

Redaktorzy:

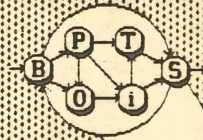
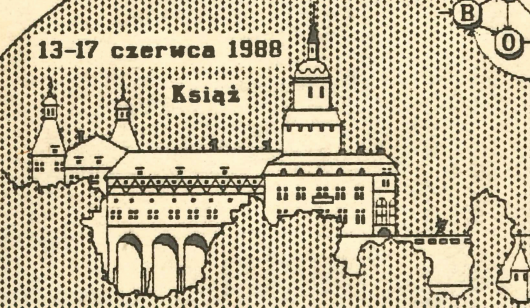
A. Straszak

Z. Nahorski

J. Sikorski

13-17 czerwca 1988

Książ



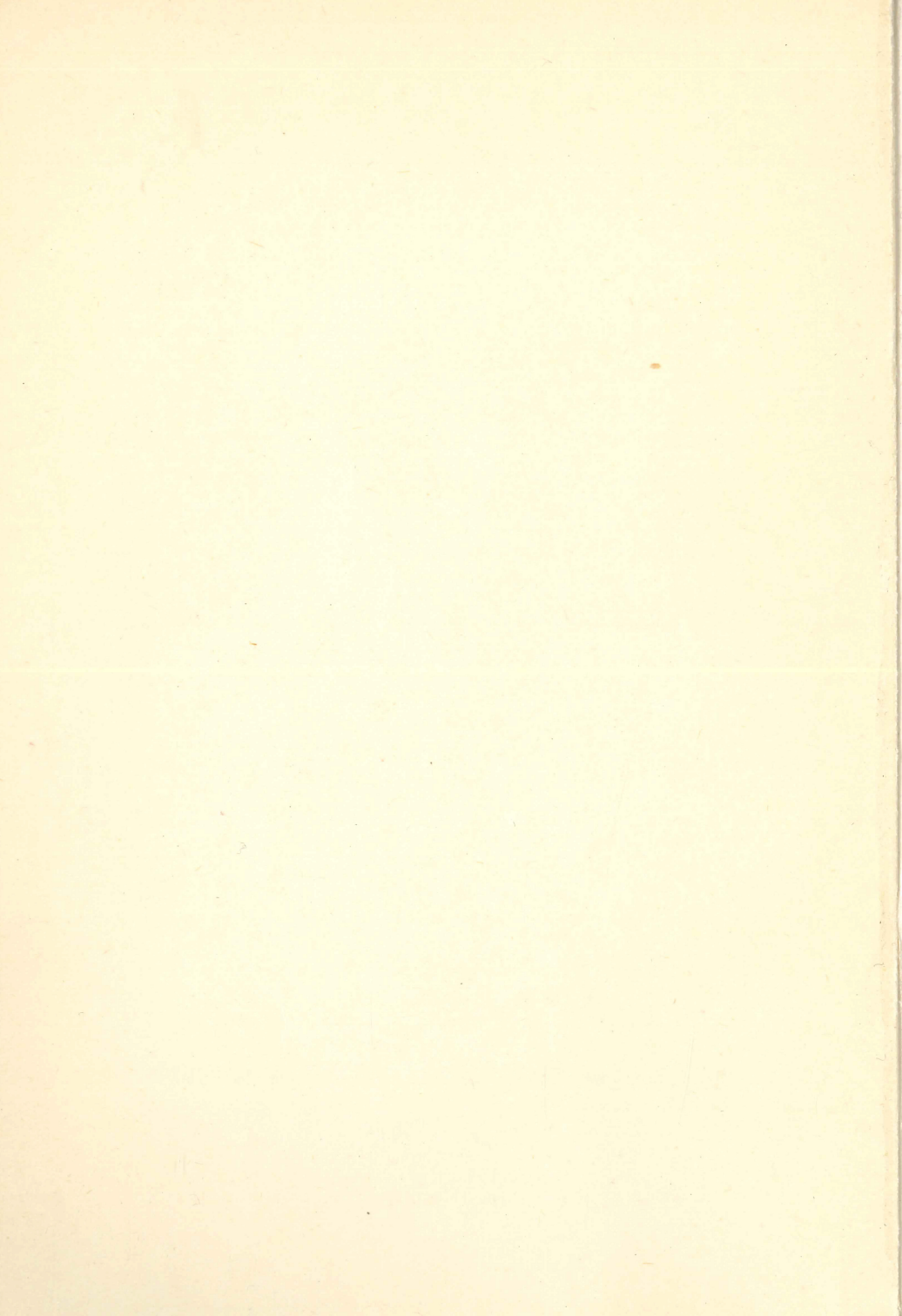
1. Krajowa Konferencja Badań Operacyjnych i Systemowych

