

# Poročilo projekta

## Matematično modeliranje

SARA BIZJAK

UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA MATEMATIKO IN FIZIKO  
ODDELEK ZA MATEMATIKO

avgust 2019

# Kazalo

<b>1</b>	<b>PREDSTAVITEV PROBLEMA</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>MATEMATIČNO OZADJE</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>REŠITEV PROBLEMA</b>	<b>3</b>
3.1	MATLABOVE DATOTEKE . . . . .	4
<b>4</b>	<b>PRIMERI GIBANJA</b>	<b>5</b>
4.1	PRIMER 1 . . . . .	5
4.2	PRIMER 2 . . . . .	6
4.3	PRIMER 3 . . . . .	6
4.4	PRIMER 4 . . . . .	7
4.5	PRIMER 5 . . . . .	7
4.6	PRIMER 6 . . . . .	8

## 1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Rešujemo problem otroka, ki se sprehaja po ravnem igrišču na mivki, za seboj pa vleče na vrvico privezano igračo tako, da je vrvica vseskozi napeta. Otrokovo gibanje opišemo s parametrično krivuljo. Program izračuna sled gibanja igrače po mivki in izriše animacijo.

## 2 MATEMATIČNO OZADJE

Rešujemo primer naloge, kjer gibanje igrače določimo z rešitvijo diferencialne enačbe.

Ker lahko za rešitev diferencialne enačbe v Matlabu uporabimo že vgrajeno funkcijo `ode45`, bomo reševanje diferencialnih enačb izpustili. Ponovimo samo nekaj osnovnih pojmov.

Ker imamo podatek o hitrosti, rešujemo DE prvega reda.

Enačbi, v kateri nastopa neznana funkcija in njen odvod, pravimo **diferencialna enačba prvega reda**. Najsplošnejša oblika diferencialne enačbe prvega reda je

$$F(x, y, dy) = 0,$$

kjer je  $F$  dana funkcija treh spremenljivk,  $y = y(x)$  pa je neznana funkcija. Smiselno je zahtevati, da je definicijsko območje neznane funkcije odprt interval, sicer imamo težave z računanjem njenih odvodov. Pogosto lahko iz  $F(x, y, dy) = 0$  izrazimo  $dy$  kot funkcijo  $x$  in  $y$ . V tem primeru pravimo, da smo diferencialno enačbo prevedli na **standardno obliko**.

Vgrajena Matlabova funkcija za reševanje diferencialnih enačb izgleda takole:

$$[X, Y] = \text{ode45}(\text{odefun}, [x0, b], y0).$$

### 3 REŠITEV PROBLEMA

Poznamo parametrizacijo krivulje, po kateri se premika otrok. Ker je vrvica med otrokom in igračo vedno napeta, vemo, da sta vedno enako oddaljena. Igrača se vedno giba v smeri otroka. Poznamo smer igrače, velikost hitrosti pa je odvisna od kota med smerjo gibanja otroka in smerjo vrvice. Njene pozicije oz. krivuljo gibanja torej dobimo kot rešitev diferencialne enačbe.

Z  $x(t)$  in  $y(t)$  je označena parametrizacija otroka, z  $x_i(t)$  in  $y_i(t)$  pa igrače. Odvodi so označeni kot  $dx(t)$ ,  $dy(t)$ ,  $dx_i(t)$  in  $dy_i(t)$ . Poznamo parametrizacijo otroka, torej  $x(t)$  in  $y(t)$ . Vemo, da vektor hitrosti igrače kaže v smeri proti otroku (po vrvici). Torej velja

$$\begin{aligned} dx_i(t) &= \alpha \cdot (x(t) - x_i(t)) \\ dy_i(t) &= \alpha \cdot (y(t) - y_i(t)), \\ \alpha &\in \mathbb{R}. \end{aligned}$$

Vektor smeri normiramo in ga pomnožimo z normo hitrosti otroka.

$$\left( \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_i(t) \\ y_i(t) \end{bmatrix} \right) \cdot \frac{\left\| \begin{bmatrix} dx(t) \\ dy(t) \end{bmatrix} \right\|}{\left\| \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_i(t) \\ y_i(t) \end{bmatrix} \right\|} \quad (1)$$

Da ohranjamo razdaljo oz. napeto vrvico med otrokom in igračo, račun (1) pomnožimo še s kosinusom kota med hitrostjo otroka in daljico, ki povezuje igračo in otroka. Kosinus kota dobimo s skalarnim produktom, in sicer

$$\cos \varphi = \frac{\begin{bmatrix} dx(t) & dy(t) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x(t) - x_i(t) \\ y(t) - y_i(t) \end{bmatrix}}{\left\| \begin{bmatrix} dx(t) \\ dy(t) \end{bmatrix} \right\| \cdot \left\| \begin{bmatrix} x(t) - x_i(t) \\ y(t) - y_i(t) \end{bmatrix} \right\|}. \quad (2)$$

