

## РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ, БАЗИРУЮЩЕЙСЯ НА ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

© О.В. Крючин, А.А. Арзамасцев, Е.В. Вязовова

Описана информационная система, которая использует в качестве интеллектуального ядра искусственные нейронные сети. Также приведены результаты апробации разработанной системы.

*Ключевые слова:* искусственные нейронные сети; информационные системы.

В различных предметных областях часто возникают задачи, для решения которых рационально использовать информационные системы (ИС), построенные на основе накопленной базы знаний о рассматриваемой задаче. Формирование такой базы знаний происходит при совместной работе пользователей и эксперта в исследуемой предметной области задачи. При последовательном вводе информации пользователями (входные данные задачи) происходит ее оценка экспертом, при этом определяются соответствующие выходные состояния задачи. Таким образом, происходит накопление базы знаний о рассматриваемой задаче до необходимого объема. Затем происходит построение интеллектуальной модели задачи. Моделирование осуществляется с помощью построения и обучения искусственной нейронной сети (ИНС) на основе накопленных данных [1]. По мере поступления новой информации в базу знаний полученная интеллектуальная модель задачи совершенствуется. При накоплении некоторого критического объема базы знаний построенная модель способна самостоятельно определять решение задачи.

Бизнес-методы, реализующие описанную выше технологию, могут быть разделены на несколько групп: установка моделируемого объекта, добавление новой строки обучающей выборки, построение ИНС-модели, обновление (дообучение) ИНС-модели и вычисление выходных данных модели от входных. При этом развернутый список бизнес-методов выглядит следующим образом:

- 1) добавление нового пользователя – вносятся ФИО, логин, пароль, город;
- 2) электронная почта и права доступа (пользователь или оператор);
- 3) изменение прав доступа пользователя;
- 4) удаление пользователя;
- 5) вывод списка пользователей;
- 6) добавление нового объекта исследования – вносятся название, описание, тип ИНС, задается количество входных и выходных параметров и их названия;
- 7) редактирование объекта исследования – могут изменяться название, описание, тип ИНС, задается количество входных и выходных параметров и их названия;
- 8) ввод новой строки обучающей выборки (входные и выходные данные);

9) ввод новой строки входной обучающей выборки;

10) установление в соответствие входной строки обучающей выборки выходной;

11) вывод списка объектов исследования конкретного оператора;

12) проведение экспертизы – вводятся входные параметры и номер объекта, выдаются значения выходных параметров;

13) начало построения ИНС-модели для объекта.

Программный комплекс, архитектура которого представлена на рис. 1, состоит из 6 подсистем:

- 1) *Manager* – подсистема управления [1];
- 2) *ANN-Builder* – подсистема построения ИНС-модели [1–3];
- 3) *ANN-Executor* – подсистема эксплуатации ИНС-модели;
- 4) *DB* – подсистема хранения информации (база данных) [4];
- 5) *User-Mediator* – подсистема взаимодействия с пользователями [5];
- 6) *Logger* – подсистема сбора логов.

Пользовательская подсистема ИС (*User-Mediator*) состоит из набора PHP-скриптов, взаимодействующих с пользователем, и компонента, взаимодействующего с управляющей подсистемой.

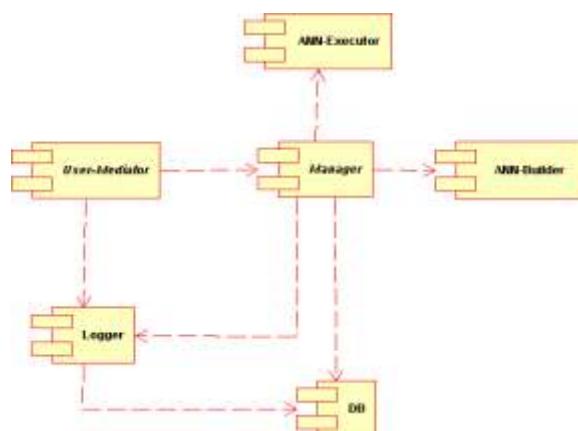


Рис. 1. Архитектура информационной системы

Подсистема поддерживает три уровня доступа – пользователя, оператора (эксперта в предметной области) и администратора (эксперта в области ИНС). Каждому уровню соответствует определенный набор полномочий и функциональных возможностей. Уровень администратора соответствуют полномочия управления пользователями и настройками ИНС. Уровень оператора наделен возможностями управления объектом. Пользовательский уровень дает возможность вносить информацию о параметрах объекта и получать результат по внесенным данным [1].

