

## Pengecaman Aksara Jawi Menggunakan Jelmaan Surih (Jawi Character Recognition using the Trace Transform)

MOHAMMAD FAIDZUL NASRUDIN, KHAIRUDDIN OMAR,  
CHOONG-YEUN LIONG\* & MOHAMAD SHANUDIN ZAKARIA

### ABSTRAK

*Jelmaan surih yang merupakan pengitlakan jelmaan Radon, membenarkan pembinaan fitur imej tak-ubah kepada sekumpulan jelmaan imej yang dipilih. Dalam makalah ini, penulis mendemonstrasi kebergunaan fitur Jelmaan surih yang tak-ubah kepada herotan afin bagi membolehkannya membezakan aksara Jawi. Proses ini terdiri daripada menyurih imej dengan garis-garis lurus pada semua orientasi yang mungkin sambil menghitung beberapa fungsian bagi fungsi imej. Setiap kombinasi fungsian akan menghasilkan satu fungsi orientasi (atau fitur) bagi garis-garis surihan tersebut yang dikenali sebagai tandatangan objek. Jika fungsian yang digunakan mempunyai beberapa sifat pratakrif, tandatangan objek tersebut boleh digunakan untuk membezakan aksara Jawi secara afin. Ia bermanfaat untuk membina fitur tak-ubah terhadap putaran, translasi, penskalaan dan ricihan imej. Seterusnya, penulis mendemonstrasi kebergunaan fitur ini dengan membandingkan keputusan pengecamannya dengan keputusan yang diperoleh daripada fitur berasaskan momen afin tak-ubah. Eksperimen menggunakan Jelmaan surih telah menghasilkan keputusan yang cemerlang untuk pengecaman aksara Jawi bercetak dan tulisan tangan yang tak-ubah kepada herotan afin.*

*Kata kunci: Jelmaan surih; momen afin tak-ubah; pengecaman aksara Jawi*

### ABSTRACT

*The Trace transform, a generalisation of the Radon transform, allows one to construct image features that are invariant to a chosen group of image transformations. In this paper, we used some features, which are invariant to affine distortion, generated by the Trace transform to discriminate between Jawi characters. The process consists of tracing an image with straight lines, along which certain functionals of the image function are calculated, in all possible orientations. For each combination of functionals we derived a function of orientation of the tracing lines that is known as an object signature. If the functionals used have some predefined properties, this signature can be used to characterise the character in an affine way. We demonstrated the usefulness of the derived signature and compared the result of character recognition with those obtained by using features based on affine moment invariants. Experiments using the Trace transform produced decent results for the printed and handwritten Jawi character recognitions that are invariant to affine distortion.*

*Keyword: Affine moment invariant; Jawi character recognition; trace transform*

### PENDAHULUAN

Jawi adalah sejenis tulisan kursif yang diterbitkan daripada abjad Arab dan seterusnya diterima pakai untuk penulisan bahasa Melayu. Jawi banyak dijumpai dalam manuskrip lama Melayu yang secara umumnya masih banyak dalam bentuk asal (bercetak). Abjad Jawi mempunyai 36 aksara asas yang 28 daripadanya serupa dengan aksara Arab. Kini terdapat banyak penyelidikan telah dan sedang dijalankan dalam bidang pengecaman aksara tulisan tangan kursif secara dalam talian dan luar talian seperti untuk tulisan Latin (Plamondon & Srihari 2000), Arab (Lorigo & Govindaraju 2006), Urdu dan Farsi (Baghshah 2005). Sebab utama penyelidikan seumpamanya diberi tumpuan ialah kerana bidang ini masih lagi terbuka untuk diterokai memandangkan sifat teks kursif yang sangat berbeza dan jauh lebih kompleks daripada teks jenis lain.

Pengecaman aksara memerlukan penggunaan fitur imej yang boleh menyimpan sifat-sifat aksara yang tidak-

ubah kepada cara persembahan aksara pada imej. Pelbagai fitur berjenis struktur dan statistik bagi aksara Jawi dalam konteks setempat dan global telah diterokai (Mohammad Faizul et al. 2008a). Namun, cara pengekstrakan fitur aksara ini masih bertumpukan manusia. Fitur masih dijana daripada sudut perspektif manusia, iaitu hanya sifat yang difahami oleh sistem penglihatan manusia sahaja yang diambil sebagai fitur. Ini bermakna fitur yang telah digunakan dalam sistem pengecaman aksara Jawi sedia ada seperti titik hujung, titik cabang, titik mula, titik hujung, poligon tertutup, poligon terbuka, arah poligon, dan taburan piksel hitam (Khairuddin 2000) adalah fitur yang mempunyai pengertian fizikal tertentu. Ini juga dapat dilihat dalam Mazani (2002) yang menggunakan fitur seperti titik tunggal, titik simpang, titik hujung, titik pusing, dan bilangan piksel hitam.