Če pomnožimo (1) in (2), dobimo sistem

$$\begin{bmatrix} dx_i(t) \\ dy_i(t) \end{bmatrix} = \frac{\begin{bmatrix} x(t) - x_i(t) \\ y(t) - y_i(t) \end{bmatrix} \cdot \left( \begin{bmatrix} dx(t), dy(t) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x(t) - x_i(t) \\ y(t) - y_i(t) \end{bmatrix} \right)}{\left\| \begin{bmatrix} x(t) - x_i(t) \\ y(t) - y_i(t) \end{bmatrix} \right\|^2}. \quad (3)$$

Sistem (3) sovpada s funkcijo, ki jo vstavimo v Matlabovo vgrajeno funkcijo za reševanje diferencialnih enačb `ode45`.

$$odefun = @(t, P) \frac{\begin{bmatrix} x(t) - x_i(t) \\ y(t) - y_i(t) \end{bmatrix} \cdot \left( \begin{bmatrix} dx(t), dy(t) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x(t) - x_i(t) \\ y(t) - y_i(t) \end{bmatrix} \right)}{\left\| \begin{bmatrix} x(t) - x_i(t) \\ y(t) - y_i(t) \end{bmatrix} \right\|^2},$$

$$kjer \ P = \begin{bmatrix} x_i(t) \\ y_i(t) \end{bmatrix}.$$

Pri reševanju je predpostavljeno, da je vrstica dolga toliko, kot je začetna oddaljenost igraka in otroka. Igraka svoje gibanje vedno začne v koordinatnem izhodišču, torej v točki (0, 0), kar je tudi nastavljen začetni pogoj pri reševanju diferencialne enačbe.

### 3.1 Matlabove datoteke

Rešitev diferencialne enačbe izračunamo s funkcijo v datoteki `igraca.m`. Datoteki `risi_otrok.m` in `risi_igraca.m` izriseta krivuljo, po kateri se gibata otrok oziroma igrača. Gibanje izrišemo s pomočjo `animacija.m`. Vse skupaj poženemo z datoteko `test.m`, kjer sta določena parametrizacija krivulje, po kateri se giba otrok, in njen odvod.

## 4 PRIMERI GIBANJA

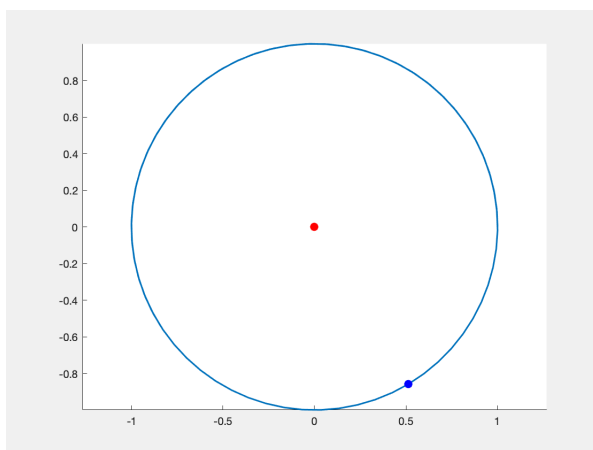
Poglejmo si nekaj primerov gibanja. Modra barva krivulje označuje gibanje otroka, rdeča pa igrače.

### 4.1 Primer 1

Gibanje otroka po krivulji s parametrizacijo:

$$\begin{aligned}x(t) &= \cos(t), \\y(t) &= \sin(t).\end{aligned}$$

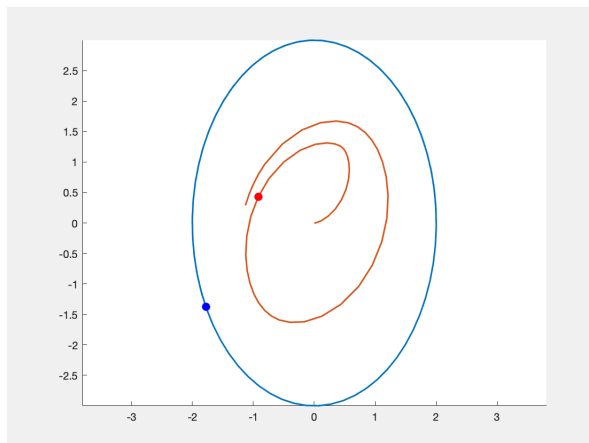
Če se otrok premika v krogu, igrača pa je na začetku v središču kroga (torej je vrstica dolga enako kot radij - predpostavka), ostane igrača ves čas na istem mestu.



