

UNIVERSITATEA "ALEXANDRU IOAN CUZA" IAȘI  
FACULTATEA DE INFORMATICĂ



LUCRARE DE LICENȚĂ

XYZ

*descriere XYZ*

propusă de

*Denise-Mihaela Goldan*

Sesiunea: Iulie, 2018

Coordonator științific

Conf. dr. Adrian Iftene

UNIVERSITATEA "ALEXANDRU IOAN CUZA" IAȘI  
FACULTATEA DE INFORMATICĂ

XYZ

*Denise-Mihaela Goldan*

**Sesiunea:** Iulie, 2018

**Coordonator științific**  
**Conf. dr. Adrian Iftene**

## **Declarație privind originalitatea și respectarea drepturilor de autor**

Prin prezenta declar că Lucrarea de licență cu titlul "XYZ" este scrisă de mine și nu a mai fost prezentată niciodată la o altă facultate sau instituție de învățământ superior din țară sau străinătate. De asemenea, declar că toate sursele utilizate, inclusiv cele preluate de pe Internet, sunt indicate în lucrare, cu respectarea regulilor de evitare a plagiatului:

- toate fragmentele de text reproduse exact, chiar și în traducere proprie din altă limbă, sunt scrise între ghilimele și dețin referință precisă a sursei;
- reformularea în cuvinte proprii a textelor scrise de către alți autori deține referința precisă;
- codul sursă, imagini etc. preluate din proiecte open-source sau alte surse sunt utilizate cu respectarea drepturilor de autor și dețin referințe precise;
- rezumarea ideilor altor autori precizează referința precisă la textul original.

Iași, XY Iulie 2018

Denise-Mihaela Goldan

## **Declarație de consințământ**

Prin prezența declar că sunt de acord ca Lucrarea de licență cu titlul "XYZ", codul sursă al programelor și celelalte conținuturi (grafice, multimedia, date de test etc.) care însoțesc această lucrare să fie utilizate în cadrul Facultății de Informatică. De asemenea, sunt de acord ca Facultatea de Informatică de la Universitatea Alexandru Ioan Cuza Iași să utilizeze, modifice, reproducă și să distribuie în scopuri necomerciale programele-calculator, format executabil și sursă, realizate de mine în cadrul prezentei lucrări de licență.

Iași, XY Iulie 2018

Denise-Mihaela Goldan

# Cuprins

<b>Problema iterată a prizonierului</b>	<b>6</b>
1 Dilema prizonierului . . . . .	6
2 Strategii pentru dilema prizonierului . . . . .	8
3 Problema iterată a prizonierului . . . . .	9
4 Strategii pentru problema iterată a prizonierului . . . . .	9
4.1 Turneele lui Axelrod . . . . .	9
4.2 Strategii analizate . . . . .	10
<b>Algoritm genetic</b>	<b>12</b>
1 Apariția noțiunii de algoritm genetic . . . . .	12
2 Terminologie . . . . .	13
3 Pseudocod . . . . .	14
<b>Dezvoltarea unei strategii folosind un algoritm genetic</b>	<b>15</b>
1 Modelarea unui algoritm genetic pentru problema iterată a prizonierului . . . . .	15
1.1 Reprezentarea soluției . . . . .	15
1.2 Dimensiunea spațiului de căutare . . . . .	17
1.3 Funcția de optimizat . . . . .	17
1.4 Parametrii algoritmului genetic . . . . .	18
2 Elemente legate de implementarea algoritmului genetic . . . . .	18
3 Limitările algoritmului genetic . . . . .	18
<b>Turnee eliminatorii între strategii</b>	<b>19</b>
1 Cum se modeleaza un turneu . . . . .	19
2 Elemente legate de implementarea turneelor . . . . .	19
3 Concluzii trase în urma finalizării turneelor . . . . .	19

# Problema iterată a prizonierului

## 1 Dilema prizonierului

Dilema prizonierului<sup>1</sup> reprezintă o problemă tratată în teoria jocurilor.

TODO: UN PARAGRAF DESPRE IMPLICATII IN ALTE DOMENII

A fost formulată în anul 1950 de către Merrill Flood și Melvin Dresher, angajați ai companiei RAND Corporation<sup>2</sup>. Denumirea- dilema prizonierului- este meritul lui Albert W. Tucker, de la Universitatea Princeton, care a formalizat jocul și a introdus noțiunea de răsplată (engl. payoff).

