

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ, НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКАЯ АССОЦИАЦИЯ НЕЙРОИНФОРМАТИКИ
МОСКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

НАУЧНАЯ СЕССИЯ МИФИ–2004

НЕЙРОИНФОРМАТИКА–2004

**VI ВСЕРОССИЙСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ**

**ЛЕКЦИИ
ПО НЕЙРОИНФОРМАТИКЕ**

Часть 2

По материалам Школы-семинара
«Современные проблемы нейроинформатики»

Москва 2004

УДК 004.032.26 (06)

ББК 32.818я5

М82

НАУЧНАЯ СЕССИЯ МИФИ-2004. VI ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «НЕЙРОИНФОРМАТИКА-2004»: ЛЕКЦИИ ПО НЕЙРОИНФОРМАТИКЕ. Часть 2. – М.: МИФИ, 2004. – 200 с.

В книге публикуются тексты лекций, прочитанных на Школе-семинаре «Современные проблемы нейроинформатики», проходившей 28–30 января 2004 года в МИФИ в рамках VI Всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика-2004».

Материалы лекций связаны с рядом проблем, актуальных для современного этапа развития нейроинформатики, включая ее взаимодействие с другими научно-техническими областями.

Ответственный редактор

Ю. В. Тюменцев, кандидат технических наук

ISBN 5-7262-0526-X

© *Московский инженерно-физический институт
(государственный университет), 2004*

ПРЕДИСЛОВИЕ

1. В этой книге (она выходит в двух частях) содержатся тексты лекций, прочитанных на Школе-семинаре «Современные проблемы нейроинформатики», проходившей 28–30 января 2004 года в МИФИ в рамках VI Всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика–2004».

При отборе и подготовке материалов для лекций авторы и редактор следовали принципам и подходам, сложившимся при проведении трех предыдущих Школ (см. [1–5]). А именно, основной целью Школы было рассказать слушателям о современном состоянии и перспективах развития важнейших направлений в теории и практике нейроинформатики, о ее применениях. При этом особенно приветствовались лекции *междисциплинарные*, лежащие по охватываемой тематике «на стыке наук», рассказывающие о проблемах не только собственно нейроинформатики (т. е. о проблемах, связанных с нейронными сетями, как естественными, так и искусственными), но и о взаимосвязях нейроинформатики с другими областями мягких вычислений (нечеткие системы, генетические и другие эволюционные алгоритмы и т. п.), с системами, основанными на знаниях, с традиционными разделами математики, биологии, психологии, инженерной теории и практики.

Основной задачей лекторов, приглашаемых из числа ведущих специалистов в области нейроинформатики и ее приложений, смежных областей науки, было дать живую картину современного состояния исследований и разработок, обрисовать перспективы развития нейроинформатики в ее взаимодействии с другими областями науки.

Помимо междисциплинарности, приветствовалась также и *дискуссионность* излагаемого материала. Как следствие, не со всеми положениями, выдвигаемыми авторами, можно безоговорочно согласиться, но это только повышает ценность лекций — они стимулируют возникновение дискуссии, выявление пределов применимости рассматриваемых подходов, поиск альтернативных ответов на поставленные вопросы, альтернативных решений сформулированных задач.

2. В программу Школы-семинара «Современные проблемы нейроинформатики» на конференции «Нейроинформатика–2003» вошли следующие восемь лекций¹:

1. *Я. Б. Казанович, В. В. Шматченко.* Осцилляторные нейросетевые модели сегментации изображений и зрительного внимания.

¹Первые четыре из перечисленных лекций публикуются в части 1, а оставшиеся четыре — в части 2 сборника «Лекции по нейроинформатике».

2. *В. Г. Яхно*. Нейроноподобные модели описания динамических процессов преобразования информации.
3. *А. Ю. Дорогов*. Быстрые нейронные сети: Проектирование, настройка, приложения.
4. *Н. Г. Ярушкина*. Нечеткие нейронные сети с генетической настройкой.
5. *А. А. Жданов*. О методе автономного адаптивного управления.
6. *Л. А. Станкевич*. Нейрологические средства систем управления интеллектуальных роботов.
7. *С. А. Терехов*. Нейро-динамическое программирование автономных агентов.
8. *Н. Г. Макаренко*. Как получить временные ряды из геометрии и топологии пространственных паттернов?

