

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

НАУЧНАЯ СЕССИЯ МИФИ–2002

НЕЙРОИНФОРМАТИКА–2002

**IV ВСЕРОССИЙСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ**

**ЛЕКЦИИ
ПО НЕЙРОИНФОРМАТИКЕ**

Часть 1

По материалам Школы-семинара
«Современные проблемы нейронинформатики»

Москва 2002

УДК 004.032.26 (06)

ББК 32.818я5

М82

НАУЧНАЯ СЕССИЯ МИФИ–2002. IV ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «НЕЙРОИНФОРМАТИКА–2002»: ЛЕКЦИИ ПО НЕЙРОИНФОРМАТИКЕ. Часть 1. – М.: МИФИ, 2002. – 164 с.

В книге публикуются тексты лекций, прочитанных на Школе-семинаре «Современные проблемы нейроинформатики», проходившей 23–25 января 2002 года в МИФИ в рамках IV Всероссийской конференции «Нейроинформатика–2002».

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 5–7262–0400–X

© *Московский государственный инженерно-физический институт (технический университет), 2002*

ПРЕДИСЛОВИЕ

В этой книге (она выходит в двух частях) содержатся тексты лекций, прочитанных на Школе-семинаре «Современные проблемы нейроинформатики», проходившей 23–25 января 2002 года в МИФИ в рамках IV Всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика–2002».

Как и для первой Школы [1], основной целью было дать представление слушателям о современном состоянии и перспективах развития важнейших направлений, связанных с теорией и практикой нейроинформатики, ее применениями, а также с некоторыми смежными вопросами. При подготовке программы Школы особенно приветствовались лекции, лежащие по охватываемой тематике «на стыке наук», рассказывающие о проблемах не только собственно нейроинформатики (т. е. проблемах, связанных с нейронными сетями, как естественными, так и искусственными), но и о взаимодействиях 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, инженерной теории и практики. При этом изложение материала должно было строиться с таким расчетом, чтобы содержание лекции не только было бы интересным для членов нейросетевого сообщества, но и доступно более широкой аудитории, особенно студентам-старшекурсникам и аспирантам (в определенной степени моделью такого рода изложения могут служить брошюры знаменитой серии «Математика, кибернетика», выпускавшейся в течение 30 лет издательством «Знание»).

Предлагаемая подборка текстов лекций — это не учебник, охватывающий всю нейроинформатику или хотя бы значительную ее часть. Целью лекторов, приглашенных из числа ведущих специалистов в области нейроинформатики и ее приложений, было дать живую картину работы «на переднем крае» нейроинформатики, рассказать о ее взаимодействии с другими научно-техническими областями, причем сделать это, по-возможности, на примерах проблем, наиболее актуальных и активно изучаемых на данный момент.

Как и положено работам «с переднего края», каждая из них содержит, хотя и в разной степени, элементы дискуссионности. Не со всеми положениями, выдвигаемыми авторами, можно безоговорочно согласиться,

но это только повышает ценность предлагаемых материалов — они стимулируют возникновение дискуссии, поиск альтернативных ответов на поставленные вопросы, альтернативных решений сформулированных задач.

В программу Школы-семинара «Современные проблемы нейроинформатики» на конференции «Нейроинформатика–2002» вошли лекции В. Г. Редько, игумена Феофана (Крюкова), Ю. И. Нечаева, С. А. Шумского, С. А. Терехова и Н. Г. Макаренко¹.

Открывался данный цикл лекцией **В. Г. Редько** «Эволюционная кибернетика». И это было не случайно.

Наука, техника, многие другие области человеческой деятельности немалымы без создания и исследования моделей, в том числе и такого важнейшего их класса, как модели символьные, базирующиеся на одной из знаковых систем — это и всевозможные математические и другие формальные модели, и различного рода компьютерные программы, и тексты на естественных языках, и разнообразные комбинации этих элементов.

Уже сама возможность применения символьных (в частности, математических) моделей в естественных науках, в технике, представляет собой факт достаточно нетривиальный. Вопрос можно поставить и шире, как это делается в лекции В. Г. Редько: «Почему *человеческая* логика применима к познанию *природы*?»

Эти проблемы — взаимоотношений математики и естествознания, причин применимости человеческой логики к познанию природы, и вообще — «непостижимой эффективности математики в естественных науках» (по известному выражению Юджина Вигнера) обсуждали и продолжают обсуждать многие видные ученые. Наряду с работами Ю. Вигнера, М. Клайна и А. Пуанкаре, упоминаемыми в лекции В. Г. Редько, по этим вопросам можно также рекомендовать обратиться к книгам [2–9].

Создание теоретических моделей для достаточно сложных объектов и процессов — в высшей степени непростая задача. Традиционный путь решения такой задачи состоит в получении требуемой модели сразу на заданном уровне сложности. То обстоятельство, что вначале, чаще всего, решается серия так называемых «модельных задач», сути дела не меняет, поскольку эти модельные задачи представляют собой просто усечен-

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

ные различным образом варианты основной задачи, но концептуально ее «дух» всегда остается неизменным. Базой для подобного рода процесса решения служит изучение строения требуемого объекта (процесса) и его составных частей, взаимодействия этих частей между собой, а также объекта в целом с окружающей средой (см., например, [10–12]).

Можно не углубляться в изучение внутреннего строения объекта, его «природы», а рассматривать его как «черный ящик», про который известно лишь, как он реагирует на некие представляющие интерес воздействия, возмущающие и/или управляющие. И мы получаем таким способом еще одну разновидность упомянутого выше подхода, поскольку суть дела опять же не изменилась – по-прежнему мы пытаемся получить модель объекта сразу на требуемом уровне сложности.

В значительной степени наука, а вместе с ней и инженерная теория, в течение всей своей истории развивались именно так в попытках познания мира и создания искусственных объектов.

Но есть и в последнее время довольно активно начинает развиваться другой подход, в своих концептуальных установках диаметрально противоположный первому. Он состоит в том, чтобы в качестве исходных взять некоторые очень простые модели и добавить к ним механизмы развития, позаимствованные у Природы. Тогда задача получения модели сложной системы (а в ряде случаев и самой этой системы!) сводится к «выведению», «выращиванию» такой модели эволюционным путем из модели более простой системы (или совокупности моделей простых систем).

Основное содержание лекции В. Г. Редько как раз и посвящено изложению ряда основных концепций этого (второго) направления и основной вопрос, которым задается здесь автор – «... нельзя ли промоделировать эволюцию познавательных способностей животных и подойти к моделированию эволюционного возникновения интеллекта?»

