

УДК 519.6; 519.95

М. М. ИВАНОВ, Н. А. ЛЫСЕНКОВ, канд. техн. наук,
И. В. СОЛОДОВНИКОВ, канд. техн. наук

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СТРУКТУР
С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ИМИТАЦИИ**

При рассмотрении методов представления нейронных структур на ЭВМ с помощью языков моделирования, ориентированных на процессы, не дается описание функциональных особенностей нейрона и математических зависимостей. Основная задача заключена в подготовке программного обеспечения, позволяющего наиболее адекватно отображать структуру нейронных сетей и имитировать их функционирование.

В основе подхода лежит использование языка моделирования, подобного языку Симула [1]. Отличие применяемой системы за-

ключается в использовании совместно со средствами моделирования базы данных.

Каждый процесс — совокупность данных или параметров (свойств) объекта и действий, которые объект выполняет в системе. Процессы объединяются в классы эквивалентности. Объекты, входящие в один класс, имеют один набор параметров и действий и различаются значениями параметров. В модели каждый нейрон представляется в виде процесса. В качестве параметров процесса могут выступать сигналы на входе и выходе нейрона, параметры переходных процессов, ритмической активности нейрона и т. д. Действия объекта в системе могут задаваться как функциональные зависимости между входными и выходными сигналами нейрона.

Важной особенностью некоторых языков моделирования, ориентированных на процессы, является возможность конструирования иерархии процессов, что позволяет строить сложные понятия на основе простых. Для этого используется операция сочленения классов [1].

Сущность ее заключена в следующем.
Пусть класс объектов А имеет описание:

к л а с с А
параметры А
действия А.

Задание нового объекта, обладающего свойствами А и дополнительными свойствами, которые характеризуют конкретный объект, имеет вид:

А к л а с с В
параметры В
действия В.

А выступает здесь в качестве класса префикса. Новый класс В имеет параметры класса А и параметры, присущие В. Аналогичным образом можно описать действия нового класса. Таким образом, описание класса В, полученное в результате операции сочленения, можно задать

к л а с с В
параметры А, параметры В
действия А, действия В.

Эту операцию можно применять для описания нейронов в виде древовидных иерархий классов, что позволяет уточнять понятие нейрона. Описание нейрона на нижнем уровне иерархии может использоваться на верхних уровнях, т. е. появляется возможность построения типовых моделей различных видов нейронов, с помощью которых, как строительных блоков, можно строить конкретные модели, отражающие специфику реальной ситуации.

Приведем простейший пример. Пусть задано описание нейрона, отображающее его динамические характеристики:

к л а с с нейрон;
параметры, описывающие динамические характеристики
действия.

Необходимо построить нейронную сеть, в которой нейроны выполняют только логические функции, но учесть при этом их динамические характеристики для получения временных параметров сети в целом. Тогда, например, как следует из [2], нейрон реализующий операцию условного вычитания будет иметь следующее описание:

нейрон класса условное-вычитание (s_1, s_2, x_1, x_2, y) ;

вещественные s_1, s_2, x_1, x_2, y ;

если $s_1 x_1 \geq s_2 x_2$, тогда $y = s_1 x_1 - s_2$, иначе $y = 0$.

Нейрону, описанному в таком виде, кроме выполнения операции вычитания присущи динамические характеристики, определенные в классе нейрон.

Следующей задачей является воссоздание структуры нейронной сети. Для этого рассмотрим некоторые особенности систем моделирования типа Симула. Обращение к объектам отдельных классов осуществляется за счет введения специальных ссылочных переменных, которые будем обозначать как элементы. Каждый элемент обладает именем и квалификацией. Квалификация ограничивает возможности элементов как ссылочных переменных, т. е. определяет, на объекты какого класса может ссылаться данный элемент. Например, запись:

элемент (условное — вычитание) z_1, z_2, z_3

задает элементы z_1, z_2, z_3 , которые могут ссылаться на нейроны, выполняющие операцию условного — вычитания, а значит на нейроны, принадлежащие к классу условное — вычитание.

Для того, чтобы определить, на какой конкретный объект данного класса ссылается элемент, выполняется оператор присваивания ссылок, в частности, при создании нового объекта данного класса, например

$z_1 = \text{новый условное — вычитание}(3, 2, 4, 4, y)$.

В результате этой операции можно считать, что возникает новый нейрон, выполняющий функции операции условного вычитания, коэффициенты которого s_1 и s_2 соответственно равны 3 и 2, входные сигналы x_1, x_2 — 4,4, а результат операции условного вычитания засылается в переменную y .

