

B-SPLINE CURVE MODELLING BASED ON NATURE INSPIRED ALGORITHMS

NORAZWIN BUANG
SITI AISHAH HANAWI
HAZURA MOHAMED
RUZZAKIAH JENAL

ABSTRACT

Curve modelling is an essential aspect in the field of geometric modelling. Conventional curve modelling generates large errors due to the number of data points which is more than the number of control polygon vertices. This study focuses on modelling the B-spline curve. Knot vector optimization method based on nature inspired algorithms is used to model B-spline curve with minimum error. The three nature inspired algorithms are particle swarm optimization, gravity search algorithm and harmony search algorithm. The result shows that the particle swarms optimization model the curve more accurate than the gravity search algorithm and harmony search algorithm. The study also demonstrates that by increasing the number of control polygon vertices, the error will be reduced. Hence the B-spline curve can be modelled accurately by minimum error.

Keywords: B-spline, curve, particle swarm optimization, gravity search algorithm and harmony search algorithm.

PEMODELAN LENGKUNG SPLIN-B BERASASKAN ALGORITMA INSPIRASI TABII

ABSTRAK

Pemodelan lengkung adalah aspek utama dalam bidang pemodelan geometri. Pemodelan lengkung konvensional memberi ralat yang besar kerana bilangan titik data lebih banyak daripada bilangan bucu poligon kawalan bagi model lengkung yang dijana. Kajian ini memfokus kepada memodel lengkung splin-B. Kaedah pengoptimuman vektor knot berasaskan algoritma inspirasi tabii diguna bagi menjana lengkung splin-B dengan ralat minimum. Tiga algoritma inspirasi tabii yang dikaji ialah algoritma pengoptimuman zarah berkelompok, gelintaran graviti dan gelintaran harmoni. Hasil kajian mendapati algoritma pengoptimuman zarah berkelompok berupaya memodel lengkung splin-B dengan baik berbanding algoritma gelintaran graviti dan gelintaran harmoni. Hasil kajian juga mendapati semakin bertambah bucu poligon kawalan maka semakin kecil nilai ralat. Oleh itu lengkung splin-B dapat dijana dengan tepat dengan nilai ralat yang kecil.

Kata kunci: Splin-B, lengkung, pengoptimuman zarah berkelompok, algoritma gelintaran graviti dan algoritma gelintaran harmoni.

PENGENALAN

Pemodelan lengkung adalah aspek utama dalam bidang pemodelan geometri. Penyelidikan tentang pemodelan lengkung adalah mencabar kerana diguna secara meluas dalam pelbagai bidang seperti pengkomputeran grafik, reka bentuk berbantu komputer, pembuatan berbantu komputer, pemprosesan imej, realiti maya dan pemvisualan. Mmemodel suatu lengkung yang

dapat memenuhi kehendak pengguna adalah sukar kerana terdapat pelbagai bentuk yang boleh dimodel. Aplikasi yang memerlukan proses pemodelan lengkung adalah termasuk reka bentuk fon (Itoh & Ohno 1993, Shao & Zhao 1996, Sarfraz & Razzak 2002, Fatimah et al. 2006), kejuruteraan ke belakang (Boier-Martin & Rushmeier 2006), sistem pengesanan lorong (Xu et al. 2009), sistem pengecaman huruf (Nguyen-Tan & Nguyen-Hoang 2013), pengecaman lengkung (Toe & To 2002) dan pengecaman identiti melalui bentuk tangan (Ma et al. 2004).

Proses pemodelan lengkung daripada titik data ditakrif sebagai suatu proses membina lengkung yang sesuai untuk suatu set titik data geometri. Secara umumnya, jika diberi satu set titik data D_{ij} dengan anggapan bahawa titik data tersebut terletak di atas suatu lengkung yang tidak diketahui, maka masalah pemodelan lengkung daripada titik data didefinisi sebagai proses memodel lengkung agar menghampiri atau melalui semua titik data tersebut dengan tepat (Piegl 1991). Dalam kajian ini, algoritma inspirasi tabii diguna untuk mencari nilai parameter vektor knot yang optimum bagi meminimum ralat antara lengkung splin-B dengan titik data.

