

Sinteza lucrării

Proiect TE-11, contract Nr. 23/28.07.2010

Perioada de raportare: 01.01.2011 – 31.12.2011 (12 luni)

Titlu proiect: *Recunoașterea obiectelor în creierul uman prin intermediul atractorilor.*

Director de proiect: Dr. Raul C. Mureșan

1. Obiective

Pentru anul 2011, conform Anexei Ila a contractului de finanțare s-au prevăzut următoarele obiective:

- Obiectiv 1 (intermediar): dezvoltarea teoriei recunoașterii prin atractori, rafinarea/ajustarea teoriei recunoașterii prin atractori
- Obiectiv 2 (inițial și intermediar): modificare/rafinare „paradigmă vizuală cu puncte”, dezvoltarea unei paradigme cu obiecte familiare/noi și ajustarea paradigmei cu obiecte familiare/noi
- Obiectiv 3 (inițial): test H4.2.
- Obiectiv 4 (inițial): înregistrare EEG și eye-tracking preliminară
- Diseminare intermediară

2. Implementarea obiectivelor

Obiectiv 1. Implementarea acestui obiectiv în etapa 2011 a presupus evaluarea consistenței elementelor propuse pentru teoria recunoașterii prin atractori: existența atractorilor pentru obiecte individuale, existența bazinelor de atracție în spațiul dinamic de stări corticale, existența traiectoriilor dinamice în acest spațiu. În acest scop, utilizând date înregistrate în cortexul vizual (furnizate de Institutul Max Planck pentru Cercetarea Creierului din Frankfurt am Main), am reușit să arătăm că stimulii vizuali evocă secvențe de activări multineuronale (descărcări combinate ale neuronilor din cortexul vizual), secvențe ce pot fi descrise cel mai bine prin intermediul unor traiectorii în spațiu multidimensional (Jurjuț et al. 2010). Exemple de astfel de traiectorii, vizualizate în spațiu 3D prin reducere de dimensiuni (hartă Kohonen 3D) sunt prezentate în figura de mai jos:

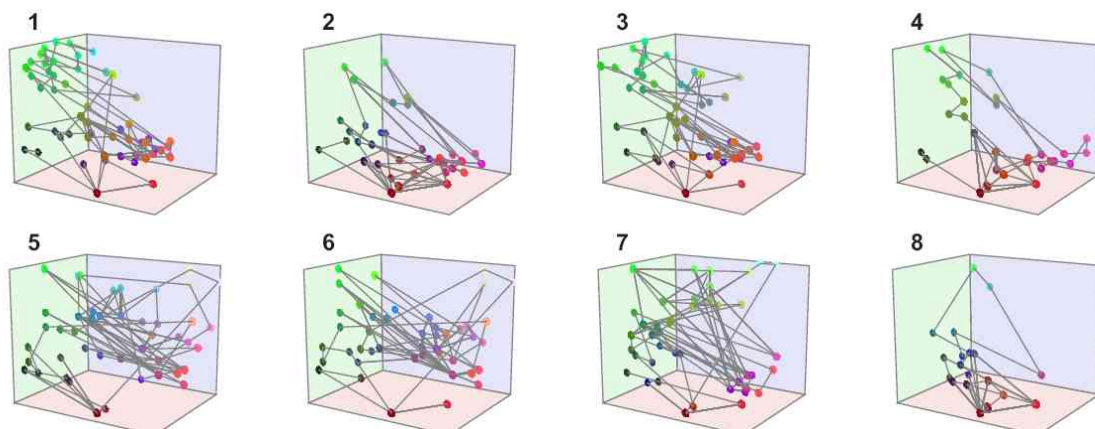


Fig. 1. Exemple de traiectorii în spațiul multi-neuronal induse de 8 stimuli vizuali diferiți (pentru detalii, a se vedea Jurjuț et al. 2009 și Jurjuț et al. 2011).

În articolul publicat în revista PLoS One (Jurjuț et al. 2011), am demonstrat faptul că în special pentru stimuli vizuali dinamici (care descriu cel mai bine situația explorării vizuale

naturale, cu succesiuni de fixații/sacade) cortexul vizual se angajează pe traiectorii multi-neuronale care au o scară de timp caracteristică („timescale”) ce reprezintă fidel dinamica stimulului. Utilizând descărcările neuronilor din cortexul vizual, clasificarea stimulilor prezentați a fost cea mai fidelă atunci când dinamica neuronală este descrisă de o traiectorie în hiper-spațiul de stări ale neuronilor înregistrați (Fig. 2).

