

Предисловие

В этой книге содержатся тексты лекций, прочитанных на Школе-семинаре «Современные проблемы нейроинформатики», проходившей 23–26 января 2001 г. в МИФИ в рамках III Всероссийской конференции «Нейроинформатика – 2001».

Целью Школы было дать представление слушателям о современном состоянии и перспективах развития важнейших направлений, связанных с теорией и практикой нейроинформатики, ее применениями, некоторым смежными вопросами. 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 какой-то 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, ее стыках с другими научно-техническими областями. Картина эта формировалась применительно к серии вопросов, принадлежащих на данный момент к числу наиболее актуальных и активно изучаемых и разрабатываемых в области нейроинформатики и ее применений.

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.

Перечень освещаемых в лекциях тем связан с проблемами нейроинформатики и ее применений, взаимодействием с другими научно-техническими областями.

Одна из таких областей, которой нейроинформатика в значительной степени обязана своим рождением – это нейрофизиология. И открываю-

шая данный сборник лекция **А.А.Фролова** и **Р.А.Прокопенко** «Адаптивное нейросетевое управление антропоморфными роботами и манипуляторами» тематически относится именно к области на стыке нейроинформатики и нейрофизиологии.

Как отмечается в лекции, «в широком смысле антропоморфные роботы и манипуляторы – это устройства, которые имитируют человека своими исполнительными органами и системой управления». Применительно к устройствам данного класса основные проблемы относятся к таким трем областям, как их механическая конструкция, силовые приводы и центральное управление. В свою очередь, в проблеме управления можно выделить задачу управления неподвижной позой и задачу управления целенаправленным движением, например, движением руки к неподвижной или движущейся цели в выбранной системе координат. Основное содержание лекции А.А.Фролова и Р.А.Прокопенко связано именно с проблемой центрального управления движением, рассматриваемой на примере движения руки, для которой вначале дается описание ее биомеханической конструкции, а также нервно-мышечного аппарата, выполняющего функции силового привода.

В лекции показывается, как можно построить модель двигательного обучения и управления, основываясь на нейрофизиологических данных о взаимодействии мозжечка и сенсомоторной области новой коры.

Разумеется, взаимосвязи нейрофизиологии с нейроинформатикой отнюдь не исчерпываются этой темой. Ряд моделей функционального уровня, основанных на оригинальных отечественных исследованиях в области фундаментальных механизмов мозга, призванных привлечь внимание специалистов в области нейроинформатики, содержится в книге [1]. На материале нейрофизиологического характера основывается и книга [5]. Следует отметить также серию сборников «Интеллектуальные процессы и их моделирование» [2–4], в значительной степени посвященных нейрофизиологическим проблемам, в том числе и задачам, родственными рассматриваемым в лекции А.А.Фролова и Р.А.Прокопенко.

Робототехника – одна из «вечных» для нейроинформатики областей применения. Причиной этому – сложность данной проблемной области, что стимулирует постоянный поиск новых идей, методов и средств, позволяющих решать возникающие здесь проблемы.

В настоящее время значительные усилия исследователей в области робототехники направлены на построение мобильных роботов, которые могли бы функционировать в динамической среде с неполной информа-

цией о ее характеристиках. Такие роботы должны обладать высоким уровнем автономности, достигаемой за счет их интеллектуализации путем наделения их способностью обучаться.

Одна из интереснейших и сложнейших задач в данной области – создание робота с визуальными и другими видами сенсоров, оснащенного средствами перемещения в пространстве, способного действовать в реальной, не модельной внешней среде. Главная задача здесь – обеспечить целенаправленное поведение системы во внешней среде с использованием зрения, и эта задача не решена удовлетворительно до сих пор, несмотря на почти сорокалетние усилия отечественных и зарубежных исследователей. Наиболее заметные препятствия, которые пока не удается одолеть – это проблема реального времени в реальной среде, диктующая необходимость организации активного восприятия, чтобы реализовать управление поведением робота, адекватное текущей ситуации, а также проблема представления самой этой реальной среды, применительно к задаче управления мобильным роботом представляющей собой произвольный, плохо прогнозируемый рельеф, относительно которого, по его внешнему виду, надо уметь оценивать, проходимы или нет обнаруженные препятствия, а если проходимы, то в какой степени. Еще одна проблема из этого ряда – кинематическая избыточность, характерная для роботов. Как отмечает **А.И.Самарин**, эта избыточность – следствие требования, чтобы «робот мог пролезть куда угодно, мог изогнуться как угодно», и для достижения этой цели робот должен состоять из большого количества звеньев и сочленений. При такой избыточности возникает неоднозначность соответствия прямой и обратной кинематической задач. И если в процессе управления роботом прямая задача (по значениям суставных углов манипулятора определить положение и ориентацию схвата в пространстве) имеет однозначное решение, то для обратной задачи (по положению и ориентации в пространстве найти значения суставных углов) характерна многоальтернативность, сильно осложняющая ее решение.

