



ON THE PROBLEMS OF BUILDING READING
MACHINES," PUBLISHED IN POLISH UNDER THE TITLE:
"O PROBLEMACH BUDOWY AUTOMATOW
CZYTAJACYCH

by

R. S. Michalski

maszyny

matematyczne

zastosowania

w gospodarce

technice

i nauce

4

1968



RYSZARD S. MICHALSKI

Warszawa

Ryszard Michalski ukończył 4 lata Wydziału Elektroniki Politechniki Warszawskiej, a następnie kontynuował studia w specjalności automatyka w Leningradzkim Instytucie Politechnicznym, który ukończył w roku 1961. Początkowo pracował w Zakładzie Projektowania Maszyn Matematycznych. Od roku 1963 pracuje w Instytucie Automatyki PAN, gdzie zajmuje się zagadnieniami rozpoznawania, modelowania cyfrowego automatów i teorią sieci logicznych.

Jest autorem kilku prac naukowych z wymienionych dziedzin publikowanych w kraju i za granicą.

681.39:003.62

O problemach budowy automatów czytających

Artykuł daje przegląd zagadnień związanych z praktyczną realizacją automatów czytających, jak również rozwiązań przyszłościowych. Autor szczegółowo omawia zadania części analizujących — rozpoznających znaki drukowane lub pisane ręcznie. Wyjaśnia zasadę budowy znanych obecnie automatów opartą na porównywaniu rozpoznawanych znaków drukowanych z wzorcami. Informacja o znakach może być przedstawiona w postaci dyskretnej (macierze opisujące) lub ciągłej (zapis na taśmie fotograficznej). Autor podaje metody porównywania (centralizacja znaków w polu widzenia i ich przesunięcia). Omawia również inną zasadę budowy automatów opartą na tzw. metodzie fragmentów oraz inne metody. Przedstawia kierunki rozwiązań automatów czytających znaki pisane. Wśród przykładów podaje opisy modeli automatów czytających opracowanych w Instytucie Automatyki PAN.

Zautomatyzowanie różnorodnych prac administracyjnych oraz prac związanych z wymianą informacji między człowiekiem a maszyną wymaga zastosowania urządzeń, które potrafiłyby automatycznie odczytywać teksty drukowane, a także niejednokrotnie pisane ręcznie. Urządzenia te nazywa się **automatami czytającymi** i obecnie nad zagadnieniami związanymi z ich budową pracuje się w wielu ośrodkach naukowych głównie ZSRR i USA.

Postępy w dziedzinie budowy automatów czytających są ściśle związane z osiągnięciami teorii i praktyki rozpoznawania obiektów. Stwierdzenie to staje się w pełni zrozumiałe, jeśli zauważyć, że dobry automat czytający powinien prawidłowo rozpoznawać znaki niezależnie od różnych ich zniekształceń i sposobów napisania.

Zarys zagadnień związanych z praktyczną realizacją automatu czytającego

Realizacja automatu czytającego wymaga rozwiązania szeregu oddzielnych zagadnień, które dotyczą:

- 1) części mechanicznej automatu — podającej dokument i sterującej jego przemieszczeniem
- 2) układu odczytującego — przekształcającego znaki na sygnały elektryczne
- 3) części analizującej — rozpoznającej znaki i sterującej urządzeniem wyjściowym.

Budowa części mechanicznej oraz układu odczytującego stanowi zadanie o charakterze technicznym, które nie nastęrcza większych problemów teoretycznych i posiada już szereg udanych rozwiązań.

W niniejszym artykule zagadnieniami związanymi z tym zadaniem zajmować się nie będziemy, ograniczymy się tylko do niektórych ogólnych uwag.

Konstrukcja części mechanicznej zależy od rozmiaru i kształtu czytanego dokumentu, rozmieszczenia w nim tekstu, szybkości czytania znaków itp. Układ odczytujący jest zwykle zbudowany na lampie promieniowej, wykorzystywanej jako ruchome punktowe źródło światła (rys. 1). Strumień świetlny lampy pada na wybrany punkt dokumentu w polu widzenia¹⁾ automatu, obejmującego rozpoznawany znak i po odbiciu wchodzi na fotopowielacz, który wytwarza na wyjściu sygnał elektryczny. Sygnał ten, zależny od stopnia zaciemnienia danego punktu, po wzmocnieniu zostaje przekształcony w przekształtniku analogowo-cyfrowym do postaci cyfrowej (zwykle w systemie dwójkowym). Następnie wraz z sygnałem z układu sterującego o współrzędnych wybranego punktu zostaje przesłany do części analizującej automatu.

