

## Sinteza lucrării

**Proiect** TE-11, contract Nr. 23/28.07.2010

**Perioada de raportare:** 01.01.2012 – 31.12.2012 (12 luni)

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

**Director de proiect:** Dr. Raul C. Mureșan

### 1. Obiective

Pentru anul 2012, conform Anexei Ila a contractului de finanțare s-au prevăzut următoarele obiective:

- Obiectiv 1: ajustarea teoriei recunoașterii prin atractori
- Obiectiv 3: test ipoteze H4.4. – H4.8. și începere test H4.3.
- Obiectiv 4: înregistrare date; analiză preliminară
- Diseminare intermediară: întocmire publicații, participare la conferințe / stagii de cercetare

### 2. Implementarea obiectivelor

În principal, obiectivele propuse pentru anul 2012 vizează:

- Paradigmele experimentale pentru testarea ipotezelor referitoare la teoria recunoașterii prin intermediul atractorilor
- Înregistrarea datelor psihofizice, de eye-tracking și EEG
- Analiza preliminară a datelor înregistrate.

#### 2.1. Teoria recunoașterii prin atractori – cele mai importante ipoteze

Teoria recunoașterii obiectelor prin intermediul atractorilor sistemului vizual, dezvoltată în cadrul prezentului proiect, propune, printre altele, următoarele ipoteze fundamentale:

- Sistemul vizual se comportă asemenea unui sistem dinamic ce converge către atractori stocați pentru fiecare obiect/categorie.
- Dinamica sistemului vizual (manifestată prin descărcările neuronale din ariile vizuale) în acest spațiu este guvernată de două componente: forțe externe, de „împingere” și forțe interne de „atracție”.
- Forțele externe de „împingere” corespund plasării sistemului în spațiul atractorilor; pentru un anumit obiect, forța externă plasează sistemul în vecinătatea atractorului corespunzător, cu atât mai aproape de acesta cu cât informația furnizată sistemului vizual este mai mare – din acest motiv, pentru a studia dinamica sistemului în spațiul de stări, înainte de căderea într-un atractor, este vital ca stimulul vizual să poată fi controlat pentru a furniza informație vizuală arbitrar de puțină.
- Forțele interne de „atracție” corespund structurii spațiului intern de stări ale sistemului, ele fiind cu atât mai mari cu cât starea sistemului se apropie de atractori specifici în spațiul de stări; de aceea, plasarea sistemului imediat în vecinătatea unui atractor conduce la convergența sa aproape instantanee în atractor – de unde și recunoașterea aproape instantanee a unui obiect dacă sistemul vizual dispune de suficientă informație vizuală de la stimul.

#### 2.2. Paradigme experimentale

Până în prezent s-au dezvoltat și rafinat două paradigme experimentale pentru testarea ipotezelor teoriei recunoașterii prin atractori. Cele două se bazează pe protocoale experimentale care furnizează o cantitate controlabilă de informație vizuală pentru ca experimentul să poată manipula cât mai precis poziția sistemului în spațiul atractorilor – în mod ideal, prin intermediul unor stimuli vizuali speciali, sistemul ar trebui amplasat departe de atractori pentru a putea studia convergența dinamică spre atractori; prea multă informație furnizată sistemului vizual conduce la o recunoaștere aproape instantanee și la imposibilitatea studierii convergenței sistemului în timp. De aceea, stimulii vizuali utilizați au fost cei dezvoltati special în aceste scopuri în cadrul prezentului proiect – stimulii cu puncte (Moca et al. 2011).

### 2.2.1. Paradigma „ascending”

Forța externă de „împingere” asupra sistemului rezultă din cantitatea de informație vizuală prezentă în stimulii vizuali. Din acest motiv, prima paradigmă experimentală a vizat selectarea unui set de obiecte care au putut fi recunoscute cu ușurință de către participanți atunci când exista suficientă informație despre identitatea lor dar care nu puteau fi recunoscute decât foarte greu, cu explorare vizuală prelingită, atunci când informația vizuală era limitată. Mai exact, acest experiment a implicat rafinarea „paradigmei cu puncte” (Dots) dezvoltată anterior (vezi Moca et al., 2011), respectiv colectarea de date EEG și eye tracking cu ajutorul ei.

