

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Izooptikus görbék és felületek a számítógépes
geometriai modellezésben

Nagy Ferenc

Témavezető: Dr. Hoffmann Miklós



DEBRECENI EGYETEM
Informatikai Tudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2022.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	1
2. Az értekezés új tudományos eredményei	5
2.1. Izooptikus görbék	5
2.2. Izooptikus felületek	9
2.2.1. Izooptikus felületek keresése	9
2.2.2. Izooptikus felületek keresésének párhuzamosítása	13
2.3. Log-aesthetic görbék	14
2.3.1. Log-aesthetic görbe és izooptikusának kapcsolata	14
2.3.2. Továbbfejlesztett modellező algoritmus	15
3. Publikációs lista	18

4	Introduction	25
5	New scientific results of the thesis	29
5.1	Isoptic curves	29
5.2	Isoptic surfaces	32
5.2.1	Searching isoptic surfaces	33
5.2.2	Parallel algorithm to search isoptic surfaces	37
5.3	Log-aesthetic curves	38
5.3.1	Relationship between the log-aesthetic curve and its isoptic	38
5.3.2	New modeling algorithm	39
6	Irodalomjegyzék/References	42
7	List of publications	45

1. Bevezetés

A számítógéppel segített geometriai tervezés (Computer-Aided Geometric Design - CAGD) alapvető eszköztárát a görbék és felületek adják, melyek pontos matematikai leírásán túlmenően a hozzájuk kapcsolódó geometriai problémák megoldása is a témakör része. A síkbeli tervezés központi elemei a modellező görbék, például a különböző CAD/CG (Computer Aided Design/Computer Graphics) szoftverekben standard Bézier-, B-spline vagy NURBS görbék. A síkbeli objektumok tervezésén felül, bármely síkgörbéből különböző egyéb görbét is le lehet vezetni: evolvensok családját (lefejtési görbék), evolutát (normálsereg burkolója), párhuzamos (offset) görbét, illetve az izooptikus görbét, amelyekkel kutatásunk során foglalkoztunk.

Az izooptikus görbe minden pontjában az adott görbe érintőegyenesei egy megadott szögben metszik egymást. Ez a szög a látószög. Az izooptikus görbe elnevezést Taylor javasolta 1884-ben [12], habár ennél korábbi eredményekre utaló hivatkozásokat találhatunk például Yates munkájában [14], sőt egyes klasszikus eseteket (például a parabola izooptikusa hiperbola) már az ókori görög matematikusok is ismertek.

Térbeli izooptikus definiálása és használata kiemelkedő jelentőségű lehet olyan ipari vagy kutatási területeken, melyek a láthatóságot érintik. Például a különböző modellező szoftverekben egy adott objektum alakjától függő feltételeknek eleget tevő nézőpontok, illetve kamerapozíciók meghatározására jelenleg csak kezdetleges eszközök állnak rendelkezésre. Gyakran előforduló probléma ugyanis, hogy egy vizsgált háromdimenziós modell valamelyik tengely körül elforgatva vagy más szemszögből nézve „kilóg a képernyőről”, egyes részei nincsenek megjelenítve. Ezért egy megfelelő háromdimenziós izooptikus görbe vagy felület segítségével olyan pontok definiálhatók, melyekből, mint kamerapozíciókból a modell az adott szög alatt látszik. Ezt a látószöget meghatározhatjuk oly módon, hogy a felületünk bármely szemszögből nézve elférjen a képernyőn, illetve egy ilyen módon választott izooptikus görbével kamerapályát hozhatunk létre a felület körül, melyen végighaladva a felületet teljes terjedelmével és a lehető legközelebről szemlélhetjük az adott látószög figyelembevételével.

Az ehhez kapcsolódó algoritmust egy speciális helyzetben lévő Bézier-felületre terveztük meg. Az eljárás megkeresi azon izooptikus pontokat, amelyek a kamerának a felülethez a lehető legközelebbi helyzetét adják meg az adott szög figyelembevétele mellett. Ezek a pontok egy zárt izooptikus görbét képeznek a felület körül. Ezen eredményeket a tézis 2.1. és a disszertáció 1.2. fejezetében részletezzük, illetve [9]-ben publikáltuk.

Izooptikusok háromdimenziós általánosításának egy másik lehetőségét írja le Csima és Szirmai [1] a látószög térbeli értelmezésének segítségével, mely alapján a szerzők egy zárt, háromdimenziós tartomány izooptikus felületét definiálják, továbbá egy analitikus számolási módszert is leírnak poliéderek izooptikus felületének meghatározására. Sajnos a módszer csak konvex alakzatok esetén működik és az izooptikus felület kiszámítása akár 10-20 percet is igénybe vehet, már egyszerű, szabályos poliéderek esetén is. Ezért a kutatásunk célja az volt, hogy egy olyan új, hatékony izooptikus felületet kereső eljárást írjunk le, amely konkáv alakzatokra is működik. Emellett egy új megközelítéssel egy alternatív izooptikus felületet is definiáltunk. Ezen eredményeket a tézis 2.2.1. és a disszertáció 2.2.1–2 fejezetében részletezzük, illetve [10]-ben publikáltuk.

Habár az általunk fejlesztett algoritmus képes konkáv alakzatok izooptikus felületét is meghatározni, bonyolultabb, akár többszáz poligonból álló modell esetén a folyamat még mindig több percet vehet igénybe. Ezért a következő célunk az volt, hogy felgyorsítsuk az új eljárást, hogy ésszerű időn belül megtaláljuk az izooptikus felületet összetettebb objektumok esetén is. A gyorsítást grafikus processzorokra optimalizált algoritmus fejlesztésével értük el. Ezen eredményeket a tézis 2.2.2. és a disszertáció 2.2.3. fejezetében részletezzük, illetve [7]-ben publikáltuk.

A főleg térbeli izooptikusokkal kapcsolatos kutatások mellett egy, a számítógéppel segített tervezésben fontos görbe, az úgynevezett log-aesthetic (logaritmikus görbületi sugarú, esztétikus) görbével és annak izooptikus görbéjének kapcsolatával is foglalkoztunk. A kutatásunk során meghatároztuk az irányszög szerint paraméterezett görbék izooptikusának explicit egyenletét, illetve megvizsgáltuk a log-aesthetic görbe autoizooptikus tulajdonságát. Ezen eredményeket a tézis 2.3.1. és a disszertáció 3.2.1. fejezetében részletezzük, illetve [8]-ban publikáltuk.

A log-aesthetic görbével történő modellezés egyik alapvető módszere a Yoshida és Saito által felírt interaktív algoritmus [15], mely bizonyos, esetenként szigorú feltételek mellett megadott geometriai adatokra valós időben interpolál egy log-aesthetic görbét. Kutatásunkban továbbfejlesztettük az algoritmust, enyhítve a geometriai adatok megadásának feltételeit, illetve egy új eljárással kiegészítettük, mely a G^1 Hermite-interpoláció mellett log-aesthetic görbék G^2 folytonos csatlakoztatását is lehetővé teszi. Ezen eredményeket a tézis 2.3.2. és a disszertáció 3.2.2. fejezetében részletezzük, illetve [11]-ben publikáltuk.

2. Az értekezés új tudományos eredményei

2.1. Izooptikus görbék

1. Tézis

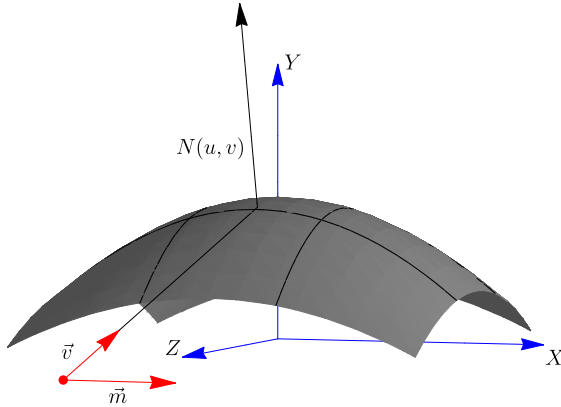
Egy speciális helyzetben lévő Bézier-felületre definiáltunk egy térbeli izooptikus görbét. Az izooptikus görbe háromféle számítási módját írtuk le.

Kapcsolódó publikáció: [9]

Az 1. ábra mutatja be ezt a speciális helyzetet. Feltételezzük, hogy a Bézier-felület konvex és az $Y = 0$ egyenlet által megadott alapsík felett, de ahhoz a lehető legközelebb helyezkedik el. Továbbá, hogy a koordináta-rendszer origója a felület alapsíkra vetített merőleges vetületére esik.

Egy izooptikus pontra igaz, hogy a hozzá tartozó \vec{m} (mely párhuzamos az X tengellyel) és \vec{v} (mely az X tengely körül a megadott α szöggel el van forgatva) vektor merőleges a felület egyik normálvektorára. Ezzel a feltétellel több pozíciót találunk az $Y = 0$ egyenletű síkon és ezen pontok halmaza egy izooptikus görbét alkot a vizsgált felület körül.