Namun, fitur yang dapat membezakan aksara tidak semestinya perlu mempunyai erti yang difahami oleh

sistem penglihatan manusia. Dengan mengambil fitur yang hanya difahami oleh manusia akan mengekang jumlah fitur yang boleh digunakan dalam sistem pengecaman. Selain itu, penggunaan fitur yang berada di luar perspektif penglihatan manusia mungkin lebih sesuai untuk masalah seperti pengecaman aksara yang ingin penulis selesaikan. Sebahagian daripada persoalan ini telah dapat dibuktikan dengan penggunaan fitur yang dicipta oleh Kadyrov dan Petrou (2003) berdasarkan Jelmaan surih untuk pengecaman aksara Korea (Kadyrov et al. 2001). Keberkesanan fitur ini (atau dikenali sebagai tandatangan objek) mungkin sekali boleh diaplikasikan kepada masalah pengecaman aksara tulisan kursif seperti tulisan Jawi.

Jelmaan surih telah dicipta untuk pembinaan fitur imej tak-ubah kepada sekumpulan penjelmaan afin seperti putaran, translasi, penskalaan dan rician. Kaedah pembinaan fitur afin alternatif terkini adalah berdasarkan momen dan terbitan tak-ubah afinnya. Kaedah ini telah dibina sekian lama dan telah digunakan dalam pelbagai aplikasi dari pengecaman aksara optik sehinggalah ke pengecaman muka. Dalam makalah ini, penulis telah mengaplikasikan teori Jelmaan surih untuk pengecaman aksara Jawi sambil menggunakan kaedah momen afin tak-ubah sebagai tanda aras.

Dalam bahagian kedua penulis membincangkan tentang latar belakang Jelmaan surih dan idea penciptaan tandatangan objek seperti yang telah dicadangkan dalam Kadyrov dan Petrou (2001a) untuk pembinaan fitur imej yang tak-ubah kepada herotan afin. Dalam bahagian ketiga dan keempat masing-masing, penulis menerangkan tentang eksperimen dan keputusannya. Seterusnya kesimpulan diberikan dalam bahagian kelima.

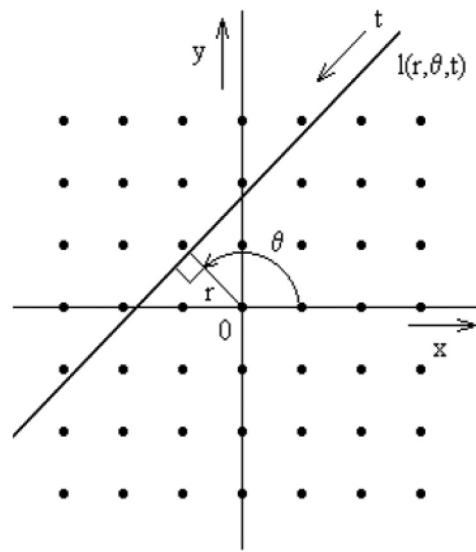
#### JELMAAN SURIH

Konsep pembinaan fitur menggunakan Jelmaan surih adalah buat pertama kalinya dibincangkan dalam Kadyrov dan Petrou (2001b). Fitur (disebut fitur tigaan) yang dicipta adalah tak-ubah kepada putaran, translasi dan penskalaan. Mereka menguji fitur ini dalam pengecaman 94 imej ikan sambil membandingkannya dengan fitur momen afin tak-ubah. Keputusan menunjukkan pengecaman menggunakan fitur Jelmaan surih adalah lebih tinggi daripada fitur momen afin tak-ubah. Namun, fitur ini masih belum tak-ubah kepada herotan afin. Petrou dan Kadyrov (2004), telah berjaya mempertingkatkan agar fitur tersebut tak-ubah kepada herotan afin. Dalam masa yang sama, mereka juga mencadangkan satu teknik Jelmaan surih yang lebih ringkas untuk menjana fitur tak-ubah kepada herotan afin (dipanggil tandatangan objek) seperti dalam Kadyrov dan Petrou (2003). Dalam kedua-dua kajian Petrou dan Kadyrov (2004) dan Kadyrov dan Petrou (2003), masih menggunakan imej ikan dan teknik perbandingan yang sama. Keputusan pengecaman dalam kedua-dua kajian tersebut menunjukkan fitur Jelmaan surih mengatasi fitur momen afin tak-ubah.

Jelmaan surih dapat difahami sebagai satu pengitlakan daripada satu jelmaan yang terkenal, iaitu Jelmaan Radon (Radon 1917) dan (Deans 1983). Jelmaan Radon bagi satu fungsi imej  $f(x, y)$  ialah fungsi  $p(r, \theta)$  dengan mengira kamiran  $f(x, y)$  pada semua garis  $L(r, \theta)$ :

$$p(r, \theta) = \iint_D f(x, y) \delta(r - x \cos \theta - y \sin \theta) dx dy, \quad (1)$$

dengan  $r = x \cos \theta + y \sin \theta$  ialah parameter bagi suatu normal untuk garis  $l(r, \theta, f)$ , dengan  $r$  ialah panjang normal, iaitu di antara paksi dan garis,  $\theta$  ialah sudut di antara normal dan paksi  $x$  positif,  $t$  ialah parameter di sepanjang garis,  $D$  ialah luas bagi  $f(x, y)$  dan  $\delta$  ialah fungsi Dirac (Rajah 1).



