

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU FIZIČKOG FAKULTETA
UNIVERZITA U BEOGRADU**

**OCENA TEME ZA DOKTORSKU DISERTACIJU
mr IGORA FRANOVIĆA**

Na sednici Nastavno-naučnog veća Fizičkog fakulteta Univerzita u Beogradu, održanoj 22.2.2012. godine, određeni smo u Komisiju za ocenu ispunjenosti uslova i opravdanost predložene teme za izradu doktorske disertacije mr Igora Franovića pod naslovom:

**KOLEKTIVNA DINAMIKA I SAMOORGANIZACIJA
STOHAISTIČKIH NEURONSKIH SISTEMA POD UTICAJEM
SINAPTIČKOG KAŠNJENJA**

koju je Nastavno-naučnom veću Fizičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu prijavio mr Igor Franović, istraživač-saradnik na Fizičkom fakultetu Univerzita u Beogradu. Uz obrazloženje teme prilažemo mišljenje i ocenu.

Obrazloženje teme

Proučavanje neuronskih sistema po pravilu zahteva interdisciplinarni pristup, a aktuelnost i rastući značaj oblasti zasnovan je na teorijskom modelovanju kolektivne dinamike, koja čini supstrat percepcije, kao i niza motoričkih i kognitivnih procesa. Sa stanovišta fizike, manifestovani dinamički režimi posledica su interakcije velikog broja nelinearnih elemenata, udruženih na različitim nivoima hijerarhijske organizacije. To implicira da realistično modelovanje neuronskih populacija prirodno uključuje razmatranje stohastičkih efekata, kao i da nužno podrazumeva eksplicitno uvođenje sinaptičkog kašnjenja, umesto nezadovoljavajuće aproksimacije o približno trenutnim interakcijama između neurona. Koordinacija na različitim prostornim i vremenskim skalama se najčešće ostvaruje preko sinhronizacije aktivnosti, koja se ispoljava u različitim formama, kako između pojedinačnih neurona (egzaktna, fazna, burst ili intermitentna sinhronizacija), tako i između neuronskih populacija, i to kroz egzaktnu ili faznu sinhronizaciju odgovarajućih globalnih moda oscilovanja. Po pitanju funkcije neuronskih sistema, koja se odnosi na reprezentovanje i obradu informacija, posebno je značajno formiranje klastera sinhronizovanih neurona, koji autonomno ili u sadejstvu mogu da preuzmu ulogu funkcionalnih modula.

Teorijska analiza kolektivnog ponašanja neuronskih sistema počiva na primeni metoda nelinearne dinamike i statističke fizike. U konkretnom slučaju, to podrazumeva definisanje matematičkih modela neurona kao ekscitabilnih elemenata ili autonomnih oscilatora, izloženih delovanju šuma i sinaptičkog kašnjenja. Osim na lokalnom planu, pokazuje se da i na globalnom planu šum, kombinovan sa sinaptičkim kašnjenjem, može da odigra konstruktivnu ulogu, podstičući sinhronizaciju preko različitih rezonantnih fenomena. Za objašnjenje nastanka i zavisnosti karakteristika kolektivnih režima od parametara sistema, pogodno je razvijanje odgovarajućih mean-field modela, koji na kvalitativan način, preko lokalnih i globalnih bifurkacija, predviđaju ponašanje egzaktnog sistema. S obzirom da, pored neuronskih, i opis velikog broja drugih sistema može da se redukuje na formu interagujućih ekscitabilnih elemenata ili autonomnih oscilatora, može da se očekuje da dobijeni rezultati pronađu primenu i pri tretiranju šire klase problema.

Navedena tema obuhvata tri manje celine, od kojih će svaka biti detaljnije obrazložena.

1. Kolektivni režimi populacija ekscitabilnih neurona

Pored tri dosad poznata generička režima ponašanja ekscitabilnih sredina, uočena je podela populacije na klastere sinhronizovanih neurona, kao novog rezonantnog fenomena, koji nastaje kao posledica ko-efekta jedino šuma i sinaptičkog kašnjenja. Klasterovanje predstavlja vid narušenja simetrije, pošto se pojavljuje kao rezultat samoorganizacije aktivnosti neurona u okviru homogene populacije bez predefinisane strukture, što podrazumeva uniformne intrinzičke i sinaptičke parametre, kao i pretpostavku o globalnom tipu interakcije između elemenata. Ispitivanjem dugovremenskog ponašanja sistema utvrđeno je da postoje stacionarne podele populacije na klastere, kao i nestabilne podele, koje mogu da se interpretiraju kao dinamičko klasterovanje. U svetlu poređenja dinamike egzaktnog i aproksimativnog mean-field modela, zaključeno je da vrednosti parametara koje dozvoljavaju klasterovanje mogu da se predvide na osnovu globalne bifurkacije mean-field modela.