Конкретная задача, рассматриваемая в данной предметной области, называется в разрабатываемой системе объектом. Объект системы определяется набором совокупностей входных параметров с соответствующими выходными состояниями. Создание объекта доступно для пользователя с полномочиями оператора. В результате создания определяются такие его характеристики, как количество входных параметров, входные параметры, по которым впоследствии будет проводиться анализ, предполагаемые выходные состояния.

Накопление информации об объекте может осуществляться двумя способами.

При первом способе (с участием пользователя и оператора) пользователь, зарегистрированный в системе, вносит параметрические данные объекта, которые сохраняются в базе данных. Затем оператор, анализируя совокупность входных данных, введенных ранее пользователем, определяет соответствующее выходное состояние объекта. Таким образом, полученные знания накапливаются в базе данных, формируя базу знаний об объекте. Информация, хранящаяся в базе знаний, образует классы, определенные в соответствии с выходными состояниями объекта.

При втором способе (без участия пользователя) оператор, уже имея набор совокупностей входных данных об объекте, может загружать его в систему. Набор может быть уже проанализированным или впоследствии оценен экспертом [1].

Первым объектом исследования в данной работе является биоценоз, включающий смешанную популяцию креветок следующих видов: *Peneaeus indicus*, *Metapenaeus monoceros*, *Peneaeus monodon*, *Peneaeus japonicus*. Место сбора экспериментальных данных – район промышленного лова *Banco da Sofala*, Республика Мозамбик, Индийский океан, 1500–2000 км от Мапуту. Экспериментальные данные предоставлены компанией *EFRIPEL* в виде электронных таблиц *Microsoft Excel*. Таблицы содержали данные по отлову креветок за 1996–1998 гг.: даты начала и окончания циклов отлова (10 дней). Каждый год отлов велся в период с 1 марта по 31 декабря [6–7].

Моменты времени были представлены в виде трех векторов дискретных величин –  $\bar{t}_1 = [t_{1,1}, t_{1,2}, \dots, t_{1,L}]$ ,  $\bar{t}_2 = [t_{2,1}, t_{2,2}, \dots, t_{2,L}]$  и  $\bar{t}_3 = [t_{3,1}, t_{3,2}, \dots, t_{3,L}]$  – определяющих 1996, 1997 и 1998 гг. соответственно, а масса выловленной креветки за период  $t_i - t_{i-1}$  –  $m(t_i - t_{i-1})$ .

Обучение ИНС состояло из двух уровней, на внешнем уровне производился подбор активационной функции [8–9], а на внутреннем – значений весовых коэффициентов (с использованием градиентного метода наискорейшего спуска). В сети входные, выходные и один из скрытых нейронов имеют линейную активационную функцию, а остальные скрытые – квадратичную,

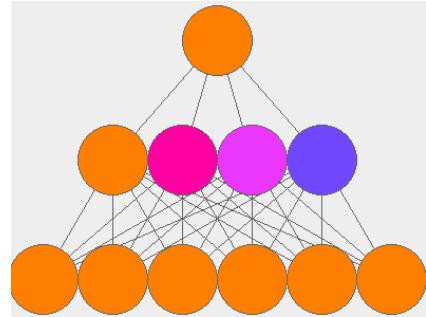


Рис. 2. Структура сети, используемой для прогнозирования массы улова креветки

кубическую и сигмоиду, соответственно (рис. 2). Относительная погрешность при использовании этой структуры составила 8,89 %.

