

## ОБ ОПТИМАЛЬНОМ КОДИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИИ, ПЕРЕДАВАЕМОЙ ЧЕЛОВЕКУ

Б. Ф. Ломов

Ленинградский Университет, Ленинград  
(Поступила 3/XI 1964 г.)

Оптимальное кодирование (шифровка) информации, принимаемых в управляющих на расстоянии системах оператором, требует решения таких вопросов как выбор вида сигнала, насыщенность каждого сигнала информацией, допустимая скорость передачи информации и многие другие. Этих вопросов нельзя решить без анализа процессов происходящих при приеме и преобразовании информации. Операция приема информации включает процессы обнаруживания, различения, идентификации и определения. Эти процессы под видом оптимального кодирования являются предметом настоящего исследования.

Прием осведомительной информации о состояниях регулируемых объектов и процессов является исходным условием и важнейшим компонентом деятельности человека-оператора в управляющих системах (в системах «человек-машина»). Эффективность работы этих систем в значительной степени зависит от скорости, точности и надежности приема поступающей информации. Поэтому проблема кодирования информации, передаваемой человеку, является одной из основных в инженерной психологии.

Оптимальное кодирование информации предполагает решение таких вопросов, как выбор физического алфавита сигнала, т. е. свойств тех физических процессов, которые служат сигналами, определение оптимальной длины алфавита, «насыщения» каждого сигнала информацией, выбор оптимальной скорости ее передачи человеку и ряда других вопросов.

Проблема оптимального кодирования имеет два аспекта. Один из них касается отношения сигнала к отображаемому объекту (событию). Очевидно оптимальным может быть лишь такой код, который обеспечивает необходимую, - с точки зрения задач, решаемых системой, - **полноту** описания события. В этой связи центральным является вопрос о выборе физического алфавита

сигнала, т. е. вопрос об отношении физических процессов, несущих информацию, к физическим процессам, образующим отображаемое событие.

Второй аспект - отношение сигнала к особенностям воспринимающего его человека. Ясно, что эффективность кода определяется не только тем, насколько полно он позволяет отобразить (описать) событие, но и его согласованностью с характеристиками и закономерностями гностических процессов и гностических действий, посредством которых человек принимает и перерабатывает информацию, содержащуюся в сигналах.

В этой связи возникает необходимость изучения структуры и динамики операции приема информации человеком. На основании имеющихся исследований можно заключить, что эта операция включает процессы поиска (и обнаружения), различения, идентификации и опознания (интерпретации). Перечисленные процессы определяют структуру операции приема информации. Соотношение между ними зависит от конкретных задач оператора, т. е. тех функций, которые он выполняет в управляющей системе.

Разработка способа кодирования информации, передаваемой человеку, есть вместе с тем и определенная организация перечисленных процессов. Очевидно оптимальным будет такой код, который разработан в соответствии с характеристиками этих процессов и их взаимоотношений.

В общем смысле оптимальной будет такая система кодирования, которая обеспечивает максимальную -- при данных условиях -- скорость, точность и надежность приема информации человеком. В оптимальной зоне будут находиться такие значения признаков сигнала, которым соответствуют максимальные значения ответных реакций человека (пропускной способности, точности и скорости реагирования).

В лаборатории инженерной психологии Ленинградского университета в течение ряда лет ведутся исследования по вопросам приема человеком визуальной информации, передаваемой в знаковой форме. Эта форма была выбрана прежде всего потому, что в системах дистанционного управления знаковая индикация используется наиболее широко. Кроме того, знаковая индикация является весьма удобной для изучения целого ряда чисто психологических вопросов.

В кратком сообщении невозможно дать подробное изложение результатов проведенных исследований. Поэтому мы остановимся лишь на некоторых из них.

В одном из исследований изучалась зависимость скорости различения и идентификации простых контурных знаков от их углового размера. Результаты экспериментов приведены в рисунке № 1, где по абсциссе отмечены угловые размеры деталей,

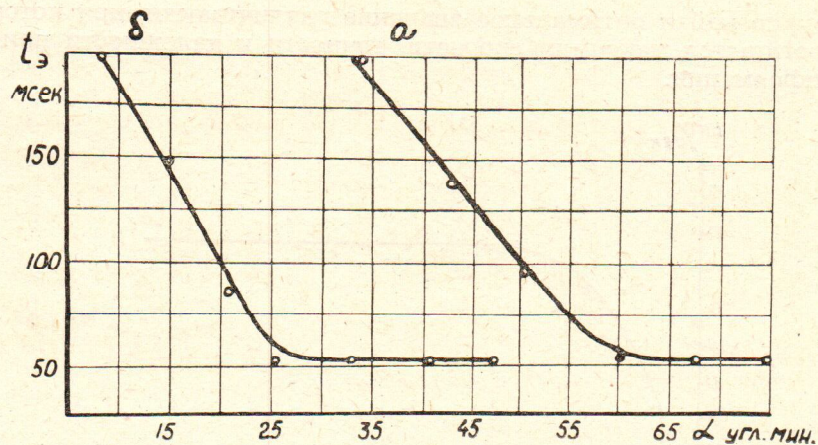


Рис. 1. Зависимость временного порога различения (кривая «а») и идентификации (кривая «б») простых контуров знаков от их углового размера

