

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ТЕОРИИ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Д.А. ПЕТРОСОВ

*ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации»,
г. Москва*

Ключевые слова и фразы: генетические алгоритмы; интеллектуальные информационные системы; искусственные нейронные сети; системный анализ.

Аннотация: Целью работы является создание модели искусственной нейронной сети для реализации возможности управления моделью адаптивного генетического алгоритма, решающего задачу структурно-параметрического синтеза больших дискретных систем с заданным поведением на основе вложенных сетей Петри в процессе его функционирования. В качестве гипотезы исследования предполагается, что существует возможность моделирования персептрона для распознавания образов с последующей передачей управляющего сигнала в модель генетического алгоритма. В качестве методики в работе предлагается использование теории сетей Петри, данный математический аппарат обладает большим количеством расширений, которые позволяют моделировать не только дискретные, но и непрерывные процессы. Результатом работы является предложенный подход к моделированию искусственных нейронных сетей с использованием математического аппарата теории сетей Петри, а также пример модели персептрона. Предложенный подход позволяет моделировать распознавание образов графического отображения состояния популяции в генетическом алгоритме, управление параметрами функционирования операторов эволюционной процедуры и обучение нейронной сети методом обратного распространения ошибки.

В настоящее время искусственные нейронные сети получили широкое распространение в области интеллектуальных информационных систем. Данный математический аппарат позволяет реализовать решение таких задач, как прогнозирование, распознавание образов, управление агентами и т.д. [3; 4].

В задачах интеллектуального управления генетическим алгоритмом, адаптированным к решению задачи структурно-параметрического синтеза больших дискретных систем с помощью математического аппарата вложенных сетей Петри, с использованием искусственных нейронных сетей существует проблема, которая связана с использованием однородности математического аппарата, то есть требуется осуществить моделирование искусственной нейронной сети с использованием математического аппарата теории сетей Петри.

В работе [1] был предложен подход к моде-

лированию нейросети с использованием теории сетей Петри для решения задачи оптимизации функционирования систем, но в задаче управления генетическим алгоритмом данный подход не может быть использован ввиду отсутствия модуля управления изменениями режимов функционирования операторов генетического алгоритма [2]. Поэтому становится целесообразной разработка подхода к моделированию персептрона с использованием сетей Петри, который позволит создавать многослойные нейронные сети, способные осуществлять управление моделью адаптированного генетического алгоритма непосредственно в процессе синтеза решений.

Модель элементарного персептрона состоит из следующих элементов:

- *S*-элементы;
- *A*-элементы;
- *R*-элементы;

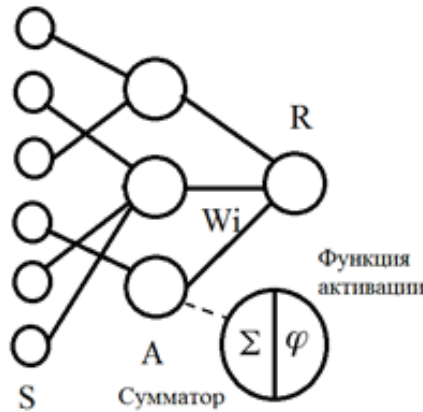


Рис. 1. Логическая схема элементарного персептрона

– W – матрица взаимодействия.

В теории искусственных нейронных сетей в логической схеме персептрона (рис. 1) принято, что S -элементы моделируют слой рецепторов, A -элементы моделируют ассоциацию, а R -элементы моделируют реакцию, т.е. действие, W – веса связей [3].

Тогда элементарный персептрон можно представить в следующем виде:

$$NS = \langle S, A, R, W \rangle, \quad (1)$$

$$S = (S_1, \dots, S_K), \quad (2)$$

где S_i – i -й рецептор персептрона;

$$A = (A_1, \dots, A_L), \quad (3)$$

где A_i – i -я ассоциация персептрона;

$$R = (R_1, \dots, R_M), \quad (4)$$

где R_i – i -я реакция персептрона;

$$W = (W_1, \dots, W_O), \quad (5)$$

где W_i – i -й вес соединения между слоями S , A и R персептрона.

При моделировании искусственной нейронной сети с помощью математического аппарата теории сетей Петри формулу (1) можно представить следующим образом:

$$PN_{NS} = \langle P_S, PN_A, P_R, PN_W, PN_{contr}, M_0, L, T \rangle, \quad (6)$$

где PN_{NS} – сеть Петри, моделирующая работу персептрона; P_S – позиции, моделирующие рецептор персептрона (множество входных по-

зиций модели искусственной нейронной сети); PN_A – сеть Петри, моделирующая работу ассоциации; P_R – позиции, сохраняющие реакцию персептрона (множество выходных позиций модели искусственной нейронной сети); PN_W – сеть Петри, моделирующая $w_i \times x_i$; PN_{contr} – сеть Петри, обеспечивающая очередность срабатывания слоев модели искусственной нейронной сети; M_0 – начальная маркировка сети; L – дуги, обеспечивающие соединение компонентов в единую сеть; T – переходы, обеспечивающие соединение компонентов в единую сеть.