Enunțul clasic al problemei este prezentat în paragraful următor:

*Doi suspecti sunt arestați de către poliție. Polițiștii nu au suficiente dovezi pentru a condamna suspectii așa că îi duc în camere separate și le propun aceeași ofertă amândurora. Dacă unul dintre suspecti depune mărturie pentru urmărirea penală împotriva celuilalt suspect și celălalt tănuiește faptele, cel care a trădat este eliberat și cel care a tănuit primește o pedeapsă de 10 ani de închisoare. Dacă ambii suspecti nu mărturisesc, ambii ajung în pușcarie pentru jumătate de an. Dacă se trădează reciproc, fiecare primește o pedeapsă de 5 ani. Suspecții au de ales între a trăda și a tănui faptele.*

---

<sup>1</sup>Adaptare după *Prisoner's Dilemma: Game Theory*, Merrill M. Flood, Melvin Dresher, Albert W. Tucker, Framing Device, Experimental Economics

<sup>2</sup><https://www.rand.org/>

TODO: DE ADAUGAT UN DESEN CARE SA ILUSTREZE MAI CLAR MATRICEA RECOMPENSELOR, dupa modelul de mai jos



Putem formaliza această paragraf prin următoarea matrice a recompenselor, unde cei doi suspecti sunt numiți **A** și **B**<sup>3</sup>. Se prezintă rezultatele obținute pentru fiecare combinație dintre tănuire și marturisire<sup>4</sup>:

Acțiune aleasă		Rezultat obținut	
A	B	A	B
tănuiește	tănuiește	Reward	Reward
tănuiește	mărturisește	Sucker's payoff	Temptation
mărturisește	tănuiește	Temptation	Sucker's payoff
mărturisește	mărturisește	Punishment	Punishment

Tabelul 1: *Adaptare după matricea recompenselor pentru dilema prizonierului*

Termenii care apar în tabel sunt următorii:

<sup>3</sup>Preluat din <https://plato.stanford.edu/entries/prisoner-dilemma/>

<sup>4</sup>Considerăm că atunci când un suspect mărturisește, mărturia să îl incriminează pe celălalt suspect.

- **Temptation:** recompensa obținută de jucatorul ce mărturisește atunci când celălalt tănuiește faptele
- **Reward:** recompensa pentru când cei doi suspecti, A și B, aleg să tănuiască
- **Punishment:** pedeapsa obținută de fiecare dintre cei doi suspecti atunci când se trădează reciproc
- **Sucker's payoff:** pedeapsa pentru cel care a tănuit atunci când celălalt l-a trădat

Pentru a face trecerea de la pedeapsa cu închisoarea la ideea de joc, considerăm că cei 4 termeni reprezintă scoruri de valoare pozitivă și că scopul suspectilor este să obțină un număr cât mai mare de puncte.

Între acești termeni ce reprezintă recompensele, se respectă următorul lanț de inegalități:

**Temptation > Reward > Punishment > Sucker's payoff**

TODO: DE PUS INEGALITATEA INTR-O CASETA

## 2 Strategii pentru dilema prizonierului

Dacă suspectăm că celălalt reținut va tănui faptele, suntem mai avantajați dacă mărturisim (vom fi "răsplătiți" cu **Temptation**, despre care știm că are o valoare mai mare decât **Sucker's payoff**- scorul pe care îl va obține celălalt suspect), decât dacă tănuim (caz în care toți primesc **Reward**; **Temptation > Reward**).

Dacă suspectăm că celălalt va mărturisi împotriva noastră, suntem mai avantajați dacă mărturisim și noi (vom primi amândoi **Punishment**), decât dacă tănuim (caz în care primim **Sucker's payoff**, însă celalt va primi un scor mai bun, **Temptation**).

În alte cuvinte, indiferent de mișcarea celuilalt jucător, **strategia care ne avantajează câștigul personal, în defavoarea câștigului celuilalt jucător, este mărturisirea împotriva acestuia.**

Dilema este dată de faptul că ambii suspecti ar fi obținut un scor mult mai bun dacă ar fi tănuit amândoi (protejând pe celălalt participant),



decât dacă amândoi ar fi ales să mărturisească (în defavoarea celui alt suspect). Pe scurt, cooperarea celor doi aduce cel mai mare avantaj de ambele părți.

