

УДК 621.391615.47:616-072.7

РАЗРАБОТКА БЛОКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В НЕЙРОСЕТЕВОМ КАРДИОАНАЛИЗАТОРЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «КАРДИОВИД»

Бодин О.Н., Рябчиков Р.В., Кошкарковский Д.А.

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», Пенза, bodin_o@inbox.ru

В статье поднимается проблема диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, а именно – разработке средств и алгоритмов обработки кардиографической информации и их программной реализации. Статья представляет собой описание разработанного блока, позволяющего выносить диагностическое решение о состоянии сердца пациента. Авторами представлена структурная схема самой компьютерной диагностической системы «Кардиовид». Помимо этого подробно описан способ нейросетевого анализа электрокардиосигнала, на котором базируется диагностическая система. Так же приведена схема реализации вышеуказанного блока в среде MatLab. Затем авторы приводят результаты исследования обучения нейронных сетей, непосредственная задача которых – это анализ электрокардиосигнала. В заключении сделаны выводы о преимуществах системы в целом, а, в частности, благодаря разработанному модулю.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, инфаркт миокарда, «Кардиовид», электрокардиосигнал.

DESIGN OF THE BLOCK FOR MAKING DECISIONS IN COMPUTER NEURAL NETWORK CARDIOLOGICAL DIAGNOSTIC SYSTEM "CARDIOVID"

Bodin O.N., Ryabchikov R.V., Koshkarovskiy D.A.

"Penza State University", Penza, bodin_o@inbox.ru

The article raises the problem of diagnosing cardiovascular disease, especially the part of working-out of software, hardware and algorithms for cardiographic information processing. The article is a description of designed block which helps in making decision of patient's heart condition. Authors has represented schematic diagram of computer diagnostic system «Cardiovid». Also the neural network analysis is described in detail. It is the basis of «Cardiovid». There is a diagram of an implementation of the described block in MatLab. Then authors give the results of training neural networks, which are to analyze the electrocardiosignal. There are some conclusions about the advantages of the system using designed block in the end of the article.

Keywords: artificial neural network, myocardial infarction, "Kardiovid"

Сердечнососудистые заболевания (ССЗ) прочно занимают первое место среди причин смертности в нашей стране, поэтому проблема диагностики ССЗ относится к числу актуальных. Наиболее эффективными неинвазивными путями решения проблемы являются совершенствование известных и разработка новых алгоритмов обработки кардиографической информации и их программная реализация.

Цель исследования

Целью представленной работы является совершенствование модуля анализа кардиографической информации компьютерной диагностической системы (КДС) «Кардиовид» на основе нейронных сетей.

Материал и методы исследования

В основе методологического подхода к диагностике ССЗ в КДС «Кардиовид» лежит совместное использование методов анализа, моделирования и визуализации кардиографической информации, позволяющее объединить решения прямой и обратной

задач электрокардиографии в рамках одного обследования [1]. Алгоритм функционирования КДС «Кардиовид» включает в себя следующие действия:

- регистрацию и предварительную обработку кардиографической информации (ЭКС и флюорографии);
- комбинированный анализ кардиографической информации, определение информационных параметров (ИП) электрокардиосигнала (ЭКС) и флюорографии;
- моделирование электрической активности сердца по результатам анализа;
- синтез реалистичного трехмерного изображения сердца пациента.

Структурная схема функционирования КДС «Кардиовид» приведена на рисунке 1.

