

показателя наблюдалось в 2006 г. и составило 881,28 случаев. За исследуемые 5 лет наблюдался только прирост больных артериальной гипертонией, максимальная величина темпа прироста приходится на 2006 г. и составляет 18,23 % на 100 000 человек. За пять лет темп роста составил почти 30%. Аналогично изменяется и темп роста. За исследуемый промежуток времени он составил 138,01 %. Значение 1 % прироста всех случаев патологии составляло в среднем около 54 за 2005-2009 гг.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Hajjar L., Kotchen T.A.* Trends in Prevalence, awareness, treatment, and control of hypertension in the United States, 1988-2000 // JAMA. – 2003. – Vol. 290, № 2. – P. 199-206.
2. *The Atlas of Heart Disease and Stroke / Edited by Mackay J., Mensah G.* - World Health Organization. – 2004. – P. 18-19.
3. *Остроумова О.Д., Ищенко К.А.* Лечение артериальной гипертонии в условиях поликлиники: клиническая и экономическая эффективность / О.Д. Остроумова, К.А. Ищенко // Consilium Medicum. – 2007. – Т.9, № 5. – С. 19-24.

Зар Ни Мо Вин

ГОУ ВПО «Курский государственный технический университет».

Тел.: +79606953246.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94А.

Тел.: +79107409613.

Агарков Николай Михайлович

E-mail: zarnimawwin@gmail.com.

Zar Ni Maw Win

Kursk State Technical University.

Phone: +79606953246.

94A, 50 let Oktyabrya street, Kursk, 305040, Russia.

Phone: +79107409613.

Agarkov Nikolai Mihajlovich

E-mail: zarnimawwin@gmail.com.

УДК 615.47

Зо Зо Тун, С.А. Филист

ИСКУССТВЕННАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ НА ОСНОВЕ РАДИАЛЬНЫХ БАЗИСНЫХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ КАРДИОЦИКЛОВ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛОВ*

Предложен подход для классификации кардиоциклов электрокардиосигналов с сердечными сосудистыми заболеваниями с использованием методов искусственных нейронных сетей (ИНС). Классификация кардиоциклов электрокардиосигналов на основе наборов признаков осуществлена с использованием радиальной базисной нейронной сети. Базовая архитектура сетей на основе радиальных базисных функций предполагает наличие трех слоев, выполняющих совершенно различные функции. В данной работе радиальная базисная нейронная сеть обучена с 1000 наборами данных и проверена с 1376 наборами данных.

Классификация; кардиоцикл; электрокардиосигнал и радиальная базисная нейронная сеть.

* Исследования выполнены при поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

Zaw Zaw Tun, S.A. Filist

**ARTIFICIAL NEURAL NETWORK BASED ON RADIAL BASIS FUNCTIONS
FOR CLASSIFICATION OF CARDIOCYCLES OF
ELECTROCARDIOSIGNALS**

The approach for classification of cardiocycles of electrocardiosignals with cardiovascular diseases using the methods of artificial neural networks (ANN) is proposed. Classification of cardiocycles of electrocardiosignals based on features sets is realized using the radial basis neural network. The base architecture of networks based on radial basis functions is assumed the presence of three layers which executes various functions. In this work radial basis neural network is trained with 1000 data sets and tested with 1376 data sets.

Classification; cardiocycle; electrocardiosignal and radial basis neural network.

Электрокардиограмма (ЭКГ) является источником получения диагностической информации, предназначенной для контроля сердечной деятельности. Одной из актуальных проблем современной кардиологии остается получение максимально полной информации об электрическом потенциале сердца, на основании которой можно было бы расширить диагностику патологических состояний миокарда, его электрофизиологических свойств. Анализ кардиоциклов, извлеченных из электрокардиосигналов (ЭКС), может отразить симптомы, указывающие, что сердце нуждается в непосредственном внимании. Предложен подход для классификации кардиоциклов электрокардиосигналов с сердечными сосудистыми заболеваниями с использованием методов искусственных нейронных сетей (ИНС). При классификации кардиоциклов электрокардиосигналов и постановке кардиодиагноза используются наборы признаков, полученные из выделенных морфологических признаков [1]. Классификация кардиоциклов ЭКС по наборам признаков осуществлена с использованием нейронной сети на основе радиальных базисных функций. Радиальные базисные нейронные сети относятся к той же категории сетей, обучаемых с учителем, что и многослойный перцептрон. По сравнению с многослойными сетями, имеющими сигмоидальные функции активации, они отличаются некоторыми специфическими свойствами, обеспечивающими более простое отображение характеристик моделируемого процесса [2].

