

Mgr inż. MAREK PARTYKA
Przemysłowy Instytut Automatyki
i Pomiarów MERA-PIAP
Warszawa

RTMT – WIELOZADANIOWY SYSTEM OPERACYJNY CZASU RZECZYWISTEGO

W artykule omówiono zasady działania, wykonywane funkcje i charakterystyczne ekstrakody wielozadaniowego systemu operacyjnego RTMT. Jest to system czasu rzeczywistego, który może znajdować zastosowanie w 8-bitowych jednostkach centralnych pracujących na niewielkich obiektach zwłaszcza przy braku obsługi operatorskiej.

1. Przeznaczenie systemu

Opracowany w Ośrodku Automatyki Elektrycznej wielozadaniowy system operacyjny czasu rzeczywistego – RTMT jest przeznaczony dla 8-bitowych jednostek centralnych. Został uruchomiony i przebadany na mikrokomputerze MM-80 system automatyki przemysłowej INTEL DIGIT-PROWAY. Z uwagi na brak w chwili obecnej elementów zapewniających sprzężenie z kontrolą komunikacyjnym sieci PROWAY, zastosowanie systemu RTMT jest przewidziane dla autonomicznych zestawów składających się z 1 do 3 kaset. Do komunikacji między sobą lub z innymi komputerami zestawy te mogą wykorzystywać np. interfejsy V-24 z ewentualnym pośrednictwem modemów. Twórcy systemu przyjęli założenie, że będzie on przeznaczony dla niewielkich obiektów nie posiadających złożonych baz danych (brak mechanizmów zarządzania zbiorami), starali się jednak uzyskać minimalne czasy działań i reakcji systemu przy możliwie małej zajętości pamięci. System RTMT umożliwia sterowanie programami – zadaniami użytkowymi w zależności od zdarzeń zewnętrznych, czasu, wzajemnych uwarunkowań. Ponadto system zapewnia komunikację oprogramowania użytkowego z urządzeniami peryferyjnymi dołączonymi do pakietu MM-80: monitorem ekranowym lub drukarką znakowo-mozaikową oraz z czytnikiem i dzirkarką taśmy papierowej. Oprócz tego system umożliwia sprzężenie z dalszymi urządzeniami o interfejsie V-24 za pomocą pakietów MI-24 a także z pamięcią kasetową przy użyciu pakietu MI-50. Dzięki modułowej budowie jest możliwe, dla minimalizowania zajętości pamięci i czasu działania, generowanie wersji systemu odpowiednich dla konkretnych aplikacji. Poszczególne wersje mogą różnić się nie tylko wielkością tj. liczbą obsługiwanych zadań, warunków, ekstrakodów itp. ale i rozmieszczeniem systemu w pamięci. Komunikacja użytkownika z systemem RTMT jest możliwa w oprogramowaniu użytkowym poprzez ekstrakody, natomiast bezpośrednio z konsoli operatorskiej za pomocą programu MONITOR stanowiącego jedno z zadań w systemie.

2. Budowa i zasady działania systemu

System startuje automatycznie po włączeniu zasilania zestawu lub podaniu sygnału RESET. Uruchamiany wtedy program inicjacji dokonuje wstępnego ustawienia zmiennych roboczych systemu

i programowalnych układów scalonych wielkiej skali integracji, instaluje programy obsługi przerwań systemowych a następnie przekazuje sterowanie do koordynatora zadań. Istnieje możliwość uzupełniania inicjacji systemowej inicjacją użytkownika rozpoczynającą działanie jego oprogramowania. Umożliwia to start oprogramowania użytkowego bez udziału operatora i tworzenie zestawów bezobsługowych. Ewentualny adres początku inicjacji użytkownika jest ustalany na etapie generacji systemu. Cała inicjacja jest wykonywana przy zakazanych przerwanach; włączenie przerwań ma miejsce na początku pracy koordynatora zadań.

Koordinator jest zasadniczą częścią systemu, zarządza on pracą zadań — programów użytkowych. Koordynator może obsługiwać maksymalnie do 31 zadań identyfikowanych za pomocą numerów od 1 do 31. Numer zadania określa jego priorytet w systemie. Zadanie o numerze 1 ma priorytet najwyższy a o numerze 31 najniższy. Ilość zadań obsługiwanych przez koordynator jest ustalana na etapie generacji systemu i wpływa na wielkość obszaru pamięci (głównie RAM) zajmowanego przez system jak i na czasy działania. Zadanie jest to dowolny program, który ma ustawiony swój stos oraz wprowadzony do systemu adres startu. O umiejscowieniu stosu każdego zadania w pamięci decyduje użytkownik. Jeżeli zadanie ma charakter skończonego programu to musi kończyć się instrukcją skoku do określonego miejsca w systemie. Miejsce to wyznaczone przez etykietę KOZAD jest niezależne od wersji systemu (etykieta KOZAD ma zawsze ten sam adres); pozwala to na bezpośrednie przenoszenie zadań z jednej wersji systemu na inną. Skok do etykiety KOZAD powoduje wyłączenie aktywności zadania i uruchomienie koordynatora.