Какие задачи возникают при изучении двух первых из перечисленных выше проблем, подходы к их решению и составляют предмет лекции А.И.Самарина: идеи и модели целенаправленного зрительного восприятия, организация сенсомоторного поведения робота. Рассмотрено, как для автономных роботов решать задачу получения информации о среде, в которой они функционируют, что дает возможность адекватно реагировать на изменения в этой среде, управлять поведением робота. Показано, каким образом можно создавать системы зрительного и силового воспри-

ятия роботов, а также как можно использовать получаемую от этих систем информацию при решении проблемы управления роботом.

Относительно же третьей проблемы в лекции А.И.Самарина отмечается, что «нейросетевое решение задач управления многозвенником с внешним целеуказанием наиболее полно представлены в работах А.А.Фролова с коллегами» (см., в частности, лекцию А.А.Фролова и Р.А.Прокопенко в данном сборнике).

Некоторую дополнительную информацию по теме «нейросети и роботы», помимо источников, указанных в списке литературы к лекциям А.А.Фролова и Р.А.Прокопенко, а также А.И.Самарина, можно получить из обзорной статьи [6].

Помимо нейрофизиологии и робототехники, еще одна из важнейших областей, близко соприкасающихся с нейроинформатикой – это синергетика. «Стык» нейроинформатики и синергетики (как одной из ветвей нелинейной динамики) – потенциально очень богатая область, как в теоретическом, так и в практическом (прикладном) плане. Она, однако, пользуется пока незаслуженно малым вниманием исследователей. Вместе с тем, такой подход мог бы способствовать решению ряда проблем, жизненно важных для нейроинформатики.

В частности, как отмечалось неоднократно в ходе дискуссии, состоявшейся в рамках конференции «Нейроинформатика-99» [7], одной из принципиальных проблем нейроинформатики является такая. Средства нейроинформатики позволяют сейчас более или менее удовлетворительно решать те или иные частные задачи. Однако сеть, обученная решению соответствующей частной задачи, абсолютно беспомощна перед другой частной задачей, даже самой простой. Напрашивается поиск нейроархитектур, которые обладали бы «метасвойствами», т.е. адаптивностью к виду задач, предъявляемых сети для решения. Это означает, что нейросеть с такого рода метасвойствами, умеющая решать какую-либо задачу, должна также и уметь обучиться решению новой задачи, причем не снижая, по-возможности, качества решения ранее освоенных задач. Такого сорта системы чрезвычайно важны для ряда приложений, например, для автономных аппаратов (например, мобильных роботов из лекции А.И.Самарина), действующих в среде с высоким уровнем неопределенности вызовов, которые могут быть предъявлены аппарату со стороны среды.

Представляется, что одно из направлений, на котором потенциально возможно решение проблемы надделения нейросети метасвойствами – это активное использование аппарата самоорганизации.

И это не единственное, чем полезна «синергетическая» точка зрения и соответствующий понятийный аппарат для нейроинформатики. Весьма плодотворным может быть рассмотрение сети с обратными связями как нелинейной динамической системы. Как известно, любая динамическая система осуществляет определенное разбиение своего фазового пространства на области, каждая из которых соответствует определенному аттрактору. Если считать каждый аттрактор некоторой «записью в памяти», то процесс перехода системы из начального состояния в конечное можно трактовать как модель ассоциативного распознавания образов [8]. И это еще далеко не все. Как отмечается в [9], самоорганизующиеся нейросети близки по своим свойствам к неравновесным системам, являющимся предметом рассмотрения синергетики. В системах такого рода, как известно, возможно образование диссипативных структур, т.е. спонтанное возникновение новых свойств в процессе взаимодействия системы с внешней средой [10–13].

