

Krytyczny umysł

Przywykliśmy do przenikania się jak największego, czyli wszechświata, z jak najmniejszym, czyli mikroświatem (front badań doświadczalnych jest na poziomie, który – w systemie metrycznym – należałoby nazywać attoświatem), często zapominając o czymś najbardziej złożonym, czyli naszym umyśle, bez którego pozostałych dwóch ekstremów nie miałby kto rozważać.

Jednym z kluczowych problemów interdyscyplinarnej neurobiologii (określanej w literaturze angielskojęzycznej jako *neuroscience*) jest pytanie o to, jak w sieci prostych elementów (neuronów) pojawia się myślenie.

Trzeba uczciwie przyznać, że choć niemal z każdym dniem wiemy coraz więcej, to w sumie nadal jest to tyle co nic. Dlatego naukowcy zajmują się odpowiadaniem na prostsze pytania. Od około dekady umacnia się przekonanie, że sieć neuronów pracuje najefektywniej w warunkach krytycznych, które osiąga poprzez samoorganizujący się proces nierównowagowy. Pojedynczy neuron ma szereg wejść (dendrytów) oraz (na ogół) jedno, rozgałęzione na końcu, wyjście (akson). Jeżeli chwilowa suma sygnałów wejściowych przekroczy pewien poziom, to jest wysyłany sygnał. Po jego wysłaniu komórka potrzebuje czasu do uzyskania gotowości do wysłania następnego. To ten prosty mechanizm ma stać za ustalaniem się warunków krytycznych, czyli sytuacji, w której nie można stwierdzić, czy sieć jest podkrytyczna – mało neuronów bliskich wysłania sygnału, czy nadkrytyczna – dużo takich neuronów.

Odpowiednikiem termodynamicznym takiej sytuacji jest punkt krytyczny np. wody, czyli taka wartość temperatury i ciśnienia, w której nie można odróżnić cieczy od gazu. Dla ciśnienia i temperatury zbliżonych do wartości krytycznych rozkład fluktuacji gęstości staje się potęgowy, czyli trójwymiarowa mapa gęstości jest samopodobna – wygląda tak samo niezależnie od skali.

Sieć neuronów generuje kaskady sygnałów. Mechanizm jest podobny do powstawania lawinek piasku w klepsydrze. W warunkach krytycznych rozkłady, tak wielkości kaskad, jak i czasu ich trwania, są potęgowe. Taka niezależność od skali została wielokrotnie stwierdzona dla fragmentów tkanki nerwowej badanych *in vitro*. Autorzy pracy [1] postanowili natomiast zbadać, jak tkanka nerwowa zachowuje się wtedy, gdy ma co robić.

W tym celu poświęcili dziewięć mózgów żółwi dla dobra nauki. Chodziło o sprawdzenie zachowania kory wzrokowej pod wpływem optycznej stymulacji siatkówki. Oczywiście, wszystko odbyło się w zgodzie ze stosownymi przepisami o traktowaniu zwierząt, ale dla nieprzygotowanego obserwatora procedura może wyglądać dość makabrycznie. Żółwie były najpierw usypiane, a następnie dekapitowane. Z ich głów wydobywano mózgi wraz z gałkami ocznymi, z których jedną odcinano, a drugą przepoławiano, odsłaniając siatkówkę. Tak spreparowany organ umieszczano w sztucznym płynie rdzeniowo-mózgowym.

Do odpowiedniej części kory mózgowej podłączano zestaw elektrod i czekano, aż skończy się działanie znieczulenia. Sytuacja została w artykule określona jako *ex vivo*, ale laik może mieć wątpliwości, czy to na pewno nie było *in vivo* w potocznym rozumieniu tych słów.

Na tak spreparowaną siatkówkę kierowano serię obrazów i zliczano pojawianie się kaskad aktywności neuronowej kory wzrokowej, jednocześnie mierząc ich wielkość oraz czas trwania.

We wszystkich przypadkach, których w sumie zbadano trzystaście (niektóre mózgi były poddane więcej niż jednej serii stymulacji), stwierdzono, co następuje. Początkowo, zaraz po włączeniu stymulacji, działanie badanego fragmentu mózgu było nadkrytyczne, ale dość szybko przechodziło w stan, w którym nie tylko zależność częstości występowania kaskad, tak od ich wielkości, jak i od długości trwania, były potęgowe, ale również zależność wartości wykładników odpowiadała przewidywaniom dotyczącym występowania warunków krytycznych.

Drugą częścią eksperymentu było zbudowanie modelu sieci neuronowej wykazującego takie samo zachowanie. Zaprojektowany i przebadany został model zbudowany z 1 000 sztucznych neuronów połączonych każdy z każdym. Jedna piąta neuronów została zaprogramowana jako takie, których synapsy dendrytowe są hamujące zamiast pobudzających. Dochodzenie do możliwości wysłania kolejnego sygnału zostało zaprogramowane jako wykładnicze. Wszystkie neurony były poddane zewnętrznej stymulacji odpowiadającej zestawowi obrazów wyświetlanych w rzeczywistym eksperymencie.

Po dopasowaniu parametrów symulacji udało się odtworzyć wyniki eksperymentu *ex vivo*.

W opinii autorów doświadczenie dowodzi automatycznego dochodzenia sieci neuronowej do warunków krytycznych nawet podczas intensywnej zewnętrznej stymulacji.

To prawdopodobnie dzięki temu jesteśmy w stanie nie tylko widzieć, ale również rozumieć, co widzimy. Albo przynajmniej mieć wrażenie, że rozumiemy.

Piotr ZALEWSKI

[1] W.L. Shew, W.P. Clawson, J. Pobst, Y. Karimipana, N.C. Wright oraz R. Wessel, *Adaptation to sensory input tunes visual cortex to criticality*, *Nature Physics* (2015) doi:10.1038/nphys3370.