*Stimulii.* Am selectat un număr de 30 de imagini (de animale, plante, fructe, obiecte, etc.) de pornire, pe baza cărora am generat – prin metoda punctelor – stimuli cu 7 nivele de vizibilitate (de la  $g = 0$  la  $g = 0,30$ ). Imaginile de pornire au fost selectate pe baza unui experiment preliminar în care am evaluat acordul inter-subiect ( $N = 20$ ) în recunoașterea a 200 de stimuli cu  $g = 0,30$ . Cele 30 de imagini selectate pentru experimentul de față întruniseră un acord inter-subiect de 100%.

*Design-ul experimental.* Variabila manipulată în acest experiment a fost nivelul de vizibilitate al stimulului: de la  $g = 0$  la  $g = 0,30$ , ultima variantă reprezentând nivelul de vizibilitate maximă. Această variabilă este de tip intra-subiect. Mai exact, experimentul a fost împărțit în 7 blocuri (sesiuni) – corespunzătoare celor 7 nivele de vizibilitate – mergând crescător de la vizibilitate minimă la vizibilitate maximă. În fiecare din acestea, participanților li se prezentau pe rând cei 30 de stimuli și li se cerea să încerce să recunoască ce reprezintă. S-au definit trei variante de răspuns posibile: (1) stimulul nu pare să reprezinte nimic cu sens („Nimic”); (2) stimulul pare să reprezinte ceva cu sens, dar nu suficient de clar pentru a putea fi recunoscut („Ceva” / „Nesigur”) sau (3) stimulul reprezintă în mod clar ceva cu sens (în acest caz, participanților li se cerea să denumească ceea ce văd).

Pe toată durata experimentului, participanților li se permitea să facă sacade oculare, cu alte cuvinte să exploreze liber stimulii. Am considerat că acest aspect ne va permite să studiem fenomenelor legate de forțele externe de „împingere” care acționează asupra sistemului vizual când acesta este „plimbat” prin spațiul atractorilor de fixații vizuale succesive.

### 2.2.2. Paradigma „objects versus non-objects”

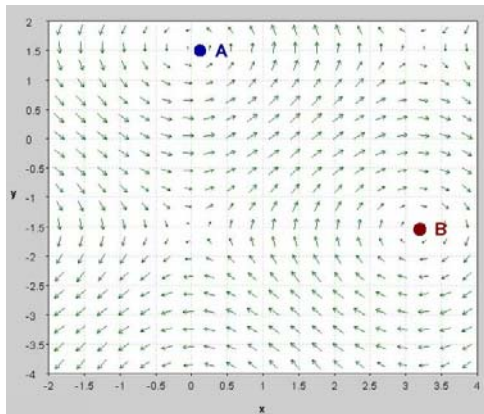
Existența spațiului de atractori și prezența unor forțe interne de atracție specifice fiecărui atractor sunt nucleul teoriei propuse în prezentul proiect de cercetare. Conform teoriei, prima observație este aceea că fiecare obiect/categorie recunoscut(ă) de sistemul vizual are stocat un atractor corespunzător care exercită forțe de atracție în hiper-spațiul de stări interne ale sistemului. Pe cale de consecință, stimulii vizuali care nu reprezintă obiecte/categorii cunoscute și care nu au sens („non-objects”) nu ar avea cum să aibă atractori stocați (atractorii sunt formați prin învățare, preluând pattern-uri vizuale coerente și recurente din mediul vizual). Un mod de a studia existența atractorilor și a forțelor interne de atracție este reprezentat de utilizarea a două tipuri de stimuli: stimuli cu sens, care reprezintă obiecte familiare ușor de recunoscut de către toți subiecții, și stimuli fără sens, reprezentând obiecte nefamiliare sau non-obiecte care nu pot fi identificate/categorizate de subiecți. Testele preliminare asupra acestui tip de stimuli au fost realizate de către echipa de cercetare în anul 2011 și sumarizate în raportul anterior. În această etapă am utilizat acest tip de stimuli în experimentul descris mai jos.

*Stimulii.* Pentru acest experiment am selectat 40 imagini de pornire (cu sens), într-o manieră similară cu demersul aplicat la paradigma descrisă anterior (aici acordul inter-subiect a fost de minim 95%). Cele 40 de imagini au fost distorsionate pentru a obține imagini de pornire fără sens. Pe baza celor 80 de imagini rezultate în acest mod am generat apoi – prin metoda punctelor – stimuli cu vizibilitate  $g = 0,20$  și  $g = 0,30$ .

