

**PENGANGGARAN LENGKUNG OFSET DENGAN
LENGKUNG KUBIK SPLIN-B SERAGAM**

Oleh
Ho Kok Huei

Projek Ilmiah Tahun Akhir ini diserahkan untuk memenuhi
sebahagian keperluan bagi
Ijazah Sarjana Muda Sains (Matematik Komputasi)

JABATAN MATEMATIK
FAKULTI SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITI MALAYSIA TERENGGANU
2009

1100076397



**JABATAN MATEMATIK
FAKULTI SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITI MALAYSIA TERENGGANU**

PENGAKUAN DAN PENGESAHAN LAPORAN MAT 4499 B

Adalah ini diakui dan disahkan bahawa laporan penyelidikan bertajuk **Penganggaran Lengkung Ofset dengan Lengkung Kubik Splin-B Seragam** oleh **Ho Kok Huei** No. Matriks: **UK 12933** telah diperiksa dan semua pembetulan yang disarankan telah dilakukan. Laporan ini dikemukakan kepada Jabatan Matematik sebagai memenuhi sebahagian daripada keperluan memperolehi Ijazah Sarjana Muda Sains Matematik Komputasi, Fakulti Sains dan Teknologi, UMT.

Disahkan oleh:

.....

Penyelia Utama

Nama: Cik Chong Nyuk Sian

Cop Rasmi:

CHONG NYUK SIAN
Lecturer
Department of Mathematics
Faculty of Science and Technology
Universiti Malaysia Terengganu
21030 Kuala Terengganu

Tarikh: 6/5/09.....

Ketua Jabatan Matematik

Nama: Dr. Hj. Mustafa Bin Mamat


Cop Rasmi:

Tarikh: 6/5/09.....

DR. HJ. MUSTAFA BIN MAMAT
Ketua
Jabatan Matematik
Fakulti Sains dan Teknologi
Universiti Malaysia Terengganu
21030 Kuala Terengganu

PENGAKUAN

Saya mengakui Projek Ilmiah Tahun Akhir yang bertajuk “Penganggaran Lengkung Ofset dengan Lengkung Kubik Splin-B Seragam” adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang tiap-tiap satunya telah saya jelaskan sumbernya.

Tandatangan : 

Nama : Ho Kok Huei

No. Matriks : UK 12933

Tarikh : 5 May 2009

PENGHARGAAN

Terlebih dahulu saya ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan ikhlas kepada penyelia Projek Ilmiah Tahun Akhir (PITA) saya, Cik Chong Nyuk Sian atas bimbingan dan dorongan yang diberi sepanjang tempoh penyelidikan PITA saya yang bertajuk “Penganggaran Lengkung Ofset dengan Lengkung Kubik Splin-B Seragam”.

Saya juga ingin mengambil kesempatan ini untuk mengucapkan jutaan terima kasih kepada ibu bapa saya atas sokongan mereka selama ini. Tidak dilupakan juga bantuan daripada kawan-kawan saya yang banyak memberikan idea kepada saya dalam proses penyiapan PITA saya. Ribuan terima kasih ingin saya ucapkan ke atas pertolongan mereka.

Akhir sekali, penghargaan turut ditujukan kepada mereka yang membantu saya secara langsung dan tidak langsung dalam menyiapkan PITA ini. Segala bantuan akan saya hargai buat selama-lamanya.

Sekian, terima kasih.

PENGANGGARAN LENGKUNG OFSET DENGAN LENGKUNG KUBIK SPLIN-B SERAGAM

ABSTRAK

Lengkung ofset mempunyai banyak aplikasi dalam industri, contohnya kawalan berangka mesin-mesin jahit dalam industri tekstil dan kasut ataupun dalam kawalan berangka mesin-mesin pengilangan di industri automobil. Projek Ilmiah Tahun Akhir ini menjurus kepada penganggaran lengkung ofset dengan lengkung kubik splin-B seragam. Lengkung ofset dijana dengan menggunakan satu set bucu-bucu kawalan bagi suatu lengkung kubik splin-B seragam. Lengkung ini mempunyai keselajaran berdarjah dua (C^2) jika lengkung yang diberi bersifat sedemikian. Proses penambahbaikan akan dijalankan jika jarak di antara lengkung asal dan lengkung ofset yang sepadan pada $t=0.5$ tidak memenuhi ketepatan yang dikehendaki.

APPROXIMATING OFFSET CURVE WITH UNIFORM CUBIC B-SPLINE CURVE

ABSTRACT

Offset curve has many applications in industry, such as the numerical control sewing machines in the textile and shoe industries or the numerical control milling machines in the automobile industry. This final year project focuses on approximating offset curve with uniform cubic B-spline curve. This offset curve is generated by using a set of control vertices of uniform cubic B-spline curve. This curve has the second order continuity (C^2) if the given curve is so. Subdivision will be carried out if the distance between the original curve and the corresponding offset curve at $t=0.5$ is not satisfy within the desired accuracy.

KANDUNGAN

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PENGAKUAN DAN PENGESAHAN LAPORAN MAT 4499 B	ii
PENGAKUAN	iii
PENGHARGAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KANDUNGAN	vii
SENARAI RAJAH	viii
SENARAI SINGKATAN (TATANAMA/ISTILAH/SIMBOL)	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Pengenalan	1
1.2 Pernyataan Masalah dan Batasan Kajian	2
1.3 Objektif	3
BAB 2 SOROTAN KAJIAN	
BAB 3 METODOLOGI	
3.1 Pengenalan bagi Splin-B	8
3.2 Ciri-ciri Lengkung Splin-B	9
3.3 Splin-B Kubik Seragam	11
3.4 Penganggaran Lengkung Offset dengan Splin-B Kubik Seragam	12
3.5 Kaedah Penambahbaikan bagi Penganggaran Lengkung Offset dengan Lengkung Kubik Splin-B Seragam	14
3.6 Algoritma-algoritma Penjanaan Lengkung Offset Kubik Splin-B Seragam	17
BAB 4 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	
BAB 5 KESIMPULAN DAN CADANGAN	
RUJUKAN	41
BIODATA PENULIS	

SENARAI RAJAH

No. Rajah		Halaman
3.1	Poligon kawalan bagi langkah-langkah penambahbaikan kali pertama.	15
3.2	Poligon kawalan bagi langkah-langkah penambahbaikan kali kedua.	16
3.3	Poligon kawalan bagi langkah-langkah penambahbaikan bagi kali pertama dan kedua.	16
4.1	Penganggaran lengkung ofset kubik splin-B seragam dengan lengkung kubik splin-B seragam.	19
4.2	Penganggaran lengkung ofset kubik splin-B seragam cebis demi cebis dengan lengkung kubik splin-B seragam cebis demi cebis.	39

SENARAI SINGKATAN

Singkatan

2D

2-Dimensi

C^2

Keselanjaran Berdarjah Dua (Second Order Continuity)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan

Lengkung atau permukaan ofset juga dikenali sebagai lengkung atau permukaan yang selari. Ia dijelaskan sebagai lokus bagi titik-titik pada jarak malar d di sepanjang normal dari penjana lengkung atau permukaan. Secara tradisional, ofset digunakan dalam aplikasi-aplikasi mesin analisis berangka, tetapi entiti-entiti ini adalah penting dalam bidang rekabentuk bantuan komputer di mana lengkung dan permukaan-permukaan yang selari digunakan, seperti reka bentuk pola. Lengkung ofset mempunyai banyak aplikasi dalam industri. Sebagai contohnya, kawalan berangka mesin-mesin jahit dalam industri tekstil dan kasut ataupun dalam kawalan berangka mesin-mesin pengilangan di industri automobil. Masalah pembinaan lengkung ofset telah dibincangkan oleh beberapa orang penulis seperti Hoschek (1985), Klass (1983), Tiller dan Hanson (1984).

Lima bahagian yang utama dalam penyelidikan ofset iaitu perwakilan ofset yang tepat dalam bentuk Bézier atau splin-B, penganggaran, persilangan sendiri, geodesi ofset dan ofset yang umum. Secara umumnya, ofset adalah lebih rumit daripada lengkung asalnya kerana punca kuasa dua yang terlibat dalam ungkapan unit vektor normal. Jika lengkung asalnya adalah suatu splin-B nisbah, maka kebiasaannya ofset itu adalah bukan suatu splin-B nisbah, kecuali bagi kes-kes yang khas. Kes-kes yang khas bagi lengkung termasuk garisan lurus dan bulatan, untuk permukaan pula termasuk satah, sfera, silinder membulat dan kon membulat.

Chong (2008), andaikan $C(t) = (x(t), y(t))$ adalah satu lengkung, di mana t ialah satu parameter yang nyata. Kemudian, satu lengkung ofset $\bar{C}(t)$ dengan satu jarak ofset d ditakrifkan sebagai:

$$\bar{C}(t) = C(t) \pm d \hat{N}(t); \quad t \in [0, 1] \quad (1.1)$$

di mana tanda tambah (atau tanda tolak) digunakan jika lengkung ofset berada di sebelah kanan (atau kiri) lengkung asal. $\hat{N}(t)$ ialah vektor normal unit kepada lengkung $C(t)$ dan ditakrifkan seperti berikut:

$$\hat{N}(t) = \frac{(t_y, -t_x)}{\sqrt{(t_x^2 + t_y^2)}}$$

di mana $T(t) = (t_x, t_y)$ adalah vektor tangen bagi $C(t)$.

1.2 Pernyataan Masalah dan Batasan Kajian

Dalam kajian ini, Penganggaran lengkung ofset 2-dimensi (2D) dengan lengkung kubik splin-B seragam akan dijana. Walau bagaimanapun, terdapat kekangan-kekangan untuk menjana lengkung ofset ini.

Pham (1992) menyatakan bahawa bukan suatu kerja yang mudah untuk membina lengkung ofset. Ini kerana:

- (a) Satu ofset yang unik mungkin tidak wujud. Ini disebabkan mungkin lebih daripada satu arah normal yang wujud pada sesetengah titik di lengkung asal, contohnya di lokasi yang mempunyai tangen yang di ketakselajaran.
- (b) Satu lengkung ofset adalah tidak sama jenis dengan lengkung asal. Contohnya ofset bagi satu splin biasanya bukan satu splin.
- (c) Bentuk bagi satu ofset bergantung bukan hanya pada lengkung asal, malahan juga pada jarak dan orientasi ofset, serta kelengkungan setempatnya.

- (d) Kes-kes merosot mungkin berlaku bagi lengkung ofset. Terdapat beberapa kes yang biasa berlaku, iaitu:
- (i) Ofset persilangan sendiri. Sebagai contohnya apabila ruang di antara lengkung adalah lebih kecil daripada jarak ofset.
 - (ii) Gelung-gelung dan juring-juring yang wujud di titik di mana jejari kelengkungan adalah lebih kecil daripada jarak ofset.
 - (iii) Satu bahagian daripada lengkung mungkin hilang.
 - (iv) Satu bahagian yang baru perlu ditambah untuk menglenkapkan lengkung ofset.
- (e) Kebanyakan persekitaran pemodelan geometri hanya sesuai untuk beberapa bentuk fungsi asas sahaja. Oleh itu, perwakilan untuk ofset telah menjadi terhad kepada bentuk-bentuk yang sedia ada.
- (f) Lengkung ofset biasanya dihasilkan untuk menganggar suatu lengkung atau permukaan, maka perkara-perkara penting seperti ketepatan, kestabilan berangka dan kecekapan kaedah perlu dipertimbangkan.

1.3 Objektif

Objektif-objektif kajian ini adalah untuk:

- (a) Menganggar lengkung ofset dengan lengkung kubik splin-B seragam.
- (b) Membina satu aturcara untuk penganggaran lengkung ofset ini.
- (c) Menjalankan proses penambahbaikan jika ketepatan bagi lengkung ofset anggaran dengan lengkung kubik splin-B seragam adalah tidak memuaskan.

BAB 2

SOROTAN KAJIAN

Terdapat banyak kaedah dan algoritma untuk membina lengkung ofset. Semua algoritma ini melibatkan proses lelaran dan subdivisi dijalankan untuk meningkatkan ketepatan penganggaran. Kaedah-kaedah yang telah diperkenalkan masing-masing mempunyai ciri-ciri keistimewanya yang tersendiri.

Coquillart (1987) mempertimbangkan ofset daripada splin-B nisbah ketakseregaman. Beliau telah membina setiap bucu kawalan bagi suatu lengkung ofset dengan mengofset suatu bucu kawalan lengkung asal di sepanjang arah normal pada titik di mana lengkung ini adalah paling dekat dengan bucu asal. Titik paling dekat dengan bucu asal adalah dipanggil sebagai satu nod kawalan. Teknik ini adalah satu perluasan bagi kaedah yang diberi oleh Cobb (1984), di mana setiap bucu kawalan yang baru ialah ofset dalam arah normal pada nod yang berseketu dengan bucu kawalan asal. Dengan menggantikan nod dengan nod kawalan, kaedah Coquillart telah menyediakan ofset tepat untuk garis dan bulatan dalam kedua-dua perwakilan kuadratik dan kubik. Jarak di antara satu bucu yang baru dengan bucu asal yang sepadan adalah bergantung kepada kelengkungan di nod kawalan dan jarak di antara nod kawalan dan bucu kawalan yang asal. Jarak ini dipilih supaya dapat memberi satu hasil yang tepat untuk sebuah bulatan. Untuk memperbaiki keputusan bagi kes-kes di mana pertukaran kelengkungan yang cepat, kelengkungan ini digantikan dengan purata kelengkungan yang dikira pada titik tengah di antara nod kawalan yang dipilih dan dua nod kawalan berjiran.

