

Do podstawowych zadań procesora należy realizacja rozkazów programu w wymaganym porządku, wykonywanie operacji arytmetycznych i logicznych, pobieranie i przesyłanie informacji z/do pamięci operacyjnej, inicjowanie przesyłania danych pomiędzy urządzeniami zewnętrznymi i pamięcią operacyjną.

Pamięć operacyjna (PAO) służy do przechowywania rozkazów, programów i danych. Z pamięci tej korzysta procesor wykonując program oraz kanały zewnętrzne.

Kanały zewnętrzne pośredniczą w przesyłaniu danych pomiędzy pamięcią główną, a urządzeniami zewnętrznymi, odciążając tym samym procesor od czynności związanych z procesami we/wy. Przez kanały zewnętrzne rozumie się zarówno tory przesyłania informacji, jak i również układy sterujące przesyłaniem. Istnienie autonomicznych urządzeń, jakimi są kanały, jest szczególnie istotne przy dużych prędkościach procesora, gdy czas poświęcany przez procesor na transmisję danych określonego programu można wykorzystać na wykonywanie innych programów.

Zestaw urządzeń zewnętrznych można podzielić na pamięci zewnętrzne (wolniejsze, ale bardziej pojemne od PAO) i na urządzenia wejścia/wyjścia umożliwiające łączność komputera z otoczeniem.

Procesor, pamięć operacyjna i kanały tworzą razem jednostkę centralną, która jest połączona za pomocą tzw. kanału (interfejsu, styku) standardowego z urządzeniami zewnętrznymi.

Kanał standardowy (ang. standard interface) jest to zespół środków programowych (formaty przesyłanych danych), elektrycznych (sygnały sterujące) i mechanicznych (łączówki), które pozwalają na ujednolicony sposób łączenia ze sobą poszczególnych modułów systemu. Dotyczy to w pierwszym rzędzie podłączenia urządzeń zewnętrznych do kanałów jednostki centralnej.

## **5. Procesor i jego podstawowe elementy funkcjonalne**

Procesor steruje pracą całego systemu cyfrowego. Wszystkie operacje dostępu do pamięci, operacje arytmetyczno-logiczne

i operacje wejścia wyjścia są realizowane z udziałem procesora lub są przez procesor inicjowane. Procesor wykonuje ciąg maszynowych rozkazów, czyli program przygotowany przez programistę. Procesor może wykonywać tylko te rozkazy, które znajdują się w PAO. Instrukcje przechowywane gdzie indziej powinny zostać przed rozpoczęciem ich przetwarzania wprowadzone do PAO.

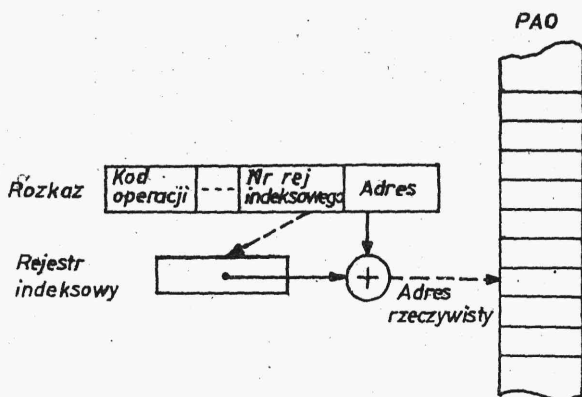
Do dekodowania i wykonania rozkazów maszynowych procesor wykorzystuje swoje podstawowe części: jednostkę sterującą, arytmometr, pamięć lokalną (rejestry, akumulatory) oraz kilka elementów funkcjonalnych, wykorzystywanych przez wszystkie części składowe procesora.

