

Evolusi Pembezaan untuk Kejuruteraan Balikan dengan Mengguna Lengkung Ball Kubik

Differential Evolution for Reverse Engineering Using Cubic Ball Curve

Zabidi Abu Hasan^{*1}, Zainor Ridzuan Yahya¹ & Abd Rahni Mt Piah²

¹Institute of Engineering Mathematics, Universiti Malaysia Perlis, Arau Perlis

²School of Mathematical Sciences, Universiti Sains Malaysia, USM Pulau Pinang

*e-mail: zabidi@unimap.edu.my

Abstrak

Dalam kajian ini, beberapa gambar telah diproses atau diekstrak untuk mendapatkan maklumat titik sempadan. Kemudian, gambar tersebut telah dipadankan semula dengan mengguna fungsi Ball kubik yang terdiri daripada dua titik kawalan yang boleh digunakan untuk mengubahsuai lengkung yang dibina. Kajian ini telah mengguna kaedah penghampiran secara automatik. Kaedah “Evolusi Pembezaan” telah diguna untuk mengoptimumkan dua titik yang terdapat pada fungsi Ball kubik. Proses ini telah diulangi berkali-kali sehingga lengkung yang berjaya dibina menghampiri dengan gambar asal. Beberapa keputusan dan gambar rajah dipamerkan dalam kajian ini.

Kata kunci evolusi pembezaan, fungsi Ball kubik, kejuruteraan balikan, pepadanan lengkung

Abstract

In this study, some of the pictures were processed or extracted to obtain the boundary points. Then, the image was matched by using cubic Ball function which consisted of two control points that could be used to modify the curve constructed. This study used the approximation method automatically. The “Differential Evolution” was used to optimize the two points found on the Ball cubic functions. This process was done iteratively until the curves were successfully built to approximate with the original picture. Some results and numerical examples are illustrated in this study.

Keywords differential evolution, cubic Ball function, reverse engineering, curve fitting

PENGENALAN

Pembinaan semula lengkung merupakan kajian yang mendapat tarikan ramai penyelidik. Hal ini disebabkan oleh peranan bidang ini dalam menyelesaikan masalah kehilangan sesuatu bahagian yang perlu diganti. Contohnya, tengkorak yang pecah disebabkan oleh kemalangan perlu diganti. Jadi pembinaan semula perlu dilakukan untuk mendapatkan bahagian yang hilang pada tengkorak tersebut (Felipe at al., 2011). Selain itu, kualiti dan kelicinan sesuatu objek mampu dipertingkatkan mengikut keinginan masing-masing.

Beberapa peringkat diperlukan bagi memastikan sesuatu objek dapat dibina semula dengan baik. Objek atau imej yang ingin dibina tidak akan terhasil jika tiada titik-titik data yang diekstrak daripada imej asal. Kajian mengekstrak sempadan telah dilaksanakan oleh Hou & Wei (2002) serta Sarfraz & Khan (2004). Masalah pepadanan lengkung terhadap sempadan yang telah diekstrak ini menjadi tarikan ramai penyelidik. Para penyelidik masih meneruskan usaha dalam bidang ini kerana merasakan kepentingan yang ada dalam bidang ini, tambahan dengan permintaan daripada banyak pihak seperti perindustrian, pergigian dan sebagainya.

Padanan lengkung sangat bermanfaat dalam kejuruteraan balikan. Namun, ketepatan serta kelicinan lengkung yang dijana menjadi persoalan. Justeru, dengan panduan sebegini membuatkan penyelidik berusaha mencari penyelesaian yang sesuai. Maka, tidak hairanlah pelbagai fungsi lengkung digunakan dalam menyelesaikan masalah ini. Antaranya, B-splines (Höllzle, 1983), Interpolasi kubik nisbah (Sarfraz & Khan, 2000; Sarfraz, Irshad & Hussain, 2012), splin Be'zier (Sarfraz & Rasheed, 2007) dan interpolasi Hermit (Sarfraz & Razzak, 2002). Segelintir daripada kaedah yang ada boleh diketengahkan dan mampu memberikan keputusan yang berbeza seperti fungsi asas Ball (Ball, 1975). Fungsi asas Ball boleh dikembangkan dalam bentuk nisbah, iaitu interpolasi kuartik nisbah (Piah & Unsworth, 2011), lengkung Ball nisbah (Tien, 1999) dan lengkung Ball kubik nisbah (Hasan at al., 2014) yang terdiri daripada beberapa parameter bebas yang boleh diubahsuai.