Realizacja części analizującej przedstawia zadanie o różnym stopniu trudności w zależności od przyjętych ograniczeń na dopuszczalne zmiany kształtu i zniekształcenia znaków. Ponieważ ograniczenia te zależą od sposobu pisania znaków, więc w ogólnym zagadnieniu automatycznego czytania, można wydzielić następujące zadania rosnącego stopnia trudności:

I — rozpoznawanie znaków drukowanych jednym rodzajem czcionki,

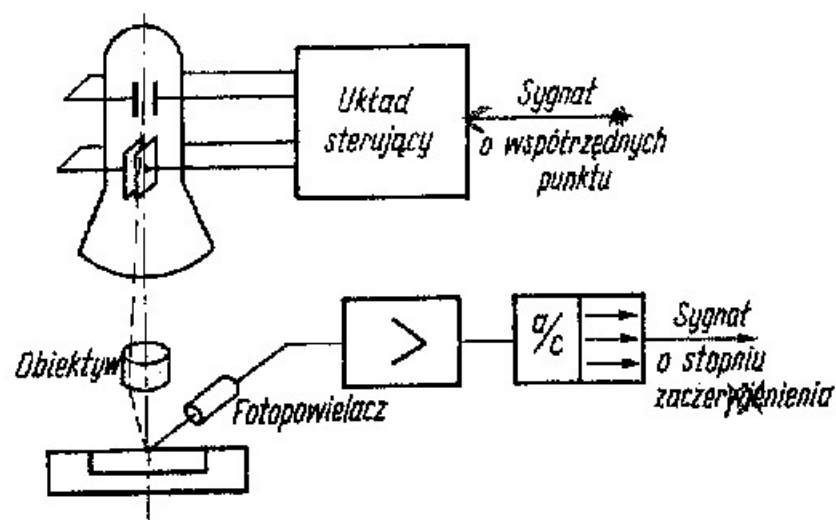
1) Terminem „pole widzenia automatu” określa się zbiór wszystkich punktów dokumentu, z których automat pobiera informacje o stopniu zaciemnienia w jednym takcie pracy.

II — rozpoznawanie znaków drukowanych różnymi rodzajami czcionek (różnego kroju i wielkości),

III — rozpoznawanie znaków pisanych ręcznie, ale nie związanych ze sobą,

IV — rozpoznawanie znaków lub od razu całych słów w rękopisie.

Większość opracowanych i produkowanych do tej pory automatów czytających wykonuje zadanie I oraz rzadziej II. Automaty wykonujące zadanie III istnieją głównie w postaci modeli laboratoryjnych lub programów na maszyny cyfrowe. Są już jednak pierwsze komunikaty również o praktycznych konstrukcjach tego typu automatów [1].



Rys. 1. Promieniowy przekształtnik optyczno-elektryczny

Nad rozwiązaniem zadania IV są prowadzone obecnie prace w wielu ośrodkach naukowych ZSRR oraz krajów zachodnich (głównie USA), ale brak jest dotychczas wiadomości o osiągnięciu rezultatów nadających się do praktycznej realizacji.

W tym miejscu należy wspomnieć, że w zadaniach III i IV można wydzielić węższe zadanie — zadanie rozpoznawania znaków na podstawie obserwacji procesu ich powstawania, a więc zadanie nieco inne niż rozpoznawanie znaków już napisanych. W tym przypadku otrzymuje się bowiem dodatkową informację o tym jak powstaje znak, co mocno ułatwia zadanie. Interesujące rezultaty w tej dziedzinie były uzyskane przez Harmona i Frishkopfa [2].

Opis podstawowych metod budowy znanych automatów oraz omówienie niektórych zagadnień teoretycznych

Do podstawowych metod budowy znanych automatów czytających należy zasada porównywania rozpoznawanych znaków ze wzorcami znaków przechowywanymi w automacie.

Porównanie takie odbywa się w oparciu o obliczenie wartości pewnego współczynnika podobieństwa pomiędzy znakiem i każdym wzorcem. Nazwę wzorca zapewniającego największą wartość współczynnika podobieństwa przypisuje się rozpoznawanemu znakowi.

Informacja o znakach i ich wzorcach może być przedstawiona w automacie w postaci dyskretnej lub ciągłej.

W pierwszym przypadku znak rozpoznawany zostaje przedstawiony za pomocą układu odczytującego w postaci macierzy wejściowej stopnia $k \times l$, gdzie k, l — ilości rozpatrywanych punktów prostokątnego pola widzenia automatu obejmującego znak, odpowiednio w kierunku pionowym i poziomym. Elementy tej macierzy przyjmują wartości ze zbioru $\{0, 1 \dots n-1\}$ w zależności od stopnia zaciemnienia poszczególnych punktów, przy czym n — ilość rozróżnianych stopni zaciemnienia (zwykle $n = 2$ lub 4).

