



Mikroprocesory – rozwój i zastosowania

Motto

Few people have ever lived at such a time of technological change. Perhaps only those who were present when the first book was printed...¹⁾

PORTIA ISAACSON

(National Computer Conference 1978)

Trudno jest w krótkim, bardzo ogólnym naświetleniu tematu przedstawić wyczerpująco i możliwie jasno wszystkie problemy, które wiążą się z tematyką mikroprocesorów, i które wymagałyby szerszego omówienia. Dlatego niniejszy artykuł jest tylko dość ogólnym rzutem oka na te zagadnienia.

Mikroprocesory ostatnio zwróciły uwagę naszego społeczeństwa dzięki artykułom w prasie codziennej, jak również w pismach fachowych, lecz informacja o nich podobnie jak ich wykorzystanie jest zaledwie w początkowym stanie, w porównaniu z krajami wysoko rozwiniętymi. To niedoinformowanie społeczeństwa, jak i informatyków, wymaga choćby złagodzenia, co jest tym bardziej istotne, że — zdaniem autora — mikroprocesory, ten nowy produkt elektroniki i informatyki, będą miały decydujący wpływ na dalszy rozwój naszego społeczeństwa. Przy pisaniu tego artykułu autor natknął się na szereg problemów terminologicznych, których nie mógł uniknąć, a których ocenę pozostawia czytelnikowi.

JAK POWSTAWAŁY MIKROPROCESORY?

Pierwszą cyfrową maszyną elektroniczną ENIAC zbudowano w roku 1946, zaś pierwszy mikroprocesor w roku 1971. O ile historia maszyny ENIAC jest dokładnie znana, to historia powstania mikroprocesorów jest różnie opisywana przez różnych autorów.

W zasadzie pierwszym krokiem w kierunku powstania mikroprocesora był wynalazek tranzystora w roku 1948. Następnymi krokami były patenty firmy TEXAS INSTRUMENTS na układy scalone i firmy FAIRCHILD na technologię planarną wykonywania tranzystorów (rok 1959) rozpoczynające erę układów scalonych.

Cena pierwszych maszyn tranzystorowych była wysoka. Pierwsze oznaki spadku cen wiążą się z powstaniem w roku 1962 maszyny PDP 8, produkowanej przez firmę DIGITAL EQUIPMENT i sprzedawanej w cenie 18 000 dolarów. Narodziła się era minikomputerów, które zrobiły w Polsce tyle szumu na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych. Jednak ówczesny wiek trzeba było czekać, aby bardzo ekskluzywna technika maszyn cyfrowych mogła „wejść pod strzechę”, będąc dzięki mikroprocesorom w zasięgu ręki każdego człowieka.

Rok 1971 zapisał się w historii maszyn cyfrowych wyprodukowaniem przez firmę INTEL czterobitowego mikroprocesora (INTEL 4004) na potrzeby kalkulatorów. Niektórzy jednak przyjmują za początek historii mikroprocesorów wypuszczenie na rynek, również przez tę firmę, mikroprocesora INTEL 8008, pierwszego ośmiobitowego procesora monolitycznego. Geneza wyprodukowania tego mikroprocesora jest wg A. Osborne następująca: firma DATAPOINT z San Antonio (Texas) produkująca inteligentne terminale i małe systemy minikomputerowe chcąc wykonać „wielki skok” przez wprowadzenie na rynek bardzo

prostej i tym samym taniej maszyny cyfrowej, zamówiła w roku 1969 w firmach INTEL i TEXAS INSTRUMENTS procesor wykonany w postaci jednego układu scalonego. Firmie INTEL udało się zbudować taki układ, niestety procesor był dziesięć razy wolniejszy od zamówionego. Firma DATAPOINT odmówiła przyjęcia zamówionego wyrobu. Producent miał do wyboru albo wprowadzić swój wyrób na rynek, albo odstawić go na półkę, ponosząc koszty jego opracowania. Firma INTEL wybrała pierwsze rozwiązanie, nazwała ten układ — INTEL 8008 i zaczęła sprzedaż. Narodził się mikroprocesor.

