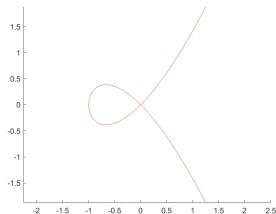


# KLASIFIKACIJA OBLIK KUBIČNIH BEZIERJEVIH KRIVULJ

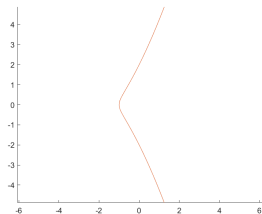
Jan Pristovnik in Laura Guzelj Blatnik

Fakulteta za matematiko in fiziko

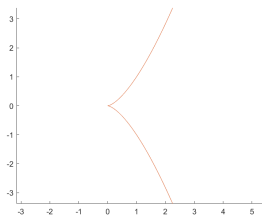
4. januar 2021



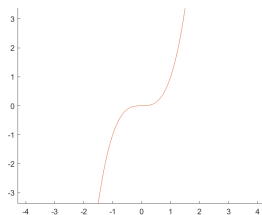
SLIKA 1: Loop



SLIKA 3: Dva prevoja



SLIKA 2: Špica



SLIKA 4: Brez prevojev

Kubično parametrični krivuljo definiramo kot:

$$\begin{aligned}x(t) &= a_1 t^3 + a_2 t^2 + a_3 t + a_4 \\y(t) &= b_1 t^3 + b_2 t^2 + b_3 t + b_4 \\&\text{za } -\infty < t < \infty,\end{aligned}\tag{1}$$

njeno ukrivljenost  $K$  pa:

$$K = \frac{\frac{dx}{dt} \frac{d^2y}{dt^2} - \frac{dy}{dt} \frac{d^2x}{dt^2}}{\left( \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 + \left( \frac{dy}{dt} \right)^2 \right)^{3/2}}.$$

Imenovalec iz enačbe za  $K$  lahko zapišemo sledeče:

$$\frac{dx}{dt} \frac{d^2y}{dt^2} - \frac{dy}{dt} \frac{d^2x}{dt^2} = 2(At^2 + Bt + C) = 2F(t),$$

kjer velja

$$A = 3(a_2b_1 - a_1b_2)$$

$$B = 3(a_3b_1 - a_1b_3)$$

$$C = a_3b_2 - a_2b_3.$$

Označimo:

$$\Delta = B^2 - 4AC$$

## TRDITEV 1

*Potreben in zadosten pogoj, da bo krivulja (1) imela špico, če je  $A \neq 0$ , je  $\Delta = 0$ .*

## TRDITEV 2

*Če krivulja (1) ni premica, bo vsebovala največ eno špico.*

## TRDITEV 3

*Potreben in zadosten pogoj, da bo krivulja (1) bo vsebovala loop (prevod??), je  $\Delta < 0$ .*

# KRIVULJE NA INTERVALU

V nadaljevanju bomo obravnavali lastnosti krivulj na nekem intervalu  $[t_2, t_3]$ . Za  $t_2 \leq t \leq t_3$  lahko enačbo (1) zapišemo sledeče:

$$\begin{aligned}x(t) &= a_1(t - t_2)^3 + a_2(t - t_2)^2 + a_3(t - t_2) + a_4 \\y(t) &= b_1(t - t_2)^3 + b_2(t - t_2)^2 + b_3(t - t_2) + b_4\end{aligned}\tag{2}$$

imenovalec v enačbi ukrivljenosti  $K$  pa se izraža kot:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} \frac{d^2y}{dt^2} - \frac{dy}{dt} \frac{d^2x}{dt^2} &= 2(A(t - t_2)^2 + B_1(t - t_2) + C_1) = \\2(A(t - t_3)^2 + B_2(t - t_3) + C_2) &= 2F_1(t),\end{aligned}$$

kjer velja

$$\begin{aligned}A &= 3(a_2b_1 - a_1b_2) \\B_1 &= 3(a_3b_1 - a_1b_3) \quad B_2 = B_1 + 2A(t_3 - t_2) \\C_1 &= a_3b_2 - a_2b_3 \quad C_2 = C_1 + A(t_3 - t_2)^2 + B_1(t_3 - t_2).\end{aligned}$$

# KLASIFIKACIJA KRIVULJ NA INTERVALU

Definiramo še  $\Delta_1$  kot:

$$\Delta_1 = B_1 - 4AC_1$$

## TRDITEV 4

*Potrebni in zadostni pogoji, da bo krivulja (2) vsebovala loop so:*

- $\Delta_1 < 0$
- $B_1^2 \geq 3AC_1$  in  $B_2^2 \geq 3AC_2$
- $F'_1(t_2)F'_1(t_3) \leq 0$ .

