Tenzorovo-súčinové Bézierove záplaty

1. Uvažujme polynomickú funkciu $f(u,v) = u^2 + 4uv + u - 1$.

   Zapíšte graf $f(u,v)$ ako tenzorovo-súčinovú Bézierovu záplatu (TSBZ) $\mathcal{S}$ nad definičnou oblasťou $\mathcal{D} := \langle 0,1\rangle \times \langle 0,1\rangle$.

   Poznámka: Treba nájsť ordináty riadiacich vrcholov, ktorých abscisy sú rovnomerne rozložené v danej definičnej oblasti.

   Zapíšte hraničné krivky záplaty $\mathcal{S}$ ako

   (a) polynomické krivky,

   (b) Bézierove krivky, t.j. určite súradnice riadiacich vrcholov.

   Vyčíslite záplatu $\mathcal{S}$ v bode $(1/2, 1/2) \in \mathcal{D}$

   (a) priamym výpočtom,

   (b) algoritmom de Casteljau,

   (c) prostredníctvom bilineárneho vyčíslenia.

   Zapíšte graf $f(u,v)$ ako TSBZ nad $\mathcal{D}$ prostredníctvom polárnej formy polynómu $f(u,v)$.

2. Uvažujme bilineárnu záplatu $\mathcal{S}$ s riadiacimi vrcholmi

   $$p_{00} = (0,0,2),\ p_{10} = (1,0,-1),\ p_{01} = (0,1,1),\ p_{11} = (1,1,0),$$

   pričom plochu $\mathcal{S}$ chápeme ako obraz oblasti $\mathcal{D} := \langle 0,1\rangle \times \langle 0,1\rangle$.

   Určite parametrické aj analytické vyjadrenie dotykovej roviny plochy $\mathcal{S}$ v obraze bodu $(1/2, 1/2) \in \mathcal{D}$.

   Ďalej uvažujme kvadratickú Bézierovu krivku $\mathcal{Q} \subset \mathcal{D}$ zadanú v $\mathcal{D}$ riadiacimi vrcholmi

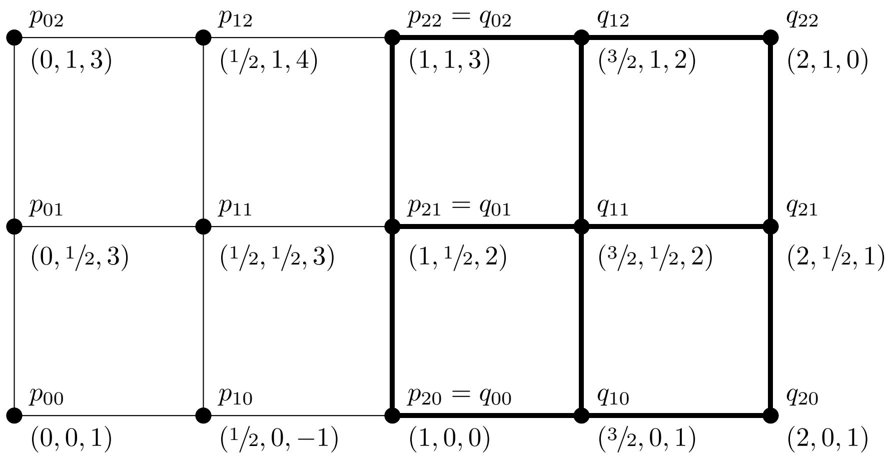
   $$q_0 = (0,0),\ q_1 = (0,1),\ q_2 = (1,0).$$

   Zapíšte obraz krivky $\mathcal{Q}$ na ploche $\mathcal{S}$ ako Bézierovu krivku, t.j. určite súradnice riadiacich vrcholov obrazu $\mathcal{Q}$.

C^k-spojité nadpájanie tenzorovo-súčinových Bézierových záplat

3. Uvažujme plochu $\mathcal{S}$ tvorenú dvoma tenzorovo-súčinovými bikvadratickými záplatami $\mathcal{S}_1, \mathcal{S}_2$ s riadiacimi vrcholmi zadanými na obr. 1; obe záplaty sú definované nad intervalmi, ktorých dĺžka je v oboch smeroch rovná 1.

   Uvažujme krivku $\mathcal{C}_1$ na tejto ploche, ktorá prechádza stredom krížom cez obe záplaty, čiže ide o u-krivku pre $v = 1/2$ (pozri obr. 2).