Opisana istraživanja rezultirala su objavljivanjem rada I. Franović, K. Todorović, N. Vasović, N. Burić: „Spontaneous Formation of Synchronization Clusters in Homogenous Neuronal Ensembles Induced by Noise and Interaction Delays“, Physical Review Letters **108**, 094101 (2012), dok je u časopisu Chaos u procesu razmatranja rad I. Franović, K. Todorović, N. Vasović, N. Burić: „Cluster synchronization of spiking induced by noise and interaction delays in homogenous neuronal ensembles“.

2. Kolektivni režimi sistema burstujućih neurona

U okviru ove podoblasti detaljno je analizirana pojava koherentne spiking i bursting dinamike pod uticajem šuma i eksterne stimulacije. Pokazano je da razvijeni mean-field model može da predvidi sa visokom preciznošću vrednosti parametara na kojima dolazi

do kvalitativne promene ponašanja globalnih varijabli egzaktnog sistema. Pored značaja u kvalitativnom smislu, dodatno je utvrđeno da redukovani model daje čak i uspešna kvantitativna predviđanja po pitanju dinamike makroskopskih varijabli egzaktnog sistema u pojedinim režimima aktivnosti.

Istraživanje u ovom pravcu rezultovalo je objavljivanjem rada I. Franović, K. Todorović, N. Vasović, N. Burić: „Stability, bifurcations, and dynamics of global variables of a system of bursting neurons“, CHAOS **21**, 033109 (2011).

Dosad predstavljeni rezultati sugerišu da je, koristeći opisane metode, opravdano detaljno analizirati

3. Interakciju velikih populacija ekscitabilnih neurona

Iz perspektive biološke zasnovanosti, interesantno je da se ispita usaglašavanje makroskopske dinamike prostorno udaljenih populacija ekscitabilnih neurona, čija je lokalna dinamika zadata analogno iznetom u 1. tački, a interakcija modelovana nelinearnom funkcijom u prisustvu kašnjenja. Preliminarni rezultati potvrđuju postojanje *himera-stanja*, kao oblika narušenja simetrije, koje se odlikuje koegzistencijom različitih dinamičkih moda na potpuno identičnim sistemima, uz simetričnu formu interakcija. Očekuje se da će značajne rezultate pružiti poređenje dinamika egzaktnog sistema i dinamike određene odgovarajućim mean-field modelom.

Rad koji se odnosi na interakciju neuronskih populacija je u pripremi.

MIŠLJENJE I OCENA

Smatramo da je izloženi plan istraživanja naučno atraktivan i u potpunosti ostvariv, a da već dobijeni, kao i očekivani rezultati mogu da budu od šireg značaja za proučavanje kolektivnih fenomena na sistemima ekscitabilnih elemenata. Takođe, širu primenu mogli bi da pronađu i pojedini aspekti istraživanja po pitanju uspostavljanja koherencije i složenih prelaza između različitih režima sinhronizacije na sistemima kuplovanih oscilatora. O validnosti istraživanja svedoče i dva objavljena rada na pomenute teme u vodećim međunarodnim časopisima, uključujući i Physical Review Letters.

S obzirom da mr Igor Franović ispunjava sve formalne uslove, a da sadržaj i značaj istraživanja, kao i dosad postignuti rezultati zadovoljavaju sve kriterijume, predlažemo Nastavno-naučnom veću da odobri izradu doktorske disertacije pod naslovom „Kolektivna dinamika i samoorganizacija stohastičkih neuronskih sistema pod uticajem sinaptičkog kašnjenja“, a za mentora predlažemo prof. dr Nikolu Burića.

U Beogradu, 15.3.2012. godine

Prof. dr Zoran Radović

Redovni profesor Fizičkog fakulteta u Beogradu

Prof. dr Milan Knežević

Redovni profesor Fizičkog fakulteta u Beogradu

Prof. dr Nikola Burić

Naučni savetnik Instituta za fiziku, Zemun