Jednostka sterująca otrzymuje rozkazy z PAO, dekoduje je, oblicza adresy operandów (argumentów), pobiera operandy rozkazów, generuje sygnały wewnętrzne dla arytmometru, zapewniając tym samym wykonanie odpowiednich operacji oraz śledzi za adresem programu. W wielu przypadkach rozkazy maszynowe, określające kolejność wykonywania programu i przekazywanie sterowania, są wykonywane przez jednostkę sterującą.

Arytmometr zawiera rejestry, czyli podstawowe zespoły pamięciowe, pozwalające przechowywać dane przez dowolnie długi czas oraz układy logiczne konieczne do wykonywania operacji arytmetycznych, logicznych oraz operacji przesuwania. W znacznym stopniu stopień złożoności maszyny określony jest przez konstrukcję arytmometru. Niektóre maszyny mogą zawierać kilka arytmometrów do wykonywania operacji działań ze stałym i zmiennym przecinkiem, a także operacji logicznych, co pozwala na jednoczesne wykonywanie tych operacji.

Charakterystyczną cechą budowy maszyn cyfrowych są adresowalne rejestry, często wykonane na szybkich układach logicznych. Rejestry te używane są do przechowywania pośrednich wartości danych podczas wykonywania działań nad danymi oraz do przechowywania wartości indeksów stosowanych przy modyfikacji adresów. Na rys. 4.2 i 7.1 pokazano sposób wykorzystania adresowalnego rejestru. Przy wykonywaniu wszystkich działań zawartość rejestru traktowana jest jako jeden z argumentów wykonywanego działania, czyli rejestr pełni funkcję "od-

biornika" przy pobieraniu danych z pamięci i "źródła" - przy zapisie w pamięci.



Rys.4.2. Schemat obliczania adresu rzeczywistego

We współczesnych maszynach cyfrowych stosuje się wiele różnych rejestrów używanych w operacjach stało- i zmiennoprzecinkowych, co pozwala zmniejszyć liczbę zapisów pośrednich do pamięci operacyjnej. Na przykład w komputerach serii IBM 360/370 oraz JS EMC (RIAD)<sup>\*)</sup> stosuje się 16 rejestrów czterobajtowych ogólnego przeznaczenia (rejestry stałoprzecinkowe (rys.7.1) oraz 4 rejestry ośmiobajtowe (rejestry zmiennoprzecinkowe).

Jeśli wykonujemy operację kolejnego adresowania sąsiednich komórek pamięci operacyjnej lub wybieramy elementy tablicy, często wykorzystujemy tzw. rejestr indeksowy. Numer rejestru indeksowego (może być ich kilka) zawarty jest w części adresowej rozkazu maszynowego, zaś zawartość tego rejestru jest sumowana przez jednostkę sterującą z zawartością pola adresowego, należącego do rozkazu. W wyniku otrzymujemy rzeczywisty adres szukanej komórki pamięci (rys.4.2). Metoda opisana ułatwia programowanie, umożliwiając odwoływanie się do

<sup>\*)</sup> Są to systemy komputerowe opracowane wspólnie przez siedem krajów socjalistycznych (Bułgaria, Czechosłowacja, NRD, Polska, Węgry, Rumunia, Związek Radziecki) w ramach Jednolitego Systemu Elektronicznych Maszyn Cyfrowych (RIAD).

różnych komórek pamięci przy użyciu tego samego rozkazu, zmieniając tylko zawartość rejestru indeksowego.

### 5.1. Realizacja rozkazów przez procesor

Jednostka centralna jest sterowana przez rozkazy pobierane zwykle w tej kolejności, w jakiej występują w pamięci operacyjnej. Ciąg czynności, które muszą być zrealizowane przez układy procesora przy realizacji jednego rozkazu nazywamy cyklem rozkazowym. Poniżej przedstawione zostaną typowe kroki cyklu rozkazowego:

1. Pobranie nowego kolejnego rozkazu z pamięci do specjalnego rejestru procesora, zwanego rejestrem rozkazów.
2. Rozkodowanie rozkazu znajdującego się w rejestrze rozkazów przez specjalny układ, zwany dekoderem.
3. Wykonanie modyfikacji adresów, czyli dodanie do części adresowej rozkazu zawartości pewnych rejestrów procesora, stałych lub określonych bezpośrednio w treści rozkazu.
4. Pobranie z pamięci argumentu (lub argumentów, jeśli rozkaz jest wieloargumentowy) operacji, której typ jest określony przez część operacyjną rozkazu, czyli tzw. kod operacji. W przypadku rozkazów nie wymagających pobierania argumentów z pamięci krok ten nie wystąpi.
5. Wykonanie operacji wskazanej przez kod.
6. Zapis do pamięci wyniku wykonanej operacji (jeśli, zapis ten przewiduje kod operacji).
7. Przygotowanie adresu następnego rozkazu do wykonania. Operacja ta polega na zwiększeniu (zwykle o 1) zawartości specjalnego rejestru, zwanego licznikiem rozkazów, lub na załadowaniu do niego wartości wskazanej przez rozkaz realizowany w danej chwili (w przypadku rozkazów skoku).

### 5.2. Stan maszyny cyfrowej. Koncepcja przerwań

Stan maszyny cyfrowej może być określony w dowolnej chwili na podstawie zawartości pamięci lokalnej i "słowa stanu", utworzonego w jednostce sterującej.

Słowo stanu zawiera następujące informacje:

- adres aktualnie wykonywanego rozkazu,
- klucz ochrony pamięci \*),
- kody przerwania (wskazują przyczyny przerwania),
- kod warunku (tworzący się w zależności od wyniku wykonania różnych operacji),
- różnorodne wskaźniki stanów, specyficznych dla rozważanego komputera.

Jeden z ważniejszych wskaźników stanu wskazuje, czy maszyna jest w trybie nadzorczym czy problemowym. Gdy program maszynowy wykonywany jest w trybie nadzorczym, wszystkie zasoby systemu cyfrowego pozostają do dyspozycji tego programu. W trybie nadzorczym na ogół wykonywane są programy operacyjne maszyny. Programy wykonywane w trybie problemowym mogą w ograniczonym zakresie wykorzystywać możliwości funkcjonalne systemu cyfrowego; np. programy te nie mogą wpływać na przebieg realizacji programu innego użytkownika. W trybie problemowym wykonywane są na ogół programy o charakterze naukowym lub przetwarzaniowym.

Rozkazy programu wykonywane są kolejno tak długo, aż zajdzie jedna z dwóch możliwych sytuacji:

- 1) wykonywana jest instrukcja skoku,
- 2) normalny przebieg procesu obliczeń (przetwarzania) jest przerywany na skutek przyczyny, nie związanej bezpośrednio z wykonywanym programem.

Sytuacja 2 nazywana jest przerwaniami. Poniżej wymienione zostały niektóre możliwe przyczyny przerwania:

- w trakcie wykonywania programu wystąpił błąd lub niedopuszczalna sytuacja (błąd arytmometru, niedozwolony rozkaz, naruszenie ochrony pamięci),

---

\*) Kiedy PAO podzielona jest między kilka programów, konieczny jest mechanizm ochrony pamięci, by dany program nie odwoływał się do pamięci zajętej przez inny program. Ochronę pamięci realizujemy dzieląc PAO na bloki (w S370 na 2048-bajtowe bloki), którym przyporządkowujemy tzw. klucz ochrony pamięci. Programowi przydzielamy natomiast klucz ochrony tej samej długości i przy ich równości lub zerowaniu się klucza ochrony dany blok pamięci może być wykorzystywany.

- urządzenie zewnętrzne (w stosunku do procesora) wymaga obsługi (np. koniec transmisji),
- przez układy kontrolne został wykryty błąd w działaniu komputera,
- program wykonywany w trybie problemowym wymaga obsługi, która może być zrealizowana tylko w trybie nadzorczym.