Эволюционное направление как в создании моделей систем, так и самих систем представляется весьма перспективным и многообещающим. Оно открывает возможность заменить процесс создания модели сразу как целого процессом подготовки некоторой «затравки», на которую «напускаются» механизмы эволюционного развития. Такой путь может оказаться перспективным с точки зрения преодоления пресловутого «порога сложности», возникающего при создании систем.

Нельзя сказать, что данному направлению раньше совсем не уделялось внимания. Напротив, предьстория его довольно богата.

Известно, что первые вычислительные машины появились в связи с потребностями выполнения больших объемов вычислений, например, в баллистике, авиационной и ракетной технике, атомной технике и др.

Но уже с самого начала, примерно с середины 50-х годов, ЭВМ пытались использовать не только для проведения расчетов, но и для моделирования интеллектуальных систем. Уже тогда сформировались основные направления работ в этой области, существующие и в настоящее время.

Сразу же сформировалось два конкурирующих направления исследований, получивших наименование нисходящего и восходящего подходов.

Сторонники *нисходящего подхода* пытались воспроизводить (моделировать) достаточно сложные интеллектуальные операции и виды деятельности (игры — шашки, шахматы; доказательство теорем; поиск решений и т. п.). Работы в этом направлении привели, в частности, к появлению экспертных систем и, шире, систем, основанных на знаниях (см., например, [14–16]).

Исследователи, работавшие в рамках *восходящего подхода*, пытались идти от простых аналогов нервной системы примитивных существ с очень малым числом нейронов к сложнейшей нервной системе человека. Это направление привело, в частности, к появлению обширного класса моделей, именуемых искусственными нейронными сетями (см., например, [15, 17–20]; см. также «тему номера» в журнале «Компьютерра» [21]).

Но тогда же, практически одновременно с упомянутыми двумя, возник еще и третий подход к созданию интеллектуальных систем, называемый *эволюционным программированием*. Целью его было, как отмечал А. Г. Ивахненко в предисловии к русскому переводу книги [22] (оригинал ее был издан в 1966 году), «заменить процесс моделирования человека моделированием процесса его эволюции».

Ранняя история данного направления связана с работами Л. Фогеля и его сотрудников [22] по сообществам эволюционирующих конечных автоматов (в определенной степени развитием работ данного направления стали книги [23–25]), работами 60-х годов М. Л. Цетлина по моделям автоматов, адаптивно приспособляющихся к окружающей среде, а также работы 60–70-х годов М. М. Бонгарда по адаптивному поведе-

нию искусственных организмов на плоскости, разбитой на клетки². Наряду с этими работами следует также упомянуть активное обсуждение проблемы «Автоматы и жизнь», проходившее в 60-е годы с участием таких видных отечественных и зарубежных ученых, как Н. М. Амосов, И. И. Артоболевский, Н. Винер, В. М. Глушков, А. А. Дородницын, А. Г. Ивахненко, А. Е. Кобринский, А. Н. Колмогоров, У. Р. Эшби и др. Спектр мнений по данной проблеме был самый широкий — от безудержного оптимизма («Только автомат? Нет, мыслящее существо!») до полнейшего пессимизма («Машина не может жить, плесень не способна мыслить!»)³. Некоторые материалы дискуссии «Автоматы и жизнь» (статьи и доклады разных лет) содержатся в сборнике [30].

В тот же период времени начались исследования по такой сложнейшей проблеме, как *самовоспроизводящиеся искусственные системы*; одними из первых здесь были работы Дж. фон Неймана по самовоспроизводящимся автоматам [31].

Идейно близки к перечисленным работам и быстро развивающиеся сейчас направления — генетические алгоритмы, генетическое программирование, эволюционные вычисления [26–29].

Идеи и методы эволюционного моделирования активно использовались в возникшем в конце 80-х годов интереснейшем направлении, именуемом «Искусственная жизнь» (Artificial Life, или просто ALife), основные элементы которого также рассматриваются в лекции В. Г. Редько.

Обсуждение ряда элементов ALife есть в тематическом разделе («тема номера») журнала «Компьютерра» [32]. В одной из статей этого номера рассказывается об эволюционном процессе, реализованном аппаратно — на уровне электронных микросхем. Здесь же содержится целый ряд ссылок по теме ALife на ресурсы Интернет.

В лекции В. Г. Редько приводится целый ряд примеров модельной реализации идей ALife на программном или аппаратном уровне. Список этот, разумеется, не может претендовать на исчерпывающую полноту.

Хотелось бы обратить внимание читателей на один достаточно показательный пример, не вошедший в этот список.

²Ссылки на работы М. Л. Цетлина и М. М. Бонгарда можно найти в лекции В. Г. Редько и списке литературы к ней.

³Заголовки разделов в сборнике [30].

Речь идет о работах Марка Тилдена (Mark W. Tilden) из Лос-Аламосской национальной лаборатории США (Los Alamos National Laboratory) по направлению, которое он называет «Живые машины». Русский перевод (в сокращении) одной из статей М. Тилдена (совместно с Б. Хасслахером) был опубликован в журнале «Природа» [33].

М. Тилден с сотрудниками построили около сотни действующих образцов «биоморфных машин» («биоморфов», или «жизнеподобных»), главная задача которых — преодолевать незнакомые сложные ландшафты в поисках «пищи». Управляющее ядро этих машин представляет собой аналоговую нейросеть осцилляторного типа с очень небольшим числом нейронов в ней (как правило, менее десятка). Эти машины продемонстрировали очень высокую приспособляемость к меняющемуся рельефу местности.

Кроме статьи [33], информацию о работах М. Тилдена можно найти по адресам Интернет, перечисленным под номером [34] в списке литературы в конце предисловия. Среди этих ресурсов можно найти патент М. Тилдена на нейросеть, используемую им в биоморфных машинах.

Пересказывать содержание этой многоплановой и интересной лекции здесь нет никакой необходимости, укажем лишь ряд дополнительных источников, с помощью которых можно более глубоко проработать затронутые в лекции вопросы.

Различные аспекты зарождения и развития жизни на Земле, общие законы функционирования живого освещаются в книгах [35–43]. Принципы биологической эволюции, ее механизмы и модели рассматриваются в книгах [44–69]. Об эволюционном возникновении интеллекта можно прочитать в книгах [70, 71], об организации психики человека, происхождении, формировании и развитии высших потребностей познания — в книгах [72, 73]. Попытка мысленно представить эволюционное возникновение иерархии биологических систем управления сделана в прекрасной книге В. Ф. Турчина [13].