Затем эксперимент был повторен, но в качестве исходных данных были использованы значения за неполные три года (01.03.1996 – 21.10.1998). В ходе эксперимента рассчитывалось значение плотности популяции на 21 декабря 1998 г. для того, чтобы проверить, как влияет изменение количества исходных данных на точность результата и как сильно расчетное значение будет отличаться от известного. Были использованы нейронные сети тех же типов. Анализ результатов подтвердил правильность выбора структуры ИНС. Относительная погрешность в этом случае составила 5,74 % [7].

Исходные данные для проведения второго вычислительного эксперимента были предоставлены ГУ Тамбовский ЦГМС. Они представляли собой значения температуры воздуха для фиксированных моментов времени. Периодичность замеров составляла 6 часов. Данные покрывают период с января 2000 г. по август 2005 г.

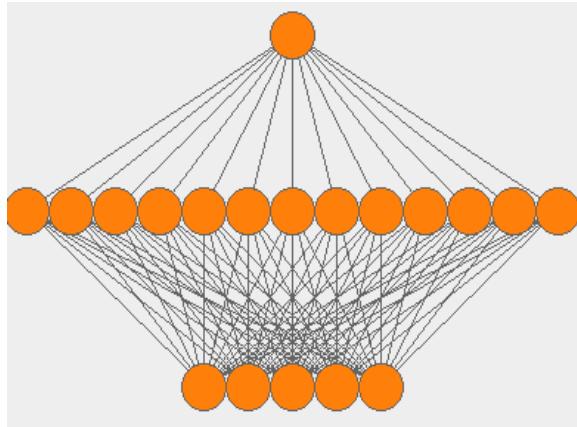
На первом этапе вычислительного эксперимента было необходимо решить вопрос о подготовке обучающей выборки для ИНС. В качестве входов обучающей выборки были использованы значения исходного временного ряда со смещением [11–12].

Для формирования ИНС оптимальной структуры в вычислительном эксперименте применяется конструктивный подход [10]. Он заключается в постепенном увеличении количества нейронов и слоев, начиная с ИНС минимального размера до достижения требуемого значения невязки, при этом на каждой итерации для ИНС заново подбирали весовые коэффициенты.

ИНС минимального размера содержит 1 скрытый слой с 1 нейроном. Все нейроны имеют сигмоидальную активационную функцию  $y = \frac{1}{1+e^{-cx}}$ .

Для продолжения вычислительного эксперимента была использована структура, соответствующая наименьшему значению невязки, т. е. 13 нейронов в скрытом слое (рис. 3), и добавлен еще один слой, содержащий один нейрон. Далее последовательно добавлялись новые нейроны, и после каждого изменения структуры производился подбор весовых коэффициентов.

В ходе проведенных экспериментов было установлено, что информационная система полностью удовлетворяет требованиям удобства и функциональности. Таким образом, она может быть использован для прогнозирования и решения других задач.



