

## К ВОПРОСУ О РАСПОЗНАВАНИИ ОБРАЗА

Ю. К. ПЕТРОВ

(Представлена научным семинаром факультета автоматки и вычислительной техники)

### Постановка вопроса

По второй сигнальной системе устанавливается соответствие между словом  $\alpha$  и множеством материальных объектов —  $A$

$$A = \{A_1; A_2; A_3; A_4 \dots\},$$

где  $A_i$  — отдельные представители бесконечного множества материальных объектов. Например, если символ  $\alpha$  обозначает слово яблоко, то  $A$  суть отдельные яблоки. Каждый объект является носителем множества свойств  $a, б$ . (рис. 1), которые выражены в сигнальной форме и могут восприниматься по первой сигнальной системе. Научиться распознавать любой представитель множества  $A$  можно только выделив подмножество общих свойств

$$\mathcal{U} \subset A_i, \quad \mathcal{U} = \bigcap_i A_i$$

и привязав это подмножество каким-то образом к слову.  
Применительно к рис. 1.

$$\mathcal{U} = \{r, e, з, и\}.$$

Строго математически подмножество  $\mathcal{U}$  не должно содержать элемент  $г$ , однако абстракция в биологических системах выполняется в условиях случайного отсутствия некоторых общих признаков. Проблема абстракции не является существенно человеческой проблемой: любое животное, чтобы находить пищу, обязано абстрагировать общие свойства предметов питания. Таким образом механизм абстракции должен быть очень простым и исключать интеллект.

**Описание модели.** Согласно теории И. М. Сеченова поведение человека и животных является рефлекторным, т. е. возникает в ответ на раздражение внешней среды, которые восприняты непосредственно перед поведенческим актом или в прошлом. На рис. 2 римской цифрой «один» обозначена первая сигнальная система, которая воспринимает сигналы материальной среды. Первая сигнальная система представляет собой совокупность анализаторов  $a', б', в', \dots$ . Каждый анализатор состоит из рецептора, который непосредственно воспринимает внешний сигнал и возбуждает одну нервную клет-

$$\begin{aligned} A_1 &= \{a \quad г д е з и м\} \\ A_2 &= \{a \quad в г е з и л\} \\ A_3 &= \{б \quad е ж з и л м\} \\ A_4 &= \{ \quad г д е з и л \} \end{aligned}$$

Рис. 1.

ку в высших отделах головного мозга. Эти клетки на рисунке обозначены кружочками. Рецепторы специализированы на восприятие сигналов определенного рода энергии и спектра и не могут воспринимать сигналов другого рода энергии и спектра. Например, некоторые колбочки в сетчатке глаза воспринимают только красные лучи светового спектра. Они не могут воспринимать синие лучи и тем более звуковые колебания. Только благодаря специализации рецепторов система анализаторов образует логическое поле, в котором происходит первичный и, по нашему мнению, окончательный анализ внешних сигналов. Например, на барабанную перепонку уха обычно действует суммарный сигнал, сложный по спектру.

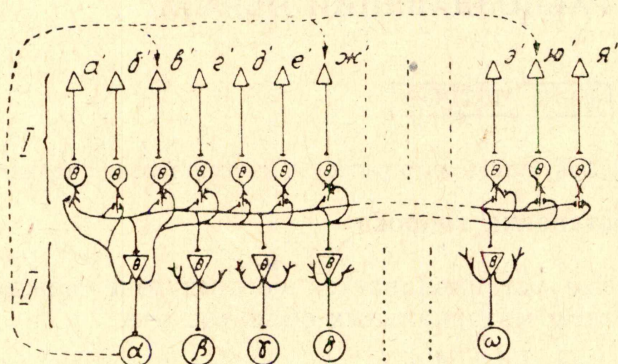


Рис. 2. Схема биологической модели, которая автоматически выполняет операцию абстрагирования

ваются в столбец  $a'$ , сигналы  $b — в б'$  и т. п.

