha_{02}) \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\text{dengan dan } \alpha_{gh} = \sum_{x,y} x^g y^h f_{\mathbf{B}}(x,y) \quad \text{dan} \quad \lambda = \sum_{x,y} f_{\mathbf{B}}(x,y).$$

Gantikan $X_{\mathbf{K}}$ dan $Y_{\mathbf{K}}$ yang diperolehi di atas ke dalam Pers. (8), nilai untuk r akan terhasil.

$$r = \sqrt{\frac{\sum_{x,y} \left((X_{\mathbf{K}} - x)^2 + (Y_{\mathbf{K}} - y)^2 \right)}{(M-2)(N-2)}} \quad (8)$$

Langkah 6. Memetakan rantau tumpuan, $\mathbf{R} = [f(x_1, y_1)]_{(r/2) \times (r/2)}$, dengan menggunakan bentuk bulatan dan segi empat sama daripada imej \mathbf{P} berdasarkan titik koordinat \mathbf{K} dan nilai r yang telah dianggarkan. Saiz jejari pemetaan yang digunakan adalah $r/2$ dan $x_1, (y_1) = 0, 1, 2, \dots, r/2 - 1, (r/2 - 1)$.

Langkah 7. Memerihalkan fitur imej dari \mathbf{R} yang telah dipetakan. Dalam kajian ini, sebanyak tujuh momen ortogon Legendre telah diperihalkan sebagai set vektor fitur imej untuk pengecaman, iaitu $\theta_{10}, \theta_{11}, \theta_{20}, \theta_{02}, \theta_{12}, \theta_{21}$ dan θ_{22} . Set vektor fitur imej yang diperihalkan dalam kajian ini adalah berdasarkan hasil kajian Ghani (2010). Momen yang terpilih ini adalah dihasilkan berdasarkan fungsi berikut:

$$\theta_{ij} = \frac{(2i+1)(2j+1)}{4} \sum_{u=0}^i \sum_{v=0}^j c_{iu} c_{vj} m_{uv}, i, j = 0, 1, 2, \dots \quad (9)$$

dengan c_{iu}, c_{vj} mewakili pekali yang ditakrifkan berdasarkan fungsi penjana polinomial Legendre dan m_{uv} pula mewakili momen geometri yang masing-masing ditakrifkan seperti berikut.

$$c_{iu} = \begin{cases} \frac{(-1)^{(i-u)/2} (i+u)!}{2^i u! \left(\frac{i-u}{2}\right)! \left(\frac{i+u}{2}\right)!} & \text{untuk } (i-u) \text{ genap} \\ 0 & \text{untuk } (i-u) \text{ ganjil} \end{cases},$$

$$m_w = \sum_{x,y} \left(\frac{4x_1}{r-1} - 1 \right)^u \left(\frac{4y_1}{r-1} - 1 \right)^v f(x_1, y_1).$$

Titik koordinat dalam \mathbf{R} adalah dilabel semula sebagai (x_1, y_1) untuk menghindari ralat dalam pemiawaian titik koordinat, iaitu $\left(\frac{4x_1}{r-1} - 1 \right)$ dan $\left(\frac{4y_1}{r-1} - 1 \right)$. Pemiawaian ini amat dikehendaki kerana sifat ortogon bagi momen Legendre hanya tertakrif dalam julat $[-1, 1]$.

Langkah 8. Mengumpukkan imej \mathbf{P} ke dalam kumpulan senjata api masing-masing dengan menggunakan fungsi pembeza layan yang dipelopori oleh Fisher (1936) berdasarkan set vektor fitur imej yang telah diperihalkan dari \mathbf{R} .

Berdasarkan langkah-langkah pelaksanaan sistem yang diterangkan di atas, didapati sebanyak lapan sistem pengecaman balistik automatik yang berpotensi dapat dibentuk seperti yang dipamerkan dalam Jadual 1.