Koordinator steruje zadaniami na zasadzie priorytetów względnych. W przypadku istnienia kilku zadań zgłoszonych do wykonania, w pierwszej kolejności uruchamiane jest zadanie o najniższym numerze (czyli o najwyższym priorytecie). Zgłoszenie do wykonania zadania o priorytecie wyższym od aktualnie wykonywanego nie powoduje przerwania realizacji tego ostatniego. Zadanie zgłoszone jest dopisywane do kolejki zadań oczekujących na uruchomienie w miejsce zgodne z jego priorytetem. Pobranie i uruchomienie zadania z tej kolejki — takiego, które ma w danej chwili najwyższy priorytet — następuje przy najbliższym działaniu koordynatora. Koordynator jest uruchamiany w następujących przypadkach:

- po włączeniu zasilania mikrokomputera lub po podaniu sygnału RESET i wykonaniu programu inicjacji;
- po zakończeniu wykonania zadania i skoku do miejsca systemu oznaczonego etykietą KOZAD;
- po zawieszeniu aktualnie wykonywanego zadania w oczekiwaniu na spełnienie konkretnego warunku (np. wprowadzenie danych z urządzenia zewnętrznego, upłynięcie określonego czasu, zaistnienie jakiegos zdarzenia zewnętrznego).

Istnieje także możliwość uruchomienia koordynatora po zakończeniu wykonywania programu obsługi przerwania. Wchodzący w skład systemu monitor przerwań zapewnia zachowanie wszystkich rejestrów aktualnie wykonywanego zadania, uruchomienie właściwego programu obsługi i odtworzenie rejestrów po jego zakończeniu przy wznowianiu zadania. Umiejscowienie programów obsługi przerwań w pamięci jest dowolne, należy tylko wprowadzić do systemu adresy startów tych programów. Użytkownik ma do wyboru dwie możliwości zakończenia programu obsługi przerwania:

- wznowienie programu w miejscu przerwany natychmiast po zakończeniu obsługi przerwania,
- uruchomienie koordynatora po skończonej obsłudze przerwania. Koordynator sprawdza czy w kolejce zadań oczekujących na uruchomienie lub wznowienie znajduje się zadanie o priorytecie wyższym od przerwanoego. Gdy tak jest, to zadanie przerwano jest zawieszane aż do momentu gdy będzie miało najwyższy priorytet spośród zadań oczekujących, a uruchamiane jest zadanie o priorytecie najwyższym z kolejki. W przeciwnym przypadku następuje kontynuacja zadania przerwanoego.

System RTMT dla wykonywania swoich funkcji wykorzystuje kilka przerw. Najważniejsze z nich, to przerwanie zegarowe 1 sek. Wykonywana jest w nim obsługa wszystkich wymaganych przez zadania użytkowe zależności czasowych, wysyłana sekwencja instrukcji kontrolujących magistralę kasety oraz prowadzony zegar czasu astronomicznego. Użytkownik dopisując (w dowolnym miejscu pamięci) dalszy ciąg obsługi tego przerwania może je wykorzystać w swoim oprogramowaniu. Ponadto system obsługuje przerwania od dołączonych urządzeń zewnętrznych oraz, gdy przewidziane jest rezerwowe zasilanie i automatyczny restart oprogramowania, także przerwanie od zaniku zasilania. Podobnie jak w przypadku przerwania zegarowego 1 sek. użytkownik ma możliwość dopisania jego kontynuacji.