Matlamat kajian ini adalah menyelesaikan masalah pemodelan lengkung Splin-B yang menghampiri titik data atau mempunyai ralat yang minimum. Tiga algoritma inspirasi tabii iaitu pengoptimuman zarah berkelompok (PZB), algoritma gelintaran graviti (GG) dan algoritma gelintaran harmoni (GH) diguna untuk mengoptimum vektor knot agar ralat lengkung splin-B dan titik data dapat diminimum.

PEMODELAN LENGKUNG SPLIN-B

Splin-B merupakan perwakilan piawai dalam pemodelan lengkung (Farin 2002). Suatu lengkung splin-B, $P(t)$ iaitu vektor koordinat pada sepanjang lengkung yang dinyatakan sebagai fungsi parameter t ditakrif menggunakan persamaan (1) dengan B_i adalah vektor lokasi bagi $n + 1$ bucu poligon kawalan manakala $N_{i,k}(t)$ adalah fungsi asas splin-B. Bagi setiap fungsi asas splin-B yang bertertib k atau berdarjah $k-1$, fungsi asas $N_{i,k}(t)$ ditakrifkan melalui rumus rekursif Cox-de Boor. Fungsi asas $N_{i,k}(t)$ ditakrif seperti persamaan (2) dan (3) dengan x_i adalah elemen vektor knot.

$$P(t) = \sum_{i=1}^{n+1} B_i N_{i,k}(t) \quad t_{min} \leq t < t_{max}, \quad 2 \leq k \leq n + 1 \quad (1)$$

$$N_{i,1}(t) = \begin{cases} 1, & \text{jika } x_i \leq t < x_{i+1} \\ 0, & \text{selainnya} \end{cases} \quad (2)$$

$$N_{i,k}(t) = \frac{(t - x_i)N_{i,k-1}(t)}{x_{i+k-1} - x_i} + \frac{(x_{i+k} - t)N_{i+1,k-1}(t)}{x_{i+k} - x_{i+1}} \quad (3)$$

Pemilihan nilai vektor knot adalah penting dalam perwakilan splin-B kerana nilai tersebut mempengaruhi fungsi asas splin-B dan bentuk lengkungnya. Bilangan knot bagi suatu model lengkung bergantung pada bilangan bucu poligon kawalan. Vektor knot mestilah mematuhi hubungan yang ditetapkan iaitu $x_i \leq x_{i+1}$.

ALGORITMA INSPIRASI TABII

Alam tabii menjadi sumber inspirasi kepada manusia terutama sejak beberapa tahun kebelakangan. Berbagai konsep, teknik dan aplikasi pengkomputeran baharu yang diinspirasi daripada alam berterusan diterokai dan dieksploitasi bagi menyelesaikan masalah dalam berbagai bidang seperti masalah pengoptimuman (Chiong 2009). Pada masa kini penggunaan algoritma inspirasi tabii adalah ketara kerana banyak masalah dunia sebenar semakin kompleks dan sukar diselesai. Algoritma inspirasi tabii mempunyai kelebihan berbanding algoritma lain, iaitu berupaya melakukan simulasi dan pengoptimuman secara serentak untuk menyelesaikan masalah yang kompleks. Algoritma inspirasi tabii banyak diaplikasi dalam penyelesaian masalah pelbagai bidang seperti laluan trafik, rangkaian, permainan, industri, robotik, ekonomi, mekanikal, kimia, elektrik dan sumber air (Reddy & Kumar 2012).

Pelbagai algoritma inspirasi tabii direka dan menghasilkan penyelesaian berkualiti tinggi bagi pelbagai tugas pengoptimuman dalam dunia sebenar. Antaranya ialah algoritma pengoptimuman zarah berkelompok (PZB), gelintaran graviti (GG) dan gelintaran harmoni (GH).