## TRDITEV 5

*Če je  $A \neq 0$ , sta naslednja pogoja potrebna in zadostna, da bo krivulja (2) vsebovala špico:*

- $\Delta_1 = 0$
- $F'_1(t_2)F'_1(t_3) \leq 0$ .

## TRDITEV 6

*Naslednji pogoji so potrebni in zadostni za različne vrste prevojev na krivulji (2):*

- *Prevoj bo na intervalu  $(t_2, t_3)$ , če bo veljalo:  $F_1(t_2)F_1(t_3) < 0$ .*
- *Prevoj bo pri parametru  $t_2$  (oziroma  $t_3$ ), če bo  $\Delta_1 > 0$  in  $F_1(t_2) = 0$  (oziroma  $F_1(t_3) = 0$ ).*
- *Interval  $(t_2, t_3)$  bo vseboval dva prevoja, če bo  $\Delta_1 > 0$ ,  $F_1(t_2)F_1'(t_2) < 0$ ,  $F_1(t_3)F_1'(t_3) > 0$  in  $F_1(t_2)F_1(t_3) > 0$ .*

## TRDITEV 7

*Potrebna in zadostna pogoja, da krivulja (2) ne bo imela prevojev, sta:*

- $\Delta_1 \leq 0$  ali  $F_1(t_2)F_1(t_2) > 0$
- $F_1'(t_2)F_1'(t_3) > 0$  ali  $F_1(t_2)A \leq 0$ .



- Motivacija: natančnost nočemo zvišati preko višanja stopnje temveč preko zlepkov - celotno območje razdelimo na več območji

## DEFINICIJA 1

*Zlepek reda  $n$  je sestavljen iz polinomov stopnje  $n-1$  v spremenljivki  $x$ . Vrednosti  $x$ , kjer se polinomi srečajo imenujemo vozli, označimo jih z  $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n$  in uredimo v nepadajočem vrstnem redu.*

*Če so vsi vozli različni imamo zvezne odvode  $n-2$  reda med vsemi polinomi. V kolikor je  $r$  vozlov enakih imamo zagotovljeno le  $n-r-1$  zvezno odvedljivost.*

B-zlepki reda  $n$  so bazne funkcije za zlepke istega reda, definirane na istih vozlih.

## TRDITEV 8

*Rekurzivna formula za B-zlepke:*

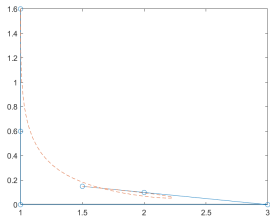
$$B_{i,0}(x) = \begin{cases} 1 & ; t_i \leq x \leq t_{i+1} \\ 0 & ; \text{sicer} \end{cases}$$

$$B_{i,k}(x) = \frac{x-t_i}{t_{i+k}-t_i} B_{i,k-1}(x) + \frac{t_{i+k+1}-x}{t_{i+k+1}-t_{i+1}} B_{i+1,k-1}(x)$$

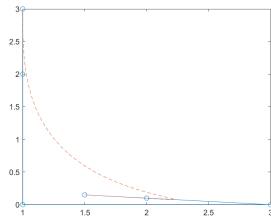
Naj bo  $P_i(x_i, y_i)$ ,  $i = 0, 1, \dots, n$  sekvenca točk s parametrom  $t$ .  
Parametrična aproksimacija preko B-zlepkov:

$$R(t) = (x(t), y(t)) = \sum_{i=0}^n P_i B_{i-2,3}(t)$$

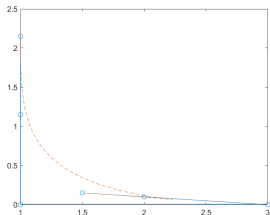
Poligonu  $P_0, P_1, \dots, P_n$  pravimo kontrolni poligon.



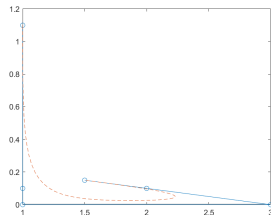
SLIKA 5: Loop



SLIKA 7: Dva prevoja



SLIKA 6: Špica



SLIKA 8: Brez prevojev

Koncept: Gledati podintervale

Izkaže se, v kolikor kontrolni poligon ustreza določenim omejitvam, da se obliko krivulje uspe prebrati iz kar iz kontrolnega poligona.

HVALA ZA POZORNOST!