

Pembinaan Semula Fon Arab menggunakan Lengkung Bézier Kuartik (Reconstruction of Arabic Font with Quartic Bézier Curve)

NUR 'AFIFAH RUSDI* & ZAINOR RIDZUAN YAHYA

ABSTRAK

Padanan lengkung merupakan salah satu masalah yang sering menjadi perhatian terutamanya dalam bidang kejuruteraan balikan sejak dua dekad lepas. Dalam kajian ini, suatu kaedah dan algoritma baru telah direka untuk melakar semula garisan fon Arab. Evolusi pembezaan (EP) telah digunakan untuk mencari penyelesaian yang optimum bagi masalah padanan lengkung dengan menggunakan lengkung Bézier kuartik. Proses padanan lengkung ini merangkumi langkah berikut: Pengekstrakan sempadan dan pengesanan bucu, pemparameteran panjang rentas dan akhir sekali padanan lengkung. Bagi memastikan nilai titik kawalan yang dipilih mampu menghasilkan lengkung berparameter yang menyerupai lengkung asal fon tersebut, jumlah ralat kuasa dua (JRKD) digunakan untuk menghitung perbezaan antara lengkung asal imej dan lengkung berparameter.

Kata kunci: Evolusi pembezaan; jumlah ralat kuasa dua; lengkung kuartik bézier; penyuaian lengkung

ABSTRACT

Curve fitting is one of the main problems in reverse engineering which is immensely worked on during the last two decades. In this paper, a new technique and an algorithm have been designed to capture the outlines of Arabic fonts. Differential evolution (DE) had been used to find the optimal solution of the curve fitting problem by using quartic Bézier curve. The process of capturing outlines includes the following steps: Boundary extraction and corner point's detection, chord length parameterization and curve fitting. In order to ensure that the control point that was chosen is the best in result, the parametric curve such that it is approximate to the original curve; sum square error (SSE) was used to calculate the distance between boundary of the original image and the parametric curve.

Keywords: Curve fitting; differential evolution; quartic bézier curve; sum square error

PENGENALAN

Padanan lengkung yang sesuai telah banyak diaplikasikan dalam bidang kejuruteraan balikan untuk menghasilkan semula lengkung daripada data geometri asal yang diperoleh daripada imej bitmap (Roslan & Yahya 2014). Pada kebiasaannya, keratan kon atau Bézier kubik digunakan bagi tujuan padanan lengkung (Sarfriz & Khan 2002). Antaranya, ialah Sarfriz et al. (2013) yang telah menggunakan nisbah Bézier kubik bagi menyelesaikan masalah yang melibatkan kejuruteraan balikan. Selain itu, terdapat juga penyelidikan lain yang menggunakan Bézier kubik bagi tujuan yang sama (Rusdi & Yahya 2014; Sarfriz & Khan 2004, 2002; Sarfriz & Masood 2007). Namun begitu, hasil penyelidikan yang dilakukan oleh Shao dan Zhou (1996) mendapati terdapat beberapa had dalam penggunaan Bézier kubik. Antaranya ialah: Garis imej tidak boleh dihasilkan semula oleh secebis lengkung Bézier kubik jika ia mengandungi sudut; Garis imej tidak boleh dihasilkan semula menggunakan satu lengkung Bézier kubik jika ia mengandungi lebih daripada dua titik lengkung balas; dan Garis imej tidak boleh dihasilkan semula oleh secebis lengkung Bézier kubik jika ia mempunyai perubahan kelengkungan yang besar pada sepanjang bahagian tertentu lengkung.

Dalam usaha untuk mencari penyelesaian yang terbaik, perkomputeraan lembut yang berasaskan kaedah pengoptimuman sering digunakan oleh kebanyakan penyelidik. Contohnya, rangkaian neural (RN), algoritma genetik (AG) dan pengoptimuman zarah kumpulan (PZK) telah mendapat sambutan daripada kebanyakan penyelidik kerana keupayaan mereka terutamanya dalam menyelesaikan masalah kejuruteraan yang rumit (Sarfriz et al. 2013). Oleh itu, dalam kajian ini, kami menggunakan salah satu kaedah perkomputeraan lembut iaitu evolusi pembezaan (EP) untuk menyelesaikan masalah yang melibatkan kejuruteraan balikan dengan menggunakan lengkung Bézier kuartik. Salah satu penyelidikan yang menggunakan kaedah ini ialah Pandunata dan Shamsuddin (2010). Dalam kajian tersebut, kaedah EP digunakan untuk mencari nilai titik kawalan yang paling sesuai bagi lengkung Bézier kubik. Namun begitu, kajian tersebut hanya menerangkan secara umum tanpa menggunakan apa-apa objek.