Egy izooptikus pont a Bézier-felület azon érintősíkja, amelynek normálvektora merőleges az \vec{m} és \vec{v} vektorra, és az $Y = 0$ egyenletű alapsík metszéspontján van. Ez az egyenes az X tengellyel párhuzamos, így $X = 0$ -val megoldva megkapjuk az origótól való távolságot, azaz az izooptikus pont Z koordinátáját (az X és Y koordináta értéke nulla):



1. ábra. A Bézier-felület izooptikus pontjainak megtalálására szolgáló speciális helyzet ($\vec{m} = [1 \ 0 \ 0]^T$, $\vec{v} = [0 \ \sin \alpha \ -\cos \alpha]^T$).

$$I_z = \frac{N_y(u, v)Y_0 - N_x(u, v)X_0}{N_z(u, v)} + Z_0. \quad (2.1)$$

További izooptikus pontokat többféleképpen állíthatunk elő.

1. A felület kontrollpontjainak forgatása

Az Y tengely körüli forgatás során a következő feltételeknek kell teljesülnie: $\langle N(u, v), \vec{m} \rangle = 0$ és $\langle N(u, v), \vec{v} \rangle = 0$. Ez felbontva a következő:

$$\begin{aligned} N_x(u, v) &= 0 \\ \sin(\alpha) \cdot N_y(u, v) &= \cos(\alpha) \cdot N_z(u, v). \end{aligned} \quad (2.2)$$

2. Az \vec{m} és \vec{v} vektorok forgatása

Ebben az esetben a vektorok koordinátái a következők lesznek:

$$\begin{aligned}\vec{m} &= (\cos(\beta), 0, -\sin(\beta)) \\ \vec{v} &= (-\sin(\beta) \cdot \cos(\alpha), \sin(\alpha), -\cos(\beta) \cdot \cos(\alpha)),\end{aligned}\tag{2.3}$$

ahol β az Y tengely körüli forgatás szöge a $[0, 2\pi]$ intervallumon. A keresési feltételeknek továbbra is teljesülniük kell. Ebből a következő egyenletrendszert kapjuk:

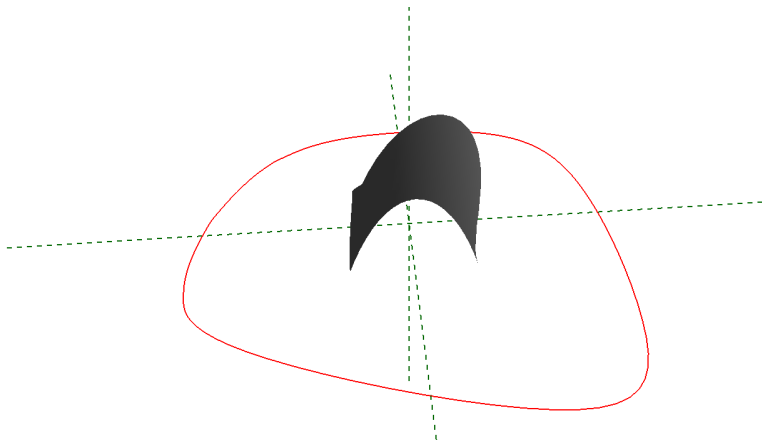
$$\begin{aligned}N_x(u, v) &= \tan(\beta) \cdot N_z(u, v) \\ N_y(u, v) &= \cot(\alpha) \cdot \frac{1}{\cos(\beta)} \cdot N_z(u, v).\end{aligned}\tag{2.4}$$

3. Számolás lineáris kombinációval

Ha a felület normálvektora az $U(u, v)$ és $V(u, v)$, az u és v paraméterek szerinti parciális deriváltjának vektoriális szorzata, akkor az \vec{m} , \vec{v} , $U(u, v)$ és a \vec{m} , \vec{v} , $V(u, v)$ vektorok lineárisan függők. Azaz, $U(u, v)$ és $V(u, v)$ felírható az \vec{m} és \vec{v} vektor lineáris kombinációjából. Ebből a következő egyenletrendszert írhatjuk fel:

$$\begin{aligned}\sin(\alpha) \cdot U_z(u, v) + \cos(\alpha) \cdot U_y(u, v) &= 0 \\ \sin(\alpha) \cdot V_z(u, v) + \cos(\alpha) \cdot V_y(u, v) &= 0.\end{aligned}\tag{2.5}$$

Ha a felírt egyenletrendszereket meg tudjuk oldani u -ra és v -re, akkor a megfelelő normálvektorokat kapjuk, amiből az izooptikus pontok pontosan kiszámíthatóak. Sajnos a felírt számolásokkal az izooptikus görbe egzakt képletét $n = 2$ esetben sem tudjuk meghatározni, még komputeralgebrai programok segítségével sem. Ezért az izooptikus pontok előállítására csak a felírt egyenletek alapján implementált keresőalgoritmussal lehetséges, melyek interpolációjából egy zárt B-spline görbét állíthatunk elő a felület körül (2. ábra).



2. ábra. Bézier-felület izooptikus görbéje.

2.2. Izooptikus felületek

Az izooptikus felületet Csima és Szirmai definiálta a térszög [2] segítségével, a következőképpen: egy háromdimenziós zárt \mathcal{D} tartomány $\mathcal{H}_{\mathcal{D}}^{\alpha}$ izooptikus felülete azon P pontok halmaza, melyek esetén a \mathcal{D} tartomány P középpontú egység-gömbre vetített térszöge α ($0 < \alpha < 2\pi$) [1].

2.2.1. Izooptikus felületek keresése

2. Tézis

Hatékony keresőalgoritmusokat fejlesztettünk ki zárt háromdimenziós modellek izooptikus felületének meghatározására, mely alkalmazható konvex és konkáv alakzatok esetén is.

Felírtunk továbbá egy eljárást kamera pozíciók kezelése izooptikus modellek valós időben történő bejárásával és definiáltunk egy alternatív izooptikus felületet a síkbeli látószög fogalmának új térbeli általánosításával.

Kapcsolódó publikáció: [10]

Első lépésként meghatározzuk az alakzat $\mathcal{S}_{\mathcal{M}}(P)$ sziluettjét, majd az $\Omega(P)$ térszög a P középpontú egységgömbre vetített azon sokszög területe lesz, melyet az $\mathcal{S}_{\mathcal{M}}(P)$ élhalmaz lefed. Konvex modellek esetén a számoláshoz a modell tényleges vetítése az egységgömbre nem szükséges, mivel a gömbi poligon szögeit közvetlenül számolhatjuk a vetítendő lapok segítségével:

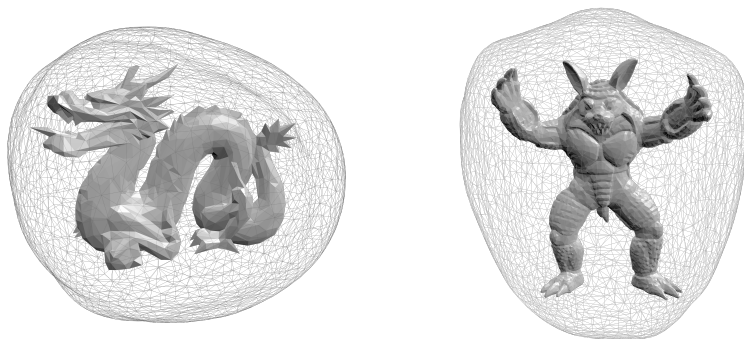
$$\Omega(P) = \sum_{i=1}^n \arccos \left(\frac{\langle \overrightarrow{PV}_{i-1} \times \overrightarrow{PV}_i, \overrightarrow{PV}_{i+1} \times \overrightarrow{PV}_i \rangle}{|\overrightarrow{PV}_{i-1} \times \overrightarrow{PV}_i| |\overrightarrow{PV}_{i+1} \times \overrightarrow{PV}_i|} \right) - (n-2)\pi. \quad (2.6)$$

Ezután az \mathcal{M} modell izooptikus felületének meghatározásához meg kell keresni azokat a háromdimenziós pontokat, ahol az $\Omega(P)$ térszög megegyezik az előre megadott α értékkel. A kereséshez három módszert használhatunk: nyers erő (brute-force), felület-kitöltés, illetve gömbi keresés.

A gömbi keresés módszere használható a kamera pozíciójának kezelésére. A módszert úgy képzelhetjük el, mintha az adott modell egy üveggömbbe lenne zárva. Egy pontot megjelölve rajta, a kamera az adott pozícióba megy és a modell abból az irányból látható [3]. A bejáró algoritmus során a kamera fókuszpontja az üveggömb középpontja, illetve a kamerapozíciók a gömbi kereséssel megtalált izooptikus pontok. A módszerrel a megtalált izooptikus felület valós időben bejárható a vizsgált modell körül.