Obr. 1: Súradnice riadiacich vrcholov podzáplat $\mathcal{S}_1$ (vľavo) a $\mathcal{S}_2$ (vpravo).

   Vyšetrite C^k-spojitosť záplaty $\mathcal{S}$ pozdĺž hraničnej krivky.

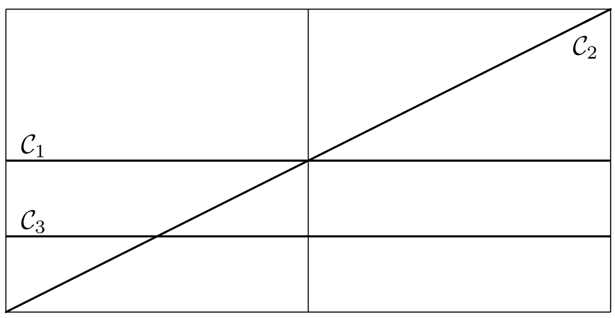
   Vyšetrite C^k-spojitosť krivky $\mathcal{C}_1$.

   Zmeňte súradnice vrchola p_{11} resp. p_{10} tak, aby krivka $\mathcal{C}_1$ bola C^1-spojitá.

4. Uvažujme záplaty $\mathcal{S}_{11}$ a $\mathcal{S}_{10}$, pričom záplata $\mathcal{S}_{11}$ vznikla zo záplaty $\mathcal{S}$ (z predchádzajúcej úlohy) úpravou súradníc vrchola p_{11}, záplata $\mathcal{S}_{10}$ úpravou súradníc vrchola p_{10}.

   Vyšetrite C^k-spojitosť kriviek $\mathcal{C}_2$ a $\mathcal{C}_3$, kde $\mathcal{C}_2$ je obrazom uhlopriečky definičnej oblasti záplaty a krivka $\mathcal{C}_3$ je u-krivka prislúchajúca parametru $v = 1/4$ (pozri obr. 2).

   Poznámka: C^k-spojitosť kriviek $\mathcal{C}_2, \mathcal{C}_3$ vyšetrite na oboch uvažovaných plochách $\mathcal{S}_{11}, \mathcal{S}_{10}$.



Obr. 2: Krivky $\mathcal{C}_1, \mathcal{C}_2, \mathcal{C}_3$ v definičnej oblasti $\mathcal{D}$ záplat $\mathcal{S}_{11}$ resp. $\mathcal{S}_{10}$.

RNDr. Martina Bátorová, PhD.
martina.batorova@fmph.uniba.sk

Trojuholníkové Bézierove záplaty

5. Uvažujme tri nekolineárne body $p_0, p_1, p_2 \in \mathbb{A}^2(\mathbb{R})$ a definujme nimi barycentrickú súradnicovú sústavu $\mathcal{B}$.

   Určite barycentrické súradnice

   (a) bodu $A \in \triangle p_0p_1p_2$; špeciálne vyjadrite v $\mathcal{B}$ vrcholy $p_i, i = 0, 1, 2,$

   (b) bodov priamky ℓ, ktorá je rovnobežná s niektorou stranou $\triangle p_0p_1p_2$; špeciálne vyjadrite v $\mathcal{B}$ súradnice bodov priamok určených stranami $\triangle p_0p_1p_2$.

6. Zapíšte graf polynómu
$$F(u, v) = 3 + 6u - 2v - u^2 + 4uv + 2v^2$$
   ako trojuholníkovú Bézierovu záplatu $b^\triangle \subset \mathbb{R}^3$ nad definičnou oblasťou
$$\mathcal{D}^\triangle := \{(u, v) \mid u, v \geq 0,\ u + v \leq 1\} \subset \mathbb{R}^2,$$
   t.j. určite súradnice jej riadiacich vrcholov. Úlohu riešte

   (a) priamym výpočtom, t.j. dosadením do predpisu
$$b^\triangle(t) = \sum_{i+j+k=n} B^n_{ijk}(t) \cdot p_{ijk},$$
   kde $n \in \mathbb{N}$ je stupeň záplaty $b^\triangle(t)$.
   Poznámka: $B^n_{ijk}(t) = \binom{n}{ijk} t_0^i\, t_1^j\, t_2^k$ sú Bernsteinove polynómy dvoch premenných stupňa n a $\mathcal{D}^\triangle$ definuje barycentrickú sústavu súradníc, vzhľadom na ktorú pre $t \in \mathbb{R}^2$ platí $t = (t_0, t_1, t_2)$ a $t_0 + t_1 + t_2 = 1$.

