

Література

1. Калянов, Г. Н. CASE-технологии. Консалтинг в автоматизации бизнес-процессов [Текст] / Г.Н. Калянов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2000. – 230с.
2. Сирый, В.К. Ресторанный бизнес: управляем профессионально и эффективно [Текст] / В.К. Сирый, И.О. Бухаров, С.В. Янков, Ф.Л. Сокирянский – М.: «Эксмо», 2008 – 352 с.
3. Дэвид, А.Марка. Методология структурного анализа и проектирования. Пер. с англ. [Текст] / Дэвид А.Марка, Клемент Л.МакГоуэн – М.:ТОО ФРЭД, 1993. – 240с.
4. Маклаков, С. В. Моделирование бизнес-процессов с AllFusion Process Modeler [Текст] / С.В. Маклаков. – М.: ДИАЛОГ-МИ-ФИ, 2007. – 224с.
5. BPwin Workgroup Modeling Guide. United States of America. University Square at Princeton. Logic Works,Inc.,1997.-105с.
6. Лайсонс К., Джиллингем М. Управление закупочной деятельностью и цепью[Текст]. – М.: Инфра-М, 2005. – 798 с.
7. Линдерс, М. Управление закупками и поставками[Текст] /М. Линдерс, Ф. Джонсон, А. Флинн, Г. Фирон – М.:Юнити-Дана, 2007. ISBN 978-5-238-01235-3.
8. Робсон, М. Практическое руководство по реинжинирингу бизнес- процессов[Текст] / М. Робсон, Ф. Уллах ; пер. с англ. под ред. Н. Д. Эриашвили. - М. : Аудит, ЮНИТИ, 1997. - 224 с.
9. Хаммер М., Чампи Дж. Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе[Текст] / Пер. с англ. Ю.Е. Корнилович. - 2-е изд. - М.: Манн, Иванов и Фербер, 2007. - 288 с.
10. Kimbie R Business Process Reengineering - When to use it [Электронный ресурс] / R. Kimbie - Kimbie R. <http://ezinearticles.com/7Business-Process-Reengineering-When-to-Use-It&id=6133794 .html>.

Розроблено підходи до моделювання впливу топологічної структури спайкових нейронних мереж на ефективність обробки інформаційних процесів. Побудовано моделі для опису впливу топології нейронної мережі для дискретного та неперервного випадків. Знайдені умови, за яких перетворення інформації буде ефективним. Запропоновано отримані результати застосувати як до природних, так і до штучних спайкових нейронних мереж

Ключові слова: спайк, нейронна мережа, топологія, шлях, обробка інформації, розповсюдження, рецептор, мотонейрон

Разработаны подходы к моделированию влияния топологической структуры спайковых нейронных сетей на эффективность обработки информационных потоков. Построены модели для описания влияния топологии нейронной сети для дискретного и непрерывного случаев. Получены условия для оценки уровня эффективности преобразования информации. Предложено полученные результаты применить как к природным, так и к искусственным спайковым нейронным сетям

Ключевые слова: спайк, нейронная сеть, топология, путь, обработка информации, распространение, рецептор, мотонейрон

УДК 004.032.26:004.852

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ТОПОЛОГІЧНОЇ БУДОВИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СПАЙКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

А. А. Шиян

Кандидат фізико-математичних наук, доцент

Кафедра комп'ютерних наук*

E-mail: aa_shiyan@mail.ru

В. С. Іваненко

Кафедра метрології та промислової
автоматики*

E-mail: viktori_dream@mail.ru

*Вінницький національний технічний університет
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна,

21021

1. Вступ

Моделювання нейронних мереж є звичним на сьогодні шляхом дослідження діяльності як біологічного прототипу – мозку, так і штучних об'єктів для інформаційних технологій.

В статті буде розглянуто саме застосування моде-

лювання нейронних мереж у інформаційних технологіях.

