



**UNIVERSITATEA DUNĂREA DE JOS DIN GALAȚI**

**Școala doctorală de inginerie**

---

# **TEZĂ DE ABILITARE**

**De la robotică la modelarea unor procese  
cognitive**

**From robotics to modeling certain cognitive  
processes**

**Prof. dr. ing. Ioan Șușnea**

**Domeniul de doctorat  
Științe inginerești**

---

**Seria AI 2. Calculatoare și tehnologia informației Nr. ...**

**Galați, 2020**

**UNIVERSITATEA DUNĂREA DE JOS DIN GALAȚI**  
**Școala doctorală de inginerie**



# **TEZĂ DE ABILITARE**

**De la robotică la modelarea unor procese  
cognitive**

**From robotics to modeling certain cognitive  
processes**

	<b>Prof. dr. ing. Ioan Șușnea</b>
<b>Comisia de abilitare:</b>	<b>Universitatea Dunărea de jos din Galați</b>

**Domeniul de doctorat,  
ȘTIINȚE INGINEREȘTI  
Seria AI 2. Calculatoare și tehnologia informației nr.  
GALAȚI  
2020**

Seriile tezelor de abilitare susținute public în UDJG începând cu 2015 sunt:

**Domeniul ȘTIINȚE INGINEREȘTI**

- Seria AI 1. Biotehnologii
- Seria AI 2. Calculatoare și tehnologia informației
- Seria AI 3. Inginerie electrică
- Seria AI 4. Inginerie industrială
- Seria AI 5. Ingineria materialelor
- Seria AI 6. Inginerie mecanică
- Seria AI 7. Ingineria produselor alimentare
- Seria AI 8. Ingineria sistemelor

**Domeniul ȘTIINȚE ECONOMICE**

- Seria AE 1. Economie
- Seria AE 2. Management

**Domeniul ȘTIINȚE UMANISTE**

- Seria AU 1. Filologie - Engleză
- Seria AU 2. Filologie - Română
- Seria AU 3. Istorie
- Seria AU 4. Filologie - Franceză

**Domeniul MATEMATICĂ ȘI ȘTIINȚE ALE NATURII**

- Seria AC. Chimie

## **Lista abrevierilor**

**AAL** – Ambient Assisted Living – Domeniu multidisciplinar orientat către dezvoltarea unor ecosisteme dotate cu o infrastructură ICT, destinate să ușureze viața cotidiană a persoanelor cu nevoi speciale.

**ACO** – Ant Colony Optimization – Algoritm de optimizare în sisteme multi-agent, care imită procesul de găsire a rutei optime între sursa de hrană și cuib în coloniile de furnici.

**ABM** – Agent Based Modeling. Modelare bazată pe agenți.

**ANN** - Artificial Neural Network, Rețea neuronală artificială.

**BDI** – Agenți BDI – agenți înzestrați cu Beliefs, Desires and Intentions (Convingeri, Dorințe, Intenții), respectiv capabili să construiască o reprezentare internă asupra mediului, să-și formuleze obiective de atins și să-și fixeze un curs de acțiune pentru atingerea acestor obiective.

**BIC** – Behavioral Implicit Communication – Mecanism de coordonare în sisteme multi-agent cu agenți BDI, bazat pe observarea și interpretarea activității celorlalți agenți.

**C.I.** – Collective Intelligence. Inteligența colectivă.

**C.Q.** – Creativity Quotient – coeficient care cuantifică nivelul individual de creativitate

**CPD** – Continuous Professional Development – (Cursuri de) formare profesională continuă.

**DCM** – Distributed Cognitive Map – Hartă cognitivă distribuită

**HVAC** – Heating Ventilation and Air Conditioning System – Sistem integrat pentru controlul încălzirii, ventilației și pentru aer condiționat în clădiri.

**MAS** – Multi Agent System – Sistem multi-agent.

**PIR** - Passive InfraRed (motion detector) – senzor capabil să detecteze mișcarea unor corpuri care emit radiații electromagnetice în spectrul infraroșu.