   (b) prerozdelením definičnej oblasti $\mathcal{D}^\triangle$, t.j. využitím vlastností $B^n_{ijk}(t)$,

   (c) použitím polárnej formy $\phi^\triangle(\bar{t})$ polynómu $F(u, v)$.

   Pre takto zapísanú záplatu určite predpis hraničných kriviek a výsledok overte.

   Vypočítajte súradnice bodu záplaty pre $p = (1/4, 1/2) \in \mathcal{D}^\triangle$ prostredníctvom

   (a) priameho vyčíslenia,

   (b) algoritmu de Casteljau,

   (c) polárnej formy polynómu $F(u, v)$

   a určite rovnicu dotykovej roviny záplaty v tomto bode.

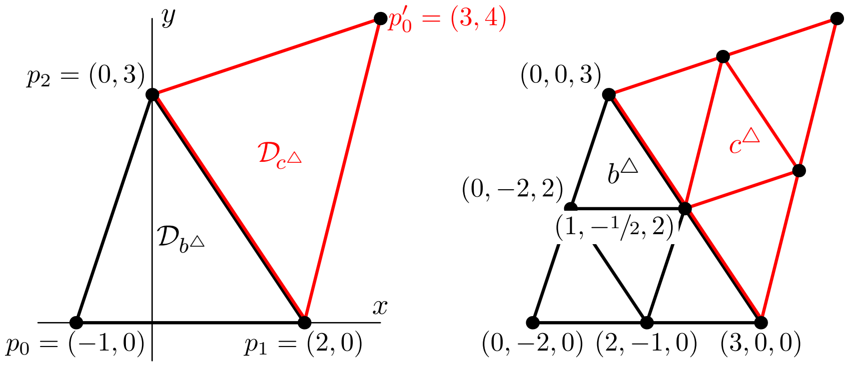
   Prerozdeľte záplatu v bode $b^\triangle(p)$ pre $p = (1/4, 1/2) \in \mathcal{D}^\triangle$ a určite súradnice riadiacich vrcholov takto vzniknutých záplat.

RNDr. Martina Bátorová, PhD.
martina.batorova@fmph.uniba.sk

C^k-spojité nadpájanie trojuholníkových a tenzorovo-súčinových Bézierových záplat

7. Uvažujme dve kvadratické trojuholníkové Bézierove záplaty $b^{\triangle}$ resp. $c^{\triangle}$ definované nad oblasťami $\mathcal{D}_{b^{\triangle}} := \triangle p_0p_1p_2$ resp. $\mathcal{D}_{c^{\triangle}} := \triangle p_0'p_1p_2$, pozri obr. 3.

   Dopočítajte súradnice riadiacich vrcholov záplaty $c^{\triangle}$ tak, aby záplaty $b^{\triangle}$ a $c^{\triangle}$ boli na spoločnej hranici napojené C^1- resp. C^2-spojito.



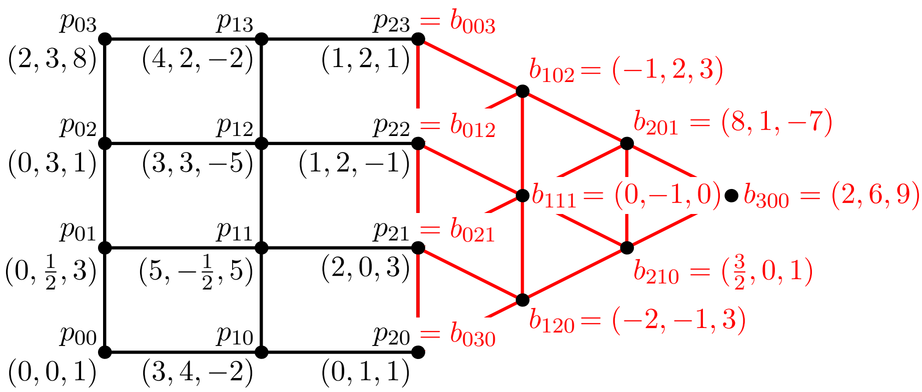
Obr. 3: Definičné oblasti $\mathcal{D}_{b^{\triangle}}$ a $\mathcal{D}_{c^{\triangle}}$ (vľavo) a súradnice riadiacich vrcholov záplaty $b^{\triangle}$ (vpravo). *Poznámka:* Súradnice bodov p_0', p_0, p_1, p_2 na obr. vľavo sú afinné.

