

ОРГАНИЗАЦИЯ НЕЙРОННОЙ ПАМЯТИ НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Предложена организация кратковременной, долговременной и архивной нейронной памяти для нейронных сетей, представленных в виде описания вероятностных соединений стохастических систем на основе сетей Петри. В качестве стохастических систем выступают нейронные модули (модулярной колонки).

В настоящее время значительное внимание уделяется созданию систем интеллектуального управления [1]. Широкие возможности нейроуправления [2], перспективы модульной структуры нейронных сетей [3] позволяют говорить о необходимости разработки новых подходов к решению задач адаптивного управления. В основе современных подходов к построению нейронных сетей лежат различные концепции организации сознания.

Память и научение взаимосвязаны. Простейшие формы научения основаны на том, что какое-то событие запоминается. Психологи определяют научение как относительно стойкое изменение, возникающее в результате опыта [4].

Современные нейронные сети моделируют скорее, например, глаз, чем мозг [1]. Проблема сохранения целостности сознания (с точки зрения моделирования – процесс сознания) при исследовании мозга (функций мозга) и концепция модульной организации сознания были определены в 60-х годах прошлого века американским физиологом Маунксом [4]. В соответствии с этой концепцией нейрокомпьютер (некое подобие человеческого мозга) предлагается рассматривать его как адаптивную оптимальную систему автоматического управления (АОСАУ), которая работает в различных режимах. При таком подходе в качестве одной из подсистем нейрокомпьютера (НК) должна выступать нейронная память.

Попытка описания структуры коры головного мозга в виде вероятностного соединения стохастических систем, каждая из которых представляет собой модуль нейронов (модулярную колонку [4]), на основе сетей Петри (СП) приводит к определению трех основных уровней модели нейронной памяти в соответствии с современными представлениями о мозге: кратковременная память – нейронные модули (модулярные колонки) зрительной коры головного мозга; долговременная память – мозжечок; архивная память – гиппокамп.

Необходимо разработать описание каждого уровня памяти в рамках модульной концепции организации сознания, т.е. учитывая взаимосвязи и

взаимодействие этих уровней. При таком подходе возникает проблема описания сложных систем, которая наилучшим образом решается с помощью математического аппарата сетей Петри.

Кратковременная память представляет собой: а) множество векторов значений входных для ЗК сигналов, поступающих через время $\tau \ll (t_2 - t_1)$; б) вектор значений объемов нейронных модулей, сопоставленных переходам СП ЗК; в) множество векторов значений выходных сигналов для нейронных модулей ЗК; г) матрицу связей между нейронными модулями (характеристиками связей являются вероятности их появления).

Научение состоит в реализации адаптивного алгоритма оптимизации параметров (объемов нейронных модулей) стохастических систем и их соединений на базе СП на интервале $[t_1, t_2]$. Конфигурация СП принимается постоянной на данном интервале времени. Критерий оптимизации – минимум среднего квадрата ошибки прогнозируемого вектора состояния системы и теоретически требуемого. Под вектором Y состояния системы будем понимать вектор времени реакции нейронных модулей

$$Y_i = f(X, V),$$

где Y_i – время реакции i -го нейронного модуля на вектор входных воздействий X при значениях объемов нейронных модулей, определенных вектором V .

Быстродействие системы в целом Y_T задано. Прогнозное быстродействие определяется по формуле

$$Y_{np} = \sum_{i \in l} Y_i,$$

где l – номер прогнозной структуры СП.

Долговременная память содержит следующую информацию о СП ЗК: 1) перечень сдерживающих событийных гипердуг и неиспользуемых дуг, которым сопоставлена нулевая вероятность; 2) множество реально используемых структур с вероятностями их появления; 3) средние значения объемов нейронных модулей, сопоставленных переходам.

Научение в этом случае включает четыре основных этапа. 1. Определение плотности распределения входных сигналов по информации, хранящейся в кратковременной памяти. 2. Дуги выходных позиций переходов с большими средними значениями объемов нейронных модулей рассматриваются как управляемые. Объемы нейронных модулей считаются постоянными. Выполнение адаптивного алгоритма оптимизации структуры соединений стохастических систем на основе СП. Критерий оптимизации – минимум среднего квадрата отклонения полученных выходных сигналов от заданных теоретических. В качестве теоретического выступает вектор средних значений выходных сигналов, хранящихся в кратковременной памяти. 3. Формирование множества структур SM , вероятность появления

которых больше заданного значения ϵ . Дугам, которые принадлежат только структурам, не вошедшим в множество SM , сопоставляют нулевую вероятность. Пересматривают вероятности появления структур множества SM . 4. Определение набора сдерживающих событийных гипердуг для множества SM . Построение матрицы B одновременного вхождения дуг в структуру, элементы которой определяется формулой:

$$v_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i - \text{ая и } j - \text{ая дуги принадлежат одновременно хотя бы} \\ & \text{двум структурам или } i = j; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

На основании матрицы B , используя метод граничного перебора, определяют максимальные множества дуг, образующих сдерживающие событийные гипердуги.