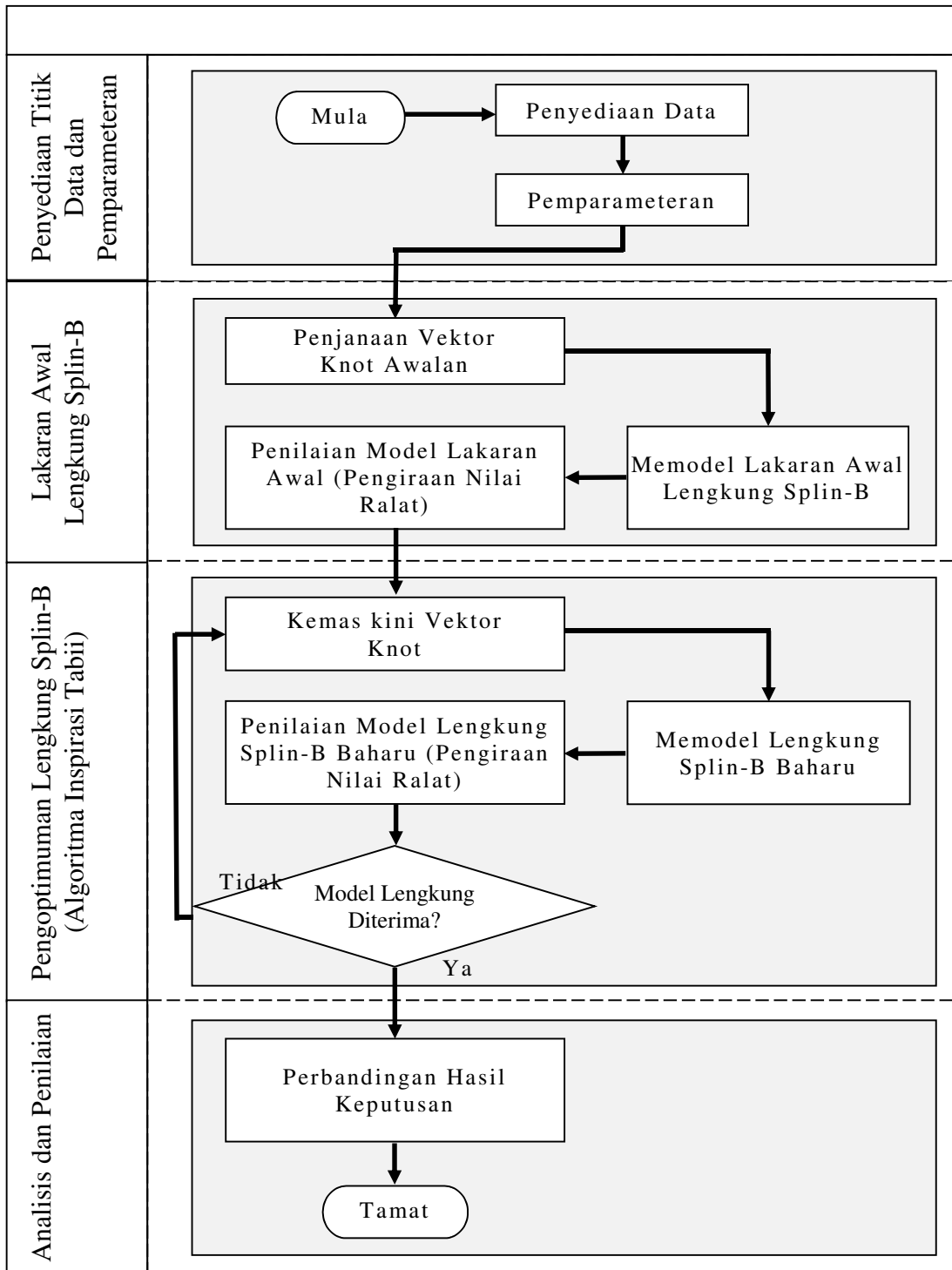
Algoritma PZB adalah hasil daripada pengkajian terhadap sistem sosial sekumpulan burung yang sedang mencari makanan. Melalui pengkajian tersebut didapati burung mengikuti burung yang dekat dengan makanan. Algoritma PZB adalah algoritma berasaskan populasi yang diperkenal oleh Eberhart dan Kennedy pada tahun 1995 (Xiaohui et al. 2004). Algoritma PZB diperluas kepada pelbagai populasi lain seperti kunang-kunang (Galvez & Iglesias 2013), ikan (Yan et al. 2015) dan lipas (Wu & Wu 2015).

Algoritma GG pula diperkenal oleh Rashedi et al. pada tahun 2009. Kajian mereka pada tahun 2010 dan 2011 mendapati algoritma GG memberi prestasi dan hasil yang baik berbanding algoritma inspirasi tabii yang lain. Algoritma GG merupakan algoritma yang diinspirasi daripada hukum graviti.