**POS** – Point Of Sale – echipament de procesare a datelor la punctele de vânzare în magazine.

**RFID** – Radio Frequency IDentification – tehnologie care permite transmiterea bidirecțională a unor volume relativ mici de informație digitală între un "cititor" (reader) și o "etichetă inteligentă" (tag) prin intermediul undelor radio. Distanțele de operare a sistemelor RFID sunt relativ mici, de la câțiva centimetri la câțiva metri.

**TRIZ** - Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch – Teoria rezolvării task-urilor inovatoare. Este o metodologie de „producere a invențiilor” propusă de Genrich Altshuller în 1946.

**WSN** – Wireless Sensor Network. Rețea de noduri implementate cu microcontrollere, echipate cu traductoare și conectate între ele printr-o infrastructură de comunicație wireless multihop.

**ZTPI** – Zimbardo Time Perspective Inventory. Chestionar pentru identificarea perspectivei individuale asupra timpului.

## ***Lista figurilor***

- Fig. 1.1 O limitare a tehnologiei RFID – un reader poate citi un singur tag la un moment dat
- Fig. 1.2 Detectarea gradientilor spațiali de feromoni într-un mediu RFID prin captare diferențială cu două antene
- Fig. 1.3 Modelul riverbed de definire a unor traiectorii folosind tehnologia RFID
- Fig. 1.4 Notății folosite în modelul matematic al feromonilor virtuali
- Fig. 1.5 Construcția hărții care înglobează informația despre feromonii virtuali
- Fig. 1.6 Detectarea gradientilor spațiali ai intensității feromonilor cu ajutorul a două antene
- Fig. 1.7 Structura unui sistem de fluidizare a traficului rutier bazat pe conceptul de feromoni virtuali
- Fig. 1.8 Structura unui sistem de recomandare locală în supermarket-uri
- Fig. 1.9 Principiul de funcționare a unui sistem de ghidare a vizitatorilor în muzee folosind RFID
- Fig. 1.10 Ilustrarea conceptului de "loc" semnificativ din punct de vedere al comportamentului utilizatorilor
- Fig. 1.11 Un exemplu de reprezentare vizuală a distribuției de feromoni în spațiul generic
- Fig. 1.12 Un fragment de activity map construită pe baza imaginilor orare ale distribuțiilor de feromoni
- Fig. 1.13 Detectarea anomaliilor în pattern-ul de activitate zilnică
- Fig. 1.14 Structura unei rețele de monitorizare peer to peer
- Fig. 2.1 Ilustrarea similarității între percepția (neliniară) a N surse de feromoni și funcționarea unui neuron
- Fig. 2.2 Percepția diferențială a feromonilor este echivalentă cu o mică rețea neuronală
- Fig. 2.3 Echivalența între o rețea de comunicație și un perceptron cu 3 straturi
- Fig. 2.4 Structura rețelei neuronale distribuite folosite pentru conducerea unui robot mobil
- Fig. 2.5 Perceptronul echivalent cu rețeaua de comunicație între robot și balize
- Fig. 2.6 Traiectoria robotului condus de rețeaua neuronală distribuită, înregistrată cu MobileSim
- Fig. 2.7 Structura unui sistem de control neuronal pentru HVAC
- Fig. 2.8 Principiul estimării gradului de ocupare a unei clădiri pornind de la datele de la senzori PIR
- Fig. 2.9 Reprezentarea spațiului sub forma de graf topologic
- Fig. 2.10 Diverse moduri de reprezentare a spațiului: a) Hartă Carteziană, b) graf topologic c) și d) o colecție de structuri de date