**Рис. 3.** Граф нейронной сети, соответствующей наименьшему значению невязки для прогнозирования температуры воздуха

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арзамасцев А.А., Зенкова Н.А., Крючин О.В., Квашенкин Д.О., Неудахин А.В. Автоматизированная технология и программно-технологический комплекс для построения экспертизных систем с интеллектуальным ядром, основанным на нейросетевых моделях, поддержкой распределенного ввода данных и параллельных вычислений // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2012. Т. 17. Вып. 3. С. 948-978.
2. Крючин О.В., Арзамасцев А.А., Королев А.Н., Горбачев С.И., Семенов Н.О. Универсальный симулятор, базирующийся на технологии искусственных нейронных сетей, способный работать на параллельных машинах // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2008. Т. 13. Вып. 5. С. 372-375.
3. Крючин О.В. Экспертная система, базирующаяся на технологии искусственных нейронных сетей, способная к использованию внутри программного комплекса // Актуальные проблемы современной науки и образования. Естественные науки: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Уфа: РИЦ БашГУ, 2010. Т. 1. С. 26-29.
4. Крючин О.В., Вязовова Е.В. Использование обучающей и расчетной выборки при построении моделей искусственных нейронных сетей универсальной моделирующей системой CrVSIS // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2014. Т. 19. Вып. 2. С. 600-603.
5. Крючин О.В., Арзамасцев А.А., Вязовова Е.В., Квашенкин Д.О. Разработка интерфейса для универсальной моделирующей системы, базирующейся на аппарате искусственных нейронных сетей // Электронный журнал «Исследовано в России». 014/130905. 2013. С. 195-208. URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2013/014.pdf> (дата обращения: 19.10.2015).
6. Крючин О.В. Использование технологии искусственных нейронных сетей для прогнозирования массы улова креветки // Современные проблемы математики и ее прикладные аспекты: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Пермь: Перм. гос. ун-т, Перм. гос. гум.-пед. ун-т, 2010. С. 110.
7. Крючин О.В., Козадаев А.С. Прогнозирование массы выловленной креветки в Индийском океане при помощи искусственных нейронных сетей с использованием кластерных систем // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2010. Т. 15. Вып. 1. С. 313-314.
8. Крючин О.В., Арзамасцев А.А. Реализация параллельного алгоритма подбора активационных функций искусственной нейронной сети // ЭФТЖ. 2011. Т. 6. С. 2-61. URL: <http://eftj.secna.ru/vol6/110606.pdf> (дата обращения: 19.10.2015).
9. Арзамасцев А.А., Крючин О.В., Азарова П.А., Зенкова Н.А. Универсальный программный комплекс для компьютерного моделирования на основе искусственной нейронной сети с самоорганизацией структуры // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2006. Т. 11. Вып. 4. С. 564-570.
10. Крючин О.В. Нейросетевой симулятор с автоматическим подбором активационных функций // Информационные технологии. М., 2010. № 7. С. 47-52.
11. Крючин О.В., Козадаев А.С. Прогнозирование температуры в городе Тамбове при помощи аппарата искусственных нейронных сетей с использованием кластерных систем // Интеллектуальные системы: труды 9 Междунар. симпозиума / под ред. К.А. Пупкова. М.: РУСАКИ, 2010. С. 620-624.
12. Крючин О.В., Козадаев А.С., Слепцов Д.В., Арзамасцев А.А. Применение параллельных алгоритмов обучения искусственных нейронных сетей на примере прогнозирования температуры воздуха в городе Тамбове // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2011. Т. 16. Вып. 2. С. 461-467.

Поступила в редакцию 30 ноября 2015 г.

Крючин Олег Владимирович, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, кандидат технических наук, ведущий программист института математики, естествознания и информационных технологий, e-mail: kryuchov@gmail.com

Арзамасцев Александр Анатольевич, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой математического моделирования и информационных технологий, e-mail: arz\_sci@mail.ru

Вязовова Елена Владимировна, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, магистрант по направлению подготовки «Прикладная математика и информатика» института математики, естествознания и информационных технологий, e-mail: kafedra\_kmm@mail.ru

## DEVELOPMENT AND APPROBATION OF INFORMATION SYSTEMS, BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS TECHNOLOGY

**© O.V. Kryuchin, A.A. Arzamastsev, E.V. Vyazovova**

The information system which uses artificial neural networks as intellectual core is described. The developed system approbation results are presented.

*Key words:* artificial neural networks; information systems.

