

УДК 51.155.001.1.57.612.82

Г. Т. САРКИСОВ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ НЕКОТОРЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ УСЛОВНОРЕФЛЕКТОРНОЙ ПАМЯТИ

В работе сделана попытка математического моделирования некоторых особенностей памяти живых систем, проявляющихся в условнорефлекторном поведении. В предложенной модели нашли формальное выражение такие свойства биологической памяти, как принцип ассоциативного воспроизведения информации и нелокальный характер ее хранения.

В настоящее время обучающиеся системы (ОС) имеют практическое значение для управления процессами, в отношении которых существует начальная неопределенность. Эти системы способны вырабатывать оптимальное управление, основываясь на результатах прошлого «опыта», накопленного в процессе обучения. Таким образом, любая ОС должна обладать активной памятью, удерживающей информацию о результатах своего взаимодействия с окружающей средой для использования их в будущем. Примечательно, что факт доминирующего положения аппарата памяти в структуре ОС приводит ряд исследователей к отождествлению процессов обучения с «целенаправленной организацией памяти» [3]. При этом есть основания полагать, что важным фактором эффективно «организованной» памяти ОС является способность быстро и точно воспроизводить нужные «следы» закрепленной информации. Как известно, процессы воспроизведения и фиксации необходимой информации в памяти живых систем принципиально отличаются от соответствующих процессов в «машинной» памяти. Основным принципом биологической памяти является принцип ассоциативного запоминания и воспроизведения информации. Преимуществом такой организации памяти является потенциальная возможность практически мгновенного обращения к прошлому «опыту», что является зачастую необходимым условием выживания живого организма.

Представляет практический интерес математическое моделирование отмеченных свойств биологической памяти с целью использования их в технических устройствах.

В настоящей работе сделана попытка математического описания некоторых особенностей памяти живых систем, проявляющихся в условнорефлекторном поведении.

При построении модели в качестве исходной предпосылки была принята точка зрения, согласно которой условный рефлекс рассматривается как проявление функции предвидения в приспособительном поведении живых организмов [1]. Учитывая сказанное, функции памяти при

условнорефлекторном обучении в упрощенном виде можно определить следующим образом. На стадии обучения система памяти осуществляет ассоциативное запоминание последовательности конечного числа сигналов, поступающих на ее вход. В стадии «умения» при появлении какого-либо сигнала из данной последовательности на входе системы осуществляется воспроизведение на выходе сигнала, следующего в последовательности за ним в процессе запоминания (режим «однотактного» предвидения), или же воспроизводятся все оставшиеся сигналы последовательности в порядке их запоминания (режим «многотактного» предвидения).

Структура предлагаемой модели задается передаточной матрицей (ПМ) $W = [w_{ij}] ; i, j = \overrightarrow{1, n}$, которая осуществляет на стадии «умения» трансформацию входного сигнала в выходной. ПМ близка по смыслу к так называемой матрице связей перцептронных моделей мозга [3, 4].

Модель функционирует следующим образом. Стадия обучения рассматривается как последовательность проб $1, 2, \dots, N, \dots$. Каждая проба заключается в подаче на вход модели в дискретные моменты времени последовательности сигналов $X_k = \{x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{nk}\}; k = \overrightarrow{1, (n+1)}$, представленных действительными вектор-столбцами в n -мерном пространстве. Проба завершается «подкреплением», формальное выражение которого в настоящей модели заключается в определенном изменении ПМ. Это изменение задается итеративной процедурой:

$$W(N) = W(N-1) \left(E - \sigma \sum_{k=1}^n X_k X_k^T \right) + \sigma \sum_{k=1}^n X_{k+1} X_k^T; (N = 0, 1, 2, \dots), \quad (1)$$

где E — единичная матрица n -го порядка, σ — скалярный параметр, T — знак транспонирования.