RAJAH 1. Definisi parameter pada imej  $f(x, y)$  dan garis surih  $l(r, \theta, f)$

Jelmaan surih menyerupai Jelmaan Radon daripada sudut ia juga mengira fungsian bagi fungsi imej di sepanjang garis. Namun, fungsian tersebut tidak semestinya kamiran. Oleh sebab itu, boleh dikatakan bahawa hubungan kedua-dua jelmaan ini adalah Jelmaan Radon merupakan sejenis Jelmaan surih yang khusus menggunakan fungsi kamiran. Pertimbangan apabila satu imej  $f(x, y)$  disilang-menyalang dengan garis-garis  $l(r, \theta, f)$  pada semua arah dengan  $L(r, \theta)$  ialah set bagi semua garis. Jelmaan surih adalah satu fungsi  $g(T, f, r, \theta)$  yang ditakrif pada  $L(r, \theta)$  dengan bantuan fungsian surih  $T$ . Maka

$$g(T, f, r, \theta) = T[f(r, \theta, r)] \quad (2)$$

Nombor (disebut fitur tigaan) yang boleh menggambarkan sifat imej  $f(x, y)$  dapat dijanakan dengan bantuan dua fungsian tambahan yang dipanggil diametrik (diametric) dan putaran (circus), yang masing-masing ditandai dengan  $P$  dan  $\Phi$  (Kadyrov & Fedotov 1995; Kadyrov & Petrou 1998; 2001). Fitur tigaan  $\Pi$  ditakrifkan sebagai:

$$\Pi(f) = \Phi[P[T[f(r, \theta, t)]]]. \quad (3)$$

dengan  $\Pi$  mewakili fitur tigaan bagi imej  $f(x, y)$  yang telah diekstrak,  $P$  ialah fungsian yang digunakan kepada parameter  $r$ , dan  $\Phi$  ialah fungsian yang beroperasi pada pemboleh ubah orientasi  $\theta$  setelah kedua-dua operasi sebelumnya selesai dilaksanakan.

Fitur tigaan yang diekstrak sangat bergantung kepada sifat fungsian yang telah dipilih, iaitu  $T$ ,  $P$  dan  $\Phi$ . Jika fitur ini ingin digunakan dalam pengekstrakan fitur, fungsian tersebut perlu dipilih agar fitur tigaan mempunyai satu daripada sifat berikut:

1. tak-ubah kepada putaran, translasi dan penskalaan;
2. sensitif kepada putaran, translasi dan penskalaan supaya parameter bagi imej yang telah diubah akan dapat dikembalikan;
3. berkait dengan sifat tertentu yang ingin dikenal pasti dalam satu siri imej.

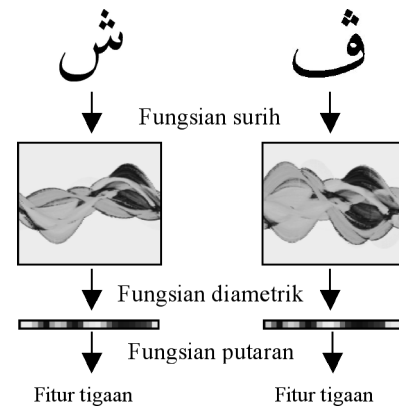
Dengan menggunakan kombinasi fungsian  $T$ ,  $P$  dan  $\Phi$  yang sesuai, ribuan fitur tigaan boleh dijana. Walaupun kebanyakan daripada fitur tersebut tidak semestinya boleh digunakan, namun dengan menjalankan banyak eksperimen, kombinasi fungsian yang sesuai untuk tugas tertentu boleh dicari. Contohnya, Mohammad Faizul et al. (2008b) dan Shin et al. (2008) masing-masing telah mencadangkan fungsian yang sesuai untuk menjana fitur tak-ubah kepada putaran, translasi, dan penskalaan bagi pengecaman aksara Jawi bercetak dan pengecaman tapak kaki serangga.

Rajah 2 menunjukkan langkah bagi menjana fitur tigaan daripada dua imej aksara Jawi “Syin” dan “Pa”. Di bawah setiap aksara dipaparkan Jelmaan surih masing-masing. Di bawah Jelmaan surih penulis menunjukkan fungsi putaran imej yang diperoleh dengan menggunakan fungsian  $P$  pada semua lajur Jelmaan surih. Akhirnya, penulis menggunakan fungsian  $\Phi$  untuk mendapatkan nombor tunggal, iaitu fitur tigaan yang akan dapat membezakan sifat di antara aksara.

Petrou dan Kadyrov (2004) mempersembahkan beberapa fungsian yang boleh menjana fitur tak-ubah kepada herotan afin menggunakan fungsian putaran (circus) ternormal (untuk maklumat lanjut, sila rujuk Petrou dan Kadyrov (2004)). Dalam masa yang sama, Kadyrov dan Petrou (2003) mencadangkan satu lagi kaedah yang boleh membezakan sifat di antara objek dengan hanya menggunakan dua fungsian awal, iaitu  $T$  dan  $P$ , dan bukannya ketiga-tiga fungsian sebelumnya. Kaedah ini menjanakan fitur berbentuk satu rentetan nombor yang seakan-akan menyerupai tandatangan bagi objek tersebut.

