

УДК 515.124.5:004.032.26

¹Печурин Н.К., д.т.н.,
²Кондратова Л.П., к.т.н.,
²Печурин С.Н., к.т.н.

АНАЛИЗ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ ИНСТРУМЕНТАРИЕМ СЕТЕЙ MLP И RBF

¹Факультет компьютерных систем НАУ

²УНК «Институт прикладного системного анализа» НТУУ «КПИ»

Алгоритм классификации с представлением множества таксонов функций кортежем, реализующий процесс обучения многослойных ИНС MLP и RBF, предлагается применить для модели взаимодействия открытых систем (модели ВОС). Критерии качества определения кортежа формируются с использованием величин, характеризующих относительное число общих параметров для каждой пары функций модели ВОС. Экспериментальными исследованиями алгоритма при изменении значений ограничений в моделях ИНС MLP и RBF выявлено отличное от существующего в классической модели ВОС распределение состава функций между иерархическими уровнями, обуславливающее разработку усовершенствованных рекомендаций с появлением новых технологий.

Введение

Базовая эталонная модель взаимодействия открытых систем (модель ВОС), введенная в стандарте ISO 7498 [1], имеет семиуровневую структуру, причем три нижних уровня образуют группу сетезависимых уровней, а три верхних уровня ориентированы на приложения. Связь протоколов трех нижних уровней (физического, канального, сетевого) с используемым коммуникационным оборудованием обуславливает, при переходе на новое оборудование, смену протоколов во всех узлах сети. В частности, в стандарте HIPERLAN для беспроводной сети в уровне управления доступом MAC, известном в IEEE, выделен подуровень SAC доступа к каналу [2]. Разработаны рекомендации IEEE 802.16-2001, IEEE 802.16e-2005 [3], описывающие физический и канальный уровень для беспроводного доступа фиксированных и мобильных систем. Следует отметить также, что в практике существуют приложения, объединяющие функции сеансового уровня с функциями прикладного уровня, и реализующие их в одном протоколе.

Трудности в реализации рекомендаций ISO вызваны определённым несовершенством, как самой модели, так и ее

протоколов, громоздкостью и неуравновешенностью первоначальных реализаций распределения функций по уровням [4, 5]. В частности, в семиуровневой структуре модели ВОС имеет место относительная функциональная недогруженность сеансового и представительского уровней и одновременно, - перегруженность сетевого и канального уровней.

Средством для установления связей между функциями модели ВОС, а также для точной ориентировки в их многообразии служит классификация с целью определения места объекта (функций модели) в системе, с учетом его (объекта) свойств. Для решения задач классификации может применяться инструментарий искусственных нейронных сетей (ИНС). Здесь работу нейрона определяют вектор весов, пороговый уровень и вид функции активации. В классическом формальном нейроне используется ступенчатая функция активации [6, 7].

ИНС с прямыми связями и непрерывной функцией активации используется, например, для классификации текстов естественного языка [8]. Эта сеть представлена четырехслойной структурой: входной слой, размерностью вектора частотной характеристики словаря, два скрытых и выходной слои с размерно-

стью, определяемой числом классов, разделяющих пространство признаков частотной характеристики. В работе [9] описана автоматическая система классификации объектов на основе трехслойной ИНС типа *MLP* прямого распространения с обучением методом обратной передачи ошибки, которая использована для идентификации художественных текстов по стилистическим признакам и атрибуции данных текстов (определения авторства). Количество нейронов входного слоя соответствует размерности входного вектора признаков; количество нейронов выходного слоя равно числу существующих классов для объектов из учебной выборки. Возможность применения многослойного персептрона (*MLP*) и сетей на основе радиальных базисных функций (*RBF*) для классификации данных, полученных мультиспектральным прибором *ETM+* спутника *Landsat-7*, анализируется в работе [10]. Сети указанных типов представлены здесь трехслойной структурой с одним скрытым слоем. Определение класса по набору выходных значений в сети *MLP* осуществляется с учетом порогов принятия и отвержения. Нейронные сети на основе *RBF* выполняют преобразование входных данных, используя гауссовскую функцию, для определения центров и отклонения радиальных элементов в соответствии с кластерами, реально присутствующими в исходных данных.

Настоящая статья, являясь развитием работы [12], посвящена проблеме кластеризации функций модели ВОС, с учетом их свойств, для формирования структуры модели и функционального состава её уровней.