Sprzężenie oprogramowania użytkowego z zewnętrznymi urządzeniami peryferyjnymi zostało wykonane w sposób przerywany. Umożliwia to wykonywanie zadań lub pracę koordynatora w trakcie operacji wejścia/wyjścia. Komunikacja oprogramowania użytkowego z urządzeniami zewnętrznymi jest dokonywana za pomocą ekstrakodów lub podprogramów systemowych. Przyjęto zasadę, że w danej chwili urządzenie zewnętrzne może współpracować tylko z jednym zadaniem użytkowym. Jeżeli inne zadania chcą korzystać z urządzenia, które jest już zajęte, ulegają one zawieszeniu. Po zwolnieniu urządzenia zewnętrznego wznawiane jest zadanie o najwyższym priorytecie spośród czekających na dostęp do tego urządzenia. Przydzielenie urządzenia do zadania następuje poprzez pierwsze użycie ekstrakodu lub wywołanie podprogramu obsługującego dany kanał wejścia/wyjścia. Zwolnienie urządzenia ma miejsce po zastosowaniu oddzielnego ekstrakodu lub podprogramu. W przypadku gdy istnieje kilka urządzeń tego samego typu (np. dołączonych do interfejsów V-24) system rozróżnia je poprzez kolejne numery. Jedno z tych urządzeń o numerze 0 przewidziane jest do ewentualnego wykorzystania jako konsola operatora. Możliwe jest wyprowadzanie na nie komunikatów w trybie alarmowym, niezależnie od stanu jego zajętości. Ponadto z urządzeniem tym współpracuje zadanie — program MONITOR OPERATORSKI.

System RTMT posiada mechanizmy warunkowego zawieszania zadań. Warunkiem może być zaistnienie zdarzenia zewnętrznego, wykonanie innego zadania itp. Użytkownik może przy użyciu ekstrakodów systemowych zawiesić wykonywanie bieżącego zadania w oczekiwaniu na spełnienie określonego warunku. Można dwoma sposobami sprawdzić czy dany warunek jest spełniony: przez system lub za pomocą odrębnego programu użytkownika uruchamianego przez koordynator. Liczba warunków obu typów obsługiwanych przez system (maksymalnie po 127) ustalana jest na etapie generacji.

3. Ekstrakody systemowe

Ekstrakody systemowe stanowią narzędzie komunikacji oprogramowania użytkowego z systemem operacyjnym i zewnętrznymi urządzeniami peryferyjnymi. Zrealizowane są one w oparciu o instrukcję mikroprocesora RST 3 (o kodzie heksadecymalnym ODFH). Typ ekstrakodu jest określony przez zawartość bajtu pamięci znajdującego się bezpośrednio za instrukcją RST 3. Kolejne komórki pamięci (od jednej do trzech, zależnie od typu ekstrakodu) zawierają parametry niezbędne do spełnienia przez ekstrakod swojej funkcji. Wszystkie ekstrakody zachowują rejestry i słowo stanu procesora, działają przy włączonych przerwanach. W oprogramowaniu użytkowym jest wygodnie stosować ekstrakody jako makrorozkazy. W tym przypadku makrodefinicja może mieć postać:

```
Nazwa. MACRO P1, P2, P3
        RST    3
        DB    nr      ; typ ekstrakodu
        DB    P1, P2, P3 ; parametry
```

ENDM

Użytkownik może nadawać ekstrakodom swoje nazwy; aby uniknąć niejednoznaczności celowe jest jednak stosowanie nazw przyjętych przez twórców systemu.

Obecnie system wykonuje następujące ekstrakody:

- zgłoś zadanie do wykonania — START. Ekstrakod dopisuje zadanie w miejsce znośne z jego priorytetem do kolejki zadań czekających na uruchomienie. Parametrem jest numer zadania;
- czytaj dane z urządzenia dołączonego przez interfejs V-24 — CZYTD. Ekstrakod powoduje zawieszenie wykonywania zadania aż do odebrania danych z wybranego urządzenia. Parametrami są: numer urządzenia i adres początku bufora, do którego mają być wprowadzane dane;
- pisz dane do urządzenia dołączonego przez interfejs V-24 — PISZD, PISZZ, ALARM. Ekstrakody te inicjują wysyłanie danych z pamięci do wybranego urządzenia. Ekstrakod PISZD po rozpoczęciu transmisji danych (dopisaniu do kolejki tekstów do wyprowadzenia na dane urządzenie) powraca do wykonywania dalszego ciągu zadania. Ekstrakod PISZZ powoduje zawieszenie aktualnie wykonywanego zadania aż do wystania całości danych na wybrane urządzenie, umożliwiając w tym czasie wykonywanie innych zadań. Parametrami obu ekstrakodów są: numer urządzenia i adres początku wysyłanych danych. Ekstrakod ALARM wysyła dane na urządzenie numer 0 niezależnie od tego, przez które zadanie jest ono zajęte, poza kolejką danych zgłoszonych (ekstrakodami PISZD i PISZZ) do wyprowadzenia. Parametrem jest adres początku danych do wyprowadzenia;
- zwolnij urządzenie dołączone przez interfejs V-24 dla innych zadań — ZWOLN. Ekstrakod powoduje zwolnienie zajętości urządzenia przez zadanie, w którym został użyty. Umożliwia to innym zadaniom skorzystanie z tego urządzenia. Parametrem jest numer urządzenia;
zgłoś zadanie do okresowego wykonywania — OKRES. Po wykonaniu tego ekstrakodu wybrane zadanie będzie uruchamiane przez koordynator każdorazowo po upływie zadanego czasu. Parametrami są: numer zadania i okres jego uruchamiania;
- wycofaj zadanie z trybu okresowego uruchamiania — WYOKR. Parametrem jest numer zadania;
zawieś aktualnie wykonywane zadanie na określony czas — ZAWIE. Parametrem jest czas na jaki zadanie ma być zawieszona;
- uruchom zadanie o konkretnej godzinie — URUCH. Ekstrakod ten powoduje, że wybrane zadanie zostanie uruchomione przez koordynator po osiągnięciu przez systemowe liczniki czasu astronomicznego danego stanu. Parametrami są: numer zadania oraz godzina i minuta jego uruchomienia;
- zawieś aktualnie wykonywane zadanie w oczekiwaniu na spełnienie warunku — ZAWWA, ZAWPR. Po użyciu ekstrakodu ZAWWA spełnienie warunku sprawdza koordynator testując stan odpowiednich komórek systemu. Komórki te ustawia w swoim oprogramowaniu użytkownik za pomocą oddzielnych ekstrakodów. Po zawieszeniu wykonywania zadania ekstrakodem ZAWPR sprawdzanie spełnienia warunku dokonywane jest przez specjalny program użytkownika uruchamiany przez koordynator. Program ten musi się kończyć skokiem do określonego miejsca o adresie niezależnym od wersji systemu (podobnie jak w przypadku etykiety KOZAD), z odpowiednio ustawionym bitem wskaźnikowym CY (przeniesienie) procesora sygnalizującym spełnienie warunku. Parametrem dla obu ekstrakodów jest numer warunku;
- zeruj warunek — ZERUJ. Ekstrakod powoduje ustawienie odpowiednich komórek systemowych w stan oznaczający, że warunek nie jest spełniony. Parametrem jest numer warunku;
- ustaw warunek — USTAW. Ekstrakod ustawia odpowiednie komórki systemowe w stan oznaczający spełnienie warunku. Parametrem jest numer warunku;

- czytaj dane z czytnika taśmy papierowej – CZYTC. Działanie ekstrakodu jest analogiczne do ekstrakodu CZYTD. Parametrami są: adres początku bufora, do którego mają być wprowadzane dane oraz liczba znaków jaka ma być wczytana;
- dziurkuj dane na dziurkarcie taśmy paierowej – DZIUR. Ekstrakod działa analogicznie do ekstrakodu PISZZ. Parametrami są: liczba znaków do wydziurkowania i adres początku danych do wprowadzenia;
- zwolnij czytnik (ODLCT) i dziurkarkę (ODLDT) dla innych zadań. Ekstrakody te nie wymagają żadnych parametrów;
- instaluj zadanie w systemie – INSTZ. Ekstrakod ten wpisuje w odpowiednie komórki systemowe adres startu wybranego zadania. Zainstalowanie zadania jest warunkiem jego uruchomienia, dlatego zaleca się instalować zadania w inicjacji oprogramowania użytkowego. Parametrami są: numer zadania i adres startu;
- instaluj w systemie program obsługi przerwania – INSTP. Działanie ekstrakodu jest analogiczne do INSTZ. Parametrami są: numer przerwania i adres początku programu obsługi;
- instaluj w systemie program sprawdzania warunku – INSTW. Ekstrakod ten wpisuje w odpowiednie komórki systemowe adres startu programu uruchamianego przez koordynator po zawieszeniu zadania ekstrakodem ZAWPR. Parametrami są: numer warunku i adres startu programu.

Sprzężenie z pamięcią kasetową jest dokonywane za pomocą dostępnych dla użytkownika podprogramów. Parametry niezbędne do wykonania operacji z pamięcią kasetową przesyłane są poprzez rejestry procesora. Użytkownik otrzymuje (w akumulatorze i w rejestrach wskaźnikowych) informację zwrotną o poprawności wykonania procedury. Opracowane są następujące podprogramy obsługi pamięć kasetową:

- przewiń taśmę do położenia początkowego,
- zapisz blok danych,
- odczytaj blok danych,
- wyszukaj blok danych,
- zwolnij kasetę i udostępniij pamięć dla innych zadań.

