

КАКИМИ РЕШАЮЩИМИ ФУНКЦИЯМИ ПОЛЬЗУЕТСЯ ЧЕЛОВЕК ?

Н.Г. Загоруйко

Если в некотором распознающем автомате зафиксировать алфавит объектов распознавания S и тип решающей функции $\mathcal{D}$, то требуемая надежность распознавания P достигается за счет подбора достаточно информативной системы признаков X .

Если же фиксированными будут алфавит S и признаковое пространство X , то выполнение условия P может быть достигнуто только путем соответствующего выбора решающих функций $\mathcal{D}$. Усложнение одного звена (X или $\mathcal{D}$) приводит к упрощению второго из них. В связи с этим при проектировании распознающих устройств приходится решать вопрос о том, на что обращать основное внимание (расходовать материальные ресурсы) — на рецептор (X) или классификатор ($\mathcal{D}$).

Конструктор распознающего автомата обычно считает образцом для подражания человека его способность распознавать образы. Этим можно объяснить интерес к исследованиям человеческих рецепторов и процессов принятия решений человеком. Обнаружено, что рецепторы (например, органы слуха, зрения) обладают высокой степенью совершенства. Их высокую чувствительность, большой динамический диапазон, избирательность, способность к адаптации и другие характеристики пока не удается имитировать даже в наиболее совершенных технических моделях. Вак-

но было бы узнать, обладает ли человек такими же хорошими (сложными, специализированными) классификаторами или уникальной способностью распознавать образы он обязан в основном высокому качеству своих рецепторов.

Гипотеза, предлагаемая в данной работе, состоит в том, что в процессе принятия решений человек использует простейшие (линейные) решающие функции.

Эта гипотеза возникла при сопоставлении результатов решения задачи таксономии палеонтологических объектов, полученных специалистами-палеонтологами их традиционными методами ("вручную") и с помощью формальных алгоритмов таксономии при использовании ЭВМ [1]. Оказалось, что эти результаты были абсолютно одинаковыми, причем обращал на себя внимание тот факт, что в формальном алгоритме использовались только линейные решающие функции.

Л.А. Чистович и др. [2] в опытах по восприятию искусственных речеподобных звуков обнаружили, что, разделяя пространство двух первых формант на области, соответствующие разным гласным звукам, слушатели делали это деление с помощью линейных решающих функций. Более того, это были линии, параллельные осям координат.

При решении классификационных задач в социологии специалист, оперируя большим числом признаков, обычно поступает так: все множество людей вначале делит по одному признаку (например, группа людей в возрасте до 25 лет, группа от 25 до 35 лет и т.п.), потом точно так же по другому признаку и т.д. Ясно, что признаковое пространство при этом оказывается разделенным гиперплоскостями, параллельными осям координат.

Наконец, нами была предпринята попытка выяснить характер "человеческих" решающих функций путем прямого эксперимента, который состоял в следующем.

Испытуемому предъявлялись две стопки карточек по 20-30 шт. в каждой стопке. На каждой из карточек были написаны координаты точек на плоскости (по одной точке на каждой карточке). Координаты x и y могли принимать целочисленные значения в диапазоне от 0 до 10. Одна стопка содержала точки образа № 1, вторая - образа № 2. Испытуемому предлагалось ознакомиться с этой "обучающей" выборкой и попытаться представить себе границу, разделяющую эти два образа друг от друга. Изучать наборы карточек можно было достаточно долго (например, 30 мин), не разрешалось только раскладывать их на плоскости