Jeśli elementy tej macierzy traktować jako współrzędne przestrzeni $k \times l$ wymiarowej, to każdemu znakowi odpowiada określony punkt tej przestrzeni. Ponieważ wzorcowi znaku też odpowiada pewien punkt tej przestrzeni, więc stopień podobieństwa znaku i wzorca można określić przez obliczenie jakiegoś współczynnika bliskości między tymi punktami. Istnieje wiele różnych określeń takiego współczynnika np. [3, 7, 15]. Dla ilustracji tych rozważań na rys. 1a, b, c podano przykładowo macierze opisujące rozpoznawczy znak z klasy znaków A oraz znaki wzorcowe klasy znaków A i B w przypadku, gdy $k = 8, l = 5, n = 2$. Jeśli elementy tych macierzy traktować jako współrzędne x_i w $8 \cdot 5 = 40$ wymiarowej przestrzeni w kolejności pokazanej na rys. 2d, to znakowi rozpoznawanemu A odpowiada w tej przestrzeni punkt $A_r(0, 0, 1, 0, 0, \dots, 1, 1, 0, 1, 1)$, a znakiem wzorcowym A i B punkty $A_w(0, 0, 1, 0, 0, \dots, 1, 0, 0, 0, 1)$, $B_w(0, 1, 1, 1, 0, \dots, 0, 1, 1, 1, 0)$. Jeśli teraz zmierzyć odległość między punktami obliczając na przykład sumę:

$$\rho(X_r, X_w) = \sum_{i=1}^{40} (X_i^r - X_i^w)^2,$$

gdzie: $\rho(X_r, X_w)$ — odległość między znakiem rozpoznawanym a danym znakiem wzorcowym

X_i^r, X_i^w — współrzędne odpowiednio znaku rozpoznawanego X_r i wzorcowego X_w

tzn. określając ilość współrzędnych mających różne wartości dla porównywanych znaków, to łatwo stwierdzić, że punkt A_r będzie znacznie „bliżej” punktu A_w niż punktu B_w ($\rho(A_r, A_w) = 4, \rho(A_r, B_w) = 17$).

a)	b)	c)	d)
$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 \\ x_6 & x_7 & x_8 & x_9 & x_{10} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{36} & x_{37} & x_{38} & x_{39} & x_{40} \end{bmatrix}$

Rys. 2. Przykładowe macierze wejściowe znaków

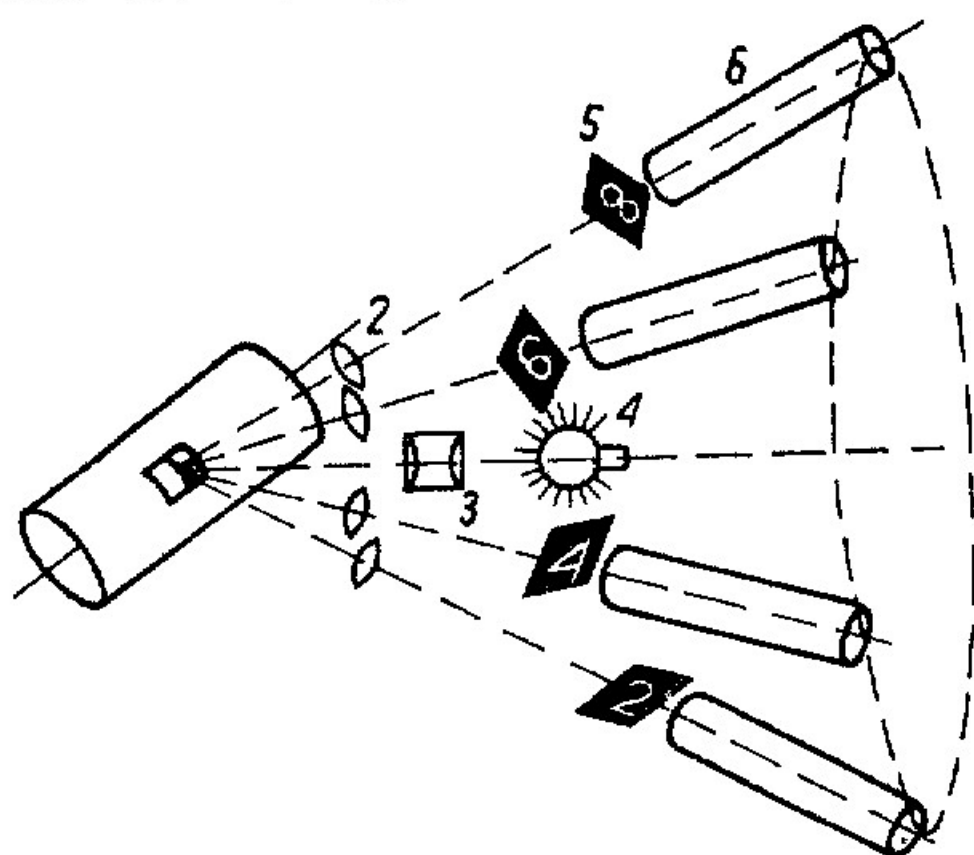
a — znak rozpoznawany
b — znak wzorcowy klasy znaków A
c — znak wzorcowy klasy B
d — kolejność odczytywania współrzędnych znaku jako punktu w przestrzeni 40-wymiarowej

Wzorce znaków są przechowywane w automacie zwykle za pomocą układów pewnych elementów fizycznych (np. macierzy oporników, rdzeni ferrytowych itp.). Do automatów, w których zastosowano tego rodzaju sposób należą na przykład: automat CZARS, opracowany w Instytucie Cybernetyki AN USRR [5], automat z rejestrem przesuwającym firmy Rabinow Engineering Co., automaty firmy Philco Corporation [4].