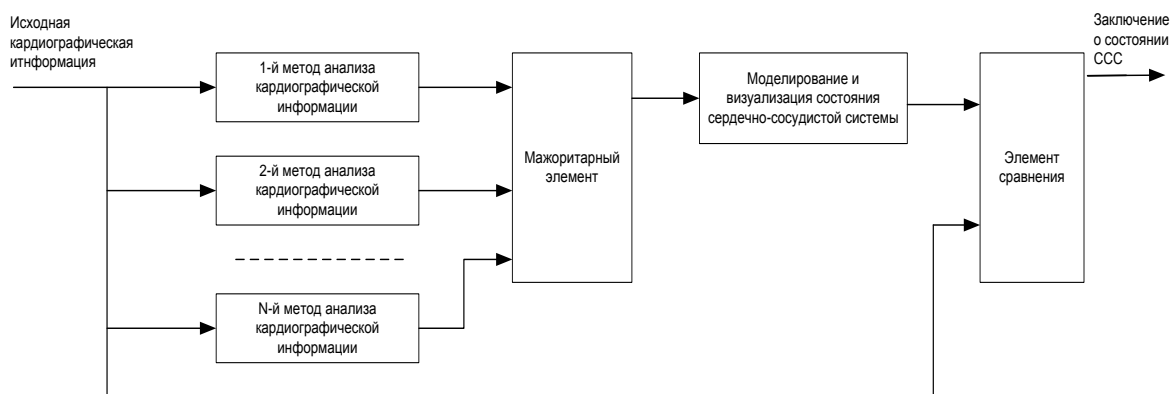


Рис. 1. Структурная схема функционирования КДС «Кардиовид»

Основным элементом функционирования КДС «Кардиовид» является анализ кардиографической информации, и поэтому параллельное использование *разных* методов анализа кардиографической информации повышает вероятность выявления наличия заболевания у больного человека. Одним из используемых в КДС «Кардиовид» методов анализа является нейросетевой анализ (НСА) ЭКС. В качестве нейронной сети (НС) выбрана сеть *LVQ (Learning Vector Quantization)* – обучающееся векторное квантование – или сеть классификации входных векторов, являющаяся развитием самоорганизующейся карты (*SOM*) Кохонена [5].

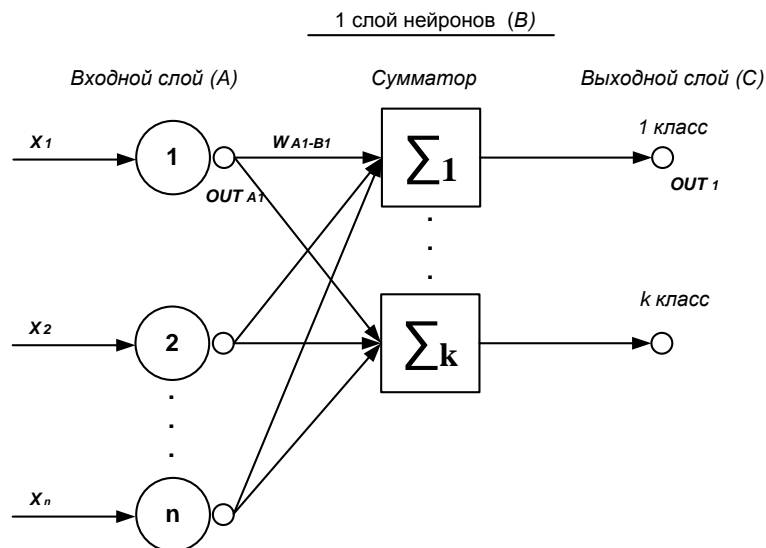


Рис. 2. Структурная схема НСА ЭКС

Исследования показали, что НСА ЭКС обладает большей чувствительностью по сравнению с традиционными методами анализа ЭКС [3, 4]. В результате НСА ЭКС осуществляется сравнение n -размерного вектора зарегистрированного ЭКС с m n -размерными векторами справочной информации. Затем определяются и суммируются отличия n -размерного вектора зарегистрированного ЭКС от каждого из m n -размерных векторов справочной информации. Полученная сумма отличий сравнивается с пороговым значением и определяется принадлежностью зарегистрированного ЭКС к состоянию сердца, которое характеризуют m n -размерных векторов справочной информации. На рисунке 2 приведена структурная схема НСА ЭКС.

