

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

97-35

P11-97-35

В.Г.Зинов, М.А.Назаренко

• ОБУЧЕНИЕ ФОРМАЛЬНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Направлено в журнал «Автоматика и телемеханика»

1997

К сожалению, в жизни, как в науке, всякая почти цель достигается окольными путями, и прямая дорога к ней делается ясною для ума лишь тогда, когда цель уже достигнута.

Сеченов И. М. "Рефлексы головного мозга", § 1.

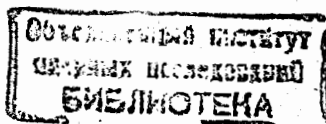
Формальные нейронные сети (см., например, [1, Глава 1]) представляют собой новую технологию вычислений, которая является результатом фундаментальных исследований в области искусственного интеллекта. Основным достоинством этого направления в науке является создание математических структур, подобных мозгу или нервной системе. Несмотря на внешнюю искусственность и академичность подхода к разработке формальных нейронных сетей, применение этого метода дает хороший практический выход в разных областях [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. Основным достоинством формальных нейронных сетей считается их обучаемость, что позволит с их помощью выделять нужные результаты из совокупности данных с большим числом параметров.

На сегодняшний день разработано несколько методов обучения для разных видов формальных нейронных сетей. Таким образом, ответы на вопрос "как обучать?" найти, вообще говоря, несложно. В первой части данной работы мы попытались суммировать ответ на естественный вопрос "что обучать?" в виде определений. Однако в современной литературе практически нет ответа на вопрос "в чем заключается процесс обучения?". Общепринятые пояснения, что результат этого обучения хранится в весах [1, стр. 30], мало что проясняют.

1 Определение формальной нейронной сети

В связи с вышесказанным *формальный нейрон* по определению имеет следующую структуру:

- Формальный нейрон имеет некоторое множество входных каналов приема аналоговой или булевой информации и один вы-



ходной канал. Количество n входных каналов является внутренней характеристикой нейрона. Вид передаваемого сигнала определяет название формального нейрона. Если передаваемый по всем каналам сигнал является однобитовым, то такой нейрон называется булевым. Если передаваемый по всем каналам сигнал может непрерывно изменяться в пределах от 0 до 1, то такой нейрон называется аналоговым.

- Каждому входному каналу с номером j формального нейрона ставится в соответствие число w_j , называемое весом этого канала. Вектор весов $\vec{w} = (w_1, \dots, w_n)$ является внутренней характеристикой формального нейрона.

- Формальный нейрон с n входными каналами формирует сигнал собственного внутреннего возбуждения по следующему закону:

$$N = \sum_{j=1}^n w_j x_j,$$

где $\vec{x} = (x_1, \dots, x_n)$ есть входной сигнал.

- Выходной сигнал y формального нейрона получается применением функции обработки F к сигналу внутреннего возбуждения:

$$y = F(N).$$

Функция F является внутренней характеристикой формального нейрона. Вид результата функции F должен соответствовать виду информации, передаваемой по выходному каналу исполнителя. Отметим, что в случае булевых формальных нейронов часто используется пороговая сигмоидная функция с внутренней характеристикой θ :

$$F(z) = \begin{cases} 0, & z \leq \theta \\ 1, & \theta < z \end{cases}$$

В случае специального вида формальных нейронных сетей — клеточных автоматов — обычно применяется пороговая коло-

идальная функция

$$F(z) = \begin{cases} 0, & z \leq \theta_1 \\ 1, & \theta_1 < z < \theta_2 \\ 0, & \theta_2 \leq z \end{cases}, \quad \theta_1 < \theta_2.$$

Одной из самых популярных функций для обработки сигнала внутреннего возбуждения в случае аналогового нейрона является логистическая функция с внутренней характеристикой σ :

$$F(z) = \frac{1}{1 + \exp(-\sigma z)}.$$

В связи с вышесказанным *формальная нейронная сеть* по определению имеет следующую структуру:

- Сеть состоит из некоторого множества формальных нейронов, входы и выходы которых соединены связями. При этом количество нейронов и топология их связей являются внутренними характеристиками этой сети. Выходной сигнал формального нейрона сети может передаваться по любому количеству связей.
- Вход сети состоит из некоторых входных каналов отдельных формальных нейронов сети. Если входной канал формального нейрона сети не принадлежит входу нейронной сети, то этот входной канал соединен с выходом одного и только одного нейрона этой сети.
- Выход сети состоит из выходных каналов некоторых формальных нейронов сети. Если выходной канал формального нейрона сети не принадлежит выходу нейронной сети, то этот выходной канал соединен с одним или несколькими входными каналами одного или нескольких нейронов этой сети.