8. Uvažujme tenzorovo-súčinovú Bézierovu záplatu $\mathcal{P}^{\square}$ bistupňa $(2,3)$ resp. kubickú trojuholníkovú Bézierovu záplatu $\mathcal{B}^{\triangle}$ so súradnicami riadiacich vrcholov

$$\{p_{ij} \mid i = 0,\dots,2; j = 0,\dots,3\} \text{ resp. } \{b_{ijk} \mid i+j+k = 3\}$$

   uvedenými na obr. 4.

   Vyšetrite C^1-spojitosť záplat. V prípade, že nie sú C^1-spojité, zmeňte súradnice vrchola b_{111} tak, aby boli.



Obr. 4: Súradnice riadiacich vrcholov záplat $\mathcal{P}^{\square}$ a $\mathcal{B}^{\triangle}$.

Bilineárne a bikubicky stmeľované Coonsove záplaty

9. Uvažujme bilineárne stmeľovanú Coonsovu záplatu

$$\mathcal{S}(s,t) = \mathcal{S}_c(s,t) + \mathcal{S}_d(s,t) - \mathcal{S}_{cd}(s,t) = \begin{pmatrix} st^2 + (s^2 - 2s + 1)t + s \\ st^2 + (s^2 - 2s + 2)t - s - 1 \\ st^3 + (1-s)t^2 + 4(1-s)t - s - 1 \end{pmatrix},$$

kde $s, t \in \langle 0, 1\rangle$ a

$$\begin{aligned} \mathcal{S}_c(s,t) &= (1-s)c_0(t) + sc_1(t) \text{ je priamková plocha s hraničnými krivkami} \\ & \qquad c_0(t) = \begin{pmatrix} t \\ 2t-1 \\ t^2+4t-1 \end{pmatrix} \qquad \text{a} \qquad c_1(t) = \begin{pmatrix} t^2+1 \\ t^2+t-2 \\ t^3-2 \end{pmatrix}, \\ \mathcal{S}_d(s,t) &= (1-t)d_0(s) + td_1(s) \text{ je priamková plocha s hraničnými krivkami } d_0(s), d_1(s), \\ \mathcal{S}_{cd}(s,t) &= \begin{pmatrix} 1-s & s \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1-t \\ t \end{pmatrix} \text{je bilineárna záplata s rohovými vrcholmi } A, B, C, D. \end{aligned}$$

Určite predpisy kriviek $d_0(s)$, $d_1(s)$ a záplat $\mathcal{S}_c(s,t)$, $\mathcal{S}_d(s,t)$.

Overte C^0-kompatibilitu hraničných kriviek záplaty $\mathcal{S}(s,t)$.

Ukážte, že $A = c_0(0) = d_0(0)$, $C = c_1(0) = d_0(1)$, $B = c_0(1) = d_1(0)$, $D = c_1(1) = d_1(1)$.

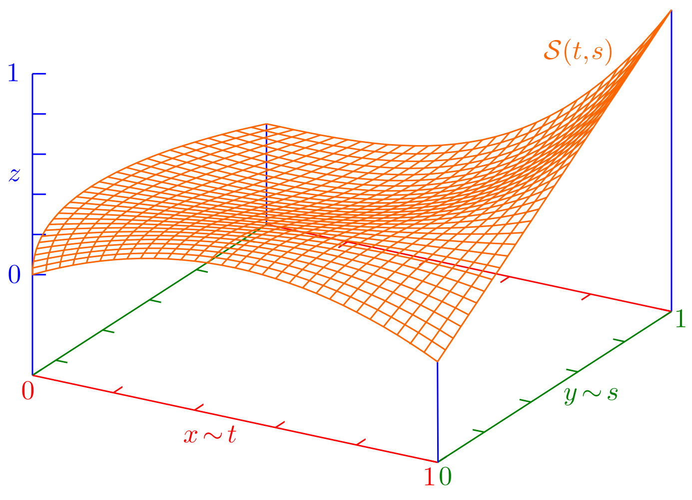
10. Zostrojte bikubicky stmeľovanú Coonsovu záplatu $\mathcal{S}(s,t)$ nad $\langle 0,1\rangle \times \langle 0,1\rangle$ interpolujúcu hraničné krivky

$$c_0(t) = \begin{pmatrix} t \\ 0 \\ t-t^2 \end{pmatrix}, \ c_1(t) = \begin{pmatrix} t \\ 1 \\ t^3 \end{pmatrix}, \ d_0(s) = \begin{pmatrix} 0 \\ s^2 \\ s-s^2 \end{pmatrix}, \ d_1(s) = \begin{pmatrix} 1 \\ s \\ s \end{pmatrix}.$$

Overte podmienku C^0-kompatibility vstupných kriviek.

