

УДК 681.332

Н.М. Оскорбин, Д.В. Рубцов  
**Обменный формат для описания  
обученной нейронной сети**

**Введение**

В течение последнего десятилетия в мире наблюдается повышенный интерес к области искусственного интеллекта, связанной с использованием принципов и моделей нейроподобных систем. Это объясняется тем, что были получены фундаментальные результаты, связанные с универсальной способностью нейроподобных систем определенной структуры сколь угодно точно аппроксимировать произвольные непрерывные автоматы [1, 2]. Также были разработаны эффективные алгоритмы настройки нейронных сетей [3–5]. В настоящее время нейронные сети применяются в основном для моделирования нелинейных многофакторных зависимостей на основе эмпирических данных [2, 4]. Наибольшее распространение получили программные системы моделирования нейронных сетей на персональных компьютерах. Известны несколько работ по введению стандартной номенклатуры описания нейронных сетей и стандартизации функциональных блоков нейрокомпьютера [5, 6]. Однако на сегодняшний день в области нейроинформатики не сформированы стандартная терминология и четкая классификация применяемых методов и моделей, что существенно затрудняет обмен знаниями между различными исследовательскими группами. Обмен нейросетевыми моделями становится особенно актуальным в связи с развитием глобальных компьютерных сетей и Интернет-технологий.

Одним из шагов в данном направлении является разработка обменного формата для передачи нейросетевой информации между различными моделирующими системами. Подобный формат, в отличие от технологических или внутренних форматов хранения информации, должен содержать как информацию о собственной структуре, так и полное описание модели, которое позволяло бы корректно восстанавливать ее функционирование, вне зависимости от средств создания данного описания. В настоящей статье предлагается обменный формат для передачи обученных многослойных нейронных сетей прямого распространения с различными типами процессорных элементов (нейронов). Формат реализован в виде языка, основанного на нотации XML.

**Основные понятия и определения**

Нейронную сеть можно определить как направленный граф, узлы которого представляют процес-

сорные элементы, называемые также *нейронами* [5]. Ребра (*синапсы*) задают структуру обмена сигналами между нейронами. Ребрам обычно приписан скалярный параметр – *вес связи*, или *синаптический вес*. Нейроны преобразуют информацию, поступающую к ним по синаптическим связям от других нейронов или из внешней среды в соответствии с некоторой функцией. Определены входные синапсы, по которым подаются компоненты входного сигнала, и выходные, с которых снимается преобразованный сетью сигнал.

В настоящее время широко используются многослойные нейронные сети прямого распространения. На их структуру накладываются следующие ограничения:

- нейронная сеть представляет собой несколько последовательно включенных слоев нейронов;
- нейроны в каждом слое не связаны между собой, связаны с нейронами предыдущего слоя, функционируют одновременно и параллельно;
- отсутствуют обратные связи и петли;
- функционирование сети состоит в последовательном преобразовании входного сигнала на каждом слое нейронов, от входного до выходного слоя.

Функционирование многослойной нейронной сети полностью определяется структурой межнейронных связей, видом используемых нейронов и значениями синаптических весов.

На вход нейронной сети подается вектор действительных чисел. Стандартной является процедура *предварительной обработки* входных данных. Для предобработки используются нормировка и центрирование данных, а также более специальные методы, такие как, например, кодирование действительного числа вектором бинарных чисел [4]. Выходные сигналы нейронной сети также преобразуются (*интерпретируются*) с помощью денормировки или декодирования.

Состав методов предобработки и интерпретации существенно зависит от конкретной задачи.

Таким образом, *нейросетевая модель* для которой исследуемой закономерности содержит средства предварительной обработки входных данных, непосредственно нейронную сеть и средства интерпретации ее выходных сигналов. Внешне нейросетевая модель задается вектором входных параметров и вектором целевых параметров.

### Состав и структура описания нейросетевой модели

Информационное описание нейросетевой модели состоит из следующих разделов: описание решаемой моделью задачи, описание структуры данных и методов их предварительной обработки, описание структуры, параметров и правил функционирования нейронной сети, описание методов интерпретации ответов сети (рис. 1).

Раздел описания «Задача» содержит информацию об области использования нейросетевой модели, ее наименовании и назначении, описывает решаемую нейронной сетью задачу. Также в этот раздел входят сведения о разработчике, используемом программном обеспечении, ключевые слова описания задачи. Информация этого раздела служит для идентификации модели, организации поиска и отбора моделей в электронных архивах, резервирования авторских прав разработчика нейросети.