Tandatangan objek yang dimaksudkan ialah satu fungsi putaran bersekutu,  $h_a(\varphi)$ , yang ditakrifkan dalam terma fungsi  $h(\varphi)$ , yang dihasilkan dengan penggunaan fungsian  $T$  dan  $P$ :

$$h_a(\varphi) = |h(\varphi)|^{-1/(\lambda_p K_T - K_p)}. \quad (4)$$



RAJAH 2. Prosedur untuk menjana fitur tigaan imej. Imej aksara Jawi berada di bahagian paling atas. Di bawahnya ialah Jelmaan surih masing-masing. Selepas itu ialah fungsian putaran dan akhirnya fitur tigaan

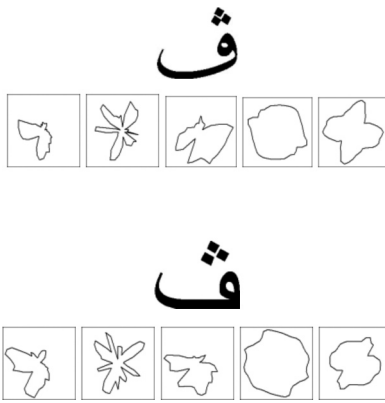
Parameter  $\lambda_p$ ,  $K_T$  dan  $K_p$  adalah nombor nyata yang menentukan sifat fungsian  $T$  dan  $P$  (untuk maklumat lanjut, sila rujuk Kadyrov dan Petrou (2003)). Jika  $\lambda_p K_T - K_p = 0$ , fungsi putaran bersekutu ditakrifkan sebagai:

$$h_a(\varphi) = \sqrt{\frac{dh(\varphi)}{d\varphi}}. \quad (5)$$

Jika fungsi putaran bersekutu bagi imej asal  $h_{n1}(\varphi)$  dan fungsi putaran bersekutu bagi imej yang mengalami herotan afin  $h_{n2}(\varphi)$  diplot dalam koordinat polar, keduanya akan menghasilkan dua bentuk hampir serupa yang boleh disamakan dengan satu penjelmaan linear. Bagi melihat persamaan bagi kedua-dua bentuk ini, ia perlu dinormalkan supaya paksi utama mereka bertemu. Ini dapat dilaksanakan dengan mengenakan penjelmaan linear terhadap kedua-dua bentuk secara berasingan seperti yang diterangkan dalam Kadyrov dan Petrou (2003). Dua bentuk ternormal,  $h_{n1}(\varphi)$  dan  $h_{n2}(\varphi)$ , masing-masing adalah tandatangan bagi kedua-dua imej. Dalam aspek aplikasi, pengecaman objek dilaksanakan dengan membandingkan kedua-dua rentetan nombor ini (tandatangan atau fitur)  $h_{n1}(\varphi)$  dan  $h_{n2}(\varphi)$  yang berbeza hanya dengan sedikit perubahan secara putaran dan penskalaan. Rajah 3 menunjukkan dua tandatangan bagi satu aksara Jawi berlainan jenis fon yang jika dilihat mempunyai persamaan dari segi bentuk dan setiap bentuk itu hanya sedikit berbeza dari segi putaran dan penskalaan.

## PENDEKATAN KAJIAN

Sebanyak 36 aksara Jawi telah digunakan dalam lapan eksperimen. Setiap aksara Jawi mempunyai empat keadaan, iaitu mula, tengah, hujung dan tunggal (Mohammad Faizul et al. 2008a) yang menjadikan Jawi tulisan kursif. Dalam makalah ini, hanya aksara Jawi bercetak dan tulisan tangan dalam bentuk tunggal sahaja dipilih kerana aksara dalam bentuk mula, tengah dan hujung sangat bergantung kepada penemberengan. Isu-isu



RAJAH 3. Tandatanganan (fungsi putaran bersekutu ternormal) bagi aksara Jawi “Pa” dalam (a) fon tradisional dan (b) fon mudah

dalam teknik penemberengan untuk tulisan kursif adalah di luar skop makalah ini. Fokus penulis adalah untuk membezakan aksara Jawi tunggal yang sangat serupa dan sebahagiannya hanya boleh dibezakan dengan panjang lengkok atau bilangan titik.

Penulis menyediakan 3 set imej aksara Jawi, iaitu dalam fon tradisional, fon mudah dan bentuk tulisan tangan seperti dalam Rajah 4. Penulis mengandaikan bahawa setiap aksara akan mengalami herotan afin apabila ia menggunakan fon berbeza atau apabila ia ditulis dalam bentuk tulisan tangan. Setiap imej adalah dalam 60 × 60 piksel dan berformat aras kelabu.

Penulis akan membandingkan keputusan kaedah Jelmaan surih dengan kaedah momen afin yang telah dinyatakan. Bagi kaedah Jelmaan surih, penulis menjanakan kedua-dua fitur, iaitu fitur tigaan dan tandatangan. Fitur

tigaan menggunakan enam jenis fungsian surih T. Fungsian tersebut ialah:

1.  $F_1$ : Kamiran  $f(t)$  dengan  $f(t)$  ialah nilai fungsi imej di sepanjang garis surih;
2.  $F_2$ : Maksimum  $|f(t)|$ ;
3.  $F_3$ : Kamiran  $|f'(t)|$ ;
4.  $F_4$ :  $L_p$  quasi-norm ( $p = 0.5$ )  $= q^2$ , dengan  $q$  adalah kamiran  $\sqrt{|f(t)|}$ ;
5.  $F_5$ : Median Berpemberat  $R^+$ :  $f(t - c)$  dengan  $c$  ialah absisa median dan semua pemberat ialah 1;
6.  $F_6$ : Median Berpemberat  $R^+$ :  $f(t - c)$  dengan  $c$  ialah absisa median dan semua pemberat ialah  $|f(t)|(t - c)$ .

