



## AGATE

Societati de agenti cognitivi ego-competenti cu auto-organizare pentru modelarea si dezvoltarea sistemelor complexe

### **Structura si dinamica sistemelor cu auto-organizare**

#### SINTEZA

**Adina Magda Florea**  
**Eugenia Kalisz**  
**Andrei Mogos**  
**Serban Radu**  
**Andrei Olaru**  
**Irina Mocanu**

*Universitatea Politehnica Bucuresti*  
*Laboratorul de cercetare "Artificial Intelligence and Multi-Agent Systems"*

## 1. Introducere

Încă din vechime, fenomene emergente definite prin sintagma 'Intregul înaintea partilor' au fost studiate cu interes pentru faptul că un sistem prezintă proprietăți și comportamente superioare simplei compoziții aditive a proprietăților individuale ale componentelor. În prezent, aceste cercetări fac parte din domeniul sistemelor complexe. Numai într-un sistem complex este posibil ca, prin interacțiunea componentelor individuale, și folosind feedbackul și neliniaritatea sistemului, întregul poate să capete comportamente aparent noi și neașteptate.

O definiție tentativă a conceptului de sistem complex ar fi că un sistem complex este un sistem cu un număr mare de elemente, părți constructive sau agenți, capabile să interacționeze între ele sau cu mediul exterior. Interacțiunea între elemente poate să fie doar între elemente vecine sau între elemente departate, iar agenții pot fi diferiți sau identici, se pot mișca în mediu sau pot avea poziții fixe și se pot afla în una din mai multe stări. De exemplu în Internet, ca sistem complex de programe și agenți umani, agenții pot comunica la distanță, sunt diferiți, și pot fi mobili sau nu. Într-un mușuroi de furnici agenții comunică doar prin mediu, sunt mobili, și sunt de câteva tipuri.

Elementele sistemului nu sunt neapărat identice și mai mult ele pot avea o structură internă complexă. De exemplu, într-un ecosistem fiecare organism este la rândul lui un sistem complex, și fiecare celulă a organismului este la rândul ei. Dificultatea stă în modelarea unui organism ca element al unui ecosistem, dar mai simplu decât prin modelarea sa ca sistem complex. În plus, elementele sistemului nu au roluri fixate, și pe parcursul evoluției sistemului rolurile se pot schimba.

Interacțiunile dintr-un sistem complex nu sunt aproape niciodată liniare – reacția la un anumit stimul nu depinde uniform de intensitatea lui. În multe sisteme naturale, o anumită constrângere a mediului nu are nici un efect până la o anumită amplitudine, când brusc întregul sistem se schimbă pentru a se adapta. Mai mult, în interacțiunea dintre elemente sau dintre elemente și mediu intervine o componentă considerabilă de zgomet, astfel că interacțiunile nu au întotdeauna același efect. Rețeaua de interacțiuni este complexă și de aceea un eveniment poate să ducă la efecte în diverse zone ale sistemului, într-un mod greu de prevăzut. De exemplu o anumită situație critică locală într-un sistem uman poate să nu aibă absolut nici o influență asupra sistemului global, dar dacă gravitatea sau impactul sau cresc peste o anumită limită, criza se poate propaga în întreg sistemul rezultând în schimbări fundamentale la nivel global.

Forma cea mai studiată de emergentă, mai ales în primele studii, este sablonul. Sabloanele apar în sisteme neinsufletite (un geam crăpat, dune de nisip), la plante sau animale (în diversele texturi, ca și în organizarea grupurilor de animale), în sistemele sociale și în sistemele artificiale (Internet și diverse experimente cu sisteme complexe formate din agenți).

