

Интегрированная информация как метрика успешности обучения**Научный руководитель – Сварник Ольга Евгеньевна*****Нажесткин Иван Андреевич****Аспирант*

Московский физико-технический институт, Москва, Россия

E-mail: gausseuler60@gmail.com

Одним из аспектов работы мозга является интеграция информации из различных областей [1], поскольку используется для принятия решений на основе множества факторов. Для количественной оценки способности сложных систем к интеграции информации [2,3,4] была введена специальная метрика – коэффициент интегрированной информации Φ . Он показывает, насколько больше информации способна производить целая система, чем отдельно взятые её части: $\Phi = \sum_{k=1}^r H(M_{t,k}|M_{t,k+1}) - H(X_t|X_{t+\Delta t})$ где: $H(A|B)$ – условная энтропия (энтропия переменной А при наличии переменной В), X_0, X_1 – векторы состояния системы в моменты времени t и $t + \Delta t$ (см. ниже), $M_{0,k}, M_{1,k}$ – подвыборки из системы в моменты времени t и $t + \Delta t$, r – количество подвыборок. Подвыборки выбираются наиболее независимыми, то есть таковыми, что разделение системы на них даёт минимальное уменьшение информации по сравнению с целой системой. Ранее данная теория применялась для разделения сознательных и бессознательных состояний в мозге [6,7,8], для исследования роли астроцитов в нейронных сетях [9], и для оценки работы других систем [10, 11].

В настоящей работе была предпринята попытка применить теорию интегрированной информации для исследования самоорганизации нейронов в головном мозге в течение процесса обучения, с целью оценки изменений характеристик нейронной сети в то время, когда она постепенно приобретает способность к реализации нового поведения.

Был произведён расчёт Φ для нейронов головного мозга крыс в течение нескольких дней при оперантном обучении. Расчет был выполнен на открытых данных [12] по оперантному многодневному обучению крыс линии Long-Evans. Животные ($n=3$) были обучены оперантному инструментальному навыку ориентирования в W – образном лабиринте с тремя рукавами. Обучение выполнялось в течение 8 дней. Каждый день проводилась одна или две сессии обучения продолжительностью 15-20 минут.

Расчет показал, что с ходом обучения наблюдалась тенденция к росту интегрированной информации Φ . Скорость обучения (разность между количеством подкреплений в первый и последний день) оказалась взаимосвязана с максимальным значением Φ у данного животного. Для более подробного анализа каждая сессия обучения была разбита на 8 последовательных периодов равной продолжительности. Выявлена статистически значимая взаимосвязь между количеством подкреплений за период и значением коэффициента интегрированной информации в данном периоде (рис. 1).

Таким образом, были заложены основы нового подхода к исследованию самоорганизации нейронных сетей в головном мозге. Впервые теория интегрированной информации была применена для оценки изменений, происходящих в головном мозге с ходом обучения. Обнаружен новый важный маркер перестроений в нейронной сети, происходящих с ходом обучения. В дальнейшем поведенческие эксперименты с применением теории интегрированной информации для нейронов из различных областей помогут точнее выяснить пути прохождения информации в мозге, определить области, в которых происходит та или иная обработка.

Источники и литература

- 1) Deco G. et al. Rethinking segregation and integration: contributions of whole-brain modelling //Nature Reviews Neuroscience. – 2015. – Т. 16. – №. 7. – С. 430-439.
- 2) Tononi G. The integrated information theory of consciousness: an updated account //Archives italiennes de biologie. – 2012. – Т. 150. – №. 2/3. – С. 56-90.
- 3) Balduzzi D., Tononi G. Integrated information in discrete dynamical systems: motivation and theoretical framework //PLoS Comput Biol. – 2008. – Т. 4. – №. 6. – С. e1000091.
- 4) Albantakis L., Tononi G. The intrinsic cause-effect power of discrete dynamical systems—from elementary cellular automata to adapting animats //Entropy. – 2015. – Т. 17. – №. 8. – С. 5472-5502.
- 5) Niizato T. et al. Finding continuity and discontinuity in fish schools via integrated information theory //PloS one. – 2020. – Т. 15. – №. 2. – С. e0229573
- 6) Casali A. G. et al. A theoretically based index of consciousness independent of sensory processing and behavior //Science translational medicine. – 2013. – Т. 5. – №. 198. – С. 198ra105-198ra105.
- 7) Alkire M. T., Hudetz A. G., Tononi G. Consciousness and anesthesia //Science. – 2008. – Т. 322. – №. 5903. – С. 876-880.
- 8) King J. R. et al. Information sharing in the brain indexes consciousness in noncommunicative patients //Current Biology. – 2013. – Т. 23. – №. 19. – С. 1914-1919.
- 9) Kanakov O. et al. Astrocyte-induced positive integrated information in neuron-astrocyte ensembles //Physical Review E. – 2019. – Т. 99. – №. 1. – С. 012418.
- 10) Engel D., Malone T. W. Integrated information as a metric for group interaction //PLoS one. – 2018. – Т. 13. – №. 10. – С. e0205335.
- 11) Edlund J. A. et al. Integrated information increases with fitness in the evolution of animats //PLoS Comput Biol. – 2011. – Т. 7. – №. 10. – С. e1002236.
- 12) Shantanu P. Jadhav and Loren M. Frank (2020). Simultaneous extracellular recordings from hippocampal area CA1 and medial prefrontal cortex from rats performing a W-track alternation task. CRCNS.org. <http://dx.doi.org/10.6080/K02N50G9>

Иллюстрации

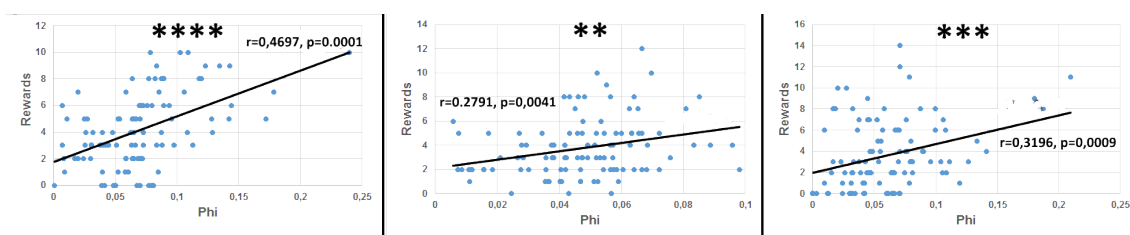


Рис. 1. Взаимосвязь между коэффициентом интегрированной информации и количеством подкреплений в каждом из периодов. Ось x: коэффициент интегрированной информации; ось y: количество подкреплений.