

**Opera suspicionată (OS)**  
**Suspicious work****Opera autentică (OA)**  
**Authentic work**

OS	Filimon, M. V., „Securizarea accesului, interogarea și sincronizarea bazelor de date distribuite utilizând tehnici de inteligență artificială.” Teză de doctorat, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 2011.
OA	Rotar, C., „Endocrine Control Evolutionary Algorithm”, <i>SYNASC '10 Proceedings of the 2010 12th International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing</i> , Timișoara, România, p. 174 - 181, 23-26 Sept 2010.

**Incidența minimă a suspiciunii / Minimum incidence of suspicion**

p.57:05 – p.57:07	p.3:11d – p.3:13d
p.57:22 – p.57:24	p.3:22d – p.3:24d
p.57:28 – p.57:40	p.4:33s – p.4:46s
p.58:01 – p.58:09	p.3:52d - p.4:14s
p.58:11 – p.58:24	p.4:06d – p.4:27d
p.58:25 – p.58:32	p.4:28d – p.4:41d
p.59:01 – p.59:32	p.4:42d – p.5:33s
p.59:34 – p.60:31	p.5:25s – p.5:35d

Fișa întocmită pentru includerea suspiciunii în Indexul Operelor Plagiate în România de la [www.plagiate.ro](http://www.plagiate.ro)



## PROCES – VERBAL AL ȘEDINȚEI PUBLICE DE SUSȚINERE A TEZEI DE DOCTORAT

Astăzi, 09.09.2011, la Facultatea de Automatică și Calculatoare, a avut loc ședința publică de susținere a tezei de doctorat intitulată **“Securizarea accesului, interogarea și sincronizarea bazelor de date distribuite utilizând tehnici de inteligență artificială”**, elaborată de doctorand(a) **ing. Filimon Maria Viorela**.

Susținerea publică a tezei de doctorat s-a desfășurat în prezența Comisiei pentru evaluarea și susținerea publică a tezei de doctorat *Comisie*, aprobată prin Ordinul **nr. 370/19.07.2011**, al Rectorului *Universității Tehnice din Cluj-Napoca*, fiind respectate toate condițiile prevăzute de reglementările oficiale în vigoare.

Pe baza celor constatate la evaluarea și în timpul susținerii publice a tezei de doctorat, *Comisia* a deliberat și a acordat tezei de doctorat calificativul(1) **“FOARTE BINE”**.

Pe baza calificativelor primite de doctorand(ă) la examenele și rapoartele de cercetare, din Contractul disciplinelor și Programul de Cercetare Științifică, precum și la teza de doctorat și având în vedere gradul de îndeplinire a cerințelor preliminare privind conferirea titlului științific de doctor, *Comisia* a deliberat și a hotărât să (2) **...CONFERE...** doctorandului(ei) titlul științific de **doctor** în domeniul: **Ingineria sistemelor**.

### Comisia pentru evaluarea și susținerea publică de a tezei de doctorat

Titlul, Prenumele și Numele	Calitatea	Calificativul acordat	Semnătura
Prof.dr.ing. <b>Sergiu Nedevschi</b>	- Președinte	foarte bine	
Prof.dr.ing. <b>Honoriu Vălean</b>	- Cond. de doctorat	M	foarte bine
Prof.dr.ing. <b>Octavian Proștean</b>	- Referent	foarte bine	
Prof.dr.ing. <b>Ioan Ileană</b>	- Referent	foarte bine	
Prof.dr.ing. <b>Mihail Abrudean</b>	- Referent	foarte bine	VOT ÎN SCRIS 

(1) **foarte bine; bine; satisfăcător** (caz în care se prezintă, scris, elementele ce urmează a fi refăcute sau completate în teza de doctorat).

(2) **a conferi; a nu conferi** (caz în care se prezintă, scris, motivația).