Hoschek dan Wissel (1988) memperkenalkan satu kaedah untuk mencantumkan dan membelah polinomial tembereng-tembereng lengkung Bézier yang berlainan darjah iaitu berdasarkan penjelmaan parameter dengan kekangan yang optimum supaya jumlah ralat kuasa dua antara lengkung asal dan lengkung yang dijelma adalah minimum. Kemudian kaedah ini diaplikasi untuk mencari penganggaran ofset kepada satu lengkung Bézier.

Kebanyakan skema-skema penganggaran ofset yang sedia ada dijanakan dalam bentuk Bézier/splin-B dengan kaedah lelaran berdasarkan teknik-teknik subbahagian untuk meningkatkan ketepatan lengkung ofset. Jika persilangan sendiri setempat dan global wujud, maka ianya perlu disingkirkan selepas penganggaran. Kaedah ini diperkenalkan oleh Kimmel dan Bruckstein (1993) demi menyelesaikan masalah itu. Mereka menjana penganggaran dengan menggunakan kaedah perambatan depan gelombang dalam dinamik bendalir. Algoritma itu berfungsi dalam grid segiempat sama dengan satu resolusi yang dipilih mengikut kejituan yang ditepatkan. Akhirnya garis-garis kontur (ofset) akan dijana berdasarkan nilai-nilai grid.

Chiang et al. (1991) mengira ofset tanpa persilangan sendiri dengan menggunakan teknik yang dikembangkan dalam pemprosesan imej. Pada mulanya, domain adalah terdiskret kepada satu grid yang berdimensi dua dan lengkung asalnya yang diumpukkan kepada titik grid yang terdekat. Bagi setiap titik grid, jarak terhadap lengkung terdiskret dinilai. Dengan menyingkirkan titik grid yang jaraknya adalah sama dengan jarak ofset, satu ofset yang tanpa persilangan sendiri akan dijana.

Walaupun perwakilan polinomial adalah ringkas dan mudah untuk digunakan, masih mempunyai kekurangannya, untuk mewakili bulatan dan lengkok kon dengan tepat. Farin (1989) membekalkan satu kaedah rekursi untuk membina lengkung-lengkung yang dibentuk oleh tembereng-tembereng kon yang diwakili dalam bentuk Bézier nisbah di bawah kekangan di mana keselantaran kelengkungan akan dikekalkan. Kaedah ini bergantung secara langsung kepada beberapa sifat geometri

bagi tembereng kon yang umum, dan dapat diperluas untuk menghasilkan satu lengkung ofset anggaran yang juga diwakili dalam bentuk Bézier nisbah.

Elber dan Cohen (1991) menggunakan cara pengubahsuaian penambahbaikan ofset. Mereka menganggar ralat penganggaran ofset dengan mengira nilai maksimum bagi pembezaan fungsi $\varphi(t) = |\hat{r}^a(t) - r(t)|^2 - d^2$, di mana $\hat{r}^a(t)$ adalah penganggaran ofset bagi $r = r(t) = (x(t), y(t))$. Ofset ini boleh diperbaiki pada nilai-nilai parameter di mana ralat maksimum berlaku. Gelung-gelung setempat dikenalpasti berdasarkan pasangan juring-juring yang wujud dalam lingkungan gelung persilangan sendiri setempat bagi lengkung ofset. Vektor tangen bagi ofset $\hat{t}(t)$ memterbalikkan arah di juring-juring, dan $\omega(t) = t(t) \bullet \hat{t}(t)$, di mana $t(t)$ ialah vektor tangen bagi lengkung input, dan bertukar menjadi negatif di rantau-rantau yang terbatas oleh juring-juring. Oleh itu, gelung-gelung setempat boleh dikenalpasti dengan mencari set kosong bagi $\omega(t)$. Namun demikian, perincian bagi mencari set kosong tidak diberikan. Setelah, gelung setempat dikenalpasti lengkung itu dibelah kepada tiga bahagian, iaitu rantau sebelum juring pertama, rantau di antara juring-juring dan rantau selepas juring kedua. Lengkung sebelum juring pertama dan lengkung selepas juring kedua adalah bersilang bertentangan antara satu sama lain untuk mencari titik-titik persilangan sendiri. Kawasan yang dibatas oleh titik-titik persilangan akan dipotong dan dibuang.

Lee et al. (1996) menganggarkan satu unit bulatan dengan tembereng lengkung polinomial kuadratik cebis demi cebis $q_j(u)$, $j = 0, \dots, n$. Lengkung Hodograf $\dot{q}_j(u)$ adalah linear cebis demi cebis. Jika $q(u)$ diparameter semula supaya $\dot{r}(t) = (\dot{x}(t), \dot{y}(t))$ dan $\dot{q}(u(t)) = (au(t) + b, cu(t) + d)$ mempunyai arah yang sama pada $u = u(t)$ seperti

$$\frac{cu(t) + d}{au(t) + b} = \frac{\dot{y}}{\dot{x}},$$

penganggaran lengkung ofset ditakrifkan sebagai $r^a = r(t) + dq(u(t))$.

Bagi satu lengkung polinomial $r(t)$ yang berdarjah m , lengkung ofset yang dianggar ialah suatu lengkung nisbah yang berdarjah $3m-2$, di mana ia berdarjah lebih tinggi. Walau bagaimanapun, kaedahnya dapat menghasilkan anggaran lengkung ofset dengan bilangan subbahagian lengkung yang lebih kecil. Bagi menghapuskan persilangan sendiri setempat dan global, lengkung asalnya dianggar dengan titik-titik diskret dan penghubung tembereng-tembereng garis cebis demi cebis. Lengkung ofset dihasilkan dengan penganggaran titik-titik diskretnya. Tembereng setempat yang berlebihan boleh dikesan dengan memeriksa hasil darab bintik di antara tembereng garis dan tembereng garis ofset yang sepadan. Jika hasil darab bintik adalah negatif, tembereng ofset akan disingkirkan. Persilangan sendiri global dapat dikesan dengan satu algoritma sapuan satah. Satu topologi sempadan yang sah pada poligon ofset dikira, selang parameter yang sah bagi lengkung asal akan diekstrak. Titik-titik persilangan bagi poligon anggaran mungkin tidak menyediakan nilai-nilai parameter yang tepat bagi titik-titik persilangan lengkung ofset dan oleh itu proses penambahbaikan perlu dijalankan, contohnya kaedah Newton.

BAB 3

METODOLOGI

3.1 Pengenalan bagi Lengkung Splin-B

Farin dan Hansford (2000), lengkung splin-B ialah generalisasi daripada lengkung Bézier. Diberi $n+1$ titik kawalan V_i bagi $i=0, 1, \dots, n$ dan vektor *knot* $T = \{t_0, t_1, \dots, t_m\}$, di mana T ialah jujukan tak menyusut dengan $t_i \in [0,1]$, lengkung splin-B yang berdarjah p ditakrifkan seperti berikut:

$$C(t) = \sum_{i=0}^n V_i N_{i,p}(t)$$

di mana fungsi $N_{i,p}(t)$ ialah fungsi pengadunan splin-B ternormal ditakrifkan seperti berikut:

$$N_{i,0}(t) = \begin{cases} 1 & \text{jika } t_i \leq t < t_{i+1} \\ 0 & \text{lain-lain} \end{cases} \quad \text{dan}$$

$$N_{i,p}(t) = \frac{t - t_i}{t_{i+p} - t_i} N_{i,p-1}(t) + \frac{t_{i+p+1} - t}{t_{i+p+1} - t_{i+1}} N_{i+1,p-1}(t)$$

Lengkung splin-B berdarjah p memerlukan maklumat yang lebih berbanding dengan lengkung Bézier yang sama darjah, iaitu seperti set bagi $n+1$ titik kawalan dan vektor *knot* bagi $m+1$ *knot*. n , m dan p memenuhi syarat $m=n+p+1$. Dengan itu, suatu lengkung splin-B berdarjah p dengan $n+1$ titik kawalan, bilangan *knot* yang boleh didapati, iaitu $n+p+2$ *knot* $t_0, t_1, \dots, t_{n+p+1}$. Di samping itu, darjah bagi splin-B boleh dicari jika vektor *knot* bagi $m+1$ *knot* dan $(n+1)$ titik kawalan diberi, maka darjah bagi lengkung splin-B ialah $p = m - n - 1$.

3.2 Ciri-ciri Lengkung Splin-B

Andaikan lengkung splin-B, $C(t)$, berdarjah p yang ditakrifkan oleh $(n+1)$ titik kawalan dan vektor *knot* $T = \{t_0, t_1, \dots, t_m\}$ dengan kapit (“Clamped”) $(p+1)$ *knot* yang pertama dan $(p+1)$ *knot* yang terakhir, iaitu $t_0 = t_1 = \dots = t_p$ dan $t_{m-p} = t_{m-p+1} = \dots = t_m$.

Ciri-ciri lengkung splin-B adalah seperti yang berikut (Farin et al. (2002)):

- (a) Lengkung splin-B, $C(t)$, ialah suatu lengkung cebis demi cebis dengan setiap komponen ialah suatu lengkung berdarjah p .
- (b) Lengkung splin-B kapit melalui dua hujung titik kawalan V_0 dan V_n .
Fungsi asas $N_{0,p}(t)$ ialah pekali bagi titik kawalan V_0 dan bukan sifar di $[t_0, t_{p+1})$. Memandangkan $t_0 = t_1 = \dots = t_p = 0$ bagi suatu lengkung splin-B kapit, $N_{0,0}(t), N_{1,0}(t), \dots, N_{p-1,0}(t)$ ialah sifar dan hanya $N_{p,0}(0)$ ialah 1 dan $C(0) = V_0$. Perbincangan yang sama boleh menunjukkan $C(1) = V_n$.
- (c) Sifat hul cembung
Setiap titik pada lengkung terletak di dalam hul cembung poligon kawalannya.

(d) Kawalan setempat

Jika titik kawalan V_i berubah kedudukannya hanya lengkung $C(t)$ pada selang $[t_i, t_{i+p+1})$ sahaja yang akan dipengaruhi.

(e) Lengkung splin-B mempunyai keselajaran C^{p-k} di knot yang mempunyai kegandaan k .

Jika t bukan suatu knot, $C(t)$ terletak di tengah suatu tembereng lengkung berdarjah p dan dengan itu ia adalah terbeza secara tak terhingga. Jika t ialah knot dalam domain bukan sifar bagi $N_{i,p}(t)$, maka $C(t)$ mempunyai keselajaran C^{p-k} .

(f) Lengkung Bézier ialah kes khas bagi lengkung splin-B. Jika $n=p$ dan mempunyai $2(p+1) = 2(n+1)$ knot dengan $(p+1)$ daripada knot-knot ini adalah kapit pada setiap hujung, lengkung splin-B ini boleh diturunkan kepada lengkung Bézier.

(g) Ketakberubahan afin

Jika lengkung splin-B ingin dipetakan dengan peta afin, poligon kawalan adalah perlu dipetakan; pemetakan lengkung splin-B ditakrifkan oleh imej poligon kawalan dan jujukan knot yang asal.

3.3 Kubik Splin-B Seragam

Dalam Pham (1988), diberi $(n+1)$ bucu-bucu kawalan, V_0, V_1, \dots, V_n , perwakilan berparameter bagi $C_i(t)$ tembereng ke- i bagi suatu lengkung kubik splin-B seragam adalah seperti berikut:

$$C_i(t) = b_{-1}(t)V_{i-1} + b_0(t)V_i + b_1(t)V_{i+1} + b_2(t)V_{i+2} \quad (3.1)$$

di mana $b_k(t)$ bagi $k = -1, 0, \dots, 2$ ialah fungsi-fungsi asas dan $t_i \leq t < t_{i+1}$. t_i dipilih menjadi satu jujukan integer seragam iaitu $t_i = 0, 1, \dots, n$. Fungsi-fungsi asas ditakrifkan seperti berikut:

$$\begin{aligned} b_{-1}(t) &= \frac{1}{6}(-t^3 + 3t^2 - 3t + 1) \\ b_0(t) &= \frac{1}{6}(3t^3 - 6t^2 + 4) \\ b_1(t) &= \frac{1}{6}(-3t^3 + 3t^2 + 3t + 1) \\ b_2(t) &= \frac{1}{6}t^3 \end{aligned} \quad (3.2)$$

Lengkung ini mempunyai keselanjaran C^2 dan sifat hul cembung. Tambahan pula, memandangkan setiap tembereng adalah ditentukan oleh empat bucu, maka perubahan kedudukan satu bucu hanya menjejaskan lengkung secara setempat. Walau bagaimanapun, kawalan bucu adalah jauh dari lengkung dan adalah sukar untuk mengetahui penempatannya dengan tepat untuk mendapatkan lengkung yang dikehendaki. Oleh itu, adalah lebih memanfaatkan jika lengkung boleh dihasilkan daripada beberapa *knot* di lengkung hakiki.

Andaikan *knot* P_0, P_1, \dots, P_n . Splin-B digunakan untuk menginterpolasikan *knot-knot* ini, maka

$$C_i(0) = P_i \quad \text{bagi } i = 0, 1, \dots, n. \quad (3.3)$$

Tanpa menghilangkan itlaknya, andaikan $t_i = 0$ dan $t_{i+1} = 1$.

Daripada persamaan (3.1), (3.2) dan (3.3), satu sistem bagi persamaan linear serentak diperolehi, iaitu:

$$\frac{1}{6}V_{i-1} + \frac{2}{3}V_i + \frac{1}{6}V_{i+1} = P_i \quad \text{bagi } i = 0, 1, \dots, n \quad (3.4)$$

dan andaikan $V_{-1} = V_0$ dan $V_{n+1} = V_n$, jika dua bucu di dua titik hujung adalah dipilih.

