

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
МАЛА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
“ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА  
ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА”



МІНІСТЕРСТВО  
ОСВІТИ І НАУКИ  
УКРАЇНИ



United Nations  
Educational, Scientific and  
Cultural Organization

**М.А.Н.**

• Мала академія наук  
України під егідою  
• ЮНЕСКО

# ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ XVII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ “АКАДЕМІЧНА Й УНІВЕРСИТЕТСЬКА НАУКА: РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ”



**12-13 ГРУДНЯ 2024 РОКУ**

**Висновки.** З'ясована різниця очевидна й твердження про те, що рівняння Нільсена для механічної системи з  $s$  ступенями вільності дозволяють скоротити кількість операцій диференціювання з  $3s$  (як при застосуванні алгоритму Лагранжа) до  $2s + 1$  є безпідставним.

У розглядуваному випадкові  $3s = 3 \cdot 4 = 12$ ,  $2s + 1 = 2 \cdot 4 + 1 = 9$  й зазначена різниця мала б складати  $12 - 9 = 3$  операцій диференціювання, чого й близько немає.

Таким чином, застосування рівнянь Нільсена скорочує тільки кількість повідомлень про наміри про взяття потрібних похідних, але обсяг математичних дій, пов'язаних з безпосереднім диференціюванням, збільшується порівняно з рівнянь Лагранжа II-о роду. Зазначене скорочення може мати місце лише у разі, коли кінетична енергія  $T$  механічної системи визначається єдиним доданком, який містить тільки одну змінну величину, чого у реальній дійсності, звісно, не існує.

### Література:

1. *Nielsen I. Elementare Mechanik. – Berlin, 1935.*

**УДК 004.032.26:519.21:004.94**

### ПОЛЬОТИ ЛЕВІ В АТРАКТОРНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖАХ

**Заїка С.О., Лобурець А.Т.**

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
zaikasvetlana@gmail.com*

Польоти Леві є ключовим поняттям у вивченні складних динамічних систем, включаючи нейронні мережі, завдяки їхній ефективності в задачах пошуку та навігації. Експерименти з активністю мозку (наприклад, за допомогою функціональної МРТ) демонструють, що під час виконання когнітивних завдань

мозок проявляє схеми активації, схожі на стратегії польотів Леві. Це стосується пошуку інформації у пам'яті або орієнтування в просторі. Атракторні нейронні мережі, як моделі когнітивних процесів, демонструють здатність відтворювати патерни поведінки, які імітують стохастичну природу польотів Леві.

У когнітивних дослідженнях пам'ять часто розглядається як атракторний простір, де окремі спогади або елементи інформації відповідають певним станам у нейронній мережі. Пошук інформації в пам'яті включає навігацію через цей простір. Така навігація може відбуватись як через локальні переходи (аналог броунівського руху), так і через великі стрибки між віддаленими атракторами (польоти Леві). Польоти Леві оптимальні в умовах, коли інформація розподілена нерівномірно. Вони дозволяють ефективно знаходити рідкісні або віддалені спогади, мінімізуючи час пошуку, оскільки включають як короткі рухи, так і далекі стрибки [1]. Дослідження показують, що у завданнях на пошук у пам'яті людина часто використовує подібну стратегію. Польоти Леві також можуть пояснити, чому мозок так ефективно справляється із завданнями пошуку: вони дозволяють уникати застою в локальних зонах та збільшують ймовірність доступу до релевантної інформації, яка знаходиться «далеко» в когнітивному просторі.

Математичні моделі нейронних мереж з атракторами, що генерують польоти Леві, демонструють їхню здатність імітувати процеси пошуку, подібні до людської поведінки, включаючи випадки спонтанного пригадування чи асоціативного мислення [1]. Атракторні нейронні мережі (англ. attractor neural networks) є класом моделей, які описують динаміку нейронних систем через стани, що відповідають атракторам у багатовимірному просторі [2]. Атрактори є стабільними точками чи структурами в фазовому просторі, до яких мережа прагне перейти. Вони можуть бути точковими (конкретні стани, наприклад, спогад у пам'яті), циклічними (періодичні стани, наприклад, ритмічна активність), хаотичними (складні, неперіодичні траєкторії, наприклад, у випадках складних когнітивних завдань). При активації мережа еволюціонує до найближчого атрактора, що дозволяє пояснити процеси асоціативного пригадування.