Kajian ini terbahagi kepada enam bahagian iaitu pengenalan mengenai lengkung Bézier kuartik dan diikuti dengan proses EP yang dijelaskan secara umum. Kemudian, pengekstrakan sempadan dan pengesanan bucu diterangkan secara lebih terperinci dengan menggunakan tiga jenis fon

Arab. Seterusnya, pemparameteran panjang rentas dan padanan lengkung dibincangkan. Akhir sekali, kesimpulan dibuat berdasarkan keputusan yang diperoleh.

LENGKUNG BÉZIER KUARTIK

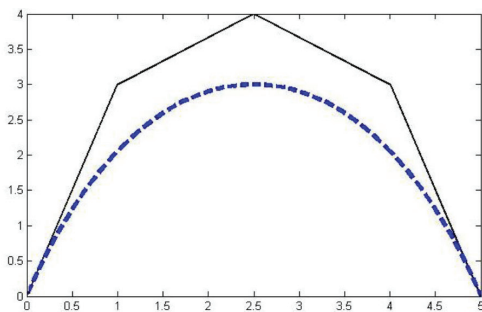
Lengkung Bézier ditakrifkan sebagai satu lengkung berparameter, $Q(t)$ yang merupakan fungsi polynomial bagi parameter t . Kebanyakan penyelidik telah menggunakan lengkung Bézier kerana ia mampu untuk menghasilkan hasil yang baik dan lengkung yang licin (Rusdi & Yahya 2014). Selain itu, lengkung Bézier boleh didefinisikan dalam sebarang darjah bermula dengan $n = 1$ dan lengkung yang berdarjah n mempunyai $n + 1$ titik kawalan. Jadi, secara amnya, persamaan bagi lengkung Bézier adalah seperti berikut:

$$Q(t) = \sum_{i=0}^n B_i^n(t) P_i \tag{1}$$

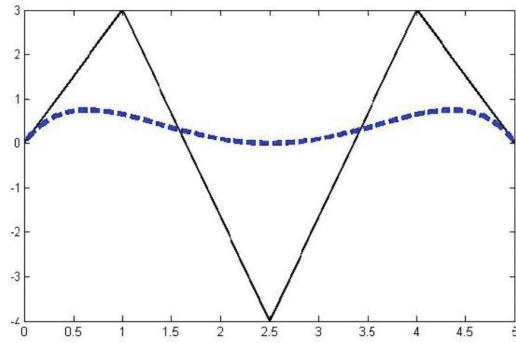
Dalam (1), P_i merujuk kepada titik kawalan dan $B_i^n(t)$ adalah fungsi campuran bagi lengkung Bézier atau lebih dikenali sebagai Polinomial Bernstein. Fungsi ini didefinisikan sebagai:

$$B_i^n(t) = \frac{n!}{(n-i)!i!} (1-t)^{n-i} t^i \tag{2}$$

Lengkung Bézier kuartik telah digunakan dalam kajian ini dengan $n = 4$ dan ia mempunyai 5 titik kawalan iaitu P_0, P_1, P_2, P_3 dan P_4 . Seperti yang dinyatakan pada awal perbincangan, kebanyakan penyelidik hanya mengkaji sehingga $n = 3$. Oleh itu, kajian ini dijalankan untuk mengkaji penggunaan lengkung Bézier kuartik dalam menyelesaikan masalah yang melibatkan pencarian lengkungan yang sesuai bagi sesebuah imej. Lengkung Bézier kuartik boleh digambarkan seperti dalam Rajah 1 dan 2. Rajah 1 menunjukkan hasil lengkung yang terbentuk dengan menggunakan lima titik kawalan. Manakala, Rajah 2 menunjukkan lengkung yang terbentuk setelah salah satu titik kawalan diubah.



RAJAH 1. Lengkung Bézier Kuartik menggunakan titik (0, 0), (1, 3), (2.5,4), (4, 3) dan (5, 0)



RAJAH 2. Lengkung Bézier Kuartik menggunakan titik (0, 0), (1, 3), (2.5, -4), (4, 3) dan (5, 0)

EVOLUSI PEMBEZAAN (EP)

Dalam kajian yang dilakukan oleh Feoktistov (2006), kaedah metaheuristik boleh dibahagikan kepada dua bahagian asas iaitu populasi dan kejitiran. Antara kaedah yang digunakan untuk menyelesaikan masalah yang berasaskan populasi ialah evolusi pembezaan (EP). EP telah diperkenalkan oleh Rainer Storm pada tahun 1995 dan tujuan utama algoritma ini adalah untuk menyelesaikan masalah yang melibatkan optimasi sejagat (Pandunata & Shamsuddin 2013). Pada kebiasaannya, dalam masalah yang melibatkan asas populasi seperti algoritma genetik, zuriat baru dihasilkan melalui proses pelintas klasik atau mutasi. Namun begitu, dalam kaedah EP, zuriat yang baru akan dihasilkan menggunakan kromosom ibu bapa. Kaedah ini telah diguna pakai oleh ramai penyelidik untuk menyelesaikan pelbagai masalah daripada bidang yang berbeza (Feoktistov 2006; Qing 2009). Antaranya ialah pemprosesan imej, reka bentuk kejuruteraan, kejuruteraan kimia dan biosistem, aerodinamik, aeronautik dan aeroangkasa, ekonomi serta sains alam sekitar dan kejuruteraan.