В результате приспособления организмов к условиям существования у них вырабатывается система поведенческих актов. На рис. 2 система поведенческих актов обозначена римской цифрой два, а сами поведенческие акты — буквами  $a — \omega$ . Это сложные поведенческие акты, связанные с отысканием и принятием пищи, с исследованием окружающей среды, с функциями обороны и размножения. Вторая сигнальная система образует такие поведенческие акты, результат которых вырабатывается в сигнальной форме и может восприниматься по первой сигнальной системе. Такого рода обратная связь показана на рисунке пунктиром. Уже у высших животных появляются зачатки второй сигнальной системы, но только у человека вторая сигнальная система достигает необычайного развития.

Рефлекторная связь между первой сигнальной системой и системой поведенческих актов устанавливается в высших отделах головного мозга, причем каждый поведенческий акт включается своей пирамидальной клеткой (на схеме обозначена треугольником). Пирамидальные клетки коллективно возбуждаются клетками первой сигнальной системы (на схеме обозначены кружочками). Нейроны обладают системой древовидных отростков, которые оканчиваются бляшками на других нейронах или древовидных отростках нейронов. На рис. 2 нейрон с рецептором связан бляшками со всеми другими нейронами. Такими же связями обладают и все другие нейроны первой сигнальной системы. Эти связи на рисунке не показаны. Обилие связей соответствует реальной действительности: некоторые нейроны имеют десятки тысяч древовидных отростков.

Нейрон представляет собой пороговый элемент и возбуждается в результате суммарного воздействия всех бляшек через синапсы. Нейрон может возбуждаться и через единственный синапс, если сопротив-

В кортиевом органе каждая составляющая частота суммарного сигнала возбуждает свой адекватный резонатор и, таким образом, происходит разложение сигнала на составляющие анализ сигнала. Поскольку при повторных восприятиях одинаковые сигналы направляются в ощущения по тем же самым каналам, в первой сигнальной системе строится некоторый аналог таблицы рис. 1, так что сигналы  $a$  всегда записы-

ление синапса мало. Именно таким образом рецепторы связаны со своими нейронами, причем такая связь существует от рождения.

Междуклеточная синаптическая связь в высших отделах головного мозга не дана от рождения, она образуется путем обучения в результате приспособления организма к окружающей среде. Законы образования таких связей изучены в опытах И. П. Павлова над условными рефлексами (ассоциацией по одновременности). В его экспериментах над собаками, например, одновременно с подачей пищи или несколько ранее подавался сигнал звонком. После многократных повторений опыта слюноотделение у собаки начиналось по сигналу звонком и не менее активно, чем при виде самой пищи.

Таким образом, пищевой рефлекс вызывается индифферентным раздражителем, который объективно никакого отношения к пище не имел. Если условный раздражитель экспериментально не подкрепляется, то действие его со временем исчезает. В опытах И. П. Павлова раскрываются фундаментальные свойства памяти. Памятью связываются воедино любые ощущения, если они появляются совместно многократно.

Существует теория, согласно которой память связана с пластическим изменением сопротивления синапсов. Допустим, что в высших отделах головного мозга изначально сопротивление синапсов настолько велико, что бляшки даже коллективно не могут возбуждать нейроны. Клетки, обозначенные на схеме кружочками, могут возбуждаться только от внешних сигналов. Естественно предположить, что при возбуждении нейрона сома клетки и ее периферийные части заряжаются зарядами разных знаков. Положим, не нарушая общности рассуждений, что сома приобретает отрицательный заряд, а бляшки — положительный. Тогда при воздействии сигналов могут возникнуть ситуации, обозначенные на рис. 3. цифрами 1, 2 и 3. Предположим, что в первом и во втором случае (рис. 3) синапс пластически не деформируется и только в ситуации, обозначенной цифрой 3 на рис. 3 когда возбуждены одновременно обе клетки, разделенные синапсом, синапс начинает проводить ток и в нем образуется пластическая деформация. Пластические изменения ликвидируются в результате обмена веществ, однако, если ситуация 3 рис. 3 повторяется часто, то пластический эффект будет накапливаться и в результате многократных воздействий нейрон начнет возбуждаться единственным синапсом в ситуации 2 рис. 3. Путем адаптации скорость восстановления сопротивлений синапсов устанавливается такой, что только наиболее часто совпадающие по времени сигналы образуют связи в синапсах.

