

Jacek Duda  
Politechnika Śląska

## PRZEMONT - SYSTEM OPTIMALNEGO PRZYDZIAŁU ZADAŃ DLA MONTERÓW NA LINII MONTAŻOWEJ

**Streszczenie.** Referat przedstawia algorytm optymalnego przydziału zadań dla monterów, uwzględniający wszystkie dopuszczalne sekwencje operacji. W referacie podano również uwagi o wdrażaniu systemu.

### 1. Wstęp

Od roku 1976 trwa współpraca FSM Bielsko - Biała z Instytutem Automatyki Politechniki Śląskiej. W ramach tej współpracy rozwiązywane są problemy sterowania i harmonogramowania dyskretnych procesów przemysłowych na przykładzie linii montażowych, krajalni, tłoczni i kuźni. Do chwili obecnej wdrożono system SIIMONT sterowania linią montażową silnika samochodu polski Fiat 126p. Obecnie trwają prace przy wdrażaniu systemów OPHART /dla tłoczni/ oraz PRZEMONT - którego celem jest maksymalizacja wydajności linii montażowej przekładni, poprzez zapewnienie optymalnego przydziału zadań dla monterów.

### 2. Opis montażu taśmowego

Taśmowe procesy montażu są powszechnie stosowane w przemyśle. Bardzo ogólnie można taki proces opisać następująco. Przedmioty montowane posuwają się na taśmie montażowej /mogą to być zawieszki lub transporter/, a monterzy stoją obok i wykonują te same czynności przy każdym z przedmiotów. Najczęstszym kryterium jakości procesu w przemyśle jest wydajność. Wydajność dla procesu montażu taśmowego zależy wprost proporcjonalnie od prędkości linii montażowej, a ta zależy od liczby monterów. Lecz dla tej samej liczby monterów można uzyskać różne prędkości taśmy. Prędkość ta zależy od maksymalnej sumy czasów operacji, przydzielonych dla jednego montera. Dla danej liczby monterów istnieje zawsze jakiś przydział operacji, który pozwala na uzyskanie maksymalnej prędkości linii. Zadanie znalezienia tego przydziału nie jest proste, zważywszy wielką liczbę dopuszczalnych kolejności operacji, różne przygotowanie poszczególnych monterów oraz zmieniającą się z dnia na dzień absencję.

### 3. Opis procesu na linii montażowej skrzynki biegów

Opisywana linia montażowa znajduje się na Wydziale Mechanizmów FSM w Bielsku. Równolegle z montażem skrzynki biegów, odbywa się w innej części hali montaż silnika. Gotowe skrzynki biegów łączy się z silnikami, a następnie kieruje się do montażu głównego. Linia montażu przekładni jest linią krótką, o kształcie zamkniętym. Pierwszy monter zakłada na kolejnych zawieszkach obudowy przekładni. Liczba operacji wynosi 62. Liczba monterów zmienia się w granicach od 15 do 22.

Montaż odbywa się w kolejności wynikającej z technologii. Ograniczenia technologiczne dopuszczają większą liczbę kolejności operacji w montażu /tzw. struktur montażu/, przy czym większość z tych struktur nie jest znana nawet dyspozytorom linii. Dyspozytorzy dokładnie opracowali dwie struktury dla dwu różnych liczb monterów.

Ograniczenia kolejnościowe wynikają, poza technologią, z lokalizacji koszy z narzędziami i lokalizacji narzędzi. Detale do montażu dowożone są w dużych koszach i składane są z tyłu stanowiska /za plecami montera/. Zmiana struktury montażu spowodować może konieczność przeniesienia koszy, co nie zawsze jest możliwe z powodu braku miejsca.

Niektóre operacje wymagają wykorzystania narzędzi tzw. "momentów" do przykręcania śrub. Są to narzędzia pneumatyczne, podłączone do przewodów ze sprężonym powietrzem za pomocą giętkich rurek gumowych o długości ok. 8 m. Długość rurki określa zakres, w którym musi być wykonywana dana operacja.

