

ДИСКУССИИ

ОБ ОБЪЕМЕ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ПАМЯТИ

© 2000 г. С. Д. Медведев

Старший научный сотрудник НИИ нейрокибернетики, Ростов-на-Дону

Рассматриваются предположения о принципиально векторном характере величин, связанных с объемом кратковременной памяти, и об экспоненциальной зависимости этого объема от значения алфавита. Показана их неправомерность. Дано теоретическое обоснование возможности прогноза значения объема кратковременной памяти для мультипликативных алфавитов разного порядка по правилам теории вероятностей. Предлагается способ экспериментальной проверки такой возможности.

Ключевые слова: память, объем, алфавит, прогноз.

Статья посвящена вопросу понимания смысла таких психологических характеристик кратковременной памяти (КП) человека, как ее объем и величины обратной этому объему. Они играют важную роль в теоретических и экспериментальных исследованиях закономерностей КП, и верное их уяснение может способствовать пониманию наблюдаемых в эксперименте явлений. В то же время трудности в осмыслении названных величин существуют, в чем можно убедиться на следующем примере.

Согласно гипотезе, высказанной А.Н. Лебедевым [1], объем КП является психофизиологической константой и связан с нейрофизиологическими характеристиками и так называемым субъективным алфавитным соотношением

$$H = (N \log N) / \log M, \quad (1)$$

где H – объем КП, N – нейрофизиологический показатель (отношение периода альфа-ритма ЭЭГ к периоду квантования колебаний ЭЭГ, обнаруженному М.Н. Ливановым [3], M – субъективный алфавит, или набор внутренних сигналов нервной системы, которым в ней представлен внешний физический алфавит A . Из всех величин, входящих в выражение (1), только величина H доступна экспериментальной оценке. Если для величины N можно найти ее электроэнцефалографические корреляты [5], то величина M никак ненаблюдаема, но предполагается, что существует функциональная зависимость M от A . Поэтому для доказательства справедливости соотношения (1) значительная часть усилий была направлена на теоретические исследования взаимосвязи M и A .

Один из последних найденных вариантов этой взаимосвязи имеет вид

$$M = AH. \quad (2)$$

Подстановка такого значения M в формулу (1) приводит к трансцендентному уравнению, решение которого стало давать достаточно точный

прогноз индивидуальных значений объема КП и времени зрительного поиска для разных по размеру цифровых и буквенных алфавитов [2].

Однако в ходе исследований выяснилось, что значение H для так называемых мультипликативных алфавитов, скомбинированных из двух и более алфавитов различных признаков, может быть довольно точно рассчитано по значениям H для каждого из алфавитов, образующих мультипликативный алфавит [6]. Расчетная формула имеет вид

$$1/H = 1/H_1 + 1/H_2, \quad (3)$$

где H – объем КП для мультипликативного алфавита $A = A_1 A_2$, H_1 и H_2 – объемы КП, соответствующие алфавитам A_1 и A_2 . В общем виде для любого числа A_i формула (3) может быть записана как

$$1/H = \sum_i 1/H_i. \quad (4)$$

Формула (3) была получена из (1) в предположении, что субъективный алфавит M , соответствующий физическому мультипликативному алфавиту $A = A_1 A_2$, также мультипликативен, т.е.

$$M = M_1 M_2, \quad (5)$$

где M_1 и M_2 – субъективные алфавиты для A_1 и A_2 . В связи с этим возникли следующие проблемы.

Несмотря на то, что формула (3) оказалась работоспособной и приводились примеры просто снайперски точных прогнозов значений H для мультипликативных алфавитов, все же нередки случаи значительного расхождения теоретически предсказанного значения H с его экспериментальной оценкой [6]. Кроме этого, соотношение (5) вступило в серьезное противоречие с соотношением (2) [2, 6]. Поэтому возникла необходимость дать теоретическое обоснование причин ошибочных расчетов значений H по формулам (3, 4) и объяснить смысл входящих в него величин. На это и были направлены основные усилия ав-

торов работы [6]. Отметим, что формула (3) будет справедлива только при выполнении равенства (5), они предположили, что модуль разности $|1/H - 1/H_1 - 1/H_2| = \Delta$ может служить мерой немультпликативности субъективного алфавита. Затем формула (3) была записана в виде

$$1/H = 1/H_1 + 1/H_2 + 2\delta/\sqrt{H_1 H_2}, \quad (6)$$

где $\delta = \Delta/2 \sqrt{H_1 H_2}$ и $\Delta = 1/H - 1/H_1 - 1/H_2$, и на примере данных из работы [2] было найдено, что модуль величины δ для разных троек алфавитов, в которых сумма двух равна третьему, не превышает единицы. На этом основании формула (6) была переписана в виде

$$(1/\sqrt{H})^2 = (1/\sqrt{H_1})^2 + (1/\sqrt{H_2})^2 - 2\cos\varphi/\sqrt{H_1 H_2}, \quad (7)$$

которому было дано следующее объяснение.