*Designul experimental.* Variabilele manipulate (intra-subiect) în acest experiment au fost *tipul stimulului* (cu sens / fără sens), *nivelul de vizibilitate* (0,20 / 0,30) și *comportamentul ocular* (menținerea fixă a privirii / explorare liberă). De asemenea, participanților li s-a spus că toți stimulii pe care urmează să îi vadă reprezintă ceva cu sens, dar că e posibil ca unii să fie mai dificil de recunoscut. Li s-a cerut să facă tot posibilul să încerce să recunoască stimulii prezentați. Răspunsurile erau oferite întâi apăsând unul din două butoane posibile, iar apoi verbal – denumind stimulul, sau spunând „Nu știu” dacă în ciuda eforturilor nu reușeau să recunoască.

### 2.2.3. Paradigma „phase-portrait” (în curs de dezvoltare)

Cele două paradigme experimentale descrise anterior permit investigarea existenței forțelor de „împingere” și „atracție” doar prin observații indirecte. În mod ideal, existența atractorilor și dinamica sistemului perturbat de stimulii externi ar putea fi demonstrate direct dacă măsurătorile ar permite construirea unui așa numit „portret de fază” (Fig. 1). Portretul de fază este o descriere, de obicei într-un plan bidimensional, a dinamicii locale a unui sistem în fiecare punct al planului de fază și permite identificarea atractorilor, a ciclurilor limită, a mișcării sistemului în funcție de poziția sa instantanee (Izhikevich 2006; Strogatz 1994).



**Fig. 1.** Portret de fază având doi atractori circulari.

Modificat după:

<https://controls.engin.umich.edu/wiki/index.php/PhasePlaneAnalysis>

Din păcate construirea unui spațiu al fazelor corespunzător sistemului vizual este o misiune extrem de dificilă, aproape imposibilă. Motivul este acela că sistemul vizual nu poate fi măsurat în totalitatea lui (este compus din sute de milioane de neuroni și zeci de mii de populații neuronale din care tehnologia actuală ne permite să măsurăm o proporție infimă). O posibilă soluție este de a încerca reconstrucția unui spațiu „aproximativ” de faze, luând în calcul datele psihofizice și semnalul de EEG, acesta din urmă reprezentând o vedere foarte „coarse” asupra activității neuronale. Echipa de cercetare lucrează în prezent și la dezvoltarea unei asemenea abordări, care ar putea fi și tema unui nou proiect de cercetare.

### 2.3. Desfășurarea experimentelor

**Paradigma „ascending”.** La acest experiment au participat inițial 11 persoane; datele de la una dintre aceste persoane au fost însă eliminate din analize ulterioare, din cauza contaminării excesive a semnalului EEG cu artefacte musculare. Eșantionul final a constat din 10 participanți (20-44 ani; 5 femei, 5 bărbați).

**Paradigma „objects versus non-objects”.** În acest studiu au fost implicate inițial 8 persoane, dintre care 7 (20-26 ani; 6 femei, 1 bărbat) au avut date valide, fără prea multe artefacte musculare.

Participanții pentru cele două experimente au fost selectați pe bază de voluntariat dintre studenții de nivel licență de la specializarea Psihologie a Universității Babeș-Bolyai sau ai Universității Tehnice din Cluj-Napoca. Toți au primit ore de practică în schimbul participării. Nici o persoană nu a putut lua parte la ambele experimente, însă procedura a fost similară în cele două cazuri. Înainte de începerea experimentului, fiecare participant a citit și semnat un formular de consimțământ. Pe parcursul experimentului, fiecare participant era așezat în interiorul unei cuști Faraday (pentru a bloca zgomotul electric), la o masă pe care se afla monitorul de prezentare a stimulilor. Participanții răspundeau apăsând întâi un buton, iar apoi verbal (răspunsurile verbale erau înregistrate manual de către un membru al echipei acestui proiect). În fiecare experiment, în paralel cu sarcina de recunoaștere s-a înregistrat EEG de înaltă densitate cu 128 de electrozi la o frecvență de eșantionare de 1024 eșantioane/s și eye-tracking cu un sistem ASL-6000.