Secara umumnya, terdapat empat proses yang terlibat dalam kaedah ini. Pertama ialah proses ‘nilai awalan’ yang bertujuan untuk mendapatkan penyelesaian awal. Dalam proses ini, terdapat dua parameter kawalan yang perlu disetkan iaitu, bilangan generasi (BG) dan bilangan populasi (BP). Ruang pencarian digunakan bagi memudahkan proses pencarian penyelesaian awal. Penyelesaian awal ini boleh didapati dengan menggunakan rumus:

$$x_i = x^L + rand(0,1).(x^U - x^L), \tag{3}$$

dengan i ialah populasi; x^U nilai sempadan atas; x^L ialah nilai sempadan bawah; dan $rand(0,1)$ ialah nombor yang dipilih secara rawak dalam julat nombor 0 hingga 1.

Setelah penyelesaian awal diperoleh, operasi ‘mutasi’ dilakukan untuk menghasilkan vektor mutan atau lebih dikenali sebagai vektor penderma dengan simbol $V_{i,G}$. Pada tahap ini, satu parameter kawalan perlu disetkan iaitu faktor mutasi, F dalam julat 0 hingga 2. Namun begitu, penyelidikan yang dijalankan oleh Arunachalam (2008)

menunjukkan nilai yang paling sesuai bagi F ialah antara 0.5 hingga 1. $V_{i,G}$ dicari bagi setiap individu dalam populasi, $X_{i,G}$, juga dikenali sebagai vektor sasaran (Qin et al. 2009). Bagi setiap vektor sasaran, $X_{i,G}$ pada setiap generasi, vektor penderma $V_{i,G} = [V_{i,G}^1, V_{i,G}^2, \dots, V_{i,G}^D]$ boleh dihasilkan melalui beberapa strategi mutasi. Hasil penyelidikan yang dilakukan oleh Das et al. (2008) mendapati terdapat sepuluh jenis vektor penderma yang boleh digunakan dalam proses ini. Antara vektor penderma yang kerap digunakan ialah:

$$V_{i,G} = X_{i,G} + F \cdot (X_{r_2,G} - X_{i,G}). \quad (4)$$

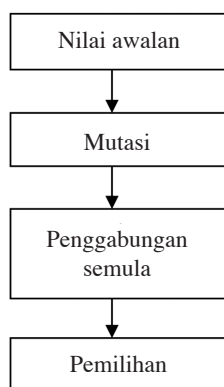
Peringkat ketiga dalam proses EP ialah ‘penggabungan semula’ dan ia menggabungkan penyelesaian daripada generasi sebelumnya. Tujuan utama proses ini ialah untuk meningkatkan kepelbagaian potensi populasi. Operasi ini dijalankan bagi setiap vektor sasaran $X_{i,G}$ dan setiap unsur bagi vektor penderma $V_{i,G}$ untuk menghasilkan vektor percubaan $U_{i,G}$. Unsur vektor penderma dipilih sebagai vektor percubaan dengan keberangkalian kadar pelintas, CR (Yahya 2013). CR ialah parameter kawalan yang perlu ditetapkan antara julat 0 hingga 1 seperti yang terdapat dalam (5).

$$U_{i,G} = \begin{cases} V_{i,j}, & \text{jika } \text{rand}(0,1) \leq CR \\ X_{i,j}, & \text{jika } \text{rand}(0,1) > CR \end{cases} \quad (5)$$

Fasa terakhir dalam proses ini ialah ‘pemilihan’. Tujuan utama pemilihan ialah untuk mengekalkan jumlah saiz populasi. Oleh itu, vektor sasaran dan vektor percubaan dipilih sebagai penyelesaian yang terbaru jika memenuhi syarat berikut:

$$X_{i,G+1} = \begin{cases} U_{i,G} & \text{jika } f(U_{i,G}) \leq f(X_{i,G}) \\ X_{i,G} & \text{sebaliknya} \end{cases}. \quad (6)$$

Proses asas EP ini boleh digambarkan melalui carta aliran pada Rajah 3.



