Моделирование взаимодействующих нейронов в системе Ходжкина – Хаксли

А.В. МИЛОВАНОВ

ФГБОУ Воронежский университет

Исследуется поведение потенциала на мембране нервной клетки в модифицированной модели Ходжкина – Хаксли, отличающейся от классической наличием двух параметров: s, u (параметры торможения и возбуждения), которая представляет собой систему четырёх обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$CV' = -g_{Na} * (m^3h*(V - V_{Na}) + s*(V - V_K) – u) - g_K n^4*(V - V_K) - g_L*(V-V_L);$$
$$m' = \alpha_m(V) - \gamma_m(V)*m;\ h' = \alpha_h(V) - \gamma_h(V)*h;\ n' = \alpha_n(V) - \gamma_n(V)*n; \quad (1)$$

$\alpha_m(V) = 0,1*(V-25) / (1 - \exp(2,5 - 0,1*V))$;
$\gamma_m(V) = \alpha_m(V) + \beta_m(V)$;
$\beta_m(V) = 4*\exp(-V / 18)$;
$\alpha_h(V) = 0,07*\exp(- V / 20)$;
$\gamma_h(V) = \alpha_h(V) + \beta_h(V)$;
$\beta_h(V) = 1/(1 + \exp(3 - 0,1*V))$;
$\alpha_n(V) = 0,01*(V - 10) / (1 - \exp(1 - 0,1*V))$;
$\gamma_n(V) = \alpha_n(V) + \beta_n(V)$;
$\beta_n(V) = 0,125*\exp(- V / 80)$; (2)

$g_{Na} = 120$ мСм/см^2;
Константы:
$C = 1$ мкФ/см^2;
$g_K = 36$ мСм/см^2;
$g_L = 0,3$ мСм/см^2;
$V_{Na} = 115$ мВ;
$V_K = -12$ мВ;
$V_L = 10$ мВ (3)

$V' = dV/dt$; $m' = dm / dt$; $h' = dh / dt$; $n' = dn / dt$ (производные по времени) [1]

Особенности моделирования большой нейронной сети:

1. Большое количество итераций, которые необходимо сделать в численной реализации системы уравнений по схеме Рунге-Кутта 4-го порядка
2. Относительно параметров s, u строится сетка большой размерности: до 100x100. Все вычисления по п.1 повторяются соответствующее количество раз.

Время счёта квадратично зависит от числа нейронов. Автор опирается на программную разработку коллектива авторов из ННГУ [3], но в ней нужно учесть параметры s, u. Распараллеливание ведётся по итерациям относительно параметров s, u, относительно временных интервалов действия мембранного потенциала, а также относительно количества нейронов. Относительно констант (проводимости, потенциалы, ёмкость мембраны нервной клетки) проводится оптимизация для выявления наиболее функциональной модели нейросети, способной к обучению и распознаванию образов, а это дополнительно усложняет вычисления.

В ОС Windows, в среде программировании Microsoft Visual Studio 2008, с использованием технологии OpenMP система из 1000 нейронов обсчитывается за 3 минуты в последовательном режиме, 1,5 минуты на 2-ядерном процессоре, 50 секунд на 4-ядерном процессоре. Для увеличения размерности решаемой задачи осуществляется переход на доступные кластеры: кластер ВГУ (0,25 Тфлопс, 24 процессорных ядра) с ОС Scientific Linux и кластер ННГУ (примерно 3-4 Тфлопс). Предполагается создать реалистическую модель нейронной сети для распознавания сложных образов: человеческих лиц, географических карт, спутниковых снимков.

Литература

1. Hodgkin A., Huxley A. // J. Physiol. 1952. V. 117. P. 500 – 544.
2. Покровский А.Н. Процессы управления в нервных клетках. Л. Изд-во ЛГУ. 1987.
3. Баркалов К.А., Мееров И.Б., Сысоев А.В., Сиднев А.А. и др. Учебные курсы. Параллельные численные методы. Раздел 5. Методы решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений.
URL: http://www.hpcc.unn.ru/?doc=491.