Dopočítajte predpisy vektorových funkcií $\bar{e}_i(t), \bar{f}_i(s), i \in \{0,1\}$ tak, aby výsledná záplata bola C^2-kompatibilná; uvažujte hodnoty twistov

$$t_{00} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix}, \ t_{10} = \begin{pmatrix} -1 \\ 2 \\ 0 \end{pmatrix}, \ t_{01} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix}, \ t_{11} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$



Obr. 5: Výsledná plocha $\mathcal{S}(s,t)$.

Poznámka: Záplata $\mathcal{S}(s,t)$ je definovaná ako

$$\mathcal{S}(s,t) = \mathcal{S}_c(s,t) + \mathcal{S}_d(s,t) - \mathcal{S}_{cd}(s,t)$$

s tvoriacimi záplatami

$$\begin{aligned}
\mathcal{S}_c(s,t) &= H_0^3(s)c_0(t) + H_1^3(s)\bar{e}_0(t) + H_2^3(s)\bar{e}_1(t) + H_3^3(s)c_1(t),\\
\mathcal{S}_d(s,t) &= H_0^3(t)d_0(s) + H_1^3(t)\bar{f}_0(s) + H_2^3(t)\bar{f}_1(s) + H_3^3(t)d_1(s),\\
\mathcal{S}_{cd}(s,t) &= \begin{pmatrix} H_0^3(s)\\ H_1^3(s)\\ H_2^3(s)\\ H_3^3(s)\end{pmatrix}^{\top} \cdot \begin{pmatrix} c_0(0) & \bar{f}_0(0) & \bar{f}_1(0) & c_0(1)\\ \bar{e}_0(0) & t_{00} & t_{01} & \bar{e}_0(1)\\ \bar{e}_1(0) & t_{10} & t_{11} & \bar{e}_1(1)\\ c_1(0) & \bar{f}_0(1) & \bar{f}_1(1) & c_1(1)\end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} H_0^3(t)\\ H_1^3(t)\\ H_2^3(t)\\ H_3^3(t)\end{pmatrix},
\end{aligned}$$

kde $H_i^3(X), i = 0,\dots,3$ označujú kubické Hermitove a $B_i^3(X), i = 0,\dots,3$ kubické Bernsteinove polynómy

$$\begin{aligned}
H_0^3(X) &= & B_0^3(X) + B_1^3(X) &= & 2X^3 - 3X^2 + 1,\\
H_1^3(X) &= & {}^1\!/\!_3 \cdot B_1^3(X) &= & X^3 - 2X^2 + X,\\
H_2^3(X) &= & -{}^1\!/\!_3 \cdot B_2^3(X) &= & X^3 - X^2,\\
H_3^3(X) &= & B_2^3(s) + B_3^3(X) &= & -2X^3 + 3X^2
\end{aligned}$$

a funkcie $\bar{e}_i(t), \bar{f}_i(s),\ i \in \{0,1\}$ vypočítame pomocou predpisu

$$\begin{aligned}
\bar{e}_i(t) &= H_0^3(t)\cdot \frac{\mathrm{d}\,d_0}{\mathrm{d}\,s}(i) + H_1^3(t)\cdot t_{i0} + H_2^3(t)\cdot t_{i1} + H_3^3(t)\cdot \frac{\mathrm{d}\,d_1}{\mathrm{d}\,s}(i),\\
\bar{f}_i(s) &= H_0^3(s)\cdot \frac{\mathrm{d}\,c_0}{\mathrm{d}\,t}(i) + H_1^3(s)\cdot t_{0i} + H_2^3(s)\cdot t_{1i} + H_3^3(s)\cdot \frac{\mathrm{d}\,c_1}{\mathrm{d}\,t}(i).
\end{aligned}$$