Konkáv modellek esetén egy új algoritmust kell használni az adott modell P pontból látható körvonalának meghatározásához, mert a modell gömbi képének részei fedhetik egymást. Ezen $\mathcal{C}_{\mathcal{M}}(P)$ kontúr meghatározása gyakorlatilag gömbi sokszögek összegének kiszámítását jelenti. A feladat elvégzéséhez a Martínez és társai által fejlesztett algoritmus [6] gömbi implementációját készítettük el. A $\mathcal{C}_{\mathcal{M}}(P)$ meghatározása után az $\Omega(P)$ térszög kiszámolása és a pontkeresés a konvex esetenél tárgyalthoz hasonlóan végezendő.

A keresőalgoritmusok eredménye az adott modell izooptikus felületének pontfelhője, melyből standard felület-rekonstrukciós algoritmusok segítségével (például [5]) az izooptikus felület poligonhálóként előállítható (3. ábra).

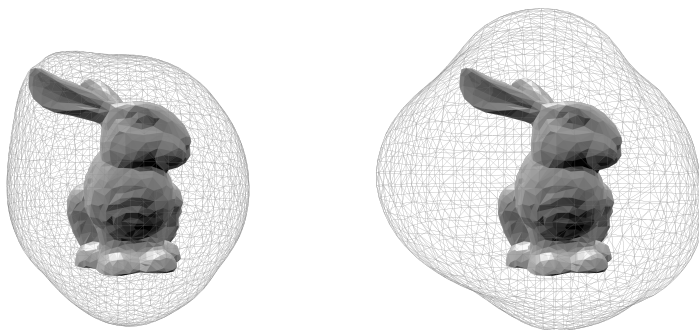


3. ábra. Dragon és Armadillo modell pontfelhőből rekonstruált izooptikus felülete $\alpha = \frac{\pi}{3}$ esetén.

Egy háromdimenziós alakzat izooptikus felületét a következőképpen is megadhatjuk:

1. Definíció. *Egy háromdimenziós zárt \mathcal{D} tartomány $\mathcal{H}_{\mathcal{D}}^{\alpha}$ izooptikus felülete azon P pontok halmaza, melyek esetén az egységömbre vetített \mathcal{D} -t alkotó pontok legnagyobb gömbi távolsága megegyezik a megadott α értékkel.*

A Csima és Szirmai által megadott [1] és az új értelmezés alapján meghatározott izooptikus felület látható a 4. ábrán.



4. ábra. Stanford Bunny eredeti (bal oldal) és új (jobb oldal) definíció alapján meghatározott izooptikus felülete $\alpha = \frac{\pi}{2}$ esetben.

2.2.2. Izooptikus felületek keresésének párhuzamosítása

3. Tézis

Párhuzamosítottuk a Csima és Szirmai-féle definícióval megadott izooptikus felületet kereső algoritmusaink szekvenciális lépéseit és elkészítettük a keresőmódszerek GPU-ra tervezett implementációit.

Kapcsolódó publikáció: [7]

A Csima és Szirmai definíciójával [1] megadott izooptikus felület meghatározásakor a térszöget számító eljárás és a megfelelő háromdimenziós pontok keresésére használt módszer is felgyorsítható párhuzamos feldolgozással. Ez többszintű párhuzamos feldolgozás, amit az általunk a párhuzamos lépéssorozatok implementálásához használt NVIDIA Compute Unified Device Architecture-ben (CUDA) dinamikus párhuzamosságnak hívnak [4].

A térszögszámolást a következő lépésekkel végezhetjük el:

1. Élek vetítése az egységgömbre (párhuzamos).
2. Gömbi szögek kiszámítása a metszéspontokban (párhuzamos).
3. Kezdő él megtalálása (szekvenciális).
4. Térszögek összegének kiszámolása (szekvenciális).

Továbbá egyszerre több $P \in \mathbb{E}^3$ pontot határozhatunk meg egyidejűleg a nyers erő (brute-force), illetve gömbi keresés párhuzamosítása által. Az új algoritmus akár 100-szoros sebességnövekedést érhet el a dinamikus párhuzamosítási eljárások alkalmazása révén.

2.3. Log-aesthetic görbék

2.3.1. Log-aesthetic görbe és izooptikusának kapcsolata

4. Tézis

Meghatároztuk az irányszög szerint paraméterezett görbék, köztük a log-aesthetic görbe izooptikus görbájének explicit egyenletét.

Megvizsgáltuk továbbá különböző α alakparaméterrel megadott log-aesthetic görbék autoizooptikus tulajdonságát és bebizonyítottuk, hogy a görbe izooptikus görbéje nem minden esetben log-aesthetic görbe.

Kapcsolódó publikáció: [8]

Bármely irányszög szerint paraméterezett síkgörbe δ ($= \pi - \gamma$) szöggel definiált izooptikus görbéje a megfelelő érintőegyeneselek metszésponjaként a következőképpen felírható:

$$I_\delta(\theta) = P(\theta) + \csc(\delta) \left(\vec{V}_x^\delta(\theta) \sin(\theta + \delta) - \vec{V}_y^\delta(\theta) \cos(\theta + \delta) \right) \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix}. \quad (2.7)$$

A képlet átalakítható a harmonikus összeadás tétele [13], illetve az arctan2 függvény segítségével:

$$I_\delta(\theta) = P(\theta) + \csc(\delta) \left\| \vec{V}^\delta(\theta) \right\| \sin \left(\theta + \delta - \arctan2 \left(\vec{V}_y^\delta(\theta), \vec{V}_x^\delta(\theta) \right) \right) \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix}. \quad (2.8)$$

Az autoizooptikus tulajdonság megvizsgálásához meghatároztuk a log-aesthetic görbe izooptikusának LCG-jét (logarithmic curvature graph), melynek egzakt kiszámolása komputeralgebrai szoftverekkel is csak bizonyos α alakparaméterek esetén lehetséges, amikor a log-aesthetic görbe felírható trigonometrikus függvények [16], vagy Fresnel-integrálok segítségével. Ez alapján beláttuk, hogy tetszőleges $\alpha \in \mathbb{R}$ esetén a log-aesthetic görbe nem autoizooptikus.

Továbbá a (2.8) egyenletet megvizsgálva, úgy gondoljuk, hogy a görbe izooptikusa csak az $\alpha = 1$ és az $\alpha = \pm\infty$ esetben log-aesthetic görbe, mert ezekben az esetekben a θ és a $\vec{V}^\delta(\theta)$, a $P(\theta)$ görbepontbeli érintővektor irányszöge egyenesen arányos, azaz a

$$c = \sin\left(\theta + \delta - \arctan2\left(\vec{V}_y^\delta(\theta), \vec{V}_x^\delta(\theta)\right)\right) \quad (2.9)$$

érték konstans.

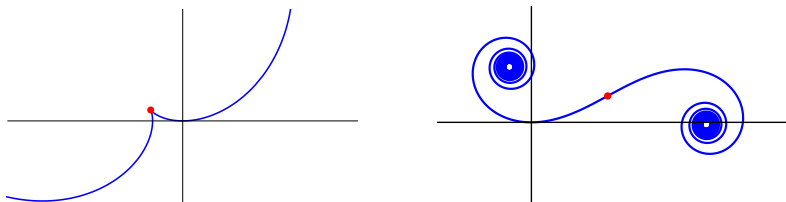
2.3.2. Továbbfejlesztett modellező algoritmus

5. Tézis

Továbbfejlesztettük a Yoshida és Saito interaktív modellező algoritmusát, enyhítve a geometriai adatok megadásának feltételeit, illetve egy új eljárással kiegészítettük, mely log-aesthetic görbék G^2 folytonos csatlakoztatását is lehetővé teszi.

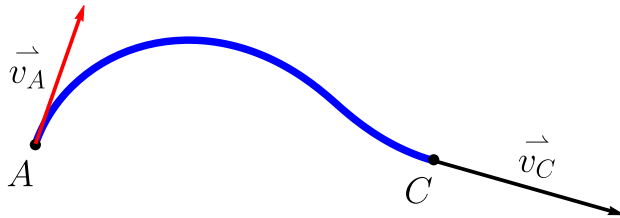
Kapcsolódó publikáció: [11]

A log-aesthetic görbét kiterjesztettük a θ , illetve s paraméternek teljes tartományára úgy, hogy a görbét tükröztük ezen paraméterek határponjaiban (5. ábra).



5. ábra. A θ , illetve s paraméterek korlátjaiban tükrözött log-aesthetic görbék ($\alpha > 1$ és $\alpha < -1$ esetben).