Информация о предыдущем обучении затирается в долговременной памяти. Таким образом, долговременная память содержит общее описание конфигурации СП на некотором промежутке времени $[t_0; t_3]$, причем $(t_3 - t_0) \gg (t_2 - t_1)$, $t_0 \leq t_1$, $t_3 \geq t_2$.

Архивная память содержит описание классов ситуаций и СП, отражающую смену классов ситуаций (архивная СП). В зависимости от трактовки ситуаций возможны как последовательная их смена, так и параллельное осуществление. Архивная память формируется на интервале времени $[t_H; t_{TEK}]$, $(t_{TEK} - t_H) \gg (t_3 - t_0)$, $t_H \leq t_0$, $t_{TEK} \geq t_3$. Каждая отдельная ситуация характеризуется одной структурой СП, формирующейся в кратковременной памяти. Класс ситуаций – это некоторое подмножество структур из долговременной памяти. В процессе обучения на конкретных объектах в разных пространственных ситуациях формируются первоначальные классы ситуаций. В дальнейшем в соответствии с некоторым критерием классификации (критерий близости) в процессе функционирования системы происходит расширение классов и создание новых классов ситуаций.

Полное описание класса ситуаций включает: 1) множество структур СП (каждую такую структуру можно рассматривать как самостоятельную СП) с вероятностями появления структур; 2) значения объемов нейронных модулей, сопоставленные переходам, для каждой структуры СП.

В архивной СП класс ситуаций сопоставляется позициям, переходам соответствуют действия и нейронные модули. Объемы нейронных модулей определяют инертность системы, т.е. скорость перехода из одной ситуации в другую при выполнении соответствующего действия или без него. Таким образом, нейронные модули архивной СП отражают переходные процессы в системе.

Переходы архивной СП являются составными, так как действия описываются СП анализа текущей ситуации, формирования закона управления

и определения его параметров. Обработка активных переходов архивной СП осуществляется блоком принятия текущего решения.

Набор управляемых дуг определяется в момент принятия решения. Если позиция в текущий момент времени является входной для нескольких переходов, различные комбинации действий которых могут определять законы управления объектами, то дуги, связывающие эту позицию с данными переходами, являются в этот момент времени управляемыми. Одни и те же дуги в разные моменты времени могут выступать как управляемые, так и неуправляемые. В случае, если действия, приписанные переходам, не могут выполняться одновременно, соответствующие дуги охватываются сдерживающей событийной гипердугой.

Обучение архивной СП включает следующее:

1) определение вероятностей, сопоставленных дугам; 2) расширение имеющихся классов ситуаций; 3) создание новых классов ситуаций; 4) расширение структуры архивной СП при создании новых классов ситуаций за счет: а) внесения новых позиций и переходов, б) организации связей (введение новых дуг) с новыми позициями и переходами или с фрагментом СП, описывающим поведение объекта в неизвестной (неопределенной) для нейрокомпьютера ситуации.

Рассмотрим основные этапы научения.

1. Изменение маркировки СП в соответствии с текущей ситуацией (информация поступает из блока идентификации образа текущей ситуации).

2. Для архивной СП выполняется обобщенный адаптивный алгоритм параметрической и структурной оптимизации стохастических систем и их соединений с учетом текущей ситуации. В процессе выполнения данного алгоритма при моделировании работы переходов, активизированных в маркированной СП пункта 1, осуществляется обращение к блоку принятия текущего решения (БПТР). В БПТР определяется возможность принятия конкретного решения. Эта возможность существует, если в выходной позиции сети БПТР появится маркер, в противном случае новый закон управления не формируется, и параметры не изменяются. Изменение параметров объекта, определенное в БПТР, задает изменение объемов соответствующих нейронных модулей архивной СП. В качестве оптимизируемых параметров выступают объемы нейронных модулей, и, следовательно, время активизации нейронного модуля. Критерий оптимизации – максимальное быстроедействие в целом при минимальном изменении объемов нейронных модулей и максимальной вероятности попадания в заданный класс ситуаций в будущем. Требуемый теоретический класс ситуаций задается и хранится в архивной памяти.