ETAPY ROZWOJU MIKROPROCESORÓW

Rozwój mikroprocesorów potoczył się od tej chwili szybko. Zgodnie z prawem Moore-Noyce'a liczba elementów na jednym płątku krzemu podwaja się każdego roku. Jest to dziś najszybciej rozwijająca się dziedzina techniki.

1971 r. — pierwszy mikroprocesor — INTEL 8008, wykonany w technologii PMOS (podstawowy cykl pracy — 20 μ s). Zawiera on prostą listę rozkazów; dla stworzenia samodzielnego systemu cyfrowego wymaga dołączenia wielu dodatkowych układów scalonych.

1972 r. — mikroprocesor INTEL 8080, wykonany w technologii NMOS, z cyklem pracy 2 μ s, o bardziej rozbudowanej liście rozkazów (72 instrukcje) i wymagający mniejszej liczby układów dodatkowych.

1974 r. — układy scalone wielkiej integracji (LSI), tak zwane mikroprocesory segmentowe, wykonane z układów bipolarnych TTL, umożliwiające zbudowanie procesora z kilku lub kilkunastu układów, o szybkości o rząd większej niż w procesorach monolitycznych, zrealizowanych w technologii NMOS.

1975 r. — mikroprocesor 16-bitowy, zbudowany przez firmę TEXAS INSTRUMENTS. Mikroprocesor ten, wykonany w technologii NMOS, realizuje operacje mnożenia i dzielenia. Częstotliwość zegara 3 MHz. Obudowa dwurzędowa z 64 końcówkami.

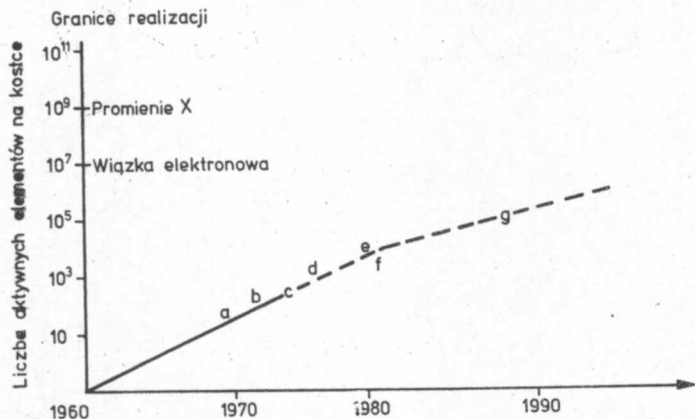
1976 r. — mikroprocesory segmentowe MOTOROLA 10800 wykonane w technice bipolarnej ECL, kilkakrotnie szybsze od układów TTL.

1977 r. — mikroprocesory jednostkowe — mikrokomputery MOSTEK 3870 (cena ok. 10 dolarów U.S. za sztukę przy zakupie 1000 sztuk) oraz INTEL 8048 i 8748 z jednym źródłem zasilania oraz pamięcią RAM i ROM wewnątrz kostki. INTEL 8748 zawiera programowalną pamięć EPROM z możliwością jej zaprogramowania przez użytkownika i jest wyjątkowo dogodny dla prostych zastosowań. Wreszcie — TMS 9940 firmy TEXAS, 16-bitowy jednostkowy mikroprocesor z wewnętrzną pamięcią typu RAM o pojemności 128 bajtów i ROM — 2 K bajtów oraz wieloma udogodnieniami (technologia NMOS).

1979 r. — MOTOROLA 68000, 16-bitowy mikroprocesor zawierający około 100 000 elementów półprzewodnikowych. Jego złożoność funkcjonalna odpowiada złożoności procesora maszyny PDP 11/45. Podobny, lecz o nieco mniejszych możliwościach, jest mikroprocesor INTEL 8086.

¹⁾ Niewiele — jak dotąd — ludzi żyło w czasach takich przemian w technice. Być może tylko współczesni drukowli pierwszej książki..

Poza wymienionymi tu mikroprocesorami wytwarza się całe szeregi układów pomocniczych, jak: pamięci, sprężki, układy pozwalające zmieniać zwykły telewizor w monitor alfanumeryczny, itp. Architektura dzisiejszych mikroprocesorów jest tylko w małym stopniu określona przez technologię mikroprocesorową, w większej mierze jest ona określona przez wymagania zastosowań, a jeszcze bardziej przez dotychczasową architekturę maszyn cyfrowych.



