ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1978
Seria: AUTOMATYKA z. 45 Nr kol. 581

Marek Kacprzak
Instytut Maszyn Matematycznych

ZAGADNIENIA PROJEKTOWANIA ALGORYTMÓW STEROWANIA DLA SYSTEMU KOMPUTEROWEJ AUTOMATYZACJI CENTRUM PRODUKCYJNEGO

Streszczenie: Przedstawiono metodę projektowania algorytmów sterowania dla systemu komputerowej automatyzacji centrum produkcyjnego - dyskretnego procesu przemysłowego.

1. Wstęp

Automatyzacja sterowania dowolnego obiektu, przy pomocy sprzętu komputerowego, polega na zaprojektowaniu Systemu Komputerowej Automatyzacji (SKA) złożonego z zestawu sprzętu elektronicznego (uniwersalnego i specjalistycznego) oraz oprogramowania (podstawowego, użytkowego ogólnego i użytkowego specjalistycznego).

SKA umożliwia realizację zadań, składających się na automatyzację procesów takich, jak: przyjmowanie sygnałów informacyjnych o stanie procesu, opracowywanie na ich podstawie i wysyłanie do obiektu odpowiednich sygnałów sterujących.

Projektowanie SKA obejmuje między innymi następujące etapy:

- analizę sterowanego obiektu i sterowanego procesu
- określenie dla SKA zadań i celu sterowania
- określenie struktury funkcjonalnej i sprzętowej SKA
- rozdzielenie zadań sterowania w SKA między sprzęt i oprogramowanie
- rozdzielenie zadań między istniejące oprogramowanie (podstawowe i użytkowe ogólne) a niezbędne do opracowania oprogramowanie użytkowe specjalistyczne.

Podstawą wykonania oprogramowania użytkowego specjalistycznego jest opracowanie odpowiednich algorytmów sterowania. Wiążą się z tym zagadnienia określenia metody projektowania algorytmów sterowania oraz sposobu zapisu tych algorytmów - jednoznacznego i wygodnego dla potrzeb programistów, opracowujących oprogramowanie użytkowe specjalistyczne.

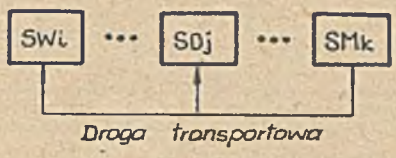
Pojawiają się tu następujące trudności:

- duża ilość zmiennych (sygnałów informacyjnych od obiektu i sygnałów sterujących do obiektu) oraz skomplikowane sposoby ich przetwarzania
- synchronizacja pracy urządzeń pracujących asynchronicznie
- sterowanie urządzeniami pracującymi "równolegle" w czasie
- problem zapisu współbieżnej pracy urządzeń.

W pracy rozpatrzono wymienione zagadnienia na przykładzie automatyzacji Centrum Produkcyjnego - dyskretnego procesu przemysłowego.

2. Automatyzacja centrum produkcyjnego

Typowe Centrum Produkcyjne (CP) w przemyśle maszynowym na strukturę, jak na rys. 1.