Моделі нейронів зазвичай описуються системами диференціальних рівнянь, що враховують динаміку мембранного потенціалу, адаптацію частоти спайків (SFA) і шум. Потенціал мембрани можна описати рівняннями, такими як рівняння Нернста для визначення рівноважного потенціалу іонів, або рівняння Гельмгольца для опису змін у потенціалі мембрани під впливом різних факторів - зовнішніх входів [3].

Зовнішній вхід в атракторній нейронній мережі – це зовнішній стимул або сигнал, який впливає на стани нейронів у мережі. Він визначає, як інформація з навколишнього середовища або від інших систем вводиться до мережі, і відіграє важливу роль у запуску або модифікації динаміки мережі [4].

Механізм адаптації частоти спайків (Spike Frequency Adaptation, SFA) дозволяє нейронним мережам адаптуватися до постійних стимулів, зберігати чутливість до нових сигналів і регулювати генерацію складних динамічних патернів, таких як польоти Леві[5].

На сьогодні існує три типи атракторних мереж [1]: 1. Мережі Гопфілда: найпростіша атракторна мережа для асоціативної пам'яті. Вона працює за принципом енергетичного ландшафту, де кожен спогад відповідає локальному мінімуму. 2. Неперервні атракторні мережі (CANNs): використовуються для моделювання неперервних змінних, наприклад, положення в просторі (функція місцевих клітин у гіпокампі). 3. Рекурентні нейронні мережі (RNNs): здатні утримувати стани і мають складні атракторні структури, які використовуються для моделювання часових залежностей.

Функціональні особливості зазначених мереж включають асоціативну пам'ять (мережі здатні відновлювати повну інформацію за її фрагментом), шумостійкість (система може долати перешкоди і шум, зберігаючи здатність переходити до правильного атрактора), когнітивний пошук використання польотів Леві в атракторних мережах дозволяє ефективно знаходити інформацію).

Усі моделі атракторних нейронних мереж включають стохастичні компоненти, що моделюють шум у реальних нейронних системах. Шум у

нейронних мережах дозволяє долати енергетичні бар'єри між атракторами, сприяючи переходу до нових станів. Цей механізм забезпечує нерівномірність траєкторії, що відповідає степеневому розподілу кроків, характерному для польотів Леві [6].

Атракторні нейронні мережі з польотами Леві використовуються у біологічному моделюванні для пояснення роботи пам'яті (гіпокамп, зоровий кортекс), для розвитку штучного інтелекту (створення систем асоціативного пошуку), для кращого розуміння патологій (наприклад, аналіз неврологічних розладів, пов'язаних зі зміною атракторів) [1].

#### **Література:**

1. Dong X., Chu T., Huang T., Ji Z., Wu S. Noisy Adaptation Generates Lévy Flights in Attractor Neural Networks // 35th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2021). – 2021. – P. 1-14.
2. Samsonovich A. and McNaughton B.L. Path Integration and Cognitive Mapping in a Continuous Attractor Neural Network Model. *Journal of Neuroscience*. – 1997. – Vol. 17. – P. 5900-5920.
3. Beer C., Barak O. Revealing and reshaping attractor dynamics in large networks of cortical neurons // *PLOS Computational Biology*. – 2024. - Vol.20, № 1. - P. e1011784.
4. Feng Y., Brunel N. Attractor neural networks with double well synapses // *PLOS Computational Biology*. – 2024. - Vol.20, № 2 - P. e1011354.
5. Mi Y., Fung C. C. A., Wong K. Y. M., & Wu S. Spike frequency adaptation implements anticipative tracking in continuous attractor neural networks // *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2014)*. - 2014. – Vol. 27. – P. 505-513.
6. Moreno-Bote R., Rinzel J., Rubin N. Noise-Induced Alternations in an Attractor Network Model of Perceptual Bistability // *J Neurophysiol*. – 2007. – Vol. 98, № 3. – P. 1125–1139.