W przypadku zapisu znaków w postaci ciągłej, najczęściej stosuje się zapis znaku na taśmie fotograficznej, w wyniku którego otrzymuje się tzw. maskę-wzorec znaku. Porównanie znaku rozpoznawanego i wzorcowego odbywa się tu przez określenie stopnia pokrycia się kształtów tych znaków, mierzonego tzw. współczynnikiem korelacji optycznej. Na takiej zasadzie działa na przykład automat (model laboratoryjny) OKA opracowany w Instytucie Cybernetyki AN USRR [6]. Orientacyjny schemat działania tego automatu przedstawiono na rys. 3. Do automatów pracujących na podobnej zasadzie należą również takie automaty jak na przykład: automat firmy RCA umożliwiający odczytanie znaków drukowanych czcionkami różnego kroju, automat z maską fotograficzną firmy Rabinow Engineering Co., automat firmy Baird-Atomic Corporation [4].

Porównywanie znaków ze wzorcami opisanymi wyżej sposobami wymaga ich centralizacji w polu wi-

dzenia automatu. Centralizacja znaków może odbywać się na podstawie skrajnej linii znaku lub jego środka geometrycznego.



Rys. 3. Orientacyjny schemat automatu OKA
 1 — obracający się bęben z dokumentem
 2 — obiektyw
 3 — obiektyw skupiający światło z źródła światła
 4 — źródło światła
 5 — maska-wzorzec znaku
 6 — fotopowielacz

Automatem, w którym zastosowano na przykład centralizację na podstawie skrajnej linii znaku jest wspomniany już automat z rejestrem przesuwającym firmy *Rabinow Engineering Co.* Jest to jeden z najbardziej udanych automatów opracowanych w USA (czytanie 2 wierszy standardowego dokumentu z szybkością 660 znaków na sekundę). Należy jednak zaznaczyć, że taki sposób centralizacji może być zawodny w warunkach złej jakości druku oraz zanieczyszczeń.

Zamiast dokonywać centralizacji znaku, można realizować wszystkie możliwe przesunięcia znaku w polu widzenia i dla każdego położenia obliczać współczynnik bliskości znaku do każdego z wzorców. Maksymalna wartość współczynnika bliskości, uzyskana po wszystkich możliwych przesunięciach znaku i dla wszystkich wzorców określa poszukiwany wzorzec znaku.

Metoda przesunięć wymaga oczywiście bardzo dużej ilości obliczeń, ale za to zapewnia prawidłowość rozpoznawania, nawet w przypadku znacznych zanieczyszczeń dokumentu i defektów znaków.

Konieczność dużej ilości obliczeń narzuca jednak ostre wymagania co do sposobu realizacji technicznej automatu, musi bowiem być zapewniona dostateczna szybkość jego działania. Metoda ta była zastosowana w automacie CZARS [5]. Przesunięcie znaku realizuje się w nim za pomocą rejestru przesuwającego. Miarą podobieństwa znaku i wzorca jest współczynnik korelacji, określony w ten sposób, że zapewnia on inwariantność względem zmian zaciemnienia linii i tła, a także względem znacznych zniekształceń znaku. Tego rodzaju automat czytający, według zdania autora, może czytać znaki pełnego alfabetu maszyny do pisania z szybkością nie mniejszą niż 200 znaków/sek. i prawdopodobieństwem błędu około 10^{-4} . Automat wymaga użycia około 2500 tranzystorów.

Jak wynika z podanego wyżej opisu, automaty pracujące na zasadzie porównywania ze wzorcem mogą wykonywać jedynie zadanie I. Aby zastosować je do zadania II należałoby przechowywać w automacie tyle różnych zbiorów wzorców, ile przewiduje się różnych rodzajów czcionek. Przy każdej zmianie rodzaju czcionki, należałoby zmienić zbiór wzorców, z którymi porównuje się znak, a w przypadku zmia-

ny gabarytów czcionek, zmieniać także odpowiednio skok kwantowania znaku. Automat taki byłby bardzo skomplikowany, a jednocześnie wskutek konieczności zmian zbiorów wzorców, nie zapewniałby pełnej automatyzacji czytania.

Inną zasadą budowy automatów czytających jest tzw. metoda fragmentów [8]. W metodzie fragmentów określa się stopień zaciemnienia w wybranych obszarach pola obejmującego znak (fragmentach).

Stopień zaciemnienia koduje się w dwójkowym systemie liczenia. Każdej klasie znaków odpowiada określony zbiór fragmentów. Wybór fragmentów, będących informacyjnymi obszarami znaków realizuje się na podstawie badań statystycznych. Badania te mogą być wykonywane przy użyciu maszyny cyfrowej. Metoda fragmentów została wybrana jako podstawowa w pracach prowadzonych we Wszechzwiązkowym Instytucie Naukowej i Technicznej Informacji w Moskwie. Podstawową zaletą tej metody jest możliwość szybkiego i łatwego określenia tego rodzaju cech przy realizacji technicznej układu.