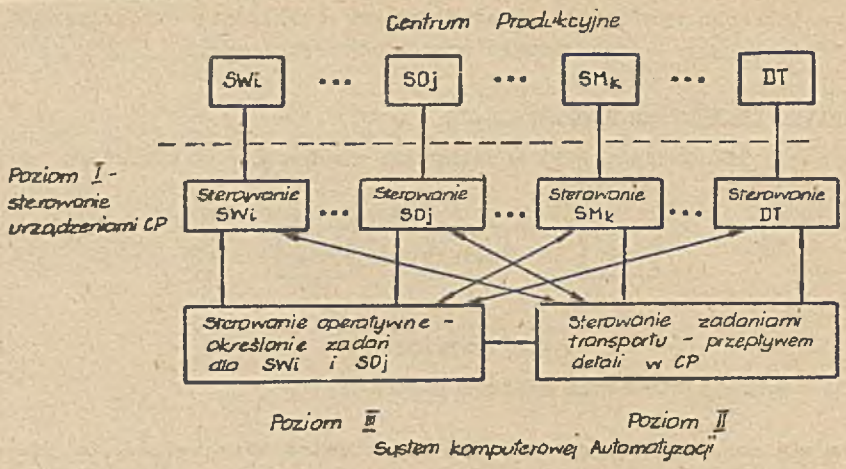


Rys. 1. Struktura centrum produkcyjnego

CP składa się ze: stacji wejściowych i wyjściowych SWi, i=1,...,I
stacji obróbkowych SOj, j=1,...,J
stacji magazynowych SMk, k=1,...,K
połączonych drogą transportową (DT).
W CP obrabiane są zbiory różnych detali.
Każdy detal "wchodzi" jako surowy do centrum przez jedną ze stacji wejściowych, następnie jest obrabiany w kolejnych określonych dla danego detalu stacjach obróbkowych i "wychodzi" jako gotowy z centrum przez jedną ze stacji wyjściowych. Detale (surowe, częściowo obrobione, gotowe) mogą być przechowywane w stacjach magazynowych.
Droga transportowa zapewnia przewożenie detali między stacjami.
Dla każdego detalu znane są czasy obróbki w stacjach obróbkowych i czasy operacji w stacjach wejściowych i wyjściowych. Znane są czasy transportu detali między stacjami.
Na dany okres czasu (zmianę) określony jest zbiór detali do obróbki w CP.
Zadanie i cel sterowania CP polega na:

- określeniu zadań dla stacji SW i SO (kolejności przechodzenia detali przez te stacje) w ten sposób, aby zapewnić minimalizację czasu obróbki zbioru detali w CP (kryterium globalne)
- odpowiednim sterowaniu przepływem detali w CP
- sterowaniu wszystkimi urządzeniami CP.

CP jest obiektem dyskretnym, nie narzucającym krytycznych wymagań na czas reakcji SKA.
Dla potrzeb analizy obiektu i projektowania SKA dokonuje się dekompozycji SKA i obiektu w "poziomie" i w "pionie" [1].
Dla CP wygodnie jest przyjąć strukturę funkcjonalną wielopozicmową, hierarchiczną przedstawioną na rys. 2.
Po dokonaniu takiego podziału obiektu i równocześnie algorytmów sterowania należy określić sposób projektowania i zapisu algorytmów sterowania.
W dalszej części pracy można przyjąć, że algorytmy sterowania są realizowane przez pewne uogólnione automaty skończone.



Rys. 2. Struktura funkcjonalna Systemu Komputerowej Automatyzacji dla Centrum produkcyjnego

3. Automaty i współpraca automatów

3.1. Określenie automatu i jego klas

Definicja 1. Automatem A nazywamy uporządkowaną siódemkę $A=(X,Y,S,\lambda,\mu,\nu,\tau)$, gdzie - X,Y,S skończone, niepuste zbiory: X - sygnałów wejściowych, Y - sygnałów wyjściowych, S - stanów wewnętrznych

- λ,μ,ν,τ przekształcenia jednoznaczne

$\lambda: X\times S \rightarrow S$ - funkcja przejścia

$\mu: X\times S \rightarrow 2^Y$ - funkcja wyjścia

$\nu: X\times S \rightarrow N$ - funkcja numerująca

$\tau: X\times S \rightarrow R_+$ (wraz z zerem) - funkcja czasu reakcji

(symbol 2^Y oznacza rodzinę wszystkich podzbiorów zbioru Y).

Jeżeli automat A w stanie $s\in S$ otrzyma sygnały wejściowe $x_1,\ldots,x_k\in X$, wówczas

- automat wybierze do realizacji ten sygnał x_i /$1\leq i\leq k$/, dla którego funkcja numerująca $\nu(x_i,s)$ ma wartość najmniejszą
- realizując wybrany sygnał wejściowy x_i, automat po czasie $\tau(x_i,s)$ przejdzie do stanu $\lambda(x_i,s)=s'\in S$ i wyśle sygnały wyjściowe $\mu(x_i,s)=Y'\subset Y$.

Podana definicja automatu A jest rozszerzeniem pojęcia automatu sekwencyjnego (Mealy'ego), skończonego, zdeterminowanego [2],[3].