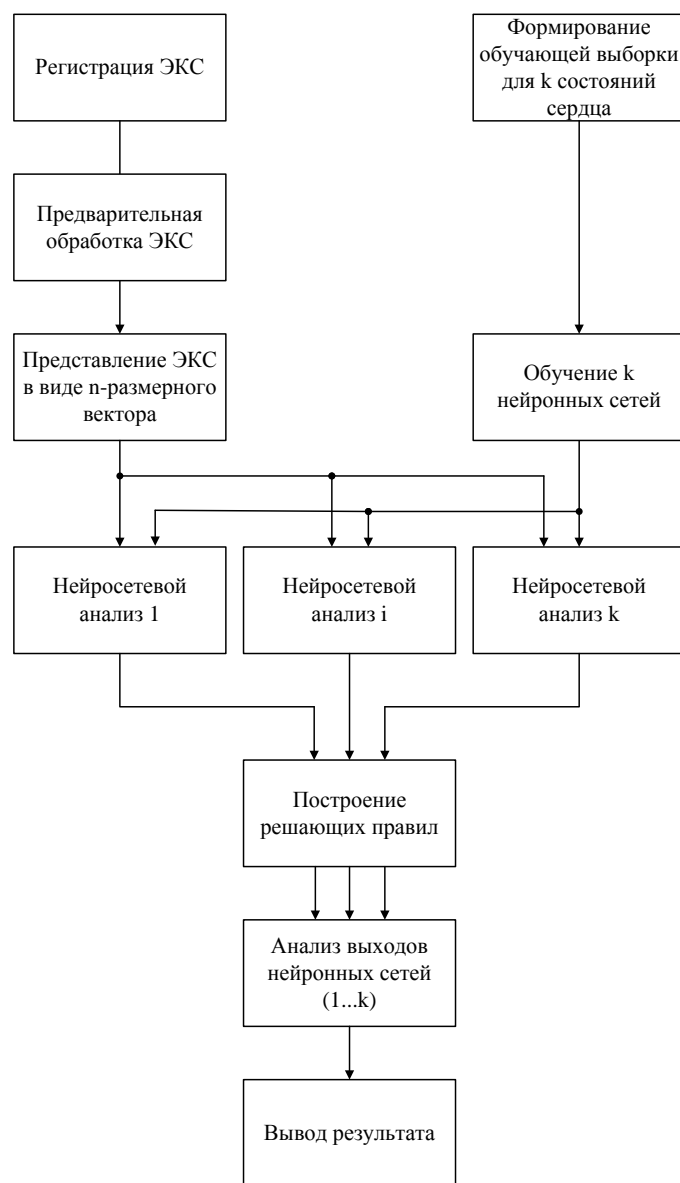


Рис. 3. Алгоритм НСА ЭКС в КДС «Кардиовид»

Таким образом, в результате НСА ЭКС возможно соотнесение состояния сердца пациента к одному или нескольким из k выходов. Однако из анализа схемы (рис. 2) непонятно, каким образом осуществляется выбор состояния сердца из k выходов, соответствующего состоянию сердца пациента. Для формирования диагностического заключения о состоянии сердца пациента, относящегося к одному из k состояний сердца, авторами разработан алгоритм формирования диагностического заключения о состоянии сердца пациента, относящегося к одному из k состояний сердца (см. рисунок 3) [2].

Рассмотрим описание основных действий разработанного алгоритма.

Нейросетевой анализ 1... k состояний сердца производится одновременно путем параллельного анализа зарегистрированного ЭКС каждой нейронной сетью, в результате анализа получается массив данных с выходов нейронных сетей.

Затем осуществляется постобработка результатов НСА ЭКС, и данные с выходов нейронных сетей поступают на логические блоки, предназначенные для выявления соответствующего состояния сердца, и далее на приоритетный шифратор, предназначенный для выделения соответствующего состояния сердца. Затем осуществляется вывод результата нейросетевого анализа. Работа логических блоков основана на решающих правилах для каждого состояния сердца.

Построение решающих правил для анализа выходов нейронных сетей основано на том, что отклонения при каждой из локализаций ИМ проявляются не во всех отведениях. Для построения решающих правил выбора одного из k состояний сердца составлена таблица 1. В таблице 1 представлены сочетания наличия и отсутствия признаков ИМ различных локализаций [6].

Для анализа данных с выходов каждой из НС используются логические блоки. Для каждого состояния сердца используется один логический блок. На входы блока поступают данные, полученные в результате НСА тех отведений, которые, в соответствии с таблицей 1, «сигнализируют» о наличии ИМ и данные, полученные в результате нейросетевого анализа отведений, которые не «сигнализируют» о наличии ИМ, т.е. соответствуют здоровым ЭКС.

