



SOME PROBLEMS IN DESIGN AND APPLICATION OF  
READING MACHINES

by

*R. S. Michalski*

Proceedings of the II National (Bulgarian) Conference on Automatic Control, vol. III,  
Bulgaria, Varna, Sept. 21-25, 1967.

Some Problems in Design and  
Application Possibilities of  
Reading Machines, Proceedings  
of the II National (Bulgarian)  
Conference on Automatic  
Control, Vol. III, Bulgaria,  
Varna, Sept. 21-25, 1967

81

Некоторые вопросы  
конструирования читающих автоматов  
и возможности их практических применений

Рышард Михальски  
Институт Автоматики  
Польской Академии Наук  
Польша, Warszawa, ul. KRN 55

Summary

The paper describes some principles of construction of reading machines: comparing with standard symbols, method of fragments, determination of some categories of properties of symbols. These principles are considered from the point of view of flexibility of reading machines. Among the examples there are given models of reading machines constructed in the Institute of Automatic Control Polish Academy of Sciences.

There are also considered some possibilities of applying reading machines e.g. for automation of various administrative works.

Задача построения читающих автоматов привлекает в настоящее время большой интерес широкого круга научных работников и инженеров. Она имеет большое практическое значение, а ее полное решение тесно связано с успехами теории и практики распознавания образов. Последнее утверждение в полне понятно, если учесть, что хороший читающий автомат должен правильно распознать любое начертание буквы, независимо от различного вида искажений этого начертания. Разработка читающего автомата требует решения ряда отдельных вопросов, которые касаются:

1. механической части, управляющей подачей и движением документа,
2. системы считывания текста, преобразующей знаки в электрические сигналы,
3. анализирующей части, распознающей знаки и управляющей выходным устройством.

Построение механической части автомата и системы считывания текста представляет собой задачу технического характера, которая уже более или менее удачно решена. В настоящей статье вопросами связанными с этой задачей заниматься не будем, ограничимся лишь до некоторой общих замечаний.

Конструкция механической части зависит от размеров документа, размещения в нем текста, скорости считывания и т.д. Система считывания обычно работает на основе использования электронно - лучевой трубки в качестве точечного источника света. Световой поток трубки отражается от документа и падает на фотоэлектрический усилитель. На выходе усилителя получаются сигналы, которые зависят от степени зачерненности исследованных точек документа. Эти сигналы кодируются обычно в двоичной системе счисления и затем либо запоминаются в некотором регистре или сразу же передаются в анализирующую часть автомата.

Конструирование анализирующей части автомата представляет собой задачу различной степени сложности в зависимости от принятых ограничений на допустимые изменения начертания и искажения распознаваемых знаков. Так как эти ограничения зависят от способа чертении знаков, тогда общую задачу автоматического чтения можно разделить на следующие задачи возрастающей степени сложности:

- I. распознавание машинописных знаков фиксированного шрифта,
- II. распознавание машинописных знаков разных шрифтов и разной величины,
- III. распознавание рукописных знаков появляющихся отдельно,
- IV. распознавание знаков или сразу целых слов в рукописном тексте.

Большинство разработанных до сих пор читающих автоматов решает первую задачу и реже вторую. Автоматы решающие третью задачу существуют пока главным образом в виде программ на вычислительные машины, хотя имеются уже сообщения о конкретных разработках этого типа автоматов [1]. Над решением четвертой задачи ведутся сейчас многочисленные работы, но нет ещё никаких сведений о достижении действительно хороших результатов.

Здесь нужно сказать, что в задачах III и IV можно выделить более узкую задачу распознавания знаков на основе наблюдения процесса их возникновения (чертения), а не заранее начертанных. В том случае получается дополнительную информацию о том как возникает данный знак, что сильно облегчает задачу. Интересные результаты в этой области были получены Хармоном и Фришкопфом [2].

Среди общих принципов положенных в основу конструкции известных автоматов, одним из более распространенных является принцип сравнения распознаваемого знака с эталонами знаков хранящимися в автомате.

Такое сравнение осуществляется путем вычисления значений некоторого коэффициента сходства между распознаваемым знаком и каждым

из эталонов. Эталон с которым сходство самое большое отождествляется с распознаваемым знаком. Поясним это более подробно. Распознаваемый знак представляется с помощью системы считывания в виде матрицы. Элементы этой матрицы принимают значения  $0, 1, \dots, n-1$  в зависимости от степени зачерненности соответствующих точек участка документа исследованным знаком, причём  $n$  - количество различаемых степеней зачерненности (обычно  $n = 2$  или  $4$ ). Если элементы матрицы считать координатами некоторого  $k \times l$  - мерного пространства, где  $k \times l$  - размерность матрицы, то каждому входному знаку соответствует определенная точка в этом пространстве. Так как эталону знака тоже можно приписать некоторую точку указанного пространства, тогда сходство знака с эталоном можно определить путем вычисления какого-то коэффициента близости между этими точками. Существует много разных определений такого коэффициента [3,6,15].