Wprowadzamy dodatkowe założenia dotyczące automatu A:

a/ w chwilach zmiany stanu (ze stanu s na stan s') stan automatu jest nieokreślony,

b/ powstanie nowego stanu s' i wysłanie sygnałów wyjściowych Y' następują równocześnie,

c/ sygnały wejściowe przychodzą do automatu asynchronicznie,

d/ wszystkie sygnały wejściowe przychodzące do automatu są pamiętane,

e/ automat realizuje dany sygnał wejściowy x_i jeżeli stan s automatu jest określony i jeżeli dla danej pary (x_i, s) określone są funkcje przejścia i wyjścia.

Automat A opisuje się przy pomocy tzw. tablicy automatu TA, w której dla danych par (x, s) podane są czwórki $(\lambda(x,s), \mu(x,s), \nu(x,s), \tau(x,s))$.

Definicja 2. Automatem klasy A^p nazywamy automat A:

$$\bigvee_{(x,s),\, x\in X,\, s\in S} \tau(x,s) \neq 0.$$

Definicja 3. Automatem klasy A^s nazywamy automat A:

$$\bigwedge_{(x,s),\, x\in X,\, s\in S} \tau(x,s) = 0.$$

Wprowadzone automaty klasy A^p i A^s umożliwiają sformalizowany opis zarówno procesu jak i algorytmów sterowania procesem.

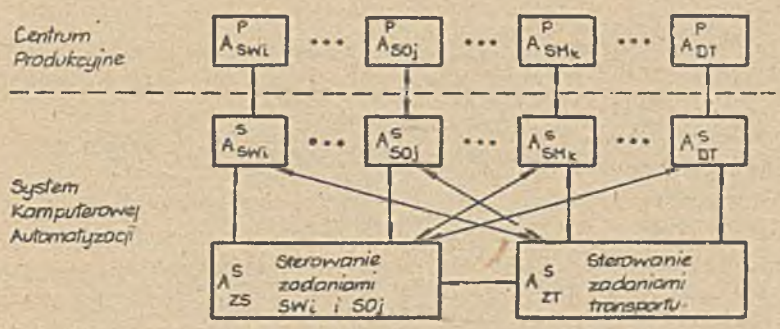
Na przykład sterując pewnym urządzeniem - stacją Si można opisać:

przy pomocy automatu A^p_{Si} - proces zachodzący w stacji Si

przy pomocy automatu A^s_{Si} - algorytm sterowania procesem w stacji Si.

Tak więc zarówno sterowany proces, jak i algorytmy sterowania procesem można traktować jako zbiór wzajemnie powiązanych automatów.

Przykład wprowadzenia automatów i ich wzajemnych powiązań dla CP podany jest na rys. 3.

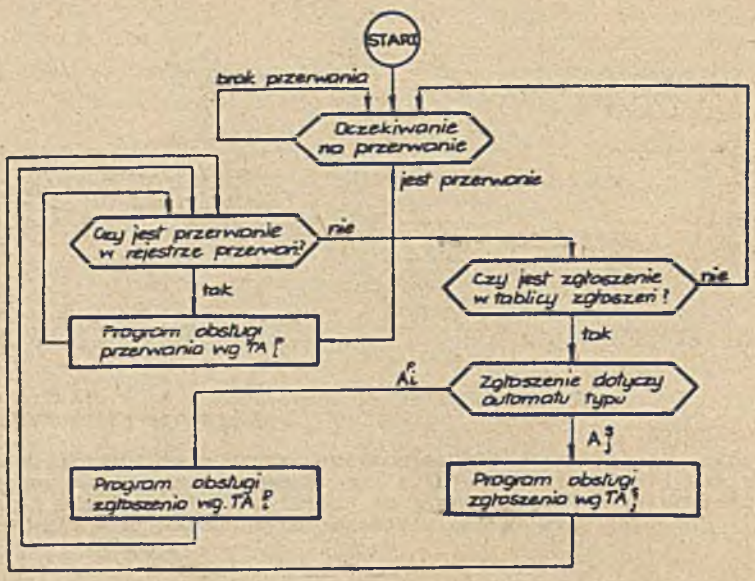


Rys. 3. Zbiór automatów Systemu Komputerowej Automatyzacji dla centrum produkcyjnego

3.2. Sposób współpracy automatów

Sygnały wyjściowe pewnego automatu są sygnałami wejściowymi innych automatów, reprezentując powiązania wzajemne algorytmów sterowania, a także współpracę obiektu z SKA.