Таблица 1

Локализация инфаркта миокарда

Локализация инфаркта миокарда	отклонения в отведениях ЭКГ											
	I	II	VR	VF	VL	1	2	3	4	5	6	
Передний и переднеперегородочный												
Переднебазальный												
Передний распространенный												
Боковой												
Боковой базальный												
Заднедиафрагмальный (нижний)												
Циркулярный												
Заднебазальный												

В соответствии с таблицей 1 построены решающие правила для восьми диагнозов:

- 1) Передний и переднеперегородочный ИМ

$$F_1 = \bar{I} \&\bar{II} \& III \& \bar{aVR} \& aVF \& \bar{aVL} \& V1 \& V2 \& V3 \& V4 \& \bar{V5} \& \bar{V6}, \quad (1)$$

- 2) Переднебазальный ИМ

$$F_2 = \bar{I} \&\bar{II} \& III \& \bar{aVR} \& aVF \& aVL \& V1 \& V2 \& \bar{V3} \& \bar{V4} \& \bar{V5} \& \bar{V6}, \quad (2)$$

- 3) Передний распространенный ИМ

$$F_3 = I \& II \& III \& \bar{aVR} \& aVF \& aVL \& V1 \& V2 \& V3 \& V4 \& V5 \& V6, \quad (3)$$

4) Боковой ИМ

$$F_4 = I \& II \& III \& aVR \& aVF \& aVL \& V1 \& V2 \& V3 \& V4 \& V5 \& V6, \quad (4)$$

5) Боковой базальный ИМ

$$F_5 = \bar{I} \& \bar{II} \& III \& aVR \& aVF \& aVL \& V1 \& V2 \& V3 \& V4 \& V5 \& V6, \quad (5)$$

6) Заднедиафрагмальный (нижний) ИМ

$$F_6 = I \& II \& III \& aVR \& aVF \& aVL \& V1 \& V2 \& V3 \& V4 \& V5 \& \bar{V6}, \quad (6)$$

7) Циркулярный ИМ

$$F_7 = \bar{I} \& II \& III \& aVR \& aVF \& aVL \& V1 \& V2 \& V3 \& V4 \& V5 \& V6, \quad (7)$$

8) Заднебазальный ИМ

$$F_8 = \bar{I} \& \bar{II} \& \bar{III} \& aVR \& aVF \& aVL \& V1 \& V2 \& V3 \& V4 \& V5 \& V6, \quad (8)$$

здесь \bar{I} , \bar{II} , \bar{III} , aVR , aVF , aVL , $V1$, $V2$, $V3$, $V4$, $V5$, $V6$ – данные с выходов нейронных сетей, выявляющих здоровые ЭКС.

Анализ выходов нейронных сетей (1...k). На этом этапе, на основании решающих правил (1÷8) принимается решение о состоянии сердца пациента. На рисунке 4 представлена схема нейросетевого анализа ЭКС для пяти состояний сердца, реализованная в среде Matlab 6.5. С помощью приоритетного шифратора осуществляется выбор одного из частных решений, полученных в результате анализа ЭКС k нейронными сетями. На выходе приоритетного шифратора формируется код номера входной линии, на который приходит положительный входной сигнал (сигнал логической единицы с выхода одной из k нейронных сетей, участвующих в анализе ЭКС). При одновременном поступлении нескольких входных сигналов формируется выходной код, соответствующий входу с наибольшим номером, т.е. старшие входы имеют приоритет перед младшими. Поэтому шифратор является приоритетным. Результатом выполнения работы данного этапа является номер диагностического заключения о состоянии сердца пациента, к которому отнесен анализируемый ЭКС. Затем полученному номеру присваивается словесное описание диагностического заключения о состоянии сердца пациента, которое сообщается пользователю.