METODOLOGI

Evolusi Pembezaan

Pengiraan lembut berdasarkan kaedah pengoptimuman sangat berguna dalam menyediakan satu medium penyelesaian masalah pengoptimuman terutama apabila melibatkan ketakpersisan dan ketidakpastian. Contoh pengiraan lembut yang menjadi sebutan para penyelidik ialah logik kabur, algoritma genetik, pengoptimuman koloni semut, evolusi pembezaan dan lain-lain. Pepadanan lengkung dengan mengguna kaedah pengiraan lembut telah dikaji oleh banyak penyelidik. Contohnya, Zainor at al. (2012) menggunakan "particle swarm optimization" dan Sarfraz at al. (2013) menggunakan kaedah algoritma genetik. Kajian ini telah mengguna, kaedah evolusi pembezaan untuk pengoptimuman dua titik kawalan yang terdapat pada persamaan lengkung Ball. Hasil kajian lepas banyak menunjukkan bahawa evolusi pembezaan mampu memberikan penyelesaian yang diinginkan (Pandunata & Shamsuddin, 2010; Storn & Price, 1995).

Lengkung Ball Kubik

Ball kubik merupakan fungsi yang diperkenalkan oleh Ball (1974) mempunyai sifat-sifat yang diperlukan untuk kajian yang dilakukan ini. Antara sifat-sifat tersebut ialah mempunyai sistem koordinat bebas, simetri dan menginterpolasi titik akhir. Justeru, segala sifat yang ada pada fungsi ini mampu membantu dalam proses pepadanan lengkung. Fungsi asas tersebut terdiri daripada persamaan berikut:

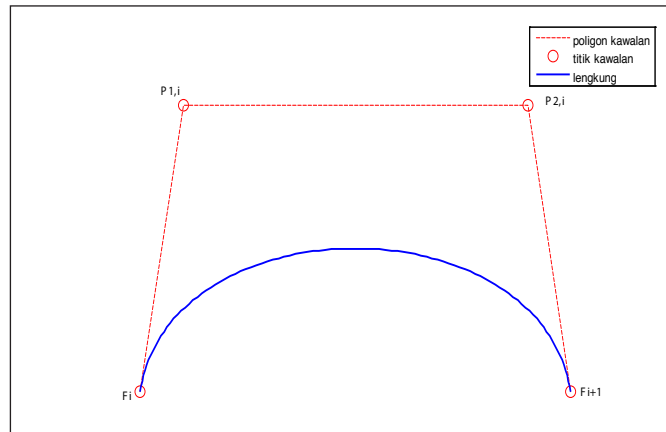
$$B_0(t) = (1-t)^2, \quad B_1(t) = 2(1-t)^2 t, \quad B_2(t) = 2(1-t)t^2, \quad B_3(t) = t^2 \quad (1)$$

dengan $0 \leq t \leq 1$ (Tien, 1999).

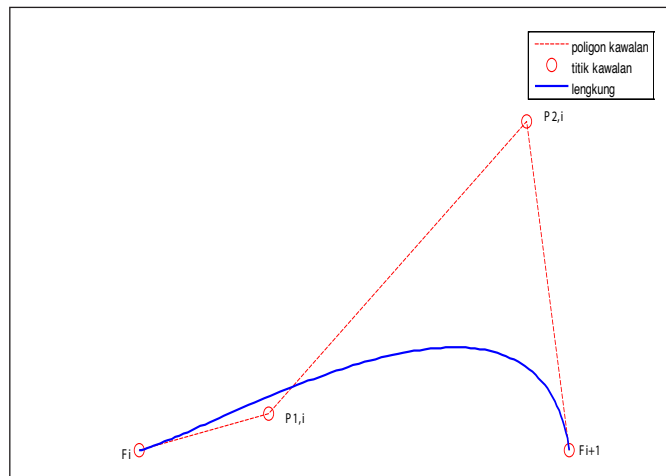
Andaikan F_i dan F_{i+1} sebagai dua titik bucu manakala $P_{1,i}$ dan $P_{2,i}$ adalah dua titik kawalan pada fungsi lengkung Ball. Dengan menggunakan fungsi asas dalam (1), lengkung berparameter Ball kubik ditakrif oleh:

$$P_i(t) = F_i(1-t)^2 + 2P_{1,i}(1-t)^2 t + 2P_{2,i}(1-t)t^2 + F_{i+1}t^2 \quad (2)$$