Эталоны знаков хранятся либо в виде их электрических моделей (матрицы сопротивлений, ферритовых сердечников и т.д.) либо в виде фотографических масок-трафаретов. К автоматам применяющим первый способ относятся например: автомат Чарс, разработанный в Институте Кибернетики АН УССР [5], автомат со сдвигающим регистром фирмы Rabinow Engineering Co, автоматы фирм Philco Corporation, National Data Processing Co, Burroughs Control Corporation [4]. К автоматам применяющим второй способ относятся например: многошрифтовый автомат фирмы RCA, автомат с фотомаской фирмы Rabinow Engineering Co, автомат фирмы Baird - Atomic Corporation, автомат (макет) ОКА разработанный в Институте Кибернетики АН СССР [4,6].

Чтобы сравнение знака с эталоном описанным выше способом не привело к ошибочным результатам положение знака в поле зрения должно быть строго фиксированным или иначе говоря нужна центровка знака. Центровка знака осуществляется обычно по его краю или центру тяжести. Примером автомата, в котором центровка знака осуществляется по его краю является один из более известных автоматов разработанных в США - упомянутый уже автомат со сдвигающим регистром фирмы Rabinow Engineering Co. (чтение двух строк на стандартном документе со скоростью 660 знаков в секунду). Однако нужно отметить, что такой метод центровки ненадежен в условиях плохого качества печати и загрязнений.

Вместо центровки знака можно осуществлять всевозможные сдвиги знака в определенном поле зрения и для каждого положения вычислить коэффициент близости к каждому из эталонов.

Самое большое значение коэффициента близости по всем сдвигам

знака определяет искомый эталон.

Метод сдвигов требует, конечно, большего количества вычислений, но зато гарантирует правильность распознавания знаков даже в случае значительных загрязнений и непропечаток в тексте.

Этот метод был применен в автомате Чарс [5]. Сдвиги знака осуществляются в нем с помощью сдвигающего регистра. Мерой сходства знака и эталона является коэффициент корреляции, который определен таким способом, что достигается инвариантность по отношению к изменениям черноты линий и загрязнению фона, а также к значительным искажениям изображений. Автомат этого типа, по мнению авторов, может обеспечить чтение полного алфавита пишущей машинки со скоростью не менее 200 знаков в секунду и с вероятностью ошибки около  $10^{-4}$ . Объем необходимой аппаратуры характеризуется числом транзисторов, составляющим около 2500.

Как видно из выше сказанного автоматы работающие по принципу сравнения с эталоном могут быть применены только к задаче I. Чтобы применить их к задаче II нужно при изменении шрифта изменять набор эталонов и соответственно изменять шаг квантования знаков в случае изменения их масштабов.

Иным принципом конструкции читающего автомата является так называемый метод фрагментов [8].

В методе фрагментов определяется степень зачерненности в выбранных областях поля изображения знака (фрагментах), которую кодируется в бинарной или другой системе счисления. В качестве эталонов используются наборы фрагментов свойственных каждому классу знаков. Выбор фрагментов являющихся информативными областями осуществляется на основе статистической обработки реальных знаков, которую можно проводить с помощью вычислительной машины. Метод фрагментов был выбран в качестве основного в разработках ВИНТИ (Москва). Самым главным преимуществом этого метода является его быстроедействие, так как этого рода признаки получаются непосредственно в процессе развертки знака и поэтому не требуется дополнительного времени для анализа формы знака.

По этому методу в указанном Институте был разработан читающий автомат предназначенный для чтения машинописных букв и цифр одного шрифта [8]. Проведенные испытания этого автомата показали среднюю надежность распознавания для алфавитной информации 0,99 и для цифровой 0,999.

Близкими к методу фрагментов являются все методы в которых распознаваемые знаки описываются набором признаков являющихся простыми

логическими функциями элементов выбранных участков матрицы изображающей знаки. Составление таких методов подано в работе [7].

В Институте Автоматики Польской Академии Наук (ПАН) разработано предварительную лабораторную модель читающего автомата в которой обработка входного знака проводится в двух этапах. На первом этапе знак изображенный в матрице  $8 \times 5$  преобразуется в знак по возможности менее искаженный и представленный в матрице  $5 \times 5$ . На втором этапе определяются разные логические функции на элементах выбранных участков матрицы  $5 \times 5$ . Эти функции описывают распознаваемые знаки. Каждому классу знаков соответствует определенный набор значений этих функций.