Rys. 1. Rozwój możliwości funkcjonalnych półprzewodnikowych układów scalonych: a) kalkulator kostkowy, b) 4K RAM, c) mikroprocesor 16-bitowy, d) 16K RAM, e) 64K RAM, f) mikrokomputer 16-bitowy, pamięć 32K bitów, g) mikrokomputer 32-bitowy, pamięć 1000K bitów

Obecnie (1979 r.) najbardziej typowym mikroprocesorem jest 8-bitowy procesor zawierający ok. 15 tysięcy elementów półprzewodnikowych (np. tranzystorów) na jednym płatkku krzemu i wymiarach 5×5 mm. Mikroprocesory będące odpowiednikami procesorów maszyn serii PDP 11 zawierają około 80–100 tys. elementów półprzewodnikowych na płytce krzemu o wymiarach $7,5 \times 7,5$ mm. Firma TEXAS INSTRUMENTS przewiduje, że w roku 1984 pojawi się na rynku 32-bitowy mikroprocesor monolityczny z wewnętrzną pamięcią 64 K bitów, o szybkości i złożoności maszyn serii IBM 370.

SPECYFICZNE PROBLEMY

Rozwój układów LSI o tak wielkiej integracji, jaka jest potrzebna dla mikroprocesorów, stanowi kontynuację procesu, który został zapoczątkowany przez stworzenie tranzystora. Pojawienie się mikroprocesorów spowodowało pewne zaburzenie w przemyśle maszyn cyfrowych. Powstał „nowy przemysł” (INTEL, MOTOROLA, TEXAS INSTRUMENTS i inne), a „stary przemysł” (jak np. IBM, HONEYWELL) jakby stanął w swoim rozwoju. Brak było od tego czasu nowych, ambitnych przedsięwzięć, podejmowanych przez stare firmy, które chcą jak najszybciej wykorzystać dotychczasowe wyroby z ery przedmikroprocesorowej. Tylko nowe, małe firmy, jak np. CRAY, wypuściły na rynek maszyny szybsze, o lepszych parametrach.

Co powoduje, że mikroprocesory stają się tak istotnym czynnikiem dla społeczeństwa? Otóż — koszt mikroprocesorów ciągle spada i osiągnął już taki poziom, że taniej jest zastosować mikroprocesor niż realizować nawet prosty układ w postaci zestawu elementów. Równocześnie koszt ten jest tak niski, że pozwala na zakup mikroprocesorów nie tylko przedsiębiorstwom, ale i każdemu, kto zechce zbudować sobie skomplikowane nawet urządzenie informatyczne. Budowa takiego urządzenia — oczywiście po zapoznaniu się z zasadami działania i użytkowania mikroprocesora — jest prostsza od zbudowania odbiornika radiowego.

Sprzęt, jaki występował w „science fiction” dnia wczorajszego — już dzisiaj stał się rzeczywistością. Postęp technologii powoduje ciągły spadek kosztów sprzętu, którego ceny w ciągu dwóch—trzech lat obniżają się do połowy. Obecnie minimalny koszt przypadający na bramkę dla danego poziomu złożoności stale się zmienia. A dla każdego stanu istnieje wyraźne minimum. Złożoność zbyt duża lub zbyt mała powoduje, że ogólny koszt na jedną bramkę rośnie.

Zakłada się, że przemysł będzie używał coraz większych płytek podłożowych do produkcji. Dziś używa płytek 3 calowych (1 cal — 25,4 mm), ma zaś używać 5 calowych, przy ciągłej malejącej elementach wytwarzanych na kryształach krzemu. Dziś używa się połączeń między tranzystorami o szerokości 2,5 do 5 mikronów. Przewiduje się, że przy użyciu ulepszonych urządzeń do produkcji (o większej rozdzielności), wykorzystujących optykę elektronową, promienie ultrafioletowe lub rentgenowskie, uzyska się rozdzielczość poniżej 1 mikrona. Firma TEXAS zapowiada, że w roku 1985 będzie produkowała mikroprocesory o słowie 32-bitowym, z pamięcią 1 milion bitów na jednym kryształku. Będzie to wymagało budowania układów scalonych, zawierających około 5×10^6 tranzystorów.

