

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT PODSTAW INFORMATYKI

ORGANIZACJA
MASZYN CYFROWYCH
I MIKROPROGRAMOWANIE

Materiały z Ogólnopolskiego Sympozjum
Warszawa 24–26 września 1975 r.

Tom I

WARSZAWA 1976
PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

M29
RT14

REDAKTOR NAUKOWY
INSTYTUTU PODSTAW INFORMATYKI PAN
Zdzisław Pawlak

REDAKTOR
Miroslaw Thor

488196

II

REDAKTOR WYDAWNICZY
INSTYTUTU PODSTAW INFORMATYKI PAN
Jan Lipski

E0-77/1232/30
47 60.1



Streszczenie. Abstract. Содержание

Tom I zawiera część materiałów z Ogólnopolskiego Sympozjum na temat "Organizacja maszyn cyfrowych i mikroprogramowanie", zorganizowanego w dniach 24-26 września 1975 r. w Warszawie przez Zakład Struktur Cyfrowych Centrum Obliczeniowego PAN przy współpracy z Instytutem Maszyn Matematycznych.

Materiały stanowią możliwie pełny przegląd prac prowadzonych w kraju i przedstawienie aktualnej wiedzy w dziedzinie organizacji maszyn i mikroprogramowania w Polsce. Wskazano również występujące w świecie trendy rozwojowe w omawianej dziedzinie.

Computer organization and microprogramming

Volume I contains the first part of the Proceedings of the National Conference on "Computer organization and microprogramming" which was held on September 24-26, 1975, in Warsaw. The Conference was organized by Computation Centre of the PAS in cooperation with the Institute of Mathematical Machines.

The papers collected here bring a survey of recent theoretical and practical achievements in this field in Poland. Some new trends in this area, being developed outside the country are also presented.

Организация ЭВМ и микропрограммирование

Первый том содержит материалы Общепольской конференции по теме "Организация ЭВМ и микропрограммирование", организованной в сентябре 1975 года в Варшаве Отделением Структур ЭВМ Вычислительного Центра Польской Академии наук вместе с Институтотом Вычислительных машин.

Статьи вошедшие в данную книгу представляют результаты теоретических и практических работ в указанной области веденных в последние годы в Польше и некоторые новые направления развиваемые в других странах.

WSTĘP

Niniejsza publikacja zawiera materiały z sympozjum na temat "Organizacja maszyn cyfrowych i mikroprogramowanie", które odbyło się w dniach 24-26 września 1975 r. w Warszawie. Było to już trzecie sympozjum, tradycyjnie organizowane przez Zakład Struktur Cyfrowych Centrum Obliczeniowego PAN, tym razem przy współudziale Instytutu Maszyn Matematycznych PAiAP "MERA".

Zasadniczym celem sympozjum była wymiana doświadczeń i przegląd dorobku poszczególnych ośrodków w kraju w aspekcie zarówno problemów badawczych, jak i realizacyjnych, związanych z organizacją maszyn cyfrowych i mikroprogramowaniem.

Głównymi zagadnieniami omawianymi podczas sympozjum były:

- architektura i organizacja maszyn i systemów cyfrowych,
- symulacja i modelowanie struktur,
- mikroprogramowe sterowanie,
- metody projektowania sprzętu i oprogramowania oraz automatyzacja

projektowania,

- metody i narzędzia projektowania systemów operacyjnych.

Sympozjum to zorganizowane zostało w istotnym dla rozwoju maszyn cyfrowych momencie, tzn. gdy na rynku pojawiły się mikroprocesory, a mikroprogramowanie stało się często stosowaną metodą w dziedzinie projektowania maszyn i systemów cyfrowych.

Na sympozjum wygłoszono 46 referatów i komunikatów. Udział w nim wzięło 153 uczestników, w tej liczbie 3 z Francji, zajmujących się problemami architektury maszyn i systemów cyfrowych.

Referowane prace były podzielone na trzy grupy:

- prace przeglądowe, zawierające krytyczny przegląd lub syntezę wyżej wymienionych zagadnień, na które przeznaczono po 45 minut,
- prace o charakterze ogólnym, czas wygłoszenia po 30 minut,
- komunikaty, w których przedstawiono wyniki własne, po 15 minut.

Niniejszy zbiór obejmuje w postaci pełnych tekstów prawie wszystkie referaty i komunikaty wygłoszone na sympozjum. Z powodu ograniczenia czasu niektórzy autorzy mogli jedynie w skrócie wygłosić swoje prace i dopiero obecna publikacja umożliwi zapoznanie się z całością materiałów. Jednakże ze względów technicznych i wydawniczych publikowane prace musiały być rozdzielone na dwa tomy. Układ materiału odpowiada kolejności wygłaszania referatów i komunikatów podczas sympozjum. Niektóre referaty, głównie uczestników zagranicznych, zostały opublikowane w języku angielskim.

Sympozjum zgromadziło prawie wszystkich krajowych fachowców interesujących się wyżej wymienioną tematyką i pozwoliło na dokonanie możliwie pełnego przeglądu prowadzonych w kraju prac.

Ponadto w niektórych referatach nakreślone zostały kierunki rozwojowe występujące na świecie i wskazane te, w których należy prowadzić prace dla dalszego szybkiego rozwoju maszyn cyfrowych oraz metod ich projektowania i wykorzystania w kraju.

Organizatorzy symposium żywią nadzieję, że opublikowane materiały będą pomocne w pracy specjalistów w zakresie informatyki, zajmujących się teorią i praktyką projektowania maszyn i systemów cyfrowych.

R. Marczyński

Romuald MARCZYŃSKI

Centrum Obliczeniowe PAN

NIEKTÓRE PROBLEMY Z ROZWOJU MASZYN CYFROWYCH

Biały Królik włożył okulary - Od którego
miejsca każe mi Jego Majestat rozpocząć? -
zapytał.

Rozpocznij od początku - odpowiedział Król
z największą powagą.

Lewis Carroll "Alicja w krainie czarów"

Rozwój informatyki z jednej strony jest uwarunkowany stanem techniki i technologii, a z drugiej - stanem wiedzy i informacji w społeczeństwie oraz jego kulturą techniczną. Stosunkowo łatwo jest wprowadzić do danego społeczeństwa nową technikę, znacznie trudniej zaś jest zmienić nawyki u ludzi. Przenosząc to na dziedzinę maszyn cyfrowych można powiedzieć, że rozwój jest ograniczony brakiem dopasowania między dwoma niejednorodnymi układami: maszynami o różnej strukturze i różnym czasie życia: ludźmi i maszynami cyfrowymi. Człowiek ma stałą strukturę i można przyjąć, że od początku naszej cywilizacji a może i wcześniej niezmienną. Okres życia człowieka wynosi około 60-70 lat. Wolno się go programuje - (proces uczenia) i trudno go "przeprogramować". Maszyna cyfrowa jest urządzeniem szybko zmiennym. W ciągu 25 lat rozwoju tej dziedziny byliśmy świadkami co najmniej czterech różnych struktur, coraz bardziej wyrafinowanych. Okres życia m.c. szacuje się średnio na 5 lat, ale daną maszynę można całkowicie zmienić przez wymianę programów. Jak z tego widać, łatwiej jest dopasować maszynę do człowieka niż odwrotnie. Zachodzi też inne zjawisko: 25 lat istnienia maszyn cyfrowych nie pozostało bez wpływu na człowieka, który również powoli dopasowuje się do komputera. Jednak zbyt szybkie zmiany maszyn prowadzą do różnych napięć, niedopasowań, kryzysów, których w miarę możliwości należałoby unikać. Tematyka badawcza tego niedopasowania należy raczej do psychologów.