Основные темы, рассматриваемые в этих лекциях — нетрадиционные² нейросетевые модели и их возможные применения.

3. Лекция **Я. Б. Казановича** и **В. В. Шматченко** «Осцилляторные нейросетевые модели сегментации изображений и зрительного внимания» посвящена теме, рассмотрение которой было начато в лекции *игумена Феофана (Крюкова)* на Школе 2002 года [6]. Эта тема относится к направлению в теории нейронных сетей, активно развиваемому в настоящее время. Оно ориентируется на изучение динамических и осцилляторных аспектов функционирования мозга. В рамках данного направления предложен ряд гипотез и моделей нейронных сетей, позволяющих объяснить возникновение пространственно-временных паттернов нейронной активности, а также их значение для обработки информации. Один из основных элементов этих моделей — *принцип синхронизации*, введение которого позволяет надеяться на решение ряда задач биологии и психологии, трудных для традиционных подходов. Лекция *Я. Б. Казановича* и *В. В. Шматченко* посвящена анализу моделей, в которых принцип синхронизации используется для решения задач сегментации объектов на изображении и формирования фокуса внимания.

4. К первой лекции по своему подходу и прикладной ориентации в определенной степени примыкает лекция **В. Г. Яхно** «Нейроноподобные модели описания динамических процессов преобразования информации», которая

²Нетрадиционные в том смысле, что отличаются от мультиперцептронов, сетей Хопфилда и еще двух-трех общеизвестных и повсеместно используемых видов моделей.

продолжает развитие темы, начатой автором в лекции на Школе 2001 года [7]. Здесь под *нейроподобными* понимаются распределенные системы, состоящие из активных элементов с несколькими устойчивыми или квазиустойчивыми состояниями, при этом взаимодействие между указанными неравновесными элементами осуществляется за счет нелокальных пространственных связей. Модели подобного рода успешно применяются для описания процессов в однородных нейронных сетях сетчатки глаза живых объектов, коры некоторых отделов головного мозга и т. п. Одна из важных областей применения предлагаемых моделей — адаптивные распознающие системы, а также совокупности таких систем, которые открывают возможность анализировать на количественном уровне реакции животных при восприятии и осознания действующих на них информационных сигналов.

5. Лекция А. Ю. Дорогова «Быстрые нейронные сети: Проектирование, настройка, приложения» базируется на том параллелизме, который существует между алгоритмом *быстрого преобразования Фурье* (БПФ), играющим огромную роль в обработке сигналов и многослойными нейронными сетями. Этот параллелизм заключается в том, что алгоритмы БПФ имеют выраженную многослойную структуру, которая подобна структуре многослойных перцептронов. По этой причине представляется вполне естественным использовать потенциал, накопленный в области БПФ, для построения нейронных сетей соответствующей архитектуры, которые предлагаются именовать быстрыми нейронными сетями (БНС). В лекции подробно рассматривается алгоритмическая сторона формирования БНС, которая иллюстрируется на многочисленных примерах, в первую очередь из области адаптивной фильтрации. Одна из интересных возможностей использования БНС обусловлена тем фактом, что структура БНС идентична структуре тензорных произведений векторных пространств. Из этого вытекает возможность использовать БНС для построения алгоритмов *квантовых вычислений*³. В лекции показано также, что парадигма БНС допускает многомерное обобщение, что открывает возможность создания быстродействующих классификаторов зрительных сцен.

³Тематика квантовых вычислений и квантовых нейронных сетей уже затрагивалась в лекциях Школы (см., в частности, лекцию А. А. Ежова на Школе 2003 года [8]), а также в материалах Рабочего совещания «Квантовые нейронные сети» на конференции «Нейроинформатика–2000» [8].

