

## К ЧИТАТЕЛЮ

Основные тенденции развития кибернетики в начале третьего тысячелетия можно выразить двумя словами: биологизация и гибридизация. Под биологизацией чаще всего понимается построение и исследование моделей поведения сложных объектов и способов управления ими на основе имитации механизмов, реализованных Природой в живых существах. Такой подход обусловлен фактом, что многие так называемые «классические» методы обработки информации воспринимаются в настоящее время как простейшие реализации универсальных способов функционирования биологических объектов. В качестве примеров можно привести последовательные алгоритмы фон Неймана (вырожденный случай параллельной обработки информации), а также двоичную логику (частный случай нечеткой логики). С другой стороны, стремительное увеличение вычислительных мощностей и развитие математического аппарата позволило подступиться к решению таких задач, размерность которых еще 5–10 лет назад была непреодолимым барьером для исследователя.

Гибридизация, в свою очередь, состоит в совместном применении различных методов и/или моделей для обработки информации об одном и том же объекте. Методология такого подхода основана на согласии с тем, что любая, сколь угодно сложная искусственная модель реального объекта всегда будет примитивнее и проще оригинала, и только многоаспектное его изучение с последующей интеграцией получаемых результатов позволит обрести необходимые знания или приблизиться к оптимальному решению. Гибридный подход давно и эффективно используется в научных исследованиях — вспомним понятие корпускулярно-волнового дуализма, микро- и макроэкономические исследования одних и тех же хозяйственных систем и т. п.

Предлагаемая вниманию уважаемого читателя книга видного польского ученого С. Осовского удачно иллюстрирует названные тенденции в одной из наиболее динамично развивающихся областей современной теории интеллектуальных вычислений (*computational intelligence*), связанной с построением и применением искусственных нейронных сетей. Сформированные в рамках этого направления многоуровневые сетевые модели, в качестве прототипа которых используются структуры и механизмы функционирования биологических нервных систем, все более серьезно рассматриваются в качестве методологического базиса для создания сверхскоростных технических устройств параллельной обработки информации.

Представленный в книге материал можно рассматривать с трех точек зрения. Во-первых, это своего рода справочник по наиболее важным моделям нейронных сетей, написанный очень точным и корректным с математической точки зрения языком. Обширная библиография дополнительно обогащает содержание книги, превращая ее в своего рода путеводитель по первоисточникам. Во-вторых, это конспект лекций, стиль и характер которого свидетельствуют о богатом педагогическом опыте и мастерстве автора — профессора Варшавского политехнического университета. Большое количество примеров практической реализации сетей, их детальный анализ и задания для самостоятельного выполнения делают настоящее издание незаменимым учебным пособием для всех изучающих и преподающих теорию искусственных нейронных сетей, а приложенное к книге программное обеспечение для моделирования обсуждаемых нейронных сетей\* превращает изучение материала в увлекательный интерактивный эксперимент. В-третьих, книга содержит результаты собственной научной деятельности автора, который в силу личной скромности умалчивает о том, что многие описываемые в ней методы, структуры и алгоритмы (в частности, методы генерации градиента в многослойной сети на основе потоковых и сопряженных графов, метод обучения персептронной сети по алгоритму переменной метрики BFGS с направленной минимизацией, гибридный алгоритм обучения радиальных сетей, алгоритм обучения персептронной сети RMLP с обратными связями, гибридная сеть с самоорганизующейся и MLP-компонентой, структура и гибридный алгоритм обучения нечеткой сети TSK с самоорганизацией нейронов, а также многие другие) известны научной общественности по имени их создателя С. Осовского.

Издание рассчитано на читателя, обладающего определенной математической подготовкой. Предполагается, что он знаком с основными понятиями линейной алгебры, дифференциального исчисления, теории оптимизации, теории вероятности и теории множеств. Хочется верить, что повторная публикация переработанной и существенно дополненной версии книги С. Осовского на русском языке станет еще одним стимулом для повышения эффективности как проводимых, так и планируемых в России исследований в области нейронных сетей.