Secretar școală doctorală,  
**Ec. Maria Rodica BRAD**



**UNIVERSITATEA TEHNICĂ**  
DIN CLUJ-NAPOCA

FACULTATEA DE AUTOMATICĂ ȘI CALCULATOARE

*Maria Viorela Filimon*

# TEZĂ DE DOCTORAT

## SECURIZAREA ACCESULUI, INTEROGAREA ȘI SINCRONIZAREA BAZELOR DE DATE DISTRIBUITE UTILIZÂND TEHNICI DE INTELIGENȚĂ ARTIFICIALĂ

Conducător științific,  
Prof.dr.ing. **Honoriu VĂLEAN**

### Comisia de evaluare a tezei de doctorat:

- PREȘEDINTE: - Prof.dr.ing. *Sergiu Nedevschi* - Decan, Facultatea de Automatică și  
Calculatoare, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca;
- MEMBRI: - Prof.dr.ing. *Honoriu Vălean* - Conducător științific, Facultatea de  
Automatică și Calculatoare, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca;  
- Prof.dr.ing. *Octavian Proștean* - Referent, Universitatea „Politehnica”  
din Timișoara;  
- Prof.dr. ing. *Ioan Ileană* - Referent, Universitatea „1 Decembrie 1918”  
din Alba Iulia;  
- Prof.dr.ing. *Mihail Abrudean* – Referent, Facultatea de Automatică și  
Calculatoare, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca.

# CUPRINS

<b>1. Introducere</b> .....	5
<b>2. Descrierea procesului de extragere a cunoștințelor din baze de date</b> .....	7
2.1. Preprocesarea datelor.....	10
2.1.1. Curățarea datelor.....	11
2.1.2. Integrarea datelor.....	12
2.1.3. Transformarea datelor.....	13
2.1.4. Reducția datelor.....	13
2.1.5. Discretizarea datelor.....	16
2.2. Metode pentru extragerea cunoștințelor.....	18
2.2.1. Clasificarea / regresia.....	18
2.2.2. Clusterizarea.....	28
2.2.3. Analiza dependențelor dintre legături.....	32
2.2.4. Identificarea anomaliilor și deviațiilor.....	34
2.3. Metode de evaluare a modelelor descoperite.....	35
2.3.1. Curbe de învățare.....	35
2.3.2. Costul și acuratețea clasificării.....	36
2.3.3. Curbe ROC.....	37
2.3.4. Comparația statistică a performanțelor clasificării.....	38
<b>3. Baze de date distribuite versus baze de date centralizate</b> .....	39
<b>4. Metode inteligente de securizare a bazelor de date distribuite</b> .....	43
4.1. Reguli de decizie.....	44
4.2. Algoritmi evolutivi.....	46
4.3. Clasificatori bazați pe reguli de decizie și algoritmi evolutivi pentru detecția intrușilor.....	54
4.4. Proiectarea unor clasificatori bazați pe reguli de decizie și algoritmi evolutivi cu control endocrin pentru detecția intrușilor. Dezvoltarea unor metode de clusterizare bazate pe densitate.....	57
<b>5. Metode inteligente de interogare și sincronizare a bazelor de date distribuite</b> .....	65
5.1. Mașini cu suport vectorial. Considerații matematice.....	65
5.1.1. Mașini cu suport vectorial pentru clasificarea binară.....	65
5.1.2. Clasificarea în mai multe clase.....	72
5.1.3. Optimizarea minimă secvențială.....	73
5.2. Clasificarea Cost-Sensitive utilizând mașini cu suport vectorial.....	74
5.3. Proiectarea unor metaclasificatori utilizând mașini cu suport vectorial.....	75
<b>6. Rezultate experimentale</b> .....	79
<b>6.1. Evaluarea metodelor inteligente de securizare pentru baze de date distribuite</b> .....	79
6.1.1. Descrierea bazelor de date distribuite utilizate.....	79
6.1.2. Lansarea atacurilor în rețelele considerate.....	82
6.1.3. Preprocesarea datelor colectate.....	91
6.1.4. Evaluarea clasificatorului bazat pe reguli de decizie (RIPPER) și algoritmi genetici (AG).....	103
6.1.5. Evaluarea clasificatorului bazat pe reguli de decizie (RIPPER) și algoritmi evolutivi cu control endocrin (ECEA) dezvoltat.....	109

În cazul atributelor numerice, la fel ca și în cel al operatorului de mutație a ponderilor, la valoarea atributului a fost adăugat un număr foarte mic, sau din valoarea acestuia a fost scăzut un număr foarte mic.

