

УДК: 612.84 + 612.821

**МОДЕЛЬ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПАМЯТИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ВЕСА
ИНФОРМАЦИИ**

Лаврова Н.М., Рудинский А.В., Лавров В.В.

*Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, Центр системного
обучения и консультирования "Synergia", Санкт Петербург, Россия*

Впервые представлена модель, отражающая совмещение регулятора и регистратора в едином блоке, осуществляющем запись фрагмента информации в мозговой памяти. Весовые параметры фрагмента определяются его значением для принятия решения в поведенческой ситуации. Чем больше вес фрагмента, тем больше объем памяти отводится для его регистрации и тем легче он считывается. Модель объясняет формирование рабочей памяти, природу ассоциаций и позволяет понять причину быстрого стирания в памяти бесполезной информации. Предполагается, что модель найдет свое применение в построении компьютера, воспроизводящего работу мозга.

Ключевые слова: память, дискретность информации, ассоциации, весовые параметры информации, математическое моделирование

Вопрос о том, как происходит управление механизмами перехода информации, хранящейся в памяти, из одной категории (эпизодической, кратковременной, долговременной и рабочей памяти) в другую, составляет основополагающую проблему изучения памяти и целостной работы нейронных сетей. Важность вопроса обусловлена не только тем, что он касается прочности памяти и степени ее доступности для считывания, но и тем, что затрагивается проблема формирования ассоциаций и целостных образов из информационных фрагментов, записанных в разных структурах нейронной сети. Необходимо найти объяснение с помощью универсальной модели, применимой для понимания разнородности памяти и построенной с учетом принципа гетерогенности нейронных сетей, предусматривающего системное распределение функций между элементами нейронных сетей, структурированных по функциональным единицам. Имеется в виду, что нейросетевой модуль, центральным элементом которого выступает интегрирующий нейрон («интеллектуальный» нейрон, для роли которого, например, подходит большой пирамидный), участвует в различных функциональных системах [1]. Интегрирующий нейрон, об-

ладающий эффекторным выходом, несет в себе комплексы фрагментов памяти, значимость которой меняется по мере участия в разных поведенческих актах. Понятно, что в таких условиях необходима целесообразная селекция, поскольку фрагменты информации, важные в одном случае, могут иметь нулевой вес в другом случае, когда выполняется другой акт. Здесь идет речь не о так называемых «энергетических» явлениях, обусловленных переходом от возбужденного к заторможенному состоянию и обратно, а именно о памяти, потому что участие в разных поведенческих актах может происходить в равном функциональном состоянии. Необходимость регуляции веса информационных фрагментов становится очевидной еще и потому, что «пересортировка» памяти сопряжена с постоянным поступлением информации, неизбежно переполняющей ресурсы памяти. То есть, необходимо иметь регулятор стирания памяти и восстановления следов памяти в соответствии с поведенческой ситуацией. Функция регистратора и регулятора регистрации предполагают наличие двух взаимодействующих нервных элементов. Исследования [4-6] подтверждают предположение о совмещении двух элементов в едином функцио-

нальном блоке и впервые высказываемого представления о том, что гетерогенная нейронная структура обеспечивает запись фрагментов информации в соответствии с их весом, который определяется значением фрагмента для принятия решения при интеграции фрагментов.

Цель данной работы заключалась в моделировании процесса управления памятью в гетерогенной нейронной сети с учетом изменения весовых параметров зарегистрированных фрагментов информации.

Сперва обратили внимание не гетерогенность нейронных популяций, исходя из представлений [2-6], что функциональной единицей мозга является нейронный модуль, состоящий из популяции неоднородных (дифференцированных по своей функциональной роли) нервных клеток. Примером такого модуля служит большой пирамидный нейрон (БПН) с группой сервисных нейронов. БПН обладает следующими свойствами, указывающими на ведущее положение в модуле: имеет наибольшую разветвленность дендритов, ответственных за восприятие информации; апикальный дендрит БПН проходит через весь поперечник коры, что позволяет собирать информацию от нейронов всех слоев; БПН имеет максимальный набор функциональных блоков, в том числе – аксошипиковый аппарат и запрещающие синапсы на аксонном холмике.