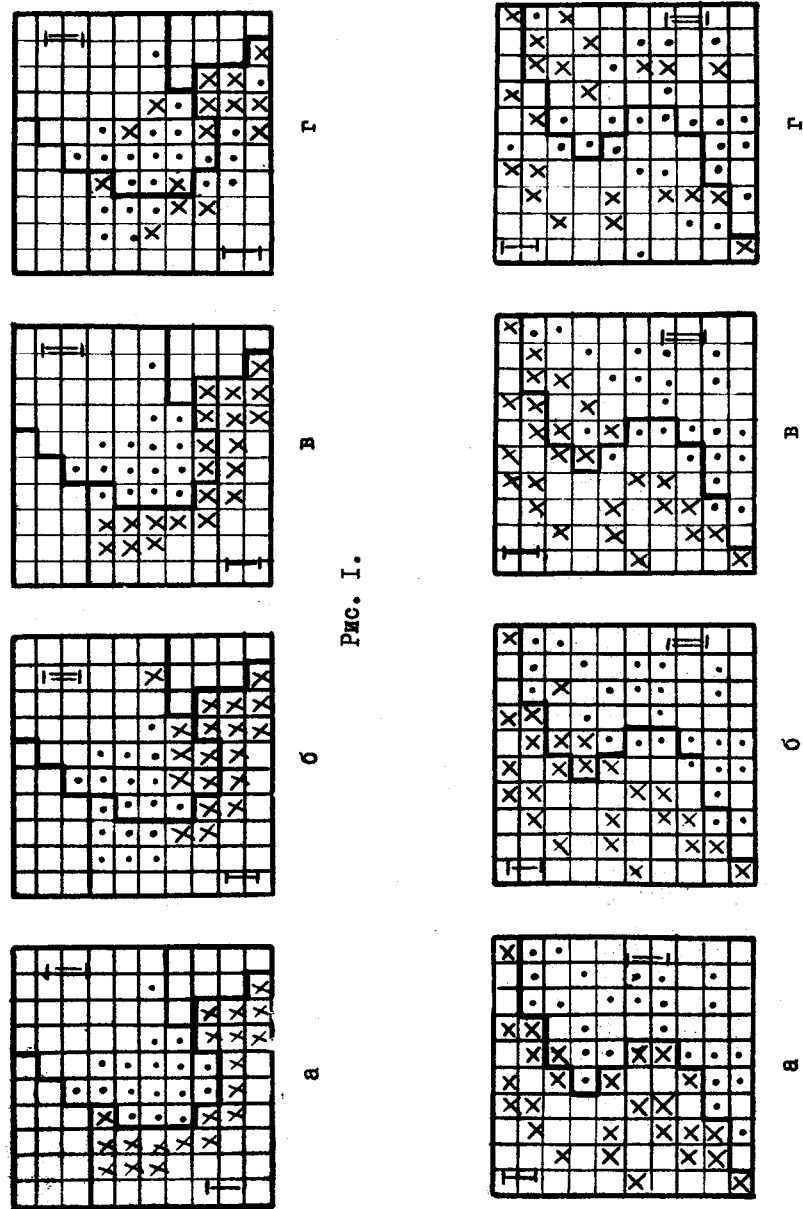


Рис. 1.

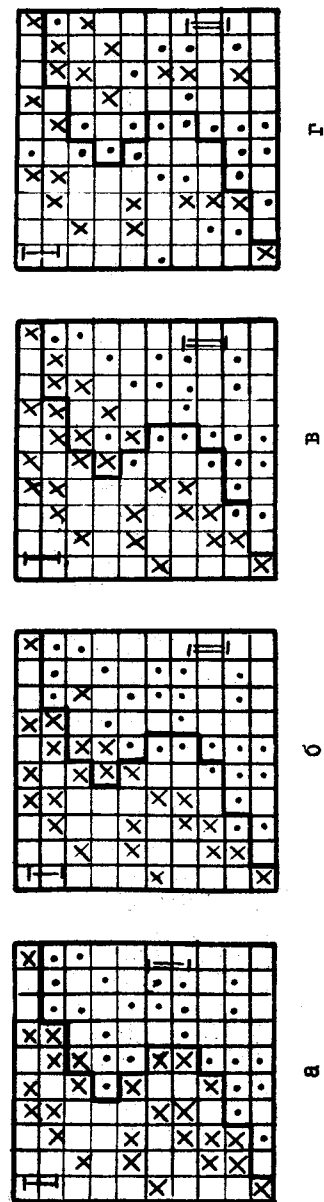


Рис. 2.

(столе) в соответствии с указанными на них координатами.

