

Abstract of thesis presented to the Senate of Universiti Malaysia Terengganu in fulfilment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy

THE ANALYSIS OF LENGTH AND ENERGY OF LOG-AESTHETIC CURVES AND ITS APPLICATION IN SHAPE COMPLETION AND PATH SMOOTHING PROBLEMS

YIP SIEW WEI

2020

Main Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Gobithaasan Rudrusamy, PhD

Co-Supervisor : Prof. Dr. Kenjiro Takai Miura, PhD

Faculty : Ocean Engineering Technology & Informatics

Log-aesthetic curves (LACs) are relatively new and their applications in design, engineering and manufacturing fields have yet to be explored. Therefore, an algorithm to solve shape completion problem by using G^1 continuous LACs is proposed. It was found that LACs are highly flexible as numerous curve solutions of distinct length and energy are available. It is however the relationship between length or energy of LACs and their shape parameter α is still an open question. Thus, an analysis of length, bending energy and curvature variation energy of LACs is carried out numerically on two categories of G^1 Hermite data, namely a general case and a special case. A simple, fast and flexible algorithm to determine the relationship between α and these metrics is proposed. For the general case, it was found that the relationship of α and its curve length can be represented by a straight or nearly straight line, which indicates the curve length of LACs is inversely proportional to the shape parameter α . On the other hand, the bending energy varies proportionally

with α . The relationship between curvature variation energy of LACs and α can be represented by a U-shaped curve in which the minimal value can be obtained when $\alpha \rightarrow 0$. It is however this minimal value tends to move in the direction of $\alpha \rightarrow -\infty$ when either one of the tangential angle increases. Furthermore, it is noticeable that LACs segments tend to mimic circular arc when $\alpha \rightarrow \pm\infty$. While for the special case, it was found that the curve solution of minimal length, bending energy and curvature variation energy can be obtained when $\alpha \rightarrow 1$, $\alpha \rightarrow -1.4$ and $\alpha \rightarrow \pm\infty$, respectively. The analysis outcome can boost efficiency and productivity of designer in computer-based optimal design. A novel algorithm to generate an obstacle-avoiding smooth path that optimizes for three types of constraints, namely minimum path distance, bending energy or curvature variation energy by using G^2 continuous LACs is also proposed. In addition, some numerical examples to show the flexibility of connecting a given circle and a line with LACs to provide a G^2 solution are demonstrated. It is expected that the research outcome provided in this thesis enables LACs as an essential family of curves for a more efficient and successful aesthetic design in future design environment.

Abstrak tesis yang dikemukakan kepada Senat Universiti Malaysia Terengganu
sebagai memenuhi keperluan untuk Ijazah Doktor Falsafah

**ANALISIS PANJANG SERTA TENAGA LENGKUNG LOG-
ESTETIK DAN APLIKASINYA DALAM MASALAH
PELENGKAPAN BENTUK SERTA PELICINAN LALUAN**

YIP SIEW WEI

2020

Penyelia Utama : Prof. Madya Dr. Gobithaasan Rudrusamy, PhD

Penyelia Bersama : Prof. Dr. Kenjiro Takai Miura, PhD

Fakulti : Teknologi Kejuruteraan Kelautan & Informatik

Lengkung Log-estetik (LE) boleh dikatakan masih baru dan aplikasinya dalam bidang reka bentuk, kejuruteraan dan pembuatan masih belum dijelajahi. Oleh itu, algoritma untuk menyelesaikan masalah pelengkapan bentuk dengan menggunakan LE berselanjor G^1 diperkenalkan. Didapati bahawa LE amat fleksibel kerana ia mampu memberi banyak penyelesaian yang berlainan panjang dan tenaga. Tetapi hubungan di antara panjang atau tenaga LE dan parameter bentuknya α masih belum diketahui. Oleh itu, kajian mengenai panjang, tenaga lenturan dan tenaga variasi kelengkungan LE dijalankan di atas dua kategori data Hermit G^1 , iaitu kes umum dan kes khas. Algoritma yang mudah bagi mengenal pasti hubungan di antara α dan tiga jenis metrik ini diperkenalkan. Bagi kes umum, didapati bahawa hubungan di antara α dan panjang lengkung boleh diwakili dengan garisan lurus di mana panjang LE berkadar songsang dengan parameter bentuknya α . Sebaliknya, tenaga lenturannya berkadar serentak dengan α . Hubungan di antara tenaga variasi kelengkungan LE dan α boleh diwakili dengan lengkung berbentuk U di mana nilai

minimum boleh diperolehi apabila $\alpha \rightarrow 0$. Namun, nilai minimum ini cenderung bergerak ke arah $\alpha \rightarrow -\infty$ apabila salah satu sudut tangen meningkat. Tambahan pula, ia didapati bahawa segmen LE cenderung menjadi arka bulat apabila $\alpha \rightarrow \pm\infty$. Manakala bagi kes khas, didapati bahawa lengkung terpendek dan lengkung yang mempunyai tenaga lenturan atau tenaga variasi kelengkungan minimum masing-masing dapat diperolehi apabila $\alpha \rightarrow 1, \alpha \rightarrow -1.4$ and $\alpha \rightarrow \pm\infty$. Hasil analisis ini dapat meningkatkan kecekapan dan produktiviti pereka bentuk dalam reka bentuk optimum berasas komputer. Algoritma baru untuk menjana laluan licin yang bebas daripada sebarang rintangan dengan meminimumkan tiga jenis sekatan, iaitu jarak laluan, tenaga lenturan atau tenaga variasi kelengkungan dengan menggunakan LE berselanjara G^2 juga diperkenalkan. Tambahan pula, beberapa contoh penggabungan bulatan dan garisan dengan LE juga dipersembahkan untuk menunjukkan keanjalannya dalam menyediakan penyelesaian berselanjara G^2 . Keseluruhan hasil kajian yang dilampirkan dalam tesis ini adalah dijangka melayakkan LE sebagai lengkung yang penting bagi reka bentuk estetik yang lebih cekap dan berjaya dalam alam reka bentuk pada masa hadapan.