по ординате — минимальное время экспозиции, при котором наблюдалось точное различение (кривая «а») и точная идентификация (кривая «б») знаков. Как видно из рисунка, с увеличением углового размера, начиная от пороговой величины, (измеренной при неограниченном времени экспозиции) время уменьшается, т. е. скорость увеличивается, достигая максимального значения в районе 60 угл. мин. (что в несколько раз превосходит пороговую величину) для различения и 25 угл. мин. — для идентификации. В другом аналогичном исследовании изучалась зависимость пропускной способности зрительного анализатора от величины различия длин прямых линий. Задача испытуемого состояла в том, чтобы определить, равны или нет пары предъявляемых линий по длине. При этом величина различия изменялась от пороговой, которая была измерена заранее. Пропускная способность оценивалась в двоичных единицах/в сек. На рисунке № 2 приведены данные экспериментов. По абсциссе отмечена величина различия линий в единицах, соответствующих дифференциальном порогу, по ординате — пропускная способность. Здесь, как мы видим, наблюдается та же картина, что и в предшествующей серии. Максимальное значение пропускной способности получает тогда, когда различие (1) достигает величины, превышающей пороговую в 10 раз.

На основе этих экспериментов вводится понятие **различимость сигналов**, которое выражается отношением дивергенции признака к величине декремента. Для каждого признака сигнала

можно найти оптимальное значение различимости, при котором достигается максимум скорости, точности и надежности приема информации.

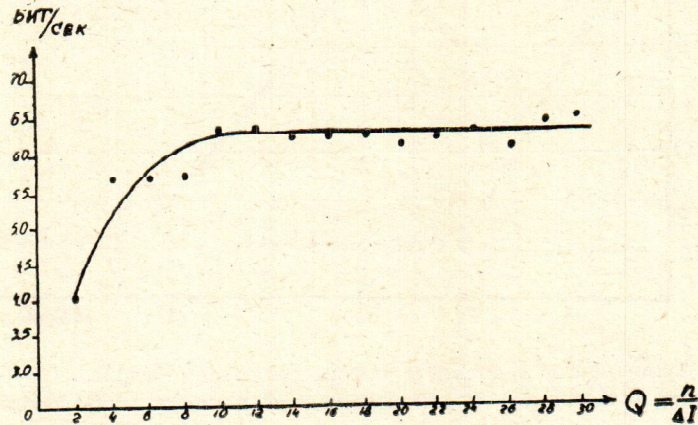


Рис. 2. Зависимость пропускной способности от величины различия длин линий (по М. А. Ммитриевой)

Высокая дифференциальная чувствительность анализаторов по отношению к отдельным свойствам раздражителя — казалось бы — позволяет создать достаточно длинный алфавит из одномерных стимулов (предполагается, что длина алфавита ограничена только величиной порога различения отдельного свойства). Однако по экспериментальным данным при использовании подобного алфавита скорость приема информации весьма мала, и в то же время ненадежность и неоднозначность приема велики. Оптимальные условия для различения имеют место лишь в том случае, если различие между парой соседних одномерных стимулов значительно превышает пороговую величину. Это обстоятельство ограничивает допустимую длину алфавита сигналов. Другим ограничением является низкая способность человека точно идентифицировать одномерные стимулы (по данным многих авторов: Поллака, Чапаниса, Эриксона и др.).

Длина алфавита, а значит и «насыщенность» каждого символа информацией могут быть увеличены, если в качестве сигналов используются многомерные стимулы. Однако и здесь имеются свои ограничения. Восприятие многомерных стимулов (комплексных раздражителей) не является простой суммой параллельно развертывающихся процессов различения. Экспериментально установлено, что существует определенная последовательность различения разных признаков стимула. Так, по нашим данным прежде всего различается цвет и величина объекта и лишь

затем-форма. При определенных условиях одни признаки сти- мула могут маскировать другие; при разных соотношениях при- знаю в могут быть получены однокровые субъективные эффекты. Короче говоря, увеличение числа признаков сигнала, хотя и позволяет увеличить скорость приема информации, но лишь до некоторого предела, который определяется закономерностями взаимодействия ощущений. При этом важно отметить, что в многомерных стимулах некоторые признаки становятся опор- ными для различения и идентификации. Обычно в роли опор- ных выступают те, различимость которых является оптимальной.

Заключительным моментом операции приема информации является опознание (интерпретации) сигнала, т. е. его соотнесе- ние с обозначаемым объектом.

В этой связи прежде всего познается вопрос о соотношении числа признаков сигнала и объекта. Экспериментально сравни- вались три группы сигналов. В первой число признаков сигнала точно соответствовало числу признаков объекта, во второй пер- вое число было больше второго, а в третьей – меньше. Макси- мальная точность наблюдалась при опознании сигналов первой группы. При опознании второй испытуемые часто приписывали объектам несуществующие признаки; третья не обеспечивала необходимой полноты опознания.