### REFERENCES

1. Arzamastsev A.A., Zenkova N.A., Kryuchin O.V., Kvashenkin D.O., Neudakhin A.V. Avtomatizirovannaya tekhnologiya i programmno-tehnologicheskiy kompleks dlya postroeniya ekspertnykh sistem s intellektualnym yadrom, osnovannym na neyrosetevykh modelyakh, podderzhkoy raspredelennoogo vvedeniya dannyykh i parallelnykh vychisleniy. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*. Tambov, 2012, vol. 17, no. 3, pp. 948-978.
2. Kryuchin O.V., Arzamastsev A.A., Korolev A.N., Gorbachev S.I., Semenov N.O. Universalnyy simulyator, baziruyushchiy na tekhnologii iskusstvennykh nevronnykh setey, sposobnyy rabotat na parallelnykh mashinakh. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*. Tambov, 2008, vol. 13, no. 5, pp. 372-375.
3. Kryuchin O.V. Ekspertnaya sistema, baziruyushchayaya na tekhnologii iskusstvennykh nevronnykh setey, sposobnaya k ispolzovaniyu vnutri programmnego kompleksa. Aktualnye problemy sovremennoy nauki i obrazovaniya. *Estestvennye nauki. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. Ufa, Bashkir State University Editorial-Publishing Centre, 2010, vol. 1, pp. 26-29.
4. Kryuchin O.V., Vyazovova E.V. Ispolzovanie obuchayushchey i raschetnoy vyborki pri postroenii modeley iskusst-vennykh nevronnykh setey universalnoy modeliruyushchey sistemy CrVSIS. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*. Tambov, 2014, vol. 19, no. 2, pp. 600-603.
5. Kryuchin O.V., Arzamastsev A.A., Vyazovova E.V., Kvashenkin D.O. Razrabotka interfeysa dlya universalnoy modeliruyushchey sistemy, baziruyushchey na apparete iskusstvennykh nevronnykh setey. *Elektronnyy zhurnal «Issledovano v Rossii»*, 014/130905, 2013, pp. 195-208. (In Russ.) Available at: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2013/014.pdf> (accessed 19.10.2015).
6. Kryuchin O.V. Ispolzovanie tekhnologii iskusstvennykh nevronnykh setey dlya prognozirovaniya massy ulova krevetki. *Sovremennye problemy matematiki i ee prikladnye aspekty. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Perm, Perm State University Publ., Perm State Humanitarian Pedagogical University Publ., 2010, pp. 110.
7. Kryuchin O.V., Kozadaev A.S. Prognozirovanie massy vylvolennoy krevetki v Indiyskom okeane pri pomoshchi iskusstvennykh nevronnykh setey s ispolzovaniem klasternykh sistem. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*. Tambov, 2010, vol. 15, no. 1, pp. 313-314.
8. Kryuchin O.V., Arzamastsev A.A. Realizatsiya parallel'nogo algoritma podbora aktivatsionnykh funktsiy iskusstvennoy nevronnoy seti. *Elektronnyy fiziko-tehnicheskiy zhurnal*, 2011, no. 6, pp. 2-61. (In Russ.) Available at: <http://eftj.secna.ru/vol6/110606.pdf> (accessed 19.10.2015).
9. Arzamastsev A.A., Kryuchin O.V., Azarova P.A., Zenkova N.A. Universalnyy programmnyy kompleks dlya kompyuternogo modelirovaniya na osnove iskusstvennoy nevronnoy seti s samoorganizatsiye struktury. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*. Tambov, 2006, vol. 11, no. 4, pp. 564-570.
10. Kryuchin O.V. Neyrosetevoy simulyator s avtomaticheskim podborom aktivatsionnykh funktsiy. *Informatsionnye tekhnologii*. Moscow, 2010, no. 7, pp. 47-52.
11. Kryuchin O.V., Kozadaev A.S. Prognozirovanie temperatury v gorode Tambove pri pomoshchi apparaata iskusstvennykh nevronnykh setey s ispolzovaniem klasternykh sistem. Intellektualnye sistemy. *Trudy 9 Mezhdunarodnogo simpoziuma*, Moscow, RUSAKI Publ., 2010, pp. 620-624.
12. Kryuchin O.V., Kozadaev A.S., Sletkov D.V., Arzamastsev A.A. Primenenie parallelnykh algoritmov obucheniya iskusstvennykh nevronnykh setey na primere prognozirovaniya temperatury vozdukh v gorode Tambove. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*. Tambov, 2011, vol. 16, no. 2, pp. 461-467.

Received 30 November 2015

Kryuchin Oleg Vladimirovich, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Candidate of Technics, Leading Programmer of Mathematics, Natural Science and Information Technologies Institute, e-mail: kryuchov@gmail.com

Arzamastsev Aleksander Anatolyevich, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Head of Computer and Mathematical Simulation Department, e-mail: arz\_sci@mail.ru

Vyazovova Elena Vladimirovna, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Candidate for Master's Degree of Preparation Direction "Applied Mathematics and Informatics" of Mathematics, Natural Science and Information Technologies Institute, e-mail: kafedra\_kmm@mail.ru