A továbbfejlesztett algoritmus az eredetihez [15] hasonlóan egy felező módszert alkalmaz a Λ paraméterre és a megadott geometriai adatokra (A és C végpont, illetve \vec{v}_A kezdő- és \vec{v}_C végpontbeli érintővektor) egy kiterjesztett log-aesthetic görbeszegmenst interpolál (6. ábra). Ezen felül, egy újabb felező módszer segítségével meghatározza a megfelelő α alakparamétert úgy, hogy az előállított görbe kezdőpontbeli érintővektora és a megadott \vec{v}_A vektor hossza is megegyezzen. Mivel a log-aesthetic görbe tetszőleges $P(\theta)$ pontja esetén a tangens vektor hossza megegyezik a görbületi sugárral, ezért, ha két log-aesthetic görbe csatlakozási pontjában a két érintővektor iránya és hossza is egyenlő, akkor az illeszkedő log-aesthetic görbék görbülete is megegyezik. Tehát az új algoritmus log-aesthetic görbék G^2 folytonos csatlakozását is lehetővé teszi.



6. ábra. Az új algoritmussal interpolált kiterjesztett log-aesthetic görbeszegmens.

3. Publikációs lista

Referált folyóiratcikkek

- [1] Ferenc Nagy. „Isoptics of log-aesthetic curves”. (2022). (közlésre benyújtva).
URL: <https://arxiv.org/abs/2104.11327>.
- [2] Ferenc Nagy, Norimasa Yoshida és Miklós Hoffmann. „Interactive G^1 and G^2 Hermite interpolation using coupled log-aesthetic curves”. *Computer-Aided Design and Applications* (2022). (megjelenés alatt).
URL: <https://arxiv.org/abs/2105.09762>.
- [3] Ferenc Nagy. „Efficiently parallelised algorithm to find isoptic surface of polyhedral meshes”. *Annales Mathematicae et Informaticae* 52 (2020), 167–181. old.
DOI: <https://doi.org/10.33039/ami.2020.05.002>.
- [4] Ferenc Nagy, Roland Kunkli és Miklós Hoffmann. „New algorithm to find isoptic surfaces of polyhedral meshes”. *Computer Aided Geometric Design* 64 (2018), 90–99. old.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cagd.2018.04.001>.
- [5] Ferenc Nagy és Roland Kunkli. „Method for computing angle constrained isoptic curves for surfaces”. *Annales Mathematicae et Informaticae* 42 (2013), 65–70. old.
URL: <http://publikacio.uni-eszterhazy.hu/2915>.

Könyvrészletek

- [1] Ferenc Nagy, Norimasa Yoshida és Miklós Hoffmann. „Interactive G^1 and G^2 Hermite interpolation using coupled log-aesthetic curves”. *Proceedings of CAD'21*. Szerk.

Roberto Raffaelli és Les Piegl. Barcelona: CAD Solutions LLC, 2021, 329–333. old.

DOI: <https://doi.org/10.14733/cadconfP.2021.329-333>.

- [2] Ferenc Nagy, Roland Kunkli és Miklós Hoffmann. „Isoptics - Camera orbit around convex meshes”. *VIII. Magyar Számítógépes Grafika és Geometria Konferencia*. Szerk. László Szirmay-Kalos és Gábor Renner. Budapest: Neumann János Számítógép-tudományi Társaság, 2016, 48–52. old. ISBN: 9786155036118.

Konferenciaelőadások

- [1] Ferenc Nagy és Norimasa Yoshida. „Interactive modeling with log-aesthetic spirals”. *11th International Conference on Applied Informatics (ICAI 2020)*. Eger, 2020.
- [2] Ferenc Nagy, Roland Kunkli és Miklós Hoffmann. „Improved algorithm to find isoptic surfaces for three-dimensional objects”. *10th International Conference on Applied Informatics (ICAI 2017)*. Eger, 2017.
- [3] Ferenc Nagy, Roland Kunkli és Miklós Hoffmann. „New algorithms to find isoptic surfaces for three-dimensional objects”. *Conference on Geometry – Theory and Applications (CGTA 2017)*. Pilzen, Csehország, 2017.
- [4] Ferenc Nagy, Roland Kunkli és Miklós Hoffmann. „Térbeli alakzat körüli izooptikus felületet kereső algoritmus hatékony implementációja grafikus kártyán”. *XXXIII. OTDK Informatika Tudományi Szekció*. Veszprém, 2017.

- [5] Ferenc Nagy, Roland Kunkli és Miklós Hoffmann. „Fast Algorithm for Finding Special Isoptic Curve of Bézier Surfaces”. *17th Scientific-Professional Colloquium on Geometry and Graphics*. Rastoke, Horvátország, 2013.
- [6] Ferenc Nagy, Roland Kunkli és Miklós Hoffmann. „Izooptikus görbéken alapuló módszer kamera mozgatási pályájának optimalizálására”. *XXXI. OTDK Informatika Tudományi Szekció*. Budapest, 2013.
- [7] Ferenc Nagy, Roland Kunkli és Miklós Hoffmann. „Method for optimization of camera movement path based on isoptic curves”. *Conference on Geometry – Theory and Applications (CGTA 2013)*. Ljubljana, Szlovénia, 2013.

Poszterprezentációk

- [1] Ferenc Nagy. „Simple and efficiently parallelised algorithm to find isoptic surface of polyhedral meshes”. *Graphics and Application : the 12th Asian Forum on Graphic Science (AFGS 2019)*. Kunming, Kína, 2019.
- [2] Ferenc Nagy, Roland Kunkli és Miklós Hoffmann. „Algorithms to find isoptic surfaces of polyhedral meshes”. *5th Winter School of PhD Students in Informatics and Mathematics*. Debrecen, 2018.



Nyilvántartási szám: DEENK/51/2022.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Nagy Ferenc

Doktori Iskola: Informatikai Tudományok Doktori Iskola

MTMT azonosító: 10058591

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

1. **Nagy, F.**: Efficiently parallelised algorithm to find isoptic surface of polyhedral meshes.
Ann. Math. Inform. 51, 1-15, 2020. ISSN: 1787-5021.
DOI: <http://dx.doi.org/10.33039/ami.2020.05.002>
2. **Nagy, F.**, Kunkli, R.: Method for computing angle constrained isoptic curves for surfaces.
Ann. Math. et Inf. 42, 65-70, 2013. ISSN: 1787-5021.

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

3. **Nagy, F.**, Yoshida, N., Hoffmann, M.: Interactive G1 and G2 Hermite Interpolation Using Coupled Log-aesthetic Curves.
Comput Aided Des Appl. "Accepted by Publisher" (-), 1-20-, 2022. ISSN: 1686-4360.
4. **Nagy, F.**, Kunkli, R., Hoffmann, M.: New algorithm to find isoptic surfaces of polyhedral meshes.
Comput. Aided Geom. Des. 64, 90-99, 2018. ISSN: 0167-8396.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cagd.2018.04.001>
IF: 1.421

Idegen nyelvű konferencia közlemények (2)

5. **Nagy, F.**, Yoshida, N., Hoffmann, M.: Interactive G1 and G2 Hermite Interpolation Using Coupled Log-aesthetic Curves.
In: Proceedings of CAD'21. Ed.: Roberto Raffaelli, Les Piegli, CAD Solutions LLC, Barcelona, 329-333, 2021, (ISSN 2769-8440)
6. **Nagy, F.**, Kunkli, R., Hoffmann, M.: Isoptics - Camera orbit around convex meshes
In: VIII. Magyar Számítógépes Grafika és Geometria Konferencia. Szerk.: Szirmay-Kalos László, Renner Gábor, Neumann János Számítógép-tudományi Társaság, Budapest – 48-52, 2016. ISBN: 9786155036118





Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (2)

7. **Nagy, F.**: Térbeli alakzat körüli izoptikus felületet kereső algoritmus hatékony implementációja grafikus kártyán.
In: XXXIII. OTDK Informatika Tudományi Szekció. Szerk.: Bálint Roland, Vassányi István, Pannon Egyetem Műszaki Informatikai Kar, Veszprém, 74, 2017. ISBN: 789633960981
8. **Nagy, F.**: Izoptikus görbéken alapuló módszer kamera mozgatósi pályájának optimalizálására.
In: XXXI. OTDK Informatika Tudományi Szekció : Konferencia kiadvány. Szerk.: Bognár Géza, Gábor Dénes Főiskola, Budapest, 113, 2013. ISBN: 9789630859004

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (7)

9. **Nagy, F.**, Yoshida, N.: Interactive modeling with Log-aesthetic spirals.
In: 11th International Conference on Applied Informatics (ICAI 2020), CEUR, Eger, 1, 2020.
10. **Nagy, F.**: Simple and Efficiently Parallelised Algorithm to Find Isoptic Surface of Polyhedral Meshes.
In: Graphics and Application : the 12th Asian Forum on Graphic Science (AFGS 2019). Ed.: Baoling Han, Xiao Luo, Hongliang Fan, Beijing Institute of Technology Press, Beijing, 133-134, 2019. ISBN: 9787893910319
11. **Nagy, F.**, Kunkli, R., Hoffmann, M.: Algorithms to find isoptic surfaces of polyhedral meshes.
In: 5th Winter School of PhD Students in Informatics and Mathematics. Ed.: Hudoba Péter, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, 36, 2018. ISBN: 9786155586231
12. **Nagy, F.**, Kunkli, R., Hoffmann, M.: Improved algorithm to find isoptic surface for three-dimensional objects.
In: ICAI 2017: 10th International Conference on Applied Informatics, Eszterházy Károly Egyetem, Eger, 1, 2017.
13. **Nagy, F.**, Kunkli, R., Hoffmann, M.: New algorithms to find isoptic surfaces for three-dimensional objects.
In: Conference on Geometry: Theory and Applications 2017. Book of abstracts. Ed.: M. Lávička, Vydavatelský servis, Pilsen, 58, 2017. ISBN: 9788086843568
14. **Nagy, F.**, Kunkli, R., Hoffmann, M.: A fast algorithm for finding special isoptic curve of Bézier surfaces.
In: 17th Scientific-Professional Colloquium on Geometry and Graphic : Abstracts. Ed.: Tomislav Doslic, Ema Jurkin, Croatian Society for Geometry and Graphics, Zagreb, 23-23, 2013.