Znane jest dobre zjawisko, że nowe wynalazki najczęściej w swojej budowie i strukturze podobne są do poprzednich urządzeń czy narzędzi. Pierwszy samochód przypominał raczej bryczkę, będącą jego poprzednikiem. Naśladowanie ptaków przez budowę aparatów do latania z ruchomymi skrzydłami długo nie pozwoliło oderwać się człowiekowi od ziemi. Moim zdaniem dzisiejsze maszyny cyfrowe również nie oderwały się od swych pierwotnych wzorców i nie zajęły naprawdę im należnego miejsca. Nastąpi to dopiero po dopasowaniu tego narzędzia do człowieka, gdyż należy wątpić, aby w tak krótkim czasie mogło być odwrotnie.

Nowoczesne maszyny cyfrowe mają stosunkowo krótki okres swego rozwoju. Jednak nawet w tak krótkim okresie (większość twórców jeszcze żyje)

wytworzyły się pewne legendy powszechnie powtarzane, a jednak nieprawdziwe. Chciałbym nieco miejsca poświęcić rozwianiu niektórych legend.

* Zwykle historię mechanicznych urządzeń przetwarzania informacji zaczyna się od arytmometru B. Pascala (1623-1662), który zbudował pierwsze urządzenie do wykonywania dodawania i odejmowania. Istnieją jednak informacje, że dawno przed nim były budowane urządzenia liczące. W roku 1901 [4] grupa poszukiwaczy gąbek, prowadząc prace koło wyspy Acyeon w zatoce Antihythera (Grecja), odkryła na głębokości 60 m skomplikowany mechanizm pochodzący według dzisiejszych oszacowań z 65 r. ±15 lat przed naszej ery. Urządzenie to posiadało co najmniej 20 kół zębatych, do dziś jeszcze nie całkowicie zniszczonych. Odkrycie to przedstawia najstarszy znany do dziś mechanizm, który wydaje się być urządzeniem liczącym, służącym do nawigacji.

Druga ciekawa informacja to urządzenie, które miał zbudować dla Keplera Wilhelm Schickard [3] (ok. 1600 r.). Według nie całkiem sprawdzonych informacji urządzenie to miało wykonywać cztery działania, niestety spłonęło.

G. Leibniz (1646-1716) zbudował pierwsze urządzenie mnożące. Ciekawe jest w tym przypadku to, co zresztą powtórzy się w historii rozwoju tej dziedziny prawie jako reguła, że urządzenie to nigdy dobrze nie pracowało.

Za twórcę idei nowoczesnej automatycznej maszyny liczącej uważa się Ch. Babbage'a (1792-1871), który w latach 1820-1871 prowadził prace projektowe i konstrukcyjne dwu mechanicznych matematycznych maszyn. Pierwsza z nich to maszyna różnicowa (Difference Engine) przeznaczona do obliczenia tablic matematycznych, druga maszyna analityczna (Analytical Engine) była czymś w rodzaju uniwersalnej maszyny cyfrowej. Babbage nigdy nie skończył swojej maszyny. Jednak jej projekt był bardzo ambitny. Maszyna miała mieć pamięć i arytmometr, zastosował w niej sekwencje operacji zawierające przesyłanie liczb z pamięci do arytmometru i z powrotem. Urządzenie jak na ówczesne czasy było bardzo duże, pamięć dla 1000 liczb 25-cyfrowych, dziesiętnych i dziś nie jest mała.

Dalszy postęp w urządzeniach liczących był stosunkowo ograniczony, sprowadził się do udoskonalenia i produkcji maszyn liczących - arytmometrów i maszyn analitycznych. Urządzenia te były mechanizmami znacznie prostszymi w porównaniu do idei Babbage'a.

We wrześniu 1940 r. G. Stibitz z Bell Tel. Lab. [15] zademonstrował na dorocznym zjeździe matematyków amerykańskich prostą przekaźnikową maszynę cyfrową. W Darmouth (New Hampshire) znajdowała się końcówka, zaś maszynę główną zainstalowano w Nowym Jorku. Urządzenia były podłączone za pomocą linii telefonicznych. Było to pierwsze zastosowanie zdalnego dostępu. Stibitz zbudował 5 różnych modeli. Należy jeszcze dodać, że model ostatni miał arytmetykę zmiennoprzecinkową, jak również wykorzystywał układ binarny.

Nieco wcześniej, bo w 1939 r., H. Aiken i grupa inżynierów z IBM przystąpiła do konstrukcji maszyny zwanej później MARK I. Budowa jej zakończyła się w 1944 r. Była to maszyna elektromechaniczna. Zastosowano w niej elementy, które były opracowane przy budowie maszyn analitycznych, np. jako elementy liczące-koła napędzane elektromechanicznie, o dziesięciu położeniach. Pojemność pamięci wynosiła 72 liczby 23-cyfrowe. Sterowanie było dokonywane z taśmy dziurkowanej. Rozkazy były dwuadresowe, adres argumentu i adres wyniku. Maszyna nie miała możliwości modyfikacji programów. MARK I był pier-

wszą maszyną automatyczną, której pracę szeroko wykorzystywano. Szybkość wynosiła około 2 operacje na sekundę.

Maszynę, którą można uważać za przodka wszystkich maszyn elektronicznych, budował w latach 1938-42 J. V. Atanasoff na uniwersytecie Iowa. Maszyna miała około 300 lamp elektronowych i miała służyć do rozwiązywania równań algebraicznych, pracowała w systemie dwójkowym. Istnieje związek między tą maszyną a późniejszymi, gdyż jednym z niewielu ludzi, którzy ją studiowali był John Mauchly, jeden z późniejszych twórców ENIACa.