“Таким образом, перед нами известная со школьной скамьи теорема косинусов: два вектора с длинами $\sqrt{1/H_1}$ и $\sqrt{1/H_2}$ и углом между ними φ складываются по правилу параллелограмма, в результате чего получается третий вектор, длина которого равна $\sqrt{1/H}$. Следовательно, психологическая реальность, которая стоит за величинами, обратными корню квадратному из объема кратковременной памяти, имеет принципиально векторный характер” [6, с. 140].

Неизвестно, где были почерпнуты такие сведения по геометрии (возможно, что на какой-нибудь школьной парте такая надпись и существует), но на самом деле теорема косинусов и правило параллелограмма представляют собой два различных алгоритма вычислений разных величин. Единственной общей точкой для них является случай, когда угол $\varphi = \pi/2$: теорема Пифагора как частный случай теоремы косинусов и параллелограмм-прямоугольник, у которого обе диагонали равны. Величины, искомые по каждому из двух алгоритмов, ведут себя противоположным образом при одном и том же изменении угла φ . Так, теорема косинусов задает расстояние между концами двух векторов (это расстояние вектором уже не является, поскольку направление никак не задается), которое уменьшается при уменьшении угла между векторами, а по правилу параллелограмма находится сумма двух векторов (тоже вектор), которая увеличивается с уменьшением угла между ними. Другими словами, уже на первом этапе геометрической интерпретации психологических данных возникает двусмысленность толкования наблюдаемых в эксперименте результатов с помощью никак не наблюдаемого угла φ . Эта двусмысленность не исчезает, даже если выбрать только один какой-нибудь вариант объяснения, например теорему косинусов. Ее ответ будет

однозначным только при данности какого-нибудь треугольника. Если же мы имеем только три числа a , b и c , то наши манипуляции с ними по формуле $a^2 + b^2 = c^2 - 2ab\cos\varphi$ могут быть равнозначно истолкованы и как нахождение угла φ , и как нахождение того, сколько надо добавить или отнять от отрезка, равного числу c , чтобы построить с ним прямоугольный треугольник с катетами, равными числам a и b . В целом же геометрическая интерпретация результатов экспериментов с кратковременной памятью несколько не проясняет смысл психологических величин H , $1/H$ и $\sqrt{1/H}$, а лишь выдает индульгенцию на ошибки прогнозов значения объема КП безо всякой надежды на возможность независимой проверки таких представлений. В работе [6] была также сделана попытка объяснить смысл $1/H$ с помощью специального анализа экспериментальных данных, суть которого не была раскрыта. Можно только привести авторскую версию найденного смысла дословно: “В заключение попытаемся дать интерпретации величины, обратной объему кратковременной памяти в традиционных психологических критериях. Линдсей и Норман в работе [4] отмечают, что зависимость вероятности воспроизведения из кратковременной памяти от времени носит экспоненциальный характер, т.е.

$$P(t) = ce^{-kt}. \quad (8)$$

В самом деле, как показала обработка данных, полученных в экспериментах по измерению кратковременной памяти на цифровые алфавиты с учетом позиции воспроизводимого знака, результаты каждого испытуемого можно представить экспоненциальной зависимостью, причем с коэффициентом $c = 1$, хотя значение k носит индивидуальный характер. Дальнейший анализ показал, что коэффициенты k в свою очередь зависят от объема кратковременной памяти, и эта зависимость имеет гиперболический вид:

$$k(H) = a/H - b. \quad (9)$$

(Для алфавита из 10 цифр $a = 1.93$ ед./с; $b = 0.189$ ед./с.)

Таким образом, величина, обратная объему кратковременной памяти, определяет скорость забывания информации и тем самым приобретает вполне конкретный психологический смысл” [6, с. 141].