Fig. 2.11	Comportamentul agenților în ipoteza folosirii DCM
Fig. 2.12	Structura generală a unui sistem capabil de C.I. cu ilustrarea rolului agregatorului
Fig. 2.13	O taxonomie a sistemelor cu C.I. pornind de la tipul de interacțiuni între agenți
Fig. 2.14	Funcțiile agregatorului în cazul stigmergiei în sisteme cu agenți BDI
Fig. 3.1	Principalii agenți și direcțiile de acțiune pentru stimularea creativității în mediul educațional
Fig. 3.2	CQ versus AAF pentru un grup de N=30 studenți
Fig. 3.3	Principalele dezavantaje ale instrumentelor existente pentru evaluarea creativității
Fig. 3.4	Interfața cu utilizatorul a aplicației pentru testul de creativitate
Fig. 3.5	Snapshot al screen-ului final cu rezultatul testului de creativitate
Fig. 4.1	Sinteza activității autorului potrivit Google Scholar
Fig. 4.2	Sinteza activității autorului reflectată în Web of Science
Fig. 4.3	Sinteza activității autorului reflectată în Scopus
Fig. 4.4	Distribuția publicațiilor pe domenii, conform Web of Science
Fig. 4.5	Identificarea surselor de finanțare a cercetării, conform WoS

## CUPRINS

REZUMAT .....	10
<i>Introducere</i> .....	16
Capitolul 1 .....	19
Conceptul de "feromoni virtuali" și aplicațiile acestuia .....	19
1.1 De la feromoni biologici la feromoni virtuali .....	19
1.2 Aplicații ale conceptului de feromoni virtuali .....	26
1.2.1 Conducerea roboților mobili .....	26
1.2.2 Fluidizarea traficului rutier .....	27
1.2.4 Sistem de ghidare a vizitatorilor în muzee și expoziții .....	30
1.2.5 Auto-organizarea conținutului educațional partajat .....	31
1.2.6 Monitorizarea automată a pattern-urilor de activitate a persoanelor vârstnice folosind senzori binari.....	33
Capitolul 2 .....	39
Structuri neuronale distribuite și inteligență colectivă .....	39
2.1 Structuri neuronale distribuite .....	39
2.1.1 Conducerea unui robot mobil cu ajutorul unor balize neuronale .....	42
2.1.2 Controlul neuronal al sistemelor de încălzire și ventilație în clădiri .....	44
2.2 Cunoaștere distribuită și inteligență colectivă .....	45
Capitolul 3 .....	52
Cercetări privind creativitatea în mediul educațional.....	52
3.1 Studiul factorilor psihologici, sociali și de mediu care influențează creativitatea	53
3.2 Dezvoltarea de conținut educațional pentru stimularea creativității studenților	56
3.3 Dezvoltarea unui instrument de evaluare a creativității individuale în context educațional.....	57
Capitolul 4 .....	62
Planuri de evoluție și de dezvoltare a carierei .....	62
4.1 Concluzii privind activitatea de până acum .....	62
4.2 Plan de dezvoltare a carierei în domeniul activității de cercetare.....	64
4.3 Plan de dezvoltare a carierei în domeniul activității didactice .....	65
<i>Referințe bibliografice</i> .....	66



SUMMARY.....	10
Introduction.....	16
Chapter 1.....	19
The concept of virtual pheromones and its applications.....	19
1.1 Form biologic to virtual pheromones.....	19
1.2 Applications of virtual pheromones.....	26
1.2.1 Controlling mobile robots.....	26
1.2.2 Avoiding road traffic congestion.....	27
1.2.4 A system for guiding visitors in museums.....	30
1.2.5 Self-organization of the educational content.....	31
1.2.6 Monitoring the activity patterns of the elderly with binary sensors.....	33
Chapter 2.....	39
Distributed neural structures and collective intelligence.....	39
2.1 Distributed neural structures.....	39
2.1.1 Using neural beacons to control a mobile robot.....	42
2.1.2 Neural control of heating and ventilation systems for buildings.....	44
2.2 Distributed cognition and collective intelligence.....	45
Chapter 3.....	52
Research on the creativity in the educational environment.....	52
3.1 Psychological, social, and environmental factors of creativity .....	53
3.2 Creating educational content to stimulatethe creativity of the students.....	56
3.3 A creativity assessment tool for use in the educational environment.....	57
Chapter 4.....	62
A career development plan.....	62
4.1 Conclusions regarding the current professional attainments.....	62
4.2 A plan for future research.....	64
4.3 A plan for future didactic work.....	65
Bibliographic references.....	66

