

POPULIACIJŲ DINAMIKOS IR EVOLIUCIJOS MODELIAVIMAS

Aleksej Olenin

Vilniaus universitetas, Universiteto g. 3, LT-01513 Vilnius

Anotacija. Siekiant ištirti realių ekologinių sistemų elgesį, natūralu pradėti nuo paprastesnių modelių. Šiame straipsnyje aprašomas sistemoje „Matlab R2007b“ sukurtas trijų trofinių lygių modelis, vaizduojantis žolėdžių sąveiką su plėšrūnais, jų populiacijų gausos laikui bėgant ir jiems evoliucionuojant pokyčius.

Pagrindiniai žodžiai: populiacijų dinamika, evoliuciniai modeliai, modeliavimas.

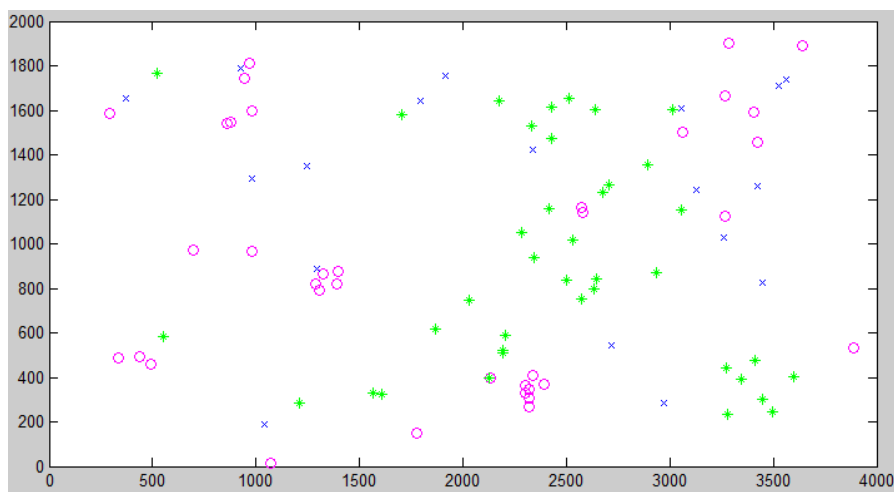
Įvadas

Ekologinių sistemų modeliavimas teikia gilesnį supratimą apie tarprūšinės sąveikos ypatybes. Tačiau, nors sudėtingesni modeliai gali pateikti daugiau informacijos apie objektą, kuris yra modeliuojamas, jie reikalauja daugiau skaičiavimo laiko. Taip pat, paprasti modeliai gali atsirasti sudarant sudėtingesnius modelius (Апонин, 2007).

Šiame straipsnyje yra aprašomas palygintinai paprastas trijų trofinių lygių modelis su evoliucijos mechanizmu, kurio skaičiavimus galima atlikti naudojant personalinį kompiuterį.

1. Modelis

Modelis vaizduoja lauką, kuriame sąveikauja trijų tipų objektai: žolė, žolėdžiai ir plėšrūnai (1 pav.). Laukas yra padarytas taip, kad išėjęs už jo ribų, gyvūnas būtų perkeliamas į priešingą lauko tašką tokiu būdu, kad jo judėjimo greitis ir kryptis nepasikeistų. Simuliacija yra pabaigiamą, kai lauke nelieka žolėdžių arba plėšrūnų.



1 pav. Lauko vaizdas: *-žolė, o-žolėdžiai,x-plėšrūnai.

Žolė. Žolės vienetas yra vaizduojamas simboliu “*”. Jų lauke visada yra fiksuotas kiekis. Kiekvienas žolės vienetas turi tam tikrą energijos kiekį, kuris yra priskiriamas jam simuliacijos pradžioje. Kai vienoje vietoje žolė yra suvalgoma, ji atsiranda kitoje atsitiktinai pasirinktoje vietoje su atsitiktiniu energijos kiekiu.