### 2.4. Analiza preliminară a datelor (EEG)

În această etapă s-a demarat analiza semnalelor biologice înregistrate, în special a semnalului EEG. Demersul analitic a fost similar în cazul celor două experimente descrise mai sus. Singura diferență a constat în modalitatea de grupare a datelor, în funcție de răspunsurile date de participanți și condițiile design-ului experimental. În cazul paradigmei „ascending”, am ținut cont de cele trei categorii de răspuns și nivelele de vizibilitate ( $g$ ). În cazul paradigmei „objects versus non-objects”, analiza a vizat în primul

rând tipul stimulului și răspunsurile date, rezultând astfel patru categorii posibile: (1) stimul cu sens recunoscut corect ( $M = 74,57$  trials); (2) stimul cu sens denumit greșit sau nerecunoscut („Nu știu”;  $M = 5,43$  trials); (3) obiect fără sens cu răspuns „corect” („Nu știu”;  $M = 47,71$  trials); (4) obiect fără sens identificat în mod eronat ca ceva cu sens ( $M = 32,29$  trials). Doar o parte a acestor modalități de grupare a datelor sunt incluse în acest raport (vezi 2.5 Rezultate preliminare).

Pe lângă metodele „clasice” de analiză, echipa de cercetare a fost nevoită să dezvolte și alte metode avansate care să permită investigarea aspectelor dificile specifice acestui proiect.

#### 2.4.1. Metode noi dezvoltate

##### A. Dimensionalitatea fractală „time-resolved”

O primă metodă de analiză, importantă pentru investigarea teoriei recunoașterii prin atractori, este reprezentată de *dimensionalitatea fractală* a semnalului EEG (Moca et al. 2009). Analize preliminare pe date înregistrate cu paradigma cu puncte au sugerat că dimensionalitatea este mare în timpul explorării vizuale (corespunzătoare „plimbării” sistemului prin spațiul de stări) și scade drastic în timpul selecției vizuale (căderea în attractor). Deoarece stimulii utilizați permit furnizarea unei cantități limitate de informație vizuală, în mod frecvent subiecții explorează stimulii un timp îndelungat, chiar și peste 10 secunde. În acest context, pentru a identifica potențialele faze de explorare/selecție e necesar ca dimensionalitatea fractală să poată fi calculată „time-resolved”. Cu alte cuvinte de-a lungul explorării vizuale a stimulului să existe posibilitatea de a determina dimensionalitatea semnalului de EEG la fiecare moment în timp. În acest scop, echipa de cercetare a dezvoltat o metodă de a calcula dimensionalitatea fractală în ferestre consecutive pentru fiecare stimul explorat și a implementat metoda într-un soft dezvoltat în Visual C++. Metoda urmează să fie aplicată în etapa următoare, în conjuncție cu celelalte metode de analiză.

##### B. „Scaled-correlation”

Majoritatea procedurilor „clasice” de analiză a semnalului EEG se bazează pe metode spectrale (analiză în frecvență). Dintre acestea, metoda coerenței spectrale și a „phase-locking”-ului permit investigarea cuplajului în frecvență dintre diferite arii corticale. În cadrul proiectului nostru, este importantă investigarea cuplajului occipito-fronto-temporal deoarece aceste arii sunt cu siguranță implicate în recunoașterea conștientă a obiectelor (occipital – sistemul vizual primar; frontal – sistemul care este probabil implicat în procesarea conștientă a stimulilor; temporal – parte din sistemul vizual ventral, responsabil de recunoaștere) (Melloni et al. 2007). Din păcate metodele spectrale au o serie de limitări care pot fi problematice pentru proiectul de față. În primul rând, ele nu sunt capabile să detecteze sincronizare (cuplaj) non-periodică/non-oscilatorie între surse. În al doilea rând, metodele spectrale se bazează foarte mult pe asumția de staționaritate a semnalelor, lucru violat în mod clar în cazul semnalului EEG. Acestea sunt limitări serioase din punctul nostru de vedere deoarece este foarte posibil ca în timpul explorării vizuale a stimulului și a „plimbării” sistemului prin spațiul de stări sincronizarea să fie doar tranzientă și de scurtă durată (directorul de proiect a observat aceste caracteristici în analizele efectuate în ultimii ani pe date înregistrate direct din cortexul vizual al mamiferelor).