Trojuholníkové Coonsove záplaty

11. Zostrojte trojuholníkovú Coonsovu záplatu $\mathcal{S}$ nad $\mathcal{D} := \triangle p_0p_1p_2$ tak, aby krivky

$$c_0(s) = \begin{pmatrix} 0\\ s\\ (s-1)^2\end{pmatrix},\ c_1(s) = \begin{pmatrix} s\\ 0\\ (s-1)^2\end{pmatrix},\ c_2(s) = \begin{pmatrix} 1-s\\ s^2\\ 0\end{pmatrix},\ s \in \langle 0,1\rangle$$

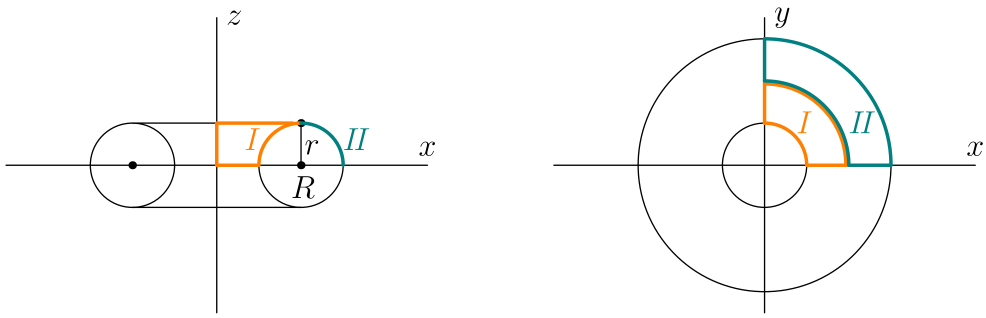
tvorili jej hranicu a $(0,0)$, $(1,0)$ a $(0,1)$ boli (afinné) súradnice vrcholov $\mathcal{D}$.

Overte C^0-kompatibilitu vstupných kriviek.

Vyčíslite $\mathcal{S}$ v bodoch $V, W \in \mathcal{D}$, ak (afinné) súradnice bodov V, W sú $V = ({}^1\!/\!_3, {}^1\!/\!_3)$, $W = ({}^1\!/\!_3, {}^1\!/\!_6)$.

Racionálne tenzorovo-súčinové Bézierove záplaty

12. Vymodelujte torus pomocou 16 bikvadratických racionálnych tenzorovo-súčinových Bézierových záplat.



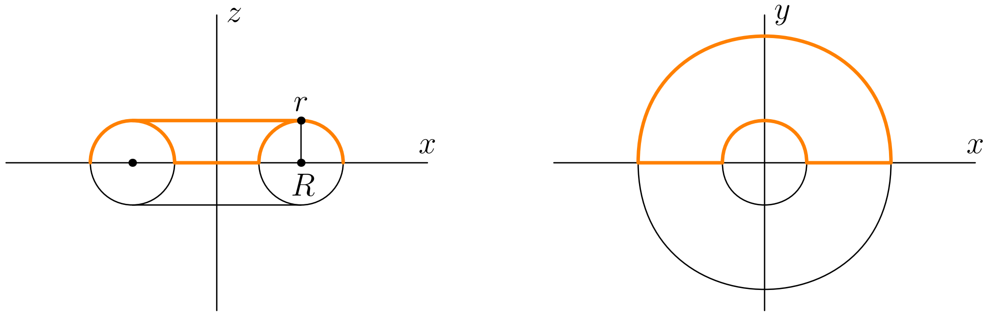
Obr. 6: Priemety torusu do rovín $y = 0$ (vľavo) a $z = 0$ (vpravo).

Pomôcka: Medzi záplatami sú iba dva rôzne typy I a II (pozri obr. 6), ostatné dostaneme z týchto dvoch jednoduchými zhodnosťami. Stačí teda nájsť riadiace vrcholy a ich váhy dvoch záplat, napríklad tých, ktoré sa nachádzajú v oktante $x \geq 0,\ y \geq 0,\ z \geq 0$.

Riadiace vrcholy na hranici a ich váhy nájdete ako riadiace vrcholy štvrťkružnice. Na určenie súradníc prostredného riadiaceho vrchola každej zo záplat I, II využite súradnice zvyšných riadiacich vrcholov spolu s rozumným odôvodnením – napr. že vrchol leží v rovine $z - r = 0$ (prečo?), preto $V_{11} = (x_{11}, y_{11}, r)$. Váhu dopočítajte napr. uvedomením si, že $w_0 = w_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}$ a použitím faktu, že v rámci jednej krivky sa pomer váh zachováva (prečo?).