15. Hoffmann, M., Kunkli, R., **Nagy, F.**: Method for Optimization of Camera Movement Path Based on Isoptic Curves.

In: Conference on Geometry : Theory and Applications : Book of Abstracts. Eds.: B. Kovac, T. Kanduc, E. Zagar, University of Ljubljana, Ljubljana, 35-36, 2013.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 1,421

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapján szolgáló közleményekre): 1,421

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2022.01.20.



Short thesis for the degree of doctor of philosophy (PhD)

Isoptic curves and surfaces in computer-aided geometric design

by Ferenc Nagy

Supervisor: Dr. Miklós Hoffmann



UNIVERSITY OF DEBRECEN
Doctoral School of Informatics

Debrecen, 2022

4 Introduction

In the field of computer-aided geometric design, the modeling curves and surfaces are elementary tools. Beyond their mathematical description, the belonging geometrical problems are also part of the subject. The central components of the planar design are the modeling curves, e.g. Bézier, B-spline or NURBS, that are well-known from various CAD/CG (Computer-Aided Design/Computer Graphics) software. They can be used to construct two-dimensional shapes but we can derive other curves from them: involutes (or evolvent), evolutes (envelope of the curve normals), parallel (offset) curves or the isoptic curves, which was the focus of our research.

The isoptic curve is the locus of those points of the plane from where the given curve can be seen under a predefined angle. This angle is the viewing angle. The name of the curve is given by Taylor in 1884 [12], but there are older references for the curve in [14]. Moreover, isoptics of several classical curves have been studied from ancient Greek time (e.g. isoptic of the parabola is hyperbola).

The extension of the two-dimensional principle to three-dimensional space could be important for those industrial or academic fields that are related to vision. In terms of recent applications, there are only limited tools available to determine camera positions based on the shape of an examined object.

It often happens, for example when we are using a modeling software, that the object we would like to rotate or edit from another point of view, is partly out of the screen, and thus some parts are not visible. Therefore, the points of an isoptic curve or surface can be used as camera positions from where the model can be seen under a specified angle. This angle can be chosen in such a way that the model can fit on the screen. Moreover, an isoptic curve can be used to generate a camera path, from where the whole model can be seen from various directions as close as possible with the specified viewing angle. We have developed such an algorithm for Bézier surfaces in a special case. The method finds spatial isoptic points that are the closest positions to the surface, using a predefined viewing angle. These points form a closed isoptic curve around the surface. These results are discussed in Section 5.1 of the thesis and Section 1.2 of the dissertation and also published in [9].

Another generalization of the two-dimensional notion of isoptics of curves into the three-dimensional space is given by Csima and Szirmai [1]. The authors defined the isoptic surface of a three-dimensional closed domain and presented an algorithm to determine the isoptic surfaces of convex polyhedra. Unfortunately, the method cannot be extended to concave shapes and the computation of the isoptic surface requires around 10–20 minutes, even for simple regular polyhedra. Therefore, we aimed to present a new, efficient searching algorithm to find points of the isoptic surface of a triangulated mesh model in \mathbb{E}^3 , which works for convex and concave polyhedral meshes as well. Moreover, we have presented an alternative definition of the isoptic surface of a shape. These results are discussed in Section 5.2.1 of the thesis and Section 2.2.1–2 of the dissertation and also published in [10].

However, our new algorithm is able to find and render the isoptic surface in case of concave objects as well, but for a mesh with a few hundred polygons, the process still takes several minutes. Therefore, our aim was to accelerate this algorithm to find the isoptic surface within a reasonable time for more complex shapes as well. The new, parallel algorithm is designed to take advantage of the computing capabilities of the high-performance graphics cards. These results are discussed in Section 5.2.2 of the thesis and Section 2.2.3 of the dissertation and also published in [7].

Besides the spacial isoptic research, we have investigated the relationship between an important modeling curve, the log-aesthetic curve (log refers to logarithmic curvature) and its isoptic. We have determined the explicit equation of the isoptic curve of the tangential angle parametrized curves and we have studied the autoisoptic property of the log-aesthetic curve. These results are discussed in Section 5.3.1 of the thesis and Section 3.2.1 of the dissertation, and also published in [8].

The algorithm developed by Yoshida és Saito [15] is one of the essential approaches in log-aesthetic design, which is able to interpolate a log-aesthetic curve segment in real-time for a given geometric data, under strict conditions. In our research, we have improved this algorithm to ease the conditions for providing the geometric data and extended it with a new method that makes the approach capable of joining log-aesthetic curve segments with G^2 continuity besides the G^1 Hermite interpolation. These results are discussed in Section 5.3.2 of the thesis and Section 3.2.2 of the dissertation, and also published in [11].

5 New scientific results of the thesis

5.1 Isoptic curves

Thesis 1

We have developed an algorithm to find spacial isoptic curve of Bézier surfaces in a special case. We have given three different calculations of the isoptic curve.

Published in: [9]

Figure 7 shows the special circumstances. We suppose that the surface is convex and it is entirely above (but as close as possible to) the base plane which is given by the equation $Y = 0$ in the coordinate system. Moreover, we suppose that the origin of the coordinate system is in the orthogonal projection of the surface.

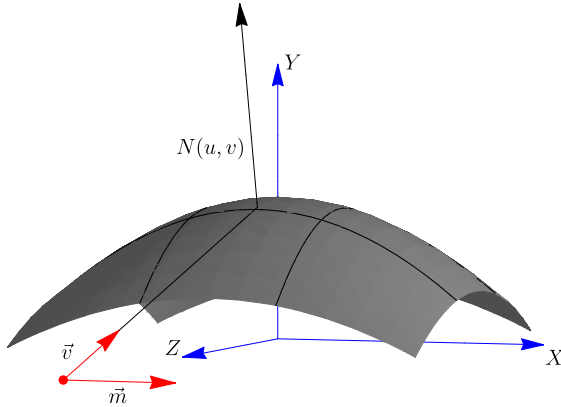


Figure 7: The special case for finding isoptic points of Bézier surface ($\vec{m} = [1 \ 0 \ 0]^T$, $\vec{v} = [0 \ \sin \alpha \ -\cos \alpha]^T$).

For an isoptic point, the following is satisfied: the vector \vec{m} (that is parallel to the X -axis) and the vector \vec{v} (that is rotated around the X -axis by a given angle α) and a normal vector of the Bézier surface is orthogonal. With this condition, we can find several points on the plane $Y = 0$ that form an isoptic curve around the surface.

We can write the equation of a plane that touches the Bézier surface in the point from where the normal vector perpendicular to vectors \vec{m} and \vec{v} . The isoptic point is lying on the line, in which this plane and the base plane intersect each other. By solving the equation of this line with $X = 0$, we obtain the distance from the origin. This will be the Z coordinate of the isoptic point (the X and Y coordinates are equal to zero):

$$I_z = \frac{N_y(u, v)Y_0 - N_x(u, v)X_0}{N_z(u, v)} + Z_0. \quad (5.1)$$

Additional isoptic points can be generated as follows.