Convergența înspre soluțiile problemei a fost favorizată prin specificarea a trei condiții de terminare a algoritmului. Astfel, algoritmul s-a oprit dacă:

1. Fitness-ul celui mai performant individ a fost egal cu un prag specificat;
2. Diferența dintre cel mai performant individ și cel de după el a fost sub un prag specificat;
3. Algoritmul a executat un anumit număr de iterații.

Modul de interacțiune a componentei genetice cu cea de clasificare este ilustrat în Fig. 9.

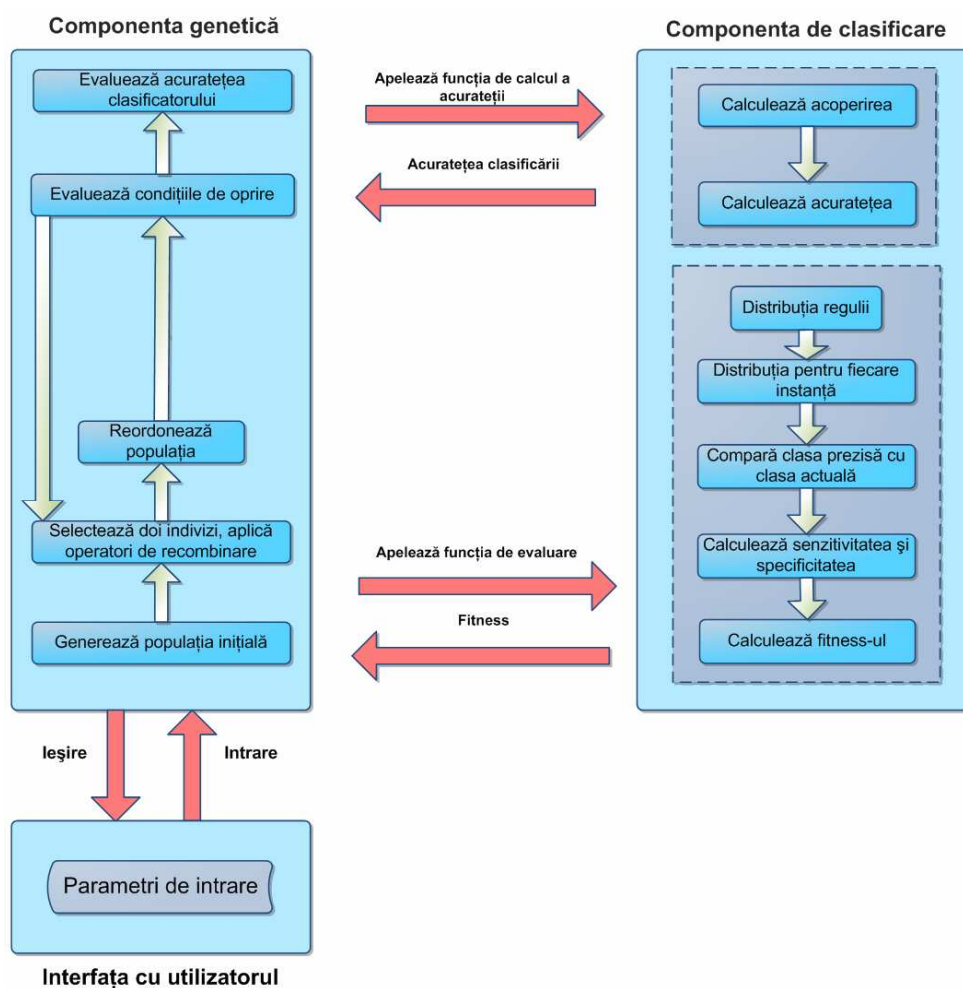


Fig. 9 – Interacțiunea componentei genetice cu cea de clasificare

Fiecare rulare a algoritmului genetic a rezolvat o problemă de clasificare binară (în două clase, *two-class classification*), al cărei scop a fost acela de a prezice clasa unei instanțe. Astfel, algoritmul genetic a fost rulat cel puțin o dată pentru fiecare valoare a atributului clasă. În cazul în care aplicația ar fi avut șase clase, ar fi fost necesar să rulăm algoritmul de șase ori. La prima rulare, acesta ar fi căutat regulile care prezic cel mai bine prima clasă, la cea de-a doua rulare ar fi căutat regulile care prezic cea de-a doua clasă, ș.a.m.d. În momentul în care algoritmul caută regulile care prezic o clasă dată, toate celelalte clase sunt concatenate într-o clasă mai mare, în care se află instanțele care nu aparțin clasei prezise de regulă. Astfel, acest algoritm genetic poate fi aplicat și în cazul problemelor de clasificare în mai multe clase.

#### 4.4. Proiectarea unor clasificatori bazați pe reguli de decizie și algoritmi evolutivi cu control endocrin pentru detecția intrușilor. Dezvoltarea unor metode de clusterizare bazate pe densitate

Pentru găsirea celor mai bune reguli cu scopul creșterii performanței clasificatorului am propus, în locul algoritmului genetic descris anterior, un algoritm evolutiv cu control endocrin. Acesta a conținut o procedură suplimentară pentru controlul diversității și convergența spre cele mai bune reguli de clasificare, procedură inspirată de particularități funcționale ale sistemului hormonal.

Din punct de vedere biologic, sistemul endocrin este reprezentat de o colecție de glande ce secretă mesaje chimice numite hormoni. Aceste semnale ajung prin sistemul circulator la organele țintă corespunzătoare care prezintă celule ce conțin receptori adecvați. Receptorii celulelor țintă recunosc și se leagă de un singur tip de hormon. Hormonii provoacă modificări profunde la nivelul celulelor țintă.