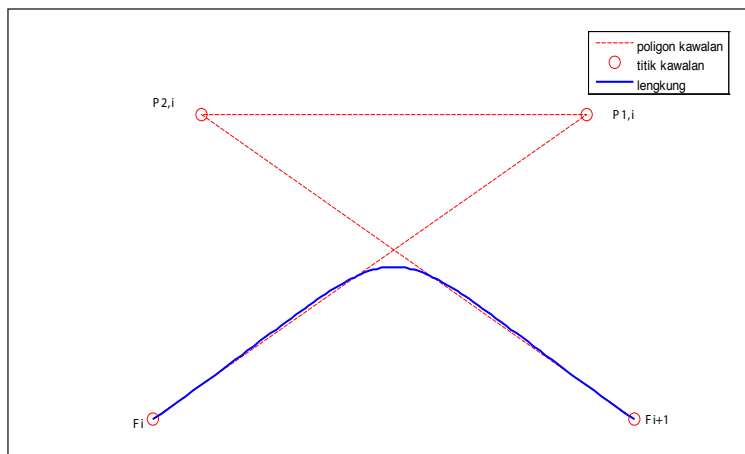
Contoh Lengkung Ball terdapat dalam Rajah 1 yang dihasilkan menggunakan empat titik. Perubahan satu titik kawalan pula ditunjukkan dalam Rajah 2 dan perubahan dua titik kawalan dalam Rajah 3.



Rajah 1 Lengkung Ball kubik



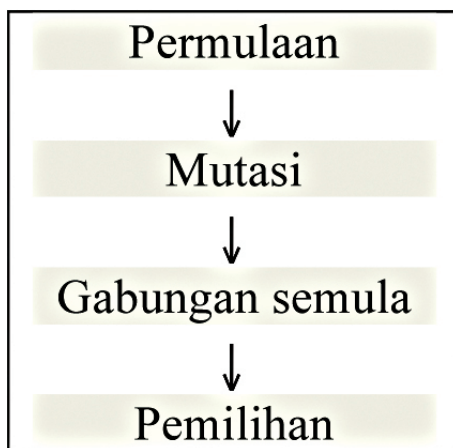
Rajah 2 Lengkung Ball kubik selepas titik kawalan $P_{1,i}$ diubah



Rajah 3 Lengkung Ball kubik selepas dua titik kawalan $P_{1,i}$ dan $P_{2,i}$ diubah

Evolusi Pembezaan

Evolusi Perbezaan (EP) merupakan algoritma evolusi yang telah diperkenalkan oleh Storn & Price (1995). Walaupun algoritmanya ringkas tetapi ia merupakan alatan yang sangat berguna dalam mendapatkan pengoptimuman global. Kekuatan yang terdapat pada EP perlu digunakan sebaik mungkin tetapi bergantung kepada masalah yang ingin kita selesaikan seperti bilangan populasi yang dikenakan serta pemilihan parameter yang sesuai untuk setiap vektor yang diuji. Proses EP melibatkan empat peringkat yang utama seperti Rajah 4, iaitu permulaan, mutasi, gabungan semula dan pemilihan.



Rajah 4 Peringkat asas untuk kaedah Evolusi Pembezaan

Peringkat pertama EP ialah permulaan pembolehubah yang akan digunakan dalam algoritma. Penentuan saiz dimensi yang perlu selaras dengan bilangan parameter N yang berada di dalam peringkat ini dan dirumuskan sebagai

$$x_{i,G} = [x_{1,i,G}, x_{2,i,G}, \dots, x_{D,i,G}], i = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

dengan x ialah vektor parameter, D pula merujuk kepada dimensi dan G ialah bilangan generasi.