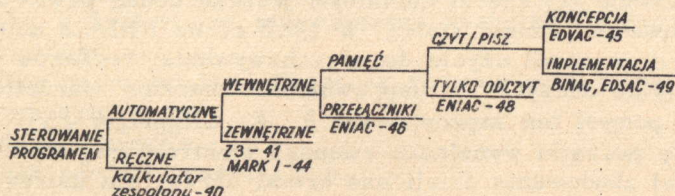
Pierwszą elektroniczną maszynę cyfrową, która została zbudowana i eksploatowana, był ENIAC (Mauchly, Eckert). Zbudowany w latach 1942-1946 na Uniwersytecie Pensylwanii, był w szczególności przystosowany do rozwiązywania zadań balistycznych. Była to maszyna, jak na tamte czasy, bardzo szybka, około 5000 dodawań na sekundę. Liczyła w systemie dziesiętnym. Gdybyśmy brali pod uwagę ilość użytych do jej budowy elementów, to było to urządzenie bardzo duże (np. zawierała przeszło 18000 lamp). Maszyna miała dwa poważne mankamenty, pierwszy to - mimo tak wielkiej ilości elementów - bardzo mała pojemność pamięci, gdyż tylko 20 liczb 10-cyfrowych. Drugim mankamentem był sposób programowania polegający na ustawieniu około 6000 wielopozycyjnych przełączników. Wymagało to dla przestawienia maszyny z jednego programu na drugi wielu godzin pracy.

Na tej maszynie (1946 r.) kończy się pierwszy okres w rozwoju maszyn cyfrowych, charakteryzujący się stosunkowo słabym zainteresowaniem społeczeństwa tą dziedziną, a równocześnie rozpoczyna się nowy okres szalonego rozwoju tej dziedziny. Maszyna strukturalnie tkwiła w przeszłości - technologicznie była zwiastunem nowej ery, drugiej rewolucji przemysłowej.

A jednak żadna z wyżej opisanych maszyn nie była prototypem maszyn dzisiejszych. Taką maszyną, której projekt jest do dziś podstawowym wzorcem, jest projekt EDVACa [7] pierwszej maszyny z nową strukturą sterowania, w której rozkazy i dane umieszczone były we wspólnej pamięci, co umożliwiało modyfikowanie strumienia rozkazów i stworzyło model maszyny, który przetrwał do dziś jako podstawowa struktura.

Na rysunku 1 przedstawiony jest rozwój koncepcji sterowania programowego m.c. Jak widać z niego pierwszymi maszynami na świecie pracującymi według koncepcji EDVACa były maszyny BINAC w USA i EDSAC w Anglii.

Powyższy krótki szkic historii początków rozwoju maszyn cyfrowych był mi potrzebny do umiejscowienia dwu bardzo rozpowszechnionych błędów historycznych występujących w licznych książkach i publikacjach. Pierwszy błąd dotyczy wpływu idei Babbage'a na koncepcje m.c., drugi to przypisywanie J. von Neumannowi koncepcji wspólnej pamięci dla rozkazów i danych.



Rys. 1. Rozwój sterowania programem wg [11]

Ogólnie panuje przekonanie, że idee Babbage'a nie miały wpływu na rozwój maszyn cyfrowych. Zwykle trudno jest ustalić wpływ jakiejś osoby na rozwój tej czy innej dziedziny, jednak jeśli chodzi o Babbage'a można opierając się na dokumentach dość dokładnie ustalić jego wpływ na ludzi tworzących maszyny matematyczne. Uważa się zwykle całkiem niesłusznie, że twórcy m.c. powtórnie odkrywali koncepcje Babbage'a, a jednak z opublikowanych prac i artykułów wynika całkiem co innego.

Jak twierdzi W. Phillips w artykule [16] znajomość prac Ch. Babbage'a w latach 1930-1940 była tak powszechna w Anglii, że wykładowcy czy autorzy w swoich pracach zakładali ją u słuchaczy czy czytelników.

Twórcy maszyn matematycznych elektromechanicznych, a za takich można uważać K. Zuse'go - twórcę Z3, G. Stibitz i F. C. Williamsa - twórcę Complex Calculatora, H. Aikena wraz z współpracownikami - twórcę MARK I, jak również V. Busha - twórcę analizatora równań różniczkowych, na ogół znali pracę Ch. Babbage'a. H. Aiken w memorandum z 4 XI 1937 r. [1] poświęcił 5 paragrafów pracom Ch. Babbage'a. Tak samo V. Bush [2] w pracy z 1936 r. wykazuje ich znajomość. Natomiast K. Zuse i G. Stibitz według ich ustnych wypowiedzi w początkowych fazach swoich prac rzekomo nie znali wyników Ch. Babbage'a.

Inaczej było z twórcami maszyn elektronicznych. Wszyscy główni twórcy, za których można uważać I. Eckerta, P. Mauchly [8] M. V. Wilkesa, E. Williamsa, T. Kilburna [17] Turinga i J. Neumanna, znali prace Ch. Babbage'a. Potwierdzenie tego możemy znaleźć w badaniach przeprowadzonych przez N. Metropolis [11]. Podsumowując trzeba przyjąć, że działalność Babbage'a była inspirująca przy powstawaniu nowoczesnych maszyn cyfrowych.

Druga pomyłka historyczna jest innego rodzaju, dotyczy ona przypisaniu stworzenia struktury dzisiejszej maszyny J. von Neumannowi. Jednak analiza publikacji wykazuje co innego - J. von Neumann mógł być co najwyżej propagatorem tego pomysłu.

Grupa projektowa ENIACA pracująca na Uniwersytecie w Pensylwanii, wychodząc z opracowanej pamięci ultrasonicznej, opracowała w 1945 r. [6] projekt nowej maszyny EDVAC, w której zarówno dane, jak i rozkazy miały być przechowywane w jednej pamięci. Rozwiązanie to, zakładając że stosuje się pamięć ultrasoniczną, jest rozwiązaniem z dzisiejszego punktu widzenia, naturalnym. Projekt ten był opracowany przed zakończeniem budowy ENIACA. M. V. Wilkes, który uczęszczał w 1946 r. na wykłady w Moore School of Pensylwania, uważa Eckerta i Mauchly'ego za twórców tego pomysłu [19]. Innym dokumentem potwierdzającym to stanowisko jest raport z września 1945 r. dotyczący EDVACA. W tym raporcie omówiono udział J. von Neumanna przy konstruowaniu maszyn. Jak wynika z tego koncepcja pamiętanego programu była wcześniejsza od udziału J. von Neumanna przy projekcie [8]. Przypisywanie mu tego wynalazku jest błędem historycznym.

Na zakończenie tej części chciałbym jeszcze dodać pewne informacje o pierwszym zastosowaniu pamięci stałej. W 1948 r. do ENIACA dodano dekodery rozkazów, który dopuszczał użycie do przechowywania rozkazów 312 słówowej pamięci typu tylko odczyt. To usprawnienie znacznie skróciło czas "programowania", pomysł ten zaproponował R. F. Clippinger [5].