Из приведенной цитаты ясно, что ее авторы, несмотря на то, что логарифмический характер зависимости $H(A)$ был неоднократно установлен [2], нашли возможным логарифмическую функцию представить в виде показательной функции, что звучит более чем нелепо. Их замечание “причем с коэффициентом $c = 1$ ” вызывает сильное сомнение в том, что при анализе с данными поступали достаточно корректно. Формула (8) представляет собой нормированное выражение зако-

на распада, который для психологического случая забывания информации с течением времени можно записать как

$$H(t) = H_0 e^{-kt}, \quad (10)$$

где H_0 — начальный объем информации, помещенный к КП момент времени $t = 0$. Делением правой и левой частей выражения (10) на H_0 его можно привести к безразмерному виду (8), где $P(t) = H/H_0$ является отношением части к своему целому и поэтому может быть истолковано как процентное отношение или невероятность. В данных же, о которых говорилось выше, все значения объемов КП для разных по значению алфавитов не являются частями друг друга и, строго говоря, имеют разную размерность. Поэтому привести эти данные к безразмерному виду путем деления их всех на “начальное” значение (только в этом случае значение c будет равно 1) просто невозможно. Но даже чисто формальное деление изменит только масштаб кривой и никак не повлияет на вид зависимости, который так и останется логарифмическим. По-видимому, возникшая на каком-то этапе анализа путаница с размерностью анализируемых величин привела к очевидно бессмысленному результату в виде выражения (9). Действительно, размерности величин в его левой и правой частях не согласованы и их не удастся сократить так, чтобы получить размерность $k = [c^{-1}]$.

В связи с изложенным выше возникает вопрос: если бы смысл величины H был изначально ясен, то возникли бы затруднения с интерпретацией обратной ей величины? Поэтому рассмотрим, каков смысл величины H во всех формулах, приведенных выше.

Известно, что явление стирания следов недавних событий из КП или забывание традиционно объясняется двумя конкурирующими теориями: теорией интерференции и теорией пассивного угасания следов памяти с течением времени. Известны факты, подтверждающие как одну, так и другую теорию, но, как отмечали Линдсей и Норман [4], реальное положение вещей таково, что необходим какой-то компромисс между двумя теориями. Пока же такой компромисс не найден, разные теоретические модели памяти несут на себе отпечаток какой-нибудь одной из двух теорий забывания. Модель А.Н. Лебедева по большинству признаков является моделью теории интерференции.

Формализация теории пассивного угасания следов памяти — это формула (8) или собственно закон распада (10). Формулу для интерференции можно записать как

$$P(h) = ce^{-\mu h}, \quad (11)$$

где h — переменный тестовый объем информации, вводимой в КП, и P — вероятность точного вос-

произведения этого объема. Формулы (8) и (11) представляют собой математических, но не физических двойников потому, что описывают принципиально различные явления и условия их наблюдений. В формуле (11) нет места для физического времени и его не должно быть в данных экспериментов по наблюдению интерференции. Эта формула описывает эксперимент по оценке объема КП для какого-нибудь одного алфавита, например такой, как в работах [2, 6]. В таком эксперименте находится одна единственная, но очень важная точка экспоненты (11).

Величины-двойники, входящие в две математические модели забывания и связанные с ними величины, с поправкой на их природу, полностью аналогичны. Коэффициент k в формуле (8) называется постоянной распада или угасания и имеет смысл вероятности самопроизвольной распада или угасания и имеет смысл вероятности самопроизвольного разрушения следа в единицу времени. Размерность k есть c^{-1} , а обратная ей величина $T = 1/k$ имеет смысл среднего времени жизни следа или постоянной времени процесса забывания. Эта важная характеристика всех видов временной памяти примечательна тем, что времени T на графике экспоненты соответствует строго определенная вероятность $P = 0.37$. Аналогично в формуле (11) коэффициент μ имеет смысл вероятности акта интерференции, отнесенной к единице объема памяти. Ему также соответствует средний объем $H = 1/\mu$, которому также соответствует вероятность $P = 0.37$. Именно этот объем и находят в экспериментах по оценке объема КП. Поскольку $\mu = 1/H$, то $1/H$ имеет тот же смысл, что и μ . Если акт интерференции влечет за собой ошибку в воспроизведении следа от символа физического алфавита, то $1/H$ можно назвать также удельной вероятностью ошибочного воспроизведения для какого-нибудь конкретного алфавита, откуда следует, что обращаться с $1/H$ можно только по правилам теории вероятностей, но никак не геометрии.

Можно предположить, что если ошибки воспроизведения отдельных признаков символа мультипликативного алфавита происходят независимо, а ошибкой воспроизведения символа считается ошибочное воспроизведение хотя бы одного из его признаков, то прогноз объема КП для мультипликативного алфавита следует проводить по формуле вероятности независимых совместимых событий.

Например, если для двух бинарных алфавитов признаков было найдено, что объемы КП для них равны H_1 и H_2 , то объем КП для их мультипликации рассчитаем по формуле

$$1/H = 1/H_1 + 1/H_2 - 1/H_1 \times 1/H_2. \quad (12)$$

Для мультипликаций более высокого порядка расчетная формула усложняется, но есть более простой способ расчета.