Базовая архитектура сетей на основе радиальных базисных функций предполагает наличие трех слоев, выполняющих совершенно различные функции. Входной слой состоит из сенсорных элементов, которые связывают сеть с внешней средой. Второй слой является единственным скрытым слоем сети. Он выполняет нелинейное преобразование входного пространства в скрытое. В большинстве реализаций скрытое пространство имеет более высокую размерность, чем входное [3].

Третий слой сети является выходным. Вычислительные узлы скрытого слоя радиальной базисной сети могут в корне отличаться от узлов выходного слоя и служить разным целям. Скрытый слой в радиальных базисных сетях является нелинейным, в то время как выходной – линейным. Аргумент функции активации каждого скрытого узла представляет собой Евклидову норму (расстояние) между входным вектором и центром радиальной функции [3].

Сходные входные данные от схожих классов должны формировать единое представление в нейронной сети. Исходя из этого, они должны быть классифицированы как принадлежащие к одной категории. Существует множество подходов к определению степени сходства входных сигналов. Обычно степень подобия определяется на основе Евклидова расстояния.

В модель радиального базисного нейрона, показанную на рис. 1, включен пороговый элемент, который обозначен символом b_i . Эта величина отражает увеличение или уменьшение входных данных, подаваемых на функцию активации.

В математическом представлении функционирование радиального базисного нейрона i можно описать следующими уравнениями:

$$u_i = d(c_i, x_i), \quad (2)$$

$$v_i = u_i \times b_i, \quad (3)$$

$$y_i = \varphi_{p\delta_i}(v_i) = e^{-v_i^2}, \quad (4)$$

где $d(c_i, x_i)$ – Евклидово расстояние между парой j -мерных векторов x_i и c_i ; u_i – линейная комбинация входных воздействий; v_i – постсинаптический потенциал; b_i – порог; $\varphi_{p\delta_i}$ – радиальная базисная функция активации; y_i – выходные данные нейрона.

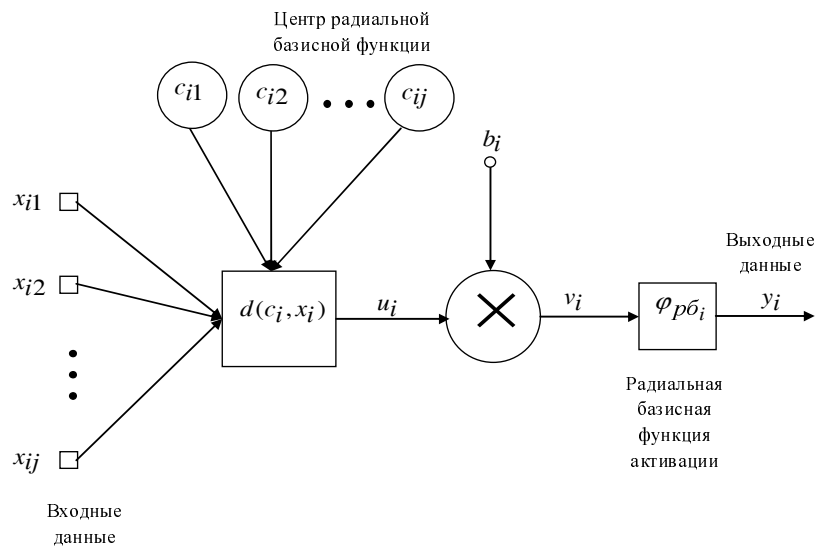


Рис. 1. Нелинейная модель радиального базисного нейрона

Евклидово расстояние между парой j -мерных векторов x_i и c_i вычисляется как

$$d(c_i, x_i) = \|c_i - x_i\| = \sqrt{\sum_{m=1}^j (c_{im} - x_{im})^2}, \quad (1)$$

где x_{im} – элементы входного вектора; c_{im} – центр радиальной базисной функции. Чем ближе друг к другу отдельные элементы векторов x_i и c_i , тем меньше Евклидово расстояние $d(c_i, x_i)$ и тем выше сходство между векторами x_i и c_i .