Współpraca automatów odbywa się za pośrednictwem tzw. tablicy zgłoszeń TZ. Sposób działania programu sterującego, który umożliwia współpracę automatów, przedstawiony jest na rys. 4.



Rys. 4. Działanie programu sterującego

Program sterujący analizuje TZ.
Wykrycie w TZ zgłoszenia, które jest sygnałem wyjściowym pewnego automatu klasy A^s lub A^p, a jednocześnie sygnałem wejściowym dla innego automatu A^s_j lub A^p_i, powoduje wykonanie programu obsługi zgłoszenia

- dla automatu A^s_j realizowany jest algorytm sterowania określony tablicą TA^s_j, tzn.:
  wybranie sygnału wejściowego dla A^s_j (wg ν),
  ustawienie nowego stanu A^s_j (wg λ),
  wysłanie sygnałów wyjściowych A^s_j (wg μ) - zapisanie odpowiednich zgłoszeń do TZ
- dla automatu A^p_i następuje:
  wybranie na podstawie tablicy TA^p_i sygnału wejściowego dla A^p_i (wg ν),
  wysłanie go (jako sygnału sterującego) do obiektu.

Po czasie określonym przez τ obiekt wysyła (wg μ) sygnały wyjściowe (informacyjne) do rejestru przerwań.
Program sterujący analizuje rejestr przerwań.
Wykrycie przerwań - sygnałów wyjściowych A^p_i powoduje:
zapisanie tych sygnałów jako odpowiednich zgłoszeń do TZ,
ustawienie nowego stanu A^p_i (wg λ).
Ponadto zakładamy:

- w czasie wykonywania programów obsługi przerwań i programów obsługi zgłoszeń przerwania zewnętrzne są maskowane,
- dla TZ określony jest regulamin kolejności obsługi zgłoszeń,
- TZ umożliwia: zapamiętywanie zgłoszeń chwilowo nierealizowalnych, oczekiwania na określone zgłoszenia, zerowanie zgłoszeń zrealizowanych

4. Metodyka projektowania algorytmów sterowania

Wprowadzone w punkcie 3 pojęcia automatów klas A^p i A^s, określony sposób współpracy automatów oraz przyjęcie, że proces jest opisany przez automaty klasy A^p, a algorytmy sterowania procesem są opisane przez automaty klasy A^s, umożliwiają zaproponowanie jednolitej metody projektowania algorytmów sterowania.
Projektowanie algorytmów sterowania sprowadzamy do projektowania odpowiadających im automatów.
Można wyróżnić 2 etapy projektowania automatów.

4.1. Etap opisu zbioru automatów

a. Projektowanie automatów klasy A^p polega na przyjęciu odpowiedniego zbioru S i określeniu stanów początkowych i końcowych, gdyż zbiory X,Y oraz f-cje λ, μ, ν, τ są narzucone przez proces.

b. Projektowanie automatów klasy A^s, dla wszystkich poziomów sterowania, polega na określeniu zbiorów S,X,Y, stanów początkowych i końcowych oraz f-cji λ, μ, ν.
Dla każdego projektowanego automatu należy ustalić kryterium lokalne projektowania, wynikające z kryterium globalnego.
Wygodnie jest projektować automaty A^s dla kolejnych poziomów sterowania, poczynając od poziomu I.

c. Umieszczenie wszystkich sygnałów wejściowych wszystkich automatów w dowolnej kolejności w TZ.

W wyniku opisanego postępowania otrzymujemy zdefiniowany (przez tablice TA) zbiór automatów A^p i A^s oraz tablicę TZ.