RAJAH 3. Proses asas pembezaan evolusi

PENGEKSTRAKAN SEMPADAN DAN PENGESANAN BUCU

Langkah pertama dalam kejuruteraan balikan bagi objek satah ialah mendapatkan imej bitmap. Imej bitmap boleh didapati melalui dua kaedah iaitu daripada alat elektronik atau dengan mengimbas imej tersebut. Empat imej telah digunakan dalam kajian ini seperti yang terdapat pada Jadual 1. Setelah imej bitmap diperolehi, langkah seterusnya ialah mengekstrak sempadan. Tujuan utama pengekstrakan ini ialah untuk mengekalkan bentuk asal imej tersebut (Sarfranz et al. 2013). Dalam kajian ini, fungsi yang terdapat dalam perisian MATLAB yang dikenali sebagai sempadan digunakan untuk mengekstrak sempadan bagi setiap imej bitmap yang digunakan.

Langkah seterusnya ialah mengesan jumlah bucu bagi setiap imej. Bucu ditakrifkan sebagai titik yang membahagikan sempadan kepada beberapa segmen. Hasil penyelidikan yang dilakukan oleh Sarfranz (2008) mendapati pelbagai kaedah boleh digunakan untuk mengesan bucu bagi sesebuah imej. Antaranya ialah Algoritma Sarfranz, Asim dan Masood (SAM06), Algoritma Davis dan Freeman (FD77) dan Algoritma Chetverikov dan Szabo (CS99). Namun begitu, tiada algoritma khas yang digunakan bagi masalah yang melibatkan fon Arab (Sarfranz & Khan 2004, 2002; Sarfranz & Razzak 2002) telah menggunakan Algoritma Davis bagi tujuan pengesanan bucu. Selain itu, Algoritma Quddus juga digunakan bagi tujuan yang sama (Sarfranz & Khan 2000). Kajian ini telah menggunakan Algoritma SAM06 untuk mengesan bucu bagi setiap fon yang digunakan. Kemudian, Algoritma Douglas- Peucker digunakan bagi tujuan mengurangkan jumlah data pada setiap lengkungan. Pengurangan ini dapat menjimatkan masa disamping menghasilkan lengkung yang baik. Jadual 1 menunjukkan hasil yang diperolehi menggunakan kaedah ini.

PEMPARAMETERAN PANJANG RENTAS

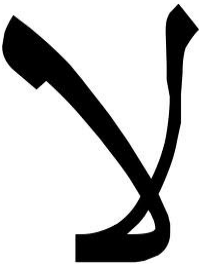
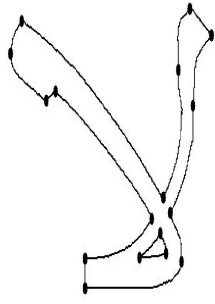

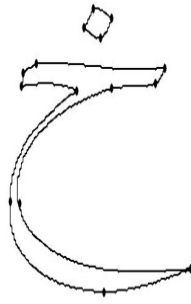


Seperti yang telah dibincangkan dalam bahagian sebelum ini, lengkung Bézier kuartik terdiri daripada lima titik kawalan iaitu P_0 , P_1 , P_2 , P_3 dan P_4 . Lengkung ini akan menginterpolasi dua titik kawalan iaitu titik kawalan pertama P_0 dan titik kawalan yang terakhir, P_4 serta mengangarkan tiga titik kawalan pengantara iaitu P_1 , P_2 , dan P_3 . Daripada (1), apabila $n = 4$, persamaan yang terbentuk ialah:

$$Q(t) = B_0^4(t)P_0 + B_1^4(t)P_1 + B_2^4(t)P_2 + B_3^4(t)P_3 + B_4^4(t)P_4. \quad (7)$$

Persamaan (7) yang dikembangkan menghasilkan

$$Q(t) = (1-t)^4 P_0 + 4t(1-t)^3 P_1 + 6t^2(1-t)^2 P_2 + 4t^3(1-t)P_3 + t^4 P_4. \quad (8)$$

JADUAL 1. Imej asal dan bilangan bucu yang dikesan

Imej asal	Bucu yang dikesan	Bil. bucu yang dikesan
 Lam Alif		17
 Kha		15
 Ka		13

Persamaan (8) yang dikembangkan boleh ditulis dalam bentuk matrik seperti berikut:

$$\begin{bmatrix} t^4 & t^3 & t^2 & t & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -4 & 6 & -4 & 1 \\ -4 & 12 & -12 & 4 & 0 \\ 6 & -12 & 6 & 0 & 0 \\ -4 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Sebelum penganggaran titik kawalan pengantara dilakukan, satu proses yang dikenali sebagai pemparameteran hendaklah dijalankan bagi mencari nilai t . Pemparameteran panjang rentas telah digunakan bagi tujuan tersebut dan nilai t dicari bagi setiap titik p_i . Nilai t boleh dicari menggunakan rumus pada (10).