Mutasi merupakan peringkat kedua yang melibatkan beberapa perkara. Dalam peringkat ini, parameter $x_{i,G}$ yang diberikan berdasarkan vektor $x_{r1,G}$, $x_{r2,G}$ dan $x_{r3,G}$ yang dipilih secara rawak dengan i , $r1$, $r2$ dan $r3$ adalah berbeza. Seterusnya faktor mutasi F didarabkan dengan perbezaan di antara $x_{r2,G}$ dan $x_{r3,G}$, kemudian dicampurkan dengan $x_{r1,G}$ seperti ditunjukkan dalam persamaan berikut

$$v_{i,G+1} = x_{r1,G} + F(x_{r2,G} - x_{r3,G}) \quad (4)$$

dengan $v_{i,G+1}$ sebagai vektor penderma dan faktor Mutasi F adalah pemalar.

Seterusnya proses penggabungan semula yang merangkumi penyelesaian yang telah berjaya daripada generasi yang lepas dan menghasilkan vektor percubaan $u_{i,G+1}$ yang dikeluarkan daripada unsur vektor sasaran $x_{i,G}$ dan unsur vektor penderma $v_{i,G+1}$ dengan kebarangkalian kadar silang rabun (CR). Proses ini boleh digambarkan dalam persamaan (5)

$$u_{j,i,G+1} = \begin{cases} v_{j,i,G+1} & \text{jika } rand_{j,i} \leq CR \text{ atau } j = I_{rand} \\ x_{j,i,G+1} & \text{jika } rand_{j,i} > CR \text{ atau } j \neq I_{rand} \end{cases} \quad (5)$$

dengan $rand_{j,i}$, I_{rand} adalah integer yang dipilih secara rawak daripada $[1, 2, \dots, D]$. I_{rand} yang terpilih perlu ada supaya nilai $v_{i,G+1}$ tidak sama dengan $x_{i,G}$.

Bagi memastikan saiz populasi malar dari generasi ke generasi berikutnya, proses pemilihan diperlukan untuk menentukan salah satu akan kekal sama ada vektor sasaran ataupun vektor percubaan. Nilai yang terbaik ataupun kecerdasan terendah selalunya akan dipilih untuk generasi berikutnya. Kesemua proses daripada permulaan sehingga pemilihan akan berulang-ulang sehingga mencapai kriteria penamat yang telah ditetapkan.

Pemparameteran

Proses pemparameteran perlu dilaksanakan kerana lengkung dalam kajian ini ditakrifkan dalam bentuk parametrik dan bertujuan untuk menerangkan kedudukan titik data dalam kajian yang dilaksanakan ini. Pelbagai teknik boleh digunakan untuk proses ini seperti pemparameteran parabolik, pemparameteran linear, pemparameteran seragam dan sebagainya. Setiap teknik yang dinyatakan mempunyai pengiraan tersendiri dalam menerangkan nilai berangka ditetapkan pada setiap titik lengkung Ball. Kajian ini menggunakan teknik pemparameteran perentas panjang (Lü, 2009) untuk mencari nilai t_i yang berkait dengan titik-titik data F_i yang boleh ditulis sebagai:

$$t_i = \begin{cases} 0 & \text{jika } i = 1 \\ \frac{|F_1F_2| + |F_2F_3| + \dots + |F_iF_{i+1}|}{|F_1F_2| + |F_2F_3| + \dots + |F_{n-1}F_n|} & \text{jika } 2 \leq i \leq n-1 \\ 1 & \text{jika } i = n \end{cases} \quad (6)$$