Penulis mengira fitur tigaan,  $\Pi_n$ , sebagai nisbah kepada dua kombinasi fungsian  $P, T$  dan  $\Phi$  yang dinamakan sebagai  $\Pi_a$  dan  $\Pi_b$ . Bagi mendapatkan fitur yang tak-ubah kepada herotan afin, fungsi putaran perlu dinormalkan seperti yang dibincangkan dalam Petrou dan Kadyrov (2004). Penulis menjana lima fitur tigaan dengan menggunakan kombinasi fungsian berikut:

1.  $\Pi_1 \equiv \frac{\Pi_a(T = F_1, P = F_2, \Phi = F_1)}{\Pi_b(T = F_1, P = F_3, \Phi = F_1)}$ ;
2.  $\Pi_2 \equiv \frac{\Pi_a(T = F_1, P = F_6, \Phi = F_1)}{\Pi_b(T = F_1, P = F_3, \Phi = F_1)}$ ;
3.  $\Pi_3 \equiv \frac{\Pi_a(T = F_1, P = F_2, \Phi = F_2)}{\Pi_b(T = F_2, P = F_1, \Phi = F_4)}$ ;
4.  $\Pi_4 \equiv \frac{\Pi_a(T = F_1, P = F_2, \Phi = F_2)}{\Pi_b(T = F_2, P = F_1, \Phi = F_5)}$ ;
5.  $\Pi_5 \equiv \frac{\Pi_a(T = F_1, P = F_2, \Phi = F_2)}{\Pi_b(T = F_1, P = F_3, \Phi = F_1)}$ .

Tradisional	ع ه غ ك ف ذ ض د ج ب ا ع
	ر ق ف ن غ م ل لا خ ك ج ح
	ظ ز ي و ف ن ط ة ت ش س ص
Mudah	ع ه غ ك ف ذ ض د ج ب ا ع
	ر ق ف ن غ م ل لا خ ك ج ح
	ظ ز ي و ف ن ط ة ت ش س ص
Tulisan Tangan	ع ه غ ك ف ذ ض د ج ب ا ع
	ر ق ف ن غ م ل لا خ ك ج ح
	ظ ز ي و ف ن ط ة ت ش س ص

RAJAH 4. Tiga set imej aksara Jawi: dalam fon tradisional (asal), fon mudah dan bentuk tulisan tangan

Kemudian, bagi tandatangan, penulis menggunakan tiga fungsian  $T$  dan empat fungsian  $P$ . Fungsian  $T_1$  adalah sama dengan  $F_1$ , dan fungsian  $T_2$  adalah sama dengan  $F_4$ . Satu fungsian  $T$  yang lain adalah:

$$T_3: \text{Kamiran } |f''(t)|.$$

Semua fungsian  $P$  adalah sama seperti  $T_1, T_3, F_5$  dan  $F_6$ , cuma masing-masing dinamakan sebagai  $P_1, P_2, P_3$  dan  $P_4$ . Kemudian, penulis mencari pasangan bagi tiga fungsian  $T$  dan empat fungsian  $P$  tersebut untuk menghasilkan lima fungsi putaran atau tandatangan. Tandatangan yang terbaik untuk membezakan aksara Jawi adalah hasil pasangan fungsian  $(T_1, P_2), (T_1, P_3), (T_1, P_4), (T_2, P_1)$  dan  $(T_3, P_3)$ .

Setiap imej disurih dengan garis-garis yang jaraknya adalah 1 piksel (iaitu perbezaan nilai parameter  $p$  untuk garis-garis surih yang selari adalah 1). Bagi setiap nilai  $p$ , 48 orientasi yang berbeza digunakan. Ini bermaksud, beza orientasi garis-garis yang mempunyai nilai  $p$  yang sama adalah 7.5 darjah. Setiap garis disampel dengan titik-titik yang jaraknya adalah 1 piksel (iaitu parameter  $t$  mengambil nilai diskret dengan langkah 1).

Bagi membandingkan nilai dua tandatangan, iaitu satu dari imej asal (aksara fon tradisional) dan satu dari imej aksara dalam fon mudah atau bentuk tulisan tangan, penulis mengira pekali korelasi untuk semua kemungkinan anjakan menggunakan Jelmaan Fourier Pantas. Dua tandatangan boleh dikatakan sangat serupa apabila korelasi mereka maksimum. Bagi menyatakan dalam bentuk jarak yang kecil menunjukkan persamaan yang maksimum, penulis mengira kosinus songsang bagi nilai korelasi tadi. Ini menjadikan nilai 0 adalah nilai korelasi yang maksimum. Dengan cara ini, penulis menggunakan lima nombor berbeza (fitur) untuk membandingkan dua imej. Lima nombor tersebut dijumlah dan diisih. Nombor yang terkecil menunjukkan dua tandatangan yang sedang dibandingkan mempunyai persamaan yang paling tinggi.