Jadual 1: Senarai sistem pengecaman balistik automatik yang disarankan

Sistem	Penuras penajaman reruang	Nilai ambang (Kriterium)	Penganggar	Bentuk R
AG1	Laplacean	\tilde{a}_1 (1)	Tak berpemberat	Bulatan
AG2	Laplacean	\tilde{a}_1 (2)	Tak berpemberat	Bulatan
AG3	Laplacean	\tilde{a}_1 (1)	Tak berpemberat	Segiempat sama
AG4	Laplacean	\tilde{a}_1 (2)	Tak berpemberat	Segiempat sama
AG5	Laplacean	\tilde{a}_2 (1)	Tak berpemberat	Bulatan
AG6	Laplacean	\tilde{a}_2 (2)	Tak berpemberat	Bulatan
AG7	Laplacean	\tilde{a}_2 (1)	Tak berpemberat	Segiempat sama
AG8	Laplacean	\tilde{a}_2 (2)	Tak berpemberat	Segiempat sama

3. Penilaian Pencapaian dan Perbincangan

Dalam kajian ini, sebanyak 747 imej kesan pin peletup telah dikumpulkan daripada 5 pucuk pistol jenis Parabellum Vektor SP1 9mm yang masing-masing dilabel sebagai Pistol 1 (150 imej), Pistol 2 (150 imej), Pistol 3 (150 imej), Pistol 4 (149 imej) dan Pistol 5 (148 imej) untuk menguji keterampilan sistem yang disarankan dalam makalah ini, dengan anggapan bahawa ciri-ciri kesan pin peletup yang terbentuk pada tapak kelongsong adalah unik dan berbeza antara pistol. Pistol berkaliber 9mm telah dipilih dan diuji kerana jenis pistol ini adalah senjata api yang paling lazim digunakan oleh penjenayah di Malaysia. Rajah 2 mengilustrasikan sampel imej kesan pin peletup yang terbentuk pada tapak kelongsong daripada kelima-lima pucuk pistol yang diuji. Tandaan “x” dalam Rajah 2 adalah menunjukkan titik sauh, **K** bagi sempadan bulatan kesan pin peletup, manakala bulatan putih pula menunjukkan sempadan bulatan kesan pin peletup yang berjejari, r . Saiz jejari, r bagi sempadan bulatan kesan pin peletup juga adalah berbeza antara satu sama walaupun imej adalah dikumpulkan daripada jenis senjata api yang sama.

Sebagai dasar perbandingan, titik sauh, **K** dan saiz jejari sempadan bulatan kesan pin peletup, r , bagi kajian Ghani (2010) yang dikesan secara manual dinilai semula dengan menggunakan perisian pakej R dan hasil pengecaman dipamerkan dalam Jadual 2. Berdasarkan Jadual 2, didapati bahawa kadar pengecaman senjata api bagi sistem Ghani yang memerihalkan fitur imej dari **R** berbentuk bulatan adalah 78.8% $[(110+122+131+123+103)/ 747 \times 100\%]$, manakala kadar pengecaman senjata api bagi sistem yang memerihalkan fitur imej dari **R** berbentuk segiempat sama pula adalah 96.9% $[(149+144+145+145+141)/ 747 \times 100\%]$. Dapatan ini jelas menunjukkan kelebihan menggunakan rantau **R** berbentuk segi empat berbanding dengan bentuk bulatan.

Oleh kerana kaedah pengambangan berasaskan entropi yang mengoptimumkan kriterium entropi yang ditakrifkan dalam Pers. (3) adalah melibatkan nilai parameter tetap, q , yang tak diketahui dan kekurangan maklumat terdahulu tentang nilai ini, maka sebanyak 20 nilai q di antara julat telah diuji. Merujuk kepada hasil analisis yang dilampirkan jelas menunjukkan bahawa tiada perbezaan yang ketara bagi kadar kejituan pengecaman senjata api dan masa pelaksanaan sistem untuk nilai parameter yang diuji secara keseluruhannya. Walaupun begitu, Jadual 3 menyajikan nilai q yang berupaya menghasilkan kadar pengecaman senjata api yang tertinggi dan masa pelaksanaan yang terendah untuk sistem AG1, sistem AG2, sistem AG3 dan sistem AG4, iaitu seperti ditunjukkan dengan nilai yang ditebalkan dalam Jadual A.1-A.4 untuk setiap sistem. Berdasarkan keempat-empat sistem ini, didapati bahawa kadar pengecaman