Сеть Петри принято отображать в виде позиций P , переходов T , дуг L и начальной маркировки M_0 :

$$PN = \langle P, T, L, M_0 \rangle. \quad (7)$$

Тогда

$$PN_A = \langle P_A, T_A, L_A, M_{0A} \rangle, \quad (8)$$

$$PN_W = \langle P_W, T_W, L_W, M_{0W} \rangle, \quad (9)$$

$$PN_{contr} = \langle P_{contr}, T_{contr}, L_{contr}, M_{0contr} \rangle. \quad (10)$$

В соответствии с (8), (9), (10), формулу (6) можно представить в следующем виде:

$$PN_{NS} = \langle P_S, \langle P_A, T_A, L_A, M_{0A} \rangle, P_R, \langle P_W, T_W, L_W, M_{0W} \rangle, \langle P_{contr}, T_{contr}, L_{contr}, M_{0contr} \rangle, M_0, L, T \rangle. \quad (11)$$

Для управления генетическим алгоритмом предлагается рассматривать изображение, соответствующее состоянию популяции, то есть график значения целевой функции каждой особи популяции. Данный график может быть представлен в виде черно-белого изображения.

Для моделирования рецепторов PS исполь-

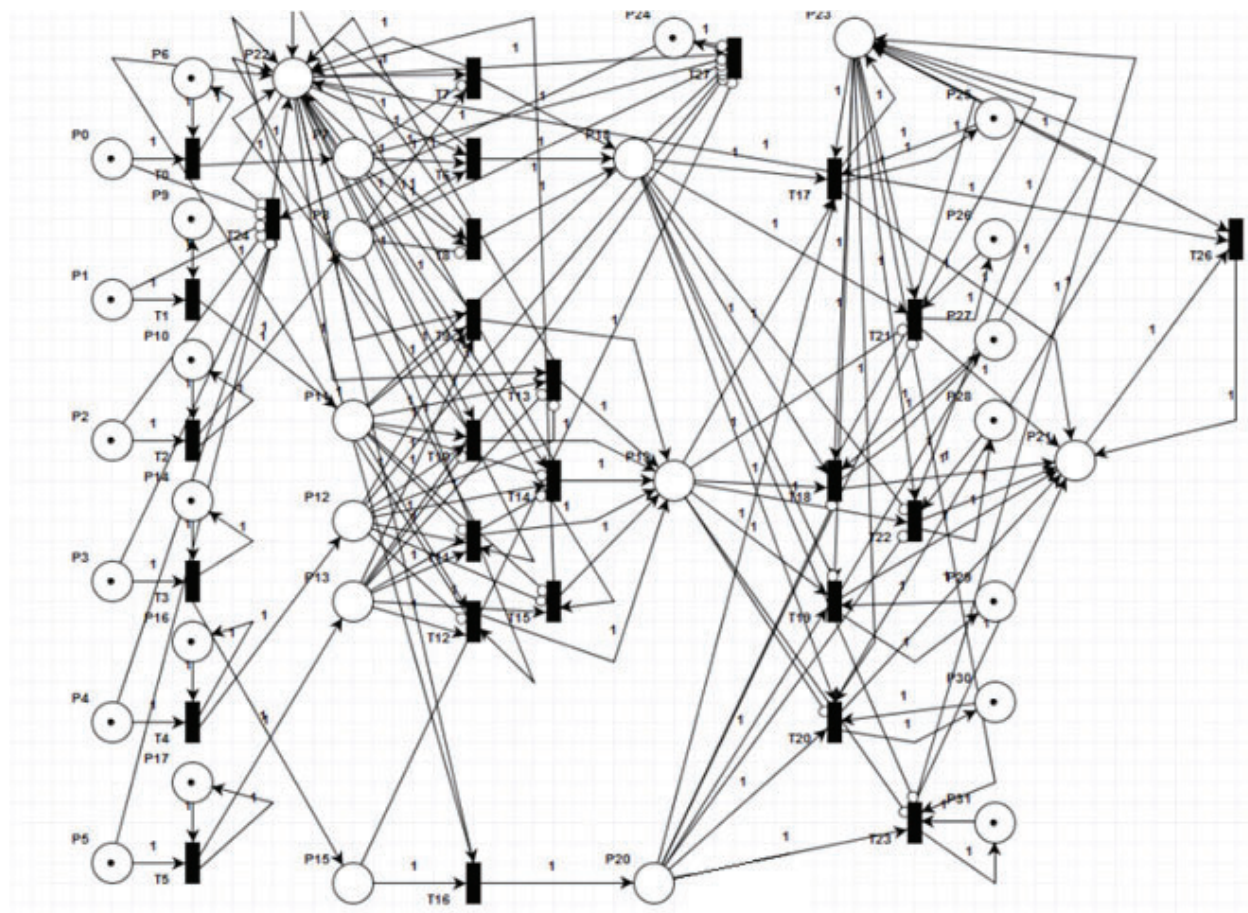


Рис. 2. Модель персептрона на основе теории сетей Петри

зуются позиции P_0, P_1, P_2, P_3, P_4 и P_5 . Для распознавания образов в черно-белом изображении в каждой позиции может размещаться метка, которая моделирует наличие черного пикселя в изображении, отсутствие метки говорит о белом пикселе. Количество позиций соответствует количеству пикселей в изображении.