Koszt urządzeń rośnie wraz ze wzrostem liczby składowych elementów scalonych (kostek). Widać to bardzo dobrze na przykładzie kalkulatorów, które bardzo staniały (z 2000 \$ do 10 \$) dopiero wtedy, gdy zastosowano jednostkowy mikroprocesor.

Porównując koszt budowy urządzeń sterujących opartych na mikroprocesorach oraz na układach MSL, można przyjąć, że przy urządzeniach, które wymagają 25–35 elementów układów średniej integracji MSL—TTL koszt realizacji mikroprocesorowej jest niższy.

Sumując główne trendy rozwojowe w dziedzinie mikroprocesorów monolitycznych należy wymienić:

- kompletne maszyny cyfrowe z pamięcią i wejściem-wyjściem w jednej kostce
- bardziej wydajne procesory o prostym zasilaniu (jedno napięcie) i dużej szybkości
- opracowania wielu różnorodnych procesorów specjalizowanych.

Istotny kierunek rozwoju określają też mikroprocesory segmentowe, pozwalające „składać” różne skomplikowane maszyny cyfrowe. Ponieważ mikroprocesory te są zbudowane w dużo szybszej technice bipolarnej — powstają z nich znacznie szybsze urządzenia.

Powyższe zjawiska prowadzą do zmiany filozofii projektowania maszyn i systemów cyfrowych. Projektant składa urządzenie z gotowych elementów oraz dobudowuje do niego programy. Programowanie jest łatwo przyswajalne dla inżyniera ze względu na logiczne następstwo zdarzeń, a dopasowywanie programów nie polega na dobieraniu elementów technicznych sprzętu, lecz na tworzeniu programu z dobrze określonych rozkazów lub mikrorozkazów. Jest to dość łatwe zadanie dla projektantów układów cyfrowych. Projektowanie polega na przygotowaniu programów, a następnie zapisaniu ich do pamięci ROM. Koszt opracowania przesunął się ze sprzętu do oprogramowania.

Programowanie mikroprocesorów przezwrotnie odbywa się dziś na poziomie list rozkazów, chociaż prawie każda z wytwórni mikroprocesorów opracowała własny język wysokiego poziomu, zorientowany systemowo. Pozwala on użytkownikowi sterować operacjami na poziomie listy rozkazów, sterować programami i przyporządkowaniem rejestrów oraz przewidywać postać kodu wynikowego po translacji. Zaletami tych języków są: duża moc wyrażenia, duża czytelność programów dla celów dokumentacji i obsługi, dobre zestrukturalizowanie programu dla celów weryfikacji.

Równoległe z produkcją układów scalonych wiele firm oferuje gotowe komputery zmontowane na jednej płytce drukowanej, złożone z elementów mikroprocesorowych, czyli tzw. jednopłytkowe komputery (*One Board Computer*). Komputery te dostosowane są do życzeń zamawiającego, a do ich uruchomienia wystarczy podłączenie źródła zasilania (często tylko jednej baterii) oraz dołączenie określonych urządzeń wejścia-wyjścia. Komputery jednopłytkowe są bardzo wygodne dla użytkowników, gdyż po zmontowaniu nadają się do natychmiastowego użytku. Stosowane są przeważnie w urządzeniach służących do sterowania procesami i maszynami, do celów instrumentacji, w urządzeniach testujących i telekomunikacyjnych oraz do sterowania terminalami.

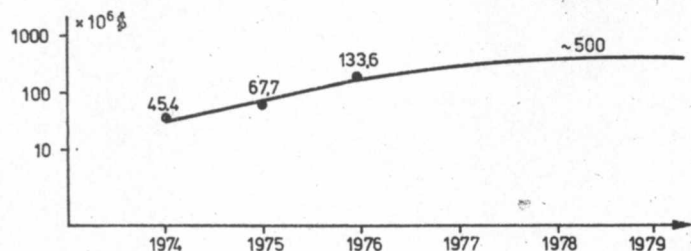
Mikroprocesory z jednej strony przybliżają użytkownika do sprzętu, umożliwiając mu samodzielne konstruowanie skomplikowanych urządzeń, zaś z drugiej — oddalają go od niego, odsuwając od większości projektantów opracowywanie układów logicznych na poziomie bramek, a nawet na poziomie prostych maszyn cyfrowych.