Sistem ini adalah tiga pepenju dan boleh diselesaikan dengan cekap oleh kaedah Gauss-Seidel, iaitu

$$V_i^k = P_i + \frac{1}{2} \left\{ P_i - \frac{1}{2} [V_{i-1}^k + V_{i+1}^k] \right\} \quad \text{di mana } k \text{ menandakan lelaran ke-}k.$$

Proses lelaran adalah stabil dan menumpu dengan cepat. (Yamaguchi, (1978)).

3.4 Penganggaran Lengkung Ofset dengan Lengkung Kubik Splin-B Seragam

Lengkung ofset ditandakan dengan $\bar{C}_i(t)$ dan ofset *knot* \bar{P}_i bagi $i = 0, 1, \dots, n$.

Andaikan $C_i(t) = (X_i(t), Y_i(t))$. Menurut Pham (1988), arah normal kepada lengkung $C_i(t)$ di (X, Y) ditakrifkan seperti berikut:

$$\cos \alpha = \frac{-\dot{Y}}{\sqrt{\dot{X}^2 + \dot{Y}^2}} \quad \text{dan} \quad \sin \alpha = \frac{\dot{X}}{\sqrt{\dot{X}^2 + \dot{Y}^2}}$$

di mana $\dot{X} = \dot{X}(t)$, $\dot{Y} = \dot{Y}(t)$ ialah terbitan separa $X(t)$ dan $Y(t)$ terhadap t .

Dengan itu, lengkung ofset $\bar{C}_i(t) = (\bar{X}_i(t), \bar{Y}_i(t))$ dengan jarak ofset d memuakan persamaan-persamaan berikut:

$$\bar{X}_i(t) = X_i(t) \mp d \frac{\dot{Y}_i}{\sqrt{\dot{X}_i^2 + \dot{Y}_i^2}} \quad \text{dan} \quad \bar{Y}_i(t) = Y_i(t) \pm d \frac{\dot{X}_i}{\sqrt{\dot{X}_i^2 + \dot{Y}_i^2}} \quad (3.5)$$

Andaikan $V_i = (u_i, v_i)$, $P_i = (x_i, y_i)$ dan $\bar{P}_i = (\bar{x}_i, \bar{y}_i)$, di mana $i = 0, 1, \dots, n$.

Untuk mencari *knot* ofset \bar{P}_i bagi $i = 0, 1, \dots, n$, bezakan persamaan (3.2) terhadap t . Daripada persamaan (3.1), kita memperolehi:

$$\dot{\bar{C}}_i(0) = \frac{1}{2}(V_{i+1} - V_{i-1})$$

Dengan itu,

$$\dot{\bar{x}}_i(0) = \frac{1}{2}(u_{i+1} - u_{i-1}) \quad \text{dan} \quad \dot{\bar{y}}_i(0) = \frac{1}{2}(v_{i+1} - v_{i-1})$$

Oleh itu

$$\bar{x}_i = x_i \mp dM_x \quad \text{dan} \quad \bar{y}_i = y_i \pm dM_y \quad (3.6)$$

di mana

$$M_x = \frac{v_{i+1} - v_{i-1}}{\sqrt{(u_{i+1} - u_{i-1})^2 + (v_{i+1} - v_{i-1})^2}} \quad \text{dan}$$

$$M_y = \frac{u_{i+1} - u_{i-1}}{\sqrt{(u_{i+1} - u_{i-1})^2 + (v_{i+1} - v_{i-1})^2}} \quad (3.7)$$

Untuk meningkatkan ketepatan penganggaran lengkung ofset, proses penambahbaikan akan dijalankan. Kemudian lengkung baru bagi kedua-dua lengkung akan dijana semula.

3.5 Kaedah Penambahbaikan bagi Penganggaran Lengkung Ofset dengan Lengkung Kubik Splin-B Seragam

Menurut Salomon (2005), diberi set $n+1$ titik-titik kawalan P_i bagi lengkung kubik splin-B seragam. Titik-titik ini akan dibahagikan kepada beberapa kumpulan bertindih yang setiapnya terdiri daripada empat titik, dan setiap kumpulan ini akan digunakan dalam proses penghalusan. Oleh kerana penghalusan merupakan suatu proses lelaran, maka titik-titik kawalan yang diperolehi dalam langkah ke- k penambahbaikan diwakili oleh P_i^k . Titik-titik kawalan asal pula diwakili oleh P_i^0 . Kumpulan-kumpulan bertindih boleh dibahagikan seperti berikut:

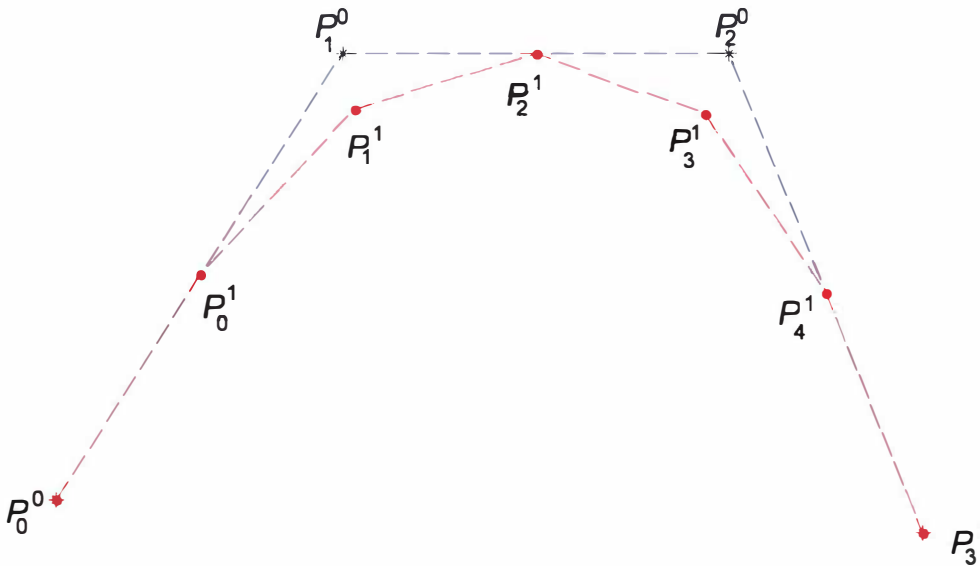
$$P_0^0 P_1^0 P_2^0 P_3^0, P_1^0 P_2^0 P_3^0 P_4^0, \dots, P_{n-3}^0 P_{n-2}^0 P_{n-1}^0 P_n^0.$$

Merujuk kepada Rajah 3.1, poligon kawalan asal, $P_0^0 P_1^0 P_2^0 P_3^0$, diwakili oleh garis putus-putus berwarna biru manakala poligon kawalan bagi penambahbaikan kali pertama, $P_0^1 P_1^1 P_2^1 P_3^1 P_4^1 P_3^0$, pula diwakili oleh garis putus-putus yang berwarna merah. Langkah penghalusan yang pertama bagi mengira lima titik $P_0^1 P_1^1 P_2^1 P_3^1 P_4^1$ adalah seperti berikut:

- (a) Bagi setiap tiga titik dengan subskrip genap $P_0^1 P_2^1 P_4^1$ (dinamakan titik-titik pinggir) terletak di kedudukan tengah bagi suatu tembereng yang dibatasi oleh dua titik kawalan asal. Contohnya, P_0^1 terletak di kedudukan tengah di antara P_0^0 dan P_1^0 , P_2^1 pula terletak di kedudukan tengah di antara P_1^0 dan P_2^0 , serta P_4^1 pula terletak di kedudukan tengah di antara P_2^0 dan P_3^0 .
- (b) Bagi setiap dua titik dengan subskrip ganjil P_1^1 dan P_3^1 (dinamakan titik-titik bucu) terletak di kedudukan tengah bagi suatu tembereng yang titik-titik hujungnya adalah terletak di tengah dua tembereng yang dibatasi oleh dua titik pinggir yang baru dan satu titik kawalan asal. Oleh itu, P_1^1 terletak di kedudukan tengah di antara P_0^1 , P_1^0 dan P_2^1 , manakala P_3^1 pula terletak di kedudukan tengah di antara P_2^1 , P_2^0 dan P_4^1 .

Lima titik yang dihasilkan oleh langkah penghalusan yang pertama boleh diungkapkan dalam empat titik kawalan yang asal, iaitu seperti berikut:

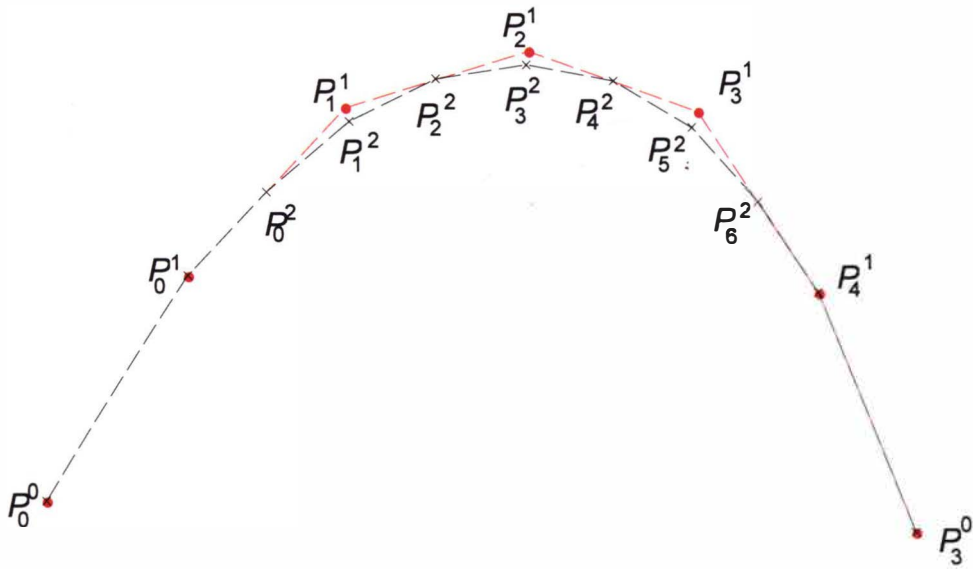
$$\begin{pmatrix} P_0^1 \\ P_1^1 \\ P_2^1 \\ P_3^1 \\ P_4^1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2}(P_0^0 + P_1^0) \\ \frac{1}{8}(P_0^0 + 6P_1^0 + P_2^0) \\ \frac{1}{2}(P_1^0 + P_2^0) \\ \frac{1}{8}(P_1^0 + 6P_2^0 + P_3^0) \\ \frac{1}{2}(P_2^0 + P_3^0) \end{pmatrix} = \frac{1}{8} \begin{pmatrix} 4 & 4 & 0 & 0 \\ 1 & 6 & 1 & 0 \\ 0 & 4 & 4 & 0 \\ 0 & 1 & 6 & 1 \\ 0 & 0 & 4 & 4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_0^0 \\ P_1^0 \\ P_2^0 \\ P_3^0 \end{pmatrix} \quad (3.8)$$



Rajah 3.1: Poligon kawalan bagi langkah-langkah penambahbaikan kali pertama.

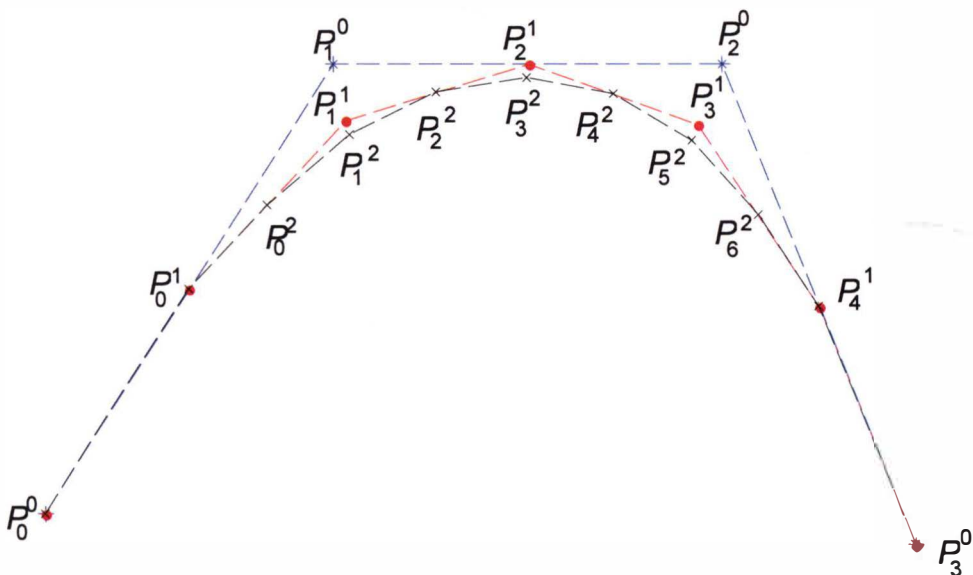
Bagi setiap titik baru P_i^1 , $i = 0, 1, \dots, 4$ dikira sama ada daripada dua atau tiga titik P_j^0 , $j = 0, 1, 2, 3$. Lima titik yang baru kemudiannya dibahagikan kepada dua kumpulan bertindih, iaitu $P_0^1 P_1^1 P_2^1 P_3^1$ dan $P_1^1 P_2^1 P_3^1 P_4^1$ yang terdiri daripada empat titik. Merujuk kepada Rajah 3.2, poligon kawalan bagi langkah penambahbaikan kali pertama, $P_0^0 P_0^1 P_1^1 P_2^1 P_3^1 P_4^1 P_3^0$, dan poligon kawalan bagi langkah penambahbaikan kali kedua, $P_0^0 P_0^1 P_0^2 P_1^2 P_2^2 P_3^2 P_4^2 P_5^2 P_6^2 P_4^1 P_3^0$, masing-masing diwakili oleh garis putus-putus yang berwarna merah dan hitam. Langkah penambahbaikan kali kedua seperti kali yang pertama dijalankan kepada setiap kumpulan itu untuk menghasilkan lima titik

baru yang diwakili oleh P_i^2 , $i = 0, 1, \dots, 6$ apabila sisihan antara dua lengkung masih tidak memenuhi ketepatan yang dibenarkan.