Если $1/H$ есть удельная вероятность ошибочного воспроизведения, то $1 - 1/H$ будет смысл вероятности точного воспроизведения. Обозначим эту разность как R и найдем сначала $R = R_1 R_2$, а затем $1/H = 1 - R$. Для любого порядка мультипликации R будет равно произведению всех R_i .

Таким образом, объем КП на мультипликативный алфавит должен зависеть только от объемов КП для алфавитов, образующих мультипликативный алфавит, и ни от чего другого. Если это предположение верно, то прогноз объема КП по правилам теории вероятностей будет всегда иметь одну и ту же точность независимо от порядка мультипликативного алфавита, а прогноз по формуле (4) будет давать систематическую ошибку, возрастающую с повышением порядка мультипликативного алфавита. Это доступно экспериментальной проверке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедев А.Н. Психофизиологические закономерности памяти // Вопросы кибернетики. Проблемы измерения психических характеристик человека в познавательных процессах / Под ред. Ю.М. Забродина. М., 1980. Вып. 66. С. 69–92.
2. Лебедев А.Н., Шебера Ф., Ваттерлайн К., Маринов С.А. Зависимость объема кратковременной памяти от длины алфавита сигналов // Психол. журн. 1990. Т. 11. № 1. С. 49–52.
3. Ливанов М.Н. Избранные труды. Пространственно-временная организация потенциалов и системная деятельность головного мозга. М., 1989.
4. Линдсей П., Норман Д. Переработка информации у человека. М., 1974.
5. Маркина А.В., Мальцева И.В., Лебедев А.Н. Связь параметров альфа-ритма с объемом кратковременной памяти // Психол. журн. 1995. Т. 16. № 2. С. 128–132.
6. Пулькин Б.В., Скопинцева Н.А. О мультипликативных алфавитах // Психол. журн. 1990. Т. 11. № 2. С. 134–141.

ON THE SHORT-TERM MEMORY SPAN

S. D. Medvedev

Sen. res. ass., Scientific-Research Institution of neurocibernethics, Rostov-on-Don

The propositions of vector quality of short-term memory span and the exponential dependence of this volume on the extension of events' alphabet indices are considered. Its incompetence is shown. The theoretical basis of the possibility to prognose the short-term memory span on multiplicative alphabets of different order in order of the theory of probabilities is discussed. The method of experimental examination of this possibility is suggested.

Key words: memory, volume, alphabet, prognosis.

КОММЕНТАРИЙ К СТАТЬЕ С.Д. МЕДВЕДЕВА “ОБ ОБЪЕМЕ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ПАМЯТИ”

Уравнение объема памяти, предложенное С.Д. Медведевым, действительно просто и даже изящно:

$$1/H = 1/A + 1/B + 1/(AB)$$

сравнительно с громоздким уравнением, опубликованным ранее,

$$1/H = 1/A + 1/B + 2D/\sqrt{AB}.$$

Здесь D – некая константа, A и B – объемы памяти на элементы, различающиеся лишь по одному из двух признаков. Символом H обозначен объем памяти на элементы, образованные комбинацией обоих признаков. Выражение $\sqrt{}$ означает квадратный корень.

Требуется пояснить обе формулы, лучше на простом примере привычных всем букв алфавита. Признаками могут быть только конфигурация или только размер запоминаемых символов. В случае A запоминаемая строка может выглядеть, например, как “АБВГДЕЖ”, в случае B как “Ааа-ААаА”, а в случае H , т.е. при комбинации признаков, строка может быть такой “АвВдГдеЖ”. Разу-

меется, элементы строк выбираются случайным образом из ограниченного набора, называемого алфавитом. Алфавит должен быть известен испытуемому. Это важно подчеркнуть. Объем алфавита в первом примере 33 буквы. Во втором – всего два элемента (прописная и заглавная буквы), а в третьем случае – 66 букв, так как каждая из 33-х букв может быть в этом списке заглавной или строчной. Задача испытуемого – запомнить и воспроизвести правильно запомненную строку после ее однократного предъявления в течение 3–5 секунд. Чем длиннее правильно воспроизведенная строка с учетом формы, размера и позиции в ней каждого элемента, тем больше объем памяти. Спрашивается, если известны из опыта объемы памяти в первом и втором случаях, можно ли правильно предсказать объем памяти в третьем случае и затем проверить предсказание? Существует ли теория, обеспечивающая точный прогноз?

Задача с виду крайне простая. Но до сих пор, включая работы наших сотрудников да и самого С.Д. Медведева, еще никем не решенная. Доба-