Gyvūnai. Gyvūnų kiekis yra užduodamas simuliacijos pradžioje. Žolėdžiai yra vaizduojami simboliais “o”, o plėšrūnai – simboliais “x”. Plėšrūnų tikslas yra gaudyti ir valgyti žolėdžius. Žolėdžių tikslas yra valgyti žolę ir neduoti plėšrūnams savęs suvalgyti.

Gyvūno parametrai:

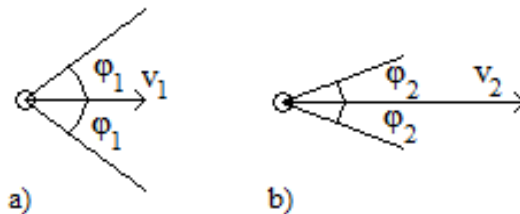
- Energijos kiekis, kurį gyvūnas kaupia, valgydamas, ir, praranda judėdamas;
- Energijos kiekis reikalingas dauginimuisi;
- Regėjimo atstumas – tas, kuriame gyvūnas mato savo maistą (arba plėšrūną);
- Didžiausias galimas posūkio kampas;
- Didžiausias greitis;
- Didžiausias galimas pagreitis.

Žolėdis turi dar vieną parametras – valgymo greitį, t. y. energijos kiekį, kurį jis gauna per laiko vieneta, valgydamas žolę. Plėšrūnui, pagavusiam ir suvalgiusiam žolėdį, atitenka visa jo sukaupta energija.

Kai gyvūnui negresia pavojus ir maistas yra už regėjimo ribos, jis juda, atsitiktinai pasirinkdamas kryptį ir greitį. Bet kuriuo atveju posūkio diapazonas priklauso nuo gyvūno greičio ir yra aprašomas formule:

$$\varphi = \varphi_m \cdot 2^{-\frac{v}{v_m}}$$

kur φ_m – didžiausias galimas posūkio kampas laipsniais, φ – posūkio diapazonas laipsniais, v – greitis (2 pav.).



2 pav. Gyvūno posūkio kampo diapazonas: a) kai greitis v_1 mažas, galimas posūkio kampas φ_1 didelis; b) kai greitis v_2 didelis, φ_2 mažas.

Evoliucijos mechanizmas. Šiame modelyje evoliucija yra realizuojama naudojant modifikuotą J. H. Holland algoritmą (Holland, 1975). Sukaupus tam tikrą energijos kiekį, gyvūnas „padalinamas“ į du gyvūnus. Jų parametrai pakeičiami pagal formulę:

$$P = P_0 \cdot \left(1 + \frac{d \cdot (2r - 1)}{100 \cdot 2^{\frac{k}{m}}} \right)$$

kur P_0 – pradinė parametro vertė, P – keičiamo parametro vertė, d – keitimo diapazonas procentais, r – atsitiktinis dydis tolygiai pasiskirstęs intervale $[0, 1]$, z – suvalgytų žolės vienetų skaičius, m – mutacijos koeficientas, k (plėšrūnams) – suvalgytų žolėdžių skaičius, k (žolėdžiams) = $z + s$, kur z – suvalgytų žolės vienetų skaičius, o s – skaičius kartų, kada

žolėdis paspruko nuo plėšrūnų. Laikui bėgant, tie gyvūnai, kurių parametru mutacijos buvo nesėkmingos, išnyksta dėl to, kad negali rasti maisto arba dėl to, kad yra suvalgomi. Tokiu būdu realizuojama natūralioji atranka.

2. Tyrimas

Kadangi ir paprastieji modeliai tam tikrais atvejais rodo populiacijų skaičiaus nestabilumą (Maiti et al., 2007) tam, kad nustatyti, ar veikia evoliucijos mechanizmas, tyrimo pradžioje lauko ir objektų parametrai buvo parinkti taip, kad arti 50% programos paleidimo kartų modeliavimo procesas pasibaigtų tuo, kad lauke neliktų žolėdžių (1–2 lent.).

1 lentelė. Pagrindiniai parametrai.