$$t_i = \begin{cases} 0 & \text{jika } i = 1 \\ \frac{|p_1 p_2| + |p_2 p_3| + \dots + |p_i p_{i+1}|}{|p_1 p_2| + |p_2 p_3| + \dots + |p_{n-1} p_n|} & \text{jika } i \leq n-1. \\ 1 & \text{jika } i = n \end{cases} \quad (10)$$

PADANAN LENGKUNG

Setelah nilai t diperoleh, fasa terakhir ialah mencari nilai titik kawalan pengantara. Oleh itu, evolusi pembezaan (EP) akan digunakan bagi mencari nilai anggaran yang terbaik dengan mengambil kira nilai minimum bagi jumlah ralat kuasa dua (JRKD). JRKD telah digunakan untuk menghitung perbezaan jumlah ralat yang diperoleh daripada sempadan asal imej dan lengkung berparameter yang terhasil.

Fasa pertama dalam evolusi pembezaan ialah proses ‘nilai awalan’. Seperti yang dibincangkan di awal perbincangan, pada fasa ini terdapat dua parameter kawalan yang perlu disetkan. Dalam kajian ini, bilangan generasi (BG) yang telah digunakan ialah 50 dan bilangan populasi (BP) ialah sebanyak 100. Penyelesaian awal boleh dikira menggunakan (3). Jadual 2 menunjukkan contoh penyelesaian awal yang diperoleh pada generasi yang pertama dengan menggunakan saiz populasi sebanyak 5.

Seperti yang dilihat pada Jadual 2, tujuan proses EP dilakukan adalah untuk mencari nilai terbaik bagi setiap titik pengantara P_1, P_2 dan P_3 . Nilai yang terbaik ditentukan melalui nilai JRKD yang paling minimum. Mengikut pada penyelesaian awal yang terdapat dalam jadual tersebut, individu yang terbaik yang menghasilkan nilai JRKD yang paling rendah ialah individu keempat iaitu X_4 .

Seterusnya, setiap individu X_i akan menjalani operasi ‘mutasi’ bagi menghasilkan vektor penderma $V_{i,G}$. Di sini, setiap individu dikenali sebagai vektor sasaran. Vektor penderma yang digunakan dalam kajian ini adalah seperti yang terdapat pada (4) dengan tiga nilai yang dipilih secara rawak iaitu $X_{r_1,G}, X_{r_2,G}$ dan $X_{r_3,G}$. Dalam operasi ini, faktor

mutasi, F memainkan peranan penting dalam mengawal penghasilan $V_{i,G}$. Nilai F yang paling sesuai bagi kajian ini ialah $F = 0.8$. Pada nilai tersebut, ia mampu menghasilkan lengkung yang menyerupai lengkung asal sesebuah imej. Pada akhir fasa ini, jumlah vektor penderma yang dihasilkan adalah sama dengan jumlah saiz populasi iaitu sebanyak 100.

Jadual 3 dan 4 menunjukkan contoh pengiraan vektor penderma dengan menggunakan penyelesaian awal yang terdapat pada Jadual 2. Dalam contoh ini, untuk mencari vektor penderma yang pertama V_1, X_1 telah dipilih sebagai $X_{r_1,G}, X_3$ sebagai $X_{r_2,G}$ dan X_5 sebagai $X_{r_3,G}$. Oleh itu, rumus yang terbentuk ialah seperti (11).

$$V_1 = X_1 + F.(X_3 - X_5). \quad (11)$$

Proses pengiraan yang terdapat pada Jadual 3 dan 4 akan menghasilkan satu vektor penderma iaitu V_1 . Proses yang sama akan berulang menggunakan nilai berbeza $X_{r_1,G}, X_{r_2,G}$ dan $X_{r_3,G}$ sehingga menghasilkan lima vektor penderma.

JADUAL 2. Contoh penyelesaian awal

X_i	P_1 (x_i, y_i)		P_2 (x_i, y_i)		P_3 (x_i, y_i)		JRKD
X_1	0.32	0.48	0.41	0.81	0.34	0.44	1.62
X_2	0.06	0.35	0.84	0.96	0.12	0.57	2.08
X_3	0.41	0.26	0.92	0.57	0.45	0.60	0.77
X_4	0.03	0.69	0.29	0.29	0.24	0.49	0.16
X_5	0.21	0.87	0.54	0.99	0.53	0.61	1.75