În modelarea sistemelor complexe apariția sabloanelor este esențială pentru că se leagă de notiunea de emergentă. Sabloanele reprezintă o ordonare a elementelor care nu rezultă direct din proprietățile unui singur element sau al elementelor dispartate, ci rezultă din faptul că elementele interacționează și prin asta se organizează singure, fără o intervenție exterioară. În exemplul apariției direcției de trafic prin două culoare folosite de agenți pentru a trece dintr-o incintă în alta, agenții nu sunt construiți special pentru scopul de a decide direcția traficului printr-un culoar, dar direcțiile apar în mod indirect din modul cum agenții caută calea de a trece în cealaltă incintă.

Studiul proprietatilor emergente, dintre care cele mai studiate in domeniul sistemelor multi-agent sunt cele care implica auto-organizare, este important pentru ca emergenta si auto-organizarea permit obtinerea unei structuri organizate la nivel global, eventual in mod ierarhic, fara ca aceasta organizare sa fie reprezentata explicit in structura indivizilor. Cu alte cuvinte, permite obtinerea unei structuri sau a unui comportament complex folosind numai componente individuale simple, si care, daca este vorba de componente software, cer mai putine resurse computationale.

## **2. Definitii ale emergentei**

Emergenta este fenomenul prin care un sistem capata o proprietate care nu rezulta in mod direct din agregarea sau insumarea proprietatilor indivizilor care il compun. Proprietatea care emerge este de nivel mai inalt decat proprietatile indivizilor si este ireductibila la partile sistemului.

Pentru ca fenomenul de emergenta sa existe, este nevoie de cel putin doua niveluri – un nivel micro si unul macro. La nivelul micro se afla componentele sistemului, la nivel macro se afla sistemul ca intreg. Proprietatea sau fenomenul care emerge apare intr-o stare de echilibru, care poate fi static (ca in cazul crapaturilor dintr-un geam, al dunelor de nisip sau al coloratiei animalelor) sau dinamic (ca in cazul celulelor de convecție sau al aparitiei unei directii de trafic). Exista posibilitatea mai multor niveluri de emergenta, de exemplu cand componentele de la un anumit nivel sunt ele insele sisteme formate din componente de la un nivel inferior (structuri holonice).

Exista mai multe definitii ale emergentei, fara a exista inca una general acceptata. O definitie buna este: Un sistem manifesta emergenta daca exista proprietati coerente care apar in mod dinamic la nivelul superior ca urmare a interactiunilor de la nivelul inferior, iar aceste proprietati sunt noi in raport cu partile individuale ale sistemului.

Dintr-o perspectiva tehnica exista doua elemente in fenomenul de emergenta: proprietatea sau fenomenul care emerge – subiectul – reprezinta functia manifestata de sistem, si care de multe ori poate fi evaluata numai de catre un observator extern; conditia pentru ca termenul de emergenta sa fie propriu este ca implementarea sistemului sa nu contina in mod direct implementarea functiei.

Este important de remarcat ca, in cele mai multe cazuri, componentele sistemului nu numai ca nu produc in mod direct proprietatea care emerge, dar nici nu sunt 'constiente' de aparitia emergentei. Acest fapt este evident in sistemele neinsufletite, dar exemplele sunt numeroase in sistemele vii: furnicile nu sunt constiente de musuroi, ci se ghideaza instinctual dupa anumite semnale din mediu si lasa alte semnale, iar in exemplul aparitiei directiei de trafic, agentii nu realizeaza ca a fost asociata o directie celor doua culoare, ci folosesc un anumit culoar pentru ca este mai adecvat miscarii in directia respectiva.

In sisteme multi-agent sau, in general, sistemele informatice, conceptul de emergenta este de cele mai multe ori echivalent cu notiunea de auto-organizare, in sensul ca fenomenul emergent este o forma de auto-organizare.