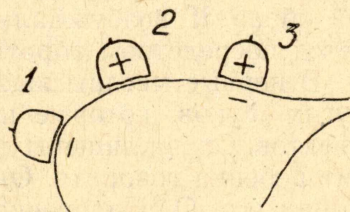


Рис. 3.

Построенная таким образом модель автоматически выполняет операцию абстрагирования.

**Механизм абстрагирования.** Допустим, что на первую сигнальную систему действуют последовательно во времени некоторые множества сигналов (рис. 1). Пусть каждое множество определяется тем, что действует на первую сигнальную систему одновременно. Допустим, что набор сигналов в каждом множестве является случайным и по роду энергии и по спектру, однако существует некоторое подмножество адекватных сигналов, которое присутствует в каждом множестве: общее подмножество адекватных сигналов. В таком случае неадекватные сигналы не будут восприняты совершенно. Например, первая сигнальная система человека не воспринимает инфракрасные лучи и ультразвук. Случайные адекватные сигналы вызовут эфемерные связи нейронов, которые со

временем распадутся. И только общее подмножество адекватных сигналов  $g, e, z, u$  на рис. 1 вызовет продолжительную связь элементарных ощущений в представлении. Таким образом происходит выделение общих свойств, обобщение, абстракция.

Такая абстракция выполняется без какой бы то ни было дополнительной психической или умственной деятельности, если образ, воспринимаемый в ощущениях, не зависит от взаимного расположения субъекта и объекта в пространстве. Назовем это условие условием неизменности образа. Очевидно, неизменностью образа обладают органы слуха, органы вкуса, органы зрения в части цветового восприятия и органы обоняния. Органы зрения в части восприятия формы неизменностью образа не обладают. Формирование представлений о форме объектов сопровождается, по-видимому, сложной психической деятельностью.

Описанный процесс протекает в сфере первой сигнальной системы, не затрагивая поведенческих актов. Это не противоречит учению И. П. Павлова. И. П. Павлов отмечает, что экспериментально установлена способность памяти связывать воедино два ощущения безотносительно к поведенческим актам.

**Формирование зачатков второй сигнальной системы.** Подобные зачатки появляются у высших животных и у человека, когда он учится говорить. Покажем, что обобщенные представления, образующиеся в сфере первой сигнальной системы, и служат теми сигналами материальной среды, которые включают любые поведенческие акты, в том числе и акты, связанные с произнесением слова. При этом образуются такие связи, что обобщенный образ  $\mathcal{U}$  вызывает поведенческий акт  $\alpha$ , а обобщенный образ  $\mathcal{F}$  вызывает поведенческий акт  $\beta$ . Например, обобщенный образ яблока вызывает слово яблоко, а обобщенный образ человека вызывает слово человек. Такие связи могут устанавливаться с помощью ассоциации по одновременности, необходимо только, чтобы пирамидальная клетка, вызывающая поведенческий акт  $\alpha$ , и обобщенный образ  $\mathcal{U}$  возбуждались одновременно. Одновременность обеспечивается посредством обратной связи через материальную среду.

В первые месяцы жизни ребенок не выделяет слов из общего фона других звуков, которые исходят от одушевленных и неодушевленных объектов. Слова лишены для него всякого смыслового содержания. Мать учит ребенка говорить. Она произносит слово часто, чтобы ребенок запомнил его. Она произносит слово в смысловой ситуации; например, слово «яблоко» произносится, когда ребенок ест или держит яблоко. Слово «яблоко» произносится многократно и всякий раз одновременно с восприятием яблока, и при этом память связываются в единый нейрофизиологический комплекс и ощущения, связанные с восприятием слова «яблоко», и вкус яблока, и запах, и цвет, и форма яблока. В определенный период развития нейрофизиологический комплекс начинает возбуждаться весь вместе при возбуждении некоторой его части. Особенно легко он возбуждается при восприятии слова. Мать произносит слова «хочешь яблока» и ребенок вспоминает вкус, цвет, запах яблока и выражает свои желания в эмоциях.