JADUAL 3. Contoh pengiraan vektor penderma

	X_3	X_5	Perbezaan Vektor ($X_3 - X_5$)		Perbezaan vektor pemberat ($X_3 - X_5$) $\times F$
P_1	0.41	0.21	0.2		0.16
	0.26	0.87	-0.61		-0.49
P_2	0.92	0.54	0.38		$\times F$ ($F = 0.8$)
	0.57	0.99	-0.42		
P_3	0.45	0.53	-0.08		-0.06
	0.60	0.61	-0.01		0.00

JADUAL 4. Contoh pengiraan vektor penderma

	X_1	Perbezaan vektor pemberat ($X_3 - X_5$) $\times F$		Perbezaan vektor V_1	
P_1	0.32	0.16		0.48	
	0.48	-0.49		-0.01	
P_2	0.41	+	0.31		0.72
	0.48		-0.34		0.14
P_3	0.34	-0.06		0.28	
	0.44	-0.00		0.44	

Jadual 5 menunjukkan salah satu daripada lima vektor penderma tersebut. Pada peringkat ketiga, kesemua vektor sasaran dan vektor penderma akan melalui proses penggabungan untuk menghasilkan vektor percubaan iaitu $U_{i,G}$. Pemilihan nombor secara rawak antara julat 0 hingga 1 akan dibuat dan dibandingkan dengan nilai kadar pelintas, CR bagi mengetahui sama ada vektor sasaran atau vektor penderma yang akan dipilih menjadi vektor percubaan seperti yang terdapat dalam (5). Dalam kajian ini, kami menggunakan 0.5 sebagai nilai CR.

Jadual 6 menerangkan cara bagi mendapatkan nilai vektor percubaan yang pertama. Pada jadual tersebut, terdapat lima nombor rawak yang telah dipilih bagi mewakili lima individu dalam populasi tersebut. Setiap nombor rawak tersebut akan dibandingkan dengan nilai kadar pelintas, CR iaitu 0.5. Jika nombor rawak yang terpilih lebih kecil daripada nilai CR, maka vektor penderma V_1 akan dipilih sebagai vektor percubaan yang pertama iaitu U_1 . Sebaliknya, jika nombor rawak yang terpilih adalah lebih besar daripada nilai CR, maka vektor sasaran X_1 , akan dipilih sebagai U_1 . Contohnya, nombor rawak yang pertama ialah 0.83. Oleh kerana $0.83 > 0.5$, maka X_1 dipilih sebagai vektor percubaan yang pertama. Proses yang sama akan berulang sehingga terbentuk lima vektor percubaan. Jadual 7 menunjukkan nilai U_1 bagi setiap titik kawalan P_1, P_2 dan P_3 .

Akhir sekali, vektor sasaran dan vektor percubaan akan menjalani proses 'pemilihan'. Dalam proses ini, fungsi objektif iaitu JRKD memainkan peranan penting dalam membuat pemilihan bagi mengekalkan jumlah saiz populasi. Untuk mengetahui apakah penyelesaian bagi

individu pertama, fungsi objektif dihitung menggunakan maklumat yang terdapat pada setiap X_1 dan U_1 . Hasil yang diperoleh akan dibandingkan menggunakan (6). Jika ralat yang diperoleh menggunakan U_1 adalah lebih kecil daripada X_1 , maka vektor percubaan U_1 akan dipilih bagi menggantikan vektor sasaran X_1 . Jika sebaliknya, X_1 akan kekal sebagai penyelesaian bagi individu yang pertama. Jadual 8 menunjukkan contoh nilai JRKD yang dikira berdasarkan maklumat pada vektor sasaran dan vektor percubaan. Hasil yang diperoleh ialah $1.43 < 1.62$. Maka, U_1 akan dipilih bagi menggantikan X_1 . Penyelesaian bagi individu yang pertama adalah seperti yang terdapat pada Jadual 9. Proses yang sama akan berulang sehingga menghasilkan lima penyelesaian yang terbaru bagi generasi yang pertama. Proses EP yang sama akan dilakukan bagi generasi yang seterusnya. Dalam kajian ini kami telah menetapkan satu kriteria bagi menghentikan proses tersebut iaitu setiap individu dalam populasi akan diproses sebanyak 10 kali dan purata ralat akan dihitung. Demonstrasi padanan lengkung Bézier kuartik (garis pejal) dan sempadan asal imej (garis putus-putus) adalah seperti pada Rajah 4. Dalam rajah tersebut, kesemua lengkung Bézier kuartik bertindih dan hampir menyerupai sempadan asal imej. Walau bagaimanapun, lengkung yang terhasil tidak licin. Hal ini disebabkan oleh penggunaan Algoritma Douglas-Peucker. Penggunaan algoritma ini bertujuan untuk mengurangkan jumlah data. Pengurangan jumlah data tersebut telah menyebabkan lengkung yang terhasil menjadi lebih lurus (tidak licin). Jadual 10 menunjukkan ralat bagi setiap imej.