6. Лекция **Н. Г. Ярушкиной** «Нечеткие нейронные сети с генетической настройкой» посвящена рассмотрению еще одной плодотворной парадигмы, которая позволяет сочетать методы обучения, характерные для нейронных сетей, с вербализацией правил вывода, типичной для нечетких систем. *Нечеткие нейронные сети* (ННС), изучаемые в рамках данной парадигмы, представляют собой реализацию систем нечеткого логического вывода методами нейронных сетей. Подобного рода сети включают в себя слои, которые состоят из специальных *И* и *ИЛИ* нейронов. Настройку нечетких нейронных сетей предлагается выполнять с помощью методов генетической оптимизации. В числе приложений для ННС, упоминаемых в лекции, задачи управления объектами (динамическими системами). Подобного рода комбинированное использование нескольких элементов, традиционно объединяемых под общим наименованием «мягкие вычисления» (искусственные нейронные сети, нечеткие системы, эволюционные вычисления) ранее в рамках Школы рассматривалось, в частности в лекциях *Ю. И. Нечаева* [10, 11] применительно к различным аспектам задачи управления динамическими объектами.

7. В той или иной степени с решением задач управления связаны следующие три лекции (*А. А. Жданова*, *Л. А. Станкевича* и *С. А. Терехова*). Общей чертой подходов, предлагаемых в этих лекциях, является то, что все они нацелены на решение задачи управления поведением объекта в условиях значительной неопределенности. В частности, в лекции **А. А. Жданова** «О методе автономного адаптивного управления» предлагается концептуальная модель нервной систем, названная методом «*автономного адаптивного управления*» (ААУ). Считается, что рассматриваемая система представляет собой совокупность из объекта управления, управляющей системы (УС) (моделируемой нервной системы) и среды. Данная УС является интеллектуальной, поскольку обладает такими свойствами, как наличие аппарата эмоций, который мотивирует, определяет, направляет и оценивает поведение УС; внутренняя активность, направленная на расширение знаний, повышающих вероятность выживания; адаптивность и саморазвитие; индивидуальность. На этой концептуальной основе предлагаются конкретные решения, позволяющие строить практически действующие управляющие системы, описаны примеры нескольких практических приложений.

8. Еще одна работа, связанная с проблемами интеллектуального управления, это лекция **Л. А. Станкевича** «Нейробиологические средства систем управления интеллектуальных роботов». В ней вводится класс средств,

именуемых автором *нейрологическими*, которые способны обучаться в реальном времени отображению сложных функций и процессов. База для построения таких средств — нейронные сети и логические системы на правилах. Показано, что на основе нейрологических средств можно строить когнитивные и актуаторные структуры, способные обучаться, формировать и реализовывать сложное рациональное поведение динамических объектов в среде. Одна из очевидных сфер применения предлагаемых средств — создание интеллектуальных роботов. В качестве примеров такого применения указываются система управления для антропоморфного робота, а также перспективный проект системы интеллектуального управления гуманоидного робота. Лекторы Школы не впервые обращаются к тематике управления роботами, в том числе и антропоморфными роботами. В частности, эти проблемы рассматривались в лекциях *А. А. Фролова* и *Р. А. Прокопенко* [12], а также *А. И. Самарина* [13] на Школе 2001 года.

9. Еще один из подходов к управлению сложными динамическими системами представлен в лекции **С. А. Терехова** «Нейро-динамическое программирование автономных агентов», которая, в определенной степени, продолжает тематику, рассматривавшуюся в лекциях *С. А. Терехова* на Школах 2002 года [14] и 2003 года [15]. Здесь речь идет о многошаговых процессах принятия решений и об оптимизации таких процессов. Среди многообразия подходов, существующих в настоящее время для решения задач подобного рода, можно выделить приближенные методы поиска адаптационной стратегии, которые основаны на аппроксимации функций оптимального поведения искусственными нейронными сетями. Этот подход, использующий кроме нейросетей также еще и методологию динамического программирования, принято именовать *нейро-динамическим программированием*. Важную роль в нейро-динамическом программировании играет обучение нейронной сети на основе локальных подкреплений (reinforcement learning), используемое вместо традиционного обучения с учителем. Показана связь задачи целевой адаптации автономного агента при обучении с подкреплением и задачи прогностического оптимального управления. Приведены примеры приложений методов нейро-динамического программирования.

