

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОСПРИЯТИЯ ЧЕЛОВЕКА

В. П. БОНДАРЕНКО, В. М. РАЗИН

Создание общей модели восприятия сигналов человеком (в частности, слуховой и зрительной систем) наталкивается на ряд трудностей, заключающихся в том, что, с одной стороны, системы восприятия имеют высокую структурную сложность и в настоящее время мало изучены, и, с другой стороны, нет общей теории функционирования воспринимающих систем. В частности, основной функцией периферии слуховой системы человека (основная мембрана) считается задача грубого спектрального анализа сигналов (преобразование частота-координата) [1, 2, 3], а зрительной (сетчатка глаза) — обострение контуров в воспринимаемых сигналах [4, 5]. Однако в общей схеме восприятия эти элементы находятся примерно на одном уровне и обладают почти одинаковыми свойствами как линейные фильтры, что легко обнаружить сравнением их импульсных характеристик [3, 6, 7].

По-видимому, модели восприятия зрительной и слуховой систем должны исходить из общих предпосылок, позволяющих объяснить их функциональную организацию и частные особенности преобразований сигналов. Некоторая тенденция выработки общего подхода намечается в ряде работ [8, 9, 10], где проводится аналогия между распознающими системами и системами восприятия человека. Но в этих работах рассматриваются вопросы, связанные в основном с обработкой сигнала на более высоких уровнях, и периферия систем восприятия оказывается практически вне поля зрения такого подхода.

Основным положением при разработке общей модели восприятия, очевидно, должна быть гипотеза о функциональном тождестве любых систем восприятия человека. Это положение выражается в однотипности решаемых системами задач при одинаковых условиях оптимальности структуры систем. Основной задачей, решаемой любой системой восприятия, является задача извлечения информации из входного сигнала [10], и условия оптимальности выразятся тогда в следующем: при заданном объеме извлекаемой информации воспринимающая система должна иметь минимальную структурную сложность и потребляемую энергию. Решение такой задачи требует точного определения понятий сигнала, сложности и количества извлекаемой информации.

Определить сигнал необходимо так, чтобы под это определение попадал любой сигнал, поступающий на вход системы восприятия. Определение должно быть достаточно общим и в то же время достаточно конкретным, чтобы можно было иметь возможность оперировать с ним при решении общей задачи. Основой для определения сигнала может служить задание области его существования, по аналогии с определением области слышимости звуковых сигналов [11]. Как показано в работе [7], для этого достаточно задать верхнюю границу энер-

гии сигнала E и границы частотного диапазона ω_v и ω_n . Конкретный сигнал может иметь более узкие границы по энергии и частоте, но не выходящие за указанные пределы.

Количество извлекаемой информации можно оценить функционалом, связанным с ней обратно пропорциональной зависимостью вида

$$\delta = \int_S [f(X) - \varphi(X)]^2 dX, \quad (1)$$

где S — область задания сигнала, $f(x)$ — входной сигнал,

$$\varphi(X) = L^{-1}[a(X)],$$

где $a(x)$ — отображение сигнала в системе восприятия, L — оператор отображения, L^{-1} — обратный оператор.

Оценку функционала (1) при решении общей задачи необходимо вести по верхним границам E , ω_v и ω_n .

Сложность системы восприятия можно оценить по аналогии с оценкой, проведенной в работе [12]

$$S = K \sum_{i=1}^n m_i, \quad (2)$$

где m_i — число эквивалентных различных состояний (информационная способность) i -го элемента, n — общее число элементов системы восприятия, K — коэффициент пропорциональности.

Энергия, потребляемая системой восприятия, будет определяться числом элементов и энергией, потребляемой одним элементом, которая пропорциональна числу его различных состояний. Следовательно, суммарная энергия, с точностью до постоянного множителя, будет определяться выражением (2), и задача минимизации потребляемой энергии сводится к задаче минимизации энергии P , необходимой для перевода элемента из одного состояния в другое.

На первый взгляд, при любой структуре системы восприятия не существует минимума сложности, так как эта величина полностью определяется количеством перерабатываемой информации. Однако в сложной системе вероятность отказа одного элемента не может быть сведена до нуля и, рассматривая работу системы, нельзя исключать влияния собственных тепловых шумов. Эти два фактора требуют введения структурной избыточности и некоторого уровня превышения сигналов в системе над уровнем тепловых шумов.