Fiecare tip de hormon controlează o anumită clasă de celule numite celule țintă. Fiecare tip de hormon are o formă specifică recunoscută doar de către celulele țintă cărora i se adresează. Nu există organe, celule sau procese biologice care să nu fie influențate de semnalele hormonilor.

Hipotalamusul (în zona căruia se află principala glandă a sistemului endocrin, hipofiza), prin hormonii săi (hormonii de eliberare și de inhibare) controlează printr-un mecanism de feedback negativ acționează asupra hipofizei modulând secreția de hormoni hipofizari.

Mecanismul de adaptare a concentrației de hormoni specifici și păstrarea în limite normale a nivelului de concentrare a diferitelor tipuri de hormoni reprezintă o sursă de inspirație pentru algoritmul propus. Diversitatea populației – condiție necesară unei bune funcționări a algoritmului evolutiv pentru probleme de optimizare a fost menținută printr-o procedură inspirată de particularitatea sistemului endocrin.

O trăsătură importantă a algoritmului proiectat este abilitatea acestuia de a menține o balanță între explorarea și exploatarea spațiului de căutare. Primul concept se referă la capacitatea populației de a acoperi spațiul soluțiilor posibile prin căutare globală și este strâns legat de proprietatea de diversitate a populației. Cel de-al doilea concept se referă la capacitatea populației de a asigura căutarea locală în zonele promițătoare ale spațiului și corespunde unei îmbunătățiri a indivizilor în vederea obținerii unei aproximări mai bune a soluțiilor finale.

Ideea de bază a metodei propuse a fost de a menține două populații: o populație activă de indivizi (hormoni): *H*, și o populație pasivă de soluții nedominate (denumiți hormoni tropi): *T*. Membrii populației pasive *T* s-au comportat ca o colecție de elite, având suplimentar funcția de a ghida populația activă înspre frontul Pareto, păstrând-o pe cât posibil bine distribuită în spațiul de căutare [104]. Aceste două populații au corespuns celor două clase de hormoni din paradigma endocrină:

- Hormonii specifici, care sunt eliberați de diferite glande ale organismului – populația activă *H*.
- Hormonii de control (tropii), care sunt produși la nivelul de control al sistemului endocrin pentru a superviza activitatea și densitatea fiecărui tip de hormon specific – populația pasivă *T*.