4.2. Etap minimalizacji zbioru automatów

a. Minimalizacja poszczególnych automatów (zmniejszenie zbiorów S,X,Y) w trakcie analizy współdziałania automatów.

b. Usuwanie zbędnych zgłoszeń z TZ.

c. Określenie postaci zgłoszeń w TZ, umożliwiającej zapamiętywanie chwilowo nierealizowalnych zgłoszeń, oczekiwanie na określone zgłoszenia, zerowanie zgłoszeń zrealizowanych.

d. Określenie regulaminu kolejności obsługi zgłoszeń w TZ.

e. Dostosowanie zapisu automatów i TZ do możliwości realizacji na danym sprzęcie komputerowym.

W wyniku opisanego postępowania otrzymujemy zminimalizowany zbiór automatów i niezbędną dla ich obsługi TZ.

5. Wnioski

Przedstawiona w pracy metoda projektowania algorytmów sterowania była stosowana przy opracowywaniu algorytmów sterowania dla Systemu Komputerowego Sterowania (SKSC-1) Centrum Produkcyjnego CP KOR-1.
Struktura CP KOR-1 jest przedstawiona na rys. 1 (I=2, J=5, K=10).

Sprzęt wchodzący w skład SKSC-1 zawiera: połączone ze sobą minikomputery MERA 306 i MERA 302 z pamięcią dyskową oraz sprzęt specjalistyczny, umożliwiający wysyłanie do obiektu sygnałów sterujących i przyjmowanie od obiektu sygnałów informacyjnych.

Sposób współpracy poziomu I z poziomem II rozwiązano w oparciu o wysyłanie żądań od stacji do transportu i sygnału od transportu do stacji o wykonaniu tego żądania.

Algorytm sterowania transportem (poziom II) zapewnia "elastyczne" powiązanie i obsługiwanie stacji na podstawie zgłaszanych żądań.
Kryterium stosowanym przy opracowaniu tego algorytmu był minimalny czas oczekiwania stacji wysyłającej żądanie na realizację tego żądania przez transport.
Algorytm sterowania drogą transportową nie polega na rozwiązywaniu zagadnienia transportowego, lecz realizuje żądania ze stacji, w zależności od stanu CP i priorytetów żądań.

Algorytm sterowania zadaniami stacji CP (poziom III) przy przyjętym kryterium minimalizacji czasu obróbki zbioru detali przeznaczonych na daną zmianę wymaga określenia sposobu układania harmonogramów pracy stacji na daną zmianę. Duża wymiarowość i skomplikowanie tego zagadnienia uniemożliwiają jego rozwiązanie na stosowanym w SKSC-1 sprzęcie minikomputerowym.
W związku z tym zadania na daną zmianę dla stacji obróbkowych są układane przez zewnętrzną maszynę cyfrową. Zadania dla stacji wejściowych i wyjściowych są ustalane "na bieżąco" przez SKSC-1 na podstawie zadań dla stacji obróbkowych oraz aktualnego stanu wszystkich stacji CP.

Doświadczenia wykazały, że:
- przyjęta metoda projektowania algorytmów sterowania umożliwia uzyskanie poprawnych rezultatów
- sformalizowany sposób zapisu algorytmów sterowania jest wygodny dla programistów, opracowujących oprogramowanie użytkowe specjalistyczne.

Prowadzone są dalsze prace dotyczące opisanej metody projektowania algorytmów sterowania.

LITERATURA

1 Niederliński A.: Systemy cyfrowe automatyki przemysłowej tom 1 i 2, WNT, Warszawa 1977.
2 Wawiłow E.N., Portnoj G.P.: Synteza układów elektronicznych maszyn cyfrowych, WNT, Warszawa 1967.
3 Winkowski J.: Programowanie symulacji procesów, WNT, Warszawa 1974.

ВОПРОСЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦЕНТРА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Р е з ю м е

В работе предлагается метод конструирования алгоритмов управления для системы автоматизации производственного центра с применением электронной вычислительной машины, как дискретного производственного процесса.

PROBLEMS OF CONTROL ALGORITHMS DESIGN FOR THE PRODUCTION CENTER COMPUTER SYSTEM

S u m m a r y

The paper presents a method that may be used for design of the Production Center computer system - in case of discrete industrial processes.