Таким образом, задача построения модели восприятия сводится к поиску таких операторов преобразования сигналов L , чтобы при заданном значении функционала (1) обеспечить минимум суммы (2) и энергии P . Решение этой задачи может быть сведено к ряду частных задач [8, 10], а именно: 1) формированию исходного описания сигнала, 2) кодированию сигнала по информативным признакам, 3) классификации ситуаций. Последовательность частных задач в значительной мере определяется требованием минимизации суммы (2). Возможность замены общей задачи рядом частных указывает на иерархичность структуры системы восприятия, что подтверждается данными по строению систем восприятия человека [1, 4, 8], а также работами [8, 13], в которых доказываются преимущества иерархических систем, по сравнению с одноуровневыми.

Блок, ответственный за формирование исходного описания, очевидно, будет вносить наибольшую долю из всех остальных блоков в значение функционала (1) и наименьшую — в значение суммы (2). Поэтому решение первой задачи удобнее проводить для обратной формулировки: при заданной сложности блока минимизировать ошибку,

определяемую функционалом (1). Решение второй и третьей задачи уже невозможно производить без учета всей деятельности мозга, которую в нашем случае можно свести к процессу [10] «преобразования совокупности входных сигналов в целесообразное действие». Это приводит к несколько иному функционалу, оценивающему качество работы системы восприятия.

Критерием качества для второй и третьей задачи может служить функционал типа функции потерь, риска и т. п. [1, 9].

В настоящее время наиболее интенсивно разрабатывается задача классификации ситуаций (образов) [1, 9, 10], менее — задача поиска информативных признаков и почти не рассматривается задача формирования исходного описания сигнала или в нашей интерпретации первая задача.

Задание критерия качества в виде (1) эквивалентно следующему: система восприятия на первом этапе снимает некоторую долю неопределенности во входном сигнале, что возможно только в процессе измерения значений сигнала [12, 14, 15]. Следовательно, создание первого уровня системы восприятия сводится к созданию измерительного устройства, удовлетворяющего выдвинутым выше требованиям. Рассмотрение этой задачи [7] показывает, что она сводится к поиску ряда операторов преобразования сигнала: оператора, преобразующего входной сигнал в измеряемую величину, оператора, формирующего систему координат и приводящего к ней измеряемую величину и оператора измерения.

Таким образом, моделирование системы восприятия осуществляется параллельно по трем направлениям и сводится к решению трех частных задач. Для определения или задания критерия качества системы для второй и третьей задачи удобно использовать функции потерь, риска и т. п. и для первой — функционал (1), причем условие оптимальности сводится к минимизации суммы (2) и энергии P . Преобразования сигнала на первом уровне системы восприятия определяются задачами измерения его значений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Распознавание слуховых образов. Под общей редакцией Н. Г. Загоруйко, Г. Я. Волошина. «Наука», 1970.
2. А. П. Молчанов. О переработке сигналов на периферии органа слуха. Труды IV Всесоюзной школы — семинара АРСО-IV, Киев, 1969.
3. Дж. Фланеган. Анализ, синтез и восприятие речи. «Связь», 1968.
4. В. Д. Глезер, И. Н. Цуккерман. Информация и зрение. Изд. АН СССР, 1961.
5. Д. С. Лебедев, Н. Н. Цуккерман. Телевидение и теория информации. «Энергия», 1965.
6. Кацухико Фудзиси, Тацуя Морита. Модель зрительной системы распознавания образов. Сб. «Модели нейронных структур». «Наука», 1970.
7. В. П. Бондаренко. К вопросу минимизации динамического диапазона нестационарных сигналов при измерении их значений, материалы отраслевой научно-технической конференции. Методы и средства получения измерительной информации, вып. 2, Рязань, 1970.
8. Л. В. Бондарко и др. Модель восприятия речи человеком. «Наука», 1968.
9. В. А. Ковалевский. Метод параметрических моделей в распознавании образов. Модели сигналов и вытекающие из моделей методы принятия решений. Труды IV Всесоюзной школы-семинара АРСО-IV, Киев, 1969.
10. М. М. Бонгард. Проблема узнавания. «Наука», 1967.
11. Р. Фельдкеллер, Э. Цвикер. Ухо как приемник информации. «Связь», 1965.
12. П. В. Новицкий. Основы информационной теории измерительных устройств. «Энергия», 1968.
13. Г. Я. Волошин. О структурной минимизации иерархических распознающих автоматов. Труды IV Всесоюзной школы-семинара АРСО-IV, Киев, 1969.
14. Ф. П. Тарасенко. Введение в курс теории информации. Изд-во ТГУ, Томск, 1963.
15. М. С. Нейман. Об основе теории извлечения информации. «Радиотехника», Т 22, № 5, 1967.