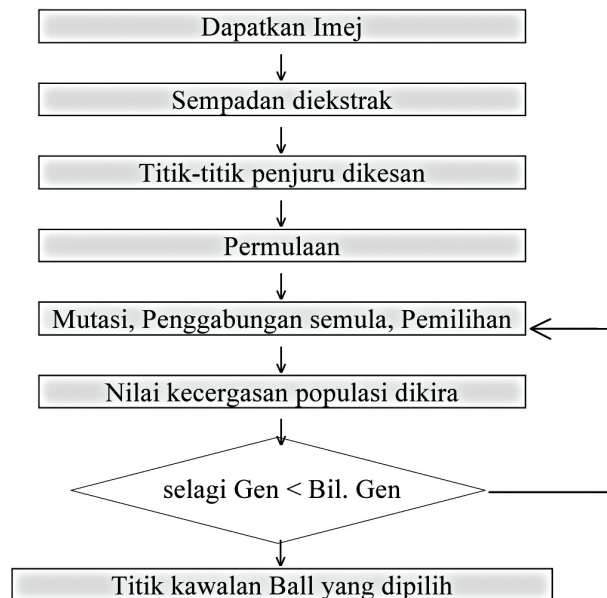
DAPATAN DAN PERBINCANGAN

Padanan Lengkung

Dalam bahagian ini, penjelasan tertumpu kepada kaedah proses pemadanan lengkung Ball yang dilaksanakan dengan bantuan EP. Andaikan terdapat titik-titik data yang diberi atau diekstrak dengan $i = 1, 2, \dots, n$ dan $j = 1, 2, \dots, m$, maka hasil tambah kuasa dua S_i di antara jarak $F_{i,j}$ dan titik parametrik $P(t_i)$ yang dipadankan dalam lengkung Ball ditulis

sebagai $S_i = \sum_{j=1}^m [P(t_i) - F_{i,j}]^2$, $i = 1, 2, \dots, n$ dengan t_i adalah pemparameteran seperti diterangkan dalam bahagian pemparameteran.

Lengkung dalam persamaan Ball (2) digunakan untuk proses pemadanan lengkung. Oleh itu, titik $P_{1,i}$ dan $P_{2,i}$ yang terdapat dalam fungsi tersebut dioptimumkan untuk menjana lengkung pada setiap bahagian. Proses pembentukan lengkung memerlukan beberapa langkah yang berkaitan. Rajah 5 menerangkan aliran langkah yang dicadangkan untuk kajian ini.



Rajah 5 Pembinaan Lengkung Ball menggunakan kaedah Evolusi Pembezaan

Algoritma pemadanan lengkung Ball untuk EP adalah seperti berikut:

Langkah 1: Dapatkan gambar rajah yang sesuai





Langkah 2: Ekstrak Sempadan yang terdapat pada gambar rajah.

Langkah 3: Titik-titik penjuru dikesan.

Langkah 4: Pembinaan semula lengkung menggunakan lengkung Ball kubik.

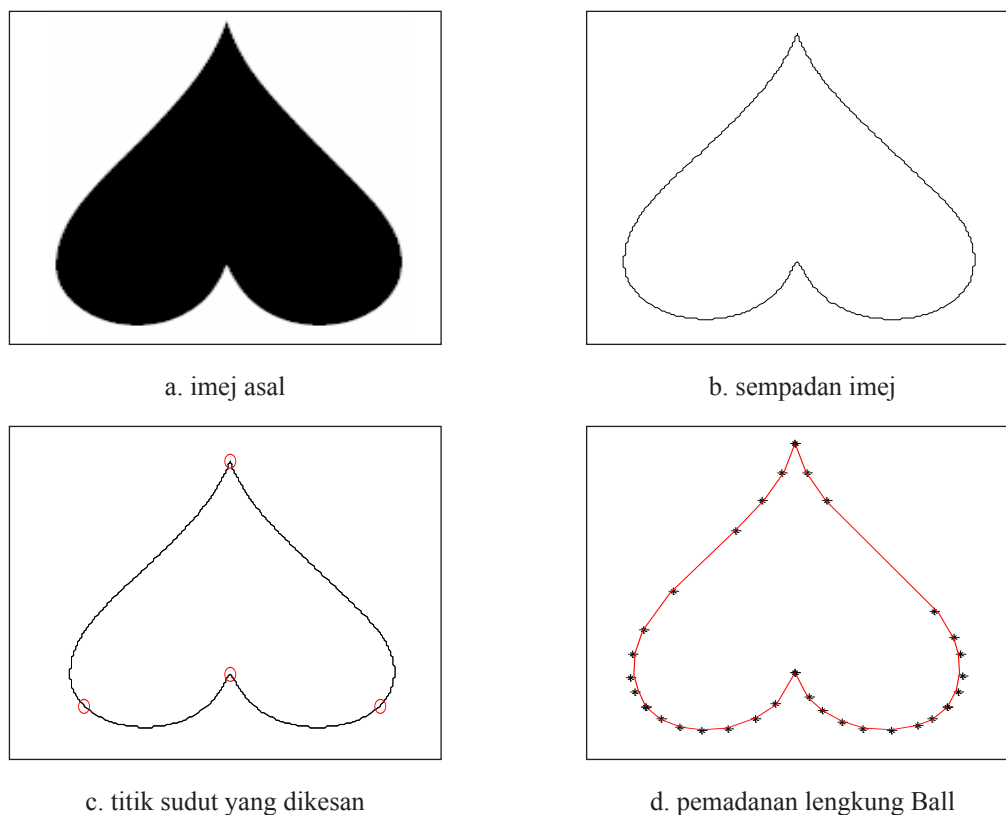
Langkah 5: Hitung jumlah ralat dan jumlah masa yang diambil.

