

Исследование нормализованной модели локальной нейронной сети

Никольский В.А.

Институт транспорта и связи, Рига, Латвия, valerij.nikolsky@gmail.com

Аннотация. Рассматривается задача построения аналитической модели локальной нейронной сети. Построение и исследование модели основано на стохастической нормализации системы, включающей нейрон-передатчик и нейрон-приемник, соединенные между собой линией связи в виде аксона. Получены расчетные соотношения для определения операционных характеристик сети в стационарном режиме.

1. Введение

Известно, что нервная ткань человека, в том числе и ткани его головного мозга, достаточно сложны. В этой связи их познание ведётся нейронаукой с большого числа направлений [1, 2]. В данной статье рассматривается простейшая сеть, состоящая из двух последовательно соединенных нейронов. Структурная схема сети представлена на рис. 1.

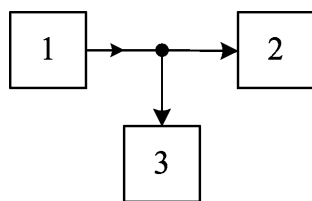


Рис. 1. Два последовательно соединенных нейрона

На схеме приняты обозначения: 1 – нейрон-передатчик, генерирующий поток нервных сигналов (сообщений) с интенсивностью λ ; 2 – нейрон-приемник. Поток освобождений занятого приемника имеет интенсивность μ . Передача сигнала осуществляется вдоль аксона с интенсивностью ν сообщений в единицу времени. Аксон разделен на сегменты точками Ренвье. В конце аксон разветвляется на волокна. На окончании этих волокон находятся синапсы. В процессе передачи часть нервных сигналов по тем или иным причинам может покинуть сеть, не получив обслуживания. Это отражено на рис. 1 прямоугольником с цифрой 3. Необслуженные сигналы по нервным волокнам перемещаются к другим нейронам, выполняющим те же функции, что и нейрон-приемник. Поэтому потеря информации при отсутствии патологии не происходит.

Будем в дальнейшем нейронную сеть интерпретировать в виде нормализованной одноканальной системе массового обслуживания (СМО), см. рис. 2 [3]. Тогда $X(t)$ можно рассматривать как последовательность нервных сигналов, поступающих в систему от нейрона-передатчика; P – распределитель, определяющий направление движения нервных сигналов в зависимости от состояния прибора ПР (нейрона-приемника) и наличия свободных мест в очереди (канале

связи); $Z_i^*(t)$ – поток сообщений, следующих в канал связи (очередь), $i = \overline{1, k}$; k – число сегментов аксона (мест пребывания в очереди); $Z(t)$ – поток сигналов, поступающих в прибор, когда система свободна; $Y_1(t)$ – поток обслуженных сообщений; $Y_2(t)$ – поток сообщений, покинувших сеть, не получив обслуживания; $U(t)$ и $G_i(t)$ – сигналы о состоянии прибора и очереди; $Y_1''(t)$, $Z_1''(t)$, $G_1''(t)$, $U_1''(t)$ – гауссовы шумы системы с нулевыми математическими ожиданиями.

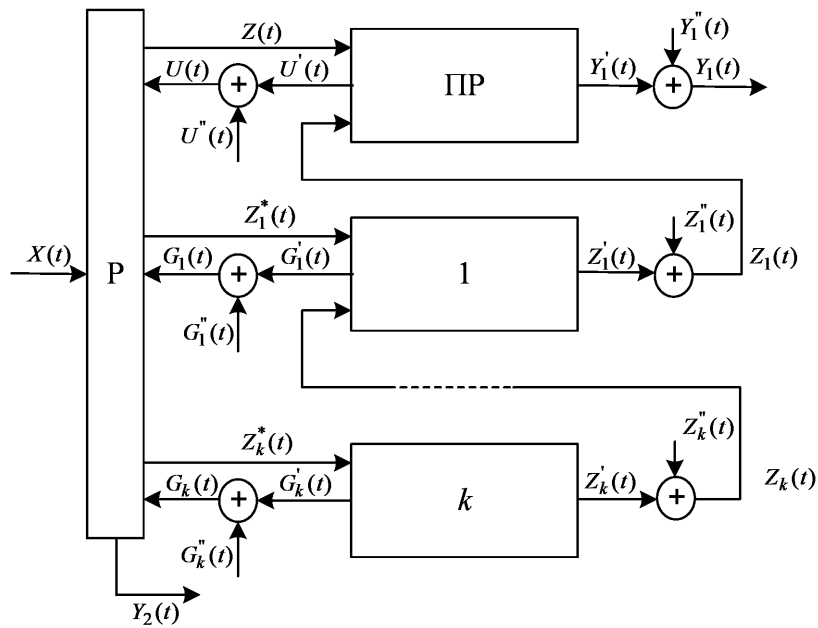


Рис. 2. Изображение простейшей нейронной сети в виде нормализованной одноканальной СМО

2. Математическое описание и исследование модели сети

Совокупность уравнений, описывающих систему в динамике, имеет вид, аналогичный изложенному в работе [3]. Учитывая быстротечность переходных процессов, протекающих в нейронной сети, ограничимся рассмотрением поведения системы в стационарном режиме. Тогда для математических ожиданий переменных состояния получим