JADUAL 5. Nilai vektor penderma pertama, V_1

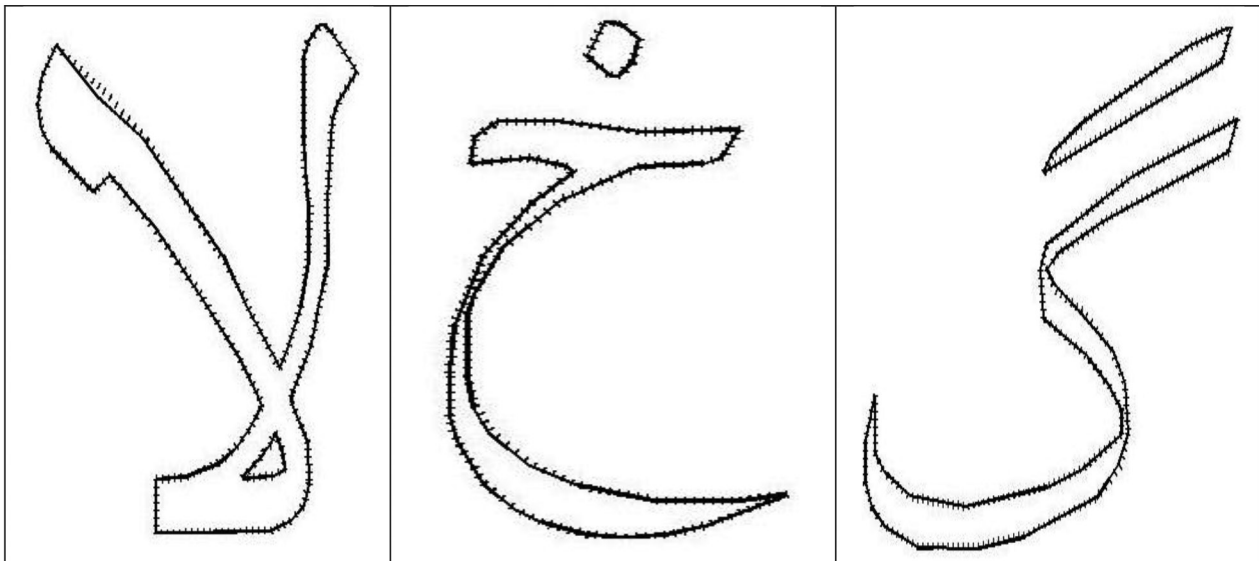
V_i	P_1 (x_i, y_i)		P_2 (x_i, y_i)		P_3 (x_i, y_i)	
V_1	0.48	-0.01	0.72	0.14	0.28	0.44

JADUAL 6. Contoh pengiraan untuk penentuan vektor sasaran U_1

Nombor rawak	\leq/\geq	Vektor percubaan $U_{i,G}$
0.83		X_1
0.46	0.5	V_1
0.49		V_1
0.71		X_1
0.21		V_1

JADUAL 7. Contoh vektor percubaan

U_i	P_1 (x_i, y_i)		P_2 (x_i, y_i)		P_3 (x_i, y_i)	
U_1	0.32	0.48	0.41	0.81	0.34	0.44



RAJAH 4. Penyuaiian lengkung Bézier kuartik (garis pejal) dan sempadan asal imej garis putus-putus

JADUAL 8. Nilai JRKD bagi individu pertama

$f(U_1)$	$f(X_1)$
1.43	1.62

JADUAL 9. Penyelesaian individu pertama bagi generasi pertama

	P_1 (x_i, y_i)		P_2 (x_i, y_i)		P_3 (x_i, y_i)	
$X_{1,1}$	0.32	0.48	0.72	0.14	0.28	0.44

JADUAL 10. JRKD dan jumlah masa bagi setiap imej

Nama imej	JRKD	Jumlah masa
LamAlif	61.2521	34.6129
Kha	1.5796	29.7634
Ka	6.9178	26.0944

KESIMPULAN

Kajian ini telah membentangkan suatu kaedah bagi tujuan penganggaran sempadan untuk sesebuah imej. Dalam kajian ini, terdapat tiga jenis fon Arab yang telah digunakan dan penganggaran sempadan dilakukan menggunakan evolusi pembezaan (EP) dan lengkung Bézier kuartik digunakan bagi tujuan padanan lengkung. Untuk meningkatkan pencapaian kaedah ini, kami telah menggunakan Algoritma Douglas-Peucker bagi mengurangkan jumlah data pada setiap lengkungan. Hasil penyelidikan telah membuktikan bahawa kaedah ini sesuai digunakan kerana ia menghasilkan ralat yang kecil di samping jumlah masa yang singkat. Kajian yang dijalankan menggunakan Bézier kubik juga turut

menghasilkan lengkung fon Arab yang baik (Sarfraz & Khan 2002). Namun begitu, perbandingan secara terperinci tidak dapat dilakukan. Hal ini disebabkan kajian dijalankan menggunakan fon Arab yang berbeza, kaedah yang berbeza serta penggunaan lengkung yang berlainan. Perbandingan menggunakan fon Arab yang sama akan dijalankan pada masa hadapan untuk menguji keberkesanan kaedah ini dengan mengambil kira lengkung yang berbeza.