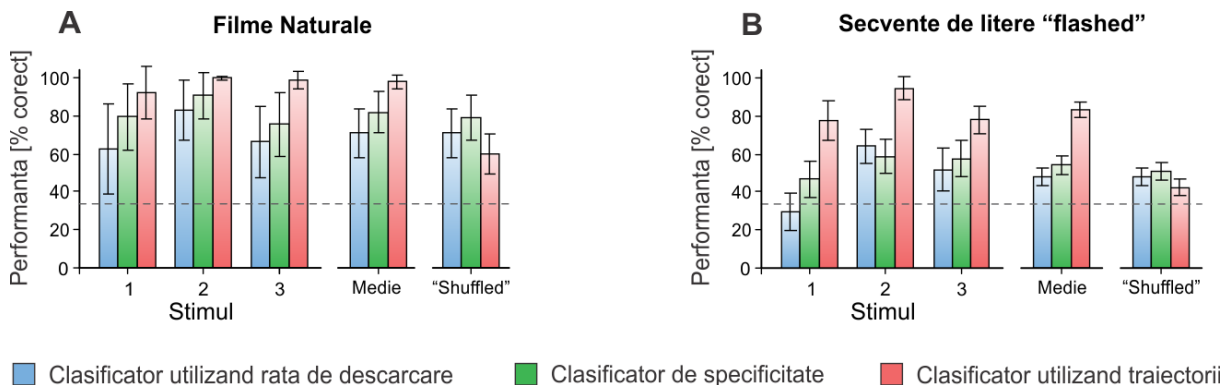


Fig. 2. Performanța de clasificare a unor clasificatoare care fac diferite asumptions asupra modului în care este codificată informația vizuală în cortex: clasificatorul de rată urmărește rata medie de descărcare a neuronilor pe perioada stimulului, clasificatorul de specificitate urmărește specificitatea la stimul a unor pattern-uri de descărcare multineuronale, iar clasificatorul de traiectorii urmărește traiectoria în spațiul multineuronal prin succesiuni de pattern-uri de descărcare. Performanța maximă de clasificare a stimulilor este obținută de clasificatorul de traiectorii, performanță care reprezintă în mod real succesiunea de pattern-uri – dacă structura temporală a datelor este distrusă („shuffled”), clasificatorul de traiectorii este grav afectat (vezi graficele „shuffled”). Detalii suplimentare în articolul Jurjuț et al. (2011).

Aceste descoperiri sunt foarte relevante pentru teoria formulată în prezentul proiect deoarece demonstrează că ideea convergenței dinamice prin traiectorii multidimensionale care susțin procesul de recunoaștere de obiecte este foarte probabil corectă. De altfel, o serie de elemente comune cu cele din teoria noastră au fost sugerate și de către Michael Spivey (Spivey 2007), incluzând ideea atractorilor, a spațiului continuu dinamic și a bazinelor de atracție cu dimensiuni variabile. Aceste elemente au fost lansate cu titlu de ipoteză și de către Spivey, însă până în prezent o demonstrație clară a existenței lor și o teorie coerentă bazată pe ele nu există, ceea ce denotă încă o dată importanța prezentului proiect.

Obiectiv 2. În contextul rafinării paradigmei cu puncte, am fost interesați și de utilizarea unor posibile corelate fiziologice ale selecției perceptive / căderii într-un atractor perceptiv. Din acest motiv, am investigat relația dintre recunoașterea de obiecte și dilatarea pupilară (vezi Țincaș et al. 2011). Rezultatele noastre au indicat faptul că în anumite condiții, semnalul pupilar poate fi utilizat pentru a distinge între stări diferite ale procesului de recunoaștere, cum sunt detecția și identificarea. De asemenea, procesarea obiectelor în timpul explorării vizuale naturale prin sacade / fixații va fi investigată și printr-un proiect postdoctoral convergent cu cel de față, demarat în 2011, având codul PN-II-RU-PD-2011-3-0278. Acesta din urmă va investiga aspecte noi, care se vor îmbina sinergetic cu direcția de cercetare a proiectului de față.