### 3 Problema iterată a prizonierului

Dacă s-ar juca mai multe runde, în care ambii jucători ar alege să se trădeze reciproc la fiecare rundă, scorul pe care l-ar obține ar fi mult mai mic decât dacă ar alege să tainuiască faptele în fiecare rundă.

În teoria jocurilor, problema iterată a prizonierului este catalogată drept joc cu suma nenulă <sup>5</sup> (engl. non-zero-sum game).

Un meci între doi jucători este reprezentat de un număr de runde, care nu este cunoscut de către participanți.

În fiecare rundă, cei doi jucători aleg independent, în secret, ce mișcare vor face: vor tăinuia sau vor mărturisi. La final de rundă, cei doi își expun alegerea. În funcție de ce mișcare au ales cei doi, fiecare este răsplătit cu un anumit câștig, care se adaugă la scorul total individual al jucătorilor.

Dacă la o anumită rundă ambii au cooperat, scorul ambilor jucători va crește cu o valoare ce poartă denumirea de **Reward**.

Dacă ambii trădează, vor primi **Punishment payoff**.

Dacă unul cooperează, dar celălalt trădează, cel care a cooperat primește **Sucker's payoff** și celălalt este răsplătit cu **Temptation**.

### 4 Strategii pentru problema iterată a prizonierului

Considerând acest scenariu drept un joc, folosim termenul de **cooperare** (engl. cooperation) pentru a descrie situația când unul dintre suspecti **tăinuiește** faptele. **Mărturisirea** faptelor de către un suspect pentru incriminarea celui alt suspect va fi numită **trădare** (engl. defection).

#### 4.1 Turneele lui Axelrod

Printre studiile profesorului Robert Axelrod, care predă științe politice și politici publice la Universitatea din Michigan, se află și problema iterată a

---

<sup>5</sup>Numim joc de sumă nenulă jocul în care suma câștigurilor este diferită de zero.

prizonierului.

Interesul său de a afla o strategie potrivită l-a determinat să organizeze două turnee de tip *fiecare cu fiecare* (engl. round-robin). În aceste turnee, fiecare participant joacă pe rând împotriva tuturor celorlalți<sup>6</sup>. Primul turneu a inclus 14 programe ce furnizează strategii de joc, iar cel de al doilea a avut un număr de 63 de programe.

Observațiile sale sunt trecute în lucrarea *The Evolution of Cooperation*, scrisă în 1984<sup>7</sup>.

Axelrod a solicitat participanților strategii sub formă unor programe care cunosc istoricul ultimelor trei runde.

Câștigătorul ambelor turnee a fost strategia **Tit-for-Tat**. Această strategie cooperează la prima rundă, apoi, în următoarele runde, utilizează mișcarea făcută de oponent în runda anterioară. În alte formă de idei, cooperează de fiecare dată când celălalt cooperează și trădează când este trădată, dar nu inițiază trădarea.

## 4.2 Strategii analizate

În următoarele rânduri, sunt enumerate câteva strategii analizate:

- **Always cooperate:** Jucătorul cooperează la fiecare rundă a jocului, indiferent de strategia aplicată de celălalt jucător.
- **Always defect:** Jucătorul trădează la fiecare rundă a jocului.
- **Grudger:** Această strategie presupune cooperarea la fiecare rundă, până la prima trădare din partea celui alt jucător. Așadar, adoptând această strategie, dacă oponentul trădează chiar și o singură dată, următoarele mișcări, până la final de joc, vor fi de trădare.
- **Pavlov:** Se alege cooperarea la prima rundă. Dacă la runda anterioară jucătorul a fost recompensat cu **Temptation**<sup>8</sup> sau **Reward**<sup>9</sup>, acesta repetă ultima mișcare. În celălalt caz, alege mișcarea opusă.
- **Random:** Se alege la întâmplare următoarea acțiune.

---

<sup>6</sup><https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/round-robin>

<sup>7</sup>Adaptare după *Genetic Algorithms: An Overview*, Melanie Mitchell, 1995.