Fiecare individ (hormon) al populației de bază a reprezentat o soluție posibilă în spațiul de căutare. Codificarea acestuia a fost făcută în aceeași manieră cu cea a cromozomului din algoritmul genetic standard propus în subcapitolul anterior (compus din pondere, operator relațional, valoare), exceptând informația suplimentară pe care o deține un hormon. Această informație conține receptorul și un cod binar care notifică dacă hormonul este activ sau nu:

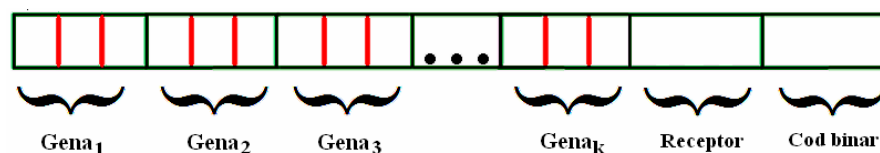


Fig. 10 – Reprezentarea unui hormon

Receptorul furnizează informație despre cluster-ul asociat controlat de un anumit trop și este legat de o anumită regiune din spațiul de căutare. Conform valorii receptorului, hormonii cu același receptor formează o subpopulație care corespunde unei soluții de optim și care este controlată de un trop. În timpul evoluției, numărul de cluster-e din populație, respectiv numărul de tropi, este variabil. De asemenea, valoarea receptorului se modifică o dată cu dimensiunea populației de tropi.

Codul binar, cu valorile 0 sau 1, se referă la integrarea sau neintegrarea unui hormon în cluster-ul tropului corespunzător. De fiecare dată când populația de tropi este actualizată, codul binar al hormonului este resetat la valoarea zero. În plus, acest câmp devine util atunci când este necesară o decizie în ceea ce privește înlocuirea unui hormon părinte cu descendentul său.

#### 4.4.1. Clusterizarea populației de hormoni și actualizarea tropilor

Fiecare trop controlează o subpopulație de hormoni, dimensiunea populației tropilor fiind mai mică decât dimensiunea populației hormonilor. Mărimea unui cluster depinde de densitatea populației din zonele promițătoare, asociate cu un optim. În timpul grupării hormonilor în cluster-e, fiecare hormon își va obține receptorul și statusul de activ. Receptorul reprezintă valoarea în funcție de care tropii sunt legați de hormonii pe care îi controlează. Un trop are valoarea receptorului egală cu cea a cluster-ului de hormoni pe care îi controlează. Densitatea tropilor dintr-o anumită zonă a spațiului de căutare poate fi determinată în funcție de dimensiunea cluster-ului. Procedura de clusterizare ia în considerare un parametru care reprezintă raza cluster-elor posibile. Acest parametru, notat cu  $\rho$  este calculat utilizând formula:

$$\rho = \left(1 - \frac{1}{n}\right) \cdot \frac{\sum_{i=1}^{\dim H} \sum_{j=i+1}^{\dim H} \text{Dist}(H(i), (H(j)))}{\dim H^2 + \dim H + 1}, \quad (56)$$

unde

$n$  - reprezintă dimensiunea spațiului de căutare,

$\dim H$  - reprezintă dimensiunea populației de hormoni,

$\text{Dist}(H(i), (H(j)))$  - reprezintă distanța euclidiană în spațiul de căutare între hormonii  $i$  și  $j$  din populația  $H$ .