Такой способ распознавания увеличивает надежность распознавания и допускает большие искажения знаков.

Метод фрагментов и ему подобные методы требуют центровки знаков и являются очень чувствительными к изменениям формы знака, масштабов, ориентировки знаков, искажениям печати и т.д.

Поэтому они применимы тоже только к задаче I. Решение задачи II требует методов, в которых определяются признаки инварианты изменениям масштабов и ориентировки знаков, их формы, толщины и т.д. Некоторые такие методы описаны в литературе [10, 11, 17, 20]. К ним, например, относятся методы основанные на определении количества пересечений знака с горизонтальными и вертикальными линиями [11], или на определении последовательности направлений границы знака получаемой при обходе контура [15].

Чтобы решить задачу III надо использовать признаки высшей степени сложности, которые инвариантны к самым различным преобразованиям и искажениям знаков.

К таким признакам принадлежат например разные топологические признаки (замкнутый контур, пересечение, разветвление), геометрические (прямая линия, излом, направление линии, дуга, пропорции расстояний между разными информативными точками изображения), признаки учитывающие взаимное расположение других признаков и т.д.

Известных ряд работ, которых авторы пробуют использовать такого рода признаки [2, 9, 10, 14, 19]. Вопрос однако состоит в том, что практическое выделение таких признаков с помощью существующих в настоящее время технических средств представляет собой большие трудности. Надо к этому добавить, что выделение признаков в читающем автомате должно происходить достаточно быстро, так чтобы обеспечить необходимое быстроедействие автомата.

Признаки характеризующие знаки можно выделять параллельным или

последовательным способом. Параллельный способ, присущий биологическим анализаторам зрения, требует конструирования многослойных сетей, например [14], в которых реализуется, известный из нейрофизиологии, принцип тормозящего или возбуждающего влияния возбужденных элементов на соседние элементы. Последовательный метод применен во всех методах в которых осуществляется слежение за контуром знака.

Выделение признаков на основе слежения за контуром знака использовано например в читающем автомате IBM 1287 [1], предназначенном для ввода рукописных цифр и пяти букв в систему IBM 360 (это один из первых практически применяемых автоматов решающих (частично) задачу III).

Последовательный способ анализа знаков легко реализуется с помощью элементов цифровой техники и моделируется на вычислительных машинах. Он тоже удобен при использовании системы считывания с электронно-лучевой трубкой.

Моделирование алгоритмов работы читающих автоматов на вычислительных машинах обычно предшествует всем работам конструкционного характера. На основе цифровой модели автомата можно проверить метод распознавания, определить состав и информативность признаков, определить значения разных параметров [16].

Выделение существенных признаков может принципиально осуществляться либо детерминированным способом по алгоритму заданному человеком либо с помощью обучающейся системы, которая сама определит признаки характеризующие классы знаков.

Последняя идея очень заманчива и перспективна, но пока известны только общие принципы построения такой системы [13], и по всей вероятности она будет гораздо сложнее автоматов работающих по детерминированным алгоритмам.

Существует мнение, что самый перспективный способ при распознавании рукописных знаков это построение комбинированной системы, которая состояла бы из детерминистической части определяющей большое количество разных признаков заданных человеком и обучающейся части, которая обучается какие признаки и в какой степени характеризуют заданные классы знаков.

Попытка создать такую систему для распознавания отдельных рукописных букв латинского алфавита и цифр была проведена в Институте Автоматики ПАН [19].

Система была разработана в виде модели на вычислительную машину. Блок-схема системы представлена на рис. 1.

В качестве признаков были использованы такие простые признаки как:

- существование длинной линии (по сравнению с высотой знака) в левой, правой, верхней, нижней частях знака,
- существование горизонтальной, вертикальной, направленной влево, вправо в середине знака,
- существование короткой линии или двух линий в определенных областях поля зрения знака.

Всего определялось 30 такого рода признаков. Во время обучения в обучающемся блоке накапливалась информация о том, которые из признаков наиболее существенные для каждого класса знаков. При распознавании вычислялся некоторый коэффициент сходства набора признаков описывающих знак с наборами чисел характеризующих классы знаков. Последние наборы имели разную длину, а каждый из элементов набора характеризовал вес данного признака с точки зрения определенного класса знаков. Длина наборов определялась числом существенных для данного класса признаков. Выбор этих признаков зависел от частоты их появления в обучающих последовательностях знаков данного класса. Оптимальные пороговые значения этих частот были выбраны экспериментально.