<sup>8</sup>**Temptation** este recompensa obținută de jucătorul ce trădează atunci când oponentul cooperează.

<sup>9</sup>**Reward** reprezintă recompensa primită de ambii jucători atunci când cooperează.

- **Tit-For-Tat:** Se alege cooperarea la prima rundă. De la runda a doua, jucătorul ce alege această strategie repetă ultima mișcare a oponentului.
- **Suspicious Tit-For-Tat:** Diferența dintre această strategie și **Tit-For-Tat** este că la prima mișcare se alege trădarea.
- **Tit-For-Two-Tats:** Jucătorul cooperează de fiecare dată, făcând excepție acele cazuri în care jucătorul este trădat de două ori consecutiv.

# Algoritm genetic

## 1 Apariția noțiunii de algoritm genetic

Algoritmii genetici<sup>10</sup> au fost introduși de către John Holland în 1960 și dezvoltați, ulterior, alături de colegii de la Universitatea din Michigan, între anii 1960 și 1970. Holland urmărea înțelegerea fenomenului de adaptare întâlnit în natură și implementarea unor mecanisme adaptive care să fie utilizate în practică, în contextul programării. Cartea publicată de acesta în 1975, *Adaptation in Natural and Artificial Systems* (Holland, 1975/1992) prezintă algoritmii genetici drept abstractizări ale evoluției biologice și oferă un cadru teoretic pentru dezvoltarea acestora.

Algoritmii genetici ai lui Holland sunt metode de a trece de la o populație de cromozomi (e.g., șiruri de biți care reprezintă soluții candidat pentru o problemă) la o nouă populație, prin folosirea selecției, alături de operatorii inspirați din genetică: încrucișare, mutație, inversiune. Cea din urmă este rar folosită în practică.

TODO: DE AFLAT CUM SE IMPLEMENTEAZA, TOTUSI, IN-  
VERSIUNEA

*Computer programs that "evolve" in ways that resemble natural selection can solve complex problems even their creators do not fully understand.*

John H. Holland

Algoritmii genetici au fost creați în încercarea de a imita procese specifice evoluției naturale, cum ar fi lupta pentru supraviețuire și moștenirea

---

<sup>10</sup>Adaptare după *Genetic Algorithms: An Overview*, Melanie Mitchell, 1995.

materialului genetic. Putem privi evoluția drept strategia abordată de speciile biologice pentru a căuta soluții cât mai potrivite, adaptate condițiilor schimbătoare, într-un număr foarte mare de posibilități. Această abordare poate fi utilizată în rezolvarea problemelor de optimizare, atunci când metodele clasice exhaustive nu se dovedesc eficiente.

Noțiunea de algoritm genetic nu este definită în mod riguros[1], însă toate metodele ce poartă această denumire au în comun următoarele: populația este formată din cromozomi, selecția este făcută pe baza rezultatelor funcției de optimizat, încrucișarea a doi *cromozomi părinți* produce doi *cromozomi copii*, mutația se aplică *cromozomilor copii*.

## 2 Terminologie

- Soluțiile candidat sunt adesea codificate în forma unor șiruri de biți și se mai numesc **cromozomi** sau **indivizi** ai populației. Fiecare bit este echivalentul unei gene.
- Genele sunt informațiile stocate de către cromozomi.
- **Populația**, care va fi urmărită în procesul său evolutiv, este alcătuită din mai mulți cromozomi.
- Fiecare **generație** marchează câte o etapă din evoluția populației inițiale.
- Pentru a trece de la o generație la alta, apelăm la noțiunea de **reproducere**. În alcătuirea următoarei generații, se pornește de la populația actuală, pe care o supunem unui proces de **selecție**. Pentru a face analogia cu fenomenul de supraviețuire a celor mai adaptați indivizi, măsurăm cromozomii cu ajutorul unei **funcții de optimizat**. O valoare ridicată a acestei funcții este interpretată ca o bună adaptare la mediu a individului.
- Pentru explorarea spațiului de soluții, indivizii selectați suferă modificări. Sunt supuși **încrucișărilor** și **mutațiilor**.
- Încrucișarea combină genele a doi *cromozomi părinți*, rezultând doi **moștenitori**. Există mai multe variante: cu un punct de tăiere, ales aleator (în care un moștenitor este alcătuit dintr-o porțiune de cromozom de la primul părinte și o porțiune de la al doilea), cu mai multe

puncte de tăiere și uniformă (unde fiecare genă este selectată probabilist de la unul din cei 2 *cromozomi părinți*).