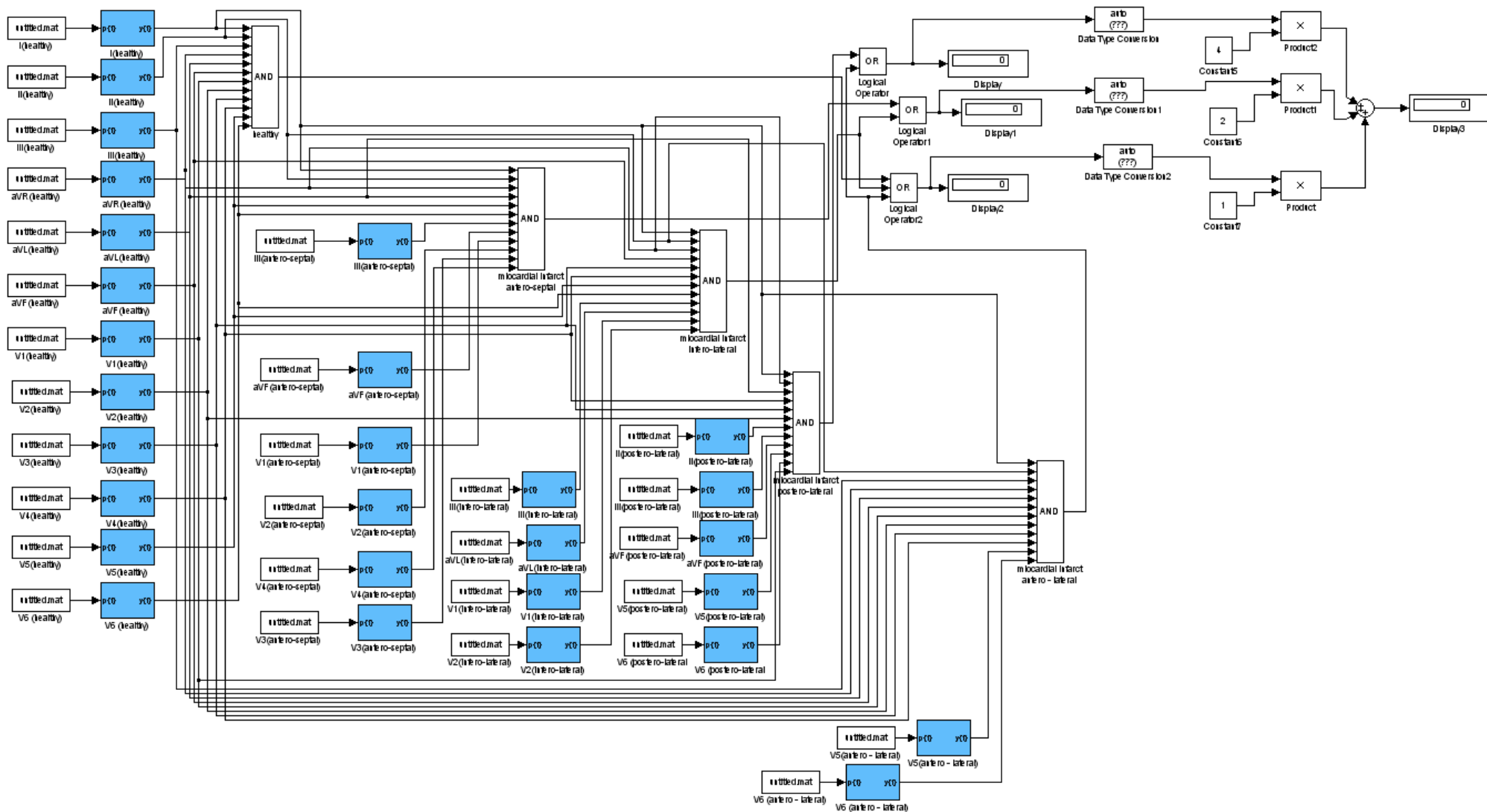


Рис. 4. Схема нейросетевого анализа ЭКС для пяти состояний сердца, реализованная в среде Matlab 6.5

Результаты исследования

В ходе исследования качества работы НС оценивались следующие показатели НСА ЭКС: специфичность, чувствительность, ошибка обобщения, ошибка обучения, ошибка квантования на обучающем наборе данных (ОНД), время обучения. Прежде всего, НСА ЭКС зависит от качества обучения. Для оценки качества обучения исследовалось влияние следующих параметров: избыточность обучающей выборки, величина зашумления, величина сдвига, количество нейронов скрытого слоя, количество эпох обучения.

Одним из преимуществ НС *LVQ* является высокая скорость обучения, что объясняется быстрой «сходимостью» алгоритма обучения. Очевидно, что время обучения НС *LVQ* прямо пропорционально числу заданных эпох обучения, числу нейронов и величине избыточности.

Проведенные исследования позволили выявить существенный недостаток стандартных алгоритмов обучения НС *LVQ*: изменение параметров, таких как избыточность, зашумление, сдвиг, число нейронов (см. рисунок 5) практически не оказывает влияние на качество обучения.