Algoritma GH diperkenal oleh Lee dan Geem (2004). Algoritma GH berasaskan kepada konsep pencarian nada muzik yang harmoni. Keharmonian dalam muzik adalah mirip kepada vektor penyelesaian yang optimum manakala pembaikan yang dilaksana oleh pemuzik adalah mirip kepada proses carian tempatan dan global dalam teknik pengoptimuman.

KAEDAH

Prosedur pengoptimuman vektor knot bagi pemodelan lengkung splin-B adalah seperti dalam Rajah 1. Prosedur ini merangkumi empat fasa utama iaitu penyediaan titik data dan pemparameteran, lakaran awal lengkung splin-B, pengoptimuman lengkung splin-B berasaskan algoritma inspirasi tabii serta analisis dan penilaian.

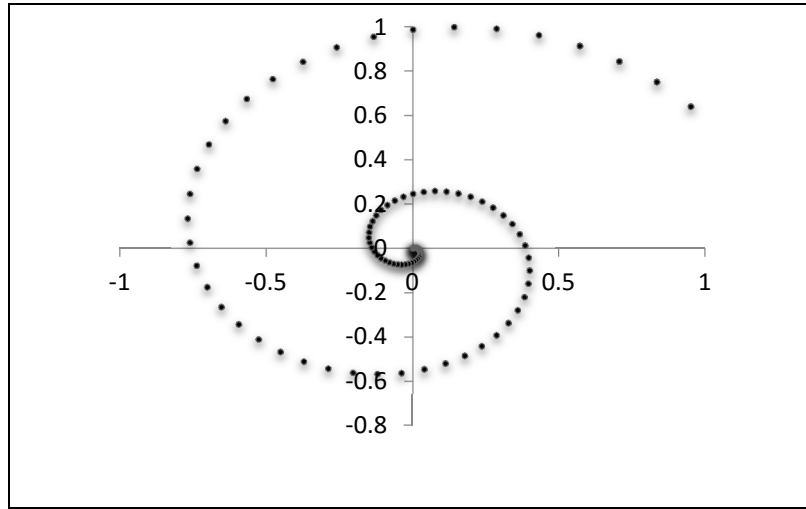


RAJAH 1. Prosedur pengoptimuman vektor knot

Fasa pertama adalah fasa penyediaan dan pemparameteran titik data. Kajian mengguna titik data pilin (*spiral*) berbentuk dua dimensi. Titik data pilin, $r(t)$ merupakan titik koordinat atas suatu lengkung yang dijana mengguna persamaan 4.

$$r(t) = t^2, \quad 0 \leq t \leq 6\pi \quad (4)$$

Rajah 2 menunjukkan bentuk lengkung pilin dengan 100 titik data kajian. Setiap koordinat-x dan koordinat-y titik data tersebut menjadi input kepada algoritma yang dibangun untuk pemodelan lengkung splin-B.



RAJAH 2. Titik data lengkung pilin

Fasa kedua adalah fasa lakaran awal lengkung splin-B. Bagi memodel lakaran awal lengkung splin-B, vektor knot dijana secara rawak mengikut tertib dan bermula dengan nilai 0.0 dan berakhir dengan nilai 1.0. Ralat dihitung setelah model lakaran awal lengkung splin-B dijana. Ralat antara lengkung splin-B dan titik data diperoleh menggunakan persamaan 5 dengan a_i adalah titik data lengkung splin-B, x_i adalah titik data asal, n adalah bilangan titik data dan i adalah titik data ke- i .