Постановка задачи

Известно множество $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ функций модели. Для каждой функции $x_i | i = \overline{1, n}$ задан набор параметров, её характеризующих и позволяющих представить каждую i -ю функцию точкой Θ_i в пространстве параметров множества P_i . Без ограничения общности

будем полагать пространство параметров трехмерным: $\Theta_i = \langle \xi_i, \psi_i, \zeta_i \rangle$. Множество $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_k\}$ таксонов функций (в классической модели – мощностью 7) считается неопределенным. Уровневая структура модели обуславливает формирование кортежа таксонов множества Y . Качество определения кортежа оценивается соотношениями вида:

$$R_1 = \frac{n_{nb} \cdot D_{nb}}{(|Y| - n_{nb}) \left(\sum_{i,j=1}^{|Y|} d_{ij} - D_{nb} \right)}, \quad R_2 = \left| \frac{D_{nb}}{\max_{u=1, \dots, n_u} D_u} - 1 \right|, \quad (1)$$

где n_{nb}, D_{nb} – число промежуточных соседних таксонов и суммарное отклонение относительного числа общих параметров

функций соседних таксонов; n_u, D_u – число несоседних таксонов и отклонение относительного числа общих параметров функций несоседних таксонов; $|Y|$ – общее число таксонов; d_{ij} – отклонение относительного числа общих параметров функций i -го и j -го таксонов.

Необходимо сформировать множество Y в виде кортежа, учитывая соотношения (1) параметров его оценивания.

Формализация задачи на основе ИНС-классификатора

Прямонаправленные ИНС типа *MLP* и *RBF* применяются как классификаторы, дающие разбиение входного пространства на образы. В модели ИНС-классификатора множество X представляется узлами во входном слое многослойной ИНС с прямым распространением. Множество Y представлено в скрытом и выходном слоях ИНС нейронами. Число узлов множества Y априори не известно и определяется для каждого скрытого и выходного слоев ИНС в процессе решения задачи классификации. Узлам, порождённым множеством Y , соответствуют

функции активации $f_j = f_j(\Theta_i, \alpha_{ij}), j = \overline{1, k}$, где Θ_i - i -я компонента вектора входного (или скрытого) слоя; α_{ij} - вес соединения i -го и j -го узлов соответствующих слоев ИНС.

Функции ИНС $f_j | j = \overline{1, k}$ порождают сигналы, которые с учетом пороговых значений, заданных для узлов ИНС, определяют принадлежность функции модели ВОС таксону. Задача классификации функций модели ВОС заключается в разбиении множества X на таксоны по степени близости величин наборов $\Theta_i | i = \overline{1, n}$ при обеспечении минимума СКО значений функций f_j от их пороговых значений. Таким образом, выходы узлов скрытых и выходного слоев ИНС описываются

$$f_j = \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} \cdot \rho \left(\Theta - \Theta_j^c \right), j = \overline{1, k}$$

функцией вида $\rho \left(\Theta - \Theta_j^c \right)$, где $\Theta_j^c = \langle \zeta_j^c, \psi_j^c, \xi_j^c \rangle$ - набор величин, характеризующих координаты j -го центра таксона в скрытых и выходном слоях ИНС; α_{ij} - компонента $\langle i, j \rangle$ вектора весов связей функций модели в скрытых и выходном

слоях ИНС, $\alpha_{ij} = 0 \vee 1 \forall i = \overline{1, n}, j = \overline{1, k}$; $\rho \left(\Theta - \Theta_j^c \right)$ - функция линейного «расстояния» функций от j -го центра таксона для ИНС типа *MLP* или функция СКО значений «пространственных координат» функции модели от j -го центра таксона для ИНС типа *RBF*. Сигналы нейронов скрытых и выходного слоев в сетях на основе *MLP* и *RBF* вырабатывают значения активационных функций вида [6, 7]:

$$f(y_j - D_j) = \begin{cases} 1, & \text{если } y_j \geq D_j, \forall j = \overline{1, k}, \\ 0, & \text{если } y_j < D_j, \forall j = \overline{1, k}. \end{cases} \quad (2)$$

$$f_i \left(\Theta - \Theta_j^c \right) = e^{-\left[\Theta - \Theta_j^c \right]^2 / h_j^2}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, k} \quad (3)$$