3. На основе результатов выполнения п.2 определяется прогнозируемая ситуация (или множество ситуаций) и действия. Информация об окончательном выборе передается в БПТР.

4. Архивная СП приводится к виду п.1. Изменяется ее маркировка в соответствии с принятым решением.

5. На основании совпадения информации, полученной из ЗК, о реальной ситуации, возникшей вследствие принятого решения, и прогнозируемой ситуации делается вывод о правильности прогноза. Если прогнозируемая маркировка архивной СП и реальная совпадают, то п.7.

6. Изменяем конфигурацию архивной СП следующим образом.

а. Вводим дугу, связывающую позицию реальной ситуации с выходом (выходами) перехода (переходов) формировавшего (формировавших) решение. Дугу, связывающую переход с прогнозной позицией, устраняем.

б. Если мощность множество несовпадающих ситуаций больше двух (вариант управления несколькими объектами одновременно при наличие нескольких несовпадающих с реальными прогнозируемых ситуаций – случай неопределенности), то первоначально необходимо выполнить идентификацию объекта в каждой реальной ситуации и определив пары ситуаций для каждого объекта осуществить действия по изменению конфигурации СП, описанные в п.(а). Затем производится обращение к БПТР для формирования законов управления измерительной системой каждого объекта с целью уточнения ситуации, в которой находится каждый из объектов. По информации, поступающей из блока идентификации, делается заключение о решениях, вызвавших неверное поведение конкретного объекта.

в. Если в результате преобразований конфигурации СП в п. (а, б) появились позиции, которые стали выходными для нескольких переходов, необходимо все выходные дуги этих переходов охватить одной сдерживающей событийной гипердугой. Если уже имеется сдерживающая событийная гипердуга, которая поглощается новой, то такая гипердуга уничтожается.

Сдерживающая событийная гипердуга g_1 поглощается сдерживающей событийной гипердугой g_2 , если множество дуг, охватываемых g_1 , являются подмножеством дуг, охватываемых g_2 .

Данные преобразования позволяют в конкретный момент времени рассматривать древовидную структуру принятия решения, а не сетевую, что повышает надежность системы и быстродействие.

7. Производим пересчет вероятностей, сопоставленных дугам, и объемов нейронных модулей в соответствии с информацией, полученной от объекта через БПТР, о скорости выполнения действия, переходим к п.1.

Таким образом, в архивной памяти аккумулируется информация кратковременной и долговременной памяти, а также описание образа текущей ситуации. БПТР можно рассматривать как процедурную память. На вход БПТР поступает информация об объекте и окружающей среде, законы управления объектом (объектами) и измерительной системой, а также текущие прогнозируемые теоретические параметры объекта и измерительной системы для ситуаций, определенных архивной СП.

Функционирование всех блоков памяти происходит параллельно.

Предложенная в общем виде организация нейронной памяти созвучна модульной концепции организации сознания американского физиолога В. Маункасла [4]. Предлагаемый подход дает возможность значительно увеличить объем искусственных нейронных сетей за счет модульной организации, а также позволяет повысить эффективность процесса принятия решения в условиях неопределенности.

Предложенные модели и алгоритмы предполагается использовать при разработке НК как АОСАУ. Представляются возможными дальнейшие исследования в области разработки систем принятия решения.

Библиографический список

1. Васильев С.Н. Расширение потенциала управления с помощью новых средств представления и обработки знаний / С.Н. Васильев // Проблемы управления и информатики. — 2002. — № 4. — С. 21–36.
2. Галушкин А.И. Основы нейроуправления / А.И. Галушкин // Нейрокомпьютеры. — 2002. — № 9-10. — С. 87–106.
3. Дорогов А.Ю. Структурный синтез модульных слабосвязанных нейронных сетей. I. Методика структурного синтеза модульных нейронных сетей / А.Ю. Дорогов // Кибернетика и системный анализ. — 2001. — № 2. — С. 34–42.
4. Блум Ф. Мозг, разум и поведение / Ф. Блум, А. Лейзерсон, Л. Хофстедтер. — М.: Мир, 1988. — 248 с.

Поступила в редакцию 3.10.2003 г.