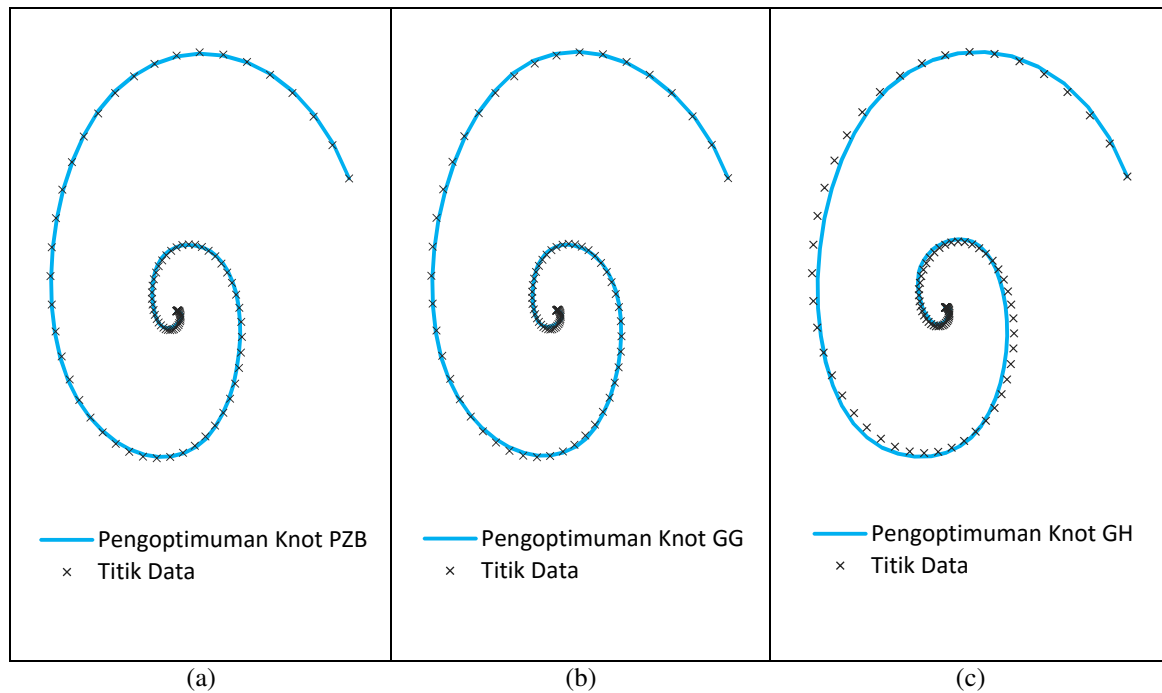
$$\text{Ralat Punca Min Kuasa Dua (RMSE)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - x_i)^2}{n}} \quad (5)$$

Dalam fasa ketiga, pengoptimuman vektor knot berasaskan algoritma inspirasi tabii iaitu PZB, GG dan GH dilaksana bagi mengemaskini nilai vektor knot. Proses yang sama dalam fasa kedua diulangi bagi mendapat nilai ralat bagi setiap model lengkung splin-B. Proses diulangi sehingga mendapat model lengkung splin-B dengan ralat yang minimum. Fasa keempat ialah analisis dan penilaian. Dalam fasa ini perbandingan nilai ralat bagi setiap algoritma inspirasi tabii dianalisis.

ANALISIS

Pemodelan lengkung splin-B menggunakan kaedah pengoptimuman vektor knot berasaskan algoritma inspirasi tabii iaitu PZB, GG dan GH dianalisis. Ketiga-tiga algoritma diuji dengan saiz populasi adalah 10 dan bilangan lelaran adalah 100. Dalam algoritma PZB, nilai parameter bagi pemalar pelincir, $c1 = c2 = 1.7$ dan pemberat inersia = 1.3. Dalam algoritma GG, nilai parameter bagi $G0 = 100.0$ dan $alpha = 2.0$. Manakala dalam algoritma GH, nilai parameter bagi kadar pertimbangan memori harmoni, $HMCR = 0.9$ dan kadar pelarasan nada, $PAR = 0.4$.

Titik data pilin diguna sebagai data kajian. Rajah 3 menunjukkan model lengkung splin-B bagi titik data pilin menggunakan sepuluh bucu poligon kawalan (Rajah 3(a): algoritma PZB, Rajah 3(b): algoritma GG dan Rajah 3(c): algoritma GH). Berdasarkan Rajah 3, ketiga-tiga algoritma berupaya memodel lengkung splin-B bagi titik data pilin. Secara visual didapati algoritma PZB menyamai titik data pilin berbanding algoritma GG dan GH. Namun bagi mengesah dapatan ini, nilai RMSE dihitung dan hasilnya adalah seperti dalam Jadual 1.