Затем давалась группа "контрольных" карточек (50 шт.) с точками как первого, так и второго образов и предлагалось разложить их по "своим" образам. Это позволяло однозначно установить, какую форму решающей функции представил себе испытуемый. Меры материального стимулирования, размеры которого были прямо пропорциональны успеху решения задачи, а также элемент соревнования практически исключали ошибки, причиной которых было бы безразличие испытуемых к результатам опыта. В эксперименте участвовало 10 человек: 3 математика, 3 физика, 3 инженера и 1 филолог — специалисты с высшим образованием или студенты выпускных курсов ВУЗов. Результаты опытов не позволяют выявить какой-либо зависимости между образованием (специальностью) человека и его способностью решать указанные задачи.

На рис. 1 и 2 показаны истинные границы между образами №1 и №2 и результаты отнесения контрольных точек к этим образам, сделанные испытуемыми.

Для некоторых эти задачи не были очень сложными (рис. 1а, 2а). Оказалось, что эти испытуемые просто запоминали граничные точки образов по обучающей последовательности. Были и такие испытуемые, которым задачи казались настолько трудными, что их решения были практически случайными (рис. 1г и 2г).

Имелись и промежуточные результаты — и таковых было большинство: испытуемые пытались представить картину, правильно уловив общий характер распределения образов, но запомнить точную границу были не в состоянии. Найденная ими аппроксимация решающей функции была линейной или кусочно-линейной (рис. 1б, в и 2б, в).

Аналогичные результаты были получены и в опытах с распознаванием после обучения трех образов на плоскости.

Затем была поставлена серия экспериментов по определению способностей человека к таксономии ("распознавание в режиме самообучения").

Испытуемым давалась стопка карточек (50 — 60 шт.), на каждой из которых были написаны координаты x и y одной точки. Ставилась задача сгруппировать точки (карточки) на два образа, пользуясь интуитивным понятием о "близости" точек и "компактности" групп этих точек. Сложность задачи предварительно подбиралась такой, чтобы она была на пределе способностей экспертов. Оказалось, в частности, что разделить на два

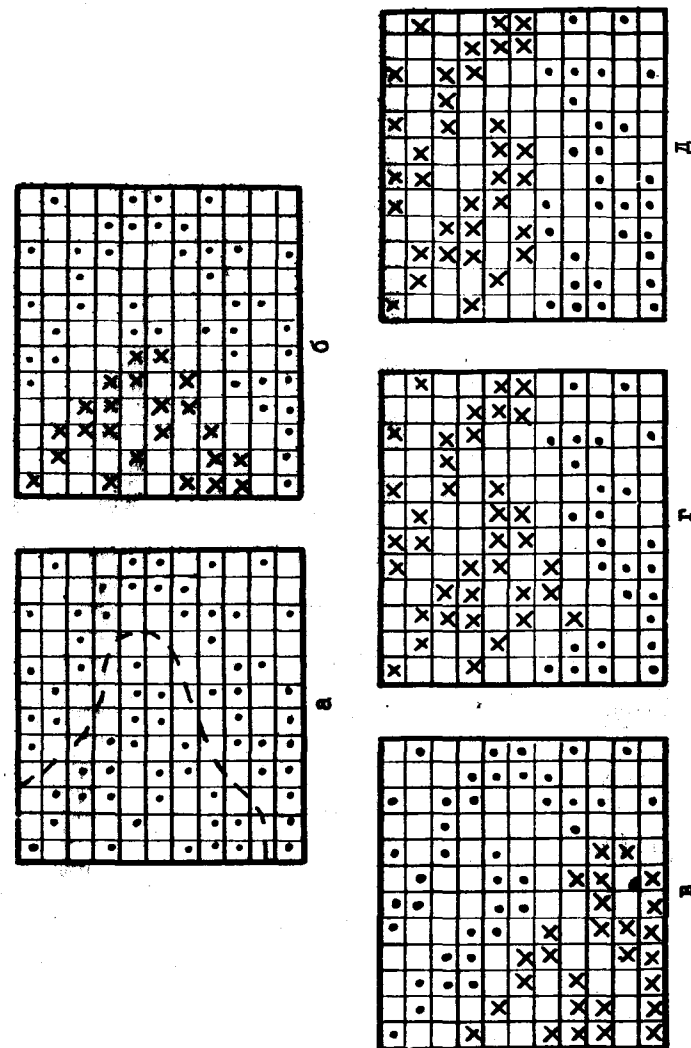


Рис. 3.