Предметом изучения синергетики является, по-существу, возникновение детерминированных структур в нелинейных средах, зачастую вопреки флуктуациям в них. Второй класс «нелинейных проблем», принадлежащих к числу наиболее общих и фундаментальных, в известной мере «прямо противоположный» концептуально первому из упомянутых классов – это рождение стохастического поведения в детерминированных динамических системах, т.е. системах, не подверженных действию флуктуаций. А усложнение потенциально возможного поведения системы как правило связано с ростом ее возможностей. Хорошее введение в оба этих класса проблем, в их единстве, можно найти в статье [14].

Итак, как уже отмечалось выше, содружество нейроинформатики и синергетики представляется весьма перспективным, но пока еще число работ, посвященных данной области, сравнительно невелико. И лекция **В.Г.Яхно** как раз посвящена рассмотрению одного из классов проблем, решаемых на стыке нейроинформатики и синергетики. Здесь отмечается тот факт, что «математические модели многих неравновесных систем имеют такой же вид, как и уравнения для взаимосвязанных ансамблей “классических” нейронов с возбуждающими и тормозными воздействиями». И на этой базе показано, как можно строить модели систем, которые автор именует «нейроноподобными» (под ними понимаются однородные сети их взаимосвязанных активных элементов с тормозными и активи-

рующими связями), и как с помощью таких моделей описывать характерные динамические режимы в распределенных нейроноподобных системах, иерархию процессов при адаптивном распознавании сложных изображений.

Дополнительную информацию по теме «нейросети и синергетика», «нейросети и нелинейная динамика», помимо тех работ, что перечислены в списке литературы к лекции В.Г.Яхно, можно получить также из работ [8,15,16]. Значительное внимание уделено этой тематике также в недавно вышедшей книге [17].

В лекции **С.А.Терехова** «Вейвлеты и нейронные сети» рассматриваются основные возможности и некоторые перспективы взаимодействия нейроинформатики с одной из бурно развивающихся в последнее десятилетие областей численного анализа, а именно, с вейвлет-анализом. Обсуждаются методы, имеющиеся в этой области, возможности их совместного использования с искусственными нейронными сетями. Изложение построено на разборе целого ряда примеров, включая анализ и прогнозирование временных рядов, анализ сейсмических сигналов, спектроскопических измерений, атмосферной турбулентности, электромагнитных явлений. Значительное внимание в лекции уделяется также возможностям применения вейвлет-преобразований в информационных технологиях, в частности, для сжатия данных.

При этом более пристальное внимание уделено специфике «вейвлетного» аппарата, а не нейросетевым вопросам. Учитывая пока еще присутствующую вейвлет-анализу «экзотичность», это, по-видимому, вполне оправдано. Но даже при такой расстановке акцентов в лекции сравнительно небольшого объема едва ли можно рассказать об этой новой перспективной области сколько-нибудь подробно. На русском языке, однако, уже есть ряд источников, позволяющих расширить и углубить знакомство с предметом.

Хорошая подборка материала (7 статей) вводно-ознакомительного характера была опубликована в тематическом выпуске журнала «Компьютерра» [18], она будет весьма полезной для первоначального ознакомления с идеями, концепциями и отчасти аппаратом вейвлет-анализа. Для более серьезного знакомства с данной областью можно порекомендовать обзорную статью Н.М.Астафьевой (ссылка на нее есть в списке литературы к лекции С.А.Терехова), статья [19], а также две книги ([20,21]), которые можно получить через Интернет с сайта в Петербурге (см. также ссылку [Rus00] в списке литературы к лекции С.А.Терехова).

Однако при всей важности и перспективности вейвлет-анализа как научно-технического направления, лекция о нем едва ли появилась бы в данном сборнике, если бы он не был тесно связан с нейросетевой тематикой. В лекции С.А.Терехова эта связь акцентируется не слишком сильно, пожалуй меньше, чем она того заслуживает. Между тем, около десяти лет назад на базе нейросетей прямого действия и аппарата вейвлет-разложений был предложен новый класс сетей – так называемые вейвлетные нейросети (wavelet networks). Более подробно о них можно прочитать в статьях [22–24], относящихся к начальному периоду развития данного направления.