W oparciu o tę metodę we wspomnianym Instytucie został zbudowany automat czytający, przeznaczony do czytania liter i cyfr jednego rodzaju czcionek [8]. Badania tego automatu wykazały, że jego średnia niezawodność pracy przy czytaniu liter wynosi 0,99, a przy czytaniu cyfr 0,999.

Podobne do metody fragmentów są wszystkie metody, w których znaki rozpoznawane opisuje się zbiorami cech, będących prostymi logicznymi funkcjami elementów wybranych obszarów macierzy wejściowej.

Przegląd takich metod podano w pracy [7].

W Instytucie Automatyki PAN opracowano wstępny laboratoryjny model czytającego automatu, w którym przetwarzanie informacji o znaku odbywa się w dwóch etapach. Na pierwszym etapie, znak przedstawiony w macierzy $8 \cdot 5$ centralizuje się i następnie przekształca do postaci możliwie mało zniekształconej, którą zapisuje się w macierzy $5 \cdot 5$. Na drugim etapie określa się różne logiczne funkcje f_1, f_2, \dots, f_n elementów wybranych obszarów macierzy $5 \cdot 5$. Każdej klasie znaków odpowiada określony zbiór wartości tych funkcji, co można zapisać w postaci koniunkcji $f_1^{\sigma_1} \wedge f_2^{\sigma_2} \wedge f_3^{\sigma_3} \wedge \dots \wedge f_n^{\sigma_n}$,

\wedge — znak koniunkcji (iloczynu logicznego)

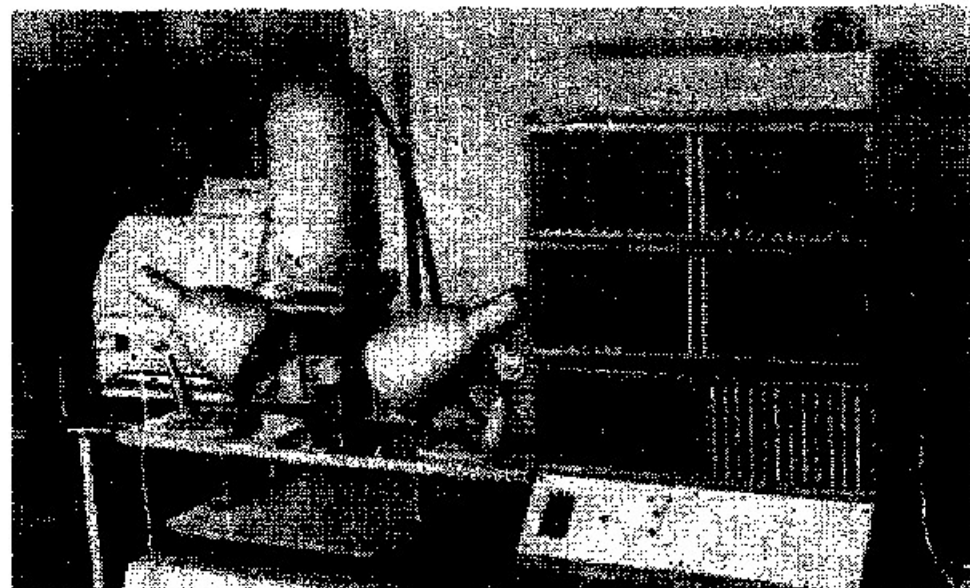
gdzie

$$f_i^{\sigma_i} = \begin{cases} f_i, & \text{jeśli } \sigma_i = 1 \\ 1, & \text{jeśli } \sigma_i = 0 \\ \bar{f}_i, & \text{jeśli } \sigma_i = -1 \end{cases}$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

Parametry $\sigma_i \in \{1, 0, -1\}$ są wyznaczone w okresie uczenia automatu. Rodzaj funkcji i ich ilość n została wybrana w oparciu o analizę kształtu znaków. Na rys. 4 przedstawiono fotografię opisanego modelu.

Rys. 4. Widok ogólny wstępnego modelu laboratoryjnego automatu czytającego



Metoda fragmentów oraz podobne do niej metody wymagają centralizacji znaków i są bardzo czułe na zmiany kształtu, rozmiarów, nachylenia znaków, na defekty w druku itd.

Dlatego mogą być zastosowane też tylko do zadania I. Rozwiązanie zadania II wymaga metod, w których określa się cechy znaków inwariantne względem zmian rozmiarów, kształtu, nachylenia znaków, grubości linii itp. Niektóre z takich metod są opisane w pracach [10, 11, 17, 20]. Do nich na przykład należą metody oparte na określaniu ilości przecięć znaku z liniami pionowymi i poziomymi [11] lub na określeniu ciągu kierunków przebiegu linii znaku, lub innych cech określonych w trakcie obiegnięcia konturu znaku [15].

Rozwiązanie zadania III wymaga określenia takich cech znaków, które są inwariantne względem najróżniejszych przekształceń i zniekształceń znaków. Do takich cech należą różne cechy topologiczne (zamknięty kontur, skrzyżowanie, rozgałęzienie), cechy geometryczne (linia prosta, załamanie linii, kierunku linii, łuk, proporcje odległości pomiędzy różnymi informacyjnymi punktami obrazu i in.), cechy uwzględniające położenie względem siebie innych cech itd.