Takie były początki wynalazku zwanego elektroniczną maszyną cyfrową. Mimo że od jej zbudowania dzieli nas krótki okres, nie ustrzegliśmy się od powstania i rozpowszechnienia błędów o tym wynalazku i przypisywania zasług związanych z jego rozwojem innym ludziom. Dziś, gdy na całym świecie pra-

cują setki tysięcy tych urządzeń, warto przytoczyć pewną opinię, którą podał Hogan z firmy Fairchild w jubileuszowym numerze Com. of the ACM z lipca 1972 r. - Píše on "Gdy w końcu lat czterdziestych maszyny cyfrowe zaczęły się właśnie pojawiać, to ówcześni eksperci szacowali, że wynikiem tej innowacji będzie potrzeba co najwyżej 50 maszyn dla wybranych naukowców i techników całego świata". Jak widać łatwo się jest pomylić w prognozach. Rozwój maszyn cyfrowych można rozpatrywać wychodząc z dwu aspektów:

1) biorąc pod uwagę technikę i dotychczasowy stan dziedziny maszyn cyfrowych i ekstrapolując to;

2) wychodząc z potrzeb człowieka, które wynikają z jednej strony z wymagań człowieka, a z drugiej strony od warunków wytworzonych przez jego otoczenie, a pośrednio od stanu techniki.

Oczywiście te dwa podejścia mogą być niesprzeczne i ostateczne wnioski mogą być wspólne. W dalszym ciągu zastosujemy kolejno te dwa podejścia.

J. C. R. Liecklider w książce pt. "Biblioteki przyszłości" podaje: "Ludzie skłonni są przeceniać to, co można wykonać w ciągu jednego roku, a nie doceniać tego, co można wykonać w ciągu pięciu lub dziesięciu lat". Uważam to spostrzeżenie, wskazujące, że dla prognoz długoterminowych trzeba stosować bardziej śmiało hipotezy, za bardzo trafne.

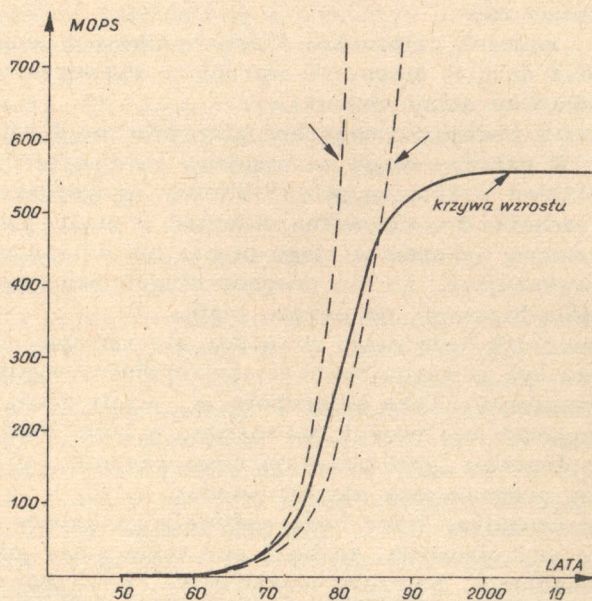
Powstaje pytanie, jak będą dalej rozwijały się maszyny. Oczywiście odpowiedź na nie może być pewnego rodzaju ekstrapolacją wynikającą z dotychczasowych doświadczeń. Taka ekstrapolacja, jeżeli chodzi o bliską przyszłość, zwykle przecenia możliwości rozwojowe, a jeśli chodzi o dalszą, przeważnie ich nie docenia, gdyż powstają nowe czynniki, o których w chwili stawiania prognoz prognozujący nic nie wiedzą.

Jeżeli chodzi o czynniki, które będą wpływały na dalszy rozwój architektury i struktury maszyn cyfrowych, to będą one takie same jak dotychczas, z jednej strony technologia, potrzeby użytkownika, nowe rozwiązania, z drugiej strony będzie miał wpływ dotychczasowy stan parku maszyn cyfrowych i potencjał produkcyjny oraz technologiczny firm produkujących, jak również polityka wielkich koncernów produkujących sprzęt informatyczny. Należy tu zauważyć, że obydwie te grupy czynników są względem siebie antagonistyczne. O ile grupę pierwszą można nazwać grupą stymulującą dalszy rozwój, to grupa druga jest raczej zachowawczą. Zachowawczy kierunek grupy drugiej wynika z tego, że poszczególne firmy zainwestowały w produkcję, opracowanie i marketing duże kapitały i pragną, aby im się to zwróciło. Jednocześnie każda zmiana systemów i maszyn wymaga zmiany oprogramowania zarówno u producentów, jak i użytkowników, a każda taka zmiana znowu wymaga pewnych nakładów, tym większych im nowy system jest bardziej wyrafinowany i niepodobny do poprzedniego. Przykładowo można zauważyć, że niektóre mechanizmy, które były w dyspozycji firm produkujących maszyny, długo pozostawały w ukryciu. Na przykład wprowadzenie [9] jednopoziomowej pamięci przez firmę IBM wymagało aż 10 lat, a do dziś nie wykorzystano wszystkich osiągnięć, które wynikają z projektu MAC.

Moim zdaniem najistotniejsze dla oceny rozwoju sprzętu są następujące parametry maszyn cyfrowych:

- 1) szybkość procesorów,
- 2) pojemność pamięci operacyjnych,
- 3) złożoność procesorów.

Faktem, który w rozwoju maszyn cyfrowych wyróżnia się w sposób najbardziej widoczny, jest wzrost szybkości, a właściwie mówiąc wzrost szybkości jednostki centralnej. Do oszacowania wzrostu szybkości można podejść w różny sposób i różnie liczyć szybkość jednostki centralnej. Można np. stosować różne mieszanki operacji i otrzymywać różne liczby w zależności od wybranej mieszanki czy zastosowań. Dla naszych celów wystarczy rozpatrywać szczytowe osiągi jednostek centralnych mierzone w operacjach dodawania na sekundę.



Rys: 2

Na rysunku 2 przedstawiono wykres podający przewidywaną szybkość jednostki centralnej w poszczególnych latach. Podane są tam dwie krzywe. Krzywa wykładnicza opracowana [12] w 1971 r., przedstawiająca chyba najkrótszy czas podwojenia, jaki wystąpił dla dotychczasowych wytworów człowieka - okres podwojenia szybkości wynosił średnio 1,25 lat. Oznaczało to, że co 15 miesięcy szybkość maszyn się podwajała. Powyższe oszacowania dokonano w 1971 r. drogą ekstrapolacji. Jak wiadomo, nigdy żadne urządzenie nie może zwiększać swoich parametrów bez końca, zazwyczaj wszystkie takie procesy mają przebieg krzywej wzrostu. Krzywa ta po okresie wzrostu wykładniczego przechodzi na wzrost liniowy, a następnie na asymptotyczny wzrost do jakiejś ustalonej wielkości. Powstało pytanie, w którym miejscu tej krzywej się znajdujemy, gdyż w ten sposób można oszacować maksymalne szybkości. Dopóki wzrost ma charakter wykładniczy, nie możemy na nie odpowiedzieć.

