

HIJERARHIJSKI MODELI MOŽDANIH NEURONSKIH MREŽA I KOGNITIVNE IMPLIKACIJE*

Iz udžbenika prof. dr Dejana Rakovića, "Osnovi biofizike", 3. izd. (IASC & IEFPG, Beograd, 2008)

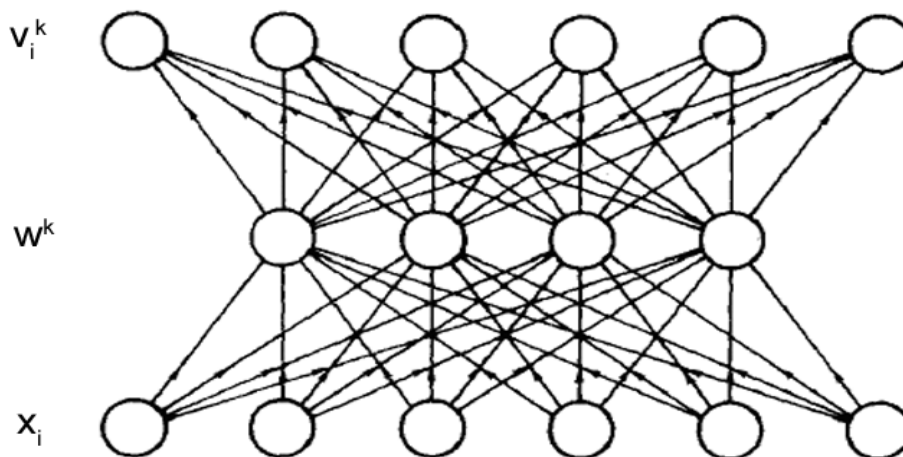
Danas preovlađujuća paradigma je da se procesiranje informacija na nivou centralnog nervnog sistema odigrava posredstvom *hijerarhijskih neuronskih mreža*. Osim toga, tokom procesa učenja značajnu ulogu u globalnoj distribuciji (po celoj moždanoj kori) hijerarhijski obrađivanih informacija igraju i moždani talasi. Izgleda da se ova hijerarhija bioloških neuronskih mreža spušta sve do subćelijskog *citoskeletalnog* mezoskopskog nivoa, za koji neki istraživači veruju da predstavlja interfejs između *neuralnog* i *kvantnog* nivoa.

Prednost arhitekture hijerarhijskih neuronskih mreža je da *funkcionalno specijalizovani neuroni* svakog sloja procesiraju samo *ograničenu količinu informacija*! Ukupna globalna situacija se onda postepeno rekonstruiše kako se procesirajuća informacija pomera ka izlaznim slojevima hijerarhijske mreže. Ovakav pristup zahteva *daleko manji broj neurona* u hijerarhijskim neuronskim mrežama, nego što bi to bio slučaj u mrežama sa masivnim paralelizmom veza između susednih slojeva! Treba svakako istaći da su hijerarhijske mreže prilagođene za one zadatke gde ulazna informacija ima konzistentno povezane strukture nižeg, srednjeg i višeg nivoa, što je slučaj sa spoljašnjim čulnim dražima (slučajni podaci, međutim, nemaju takvu strukturu). Iz tog razloga su biološke neuronske mreže organizovane kao hijerarhijske mreže!

Hijerarhijski modeli moždanih neuronskih mreža

Ovo su *najuspešniji modeli u kognitivnim neuronaukama*, i mogu se klasifikovati na: *samoorganizujuće mapirajuće* unidirekciono orijentisane višeslojne neuronske mreže (Kohonen, 1984), *asocijativne* ili *atraktorske* masivno i bidirekciono povezane neuronske mreže (Hopfield, 1982; Amit, 1989), i *sinergetske* višeslojne neuronske mreže, klasične (Haken, 1991) i neuro-kvantne (Peruš, 2001).

Kohonenove samoorganizujuće mapirajuće mreže jesu *fiziološki opravdani* model neuronskih mreža koje se prilagođavaju *perceptivnim podacima* razvojem moždanih mapa, sa očuvanim relacijama ulaznih podataka. Ovakve neuronske mreže bez povratne sprege mogu izvesti samoorganizujuće mapiranje od senzornih ulaza (niži sloj) ka unutrašnjim reprezentacijama (srednji sloj), i dalje od unutrašnjih reprezentacija do motoričkih izlaza (gornji sloj), v. Sl. 1. Najviše su korišćene za modeliranje *percepcije* (korišćenjem senzornih mapa) i *motorike* (korišćenjem motoričkih mapa), ali se primenjuju i za *klasifikaciju oblika* u računarskim naukama i robotici.