O altă activitate din cadrul acestui obiectiv a constat în dezvoltarea și ajustarea unei paradigme cu obiecte familiare / noi. Principala problemă apărută în dezvoltarea unei asemenea paradigme a constat în alegerea unor stimuli nefAMILIARI subiecților. O posibilă variantă pe care am luat-o în considerare a fost de a utiliza forme geometrice fără sens, asemeni exemplului indicat în propunerea de proiect inițială. Asemenea forme geometrice au însă un dezavantaj important: statisticile lor diferă față de cele ale stimulilor utilizați de noi. De exemplu, animalele, plantele, respectiv o parte din obiectele utilizate de noi în experimente anterioare au o serie de contururi curbe, în timp ce aceste forme geometrice

sunt formate aproape exclusiv din linii drepte. Pentru a evita introducerea acestei posibile variabile confundate, am decis generarea unor stimuli nefamiliari pornind de la imaginile utilizate de noi în mod obișnuit în experimente. Mai exact, într-o manieră similară cu cea utilizată în experimentul discutat anterior, am selectat un set de imagini de pornire. Pe baza acestor imagini, prin diferite metode de deformare, am generat stimuli conținând forme ce nu reprezentau nimic coerent. Pornind de la imaginile originale, respectiv cele deformate, am construit – prin metoda „Dots” (cu puncte) – stimuli cu vizibilitate maximă ($g = 0.30$, a se vedea și Moca et al. 2011). Exemple de stimuli reprezentând obiecte familiare respectiv nefamiliare sunt prezentate în în Fig. 3.

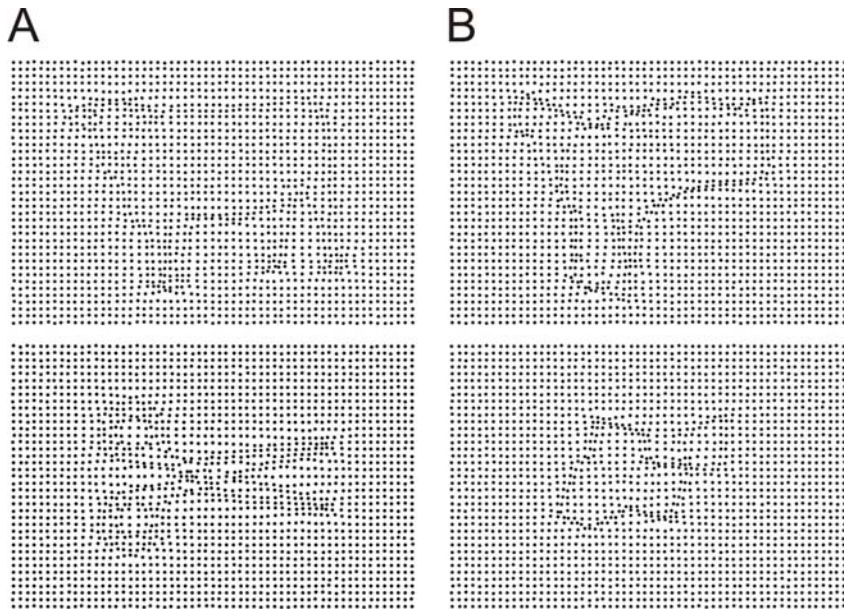


Fig. 3. Exemple de obiecte familiare (A), respectiv nefamiliare (B).

Am utilizat acești stimuli în două studii-pilot. În primul (6 subiecți: 5 femei, 22-33 ani), subiecții nu erau informați că unii stimuli nu conțin nici un obiect cu sens, ci li se cerea doar să încerce să recunoască și să numească (folosind nivelul de bază al categorizării) fiecare stimul prezentat. În al doilea (3 subiecți: 3 femei, 20-33 ani), subiecții erau informați că unii stimuli reprezintă ceva cu sens, în timp ce alții conțin doar forme fără sens. De asemenea, li se cerea să distingă între cele două categorii, respectiv să recunoască și să numească stimulii cu sens. În ambele experimente s-a realizat și eye-tracking. Rezultatele celui de-al doilea experiment indică faptul că majoritatea obiectelor sunt clasificate corect ca fiind cu sens sau fără sens (% corect = 88 – 94 %), ceea ce sugerează validitatea stimulilor¹. La nivel comportamental se constată o tendință de a petrece mai mult timp în explorarea obiectelor nefamiliare, comparativ cu cele familiare. Un trend similar se constată și la nivelul datelor obținute prin eye-tracking: (1) o dilatare pupilară mai mare în prezența stimulilor familiari comparativ cu cei nefamiliari; (2) mai multe sacade și fixații, respectiv fixații mai lungi în cazul obiectelor nefamiliare comparativ cu cele familiare. Toate aceste diferențe au fost mai pronunțate în primul experiment. În prezent aceste studii pilot sunt în derulare și vor fi aprofundate.