Затем сконцентрировали внимание на принципе целесообразной фрагментации сенсорной информации [5]. Имеется в

виду, что нейронная сеть не просто воспринимает потоки информации от рецепторов, а вначале создает запрос, после чего фильтрует входные потоки информации, отбирая и фрагментируя в соответствии с запросом. Отмеченный принцип базируется на результатах исследований, касающихся принятия решения при опознании зрительных образов под регулирующим влиянием неспецифических нервных образований [5, 7-9].

На основном этапе работы приступили к моделированию процессов управления памятью в соответствии с весом информации, исходя из представления, что объем памяти, отводимой для записи каждого фрагмента, регулируется в соответствии с его весом. Объем памяти может сокращаться вплоть до того уровня, когда волевым усилием становится невозможно сознательно воспроизвести информацию. В момент забывания, информация попадает в разряд подпороговой, но при этом полностью не уничтожается. Восстановление и увеличение объема фрагментов, происходит при повторении событий, а экстренное воспроизведение подпороговых информационных фрагментов обеспечивается напряжением регулятора в условиях эмоционального стресса. Переходя к алгоритмическому выражению модели памяти, учитывали динамичность памяти в процессе принятия решения. Представим принятие решения как процесс объединения наличного количества фрагментов.

$$Az_n = \bigcup_0^{\infty} \text{inf}_n, \tag{1}$$

где пределы у символа объединения относятся к индексу фрагмента (inf) – n. Примем в качестве одного из условий свойство постоянства фрагмента во времени и рас-

смотрим величину Az_n как абсолютно правильное решение. Тогда текущий уровень обработки данных можно представить как:

$$Tz_n(t) = \bigcup_{n=1}^N w_n(t) \text{inf}_n, \tag{2}$$

где $w_n(t)$ - вес фрагмента с номером n на данный момент времени.

Отметим, что $0 \leq w_n(t) \leq 1$, причем значение $w_n(t) = 0$ свидетельствует о том, что в момент времени t нет данных о значимости фрагмента \inf_n^j . Как только будут получены данные для этого \inf_n^j , его вес станет $w_n(t) \neq 0$.

Формула (2) отражает тот факт, что весовые коэффициенты обусловлены оценкой, производимой с учетом значимости для принятия решения. Очевидно, что в процессе принятия решения доступная информация не просто фильтруется – производится целенаправленный отбор и

«взвешивание». Чем больше значимость, тем более она детализируется, тем больше ее вес.

Итак, оценка весов фрагментов информации и установление корреляционных отношений с предыдущими оценками, которые зафиксированы в памяти, служит базисным моментом в процессе принятия решения и одновременно создает субстрат ассоциаций. Принятие решения можно представить в виде дискретного процесса весовой оценки фрагментов (с номером i), характеризующих состояние объекта (с номером j) в виде следующей записи:

$$O_{ij}(t_k) = \bigcup_{n(1)}^{N(i)} w_{n(i)}^j(t_k) \inf_{n(i)}^j \quad (3)$$

Формула (3) отражает тот факт, что в ходе принятия решения взвешенно отбираются фрагменты, которые свидетельствуют о ситуации. Понятно, что при обновлении ситуации не экономно сохранять в памяти прежние весовые значения и выделять большой объем памяти для поддержания на высоком уровне информации, потерявшей актуальность. Исследователи не дают ответа на вопрос, как обеспечивается динамика памяти из разряда актуальной в неактуальную и обратно в соответствии с требованиями ситуации. Предполагается, что память просто стирается под влиянием времени, в то время как следует предусмотреть целесообразное управление

памятью и дифференцированный сдвиг весовых параметров вследствие изменения ситуации. При выполнении решения в момент времени t_k запускается процесс обновления памяти. Процесс забывания (уменьшения веса и размеров фрагментов, хранящихся в памяти) может протекать пассивно вследствие изменения структур памяти под влиянием времени, или активно под контролем регулятора.