Rajah 3.2: Poligon kawalan bagi langkah-langkah penambahbaikan kali kedua.

Poligon kawalan bagi langkah-langkah penambahbaikan kali pertama dan kedua ditunjukkan dalam Rajah 3.3, poligon kawalan asal, $P_0^0 P_1^0 P_2^0 P_3^0$, poligon kawalan bagi langkah penambahbaikan kali pertama, $P_0^0 P_0^1 P_1^1 P_2^1 P_3^1 P_4^1 P_3^0$, dan poligon kawalan bagi langkah penambahbaikan kali kedua, $P_0^0 P_0^1 P_0^2 P_1^2 P_2^2 P_3^2 P_4^2 P_5^2 P_6^2 P_4^1 P_3^0$, masing-masing ditunjukkan oleh garis putus-putus yang berwarna biru, merah dan hitam.



Rajah 3.3: Poligon kawalan bagi langkah-langkah penambahbaikan bagi kali pertama dan kedua.

3.6 Algoritma-algoritma Penjanaan Lengkung Ofset Kubik Splin-B Seragam

Algoritma-algoritma bagi penjanaan suatu lengkung ofset adalah seperti berikut:

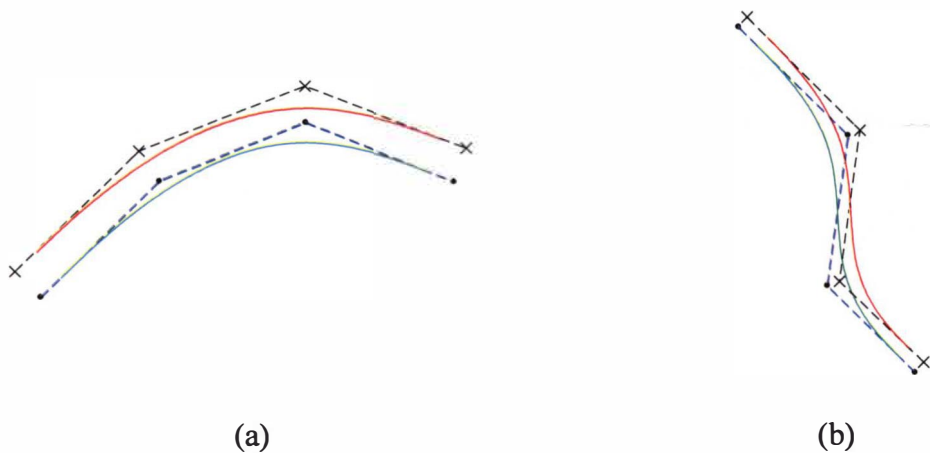
- (a) Kira bucu-bucu kawalan bagi lengkung ofset dengan menggunakan persamaan (3.5).
- (b) Mencari *knot* ofset daripada *knot* asal dengan menggunakan persamaan (3.6) dan (3.7).
- (c) Menjana lengkung ofset kubik splin-B seragam yang sepadan dengan lengkung asal.
- (d) Kira sisihan jarak di antara dua lengkung iaitu lengkung asal dan lengkung ofset pada $t=0.5$ bagi setiap tembereng.
- (e) Jika sisihan jarak tidak memenuhi ketepatan yang dikehendaki maka proses penambahbaikan akan dijalankan dengan menggunakan persamaan (3.8).
- (f) Langkah (a) hingga (e) diulangi sehingga sisihan jarak di antara lengkung asal dan lengkung ofset bagi setiap tembereng memenuhi ketepatan yang dikehendaki.

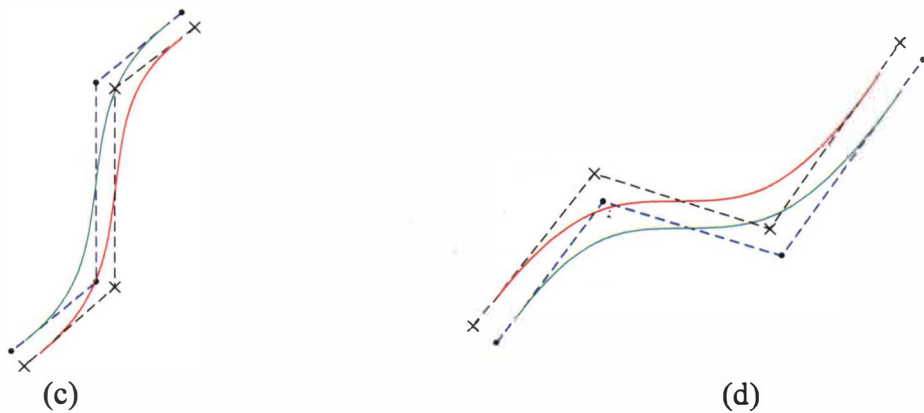
BAB 4

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Kita menjelaskan kaedah-kaedah yang dihuraikan dalam Bab 3 dengan beberapa contoh bergraf.

Rajah 4.1 (a), (b), (c) dan (d) menunjukkan penganggaran lengkung ofset kubik splin-B seragam dengan lengkung kubik splin-B seragam. Titik-titik kawalan bagi lengkung kubik splin-B yang diberikan diwakili oleh simbol “•” manakala titik-titik kawalan ofset ditunjukkan oleh simbol “×”. Poligon kawalan bagi lengkung ofset anggaran dan lengkung asal masing-masing dilambangkan oleh garis putus-putus yang berwarna hitam dan biru. Lengkung yang berwarna merah mewakili lengkung ofset anggaran dan yang berwarna hijau pula mewakili lengkung asal.

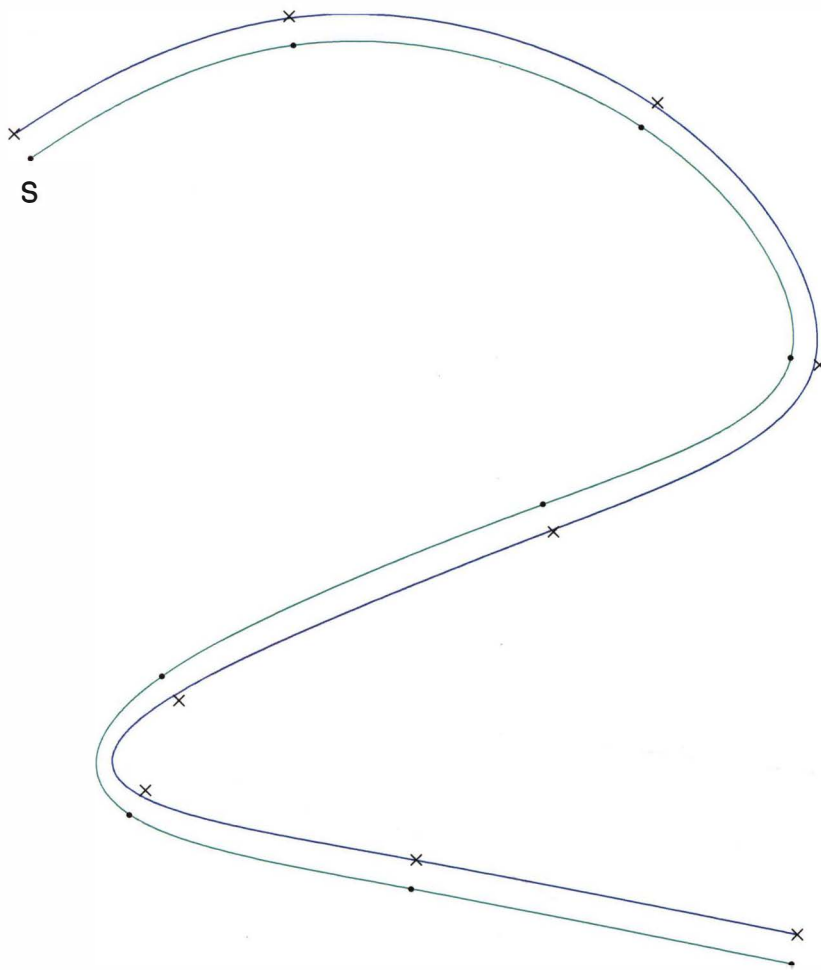




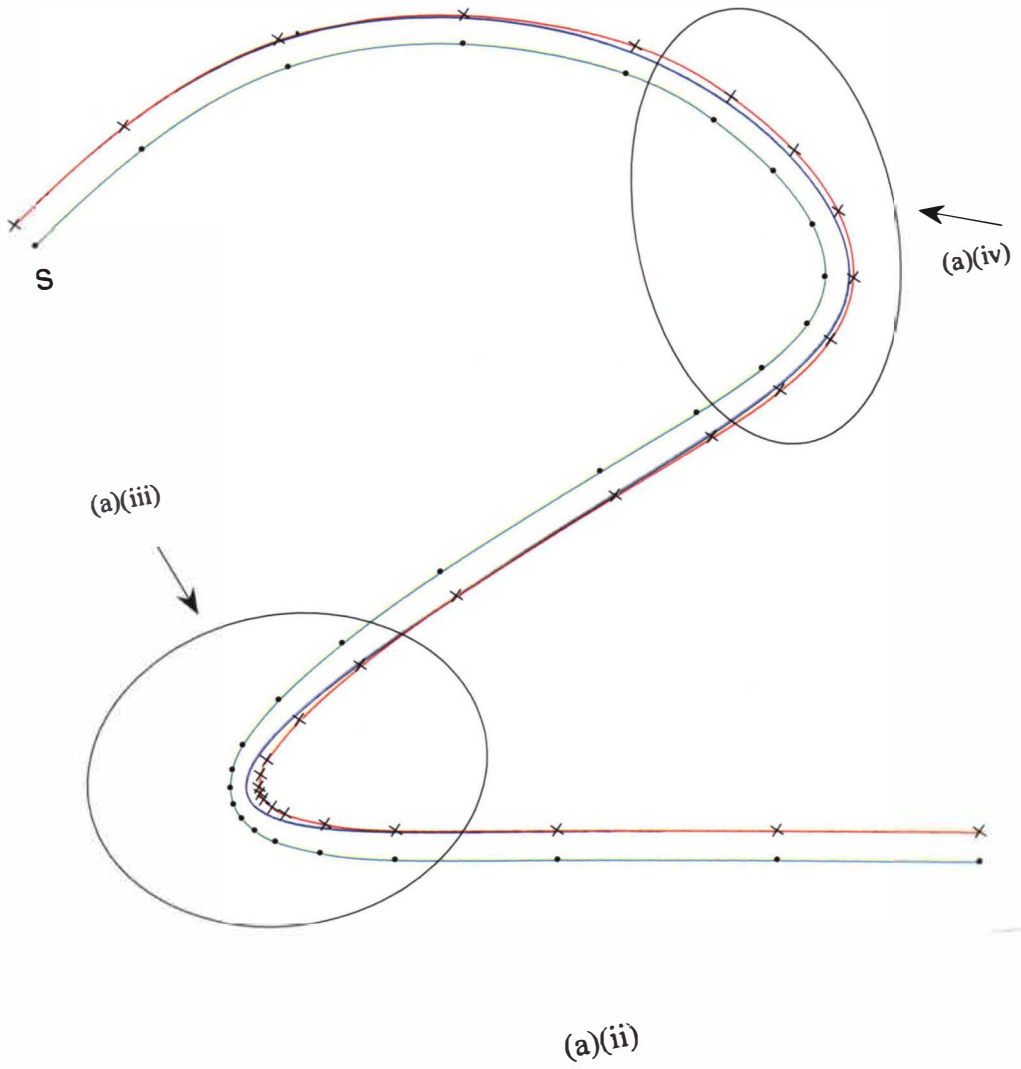
Rajah 4.1: Penganggaran lengkung ofset kubik splin-B seragam dengan lengkung kubik splin-B seragam.