senjata api bagi sistem yang memerihalkan set vektor fitur imej dari **R** yang berbentuk bulatan, iaitu sistem AG1 dan AG2 adalah lebih tinggi sedikit berbanding dengan **R** yang berbentuk segi empat sama, iaitu sistem AG3 dan AG4. Walaupun begitu, masa pelaksanaan bagi sistem AG1 dan AG2 adalah menghampiri dua kali ganda lebih panjang berbanding dengan sistem AG3 dan AG4.

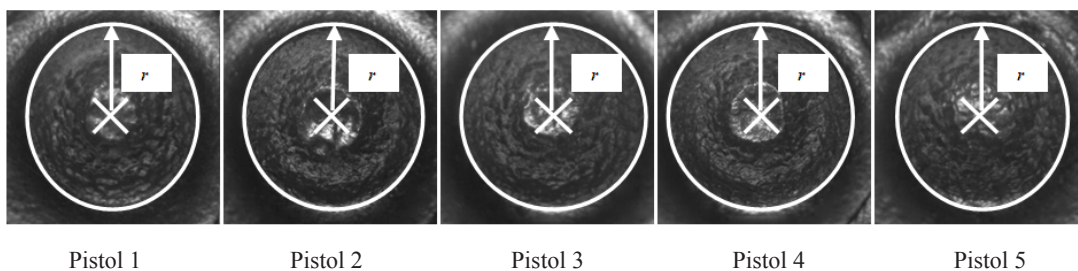
Bagi sistem AG5-AG8 yang menggunakan kaedah pengambangan berasaskan entropi yang meminimumkan kriterium entropi tanpa melibatkan sebarang parameter seperti yang ditakrifkan dalam Pers. (4) pula, hasil kajian juga menunjukkan bahawa masa pelaksanaan bagi sistem yang memerihalkan set fitur imej dari **R** berbentuk bulatan, iaitu sistem AG5 dan sistem AG6 juga adalah menghampiri dua kali ganda lebih panjang berbanding dengan **R** berbentuk segiempat sama, iaitu sistem AG7 dan sistem AG8.

Jadual 2: Frekuensi (peratusan) pengecaman senjata api bagi sistem Ghani

Bentuk R		Pistol 1	Pistol 2	Pistol 3	Pistol 4	Pistol 5
Bulatan	Pistol 1	110 (73.3)	0 (0.0)	5 (3.3)	3 (2.0)	32 (21.3)
	Pistol 2	2 (1.3)	122 (81.3)	7 (4.7)	19 (12.7)	0 (0.0)
	Pistol 3	10 (6.7)	2 (1.3)	131 (87.3)	2 (1.3)	5 (3.3)
	Pistol 4	5 (3.4)	15 (10.1)	5 (3.4)	123 (82.6)	1 (0.7)
	Pistol 5	17 (11.5)	0 (0.0)	28 (18.9)	0 (0.0)	103 (69.6)
Segiempat sama	Pistol 1	149 (99.3)	0 (0.0)	1 (0.7)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Pistol 2	0 (0.0)	144 (96.0)	0 (0.0)	6 (4.0)	0 (0.0)
	Pistol 3	3 (2.0)	0 (0.0)	145 (96.7)	0 (0.0)	2 (1.3)
	Pistol 4	2 (1.3)	0 (0.0)	2 (1.3)	145 (97.3)	0 (0.0)
	Pistol 5	3 (2.0)	0 (0.0)	4 (2.7)	0 (0.0)	141 (95.3)