Samozrejme, je možné súradnice V_{11} dopočítať pomocou de Casteljau algoritmu pre $(u, v) = (1/2, 1/2)$, pričom súradnice bodu zodpovedajúceho $(1/2, 1/2)$ sú ľahko dopočítateľné – je možné ich získať napr. cez parametrizáciu torusu $\tau(\varphi, \theta)$, ktorú zostavíte sweepingom a následným dosadením vhodných (akých?) hodnôt $\varphi, \theta \in \langle 0, 2\pi)$.

13. Vymodelujte torus pomocou 4 bikvadratických racionálnych tenzorovo-súčinových Bézierových záplat tak, že pre riadiace vrcholy pripustíte aj nulové váhy. Všetky záplaty sú navzájom zhodné, stačí teda napísať riadiace vrcholy len pre jednu záplatu, napríklad pre body na toruse, pre ktoré platí $y \geq 0$ a $z \geq 0$ (pozri obr. 7).



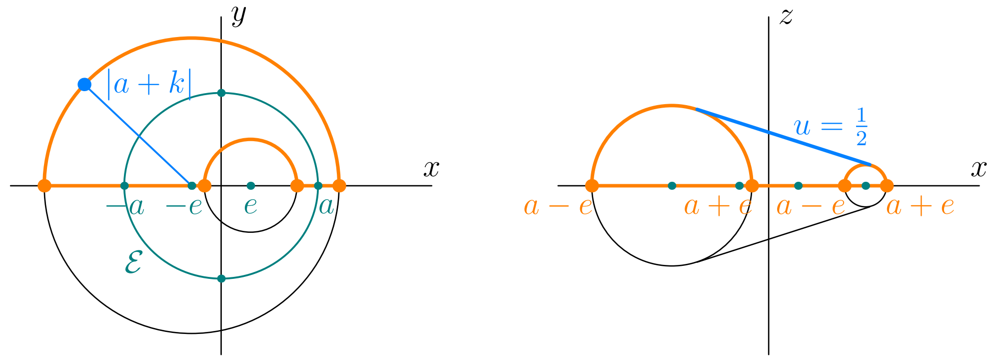
Obr. 7: Priemety torusu do rovín $y = 0$ (vľavo) a $z = 0$ (vpravo).

14. Uvažujme elipsu $\mathcal{E}$ ležiacu v rovine $z = 0$, so stredom v $(0, 0, 0)$, s dĺžkou hlavnej poloosi a a nech vzdialenosť ohnísk od stredu je e (pozri obr. 8 vľavo).

    Skonštruujme cyklidu $\mathcal{C}$ (pozri obr. 9) pomocou elipsy $\mathcal{E}$ a povrazu s dĺžkou $|a + k|$ (kde $k > 0$ je vhodný parameter) tak, že jeden koniec povrazu upevníme v ohnisku $(-e, 0, 0)$ a necháme sa ho napnutý kĺzať po $\mathcal{E}$. Jeho voľný koniec postupne pokryje povrch $\mathcal{C}$.

    Vymodelujte cyklidu pomocou štyroch racionálnych bikvadratických Bézierových záplat. Podobne ako v prípade torusu z úlohy 2 sú všetky záplaty zhodné, stačí tak napísať len riadiace vrcholy a váhy záplaty, keď $y \geq 0$ a $z \geq 0$.

    Pre aké hodnoty a, e, k získame torus z úlohy 1 resp. guľovú plochu?



Obr. 8: Priemety cyklidy. Vľavo sú naznačené ohniská a vrcholy modelujúcej elipsy $\mathcal{E}$. Vpravo sú váhy v rohových riadiacich vrcholoch.

Pomôcka: Opísanú konštrukciu využite pri určení súradníc rohových riadiacich vrcholov, ostatné dopočítajte pomocou predchádzajúcich cvičení. Na výpočet váh v rohových riadiacich vrcholoch použite váhy uvedené na obr. 8 vpravo.

