

Celem projektu jest badanie stabilności i efektywności informacji jaka może być zapisana w połączeniach neuronowych zwanych synapsami, co wiąże się z procesami uczenia i pamięci w sieciach neuronów.

Informacja o tym czego uczą się ludzie i zwierzęta jest zapisywana w mózgu w synapsami. Dane empiryczne pokazują że synapsy są dynamicznymi i często niestabilnymi obiektami: mogą modyfikować swoją strukturę, własności neurofizjologiczne, komponenty molekularne, lub nawet całkowicie się pojawiać i znikać w ciągu minut lub godzin. Te dynamiczne procesy noszą ogólną nazwę “plastyczności synaptycznej”, i dzięki nim organizmy potrafią się uczyć, czyli nabywać i zapisywać nową informację.

Jednak fakt, że synapsy są takie dynamiczne powoduje pewien fundamentalny problem: w jaki sposób, w takim razie, synapsy mogą utrzymywać (przechowywać) informacje w swojej strukturze (lub biofizycznych własnościach) w znacznie dłuższych skalach czasowych: miesiące lub lat? Ten problem stanowi pewnego rodzaju zagadkę, oraz wydaje się być podstawowy i ważny nie tylko dla neuronauki, ale także dla szeroko pojętej “sztucznej inteligencji”, gdzie celem jest zbudowanie inteligentnych systemów, które mogą się uczyć, pamiętać długo to czego się nauczyły, oraz używać efektywnie tej informacji.

Z fizyki teoretycznej wiadomo także, że informacja jest zawsze w jakiś sposób związana z energią. W szczególności, ciekawe wydaje się zagadnienie kosztów energetycznych zapisywania i przechowywania informacji w synapsach, właśnie także dlatego że synapsy są bardzo małe i podlegają wpływom szumu stochastycznego (np. termicznego). Pytanie jakie tu będzie badane to: jaka jest efektywność energetyczna synaps w procesach uczenia i pamięci, zarówno na poziomie mikroskopowym (pojedyncza synapsa) jak i mezoskopowym (sieć neuronów). Zagadnienie to wydaje się być interesujące dla mechaniki statystycznej i będzie badane metodami tzw. stochastycznej nierównowagowej termodynamiki, jako że synapsy i generalnie sieci neuronowe funkcjonują z dala od stanu równowagi termodynamicznej.

Ślady pamięci istnieją w mózgu jako kolektywna aktywność synaps, która jest rozciągnięta w czasie. Takie ślady pamięci mogą być reprezentowane jako stochastyczne trajektorie aktywności, czyli mogą być opisane w ramach stochastycznych układów dynamicznych, co jest przedmiotem matematyki stosowanej.

Tak więc problem stabilności informacji synaptycznej w “niestabilnych” lub stochastycznych synapsach ma charakter interdyscyplinarny, ponieważ dotyczy zagadnień neurobiologicznych, które mogą być opisywane metodologią zaczerpniętą z fizyki statystycznej (termodynamiki) oraz matematyki stosowanej. W szczególności, w ramach istniejących obecnie modeli plastyczności synaps, będziemy chcieli znaleźć związki między ilością zakodowanej informacji, jej dokładnością, czasem jej trwania, oraz kosztem metabolicznym jaki ona wymaga. Zagadnienia te są stosunkowo nowe i niezbyt zrozumiałe w neuronauce, i wydaje się, że wymagają interdyscyplinarnego podejścia.

Oczekiwanym rezultatem końcowym jest uzyskanie zrozumienia o wzajemnych związkach pomiędzy informacją i energią w synapsach. Nadzieją jest znalezienie formuł matematycznych łączących informację i energię, które dostarczą nam głębszego zrozumienia procesów uczenia i pamięci na poziomach sieci oddziałujących synaps i ich molekularnych składników, w kategoriach pojęć i idei znanych z fizyki oraz matematyki stosowanej.