Принимая $W(0) = 0$, выражение (1) представим в следующем виде:

$$W(N) = \sum_{l=1}^{N-1} \sigma \sum_{k=1}^n X_{k+l} X_k^T \left(E - \sigma \sum_{k=1}^n X_k X_k^T \right)^l \quad (2)$$

Скалярный параметр σ выбирается из условия:

$$\| E - \sigma \sum_{k=1}^n X_k X_k^T \| < 1, \quad (3)$$

где $\| \cdot \|$ — норма матрицы.

При этом в силу свойств матричных рядов [2] процесс обучения сходится к ПМ вида:

$$W_* = \lim_{N \rightarrow \infty} W(N) = \sum_{k=1}^n X_{k+1} X_k^T \left(\sum_{k=1}^n X_k X_k^T \right)^{-1} = U V^T (V V^T)^{-1} = U V^{-1}, \quad (4)$$

где U и V — квадратные матрицы вида:

смежности» в стадии обучения. Другими словами, считывание конкретной информации в модели осуществляется по содержанию, а не по расположению, в отличие от процессов считывания информации в технических системах [5]. Другой важной структурной особенностью биологической памяти является свойство распределенности. Отметим, что информация в большинстве технических устройств, как правило, локализована в определенном пространственном объеме; собственно, это и предполагает «адресный» принцип считывания информации в «машинной» памяти. Некоторые же виды биологической памяти представляют собой распределенную память, т. е. память, в которой информация хранится в пространстве в рассеянном виде. Факт отсутствия в биосистемах однозначного соответствия между элементом информации и местом, где он хранится, впервые был установлен в экспериментах Лешли [7], а в дальнейшем подтвержден в работах ряда других исследователей [6, 8].

В этой связи можно показать, что содержание любой ячейки матричной структуры модели приводится к следующему виду:

$$w_{ij}^* = \frac{1}{\sum_{(k_1 k_2 \dots k_n)} (-1)^t x_{1k_1} x_{2k_2} \dots x_{nk_n}} \sum_{k=1}^n x_{ik+1} v_{jk} : (ij = \overrightarrow{1, n}); \quad (12)$$

где v_{jk} — алгебраическое дополнение соответствующего элемента матрицы (5), $(k_1 k_2 \dots k_n)$ — всевозможные перестановки элементов $\overrightarrow{1, n}$ t — число инверсий перестановки.

Таким образом, содержание любой ij -ой ячейки в стадии «умения» определяется всеми сигналами последовательности x_k ; ($k=1, (\overrightarrow{n+1})$), что является формальным выражением пространственной распределенности информации в структуре модели.

Институт экспериментальной
биологии АН АрмССР

Поступило 17.III 1975 г.

Գ. Թ. ՍԱՐԿԻՍՈՎ

ՊԱՅՄԱՆԱ-ՌԵՖԼԵՔՍԱՅԻՆ ՀԻՇՈՂՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՆԿԱՐԱԳՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հողվածում առաջարկվում է պայմանա-ռեֆլեքսային վարքի ժամանակ դրսևորվող կենդանական սխտեմների հիշողության որոշ առանձնահատկությունների մաթեմատիկական մոդելավորումը: Նշված մոդելում տրված են բիոլոգիական հիշողության այնպիսի հատկությունների ֆորմալ արտահայտությունները, ինչպիսիք են՝ ինֆորմացիայի ասոցիատիվ վերարտադրումը և նրա պահման բաշխված բնույթը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Анохин П. К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. М., 1968.
2. Демидович Б. П., Марон И. А. Основы вычислительной математики. М., 1970.
3. Ивахненко А. Г. Самообучающиеся системы с положительными обратными связями. Киев, 1963.
4. Розенблат Ф. Принципы нейродинамики. М., 1966.
5. Фомин С. В. Бисфизика, 15, 2, 1970.
6. Galambos R., Norton T., Frommer G. Exp. Neurol., 18, 8—25, 1967.
7. Lashley K. S. Brain mechanisms and Intelligence, Chicago, 1929.
8. Pribram K. H. Sci. Amer., 220, 1, 1969.