

Logistička modifikacija Lotka-Voltera modela

Seminarski u okviru kursa
Osnove matematičkog modeliranja
Matematički fakultet

Marina Brkić, Nikola Vlahović
marinabrkić91@gmail.com
nikola.vlahovic2401@gmail.com

27. maj 2018.

Sažetak

Lotka-Voltera nelinearne diferencijalne jednačine prvog reda se koriste za modeliranje bioloških, hemijskih i ekonomskih sistema. Kroz primer interakcije lisica i zečeva, predstavljamo standardne jednačine i modifikaciju koja uzima u obzir ograničen kapacitet staništa.

Ključne reči: Lotka-Voltera jednačine, modeliranje populacija, predator-plen

Sadržaj

1	Uvod	2
2	Standardni Lotka-Voltera model	2
2.1	Stacionarna rešenja sistema	2
2.2	Primer u Matlabu	3
3	Logistička modifikacija Lotka-Voltera modela	3
3.1	Primer u Matlabu	4
3.2	Stacionarna rešenja za model sa logističkom modifikacijom .	4
3.3	Stanište sa vrlo ograničenim kapacitetom	5
4	Zaključak	6

1 Uvod

Alfred J. Lotka je u svom radu “Doprinos teoriji periodičnih reakcija” objavljenom 1910. godine predstavio inicijalnu formulaciju Lotka-Voltera jednačina za modeliranje ponašanja određenih hemijskih reakcija, koju 1920. koristi za modeliranje sistema u kom interaguju biljka i biljojed. Pet godina kasnije objavljuje knjgu gde pomoću ovih jednačina modelira populacije plena i grabljivice. Te jednačine objavljuje i Vito Voltera u radu gde analizira populacije riba u Jadranskom moru, nakon što je kroz razgovor sa svojim budućim zetom, morskim biologom Umbertom D’Ankonom, saznao da je nakon rata porastao procenat ulovljenih grabljivih riba.

Ilustrovaćemo kroz primer lisica i zečeva primenu Lotka-Voltera jednačina na modeliranje populacija sa plen-grabljivica interakcijama.

2 Standardni Lotka-Voltera model

Stanište dele populacije lisica i zečeva. Lisice se hrane isključivo zečevima, dok za zečeve uvek ima hrane u izobilju. Populacija zečeva bi u nedostatku lisica neprestano rasla. Obratno, populacija lisica bi u slučaju nedostatka zečeva (hrane) ubrzo izumrla. Označimo broj zečeva sa $x(t)$, a broj lisica sa $y(t)$ za vreme t . Jednačine:

$$\begin{aligned}x' &= ax \\ y' &= -my\end{aligned}\tag{1}$$

gde su a i m parametri koji predstavljaju stope rasta i odumiranja odgovarajućih populacija, ilustruju njihovo ponašanje u nedostatku interakcije. Da bismo dobili realističniji model, neophodno je da inkorporiramo u jednačine činjenicu da lisice love zečeve. Broj njihovih susreta je direktno proporcionalan brojnosti lisica i zečeva, što možemo modelirati proizvodom xy . Lov izaziva opadanje populacije zečeva, dok omogućava porast populacije lisica. Neka su b i c koeficijenti smrtnosti zečeva tj. nataliteta lisica pri omogućenim interakcijama, i pretpostavimo da su lisice uvek gladne, tj. da će svakom ukazanom prilikom pojesti zeca. Promene populacija možemo modelirati **Lotka-Voltera sistemom diferencijalnih jednačina**:

$$\begin{aligned}x' &= ax - bxy, x(0) = x_0 \\ y' &= -my + cxy, y(0) = y_0\end{aligned}\tag{2}$$

Iz jednačina sledi da će porast populacije zečeva kao posledicu omogućiti porast populacije lisica, ali kako populacija lisica raste, usled povećanog lova populacija zečeva će opadati. Dalje, kako se bude smanjivala količina hrane za lisice, tako će i njihov broj morati da opadne.