Рис. 1. Состав описания нейросетевой модели

Раздел «Данные» включает в себя информацию о структуре данных, используемых моделью, сведения об обучающей выборке, которая использовалась для настройки нейросети, а также информацию о методах предварительной обработки данных, применяемых в задаче. Информация этого раздела необходима для обеспечения корректной подачи входных данных нейронной сети.

Раздел описания «Нейронная сеть» является основным и содержит данные о структуре нейросетевой модели, ее параметрах, правилах ее функционирования. Эта информация позволяет однозначно восстановить нейросетевую модель и использовать ее для получения отклика на вектор входных данных. В описание интерпретатора входит информация о методах преобразования выходных сигналов сети для получения содержательного ответа в терминах предметной области. Этот раздел необходим для обеспечения корректного использования нейросетевых моделей.

Представим нейросетевую модель в виде последовательного включения компоненты предвари-

тельной обработки, нейронной сети и интерпретатора выходных сигналов сети (рис. 2).

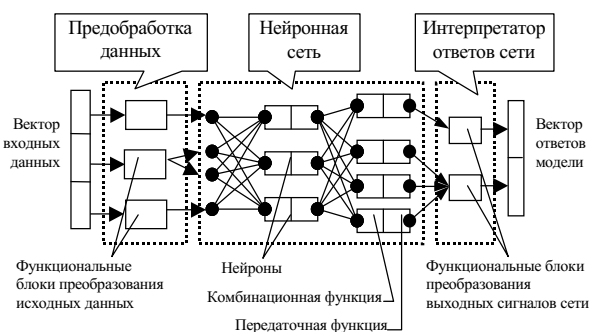


Рис. 2. Структура нейросетевой модели

Тогда получение отклика модели заключается в последовательном преобразовании вектора входных параметров блоком предобработки, далее нейронной сетью и интерпретатором. Для описания функционирования каждой компоненты выбран следующий подход: компоненты модели задаются набором связанных объектов, преобразующих свои входные переменные в выходные и передающих результат в соответствии со структурой модели. Вид преобразования для каждого объекта определяется идентификатором или наименованием преобразования, а также набором необходимых параметров, которые описываются в виде пары: наименование – значение. Так, например, компонента предобработки представлена как набор параллельно функционирующих объектов, каждый из которых преобразует данные из одного или нескольких полей вектора входных данных в сигналы, которые поступают на вход сети.

Нейронная сеть представлена как последовательность слоев нейронов. Каждый нейрон описывается как функциональный блок, который состоит из двух последовательно включенных модулей: функции получения скалярного значения из вектора входных параметров (комбинационная функция нейрона, *combination function*) и функции активации нейрона (*activation function*). Использование в качестве комбинационной функции адаптивного сумматора и вариация функции активации позволяет описать основные типы нейронов, применяемых в многослойных персептронах: с различными видами сигмоидных функций, пороговыми, линейными и кусочно-линейными передаточными функциями. Введение различных типов комбинационных функций позволяет описать такие виды нейронов, как радиальные базисные функции (евклидово расстояние между векторами весов и входных параметров), Паде-нейроны (отношение двух скалярных произведений), нейроны высоких степеней (полиномы высоких порядков) и т.д.

Структура связей сети задается совокупностью параметров комбинационных функций нейронов. Каждый параметр описывается двумя полями: идентификатором нейрона – источника входного сигнала (ссылкой) и скалярным значением веса связи. В качестве идентификатора используется код нейрона, посылающего свой выходной сигнал данному нейрону, либо код выходного параметра преобразователя (для нейронов входного слоя). Возможно использование двух скалярных значений (например, при описании неоднородного входа сумматора) или двух идентификаторов (в случае, когда вес связи задается выходным значением другого нейрона). Таким образом, точки ветвления нейронов задаются неявно, через список ссылок на нейрон, и граф топологии сети описывается не глобальными, а локальными средствами, через перечень элементов, в описание каждого из которых входит список его связей.

Различные комбинационные функции могут иметь различное количество параметров и различную структуру их описания. Так, например, при  $n$  входных сигналах стандартный адаптивный сумматор имеет  $n + 1$  параметр, Паде-нейрон –  $2n + 1$  параметр, причем описание параметров для квадратичного сумматора задается тремя полями: двумя ссылками на источники сигналов и скалярным весом.

Функция активации нейрона описывается наименованием и перечнем параметров. Количество и смысл параметров различны для разных типов передаточных функций.

Интерпретатор рассматривается как устройство, которое на основе вектора выходных сигналов нейросети определяет значения каждого из целевых параметров нейросетевой модели. Для каждого целевого параметра используется независимая схема интерпретации, следовательно, интерпретатор можно описать как совокупность нескольких (по числу целевых параметров) независимых блоков.