Przerwanie jest automatycznie obsługiwane przez procesor i przebiega w następującej kolejności:

- 1) procesor przełączany jest do trybu nadzorczego (jeśli procesor nie znajdował się już w tym stanie),
- 2) zapamiętywane jest słowo stanu komputera (zabezpieczona zostaje informacja o przerwany programie, niezbędna do jego ponownego wznowienia),
- 3) sterowanie przekazywane jest programowi obsługującemu dany typ przerwania.

Może się zdarzyć, że zgłoszenie przerwania nadejdzie do systemu w czasie, gdy procesor jest w trakcie obsługi bieżącego przerwania. Powstaje problem, czy z obsługą nowego zgłoszenia należy poczekać do zakończenia obsługi przerwania bieżącego (reguła obsługi kolejkowa), czy też należy przerwać obsługę przerwania bieżącego i zająć się nowym zgłoszeniem (reguła obsługi stosowa). Najczęściej przyjmuje się rozwiązanie pierwsze, zapamiętując nadchodzące zgłoszenia, aby mogły być kolejno obsłużone z chwilą zakończenia obsługi wcześniejszych przerw. Pewną modyfikacją tego systemu obsługi jest nadanie priorytetów różnym typom urządzeń zewnętrznych oraz różnym typom zgłoszeń i następnie obsługa oczekujących zgłoszeń wg malejącego priorytetu. Obie opisane powyżej reguły wprowadzają w procesorze istnienie stanu zabronionych przerw od zgłoszeń o priorytecie niższym niż priorytet aktualnie realizowanego zadania.

### 5.3. Typy rozkazów maszynowych

Typowy zbiór rozkazów komputera można zazwyczaj podzielić na kilka kategorii, zależnie od funkcji, jakie te rozkazy mają spełniać oraz od danych wykorzystywanych jako argumenty.

Rozkazy arytmetyczne umożliwiają wykonywania operacji stało- i zmiennoprzecinkowych oraz dziesiętnych. Do kategorii tej zaliczamy również operacje porównywania liczb i przekształcanie z jednego systemu liczenia w inny (o innej podstawie).

Rozkazy logiczne są to operacje sumy i iloczynu, logicznego, przesuwania danych, logicznego porównywania, testowania itd.

Rozkazy skoku (przekazywanie sterowania) pozwalają programiście na podejmowanie decyzji w trakcie realizacji programu i zmianę dalszej kolejności wykonywania rozkazów.

Rozkazy we/wy inicjują transmisję danych pomiędzy pamięcią operacyjną i urządzeniami zewnętrznymi. Operacje te umożliwiają testowanie stanu określonych urządzeń i pozwalają w koniecznych przypadkach na wykonanie operacji sterowania.

Rozkazy zmiany stanu pozwalają wykonywanemu programowi "załadować" lub "zapamiętać" klucze ochrony pamięci i słowa stanu. Operacje te umożliwiają przechodzenie procesora ze stanu nadzorczego w problemowy i odwrotnie oraz umożliwiają wykonywanie szeregu innych czynności związanych ze sterowaniem pracą komputera (np. maskowanie przerwań, tzn. zezwalają lub zabraniają poszczególnych typów przerwań).

Liczba różnych instrukcji współczesnych komputerów średniej wielkości (należą do nich m.in. komputery krajowe ODRA 1305 i R-32) przekracza zazwyczaj 100. Mniejsze komputery i minikomputery mają zwykle bardziej ograniczone zbiory instrukcji, zawierające tylko najczęściej używane rozkazy. Niektóre minikomputery (np. PDP 11) oraz mikroprocesory II generacji (np. Z80, Z8000 i inne 16-bitowe) mogą mieć ponad 100 instrukcji.

## **6. Sterowanie operacjami we/wy. Kanały zewnętrzne**

Operacja we/wy inicjowana jest przez rozkaz maszynowy, który odwołuje się do kanału zewnętrznego. Kanały są to spe-