Na podstawie ekstrapolacji wyników dokonanych przez R. Turna w referacie [20] i własnych wyliczeń otrzymałem dane dla szybkości do 1990 r., jak się okazało wzrost wykładniczy się zatrzymał i w wyniku tego otrzymaliśmy wykres, z którego można odczytać granicę rozwoju szybkości m.c.

Drugim faktem, na który należy zwrócić baczniejszą uwagę, jest wzrost wielkości pamięci w ogóle, a w szczególności pamięci operacyjnej, która od

pojemności 20 słów dziesięcioznakowych w ENIACu w roku 1946 wzrosła do przeszło pół miliona słów w maszynie CDC 7600 w 1970 r., przy skróceniu czasu dostępu do pamięci operacyjnej. W połowie lat pięćdziesiątych czas dostępu do pamięci rdzeniowej wynosił około 10 μ s, zaś dziś wynosi kilkanaście ns. Jak widać, wzrost ten jest około 1000 razy.

Trzecim faktem jest wzrost złożoności systemów cyfrowych. Rozpatrując rozwój struktur maszyn cyfrowych zauważymy, że pewna regularność, która występuje w technice i objawia się tym, że budowane aktualnie urządzenia są robione na wzór dotychczas istniejących, pojawiła się i w maszynach cyfrowych. Pierwsze maszyny automatyczne były mimo swoich skromnych możliwości urządzeniami skomplikowanymi i złożonymi. Przykładem mogą być maszyny MARK I i ENIAC, których złożoność wynikała z bezpośredniego przeniesienia dotychczasowych rozwiązań mechanicznych na układy elektromechaniczne i elektroniczne.

Pomysł wspólnej pamięci dla danych i rozkazów, zastosowanie układu binarnego oraz realizowanie tylko prostych operacji arytmetycznych w sprzęcie, w przeciwieństwie do wczesnych maszyn, które miały rozbudowane np. takie operacje, jak automatyczne interpolatory, znacznie uprościły maszyny. Większość czynności realizowanych w sprzęcie została zastąpiona przez programy.

Po okresie maksymalnych uproszczeń, których przykładem jest maszyna W. L. van der Poela [14], powoli zaczęła ponownie wzrastać złożoność. Z początkiem lat sześćdziesiątych, po względnie spokojnych latach pięćdziesiątych powstały maszyny bardziej złożone. Powstały takie maszyny, jak STRETCH i LARC. Złożoność struktur maszyn mimo agregacji elementów w podzespoły ciągle wzrasta. Dziś patrzymy na minikomputer czy mikroprocesor jak na proste urządzenie pomimo tego, że może się ono składać z 5000 i więcej układów, co jest równoważne kilku czy kilkunastu tysiącom lamp maszyn pierwszej generacji.

Obecnie można zaobserwować występowanie dwu tendencji w rozwoju maszyn:

- 1) budowa olbrzymich zespołów czy też gigantycznych maszyn wielodostępnych i z siecią zdalnych urządzeń końcowych;
- 2) budowa maszyn indywidualnych - stosunkowo małych dla poszczególnych użytkowników czy też nawet dla konkretnych zadań.

Jeżeli chodzi o charakterystykę strukturalną, to można by zasadniczo wyróżnić cztery kierunki przyszłego rozwoju maszyn:

- 1) kalkulatory - arytmometry,
- 2) minikomputery, mikroprocesory,
- 3) maszyny - standardowe,
- 4) maszyny giganty.

Kalkulatory po stosunkowo długim okresie bardzo wolnego rozwoju (1600-1960) ostatnio zaczęły się bardzo szybko rozwijać. Do początku lat sześćdziesiątych praktycznie na rynku istniały tylko arytmometry mechaniczne. Próby budowania takowych w technice lampowej nie dały sensownych rezultatów. W początku lat sześćdziesiątych powstały pierwsze arytmometry oparte o technikę tranzystorową, ale cena ich była stosunkowo wysoka, tak że nie mogły konkurować z arytmometrami mechanicznymi. Wprowadzenie układów scalonych pozwoliło na budowę bardzo tanich arytmometrów. Koszt budowy i możliwość produkcji masowej, a co za tym idzie taniej produkcji, spowodował, że w początku lat siedemdziesiątych nastąpił przełom w tej dziedzinie. W 1972 r. cena arytmometru scalonego była niższa od mechanicznego, przy

czym szybkość spadku cen dla arytmometru scalonego jest bardzo duża: w latach 1971-1973 - 10 razy, w latach 1973-1975 - 5 razy. Jest on tak tani, że może stać się wyposażeniem podstawowym dla dziecka w szkole podstawowej.

Jednocześnie arytmometry elektroniczne stają się coraz bardziej uniwersalnymi urządzeniami. Już dzisiaj bardziej rozbudowane typy wyposażone są w cały zbiór funkcji elementarnych realizowanych za naciśnięciem jednego klawisza. Opracowano także metody bardzo łatwego programowania na takich urządzeniach, co pozwoli w przyszłości przenieść wszystkie niezbyt duże obliczenia techniczne i naukowe z maszyn cyfrowych z powrotem na arytmometry. Arytmometry te programuje się bardzo prosto, mają możliwość przechowywania dość dużych programów, a czas potrzebny na opanowanie programowania wynosi kilkanaście minut. Uważamy, że dalszy rozwój struktur WE/WY pozwoli na znaczne rozszerzenie ich zastosowań, a spadek cen - na masową produkcję.

Jeżeli chodzi o minimaszyny, to twierdzę, że w ciągu następnych lat ich rozwój i produkcja nie ulegnie zahamowaniu. Zgodnie z uwagami podanymi wcześniej będą to stosunkowo proste urządzenia coraz bardziej scalone, tak że ich projektowanie i produkowanie powoli przejdzie do fabryk produkujących podzespoły. Niska cena pozwoli je stosować w większości urządzeń jako elementy sterujące. Będzie to jednak wymagało wbudowania w układy scalone minikomputerów pamięci typu wolny zapis-szybki odczyt (pamięci stałej). Umożliwi to indywidualnie dopasowanie minimaszyn mikroprocesorów do zadanego problemu. Powstaną urządzenia do indywidualnego dopasowania.

Maszyny standardowe. Pod tą nazwą rozumiemy kontynuację dotychczasowych linii rozwojowych, takich jak IBM 370, CDC 7600 czy ICL 1900. Należy się spodziewać, że przez co najmniej przyszłe 5 lat ten kierunek się utrzyma. Jest to spowodowane potrzebą zachowania ciągłości programowania w celu wykorzystania dotychczasowego olbrzymiego dorobku programowego. Jednak stworzenie i opanowanie automatycznej techniki wytwarzania oprogramowania, techniki przenoszenia oprogramowania i techniki oprogramowania mobilnego z jednej strony, oraz wejście do produkcji mikroprocesorów firm mikroelektronicznych, takich jak Texas, Motorola i innych z drugiej strony, może zachwiać tę linię. Ale nie należy się spodziewać, aby nastąpiło to przed rokiem 1978-1979.