Wprowadzenie dużej liczby identycznych elementów na rynek będzie prowadziło do standaryzacji, co pozwoli na obniżenie kosztów oprogramowania. Koszt jego zostanie

rozłożony na znacznie większą liczbę użytkowników. Tanie mikrokomputery, gdy tylko osiągną wystarczającą moc, podważą zasadność użytkowania dużych systemów ze zdalnym dostępem. (Koszt transmisji informacji jest na tyle wysoki, że może się nie opłacać zdalny dostęp dla potrzeb obliczeniowych).

ZASTOSOWANIA MIKROPROCESORÓW

Nowa technika, technika mikroprocesorowa otworzyła nowe obszary zastosowań techniki informatycznej przy równoczesnym powolnym, ale stałym wypieraniu starych rozwiązań w „zwykłych”, to znaczy opartych o poprzednie technologie, maszynach cyfrowych.



Rys. 2. Światowy handel mikroprocesorami

Przemysł mikroprocesorowy rozwija się gwałtownie (rys. 2). Olbrzymia ilość wyprodukowanych mikroprocesorów znajduje zastosowanie w wielu dziedzinach techniki, nauki i gospodarki. Przewiduje się na przykład, że w roku 1980 wykorzystanych będzie blisko milion sztuk tych urządzeń w amerykańskich gospodarstwach domowych.

W wielu krajach, a szczególnie w USA, rozwinął się ruch „Domowej Informatyki” (*personal computing, personal computer*). Istnieje tam kilkaset specjalnych sklepów, wydawanych jest przeszło 10 czasopism o tej tematyce, odbywają się zjazdy „Infoamatorów”. Ruch ten wymaga tanich urządzeń wejścia-wyjścia, tanich pamięci i w efekcie — wpłynie na obniżkę cen sprzętu. Usprawnienia, wprowadzone przez domową informatykę, będą wykorzystywane przez profesjonalistów.

Zamiast wyliczać wszystkie dziedziny zastosowań i konkretne przykłady wykorzystania mikroprocesorów, co już dziś jest praktycznie niemożliwe, ograniczę się jedynie do określenia obszarów zastosowań (informatyka klasyczna, nieklasyczna i domowa).

Informatyka klasyczna:

- kalkulatory
- mikro- i minikomputery
- sterowanie
- realizacja układów kombinacyjnych
- duże maszyny cyfrowe.

Informatyka nieklasyczna:

- systemy równoległe i rozproszone
- gry i zabawy
- instrumentacja
- protezy wspomagające
- nowe zastosowanie.

Informatyka domowa:

- rozrywki
- nauczanie
- obliczenia dla domu
- zarządzanie gospodarstwem domowym
- służba informacyjna.

WPLYW NA SPOLECZENSTWO

Technika mikroprocesorowa ze względu na olbrzymie rozpowszechnienie będzie oddziaływała lub będzie miała odbicie prawie w każdej dziedzinie życia. Oczywiście będzie miała też zasadniczy wpływ na ludzi bezpośrednio ją wykorzystujących, na informatyków.

Powstały nowe problemy zarówno związane z wykorzystaniem mikroprocesorów, jak i problemy natury socjologicznej. Na przykład można się już dziś zastanawiać, czy nowa technologia spowoduje pobudzenie, czy „pasywację” społeczeństwa, podobnie do tego, co spowodowała telewizja — ludzie stali się biernymi odbiorcami rozrywki zamiast aktywnie w niej uczestniczyć.

Prostota wykorzystania mikroprocesorowej techniki spowoduje, że nie tylko specjaliści informatyki czy elektroniki będą w stanie zaprojektować systemy cyfrowe. Umiejętność ta — oczywiście dla niezbyt skomplikowanych systemów — stanie się zapewne standardową umiejętnością inżyniera, podobnie jak dawniej — umiejętność posługiwania się suwakiem czy obecnie — kalkulatorem.