Общая схема адаптивного поведения, рассматриваемая В. Г. Редько, основывается на *функциональной системе*, разработанной советским нейрофизиологом П. К. Анохиным [74]. Функциональная система характеризует такие свойства схемы управления поведением, как целенаправленность, мотивацию для формирования цели, доминанту по А. А. Ухтомскому для мобилизации ресурсов животного на достижение приоритетной

цели (в том числе и мобилизацию интеллектуальных ресурсов — концентрацию внимания), а также ряд других.

Как показано в лекции **игумена Феофана (Крюкова)** «Модель внимания и памяти, основанная на принципе доминанты», важнейшая роль в этом перечне свойств принадлежит доминанте.

В лекции описаны *шесть основных проблем внимания*: проблема селективности стимулов (почему из нескольких одновременно предъявленных стимулов одни привлекают внимание и получают таким образом доступ к высшей сенсорной обработке, а другие не получают?); проблема долговременной памяти (каков механизм взаимодействия внимания и долговременной памяти?); проблема интеграции (как и где происходит реконструкция интегрального образа для стимулов, обрабатывавшихся параллельно?); проблема инерции (какова основа сохранения длительного внимания в случаях, когда стимулы предъявляются кратковременно?); проблема торможения и подавления помех (что происходит со стимулами, которым не оказывается внимания?); проблема Центрального Управителя (существует ли отдельная структура для координации процессов внимания и памяти или же здесь работают процессы самоорганизации новой коры?).

В лекции показано, что на основе принципа *доминанты А. А. Ухтомского* удастся найти ответы на все шесть перечисленных выше вопросов. Показано, что в основе учения о доминанте лежит физическое явление фазовых переходов, а также трактовка нейронной сети как системы связанных нелинейных осцилляторов. Приводятся доказательства того, что неравновесные фазовые переходы действительно происходят в мозге.

Нейрофизиологический материал, необходимый для понимания материала лекции игумена Феофана (Крюкова), можно почерпнуть, например, в общем курсе биологии [39], а также в книгах [75, 76]. Об исследованиях мозга говорится в книгах [77, 78]. О связях высшей нервной деятельности с психологией рассказывается в книге [79], здесь рассматривается и роль доминанты А. А. Ухтомского для понимания процессов высшей нервной деятельности.

На важность и перспективность использования в обработке информации *колебательных моделей*, включая и колебательные (осцилляторные) нейронные сети, автор данной лекции обращал внимание нейросетевого сообщества в ходе «Дискуссии о нейрокомпьютерах», состоявшейся

в рамках конференции «Нейроинформатика–99» (см. [80], с. 29–33, выступление В. И. Крюкова). Им утверждалось, в частности, что «... материальным носителем биологической памяти, если таковой существует, является не синаптическая система, а скорее целостная нервная ткань, как это предсказывается, исходя из принципа доминанты».

Того же мнения о значимости колебательных нейронных сетей придерживается и Р. М. Борисюк, который на той же самой дискуссии в ответе на вопросы о наиболее значительных достижениях в теории нейронных сетей и в понимании работы мозга, полученных в течение 90-х годов (см. [80], с. 13–16) отметил: «Одним из основных достижений можно считать создание теории осцилляторных нейронных сетей и демонстрацию того, что принцип синхронизации нейронной активности является важным принципом обработки информации в структурах мозга. Детальная разработка этой теории, имеющей глубокие корни в работах выдающегося физиолога А. А. Ухтомского, была начата в нашей стране В. И. Крюковым, а на Западе в работах К. фон-дер Мальсбурга (Christoph von der Malsburg). Дальнейшее развитие теории показало, что на основе принципа синхронизации можно решать задачи распознавания образов, запоминания информации, интеграции признаков объекта в цельный образ, формирования и управления фокусом внимания и др.».

Вопросам, связанным с осцилляторными нейронными сетями, постоянно уделялось внимание и на конференциях «Нейроинформатика» (см. [81–87]).

Здесь уместно будет отметить, что работы М. Гилдена по «живым машинам», упоминавшиеся выше, также основываются на использовании осцилляторных нейронных сетей.

В лекции игумена Феофана (Крюкова) в противовес традиционной коннекционистской архитектуре нейросетевых систем предлагается доминантная архитектура обработки информации в мозге. Кроме того, в ней ставится вопрос о неудовлетворительности существующей концептуальной базы (парадигмы⁴) нейроинформатики и делается вывод о необходимости смены этой парадигмы: «Почти все теоретики мозга ищут

⁴Концепция *парадигмы* в науке была сформулирована Томасом Куном в начале 60-х годов: «... Под парадигмами я подразумеваю признанные всеми научные достижения, которые в течение определенного времени дают научному сообществу модель постановки проблем и их решений (см. [88], с. 11)». Смена одной парадигмы на другую трактуется Т. Куном как *научная революция*.

не истину, а подтверждения хеббовской программы, приняв гипотезу за незабываемый факт. А истина лежит совсем в другом месте — в учении А. А. Ухтомского о доминанте».

В лекции В. Г. Редько отмечается, что удивительная эффективность функционирования живых организмов, гармоничность и согласованность работы органов («компонент») живых существ обеспечивается биологическими управляющими системами. Относительно этих систем возникает целый ряд вопросов, в том числе и такой важнейший, как пути возникновения интеллекта.

Другой аспект этой же проблемы рассматривался в лекции игумена Феофана (Крюкова), где показано, как на основе принципа доминанты А. А. Ухтомского можно адекватно моделировать такие, не менее важные, свойства живых существ, как память и внимание.

Но ведь управляющие системы встречаются не только в живых системах, но и в системах, создаваемых человеком, они являются важнейшим элементом, определяющим в значительной мере уровень возможностей той или иной системы.

Лекция **Ю. И. Нечаева** «Нейросетевые технологии в бортовых интеллектуальных системах реального времени» посвящена вопросам создания управляющих систем именно такого рода, а также систем анализа и интерпретации измерительной информации о поведении динамического объекта.

Эта лекция представляет собой один из примеров того междисциплинарного подхода, что упоминался выше как весьма желательный для Школы-семинара.

Предметом рассмотрения в лекции Ю. И. Нечаева являются *бортовые интеллектуальные системы*, обеспечивающие управление динамическим объектом, идентификацию экстремальных ситуаций, оценку параметров динамического объекта и внешней среды.

Эти задачи решаются с привлечением целого ряда новых подходов, в число которых входят: геометрическая интерпретация динамических моделей на основе теории хаотических систем и принципов самоорганизации; нейросетевые технологии; методы построения систем, основанных на знаниях; методы нечеткой (размытой) логики и нечетких систем; методы теории возможностей; эволюционное моделирование (генетические алгоритмы и т. п.); различные комбинированные технологии (нейро-

нечеткие, нейро-генетические и т. д.).