Радиальная базисная функция активации $\varphi_{p\delta_i}(v_i)$ имеет максимальное значение 1, когда ее вход 0. Когда расстояние между x_{ij} и c_{ij} уменьшается, выход увеличивается. Таким образом, радиальный базисный нейрон действует как датчик, который выдает 1 всякий раз, когда вход x_{ij} идентичен его вектору центра радиальной функции c_{ij} [4,5].

В данной работе осуществлена радиальная базисная сеть с тремя слоями. На рис. 2 представлена структура сети на основе радиальных базисных функций. Первый слой является входным. Второй слой имеет радиальные базисные нейроны. Третий слой имеет линейные нейроны. В обоих слоях есть пороги. Количество нейронов в слое, состоящим из радиальных базисных функций, равно количеству элементов в входном векторе. Выходной линейный слой состоит из пяти нейронов, которые соответствуют пяти отдельным классам.

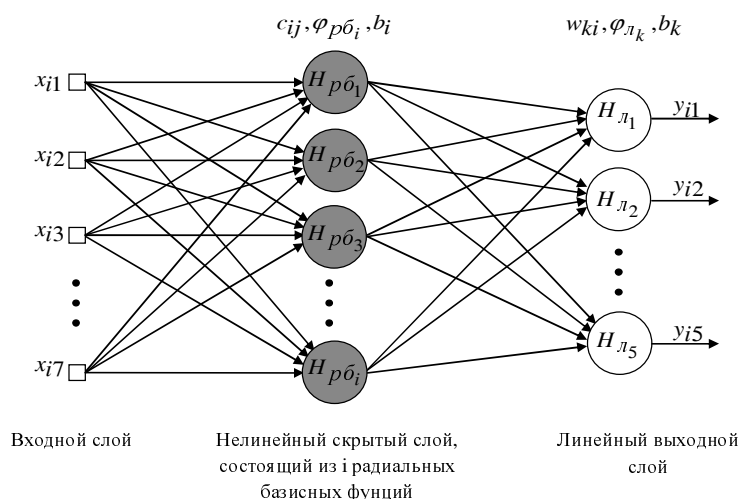


Рис. 2. Структура сети на основе радиальных базисных функций

На рис. 2 $H_{p\delta_i}$ – нейроны на основе радиальных базисных функций, $H_{л_k}$ – линейные нейроны, $\varphi_{p\delta_i}$ – радиальные базисные функции активации, $\varphi_{л_k}$ – линейные функции активации ($\varphi_{л_k}(x) = x$), c_{ij} – центр радиальной базисной функции, w_{ki} – веса выходного слоя, b_i – пороги скрытого слоя, b_k – пороги выходного слоя, x_i – входные векторы, y_i – выходные векторы, i – количество наборов входного вектора, j – количество признаков, k – количество классов.

При классификации кардиоциклов ЭКС использованы семь морфологических признаков, извлеченных из кодирования ЭКС с использованием морфологического преобразования [1].

Таблица 1

Данные для обучения и тестирования

Тип	Количество наборов обучающих данных	Количество наборов контрольных данных
NB	200	265
RBBB	200	178
LBBB	200	237
APC	200	352
PVC	200	344
	1000	1376

В данной работе сеть на основе радиальных базисных функций обучена с 1000 наборами данных и проверена с 1376 наборами данных (табл. 1). С использованием ИНС кардиоциклы ЭКС классифицированы на 5 классов: нормальный кардиоцикл (NB), кардиоцикл блокады левой ножи пучка Гиса (LBVV), кардиоцикл блокады правой ножи пучка Гиса (RBVV), преждевременное сокращение предсердий (APC), преждевременное желудочковое сокращение (PVC). Данные для анализа получены из базы данных аритмии MIT-BIH. Данные для обучения сформированы с использованием 1000 наборов данных и для тестирования с 1376 наборами данных.

Результаты обучения и тестирования, и время обучения, в зависимости от количества наборов обучающих векторов, показаны в табл. 2 и на рис. 3 и 4.