Znanych jest szereg prac, których autorzy próbują wykorzystywać tego rodzaju cechy [2, 9, 10, 14, 19].

Problem polega jednak na tym, że praktyczne określenie tego rodzaju cech za pomocą istniejących obecnie środków technicznych przedstawia duże trudności. Trzeba do tego dodać, że określenie cech w automacie czytającym powinno odbywać się bardzo szybko, aby zapewnić dostateczną szybkość działania automatu.

Cechy charakteryzujące znaki można określić sposobem równoległym lub szeregowym. Sposób równoległy, charakterystyczny dla biologicznych analizatorów wzrokowych wymaga konstruowania wielowarstwowych sieci, na przykład takich jak opisane w pracy [14]. W sieciach tych realizuje się znaną z neurofizjologii zasadę hamującego lub pobudzającego działania elementów pobudzonych na elementy sąsiednie w następnej warstwie.

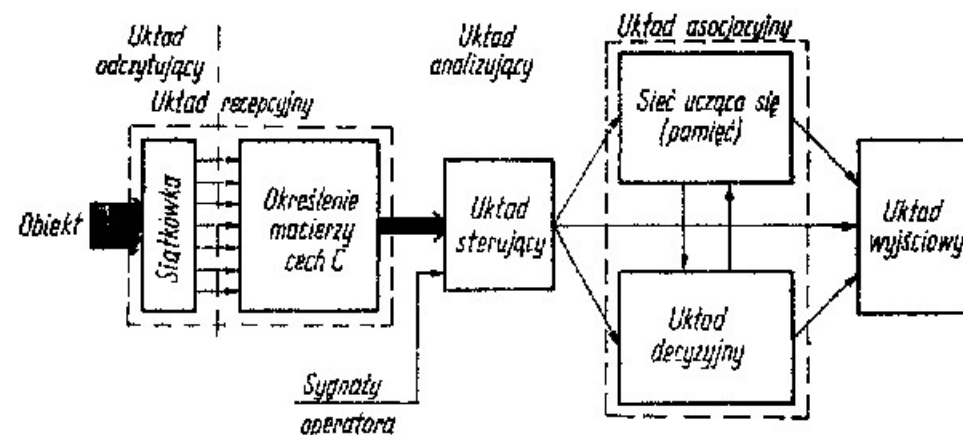
Sposób szeregowy analizy znaków łatwo realizuje się za pomocą układów cyfrowych, a także modeluje na maszynach cyfrowych. Jest on także wygodny przy wykorzystaniu układu odczytującego, zbudowanego na lampie promieniowej.

Modelowanie algorytmów pracy automatów czytających na maszynach cyfrowych poprzedza z zasady wszystkie prace o charakterze konstrukcyjnym. Na podstawie cyfrowego modelu automatu można, w oparciu m. in., o badania statystyczne, sprawdzić metodę rozpoznawania, określić zbiór oraz znaczenie informacyjne cech, wyznaczyć wartości różnych parametrów [16].

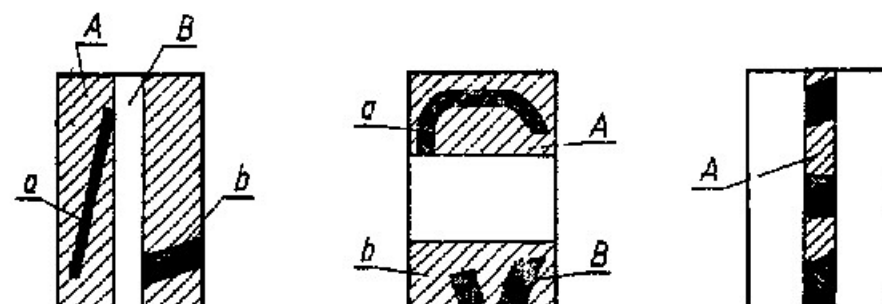
Określenie istotnych cech znaków może odbywać się w sposób deterministyczny według algorytmu ułożonego przez człowieka lub w układzie samoorganizującym się, który sam potrafi wyodrębnić cechy charakteryzujące klasy znaków. Ta ostatnia idea wydaje się bardzo interesująca, jednakże obecnie znane są tylko ogólne zasady zbudowania takiego układu i najprawdopodobniej byłby on znacznie bardziej skomplikowany, a zatem i kosztowniejszy od układu deterministycznego.

Istnieje pogląd, że jednym z najbardziej perspektywicznych sposobów realizacji układu rozpoznającego znaki rękopiśmienne jest budowa układu kombinowanego, składającego się z części deterministycznej, określającej różnego rodzaju cechy założone przez człowieka oraz części uczącej się, która w procesie uczenia wybiera cechy istotne dla poszczególnych klas znaków.