Cu ajutorul valorii  $\rho$  calculate anterior pot fi identificate cluster-ele de hormoni și poate fi actualizată populația de tropi. Deci, un hormon va înlocui un trop din populația de elite  $T$  și, de asemenea, acesta rămâne un hormon inactiv în populația  $H$ . Statusul de activitate al hormonului reprezintă calitatea sa de a participa sau nu la următoarea etapă a procedurii de clusterizare. De exemplu, dacă un hormon a fost deja adăugat într-un cluster și receptorul său a fost stabilit, acel hormon nu va mai fi luat în considerare pentru alt cluster, chiar dacă distanța euclidiană dintre aceasta și un alt trop va fi mai mică decât raza  $\rho$ . În final, fiecare hormon va face parte dintr-un cluster, corespunzător tropului de control, iar tropii vor reprezenta cele mai bune soluții din fiecare cluster al populației de hormoni  $H$ .

Procedura funcționează în modul următor: în prima etapă, hormonii sunt sortați cu ajutorul funcției fitness. În cea de-a doua etapă, începând cu cel mai bun hormon, populația de tropi este construită prin includerea hormonului curent și stabilirea receptorului său cu scopul de a permite tropilor să-și recunoască hormonii pe care îi vor controla. Mai mult, la acest pas, alți hormoni din  $H$  care nu au fost incluși până acum în vreun cluster și se află în vecinătatea noului trop vor primi aceeași valoare a receptorului, iar statusul lor devine inactiv. Hormonii izolați, care rămân neclusterizați, vor forma un cluster rezidual, însă acesta nu va furniza cel mai bun hormon ca fiind membru al populației de tropi.

Tehnica de clusterizare propusă face parte din categoria metodelor bazate pe densitate, pentru rularea acestora nefiind necesar numărul de cluster-e din setul de date ca și parametru de intrare. De fapt, numărul de cluster-e este un parametru de ieșire și este egal cu numărul de soluții optime din domeniul de căutare. Formula de clusterizare utilizată estimează distanța maximă pentru care doi hormoni sunt considerați similari, corespunzând aceleiași zone a spațiului de căutare. Această rază  $\rho$  este calculată fără parametri adiționali, dificil de stabilit.

*procedura ActualizareTropi*

$T = \{\}$  // șterge tropii vechi

$dimT = 0$

Calculează  $\rho$  - raza posibilelor cluster-e

Ordonează hormonii în funcție de valoarea fitness a acestora

pentru fiecare hormon  $h$  din  $H$  execută

$h.receptor = 0$

sfârșit pentru

pentru fiecare hormon  $h$  din  $H$  execută

dacă  $h.receptor = 0 \wedge h.inactiv = 0$  atunci

$T = T \cup \{h\} : dimT = dimT + 1$

$h.receptor = dimT : h.inactiv = 1$

pentru fiecare  $k$  din  $H$  execută

dacă  $k.receptor = 0 \wedge Dist(k, h) \leq \rho$  atunci

$k.receptor = dimT : k.inactiv = 1$

sfârșit dacă

sfârșit pentru

sfârșit dacă

sfârșit pentru

#### 4.4.2. Controlul feedback-ului

Procedura de control al feedback-ului este responsabilă cu menținerea balanței între explorarea și exploatarea spațiului de căutare. Fiecare hormon are propria probabilitate de a-și înlocui părintele. Întâi, noul



hormon este comparat cu părintele său și cu tropul de control corespunzător. Apoi, fiecare nou hormon își va înlocui părintele dacă noul hormon este mai performant decât tropul de control corespunzător sau dacă valoarea performanței sale este cuprinsă între valoarea performanței părintelui și cea a tropului; astfel dacă noul hormon are o performanță mai mică decât a tropului de control sau decât a părintelui, acesta va supraviețui în următoarea generație cu o valoare mai mică a probabilității, calculată după formula:

Fie raportul  $\lambda_i$  calculat după formula:

$$\lambda_i = \frac{1}{|C(H(i))|} \cdot \sum_{i=1}^{|C(H(i))|} \{1 \mid w_i = \text{adev\~{a}rat}\} \quad (57)$$

Atunci

$$p_H(H(i)) = \lambda, \text{dac\~{a}} \lambda \leq c, \quad (58)$$

$$p_H(H(i)) = 0, \text{altfel} \quad (59)$$

unde

- $\lambda_i$  reprezintă raportul dintre hormonii cluster-ului  $i$  care și-au mărit performanțele în ultima generație și numărul total de hormoni ai cluster-ului  $i$ ;
- $c$  este un parametru predeterminat din intervalul  $[0,1]$ . (de ex. 0,2).
- $C(H(i))$  reprezintă cluster-ul de hormoni  $H(i)$ .