1. Rotating the control points of the surface

While we rotate the control points around the Y -axis the following conditions need to be satisfied: $\langle N(u, v), \vec{m} \rangle = 0$ and $\langle N(u, v), \vec{v} \rangle = 0$, that is:

$$\begin{aligned} N_x(u, v) &= 0 \\ \sin(\alpha) \cdot N_y(u, v) &= \cos(\alpha) \cdot N_z(u, v). \end{aligned} \tag{5.2}$$

2. Rotating vectors \vec{m} and \vec{v}

In this case, the coordinates of the vectors will be the following:

$$\begin{aligned} \vec{m} &= (\cos(\beta), 0, -\sin(\beta)) \\ \vec{v} &= (-\sin(\beta) \cdot \cos(\alpha), \sin(\alpha), -\cos(\beta) \cdot \cos(\alpha)), \end{aligned} \tag{5.3}$$

where β is the angle of rotation around the Y -axis, in the interval $[0, 2\pi]$. A similar condition of the search has to be met as above. From these, we obtain the following:

$$\begin{aligned} N_x(u, v) &= \tan(\beta) \cdot N_z(u, v) \\ N_y(u, v) &= \cot(\alpha) \cdot \frac{1}{\cos(\beta)} \cdot N_z(u, v). \end{aligned} \tag{5.4}$$

3. Calculation by linear combination

If the normal vector of the surface is the cross product of the vector $U(u, v)$ and $V(u, v)$, the partial derivatives of the surface, with respect to the parameters u and v , then $\vec{m}, \vec{v}, U(u, v)$ and $\vec{m}, \vec{v}, V(u, v)$ are linearly dependent. Thus $U(u, v)$ and $V(u, v)$ can be obtained by the linear combination of vectors \vec{m} and \vec{v} . From this, we obtain the following equations:

$$\begin{aligned}\sin(\alpha) \cdot U_z(u, v) + \cos(\alpha) \cdot U_y(u, v) &= 0 \\ \sin(\alpha) \cdot V_z(u, v) + \cos(\alpha) \cdot V_y(u, v) &= 0.\end{aligned}\tag{5.5}$$

If we can solve these equations for u and v , we obtain an exact formula to compute the normal vector and we can also calculate exactly the position of each isoptic point. Unfortunately, the solution cannot be given in closed form in most of the cases, even for $n = 2$, using computer algebra systems. Therefore, we can only generate the isoptic points using numerical methods based on the given formulas and we can produce a curve around the surface interpolating these points by a closed B-spline curve. (Figure 8).

5.2 Isoptic surfaces

The isoptic surface is defined by Csima and Szirmai using the solid angle [2] as follows: the isoptic hypersurface $\mathcal{H}_{\mathcal{D}}^{\alpha}$ of a 3-dimensional compact domain \mathcal{D} is the locus of points P where the measure of the projection of \mathcal{D} onto the unit sphere around P is equal to a given fixed solid angle value α ($0 < \alpha < 2\pi$) [1].

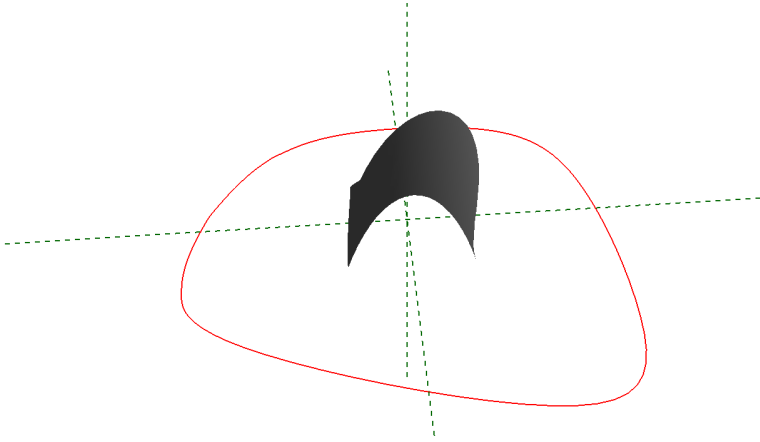


Figure 8: The isoptic curve of the Bézier surface.

5.2.1 Searching isoptic surfaces

Thesis 2

We have developed searching algorithms to find isoptic surface of three-dimensional models which works for convex and concave polyhedral shapes as well.

We have developed a method for managing camera positions by traversing the isoptic surfaces in real-time and we have presented an alternative definition of the isoptic surface by generalizing the 2D notion of angle in a different way.

Published in: [10]

First, we determine the spatial silhouette $\mathcal{S}_{\mathcal{M}}(P)$ of the given model \mathcal{M} , then the solid angle $\Omega(P)$ is the area of the spherical polygon on the unit sphere around P that the $\mathcal{S}_{\mathcal{M}}(P)$ covers. In case of convex meshes, the actual projection of the mesh to the unit sphere is not necessary since the angles of the spherical polygon can be calculated directly from the projecting planes:

$$\Omega(P) = \sum_{i=1}^n \arccos \left(\frac{\langle \overrightarrow{PV}_{i-1} \times \overrightarrow{PV}_i, \overrightarrow{PV}_{i+1} \times \overrightarrow{PV}_i \rangle}{|\overrightarrow{PV}_{i-1} \times \overrightarrow{PV}_i| |\overrightarrow{PV}_{i+1} \times \overrightarrow{PV}_i|} \right) - (n-2)\pi. \quad (5.6)$$

To determine the isoptic surface of \mathcal{M} with a given value α , we need to find the appropriate 3-dimensional points, where the calculated $\Omega(P)$ is equal to the given value α . To do this search, the following methods can be used: brute-force, flood-fill, spherical search.

The spherical search method can be used for managing camera positions. For better understanding, let us imagine the given object as being encased in a spherical block of glass. By tagging a point on this sphere, the camera goes to that point, and the model is visible from that specified direction [3]. During the algorithm, the center of the sphere will be the focus of the camera and the desired camera positions are the appropriate isoptic points found by the third searching method, instead of using the spherical points. This way, the isoptic surface can be traversed in real time around the given model.

In case of concave meshes, a corresponding algorithm has to be used to determine the contour $\mathcal{C}_{\mathcal{M}}(P)$ of the given mesh \mathcal{M} because the projection of a concave model onto the unit sphere can partially cover itself. It means that one needs to calculate the union of the spherical polygon to determine $\mathcal{C}_{\mathcal{M}}(P)$. For this, we have developed the spherical implementation of the polygon union algorithm by Martinez et al. [6]. The computation of the solid angle $\Omega(P)$ and the search for the appropriate three-dimensional points are similar to the case of convex meshes.

The result of the searching algorithm is a point cloud, from which the isoptic surface can be constructed as a polygon model using standard mesh reconstruction algorithms (e.g. [5], Figure 9).

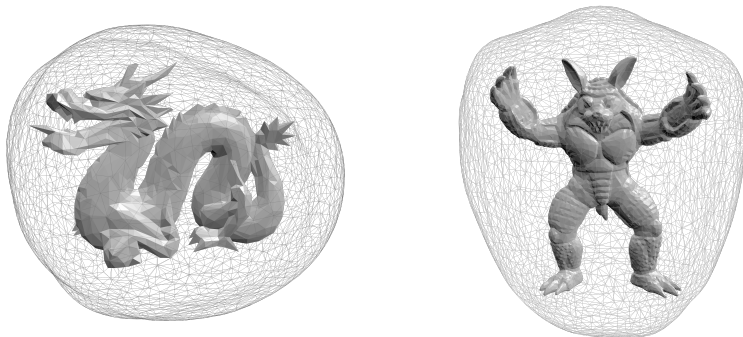


Figure 9: Isoptic surface of the Dragon and Armadillo model with $\alpha = \frac{\pi}{3}$, constructed from point cloud.

The definition of isoptic surface of a three-dimension model can also be given as the following:

Definition 1. *The isoptic hypersurface \mathcal{H}_D^α in \mathbb{E}^3 of an arbitrary 3-dimensional compact domain \mathcal{D} is the locus of points P where the maximum spherical distance of the projected points of \mathcal{D} onto the unit sphere around P is equal to a given fixed value α .*

Figure 10 shows the difference between the isoptic surface based on the new and the definition of Csima és Szirmai [1].

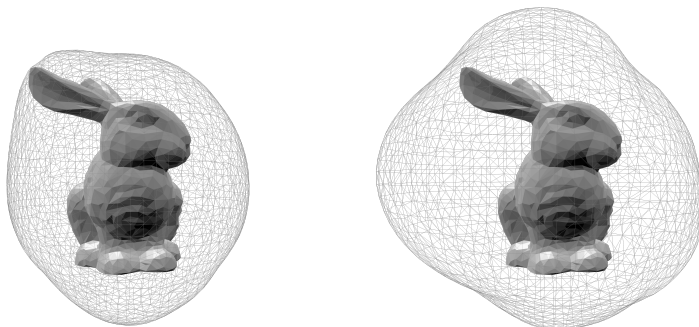


Figure 10: Isoptic surface of the Stanford Bunny model with the original definition (left) and with the new definition (right), with $\alpha = \frac{\pi}{2}$.

5.2.2 Parallel algorithm to search isoptic surfaces

Tésis 3

We have parallelised the sequential steps of our algorithm to find the isoptic surfaces given by the definition of Csima és Szirmai and we have implemented the searching algorithms for GPU.

Published in: [7]

In the algorithm to determine the isoptic surface given by the definition of Csima és Szirmai [1] the calculation of the solid angle and the used searching method can also be accelerated using parallel processing. In NVIDIA's Compute Unified Device Architecture (CUDA), which we used to implement the new algorithm, these multiple levels of parallelism are called dynamic parallelism [4].

The solid angle is computed using the following steps:

1. Projecting edges to the unit sphere (parallel).
2. Calculating spherical angles at the intersections (parallel).
3. Finding the first edge (sequential).
4. Calculating the sum of the spherical angles (sequential).