Lauko matmenys	2000×4000
Žolės vienetų skaičius	39
Žolės energijos diapazonas	22000
Žolės diametras	10
Žolėdžių skaičius	15
Plėšrūnų skaičius	5
Gyvūno diametras	10

Žolės ir gyvūnų diametras nusako koku atstumu reikia prieiti žolėdžiui prie žolės vieneto, o plėšrūnui prie žolėdžio tam, kad jį suvalgyti.

2 lentelė. Gyvūnų parametrai.

	Žolėdžiai	Plėšrūnai
Pradinis energijos kiekis	5000	10000
Didžiausias greitis	60	45
Didžiausias pagreitis	4	4
Didžiausias galimas posūkio kampas	70	45
Valgymo greitis	700	-
Energijos kiekis, reikalingas dauginimuisi	10000	20000
Regėjimo atstumas	150	200

Buvo atlikta 1100 modeliavimo iteracijų, iš kurių 53% atvejų plėšrūnai išnyko.

Toliau, buvo atlikta 1100 modeliavimo iteracijų, kuomet žolėdžiams buvo suteikta galimybė evoliucionuoti. Tais atvejais, kai plėšrūnai išnykdavo, buvo registruojamas skirtumas tarp likusių ir pirmos kartos žolėdžių pagal formulę:

$$R = 100\% \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{P_{0i} - P_i}{P_{0i}} \right)^2},$$

kur R – skirtumas procentais, i – parametru priskirtas indeksas, n – parametru skaičius, P_{0i} – pirmos kartos žolėdžio i -tojo parametro vertė, P – likusio žolėdžio i -tojo parametro vertė. Analogiškai skaičiavimai buvo atlikti ir plėšrūnams.

Taip pat buvo atlikti populiacijų gausumo kontroliavimo bandymai skirtingoms situacijoms, kai galimybė evoliucionuoti turėjo ir žolėdžiai, ir plėšrūnai. Pasirinktos šios situacijos:

- Priklausomai nuo plėšrūnų ir žolėdžių santykio imituojamas plėšrūnams nuodingo chemikalo, didinančio judėjimui suvartojamos energijos kiekį, įvedimas;
- Priklausomai nuo plėšrūnų ir žolėdžių santykio imituojamas plėšrūnams nuodingo chemikalo, didinančio judėjimui suvartojamos energijos kiekį ir mažinančio regėjimo atstumą įvedimas;
- Priklausomai nuo dviejų plėšrūnų ir žolėdžių santykio imituojamas dviejų plėšrūnams nuodingų chemikalų (iš kurių antrasis yra stipresnis) įvedimas;
- Imituojama medžioklė, kai pašalinamas tam tikras skaičius atsitiktinai išrinktų plėšrūnų.

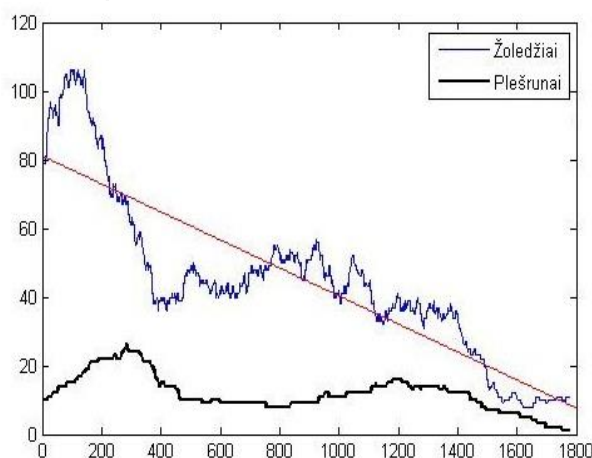
3. Rezultatai ir jų aptarimas

Iš viso buvo atlikta 3300 modeliavimo iteracijų. Jų rezultatai pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė. Atliktų modeliavimo iteracijų rezultatai.

