

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Щур Ольги Володимирівни "Часова структура активності імпульсних неадаптивних нейронів за наявності прямих і опосередкованих затриманих зворотних зв'язків", представлену до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – фізика та астрономія

Сучасний стан експериментальних досліджень дозволяє вивчати біологічні процеси на рівні не лише поодиноких клітин, а навіть поодиноких біомакромолекул. Невід'ємна стохастична природа процесів на цьому рівні визнавалася завжди, але її явне урахування часто оминали як складну і зайву деталізацію, не підкріплену достатніми даними. З появою ж можливостей експериментального отримання розподілів часових характеристик елементарних біохімічних актів необхідність такого урахування стала нагальною. Запровадження методів теорії стохастичних процесів для конкретних моделей, наприклад, ензиматичних реакцій, зараз знаходиться у стадії інтенсивного розвитку, але не є тривіальним, оскільки потребує високого рівня математичної культури й неабиякої винахідливості. Це в повній мірі стосується й обраного дисертанткою об'єкта досліджень – функціонування імпульсних неадаптивних нейронів. Тому тема дисертації є актуальною.

У парадигмі "часового кодування" переробка інформації нейронами здійснюється перетворенням послідовності вхідних спайків у послідовність вихідних, коли часове положення спайків (або ж тривалість міжспайкових інтервалів) набуває суттєвого значення. Оскільки ці послідовності мають стохастичний характер, одним з аспектів часового кодування є опис статистики вихідних міжспайкових інтервалів в залежності від статистики вхідних та від моделі нейрона. Саме це і є головною метою дослідження.

Шлях її досягнення є досить послідовним і починається з аналізу найбільш актуальних моделей поодинокого нейрону – інтегруючого нейрону з втратами та зв'язуючого нейрону. Вже на цих прикладах видно, наскільки складним стає опис (навіть за умов стимуляції потоком Пуассона, найпростішим точковим процесом), якщо його вести з належним рівнем математичної строгості. Ці труднощі подолано вдалими математичними прийомами, в результаті чого знайдено функції розподілу міжспайкових інтервалів та твірні функції моментів, що є достатнім для вичерпного опису часової структури активності нейронів у згаданих моделях.

В наступних розділах моделі ускладнено наявністю затриманого зворотного зв'язку (аутапсів), необхідність чого диктується низкою нещодавніх експериментів. Тут слід

відзначити дві важливі загальні риси. По-перше, показано, як можна знайти необхідні розподіли та їхні моменти через такі за відсутністю зворотного зв'язку та тривалість затримки цього зв'язку. По-друге, розгляд узагальнено на цілі класи моделей нейронів, стимульованих точковими процесами відновлення (а не лише процесом Пуассона). Знайдено кілька загальних ефектів (таких як промовисті особливості функцій розподілу на часах затримки зворотного зв'язку), а також обчислено низку важливих характеристик (зокрема, регулярності вихідного сигналу) у конкретних моделях з конкретними стимулами. Це зроблено для випадків як гальмівного, так і збуджуючого зворотного зв'язку. Отримані тут результати можуть бути використані для безпосереднього кількісного й якісного аналізу експериментальних даних.

В останньому розділі розглянуто випадок опосередкованого зворотного зв'язку в реверберативній мережі з дев'яти нейронів на квадратній ґратці, коли затримки зумовлені геометрією їхнього розташування. Чисельне моделювання динаміки такої мережі виявило риси самоорганізації в часовій області, що пропонується в якості механізму редукції надлишкової інформації та формування елементів пам'яті. Попри умовність моделі, такі висновки можуть бути цікавим дороговказом у подальших дослідженнях в цьому напрямі.

Слід окремо зазначити, що практично всі аналітичні результати дисертаційного дослідження підкріплені ретельною перевіркою комп'ютерними симуляціями. Це суттєво підвищує якість роботи, яка справляє гарне враження, хоча до неї й можна висловити кілька зауважень:

- статистика активності нейрону з затриманим збуджувальним зворотним зв'язком досліджується лише при стимуляції процесом Пуассона. Доцільно було б обґрунтувати, чому не розглядається більш загальний випадок стимуляції процесом відновлення, як це, наприклад, було зроблено при дослідженні нейрона з затриманим гальмівним зворотним зв'язком;

- у першому розділі для моделі інтегруючого нейрона з втратами знайдена твірна функція моментів, а для зв'язуючого нейрона – перетворення Лапласа функції розподілу. Доцільно було б зазначити зв'язок між твірною функцією моментів та перетворенням Лапласа функції розподілу;

- в опису моделі розділу 5 зазначено, що "між кожними двома нейронами є два аксони в обидва напрямки" (с. 113). Звідси випливає, що всі нейрони мають по вісім аксонів кожен. Чи існують такі нейрони? Можливо, термін "аксон" тут вжито в переносному (умовному) значенні. В усякому разі, спосіб об'єднання нейронів у мережу не завадило б обґрунтувати хоча б в загальних рисах;

-в якості фізичного механізму ефектів самоорганізації в часовій області називається імпульсація (постріли) нейронів (наприклад, сс.5, 23). Такий висновок здається мені дещо неповним. Постріли є властивістю й поодинокого нейрону. Ефекти ж, описані в розділі, характерні саме для об'єднання нейронів у мережу. Природно припустити, що ці ефекти мають колективний характер, зумовлений, зокрема, опосередкованим зворотним зв'язком, постульованим у моделі. Тим більше, що наявність зворотного зв'язку є однією з необхідних умов для багатьох типових ефектів самоорганізації.

Ці зауваження ніяк не впливають на мою загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи. Вона виконана на високому теоретичному рівні і являє собою цілісну й закінчену наукову працю, внаслідок якої отримано низку нових важливих результатів у вельми актуальному напрямі, що мають як академічну, так і практичну цінність. Їхня обґрунтованість і достовірність підтверджуються якістю використаних методів, послідовністю і ясністю викладення ходу дослідження та аналізу результатів, їхньою ретельною чисельною перевіркою, а також публікаціями в поважних наукових виданнях. Рівень останніх та кількість публікацій є цілком достатніми; те саме можна сказати щодо обсягу досліджень та особистого внеску авторки. Стиль та оформлення дисертації відповідають нормам наукової літератури.

Резюмуючи, можна впевнено стверджувати, що дисертація "Часова структура активності імпульсних неадаптивних нейронів за наявності прямих і опосередкованих затриманих зворотних зв'язків" відповідає всім вимогам нормативних документів Міністерства освіти і науки України та Кабінету Міністрів України щодо дисертацій, поданих на здобуття ступеня доктора філософії, а її авторка, ЩУР ОЛЬГА ВОЛОДИМИРІВНА, заслуговує на присудження цього ступеня за спеціальністю 104 – фізика та астрономія.

Рецензент:

Головний науковий співробітник
відділу теорії квантових процесів у наносистемах
Інституту теоретичної фізики
ім. М.М. Боголюбова НАН України,
доктор фіз.-мат. наук,
старший науковий співробітник

Леонід ХРИСТОФОРОВ