Нормализованная модель локальной нейронной сети

$$\left. \begin{aligned}
 m_z &= m_x(1 - m_u), \quad m_{y_2} = m_x m_{g_i}, \\
 m_{z_i^*} &= m_x(m_{g_{i-1}} - m_g), \\
 m_{z_i} &= (m_{z_i^*} + m_{z_{i+1}}) \int_{-\infty}^t \varphi^-(t - \tau) d\tau, \\
 m_{g_i} &= (m_{z_i^*} + m_{z_{i+1}}) \int_{-\infty}^t \psi^-(t - \tau) d\tau, \\
 m_{y_1} &= (m_z + m_{z_1}) \int_{-\infty}^t \varphi(t - \tau) d\tau, \\
 m_u &= (m_z + m_{z_1}) \int_{-\infty}^t \psi(t - \tau) d\tau,
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $\varphi(t - \tau)$, $\psi(t - \tau)$, $\varphi^-(t - \tau)$, $\psi^-(t - \tau)$ – весовые функции, получаемые из соответствующих плотностей распределения времени обслуживания в приборе и времени пребывания в очереди, причем

$$\psi(\sigma) = \int_0^{\sigma} \varphi(t) dt.$$

Перечислим возможные состояния системы: S_0 – система свободна; S_1 – прибор занят, очереди нет; S_2 – прибор занят, одно сообщение в очереди; S_{k+1} – прибор (приемник) занят, k сообщений находятся в канале связи. Этим состояниям в нормализованной модели соответствуют вероятности:

$$P_0 = 1 - m_u, \quad P_1 = m_u - m_{g_1}, \quad P_2 = m_{g_1} - m_{g_2}, \quad \dots, \quad P_{k+1} = m_{g_k}. \quad (2)$$

Принимая во внимание, что

$$\left. \begin{aligned}
 \int_{-\infty}^t \varphi(t - \tau) d\tau &= 1, & \int_{-\infty}^t \psi(t - \tau) d\tau &= \frac{1}{\mu}, \\
 \int_{-\infty}^t \varphi^-(t - \tau) d\tau &= 1, & \int_{-\infty}^t \psi^-(t - \tau) d\tau &= \frac{1}{\nu}
 \end{aligned} \right\},$$

получим

Никольский В.А.

$$\left. \begin{aligned} P_{k+1} &= \frac{\rho \rho_1^k (1 - \rho_1)}{1 + \rho_1^k (\rho - \rho_1 - \rho \rho_1)}, \\ P_0 &= \frac{1 - \rho + \rho_1^k (\rho - \rho_1)}{1 + \rho_1^k (\rho - \rho_1 - \rho \rho_1)}, \\ m_{y_1} &= m_x (1 - P_{k+1}), \\ m_{y_2} &= m_x P_{k+1}, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где P_{k+1} – вероятность отказа в обслуживании; P_0 – вероятность того, что система свободна; m_{y_1} – абсолютная пропускная способность сети; m_{y_2} – среднее число сообщений, покинувших сеть, необслуженными; ρ – коэффициент загрузки нейрона-приемника; ρ_1 – коэффициент загрузки сегмента канала связи; $m_x = \lambda$ – средняя скорость поступления нервных сигналов из нейрона-передатчика в аксон.

Важными показателями, представляющими практический интерес, являются среднее число и среднее время пребывания сообщений в канале связи и сети.

Среднее число сообщений в канале связи может быть вычислено по формуле:

$$\bar{r} = 1P_2 + 2P_3 + \dots + kP_{k+1} = \frac{\rho \rho_1 [1 - \rho_1^k (k + 1 - k\rho_1)]}{[1 + \rho_1^k (\rho - \rho_1 - \rho \rho_1)](1 - \rho_1)}. \quad (4)$$

В соответствии с формулой Литтла [4] время пребывания сообщений в канале связи определяется соотношением

$$\bar{t}_\kappa = \frac{\bar{r}}{\lambda} = \frac{\bar{r}}{\rho_1 \nu}. \quad (5)$$

Среднее время нахождения сообщений в сети

$$\bar{t}_c = \bar{t}_\kappa + \bar{t}_{об}, \quad (6)$$

где среднее время обслуживания сообщения нейроном-приемником

$$\bar{t}_{об} = \frac{q}{\mu}, \quad q = 1 - P_{k+1}.$$

Тогда среднее число сообщений, связанных с сетью

$$\bar{N} = \lambda \bar{t}_c. \quad (7)$$

3. Заключение

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Область применения аналитических моделей СМО и их соединений при изучении нейронных сетей в значительной мере ограничивается из-за

Нормализованная модель локальной нейронной сети

сложности их декомпозиции, невозможностью учета произвольных распределений времени обслуживания и входящих потоков сообщений в каждой подсистеме. Приближенное решение данной задачи возможно с помощью структурно-функционального подхода и метода стохастической нормализации.

2. В соответствии с методом нормализации простейшая нервная сеть представляется в виде нормализованного блока СМО или для более сложных нейронных сетей соединения независимых блоков, объединенных общей целью обслуживания [5. 6].
3. При определении операционных характеристик сети для стационарного режима работы не требуется априорных знаний относительно законов распределения. Характеристики сети выражаются компактными соотношениями, что делает их удобными для практических расчетов.

Литература

1. Николас Дж.Г., Мартин А.Р., Валлас Б.Дж., Фукс П.А. От нейрона к мозгу. М.: УРСС, 2003.
2. The Next Fifty Years. John Brockman (Ed), 2002.
3. Никольский В.А., Гамкрелидзе Е.Л. Построение и расчет основных характеристик информационно-вычислительных систем методом нормализации. // Электросвязь, 1990. № 7, с. 21–22.
4. Leonard Kleinrock. Queuing Systems, Vol. 1: Theory. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons, New York, 1975.
5. Nikolsky V. Construction and Calculation of the Normalized Model of the Multiprocessing Computing System with the General Memory // Automatics and Computer Techniques, 2001. No. 2, pp. 62–66.
6. Гамкрелидзе У., Никольский В. Построение и расчет нормализованной модели последовательной системы обслуживания // Автоматика и вычислительная техника, 1993. № 2, с. 36–40.

Статья поступила 17 января 2018 г.
После доработки 17 марта 2018 г.