SLIKA 1 Mreža bez povratne sprege sa ulaznim (senzornim), skrivenim (reprezentacionim) i izlaznim (motoričkim) slojem.

U Kohonenovim mrežama kodiranje je konstruisano *redukovanjem razlika (grešaka) između eksternog stanja i interne mrežne reprezentacije tog stanja*. I interno i eksterno stanje predstavljene su kao oblici aktivnosti, matematički opisani vektorima oblika. Sinaptičke veze, u kojima su oblici uskladišteni, menjaju se u

* Članak je objavljen u januarском broju naučno-popularnog časopisa "Kroz prostor i vreme" 2009. godine.

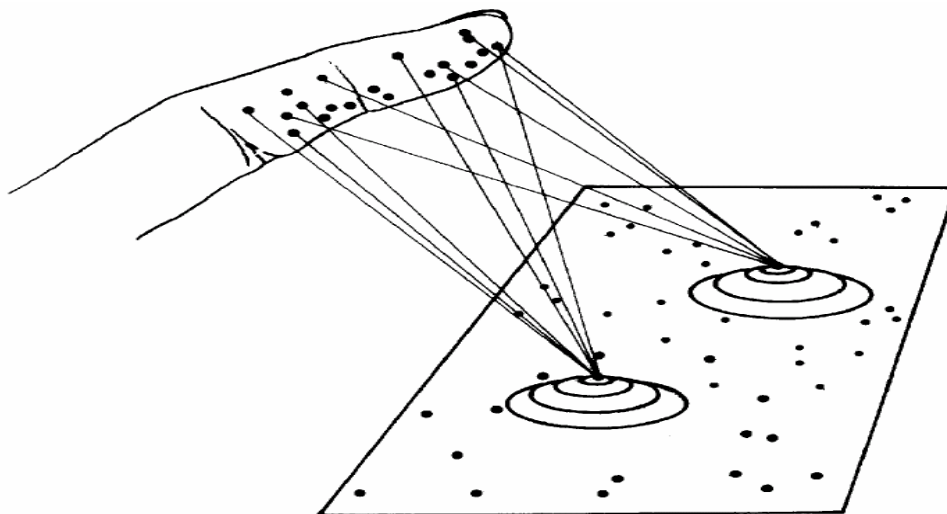
skladu sa stepenom neslaganja između *prototipa* (interne reprezentacije) \vec{w} i *eksternog oblika* (na primer, oblik stimulusa iz okoline kojeg su detektovale senzorne ćelije) \vec{x} . Prototip može biti opisan kao 'učitelj' (učenje pod nadzorom) ili može biti ustanovljen u samoorganizujućoj proceduri (učenje bez nadzora).

U drugom slučaju, koji je biološki relevantniji, prototip je najdominantniji neuron, tzv. *kardinalni neuron* lociran u \vec{r} (ili *ćelija-parametar uređenja*, jer uređuje celi sloj neurona nakon što je 'preuzeo svu moć'), koji kroz procese lateralne inhibicije pobeđuje u nadmetanju među neuronima i *samostalno mapira prototip* $\vec{w}_{\vec{r}}$, koji *kodira odgovarajući specifični eksterni oblik receptivnog polja* \vec{x} senzornih ćelija. Svako receptivno polje ulaznog sloja deluje kao *adaptivni filter* koji bira one senzorne oblike koji su najsličniji njegovom specifičnom receptivnom obliku, na kojeg potom specifično reaguje njemu odgovarajući specijalizovani kardinalni neuron skrivenog sloja!