Jadual 1 Perincian tentang kontur dan titik sempadan

Imej	Nama Simbol/ Huruf	Bil. Kontur	Jum. Titik Sempadan	Bil. Titik Sudut
	<i>Hati</i>	1	481	4
	<i>Garfu</i>	1	691	12
	@	2	3816+710	19+4
	<i>Huruf 'S'</i>	1	1308	22

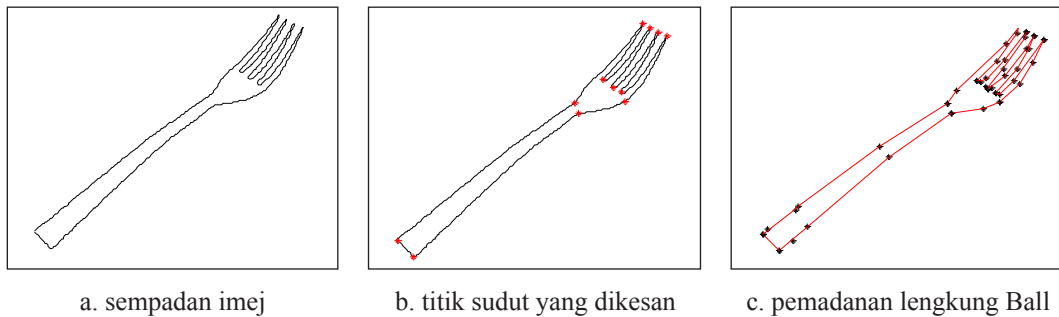
Imej digital dalam kajian ini boleh diperolehi daripada mana-mana alatan elektronik atau menggunakan imbasan imej. Walaupun kedua-dua imej yang diperolehi dengan cara berbeza dan mempunyai kualiti yang tidak sama, sempadan yang diekstrak daripada imej tidak akan terjejas. Kajian (Sarfraz et al., 2013) menerangkan cara sempadan diekstrak dan kemudian perlu disimpan supaya titik-titik asal tidak hilang untuk digunakan bagi mengira ralat. Titik sudut yang dikesan membentuk n bahagian dalam imej dan lengkung Ball dibina dengan bilangan n bahagian yang terbentuk. Beberapa imej yang sudah diproses boleh dilihat dalam Jadual 1. Jadual 1 menunjukkan beberapa gambar yang diambil dan digunakan untuk pepadanan lengkung dalam kajian ini. Kesemua gambar ini akan dipadankan dengan lengkung dalam persamaan (2) melalui kaedah yang telah diterangkan dalam bahagian padanan lengkung.

Setelah gambar asal diproses, kita akan memperoleh gambar titik-titik sempadan "Hati" seperti Rajah 6 (b) seperti yang diterangkan dalam bahagian padanan lengkung. Manakala Rajah 6 (c) pula menunjukkan empat titik sudut yang dikesan dan akan membentuk empat segmen pada bentuk hati. Kaedah EP digunakan bagi menghasilkan lengkung untuk setiap segmen imej ini. Dalam peringkat permulaan, sebanyak 100 bilangan populasi ditetapkan dengan 100 generasi, nilai $F = 1$ dan $CR = 0.8$. Hasilnya, lengkung Ball yang dipadankan seperti Rajah 6 (d). Situasi yang sama digunakan dalam pembinaan semula imej-imej seperti dalam Rajah 7, 8 dan 9.