Obiectiv 3. Test H4.2. Pentru cel de-al treilea obiectiv a fost prevăzută pentru anul 2011 testarea ipotezei conform căreia expansiunea bazinului de atracție este specific stimulului/attractorului. În propunerea de proiect se sugera utilizarea unor seturi diferite de obiecte la nivele diferite de vizibilitate astfel încât să se prevină apariția fenomenului de histereză vizuală în procesul de recunoaștere. Pe parcurs însă, s-a ajuns la concluzia că ar fi mai potrivit să investigăm efectul histerezei vizuale la nivel de obiect individual pentru a studia dacă histereza este specifică la obiect. Într-adevăr, analizele la nivel de obiect indică faptul că histereza este specifică la obiect, atât pentru detecție cât și pentru recunoaștere

¹ Desigur, sunt necesare date de la un număr mai mare de persoane pentru a stabili acuratețea acestor rezultate.

vizuală (Fig. 4 – vezi și Moca et al. 2011). De exemplu, histereza de recunoaștere vizuală, i.e. scăderea pragului de recunoaștere când stimulii sunt prezentați în ordine descendentă față de ordinea ascendentă a vizibilității, este mult mai pronunțată pentru obiectul „căști audio” decât pentru obiectul „pian” (Fig. 4).

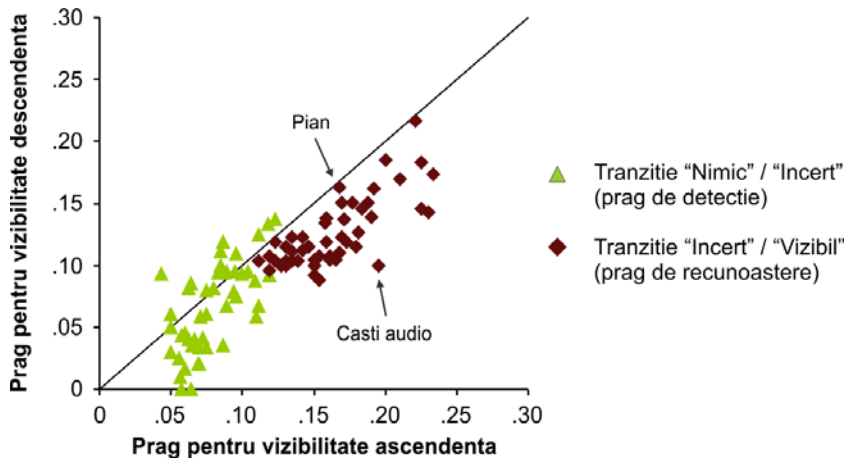


Fig. 4. Histereza vizuală măsurată prin prezentarea stimulilor în ordinea descendentă față de cea ascendentă a vizibilității, estimată la nivel de obiect individual.

Aceste rezultate sugerează că ipoteza H4.2 este probabil confirmată, i.e. bazinul de atracție este specific la stimul.

Obiectiv 4. Așa cum am arătat mai sus (vezi studiile discutate la Obiectivul 2), în această etapă am realizat și o serie de înregistrări eye-tracking. Analiza acestor date a ridicat o problemă importantă. Programele de analiză a datelor de eye-tracking disponibile în acest moment (ex: *EyeNal* – Applied Science Laboratories, 2007; *GazeAlyze* – Berger et al., 2011) fie nu oferă suficientă flexibilitate în realizarea analizelor, fie implementează o serie de algoritmi ce riscă să introducă erori în estimarea unor parametri cum ar fi numărul sau lungimea sacadelor. Din acest motiv, am considerat necesară dezvoltarea unui software propriu (*Regard*). Acesta implementează (1) preprocesarea datelor de eye-tracking, permițând o detecție mai acurată a sacadelor/fixațiilor (pe baza algoritmul propus de Nyström & Holmqvist 2010); (2) corecția posibilelor devieri ale poziției oculare pe parcursul experimentului; (3) curățarea automată și/sau manuală a datelor (pentru eliminarea artefactelor); (4) vizualizarea trial cu trial a traiectoriei și a fixațiilor oculare, respectiv a diametrului pupilar. *Regard* permite și exportarea pentru analize ulterioare a diferitor parametri care descriu explorarea oculară respectiv dilatarea pupilară. De asemenea, în etapa 2011 au fost înregistrate și date EEG pilot. Utilizând aceste date, s-a demarat investigarea cuplajului fronto-occipito-temporal prin metode de phase-locking și coerență spectrală. De asemenea, membrii echipei au studiat și mecanismele care stau la baza oscilațiilor gamma (Moca & Mureșan 2011), deoarece proiectul vizează estimarea modului prin care aceste oscilații ar putea contribui la cuplajul dintre ariile frontale, occipitale și temporale în timpul recunoașterii de obiecte.

