

История разработки аналоговых нейронных сетей и перспективы их использования для медицинских приложений в разработках советских ученых

Аннотация

Статья содержит исторические аспекты разработки аналоговых нейронных сетей для медицинских приложений. Раскрывается их структура и приводятся недостатки, препятствующие запуску их в серийное производство. Показано, что план этого типа нейронных сетей дал толчок развитию отечественных диалоговых систем распознавания и гибридных систем поддержки принятия решений.

Введение

Начало истории развития нейронных сетей совпадает с началом разработки и появления электронных вычислительных машин (ЭВМ) в 40-х годах прошлого столетия. В это время нейропсихолог из Канады Д. Хебб разработал алгоритм работы нейронной сети для его реализации на ЭВМ. Впервые на практике искусственная нейросеть (НС) была запущена в 1954 году, а в 1958 году американский исследователь в области нейрофизиологии и искусственного интеллекта Ф. Розенблат изобрел однослойную нейронную сеть, названную перцептроном, которая на ранних этапах развития НС завоевала достаточно большую популярность. С другой стороны, в 1960-е годы советский ученый А. Петров и американский ученый М. Минский публикуют работы по принципиальным ограничениям, присущим системам перцептронного типа. Падение практического интереса к искусственным нейронным сетям в то время вызывалось и достаточно слабыми мощностями ЭВМ.

Несмотря на это достаточно интенсивно продолжают теоретические исследования в области нейросетевых технологий. Так, в 1972 году Т. Кохонен и Дж. Андерсон изобретают нейронные сети, способные выполнять функции памяти; в 1973 году Б. Хакимов предложил нейросеть на основе сплайнов и внедрил ее при решении ряда задач в медицине, экологии и геологии. В 1974 году Пол Дж. Вербос и А.И. Галушкин разработали эффективный на то время алгоритм обучения нейронных сетей на основе обратного распространения ошибок.

Разрабатываемые теоретические основы требовали для своего практического применения ЭВМ соответствующих мощностей.

Техническая база нейронных сетей 1970-х годов

Середина 70-х годов прошлого столетия характеризовалась двумя видами электронных вычислительных устройств: аналоговые и цифровые.

Отечественная промышленность выпускала ряд аналоговых вычислительных машин типа МН-7, МН-10 и цифровых вычислительных машин различных типов и мощностей. Среди мощных вычислительных машин наиболее широко использовались БЭСМ-4, БЭСМ-6, ЕС1020 и др. В классе мини-ЭВМ выпускались машины типов «НАИРИ», «МИР1», «МИР2», «ПРОМИНЬ». В 1975 году была выпущена первая из серии машин типа СМ мини-ЭВМ СМ-1.

Первая отечественная микроЭВМ «Электроника НЦ-03Т» была выпущена в 1975-1976 гг. опытной партией из пяти изделий.

Наряду с другими отраслями человеческой деятельности в это время изучались возможности применения средств вычислительной техники (ВТ) в медицине. Одним из перспективных направлений использования средств ВТ в медицине считалось моделирование с их помощью искусственных нейронных сетей для решения задач медицинской диагностики [1], [2].

При этом было очевидно, что процесс обучения нейронных сетей можно было осуществить, используя достаточно мощные цифровые ЭВМ типа БЭСМ4,6 ЕС1020 и аналогич-

ные им по вычислительной мощности. Однако значительная стоимость, объемы, наличие специально обученного персонала – все это не позволяло широко использовать их в практической медицине в качестве помощников врачей, решающих различные задачи ведения пациентов в типовых лечебно-профилактических учреждениях.

МикроЭВМ, которые могли бы быть использованы для целей рутинной медицинской диагностики в середине 1970-х годов, не вышли из стен лабораторий. Они появятся позже и займут свою практическую нишу во второй половине 1980-х годов.

В середине 1970-х годов в качестве элементарной базы цифровых отечественных систем использовались микросхемы малой и средней степени интеграции, а для реализации аналоговых систем были разработаны микросхемы операционных усилителей с достаточно большим коэффициентом усиления.

Выбор структуры и элементной базы для искусственных нейронных сетей медицинского назначения

Опираясь на достижения в области аналоговой и цифровой электроники в начале 1970-х годов, во Всесоюзном научно-исследовательском и испытательном институте медицинской техники (ВНИИИМТ), руководимом Рустамом Исмаиловичем Утямышевым, было принято решение о разработке первых отечественных искусственных нейронных сетей (ИНС) для широкого использования в диагностической медицинской практике. Непосредственное руководство этой работой было поручено доктору технических наук Александру Ивановичу Галушкину, занимающемуся теорией синтеза ИНС, основные положения которой были описаны в его работах [1], [3].