Формальные нейронные сети с послойной топологией связей и логистическими функциями обработки сигнала внутреннего возбуждения формальных нейронов называются перцептронами. Клеточные автоматы имеют топологию связей формальной нейронной

сети по принципу “только с соседом”, выходной сигнал каждого нейрона передается на один из его входных каналов.

2 Обучение формальной нейронной сети

Не ограничивая общности рассмотрим обучение формальной нейронной сети, не имеющей обратных связей, с двумя входными аналоговыми каналами и одним выходным булевым каналом. Тем самым на вход сети подаются два несколькобитовых слова (каждый канал может иметь свою точность представления сигнала), выход сети может принимать значения 0 или 1.

2.1 Матрица принятия решения.

Обозначим битовую точность представления сигналов по входным каналам числами n_j , $j = 1, 2$. На плоскости Ox_1x_2 образуем матрицу, имеющую 2^{n_1} столбцов (по оси Ox_1) и 2^{n_2} строк (по оси Ox_2). Тем самым каждый входной сигнал (x_1, x_2) однозначно задает адрес элемента этой матрицы, в которой столбцы “пронумерованы” всеми возможными сигналами по первому входному каналу, а строки — по второму. Эту матрицу будем называть матрицей принятия решения рассматриваемой формальной нейронной сети.

До начала обучения формальной нейронной сети полагаем все элементы этой матрицы равными 2 (или “*”, или не являющимися заполненными — как более удобно, но не равными 0 или 1). Интерпретация этого заполнения следующая. До начала обучения мы вправе считать, что сеть не в состоянии классифицировать входные события, то есть на любой входной сигнал сеть на выходе обязана давать сигнал, понимаемый как “не знаю”. Такому сигналу соответствует 2, прописанная по всем адресам матрицы принятия решения до начала обучения. После завершения обучения формальная нейронная сеть должна классифицировать все входные события на, условно, “плохие” (выход равен 0) и “хорошие” (выход равен

1). Это означает, что по всем адресам матрицы принятия решения должны быть записаны либо 0, либо 1.

Отметим, что при обучении только на “хороших” событиях достаточно иметь двузначную матрицу принятия решения, а не трехзначную, как предполагалось выше. Начальное состояние всех элементов матрицы устанавливается 0.

2.2 Предварительное обучение

Для того, чтобы обучить формальную нейронную сеть, то есть заполнить матрицу принятия решений сигналами 0 и 1, необходимо иметь какое-нибудь обучающее множество. Это множество состоит из элементов следующего вида: какое-нибудь событие объявляется “плохим” или “хорошим”. Тем самым на некоторых местах матрицы принятия решения, то есть по адресам этих событий, прописанная там ранее 2 изменяется на, соответственно, 0 или 1.

Предварительное обучение считается законченным, если обучаемая формальная нейронная сеть подверглась воздействию всех элементов обучающего множества. В результате получается матрица принятия решения, заполненная сигналами 0, 1 или 2, но ни одна 2 уже не может быть изменена на 0 или 1. Таким образом предварительное обучение сводится к записи статуса полезных событий в матрицу принятия решения.

2.3 Оконтуривание как завершение процесса формирования матрицы принятия решения

Напомним, что процесс обучения формальной нейронной сети считается завершенным, если по всем адресам матрицы принятия решения прописано это самое решение: 0 — событие “плохое”, 1 — “хорошее”. Процесс предварительного обучения был окончен после извлечения всей информации из обучающего множества, некоторые события обрели свой статус. Оставшиеся после этого 2, все

еще прописанные по некоторым адресам матрицы принятия решения, должны быть изменены на 0 либо 1 в соответствии с какой-нибудь математической процедурой.

Процедуру изменения значений элементов матрицы принятия решения с 2 на 0 либо 1 удобно представлять как оконтуривание соответствующих множеств. Этот процесс осуществляется в соответствии с математической моделью исследуемой задачи. Если предположить, что рассматриваемая формальная сеть состоит из одного нейрона, то в плоскости Ox_1x_2 возможно лишь проведение одного прямолинейного разделения 0 и 1, являющегося элементарным нейронным оконтуриванием этих двух множеств. Перцептроны с одним скрытым слоем позволяют прямолинейно оконтуривать выпуклые множества (и дополнения к ним), другие виды формальных нейронных сетей предоставляют иные возможности.