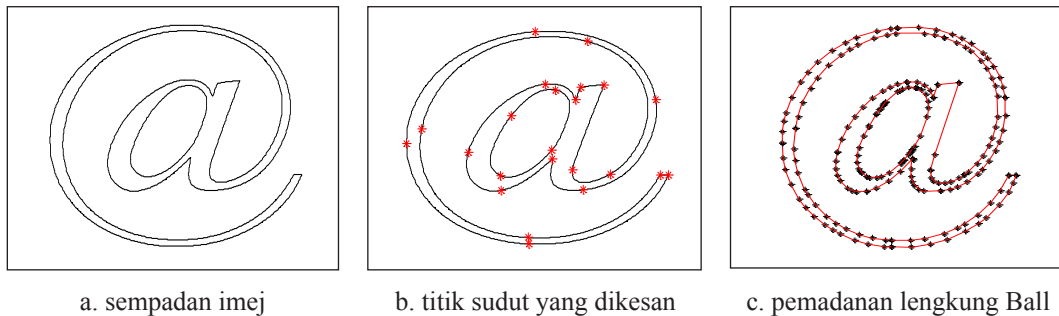


Rajah 6 Gambaran tentang Padanan Lengkung Ball menggunakan EP terhadap imej "Hati"

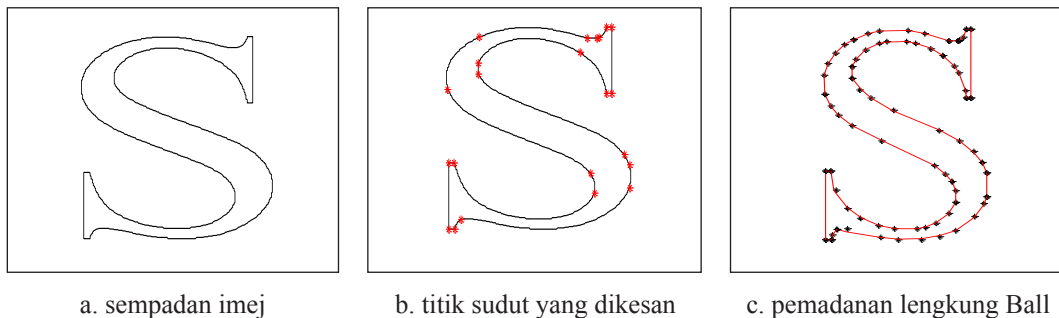
Pemadanan lengkung yang dilakukan telah menghasilkan satu imej yang menyerupai imej asal. Namun, lengkung yang dijana pasti mempunyai ralat yang bergantung kepada penetapan nilai permulaan. Semasa proses penjanaan lengkung untuk setiap segmen, algoritma Ramer-Douglas-Peucker (Ramer, 1972) digunakan untuk pengurangan bilangan titik-titik sempadan. Justeru, pengiraan ralat dilakukan berdasarkan bilangan titik-titik sempadan yang baru dengan lengkung yang dijana. Sebanyak 10 kali pengulangan dilakukan dan ralat serta masa dicatat setiap kali penjanaan lengkung terhasil. Jadual 2 menunjukkan jumlah ralat dan masa untuk setiap imej yang digunakan.



Rajah 7 Gambaran tentang Padanan Lengkung Ball menggunakan EP terhadap imej Garfu



Rajah 8 Gambaran tentang Padanan Lengkung Ball menggunakan EP terhadap imej '@'



Rajah 9 Gambaran tentang Padanan Lengkung Ball menggunakan EP terhadap huruf 'S'

Jadual 2 Jumlah ralat dan masa Peadanan Lengkung Ball

Imej	Purata ralat/unit	Purata Masa/saat
Hati	34.3306	14.0268
Garfu	9.4075	84.96
@	162.7318+71.8532	64.3762+13.074
Huruf 'S'	52.1205	60.684

KESIMPULAN

Kejuruteraan balikan yang ditekankan dalam kajian ini menunjukkan keputusan yang memuaskan. Penggunaan fungsi lengkung Ball dalam peadanan lengkung dapat menghasilkan imej yang menyamai gambar asal. Selain itu, dengan berbantuan kaedah pengiraan automatik iaitu EP, dua titik kawalan fungsi Ball boleh dioptimumkan untuk mendapatkan lengkung yang sepadan dengan lengkung asal pada imej.