Для практической реализации ИНС, ориентированных на медицинскую практику, была создана группа математиков, программистов и системотехников под руководством А.И. Галушкина, которая приступила к разработке обучающих программ, адаптированных для решений задач медицинской диагностики с различной структурой данных, и выбору структуры и элементной базы медицинских обучаемых диагностических приборов для использования в медицинских учреждениях.

При отсутствии в начале 70-х годов прошлого века серийных персональных цифровых вычислительных машин (микро-ЭВМ) с неясными перспективами их широкого производства и внедрения было принято решение о разработке аналоговых искусственных нейронных сетей (АИНС) с использованием отечественных операционных усилителей, на базе которых строились сумматоры и компараторы, реализующие элементы АИНС.

Аналитически аналоговый элемент ИНС (АИНС) реализуется выражением вида

$$U_H = \text{sign} \left(a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i \right).$$

Для технической реализации аналоговой АИНС с базовым элементом, представленной на *рис. 1*, ВНИИИМТ выбрал в качестве исполнителя Курский политехнический институт

(КПИ), позже – Юго-Западный государственный университет (ЮЗГУ). В 1973 году между ВНИИИМТ и кафедрой вычислительной техники (ВТ) КПИ был заключен хозяйственный договор на выполнение научно-исследовательской работы (НИР).

Со стороны КПИ научным руководителем НИР был назначен заведующий кафедрой вычислительной техники к.т.н., доцент Владимир Николаевич Долгополов.

На первом этапе исследований планировалась разработка с полными последовательными связями между слоями трехслойной нейронной сети на пять информативных признаков и два распознаваемых класса состояний.

Заказчик (ВНИИИМТ) утвердил структуру АИНС, представленную на *рис. 1*.

В структуре, представленной на *рис. 1*, первый слой с пятью элементами нейронной сети $НЭ_{1i}$ ($i = 1, 2, \dots, 5$) по существу реализует кусочно-линейную разделяющую поверхность в пространстве пяти признаков, разделяя два класса состояний.

Второй и третий слой НЭ фактически играют роль дешифратора, относя объект к одному из двух классов состояний.

Для выполнения задачи разработки и изготовления опытных образцов портативных систем распознавания на основе АИНС на кафедре ВТ КПИ под руководством В.Н. Долгополова была создана рабочая группа, в состав которой входили преподаватели кафедры ВТ, группа инженеров для решения задач подготовки конструкторской документации, монтажа и настройки опытных образцов.

В условиях отсутствия полноценных САПР основным инструментом инженеров-конструкторов был механический кульман.

Ответственным исполнителем и основным разработчиком цифрового вольтметра для индикации вводимых признаков и значений весовых коэффициентов был назначен инженер А.Н. Куликов.

В качестве элементной базы заказчик утвердил два типа операционных усилителей: для масштабирующих звеньев – операционный усилитель типа К140 УД1Б и для компаратора – типа К140 УД2А.

Первые же опыты с этим усилителем кафедры ВТ КПИ показали, что без специальной коррекции эти типы усилителей обладали неприемлемо большим уровнем собственных

шумов даже при заземленных входах, а при соединении между собой они часто «срывались» в режим генерации. Использование рекомендованных в технической документации схем и элементов коррекции полностью названных проблем не решало. С учетом этого значительное время было потрачено на выбор таких идентичных схем коррекции, которые обеспечивали бы требуемые показатели качества для всего набора микросхем, используемых для построения множества ИНС со структурой, представленной на *рис. 1*. В противном случае (при выборе индивидуальных схем коррекции) процесс их серийного изготовления значительно затягивался и становился нерентабельным. На поиски такой схемы было потрачено более полугода. Одновременно с этим инженером А.Н. Куликовым был построен макет достаточно надежно работающего цифрового вольтметра по прогрессивной в то время схеме двойного интегрирования на основе тех же операционных усилителей в качестве интеграторов.

По согласованию с заказчиком (ВНИИИМТ) на первом этапе выполнения НИР было принято решение сделать первую партию из 5 приборов на пять информативных признаков и на два класса состояний по схеме, представленной на *рис. 1*. Эти приборы получили условное название СРТ-5П (система распознавания по табличным признакам на 5 признаков).

Техническую документацию на СРТ-5П готовили инженеры кафедры ВТ. Производство печатных плат и конструктивных элементов для АИНС выполнил завод «Счетмаш» (г. Курск), окончательная сборка выполнялась инженерами и студентами кафедры ВТ КПИ.

Решая задачи обучения ИНС на различных модельных и реальных структурных данных, во ВНИИИМТ пришли к выводу, что нейронные сети часто завершают обучение, не находя реально существующих наилучших способов разделения исследуемых классов состояний (ИНС обеспечивали локальные значения критерия качества, не доходя до глобальных).