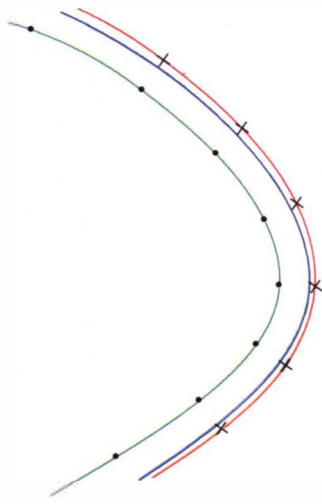
Penganggaran lengkung ofset kubik splin-B seragam cebis demi cebis dengan lengkung kubik splin-B seragam cebis demi cebis dijelaskan dengan beberapa contoh yang ditunjukkan dalam Rajah 4.2 (a), (b), (c), (d) dan (e). *Knot-knot* bagi lengkung kubik splin-B seragam cebis demi cebis diwakili oleh simbol “•” manakala *knot-knot* ofset pula ditunjukkan oleh simbol “×”. “S” menandakan *knot* yang pertama bagi setiap lengkung. Lengkung yang berwarna hijau mewakili lengkung asal iaitu lengkung kubik splin-B seragam manakala lengkung berwarna biru pula mewakili lengkung ofset kubik splin-B seragam. Lengkung asal dalam Rajah 4.2 (a)(i) mempunyai 8 tembereng, Rajah 4.2 (b)(i) 15 tembereng, Rajah 4.2 (c)(i) 14 tembereng, Rajah 4.2 (d)(i) 15 tembereng dan Rajah 4.2 (e)(i) pula mempunyai 8 tembereng. Didapati bahawa tembereng 2, 3, 4, 6 dan 7, dalam Rajah 4.2 (a)(i), tembereng 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12 dan 14 dalam Rajah 4.2 (b)(i), tembereng 6, 7, 8 dan 9 dalam Rajah 4.2 (c)(i), tembereng 2, 3, 6, 7, 8, 9, 13 dan 14 dalam Rajah 4.2 (d)(i) serta tembereng 2, 4, 5, 6, 7 dan 8 dalam Rajah 4.2 (e)(i) perlu menjalani proses penambahbaikan. Ini kerana jarak di antara lengkung asal dan lengkung ofset yang sepadan pada $t=0.5$ tidak memenuhi ketepatan yang dikehendaki, maka proses penambahbaikan perlu dijalankan untuk meningkatkan kejituaannya. Lengkung ofset kubik splin-B seragam yang baru akan dijana dan diwakili oleh lengkung yang berwarna merah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4.2. Bahagian yang dibulatkan dalam Rajah 4.2 (a)(ii), (b)(ii), (c)(ii), (d)(ii) dan (e)(ii) diperbesarkan dan masing-masing ditunjukkan dalam Rajah 4.2 (a)(iii) dan (iv), (b)(iii), (iv) dan (v), (c)(iii), (iv) dan (v), (d)(iii), (iv) dan (v) serta (e)(iii), (iv) dan (v). Lengkung asal dan lengkung ofset kubik splin-B

seragam yang baru dijana dan masing-masing diwakili oleh lengkung yang berwarna hijau dan merah setelah menjalani proses penambahbaikan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4.2 (a)(v), (b)(vi), (c)(vi), (d)(vi) dan (e)(vi).

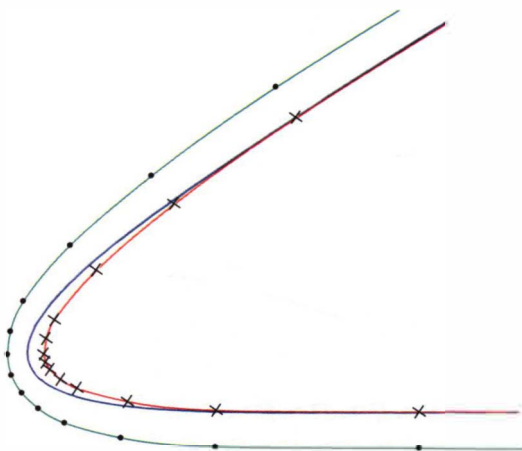


(a)(i)

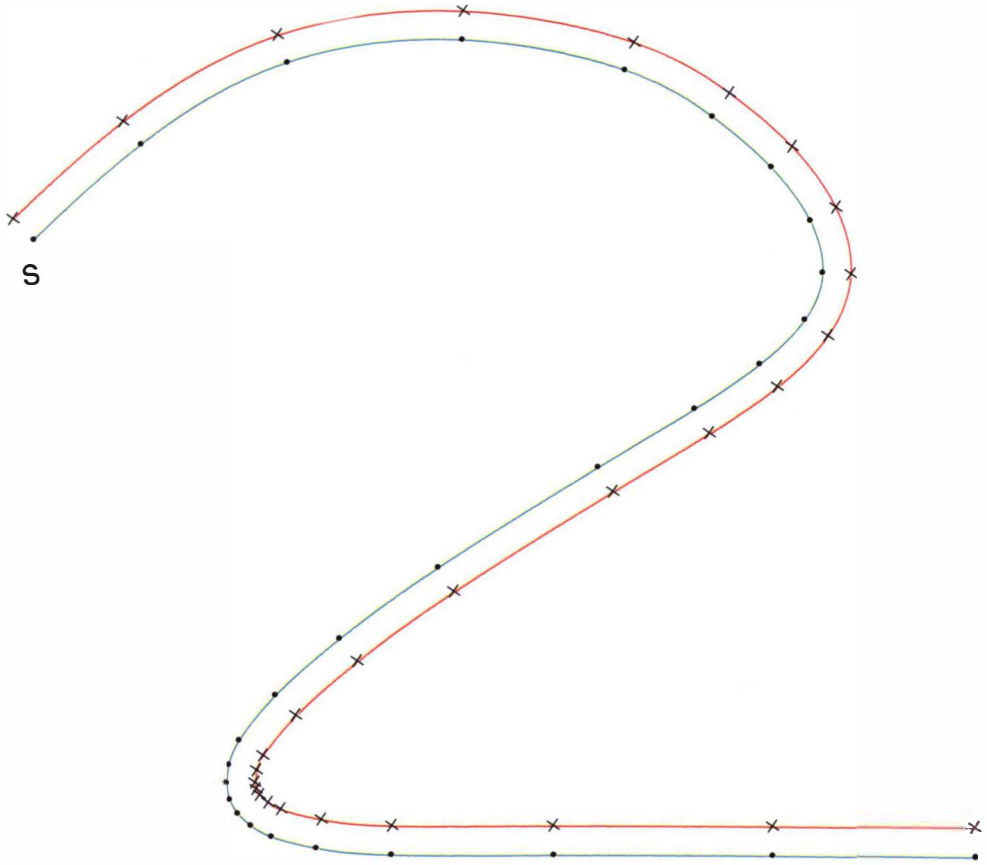




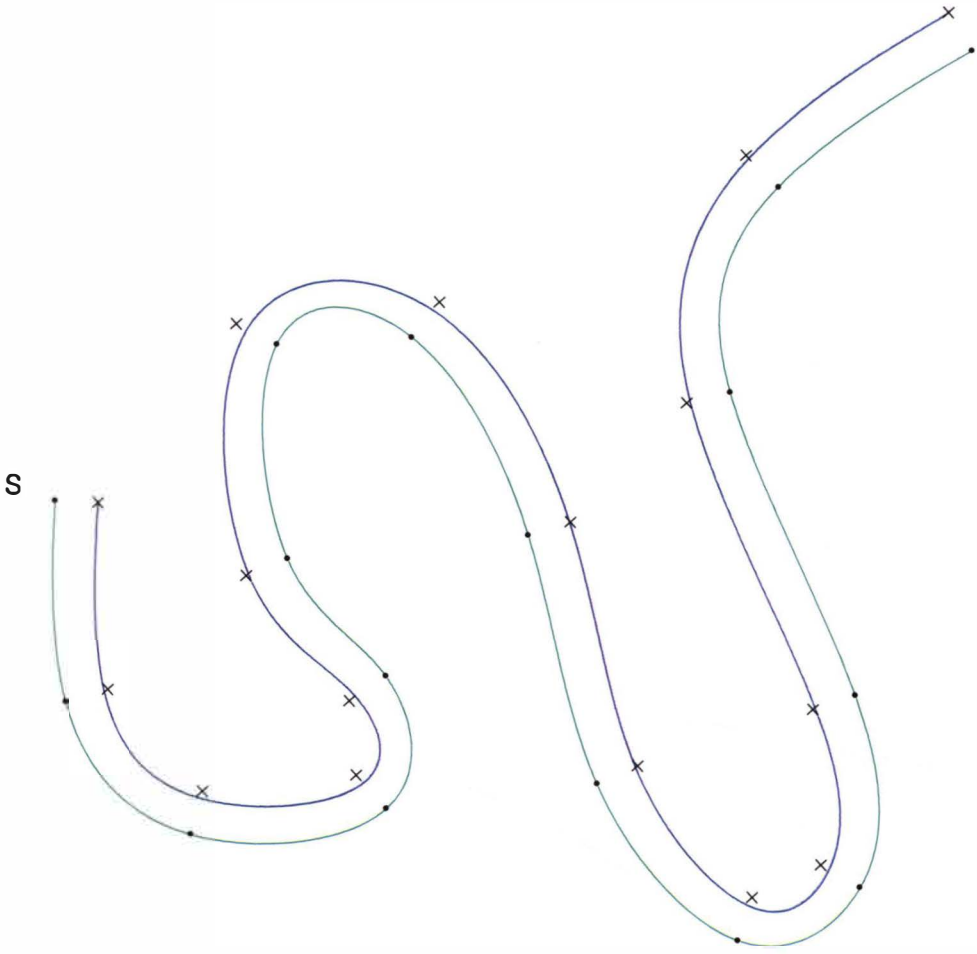
(a)(iii)



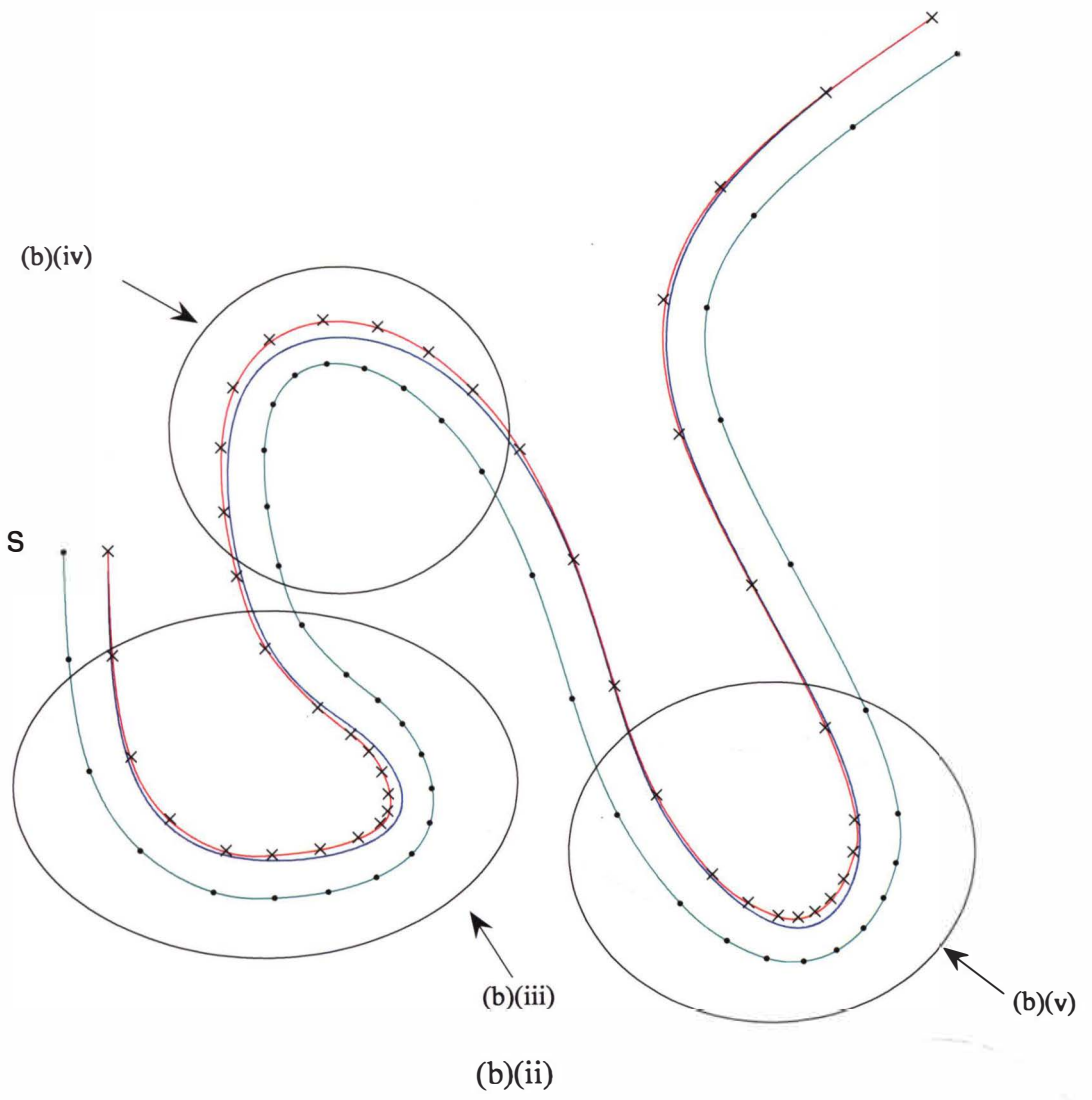
(a)(iv)

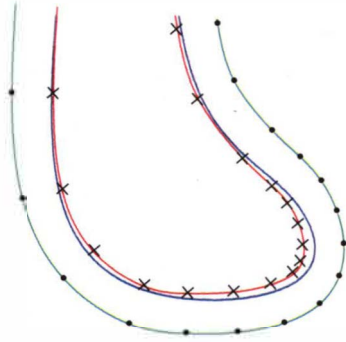


(a)(v)

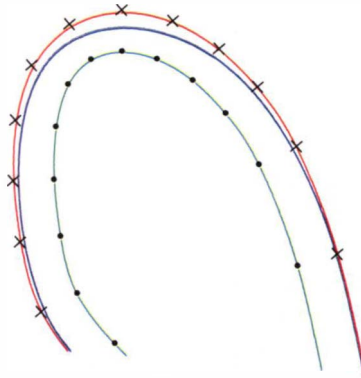


(b)(i)