Разработанная модель персептрона показана на рис. 2, моделирование выполнено с использованием специализированного программного средства *PIPE v 4.3.0*.

Для моделирования PNW предлагается использовать позиции $P_6, P_9, P_{10}, P_{14}, P_{16}$ и P_{17} . Метки в данной позиции содержат информацию о значении весового коэффициента соответствующего соединения. При работе переходов T_0, T_1, T_2, T_3, T_4 и T_5 вычисляется значение $w_i \times x_i$ и заносится в соответствующую позицию.

Для реализации возможности последующих вычислений метка с весовым коэффициентом возвращается в свою позицию. Сложение значений для оценки возможности активации

нейрона (PN_A) производится в переходах $T_6, T_7, T_8, T_9, T_{10}, T_{11}, T_{12}, T_{13}, T_{14}, T_{15}$ и T_{16} , а также позиции $P_7, P_8, P_{11}, P_{12}, P_{13}$ и P_{15} вместе с соединительными дугами. Такое количество переходов, позиций и соединительных дуг двух типов (обычные и ингибиторные) обусловлено различными вариантами входных данных, точнее возможным отсутствием и, как следствие, комбинированием возможных вариантов срабатывания переходов (PN_{contr}).

Ингибиторные дуги в теории сетей Петри позволяют срабатывать переходам в случае отсутствия во входящей позиции метки.

Полученные результаты переходят в слой ассоциации PN_A , который моделируется позициями P_{18}, P_{19} и P_{20} .

Для реализации очередности срабатывания слоев PN_{contr} введены позиции P_{22}, P_{23} и P_{24} . Данные позиции совместно с переходами T_{24}, T_{26} и T_{27} регулируют перемещение меток от слоя PN_S к слою PN_R , что не позволяет предложенной модели завершить свою работу

некорректно.

В следующем слое позиции P_{25} , P_{26} , P_{27} , P_{28} , P_{29} , P_{30} и P_{31} также содержат значения весовых коэффициентов на соединениях между слоем A и R . Переходы T_{17} , T_{18} , T_{19} , T_{20} , T_{21} , T_{22} и T_{23} предназначены для моделирования расчета $w_i \times x_i$ во втором слое искусственной нейронной сети. Результат работы простейшего персептрона помещается в позицию P_{21} .

В результате моделирования задача по получению модели простейшего персептрона (рис. 1) на основе математического аппарата теории сетей Петри (рис. 2) была решена.

Полученная модель является адекватной

и позволяет говорить о возможности моделирования искусственных нейронных сетей с использованием теории сетей Петри. Подход к моделированию, предложенный в публикации, позволяет моделировать как однослойные, так и многослойные персептроны.

При моделировании искусственной нейронной сети с памятью к предложенному подходу требуется добавить слой для хранения весовых коэффициентов и реакции сети. Предложенный подход на основе сетей Петри позволяет моделировать процедуру обучения сети с использованием алгоритма обратного распространения ошибки.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-07-00634-А.

Литература

1. Сочнев, А.Н. Оптимизация функционирования систем с использованием нейросетевых моделей сетей Петри / А.Н. Сочнев // Математическое моделирование. – 2014. – № 4. – Т. 26. – С. 119–128.
2. Орлов, А.Н. Комбинированный генетический алгоритм решения задачи раскрыя / А.Н. Орлов, В.В. Курейчик, А.Е. Глушченко // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2016. – № 6(179). – С. 5–13.
3. Кононюк, А.Е. Дискретно-непрерывная математика / А.Е. Кононюк. – Киев : Образование, 2013. – 443 с.
4. Манжула, В.Г. Нейронные сети Кохонена и нечеткие нейронные сети в интеллектуальном анализе данных / В.Г. Манжула, Д.С. Федяшов // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 4. – С. 108–114.

References

1. Sochnev, A.N. Optimizatsiya funktsionirovaniya sistem s ispolzovaniem nejrosetevykh modelej setej Petri / A.N. Sochnev // Matematicheskoe modelirovanie. – 2014. – № 4. – Т. 26. – С. 119–128.
2. Orlov, A.N. Kombinirovannyj geneticheskij algoritm resheniya zadachi raskroya / A.N. Orlov, V.V. Kurejchik, A.E. Glushchenko // Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki. – 2016. – № 6(179). – С. 5–13.
3. Kononyuk, A.E. Diskretno-neprieryvnaya matematika / A.E. Kononyuk. – Kiev : Obrazovanie, 2013. – 443 s.
4. Manzhula, V.G. Nejronnye seti Kokhonena i nechetkie nejronnye seti v intellektualnom analize dannykh / V.G. Manzhula, D.S. Fedyashov // Fundamentalnye issledovaniya. – 2011. – № 4. – С. 108–114.

© Д.А. Петросов, 2020