*И. Рудинский*

---

\* Архив с программами и дополнительными информационными материалами можно скачать с Интернет-страницы книги по адресу [XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX](#)

## Предисловие

Книга «Нейронные сети для обработки информации» — оригинальное изложение новейших достижений в области искусственных нейронных сетей и их практических приложений. Она представляет собой расширенную и в значительной степени переработанную версию издания, выпущенного ранее под тем же названием. В частности, настоящая версия дополнена разделом о сетях типа *Support Vector Machine* (SVM), значительно расширены разделы, посвященные нечетким сетям, а также представлено несколько новых приложений.

Искусственные нейронные сети получили широкую популярность в научной среде благодаря способности относительно легко адаптироваться для решения вычислительных задач в разных отраслях знаний. Они обладают свойствами, необходимыми для разнообразных практических приложений: предоставляют универсальный механизм аппроксимации, адекватный многомерным массивам данных, способны обучаться и адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды, могут обобщать полученные знания и на этой основе считаются системами искусственного интеллекта. Базис функционирования таких сетей составляют алгоритмы обучения, позволяющие оптимизировать параметры и структуру сети, а также адаптировать их к решаемой задаче.

В книге представлены важнейшие разделы теории искусственных нейронных сетей. Основное внимание уделяется алгоритмам обучения и их применению для обработки измерительной информации. Приводится детальный обзор и описание важнейших методов обучения сетей различной структуры, иллюстрируемое численными экспериментами с практически подтвержденными результатами. Книга дополнена программным обеспечением для обучения конкретных нейронных сетей.

Книга предназначена для студентов старших курсов, аспирантов и научных работников, интересующихся проблематикой теории искусственного интеллекта. С учетом междисциплинарного характера обсуждаемой тематики она может оказаться полезной как для специалистов в области информатики, статистики, физики и технических дисциплин, так и для биомедицинских отраслей знаний. Благодаря обсуждению и базовых и производных понятий искусственных нейронных сетей книга будет одинаково полезной как для начинающих, так и для профессионалов в этой предметной области.

## Предисловие к российскому изданию

Нейронные сети — раздел искусственного интеллекта, в котором для обработки сигналов используются явления, аналогичные происходящим в нейронах живых существ. Важнейшая особенность сети, свидетельствующая о ее широких возможностях и огромном потенциале, состоит в параллельной обработке информации всеми звеньями. При громадном количестве межнейронных связей это позволяет значительно ускорить процесс обработки информации. Во многих случаях становится возможным преобразование сигналов в реальном времени. Кроме того, при большом числе межнейронных соединений сеть приобретает устойчивость к ошибкам, возникающим на некоторых линиях. Функции поврежденных связей берут на себя исправные линии, в результате чего деятельность сети не претерпевает существенных возмущений.

Другое, не менее важное свойство — способность к обучению и обобщению накопленных знаний. Нейронная сеть обладает чертами искусственного интеллекта. Натренированная на ограниченном множестве данных сеть способна обобщать полученную информацию и показывать хорошие результаты на данных, не использовавшихся в процессе обучения.

Особенность сети состоит также в возможности ее реализации с применением технологии сверхбольшой степени интеграции. Различие элементов сети невелико, а их повторяемость огромна. Это открывает перспективу создания универсального процессора с однородной структурой, способного перерабатывать разнообразную информацию.

Использование перечисленных свойств на фоне развития устройств со сверхбольшой степенью интеграции (VLSI) и повсеместного применения вычислительной техники вызвало в последние годы огромный рост интереса к нейронным сетям и существенный прогресс в их исследовании. Создана база для выработки новых технологических решений, касающихся восприятия, искусственного распознавания и обобщения видеoinформации, управления сложными системами, обработки речевых сигналов и т. п.

Несмотря на то что искусственные нейронные сети — полностью самостоятельная отрасль знаний, при практической реализации они, как правило, используются в качестве подсистемы управления или выработки решений, передающей исполнительный сигнал другим подсистемам, работающих на иной методологической основе. Функции, выполняемые сетями, подразделяются на несколько групп, такие, как аппроксимация, классификация и распознавание образов,

прогнозирование, идентификация и оценивание, а также ассоциативное управление.