Secara keseluruhan, lengkung Ball kubik boleh digunakan untuk kejuruteraan balikan dengan berbantuan kaedah EP. Lengkung yang dipadankan tidak jauh beza dari gambar asal dengan ralat yang tidak terlalu besar. Peadanan lengkung dengan menggunakan kaedah EP dengan lengkung Ball boleh dikembangkan lagi kepada peadanan permukaan.

PENGHARGAAN

Sekalung penghargaan diucapkan kepada pengulas yang menilai dan memberi komen untuk penambahbaikan penulisan kajian ini.

RUJUKAN

- Ball, A. A. (1974). CONSURF. Part one: Introduction of the conic lofting tile, 6 (4), 243–249.
- Felipe, J., Saldarriaga, I., Vélez, S. C., Andrés, M. E. C. & Valencia, T. (2011). *Design and manufacturing of a custom skull implant*, 4(1), 169–174.
- Hasan, Z. A., Piah, A. R. M. & Yahya, Z. R. (2014). Monotonicity preserving C1 rational cubic Ball interpolation. *Proceedings of The 21st National Symposium on Mathematical Sciences, 1605*, 34–39. doi:10.1063/1.4887561.
- Hou, Z. J. & Wei, G. W. (2002). A new approach to edge detection. *Pattern Recognition*, 35(7), 1559–1570. doi:10.1016/S0031-3203(01)00147-9.
- Ho" lzle, G.E. (1983). Knot placement for piecewise polynomial approximation of curves. *Computer Aided Design*, 15(5): 295-296.
- Lü, W. (2009). Curves with chord length parameterization. *Computer Aided Geometric Design*, 26 (3), 342–350. doi:10.1016/j.cagd.2008.08.001.
- Pandunata, P. & Shamsuddin, S. M. H. (2010). Differential evolution optimization for Bezier curve fitting. In *Proceedings - 2010 7th International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization, CGIV 2010* (pp. 68–72). doi:10.1109/CGIV.2010.18.
- Piah, A. R. M. & Unsworth, K. (2011). Improved sufficient conditions for monotonic piecewise rational quartic interpolation. *Sains Malaysiana*, 40(10), 1173–1178.

- Ramers U. (1972), An iterative procedure for the polygonal approximation of plane curves. *Computers Graphics and Image Processing*. 1(3). 244-256.
- Sarfraz, M., Irshad, M. & Hussain, M. (2013). Reverse engineering of planar objects using gas. *Sains Malaysiana*, 42(8), 1167–1179. Retrieved from <http://core.kmi.open.ac.uk/download/pdf/16388677.pdf>.
- Sarfraz, M. & Khan, M.A. (2004). An automatic algorithm for approximating boundary of bitmap characters. *Future Generation Computing Systems* 20(8): 1327-1336.
- Sarfraz, M. & Khan, M. (2000). Towards automation of capturing outlines of Arabic fonts. *Proceedings of the third KFUPM workshop on information and computer science: Software development for the new millennium, Saudi Arabia, October22–23*.
- Sarfraz, M. & Rasheed, A. (2007). A randomized knot insertion algorithm for outline capture of planar images using cubic spline. *The Proceedings of the 22nd ACM Symposium on Applied Computing, Seoul, Korea, March 11-15*.
- Sarfraz, M. & Razzak, M.F.A. (2002). An algorithm for automatic capturing of font outlines. *Computers and Graphics* 26(5): 795-804.
- Sarfraz, M., Irshad, M. & Hussain, M.Z. (2012). Vectorization of image outlines using rational spline and genetic algorithm. *The Proceedings of The International Conference on Image, Vision and Computing (ICIVC 2012)*. Shanghai, China, August 25-26, 2012, IASCIT Press Singapore.
- Storn, R. & Price, K. (1995). Differential evolution - A simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces, 1–12.
- Tien, H. L. (1999). Rational Ball curves. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*. doi:10.1080/002073999288021.
- Zainor, R.Y., Piah A.R.M.P & Majid, A.A. (2012). Conic curve fitting particle swarm optimization: Parameter tuning. *Communication in Computer and Information Science* (295) 379-382.