Obserwując proces montażu, można zauważyć dwie sytuacje, gdzie nie jest zachowane założenie, że monter wykonuje pewne operacje przy wszystkich obiektach montażu.

W pierwszym przypadku /operacje związane z montażem piasty/ dwu monterów wykonuje kilka operacji na co drugiej skrzynce biegów każdy. Jest to wywołane przepisami, które postanawiają osoblistą odpowiedzialność monterów za zmontowaną piastę.

W drugim przypadku /montaż osłon/ dwu monterów wykonuje te same operacje wspólnie. Spowodowane to zostało nieprawidłowym określeniem operacji przez normistów. Każdą operację można podzielić na czynności, które w omawianym przypadku nie mogą być wykonywane przez tego samego montera /osłonę prawą i lewą trzeba zakładać z prawej i lewej strony taśmy/.

### 4. Cel systemu PRZEMONT

Celem systemu PRZEMONT jest pomoc dyspozytorowi linii montażowej w sterowaniu jej pracą. Wielkością zakłócającą dla dyspozytora jest liczba monterów, przybyłych na daną zmianę. Dodatkowym utrudnieniem jest to, że każdy

z nich ma inny zakres operacji, do wykonania których jest uprawniony.

Dyspozytor musi tak dokonać przydziału operacji na stanowiska /1.stanowisk = 1.monterów/ i ludzi na stanowiska, by uzyskać maksymalną prędkość linii, gdy dana jest liczba stanowisk N. Odpowiada to minimalizacji wskaźnika  $q/wz.1/$ , dla danego N, tak, by  $q \geq 0$ .

$$q = \sum_{i=1}^N \left( t_c - \sum_{j=1}^{m(i)} t_{ij} \right) \quad /1/$$

gdzie:  $t_c$  - czas cyklu, tzn. czas, co jaki z linii schodzi gotowy produkt,

$t_{ij}$  - normatywny czas j-tej operacji przydzielonej na i-te stanowisko,

$m(i)$  - liczba operacji przydzielonych na i-te stanowisko.

Wskaźnik  $q$  jest sumą nieprzydzielonego czasu pracy stanowisk. Takie określenie wskaźnika spowodowane jest sytuacją w FSM, gdzie występują braki w obsadzie monterów.

## 5. Koncepcja wykorzystania systemu PRZEMONT

System PRZEMONT składa się z dwu części:

- przydziału operacji na stanowiska
- przydziału monterów na stanowiska.

Wynikiem części pierwszej jest zbiór tabel, podających, które operacje wykonywane są na kolejnych stanowiskach. Tabele te opracowane są dla różnych liczb stanowisk, zmieniających się w zadanych granicach.

Tabele przydziału zachowują swą ważność przez dłuższy okres czasu /do zmiany technologii/, więc w stosunku do programu generującego tablice nie ma wymagań dotyczących czasu obliczeń.

W przypadku, gdyby wszyscy monterzy byli przygotowani do wykonywania wszystkich operacji, wynik w postaci tabel byłby wystarczający. Na początku każdej zmiany dyspozytor musiałby tylko wyszukać tabelę dla danej liczby monterów i odpowiednio przydzielić operacje.

Ze względu na różny stopień kwalifikacji, system musiał zostać rozbudowany. Algorytm drugiej części systemu bazuje na następujących danych: wyniki pierwszej części systemu w postaci tabel przydziału zadań oraz dane dotyczące poszczególnych monterów. Dane monterów określają ich kwalifikacje albo w postaci "0" - "1" /umie lub nie umie danej operacji/, albo w postaci czasów wykonywania przez danego monterą kolejnych operacji, w stosunku do normatywnych czasów tych operacji. Dane dotyczące monterów wyszukiwane są w bazie danych na podstawie wczytanych przez dyspozytora numerów ewidencyjnych.

Algorytm realizujący część pierwszą systemu oparty został na algorytmie Christowej [1], a dla drugiej części, na algorytmie Kbniga - Egervary'ego [2]. Dalszy ciąg referatu dotyczyć będzie tylko części pierwszej systemu.