Tom 1

BOS'88

POLSKIE TOWARZYSTWO BADAŃ
OPERACYJNYCH I SYSTEMOWYCH

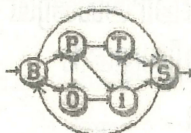
INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH
POLSKIEJ AKADEMII NAUK



POLSKIE TOWARZYSTWO BADAŃ OPERACYJNYCH I SYSTEMOWYCH

Tom 1

**OPTYMALIZACJA
METODY I ZASTOSOWANIA**



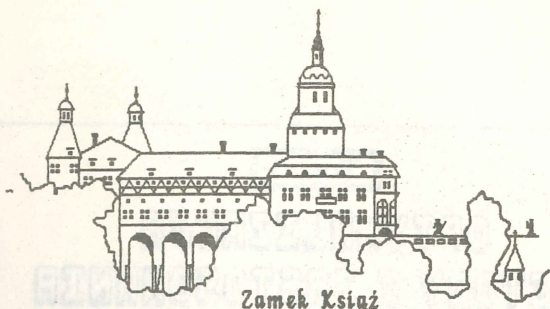
**I KRAJOWA KONFERENCJA
BADAŃ
OPERACYJNYCH
i
SYSTEMOWYCH**

Książ. 13 - 17 czerwca 1988

BOS'88

INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH POLSKIEJ AKADEMII NAUK

**1989
WARSZAWA**



I Krajowa Konferencja Badań Operacyjnych i Systemowych

Organizator konferencji

Polskie Towarzystwo Badań Operacyjnych i Systemowych
przy współpracy
Instytutu Badań Systemowych PAN

Komitet naukowy konferencji

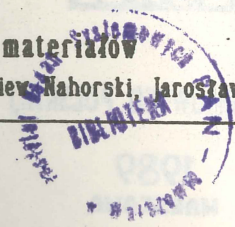
Jerzy Hołubiec, Andrzej Kałuszko, Jerzy Kisielnicki, Henryk Kowalowski,
Roman Kulikowski, Franciszek Marecki, Zbigniew Nahorski,
Stanisław Piasecki, Jarosław Sikorski, Jan Stachowicz, Jan Stasiński,
Andrzej Straszak, Maciej Sysło, Władysław Świtalski

Redaktorzy naukowcy materiałów

Andrzej Straszak, Zbigniew Nahorski, Jarosław Sikorski

9.1

N.173



ZPZC

Bibli. podrecznica

41278/I

2. Problemy optymalizacji i algorytmy ich rozwiązywania

ZAGADNIENIA OPTIMALIZACJI KOMBINATORYCZNEJ W ELASTYCZNYCH I ZINTEGROWANYCH KOMPUTEROWYCH SYSTEMACH PRODUKCJI *

Leon Słomiński

Instytut Badań Systemowych PAN
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa

Dokonano przeglądu najważniejszych cech elastycznych systemów produkcji (ESP) i zintegrowanych komputerowych systemów produkcji (ZKSP) z punktu widzenia tych elementów, które można uznać za najbardziej chłonne na wykorzystanie modeli, metod i algorytmów optymalizacji dyskretnej. Okazuje się, że szczególną rolę mogą odgrywać modele optymalizacji dyskretnej w: przygotowaniu ogólnego projektu rozmieszczenia elementów systemu, analizie przepływu strumieni materialnych i informacyjnych, opracowywaniu harmonogramów przedsięwzięć w długim, średnim i krótkim horyzontach czasu, wspomaganie podsystemów CAD użytych do projektowania elementów i układów w 2- i 3-wymiarowej przestrzeni. Na prostych przykładach pokazano, że do rozwiązywania tych zadań przy użyciu metod optymalizacji konieczne są algorytmy o bardzo małej złożoności obliczeniowej (co najwyżej o nakładzie obliczeń $O(n^2)$, przy czym n - rozmiar zadania) i to pod warunkiem, że będą realizowane na maszynach o bardzo dużej mocy obliczeniowej, na przykład na maszynach równoległych.

1. Ogólna charakterystyka ESP i ZKSP

Elastyczny system produkcji obejmuje przede wszystkim bezobsługowe sterowane komputerowo wieloczynnościowe maszyny, o zautomatyzowanych programowo sterowanych procesach zmiany oprzyrządowania i narzędzi oraz podawania i odstawiania obrabianych detali. ESP łączy przy tym w jedną spójną całość wszystkie inne elementy wspomagające pracę tych maszyn, a więc: elektroniczne

* Pracę tę wykonano w ramach problemu badawczego GPBP-02.15 - "Rozwój metod analizy systemowej i ich zastosowań".

czujniki i monitory, roboty i manipulatory, bezobsługowe przenośniki i podajniki, zautomatyzowany transport wewnętrzny (palety, kontenery, wózki, transportery), zautomatyzowane magazyny, a także automatyczne mycie detali i usuwanie wiórów i odpadów. Spójne działanie wszystkich elementów jest możliwe dzięki uwzględnieniu wszystkich tych zadań już na najwcześniejszych etapach analiz i projektowania systemu. Standaryzacja rozwiązań hardwerowych i softwerowych umożliwia efektywną współpracę wszystkich składowych projektowanego systemu i ułatwia ewolucyjną rozbudowę i modernizację systemów istniejących. Uzyskuje się w ten sposób ogromne korzyści ekonomiczne i organizacyjne.

Posłużymy się przykładem ESP zainstalowanego w japońskim przedsiębiorstwie FANUC (okręg Fudźijamy) [2] dla pokazania problemów, których rozwiązanie można otrzymać z pomocą metod optymalizacji. FANUC produkuje zespoły do obrabiarek sterowanych komputerowo (OSK), sterowane silniki prądu stałego i przemiennego, roboty oraz małe centra obróbcze sterowane komputerem. Silniki prądu stałego są wytwarzane w przedziale mocy 0,3-22 kW a silniki prądu przemiennego w przedziale mocy 0,02-2,8 kW. Budynek produkcyjny to prostokątna dwupoziomowa budowla o wymiarze 200 x 60 m.

Na parterze znajdują się wydziały przygotowawcze i produkcyjne elementów i zespołów, montaż zaś odbywa się na I piętrze. Oba poziomy produkcyjne są połączone zautomatyzowanym magazynem wysokiego składowania. Cały proces produkcyjny przebiega pod kontrolą komputera. Praca w fabryce jest 3-zmianowa, przy produkcji miesięcznej 10.000 silników w 40 różnych typach oraz 900 różnych zespołów w partiach 20-1000 sztuk.

Na parterze rozmieszczono w 5 rzędach 60 obrabiarek sterowanych komputerem, w tym 52 obrabiarki są obsługiwane przez roboty, pozostałe 8 maszyn to duże centra obróbcze. Każde centrum obróbcze jest obsługiwane przez 12-paletowy przenośnik, zmieniający palety automatycznie, ale same palety są ładowane ręcznie. Na I piętrze rozmieszczono 49 robotów wykonujących większość prac montażowych. Roboty rozmieszczono w ten sposób, że tworzą 25 gniazd usytuowanych wzdłuż 4 linii.