O caracteristica a starii organizate a unui sistem complex este existenta ordinii. Ordinea este definita prin aparitia unei corelatii intre diverse parti ale sistemului, si prin aceasta reducerea dimensiunii spatiului starilor prin constrangeri asupra gradelor de libertate. Componentele sistemului nu mai au parametri independenti, ci exista componente care se afla intr-o aceeași stare, sau in stari corelate. Se poate defini o marime care masoara ordinea din

sistem – lungimea de corelatie, care este distanta maxima intre doua componente din sistem aflate in stari corelate. O lungime mare arata ca o mare parte din sistem este corelata, o lungime mica arata ca doar anumite parti din sistem sunt in ordine. De exemplu, in cadrul unui sistem uman, structurile organizationale se raspandesc din ce in ce mai mult pana cand in locuri din ce in ce mai departate din sistem anumiți indivizi fac parte din structuri organizationale asemanatoare, si astfel lungimea de corelatie creste.

Exista multe avantaje ale unui sistem care prezinta auto-organizare. Auto-organizarea duce la o flexibilitate mai mare a sistemului, duce la aparitia adaptarii, la robustete si la posibilitatea refacerii dupa faze de instabilitate sau perturbatii externe. Mai mult, un sistem cu auto-organizare scaleaza in mod natural si poate fi format dintr-un numar oricat de mare de indivizi, ramanand practic constant ca proprietati. Aceste proprietati provin si din faptul ca un sistem cu auto-organizare nu necesita control exterior sau centralizat. In schimb, in lipsa existentei unui control centralizat, sistemul este mai dificil de controlat si pot exista comportamente neprevazute ale sistemului, care il duc in stari care nu au fost dorite initial.

### **3. Emergenta si auto-organizare in sisteme de agenti reactivi**

Majoritatea studiilor asupra proprietatilor emergente in sisteme multi-agent au fost facute folosind agenti reactivi, fiind mai simplu de implementat si, mai ales mai simplu de controlat. In plus, agentii reactivi necesita mai putine resurse computationale si de aceea sunt mai potriviti pentru a rula pe senzori, particule inteligente ('smart dust', 'dust computing') si alte dispozitive foarte simple, care formeaza sisteme complexe. Exista si implementari care exploateaza functii emergente ale sistemelor de agenti cognitivi, insa sunt mai putin raspandite si studiate.

Avantajul principal al agentilor reactivi este dimensiunea lor redusa, din punct de vedere al implementarii si al capabilitatilor pe care le cer platformei pe care se executa. Agentii reactivi pot fi implementati extrem de simplu, pentru ca nu au o baza de cunostinte sau un sistem de decizie complex, ci doar reguli pe care le aplica, pentru a reactiona la stimuli. Astfel un agent reactiv poate sa se execute pe o platforma foarte simpla, nu numai ca cea a unui telefon mobil sau PDA, ci chiar pe un microcontroler sau structuri mai simple utilizate, de exemplu, pentru retele de senzori, etc.

Abordarea structurala cea mai simpla pentru sistemele de agenti reactivi este interactiunea directa, fara nici un control centralizat. Sistemul se poate auto-organiza in structuri de diferite tipuri – cercuri, inele, poligoane – sau poate sa aleaga un lider, sau poate sa realizeze o functie de transport. In toate aceste exemple interactiunea se realizeaza doar cu agentii dintr-o vecinatate redusa. Structurile care rezulta sunt stabile si efectele unui eveniment exterior care afecteaza structura sunt inlaturate dupa un anumit timp, prin refacerea automata a structurii.

Avantajele acestei abordari sunt simplitatea implementarii si faptul ca rezultatul (starea stabila a sistemului) este bine cunoscut. Insa sistemul nu poate sa realizeze decat functia pentru care a fost proiectat, altfel este necesara refacerea sistemului de reguli al agentilor. De asemenea, functia realizata de sistem este intotdeauna una relativ simpla.

O abordare apropiata foloseste comunicarea indirecta intre agenti, prin intermediul mediului in care acestia actioneaza, folosind notiunea de stigmergie: agentii lasa semnale in mediu in functie de starea in care se afla si de asemenea sunt atrasi de densitatea mare a acestor semnale. Aceste reguli duc la formarea de grupuri de agenti care pot gasi si transporta

resurse. Stigmergia este folosita intr-o gama larga de aplicatii, un exemplu important fiind detectarea regiunilor dintr-o imagine.