Aceste limitări pot fi evitate parțial prin utilizarea unor metode de analiză din domeniul temporal, cum ar fi funcția de cross-corelație, în ferestre mici, de-a lungul semnalului. Cross-corelația permite identificarea de sincronizări periodice (oscilații detectabile în lobi lateralii ai funcției de cross-corelație) cât și pe cele non-periodice (vizibile în vârful central al funcției de cross-corelație). Din păcate, deși această metodă rezolvă o parte dintre problemele metodelor spectrale, ea introduce o altă problemă, foarte gravă, și anume imposibilitatea de a identifica sincronizări pe scale temporale rapide (banda gamma) atunci când există în mod concurent sincronizări lente (benzile delta, theta, alpha). Fenomenul se numește „slow rate-covariation”, fiind semnalat în date binare de tip „spiking” de către Carlos Brody în anul 1999 (Brody 1999). Datele EEG nu fac excepție și suferă de aceeași problemă: sincronizarea pe scală temporală rapidă este „îngropată” de sincronizările lente.

Împreună cu colaboratorii săi, directorul de proiect a dezvoltat o nouă metodă de analiză a cross-corelațiilor care să nu sufere de problema descrisă mai sus. Metoda se numește „scaled-correlation” și se bazează pe „sampling-ul” limitat al varianței (vezi Nikolić et al. 2012). Aceasta permite selectarea unei „scale temporale” de interes și calculează o funcție de cross-corelație modificată care „protejează” corelațiile la scala temporală de interes. Analize preliminare pe datele înregistrate în cadrul acestui

proiect demonstrează că metoda poate detecta sincronizări tranziente, atât periodice cât și non-periodice și că poate pune în evidență asemenea sincronizări chiar și când alte metode nu le pot identifica.

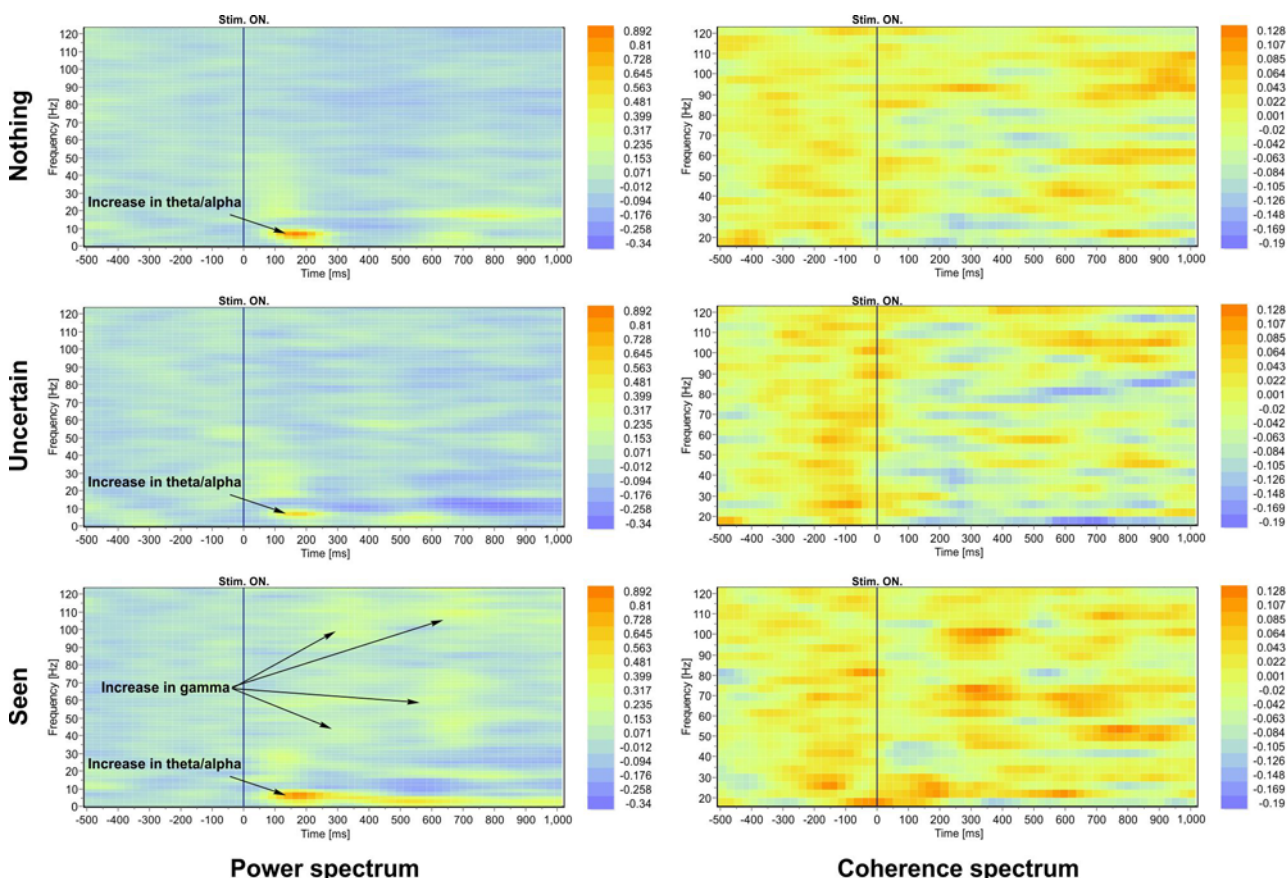
## 2.4.2. Metode „clasice” de analiză a EEG implementate