Значения D_h и $h_j \forall j = \overline{1, k}$ в формулах (2) и (3), представляющие пороговые значение узлов скрытых или выходного слоев, характеризуют соответственно максимально допустимое значение диаметра таксона и максимально допустимые значения СКО элементов наборов $\Theta_i = \langle \zeta_i, \psi_i, \xi_i \rangle$ входного вектора от центра таксона. Значения активационной функции (2), равные 1, приводят к исключению функций из таксонов скрытых слоев. Значения функций активации (3) увеличиваются в пределах интервала [0, 1] по мере близости функции модели к центрам таксонов с координатами Θ_j^c . Активация

узлов $y_j \forall j = \overline{1, k}$ происходит с учетом заданного допустимого значения y_{don} для базисных функций. Условия активации узлов y_j , при которых не происходит исключения функции модели из таксонов, имеют вид:

$$y_j \geq y_{don}, j = \overline{1, k}. \quad (4)$$

Описание алгоритма классификации

Алгоритм реализует процесс обучения ИНС с прямым распространением методом обратной передачи. Основным результатом алгоритма классификации являются подмножества функций модели с центрами. Назначение центров данных подмножеств выполняется согласно следствию гипотезы λ -компактности на образованных подмножествах вершин кратчайшего незамкнутого пути (КНП) после удаления ребер с максимальной вероятностью разрыва, определяемой отношением длины ребра из множества ребер, исходящих из некоторой вершины в КНП к сумме длин ребер указанного множества [11]. Структуру ИНС составляют четыре слоя: входной слой, 2 скрытых слоя

и выходной слой. Множество таксонов, образованное с учетом вероятности разрыва, представляет первый скрытый слой ИНС. Второй скрытый и выходной слои ИНС представляют множества таксонов, образованные с учетом пороговых ограничений (2) или (4). Для *MLP*-узлов пороговое ограничение характеризует диаметр таксона, для *RBF*-узлов – функцию СКО вершин от центров таксонов. Из таксонов удаляются вершины, наиболее удаленные от центров. Обучение выполняется по мере удовлетворения ограничений (2) или (4) для всех узлов скрытых и выходного слоев ИНС, формируя на отдельной итерации процедуры новое множество таксонов путем удаления в каждом таксоне по одному ребру, связывающему вершины. Далее осуществляется поиск пар ближайших таксонов для их возможного слияния с целью обеспечения максимального уменьшения расстояния между вершинами. Объединение таких таксонов выполняется с учетом ограничения (2), характеризующего максимально допустимое значение диаметра таксона.

Алгоритм классификации включает следующие шаги.

Шаг 1. Определение КНП на множестве X .

Шаг 2. Формирование множества Y таксонов согласно следствию λ -компактности.

Шаг 3. Формирование множества центров таксонов.

Шаг 4. Разделение таксонов множества Y путем разрыва ребер с максимально удаленными от центров таксонов вершинами по мере удовлетворения ограничений (2) или (4) активационных функций нейронов.

Шаг 5. Объединение пар ближайших таксонов с учетом ограничения (2) на максимально допустимое значение диаметра таксона, обеспечивая максимальное уменьшение расстояния между вершинами.

Шаг 6. Формирование кортежа таксонов с учетом соотношений (1) для оценивания его параметров.

Анализ результатов классификации

Целью проведенных экспериментальных исследований алгоритмов, на основе инструментария ИНС типа *MLP* и *RBF*, является проверка возможности формирования структуры модели ВОС с составом ее функций, представляющей кортеж в классическом виде с характеристиками, описываемыми соотношениями (1). Исследование алгоритмов проведено с учетом параметров классификации, которые характеризуют диаметр таксона, оценивающийся максимально допустимым отклонением относительного числа параметров функций модели, и СКО вершин от центров таксонов. Рассмотрим множество 35 функций модели, представленное ранее в работе [12], с набором относительного числа общих параметров (табл. 1). В ходе экспериментов изменялись параметры, характеризующие максимально допустимые значения диаметра таксона и базисных функций СКО относительного числа общих параметров функций модели. Изменяя максимально допустимое значение диаметра таксона $D_h \in [0,65; 1,5]$, наилучшее значение отношения $R_2/R_1 = 3,31$ достигнуто с $D_h > 0,9$ для числа таксонов, равного 7, что соответствует семи уровням модели, и отличающегося от классической модели распределения состава функций в таксонах. В частности, некоторые функции сеансового уровня представлены в отдельных таксонах (соответствуют уровням модели) с функциями прикладного и представительного уровня; близкие по параметрам функции канального и физического уровня представлены в одном таксоне (соответствует определенному иерархическому уровню модели). Число итераций обучения ИНС типа *MLP* составляет 2. На рисунке кривая 1 иллюстрирует увеличение отношения R_2/R_1 с уменьшением максимально допустимого значения диаметра таксона D_h . Указанное выше значение отношения $R_2/R_1 = 3,31$, соответствующее