Целесообразность применения этой совокупности методов и средств, взаимодействие их между собой, последовательно демонстрируется на конкретных примерах задач для динамических объектов, таких как управление движением подводного аппарата, идентификация экстремальных ситуаций для плавучих динамических объектов, оценка динамических характеристик объекта и внешней среды, создание интеллектуальных нейросетевых датчиков.

В лекции Ю. И. Нечаева показано, что сложности, присущие традиционным подходам к созданию бортовых измерительных и управляющих систем, могут быть в значительной мере преодолены, если воспользоваться технологиями мягких вычислений (включая нейросети, нечеткие системы, генетические алгоритмы и т.п.). Рациональное использование этих технологий позволяет обеспечить измерительным и управляющим системам гибкость и способность адаптироваться к изменяющимся условиям внешней и внутренней среды динамического объекта.

Дополнительные сведения по затронутым в лекции Ю. И. Нечаева вопросам можно получить в следующих книгах: по нелинейной динамике, хаотическим системам, самоорганизации — в [90–103] (см. также журнал «Компьютерра» [89] с темой номера «Хаос»); по системам, основанным на знаниях — в [14–16]; по нечеткой логике, нечетким системам — в [104–113] (см. также журнал «Компьютерра» [114] с темой номера «Нечеткая логика»); теория возможностей — в [115–117]; по нейросетевым технологиям — в [15, 17–21]; по генетическим алгоритмам, эволюционному моделированию — в [22–28]; по смешанным технологиям мягких вычислений — в [28, 29]; по информационной обработке и управлению на основе технологий мягких вычислений — в [118–126]. Значительное число программ и публикаций по таким темам, как искусственные нейронные сети, нечеткие системы, генетические алгоритмы, а также их применения можно найти через портал научных вычислений, адрес которого содержится в позиции [127] списка литературы к предисловию.

В начале данного предисловия было сказано о двух диаметрально противоположных подходах к построению моделей систем — традиционном и эволюционном. Эти два подхода вовсе не исключают, а скорее дополняют друг друга.

Примерами, основанными на традиционном подходе являются и лекция игумена Феофана (Крюкова), и лекция Ю. И. Нечаева. А именно, в лекции игумена Феофана (Крюкова) используется подход, типичный для науки: изучение объекта, его особенностей и т. п. В лекции Ю. И. Нечаева наряду с данным вариантом широко применяется и подход типа «черный ящик», реализующийся в искусственных нейросетях (но здесь широко используются и обычные математические модели движения динамических объектов, записанные в виде систем дифференциальных уравнений).

Еще дальше идет **С. А. Шумский** в своей лекции «Байесова регуляризация обучения». В ней речь идет о системе типа «черный ящик», для которой есть только некие описывающие ее эмпирические данные.

Рассматривается задача *машинного обучения*, цель решения которой — выявление закономерностей в эмпирических данных.

Как отмечает С. А. Шумский: «В противоположность математическому моделированию, изучающему следствия из известных законов, машинное обучение стремится воссоздать причины, наблюдая порожденные ими следствия — эмпирические данные».

Отсюда следует, что рассматриваемая задача относится к классу обратных задач, которые в общем случае являются плохо определенными или некорректными. Вследствие повышенной чувствительности некоторых из решений таких задач к данным, для нахождения устойчивых решений приходится применять процедуру так называемой *регуляризации*, которая приводит к ограничению класса допустимых решений.

При этом надо, с одной стороны, не потерять чувствительность к данным, чтобы оставалась возможность объяснения всех имеющихся фактов, а с другой — не переусложнить модель так, что она станет реагировать не только на требуемую закономерность, но и на случайные события в обучающей выборке. Или, как замечает С. А. Шумский, «пройти между Сциллой переупрощения и Харибдой переусложнения».

В лекции С. А. Шумского подробно рассматривается один из наиболее эффективных способов решения этой проблемы — *байесова регуляризация*, основанная не на оценке ожидаемой ошибки, как это принято в традиционных методах математической статистики, а на выборе наиболее правдоподобной (с учетом имеющихся данных) модели.

Иллюстрируется данный подход на задачах оценки параметров, интерполяции функций и кластеризации; одна из практически интересных задач здесь — определение рационального числа элементов в скрытом слое искусственной нейросети.

По теме лекции С. А. Шумского можно рекомендовать следующую дополнительную литературу: некорректные задачи и регуляризация — [128, 129]; традиционная математическая статистика — [130–133]; байесовский подход [134] (здесь управление трактуется как процесс обучения, подробно рассматривается теорема Байеса и ее применение).

Есть задачи, они особенно часто встречаются в ряде областей численного анализа и оптимизации, для решения которых есть, казалось бы, все необходимое — теоретическая база, алгоритмы, даже компьютерные программы. Но тем не менее, решение почти каждой такой задачи представляет собой «штучную работу», в значительной степени опирающуюся на ранее полученный опыт решения аналогичных задач.

Пример решения именно такого рода задачи демонстрируется в лекции **С. А. Терехова** «Нейросетевые аппроксимации плотности распределения вероятности в задачах информационного моделирования». Здесь, как и в лекции С. А. Шумского, изучается проблема построения эмпирических моделей на основе числовых данных. При этом рассматривается обучение без учителя на примерах, в условиях неопределенности в характере модели.

Эта задача аппроксимации плотности распределения вероятности, описывающего множество многомерных экспериментальных данных.

К такой постановке сводятся многие важные прикладные задачи: задача распознавания образов, проблема заполнения пропусков в таблицах данных, вероятностный прогноз и т. п.

В лекции С. А. Терехова дается сопоставление нескольких подходов к аппроксимации плотности распределения, в числе которых параметрические методы аппроксимации и методы непараметрической статистики. Рассматриваются также *байесовы сети*, представляющие собой одно из наиболее важных достижений последнего десятилетия в области искусственного интеллекта.

В качестве еще одного подхода предлагается заменить задачу аппроксимации эквивалентной ей задачей классификации. Здесь опять возникает проблема регуляризации, о которой, хотя и в несколько ином плане

говорилось в лекции С. А. Шумского.

Дополнительную информацию по затронутым в лекции С. А. Терехова вопросам можно получить из книг [130–133] (математическая статистика), а также [15, 17–20] (искусственные нейросети и их применений). Популярное изложение материала о байесовых сетях, а также пакет расширения (Bayes Net Toolbox) для Matlab содержится по адресам, указанным в позиции [135] списка литературы к предисловию.

Наряду с лекцией Ю. И. Нечаева, лекция **Н. Г. Макаренко** «Фракталы, аттракторы, нейронные сети и все такое» представляет собой яркий образец междисциплинарного подхода. Ценность его — в демонстрации глубоких взаимосвязей между различными областями науки, в том числе и такими, что возникли и развивались вначале совершенно независимо друг от друга.