Kohonenov model je *fiziološki najzasnovaniji*, jer se njime može predstaviti proces *lokalizovanog kodiranja specijalizovanih perceptualnih podataka* (Sl. 2). Pri tome, za lokalizovano kodiranje suštinsko je *topološki-korektno mapiranje*, tj. da su topološke relacije očuvane dok je ulazni oblik \vec{x} projektovan u izlazni oblik \vec{w} . Osim toga, za lokalizovano kodiranje suštinsko je i *samoorganizujuće mapiranje*, kod kojeg se sličnost ulaznih signala projektuje kao bliskost pobuđenih neurona, jer se u optimizacionom procesu stabilnost Kohonenove mreže nalazi formiranjem stanja sa minimalnom razlikom $\|\vec{w} - \vec{x}\|$:

$$\|\vec{w}_{\vec{r}} - \vec{x}\| = \min_{\vec{r}} \|\vec{w}_{\vec{r}} - \vec{x}\|. \quad (1)$$

Pomenuto samoorganizujuće topološki očuvano mapiranje, istovremeno podrazumeva i *redukciju dimenzionalnosti reprezentacionog prostora*, jer se višedimenzioni prostor ulaznih oblika (dimenzije n jednake broju senzornih ćelija ulaznog sloja) smanjuje na dvodimenzione mape izlaznih oblika (određenih kardinalnim neuronima definisanim x i y koordinatama koje pripadaju kortikalnoj mapi). Ovo mapiranje takođe podrazumeva i *kompresiju podataka*, jer mreža uči da raspoznaje najvažnije karakteristike ulaznih oblika, tako da će samo ove glavne karakteristike biti sačuvane.



SLIKA 2 Kohonenova mreža reaguje na ulazni oblik (predstavljen u senzornim ćelijama receptivnog polja prsta) lokalnom aktivacijom u okolini kardinalnog neurona koji je nosilac kodiranja ovog ulaznog oblika u mapi mozga.

Dvodimenzione mape su uglavnom locirane u *primarnim zonama* korteksa, gde vrše odgovarajuće *ekstrakcije karakteristika*. Primeri su *somatotopska mapa* (u somatosenzorskom korteksu) površine kože, *tonotopska mapa* (u auditornom korteksu) spirale uha, *retinotopska mapa* (u vizuelnom korteksu) retine oka, *aromatopska mapa* (u mirisnom korteksu) sluzokože nosa, itd. Pri tome, vektori veza i kardinalni neuroni nisu genetički predodređeni, već evoluiraju postepeno pod selektivnim uticajem okoline.

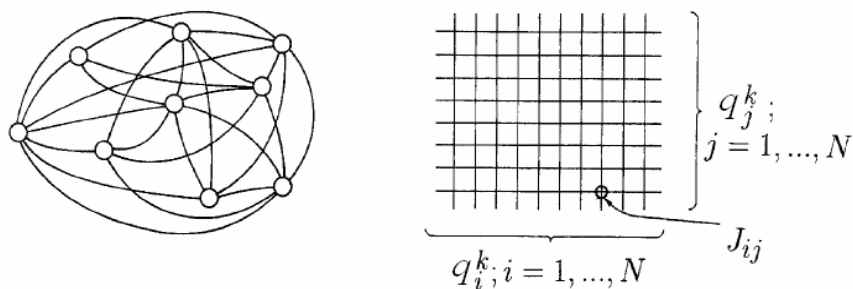
U korteksu se nalaze i *vertikalne kolumne*, kao proizvod samoorganizujućeg topološki očuvanog mapiranja. Specijalizovane su za *ekstrakciju karakteristika perceptivnih oblika* (orijentacije, brzine i pravca kretanja, ivica, periodičnosti, nijanse boja itd.), ili za *regulisanje motoričkih akcija* (inervacija mišića). U asocijativnim oblastima, kolumne su gusto povezane da bi kolektivno izvršavale složene zadatke kao što su prepoznavanje lica, razumevanje govora, planiranje putanja ruke itd. Kolumne obezbeđuju informacione osnove za više moždane funkcije koje su modelovane atraktorskim asocijativnim neuronskim mrežama.