Як правило, штучні нейронні мережі мають досить просту топологічну будову. Найчастіше вони являють собою послідовні шари нейронів, зв'язки в яких розташовані послідовно. Як правило, така структура застосовується для задач розпізнавання.

Але для задач реалізації управління потрібна інша організація нейронної мережі. Зокрема, в ній повинні бути виділені нейрони, які видають управлінські команди. Дослідження таких нейронних мереж є сьогодні актуальною науковою та важливою в практичному сенсі задачею.

2. Постановка проблеми та огляд літератури

Спайкові нейронні мережі побудовані із нейронів, які обмінюються однаковими за амплітудою та часом сигналами (які й зветься спайками) [1-4]. Інформація в таких мережах кодується через часову послідовність спайків.

Важливою для практичного застосування особливістю функціонування спайкової нейронної мережі є те, що вона здатна запам'ятовувати патерни, які мають часову організацію. Таким чином, ці мережі є перспективними для застосування в якості автоматичних систем управління об'єктами, що рухаються [5, 6].

Спайкова генерація нейрона є відповіддю на сигнали, отримані ним від інших нейронів [1-4]. Але ці сигнали є результатом діяльності не тільки тих нейронів, які є в найближчому околі виділеного нейрону. Виділений нейрон, по суті, «знімає» сигнали із всіх інших нейронів мережі.

Таким чином, в спайкових сигналах, які отримує виділений нейрон, знаходять своє відображення особливості топологічної будови всієї нейронної мережі.

Ці задача сьогодні ще не є вирішеною, так як основні зусилля дослідників були зосереджені на задачах розпізнавання образів та навчання спайкових нейронних мереж [1-8].

Метою статті є розробка моделей для опису впливу топології нейронної мережі на діяльність спайкового нейрона.

3. Виклад основного матеріалу

Розглянемо довільний нейрон в спайковій нейронній мережі (СНМ). Позначимо його як N_0 . Нейронна мережа отримує сигнал від зовнішнього оточення через певну виділену сукупність нейронів $\{N_i\}$. Розглянемо сукупність можливих шляхів через СНМ від нейрона $N_k \in \{N_i\}$ до нейрона N_0 . Позначимо цю сукупність шляхів як L . Так як розглядаємо кінечні СНМ, то в L існують найкоротший l_m та найдовший l_M шляхи. Відомо [9], що визначені таким чином множина шляхів L задає топологічну структуру дискретного простору, тобто, в нашому випадку, топологічну будову СНМ.

Розглянемо декілька типових задач для моделювання СНМ.

Задача 1. Нейрони в СНМ знаходяться в стані відсутності генерації. Зовнішній сигнал отримує один нейрон. Він генерує спайки та передає їх на інші нейрони (з яким він зв'язаний). Сигнал розповсюджується по нейронній мережі та досягає нейрона N_0 . Цей нейрон також починає генерувати спайки.

Але, завдяки наявності множини шляхів L , нейрон N_0 отримує сигнал від багатьох нейронів внаслідок того, що він до нього буде розповсюджуватися за різними шляхами.

В результаті, нейрон N_0 буде знаходитися під впливом досить великої кількості спайків, які є роззосередженими за часом.

Як правило, спочатку на нейрон починає діяти сигнал, який пройшов по СНМ найкоротшим шляхом l_m . Останнім – сигнал, який пройшов шляхом l_M . Таким чином, нейрон N_0 в момент часу t знаходиться під впливом спайків від інших нейронів, який можна розрахувати за такою формулою.

$$I_0(t) = \begin{cases} 0, t < t_m; \\ \sum_{i=l_m}^l I_i(t-t_m), t_m < t < t_M; \\ \sum_{l_m}^{l_M} I_i(t-t_m), t > t_M. \end{cases} \quad (1)$$

тут $I_0(t)$ – спайковий сигнал, який отримує нейрон N_0 ; t_m – час, за який до нейрона N_0 доходить сигнал по найкоротшому шляху l_m ; t_M – час, за який до нейрона N_0 доходить сигнал по найдовшому шляху l_M ; l_t – шлях, за яким до нейрона N_0 доходить сигнал за час t ; I_i – спайковий сигнал, який доходить до нейрона N_0 за i -тим шляхом.