модели семиуровневой структуры, получено также с использованием инструментария ИНС типа RBF при ограничении базисных функций СКО $y_{доп} \leq 0,86$. Изменение значения $y_{доп} \in [0,87; 0,94]$ увеличивает число таксонов функций модели, пред-

ставляющих уровни, которое составляет от 8 до 10, ухудшая значение R_2/R_1 до 5,98 (иллюстрируется семейством кривых 2 на рисунке). Число итераций обучения изменяется от 2 до 5.

Таблица 1. Перечень функций взаимодействия компьютерных систем с набором их параметров

№ функции	Наименование уровня ВОС	Наименование функции	Наименование параметров функций
1	Прикладной	Организация связи между прикладными процессами (согласование прикладного контекста)	Имена принимающих и инициирующих прикладных объектов; имя прикладного контекста; данные пользователя; список представительных контекстов; начальный номер синхроточки; начальная расстановка маркеров; параметры качества сервиса.
2	Прикладной	Обмен файлами	Адреса вызывающих и вызываемых объектов; тип сервиса; группы атрибутов; доступность возврата; полномочия инициатора; имя представительного контекста; класс сервиса; функциональные группы сервиса; данные пользователя; параметры качества сервиса.
3	Прикладной	Передача заданий	Имя инициатора; имена агентов-потребителей; полномочия инициатора; группы атрибутов; класс документа (документ или оповещение); список имен документов; функциональные группы сервиса; данные пользователя.
4	Представительский	Согласование выбора синтаксиса	Имена задаваемых контекстов; адреса вызывающих и вызываемых объектов; данные пользователя.
5	Представительский	Преобразование данных, форматирование и специальные преобразования (например, сжатие)	Адреса вызывающих и вызываемых объектов; множества маркеров и номеров точек синхронизации; функциональные группы сервиса; данные пользователя.
6	Сеансовый	Установление и расторжение сеансового соединения	Адреса точек доступа вызывающего и вызываемого объектов; функциональные группы сервиса; множества маркеров и номеров точек синхронизации.

7	Сеансовый	Обмен нормальными и срочными данными	Множество маркеров; данные пользователя; параметры качества сервиса; информация о срочных или нормальных данных.
8	Сеансовый	Управление взаимодействием	Множество маркеров; данные пользователя.
9	Сеансовый	Синхронизация сеанса	Множество номеров точек синхронизации; тип синхронизации; данные пользователя.
10	Сеансовый	Восстановление сеанса с заранее организованной точки синхронизации	Адреса точек доступа вызывающего и вызываемого объектов; множества маркеров и номеров точек синхронизации; функциональные группы сервиса; данные пользователя.
11	Транспортный	Отображение транспортного адреса на сетевой	Адреса точек доступа вызывающего и вызываемого объектов.
12	Транспортный	Мультиплексирование и расщепление соединений	Адреса точек доступа вызывающего и вызываемого объектов; блоки данных; размер блока данных; параметры качества сервиса; информация о причине расщепления/мультиплексирования.
13	Транспортный	Установление и расторжение транспортного соединения	Адреса точек доступа вызывающего и вызываемого объектов; параметры качества сервиса; информация о причине установления/расторжения соединения.
14	Транспортный	Управление потоком на отдельных соединениях	Адреса точек доступа вызывающего и вызываемого объектов; блоки данных; размер блока данных; параметры качества сервиса.
15	Транспортный	Обнаружение и исправление ошибок	Блоки данных; информация о состоянии блоков данных; параметры качества сервиса.
16	Транспортный	Выбор (согласование) качества сервиса	Блоки данных; параметры качества сервиса.
17	Транспортный	Контроль качества обслуживания	Блоки данных; информация о состоянии блоков данных; параметры качества сервиса.
18	Транспортный	Сегментирование, блокирование и сцепление	Блоки данных; размер блока данных; информация о причине блокирования/сцепления/сегментирования.
19	Транспортный	Передача нормальных и срочных блоков данных	Адреса точек доступа вызывающего и вызываемого объектов; блоки данных; информация об использовании срочных или нормальных