Hopfieldove asocijativne mreže predstavljaju *neuropsihološki opravdani* model neuronskih mreža za opis i simulaciju *asocijativnih kognitivnih procesa* (učenje, pamćenje, prepoznavanje, klasifikacija, generalizacija, ekstrakcija najrelevantnijeg informacionog sadržaja...) u sekundarnim, tercijarnim i prefrontalnim asocijativnim zonama korteksa. Ovi procesi mogu se uspešno modelovati korišćenjem Hopfieldovih neuronskih mreža, organizovanih u funkcionalne i/ili virtuelne hijerarhije. Na Sl. 3 levo dat je prikaz *masivno i bidirekciono povezane* strukture Hopfieldove neuronske mreže, dok je na slici desno dat dijagram funkcionalne šeme strukture njene *memorijske korelacione matrice J* prema Hebovoj jednačini za *sinaptičke veze*, čiji elementi J_{ij} predstavljaju sumu sprega l -tog neurona $q_i^{k_i}$ i j -tog neurona $q_j^{k_j}$ participirajućih u svih k_i ($i = 1, \dots, P$) memorijskih oblika neuronske mreže K :

$$J_{ij} = \sum_{i=1}^P q_i^{k_i} q_j^{k_i} \quad (2)$$

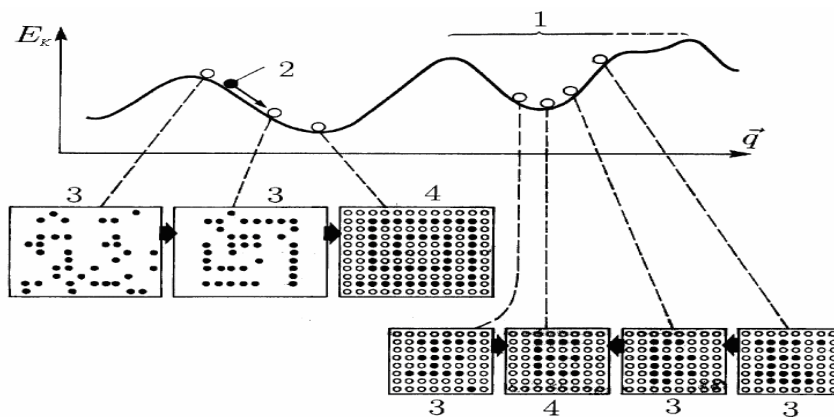
S druge strane, Hebova jednačina za *neuronske aktivnosti* opisuje stanje l -tog neurona koji prima informacije od skupa svih $j = 1, \dots, N$ neurona u mreži K :

$$q_l = \text{Sgn} \left(\sum_{j=1}^N J_{lj} q_j \right). \quad (3)$$



SLIKA 3 Dijagram neuronske mreže na osnovu Hopfieldovog modela (levo) i dijagram memorijske matrice J (desno)

Dinamika Hopfieldove asocijativne neuronske mreže, na makroskali asocijativnog korteksa može se predstaviti u *energetsko-konfiguracionom prostoru*, v. Sl. 4. Svaka tačka na horizontalnoj osi predstavlja *neuronsku konfiguraciju*, opisanu vektorom $\vec{q} = (q_1, q_2, \dots, q_N)$ koji označava stanje cele mreže K u toj trenutnoj neuronskoj konfiguraciji (sa svakom komponentom q_i koja označava stanje svakog konstitutivnog neurona te konfiguracije), dok tačke na vertikalnoj osi predstavljaju *slobodnu energiju* E_K svake takve konfiguracije. Kao što se može videti sa slike, *trenutna neuronska konfiguracija*, predstavljena *crnom lopticom*, kreće se u energetsko-konfiguracionom prostoru svih mogućih konfiguracija s ciljem da nađe *stabilno stanje*. Tamo gde se loptica zaustavi konfiguracija predstavlja *atraktorski oblik*.



SLIKA 4 Konfiguraciono-energetski prostor: 1 - jama privlačenja/atracije; 2 - trenutno stanje sistema; 3 - nestabilna konfiguracija; 4 - atraktorski oblik, tj. stabilna konfiguracija.

U biološkim neuronskim mrežama *nije neophodno* da jedan neuron bude povezan *direktno* sa svim ostalim, jer je u odsustvu direktnih veza *moгуće* uspostavljanje veza *preko posrednika*. Takve biološke neuronske mreže unutar odgovarajućih asocijativnih zona korteksa, ponašaju se kao da su *svi neuroni* te asocijativne zone *masivno povezani*. Ovakva situacija se onda može *modelirati* Hopfieldovim asocijativnim mrežama, u kojima se pojavljuju različite potencijalne jame u energetsko-konfiguracionom prostoru, kao *atraktorski oblici* kolektivne organizacije neuronskih stanja koji privlače sve druge konfiguracije, zbog čega se tačka na dnu potencijalne jame naziva *atraktor*! Jednom kad mreža 'upadne' u takvu konfiguraciju, svi sledeći procesi promene konfiguracije prestaju sve do prijema novog stimulusa.