4. Program Monitor Operatorski

Program Monitor Operatorski stanowi dodatkowe uzupełnienie systemu RTMT. Program ten jest przeznaczony do przygotowywania i uruchamiania zadań użytkowych, umożliwia także operatorowi komunikację z systemem operacyjnym. Monitor jest podłączony do systemu RTMT jako jedno z zadań. Numer tego zadania oraz umiejscowienie w pamięci (adres startu) określa się na etapie generacji systemu. Program Monitor Operatorski wykorzystuje typowe ekstrakody systemowe; możliwa jest jego praca w czasie rzeczywistym na obiekcie. Ponieważ sterowanie tym programem odbywa się z systemowego urządzenia o numerze 0, by mógł on rozpocząć działanie, urządzenie numer 0 nie może być zajęte przez inne zadania.

Program Monitor wykonuje typowe dla takich programów polecenia operatora dotyczące pamięci: wprowadzanie danych z terminalu i czytnika taśmy papierowej, wyprowadzanie danych na terminal i dziurkarkę, przesuwanie zawartości bloków pamięci i.p. Ponadto Monitor posiada szereg dyrektyw umożliwiających komunikację z systemem operacyjnym. Należą do nich: instalowanie i usuwanie zadań, uruchamianie i zgłaszanie zadań do okresowego wykonywania lub o konkretnej godzinie, ustawianie systemowych liczników czasu astronomicznego, podawanie informacji o aktualnych zadaniach w systemie. Istnieje też dyrektywa uruchamiania programu w trybie jednozadaniowym. Oznacza to, że

dopóki dany program jest aktywny, żadne inne zadania, niezależnie od ich priorytetu, nie zostaną uruchomione przez koordynator. Ten tryb pracy jest przewidziany, między innymi do startu programów testujących. Bardzo pomocny na etapie uruchamiania oprogramowania jest istniejący w Monitorze mechanizm ustawiania pułapki (breakpoint) w zadaniu — programie użytkownika mieszczącym się w pamięci RAM. Operator uzyskuje informację o zawartości wszystkich rejestrów procesora, ma także możliwość wykonywania pętli programowych z utrzymaniem pułapki.

5. Dotychczasowe zastosowania i przewidywane rozszerzenia systemu

System RTMT, oprócz kilku mikrokomputerów laboratoryjnych, znalazł jak dotąd zastosowanie na dwóch obiektach. W pierwszym zawierającym dwa zestawy do przetwarzania danych, system obsługuje 25 zadań użytkowych, 3 urządzenia zewnętrzne o interfejsie V-24, czytnik i dziurkarkę taśmy papierowej oraz pamięć kasetową. W oprogramowaniu użytkowym wykorzystano 5 warunków, w tym 3 sprawdzane przez system. Jeden z interfejsów V-24 służy do komunikacji między zestawami. Wszystkie urządzenia zewnętrzne, w tym pamięć kasetowa, mogą pracować on-line w trakcie programowej obsługi obiektu.

Druga aplikacja ma miejsce w zestawach do pomiaru wolnej długości torów na stacji rozrządowej Lublin - Tatory. System RTMT obsługuje tam 4 zadania użytkowe i jedno urządzenie zewnętrzne dołączone do kanału transmisji na pakiecie jednostki centralnej MM-80. W trakcie normalnej pracy urządzeniem tym jest komputer nadrzędny a podczas testowania zestawu i obiektu — monitor ekranowy.

Te pierwsze aplikacje oraz badania laboratoryjne umożliwiły wyeliminowanie kilku błędów; pozwoliły one także na stwierdzenie pewnych niedogodności w systemie. Przykładem może być brak mechanizmów włączania zadania zawieszonego w oczekiwaniu na dane z urządzenia o interfejsie V-24 (time-out) lub brak ekstrakodu do maskowania przerw obiektowych. Wady te będą usuwane przez twórców systemu.

Przewiduje się w najbliższym czasie rozbudowę systemu o procedury sprzężenia z pamięcią na dyskach elastycznych a także o mechanizm umożliwiający współpracę z kontrolerem komunikacyjnym. Pozwoli to na działanie systemu RTMT w stacjach sieci PROWAY.

Osobnym zagadnieniem jest sprawa generatora systemu. Obecnie poszczególne wersje systemu są tworzone poprzez wspólną kompilację modułów systemu. Jest to sposób bardzo pracochłonny, z możliwością popełnienia błędów i wymagający bardzo dobrej znajomości całego systemu. Dlatego potrzeba opracowania generatora systemu RTMT wydaje się być bezdyskusyjna.