Furthermore, one can determine multiple $P \in \mathbb{E}^3$ points at the same time, using the parallel version of the brute-force and the spherical searching method. The new algorithm shows speedups up to 100 times by the dynamic parallelism.

5.3 Log-aesthetic curves

5.3.1 Relationship between the log-aesthetic curve and its isoptic

Thesis 4

We have determined the explicit equation of the isoptic curve of the tangential angle parametrized curves.

We have studied the autoisoptic property of the log-aesthetic curve with different shape parameters α and proved that the isoptic is not log-aesthetic curve in all the cases.

Published in: [8]

The isoptic curve of all the tangential angle parametrized curves with a given angle δ ($= \pi - \gamma$) can be calculated as the intersection of the appropriate tangent lines:

$$I_\delta(\theta) = P(\theta) + \csc(\delta) \left(\vec{V}_x^\delta(\theta) \sin(\theta + \delta) - \vec{V}_y^\delta(\theta) \cos(\theta + \delta) \right) \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix}. \quad (5.7)$$

The equation can be altered using the harmonic addition theorem [13] and the arctan2 function:

$$I_\delta(\theta) = P(\theta) + \csc(\delta) \left\| \vec{V}^\delta(\theta) \right\| \sin \left(\theta + \delta - \arctan2 \left(\vec{V}_y^\delta(\theta), \vec{V}_x^\delta(\theta) \right) \right) \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix}. \quad (5.8)$$

To study the autoisoptic property, we have determined the LCG (logarithmic curvature graph) of the isoptic curve, which is possible to compute explicitly using computer algebra software only in specific α cases when the log-aesthetic curve can be represented in terms of trigonometric functions or using Fresnel integrals. Based on this, we have proven that the log-aesthetic curve with arbitrary $\alpha \in \mathbb{R}$ is not autoisoptic.

Moreover, by analyzing Eq. (5.8), we believe that the log-aesthetic curve coincides with its isoptic only in the cases of $\alpha = 1$ and $\alpha = \pm\infty$ because in this instances the tangential angle θ and the tangential angle of the vector $\vec{V}^\delta(\theta)$ are in a relation of proportionality. It means that the following

$$c = \sin \left(\theta + \delta - \arctan2 \left(\vec{V}_y^\delta(\theta), \vec{V}_x^\delta(\theta) \right) \right) \quad (5.9)$$

is constant.

5.3.2 New modeling algorithm

Thesis 5

We have improved the algorithm of Yoshida and Saito [15] to ease the conditions for providing the geometric data and extended with a new method that makes the approach capable of joining log-aesthetic curve segments with G^2 continuity.

Published in: [11]

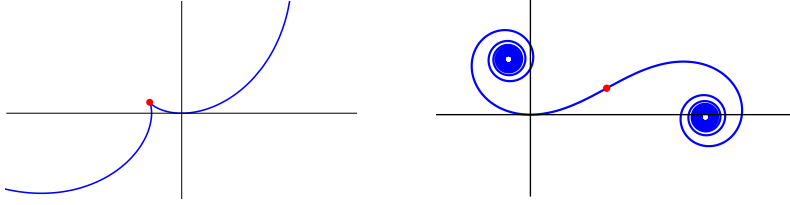


Figure 11: Mirrored log-aesthetic curves at the bound of the parameters θ and s (in case of $\alpha > 1$ and $\alpha < -1$).

We have extended the log-aesthetic curve for the entire domain of the parameters θ and s by mirroring the curve at the original bounds (Figure 11).

In the new approach, a similar Λ bisection method is used as in [15] to interpolate an extended log-aesthetic curve segment for the given geometric data (two endpoints A and C , and the vectors \vec{v}_A and \vec{v}_C of the first and last points, Figure 12). Moreover, we use another bisection method to determine the appropriate value of the shape parameter α such that the first vector of the generated curve matches also the length of \vec{v}_A .

For an arbitrary curve point $P(\theta)$, the length of the tangent vector equals the radius of curvature. This means that two log-aesthetic curves with equal tangent lengths share the same radius of curvature at the coincident point. This makes the method capable of joining log-aesthetic curve segments with G^2 continuity.

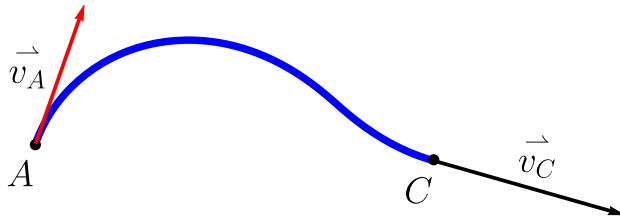


Figure 12: The interpolated extended log-aesthetic curve segment using the new algorithm.

6 Irodalomjegyzék/References

- [1] Géza Csima and Jenő Szirmai. Isoptic surfaces of polyhedra. *Computer Aided Geometric Design*, 47:55–60, 2016. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cagd.2016.03.001>.
- [2] RP Gardner and K Verghese. On the solid angle subtended by a circular disc. *Nuclear Instruments and Methods*, 93(1):163–167, 1971. doi: [https://doi.org/10.1016/0029-554X\(71\)90155-8](https://doi.org/10.1016/0029-554X(71)90155-8).
- [3] John F. Hughes, Andries van Dam, Morgan McGuire, David F. Sklar, James D. Foley, Steven K. Feiner, and Kurt Akeley. *Computer graphics: principles and practice (3rd ed.)*. Addison-Wesley Professional, 2013. ISBN 0321399528.
- [4] Stephen Jones. Introduction to dynamic parallelism. Nvidia GPU Technology Conference (GTC), 5 2012.
- [5] Michael Kazhdan and Hugues Hoppe. Screened poisson surface reconstruction. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 32(3):29, 2013. doi: <https://doi.org/10.1145/2487228.2487237>.
- [6] Francisco Martínez, Carlos Ogayar, Juan R Jiménez, and Antonio J Rueda. A simple algorithm for boolean operations on polygons. *Advances in Engineering Software*, 64: 11–19, 2013. doi: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.04.004>.

- [7] Ferenc Nagy. Efficiently parallelised algorithm to find isoptic surface of polyhedral meshes. *Annales Mathematicae et Informaticae*, 52:167–181, 2020. doi: <https://doi.org/10.33039/ami.2020.05.002>.
- [8] Ferenc Nagy. Isoptics of log-aesthetic curves, 2022. URL <https://arxiv.org/abs/2104.11327>. (közlésre benyújtva/submitted).
- [9] Ferenc Nagy and Roland Kunkli. Method for computing angle constrained isoptic curves for surfaces. *Annales Mathematicae et Informaticae*, 42:65–70, 2013. URL <http://publikacio.uni-eszterhazy.hu/2915/>.
- [10] Ferenc Nagy, Roland Kunkli, and Miklós Hoffmann. New algorithm to find isoptic surfaces of polyhedral meshes. *Computer Aided Geometric Design*, 64:90–99, 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cagd.2018.04.001>.
- [11] Ferenc Nagy, Norimasa Yoshida, and Miklós Hoffmann. Interactive G^1 and G^2 hermite interpolation using coupled log-aesthetic curves. *Computer-Aided Design and Applications*, 2022. URL <https://arxiv.org/abs/2105.09762>. (megjelenés alatt/to appear).
- [12] C. M. Taylor. Note of a theory of orthoptic and isoptic loci. *Proceedings of the Royal Society of London*, 37(232–234):138–141, 1884. doi: <https://doi.org/10.1098/rspl.1884.0024>.

- [13] Eric W. Weisstein. Harmonic addition theorem. From MathWorld—A Wolfram Web Resource. URL <https://mathworld.wolfram.com/HarmonicAdditionTheorem.html>. Megtekintve/Last visited on 2021. 01. 12.
- [14] R. C. Yates. *A Handbook on Curves and their Properties*. Ann Arbor, J.W. Edwards, 1947.
- [15] Norimasa Yoshida and Takafumi Saito. Interactive aesthetic curve segments. *The Visual Computer*, 22(9):896–905, 2006. doi: <https://doi.org/10.1007/s00371-006-0076-5>.
- [16] Rushan Ziatdinov, Norimasa Yoshida, and Tae wan Kim. Analytic parametric equations of log-aesthetic curves in terms of incomplete gamma functions. *Computer Aided Geometric Design*, 29(2):129–140, 2012. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cagd.2011.11.003>.

7 List of publications

Refereed journal papers

- [1] Ferenc Nagy. “Isoptics of log-aesthetic curves”. (2022). (submitted).
URL: <https://arxiv.org/abs/2104.11327>.
- [2] Ferenc Nagy, Norimasa Yoshida, and Miklós Hoffmann. “Interactive G^1 and G^2 Hermite interpolation using coupled log-aesthetic curves”. *Computer-Aided Design and Applications* (2022). (to appear).
URL: <https://arxiv.org/abs/2105.09762>.
- [3] Ferenc Nagy. “Efficiently parallelised algorithm to find isoptic surface of polyhedral meshes”. *Annales Mathematicae et Informaticae* 52 (2020), pp. 167–181.
DOI: <https://doi.org/10.33039/ami.2020.05.002>.
- [4] Ferenc Nagy, Roland Kunkli, and Miklós Hoffmann. “New algorithm to find isoptic surfaces of polyhedral meshes”. *Computer Aided Geometric Design* 64 (2018), pp. 90–99.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cagd.2018.04.001>.
- [5] Ferenc Nagy and Roland Kunkli. “Method for computing angle constrained isoptic curves for surfaces”. *Annales Mathematicae et Informaticae* 42 (2013), pp. 65–70.
URL: <http://publikacio.uni-eszterhazy.hu/2915>.