2.1 Stacionarna rešenja sistema

Stacionarno rešenje definišemo kao stanje u kom ne dolazi do promena vrednosti, tj. gde važi $x' = 0$ i $y' = 0$. Transformišući jednačine (2) dobijamo

$$\begin{aligned}x' &= x(a - by) = 0 \\ y' &= y(cx - m) = 0\end{aligned}$$

odakle se vidi da je jedno od rešenja $x = y = 0$, a drugo rešenje odgovara sistemu

$$a - by = 0$$

$$cx - m = 0$$

iz kog jednostavnim transformacijama dobijamo

$$\begin{aligned} x &= \frac{m}{c} \equiv x_s \\ y &= \frac{a}{b} \equiv y_s. \end{aligned} \quad (3)$$

2.2 Primer u Matlabu

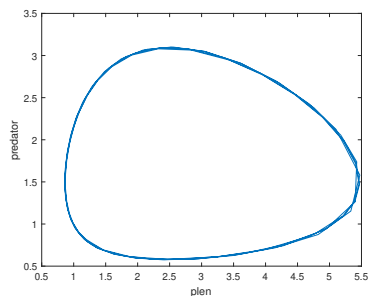
Da bi rešili ovaj sistem jednačina koristićemo Matlab funkciju ode45.

```
params;

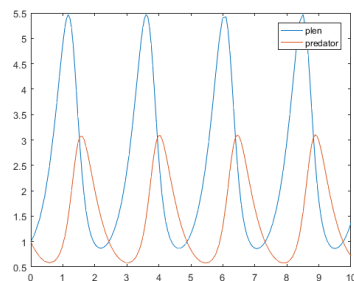
lv_standard = @(t, state) [
    a * state(1) - b * state(1) * state(2);
    c * state(1) * state(2) - m * state(2)
];

[ts, ys] = ode45( ...
    lv_standard, [0, 10], [p_init; g_init] ...
);

plot_figures(ts, ys, lv_standard);
```



Slika 1: Fazni dijagram standardnog modela



Slika 2: Grafik promene populacija kroz vreme za standardni model

3 Logistička modifikacija Lotka-Voltera modela

Može se videti da je prethodni model realističan dokle god je koeficijent priraštaja zečeva konstantan.

Znamo da na realnom, konačnom staništu populacija ne može neograničeno rasti zbog ograničenih raspoloživih resursa. Dakle, stanište može da podrži određen maksimalan broj jedinki neke vrste. Označimo taj broj sa U . Iskoristivši pretpostavku da priraštaj linearno zavisi od veličine

populacija, belgijski matematičar Verhulst je predložio model:

$$\frac{dN(t)}{dt} = rN(t)\left(1 - \frac{N(t)}{U}\right) \quad (4)$$

Ako primenimo logističku formulu u računanju priraštaja populacije zečeva, uračunavamo i zavisnost od odnosa veličine populacije i kapaciteta staništa. Time se dobijaju jednačine:

$$\begin{aligned} x' &= ax\left(1 - \frac{x}{U}\right) - bxy \\ y' &= -my + cxy \end{aligned} \quad (5)$$

3.1 Primer u Matlabu

```

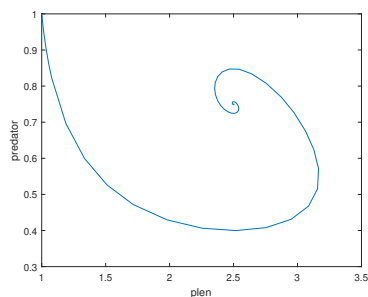
params;

lv_logistic = @(t, state) [
    a * state(1) * (1 - (state(1))/u) - ...
5    b * state(1) * state(2);
    (c * state(1) * state(2) - ...
    m * state(2))
];

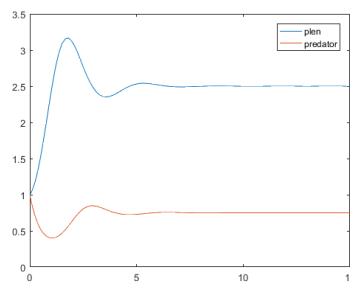
10 [ts, ys] = ode45( ...
    lv_logistic, [0, 15], [p_init; g_init] ...
);

plot_figures(ts, ys, lv_logistic);