Конечно, в действующем автомате обучающийся блок может отсутствовать. Все веса признаков и другие параметры хранятся в автомате в виде постоянных величин таких как сопротивление, ёмкость и т.д. Исследования модели этой системы показали, что несмотря на использование простых признаков, она правильно распознает даже довольно сильно искаженные знаки и что можно её считать очень перспективной.

Решение задачи IV требует решения дополнительного вопроса сегментации знаков. Вопрос этот оказывается очень сложным. Сегментацию пробуют проводить на основе например статистического анализа ширины знаков, выделения наиболее характерных знаков, поиска минимумов зачерченности в направлении строки [2, 10].

В зависимости от своих возможностей читающие автоматы могут найти очень различное применение. Известны сообщения что например в некоторых странах западной Европы широко начинают применять читающие автоматы для сортировки корреспонденции в почтовых отделениях. Пока они требуют вписывания цифр обозначающих адрес в определенных местах конверта. Эти ограничения можно будет однако уменьшить, если удастся осуществить более совершенные автоматы.

Большая область применений читающих автоматов это облегчение контакта человек - машина. Применение читающих автоматов дает воз-

возможность ввода например машинописных, а в будущем и рукописных программ в вычислительные машины. Читающие автоматы нужны как входные устройства машин - переводчиков с одного языка на другой.

Читающие автоматы могут найти широкое применение в автоматизации разного рода административных работ, как например:

- классификация, селекция и поиск документов,
- в бухгалтерии - чтение чеков, счетов, квитанции кассовых аппаратов и т.д. с целью дальнейшей автоматической обработки этой информации,
- чтение статистических карт с письменной информацией вместо перфорированной,
- чтение документов с информацией о приходе и расходе денег, материалов, товаров и т.д. с целью автоматического ввода этой информации в управляющую предприятием вычислительную машину.

По мере совершенствования читающих автоматов области их применения будут расширяться.

#### Л и т е р а т у р а

1. Computers and Automation  
November 1966, page 46.
2. Линдгран Н.: Машинное распознавание человеческого языка  
Зарубежная радиоэлектроника, 1966, нр 5
3. Ковалевский В.А.: О корреляционном методе распознавания  
сб. Читающие автоматы и распознавание образов,  
Киев 1965
4. Гимельфарб Т.Л.: Некоторые работы зарубежных автоматов  
в области распознавания стандартного шрифта  
как выше
5. Барабашко А.С., Ковалевский В.А., Мазира Ю.С.: Корреляционный  
читающий автомат со сдвиговым регистром ЧАРС  
как выше
6. Елисеев В.К.: Читающий автомат построенный на принципе  
оптической корреляции  
как выше

7. Зайцев В.И.: Многокаскадные системы опознавания изображений  
сб. Читающие устройства  
Москва, 1965.
8. Магидсон Л.М., Сиборин Ю.М.: Читающий автомат для распознавания  
знаков по методу фрагментов  
как выше
9. Кириллов В.В.: Моделирование способа опознавания рукописных знаков  
как выше
10. Командровский В.Г.: Об одной логической схеме опознавания образов  
как выше
11. Вайнштейн В.С.: Использование дифференциальных признаков для  
классификации знаков  
как выше
12. Буловас В.В., Гудялис Л.П., Лашас А.В.: Кодовый метод распознавания  
зрительных образов  
как выше
13. Rosenblatt F.: Principles of neurodynamics. Washington 1962.  
Spartan Books.
14. Gawroński R.: Niektóre problemy modelowania procesów rozpoznawania  
w organizmach żywych  
Uczące się automaty i biologiczne procesy percepcji.  
Wyd. PAN 1966.
15. Węgrzyn S., Sowa G.: O rozpoznawaniu obrazów przy pomocy maszyny  
cyfrowej Odra 1003.  
jak wyżej
16. Michalski R.: Niektóre zagadnienia cyfrowego modelowania urządzeń  
rozpoznających  
Opis pewnego cyfrowego modelu urządzenia rozpoznającego dla znaków alfanumerycznych  
jak wyżej

17. Perotto P.G.: A New Method for Automatic Character Recognition  
IEEE Transactions on EC, October 1963, No 5.
18. Unger S.H.: Pattern detection and recognition  
Proc. IRE 1959, No 10, 1737-1752.
19. Karpiński J., Michalski R.: Perceptron dla znaków alfanumerycz-  
nych. Opis koncepcji projektu oraz modelu na maszy-  
nie cyfrowej.  
Prace Instytutu Automatyki PAN 1966.
20. Kamensky L.A., Liu C.N.: Computer-automated design of multifont.  
Print Recognition Logic. Jour. of reasearch and  
development 1963, No 1.