Kao odgovor na različite promenljive stimuluse, dolazi do procesa adaptacije jačine sinapsi Hopfieldove mreže odnosno *učenja*, tokom čega se energija celog sistema smanjuje i dno potencijalne jame produbljuje, odnosno *energetsko-konfiguraciona površina se menja* u ovom procesu; tako se može formirati novi oblik pojavom nove potencijalne jame, vezano za objekat koji nikad do tada nismo videli. Ukoliko je, s druge strane, oblik već postojao i bio sačuvan u memoriji, tada se oblik asocijativno prepoznaje i regeneriše; stimulacija koja prati povratak perceptualnog događaja gledanja predmeta, vrlo je slična stimulaciji indukovanoj tokom prvog gledanja ovog objekta.

Pri tome, više sličnih konfiguracija može konvergirati ka dnu iste potencijalne jame, ako su u blizini konvergencije istog atraktora (v. Sl. 4). Na ovaj način neuronska mreža ostvaruje *klasifikaciju*, što omogućava prepoznavanje objekta pod nešto drugačijim okolnostima od onih pod kojima je objekat viđen u nekom trenutku u prošlosti. Tokom češćih ponavljanja, konfiguracija koja odgovara viđenom objektu postaje jača i stabilnija. Pa ipak, percepcija spoljašnjeg oblika pod novim okolnostima praćena je promenama odgovarajuće interne konfiguracije, jer se oblik sintetizuje od informacija iz okoline, iz memorije, kao i od kontekstualnih informacija iz drugih centara, i tada se tako *revidiran i ispravljen oblik ponovo memoriše*. Dakle, *prepoznavanje* je identično sa *konstrukcijom, rekonstrukcijom i kratkotrajnim pamćenjem oblika* u sistemu bioelektričnih procesa neurona.

Prilikom dugotrajnog memorisanja, informacija se potom transferiše kroz proces učenja od '*manifestne svesti*' (u neuronima, \vec{q}) do '*latentne svesti*' (u sinapsama, \mathbf{J}). Tako je pamćenje jednoznačno mapiranje neke slike eksternog objekta u internu virtuelnu sliku, najpre u *sistem neurona (kratkotrajno pamćenje)* posle čega se ova slika transferiše u *sistem sinaptičkih veza (dugotrajno pamćenje)*. Pri tome, u jednom trenutku u sistemu neurona (*manifestne svesti*) može postojati samo jedan atraktorski oblik, dok u sistemu sinaptičkih veza (*dugotrajnoj memoriji/latentnoj svesti/podsvesti*) može istovremeno postojati mnoštvo atraktorskih oblika, mada ih je potrebno prizvati iz memorije: *tokom prizivanja memorija se prevodi iz sistema sinaptičkih veza u sistem neurona!* Uslov za ovo je obično sličan spoljašnji stimulus koji vuče neuron u 'kopiju' spolja nametnutog oblika, mada takav uslov može doći i iz drugih cerebralnih submreža.

Dakle, u neuronskim mrežama asocijativnih zona korteksa glavni faktori u određivanju smera *mentalnih asocijativnih procesa* jesu *atraktorski oblici*, a ne pojedinačni neuroni i sinapse, pa zbog toga čak i velike povrede korteksa *ne uništavaju funkcionalnost* asocijativne memorije ako su *atraktorske strukture očuvane!* Ako asocijativna neuronska mreža ima *simetrične veze* (sinapse jednako propustljive u oba smera, $J_{ij} = J_{ji}$), tada sistem može formirati *stabilne atraktore* u energetsko-konfiguracionom prostoru, koji predstavljaju *implicitni poredak* i određuju formacije budućih *virtuelnih mentalnih struktura*. S druge strane, ako asocijativna neuronska mreža ima *nesimetrične veze* (sinapse različito propustljive u različitim smerovima: $J_{ij} \neq J_{ji}$), tada atraktorski oblici postaju nestabilni pa jedan oblik nestaje a drugi nastaje, i sistem može opisivati periodične, kvaziperiodične, ili potpuno haotične putanje oblika u energetsko-konfiguracionom prostoru, čije sekvence ili epizode mogu predstavljati *asocijativne lance toka misli*.