В соответствии с первым правилом Июста (цитировано по [3]) и формулой (3) определим процесс забывания информации как:

$$O_{ij}(t_k) = \bigcup_{n(1)}^{N(i)} \exp(-\alpha_{n(i)}^j \tau) (w_{n(i)}^j(t_{k-1}) \inf_{n(i)}^j) \quad (4)$$

где: τ - время забывания; $\alpha_{n(i)}^j$ - постоянная дисконтирования.

Из формулы (4) следует, что информация, находясь в памяти, может изменяться, но не исчезает, поскольку экспоненциальная функция не достигает нулевого значения. Соответственно, процесс забывания, сопровождающийся постепенным уменьшением объема и весов фрагментов, хранящихся в памяти, выражается в уменьшении суммарной оценки веса объекта в памяти, вследствие чего память

переходит в подпороговую область. Такой переход не означает, что фрагмент памяти осуществляет «дрейф» по структурам, служащим субстратом памяти. Переход из одной категории памяти в другую обусловлен изменением состояния фрагмента. По всей видимости, порог забывания определяется потерей надежного контроля за извлечением информации из памяти. В некоторых экстренных поведенческих ситуациях информация из подпороговой памяти может стать высоко актуальной. Считывание такой информации в мозге бес-

печивается интуицией и стрессом, когда мобилизуется ресурс регуляторных систем мозга. По всей видимости, эволюция целесообразно формировала механизм памяти, с одной стороны, следуя принципу экономии, допускала «забывание», а с другой – сохраняла полезную информацию в подпороговой области. Отмеченные особенности работы памяти в мозге служат ориентиром для будущей конструкции такого запоминающего устройства, которое будет воспроизводить алгоритмы принятия решения мозгом.

Важно отметить принципиальный момент, отражаемый в модели – обучение и накопление памяти начинается не с «чистого листа», а представляет собой дополнение к той, которая задана наследственно. Именно наследственная информация составляет основную программу поведения живого организма и предоставляет базисную символику памяти, которая служит стабилизированным «языком» записи фрагментов информации в те ячейки, которые существуют в нейронах.

Предположение, что в мозге, подобно ЭВМ, имеются специализированные структурные блоки памяти, не было подтверждено нейрофизиологическими исследованиями. Поэтому следует полагать, что разнородность памяти обусловлена не обособленностью мнестических структур, а различием доступности считывания. Используя критерий весовых параметров, можно выделить ряд уровней состояния памяти. Первый уровень – рабочая (оперативная) память, воспроизводится без усилий регулятора, фрагменты имеют высокий вес и увеличенные размеры со средней весовой величиной – h_{pm} . Второй уровень памяти, воспроизводится под контролем регулятора без напряжения, фрагменты имеют средние весовые параметры – h_{mp} . Третий уровень памяти, фрагменты со средним весом – h_{pa} , считывание («воспоминание») достигается после напряжения регулятора, требуется время для обнаружения требуемого фрагмента памяти и воспроизведения.

Приступая к моделированию памяти, невозможно обойти проблему консолидации фрагментов, зафиксированных в пространственно-временном континууме мозга. Такая консолидация в рамках цело-

стного образа, по-видимому, обусловлена наличием функциональных контактов (ассоциативностью) фрагментов. Понятно, что ассоциативность обеспечивается связями между структурами, содержащими запись информации. Но связи являются субстратом и не дают представления об организации процессов консолидации. Коммутационная концепция, объясняющая обучение и возникновение ассоциаций только за счет формирования (или трансформации) контактов между нейронными структурами, уступает место теории, основанной на системно-информационном подходе. Поскольку один и тот же фрагмент памяти может входить в состав разных образов, то такой фрагмент, с одной стороны, функционально связан с этими образами, а с другой стороны, устанавливает ассоциацию образов, в состав которых входит. Можно полагать, что чем выше вес такого фрагмента, общего для образов, тем прочнее ассоциация образов. Соответственно, субстратом ассоциативной памяти служит не просто комплекс контактов нейронов, а система тех фрагментов, которые входят в состав ряда образов. Ассоциативные области мозга, как и специфические анализаторные, насыщены неспецифическими регуляторными элементами, что указывает на их важную роль в процессах консолидации фрагментированной информации.