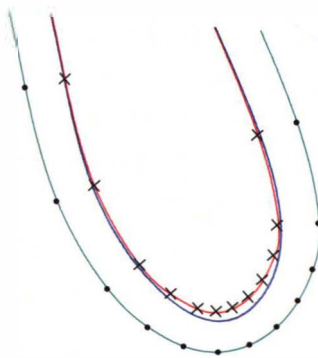




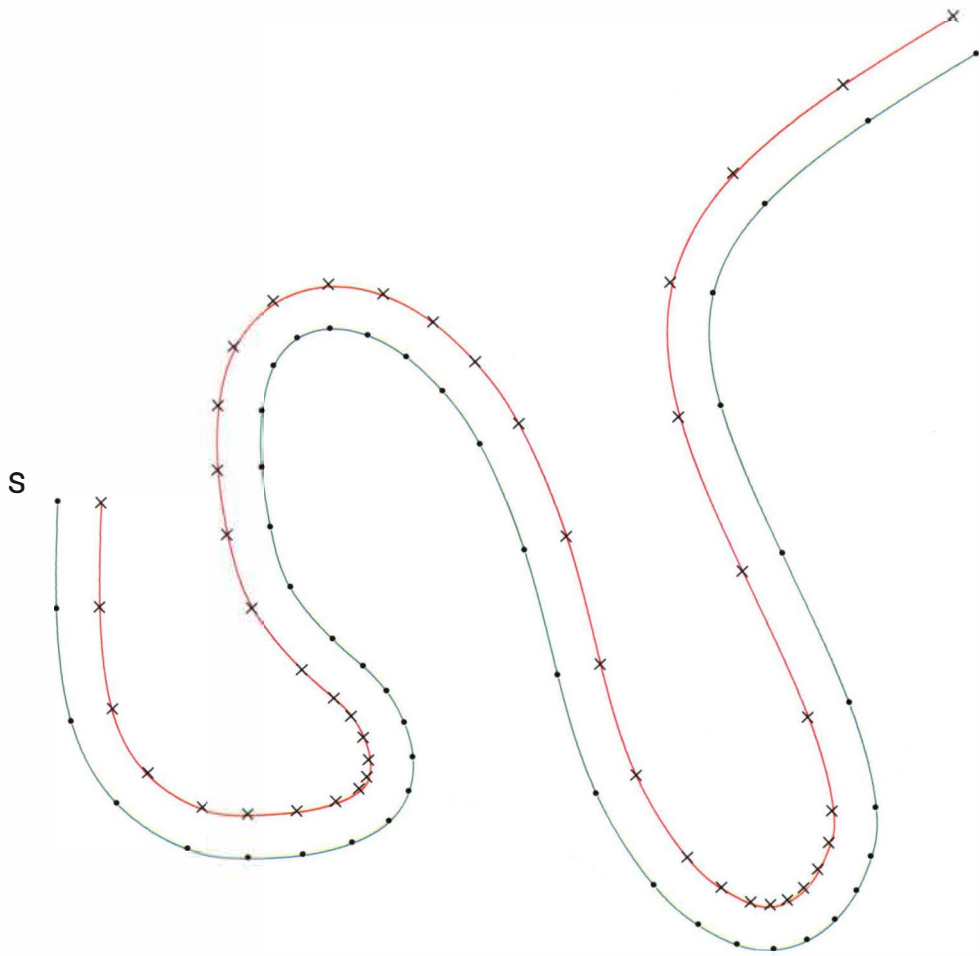
(b)(iii)



(b)(iv)

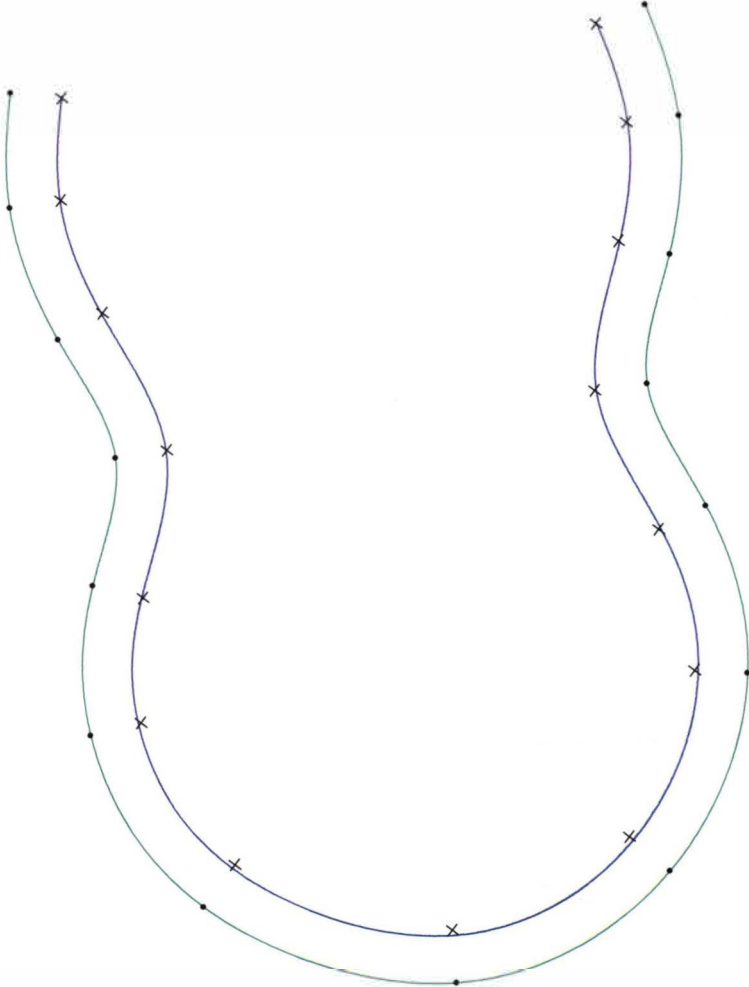


(b)(v)

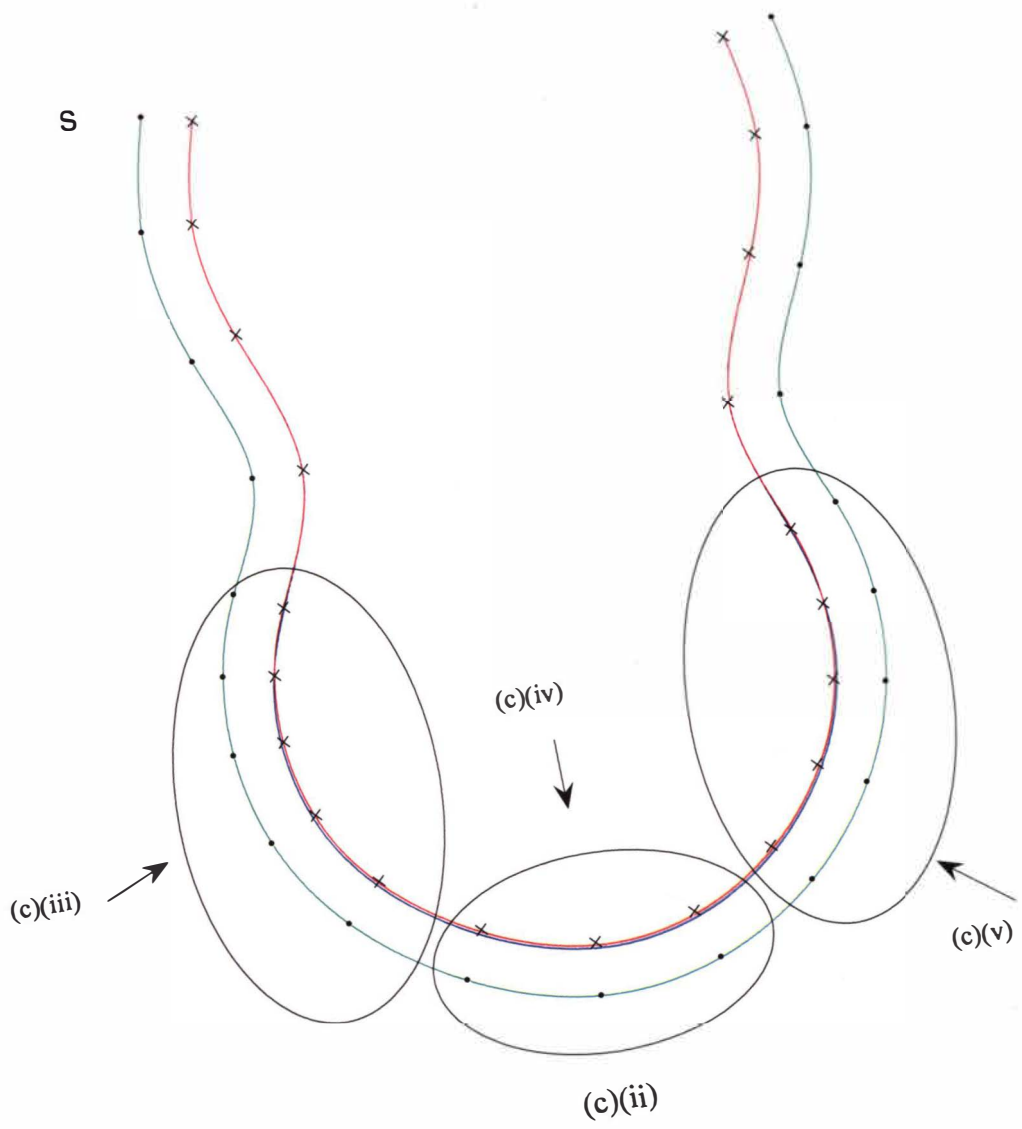


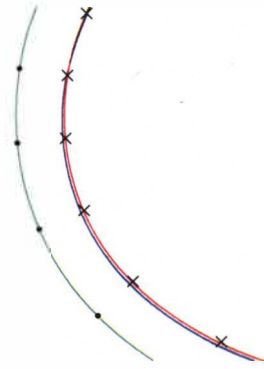
(b)(vi)

S

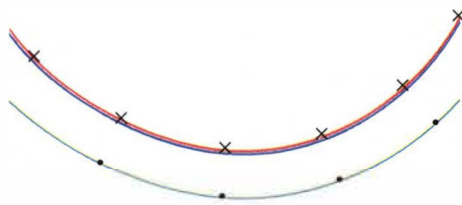


(c)(i)

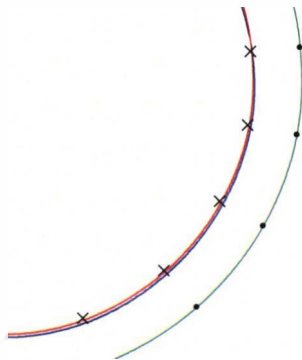




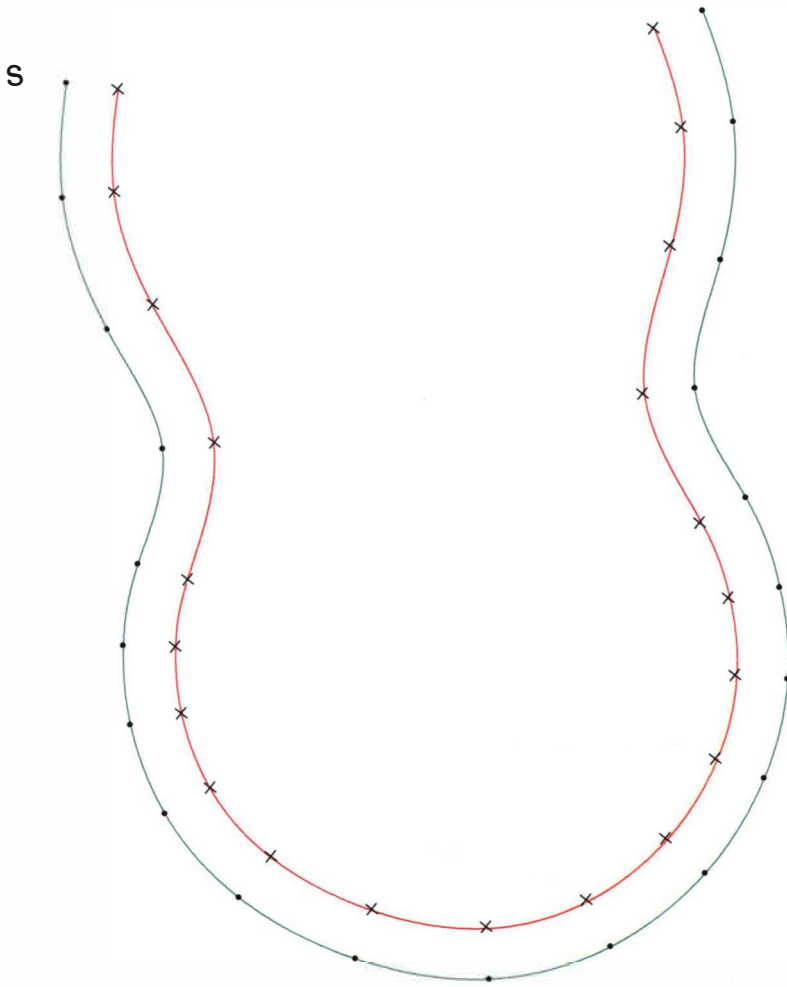
(c)(iii)



(c)(iv)