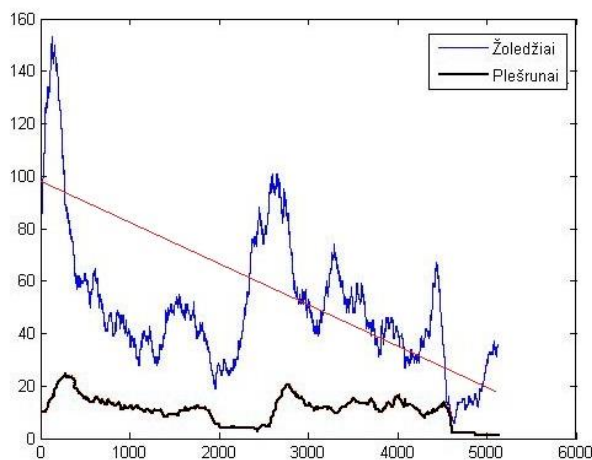
Galimybė evoliucionuoti	Skaičius kartų, kai išgyveno		Vidutinis skirtumas nuo pirmos kartos gyvūnų
	Žolėdžiai	Plėšrūnai	
Neįjungta	53%	47%	-
Įjungta tik žolėdžiams	61,5%	38,5%	35,3%
Įjungta tik plėšrūnams	28%	71,5%	37%

Iš gautų rezultatų galima teigti, kad pateiktas šiame darbe evoliucijos mechanizmas veikia, tačiau žolėdžiai prisitaiko lėčiau negu plėšrūnai. Buvo atlikti bandymai kontroliuoti žolėdžių ir plėšrūnų populiacijų dydį. Iš pradžių, kai plėšrūnų ir žolėdžių santykis viršydavo tam tikrą skaičių, plėšrūnams buvo didinamas judėjimui suvartojamos energijos kiekis (3 pav.). Tai imitavo nuodingo chemikalo patekimą į aplinką.



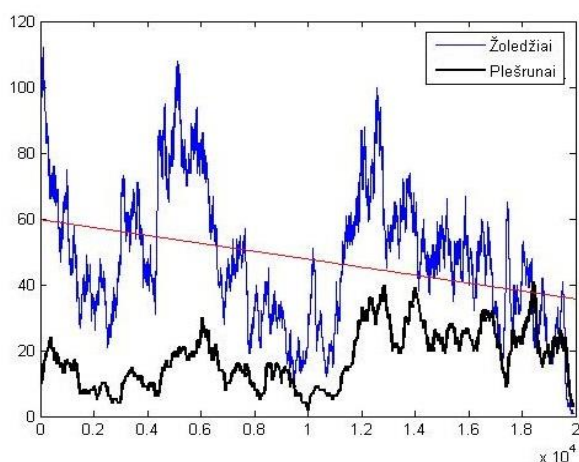
3 pav. Žolėdžių ir plėšrūnų skaičių kitimas laikui bėgant, kai veikia kontrolės mechanizmas: kai jų santykis yra lygus 0,5 plėšrūnų energijos vartojimas padidėja 3,2 kartų.

Toliau buvo įtrauktas chemikalas, veikiantis plėšrūnų energijos vartojimo greitį ir regėjimo atstumą (4 pav.).



4 pav. Žolėdžių ir plėšrūnų skaičiaus kaita laikui bėgant, kai veikia kontrolės mechanizmas: kai jų santykis yra lygus 0,5 plėšrūnų energijos suvartojimas padidėja 3,2 kartų, o regėjimo atstumas sumažėja 2 kartus.

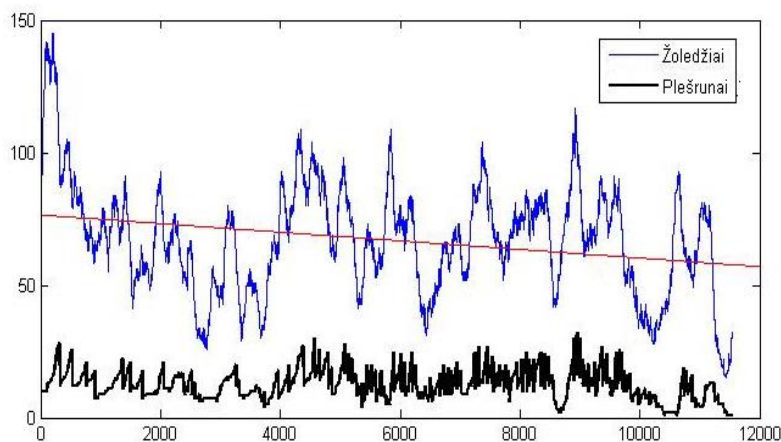
Sekantis kontrolės mechanizmas imituoja dviejų plėšrūnams nuodingų chemikalų naudojimą. Vienas iš jų yra silpnesnis ir yra įvedamas, kai plėšrūnų ir žolėdžių santykis yra mažesnis (5 pav.).