## REZUMAT

Prezenta teză conține o descriere succintă a activității de cercetare a autorului în cei zece ani care au trecut de la susținerea publică a tezei de doctorat, în Februarie 2010.

Studiile doctorale mi-au prilejuit apropierea de domeniul „swarm robotics” și, în acest context, am definit conceptul de „feromoni virtuali”, definiți ca engrame create de agenți nu în mediu, ci într-o reprezentare a acestuia – o hartă.

Cercetările ulterioare au dovedit că schimbarea de perspectivă introdusă odată cu acest concept a deschis calea către numeroase aplicații, care depășesc mult domeniul roboticii. O parte dintre acestea, de exemplu un sistem de fluidizare a traficului rutier, un sistem de recomandare locală în supermarket-uri, o soluție de auto-organizare a conținutului educativ în rețele de învățare (learning networks), sau o aplicație de Ambient Assisted Living pentru monitorizarea neintruzivă a pattern-urilor de activitate la persoanele vârstnice care locuiesc singure, au fost descrise pe scurt în Capitolul 1 al acestei teze.

Soluția de fluidizare a traficului rutier bazată pe partajarea unei hărți care încorporează informații despre distribuția unor feromoni virtuali face obiceul unei cereri de brevet de invenție.

Studiul proceselor de urgență în sisteme multi agent în care interacțiunile între agenți sunt mediate de feromoni mi-a atras atenția asupra unui tip special de urgență și anume *cunoașterea emergentă*. Acest interes s-a materializat într-o nouă direcție de cercetare și, în Capitolul 2 al acestei lucrări, am inclus descrierea câtorva studii asupra unor procese cognitive non-locale (distribuite în spațiu) și supra-individuale (rezultând din activitatea unei pluralități de agenți). Printre acestea se numără o soluție de implementare a unei rețele neuronale distribuite spațial pe infrastructura fizică a unei rețele de

comunicație. Ulterior, am arătat că o astfel de structură neuronală este similară unei „hărți cognitive distribuite” (Distributed Cognitive Map – DCM) și am prezentat două aplicații directe ale acestei idei: una în care se folosește un sistem de „balize neuronale” pentru conducerea unui robot mobil în regim de path tracking și alta în care o rețea de senzori „învață” să coreleze nivelele de activitate în clădiri cu referințele de temperatură ale termostatului din structura HVAC în scopul reducerii consumului de energie pentru încălzire.

Această din urmă aplicație a făcut obiectul unei alte cereri de brevet de invenție.

Într-un alt studiu, am propus o structură generică reproductibilă de sistem capabil să genereze comportament stigmergic în sistemele multi-agent cu agenți inteligenți, prin captarea și localizarea mesajelor de comunicație indirectă comportamentală (Behavioral Implicit Communication, BIC) și apoi prin partajarea hărții cognitive rezultate.

Un caz aparte de proces de emergență cognitivă este creativitatea umană. În ultimii ani, am consacrat acestui domeniu mai multe studii, care sunt prezentate succint în Capitolul 3. Printre rezultatele demne de atenție obținute în urma acestor studii menționez crearea conținutului educativ pentru un „manual de creativitate”, instatarea acestui conținut pe o platforma de e-learning Moodle și crearea unui instrument software pentru evaluarea creativității în mediul educațional. Acesta din urmă folosește un algoritm fuzzy pentru calcularea unui coeficient individual de creativitate (Creativity Quotient CQ – similar cu binecunoscutul indice de inteligență IQ) pornind de la răspunsurile la un chestionar, colectate printr-o platformă web.