Sistemele bazate pe stigmergie au avantaje importante, datorate faptului ca sunt inspirate de sisteme naturale. Folosirea mediului ca depozit de semnale face ca ele sa aiba o „memorie” mai eficienta decat a sistemelor bazate pe interactiune directa. Functia realizata poate fi de asemenea mult mai complexa. Un dezavantaj este ca sistemul este neliniar si de aceea dificil de controlat si imprevizibil. Numai experimentele pot ajuta la reglarea sistemului in scopul obtinerii starii dorite si increderea in rezultatul sistemului poate fi obtinuta numai prin experimente repetate.

#### **4. Emergenta si auto-organizare in sisteme de agenti cognitivi**

Spre deosebire de agentii reactivi, agentii cognitivi ofera avantaje esentiale. In primul rand, actiunile agentilor cognitivi nu sunt bazate pe simple reguli de tip stimul-actiune, ci ele rezulta dintr-un rationament, bazat pe pe cunostintele agentului. Aceste cunostinte sunt retinute intr-o baza de cunostinte (knowledge base). Agentul are anumite scopuri, in vederea carora realizeaza anumite planuri, pe care le executa actiune cu actiune. Un model comun pentru agentii cognitivi este modelul Belief – Desire – Intention (BDI), in care un agent este caracterizat prin cunostintele sale, prin scopurile (dorintele sale), si prin intentiile sale imediate.

Avantajul agentilor cognitivi este ca pot invata, si astfel castiga o masura importanta de predictie asupra evenimentelor din mediu, putand gasi situatii similare cu cele din trecut. Asta face ca agentul sa fie adaptiv, si astfel sa poata actiona mai adecvat cu mediul inconjurator. De asemenea, complexitatea interactiunilor cu alti agenti creste semnificativ, agentii putand sa prevada actiunile altor agenti.

Sistemele bazate pe cooperare folosesc compunerea si descompunerea activitatii agentilor, in contextul folosirii agentilor cognitivi. Aceste sisteme se bazeaza in principal pe teoria AMAS a sistemelor multi-agent adaptiv prin care se arata ca functia ceruta emerge intotdeauna ca efect al cooperarii. Agentii din sistem nu au o imagine asupra intregului sistem, dar ei pot detecta situatiile non cooperative, si pot interveni. Dezavantajul principal al acestor sisteme este ca este dificil de prevazut totalitatea situatiilor de ne cooperare si integrarea in agenti de comportamente care sa inlature sau sa gestioneze aceste situatii. Daca nu toate aceste situatii sunt cunoscute, situatiile neprevazute nu vor fi gestionate corect si sistemul poate sa nu produca rezultatul dorit. Mai mult, chiar in cazul cunoasterii tuturor situatiilor necooperative, starea finala a sistemului nu poate fi prevazuta, iar sistemul este foarte dificil de controlat.

Fenomenele emergente in sistemele de agenti cognitivi pot insa fi foarte complexe. Folosind mecanismele existente in sistemele reactive cu auto-organizare, dar luand in considerare caracteristicile superioare ale agentilor cognitivi, comportamente noi ar putea fi dezvoltate. Spre exemplu, prin interschimbarea cunostintelor, agentii cognitivi pot duce la un nivel superior de auto-organizare. Cunostintele interschimbate se pot referi la diverse componente ale modelului BDI. Prin interschimbarea sau actiunea in functie de cunostintele, scopurile sau intentiile altor agenti, se pot crea diverse sabloane, nu la nivel al pozitiei in spatiu, ci la nivel de grupuri de opinii, de grupuri de lucru, si de sabloane cooperative.