Изложение в лекции Н. Г. Макаренко начинается с изложения концепции дробной размерности и фрактала. Затем вводятся системы итеративных функций в пространстве компактов.

Изучение предельной динамики систем итеративных функций ведет к теории дискретных динамических систем. Далее показано, что процесс аппроксимации аттрактора системы итеративных функций эквивалентен работе бинарной нейронной сети.

Как замечает Н. Г. Макаренко: «Таким образом, термины “фрактал” в геометрии и “странный аттрактор” в динамике оказываются синонимами, а систему итеративных функций (СИФ) можно рассматривать как рекуррентную асимметричную нейросеть. С другой стороны, Фернандо Ниньо в 2000 году установил, что случайная итеративная нейронная сеть (гипернейрон) топологически эквивалентна динамической системе с заданным аттрактором. Круг замкнулся, образовав Единый Контекст, объединяющий *фракталы, СИФ, аттракторы и нейронные сети*. Цель лекции — показать взаимную связь этих предметов, потому что *единое лучше, чем всё вместе, но по-отдельности*».

Дополнительные сведения по фракталам можно найти в книгах [136, 137], по динамическим системам — в книгах [138–141].

* * *

Как это уже было в [1], помимо традиционного списка литературы каждая из лекций сопровождается списком интернетовских адресов, где можно найти информацию по затронутому в лекции кругу вопросов, включая и

дополнительные ссылки, позволяющие расширить, при необходимости, зону поиска.

Вызвано это тем, что ссылки в списке литературы на традиционные «письменные» источники обычно трудно «разрешимы», материалы, на которые они указывают, в современной ситуации мало доступны, особенно вне столиц. В то же время, в Интернете можно найти сейчас информацию практически по любой тематике, часто — те же статьи, которые включены в список литературы — надо только знать, где их искать. Включение в лекции ссылок на интернетовские ресурсы дает подобного рода сведения тем, кто заинтересуется соответствующей тематикой и захочет более подробно разобраться в ней. Учитывая все расширяющиеся возможности доступа к Интернету, это обеспечивает доступ к разнообразным данным практически всем желающим.

Перечень проблем нейроинформатики 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.

В дальнейшем предполагается расширение данного списка за счет рассмотрения насущных проблем собственно нейроинформатики, проблем «пограничного» характера, особенно относящихся к взаимодействию нейросетевой парадигмы с другими парадигмами, развиваемыми в рамках концепции мягких вычислений, проблем использования методов и средств нейроинформатики для решения различных классов прикладных задач. Не будут забыты и взаимодействия нейроинформатики 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 нейроинформатике*: По материалам Школы-семинара «Современные проблемы нейроинформатики» // III Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2001», 23–26 января 2001 г. / Отв. ред. Ю. В. Тюменцев. — М.: Изд-во МИФИ, 2001. — 212 с.

2. *Адамар Ж.* Исследование психологии процесса изобретения в области математики: Пер. с франц. – М.: Сов. радио, 1970. – 152 с.
3. *Блехман И. И., Мышкис А. Д., Пановко Я. Г.* Механика и прикладная математика: Логика и особенности приложений математики. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Наука, 1990. – 360 с.
4. *Вейль Г.* Математическое мышление: Сб. статей: Пер. с англ. и нем. – М.: Наука, 1989. – 400 с.
5. *Кац М., Улам С.* Математика и логика: Ретроспектива и перспективы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1971. – 251 с. (Серия «Современная математика: Популярная серия»)
6. *Клайн М.* Математика: Утрата определенности: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 434 с.
7. *Курант Р., Роббинс Г.* Что такое математика? Элементарный очерк идей и методов: Пер. с англ., 3-е изд. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 592 с.
8. *Пойа Д.* Математическое открытие: Решение задач – основные понятия, изучение и преподавание: Пер. с англ. – М.: Наука, 1970. – 452 с.
9. *Пойа Д.* Математика и правдоподобные рассуждения: Пер. с англ. 2-е изд., испр. – М.: Наука, 1975. – 464 с.
10. *Калашиников В. В.* Сложные системы и методы их анализа. – М.: Знание, 1980. – 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Математика, кибернетика», вып. 9, 1980)
11. *Калашиников В. В., Немчинов Б. В., Симонов В. М.* Нить Ариадны в лабиринте моделирования. – М.: Наука, 1993. – 192 с. (Серия «Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения»)
12. *Шрейдер Ю. А., Шаров А. А.* Системы и модели. – М.: Радио и связь, 1982. – 152 с. (Серия «Кибернетика»)
13. *Турчин В. Ф.* Феномен науки: Кибернетический подход к эволюции. 2-е изд. – М.: ЭТС, 2000. – 368 с.
14. *Нильсон Н.* Принципы искусственного интеллекта: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1985. – 376 с.
15. Компьютер обретает разум: Пер. с англ. Под ред. *В. Л. Стефанюка.* – М.: Мир, 1990. – 240 с.
16. Будущее искусственного интеллекта / Ред.-сост. *К. Е. Левитин* и *Д. А. Поспелов.* – М.: Наука, 1991. – 302 с.

17. Горбань А. Н., Россиев Д. А. Нейронные сети на персональном компьютере. – Новосибирск: Наука, 1996. – 276 с.
18. *Нейрокомпьютер как основа мыслящих ЭВМ*: Сб. науч. статей / Отв. ред. А. А. Фролов и Г. И. Шульгина. – М.: Наука, 1993. – 239 с.
19. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика: Пер. с англ. – М.: Мир, 1992. – 240 с.
20. Ежов А. А., Шумский С. А. Нейрокомпьютинг и его приложения в экономике и бизнесе. – М.: МИФИ, 1998. – 222 с.
21. *Нейросети* (тема номера, 4 статьи) // Компьютерра. – № 4 (333), 8 февраля 2000 г. – с. 19–31.
URL: <http://www.computerra.ru/offline/2000/333/>
22. Фогель Л., Оуэнс А., Уолли М. Искусственный интеллект и эволюционное моделирование: Пер. с англ. – М.: Наука, 1969. – 231 с.
23. Букатова И. Л. Эволюционное моделирование и его приложения. – М.: Наука, 1979. – 231 с.
24. Букатова И. Л. Эволюционное моделирование: Идеи, основы теории, приложения. – М.: Знание, 1981. – 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Математика, кибернетика», вып. 10, 1981)
25. Букатова И. Л., Михасев Ю. И., Шаров А. М. Эвоинформатика: Теория и практика эволюционного моделирования. – М.: Наука, 1991. – 206 с.
26. Special Issue “*Evolutionary Computations*” / Ed.: David B. Fogel and Lawrence J. Fogel // IEEE Transactions on Neural Networks. – January 1994. – v. 5, No. 1. – pp. 1–147.
27. Special Issue “*Genetic Algorithms*” / Eds.: Anup Kumar and Yash P. Gupta // Computers and Operations Research. – January 1995. – v. 22, No. 1. – pp. 3–157.
28. Special Issue “*Artificial Intelligence, Evolutionary Programming and Operations Research*” / Eds.: James P. Ignizio and Laura I. Burke // Computers and Operations Research. – June 1996. – v. 23, No. 6. – pp. 515–622.
29. Special Issue “*Neuro-Fuzzy Techniques and Applications*” Eds.: George Page and Barry Gomm // Fuzzy Sets and Systems: Intern. J. of Soft Computing and Intelligence. – Apr. 8, 1996. – v. 79, No. 1. – pp. 1–140.
30. Кибернетика: Итоги развития / Ред.-сост.: В. Д. Пекелис. – М.: Наука, 1979. – 200 с. (Серия «Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения»)
31. фон Нейман Дж. Теория самовоспроизводящихся автоматов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1971. – 382 с.