Maszyny giganty. Tego typu urządzenia były zawsze budowane. Były nimi np. STRETCH, ILLIAC IV. Tym bardziej należy się spodziewać, że po przekroczeniu takiego stopnia integracji, w którym poszczególne elementy będą zawierały co najmniej kompletne zespoły maszyny, np. arytmometr, pamięć, multiplexer itp, nastąpi znaczne ożywienie w maszynach gigantach. Na przykład w 1977 r. sto połączonych ze sobą minimaszyn, z których każda kosztuje 100 \$, pozwoli łatwo stworzyć maszynę o wypadkowej szybkości 10^9 operacji.

Należy liczyć się z dalszą komplikacją sprzętu. Na wzrost tej komplikacji będą miały wpływ trzy czynniki: 1) spadek cen układów scalonych, 2) tworzenie struktur coraz to bardziej wydajnych i bardziej rozbudowanych, 3) petryfikacja oprogramowania. Należy się spodziewać, że prawie całe systemy operacyjne oraz wszystkie typowe makrooperacje będą zawarte w sprzęcie. Spowoduje to znaczny wzrost efektywności pracy maszyn.

Przewiduje się znaczny wzrost systemów ogólnodostępnych. Nazwa ta

obejmuje wielkie systemy z podziałem czasu, pracujące w różnych reżimach pracy na ogół zdalnej - w różnych trybach: wsadowym, konwersacyjnym, pytanie-odpowiedź, itp. Przewidywany kierunek - to olbrzymie sieci maszyn połączone między sobą systemami bardzo szybkiej transmisji danych. Praktycznie każdy, poprzez system sieci telefonicznej, będzie mógł być użytkownikiem takiego systemu.

Realizacja takich systemów będzie z jednej strony wymagała standaryzacji przedstawienia danych, standaryzacji złączy w maszynach, zaś z drugiej - zintegrowanej, tzn. wspólnej o wzajemnie niesprzecznych własnościach, sieci telefonicznej, telegraficznej i teledacyjnej, o bardzo dużej wierności przesyłania informacji. Sieci takie w przyszłości zastąpią obecne sieci telekomunikacyjne. Gwałtowny spadek cen elementów scalonych umożliwi w następnych dziesięcioleciach realizację takiej sieci elektronowo-komutowanej, przy czym "komutatory" maszyn cyfrowych (multipleksery) przejdą do sieci i zostaną połączone z obecnymi urządzeniami komutacyjnymi w jedną całość.

Należy spodziewać się znacznego udoskonalenia kontaktu człowiek-maszyna. W procesie porozumiewania się obu partnerów dominującą rolę odgrywa u człowieka wzrokowa percepcja informacji dostarczonych przez maszynę, natomiast organ słuchu nie jest, przynajmniej na razie, wykorzystany. Można przyjąć, że uruchamianie przycisków na konsoli lub klawiaturze maszyn piszących lub też posługiwanie się piórem świetlnym i ekranem lampy oscyloskopowej jest i będzie głównym sposobem przekazywania informacji do maszyny.

Jednocześnie jest widoczne, że droga od pomysłu do przemysłu coraz bardziej się skraca. Przemysł maszyn cyfrowych staje się przemysłem opartym o naukę. Tendencje skracania szczególnie można zauważyć w technologii. Jednak, jak już wspomnieliśmy, istnieje stosunkowo wolne przekazywanie nowych architektur do produkcji. Wydaje się jednak, że automatyzacja projektowania i wytwarzania sprzętu i oprogramowania umożliwi znacznie przyspieszenie tego ostatniego procesu.

Przejdźmy teraz do rozpatrzenia rozwoju maszyn cyfrowych w oparciu o drugie podejście. Podstawą tego podejścia jest teza, że:

- Struktura i architektura maszyn cyfrowych będzie w końcowym stadium rozwoju stymulowana poprzez potrzeby indywidualnego człowieka, a maszyna stanie się narzędziem wspomagającym lub wykonującym "pracę umysłową" człowieka w zakresie, gdy jest ona pracą rutynową.

Maszyny cyfrowe powstały jako narzędzie mechanizujące prace obliczeniowe. Znacznie wcześniej od nich powstały urządzenia zwane wówczas maszynami analityczno-liczącymi, które służyły do prac związanych z przetwarzaniem informacji. Nie są już one prawie praktycznie używane, chociaż niektóre urządzenia dzisiejszych maszyn mają swoje źródło w tamtych maszynach. Myślę o urządzeniach WE/WY, które od tamtych nie wiele się różnią, a są tylko szybsze.

W tabeli 1 zostały wyróżnione trzy typy maszyn. Podziału dokonano ze względu na rodzaj wykonywanych czynności. Podział ten wprowadzono dlatego, aby można było wyodrębnić charakterystyczne cechy urządzeń do takich zastosowań. Jeżeli za miarę uzyskanego sukcesu tych urządzeń przyjąć stworzenie nowych możliwości dla człowieka, to do dziś tylko maszyny do licze-

Tabela 1

Klasa maszyn	Cechy charakterystyczne	Uzyskane wyniki	Baza doświadczalna	Technologie decydujące o rozwoju
Maszyny do liczenia	Szybkie urządzenia liczące. Szybka i duża pamięć o dostępie swobodnym. Prymatywnie urządzenia WE/WY.	Bardzo dobre. Najważniejsze funkcje m.l. wykonywane są ekonomicznie, udział mechaniki w istotnym procesie jest mały i nie przeszkadza wydajnej pracy.	300 lat rozwoju metod numerycznych.	Rozwój elektroniczki. Poprzednie konstrukcje.
Maszyny do przetwarzania danych	Prymatywnie urządzenia liczące. Bardzo duże pamięci. Bardzo liczne i bardzo łatwe w obsłudze urządzenia WE/WY.	Najważniejsze funkcje wykonywane są przy użyciu sprzętu elektro-mechanicznego. Dotyczy to zarówno pamięci jak urządzeń WE/WY. Wykorzystuje się typowe m.c. do tych celów zastępując niektóre funkcje poprzez realizacje programowe. Uzyskane wyniki są już ekonomicznie pozytywne.	60 lat doświadczeń maszyn analityczno-liczących.	Urządzenia WE/WY.
Maszyny do wyszukiwania informacji	Prymatywnie urządzenia do przetwarzania informacji. Bardzo duża pamięć operacyjna - asocjacyjna o małym czasie dostępu. Specjalizowane urządzenia WE/WY.	Uzyskane wyniki niezadowalające. Najważniejsze funkcje wykonywane są wyjątkowo nieekonomicznie poprzez kolejne przeszukiwanie bazy danych w centralnej jednostce. Wykorzystuje się też szeroko mało sprawne urządzenia mechaniczne.	Brak większych doświadczeń w automatyzacji wyszukiwania.	Tanie pamięci asocjacyjne. Wygodne i tanie urządzenia do komunikacji z maszyną.

nia mogą się poszczycić rezultatami, które bez nich nie były możliwe do uzyskania. Maszyny do przetwarzania danych są tylko pewnym usprawnieniem, zaś sukces maszyn do wyszukiwania informacji jest prawie żaden.