Таблица 2

Результаты обучения и тестирования в зависимости от количества наборов обучающих векторов

Количество наборов обучающих векторов	Время обучения	Точность обучения	Количество наборов контрольных векторов	Точность тестирования
200	0,192	99 %	1376	97,75 %
300	0,526	99,33 %	1376	98,11 %
400	0,851	99,85 %	1376	98,26 %
500	1,052	100 %	1376	99,85 %
600	1,403	100 %	1376	99,56 %
700	1,706	100 %	1376	99,64 %
800	2,087	100 %	1376	99,71 %
900	2,457	100 %	1376	99,78 %
1000	3,058	100 %	1376	100 %

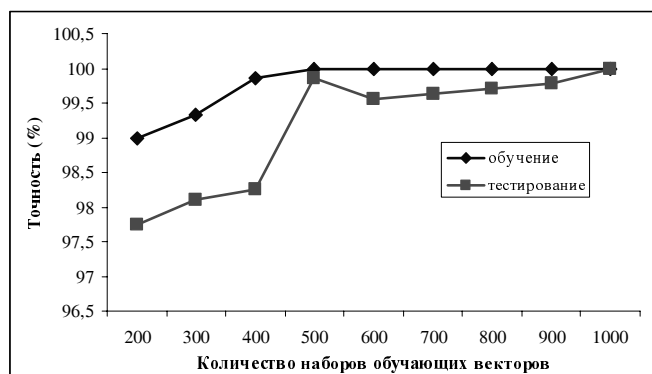


Рис. 3. Графическое представление точностей обучения и тестирования в зависимости от количества наборов обучающих векторов

По сравнению результатов обучения и тестирования в зависимости от количества наборов обучающих векторов выбран обучающий выбор на основе 1000 наборов обучающих векторов. Сети на основе радиальных базисных функций потребуют большего количества нейронов, чем другие. Они работают лучше, когда много обучающих векторов. Видно, что результаты обучения и тестирования сети достаточно хороши, из-за внутренней способности вероятностных радиальных базисных функций действовать как классификаторы. Выбор сети, которая будет

использоваться, является компромиссом между производительностью, вычислительной возможностью и обучающим входом.

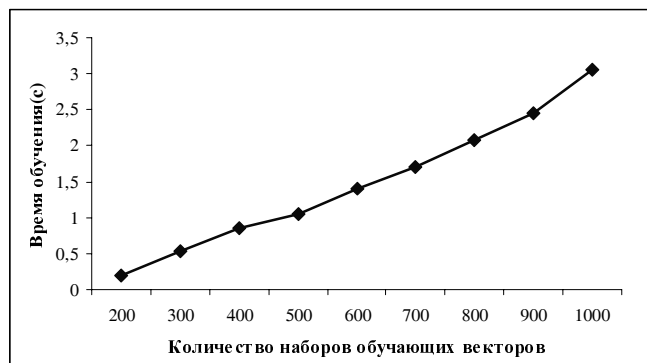


Рис. 4. Графическое представление времени обучения в зависимости от количества наборов обучающих векторов

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Зо Зо Тун, Филлист С.А., Горбатенко С.А.* Программный модуль для кодирования QRS-комплексов на основе морфологических признаков // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2010. – № 2. – С. 24-29.
2. *Осовский С.* Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского И.Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
3. *Хайкин Саймон.* Нейронные сети: полный курс: Пер. с англ. – 2-е изд., испр. – М.: ООО “И.Д. Вильямс”, 2006. – 1104 с.
4. *Howard Demuth, Mark Beale, Martin Hagan.* Neural Network Toolbox User’s Guide for use with MATLAB, с COPYRIGHT 1992-2006 by The MathWorks, Inc. 848p.
5. *Rajendra Acharya U, Jasjit S. Suri, Jos A.E. Spaan, Krishan S.M.* Advances in cardiac signal processing, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. – 478 p.

Зо Зо Тун

ГОУ ВПО «Курский государственный технический университет».

E-mail: ktmthar@gmail.com.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94А.

Тел.: +79051540729.

Филлист Сергей Алексеевич

E-mail: SFilist@gmail.com

305000, г. Курск, ул. Марата, 24а, кв. 7.

Тел.: 84712587098.

Zaw Zaw Tun

Kursk State Technical University.

E-mail: ktmthar@gmail.com.

94A, 50 let Oktyabrya street, Kursk, 305040, Russia.

Phone: +79051540729.

Filist Sergey Alekseevich

E-mail: SFilist@gmail.com.

24A/7, Marata street, Kursk, 305000, Russia.

Phone: +74712587098.