Ta łatwość projektowania i użytkowania mikroprocesorów spowodowała powstanie nowego hobby. Zjawisko to spowoduje olbrzymie spopularyzowanie metod i umiejętności informatycznych w społeczeństwie. W wyniku tego zwiększy się znacznie liczba nowych pomysłów i rozwiązań, szczególnie takich, które będą służyć obniżeniu kosztów urządzeń peryferyjnych. Już dzisiaj wykorzystuje się standardowe telewizory jako monitory alfanumeryczne, a nawet jako grafoskopy. Powstają proste urządzenia do wprowadzania danych, np. w postaci zwykłej kartki papieru z naniesionymi kreskami, które są następnie odczytywane przez prosty układ fotooptyczny prowadzony ręką „Infoamatora”. Masowe wykorzystywanie tej techniki może spowodować obniżenie kosztów.

Należy się spodziewać w latach 80 szerokiego wykorzystania tej techniki dla celów edukacji, a szczególnie dla indywidualnego nauczania programowanego. Taka aparatura, oparta na prostych kasetach magnetofonowych oraz wykorzystująca zwykły telewizor i nowe osiągnięcia w dziedzinie pamięci bąbelkowych czy ładunkowych CCD, umożliwi opracowanie tanich systemów dla celów nauczania. Moim zdaniem jest to rozwiązanie, które może mieć istotny wpływ na kształtowanie całego społeczeństwa.

Ostatnio wypuszczono na rynek USA proste aparaty do tłumaczenia. Umożliwiają one proste tłumaczenie bardzo krótkich tekstów z jednego języka na drugi. Obecnie produkowane urządzenia dysponują słownikiem około 2000 słów. Przez wymianę słownika zapisanego w pamięci ROM można wykorzystywać to, zresztą prymitywne urządzenie, do różnych języków. Wymiana języka dokonuje się przez wymianę kostki z oprogramowaniem (tzw. scalone oprogramowanie).

Gry telewizyjne szeroko rozpowszechnione w krajach wysoko rozwiniętych oparte są również na tej technice. Cena urządzeń, które są przystosowane do zwykłego telewizora, dla prostych gier jest rzędu 20 \$. Powstają różne pseudokalkulatory czy to do gry w szachy, czy do innych gier.

Szerokie wykorzystanie mikroprocesorów do „zabawy” nasuwa pytanie, jaki to będzie miało wpływ na ludzi, czy nie spowoduje podobnych lub znacznie poważniejszych efektów od tych, jakie przyniosła telewizja?

Już dzisiaj widać ujemne efekty automatyzacji w krajach zachodnich (w USA w początkach 1979 r. 65% maszyn i urządzeń było zautomatyzowanych). Powoduje to frustrację ludzi, których praca sprowadza się tylko do dozoru. Powstaje też poważny, społeczny problem przekwalifikowania pracowników. Przynosi to znaczne zaburzenia na rynku pracy.

Na zakończenie chciałbym zwrócić uwagę na potrzebę podjęcia studiów socjologicznych, które winny zapobiec ewentualnym negatywnym skutkom, spowodowanym przez **REWOLUCJĘ INFORMATYCZNĄ**. Nie waham się użyć tego terminu, gdyż dopiero obecna technologia umożliwi szerokie, globalne zastosowanie metod przetwarzania informacji dla każdej działalności człowieka. Rewolucję tę można porównać do rewolucji spowodowanej wynalezieniem druku czy wynalezieniem i rozpowszechnieniem maszyny parowej, silnika spalinowego i elektrycznego.

LITERATURA

- [1] Proceedings EUROMICRO Symposium, Amsterdam, October 1977
- [2] Proceedings EUROMICRO Symposium, Munich, October 1978
- [3] Doer John: Low-Cost Microcomputing: The Personal Computer and Single-Board Computer Revolution. Proc. IEEE vol. 66 No. 2, February 1978, pp. 117-130
- [4] Isaacson Portia: Personal Computing, A little past and a lot of future, National Comp. Con, 1978, pp. 359-362
- [5] Petritz Richard L.: The perverse microprocessor: trends and prospects. IEEE Spectrum, July 1977, pp. 18-24.