Pe langa interschimbare, se pot folosi tot mecanismele de atractie si respingere, care pot duce la schimbarea pozitiei in spatiu, sau la schimbarea modului de colaborare sau a apartenentei la grupuri sau alte structuri.

Actiunile sociale sunt un element de asemenea important. Actiunile sociale sunt actiuni prin care un agent alege sa ajute alt agent pentru indeplinirea scopurilor pe care le are, sau chiar ca un agent sa influenteze pe un altul pentru a fi ajutat in indeplinirea scopurilor proprii. Actiunile sociale pot duce de asemenea la proprietati emergente, care sa produca sabloane bazate pe gradul de socializare si intrajutorare dintre agenti.

## **5. Studiu de caz: emergenta in sisteme multi-agent**

Asa cum am descris mai sus, in sistemele multi-agent proprietatile emergente sunt legate de o forma de auto-organizare. Studiul pe care l-am realizat a avut ca scop o mai buna intelegere a emergentei in sistemele de agenti cognitivi. Pentru aceasta, am dezvoltat un sistem de agenti cognitivi proiectat avand in vedere dorinta aparitiei de auto-organizare.

Aplicatia aleasa a fost un sistem pentru gestionarea informatiei, care sa transmita informatia de la agent la agent, intr-un mod auto-organizat, astfel incat informatia utila sa ajunga la agentii care au nevoie de ea, intregul proces luand in considerare diverse elemente de context. Avand in vedere existenta dependentei de context, necesitatea luarii de decizii, cat si faptul ca agentii trebuie sa poata agrega informatia fara comenzi din exterior (practic sa poata sa-si dea seama singuri cand pot agrega o informatie noua), este evident ca agentii din sistem trebuie sa fie in majoritatea lor cognitivi. De asemenea, pentru uniformitatea sistemului ar fi indicat ca agentii reactivi si cei cognitivi sa urmareasca aceleasi principii de proiectare si de interconectare cu mediul.

Aplicatia descrisa este legata de domeniul inteligentei ambientale. intr-un scenariu de inteligenta ambientala exista un numar mare de dispozitive interconectate cu sau fara fir (de cele mai multe ori fara). Acestea percep diverse informatii din mediu sau preiau comenzi de la utilizatori. Informatiile acestea pot avea sens pentru alti utilizatori, sau pot fi agregate de alti agenti din sistem si transmise mai departe pentru a folosi utilizatorilor. Un scenariu la scara reala va realiza aceste operatii in contextul unui numar urias de utilizatori, dispozitive, si mai ales unitati de informatie. in aceste conditii, folosirea unui sistem centralizat este foarte dificila sau chiar imposibila. De aceea, este necesar ca sistemul sa prezinte auto-organizare ca proprietate emergenta.

Implementarea a constat dintr-un sistem compus dintr-un numar mare de agenti cognitivi (pentru experimente s-au folosit 400 de agenti), dispusi intr-o retea rectangulara, fiecare agent putand sa comunice numai cu cei 8 agenti vecini. Agentii au fost implementati folosind modelul BDI. Desi foarte simplu, comportamentul agentilor contine etapele importante caracteristice modelului cognitiv: revizuirea cunostintelor, elaborarea de planuri si executarea actiunilor. Un element foarte important in studiul realizat a fost stabilirea scopurilor agentilor. Scopurile alese au fost urmatoarele: impartasirea informatiilor considerate de interes, obtinerea de date noi, potential interesante, si pastrarea unei parti din capacitatea de stocare libera, in cazul aparitiei de noi date din exterior.

Proprietatea emergenta dorita a sistemului a fost raspandirea informatiei in sistem intr-un mod uniform si dependent de context, in asa fel incat informatia sa fie disponibila in apropierea oricarui agent care ar putea sa o necesite.