Precizez că studiile despre creativitate s-au derulat în contextul unei participări de excepție a Departamentului de Calculatoare și Tehnologia Informației la programele europene pentru dezvoltarea competențelor transversale ale studenților Leonardo da Vinci, KA2 și Erasmus+. Am participat sau am condus

activitatea în nu mai puțin de 6 astfel de proiecte derulate în Departament în ultimii ani.

În fine, Capitolul 4 al tezei conține, pe lângă concluzii, o schiță de proiect privind activitatea viitoare. Ideea centrală este aceea că mă aflu la apogeul carierei și că prioritatea momentului este transferul cunoștințelor acumulate în cei 40 de ani de activitate către o nouă generație de cercetători și valorificarea rezultatelor care s-au dovedit valoroase prin formularea unor teme și direcții de aprofundare împreună cu studenții doctoranzi.

## Summary

This thesis contains a brief presentation of the main results of the research activity of the author during the past ten years since the public defense of his PhD thesis, in February, 2010.

The work for the doctoral dissertation offered me the opportunity to approach the field of „swarm robotics“, and, in this context, I introduced the concept of „virtual pheromones“, defines as traces left by the agents not in the environment, but in a representation thereof – a map.

Subsequent research demonstrated that the change of perspective brought by this concept opened the way for many practical applications, far beyond the boundaries of robotics. Some of these applications, e.g. a system for preventing road traffic congestion, an in-store recommender system for supermarkets, a solution for the self-organization of the educational content in ad-hoc learning networks, and an AAL (Ambient Assisted Living) application for unobtrusive monitoring of the daily activity routine of the elderly living alone, are described in Chapter 1 of this thesis.

The solution for traffic congestion avoidance makes the object of a patent application.

The study of the emergence in multi-agent systems, wherein the interactions between agents are mediated by pheromones gave me the opportunity to approach a special type of emergence, namely the emergent knowledge. The research I conducted in this field resulted in several studies regarding some emergent knowledge processes that are non-local (distributed in space) and supra-individual (emerging from the activity of a plurality of agents). Among these, a solution for the implementation of a neural network distributed over the infrastructure of a communication network is described.

Later, I speculated that such a neural structure is similar to a „distributed cognitive map” (DCM), and I presented a couple of direct applications of this idea: one that uses a system of „neural beacons” to control a mobile robot for path tracking, and another that uses a sensor network to correlate the reference temperatures of the thermostat with the occupancy levels of the buildings, in order to save energy.

This latest idea makes the object of another patent application.

In another study, I described a general structure of a system capable to generate stigmergic behavior in multi-agent systems composed of BDI agents, by capturing behavior implicit communication (BIC) messages and sharing the cognitive map built starting from these messages.

A particular type of cognitive emergence is the human creativity. In the past few years, I wrote several studies on this topic, some of them being presented in Chapter 3. Among the notable results of these studies, it is worth to mention the development of the educational content for a „textbook of creativity”, installed on a Moodle e-learning platform, and the development of a software instrument for the assessment of creativity in the educational environment. This tool uses a fuzzy logic algorithm to derive an individual creativity quotient (CQ – similar to the well known intelligence measure IQ) starting from the self reported questionnaire hosted on a web platform.

It is worth to mention that the research on creativity was conducted in the context of an exceptional participation of the Department of Computer and Information Technology in the European programmes Leonardo da Vinci, KA2 and Erasmus+. I have been involved as team member and as director in no less than six such projects in the past years.

Finally, Chapter 4 of this thesis contains, besides the conclusions on the overall image of my activity, the outline of a plan for my future implication in research and didactic activities. The core idea is that, being at the peak of my career, I

must focus on transferring the knowledge accumulated in 40 years of work to the new generation of researchers, and this can be optimally done by capitalizing the valuable results of my research in the context of the activity as doctoral supervisor of younger students.