```



Slika 3: Fazni dijagram za U=5



Slika 4: Promena populacija za U=5

3.2 Stacionarna rešenja za model sa logističkom modifikacijom

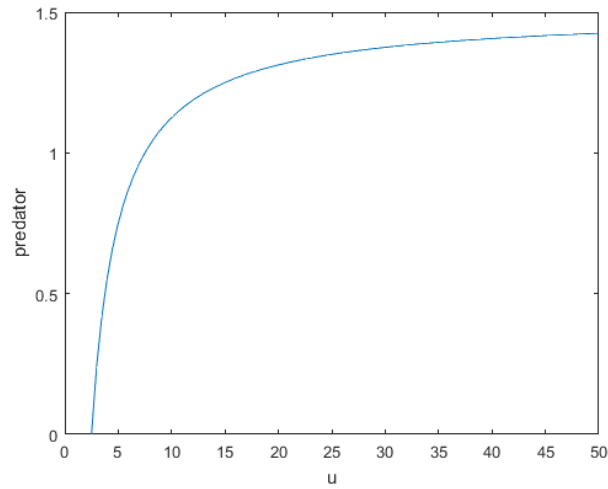
Izjednačavamo jednačine (5) sa 0

$$\begin{aligned} ax\left(1 - \frac{x}{U}\right) - bxy &= 0 \\ -my + cxy &= 0. \end{aligned}$$

Dobijamo da su stacionarna rešenja

$$\begin{aligned} x &= \frac{m}{c} \\ y &= \frac{a}{b} \left(1 - \frac{x}{U}\right). \end{aligned} \quad (6)$$

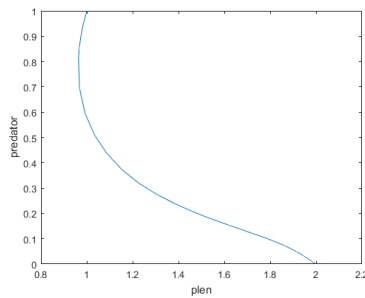
Jasno je da se za fiksne a, b, c i m , stacionarna tačka kreće samo po y osi u zavisnosti od U . Iz (6) sledi da populacija lisica ide ka istrebljenju ako je $U \leq \frac{m}{c}$.



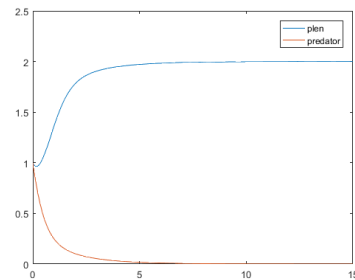
Slika 5: Zavisnost y (predatorske populacije) stacionarnog rešenja od U

3.3 Stanište sa vrlo ograničenim kapacitetom

Koristimo isti model sa parametrima $a = 3, b = 2, c = 1, m = 2.5, U = 2$ i početnom konfiguracijom $x(0) = 1, y(0) = 1$. Sa grafikona vidimo da populacija plena ne raste dovoljno brzo da omogući održanje lisica na staništu.



Slika 6: Fazni dijagram za $U=2$



Slika 7: Promena populacija za $U=2$

4 Zaključak

Osnovni Lotka-Voltera model je dobar za modeliranje vrlo jednostavnih sistema, ali kod kompleksnijih sistema, sa više interakcija i složenijim parametrima ne uspeva da realistično predstavi situaciju. Sa druge strane, usled svoje elegancije i jednostavnosti, izuzetno ga je lako modifikovati ili inkorporirati u druge modele, što ga čini relevantnim i danas.