## 4.2 Primer 2

Gibanje otroka po krivulji s parametrizacijo:

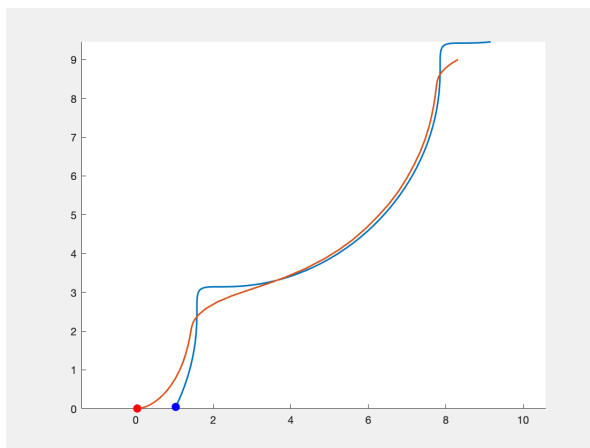
$$\begin{aligned}x(t) &= 2 \cdot \cos(t), \\y(t) &= 3 \cdot \sin(t).\end{aligned}$$



## 4.3 Primer 3

Gibanje otroka po krivulji s parametrizacijo:

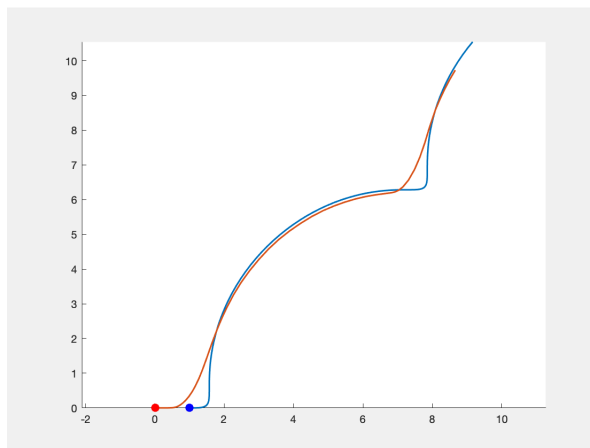
$$\begin{aligned}x(t) &= t + \cos(t), \\y(t) &= t + \sin(t).\end{aligned}$$



## 4.4 Primer 4

Gibanje otroka po krivulji s parametrizacijo:

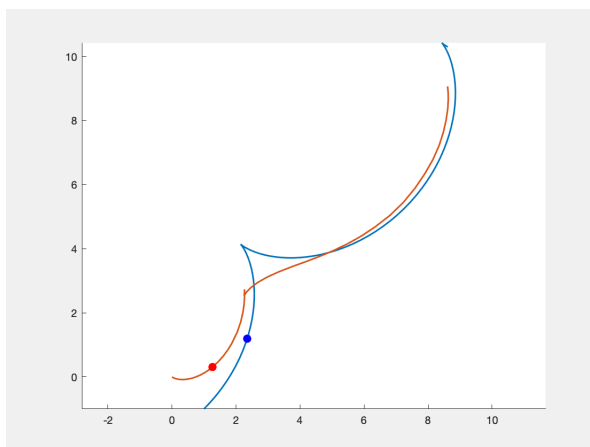
$$\begin{aligned}x(t) &= t + \cos(t), \\y(t) &= t - \sin(t).\end{aligned}$$



## 4.5 Primer 5

Gibanje otroka po krivulji s parametrizacijo:

$$\begin{aligned}x(t) &= t + \cos(t) + \sin(t), \\y(t) &= t + \sin(t) - \cos(t).\end{aligned}$$

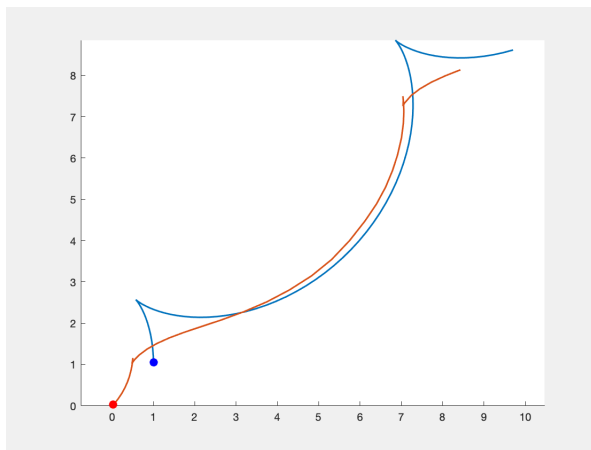




## 4.6 Primer 6

Gibanje otroka po krivulji s parametrizacijo:

$$\begin{aligned}x(t) &= t + \cos(t) - \sin(t), \\y(t) &= t + \sin(t) + \cos(t).\end{aligned}$$



## Literatura

- [1] J. Cimprič: Diferencialne enačbe, FMF, skripta, dostopno na <https://www.fmf.uni-lj.si/~cimpric/skripta/del6.pdf>.