Bagi kaedah momen afin, penulis menggunakan fungsi tak-ubah afin yang telah diperkenalkan oleh Flusser dan Suk seperti dalam Flusser dan Suk (1993), Flusser dan Suk (1994a) dan Flusser dan Suk (1994b). Fungsi tersebut adalah berdasarkan pengiraan momen objek yang ingin diperihalkan. Kombinasi momen ini akan menghasilkan beberapa pemerihal (fitur) tak-ubah afin. Enam fitur tak-ubah afin yang dicadangkan ialah:

$$1. \quad I_1 = \frac{1}{4_{00}^4} (\mu_{20}\mu_2 - \mu_{11}^2).$$

$$2. \quad I_2 = \frac{1}{4_{00}^{10}} (\mu_{30}^2\mu_2^2 - 6\mu_{30}\mu_{21}\mu_{12}\mu_{03} + 4\mu_{30}\mu_{12}^3 + 4\mu_{03}\mu_{21}^3 - 3\mu_{21}^2\mu_{12}^2).$$

$$3. \quad I_3 = \frac{1}{4_{00}^{10}} (\mu_{20} (\mu_{21}\mu_{03} - \mu_{12}^{22}) - \mu_{11} (\mu_{30}\mu_{03} - \mu_{21}\mu_{12}) + \mu_{02} (\mu_{30}\mu_{12} - \mu_{21}^2)),$$

$$4. \quad I_4 = \frac{1}{4_{00}^{11}} (\mu_{20}^2\mu_{03}^2 - 6\mu_{20}^2\mu_{11}\mu_{12}\mu_{03} - 6\mu_{20}^2\mu_{21}\mu_{02}\mu_{03} - 6\mu_{20}^2\mu_{21}\mu_{02}\mu_{12}^2 + 12\mu_{20}\mu_{11}^2\mu_{03}\mu_{21}\mu_{12} - 6\mu_{20}\mu_{11}\mu_{02}\mu_{30}\mu_{03} - 18\mu_{20}\mu_{11}\mu_{02}\mu_{21}\mu_{12} - 8\mu_{11}^3\mu_{03}\mu_{30} - 6\mu_{20}\mu_{20}^2\mu_{30}\mu_{12} + 9\mu_{20}\mu_{02}^2\mu_{21}^2 + 12\mu_{12}^2\mu_{02}\mu_{30}\mu_{12} - 6\mu_{11}^2\mu_{02}^2\mu_{30}\mu_{21} + \mu_{21}^3\mu_{30}^2),$$

$$5. \quad I_5 = \frac{1}{\mu_{00}^6} (\mu_{40}\mu_{04} - 4\mu_{31}\mu_{13} + 3\mu_{22}^2),$$

$$6. \quad I_6 = \frac{1}{\mu_{00}^9} (\mu_{40}\mu_{04}\mu_{22} - 2\mu_{31}\mu_{22}\mu_{13} - \mu_{40}\mu_{13}^2 - \mu_{04}\mu_{31}^2 - \mu_{22}^3),$$

dengan  $\mu_{pq}$  adalah

$$\mu_{pq} = \iint_{\text{objek}} f(x,y) (x-\bar{x})^p (y-\bar{y})^q dx dy. \quad (6)$$

dan  $f(x, y)$  adalah fungsi aras kelabu imej dan  $(\bar{x}, \bar{y})$  adalah pusat jisim objek. Flusser dan Suk mencadangkan penggunaan sama ada hanya empat fungsi pertama atau keenam-enam fungsi tak-ubah tersebut. Dalam eksperimen ini, penulis menggunakan kedua-dua kes bagi menghasilkan perbandingan yang lebih menyeluruh.

Bagi kaedah momen afin dan fitur tigaan, penulis menggunakan Rangkaian Neural Multi-Aras (RNMA) sebagai pengelas. Bilangan nod input RNMA adalah setara dengan bilangan fitur iaitu empat atau enam untuk kaedah momen afin dan lima untuk kaedah fitur tigaan. Manakala bilangan nod output ialah 36, iaitu bersamaan dengan bilangan kelas aksara Jawi. Bilangan nod tersembunyi,  $h$ , ditentukan dengan formula  $h = \sqrt{i}$  dengan  $i$  ialah bilangan nod input.

Semua aksara Jawi berfon tradisional digunakan semasa rangkaian neural dilatih. Aksara-aksara tersebut dimasukkan ke dalam nod input. Sebelum dilatih, nilai-nilai dari aksara dinormalkan dengan membahagikannya dengan satu nombor yang sesuai supaya semua fitur, apabila digabung, akan mempunyai aras magnitud yang sama. Di bahagian output, nod output yang padan dengan kelas corak pada nod input diset dengan nilai 1. Sehingga 68,000 epok digunakan dalam setiap latihan rangkaian neural. Latihan akan dihentikan apabila data latihan dapat dikelaskan dengan tepat, atau dengan kata lain 100% tepat dikelaskan.

Dalam proses pengujian, keempat-empat kaedah tadi, iaitu kaedah momen afin empat fitur, momen afin enam fitur, fitur tigaan dan tandatangan Jelmaan surih dibandingkan keberkesannya dari sudut peratus ketepatannya pengelasan,  $P$ , yang ditakrifkan sebagai:

$$P = \frac{a}{A} \times 100\%. \quad (7)$$

dengan  $a$  ialah bilangan imej aksara Jawi dalam set data ujian yang dikelaskan dengan tepat dan  $A$  ialah jumlah imej dalam set data ujian. Aksara Jawi fon tradisional

diset sebagai data asal (juga dipanggil set data latihan dalam rangkaian neural). Manakala aksara Jawi dalam fon mudah dan bentuk tulisan tangan ditetapkan sebagai set data ujian.