На связи нейросетевой тематики с вейвлет-технологией указывается и в лекции В.Г.Яхно, где эта технология рассматривается в контексте задачи выделения признаков в однородных нейроноподобных системах. Отмечается, в частности, что данный подход «фактически представляет строгое математическое оформление той процедуры, которая осуществляется при формировании различных частей постсинаптического потенциала в нейроноподобных системах» (см. разд. 3 лекции В.Г.Яхно).

Одна из привлекательных (с точки зрения приложений, прежде всего) черт вейвлет-подхода состоит в том, что работа с ним активно поддерживается такой мощной средой организации научно-технических вычислений, как MatLab. В состав набора пакетов (toolboxes) этой системы входит и весьма развитый пакет вейвлет-анализа. Разработан также ряд дополнительных пакетов (в основном, в университетах), включая RWT, UniWave, WaveKit, WaveLab и др., которые можно получить через портал научных вычислений, располагающийся по адресу:

<http://www.mathtools.net>

Одновременно в состав MatLab входит также и пакет для работы с нейросетями, еще ряд такого рода пакетов можно получить через упомянутый выше портал. Это обстоятельство значительно облегчает работы по тематике «вейвлеты + нейросети».

Лекция **С.А.Шумского** «Самоорганизующиеся семантические сети» связана еще с одной областью применения идей, методов и средств нейроинформатики, являющейся сейчас одной из важнейших. Речь в ней идет о новом подходе к созданию средств поиска и фильтрации информации применительно к глобальной сети Интернет. Если вести речь о некоем контекстном, «смысловом», поиске, то максимум, что могут предложить сейчас традиционные средства навигации в Сети, поиска и отбора данных – это какая-либо разновидность поиска по ключевым словам. Вдобавок, этот вид сетевого сервиса реализуется поисковыми серверами.

рами, число которых весьма ограничено, а громоздкость их вследствие установки на обслуживание возможно более широкой аудитории, не обеспечивает того уровня гибкости, который необходим каждому отдельному пользователю Сети.

Подход, рассматриваемый в лекции С.А.Шумского, в значительной степени основанный на концепциях нейроинформатики, ориентирован на преодоление указанных трудностей сразу по двум направлениям. Во-первых, индивидуализируется поисковый сервис, делается попытка «приблизить» его к пользователю за счет создания своего рода индивидуальных поисковых машин («поисковых агентов»), ориентированных на специфику запросов своего «хозяина», динамически подстраивающихся при изменении этих запросов, а также умеющих взаимодействовать между собой, что позволяет осуществлять некую разумную «профессиональную специализацию» среди поисковых агентов с соответствующим перераспределением «обязанностей» между ними (своего рода самоорганизация). Во-вторых, что не менее существенно, поиск требуемых данных осуществляется с учетом их смысловой стороны («семантический поиск»).

В лекции рассказывается также и о практической реализации перечисленных принципов, что дало возможность получить весьма интересные и обнадеживающие результаты.

Следует, однако, уточнить взаимосвязи материала, изложенного в лекции С.А.Шумского, с рядом научно-технических областей, смежных с ней по тематике. А именно, термины, используемые в названии лекции, следует понимать скорее метафорически, чем буквально, т.е. так, как это принято в областях, где эти термины имеют «постоянную прописку».

В частности, семантическая сеть в традиционном понимании – это один из способов представления знаний, изначально задуманный как модель представления структуры долговременной памяти в психологии (см., например, [25,26]). Родство между такими семантическими сетями и самоорганизующимися семантическими сетями, рассматриваемыми С.А.Шумским, весьма отдаленное, хотя определенные аналогии и прослеживаются.

Не совсем традиционно и понимание термина «семантика», хотя здесь степень «родства» с тем, как принято определять это понятие в лингвистике (см., например, статью [30], где приводится и обширная библиография по этой теме), в семиотике (см., например, [31–35]), в логике (см., например, [27–29]) и в искусственном интеллекте (см., например, [27,28]) существенно больше. Вызывает определенное сомнение и применение в

рассматриваемом контексте и термина «сеть» – изучается скорее не сеть, а *сообщество* взаимодействующих элементов определенного вида (ведь едва ли кто-нибудь станет именовать сетью, к примеру, колонию муравьев!). Надо также отметить, что и понятие «самоорганизация» в материале лекции несет смысловую нагрузку, отличающуюся от той, что читатель привык видеть в работах по синергетике (ср., например, с [14,16,17]).