Pentru analiza semnalelor de EEG există disponibile o serie de librării implementate în Matlab (EEG Lab, Fieldtrip, Chronux, etc). Acestea funcționează rezonabil pentru seturi de date de dimensiuni mici și medii, însă au probleme foarte serioase atunci când seturile de date sunt mari. În cazul experimentelor realizate în cadrul prezentului proiect subiecții pot explora liber stimulii vizuali, ceea ce conduce la o durată foarte mare a „trial”-urilor și implicit la seturi de date de dimensiuni foarte mari (1-2 GB). Din păcate instrumentele disponibile online pentru analiza EEG nu fac față unor asemenea seturi de date. Din acest motiv, echipa de cercetare a fost nevoită să își dezvolte propriile instrumente de analiză, scrise în limbajele Delphi și Visual C++. Au fost implementate, printre altele, și următoarele analize spectrale:

- *Power spectrum* – calculează transformata Fourier a unui semnal; implementare atât cu metoda Welch cât și „time-resolved”.
- *Magnitude-squared coherence* – calculează coerența spectrală a două semnale (estimează sincronizarea periodică a semnalelor = cuplaj în frecvență și fază).
- *Phase-locking* – calculează, pentru fiecare frecvență, stabilitatea fazei dintre două semnale în timpul mai multor prezentări ale aceluiași stimul/în aceeași condiție experimentală.

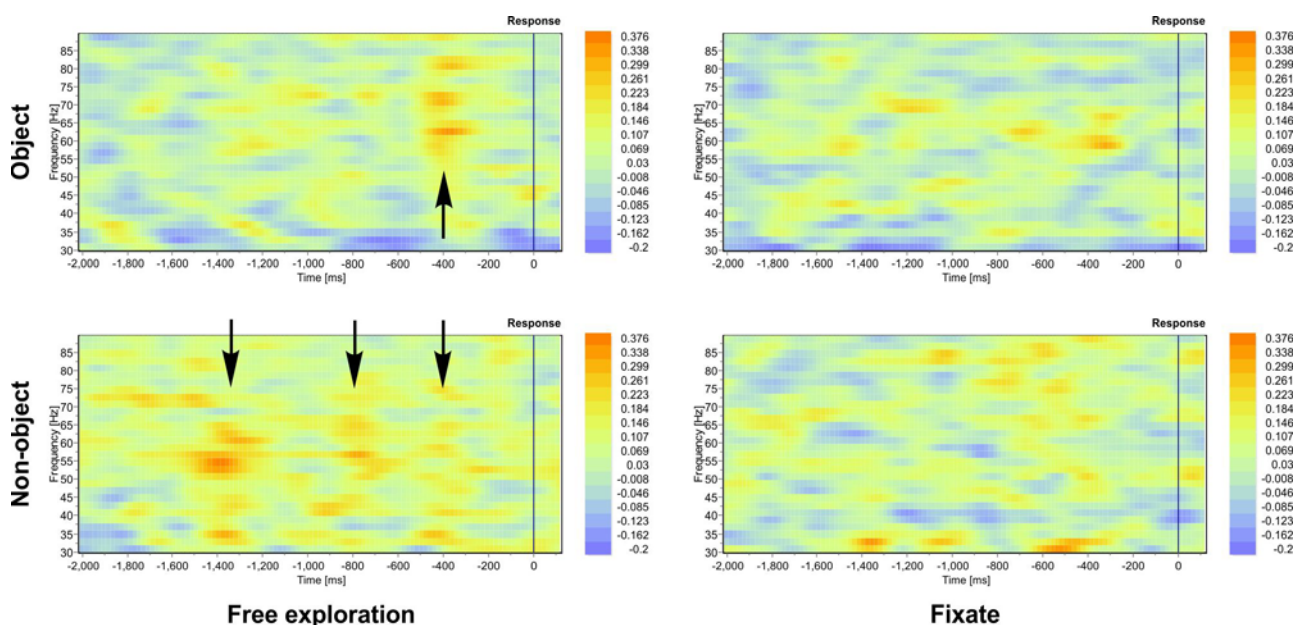
Înainte analizelor descrise mai sus, datele EEG înregistrate au fost preprocesate. În primul pas s-a aplicat un set de filtre de tip Infinite-Impulse Response (IIR) bidirecțional (pentru a evita distorsiunile de fază). Filtrarea s-a făcut cu un filtru trece-bandă de 1-120 Hz și un filtru notch (stop-bandă) de 49-51 Hz pentru a elimina eventualele zgomote de rețea. În pasul următor pentru a se elimina artefactele musculare trial-urile au fost inspectate vizual iar cele care conțineau artefacte vizibile au fost eliminate.

