

## АССОЦИАТИВНЫЕ СВЯЗИ МЕЖДУ СЛОВАМИ СОГЛАСНО ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПАМЯТИ

© 2011 г. В. В. Орлов, канд. техн. наук

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург

E-mail: orlov4v8v@yandex.ru

В рамках голографической модели памяти человека, основанной на свойствах объемных наложенных голограмм, рассмотрена ассоциативная связь, возникающая между словами, хранящимися в памяти человека. Показано, что возможны два механизма такой связи: один возникает при нелинейности процесса записи голограмм, второй в силу двукратной дифракции волн – в объеме голограмм. Найдены силы данных видов ассоциативной связи.

*Ключевые слова:* наложенные голограммы, ассоциативная память.

Коды OCIS: 090.0090.

*Поступила в редакцию 26.02.2011.*

В работе [1] было высказано предположение, что память человека хранит информацию подобно голограмме. Основанием для этого послужили такие общие свойства памяти и голограммы, как ассоциативность, когда по фрагменту образа восстанавливается весь образ, и дистрибутивность, когда информация о каждом образе распределена по всему объему носителя информации. В соответствии с этой гипотезой были предложены нейронная сеть, реализующая голографический принцип записи и восстановления информации [2], и модель памяти человека, основанная на свойствах объемных наложенных голограмм [3]. Согласно этой модели объектным волнам голограмм соответствуют образы, хранящиеся в памяти человека, а опорным волнам – слова языка, на котором думает человек. Каждая наложенная голограмма записывается с объектной волной, содержащей некий образ, и опорной волной, содержащей слово, служащее названием данного образа. Все множество образной и вербальной информации хранится в памяти человека в виде таких наложенных голограмм. Совокупность объектных волн наложенных голограмм описывается унитарной матрицей, что обеспечивает отсутствие перекрестных помех между голограммами и соответствует положениям гельштат-психологии.

В процессе мышления человек извлекает из своей памяти как образную, так и вербальную информацию. Один из механизмов восстанов-

ления информации из памяти основан на ассоциативной связи между различными элементами информации, хранящимися в памяти. В настоящей работе рассмотрены два возможных механизма возникновения ассоциативной связи между вербальными элементами информации, хранящимися в памяти. Один механизм основан на нелинейности процесса записи голограмм, второй – на многократной дифракции волн в объеме голограмм. Оба механизма работают при условии, что матрица объектных волн голограмм не является унитарной. Поэтому далее будем предполагать, что условие унитарности матрицы объектных волн голограмм носит приближенный характер.

Ранее данная модель памяти рассматривалась в предположении, что процесс записи наложенных голограмм линеен. Вместе с тем известно, что экспозиционные характеристики регистрирующих сред, используемых для записи голограмм, нелинейны. Рассмотрим влияние нелинейности процесса записи наложенных голограмм на свойства памяти. Если при записи наложенных голограмм имеет место нелинейность в виде квадратичной зависимости приращения диэлектрической проницаемости от экспозиции, то в регистрирующей среде возникают решетки, соответствующие интерференции между собой опорных волн разных наложенных голограмм [4]. Согласно выражению (8) из работы [4] диэлектрическая проницаемость решетки, соответствующей интерфе-

ренции  $q$ -й и  $l$ -й опорных волн, описывается выражением

$$\begin{aligned}\varepsilon(\mathbf{r}) = \\ = 2\chi_2 \varepsilon_0 t^2 Q \sum_{l=1}^M \sum_{q=1}^M G_{ql} \exp[i(\phi_q - \phi_l)] \exp[i(\mathbf{k}_q - \mathbf{k}_l) \cdot \mathbf{r}]\end{aligned}$$

и пропорциональна скалярному произведению  $G_{ql}$  векторов комплексных амплитуд  $q$ -й и  $l$ -й объектных волн наложенных голограмм. В этом выражении  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость регистрирующей среды до ее экспонирования,  $\chi_2 = \chi_2' + i\chi_2''$  – комплексный коэффициент пропорциональности квадратичной зависимости приращения диэлектрической проницаемости от экспозиции,  $t$  – время записи голограмм,  $Q$  – интенсивность опорных волн,  $M$  – число наложенных голограмм,  $\mathbf{k}_n$  – волновые векторы опорных волн,  $\phi_n$  – их фазы. Применительно к голографической модели памяти данное свойство голограмм означает, что между вербальными элементами информации, хранящимися в памяти человека, возникает ассоциативная связь, сила которой зависит от того, насколько близки по содержанию соответствующие им образы. Мерой близости образов служит их скалярное произведение  $G_{ql}$ . В результате возникновения данных решеток при освещении наложенных голограмм опорной волной, соответствующей одному из вербальных элементов информации, кроме объектной волны, восстанавливаются опорные волны других наложенных голограмм, т. е. другие вербальные элементы информации, не связанные между собой явным образом при записи голограмм.