			данных; параметры качества сервиса.
20	Сетевой	Маршрутизация и ретрансляция	Адреса точек доступа вызывающего и вызываемого объектов; пакеты данных; размер пакета; номера пакетов; параметры качества сервиса; информация об использовании срочных данных.
21	Сетевой	Мультиплексирование сетевых соединений, сегментирование, блокирование	Адреса точек доступа вызывающего и вызываемого объектов; пакеты данных; размер пакета; номера пакетов; параметры качества сервиса; информация о причине блокирования.
22	Сетевой	Управление потоком данных, организация последовательности	Адреса точек доступа вызывающего и вызываемого объектов; пакеты данных; размер пакета; номера пакетов; тип пакета; параметры качества сервиса; информация об использовании срочных данных.
23	Сетевой	Управление временем существования протокольных блоков данных	Адреса точек доступа вызывающего и вызываемого объектов; пакеты данных; номера пакетов; тип пакета; параметры качества сервиса; информация об использовании срочных данных; информация о причине сброса/разъединения.
24	Канальный	Управление доступом к среде передачи	Информация об использовании срочных данных; кадры данных; параметры качества сервиса.
25	Канальный	Генерация стартового сигнала, организация начала передачи и передача информации	Адреса вызывающей и вызываемой сервисных точек доступа; кадры данных; параметры качества сервиса; информация об использовании срочных данных.
26	Канальный	Проверка получаемой информации и возможное исправление ошибок	Адрес вызываемой сервисной точки доступа; информация о состоянии протокольного блока данных; кадры данных; параметры качества сервиса.
27	Канальный	Генерация сигнала окончания передачи и перевода сигнала в пассивное состояние	Адрес инициатора об окончании передачи; информация о причине окончания передачи; кадры данных.
28	Канальный	Отключение канала при его неисправности и восстановление передачи после ремонта	Адрес инициатора; информация о причине отключения канала; кадры данных; параметры качества сервиса.

29	Физический	Выбор скорости передачи битов	Кадры данных; время синхронизации кадров; размер кадра данных; скорость передачи бит.
30	Физический	Модуляция	Кадры данных; размер кадра данных; время синхронизации кадров; скорость передачи бит.
31	Физический	Мультиплексирование	Кадры данных; размер кадра данных; время синхронизации кадров; скорость передачи бит.
32	Физический	Канальное кодирование	Кадры данных; размер кадра данных; время синхронизации кадров; скорость передачи бит.
33	Физический	Построение кадра	Кадры данных; размер кадра данных; время синхронизации кадров.
34	Физический	Организация физических и логических соединений (активация объектов)	Адреса отправителя и получателя; тип кадра (TLV-кодирование); кадры данных; размер кадра данных; время синхронизации кадров; скорость передачи бит.
35	Физический	Шифрование, перемежение, контроль за уровнем напряжения сигналов	Кадры данных; размер кадра данных; время синхронизации кадров; скорость передачи бит; дальность передачи.