Akhirnya, penulis juga mengkaji hubungan antara bilangan fitur tandatangan yang digunakan dengan peratus pengecaman yang diperolehi. Pengecaman dibuat menggunakan satu hingga lima fitur tandatangan ke atas set aksara Jawi dalam fon mudah dan bentuk tulisan tangan. Uji kaji ini dapat menunjukkan sama ada mengurangkan atau menambahkan bilangan fitur tandatangan dapat memperbaiki peratus pengecaman.

#### HASIL UJI KAJI

Keputusan bagi semua eksperimen dipersembahkan dalam Jadual 1 hingga 3. Jadual 1 dan 2, masing-masing menunjukkan keputusan pengecaman menggunakan kaedah momen afin empat fitur, momen afin enam fitur, fitur tigaan dan tandatangan Jelmaan surih untuk aksara Jawi dalam fon mudah dan bentuk tulisan tangan. Jadual 3 pula menunjukkan keputusan pengecaman menggunakan satu hingga lima fitur tandatangan.

Dalam Jadual 1 dan 2, diletakkan keputusan peratusan pengecaman tepat (iaitu sebagai pilihan pertama) di lajur 2, diikuti oleh peratusan pengecaman sebagai pilihan kedua hingga kelima di lajur 3 ke 6. Pada lajur yang terakhir diletakkan jumlah peratusan hasil pengecaman sebagai pilihan keenam dan berikutnya. Bagi kedua-dua kaedah momen afin dan fitur tigaan, penulis menguji rangkaian neural yang telah dilatih dengan set data ujian. Kemudian jumlah pengecaman yang tepat dikira dengan mengisih output dari nilai tertinggi (menghampiri 1) hingga nilai terendah (menghampiri 0). Nilai output yang menghampiri

1 menunjukkan bahawa dua fitur yang diuji mempunyai nilai yang hampir sama.

Bagi Jadual 3, diletakkan peratusan pengecaman menggunakan satu fitur tandatangan di lajur 2, diikuti oleh bilangan fitur seterusnya, iaitu dua hingga lima di lajur 3 ke 6. Keputusan pengecaman pada lajur 6 adalah sama dengan keputusan pilihan pertama kaedah tandatangan dalam Jadual 1 dan 2.

#### KESIMPULAN

Berdasarkan keputusan yang telah dipersembahkan dalam Jadual 1 dan 2, dapat dirumuskan bahawa kaedah yang memberi peratus pengecaman yang tertinggi ialah kaedah yang berdasarkan fungsi putaran bersekutu ternormal (atau tandatangan Jelmaan surih). Kaedah tandatangan ini adalah kaedah yang terbaik untuk mengecam kedua-dua set aksara ujian, iaitu dalam fon mudah dan bentuk tulisan tangan. Secara keseluruhan, kedua-dua kaedah Jelmaan surih telah menunjukkan prestasi pengecaman mengatasi kedua-dua kaedah momen afin sama seperti yang telah dilaporkan oleh Kadyrov dan Petrou (2001; 2003), dan Petrou dan Kadyrov (2004).

Penulis menyedari bahawa keputusan peratusan pengecaman sebagai pilihan bagi aksara dalam bentuk tulisan tangan agak rendah berbanding keputusan yang diperolehi untuk fon mudah. Sebab utama kelemahan ini adalah kerana bilangan fitur yang digunakan oleh penulis cuma 5 (bagi tandatangan), sedangkan secara teorinya, Jelmaan surih membenarkan penjanaan fitur yang tidak terbatas banyaknya. Pengaruh bilangan fitur terhadap peratus pengecaman dapat dilihat seperti dalam Jadual 3. Secara umumnya, lebih banyak fitur yang digunakan, lebih tinggi peratusan pengecaman yang diperolehi. Ini juga

JADUAL 1. Keputusan pengecaman berdasarkan dua jenis fitur Jelmaan surih dan dua jenis fitur kaedah momen afin untuk mengecam aksara Jawi dalam fon mudah

Kaedah	Peratus Pengecaman Sebagai pilihan:					
	1	2	3	4	5	6+
Tandatangan	83.3	11.1	2.8	0	2.8	0
Fitur Tigaan	27.8	8.3	0	2.8	2.8	58.3
Momen Afin Enam Fitur	22.2	11.1	5.6	0	0	61.1
Momen Afin Empat Fitur	22.2	8.3	5.6	5.6	2.8	55.5

JADUAL 2. Keputusan pengecaman berdasarkan dua jenis fitur Jelmaan surih dan dua jenis fitur kaedah momen afin untuk mengecam aksara Jawi dalam bentuk tulisan tangan

Kaedah	Peratus Pengecaman Sebagai pilihan:					
	1	2	3	4	5	6+
Tandatangan	69.4	13.9	2.8	0	0	13.9
Fitur Tigaan	27.8	8.3	16.7	2.8	0	44.4
Momen Afin Enam Fitur	11.1	5.6	11.1	2.8	5.6	63.8
Momen Afin Empat Fitur	16.6	5.6	5.6	11.1	5.6	55.5

JADUAL 3. Keputusan pengecaman aksara Jawi dalam fon mudah dan bentuk tulisan tangan menggunakan satu hingga lima bilangan fitur tandatangan

Aksara Jawi	Peratus Pengecaman Bilangan Fitur Tandatangan				
	1	2	3	4	5
Fon Mudah	36.1	61.1	69.4	75.0	83.3
Bentuk Tulisan Tangan	50.0	50.0	61.1	63.9	69.4

adalah selari dengan kajian Kadyrov et al. (2001) yang memperoleh peratusan pengecaman sehingga 100% bagi tulisan Korea (iaitu bagi tulisan bukan Jawi) menggunakan 25 fitur tandatangan. Oleh itu, tumpuan penyelidikan penulis seterusnya adalah kepada menghasilkan lebih banyak fitur untuk pengecaman serta set data asal (atau set data latihan) yang lebih besar.