Conference papers

- [1] Ferenc Nagy, Norimasa Yoshida, and Miklós Hoffmann. “Interactive G^1 and G^2 Hermite interpolation using coupled log-aesthetic curves”. *Proceedings of CAD’21*. Ed. by

Roberto Raffaelli and Les Piegl. Barcelona: CAD Solutions LLC, 2021, pp. 329–333.

DOI: <https://doi.org/10.14733/cadconfP.2021.329-333>.

- [2] Ferenc Nagy, Roland Kunkli, and Miklós Hoffmann. “Isoptics - Camera orbit around convex meshes”. *VIII. Magyar Számítógépes Grafika és Geometria Konferencia*. Ed. by László Szirmay-Kalos and Gábor Renner. Budapest: Neumann János Számítógép-tudományi Társaság, 2016, pp. 48–52. ISBN: 9786155036118.

Conference talks

- [1] Ferenc Nagy and Norimasa Yoshida. “Interactive modeling with log-aesthetic spirals”. *11th International Conference on Applied Informatics (ICAI 2020)*. Eger, 2020.
- [2] Ferenc Nagy, Roland Kunkli, and Miklós Hoffmann. “Improved algorithm to find isoptic surfaces for three-dimensional objects”. *10th International Conference on Applied Informatics (ICAI 2017)*. Eger, 2017.
- [3] Ferenc Nagy, Roland Kunkli, and Miklós Hoffmann. “New algorithms to find isoptic surfaces for three-dimensional objects”. *Conference on Geometry – Theory and Applications (CGTA 2017)*. Pilzen, Czech Republic, 2017.
- [4] Ferenc Nagy, Roland Kunkli, and Miklós Hoffmann. “Térbeli alakzat körüli izooptikus felületet kereső algoritmus hatékony implementációja grafikus kártyán”. *XXXIII. OTDK Informatika Tudományi Szekció*. Veszprém, 2017.

- [5] Ferenc Nagy, Roland Kunkli, and Miklós Hoffmann. “Fast Algorithm for Finding Special Isoptic Curve of Bézier Surfaces”. *17th Scientific-Professional Colloquium on Geometry and Graphics*. Rastoke, Croatia, 2013.
- [6] Ferenc Nagy, Roland Kunkli, and Miklós Hoffmann. “Izooptikus görbéken alapuló módszer kamera mozgatási pályájának optimalizálására”. *XXXI. OTDK Informatika Tudományi Szekció*. Budapest, 2013.
- [7] Ferenc Nagy, Roland Kunkli, and Miklós Hoffmann. “Method for optimization of camera movement path based on isoptic curves”. *Conference on Geometry – Theory and Applications (CGTA 2013)*. Ljubljana, Slovenia, 2013.

Poster presentations

- [1] Ferenc Nagy. “Simple and efficiently parallelised algorithm to find isoptic surface of polyhedral meshes”. *Graphics and Application : the 12th Asian Forum on Graphic Science (AFGS 2019)*. Kunming, China, 2019.
- [2] Ferenc Nagy, Roland Kunkli, and Miklós Hoffmann. “Algorithms to find isoptic surfaces of polyhedral meshes”. *5th Winter School of PhD Students in Informatics and Mathematics*. Debrecen, 2018.



Registry number: DEENK/51/2022.PL
Subject: PhD Publication List

Candidate: Ferenc Nagy
Doctoral School: Doctoral School of Informatics
MTMT ID: 10058591

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in Hungarian journals (2)

1. **Nagy, F.**: Efficiently parallelised algorithm to find isoptical surface of polyhedral meshes.
Ann. Math. Inform. 51, 1-15, 2020. ISSN: 1787-5021.
DOI: <http://dx.doi.org/10.33039/ami.2020.05.002>
2. **Nagy, F.**, Kunkli, R.: Method for computing angle constrained isoptical curves for surfaces.
Ann. Math. et Inf. 42, 65-70, 2013. ISSN: 1787-5021.

Foreign language scientific articles in international journals (2)

3. **Nagy, F.**, Yoshida, N., Hoffmann, M.: Interactive G1 and G2 Hermite Interpolation Using Coupled Log-aesthetic Curves.
Comput Aided Des Appl. "Accepted by Publisher" (-), 1-20-, 2022. ISSN: 1686-4360.
4. **Nagy, F.**, Kunkli, R., Hoffmann, M.: New algorithm to find isoptical surfaces of polyhedral meshes.
Comput. Aided Geom. Des. 64, 90-99, 2018. ISSN: 0167-8396.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cagd.2018.04.001>
IF: 1.421

Foreign language conference proceedings (2)

5. **Nagy, F.**, Yoshida, N., Hoffmann, M.: Interactive G1 and G2 Hermite Interpolation Using Coupled Log-aesthetic Curves.
In: Proceedings of CAD'21. Ed.: Roberto Raffaelli, Les Piegli, CAD Solutions LLC, Barcelona, 329-333, 2021, (ISSN 2769-8440)
6. **Nagy, F.**, Kunkli, R., Hoffmann, M.: Isoptics - Camera orbit around convex meshes
In: VIII. Magyar Számítógépes Grafika és Geometria Konferencia. Szerk.: Szirmay-Kalos László, Renner Gábor, Neumann János Számítógép-tudományi Társaság, Budapest, 48-52, 2016. ISBN: 9786155036118





Hungarian abstracts (2)

7. **Nagy, F.**: Térbeli alakzat körüli izooptikus felületet kereső algoritmus hatékony implementációja grafikus kártyán.
In: XXXIII. OTDK Informatika Tudományi Szekció. Szerk.: Bálint Roland, Vassányi István, Pannon Egyetem Műszaki Informatikai Kar, Veszprém, 74, 2017. ISBN: 789633960981
8. **Nagy, F.**: Izooptikus görbéken alapuló módszer kamera mozgatósi pályájának optimalizálására.
In: XXXI. OTDK Informatika Tudományi Szekció : Konferencia kiadvány. Szerk.: Bognár Géza, Gábor Dénes Főiskola, Budapest, 113, 2013. ISBN: 9789630859004

Foreign language abstracts (7)

9. **Nagy, F., Yoshida, N.**: Interactive modeling with Log-aesthetic spirals.
In: 11th International Conference on Applied Informatics (ICAI 2020), CEUR, Eger, 1, 2020.
10. **Nagy, F.**: Simple and Efficiently Parallelised Algorithm to Find Isoptic Surface of Polyhedral Meshes.
In: Graphics and Application : the 12th Asian Forum on Graphic Science (AFGS 2019). Ed.: Baoling Han, Xiao Luo, Hongliang Fan, Beijing Institute of Technology Press, Beijing, 133-134, 2019. ISBN: 9787893910319
11. **Nagy, F., Kunkli, R., Hoffmann, M.**: Algorithms to find isoptic surfaces of polyhedral meshes.
In: 5th Winter School of PhD Students in Informatics and Mathematics. Ed.: Hudoba Péter, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, 36, 2018. ISBN: 9786155586231
12. **Nagy, F., Kunkli, R., Hoffmann, M.**: Improved algorithm to find isoptic surface for three-dimensional objects.
In: ICAI 2017: 10th International Conference on Applied Informatics, Eszterházy Károly Egyetem, Eger, 1, 2017.
13. **Nagy, F., Kunkli, R., Hoffmann, M.**: New algorithms to find isoptic surfaces for three-dimensional objects.
In: Conference on Geometry: Theory and Applications 2017. Book of abstracts. Ed.: M. Lávička, Vydavatelský servis, Pilsen, 58, 2017. ISBN: 9788086843568
14. **Nagy, F., Kunkli, R., Hoffmann, M.**: A fast algorithm for finding special isoptic curve of Bézier surfaces.
In: 17th Scientific-Professional Colloquium on Geometry and Graphic : Abstracts. Ed.: Tomislav Doslic, Ema Jurkin, Croatian Society for Geometry and Graphics, Zagreb, 23-23, 2013.





15. Hoffmann, M., Kunkli, R., **Nagy, F.**: Method for Optimization of Camera Movement Path Based on Isoptic Curves.

In: Conference on Geometry : Theory and Applications : Book of Abstracts. Eds.: B. Kovac, T. Kanduc, E. Zagar, University of Ljubljana, Ljubljana, 35-36, 2013.

Total IF of journals (all publications): 1,421

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 1,421

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

20 January, 2022