Próba opracowania takiego układu była przeprowadzona w Instytucie Automatyki PAN. Układ był zrealizowany w postaci modelu na maszynie cyfro-



Rys. 5. Schemat blokowy cyfrowego modelu automatu czytającego



Rys. 6. Przykładowe cechy znaków określane w układzie recepcyjnym

- a. 1. linia ciągła długa w obszarze A
2. linia ciągła krótka w obszarze B
- b. 1. linia ciągła długa w obszarze A
2. dwa odcinki linii w obszarze B
- c. 1. trzy odcinki linii w obszarze A

wej GIER w Zakładzie Obliczeń Numerycznych Uniwersytetu Warszawskiego. Schemat blokowy układu jest przedstawiony na rys. 5.

Jako cechy znaków określane były proste własności znaków (rys. 6) takie jak:

- występowanie długiej linii (w stosunku do gabarytów znaku) w lewej, prawej, górnej i dolnej części znaku,
- istnienie długiej linii pionowej, poziomej, ukośnej (w prawo i w lewo) w środkowej części znaku,
- istnienie krótkiej linii lub dwóch albo trzech odcinków linii w opisanych wyżej częściach znaku oraz pewne inne podobne cechy.

Określano ogółem 30 tego typu cech. W czasie uczenia w sieci uczącej się była gromadzona informacja o tym, które cechy są najbardziej istotne dla poszczególnych klas znaków.

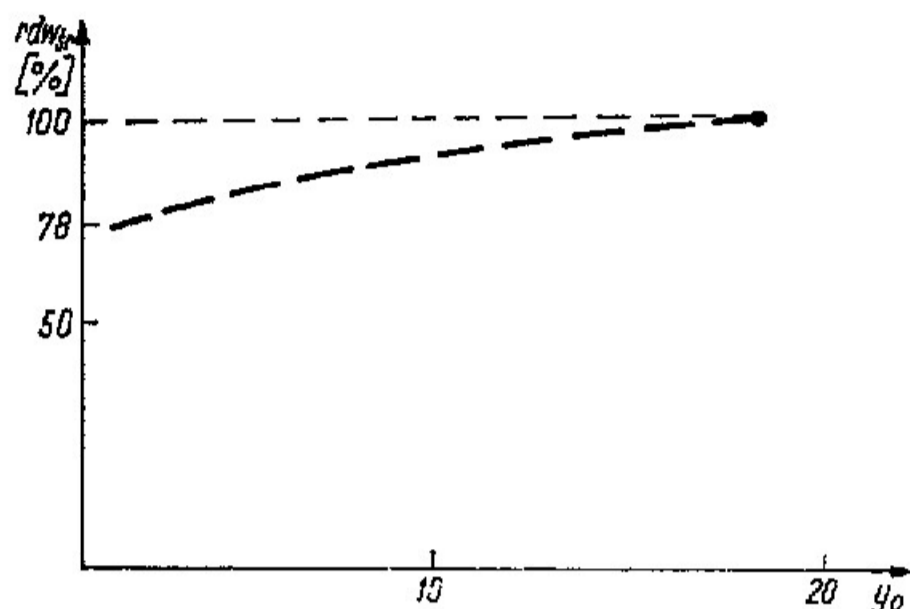
Przy rozpoznawaniu obliczany był pewien współczynnik bliskości zbioru cech opisujących znak do zbiorów liczb, określonych w okresie uczenia i charakteryzujących poszczególne klasy znaków.

Te ostatnie zbiory posiadały różne ilości elementów, w zależności od klasy znaków. Każdy element tego zbioru charakteryzował wagę danej cechy przy określonej klasie znaków. Waga cechy była określona przez częstość jej występowania w znakach danej klasy użytych w okresie uczenia. Przy rozpoznawaniu brano pod uwagę zarówno przypadek dużej częstości występowania jakiejś własności znaku, jak i przypadek bardzo małej częstości (wtedy cechą klasy było niewystępowanie jakiejś własności). Optymalne, ze względu na pewność rozpoznawania, progowe wartości częstości były określone eksperymentalnie. Proces uczenia charakteryzował się stosunkowo szybką zbieżnością (rys. 7).

Oczywiście w automacie zastosowanym do konkretnej pracy, blok uczący się może być odłączony. Wszystkie wagi cech oraz inne parametry mogą być zapamiętane w pamięci stałej automatu. Badania modelu wykazały, że pomimo wykorzystania takich prostych cech, układ prawidłowo rozpoznawał nawet silnie zniekształcone znaki i dlatego powyższa koncepcja budowy automatu czytającego rokuje duże nadzieje. Warto tu zaznaczyć, że zastosowane algorytmy uczenia i rozpoznawania są bardzo proste do realizacji technicznej układu, co korzystnie je wy-

różnia spośród wielu znanych algorytmów. Obszerny opis teoretyczny powyższej koncepcji oraz wyników badań cyfrowego modelu znajduje się w pracy [19].

Rozwiązanie zadania IV wymaga rozwiązania dodatkowego problemu segmentacji znaków. Problem ten okazuje się jednak bardzo złożony. Segmentację znaków próbuje się dokonywać na przykład w oparciu o statystyczną analizę szerokości znaków, na podstawie określenia najbardziej charakterystycznych znaków, określenia punktów o minimalnym zaciernieniu wzdłuż wiersza tekstu [2, 10].