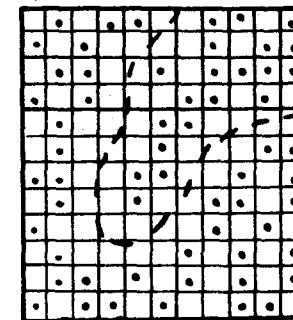
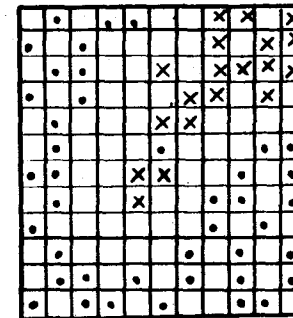
таксона множество точек на поле размером 15x15 клеточек при криволинейной границе между образами эксперты не могут. Если же поле уменьшить до размеров 10x10, то задача для большинства экспертов была слишком простой. Размер поля, на котором проводились контрольные эксперименты, был равен 11x12.

Одному из шести экспертов, участвовавших в этом эксперименте, удалось почти точно представить истинную форму границы между таксонами (рис. 3б). Остальные же разделили множество на две группы с помощью прямых линий (рис. 3в,г,д). На рис. 4а, б,в,г приведены некоторые решения ещё одной аналогичной задачи.

Если же экспертам показывалась картинка с изображением всех точек, то все они без колебания проводили истинную границу (показанную пунктиром на рис. 3а и 4а). Представить же себе эту картинку, воспринимая информацию по точкам, подавляющее большинство экспертов не смогло. Так что даже в такой простой ситуации (всего два образа в пространстве двух переменных с малым числом градаций) человек при таксономии использует в основном линейные решающие функции.

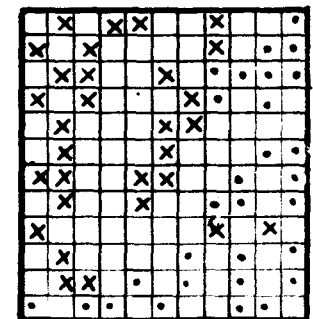
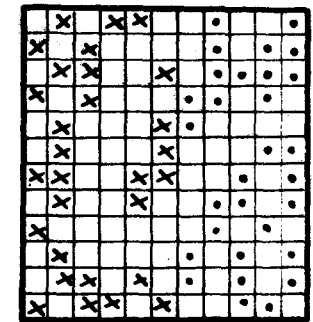
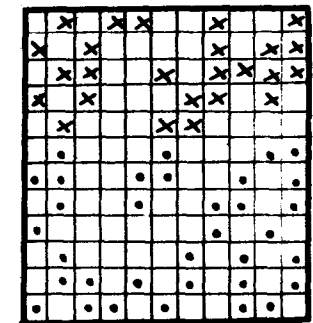
Наконец, была поставлена задача таксономии множества точек на два образа в пространстве трех переменных. Число градаций по каждой оси было равным 10. Точки были расположены так, что безошибочное их разделение на две группы осуществлялось плоскостью $x_1 = \frac{1}{2}(x_2 + x_3)$, причем расстояние точек от этой плоскости было достаточно большим. В этой задаче, в отличие от предыдущих, экспертам разрешалось раскладывать карточки на столе в любом порядке, так что они поочередно могли (и делали это) выкладывать проекции множества точек на координатные плоскости. Однако и это не помогло большинству из них представить граничную плоскость, наклоненную к координатным осям: 6 из 8 экспертов разделили пространство плоскостью $x_i = \text{const}$, что дало в среднем 40% ошибок. Учитывая это, вряд ли следует ожидать, что человек окажется в состоянии решить более сложную задачу, например, представить себе нелинейную разделяющую поверхность в многомерном пространстве при более чем двух образах.

Результаты этих опытов согласуются с выводами ряда других авторов, изучавших поведение человека в сложной для него ситуации.



б

а



д

г

в

Рис. 4.