Jadual 3: Peratusan pengecaman senjata api bagi 8 sistem yang disarankan

Sistem	Nilai q	Kadar pengelasan (%)	Masa pelaksanaan sistem (saat)
AG1	5.00	93.8	501.3
AG2	1.25	94.4	498.1
AG3	2.00	92.6	257.8
AG4	3.00	92.9	259.9
AG5	-	93.8	503.6
AG6	-	93.8	479.1
AG7	-	95.4	273.1
AG8	-	92.9	258.4



Rajah 2: Sampel imej sempadan bulatan kesan pin peletup berjejari r

Sebagai kesimpulannya, sistem AG7 dirumuskan sebagai sistem pengecaman balistik automatik yang paling terampil dalam pengecaman senjata api. Hal ini demikian kerana sistem AG7 telah menghasilkan kadar pengecaman senjata api yang tertinggi antara 8 sistem yang diuji dalam kajian ini. Kadar pengecaman senjata api bagi sistem AG7 amat menghampiri dengan kadar pengecaman senjata api bagi sistem Ghani (Ghani 2010), iaitu sistem Ghani yang mengesan titik koordinat dan nilai secara manual dan memerihalkan set vektor fitur imej dari yang berbentuk segiempat yang telah dibincangkan sebelum ini. Walau bagaimanapun, sistem Ghani memerlukan masa yang panjang untuk mengesan titik koordinat \mathbf{K} dan nilai r , iaitu di antara 3 hingga 5 minit untuk setiap imej kesan pin peletup, manakala system AG7 mencatatkan antara masa pelaksanaan yang terpantas, iaitu secara puratanya cuma 0.37 saat per imej. Secara rasionalnya, dapat dirumuskan bahawa sistem AG7 yang diutarakan dalam kajian ini adalah sistem yang lebih terampil untuk pengecaman senjata api berbanding dengan sistem Ghani.

4. Kesimpulan dan Cadangan

Makalah ini telah berjaya menyarankan suatu sistem pengecaman balistik automatik yang terampil dalam melaksanakan tugas pengecaman senjata api. Di samping itu, kajian ini juga mendapati bahawa bentuk pemetakan daripada kesan pin peletup mempunyai pengaruh yang ketara ke atas masa pelaksanaan sistem. Untuk kajian selanjutnya, dicadangkan untuk diterokai faktor-faktor yang dijangka dapat mempertingkatkan kadar pengecaman senjata api dan menyingkatkan masa pelaksanaan bagi sistem. Antaranya termasuklah saiz jejari pemetakan, jenis fitur imej yang diperihalkan daripada \mathbf{R} , dan jenis pengecam yang digunakan dalam sistem. Di samping itu, kajian ini juga mencadangkan untuk menguji keterampilan dan keteguhan sistem dengan menggunakan imej kesan pin peletup yang dicemari hingar dedenyut.

Penghargaan

Penyelidik ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada Ketua Penolong Pengarah Forensik Jabatan Siasatan Jenayah, Makmal Forensik, Polis Diraja Malaysia. Di samping itu, para penyelidik juga ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM-ST-06-FRGS0183-2010) dan Kementerian Pengajian Tinggi Malaysia yang telah menyediakan dana penyelidikan.

Rujukan

- Albuquerque M.P.D., Esquef I.A. & Mello A.R.G. 2004. Image thresholding using Tsallis entropy. *Pattern Recognition Letters* **25**(9): 1059-1065.
- Brink A.D. & Pendock N.E. 1996. Minimum cross-entropy threshold selection. *Pattern Recognition* **29**(1): 179-188.
- Canny J. 1986. A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **PAMI-8**(6): 679-698.
- Fan S., Yang S., He P. & Nie H. 2011. Infrared electric image thresholding using two-dimensional fuzzy Renyi entropy. *Energy Procedia* **12**: 411-419.
- Fisher R.A. 1936. The use of multiple measurements in taxonomic problems. *Annals of Eugenics* **7**: 179-188.
- Geradts Z.J., Bijhold J., Hermsen R. & Murtagh F. 2001. Image matching algorithms for breech face marks and firing pins in a database of spent cartridge cases of firearms. *Forensic Science International* **119**(1): 97-106.
- Ghani N.A.M. 2010. Analisis spesimen balistik forensik untuk pengecaman senjata api. Tesis Dr. Fal, Pusat Pengajian Sains Matematik, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Ghani N.A.M., Liong C.-Y. & Jemain A.A. 2010. Analysis of geometric moments as features for firearm identification. *Forensic Science International* **198**(1-3): 143-149.