10. Лекция **Н. Г. Макаренко** «Как получить временные ряды из геометрии и топологии пространственных паттернов? Математические аспекты анализа распределенных динамических систем» продолжает серию его выступлений междисциплинарного характера, которые состоялись на Школах

2002 года [16] и 2003 года [17]. Объектом рассмотрения являются *распределенные динамические системы*, которые не только демонстрируют сложное поведение во времени, но и имеют нетривиальную пространственную структуру. И если в лекции [17] проекциями динамики рассматриваемых систем в «Мир экспериментатора» являлись одномерные временные ряды, то теперь это — «мгновенные снимки», изображения или «сцены». Таким образом для распределенных динамических систем приходится иметь дело с двумя видами сложности: временной, которая отслеживается временными рядами каких-либо интегральных параметров, и пространственной, которая «кодируется» геометрией и топологией «сцен». Применительно к данной ситуации рассматриваются пространственные паттерны, а также некоторые современные математические инструменты для «арифметизации» и анализа таких объектов, основанные на методах таких разделов математики, как вычислительная геометрия, геометрические вероятности, интегральная геометрия, математическая морфология, стохастическая геометрия, вычислительная топологии. Показано, что аппарат искусственных нейронных сетей вполне естественным образом взаимодействует со многими из этих элементов.

* * *

Для того, чтобы продолжить изучение вопросов, затронутых в лекциях, можно порекомендовать такой уникальный источник научных и научно-технических публикаций, как цифровая библиотека **ResearchIndex** (ее называют также **CiteSeer**, см. позицию [19] в списке литературы в конце предисловия). Эта библиотека, созданная и развиваемая отделением фирмы NEC в США, на конец 2002 года содержала около миллиона публикаций, причем это число постоянно и быстро увеличивается за счет круглосуточной работы поисковой машины.

Каждый из хранимых источников (статьи, препринты, отчеты, диссертации и т. п.) доступен в полном объеме в нескольких форматах (PDF, PostScript и др.) и сопровождается очень подробным библиографическим описанием, включающим, помимо данных традиционного характера (авторы, заглавие, место публикации и/или хранения и др.), также и большое число ссылок-ассоциаций, позволяющих перейти из текущего библиографического описания к другим публикациям, «похожим» по теме на текущую просматриваемую работу. Это обстоятельство, в сочетании с весьма эффективным полнотекстовым поиском в базе документов по сформулированному пользователем поисковому запросу, делает библиоте-

ку **ResearchIndex** незаменимым средством подбора материалов по требуемой теме.

Помимо библиотеки **ResearchIndex**, можно рекомендовать также богатый электронный архив публикаций [20], а также портал научных вычислений [18].

Перечень проблем нейротехники и смежных с ней областей, требующих привлечения внимания специалистов из нейросетевого и родственных с ним сообществ, далеко не исчерпывается, конечно, вопросами, рассмотренными в предлагаемом сборнике, а также в сборниках [1–5].

В дальнейшем предполагается расширение данного списка за счет рассмотрения насущных проблем собственно нейротехники, проблем «пограничного» характера, особенно относящихся к взаимодействию нейросетевой парадигмы с другими парадигмами, развиваемыми в рамках концепции мягких вычислений, проблем использования методов и средств нейротехники для решения различных классов прикладных задач. Не будут забыты и взаимодействия нейротехники с такими важнейшими ее «соседями», как нейробиология, нелинейная динамика (синергетика — в первую очередь), численный анализ (вейвлет-анализ и др.) и т. п.

Замечания, пожелания и предложения по содержанию и форме лекций, перечню рассматриваемых тем и т. п. просьба направлять электронной почтой по адресу tium@mai.ru Тюменцеву Юрию Владимировичу.

Литература

1. Лекции по нейротехнике: По материалам Школы-семинара «Современные проблемы нейротехники» // III Всероссийская научно-техническая конференция «Нейротехника-2001», 23–26 января 2001 г. / Отв. ред. Ю. В. Тюменцев. – М.: Изд-во МИФИ, 2001. – 212 с.
2. Лекции по нейротехнике: По материалам Школы-семинара «Современные проблемы нейротехники» // IV Всероссийская научно-техническая конференция «Нейротехника-2002», 23–25 января 2002 г. / Отв. ред. Ю. В. Тюменцев. Часть 1. – М.: Изд-во МИФИ, 2002. – 164 с.
3. Лекции по нейротехнике: По материалам Школы-семинара «Современные проблемы нейротехники» // IV Всероссийская научно-техническая конференция «Нейротехника-2002», 23–25 января 2002 г. / Отв. ред. Ю. В. Тюменцев. Часть 2. – М.: Изд-во МИФИ, 2002. – 172 с.
4. Лекции по нейротехнике: По материалам Школы-семинара «Современные проблемы нейротехники» // V Всероссийская научно-техническая