С учетом этого было принято решение создать механизмы визуализации следов гиперплоскостей на парах координатных осей. По мнению ученых ВНИИИМТ, наблюдение за следами гиперплоскостей позволяло оценивать их расположение в пространстве информативных признаков относительно исследуемой структуры данных.

При отсутствии на то время качественных отечественных графических дисплеев даже в составе мощных ЭВМ заказчик

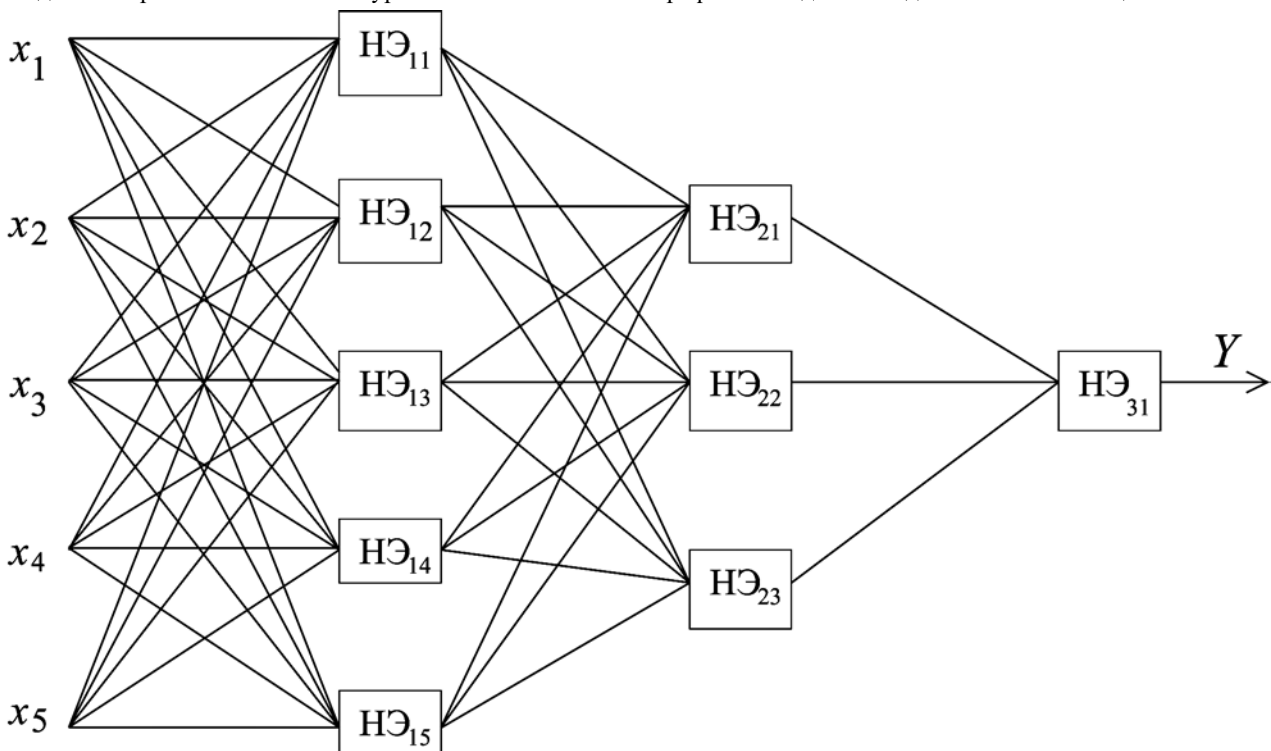


Рис. 1. Структурная схема полносвязной нейронной сети для пяти информативных признаков

предложил использовать для этих целей промышленные телевизионные приемники и предложил эту работу выполнить в КПИ. Соответствующую модернизацию схем промышленных телевизоров выполнил инженер А.Ф. Рыбочкин.

В 1975 году приборы СРТ-5П были переданы заказчику для клинических испытаний.

В ходе испытаний заказчик принял решение о расширении технических возможностей аналоговых ИНС, заказав КПИ трехслойную нейронную сеть по структуре, аналогичной структуре СРТ-5П, но на 30 информативных признаков с классификацией 8 классов состояний (8 диагнозов). Эту серию приборов назвали СРТК-30П. Проектирование и изготовление опытных образцов этих приборов было завершено в 1977 году [4], [5]. В том же году КПИ передал 10 опытных образцов СРТК-30П для клинических испытаний, после чего планировалось заказать их серийное производство.

Проблемы практического использования искусственных нейронных сетей

Оценка эффективности разработанных систем автоматической диагностики типов СРТ-5П и СРТК-30П осуществлялась в рамках х/д НИР № 47 «Исследования эффективности применения специализированных систем автоматической диагностики в типовых лечебных учреждениях и клиниках», автор Долгополов В.Н., 1977 г.