- Heard B.J. 2008. *Handbook of Firearms and Ballistics: Examining and Interpreting Forensic Evidence*. Edisi ke-2. Chichester: John Wiley & Sons.
- Jones B.C. & Guerci J.R. 1997. Intelligent image capture of cartridge cases for firearms examiners. *Proceedings of the SPIE 2942 on Investigative Image Processing*, hlm: 94-104.
- Kamaruddin S.B.A., Ghani N.A.M., Liong C.-Y. & Jemain A.A. 2011. Firearm recognition based on whole firing pin impression image via backpropagation neural network. *Proceedings of the IEEE International Conference on Pattern Analysis and Intelligent Robotics*, hlm. 177-182.
- Kinder J.D. & Bonfanti M. 1999. Automated comparison of bullet striations based on 3D topography. *Forensic Science International* **101**(2): 85-93.
- Li D.G. 2003. Image processing for the positive identification of forensic ballistics specimens. *Proceedings of the 6th International Conference on Information Fusion*, hlm. 1494-1498.
- Leng J. & Huang Z. 2012. On analysis of circle moments and texture features for cartridge images recognition. *Expert Systems with Applications* **39**(2): 2092-2101.
- Lin Q. & Ou C. 2012. Tsallis entropy and the long-range correlation in image thresholding. *Signal Processing* **92**(12): 2931-2939.
- Marr D. & Hildreth E. 1980. Theory of edge detection. *Proceedings of Royal Society of London Series B Biological Sciences* **207**(1167): 187-217.
- Moura L. & Kitney R. 1991. A direct method for least-squares circle fitting. *Computer Physics Communications* **64**(1): 57-63.
- Nichols R.G. 1997. Firearm and toolmark identification criteria: A review of the literature. *Journal of Forensic Science* **42**(30): 466-474.
- Nie F., Gao C., Guo Y. & Gan, M. 2011. Two-dimensional minimum local cross-entropy thresholding based on co-occurrence matrix. *Computers and Electrical Engineering* **37**: 757-767.
- Peckinpugh S.H. & Holyer R.J. 1994. Circle detection for extracting eddy size and position from satellite imagery of the ocean. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **32**(2): 267-273.
- Sakarya U., Topçu O., Leloğlu U.M., Soysal M. & Tunali E. 2012. Automated region segmentation on cartridge case base. *Forensic Science International* **222**(1-3): 277-287.
- Smith C.L. 1997. Fireball: a forensic ballistics imaging system. *Proceedings of the IEEE International 31st Annual 1997 Carnahan Conference on Security Technology*, hlm. 64-70.
- Sobel I. 1978. Neighbourhood coding of binary images for fast contour following and general array binary processing. *Computer Graphics and Image Processing* **8**(1): 127-135.
- Tang Y., Mu W., Zhang Y. & Zhang X. 2011. A fast recursive algorithm based on fuzzy 2-partition entropy approach for threshold selection. *Neurocomputing* **74**(17): 3072-3078.
- Wu W.-Y. & Yu W.-B. 2009. Subpixel detection of circular objects using geometric property. *World Academy of Science, Engineering and Technology* **56**: 236-240.
- Xin L.-P., Zhou J. & Rong G. 2000. A cartridge identification system for firearm authentication. *Proceedings of the 5th International Conference on Signal Processing*, hlm. 1405-1408.
- Zhou J., Xin L.-P., Gao D.-S., Zhang C.-S. & Zhang D. 2001. Automated cartridge identification for firearm authentication. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, hlm. 749-754.