В работах М.Л. Цетлина [3] показано, что существует оптимальное соотношение между трудностью задачи и сложностью (объемом памяти) автомата, решающего эту задачу. Применение идей М.Л. Цетлина [4] для анализа поведения людей подтвердило наличие такого оптимума и у человека, причем оказалось, что с усложнением задачи тактика испытуемых была все более экономичной и простой, становясь в пределе аналогичной "линейной" тактике поведения конечного автомата в случайной среде. Этот переход к максимально простой тактике вызывается ограниченностью человеческих способностей в области принятия решений.

Какие выводы следуют из гипотезы о линейном характере человеческих решающих функций?

Если задачи таксономии будут решаться на ЭВМ с помощью методов, основанных на нелинейных решающих функциях, то мы рискуем получить результаты, недоступные для человеческого понимания или неудобные для использования. Так, например, человеку будет очень трудно оперировать полученными с помощью ЭВМ таксонами, имеющими сложную форму распределения в многомерном пространстве признаков. Сложные (нелинейные) алгоритмы таксономии целесообразно использовать для получения таксонов, предназначенных для использования внутри сложных машинных программ распознавания, так сказать, для внутреннего использования. Таксоны же, предназначенные для непосредственного использования человеком, должны быть максимально простыми по форме, отделяемыми друг от друга линейными решающими функциями.

Можно ли в таком случае считать, что попытки разрабатывать сложные решающие функции бессмысленны? Вероятно, нет. Располагать средствами принятия решения более мощными, чем имеет человеческий мозг, никогда не вредно, особенно сейчас, когда необходимо чем-то компенсировать недостатки используемых в распознающих автоматах примитивных моделей человеческих рецепторов. Однако ясно, что комплекс проблем, связанных с моделированием рецепторов (поиск информативных систем описания сигналов, усовершенствование моделей рецепторов и т.д.) весьма актуален и перспективен, если ставить задачу построения распознающего устройства, структурно изоморфного человеческой системе восприятия.

Далее, принятие гипотезы о линейном характере человеческих решающих функций позволяет ставить задачу соизмерения признаков различной природы.

Процедура установления соизмеримых масштабов разных признаков могла бы состоять в следующем. Вначале фиксируется некоторая (например, линейная) шкала измерения каждого признака в отдельности. В сформированном таким путем признаковом пространстве нас будут интересовать образы тех или иных решений, принимаемых человеком.

Набор статистики для этих образов состоит в предъявлении анкетизируемому ("эксперту") реализаций конкретных значений признаков (условий) и фиксации решения, которое он при этом принимает. Затем между множествами точек, соответствующих разным образам, проводится оптимальная решающая граница. Если эта граница линейна, то мы можем считать, что выбранный нами масштаб измерения признаков соответствует "человеческому". Если граница нелинейна, то нужно сделать такое нелинейное изменение шкал, которое сделало бы решающую функцию линейной. Класс необходимых нелинейных преобразований координат заранее неизвестен, но, исходя из опыта психофизического шкалирования, который свидетельствует о широкой распространенности логарифмических шкал субъективного восприятия, можно ожидать, что логарифмирование шкал признаков будет использоваться наиболее часто.

Выбранные в итоге масштабы шкал позволили бы сравнивать между собой такие факторы, как, например, климат, расстояние, заработная плата, привлекательность профессии и т.д. - в социологических задачах, связанных с изучением причин миграции населения, или, в задачах определения ценности научных работ - новизна проблемы, глубина теоретической проработки, непосредственный экономический эффект от внедрения и т.д.

Л и т е р а т у р а

1. В.Н. Елкина, Е.А. Елкин, Н.Г. Загоруйко. Применение методов распознавания образов в палеонтологии. Доклад на Всесоюзном совещании по применению математики в геологии, Новосибирск, 1965 год.
2. Л.А. Чистович, Г. Фант, А Серпа-Лейта, П. Тьернлунд. Квартальный отчет лаборатории передачи речи Стокгольмского королевского технологического института. 1966 г., № 4.
3. М.Л. Цетлин. Некоторые задачи о поведении конечных автоматов. - ДАН СССР, 1961 г., т. 139, № 4, стр.830-833.
4. М.А. Алексеев, М.С. Залкинд, В.М.Кушнарев. Решение человеком задачи выбора при вероятностном подкреплении двигательных реакций. - Кибернетические методы в биологии. Изд. АН СССР, М., 1962 г.

Поступила в редакцию
I/X-1967г.