Таким образом, предложена принципиально новая модель системы памяти, в основе функциональной организации которой лежит принцип весового различия регистрируемой информации. Модель, учитывающая дискретность информации и ее избирательность, объясняет совмещение регистраторов фрагментов и регуляторов в едином блоке. Нейробионическая модель, призванная воспроизвести работу реальных нервных сетей, раскрывает природу следующих особенностей мозговой памяти:

1. Долговременность и прочность памяти обеспечивается увеличением объема фрагментов памяти в тех структурах, которые ответственны за мнестическую функцию.

2. Оперативность рабочей памяти обусловлена легким доступом к тем фрагментам, которые отличаются высоким ве-

сом и увеличенными размерами фрагментов памяти.

3. Консолидация фрагментов памяти в процессе принятия решения происходит под контролем регуляторов, которые ответственны за целостность взаимодействия и ассоциативность образов.

4. Эпизодическая память, как предполагается, формируется информацией, которая селективируется не по весу отдельных фрагментов, а по комплексам информационных потоков. Особенность эпизодической памяти заключается в том, что она обеспечивает информацией аппарат мозга, ответственный за передвижение в пространстве и за построение триединой модели (модели внешнего мира, собственного тела и модели пространственного взаимодействия двух предыдущих), для чего используются широкомасштабные мультимодальные потоки информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем.– М.: Медицина. 1985. 444 с.

2. Вальцев В.Б., Лавров В.В., Рудинский А.В. Модель отношений неоднородных нейронов в процессе адаптации нейросетей к изменению ситуации // "Нейрокомпьютеры и их применение", VII Всероссийская научно-техническая конферен-

ция, ИПУ, Москва, 2002 г., ISBN5-201-14-935-9.

3. Ермоленко А.С., Рудинский А.В., Сиек Ю.Л. О применении гетерогенных нейронных сетей при построении классификаторов морских объектов// В сб.: "Нейроинформатика и ее приложения". Красноярск: . 2002 г. С. 23-25.

4. Лавров В.В. Мозг и психика. СПб. 1996, 156 с.

5. Лавров В.В., Вальцев В.Б. Целеобразное фрагментирование информации на входе в мозг//Информационные технологии. 2006, № 2. С. 22-29.

6. Лавров В.В., Рудинский А.В. Организация целостной деятельности микро- и макросистемных нервных образований и гетерогенные нервные сети // В сб.: «Нейроинформатика-2003». Т.1, Москва. 2003. С.19-23.

7. Brewer J. B., Zhao Z. Making memories: Brain activity that predicts how well visual experience will be remembered// Science, 1998, V 281, N 5380, P. 1185-1187.

8. Hoffman K.L., McNaughton B.L. Sleep on it: cortical reorganization after-the-fact// Trends in Neurosci., 2002, V 251. P. 1-2.

9. Iba M., Sawaguchi T. Neuronal activity representing visuospatial mnemonic processes associated with target selection in the monkey dorsolateral prefrontal cortex// Neuroscience Research, 2002, V 43, N1. P.9-22.

FUNCTIONING MODEL OF THE MEMORY SYSTEM IN ACCORDANCE WITH WEIGHT OF INFORMATION

Lavrova N.M. Rudinsky A.V., Lavrov V.V.

RAS Institute of physiology named after I.P. Pavlov,

Center of system education and consulting "Synergia", Saint-Petersburg, Russia

For the first time it is presented the model which reflect overlapping of a regulator and the registrar in the uniform block, carrying out record of a fragment of the information in brain memory. Weight parameters of a fragment are determined by its value for decision-making in a behavioral situation. The more the weight of a fragment, the more memory size is allocated for its registration and the easier to read it. The model explains formation of working memory, the nature of associations and allows to understand the reason of fast deleting in memory of the useless information. It is supposed, that the model will find the application in construction of the computer reproducing work of a brain.

Keywords: memory, discretion of the information, associations, weight parameters of the information, mathematical modelling