32. *Искусственная жизнь* (тема номера, 5 статей) // Компьютерра. – № 11 (289), 16 марта 1999 г. – с. 17–31.
URL: <http://www.computerra.ru/offline/1999/289/>
33. *Хасслахер Б., Тилден М.* Живые машины // Природа. – 1995. – № 4. – с. 32–46. Это сокращенный русский вариант статьи: *B. Haszlacher and M. W. Tilden.* Living machines // Robotics and Autonomous Systems. – 1995. – v. 15. – pp. 143–169.
34. Ресурсы Интернет, касающиеся работ М. Тилдена:
- информация о действующих образцах биоморфных машин:
URL: <http://biosat.lanl.gov/>
URL: <http://cism.jpl.nasa.gov/biocomputing/workshop>
URL: <http://citeseer.nj.nec.com/6446.html>
URL: http://www.beam-online.com/Robots/Galleria_other/tilden.html
URL: <http://www.geocities.com/SouthBeach/6897/beam2.html>
 - патент на нейросеть, применяемую в биоморфных машинах:
URL: <http://microcore.solarbotics.net/patent.html>
 - популярное объяснение ее устройства:
URL: http://bftgu.solarbotics.net/starting_nvnet.html
 - нейроконтроллера на ее основе:
URL: http://biosat.lanl.gov/pubs/SPIE/ABSTRACT_SPIE_19981.html
 - а также пример применения в шагающем роботе-жуке:
URL: <http://tnewton.solarbotics.net/robot2.html>
URL: <http://www.iguana-robotics.com/RobotUniverse/BiomorphicRobots.htm>
 - Здесь – большое интервью с М. Тилденом:
URL: <http://fargo.itp.tsoa.nyu.edu/~kevin/tilden/>
35. *Ичас М.* О природе живого: Механизмы и смысл: Пер. с англ. – М.: Мир, 1994. – 496 с.
36. *Медников Б. М.* Аксиомы биологии: *Biologia axiomatica.* – М.: Знание, 1982. – 136 с. (Серия «Наука и прогресс»)
37. *Рьюз М.* Философия биологии: Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1977. – 319 с.
38. *Чернов Г. Н.* Законы теоретической биологии. – М.: Знание, 1990. – 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Биология», вып. 1, 1990)
39. *Вилли К., Детье В.* Биология: Биологические процессы и законы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1975. – 822 с.
40. *Кемп П., Армс К.* Введение в биологию: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 671 с.
41. *Сингер М., Берг П.* Гены и геномы. В двух томах. Том 1: Пер. с англ. – М.: Мир, 1998. – 373 с.

42. *Сингер М., Берг П.* Гены и геномы. В двух томах. Том 2: Пер. с англ. – М.: Мир, 1998. – 391 с.
43. *Франк-Каменецкий М. Д.* Самая главная молекула. – М.: Наука, 1983. – 160 с. (Библиотечка «Квант». Вып. 25)
44. *Антонов А. С.* Генетические основы эволюционного процесса. – М.: Знание, 1983. – 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Биология», вып. 4, 1983)
45. *Кайданов Л. З.* Генетика популяций. – М.: Высшая школа, 1996. – 320 с.
46. *Кейлоу П.* Принципы эволюции: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 128 с.
47. *Арена биологической эволюции: Сборник.* – М.: Знание, 1986. – 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Биология», вып. 6, 1986)
48. *Бердников В. А.* Эволюция и прогресс. – М.: Наука, 1991. – 192 с. (Серия «Человек и окружающая среда»)
49. *Борзенков В. Г.* Философские основания теории эволюции. – М.: Знание, 1987. – 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Биология», вып. 1, 1987)
50. *Георгиевский А. Б., Попов Е. Б.* «Белые пятна» эволюции. – М.: Просвещение, 1987. – 96 с. (Серия «Мир знаний»)
51. *Голубев В. С.* Эволюция: От геохимических систем до ноосферы. – М.: Наука, 1992. – 110 с. (Серия «Человек и окружающая среда»)
52. *Горбань А. Н., Хлебопрос Р. Г.* Демон Дарвина: Идея оптимальности и естественный отбор. – М.: Наука, 1988. – 208 с. (Серия «Проблемы науки и технического прогресса»)
53. *Грант В.* Эволюция организмов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 407 с.
54. *Грант В.* Эволюционный процесс: Критический обзор эволюционной теории: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 488 с.
55. *Докинз Р.* Эгоистичный ген: Пер. с англ. – М.: Мир, 1993. – 318 с.
56. *Камишилов М. М.* Эволюция биосферы. 2-е изд., доп. – М.: Наука, 1979. – 256 с. (Серия «Человек и окружающая среда»)
57. *Лима-де-Фариа А.* Эволюция без отбора: Автоэволюция формы и функции: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 455 с.
58. *Моран П.* Статистические процессы эволюционной теории: Пер. с англ. – М.: Наука, 1973. – 288 с.
59. *Назаров В. И.* Финализм в современном эволюционном учении. – М.: Наука, 1984. – 284 с.