Rys. 7. Orientacyjny wykres zależności średniej ilości poprawnych odpowiedzi automatu od średniej ilości znaków poszczególnych klas użytych w procesie uczenia

Problemu segmentacji można uniknąć, jeśli jako obiekty rozpoznawania traktować całe wyrazy. Próby takiego podejścia do automatycznego czytania są podejmowane, np. [20]. Należy jednak zaznaczyć, że tego rodzaju automat czytający musiałby przechowywać w pamięci bardzo duży słownik wyrazów, a także musiałby być sformalizowane i zapamiętane różnego rodzaju reguły słowotwórcze.

W zakończeniu omówimy pokrótce niektóre możliwości praktycznych zastosowań automatów czytających. Są one bardzo szerokie i oczywiście zależą od możliwości automatu, tj. od rodzaju zadania (I, II, III, IV), które automat zdolny jest wypełnić.

I tak na przykład w USA oraz w niektórych krajach zachodnich zaczyna się szeroko stosować automaty czytające do sortowania korespondencji na pocztach. W przyjętym obecnie systemie wymaga się, aby adres był wyrażony w cyfrach, które wpisuje się w określone miejsca koperty. Ograniczenia te można jednak będzie zmniejszyć, jeśli uda się zrealizować doskonalsze automaty.

Szerokie możliwości zastosowań automatów czytających wiążą się z ułatwieniem i przyspieszeniem wymiany informacji między człowiekiem a maszyną. Czytające automaty mogą być zastosowane na przykład jako urządzenia wejściowe do cyfrowych maszyn liczących, maszyn tłumaczących z jednego języka na inny, maszyn informacyjnych — udzielających informacji na zadany temat itp. Zastosowanie ich umożliwi wprowadzenie informacji (programów, danych, tekstów do tłumaczenia, zadawanych pytań) do maszyn w postaci tekstów drukowanych lub też rękopisów, jeśli uda się skonstruować dostatecznie dobry tego rodzaju automat.

Innego rodzaju możliwości zastosowań automatów czytających, to zastosowanie ich do pełnej automatyzacji niektórych prac drukarskich, jak na przykład do całkowitego zautomatyzowania pracy linotypów, do automatycznej korekty błędów drukarskich itp.

Czytające automaty mogą znaleźć również szerokie zastosowanie do automatyzacji różnego rodzaju prac administracyjnych, a mianowicie:

- do klasyfikacji i poszukiwania różnych dokumentów,
- w buchalterii: do odczytywania kwitów, rachunków itd. w celu umożliwienia dalszej automatyzacji obróbki tej informacji,
- do odczytywania kart statystycznych z informacją drukowaną lub ręcznie wpisaną, zamiast informacją dziurkowaną,
- do odczytywania dokumentów z informacją o przychodzie i rozchodzie pieniędzy, materiałów, towarów itd. w celu automatycznego wprowadzenia jej do sterującej przedsiębiorstwem maszyny cyfrowej,
- do automatyzacji różnorodnych prac dokumentacyjnych (rejestracja i klasyfikacja druków, czasopism, książek itd.),
- do automatyzacji pracy bibliotek (prace dokumentacyjne, poszukiwanie żądanych książek itd.). W miarę udoskonalania automatów czytających — możliwości ich zastosowań będą wzrastać.

BIBLIOGRAFIA

1. Computers and Automation XI/1966, I/1967, IX/1967, XI/1967, XII/1967.
 2. Линдгрэн Н.: Машинное распознавание человеческого языка Зарубежная радиоэлектроника, 1966, № 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., Мазыра 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 опознания изображений Сб. „Читающие устройства” Москва, 1966.
 8. Магидсон Л. М., Сиборин Ю. М.: Читающий автомат для распознавания знаков по методу фрагментов как выше.
 9. Кириллов В. В.: Моделирование способа опознания 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. Rozenblatt F.: Principles of neurodynamics. Washington 1962, Spartan Books.
 14. Gawroński R.: Niektóre problemy modelowania procesów rozpoznawania w organizmach żywych. Uczęca się automaty i biologiczne procesy percepcji. Wyd. PAN 1966.
 15. Michalski R.: Niektóre zagadnienia cyfrowego modelowania urządzeń rozpoznających.
- Opis pewnego cyfrowego modelu urządzenia rozpoznającego dla znaków alfanumerycznych, jak wyżej
16. Переверзев-Орлов В. С., Поляков В. Г.: Универсальный автомат для чтения печатного текста. Сб. „Читающие устройства” Москва, 1962.
 17. Perotto F. 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 1958, No. 10, 1737—1752.
 19. Karpiński J., Michalski R.: Perceptron dla znaków alfanumerycznych. Opis koncepcji projektu oraz modelu na maszynie cyfrowej. Prace Instytutu Automatyki PAN 1966.
 20. Kamensky L. A., Ldu C. N.: Computer-automated design of multifont. Print Recognition Logic. IBM Jour. of research and development 1963, No. 1.
 21. Marzocco Frank N.: Computer Recognition of Handwritten First Names. IEEE Trans. on Electronic Computers 1965, No. 2.