## 6. Opis algorytmu generowania tablic przydziału

Algorytm optymalnego przydziału operacji na stanowiska/Christowej/bazuje na danym czasie cyklu. Ponieważ w systemie PRZEMONT trzeba uzyskać przydziały operacji dla różnych liczb monterów, algorytm Christowej musi być wykonany wielokrotnie. Jako dane przyjmuje się: minimalną i maksymalną wartość czasu cyklu oraz zmianę  $\Delta t_c$  wartości czasu cyklu.

W pierwszym kroku obliczeń wyznacza się liczbę monterów oraz przydział operacji na stanowiska dla minimalnej wartości czasu cyklu. Otrzymane wyniki zapisuje się w pamięci maszyny cyfrowej. W następnych cyklach obliczeń zmienia się czas cyklu o  $\Delta t_c$  i sprawdza się, czy liczba monterów uległa zmianie. Jeżeli nie, to powyższe wyniki są nieprzydatne. Jeżeli natomiast liczba monterów zwiększyła się, otrzymuje się tabelę przydziałów dla kolejnej liczby monterów i wyniki zapisuje się w pamięci. Opisane cykle obliczeń powtarza się, aż do osiągnięcia zadanej górnej wartości czasu cyklu.

Omówiony teraz zostanie algorytm Christowej, dla pewnego danego czasu cyklu.

Dane są:

- wektor czasów operacji

$$\underline{T} = [t_i] \quad i = 1 \dots N \quad /2/$$

gdzie:  $t_i$  - czas i-tej operacji,

$N$  - liczba operacji;

- wektor kodów operacji

$$\underline{K} = [k_i] \quad i = 1 \dots N \quad /3/$$

gdzie:  $k_i$  - numer kodowy i-tej operacji,

- macierz bezpośrednich poprzedników

$$\Gamma = [\gamma_{ij}] \quad i, j = 1 \dots N \quad /4/$$

Gdy  $\gamma_{ij} = 1$ , to operacja i-ta jest bezpośrednim poprzednikiem operacji j-tej, co oznacza, że warunkiem koniecznym wykonania operacji j-tej jest wykonanie operacji i-tej.

W omawianym algorytmie istotną rolę odgrywa pojęcie luzu, zdefiniowanego wzorem /5/

$$f = n \cdot t_c - \sum_{i=1}^N t_i \quad /5/$$

gdzie:  $t_c$  - czas cyklu,  
 $n$  - szacowana liczba monterów,  
 $t_i$  - czas  $i$ -tej operacji.

Liczbę monterów  $n$  szacować można różnymi sposobami. W algorytmie przyjęto regułę:

$$n = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{t_c} + 1 \right] \quad /6/$$

gdzie:  $[\cdot]$  - część całkowita wyrażenia w nawiasie kwadratowym.

Dla każdego stanowiska musi być spełniony warunek:

$$t_c - \delta_{i-1} \leq \sum_{j=1}^{J(i)} t_j \leq t_c \quad /7/$$

gdzie:  $J(i)$  - liczba operacji przydzielonych na stanowisko nr  $i$ ,  
 $t_c$  - czas cyklu,  
 $\delta_{i-1}$  - luz, jaki pozostał po przydzieleniu operacji na  $i-1$  stanowisko.

Luz początkowy określa się ze wzoru /5/.

Następnie luz modyfikowany jest następująco:

$$\delta_i = \delta_{i-1} - \left( t_c - \sum_{j=1}^{J(i-1)} t_j \right) \quad /8/$$

Jeżeli na pierwsze  $n$  stanowisk /gdzie  $n$  - szacowana l.monterów/ nie przydzielono wszystkich operacji, lub gdy po przydzieleniu operacji na pewne  $i$ -te stanowisko luz stał się ujemny, zwiększa się szacowaną liczbę monterów o 1 i powtarza się przydział operacji od początku.

Poważnym problemem jest generowanie wszystkich dopuszczalnych struktur /kolejności operacji/ na  $i$ -te stanowisko. Podstawą generowania jest macierz  $\Gamma$  /4/.