60. *Нейфах А. А., Лозовская Е. Р.* Гены и развитие организма. – М.: Наука, 1984. – 188 с. (Серия «От молекул до организма»)
61. *Пианка Э.* Эволюционная экология: Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – 400 с.
62. Проблемы теории молекулярной эволюции / *В. А. Ратнер, А. А. Жарких, Н. А. Колчанов, С. Н. Родин, В. В. Соловьев, В. В. Шамин.* Отв. ред. *Р. И. Салганик.* – Новосибирск: Наука, 1985. – 263 с.
63. *Северцов А. С.* Основы теории эволюции. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 320 с.
64. *Скворцов А. К.* Микроэволюция и пути видообразования. – М.: Знание, 1982. – 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Биология», вып. 9, 1982)
65. *Солбриг О., Солбриг Д.* Популяционная биология и эволюция: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 488 с.
66. *Татаринов Л. П.* Палеонтология и эволюционное учение. – М.: Знание, 1985. – 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Биология», вып. 9, 1985)
67. *Татаринов Л. П.* Эволюция и креационизм. – М.: Знание, 1988. – 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Биология», вып. 8, 1988)
68. Эволюция: Сборник: Пер. с англ. под ред. *М. В. Миной.* – М.: Мир, 1981. – 265 с.
69. *Яблоков А. В., Юсуфов А. Г.* Эволюционное учение: Дарвинизм. 4-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 1998. – 336 с.
70. *Кликс Ф.* Пробуждающееся мышление: У истоков человеческого интеллекта. Пер. с нем. – М.: Прогресс, 1983. – 302 с.
71. *Сергеев Б. Ф.* Ступени эволюции интеллекта. – Л.: Наука, 1986. – 192 с. (Серия «От молекулы до организма»)
72. *Веккер Л. М.* Психика и реальность: Единая теория психических процессов. – М.: Смысл, 2000. – 685 с.
73. *Симонов П. В., Еришов П. М., Вяземский Ю. П.* Происхождение духовности – М.: Наука, 1989. – 352 с. (Серия «Общество и личность»)
74. *Анохин П. К.* Системные механизмы высшей нервной деятельности. – М.: Наука, 1979. – 453 с.
75. *Алейникова Т. В., Думбай В. Н., Кураев Г. А., Фельдман Г. Л.* Физиология центральной нервной системы. 2-е изд., доп. и испр. – Ростов н/Д.: Феникс, 2000. – 384 с.
76. *Данилова Н. Н., Крылова А. Л.* Физиология высшей нервной деятельности. – Ростов н/Д.: Феникс, 1999. – 400 с.

77. Блум Ф., Лейзерсон А., Хофстедтер Л. Мозг, разум и поведение: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 248 с.
78. Мозг: Сборник: Пер. с англ. под ред. и с предисл. П. В. Симонова. – М.: Мир, 1982. – 280 с.
79. Симонов П.В. Мотивированный мозг: Высшая нервная деятельность и естественнонаучные основы общей психологии. – М.: Наука, 1987. – 269 с.
80. Дискуссия о нейрокомпьютерах // Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-99», 19–21 января 1999 г. / Отв. ред. А. А. Фролов и А. А. Ежов. – М.: Изд-во МИФИ, 2000. – 224 с.
81. Борисяк Р.М., Виноградова О.С., Денэм М., Казанович Я.Б., Хоппенштедт Ф. Модель детекции новизны на основе частотного кодирования информации // 2-я Всероссийская научно-техн. конференция «Нейроинформатика-2000», 19–21 января 2000 г. – М.: Изд-во МИФИ, 2000. – с. 145–156.
82. Борисяк Р.М., Виноградова О.С., Денэм М., Казанович Я.Б., Хоппенштедт Ф. Модель детекции новизны на основе осцилляторной нейронной сети с разреженной памятью // III Всероссийская научно-техн. конференция «Нейроинформатика-2001», 24–26 января 2001 г. – М.: Изд-во МИФИ, 2001. – с. 183–190.
83. Кузьмина М.Г., Манькин Э.А., Сурина И.И. Оценка памяти в замкнутых однородных цепочках осцилляторов // 2-я Всероссийская научно-техн. конференция «Нейроинформатика-2000», 19–21 января 2000 г. – М.: Изд-во МИФИ, 2000. – с. 94–99.
84. Кузьмина М.Г., Манькин Э.А., Сурина И.И. Модель осцилляторной сети, имитирующая основанное на синхронизации функционирование зрительной коры // III Всероссийская научно-техн. конференция «Нейроинформатика-2001», 24–26 января 2001 г. – М.: Изд-во МИФИ, 2001. – с. 191–200.
85. Лагутина Н.С. Модель импульсного нейрона. Колебания в простейшей сети из трех нейронов. Самоорганизация полносвязной сети импульсных нейронов // III Всероссийская научно-техн. конференция «Нейроинформатика-2001», 24–26 января 2001 г. – М.: Изд-во МИФИ, 2001. – с. 200–205.
86. Мирошников С.А. Интеграция импульсных и осцилляторных сетей в нейropsychологической системе // III Всероссийская научно-техн. конференция «Нейроинформатика-2001», 24–26 января 2001 г. – М.: Изд-во МИФИ, 2001. – с. 205–213.
87. Сухов А.Г., Бездудная Т.Г., Медведев Д.С. Ритмическая активность как фактор самоорганизации и пластичности нейронной сети // III Всероссийская научно-техн. конференция «Нейроинформатика-2001», 24–26 января 2001 г. – М.: Изд-во МИФИ, 2001. – с. 213–220.

88. *Кун Т.* Структура научных революций. 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1977. – 300 с. (Серия «Логика и методология науки»)
89. *Хаос* (тема номера, 3 статьи) // Компьютерра. – № 47 (275), 1 декабря 1998 г. – с. 20–35.
URL: <http://www.computerra.ru/offline/1998/275/>
90. *Баблюяц А.* Молекулы, динамика и жизнь: Введение в самоорганизацию материи: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 375 с.
91. *Заславский Г. М., Сагдеев Р. З.* Введение в нелинейную физику: От маятника до турбулентности и хаоса. – М.: Наука, 1988. – 368 с.
92. *Лоскутов А. Ю., Михайлов А. С.* Введение в синергетику. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
93. *Малинецкий Г. Г.* Хаос. Структуры. Вычислительный эксперимент: Введение в нелинейную динамику. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 256 с.
94. *Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б.* Современные проблемы нелинейной динамики. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 336 с.
95. *Николис Дж., Пригожин И.* Познание сложного. Введение: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 344 с.
96. *Табор М.* Хаос и интегрируемость в нелинейной динамике: Пер. с англ. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 320 с.
97. *Хакен Г.* Синергетика: Пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 404 с.
98. *Хакен Г.* Синергетика. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах: Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 423 с.
99. *Хакен Г.* Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 240 с.
100. *Шустер Г.* Детерминированный хаос. Введение: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 240 с.
101. *Эбелинг В., Энгель А., Файстель Р.* Физика процессов эволюции. Синергетический подход: Пер. с нем. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 328 с.
102. *Эткинс П.* Порядок и беспорядок в природе: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 224 с.
103. *Эфрос А. Л.* Физика и геометрия беспорядка. – М.: Наука, 1982. – 176 с. (Библиотечка «Квант», вып. 19)
104. *Борисов А. Н., Алексеев А. В., Меркурьева Г. В., Слядзь Н. Н., Глушков В. И.* Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.

105. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 165 с. (Серия «Новое в зарубежной науке: Математика», вып.3 / Ред. серии *А. Н. Колмогоров и С. П. Новиков*)
106. Классификация и кластер / Под ред. *Дж. Вэн Райзина*: Пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 389 с.
107. *Кофман А.* Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с франц. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
108. *Кузьмин В. Б.* Построение групповых решений в пространствах четких и нечетких бинарных отношений. – М.: Наука, 1982. – 168 с. (Серия «Теория и методы системного анализа»)
109. *Малышев Н. Г., Бернштейн Л. С., Боженьюк А. В.* Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 136 с.
110. *Мелихов А. Н., Бернштейн Л. С., Коровин С. Я.* Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
111. *Орлов А. И.* Задачи оптимизации и нечеткие переменные. – М.: Знание, 1980. – 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Математика, кибернетика». Вып.8, 1980)
112. *Орловский С. А.* Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. – М.: Наука, 1981. – 208 с. (Серия «Оптимизация и исследование операций»)
113. Прикладные нечеткие системы / Под ред. *Т. Тэрано, К. Асаи и М. Сугэно*: Пер. с япон. – М.: Мир, 1993. – 368 с.
114. *Нечеткая логика* (тема номера, 4 статьи) // Компьютерра. – №38 (415), 9 октября 2001 г. – с. 18–31.
URL: <http://www.computerra.ru/offline/2001/415/>
115. *Дюбуа Д., Прад А.* Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике: Пер. с франц. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
116. Нечеткие множества и теория возможностей: Последние достижения / Под ред. *Р. Р. Ягера*: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.
117. *Пытьев Ю. П.* Возможность: Элементы теории и применения. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 192 с.
118. Special Issue “Fuzzy Information Processing” / Ed.: *Dan Ralescu* // Fuzzy Sets and Systems: Intern. J. of Soft Computing and Intelligence. – Feb. 10, 1995. – v. 69, No. 3. – pp. 239–354.

119. Special Issue “Fuzzy Signal Processing” / Eds.: Anca L. Ralescu and James G. Shanahan // Fuzzy Sets and Systems: Intern. J. of Soft Computing and Intelligence. – Jan. 15, 1996. – v. 77, No. 1. – pp. 1–116.
120. Special Issue “Fuzzy Multiple Criteria Decision Making” / Eds.: C. Carlsson and R. Fullér // Fuzzy Sets and Systems: Intern. J. of Soft Computing and Intelligence. – March 11, 1996. – v. 78, No. 2. – pp. 139–241.
121. Special Issue “Fuzzy Modelling” / Ed.: J. M. Barone // Fuzzy Sets and Systems: Intern. J. of Soft Computing and Intelligence. – May 27, 1996. – v. 80, No. 1. – pp. 1–120.
122. Special Issue “Fuzzy Optimization” / Ed.: J.-L. Verdegay // Fuzzy Sets and Systems: Intern. J. of Soft Computing and Intelligence. – July 8, 1996. – v. 81, No. 1. – pp. 1–183.
123. Special Issue “Fuzzy Methodology in System Failure Engineering” / Ed.: Kai-Yuan Cai // Fuzzy Sets and Systems: Intern. J. of Soft Computing and Intelligence. – Oct. 8, 1996. – v. 83, No. 2. – pp. 111–290.
124. Special Issue “Analytical and Structural Considerations in Fuzzy Modelling” / Ed.: A. Grauel // Fuzzy Sets and Systems: Intern. J. of Soft Computing and Intelligence. – Jan. 16, 1999. – v. 101, No. 2. – pp. 205–313.
125. Special Issue “Soft Computing for Pattern Recognition” / Ed.: Nikhil R. Pal // Fuzzy Sets and Systems: Intern. J. of Soft Computing and Intelligence. – Apr. 16, 1999. – v. 103, No. 2. – pp. 197–367.
126. Special Issue “Fuzzy Modeling and Dynamics” / Eds.: Horia-Nicolai Teodorescu, Abraham Kandel, Moti Schneider // Fuzzy Sets and Systems: Intern. J. of Soft Computing and Intelligence. – Aug. 16, 1999. – v. 106, No. 1. – pp. 1–97.
127. Портал научных вычислений (Matlab, Fortran, C++ и т.п.)
URL: <http://www.mathtools.net/>
128. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. 3-е изд., испр. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
129. Тихонов А.Н., Гончарский А.В., Степанов В.В., Ягода А.Г. Численные методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1990. – 232 с.
130. Айвазян С. А., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. Справочное издание. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
131. Айвазян С. А., Бухитабер В. М., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. Справочное издание. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.

132. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 540 с.
133. Боровков А. А. Математическая статистика: Оценка параметров, проверка гипотез. – М.: Наука, 1984. – 472 с.
134. Моррис У. Т. Наука об управлении: Байесовский подход. Пер. с англ. – М.: Мир, 1971. – 304 с.
135. Bayes net toolbox for Matlab:
URL: <http://www.cs.berkeley.edu/~murphyk/Bayes/bnt.html>
A Brief Introduction to Graphical Models and Bayesian Networks:
URL: <http://www.cs.berkeley.edu/~murphyk/Bayes/bayes.html>
136. Пайтген Х.-О., Рихтер П. Х. Красота фракталов. Образы комплексных динамических систем: Пер. с англ. – М.: Мир, 1993. – 176 с.
137. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая: Пер. с англ. – М.: Мир, 1993. – 176 с.
138. Боуэн Р. Методы символической динамики. Сб. статей: Пер. с англ. под ред. В.М.Алексеева. – М.: Мир, 1979. – 245 с. (Серия «Новое в зарубежной науке: Математика», вып. 13 / Ред. серии А.Н.Колмогоров и С.П.Новиков)
139. Каток А. Б., Хассельблат Б. Введение в современную теорию динамических систем: Пер. с англ. – М.: Факториал, 1999. – 768 с.
140. Палис Ж., Ду Мелу В. Геометрическая теория динамических систем. Введение: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 301 с. (Серия «Современная математика: Вводные курсы»)
141. Теория систем: Математические методы и моделирование. Сб. статей: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 384 с. (Серия «Новое в зарубежной науке: Математика», вып. 44 / Ред. серии А. Н. Колмогоров и С. П. Новиков)

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

E-mail: tium@mai.ru