Hakenove klasične sinergetske mreže predstavljaju *neurokognitivno opravdani* model neuronskih mreža za opis *kolektivnih virtuelnih kognitivnih procesa*. Sinergetske mreže ujedinjuju višeslojne neuronske mreže i asocijativne neuronske mreže, sa intra- i inter-slojnim vezama. Svaki sloj je zapravo zasebna asocijativna mreža koja može imati funkcionalnu interpretaciju (*kardinalni neuroni* u drugom sloju) ili virtuelnu interpretaciju (*kardinalni domeni* kao parametri uređenja c_{k_i} u drugom sloju, ili *atraktorski oblici* \vec{q}^{k_i} u trećem sloju). U Hakenovoj mreži K *parametri uređenja* c_{k_i} mere vrednost *preklapanja* atraktorskog oblika \vec{q}^{k_i} sa stvarnim memorijskim stanjem mreže \vec{q} . Dakle, c_{k_i} je projekcija \vec{q} na \vec{q}^{k_i} :

$$c_{k_i} = \sum_{l=1}^N q_l^{k_i} q_l = \langle \vec{q}^{k_i}, \vec{q} \rangle. \quad (4)$$

gde je l indeks komponente vektora, a k_i indeks atraktorskog oblika.

U modeliranju viših moždanih funkcija, mogu se koristiti sinergetske neuronske mreže sa *generalisanom interpretacijom neurona i veza*: *generalisani neuroni* mogu biti *kardinalni neuroni*, *kardinalni domeni*, *kortikalne kolumne* ili *virtuelni atraktorski oblici* različitog reda, dok *generalisane veze* mogu biti sinaptičke veze na nivou mozga ili virtuelne veze između oblasti korteksa. *Virtuelni atraktorski oblici višeg reda sadrže oblike nižeg reda*, sa velikom hijerarhijom koja je vrlo osetljiva, fleksibilna i mobilna!

Mreža sa *asimetričnim generalisanim vezama* formira konstantni potencijalni gradijent, duž kojeg sistem prelazi brže iz jedne konfiguracije u drugu, sa većim asocijativnim kontekstom kroz svoje veze sa drugim atraktorskim oblicima koji su unutar domena atrakcije posmatranog dinamičkog oblika, čineći *asocijativne lance toka misli*. Ako su pojedini *nelokalni* atraktorski oblici povezani sa svojim *lokalizovanim* kardinalnim ćelijama ili odgovarajućim parametrima uređenja u centrima za *govor* (Vernikeova oblast), tada je takav tok misli kodiran ili *simbolizovan*, i moguće ga je *verbalizovati* (Brokina oblast).

Perušove neuro-kvantne sinergetske mreže predstavljaju *kvantnu ekstrapolaciju* Hakenovih klasičnih sinergetskih mreža, sa ciljem modeliranja *viših moždanih funkcija* i *procesualnih osnova svesti*, objedinjavanjem moždanih neuronskih i virtuelnih procesa sa subćelijskim i kvantnim procesima. Tako je moguće modelirati različite *asocijativne, intuitivne i semantičke* procese, mada je za modeliranje viših *simboličkih, sintaksičkih i logičkih* procesa neophodno *hibridno kombinovanje* sa simboličkim modelima *veštačke inteligencije*.

Odnos *mozak-svest* je nesumnjivo *više-nivoski fenomen*, sa sledećom generalnom šemom: *čista svest* je *kvantne prirode*; *virtuelne reprezentacije* su povezane sa *neuronskim oblicima*; *spoljašnji objekti* su *klasične prirode* – pa samo *hijerarhijska objedinjena interakcija moždanih neuronskih i virtuelnih procesa sa subćelijskim i kvantnim procesima* može da proizvede *efekte svesnog doživljaja*, poput konačnog povezivanja perceptualnih odlika u *jedinstveno holističko kvalitativno iskustvo* (manifestno svesno stanje). Peruš je pokazao da postoje direktne *matematičke paralele* između *kvantnih procesa u Fejnmanovoj verziji kvantne mehanike* i *neuro-informacionih procesa u Hopfildovim asocijativnim neuronskim mrežama*. Iako su osnovni elementi kvantnog i neuronskog sistema (modelovanog formalnim neuronima i vezama) vrlo različiti, njihovi zajednički procesi se povinjavaju istim zakonima. Tako Hebova korelaciona matrica (2) memorijskih sinaptičkih veza kod Hopfildovih asocijativnih neuronskih mreža odgovara *Grinovoj funkciji (kvantnom propagatoru)* u Fejnmanovoj verziji Šredingerove jednačine:

$$G(\mathbf{r}_2, \mathbf{r}_1) = \sum_{i=1}^P \Psi^{k_i}(\mathbf{r}_2) \Psi^{k_i*}(\mathbf{r}_1) \quad (5)$$

gde je Ψ^{k_i} *i-ti kvantni memorijski atraktor* (tj. eksplicitno *kratkotrajno pamćenje i-tog kvantnog stanja/atractora*), a G *kvantna memorija* (tj. implicitno *dugotrajno pamćenje svih P kvantnih stanja/atractora u kvantnoj memoriji*) ovako *informaciono interpretiranog (svakog) kvantnog sistema S!* (Re)konstrukcija kvantnih atraktorskih oblika, odnosno transformacija reprezentacije *dugotrajne memorije* (kvantne latentne svesti/podsvesti) u reprezentaciju *prisećanja/kratkotrajne memorije* (kvantne manifestne svesti), opisana je procesom sličnim *kolapsu talasne funkcije*.

Korišćenjem ovih analogija u *neuro-kvantnim sinergetskim sistemima*, može se postići obrada podataka sa *visokom hijerarhijom oblika* koja se sastoji od skupa *funkcionalnih nivoa* i *virtuelnih nivoa apstrakcije*: neuroni (prvi biološki nivo); oblici (drugi biološki nivo – prvi virtuelni nivo, generalisani neuroni); oblici višeg reda (šeme, kategorije, meta-representacije, simboli); dinamičke sekvence oblika (asocijativni lanci, epizode, tokovi misli); mnogostrukost oblika (kombinacije viših oblika različitih tipova i porekla, sa nekim zajedničkim karakteristikama); semantičke, simboličke ili konceptualne mreže; globalni atraktorski konglomerati (ličnost, ego) i svest (interakcija na više nivoa subćelijskih i kvantnih sistema).

Ove neuro-kvantne sinergetske neuronske mreže *samoorganizovano i interaktivno optimalno rade i konsoliduju se istovremeno na svim hijerarhijskim virtuelnim nivoima*. Mogući biofizički mehanizam povezivanja oblika nižeg reda u složene oblike višeg reda ili u informaciono jedinstvo svih oblika, mogla bi predstavljati *makroskopska neuro-kvantna koherencija svih virtuelnih nivoa*.

Implikacije za modeliranje kognitivnih funkcija

Biokibernetski hijerarhijski modeli klasično-elektrohemijskih moždanih neuronskih mreža opisani u prethodnom odeljku pokazuju ohrabrujući napredak u pogledu modeliranja kognitivnih funkcija.

Svest se, prema klasičnoj neuropsihološkoj paradigmi, povezuje sa ulogom *hijerarhijskog proširenog retikularno-talamičkog aktivirajućeg sistema* (ERTAS), koji na svakih $\sim 0,1$ s selektira i pojačava jednu informaciju među mnoštvom senzornih i introspektivnih informacija, koje se trenutno procesiraju unutar hijerarhije moždanih neuronskih mreža. Prema modelu *neuro-kvantnih sinergetskih mreža*, samo *hijerarhijsko objedinjavanje po svim hijerarhijskim virtuelnim nivoima* (neuronski, virtuelni, subćelijski, kvantni) može da proizvede *efekte svesnog doživljaja*, poput konačnog povezivanja perceptualnih odlika u *jedinstveno holističko kvalitativno iskustvo*.

Percepcija (slike, zvuka, mirisa, ukusa, dodira) se, prema klasičnoj neuropsihološkoj paradigmi, odigrava kao čulno-posredovana i ERTAS-selektovana i filtrirana komunikacija hijerarhijskih moždanih neuronskih mreža sa senzornim okruženjem. Prema modelu *samoorganizujućih mapirajućih mreža*, percepcija predstavlja samoorganizujuće mapiranje od senzornih ulaza ka unutrašnjim reprezentacijama, razvojem dvodimenzionih senzornih mapa u *primarnim strukturama* moždane kore sa očuvanim topološkim relacijama ulaznih senzornih podataka.