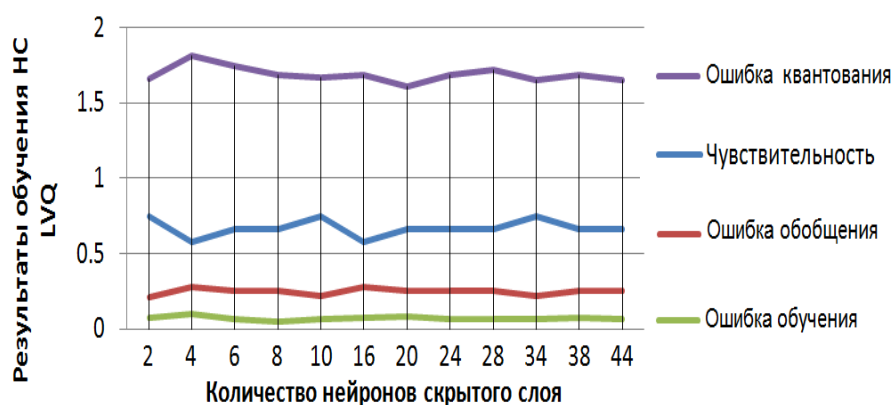


Рис. 5. График зависимости показателей качества обучения НС от числа нейронов

Одной из причин выявленного недостатка является проблема «мёртвых» нейронов, суть которой состоит в том, что в процессе обучения НС в действительности обновляются веса лишь у ограниченного числа нейронов.

В результате проведенных исследований были получены следующие числовые показатели качества обучения НС *LVQ*:

- специфичность: 80 %;
- чувствительность: 70 %;
- ошибка обобщения: 0,25;
- ошибка обучения: 0,08.

Заключение

1. Проведенное исследование показало, что предлагаемое техническое решение в нейросетевом кардиоанализаторе компьютерной диагностической системы «Кардиовид» позволяет формирование диагностического заключения о состоянии сердца пациента, относящегося к одному из k состояний сердца на основании решающих правил ($1 \div 8$).
2. В результате проведенного моделирования было выяснено, что НСА ЭКС на основе НС *LVQ* обладает более высокими функциональными характеристиками по сравнению с традиционными амплитудно-временными методами анализа ЭКС.

Перечень принятых сокращений

ИМ	Инфаркт миокарда
ИП	Информационные параметры
КДС	Компьютерная диагностическая система
НС	Нейронная сеть
НСА	Нейросетевой анализ
ОНД	Обучающем наборе данных
ССЗ	Сердечнососудистые заболевания
ЭКГ	Электрокардиограмма
ЭКС	электрокардиосигнал
<i>LVQ</i>	<i>LearningVectorQuantization</i>
<i>SOM</i>	<i>Self Organization Memory</i>

Список литературы

1. Бодин, О.Н. Неинвазивная кардиодиагностика / О.Н. Бодин. – Германия, Саарбрюккен, Изд-во LAMBERT, 2011. – 360с.
2. Бодин, О.Н. Способ обработки электрокардиосигнала для диагностики инфаркта миокарда / О.Н. Бодин, Д.С. Логинов, Н.А. Волкова, Р.В. Рябчиков, В.А. Фунтиков // Пат. 2461877 РФ, Заявл. 08.02.2011, Оpubл. 20.09.2012, Бюл. № 26.
3. Логинов, Д.С. Способы и средства компьютерной обработки электрокардиосигнала для диагностики инфаркта миокарда / Д.С. Логинов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Пенза, 2011. – 23 с.
4. Нейроинформатика / А.Н. Горбань, В.Л. Дунин-Барковский, А.Н. Кирдин и др. – Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1998. – 296с.

5. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2002.
6. Ройтберг Г.Е., Струтынский А.В. Лабораторная и инструментальная диагностика заболеваний внутренних органов. – М.: ООО «Медицина», 2003.
7. Бодин О.Н., Логинов Д.С., Кузьмин А.В. Интеллектуальный анализ электрокардиосигналов для диагностики инфаркта миокарда // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2010. – № 1(13). – Пенза: Изд-во ПГУ, 2010.
8. Рыжаков В.В., Рыжаков М.В., Рыжаков К.В. Прогнозирование поведения сложных объектов на основе представлений нечётких ситуаций: учебное пособие. – М.: МФТИ, 2005. – 100 с.

Рецензенты:

Иванов А.И., д.т.н., заведующий лабораторией, ПНИЭИ, г.Пенза.

Трофимов Алексей Анатольевич, д.т.н., доцент, зам. начальника учебно-научного центра ОАО «НИИФИ», г.Пенза.