Признавая «священное право» автора именовать свое детище так, как он считает необходимым, кажется все же, что точнее было бы называть предлагаемое направление исследований и разработок как «самоорганизующееся сообщество поисковых агентов». Данное замечание не снижает, разумеется, ценности полученных (и потенциально возможных в будущем) результатов, поскольку появляется возможность резко повысить эффективность использования информационных ресурсов, содержащихся в сети Интернет, т.е. решить в какой-то степени проблему, «вечно актуальную» для Сети – в ней, как известно, можно найти «почти все», задержка «лишь» за тем, что надо знать, «где и что лежит».

Следует особенно подчеркнуть, что помимо традиционного списка литературы, каждая из лекций сопровождается списком интернетовских адресов, по которым 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 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 силу этого ожидается, что Школа-семинар станет обязательным элементом программы конференций «Нейроинформатика».

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 (см., например, [36,37]), 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, нелинейный анализ (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 **dynam@mai.ru** Тюменцеву Юрию Владимировичу.

Литература

1. Нейрокомпьютер как основа мыслящих ЭВМ / Отв. ред. А.А.Фролов и Г.И.Шульгина. – М.: Наука, 1993. – 239 с.
2. Интеллектуальные процессы и их моделирование / Отв. ред. Е.П.Велихов и А.В.Чернавский. – М.: Наука, 1987. – 398 с.
3. Интеллектуальные процессы и их моделирование: Пространственно-временная организация / Отв. ред. А.В.Чернавский. – М.: Наука, 1991. – 240 с.
4. Интеллектуальные процессы и их моделирование: Организация движения / Отв. ред. А.В.Чернавский. – М.: Наука, 1991. – 192 с.
5. Соколов Е.Н., Вайткявичюс Г.Г. Нейроинтеллект: От нейрона к нейрокомпьютеру. – М.: Наука, 1989. – 238 с.
6. Prabhu S.M., Garg D.P. Artificial neural network based robot control: An overview // J. of Intelligent and Robotic Systems. – 1996. – v.15, № 4. – pp.333–365. Рус. перевод: «Использование искусственных нейронных сетей для управления роботами». – М.: ВИНТИ. Экспресс-информация «Астронавтика и ракетодинамика». – 1997, вып.18, реф.32; вып.19, реф.34; вып.20, реф.36.
7. Дискуссия о нейрокомпьютерах. – Тр. Всероссийской науч.-техн. конференции «Нейроинформатика-99» / Отв. ред. А.А.Фролов и А.А.Ежов. – М.: МИФИ, 2000. – 224 с.
8. Левченко Е.Б. Физические реализации «нейроподобных» систем // Итоги науки и техники. Серия «Физические и математические модели нейронных сетей». Т.1, ч.1. – М.: ВИНТИ, 1990. – с.93–156.
9. Веденов А.А., Ежов А.А., Левченко Е.Б. Архитектурные модели и функции нейронных ансамблей // Итоги науки и техники. Серия «Физические и математические модели нейронных сетей». Т.1, ч.1. – М.: ВИНТИ, 1990. – с.44–92.
10. Хакен Г. Синергетика: Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах: Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 423 с.