Чтобы задать последовательность, в которой объекты системы выполняют действия, в системах моделирования используется понятие управляющего списка (УС). УС представляет собой последовательность уведомлений, каждое из которых состоит из временной ссылки и ссылки на объект. Временная ссылка указывает время наступления события для объекта, а ссылка на объект задает объект, для которого планируется событие. Таким образом, УС выступает как своеобразный календарь системы. Первое уведомление в управляющем списке называется текущим и указывает на объект, для которого действия выполняются в настоящий момент времени. Чтобы исключить уведомление, в УС используются специальные операторы планирования, например: з а п л а

нирывать z_1 через T_1 . Это означает, что действия для объекта, на который ссылается элемент z_1 , произойдут через промежуток времени T_1 . При этом в УС будет включено уведомление с временной ссылкой $\text{time} + T_1$ и ссылкой на объект элемента z_1 . Здесь time — текущее время.

Предположим, что нейрон имеет только один выход. Можно считать, что этот выход будет входом другого нейрона. Тогда формирование выходного сигнала для нейрона означает возможность начала выполнения действий для нейрона, для которого этот сигнал является входным. Время формирования выходного сигнала, следовательно, время, на которое планируются действия для следующего нейрона, можно рассматривать как динамическую характеристику нейрона. Поэтому описание класса НЕЙРОН можно представить следующим образом:

класс нейрон (z)

параметры

запланировать z через T .

Здесь z — элемент, определяющий нейрон, на вход которого поступает сигнал рассматриваемого нейрона. T — складывается как время формирования сигнала и его передачи от нейрона к нейрону.

При этом выполнение действий для нейрона данного класса означает, что уведомление о нем может быть исключено из УС и он снова может быть возбужден, когда к нему на вход поступят сигналы от других нейронов, т. е. действия для него будут запланированы из других объектов нейронной сети. Таким образом, описание класса условное — вычитание примет вид

Нейрон класс условное — вычитание (s_1, s_2, x_1, x_2, y)

вещественные s_1, s_2, x_1, x_2, y

если $s_1 x_1 \geq s_2 x_2$, тогда $y = s_1 x_1 - s_2 x_2$, иначе $y = 0$

пассивный

перейти в начало.

Здесь пассивный исключает объект из УС, а «перейти в начало» указывает, что при следующем выполнении действий для нейрона они будут выполняться с самого начала.

Теперь можно определить структуру моделирующей программы:

1) описание классов

2) класс нейрон (z)

...

3) нейрон класс условное — вычитание (s_1, s_2, x_1, x_2, y)

...

4) нейрон класс запрет (s_1, s_2, x_1, x_2, y)

...

...

...

5) главная программа

6) описание элементов

7) элемент (условное — вычитание) z_1, z_2, \dots, z_n

8) элемент (запрет) R_1, R_2, \dots, R_m

...

9) описание объектов

...

10) z_1 -новый условное — вычитание ($z_2, 3, 2, b_1, b_2, b_3$)

11) z_2 -новый условное — вычитание ($R_k, 4, 1, b_3, b_0, b_4$)

...

12) планирование начальных событий

13) запланировать z_1 через 0

...

14) планирование времени моделирования и другие действия

...

Согласно строкам 10, 11 элементы z_1 и z_2 ссылаются на нейроны из класса условное — вычитание. Причем при генерации этих объектов среди значений параметров необходимо указать параметр класса префикса. Сигнал с выхода нейрона z_1 поступает на возбуждающий вход нейрона z_2 . Учитывая информацию строки 13, можно утверждать, что b_1 и b_2 — входные сигналы нейронной сети и нейрон z_1 возбуждается в 0 момент времени моделирования.

При построении модели многослойной нейронной сети, когда модель своей размерностью превосходит размеры оперативной памяти, целесообразно использование базы данных. Моделирование производится послойно, результаты запоминаются в базе и являются исходными при переходе к моделированию следующего слоя.

Таким образом, использование подхода, основанного на применении языков моделирования и баз данных, дает возможность строить описание нейронов любой степени детализации и модели нейронных структур большой сложности и размерности, а также легко модифицировать модель нейронной структуры и использовать специальные средства систем моделирования и баз данных для интерпретации результатов моделирования нейронной сети.

Список литературы: 1. Андрианов А. Н., Бычков С. П., Хорошилов А. И. Программирование на языке Симула-67. М., 1985. 123 с. 2. Позин Н. В. Моделирование нейронных структур. М., 1970. 196 с.

Поступила в редколлегию 09.02.88