Fiecare trop este însoțit de o secvență compusă din valori de tip Boolean. Fiecare componentă a secvenței corespunde unui hormon din cluster-ul controlat de tropul respectiv, iar valoarea „adevărat” este stabilită dacă hormonul rezultat în ultima acțiune este mai performant decât părintele său, sau dacă performanța acestuia este apropiată de cea a tropului corespunzător. Dimensiunea secvenței este egală cu dimensiunea cluster-ului. Astfel, raportul dintre numărul valorilor „adevărat” și dimensiunea secvenței reprezintă o măsură a apariției unei schimbări în mediu. De exemplu, dacă întregul cluster de hormoni va fi foarte apropiat de un anumit trop în ultima generație, înseamnă nu este afectată poziția optimului din acea zonă; în caz contrar, dacă scade performanța întregului cluster înseamnă că optimul a fost înlocuit și că acest cluster nu mai este apropiat de poziția curentă a optimului. În momentul în care apare o schimbare în mediu, aceasta este sesizată de către populația de hormoni prin intermediul valorii probabilistice  $p_H$  care crește. În final, valoarea  $p_H$  regrupează instanțele în noi cluster-e în funcție de noua configurație a optimului în spațiul de căutare.

Procesul se desfășoară fără un extra-mecanism care să raporteze dacă are loc sau nu o schimbare în mediu. Balanța este obținută prin permiterea supraviețuirii descendenților cu o performanță redusă, în cazul apariției unei schimbări. În acest fel este mărită diversitatea și este reluat procesul de explorare. Tehnica încurajează supraviețuirea celor mai performanți hormoni, iar procedura de înlocuire este una elitistă.

*procedura Feedback*

*pentru fiecare  $t$  din  $T$  execută*

*Calculează valorile  $\lambda_i$*

*pentru fiecare  $h$  din  $C(t)$  execută*

*dacă  $\lambda(t) \leq c$*

*atunci*

$$p_H(h) = \lambda(t)$$

altfel

$$p_H(h) = 0$$

sfârșit dacă

sfârșit pentru

sfârșit pentru

unde

-  $\lambda(t)$  reprezintă raportul dintre hormonii cu o performanță îmbunătățită în ultimul pas și numărul total de hormoni din cluster-ul controlat de tropul  $t$ .

-  $C(t)$  este cluster-ul controlat de tropul  $t$ .

### 4.4.3. Căutarea

Populația de hormoni evoluează prin folosirea operatorilor evolutivi mutație și selecție. Astfel, populația de bază explorează spațiul de căutare, în timp ce populația de tropi se comportă ca o populație de elite și, de asemenea, ca lider între punctele multiple de optim. Hormonii sunt selectați utilizând mecanismul de selecție turneu, respectiv utilizând algoritmul ruletei, în funcție de valorile probabilităților  $p_H$  calculate. Un hormon este preferat dacă valoarea  $p_H$  a probabilității sale este mare. Scopul acestei proceduri este acela de a încuraja explorarea acelor zone ale spațiului de căutare care sunt mai critice în ceea ce privește prezența optimului identificat. Dacă, într-un anumit cluster, valoarea  $p_H$  este mare, înseamnă că hormonii nu au fost capabili să-și crească performanța în ultimele generații, iar tropul din cluster-ul respectiv nu este aproape de un potențial optim. Hormonii dintr-un cluster instabil vor suferi efecte ale mutației. O valoare  $p_H$  mai mică sau nulă indică faptul că în ultimele generații cluster-ul s-a stabilit într-o regiune cu un optim posibil, iar hormonii din cluster-ul respectiv au șanse să fie păstrați în următoarele generații.