## 2.5. Rezultate preliminare



**Fig. 2.** Spectrul de putere (power – stânga) mediu pe toți electrozii și cel de coerență (dreapta) între electrozii occipitali și frontali, în funcție de tipul de răspuns. Datele sunt aliniate la prezentarea stimulului pe ecran.

Pentru paradigma „ascending”, rezultatele preliminare relevă prezența unei oscilații puternice în banda theta/alpha (5-12) Hz imediat după prezentarea stimulului vizual (Fig. 2, coloana stânga), indiferent de tipul răspunsului dat de participant. De asemenea, se remarcă faptul că există o creștere a puterii oscilațiilor în banda gamma față de „baseline”, însă această creștere este specifică doar condiției în care participantul raportează că recunoaște obiectul. Acest rezultat este consistent cu ipoteza conform căreia oscilațiile gamma sunt implicate în recunoașterea conștientă a obiectelor. La fel de interesante sunt rezultatele obținute folosind coerența spectrală, care măsoară cuplajul dintre arii. Astfel, coerența occipito-frontală pare să fie ridicată chiar înaintea prezentării stimulului (Fig. 2, coloana dreapta), reflectând probabil o expectanță / o pregătire a sistemului pentru procesarea stimulului vizual. După apariția stimulului, se remarcă însă faptul că în cazul în care subiectul vede ceva dar este nesigur coerența în banda gamma scade, pe când în cazul în care subiectul percepe stimulul conștient coerența în banda gamma crește. Așadar, este posibil ca oscilațiile gamma să cupleze dinamic ariile occipitale și frontale în timpul explorării vizuale. Astfel, emitem ipoteză că acest cuplaj apare atunci când o ipoteză vizuală poate fi testată, adică sistemul se apropie de unul sau mai mulți atractori și cade într-un atractor clar. În cazul în care nu există informație suficientă, pentru a nu da un răspuns eronat, sistemul se îndepărtează voluntar de atractori și încearcă să exploreze alte soluții, fapt care se materializează într-o scădere temporară a coerenței occipito-frontale. Evident, această ipoteză va trebui testată pe larg în etapa următoare a prezentului proiect. Rezultatele preliminare însă, ne indică natura posibilă a forțelor externe de „împingere” și modul în care sistemul reacționează cuplând/decuplând arii corticale implicate în procesare.



**Fig. 3.** Spectrul de putere mediu pe toți electrozii în funcție de tipul stimulului (obiect/non-obiect) și de protocolul experimental (explorare liberă/fixație). Datele sunt aliniată la răspunsul subiectului (apăsarea butonului, înaintea răspunsului verbal).