11. *Хакен Г.* Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 240 с.
12. *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой: Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1986. – 432 с.
13. *Малинецкий Г.Г.* Хаос. Структуры. Вычислительный эксперимент: Введение в нелинейную динамику. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 256 с.
14. *Гапонов-Грехов А.В., Рабинович М.И.* Нелинейная физика. Стохастичность и структуры // В сб.: «Физика XX века: Развитие и перспективы». – М.: Наука, 1984. – с.219–280.
15. *Михайлов А.С.* Аналоговая обработка информации распределенными системами // В кн.: «Новые физические принципы оптической обработки информации». Сб. статей под ред. С.А.Ахманова и М.А.Воронцова. – М.: Наука, 1990. – с.34–82.
16. *Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С.* Введение в синергетику. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
17. *Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б.* Современные проблемы нелинейной динамики. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 336 с.
18. Всплеск // Тематический выпуск журнала «Компьютерра», № 8 (236), 2 марта 1998 г. <http://www.computerra.ru/offline/archive.html>
19. *Новиков И.Я., Стечкин С.Б.* Основы теории всплесков // Успехи математических наук. 1998. Т. 53. № 6 (324). – с. 53–128. <http://www.math.spbu.ru/~dmp/ruspap.html>
20. *Петухов А.П.* Введение в теорию базисов всплесков: Уч. пособие. С.-Пб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. – 132 с. <http://www.math.spbu.ru/~dmp/ruspap.html>
21. *Новиков Л.В.* Основы вейвлет-анализа сигналов: Уч. пособие. СПб.: Изд-во ООО "МОДУС+", 1999. – 152 с. <http://www.math.spbu.ru/~dmp/ruspap.html>
22. *Zhang Q., Benveniste A.* Wavelet networks // IEEE Trans. on Neural Networks. – Nov. 1992. – v.3, № 6. – pp.889–898.
23. *Pati Y.C., Krishnaprasad P.S.* Analysis and synthesis of feedforward neural networks using discrete affine wavelet transformations // IEEE Trans. on Neural Networks. – Jan. 1993. – v.4, № 1. – pp.73–85.
24. *Whitehead B.A.* Scalar wavelet networks for time series prediction // Neural, Parallel and Scientific Computations. – June 1995. – v.3, № 2. – pp.273–280.
25. Искусственный интеллект. – В 3-х кн. Кн.2. Модели и методы: Справочник / Под ред. Д.А.Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.
26. *Уэно Х., Кояма Т., Окамото Т.* и др. Представление и использование знаний: Пер. с япон. – М.: Мир, 1989. – 220 с.
27. *Тейз А., Грибомон П., Луи Ж.* и др. Логический подход к искусственному интеллекту: От классической логики к логическому программированию: Пер. с франц. – М.: Мир, 1990. – 432 с.
28. *Тейз А., Грибомон П., Луи Ж.* и др. Логический подход к искусственному интеллекту: От модальной логики к логике баз данных: Пер. с франц. – М.: Мир, 1998. – 494 с.
29. *Колмогоров А.Н., Драгалин А.Г.* Введение в математическую логику. – М.: Изд-во МГУ, 1982. – 120 с.
30. *Степанов Ю.С.* Семантика // В кн.: «Лингвистический энциклопедический словарь». – М.: Сов. энциклопедия, 1990. – с.438–440.
31. *Шрейдер Ю.А.* Логика знаковых систем: Элементы семиотики. – М.: Знание, 1974. – 64 с. – (Серия «Математика, кибернетика», вып.1, 1974)
32. *Степанов Ю.С.* Семиотика. – М.: Наука, 1971. – 167 с.

33. *Степанов Ю.С.* Имена. Предикаты. Предложения. – М.: Наука, 1981. – 360 с.
34. Семиотика: Сб. переводов с англ., франц. и испан. / Составление, вступ. статья и общ. редакция Ю.С.Степанова. – М.: Радуга, 1983. – 636 с.
35. *Соломоник А.* Семиотика и лингвистика. – М.: Мол. гвардия, 1995. – 352 с.
36. *Noor A.K., Jorgensen C.C.* A hard look of soft computing // Aerospace America. – 1996. – v.34, № 9. – pp.34–39. Рус. перевод: «Мягкие вычисления и некоторые их применения в аэрокосмических системах». – М.: ВИНТИ. Экспресс-информация «Астронавтика и ракетодинамика». – 1997, вып.15, реф.27.
37. *Linkens D.A., Nyongesa H.O.* Learning system in intelligent control: An appraisal of fuzzy, neural and genetic algorithm control applications // IEE Proc. Control Theory and Applications. – 1996. – v.143, № 4. – pp.367–386. Рус. перевод: «Обучающиеся системы в интеллектуальном управлении: Сопоставление подходов, основанных на размытой логике, искусственных нейронных сетях и генетических алгоритмах». – М.: ВИНТИ. Экспресс-информация «Астронавтика и ракетодинамика». – 1997, вып.8, реф.15; вып.9, реф.16.

Редактор материалов выпуска
кандидат технических наук Ю.В.Тюменцев

E-mail: dynam@mai.ru