PENGHARGAAN

Kajian ini disokong oleh Geran Penyelidikan Jangka Pendek 2015 (9001-00445). Penulis juga sangat menghargai segala komen yang diberikan oleh penilai bagi meningkatkan kualiti makalah ini.

RUJUKAN

- Arunachalam, V. 2008. Optimization using differential evolution. *Water Resources Research Report. Book 22*. The University of Western Ontario. Department of Civil and Environment Engineering.
- Das, S., Abraham, A. & Konar, A. 2008. Particle swarm optimization and differential evolution algorithms: Technical analysis, applications and hybridization perspectives. In *Advances of Computational Intelligence in Industrial Systems*. Berlin, Heidelberg: Springer. pp. 1-38.
- Feoktistov, V. 2006. Differential Evolution. *Search of Solutions*. Berlin: Springer. pp. 1-24.
- Pandunata, P. & Shamsuddin, S.M.H. 2010. Differential evolution optimization for Bézier curve fitting. *Computer Graphics, Imaging and Visualization (CGIV), Seventh International Conference*. IEEE. pp. 68-72.
- Pandunata, P., Forkan, F. & Shamsuddin, S.M.H. 2013. Growing grid-evolutionary algorithm for surface reconstruction. *Computer Graphics, Imaging and Visualization (CGIV), 10th International Conference*. IEEE. pp. 68-74.
- Qin, A.K., Huang, V.L. & Suganthan, P.N. 2009. Differential evolution algorithm with strategy adaptation for global numerical optimization. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions* 13(2): 398-417.
- Qing, A. 2009. Advances in differential evolution. In *Differential Evolution: Fundamentals and Applications in Electrical Engineering*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- Roslan, N. & Yahya, Z.R. 2014. Reconstruction of egg shape using cubic B-Spline. *International Conference on Mathematics, Engineering & Industrial Application. preprint*.
- Rusdi, N.A. & Yahya, Z.R. 2014. Reconstruction of generic shape with cubic Bézier using least square method. *International Conference on Mathematics, Engineering & Industrial Application. preprint*.
- Sarfraz, M., Irshad, M. & Hussain, M.Z. 2013. Reverse engineering of planar objects using GAs. *Sains Malaysiana* 42(8): 1167-1179.
- Sarfraz, M. & Khan, M.A. 2004. An automatic algorithm for approximating boundary of bitmap characters. *Future Generation Computer Systems* 20(8): 1327-1336.
- Sarfraz, M. & Khan, M.A. 2002. Automatic outline capture of Arabic fonts. *Information Sciences* 140(3): 269-281.
- Sarfraz, M. & Khan, M. 2000. Towards automation of capturing outlines of Arabic fonts. In *Proc. of the Third KFUPM Workshop on Information and Computer Science: Software Development for the New Millennium, Saudi Arabia*. pp. 83-98.
- Sarfraz, M. & Masood, A. 2007. Capturing outlines of planar images using Bézier cubics. *Computers & Graphics* 31(5): 719-729.
- Sarfraz, M. & Razzak, M.F.A. 2002. An algorithm for automatic capturing of the font outlines. *Computers & Graphics* 26(5): 795-804.
- Sarfraz, M. 2008. Corner detection for curve segmentation. *Interactive Curve Modeling: With Applications to Computer Graphics, Vision and Image Processing*. London: Springer-Verlag London Limited. pp. 209-240.
- Shao, L. & Zhou, H. 1996. Curve fitting with Bézier cubics. *Graphical Models and Image Processing* 58(3): 223-232.
- Yahya, Z.R. 2013. Representation of rational Bézier quadratics using genetic algorithm, differential evolution and particle swarm optimization. PhD Thesis. Universiti Malaysia Perlis (unpublished).

Institut Matematik Kejuruteraan
Universiti Malaysia Perlis
Kampus Pauh Putra
02600 Arau, Perlis Indera Kayangan
Malaysia

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: afifahrusdi@unimap.edu.my

Diserahkan: 21 November 2014
Diterima: 22 April 2015