Підкреслимо, що змінний вплив на нейрон N_0 має лише в період часу $t_m < t < t_M$.

Використання формули (1) має дві особливості.

По-перше, кожний нейрон у СНМ має характерний латентний час t_0 , за який він здійснює генерацію спайка (сюди включається також процес сумачії (агрегування, опрацювання) спайків, які отримані на даний момент часу від інших нейронів). Тому випадку, коли $t_m < t_0$, в (1) сума здійснюється лише по тим шляхам, для яких $t_m > t_0$.

Таким чином, має місце така теорема.

Теорема 1. З метою опрацювання інформації, СНМ повинні будуватися таким чином, щоб нейрони N_0 , з яких знімається опрацьована у СНМ інформація, задовольняли умові $t_m > t_0$.

Наслідок з теореми 1. В біологічних прототипах СНМ існує мінімальна відстань між нейронами із поля рецепторів та поля мотонейронів. Ця відстань залежить як від специфіки функціонування нейрона, так і від швидкості розповсюдження збудження між нейронами.

По-друге, нейрон у стані генерування спайків може перебувати тільки кінечний час t_g . Тому випадку, коли $t_M - t_m > t_g$, сума в (1) здійснюється тільки за тими шляхами, час розповсюдження збудження вздовж яких є меншим за час $t_m + t_g$.

Таким чином, має місце така теорема.

Теорема 2. «Великі» СНМ, для яких виконано умову $t_M - t_m > t_g$, є надлишковими з точки зору опрацювання інформації в тому сенсі, що буде відсутній вплив входу інформації у СНМ на нейрон N_0 .

Наслідок з теореми 2. В біологічних прототипах існує максимальний розмір СНМ, тобто відстань між нейронами із поля рецепторів та поля мотонейронів. Ця відстань залежить як від специфіки функціонування нейрона (його здатності відповідати на спайки, отримані від інших нейронів), так і від швидкості розповсюдження збудження між нейронами.

Задача 2 (узагальнена). В загальному випадку нейрони знаходяться у стані вільної генерації у відповідь на попередні зовнішні стимули. До того ж, зовнішні сти-

мули сприймаються не одним нейроном, а певним сенсорним полем, яке складається із багатьох нейронів.

Нас цікавить той стан, у який перейде певна виділена сукупність нейронів – поле мотонейронів.

Алгоритм розв'язання цієї задачі є аналогічним попередньому.

Спочатку ми вводим множину можливих шляхів, які маркуються довжиною або часом розповсюдження збудження по шляху (останнє важливе за умови, що СНМ складається або із нейронів різного роду, або сама є просторово неоднорідною).

В загальному випадку можна ввести (неперервну або дискретну) функцію розподілу шляхів за довжиною або часом: $f(l)$ або $f(t)$, яка є кількістю шляхів довжини l (або часу розповсюдження збудження t , відповідно).

Тоді формула (1) може бути переписана у такому вигляді.

$$I(t) = \int_0^t f(\tau) I(\tau) d\tau. \quad (2)$$

Відмітимо, що формулу (2) можна записати у вигляді, коли ми розглядаємо свого роду «трубку шляхів» від сенсорного поля (входу в СНМ) до моторного поля (виходу з СНМ). Тоді в якості параметра, який характеризує шлях, можна взяти «радіус трубки шляхів» R .

В цьому випадку формула (2) прийме вигляд

$$I(R) = \int_0^R f(r) I(r) dr. \quad (3)$$

Для такої форми запису для функції $f(R)$ можна здійснити деякі оцінки (розглядаємо випадок неперервної СНМ).