Učenje je, prema modelu hijerarhijskih moždanih neuronskih mreža, povezano najpre sa samoorganizujućim mapiranjem *lokalizovanih kardinalnih neurona primarnih struktura*, i potom sa njima interaktivno spregnutim generisanjem i konsolidovanjem na svim hijerarhijskim virtuelnim nivoima *nelokalnih atraktorskih oblika u asocijativnim sekundarnim i tercijarnim strukturama* moždane kore, čije sinapse dinamički ojačavaju i slabe saglasno Hebovom pravilu. Neurofiziološka istraživanja ukazuju da *moždani talasi* izgleda igraju suštinsku ulogu u (globalnoj) *distribuciji informacija* od primarnih prema sekundarnim i tercijarnim strukturama – gde ERTAS *selektira i pojačava jednu* od procesirajućih informacija na svakih $\sim 0,1$ s do *svesnog nivoa* (višefrekventnih α , β ili γ moždanih talasa), dok ostale informacije ostaju nepojačane na *nesvesnim nivoima* (nižefrekventnih δ ili θ moždanih talasa).

Memorisanje je, prema modelu hijerarhijskih moždanih neuronskih mreža, jednoznačno mapiranje neke slike eksternog objekta u internu virtuelnu sliku, najpre u *sistem neurona (kratkotrajno pamćenje)* posle čega se ova slika transferiše u *sistem sinaptičkih veza (dugotrajno pamćenje)*; zato čak i velike povrede moždane kore *ne uništavaju funkcionalnost* asocijativne dugotrajne memorije ako su *atraktorske strukture očuvane*. U jednom trenutku u sistemu neurona (*manifestne svesti*) može postojati samo jedan atraktorski oblik, dok u sistemu sinaptičkih veza (*dugotrajnoj memoriji/latentnoj svesti/podsvesiti*) može istovremeno postojati mnoštvo atraktorskih oblika, samo ih je kroz *sećanje* potrebno prizvati iz memorije, *asocijativnim prevođenjem memorije iz sistema sinaptičkih veza u sistem neurona!*

Mišljenje bi, prema modelima hijerarhijskim sinergetskih mreža sa *asimetričnim generalisanim vezama*, moglo biti vezano za brzo promenljive *asocijativne lance toka misli*, u kojima sistem prelazi brže iz jedne konfiguracije u drugu kroz svoje veze sa drugim atraktorskim oblicima koji su unutar domena atrakcije posmatranog dinamičkog oblika. Osim toga, prema klasičnoj neuropsihološkoj paradigmi, mišljenje bi moglo da se razdvoji bar na dva dela: najpre, ERTAS *selekciju i pojačanje jedne* informacije praćenu njenom *emocionalnom i jezičkom modulacijom* do svesnog nivoa, i potom, *rešavanje problema* vezano za tu informaciju posredstvom prefrontalne zone i asocijativnih sekundarnih i tercijarnih moždanih struktura.

Jezik je, prema klasičnoj neuropsihološkoj paradigmi, semantičko/pragmatično/sintaktički organizovan kroz hijerarhijske primarne, sekundarne i tercijarne zone moždane kore. Osim toga, ako su u hijerarhijskim sinergetskim mrežama sa *asimetričnim generalisanim vezama* pojedini nelokalni atraktorski oblici povezani sa svojim lokalizovanim *kardinalnim ćelijama* ili odgovarajućim *parametrima uređenja* u centrima za *govor* (Vernikeova oblast), tada je odgovarajući *asocijativni lanac toka misli* kodiran ili *simbolizovan*, i moguće ga je *verbalizovati* (Brokina oblast).

Emocije bi, prema neurofiziološkim istraživanjima, mogle biti povezane sa amplitudnom i frekventnom ERTAS modulacijom, što je u osnovi mehanizam *"emocionalnog bojenja"* selektovanih i pojačanih informacija do svesnog nivoa (višefrekventnih α , β ili γ moždanih talasa).

Prof. dr Dejan Raković