O cantitate mare de timp si lucru a fost investita in reglarea fina a comportamentului agentilor in asa fel incat sistemul sa se comporte corespunzator. Un echilibru a fost realizat intre cat de repede acumuleaza agentii cunostinte noi si cat de usor le uita pe cele vechi, sau pe cele mai putin interesante. De asemenea intre cat de frecvent proceseaza mesajele de la alti agenti, si cat de mult impartasesc propriile cunostinte vecinilor.

## 6. Concluzii

Rezultatele pe care le-am obtinut in urma experimentelor au fost foarte incurajatoare. Asa cum am dorit de la inceput, in urma unei bune reglari a sistemului si a unei alegeri potrivite a ciclului de lucru al agentilor, informatiile introduse in sistem s-au raspandit in mod corespunzator cu masurile lor de context, in mod uniform si in asa fel incat sa fie disponibile agentilor care ar putea avea nevoie de ele. Ceea ce este important de remarcat este ca acest lucru a fost obtinut fara ca agentii sa aiba o imagine completa asupra sistemului, ci numai prin interactiuni locale si fiecare agent folosind un numar redus de informatii, provenind de la vecinii sai, si astfel am produs proprietati emergente intr-un sistem de agenti cognitivi. Modelul si sistemul poate fi imbunatatit in continuare iar comportamentul agentilor trebuie dezvoltat in asa fel incat agentii sa fie diferiti, iar conexiunile intre agenti sa se poata modifica in timp.

### Bibliografie selectiva

- Heylighen, F., Self-organization, emergence and the architecture of complexity, *Proceedings of the 1st European Conference on System Science*, 1989, 23-32
- Rao, A. & Georgeff, M., BDI Agents: From Theory to Practice, *Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS-95)*, 1995, 312-319
- Castelfranchi, C., Modelling social action for AI agents, *Artificial Intelligence, Elsevier*, 1998, 103, 157-182
- Gleizes, M.; Camps, V. & Glize, P., A Theory of emergent computation based on cooperative self-organization for adaptive artificial systems, *Fourth European Congress of Systems Science*, 1999
- Chen, G. & Kotz, D., A survey of context-aware mobile computing research, *Technical Report TR2000-381, Dept. of Computer Science, Dartmouth College*, 2000
- Satyanarayanan, M., Pervasive computing: Vision and challenges, *IEEE Personal communications*, 2001, 8, 10-17
- Standish, R., On Complexity and Emergence, *Arxiv preprint nlin.AO/0101006*, 2001, 1-6
- Bernon, C.; Gleizes, M.; Peyruqueou, S. & Picard, G., Adelfe: A methodology for adaptive multi-agent systems engineering, *Lecture Notes in Computer Science, Springer*, 2003, 156-169
- Boschetti, F.; Prokopenko, M.; Macreadie, I. & Grisogono, A., Defining and detecting emergence in complex networks, *Lecture notes in computer science, Springer*, 2005, 3684, 573-580
- Mano, J.; Bourjot, C.; Leopardo, G. & Glize, P., Bio-inspired Mechanisms for Artificial Self-organised Systems, *Special Issue: Hot Topics in European Agent Research II Guest Editors: Andrea Omicini*, 2006, 30, 55-62
- Serugendo, G. D. M.; Gleizes, M. & Karageorgos, A., Self-Organization and Emergence in MAS: An Overview, *Informatica*, 2006, 30, 45-54
- Augusto, J. & McCullagh, P., Ambient intelligence: Concepts and applications, *Computer Science and Information Systems/ComSIS, CEON/ CEES*, 2007, 4, 1-26
- Olaru, A. & Florea, A. M., Emergence in Cognitive Multi-Agent Systems, *Proc. of CSCS17, 17th International Conference on Control Systems and Computer Science*, 2009, 515-522
- Olaru, A.; Gratie, C. & Florea, A. M., Emergent Properties for Data Distribution in a Cognitive MAS, *Proc. of IDC 2009, 3rd International Symposium on Intelligent Distributed Computing*, 2009, 1-8