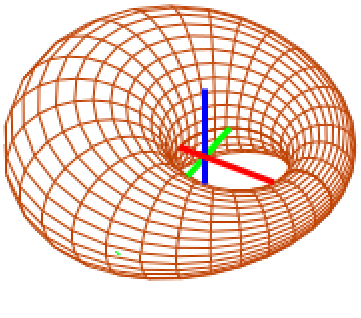
Na určenie (nielen) rohových riadiacich vrcholov použite implicitnú rovnicu cyklidy

$$\mathcal{C}(x, y, z)\colon\ \left(x^2 + y^2 + z^2 + a^2 - e^2 - k^2\right)^2 - 4\left((a^2 - e^2)y^2 + (ax - ek)^2\right) = 0,$$

z ktorej vidieť, že naozaj ide o bikvadratickú plochu resp. parametrické vyjadrenie cyklidy dané predpisom

$$\gamma(\varphi, \theta) = \frac{1}{a - e\cos\varphi\cos\theta} \cdot \begin{bmatrix} k(e - a\cos\varphi\cos\theta) + (a^2 - e^2)\,\cos\varphi \\ \sqrt{a^2 - e^2}\,(a - k\cos\theta)\,\sin\varphi \\ \sqrt{a^2 - e^2}\,(k - e\cos\varphi)\,\sin\theta \end{bmatrix}, \quad \varphi, \theta \in \langle 0, 2\pi\rangle.$$

Súradnice chýbajúceho riadiaceho vrchola p_{11} a jeho váhu dopočítajte obdobne ako pri toruse v príklade 13. Využite hodnotu parametra $u = 1/2$ resp. hodnoty $\theta = \frac{\pi}{2}$, $\varphi \in \langle 0,\ \pi\rangle$.



Obr. 9: Cyklida ako racionálna Bézierova záplata.

RNDr. Martina Bátorová, PhD.
martina.batorova@fmph.uniba.sk

B-splajny a NURBS

15. Uvažujme kvadratické B-splajnové funkcie $\{N_i^2(u) \mid i = 0, 1, 2\}$ definované nad uzlovou postupnosťou $\mathcal{U} := \langle u_0, u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\rangle$.

    Zostavte predpisy bázových B-splajnových funkcií $\{N_i^2(u)\}$ pre rovnomernú (uniformovanú) uzlovú postupnosť $\mathcal{U} = \langle 0, 1, 2, 3, 4, 5\rangle$ resp. pre rôzne nerovnomerné (neuniformované) uzlové postupnosti $\mathcal{U}$, vrátane postupností s násobnými uzlami. Načrtnite grafy všetkých týchto funkcií.

    Zostavte predpisy funkcií $\{N_i^2(u)\}$ pre uzlovú postupnosť $\mathcal{U} = \langle 0, 0, 0, 1, 1, 1\rangle$ a výsledok interpretujte.

16. Uvažujme B-splajnovú krivku $\mathcal{B}(u)$ s riadiacimi vrcholmi $\langle V_0, \dots, V_4\rangle$ definovanú nad uzlovou postupnosťou $\mathcal{U} := \langle 0, 0, 0, 1, {}^5\!/\!_2, 3, 3, 3\rangle$.

    Určite stupeň každého polynomického segmentu splajnu $\mathcal{B}(u)$ a ich počet a splajn načrtnite.

17. Zapíšte kružnicu $k = [(0, 0); r]$ ako kvadratickú neuniformovanú racionálnu splajnovú (NURBS) krivku s riadiacimi vrcholmi $\langle V_0, \dots, V_8 \mid V_0 = V_8\rangle$, pričom riadiaca lomená čiara nech tvorí štvorec opísaný k a vrcholy $\{V_i\}$ nech sú na jeho obvode rozmiestnené rovnomerne.

    Pomôcka: Je potrebné zostaviť postupnosť váh $\langle w_0, \dots, w_8\rangle$ vrcholov $\langle V_i \mid i = 0, \dots, 8\rangle$ a korektne určiť uzlovú postupnosť $\mathcal{U}$ tak, aby výsledná NURBS krivka interpolovala potrebné riadiace vrcholy.

    Pre zostavenú uzlovú postupnosť načrtnite jednotlivé B-splajnové funkcie.

18. Reprezentujte plášť kolmého valca s podstavou v tvare kružnice ako NURBS záplatu bistupňa $(2, 1)$.

    Pomôcka: Môžete použiť výsledky z predchádzajúcej úlohy. Stačí preto dourčiť uzlovú postupnosť $\mathcal{V}$ v smere v tak, aby výsledná NURBS záplata interpolovala riadiace vrcholy oboch podstáv.

RNDr. Martina Bátorová, PhD.
martina.batorova@fmph.uniba.sk