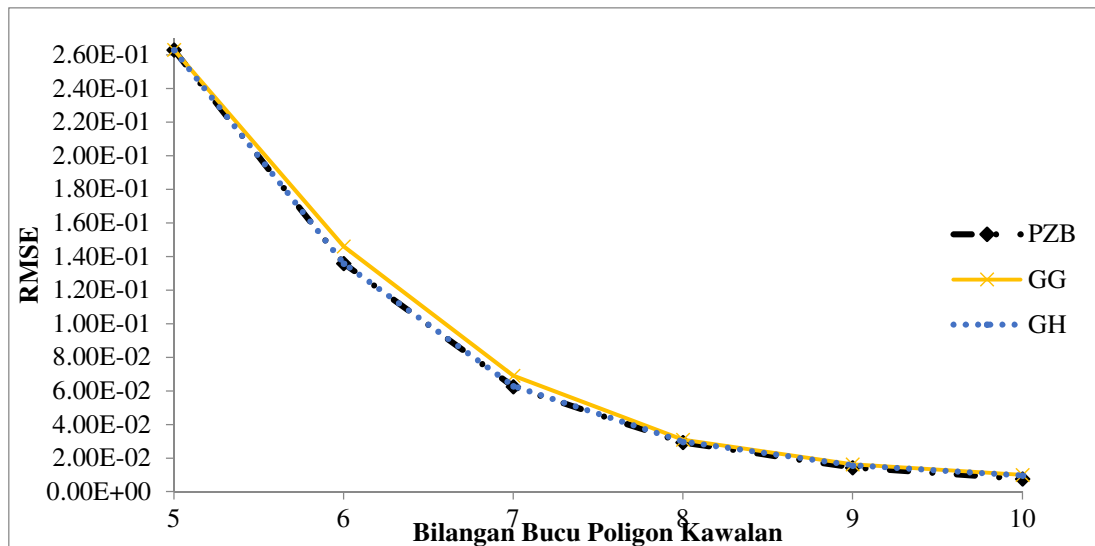


RAJAH 3. Model lengkung penghampiran bagi titik data pilin

Berdasarkan Jadual 1, nilai RMSE bagi algoritma PZB dengan tujuh hingga sepuluh bucu poligon kawalan memberi ralat yang kecil berbanding algoritma GG dan GH. Nilai RMSE dapat digambar seperti Rajah 4. Secara umumnya, semakin bertambah bucu poligon kawalan maka semakin kecil nilai RMSE. Nilai RMSE yang kecil berupaya menjana lengkung splin-B dengan tepat.

JADUAL 1. Ralat pemodelan lengkung splin-B bagi data pilin

Algoritma	Bilangan Bucu Poligon Kawalan					
	10	9	8	7	6	5
GH	9.75E-03	1.58E-02	2.99E-02	6.29E-02	1.36E-01	2.63E-01
GG	1.00E-02	1.62E-02	3.10E-02	6.91E-02	1.46E-01	2.63E-01
PZB	7.80E-03	1.44E-02	2.94E-02	6.25E-02	1.36E-01	2.63E-01



RAJAH 4. Perbandingan algoritma bagi data pilin

KESIMPULAN

Kajian ini adalah mengenai pemodelan lengkung splin-B dengan mengoptimum vektor knot berasaskan algoritma inspirasi tabii melibatkan tiga algoritma inspirasi tabii iaitu PZB, GH dan GG. Pengoptimuman vektor knot menggunakan algoritma inspirasi tabii memberi ralat lengkung splin-B yang minimum. Ketiga-tiga algoritma berupaya memodel lengkung splin-B bagi titik data pilin dengan algoritma PZB berupaya memodel lengkung splin-B dengan baik. Ini selaras dengan dapatan kajian Galvez dan Iglesias (2013) yang berupaya memodel titik data dengan ketepatan tinggi. Kajian ini juga menunjukkan bilangan bucu poligon kawalan memainkan peranan apabila menggunakan algoritma inspirasi tabii bagi mengoptimum vektor knot bagi model lengkung splin-B.

PENGHARGAAN

Pengarang merakamkan penghargaan kepada Kementerian Pendidikan Malaysia kerana membiayai penyelidikan ini melalui geran FRGS/1/2014/ICT02/UKM/03/1. Pengarang turut merakamkan penghargaan kepada Fakulti Teknologi dan Sains Maklumat, Universiti Kebangsaan Malaysia atas sumbangan bagi menjaya kajian ini.