5 pav. Žolėdžių ir plėšrūnų skaičiaus kaita laikui bėgant, kai veikia kontrolės mechanizmas: kai jų santykis yra lygus 0,5 plėšrūnų energijos vartojimas padidėja 1,6 karto, regėjimo atstumas sumažėja 5 kartus, o kai santykis yra lygus 1 – energijos vartojimas padidėja 2,9 kartų, regėjimo atstumas sumažėja iki 15% pradinės vertės.

Iš 4-6 paveikslų matosi, kad nors kontrolės mechanizmai padeda tam tikru mastu stabilizuoti modelį, tačiau dėl to, kad plėšrūnų evoliucija vyksta greičiau, jie prisitaiko prie chemikalų poveikio ir mažesnis jų kiekis per tą patį laiką gali suvalgyti daugiau žolėdžių. Dėl šitos priežasties kiekviename minėtame paveiksle galima matyti vidutinio žolėdžių kiekio mažėjimą.

Todėl, buvo atliktas bandymas kontroliuoti modelį, naudojant medžioklės imitaciją, t. y. kai plėšrūnų ir žolėdžių santykis įgauna tam tikrą vertę, atsitiktiniai plėšrūnai pradeda dingti (6 pav.).



6 pav. Žolėdžių ir plėšrūnų skaičių kitimas laikui bėgant, kai veikia kontrolės mechanizmas: kai jų santykis yra lygus 0,5 plėšrūnų skaičius mažėja po vieną plėšrūną per iteraciją.

Išvados

- Pasiūlytas šiame darbe evoliucijos mechanizmas veikia.
- Kai žolėdžių mutacijos koeficientas priklauso nuo suvalgytos žolės kiekio ir nuo pabėgimų nuo plėšrūnų skaičiaus, jie vystosi lėčiau, negu plėšrūnai.
- Populiacijos gausos kontrolė yra sudėtingas uždavinys, net ir palygintinai paprastoje sistemoje.
- Geriausias iš išbandytų populiacijų kontrolės būdų yra dviejų chemikalų ir medžioklės imitavimo būdai.

Literatūra

- Апонин, Ю. М. (2007). Иерархия моделей математической биологии и численно-аналитические методы их исследования / Математическая биология и информатика, Том 2, No 2: 347–360.
- Holland, J. H. (1975). Adaptation in Natural and Artificial Systems. University of Michigan Press, Ann Arbor.
- Maiti, A. et al. (2007). Deterministic and Stochastic Analysis of a Ratio-Dependent Predator-Prey System with Delay. Nonlinear Analysis: Modelling and Control, Vol. 12, No 3: 383–398.

POPULATION DYNAMICS AND EVOLUTION MODELLING

Aleksej Olenin

Summary

Ecological system modelling is a powerful tool that provides better understanding of interspecies interaction. Although a complex model gives more information about the modelled object it also drastically increases the computational time needed to get that information. In this paper a rather simple three trophic level population dynamics model with an evolution mechanism is described which can be run on any personal computer. The performance capacity of the evolution mechanism was shown by running the model 1100 times for both carnivores and herbivores so that only one type of animals could evolve. Also it was shown that attempts of controlling the population abundances with chemicals or by hunting while being somewhat effective still can be overcome by animals if they have the ability to evolve.

Key words: population dynamics, evolution, modeling.