*Pusat Pengajian Sains Matematik
Fakulti Sains dan Teknologi
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi
Selangor DE, MALAYSIA
Mel-e: chuan_zl@yahoo.com.my, azizj@ukm.my, lg@ukm.my**

*Pusat Pengajian Statistik dan Sains Pemutusan
Fakulti Sains Komputer dan Matematik
Universiti Teknologi MARA
40450 Shah Alam,
Selangor DE, MALAYSIA
Mel-e: azura@tmsk.uitm.edu.my*

*Penulis untuk dihubungi

Lampiran

Jadual A.1: Kadar pengecaman senjata api dan masa pelaksanaan bagi sistem AG1.
Parameter pilihan terbaik dicetak tebal

Nilai parameter, q	Kadar pengelasan senjata api (%)	Masa pelaksanaan sistem (saat)
0.25	93.8	514.4
0.50	93.8	515.6
0.75	93.8	512.5
1.00	-	-
1.25	93.8	511.1
1.50	93.8	509.1
1.75	93.8	512.6
2.00	93.8	505.0
2.25	93.8	511.5
2.50	93.8	511.0
2.75	93.8	514.8
3.00	93.8	509.3
3.25	93.8	504.2
3.50	93.8	506.2
3.75	93.8	508.2
4.00	93.8	501.4
4.25	93.8	506.2
4.50	93.8	507.2
4.75	93.8	505.7
5.00	93.8	501.3

Jadual A.2: Kadar pengelasan senjata api dan masa pelaksanaan bagi sistem AG2.
Parameter pilihan terbaik dicetak tebal

Nilai parameter, q	Kadar pengelasan senjata api (%)	Masa pelaksanaan sistem (saat)
0.25	94.0	506.9
0.50	94.1	513.4
0.75	94.2	511.9
1.00	-	-
1.25	94.4	498.1
1.50	94.2	501.4
1.75	94.2	501.2
2.00	94.2	499.3
2.25	94.0	506.9
2.50	94.0	502.4
2.75	94.0	512.1
3.00	94.0	504.1
3.25	NA	210.1
3.50	NA	209.7
3.75	NA	211.5
4.00	NA	207.7
4.25	NA	210.1
4.50	NA	209.7
4.75	NA	208.3
5.00	NA	209.3

*Nota: NA = Tiada maklumat

Jadual A.3: Kadar pengecaman senjata api dan masa pelaksanaan bagi sistem AG3.
Parameter pilihan terbaik dicetak tebal

Nilai parameter, q	Kadar pengelasan senjata api (%)	Masa pelaksanaan sistem (saat)
0.25	92.6	288.9
0.50	92.6	266.2
0.75	92.6	266.0
1.00	-	-
1.25	92.6	265.9
1.50	92.6	266.6
1.75	92.6	266.6
2.00	92.6	257.8
2.25	92.6	266.9
2.50	92.6	265.8
2.75	92.6	265.9
3.00	92.6	262.4
3.25	92.6	265.7
3.50	92.6	266.1
3.75	92.6	265.7
4.00	92.6	261.5
4.25	92.6	265.7
4.50	92.6	266.2
4.75	92.6	265.5
5.00	92.6	262.5

Jadual A.4: Kadar pengecaman senjata api dan masa pelaksanaan bagi sistem AG4.
Parameter pilihan terbaik dicetak tebal

Nilai parameter, q	Kadar pengelasan senjata api (%)	Masa pelaksanaan sistem (saat)
0.25	92.8	264.9
0.50	92.8	264.3
0.75	92.8	264.6
1.00	-	-
1.25	92.8	264.1
1.50	92.8	264.2
1.75	92.8	264.9
2.00	92.8	255.9
2.25	92.8	264.2
2.50	92.8	264.5
2.75	92.8	264.7
3.00	92.9	259.9
3.25	NA	NA
3.50	NA	NA
3.75	NA	NA
4.00	NA	NA
4.25	NA	NA
4.50	NA	NA
4.75	NA	NA
5.00	NA	NA

*Nota: NA = Tiada maklumat