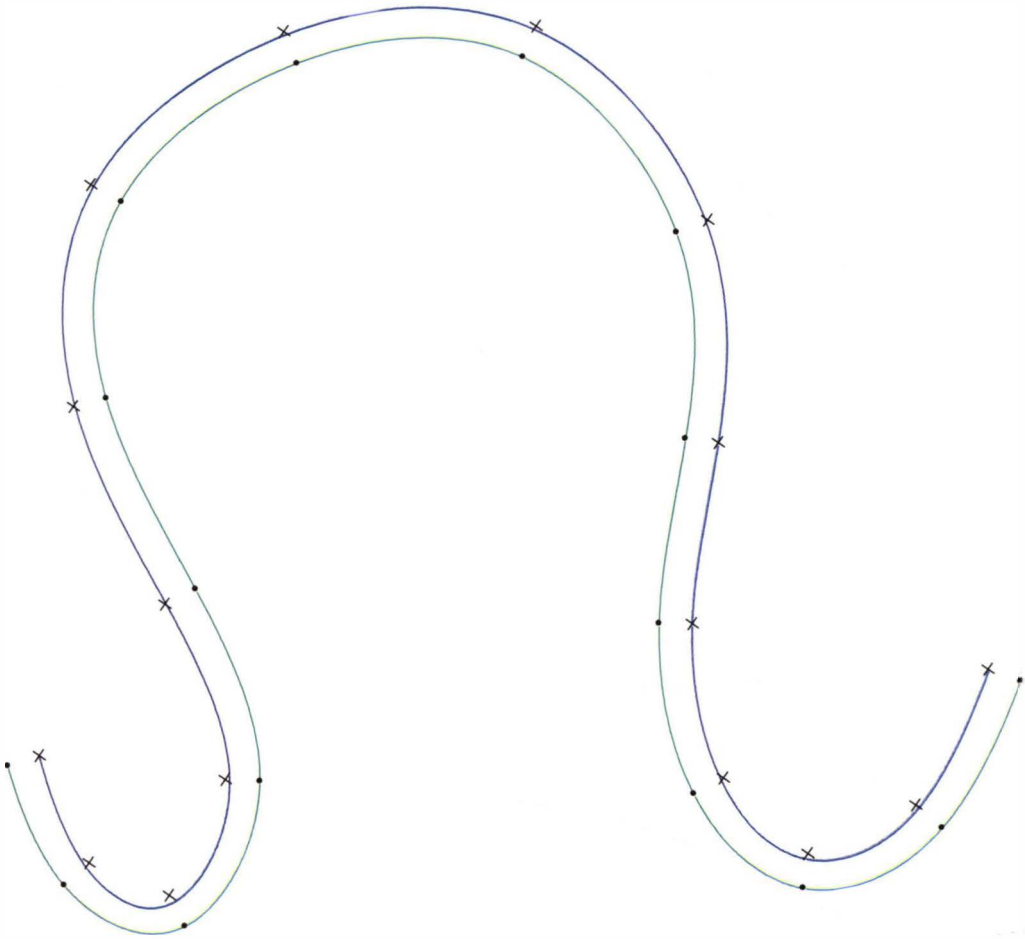


(c)(v)

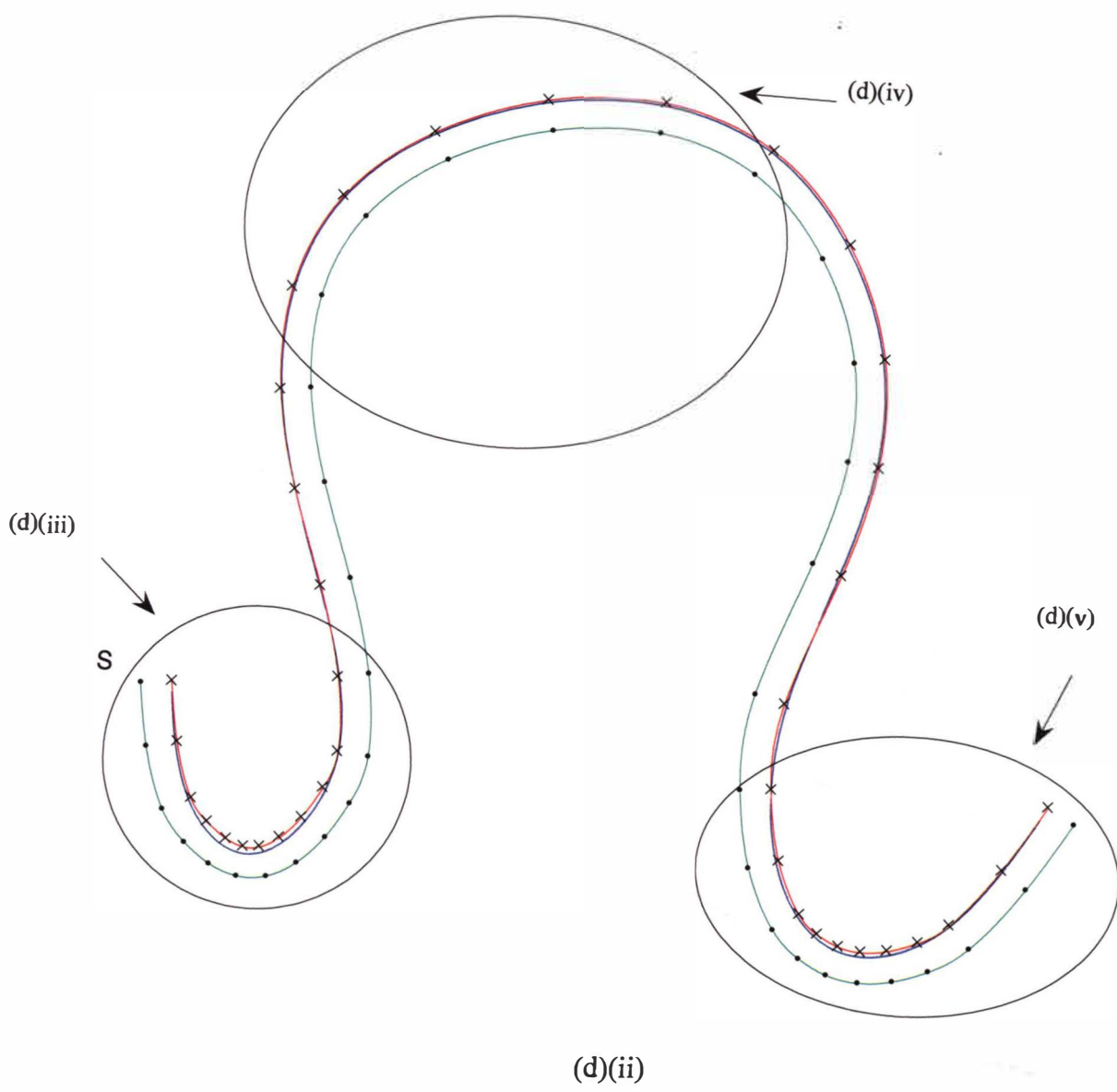


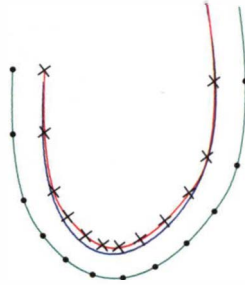
(c)(vi)

\mathcal{S}

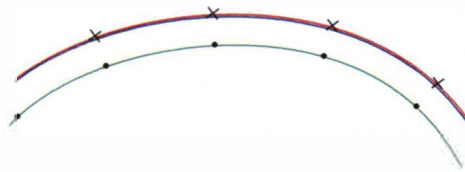


(d)(i)

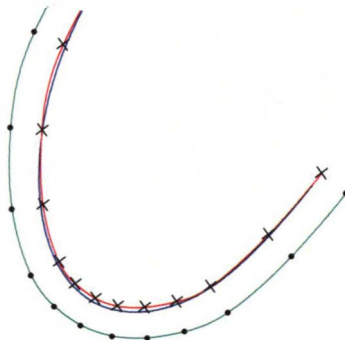




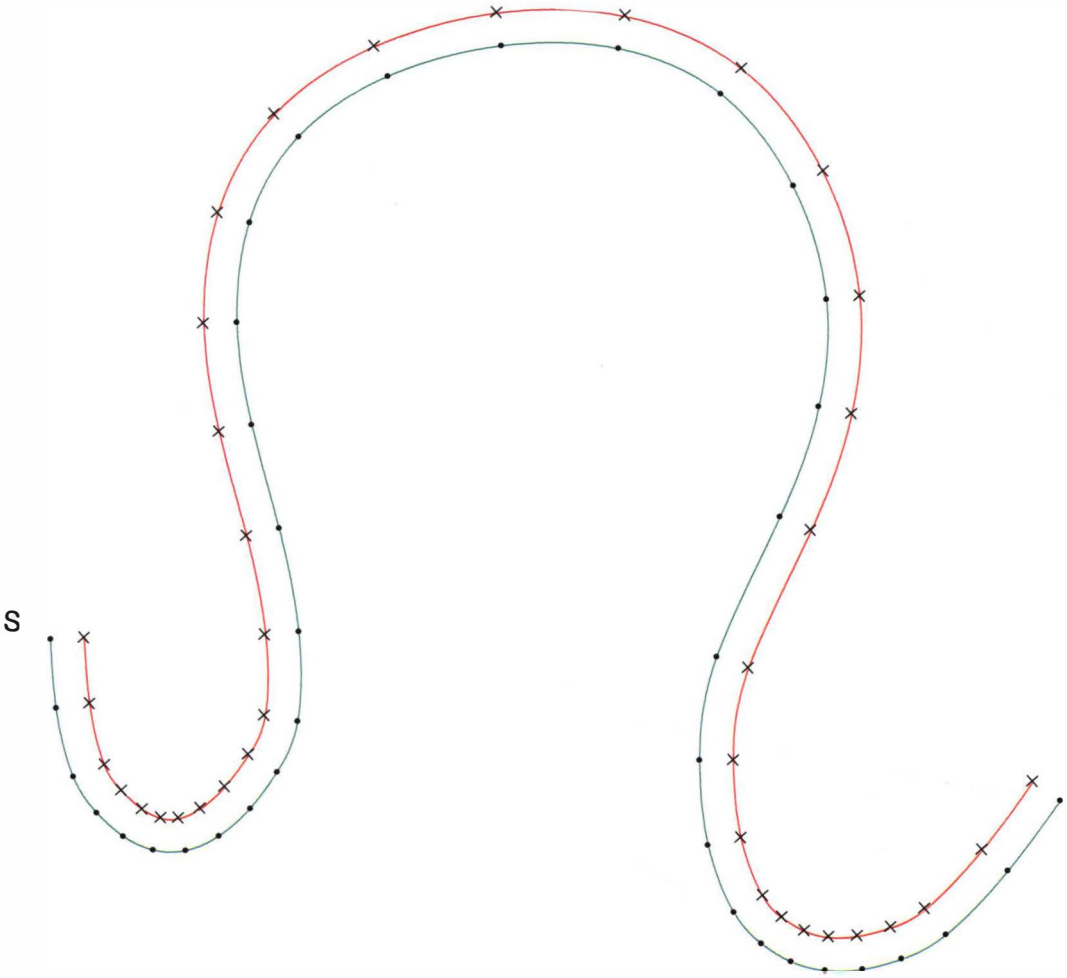
(d)(iii)



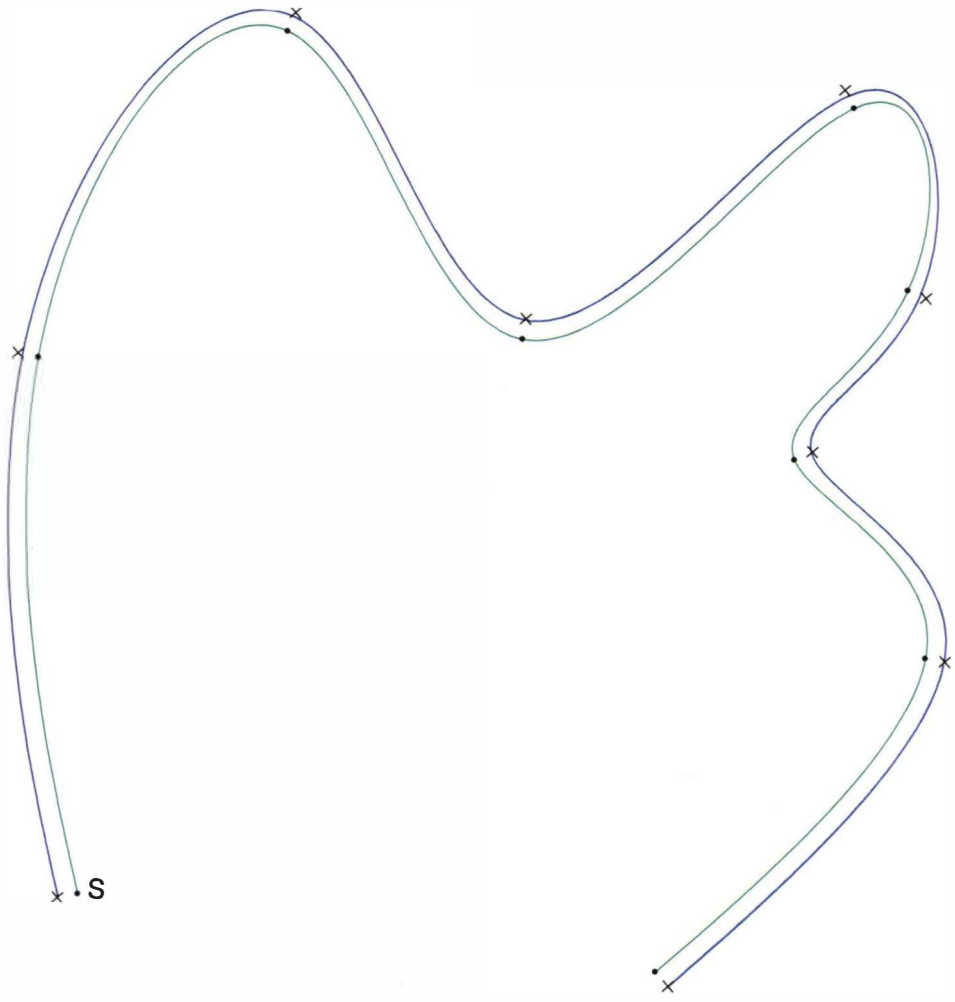
(d)(iv)