#### RUJUKAN

- Baghshah, M.S. 2005. A Novel Fuzzy Approach to Recognition of Online Persian Handwriting. *Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications 2005 (ISDA '05)*, 8-10 September. Wroclaw, Poland: 268-273.
- Deans, S.R. 1983. *The Radon Transform and Some of Its Applications*. Berlin: Krieger.
- Flusser, J. & Suk, T. 1993. Pattern Recognition by Affine Moment Invariants. *Pattern Recognition* 26: 167-174.
- Flusser, J. & Suk, T. 1994a. Affine Moment Invariants: A New Tool for Character Recognition. *Pattern Recognition Letters* 15: 433-436.
- Flusser, J. & Suk, T. 1994b. A Moment-Based Approach to Registration of Images with Affine Geometric Distortion. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 32: 382-387.
- Kadyrov, A. & Fedotov, N. 1995. Triple Features Pattern Recognition and Image Analysis. *Advances in Mathematical Theory and Applications* 5(4): 546-556.
- Kadyrov, A. & Petrou, M. 1998. The Trace Transform as a Tool to Invariant Feature Construction. *Proceedings of ICPR'98*, Brisbane, Australia: 1037-1039.
- Kadyrov, A. & Petrou, M. 2001a. Object Descriptors Invariant to Affine Distortions. *Proceedings of BMVC 2001*, Manchester, UK 2: 391-400.
- Kadyrov, A. & Petrou, M. 2001b. The Trace Transform and Its Applications. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 23(8): 811-828.
- Kadyrov, A., Petrou, M. & Park, J. 2001. Korean Character Recognition with the Trace Transform. *Proceedings of the International Conference on Integration of Multimedia Contents (ICIM 2001)*, November 15, Chosun University, Gwangju, South Korea: 7-12.
- Kadyrov, A. & Petrou, M. 2003. Object Signatures Invariant to Affine Distortions Derived from the Trace Transform. *Image and Vision Computing (IVC)* 21(13-14): 1135-1143.
- Khairuddin Omar. 2000. Pengecaman Teks Tulisan Tangan Jawi Menggunakan Pengelas Multi-Aras. Tesis Ph.D. Universiti Putra Malaysia.
- Lorigo, L.M. & Govindaraju, V. 2006. Offline Arabic Handwriting Recognition: A Survey. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 28(5): 712-724.
- Mazani Manaf 2002. Pengecaman Teks Tulisan Tangan Jawi Menggunakan Rangkaian Neural Recurrent Bama. Tesis Ph.D. Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Mohammad Faidzul Nasrudin, Khairuddin Omar, Mohamad Shanudin Zakaria & Liong Choong-Yeun 2008a. Handwritten Cursive Jawi Character Recognition: A Survey. *Proceedings of the 5th International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization*: 247-256.
- Mohammad Faidzul Nasrudin, Liong Choong-Yeun Khairuddin Omar & Mohamad Shanudin Zakaria 2008b. Trace transform for Jawi Character Recognition. Dlm. *Proceedings of the International Symposium on New Development of Geometric Function Theory and its Applications (GFTA 2008)*, edited by M. Darus & S. Owa. School of Mathematical Sciences, Universiti Kebangsaan Malaysia: 441-448.
- Petrou, M. & Kadyrov, A. 2004. Affine Invariant Features from the Trace Transform. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 26(1): 30-44.
- Plamondon, R. & Srihari, S.N. 2000. On-Line and Off-Line Handwriting Recognition: A Comprehensive Survey. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 22(1): 63-84.
- Radon, J. 1917. Über die Bestimmung von Funktionen durch ihre Integralwerte langesgewisser Mannigfaltigkeiten. *Ber. Sachsische Akademie der Wissenschaften* 69: 262-277.
- Shin, B.S., Cha, E.Y., Cho, K.W., Klette, R. & Woo, Y.W. 2008. *Effective Feature Extraction by Trace Transform for Insect Footprint Recognition*. Multimedia Imaging Report 12. Computer Science Department: The University of Auckland, New Zealand.
- Mohammad Faidzul Nasrudin, Khairuddin Omar & Mohamad Shanudin Zakaria  
Center for Artificial Intelligence Technology (CAIT)  
Faculty of Information Sciences and Technology  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 UKM Bangi, Selangor D.E.  
Malaysia
- Choong-Yeun Liong\*  
Pusat Pemodelan dan Analisis Data (DELTA)  
Pusat Pengajian Sains Matematik  
Fakulti Sains dan Teknologi  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 UKM Bangi, Selangor D.E.  
Malaysia
- \*Pengarang untuk surat-menyurat; email: lg@ukm.my
- Diserahkan: 17 April 2009  
Diterima: 16 September 2009