- Mutația alterează gene alese arbitrar dintr-un cromozom. Numărul de gene afectate poate varia.

### 3 Pseudocod

```
inițializează cu valori aleatorii populația inițială
calculează valoarea funcției de optimizat pentru indivizii populației
cât timp nu s-a îndeplinit condiția de oprire
    aplică o metodă de selecție, pentru a crea populația
    aplică operatorul genetic încrucișare, cu o anumită probabilitate
    aplică operatorul genetic mutație, cu o anumită probabilitate
    calculează valoarea funcției de optimizat pentru indivizii populației
```

Condiția de oprire poate fi atingerea unui număr de iterații stabilit inițial. De asemenea, se poate stabili ca algoritmul să se oprească atunci când nu se mai înregistrează îmbunătățiri în ceea ce privește calitatea soluțiilor furnizate.

Soluția returnată de un algoritm genetic reprezintă cel mai bun individ întâlnit în evoluția populației.

# Dezvoltarea unei strategii folosind un algoritm genetic

## 1 Modelarea unui algoritm genetic pentru problema iterată a prizonierului

### 1.1 Reprezentarea soluției

În urma organizării celor două turnee, Axelrod a decis să cerceteze dezvoltarea unei strategii pentru problema iterată a prizonierului, folosindu-se de algoritmi genetici introduși de Holland.

Unul din cei mai importanți pași din acest proces a fost stabilirea unei modalități de a reprezenta o strategie în forma unui cromozom. Descriem concluziile lui Axelrod în rândurile următoare.

Presupunem că fiecare jucător are capacitatea de a memora mișcările ultimei runde sub forma unei perechi- primul element reprezintă mișcarea proprie, iar cel de al doilea element reprezintă mișcarea oponentului. Ne vom folosi de următoarea notatie:

**C** reprezintă **cooperarea cu oponentul**

**T** reprezintă **trădarea oponentului**

Există patru perechi (sau cazuri) posibile:

Cazul 1: **CC**

Cazul 2: **CT**

Cazul 3: **TC**

Cazul 4: **TT**

Pentru acest scenariu, strategia reprezintă ce mișcare vom alege, dat fiind aflarea mișcării oponentului în ultima rundă.

Strategia **Tit-for-Tat** este reprezentată în felul următor:

dacă **CC** atunci **C**  
dacă **CT** atunci **T**  
dacă **TC** atunci **C**  
dacă **TT** atunci **T**

Dacă impunem ca aceste patru cazuri să respecte ordinea lexicografică, putem codifica strategia drept șirul de caractere **CTCT**. Ca să utilizăm această reprezentare a strategiei:

- Observăm ce a ales oponentul în runda anterioară;
- Formăm perechea compusă din mișcarea noastră, împreună cu cea a oponentului;
- Vedem indexul care corespunde perechii obținute la pasul anterior;
- Alegem mișcarea pe care o găsim la indexul respectiv.

Strategiile lui Axelrod se bazează pe istoricul ultimelor trei runde. Pentru acestea, există 64<sup>11</sup> de posibile scenarii pentru ultimele trei runde:

Cazul 1: **CC CC CC**  
Cazul 2: **CC CC CT**  
Cazul 3: **CC CC TC**

...