Когда ребенок учится говорить, он сам произносит слово и сам воспринимает его своей первой сигнальной системой. При этом возбуждается весь обобщенный образ и устанавливается ассоциация между обобщенным образом и поведенческим актом. Ассоциация по одновременности устанавливается в обратных связях соответствующих пирамидальных клеток (рис. 1). В результате внутренних обратных связей при мысленном произношении слова возбуждается весь обобщенный образ и закрепляются связи в синапсах. Благодаря тому, что пирамидальные клетки являются пороговыми устройствами, а связи в синапсах устанавливаются

ливаются так, что нейрон возбуждается только при коллективном воздействии, одни и те же клетки первой сигнальной системы в различных комбинациях включает различные поведенческие акты.

Мы предлагаем поведенческий акт, связанный с произнесением слова и ассоциирующие с ним обобщенные представления, которые вызывают рефлекторно этот поведенческий акт, назвать реалией. А обобщенные представления, составляющие смысловое содержание реалии, назвать реальным содержанием слова. Реалией образуется столько, сколько есть слов, обозначающих ощущаемые предметы. Формирование реалий начинается в детском возрасте и продолжается в каждом акте восприятия всю сознательную жизнь человека.

Общие свойства объектов памятью конденсируются в реалиях, и объективный мир отражается в идеальную словесную форму мышления через реалии, как через линзы, в фокусе которых собираются общие свойства объектов.

**Возможность технической реализации модели.** Специализация рецепторов человека настолько разнообразна и сложна, что изготовить такую систему во всей ее полноте на современном уровне техники, по-видимому, невозможно. Однако систему анализаторов звуковых колебаний можно построить уже сейчас, а машины, распознающие звуковые образы, особенно необходимы для организации общения человека с быстродействующими цифровыми вычислительными машинами.

Модель содержит множество однотипных элементов для моделирования нейронов и синапсов. Мажоритарные элементы—аналоги нейронов—разработаны и употребляются в персептронах. Пластические свойства синапсов моделируются, например, посредством мемисторов [2,3]. Сопротивление мемистора заменяется между угольным электродом и провололочкой. При каждом прохождении тока на графитовом электроде осаждается медь и тем самым уменьшается сопротивление между провололочкой и электродом. Если такой элемент дополнить каким-либо химическим процессом, который будет медленно разрушать медное покрытие, то получится необходимый для нашей модели аналог синапса. Адаптацию организмов к окружающей среде можно заменить адаптацией среды к модели. Для этого необходимо подавать звуковые образы на рецепторы модели с такими интервалами времени, чтобы действие общих сигналов накапливалось, а действие случайных сигналов рассасывалось.

Нейроны обладают свойством рефракторности: за периодом активности нейрона следует период полной инертности, когда нейрон совершенно не возбуждается. Рефракторность можно моделировать, например, конденсатором, который заряжается от источника постоянного напряжения через очень большое сопротивление и разряжается через вентиль с порогом срабатывания. Период рефракторности будет определяться временем заряда конденсатора до напряжения порога срабатывания вентиля. Если обеспечить модель нейронами с рефракторностью, а пирамидальные клетки соединить связями так, чтобы возбуждение одной клетки запрещало возбуждение всех прочих клеток, то в результате воздействия внешних сигналов в модели будет вырабатываться некоторый аналог поведения  $\beta \rightarrow \gamma \rightarrow \omega \rightarrow \dots$ . При отключенных исполнительных органах такое поведение будет обеспечиваться внутренними обратными связями.

Кроме ключевых обобщенных сигналов на первую сигнальную систему животных действует масса других сигналов, которые уменьшают пороги срабатывания нейронов, и таким образом создается обстановочная эфферентация. Обстановочная эфферентация может быть иссле-

дована на модели. Установочная эфферентация связана с биологическими потребностями организмов и с помощью предложенного нами устройства не моделируется.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Сочивко. Электрические модели нейронов. Библиотека по автоматике. Изд. Энергия, 1965.

2. В. П. Сочивко, В. С. Опришко. Электрохимический мемистр, как синапс пластического нейрона. Тезисы докладов 18-й научно-технической конференции, посвященной Дню радио, Изд. ЛГУ, Ленинград, 1963.

3. Б. У. Дроу, У. Х. Пирс, И. Б. Анджелл. Рождение, жизнь и смерть микроэлектронных систем. Зарубежная радиоэлектроника, № 6, 1962.

---