Jeśli rozdzielimy pracę dzisiejszej maszyny na funkcje "przetwarzania" (liczenie, wyszukiwanie) oraz operacje organizacyjne służące do realizacji sterowania procesem „przetwarzania”, to operacji organizacyjnych jest zwykle znacznie więcej niż operacji przetwarzania. Wszystkie bardziej skomplikowane operacje przetwarzania, jak np. wyszukiwanie informacji, są realizowane poprzez ciągi operacji: arytmetycznych, przestań, porównań i skoków wykonywanych na zbiorach danych, a znalezienie poszukiwanej informacji uzyskiwane jest dzięki olbrzymiej szybkości poprzez wykonanie bardzo dużej liczby prostych operacji.

Maszyn, które byłyby wyposażone w specjalne mechanizmy do wyszukiwania informacji, poza pewnymi eksperymentalnymi modelami [13] nie ma, a samo wyszukiwanie jest dziś drogie i nieefektywne. Prosty przykład będzie wystarczającą ilustracją ostatniego zdania.

Rozpatrzmy dwa zadania: 1) rozwiązanie dużego układu równań różniczkowych oraz 2) znalezienie cytatu ze zbioru, np. 1000 książek. Nawet dla stosunkowo dużych układów równań dzisiejsze maszyny nie wymagają długiego czasu na rozwiązanie. O ile rozwiązanie takiego układu bez pomocy maszyny jest niemożliwe lub wymagałoby dla niezbyt dużego układu zorganizowania olbrzymiego biura obliczeniowego z licznym personelem, to znalezienie cytatu ze zbioru 1000 książek będzie znacznie szybsze bez wykorzystania maszyny cyfrowej. Sam proces przepisania 1000 książek na karty dziurkowane lub taśmę, jak łatwo oszacować, zajęłoby ponad 10 osobolat pracy. Okres ten jest wystarczająco długi, aby w rozważaniach nie doliczać do niego czasu przygotowania programu i wykonania go na maszynie cyfrowej.

Oczywiście istnieją przykłady wyszukiwania informacji przy użyciu maszyny cyfrowej, gdzie szybkość pracy jest dla człowieka wystarczająca, np. rezerwacja połączeń lotniczych itp. Mimo że koszt wyszukiwania jest stosunkowo wysoki, to jednak stosowanie do tego maszyn jest opłacalne ze względu na inne oszczędności.

Maszyna cyfrowa jest pewnego rodzaju protezą człowieka. Umożliwia mu wykonywanie wielu czynności zrutynizowanych z zakresu prac umysłowych, prac przetwarzania informacji, automatycznie bez wysiłku, a nawet czasami bez jego udziału. Narzędzie to, będzie się rozwijało w takim kierunku, aby w jak największym stopniu zastąpić wszystkie rutynowe prace umysłowe człowieka, oraz aby te czynności, które pochłaniają najwięcej czasu człowiekowi były jak najlepiej i najtaniej realizowane.

Uświadomienie sobie kierunku rozwoju maszyn otrzymamy, poprzez odpowiedź na pytanie: Które rutynowe prace człowieka są najczęstsze i najbardziej pracochłonne?

Do rutynowych prac człowieka można zaliczyć: liczenie, przetwarzanie informacji, rozpoznawanie informacji, wyszukiwanie informacji, i do tych się tylko ograniczymy. Przy czym zauważymy, że automatyzacja na razie dotyczy takich czynności, które są dobrze zdefiniowane, to znaczy takich, w których można operować logiką nierozmytą (do takich czynności się ograniczymy dla określenia kierunku rozwoju).

Rozpatrując czas zużyty na wyżej wymienione czynności zauważymy, że procent ten kolejno rośnie. Stosunek czasu poświęconego na liczenie do czasu

zużytego na wyszukiwanie informacji dla przeciętnego człowieka wyrazi się bardzo małym ułamkiem. Nawet dla takich zawodów jak kasjerzy czy - do niedawna - farmaceuci procent ten nie będzie duży. Jak wynika z tabeli 1 obecne maszyny cyfrowe mają rozkład swoich parametrów dobroci malejący w funkcji czasu poświęconego przez człowieka na prace rutynowe. To znaczy, że maszyny cyfrowe najlepiej liczą, a najgorzej wyszukiują informację, zaś człowiek najwięcej czasu poświęca na tę ostatnią czynność.

Z powyższego wynika naturalny wniosek, że rozwój powinien iść w kierunku dopasowania możliwości maszyny do potrzeb człowieka.

Chciałbym też zwrócić jeszcze uwagę na pewne zjawisko, które może nie zawsze jest uświadamiane. Rozwój techniki doprowadził w większości wypadków do zaspokojenia naturalnego zjawiska - niechęci do czekania.

W dzisiejszych ośrodkach obliczeniowych jednym z podstawowych parametrów jest procent wykorzystania maszyn cyfrowych. Zwykle dbamy, aby procent ten był możliwie wysoki. Czy zawsze tak będzie? Spróbujmy spojrzeć na problem wykorzystania maszyny z innego punktu widzenia. Wszystkie narzędzia używane przez człowieka można podzielić na dwie klasy. Takie, które muszą pracować bez przerwy, np. wielkie piece do wytopu stali itp. oraz takie, które mogą być wykorzystywane dorywczo. O ile pierwsza klasa narzędzi jest stosunkowo mała, to druga jest bardzo liczna. Oczywiście można narzędzi drugiej klasy używać w reżimie ciągłym. Zwykle narzędzie czeka na człowieka, a nie odwrotnie, a jeśli nie czeka dziś, to będzie czekało jutro. Z niechęci do czekania wywodzi się pęd do motoryzacji indywidualnej, nie lubimy czekać na tramwaj. Nasze maszyny do pisania, radia, telewizory, młotki, itp. czekają na nas. Dlaczego ma na nas nie czekać maszyna cyfrowa. Już dziś kalkulator elektroniczny czeka na użytkownika. To samo będzie z maszynami cyfrowymi, gdy tylko staną się. A wtedy zniknie problem wykorzystania tego narzędzia.

Z powyższych rozważań wynika, że na to, aby przyszła maszyna cyfrowa była dobrą i wygodną protezą człowieka, powinna te operacje, które człowiek często wykonuje, realizować szybko, być tania i łatwo dostępna. Taka maszyna - proteza dla zrutynizowanych prac umysłowych człowieka - w największej części będzie maszyną do wyszukiwania informacji, w mniejszej - do przetwarzania danych, a w najmniejszej - do liczenia.