Descendenții hormonilor mutați își înlocuiesc părinții în anumite circumstanțe, altfel părinții supraviețuiesc. După obținerea unui hormon, acesta este comparat cu tropul corespunzător, criteriul de comparație fiind valoarea fitness a acestora:

1) Dacă performanța hormonului este mai mare decât a tropului și locația sa este în vecinătatea tropului de control al cluster-ului părintelui, atunci noul hormon își va înlocui părintele, iar părintele va deveni inactiv, altfel:

2) Dacă performanța descendentului este mai mare decât a părintelui și dacă părintele nu se află printre tropi, atunci descendentul supraviețuiește înlocuindu-și părintele, iar părintele devine inactiv, altfel:

3) Dacă valoarea  $p_H$  a părintelui este diferită de zero, iar părintele este încă activ, atunci noul hormon își va înlocui părintele, iar părintele devine inactiv.

Cele trei situații de înlocuire a părintelui se exclud reciproc.

Părintele supraviețuiește doar dacă descendentul său este mai puțin performant și dacă părintele este nesigur în ceea ce privește identificarea unui posibil optim. De fiecare dată când un părinte este înlocuit, statusul său devine inactiv pentru a nu permite înlocuirea lui ulterioară (cazul 3).

Procedura de căutare reprezintă un nou proces repetitiv, care implică următorii pași: selecția părintelui, crearea descendentului utilizând operatorii de mutație și înlocuire. Acești pași sunt repetați până când este creată următoarea populație de hormoni. Populației de bază  $H$  i-au fost aplicate aceleași tehnici de selecție (selecția turneu, selecția proporțională – algoritmul ruletei), dar și aceiași operatori de variație (încrucișare cu două puncte de tăietură și trei operatori de mutație) ca și în cazul algoritmului genetic standard propus.

*procedura Căutare*

*pentru  $k=1$ ,  $\dim H$  execută*

*Selectează  $h_i$  din  $H$*

*$h_{new} = MUTATE(h)$*

*Fie  $t(h_i)$  tropul de control*

*dacă  $(fit(h_{new}) > fit(t(h_i))) \wedge (h_{new} \in C(t(h_i)))$*

*atunci*

*Înlocuiește  $h_i$  cu  $h_{new}$*

*$h_i.inactiv = adevărat$*

*altfel*

*dacă  $(fit(h_{new}) > fit(h_i))$*

*atunci*

*Înlocuiește  $h_i$  cu  $h_{new}$*

*$h_i.inactiv = adevărat$*

*altfel*

*dacă  $h_i.inactiv = adevărat$   $p_H(h_i) > 0 \wedge h_i.inactiv = fals$*

*atunci*

*Înlocuiește  $h_i$  cu  $h_{new}$*

*sfârșit dacă*

*sfârșit dacă*

*sfârșit dacă*

*sfârșit pentru*

*pentru fiecare  $t$  din  $T$  execută*

*Calculează  $t$ .secvență*

*sfârșit pentru*

Așa cum am prezentat anterior, fiecare trop conține o secvență de valori de tip Boolean corespunzătoare progresului fiecărui hormon din cluster-ul respectiv. Astfel, dacă un hormon controlat își crește performanțele în timpul ultimei proceduri de căutare, valoarea booleană corespunzătoare, aflată în secvența tropului, va fi setată ca fiind „adevărat”, altfel va fi „fals”. Mai mult, numărul căutărilor de „adevărat” ajută la crearea unei

impresii despre progresul căutării locale și poate fi considerată ca fiind o avertizare a unei posibile schimbări în mediu.

Algoritmul evolutiv cu control endocrin (*Endocrine Control Evolutionary Algorithm - ECEA*) este prezentat mai jos:

*Algoritm ECEA*

*Inițializare*

*Cât timp (condiția de oprire este falsă) execută*

*Apelează procedura ActualizareTropi*

*Apelează procedura Căutare*

*Apelează procedura Feedback*

*Sfârșit cât timp*