În cazul paradigmei „objects versus non-objects” rezultatele sunt și mai interesante. Astfel, în cazul explorării libere a stimulului, atunci când persoana percepe în mod corect un obiect, apare o creștere a puterii în banda gamma predominant înainte de răspuns (-400 ms; Fig. 3, stânga sus, săgeată). În cazul identificării corecte a unui non-obiect creșterea în banda gamma pare să fie ciclică, la momente succesive ce ar putea corespunde unor fixații vizuale succesive (Fig. 3, stânga jos, săgeți). Astfel, este posibil ca această creștere în putere să reflecte elaborarea unei ipoteze despre identitatea obiectului, respectiv apropierea de un atractor. În cazul non-obiectelor această apropiere se face succesiv către diferiți atractori (fiecare fiind o ipoteză relativ la identitatea obiectului) însă sistemul nu rămâne în niciun atractor stabil. Creșterea în banda gamma la momente discrete este vizibilă în cazul explorării libere deoarece în trial-uri diferite aceasta apare la momente similare față de evenimentul de referință (în acest caz, apăsarea butonului de răspuns). Este posibil ca dinamica de sacade/fixații să confere această

structură temporală relativ fixă pe un set de trial-uri diferite. Cu alte cuvinte, există o relație directă între procesul de explorare a stărilor interne și dinamica oculară.

Contrar intuiției, atunci când participantul trebuie să fixeze obiectul, creșterea puterii în banda gamma, deși există, nu pare să fie aliniată la răspuns (Fig. 3, dreapta). În acest caz, deși probabil participantul explorează intern ipoteze diferite în spațiul atractorilor, este posibil ca explorarea internă să nu fie aliniată la răspuns și nici la prezentarea stimulului. Lipsa alinierii între trial-uri diferite conduce la situația în care creșterile de putere în banda gamma apar împrăștiate difuz în media peste trial-uri. Așadar, aceste rezultate sugerează că explorarea spațiului de stări se face în mod diferit atunci când este implicată dinamica oculară versus situația în care explorarea spațiului de stări se face pur mental, fără mișcări oculare de amplitudine mare.

Considerăm că rezultatele preliminare sunt promițătoare și că în etapa următoare, care va fi focalizată pe analize detaliate, ipotezele enunțate în proiect vor putea fi testate riguros. Etapa următoare va continua cu analiza exhaustivă a datelor folosind metodele descrise în acest raport și cu elaborarea unei publicații finale care să disemineze rezultatele proiectului.

## Bibliografie

1. Brody C.D. (1999) Correlations without synchrony. *Neural Computation*, 11:1537–1551.
2. Izhikevich E.M. (2007), Dynamical Systems in Neuroscience: The Geometry of Excitability and Bursting. *MIT press*.
3. Melloni L., Molina C., Pena M., Torres D., Singer W., Rodriguez E. (2007) Synchronization of Neural Activity across Cortical Areas Correlates with Conscious Perception. *J Neurosci*. 27(11):2858-2865.
4. Moca V.V., Țincaș I., Melloni L., Mureșan R.C. (2011), Visual exploration and object recognition by lattice deformation. *PLoS One* 6(7): e22831.
5. Nikolić D, Moca VV, Singer W, Mureșan RC (2008), Properties of multivariate data investigated by fractal dimensionality, *J Neurosci Methods* 172: 27-33.
6. Nikolić D., Mureșan R.C., Feng W., Singer W. (2012), Scaled correlation analysis: a better way to compute a cross-correlogram. *European Journal of Neuroscience* 35(5): 742-762.
7. Strogatz S. (1994), Nonlinear dynamics and chaos : with applications to physics, biology, chemistry, and engineering. *Perseus Books*.

## 3. Diseminare rezultate în anul 2012

Pentru anul 2012 s-a prevăzut diseminarea rezultatelor printr-un singur articol ISI. În plus, directorul de proiect a efectuat și o vizită la University College London pentru a discuta unele paradigme experimentale avansate care s-ar putea realiza în animale pentru a înregistra date direct din cortex, folosind tehnica microelectrozilor implantați *in vivo*.

### Articole ISI:

- **Nikolić D., Mureșan R.C., Feng W., Singer W.** (2012), Scaled correlation analysis: a better way to compute a cross-correlogram. *European Journal of Neuroscience* 35(5): 742-762.

### Prelegeri invitate/vizite științifice efectuate de directorul de proiect:

- Vizită efectuată la University College London, în Londra, Marea Britanie – laboratorul lui Michael Häusser, investigator Dr. Martha N. Havenith. Directorul de proiect a discutat tehnici experimentale de ultimă oră pentru investigarea oscilațiilor gamma induse de stimuli vizuali.