Рассмотрим второй механизм возникновения ассоциативной связи между элементами вербальной информации – механизм, основанный на двукратной дифракции волн в объеме голограмм. Пусть из памяти человека восстанавливается вербальный элемент информации, которому соответствует опорная волна  $\mathbf{R}_n$ . Распространяясь в объеме наложенных голограмм, опорная волна в результате первого акта дифракции восстанавливает соответствующую ей объектную волну  $\mathbf{O}_n$ . Волна  $\mathbf{O}_n$  в следующем (втором) акте дифракции восстанавливает опорные волны других наложенных голограмм  $\sum_{m=1}^M \mathbf{R}_m$  при условии, если она не ортогональна по отношению к объектным волнам этих голограмм. Последовательность двух данных актов дифракции описывается выражением

$$\mathbf{R}_n \rightarrow \mathbf{O}_n \rightarrow \sum_{m=1}^M \mathbf{R}_m,$$

где символ  $\rightarrow$  означает один акт дифракции.

Для нахождения амплитуд восстановленных опорных волн воспользуемся выражением (12) из работы [5]

$$\begin{aligned}\mathbf{R}_{rn}(z) = \sum_{m=1}^K \sum_{l=1}^M S_{mn}^* \cos(Pz\sqrt{\tau_m}) S_{ml} \mathbf{R}_l + \\ + \sum_{m=K+1}^M \sum_{l=1}^M S_{mn}^* S_{ml} \mathbf{R}_l,\end{aligned}\quad (1)$$

которое описывает зависимость комплексных амплитуд  $\mathbf{R}_{rn}(z)$  восстановленных опорных волн наложенных голограмм от толщины голограмм  $z$ , при падении на голограммы опорной волны  $n$ -й наложенной голограммы. Положив в (1)

$$\cos x \approx 1 - x^2/2,$$

что соответствует учету первых двух актов дифракции волн в объеме голограмм, получим

$$\mathbf{R}_{rn}(z) = \mathbf{R}_n - \frac{1}{2} P^2 z^2 Q \sum_{l=1}^M G_{ln} \mathbf{R}_l, \quad (2)$$

где  $P$  – параметр, зависящий от условий записи голограмм,  $Q$  – интенсивность опорных волн,  $G_{ln}$  – скалярное произведение  $l$ -й и  $n$ -й объектных волн,  $M$  – число наложенных голограмм,  $\mathbf{R}_l$  – вектор комплексных амплитуд  $l$ -й опорной волны. Из (2) следует, что при освещении наложенных голограмм  $n$ -й опорной волной восстанавливаются опорные волны других наложенных голограмм, амплитуды которых пропорциональны скалярному произведению объектных волн этих голограмм и объектной волны  $n$ -й голограммы. Для голографической модели памяти это означает, что возникает ассоциативная связь между вербальными элементами информации, хранящимися в памяти, сила которой пропорциональна скалярному произведению образов, соответствующих вербальным элементам информации.

Итак, для рассматриваемой голографической модели памяти человека существуют два вида ассоциативной связи между вербальными элементами информации, хранящимися в памяти человека: один вид реализуется при нелинейной записи голограмм, второй – в результате двукратной дифракции волн в объеме голограмм. Сравним силы этих ассоциативных связей, приняв в качестве критерия силы связи дифракционную эффективность, с которой

восстанавливается опорная волна, соответствующая вербальному элементу, восстановленному из памяти по ассоциации с исходным вербальным элементом. В данном случае дифракционная эффективность определяется как отношение интенсивности восстановленной опорной волны к интенсивности опорной волны, падающей на голограмму и соответствующей исходному вербальному элементу.