В ходе проводимых исследований был выявлен ряд серьезных недостатков [4]-[6]:

- процесс ввода исходных признаков осуществляется поворотом ручек потенциометров (у СРТК-30П их было 30), что неудобно и достаточно трудоемко;
- процесс настройки нейронных сетей после их обучения осуществлялся при помощи переменных резисторов, для чего соответствующие платы необходимо было подключать к прибору через специальный разъем, причем частая перестановка плат достаточно быстро разрушала достаточно ненадежные разъемы тех лет;
- в ходе настройки необходимо было вращать ручки большого числа потенциометров (у СРТ-5П – 43 потенциометра, у СРТК 30П – более 450), что делало процесс настройки очень трудоемким со значительной вероятностью ошибок, которые трудно проверить;
- для числа признаков более 30 было признано, что строить такие приборы нецелесообразно из-за громоздких объемов, неудобства настройки и ввода большого числа используемых признаков;
- имеющиеся к концу 1970-х годов алгоритмы обучения требовали репрезентативных обучающих выборок достаточного объема с равномерно распределяемыми объектами внутри классов, что практически было очень сложно получить, а наличие неоднородностей останавливало алгоритмы обучения, не обеспечивая потенциально достижимого качества распознавания.

Перечисленные и ряд других, менее существенных недостатков практически остановили планирующийся серийный выпуск. Этому способствовало и то, что параллельно с разработкой АИНС в СССР к концу 1970-х годов начался разворачиваться серийный выпуск персональных микроЭВМ («ИСКРА 1256», «ИСКРА 226», «ЭЛЕКТРОНИКА 80» и др.), которые стали вполне способны к реализации ИНС той же мощности, что и разработанные АИНС (и даже выше), при более простой процедуре обучения, меньших габаритах и стоимости. Окончательно в пользу цифровых ИНС вопрос был решен в 1980-х годах с появлением большого парка зарубежных и отечественных персональных ЭВМ.

Заключение

В ходе проводимых исследований на основе анализа недостатков методов и алгоритмов обучения ИНС было предложено перейти к диалоговым процессам обучения и диалоговым системам распознавания, которые получили достаточно широкое распространение и с успехом используются в настоящее время [6]-[9]. Кроме того, в перспективе возможно производство биочипов, объединяющихся в нейросети, подобные структуре *рис. 1* и обучающиеся с использованием гибридных технологий, методология синтеза которых активно разрабатывается на кафедре биомедицинской инженерии ЮЗГУ под руководством заведующего кафедрой БМИ профессора Н.А. Корневского [10].

Список литературы:

1. *Галушкин А.И.* Многослойные системы распознавания образов. – М.: МИЭМ, 1970. 368 с.
2. *Неймарк Ю.И., Баталова Э.С.* Распознавание образов и медицинская диагностика. – М.: Наука, 1972. 302 с.
3. *Галушкин А.И.* Синтез многослойных систем распознавания образов. – М.: Энергия, 1974. 368 с.
4. *Долгополов В.Н., Корневский Н.А., Мальцев М.В.* Устройство распознавания по табличным признакам СРТ-5П // Инф. л. № 405-78 Курского ЦНТИ. 1978. 4 с.
5. *Долгополов В.Н., Корневский Н.А.* Распознающий комплекс по табличным данным СРТК-30П // Инф. л. № 402-78. 1978. 4 с.
6. *Долгополов В.Н., Корневский Н.А.* Методика и алгоритм обучения диалоговой системы распознавания / Сб. докладов «Решение логических задач на ЭВМ». – Курск, 1977. С. 25-34.
7. *Долгополов В.Н., Корневский Н.А., Грошков А.Н.* Об одном способе обработки информации в диалоговых системах распознавания образов // Известия вузов. Приборостроение. 1978. Т. XXI. № 3. С. 47-52.
8. *Корневский Н.А.* Метод динамической оценки состояния объекта в диалоговых системах распознавания // Известия вузов. Приборостроение. 1987. Т. XXX. № 12. С. 37-41.
9. *Корневский Н.А., Титов В.С., Чернецкая И.Е.* Проектирование систем поддержки принятия решений для медико-экологических приложений / Монография. – Курск: Курск. гос. техн. ун-т, 2004. 180 с.
10. *Корневский Н.А., Родионова С.Н., Хритина И.И.* Методология синтеза гибридных нечетких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений / Монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2019. 472 с.

*Лилия Викторовна Стародубцева,
канд. техн. наук, доцент,
кафедра биомедицинской инженерии,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск,
e-mail: lilja-74@inbox.ru*