Данные приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1

Количественное соотношение признаков сигнала у объекта	Процент ошибок, допускаемых при опознании			
	контур	внутренние детали	наружные детали	буквы
1 группа (равенство)	13	28	30	17
2 группа (избыток)	20	40	41	29
3 группа (недостаток)	40	39	45	—

Очевидно оптимальной является такая система кодирования, при которой отношение числа признаков сигнала к числу при- знаков объекта равно единице. При этом важно подчеркнуть необходимость строгой субординации признаков, в соответствии с которой должна находиться и степень их различимости.

Наконец, еще один вопрос: о сходстве сигнала и объекта. В общем можно разделить все сигналы, с которыми имеет дело оператор, на два больших класса: сигналы — изображения, в которых свойства сигналов так или иначе **воспроизводят** свойства объекта, и сигналы — символы.

Экспериментально сравнивалась скорость и величина условно-рефлекторной реакции на объект, несколько его изображений, и на символ (слово, обозначающее этот объект). Данные приведены на рисунке № 3.

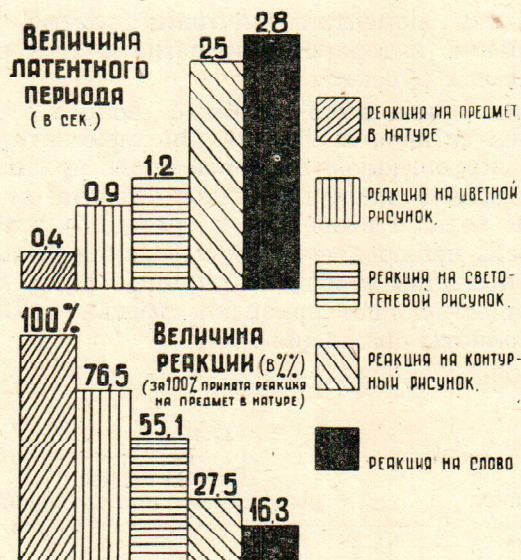


Рис. 3. Влияние полноты изображения на латентный период и величину условно-рефлекторной реакции

При экспозиции сигналов — изображений достигается наибольшая скорость опознания. В этом случае процессы идентификации и опознания сигнала как бы слиты благодаря действию механизма ассоциации по сходству. Как показывают эксперименты, при экспозиции сигналов — символов эти процессы могут расходиться.

Прием информации, передаваемой с помощью сигналов изображений, характеризуется также более высокой **надежностью**. Так, в одном из экспериментов было показано, что опознание телевизионного изображения достаточно надежно даже в том случае, если экран забивается на 50% помехами.

Вместе с тем надо отметить, что далеко не всегда сигнал-изображение является оптимальным. Выбор сигнала того или иного класса в конечном счете определяется теми задачами, которые должен решать оператор.

*Sadržaj*

О ОПТИМАЛЬНОМ ШИФРИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИЈА  
КОЈЕ СЕ ПРЕДАЈУ ОПЕРАТЕРУ

Оптимально шифрирование информации, которая передается оператору в системах дальнего управления, требует решения таких вопросов как физические алфавиты сигналов (т.е. вопрос соотношения физических процессов, которые несут информацию по физическим процессам, которые являются событиями относительно которых информация передается); «засищенности» каждого сигнала информацией; допустимой скорости передачи информации и т.д. Решение этих вопросов невозможно без анализа тех процессов, которые позволяют человеку воспринимать и обрабатывать информацию.

Операция приема информации включает процессы обнаружения, различения, идентификации и интерпретации.

Экспериментальные исследования, которые были проведены в лабораториях инженерской психологии Ленинградского университета, показали, что скорость и надежность приема информации зависят от различия сигналов, а определены в отношении варьирования знаков (обычно) сигналов и возможностями анализатора для различения. За каждый знак можно найти оптимальную меру различия, которая ограничивает длину алфавита.

Как второе ограничение является малая способность человека идентифицировать однозначные сигналы.

Использование многозначных сигналов позволяет увеличить длину алфавита. Однако, при восприятии многозначных сигналов наблюдаются эффекты маскирования отдельных знаков друг друга и замешивание соотношения между ними, а это влияет на возможность приема анализатора.

Скорость, точность и надежность дешифрования информации зависят от структуры процесса интерпретации, которая определяется соотношением количества сигналов по количеству объектов (или их состояний).

В соответствии с экспериментальными данными, оптимальным способом шифрования является тот, при котором количество информативных знаков сигнала равно количеству знаков объекта. Важную роль в процессе узнавания играет также вид сигнала, по которому их можно разделить на символические и на описательные сигналы. Скорость и надежность интерпретации больше для описательных сигналов, чем для символических сигналов.

*Ленинградский университет, Ленинград*

*Принято 3. XI 1964.*