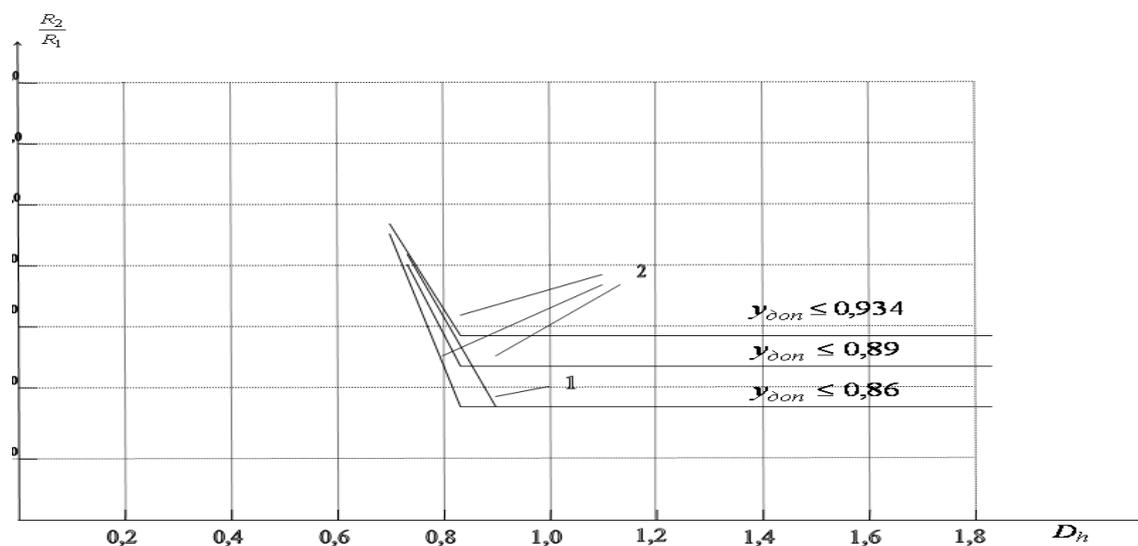


Рис. Графики изменения отношения параметров определения кортежа таксонов в зависимости от диаметра

Выводы

Алгоритм классификации с представлением множества таксонов функций кортежем, реализующий процесс обучения многослойной ИНС с прямым распространением, предлагается применить для модели взаимодействия открытых систем. Рассматривается супервизорное

обучение, пригодное в структурах ИНС типа *MLP* и *RBF*, с использованием метода обратной передачи с минимизацией среднеквадратической ошибки. Качество определения кортежа оценивается с учетом величин, характеризующих отношение суммарных отклонений относительного числа общих параметров функций, соответственно в соседних и несоседних

таксонах, и отношение суммарного отклонения относительного числа общих параметров функций в соседних таксонах к его максимальному значению в соседних таксонах. Наилучшее значение отношения указанных величин обеспечивается для числа таксонов, равного 7, что соответствует классической семиуровневой модели. Экспериментальными исследованиями алгоритма при изменении значений ограничений в моделях ИНС типа *MLP* и *RBF* выявлено отличное от существующего в классической модели ВОС распределение состава функций между иерархическими уровнями, что позволяет предложить разработку усовершенствованных рекомендаций с появлением новых технологий.

Список литературы

1. *Зайцев С.С.* Сервис открытых информационно-вычислительных сетей / Зайцев С.С., Кравцунов М.И., Ротанов С.В.-М.: Радио и связь, 1990. – 240 с. – ISBN 5-256-00757-2.
2. *Горбунов И.Э.* Способ формирования необходимой динамики топологии беспроводной сети для мультимедийного сервиса дистанционного управления // УСиМ. – 2008. – №5. – С. 75-81.
3. *Лисецкий Ю.М.* WiMAX сети. Реализации и перспективы / Лисецкий Ю.М., Бобров С.И. // УСиМ. – 2008. – №4. – С. 88-92.
4. Эталонные модели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vanderboot.ru/tcp-ip>.
5. Критика модели и протоколов OSI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://network.distudy.ru/set_e0d.html.
6. *Заенцев И.В.* Нейронные сети: основные модели. – [Уч. пособие]. – Воронеж, 1999. – 76 с.
7. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс. Пер. с англ.-[2-е изд.]. – М.: Издательский дом «Вильямс». – 2006. – 1104 с. - ISBN 584-59-0890-6.
8. *Борисов Е.С.* Самообучающийся классификатор текстов на естественном языке / Кибернетика и системный анализ. – 2007. – №3. – С. 169-176.
9. *Анисимов А.В.* Алгоритм формирования параметрического вектора для решения задач классификации нейронной сетью прямого распространения / Анисимов А.В., Порхун Е.В., Тарануха В.Ю. // Кибернетика и системный анализ. – 2007, №2. – С. 3–14.
10. Анализ применимости нейронных сетей для классификации спутниковых данных / [Скакун С.В., Насуро Е.В., Лавренюк А.Н., Куссуль О.М.] // Проблемы управления и информатики. – 2007. – №2. – С. 105-117.
11. *Крисилов В.А.* Использование гипотезы λ -компактности при построении обучающей выборки для прогнозирующих нейросетевых моделей / Крисилов В.А., Юдин С.А., Олешко Д.Н. // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2006, №3. – С. 26-36.
12. *Печурін М.К.* Нейромережева технологія класифікації функцій еталонної моделі взаємодії відкритих систем / Печурін М.К., Кондратова Л.П., Печурін С.М. // Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. праць.– 2010.–Вип. 3 (31). – С. 122–131.

Подано до редакції 23.12.2010