Для малих R функцію $f(R)$ можна оцінити як $f(R) = C \cdot R^\alpha$, де $\alpha \leq 2$. Рівність $\alpha = 2$ буде мати місце лише у випадку однорідної СНМ.

Цікаво, що значення $\alpha < 2$ можна інтерпретувати, як наявність у СНМ певної топологічної структури, коли шляхи в «трубці шляхів» створюють певні структури.

Для великих же R функція $f(R)$ буде спадати до нуля внаслідок малого впливу «довгих шляхів» у СНМ (детальне обговорення цього ефекту було наведено вище).

Для загальної задачі також будуть справедливі аналоги теорем 1 та 2 та наслідки з них.

4. Перспективи подальших досліджень

Отримані в статті результати дозволяють моделювати широке коло характерних для біологічного прототипу – головного мозку – особливостей функціонування [10].

Наприклад, отримані результати дозволяють ставити задачі про моделювання ролі та впливу структурної будови головного мозку.

З точки зору ж технічного застосування, отримані в статті результати дозволяють сформулювати програму розробки СНМ, які можуть бути застосовані в технічних системах як для розпізнавання образів, так і для управління технічними системами.

5. Висновки

Розроблено підходи до моделювання впливу топологічної структури спайкових нейронних мереж на ефективність обробки інформаційних процесів. Знайдені умови, за яких перетворення інформації буде ефективним.

Показано, що отримані в статті результати можуть бути застосовані як до природних, так і до штучних спайкових нейронних мереж.

Література

1. Осипов Г. В. Синхронизация при обработке и передаче информации в нейронных сетях [Текст] / Г. В. Осипов. – Нижний Новгород : ННГУ, 2007. – 99 с.
2. Брюхомицкий Ю. А. Нейросетевые модели для систем информационной безопасности [Текст] / Ю. А. Брюхомицкий. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 160 с.
3. Pavlov A. N. Wavelet analysis in neurodynamics [Текст] / A. N. Pavlov, A. A. Koronovskii, A. A. Ovchinnikov et al. // Uspekhi Fizicheskikh Nauk. – 2012. Vol. 182, No 9. – P. 905-939.
4. Tapson J. Synthesis of neural networks for spatio-temporal spike pattern recognition and processing [Текст] / J. Tapson, G. Cohen, S. Afshar et al. – Доступно за адресою: <http://arxiv.org/abs/1304.7118>. 26 квітня 2013. – 21 р.
5. Sinyavskiy O. Y. Reinforcement learning of a spiking neural network in the task of control of an agent in a virtual discrete environment [Текст] / O. Y. Sinyavskiy, A. I. Kobrin // Rus. J. Nonlin. Dyn. – 2011. – Vol. 7, No. 4 (Mobile Robots). – P. 859–875.
6. Sinyavskiy O. Y. Generalized stochastic spiking neuron model and extended Spike Response Model in spatial-temporal impulse pattern detection task [Текст] / O. Y. Sinyavskiy, A. I. Kobrin // Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). – 2010. – Vol. 19, No 4. – P. 300-309.
7. Medvedev G. S. The geometry of spontaneous spiking in neuronal networks [Текст] / G. S. Medvedev, S. Zhuravytska // Journal of Nonlinear Science. – 2012. – Vol. 22, Issue 5. – P. 689-725.
8. Huang, G. B. Extreme learning machine: Theory and applications [Текст] / G. B. Huang, Q. Y. Zhu, C. K. Siew. // Neurocomputing. – 2006. – Vol. 70. – P. 489–501.
9. Дубровин Б. А. Современная геометрия [Текст] / Б. А. Дубровин, С. П. Новиков, А. Т. Фоменко. – М.: Наука, 1979. – 760 с.
10. Nicholls J. G. From Neuron to Brain [Текст] / J. G. Nicholls, A. R. Martin, B. G. Wallace, P. A. Fuchs. – Sunderland : Sinauer Associates, Inc., 2001. – 672 р.