Cazul 62: **TT TT CT**  
Cazul 63: **TT TT TC**  
Cazul 64: **TT TT TT**

Ca și în ipoteza în care jucătorii memorează doar istoricul ultimei runde, putem reprezenta aceste cazuri într-un șir de caractere de lungime 64. Vom folosi un șir de caractere de lungime 71, pentru a reține și ce mișcări ar trebui făcute în primele runde, când încă nu există un istoric care să

---

<sup>11</sup>64, sau 2<sup>6</sup>, reprezintă numărul de șiruri de caractere unice pe care le putem genera folosind doar caracterele **C** și **T**



cuprindă ultimele trei runde. Cele 7 poziții de la începutul șirului de caractere au următoarele semnificații:

1. La **poziția numărul 1** se găsește mișcarea aleasă pentru prima rundă a jocului;
2. **Poziția numărul 2**: mișcarea pentru cea de a doua rundă, dacă la rundă anterioară oponentul a cooperat (**C** reprezintă istoricul mișcărilor oponentului);
3. **Poziția numărul 3**: mișcarea pe care o vom face la cea de a doua rundă, dacă la rundă anterioară oponentul a trădat (istoricul mișcărilor oponentului este scris sub forma **T**);
4. **Poziția numărul 4**: mișcarea pe care o vom face la cea de a doua rundă, dacă pentru primele două runde, istoricul oponentului este **CC**;
5. **Poziția numărul 5**: mișcarea pentru cea de a treia rundă, dacă pentru primele două runde, istoricul oponentului este **CT**;
6. **Poziția numărul 6**: mișcarea pentru cea de a treia rundă, dacă pentru primele două runde, istoricul oponentului este **TC**;
7. **Poziția numărul 7**: mișcarea pentru cea de a treia rundă, dacă la primele două runde oponentul a avut mișcările **TT**.

## 1.2 Dimensiunea spațiului de căutare

Având 71 de poziții pe care le putem ocupa cu cele două caractere- **C** sau **T** , putem genera  $2^{71}$  șiruri de caractere distincte. Acest număr reprezintă numărul tuturor strategiilor pe care îl putem avea, în contextul în care cunoaștem istoricul ultimelor trei runde ale jocului.

Spațiul de căutare este, în concluzie, mult prea mare pentru a cauta exhaustiv cea mai bună strategie.

## 1.3 Funcția de optimizat

Axelrod a alcătuit un set de opt strategii cu care să concureze fiecare strategie a algoritmului genetic, în vederea calculării unei funcții de optimizat.

Acest set de strategii nu include strategia **Tit-for-Tat**. Valoarea funcției de optimizat este dată de media scorurilor obținute în urma meciurilor jucate cu fiecare dintre ele opt strategii.

## 1.4 Parametrii algoritmului genetic

Prin utilizarea unui algoritm genetic, pot obține o copie a celui mai bun individ din toate generațiile care au participat la antrenare. În alte cuvinte, acest cromozom conține strategia care a obținut cea mai bună valoare a funcției de optimizat.

Pentru crearea acestui individ, este nevoie de ajustarea mai multor parametri și opțiuni, dintre care menționez: rata mutației, rata încrucișării, tipul selecției populației (populația diferă ușor de la generație la generație, selectându-se doar anumiți indivizi și în anumite proporții). Cromozomul are capacitatea de a-și formula următoarea mișcare bazându-se pe istoricul ultimelor trei runde. Din acest motiv este important ca un meci să fie format din mai multe runde. Așadar, numărul de runde reprezintă și acesta un parametru pentru antrenarea cromozomilor.

– OBSERVAȚII CLARE OBTINUTE ÎN URMĂ UNOR EXPERIMENTE legat de modul în care parametrii influențează calitatea soluțiilor

## 2 Elemente legate de implementarea algoritmului genetic

- CUM AM IMPLEMENTAT EU ACEASTĂ PROBLEMA
  - UȘURINȚA CU CARE SE POATE CREA O NOUĂ STRATEGIE
  - UNIT TESTS

## 3 Limitările algoritmului genetic

- care sunt limitările unui algoritm genetic aplicat pe această problema?

# Turnee eliminatorii între strategii

- 1 Cum se modeleaza un turneu
- 2 Elemente legate de implementarea turneelor
- 3 Concluzii trase in urma finalizarii turneelor

# Bibliografie

- [1] Abcdef *An introduction to Genetic Algorithms*  
Melanie Mitchell
- [2] Melanie Mitchell. *Genetic Algorithms: An Overview*. 1995.
- [3] Albert Einstein. *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*. (German)  
[*On the electrodynamics of moving bodies*]. Annalen der Physik,  
322(10):891–921, 1905.
- [4] Knuth: Computers and Typesetting,  
<http://www-cs-faculty.stanford.edu/~uno/abcde.html>