Для ассоциативной связи между  $n$ -м и  $l$ -м элементами вербальной информации, возникающей в результате квадратичной нелинейности, получим следующее значение дифракционной эффективности:

$$\eta_{2N}(z) = \frac{1}{\cos^2 \theta} \kappa^2 \varepsilon_0 \chi_2^2 t^4 Q^2 |G_{nl}|^2 z^2. \quad (3)$$

Для ассоциативной связи между  $n$ -м и  $l$ -м элементами вербальной информации, возникающей в результате двух актов дифракции, дифракционная эффективность описывается выражением

$$\eta_{2D}(z) = \frac{1}{64 \cos^4 \theta} \kappa^4 \varepsilon_0^2 \chi_c^4 t^4 Q^2 |G_{nl}|^2 z^4, \quad (4)$$

где  $\theta$  – углы падения опорных и объектных волн (схема записи голограмм симметричная),  $k$  – волновое число. Из (3) и (4) следует, что в обоих случаях сила ассоциативной связи между вербальными элементами информации пропорциональна квадрату модуля скалярного произведения  $G_{nl}$  образов, соответствующих данным вербальным элементам, и что с увеличением толщины голограмм интенсивность ассоциативной связи, обусловленной двукратной дифракцией волн, увеличивается пропорционально четвертой степени толщины голограммы  $z$ , а интенсивность ассоциативной связи, обусловленной нелинейностью, пропорциональна второй степени.

При формировании ассоциативного отклика голограмма, освещаемая опорной волной, одновременно восстанавливает объектную волну.

\* \* \* \* \*

1. Pribram K.H. The neurophysiology of remembering // Scientific American. 1969. V. 220. С. 73–86.
2. Кузнецов О.П. Моделирование оптических явлений в нейронных сетях // Оптический журнал. 2003. Т. 70. № 8. С. 25–33.
3. Орлов В.В. Подобие свойств объемных наложенных голограмм свойствам памяти человека // Оптический журнал. 2006. Т. 73. № 9. С. 83–86.
4. Орлов В.В. О решетках, возникающих при нелинейной записи наложенных голограмм // Письма в ЖТФ. 2004. Т. 30. В. 24. С. 77–81.
5. Орлов В.В. Модовая теория объемных наложенных голограмм. II. Волновое поле, возникающее при восстановлении наложенной голограммы // Опт. и спектр. 2002. Т. 92. № 5. С. 862–866.
6. Coufal H.J., Psaltis D., Sincerbox G.T. Holographic Data Storage, Berlin: Springer-Verlage, 2000. 490 с.

Поэтому целесообразно сравнить дифракционные эффективности ассоциативных откликов (3) и (4) с дифракционной эффективностью  $\eta(z)$ , с которой наложенная голограмма восстанавливает объектную волну. Это позволит оценить эффективность восстановления вербального элемента информации относительно образа.

Для этого воспользуемся выражением (24) из работы [5] и выразим дифракционные эффективности (3) и (4) через дифракционную эффективность  $\eta(z)$   $n$ -й наложенной голограммы:

$$\eta_{2N}(z) = 4 \left( \frac{\chi_2}{\chi_c} \right)^2 t^2 Q G_{nn} \frac{|G_{nn}|^2}{G_{nn}^2} \eta(z), \quad (5)$$

$$\eta_{2D}(z) = \frac{1}{4} \frac{|G_{nl}|^2}{G_{nn}^2} \eta^2(z). \quad (6)$$

При записи большого числа наложенных голограмм их дифракционная эффективность  $\eta(z)$  мала (меньше 0,001) [6]. Поэтому согласно (6) интенсивность ассоциативного отклика, обусловленная двукратной дифракцией волн, много меньше (не менее чем в 1000 раз) интенсивности образа. Аналогичное неравенство интенсивностей имеет место для ассоциативного отклика, возникающего в результате нелинейности записи голограмм, поскольку в равенстве (5)  $\chi_2/\chi_c \ll 1$ . Волна образа имеет много компонентов (сотни или тысячи), в то время как волна вербального элемента информации состоит из одного компонента. Следовательно, интенсивность единственного компонента волны вербального элемента информации может быть ненамного меньше интенсивностей компонентов волны образа или превышать их.

Рассмотренная ассоциативная связь слов возникает в результате бессознательного процесса в отличие от сознательного запоминания, например, номера телефона. Она играет важную роль в мышлении человека, создавая ассоциативные связи между его мыслями.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 09-01-00165-а.

## ЛИТЕРАТУРА