RUJUKAN

- Boier-Martin, I. & Rushmeier, H. 2006. Reverse Engineering Methods for Digital Restoration Applications. *Transactions of the ASME-S-Computing and Information Science in Engineering*, 4: 364-371.
- Chiong, R. 2009. *Nature-Inspired Algorithms for Optimisation*. New York: Springer.
- Fatimah Yahya, Jamaluddin Md Ali, Ahmad Abdul Majid, & Arsmah Ibrahim. 2006. An Automatic Generation of G¹ Curve Fitting of Arabic Characters. *International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualisation*. Sydney: IEEE, 542-547.
- Farin, G. 2002. A History of Curves and Surfaces in CAGD. In Farin, G., Hoschek, J., & Kim, M.S (ed.) *Handbook of Computer Aided Geometric Design*, 1-21. North Holland: Elsevier.
- Galvez, A. & Iglesias, A. 2013. Firefly algorithm for explicit B-spline curve fitting to data points. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013: 1-12.
- Hu, X., Shi, Y., & Eberhart, R. C. 2004. Recent advances in particle swarm. In *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, 1: 90-97.

- Itoh, K. & Ohno, Y. 1993. A Curve Fitting Algorithm for Character Fonts. *Electronic Publishing*, 6(3): 195-205.
- Kennedy, J. & Eberhart, R. 1995. Particle Swarm Optimisation. *Proceedings of International Conference on Neural Networks*. Perth: IEEE. 1942-1948.
- Lee, K.S. & Geem, Z.W. 2004. A New Structural Optimization Method Based on the Harmony Search Algorithm. *Computers & Structures*, 82(9): 781-798.
- Lee, K.S., & Geem, Z.W. 2005. A new meta-heuristic algorithm for continuous engineering optimization: harmony search theory and practice. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 194(36): 3902-3933.
- Ma, Y., Pollick, F., & Hewitt, W.T. 2004. Using B-Spline curves for hand recognition. *Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition*, Cambridge: IEEE. 274-277.
- Nguyen-Tan, K. & Nguyen-Hoang, N. 2013. Handwriting Recognition Using B-Spline Curve. In Vinh, P., Hung, N., Tung, N. & Suzuki, J. (ed.) *Context-Aware Systems and Applications*, 335-346. Berlin: Springer.
- Piegl, L. 1991. On NURBS: A Survey. *Computer Graphics and Applications*, 11(1): 55-71.
- Rashedi, E., Nezamabadi-Pour, H. & Saryazdi, S. 2009. GSA: A Gravitational Search Algorithm. *Information Sciences*, 179(13): 2232-2248.
- Rashedi, E., Nezamabadi-Pour, H. & Saryazdi, S. 2010. BGSA: Binary Gravitational Search Algorithm. *Natural Computing*, 9(3): 727-745.
- Rashedi, E., Nezamabadi-Pour, H. & Saryazdi, S. 2011. Filter Modeling Using Gravitational Search Algorithm. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24(1): 117-122.
- Reddy, J.M. & Kumar, N.D. 2012. Computational algorithms inspired by biological processes and evolution. *Current Science*, 103(4): 370-380.
- Sarfraz, M. & Razzak, M. 2002. An Algorithm for Automatic Capturing of the Font Outlines. *Computers & Graphics*, 26(5): 795-804.
- Shao, L. & Zhou, H. 1996. Curve Fitting with Bezier Cubics. *Graphical Models and Image Processing*, 58(3): 223-232.
- Toe, T., & Van To, T. 2002. Curve Matching by Using B-spline Curves. *AU Journal of Technology*, 5(3): 50-59.
- Wu, S.J., & Wu, C.T. 2015. A bio-inspired optimization for inferring interactive networks: Cockroach swarm evolution. *Expert Systems with Applications*, 42(6): 3253-3267.
- Xu, H., Wang, X., Huang, H., Wu, K., & Fang, Q. 2009. A fast and stable lane detection method based on B-spline curve. *10th International Conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design*. Wenzhou: IEEE, 1036-1040.
- Yan, X., He, F., Chen, Y., & Yuan, Z. 2015. An efficient improved particle swarm optimization based on prey behavior of fish schooling. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 9(4): 1-10.

Norazwin Buang
 Siti Aishah Hanawi
 Hazura Mohamed
 Ruzzakiah Jenal
 Fakulti Teknologi & Sains Maklumat,
 Universiti Kebangsaan Malaysia
 norazwin@ukm.edu.my, ctaishah@ukm.edu.my, hazura.mohamed@ukm.edu.my,
 ruzzakiahjenal@ukm.edu.my

Received: 19 January 2016

Accepted: 18 April 2016