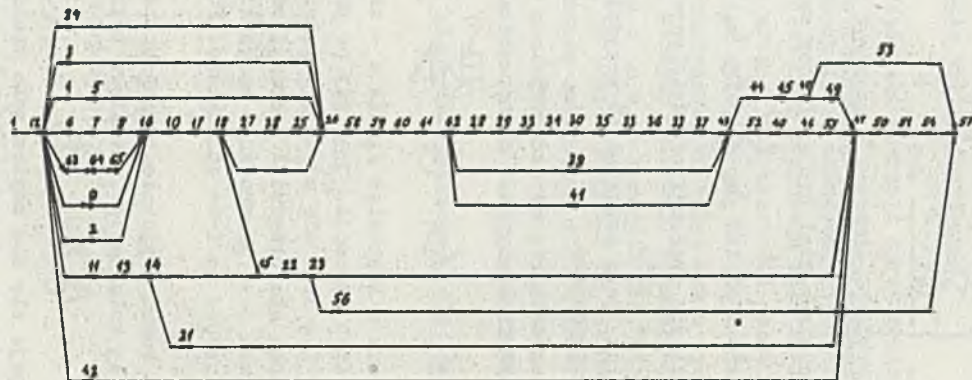
Aby znaleźć technologicznie pierwszą operację, szuka się takiej operacji  $j$ , dla której kolumna  $\gamma_{ij}$  zawiera tylko zera, co można zapisać

$$\bigwedge_i \gamma_{ij} = 0 \quad /9/$$

Podobnie postępuje się dla znalezienia operacji, które mogą być przydzielone na  $i+1$  stanowisko. Po wykreśleniu z macierzy  $\Gamma$  wierszy  $i$  kolumn odpowiadających operacjom już przydzielonym, poszukuje się kolumn spełniających /9/. Jeżeli liczba takich kolumn wynosi  $m > 1$ , to generuje się  $2^m - 1$  sekwencji operacji.

Każda wygenerowana sekwencja operacji, dla której zachodzi:

$$\sum_{j=1}^{n(x)} t_j \leq t_c \quad /10/$$



Rys. 1. Sieć ograniczeń kolejnościowych dla kompleksu operacji montażu przekładni na linii montażowej. Kółka z liczbami oznaczają operacje i ich numery. Numerem operacji przypisane są numery kodowe i czasy tych operacji. Sens połączeń między operacjami wyjaśnia rys. 2

gdzie:  $n(r)$  - liczba operacji w  $r$ -tej wygenerowanej sekwencji operacji, jest podstawą do dalszego generowania sekwencji operacji.

Dla każdej wygenerowanej sekwencji oblicza się sumę czasów operacji i jeżeli spełniony jest warunek //7// zapisuje się daną sekwencję do pamięci maszyny cyfrowej. Po wygenerowaniu, dla  $i$ -tego stanowiska, wszystkich sekwencji operacji spełniających warunek //7//, wyszukuje się sekwencję, dla której zachodzi:

$$\sum_{j=1}^{n(r)} t_j = \max_{1 \leq i \leq 2^m - 1} \left( \sum_{j=1}^{n(r)} t_{i,j} \right) \quad //11//$$

Otrzymaną sekwencję operacji przydziela się na  $i$ -te stanowisko.

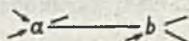
## 7. Problemy występujące przy wdrażaniu systemu

Stworzenie optymalnego algorytmu, nie wymagającego zbyt dużego zakresu pamięci, jest dopiero wstępem do wdrażania systemu. Do wykonania pozostaje zebranie danych, testowanie i uruchamianie systemu - prace niezwykłe uciążliwe i czasochłonne. W referacie wspomniane zostaną problemy związane ze zbieraniem danych, testowaniem programu oraz z koniecznym zakresem pamięci.

