

ВІДГУК НАУКОВОГО КЕРІВНИКА

про дисертаційну роботу аспіранта відділу синергетики
Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова

Щур Ольги Володимирівни

«ЧАСОВА СТРУКТУРА АКТИВНОСТІ ІМПУЛЬСНИХ НЕАДАПТИВНИХ НЕЙРОНІВ ЗА НАЯВНОСТІ ПРЯМИХ І ОПОСЕРЕДКОВАНИХ ЗАТРИМАНИХ ЗВОРОТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ»

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Активність периферійних і центральних нейронів біологічних об'єктів виглядає як випадкова послідовність однотипних імпульсів (спайків) розділених міжспайковими інтервалами (МСІ) випадкової тривалості. Оскільки активність біологічних об'єктів часто не є випадковою, то можна очікувати, що така активність регулюється певними інтегральними характеристиками випадкових процесів міжнейронної комунікації. До таких характеристик в першу чергу можна віднести функцію розподілу довжин МСІ та її моменти.

Перші спроби з'ясувати як змінюються ці характеристики на виході нейрона коли випадкову послідовність спайків (стимул) застосовано до входу певної нейронної моделі опубліковано в 1964 р. в *Biophysical journal* і в 1967 р., в іншому підході, в *Биофизика*. До недавнього часу розглядались стимули, які описуються дифузійними процесами, такими як процеси Вінера, або Орнштейна-Уленбека. Але в дифузійному процесі окремі спайки втрачають свою індивідуальність - їх є нескінченно багато на скінченному проміжку і вони мають нескінченно малу амплітуду. Це може бути прийнятним, коли змістовна інформація кодується середньою частотою імпульсів в стимулі як це спостерігається, наприклад, в нейро-м'язовому з'єднанні для мотонейронів. В той же час, для центральних нейронів, а для слуху і для периферійних, з'ясовано, що часове положення конкретних спайків може нести змістовну інформацію. В цих випадках дифузійні процеси стають непридатними і стимули слід моделювати точковими стохастичними процесами.

Перші результати для недифузійних стимулів одержано в роботах автора відгуку і колег починаючи з 2005 р. При цьому в якості стимулу розглядався процес Пуассона, а в якості нейронної моделі брався зв'язуючий нейрон. Для стандартної в нейронауках моделі інтегруючого нейрона з втратами (ІНВ) стимульованого потоком Пуассона було знайдено початковий відрізок (для малих МСІ) функції розподілу і її перший момент.

Дисертаційна робота О.В.Щур представляє значний прогрес в описанні нейронної активності якщо стимулом є точковий стохастичний процес. Зокрема, в Розд. 1 дисертації на основі нового представлення для функції розподілу МСІ для ІНВ з порогом 2 знайдено всі моменти функції розподілу якщо стимулом є процес Пуассона. Це стало можливим завдяки знайденій дисертанткою в явному вигляді твірній функції моментів. В цьому ж розділі розглянуто активність зв'язуючого нейрона з порогом 2, якщо стимулом є загальний процес відновлення. Знайдено явні вирази для функції розподілу МСІ і її моментів. В якості прикладу процесу відновлення відмінного від процесу Пуассона розглянуто процес Ерланга. В Розд. 2 для нейрона з затриманим гальмівним зворотнім зв'язком стимульованого процесом Пуассона, одержано функцію розподілу

вихідних МСІ і всі її моменти, якщо відома аналогічна функція при відсутності зворотнього зв'язку. Результат одержано для класу нейронних моделей, який включає ІНВ та інші моделі, в тому числі і з вищими порогами. В Розд. 3 цей результат розширено на випадок коли стимулом є не процес Пуассона, а загальний процес відновлення. Таке розширення представляє об'єктивні математичні труднощі, оскільки загальний процес відновлення не має тих простих властивостей, які притаманні процесу Пуассона. Одержані тут нові загальні результати проілюстровано коли стимулом є процес Ерланга. В цьому випадку обчислено всі конкретні характеристики вихідного процесу. В Розд. 4 розглянуто активність нейрона з збуджувальним зворотнім зв'язком. Оскільки випадок збуджувального зворотнього зв'язку є математично істотно складнішим від гальмівного, то вдалось вичерпно описати активність тільки для пуассонівського стимулу. Як і в попередніх розділах, результати одержано для класу нейронних моделей. Перераховані результати одержано в аналітичному вигляді і без наближень (математично строго). Окремо стоїть Розд. 5, де проводиться чисельне моделювання динаміки невеликої реверберативної нейронної мережі. В наслідок реверберативності в ній також присутні зворотні зв'язки, але опосередковані через інші нейрони. В таких мережах раніше спостерігалось явище зближення траєкторій започаткованих різними стимулами з їх фінальним зклеюванням і виходом на спільний періодичний режим. Явище зближення траєкторій відоме для механічних динамічних систем, де причиною є тертя. В нейронній мережі тертя відсутнє і потрібно було встановити яким є фізичний механізм зклеювання траєкторій. Дисертантка, застосувавши розроблену нею на мові С++ програму до сотень тисяч траєкторій згенерованих різними стимулами, з'ясувала, що причиною зклеювання є генерація спайків нейронами. Це, на мою думку, є абсолютно новий і принциповий результат в царині смоорганізації нейронних мереж.

Таким чином, дисертаційна робота О.В.Щур є вагомим оригінальним внеском в нову ділянку природничих наук на перетині фізики, біофізики, математики і синергетики.

Представлені в дисертації результати вичерпно апробовано на вітчизняних і закордонних наукових форумах де вона особисто виступала з усними і стендовими доповідями і опубліковано в провідних наукових виданнях. Отже, дисертація задовольняє всім необхідним вимогам до дисертацій для докторів філософії і може бути рекомендована до захисту. Як науковий керівник дисертантки не маю сумнівів щодо повної відповідності наукового рівня О.В.Щур вимогам, які висуваються перед здобувачем наукового ступеня доктора філософії.

Головний науковий співробітник
відділу синергетики
Інституту теоретичної фізики
ім. М.М. Боголюбова НАН України,
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник

Олександр Відібіда

10 серпня 2022 р