При выборе вида обучаемой формальной нейронной сети необходимо руководствоваться априорными представлениями о геометрических характеристиках распознаваемого множества. Это представление должны сформулировать постановщики задачи нейронного распознавания (физики, биологи, экономисты и т. д.). В зависимости от геометрии распознаваемого множества специалисты по формальным нейронным сетям должны либо выбрать такой известный вид сетей, который предоставляет достаточно адекватные методы оконтуривания множеств с заданными геометрическими характеристиками, либо разработать методы такого преобразования входного сигнала, чтобы измененное этим преобразованием распознаваемое множество адекватно оконтуривалось уже известными или широко используемыми видами формальных нейронных сетей. Отметим, что поиску возможного вида таких преобразований посвящена работа [9].

2.4 Обобщение на произвольные сети

Обобщение этого представления об обучении на произвольное формальные нейронные сети выглядит следующим образом. Выделяется пространство всех возможных входов сети, в котором формируется матрица (при булевом выходе сети) или карта (при многобитовом выходе сети) принятия решения. При наличии обратных связей производятся соответствующие поправки фазового пространства. В матрице принятия решения определяется структура элементарного оконтуривания, представимого одним формальным нейроном. В соответствии с предполагаемой геометрией распознаваемого множества выбираются методы компоновки элементарных оконтуриваний, что задает топологию сети.

Выбранный вид формальной нейронной сети задает методы распределения элементарных оконтуриваний для оптимального, с точки зрения этих методов, оконтуривания распознаваемого множества. Результат процесса обучения хранится в весах и топологии формальной нейронной сети. Если в начале рассматривать полностью связанные сети (все нейроны имеют связи со всеми, вход сети есть совокупный вход всех нейронов сети, а выход — совокупный выход всех нейронов сети), то и конечная топология формальной нейронной сети также будет храниться в весах.

3 Заключение

Таким образом, процесс обучения формальной нейронной сети сводится к математическому построению оконтуривания области допустимых значений параметров полезных событий в матрице принятия решения. Необходимость применения специальных математических методов обоснована практической невозможностью полномасштабной технической реализации этой матрицы для реальных интересных задач. Внутренняя топология создаваемой сети, порождающая методы компоновки элементарных оконтуриваний, пред-

ставляющих формальные нейроны, должна определяться геометрическими характеристиками распознаваемого множества в пространстве всех возможных входных сигналов. При фиксированной топологии обучаемой сети отдельно должно исследоваться преобразование входного сигнала к такому виду, когда геометрия распознаваемого множества максимально соответствует математическим методам оконтуривания, определяемым этой топологией.

Литература

- [1] УОССЕРМЕН Ф. *Неврокомпьютерная техника*. М.: Мир, 1992.
- [2] КЛИМЕНКО С. В., и др. *Искусственные нейронные сети в физике высоких энергий // ИФВЭ 96-75, Протвино, 1996.*
- [3] СЕМЕНОВ Ю. А. *Электронная пресса и нейронные сети // ИТЭФ 68-94, Москва, 1994.*
- [4] БАРШДОРФ Д. *Нейронные сети и нечеткая логика. Новые концепции для технической диагностики неисправностей // Приборы и системы управления 1996. Т. 2, С. 48-53.*
- [5] ЮДИН А. А. *Бифуркации стационарных решений в синергетической нейронной сети и управление распознаванием образов // Автоматика и телемеханика 1996. Т. 11, С. 139-147.*
- [6] AVERSA F., а. о. *Identification of Cosmic Ray Electrons and Positrons by Neural Networks // Astroparticle Phys: 1996. V. 5(2), P. 111-117.*
- [7] ODORICO R. *Neural 2.00 — A Program for Neural Net and Statistical Pattern Recognition // Comput. Phys. Commun. 1996. V. 96(2-3), P. 314-330.*
- [8] NAZARENKO M. A., RUMYANTSEV V. B. *D-transformation and polynomial track recognition // Commun. JINR E11-96-337, Dubna, 1996.*

Рукопись поступила в издательский отдел
6 февраля 1997 года.