Аппроксимирующая сеть играет роль универсального аппроксиматора функции нескольких переменных, который реализует нелинейную функцию вида  $\mathbf{y} = f(\mathbf{x})$ , где  $\mathbf{x}$  — входной вектор, а  $\mathbf{y}$  — реализованная функция нескольких переменных. Множество задач моделирования, идентификации, обработки сигналов удается сформулировать в аппроксимационной постановке.

Для классификации и распознавания образов сеть накапливает в процессе обучения знания об основных свойствах этих образов, таких, как геометрическое отображение структуры образа, распределение главных компонент (РСА), или о других характеристиках. При обобщении акцентируются отличия образов друг от друга, которые и составляют основу для выработки классификационных решений.

В области прогнозирования задача сети формулируется как предсказание будущего поведения системы по имеющейся последовательности ее предыдущих состояний. По информации о переменной  $\mathbf{x}$  в моменты, предшествующие прогнозированию, сеть вырабатывает решение о том, чему должно быть равно оцениваемое значение исследуемой последовательности в текущий момент времени.

В задачах управления динамическими процессами нейронная сеть выполняет, как правило, несколько функций. Во-первых, она представляет собой нелинейную модель этого процесса и идентифицирует его основные параметры, необходимые для выработки соответствующего управляющего сигнала. Во-вторых, сеть выполняет функции следящей системы, отслеживает изменяющиеся условия окружающей среды и адаптируется к ним. Она также может играть роль нейрорегулятора, заменяющего собой традиционные устройства. Важное значение, особенно при управлении роботами, имеет классификация текущего состояния и выработка решений о дальнейшем развитии процесса.

В задачах ассоциации нейронная сеть выступает в роли ассоциативного запоминающего устройства. Здесь можно выделить память автоассоциативного типа, в которой взаимозависимости охватывают только конкретные компоненты входного вектора, и память гетероассоциативного типа, с помощью которой сеть определяет взаимосвязи различных векторов. Даже если на вход сети подается вектор, искаженный шумом либо лишенный отдельных фрагментов данных, то сеть способна восстановить полный и очищенный от шумов исходный вектор путем генерации соответствующего ему выходного вектора.

Различные способы объединения нейронов между собой и организации их взаимодействия привели к созданию сетей разных типов. Каждый тип сети, в свою очередь, тесно связан с соответствующим методом подбора весов межнейронных связей (т. е. обучения). Среди множества существующих видов сетей в качестве важнейших можно выделить персептронные сети MLP, радиальные сети RBF, сети с самоорганизацией в результате конкуренции нейронов, сети с самоорганизацией корреляционного типа, а также рекуррентные сети, в которых имеются сигналы обратной связи. Особую разновидность составляют нечеткие нейронные сети, функционирование которых основано на принципах нечеткой логики.

Интересным представляется объединение различных видов нейронных сетей между собой, особенно сетей с самоорганизацией и обучаемых с учителем. Такие комбинации получили название «гибридные сети». Первый компонент — сеть с самоорганизацией на основе конкуренции, функционирующая на множестве входных сигналов и группирующая их в кластеры по признакам совпадения свойств. Она играет роль препроцессора данных. Второй компонент в виде сети, обучаемой с учителем (например, персептронной), сопоставляет входным сигналам, отнесенным к конкретным кластерам, соответствующие им заданные значения (так называемый постпроцессинг). Подобная сетевая структура позволяет разделить фазу обучения на две части: вначале тренируется компонента с самоорганизацией, а потом — сеть с учителем. Дополнительное достоинство такого подхода заключается в снижении вычислительной сложности процесса обучения, а также в лучшей интерпретации получаемых результатов.

В предлагаемой вниманию русскоязычного читателя книге уделяется внимание важнейшим перечисленным выше типам искусственных нейронных сетей, методам их обучения и практического использования при решении конкретных задач обработки информации.

Автор выражает благодарность издательству «Горячая линия — Телеком» за повторное издание книги в России, проф. И. Рудинскому за перевод ее на русский язык, а также издательству Варшавского политехнического университета «Oficyna wydawnicza» за предоставленные иллюстративные материалы. Хотелось бы выразить надежду, что изложенные в книге материалы будут полезными для лучшего понимания проблематики искусственных нейронных сетей и их применения для обработки информации.

*С. Осовский*

Варшава, март 2015 г.