Diseminare intermediară. A se vedea punctul 3, mai jos.

Bibliografie

1. Applied Science Laboratories (2007) Eye Tracker System Manual, ASL EyeTrac 6. *EyeNal* Analysis Software (Manual Version 1.41). Applied Science Laboratories, Bedford, MA.
2. Berger C., Winkels M., Lischke A., Höppner J. (2011) *GazeAlyze*: a MATLAB toolbox for the analysis of eye movement data. *Behavior Research Methods*. Available: <http://www.springerlink.com/content/604r1p1617401871/>. Accessed 16 Nov 2011.
3. Jurjuț O.F., Nikolić D., Pipa G., Singer W., Metzler D., Mureșan R.C. (2009), A color-based visualization technique for multi-electrode spike trains. *Journal of Neurophysiology* 102:3766-3778.

4. Jurjuț O.F., Nikolić D., Singer W., Yu S., Havenith M.N., Mureșan R.C. (2011), Timescales of Multineuronal Activity Patterns Reflect Temporal Structure of Visual Stimuli. *PLoS One* 6(2): e16758.
5. Moca V.V. and Mureșan R.C. (2011), Emergence of beta/gamma oscillations: ING, PING, and what about RING?, (CNS Meeting 2011) Stockholm Sweden: *BMC Neuroscience* 12 (Suppl 1), p. 230.
6. Moca V.V., Țincaș I., Melloni L., Mureșan R.C. (2011), Visual exploration and object recognition by lattice deformation. *PLoS One* 6(7): e22831.
7. Nyström M, Holmqvist K (2010) An adaptive algorithm for fixation, saccade, and glissade detection in eyetracking data. *Behavior Research Methods* 42(1): 188–204.
8. Spivey, M.J. (2007), The continuity of mind. New York: Oxford University Press.

3. Diseminare rezultate în anul 2011

Pentru anul 2011 s-a prevăzut diseminarea rezultatelor printr-un singur articol ISI. Cu toate acestea, s-a reușit publicarea a două articole ISI legate direct de prezentul proiect și a două abstracturi extinse, cu peer-review, publicate în suplimente ale unor reviste ISI și susținute la două conferințe internaționale de prestigiu (CNS2011 la Stockholm, Suedia și ICON XI la Palma de Mallorca, Spania). De asemenea, directorul de proiect a susținut și o prelegere invitată în Germania despre rezultatele obținute până acum în cadrul proiectului.

Articole ISI:

- **Moca V.V., Țincaș I., Melloni L., Mureșan R.C.** (2011), Visual exploration and object recognition by lattice deformation. *PLoS One* 6(7): e22831.
- **Jurjuț O.F., Nikolić D., Singer W., Yu S., Havenith M.N., Mureșan R.C.** (2011), Timescales of Multineuronal Activity Patterns Reflect Temporal Structure of Visual Stimuli. *PLoS One* 6(2): e16758.

* Directorul de proiect este autorul corespondent al ambelor articole.

Abstracturi extinse, cu peer-review, în suplimente ale unor reviste ISI:

- **Țincaș I., Moca V.V., Mureșan R.C.** (2011), Pupil dilation and visual object recognition, (ICON XI 2011) Palma de Mallorca, Spain: *Frontiers in Human Neuroscience*, doi:10.3389/conf.fnhum.2011.207.00473.
- **Moca V.V., Mureșan R.C.** (2011), Emergence of beta/gamma oscillations: ING, PING, and what about RING?, (CNS Meeting 2011) Stockholm Sweden: *BMC Neuroscience* 12 (Suppl 1), p. 230.

Prelegeri invitate susținute de directorul de proiect:

- **Mureșan R.C. (2011)**, Visual Exploration and Object Recognition with the "Dots" Stimuli, invited talk at *Castle Ringberg retreat of the Max Planck Institute for Brain Research*, Tegernsee, Germany, September 2011.