### Язык описания нейронных сетей NNML

В качестве средства создания электронного формата описания нейросетевых моделей был выбран язык XML [7]. Нотация XML позволяет гибко описывать структурированные данные и приобретает все большую популярность в качестве универсальной основы для разработки специализированных языков описания объектов различной природы [8]. К достоинствам использования средств XML можно отнести стандартизированный доступ к данным, хранящимся в XML-документах, не зависящий от их структуры и предметной области.

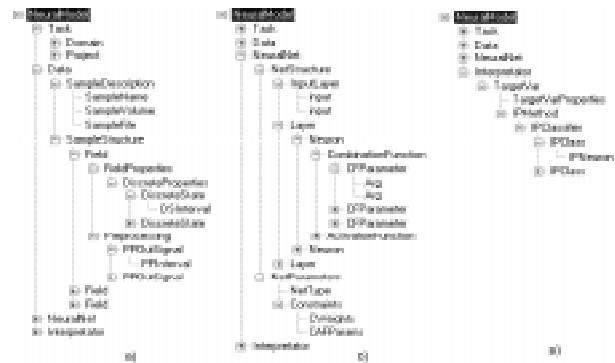


Рис. 3. Пример структуры NNML-документа:  
а) описание структуры данных и преобразовщика;  
б) описание нейронной сети;  
в) описание интерпретатора

Разработано DTD (Document Type Definition) – определение, содержащее словарь языка описания нейросетевых моделей NNML (Neural Network Markup Language), правила формирования структуры описания, допустимые конструкции элементов. DTD-определение позволяет также контролировать корректность файла описания нейросети. Описание нейросетевой модели формируется в виде XML-документа с корневым разделом <NEURALMODEL> и имеет иерархическую структуру (рис. 3). Основные разделы документа: <Task> – содержит описание задачи, сведения об авторе и средствах создания, ключевые слова; <Data> – содержит описание выборки, использованной для настройки нейронной сети, описание свойств входных и выходных параметров и методов их преобразования; <NeuralNet> – включает описание общих параметров нейронной сети, сведения о процессе настройки, описание структуры и значения параметров нейронной сети; <Interpreter> – содержит описание методов получения ответов нейросетевой модели. Также выделен раздел <Declarations>, который содержит описание дополнительных функциональных преобразований и параметров модели. На рисунке 4 представлен пример NNML-описания формального нейрона с неоднородным адаптивным сумматором и сигмоидной функцией активации.

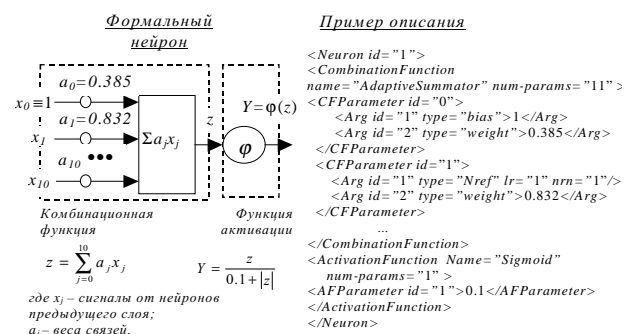


Рис. 4. Фрагмент описания формального нейрона

Подробнее вопросы разработки и реализации формата раскрыты в [9].

## Литература

1. Cybenko G. Approximation by superposition of a sigmoidal function // *Mathematics of Control, Signals, and Systems*. 1989. Vol. 2.
2. Горбань А.Н. Возможности нейронных сетей // *Нейроинформатика* / Под ред. В.Л. Дунина-Барковского и А.Н. Горбаня. Новосибирск, 1998.
3. Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. Learning internal representations by error propagation // *Parallel Distributed Processing: Exploration in the Microstructure of Cognition*, D.E. Rumelhart and J.L. McClelland (Eds.). Vol. 1. Cambridge, 1986.
4. Горбань А.Н., Россиев Д.А. Нейронные сети на персональном компьютере. Новосибирск, 1996.
5. Миркес Е.М. Нейрокомпьютер. Проект стандарта. Новосибирск, 1998.
6. Fiesler E. Neural network classification and formalization // *Computer Standards and interfaces*. V.16. Elsevier Science publishers. Amsterdam, 1994.
7. Extensible Markup Language (XML) 1.0. W3C Recommendation // <http://www.w3.org/TR/1998/REC-xml-19980210>.
8. The SGML/XML Web Page-Extensible Markup Language (XML) // <http://www.oasis-open.org/cover/xml.html>.
9. Рубцов Д.В. Разработка технологии применения искусственных нейронных сетей в прикладных информационных системах: Дис. ... канд. техн. наук. Барнаул, 2000.