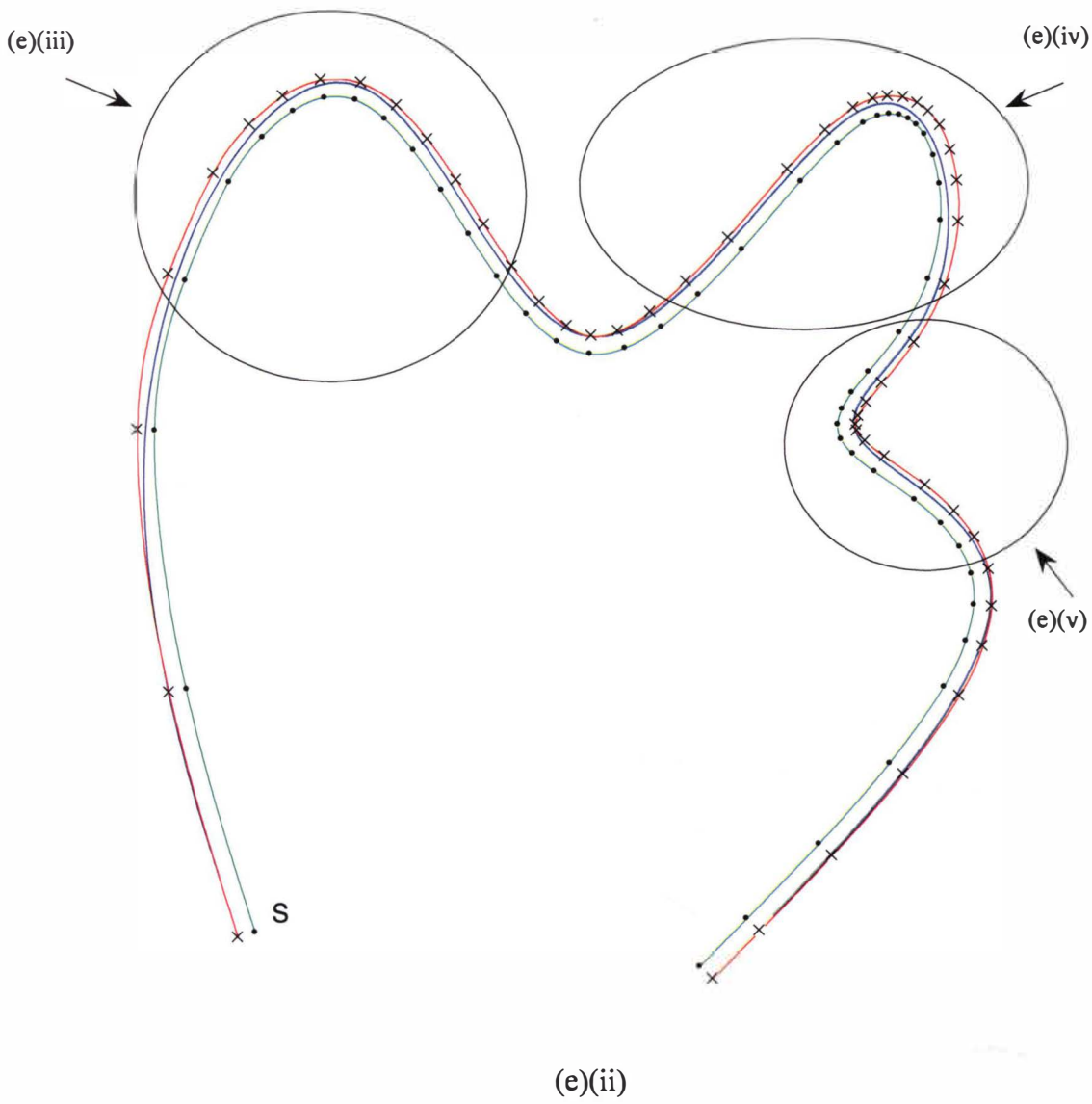
(d)(v)

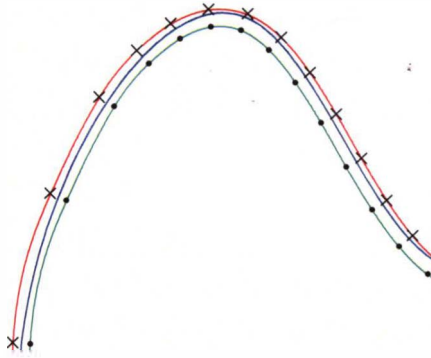


(d)(vi)

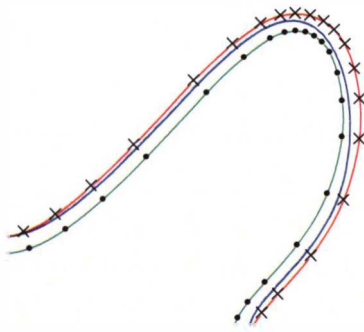


(e)(i)

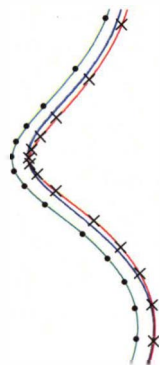




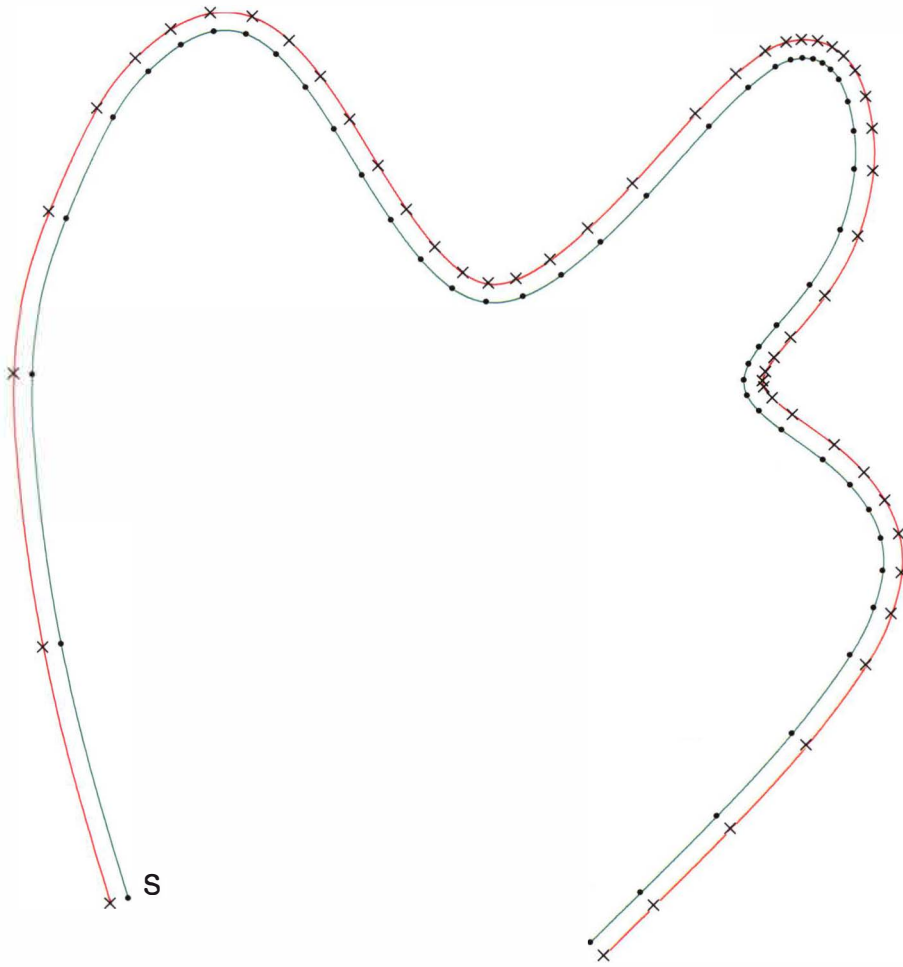
(e)(iii)



(e)(iv)



(e)(v)



(e)(vi)

Rajah 4.2: Penganggaran lengkung ofset kubik splin-B seragam cebis demi cebis dengan lengkung kubik splin-B seragam cebis demi cebis.

BAB 5

KESIMPULAN DAN CADANGAN

Pada akhir kajian ini, kita telah berjaya membina satu aturcara untuk menganggar lengkung ofset kubik splin-B seragam dengan lengkung kubik splin-B seragam. Bucu-bucu kawalan bagi lengkung ofset dan *knot-knot* ofset akan dicari supaya lengkung ofset yang sepadan dengan lengkung asalnya dapat dijana. Jika lengkung asal mempunyai keselajaran berdarjah dua, maka lengkung ofsetnya juga bersifat sedemikian. Proses penambahbaikan akan dijalankan jika jarak di antara lengkung asal dan lengkung ofset yang sepadan pada $t=0.5$ tidak memenuhi ketepatan yang dikehendaki. Hasil dapatan kajian ini ditunjukkan dengan beberapa contoh dalam Bab 4 dan didapati bahawa keputusan yang diperolehi adalah baik.

Kajian ini boleh dilanjutkan dengan penganggaran lengkung ofset dengan lengkung splin-B nisbah tak seragam yang mempunyai pemberat-pemberat yang boleh mengawal bentuk lengkung. Selain itu, penganggaran lengkung ofset dengan lengkung kuartik splin-B seragam juga boleh dipertimbangkan.

RUJUKAN

- Chiang, C.S., Hoffmann, C.M. & Lynch, R.E. 1991. How to compute offsets without self-intersection. *SPIE Processings of Curves and Surfaces in Computer Vision and Graphics II* 1610: 76-87.
- Chong, N.S. 2008. Approximating offset curves by rational Bézier cubics and quartics. *University Sains Malaysia* 37(4):1-13.
- Cobb, E.S. 1984. Design of sculptured surfaces using the B-spline representation. PhD Dissertation. University of Utah, USA.
- Coquillart, S. 1987. Computing offsets of B-spline curves. *Computer Aided Design* 19(6): 305-309.
- Elber, G. & Cohen, E. 1991. Error bounded variable distance offset operator for free form curves and surfaces. *International Journal of Computational Geometry and Applications* 1(1): 67-78.
- Farin, G., Hoschek, J. & Kim, M.S. 2002. *Handbook of computer aided geometric design*. 1st edition. North-Holland.
- Farin, G. & Hansford, D. 2000. *The essentials of cagd*. 1st edition. AK Peters, Limited.
- Farin, G. 1989. Curvature continuity and offsets for piecewise conics. *Association for Computing Machinery Transactions on Graphics* 15: 89-99.
- Hoscheck, J. 1985. Offset curves in the plane. *Computer Aided Design* 17(2): 77-82.
- Hoscheck, J. & Wissel, N. 1988. Optimal approximate conversion of spline curves and spline approximation of offset curves. *Computer-Aided Design* 20(8): 475-483.
- Kimmel, R. & Bruckstein, A.M. 1993. Shape offsets via level sets. *Computer Aided Design* 25(3): 154-162.
- Klass, R. 1983. An offset spline approximation for plane cubic splines. *Computer Aided Design* 15(4): 297-299.
- Lee, I.K., Kim, M.S. & Elber, G. 1996. Planar curve offset based on circle approximation. *Computer Aided Design* 28(8): 617-630.
- Pham, B. 1992. Offset curves and surfaces: a brief survey. *Computer Aided Design* 24(4): 223-229.

- Pham, B. 1988. Offset approximation of uniform B-splines. *Computer Aided Design* 20(8): 471-474.
- Salomon, D. 2005. *Curves and surfaces for computer graphics*. Springer Verlag.
- Tiller, W. & Hanson, E.G. 1984. Offsets of two dimensional profiles. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Graph & Application* 4: 36-46.
- Yamaguchi, F. 1988. *Curves and surfaces in computer aided geometric design*. Springer Verlag.
- Yamaguchi, F. 1978. A new curve fitting method using a crt computer display. *Computer Graph Image Processing* 7: 425-437.

BIODATA PENULIS

Nama : Ho Kok Huei
Alamat Tetap : 5684 Jln Ts 2/2D,
Taman Semarak,
71800 Nilai,
Negeri Sembilan Darul Khusus
Nombor Telefon : 017-2279628
Email : khho_86@yahoo.com
Tarikh Lahir : 23 Feb 1986
Tempat Lahir : Batu Pahat, Johor
Kewarganegaraan : Malaysia
Bangsa : Cina
Jantina : Lelaki
Agama : Buddha
Pendidikan : (a) Sekolah Rendah Jenis Kebangsaan (C) Kuo Min Nilai
(b) Sekolah Menengah Kebangsaan Dato' Mohd Said Nilai
(c) Universiti Malaysia Terengganu
Anugerah : Sijil Senarai Kepujian Dekan Semester 5
Lembaga Pemimpin Pelajar, SMK Dato' Mohd Said (2004/05)
Pelajar Cemerlang Tingkatan 4, SMK Dato' Mohd Said (2002)
Pertandingan Kuiz Fizik Antarabangsa Malaysia, SMK Dato'
Mohd Said (2005)
Pertandingan Pertolongan Cemas Peringkat Negeri Sembilan-
Tempat Kedua (2002)
Lain-lain (jika ada) : Pengerusi Persatuan Bulan Sabit Merah, Universiti Malaysia
Terengganu (2006/07)
Ahli Kelab HIMMAT (Himpunan Mahasiswa Matematik),
Universiti Malaysia Terengganu
Ketua Pemimpin Pelajar, SMK Dato' Mohd Said (2004/05)
Bendahari Persatuan Sains, SMK Dato' Mohd Said (2004/05)
Timbalan Pengerusi Persatuan Bulan Sabit Merah, SMK Dato'
Mohd Said (2003)
Naib Pengerusi Kelab Ping Pong, SMK Dato' Mohd Said
(2003)
Kapten Rumah Biru, SMK Dato' Mohd Said (2003)