Źródłem danych dla PRZEMONTU była dokumentacja technologiczna, podająca normatywne czasy wszystkich operacji. Trudniej było zbudować sieć poprzedników lub odpowiadającą jej macierz  $\Gamma$ . Sieć taka powstała w wyniku rozmów i wypytywania dyspozytorów i monterów, przy uwzględnieniu ograniczeń wynikających z dostaw detali i zakresu narzędzi.

Sieć poprzedników dla PRZEMONTU podano na rys. 1 /liczba operacji wynosi 65/. Pojedyncze połączenie odpowiada jedynie w macierzy  $\Gamma$ .

Tak więc operacja b z rysunku 2 musi być poprzedzona przez operację a, przy czym między operacje a i b mogą być wprowadzone inne operacje:



Rys. 2. Fragment sieci ograniczeń kolejnościowych kompleksu operacji

Problemy związane z testowaniem skomplikowanych programów znane są wszystkim, którzy uruchamiali takie programy na maszynach cyfrowych. W literaturze [3] znaleźć można uwagę o "trudnościach - dla większości ludzi nawet zaskakujących, trudnościach - usuwania wszelkiego rodzaju pomyłek przy opracowywaniu programów".

Programy dla systemu PRZEMONT były uruchamiane na komputerze w FSM, co powodowało konieczność uciążliwych dojazdów oraz było przyczyną niskiej częstości testowych uruchomień programów.

Kolejne trudności związane są z zakresem pamięci koniecznym dla uruchomienia systemu. Przy układaniu algorytmu można szacować zapotrzebowanie na pamięć operacyjną, nie można nigdy być pewnym, czy program nie przekroczy tego zakresu.

Maszyna cyfrowa IBM360 w FSM jest maszyną wieloprogramową ze wsadową organizacją przetwarzania. Priorytet przypisywany poszczególnym programom jest odwrotnie proporcjonalny do zajętości pamięci. Z powodu korzystania z tablic o dużych wymiarach program PRZEMONT otrzymywał niski priorytet. Powodowało to konieczność długiego oczekiwania przez program na dostęp do centralnego procesora oraz wielokrotne przerywanie obliczeń przez programy o wyższym priorytecie. Zdarzały się również przypadki przerywania obliczeń przez obsługę maszyny cyfrowej, "nie przyzwyczajoną" do programów o tak długim czasie oczekiwania na wynik.

#### 8. Uwagi końcowe

Zastosowanie naukowych metod sterowania dyskretnych procesów przemysłowych z wykorzystaniem elektronicznej techniki obliczeniowej pozwala na zwiększenie wydajności bez dodatkowych inwestycji. Wdrożenie systemu SILMONT przyniosło poważne efekty ekonomiczne. Dla systemu PRZEMONT, obecnie wdrażanego, trudno już teraz mówić o efektach, lecz zastąpienie intuicyjnych decyzji dyspozytorskich przez decyzje optymalne powinno przynieść znaczne korzyści.

#### LITERATURA

- [1] Christowa N.P.: Synchronizacja sborocznego processa - sb: Primienie matematiki w ekonomiki - Izd. L.G.U. nr 8 - 1973.
- [2] Pawlik S., Marecki P.: Algorytm rozdziału i obsługi zadań na linii montażowej - Z.N.Pol.Śl. - Automatyka z. 44, Gliwice 1978.
- [3] Naur P.: Zarys metod informatyki. WNT, Warszawa 1979.

#### PRZEMONT СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАЧ ДЛЯ МОНТЕРОВ СБОРОЧНОЙ ЛИНИИ

#### Р е з ю м е

В докладе представлено алгоритм оптимального распределения операции на стоянке монтажа сборочной линии, которые учитывает все возможные последовательности операций. Доклад содержит также замечания по поводу внедрения системы.



**PRZEMONT - A SYSTEM OF OPTIMUM DESIGNING TASKS FOR ASSEMBLERS IN  
ASSEMBLY - LINE****S u m m a r y**

The optimum algorithm of tasks' designing into assembly station is presented in the paper. This algorithm takes into consideration all admissible assembly structures. Problems connected with the implementation of the system are being discussed.