- конференция «Нейроинформатика-2003», 29–31 января 2003 г. / Отв. ред. Ю. В. Тюменцев. Часть 1. – М.: Изд-во МИФИ, 2003. – 188 с.
5. Лекции по нейроинформатике: По материалам Школы-семинара «Современные проблемы нейроинформатики» // V Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2003», 29–31 января 2003 г. / Отв. ред. Ю. В. Тюменцев. Часть 2. – М.: Изд-во МИФИ, 2003. – 180 с.
 6. *Игумен Феофан (Крюков)*. Модель внимания и памяти, основанная на принципе доминанты // В сб.: «Лекции по нейроинформатике». Часть 1. – М.: Изд-во МИФИ, 2002. – с. 66–113.
 7. *Яхно В. Г.* Процессы самоорганизации в распределенных нейроноподобных системах: Примеры возможных применений // В сб.: «Лекции по нейроинформатике». – М.: Изд-во МИФИ, 2001. – с. 103–141.
 8. *Ежов А. А.* Некоторые проблемы квантовой нейротехнологии // В сб.: «Лекции по нейроинформатике». Часть 2. – М.: Изд-во МИФИ, 2003. – с. 29–79.
 9. Квантовые нейронные сети: Материалы рабочего совещания «Современные проблемы нейроинформатики» // 2-я Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2000», 19–21 января 2000 г.; III Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2001», 23–26 января 2001 г. / Отв. ред. А. А. Ежов. – М.: Изд-во МИФИ, 2001. – 104 с.
 10. *Нечаев Ю. И.* Нейросетевые технологии в бортовых интеллектуальных системах реального времени // В сб.: «Лекции по нейроинформатике». Часть 1. – М.: Изд-во МИФИ, 2002. – с. 114–163.
 11. *Нечаев Ю. И.* Математическое моделирование в бортовых интеллектуальных системах реального времени // В сб.: «Лекции по нейроинформатике». Часть 2. – М.: Изд-во МИФИ, 2003. – с. 119–179.
 12. *Фролов А. А., Прокопенко Р. А.* Адаптивное нейросетевое управление антропоморфными роботами и манипуляторами // В сб.: «Лекции по нейроинформатике». – М.: Изд-во МИФИ, 2001. – с. 18–59.
 13. *Самарин А. И.* Нейросетевые модели в задачах управления поведением робота // В сб.: «Лекции по нейроинформатике». – М.: Изд-во МИФИ, 2001. – с. 60–102.
 14. *Терехов С. А.* Нейросетевые аппроксимации плотности распределения вероятности в задачах информационного моделирования // В сб.: «Лекции по нейроинформатике». Часть 2. – М.: Изд-во МИФИ, 2002. – с. 94–120.
 15. *Терехов С. А.* Введение в байесовы сети // В сб.: «Лекции по нейроинформатике». Часть 1. – М.: Изд-во МИФИ, 2003. – с. 149–187.
 16. *Макаренко Н. Г.* Фракталы, аттракторы, нейронные сети и все такое // В сб.: «Лекции по нейроинформатике». Часть 2. – М.: Изд-во МИФИ, 2002. – с. 121–169.

17. *Макаренко Н. Г.* Эмбедология и нейропрогноз // В сб.: «Лекции по нейроинформатике». Часть 1. – М.: Изд-во МИФИ, 2003. – с. 86–148.
18. Портал научных вычислений (Matlab, Fortran, C++ и т. п.)
URL: <http://www.mathtools.net/>
19. NEC Research Institute CiteSeer (also known as ResearchIndex) – Scientific Literature Digital Library.
URL: <http://citeseer.nj.nec.com/>
20. The Archive arXiv.org e-Print archive – Physics, Mathematics, Nonlinear Sciences, Computer Science.
URL: <http://arxiv.org/>

Редактор материалов выпуска,
кандидат технических наук *Ю. В. Тюменцев*

E-mail: tium@mai.ru