Aby taka maszyna mogła być zrealizowana, muszą być rozwiązane niektóre problemy, a mianowicie - zbudowanie bardzo dużej pamięci asocjacyjnej, rozwiązanie problemów taniego wejścia i wyjścia.

Porównując te dwa podejścia do kierunków rozwoju, zauważymy, że nie są one sprzeczne, a wzajemnie się uzupełniają. Podejście od strony technicznej jest raczej krótkoterminowe, zgodnie z sugestią Liecklidera może być zbyt ostrożne.

Podejście od strony człowieka nie ma tych ograniczeń i wydaje mi się, może być bardziej owocne dla ustalenia kierunków dalszego rozwoju maszyn cyfrowych.

LITERATURA

- [1] AIKEN H.: Proposed Automatic Calculating Machine. IEEE Spectrum, 1964, 1, 8, 62-69.
- [2] BUSH V.: Instrumental Analysis, Bull. Am. Math. Soc., 1936, 42, 649-669.

- [3] ČAPLA V.: K voprosu vozniknoventia pervoj scotnoj masimy i pri-
menenija principa kostocek Napiera v umnozajuscem mehanizme
scotnyh masin. Stroje na zpracovani informaci, 1964, 10, 321-325.
- [4] DAREK J. DE SOLLA PRICE: An Ancient Greek Computer. Scien-
tific Amer. June 1959, 60-67.
- [5] Clippinger's role as the originator of this concept is docemented in
a Smithsonian AFPPS History Project interview.
- [6] ECKERT J. P. Jr., MAUCHLY J. W.: Automatic High Speed Com-
puting: A Progress Report on the EDVAC, Moore School of Elec-
trical Engineering, University of Pennsylvania, September 1945.
Quoted in System Structures in Data, Programs, and Computers by
Lyle R. Johnson. Prientice-Hall, 1970, 184-186.
- [7] ECKERT J. P. Jr., MAUCHLY J. W., GOLDSTINE H. H., BRAI-
NERD J. G.: Description of the ENIAC and Comments on Electronic
Digital Computing Machines, National Defense Research Committee
Report, November 1945.
- [8] ECKERT J. P. Jr.: In the Beginning and to What End, Computers
and Their Future, Richard Williams & Partners: Llandudno, Wales,
1970, 3-19.
- [9] KILBURN T., EDWARDS D. B. G., LANIGA M. J., SUMNER F. H.:
One-level storage system IRE Trans., 1962, EC 11, 223-235.
- [10] LICKLIDER J. C. R.: Biblioteki przyszłości. PWN 1970.
- [11] METROPOLIS N., WORLTON J.: A Trilogy on Errors in the History
of Computing. Proc. First USA-JAPAN Comp. Conf., 1972, 683-691.
- [12] MARCZYŃSKI R. W., PELKA R., THOR M. W.: Niektóre proble-
my projektowania maszyn i systemów cyfrowych. Projektowanie ma-
szyn i systemów cyfrowych, PWN, 1972, 5-22.
- [13] MARCZYŃSKI R. W.: Struktury maszyn cyfrowych a wyszukiwanie
informacji. Systemy wyszukiwania informacji. PWN, 1974, 139-145.
- [14] POEL VAN DER W. L.: A Simple Electronic Digital Computer.
Applied Scientific Research, 1952, 5, 367-400.
- [15] STIBITZ G. R., LOVEDAY E.: The Computers at Bell Laborato-
ries. Datamation, April-May 1967.
- [16] PHILLIPS W.: Babbage, Electronic Computers and Scales of Nota-
tion. Comp. Bull., 1963, 6, 128-188.
- [17] WILLIAMS F. C., KILBURN T., TOOTILL G. C.: Universal
High-Speed Digital Computers: A Small-Scale Experimental Machine.
Proc. IEE, 1951, 98, II, 13-28.
- [18] WILKES M. V., RENWICK W.: The EDSAC - an Electronic Calcul-
ating Machine. J. Sci. Inst., 1949, 26, 385.
- [19] WILKES M. V.: Computers Then and Now. J. ACM, 1968, 15, 1-7.
- [20] TURN R.: Computers in the 1980s - Trend in Hardware Technology.
Proc. IFIP, 1974, 137-140.

SPIS TREŚCI

Streszczenie. Abstract. Содержание	3
Wstęp	5
Romuald Marczyński - Niektóre problemy z rozwoju maszyn cyfrowych	7
Stanisław Majerski - Sieci przełączające, redukujące liczbę składników wieloskładnikowego dodawania binarnego	21
Wojciech Kubera - O realizacji układowej sumatorów wieloskładnikowych	41
Antoni Wolski - Sumator optyczny wykorzystujący działania na tablicach binarnych	55
Jerzy Dańda - Metoda autarkicznych reprezentantów we wspomaganym projektowaniu systemów wieloprocesorowych	61
M. Moalla, G. Saucier, J. Sifakis, M. Zachariades - A design language oriented to the description and simulation of a system of interconnected units working in a parallel and asynchronous manner . .	69
Wojciech Kuczborski - Zastosowanie monitorów sprzętowych do oceny systemów liczących	89
Józef Szmyd - Kierunki rozwoju perspektywicznych pamięci zewnętrznych	99
Zdzisław Wrzeszcz, Eugeniusz Nowak - Architektura cyfrowej pamięci holograficznej	119
Zygmunt Sawicki, Sławomir Wolszczak - Pamięci na cienkich cylindrycznych warstwach magnetycznych (pamięci drutowe)	125
Andrzej Papliński - Wielostanowiskowy system rejestracji i wstępnego przetwarzania danych KRTM-20	129
Zbigniew Dudek, Janusz Sosnowski - Organizacja współpracy urządzeń zewnętrznych w minikomputerowym systemie wstępnego przetwarzania danych UMC-20	139
Krzysztof Sapięcha, Michał Wołyński - Próba optymalizacji małego laboratoryjnego systemu cyfrowego UMB-2	149
Paweł Kerntopf - Grafy kompozycji i ich zastosowania	157
Marek Perkowski - ADL - Source language of the system for automatic design of digital systems	167
Antoni Michalski - Zastosowanie logiki trójwartościowej do syntezy sieci kombinacyjnych z modyfikowaną strukturą połączeń	181
Marek Tudrzej - Mikroprogramowane sterowanie w maszynach cyfrowych, aktualne problemy	197
Alain Guyot - Cassandre system and language	239
François Anceau Ensimag - Some design problems relating to system oriented computer architecture	249
Mirosław W. Thor - Przyczynek do metodologii poliadyzacji maszyn cyfrowych	257

Polska Akademia Nauk
Instytut Podstaw Informatyki

Organizacja maszyn cyfrowych
i mikroprogramowanie
Tom I

Państwowe Wydawnictwo Naukowe