Skomputeryzowany magazyn wysokiego składowania zapewnia sprawną obsługę dostawców elementów, maszyn na wydziałach w detale do obróbki oraz przyjmuje wyroby gotowe. Obrabiarki na wydziale są powiązane z magazynem dwoma przewodowo sterowanymi automatycznymi

wózkami. Pięć tego typu wózków obsługuje wydział montażu. Na każdy wózek ładowane są palety, na każdej z nich umieszcza się od 20 do 50 elementów - porcja wystarczająca na kilka godzin pracy maszyny. Wózek dostarcza ładunek do stacji obsługi palet, która sąsiaduje z robotem. Chwytnik robota podaje detal z palety na stół roboczy obrabiarki.

Wydział produkcji podzespołów pracuje przez 24 godziny nieprzerwanie i jest obsługiwany przez ludzi tylko na zmianie rannej. Zmiany popołudniowa i nocna są bezzałogowe. Wydział montażu pracuje na jedną zmianę (!), załoga tej zmiany nadzoruje pracę przenośników (transport między gniazdami) i pracę wózków (transport gniazda-magazyn) oraz wykonuje łącznie ok. 35% prac montażowych. FANUC zatrudnia 60 osób, w tym w produkcji bezpośrednio 40 osób, 21 osób pracuje na rannej zmianie na wydziale detali a 19 osób na jednej zmianie na montażu. Podczas zmian popołudniowych i nocnej produkcję wydziału (wydział detali) nadzoruje 1 osoba w pokoju operatora.

Z przytoczonego opisu ESP widać wyraźnie, że prawidłowa i wydajna praca zautomatyzowanych obrabiarek i gniazd obróbczych zależy istotnie od funkcjonalnego ich rozmieszczenia oraz od właściwości zaprojektowanego transportu w układzie maszyna-maszyna, maszyna-magazyn. Ponad 100 maszyn i robotów muszą być sprawnie obsługiwane przez transport wewnętrzny wydziałowy, co z kolei podkreśla wagę rytmicznej i bezawaryjnej pracy wszystkich jego elementów: wózków, ładowarek, stacji obsługujących, robotów-przenośników, manipulatorów, czujników, styczników itp. Wydajna praca obu wydziałów, specjalnie podczas zmian bezzałogowych, wymaga precyzyjnego zaplanowania produkcji i ścisłego harmonogramu czynności obróbczych, montażowych i transportowych. Wszystkie operacje muszą być zaplanowane i ujęte harmonogramem z dokładnością do minut i sekund.

Elastyczne systemy produkcji to już poniekąd codzienność wielu przedsiębiorstw w krajach rozwiniętych [2]. W powszechnym użytkowaniu jest wiele starszych systemów komputerowych wspomagających projektowanie, wytwarzanie, kierowanie przedsiębiorstwem itp. Rosnące stale potrzeby obniżenia kosztów produkcji i zwiększenia wydajności zmuszają do dalszych poszukiwań dróg sprostania tym potrzebom. Jedną z dróg do osiągnięcia tego celu to peł-

niejsze i efektywniejsze wykorzystanie techniki komputerowej. Droga ta prowadzi do koncepcji zintegrowanych komputerowych systemów produkcji. Koncepcja ta zakłada spójne wykorzystanie szybkich bogato oprzyrządowanych i oprogramowanych komputerowych stanowisk roboczych - w skrócie KSR - współpracujących ze sobą i z komputerem centralnym poprzez łącza i sieci o dużej szybkości i niezawodności transmisji. Uważa się, że tą drogą osiągnie się wysoki stopień elastycznej automatyzacji wszystkich ważniejszych działań związanych z produkcją; projektowanie wspomagane komputerem (CAD/CAM), wytwarzanie (ESP), kierowanie (CAM - Computer Aided Management), prace pomocnicze (CAW - Computer Aided Works). To z kolei powinno zapewnić bieżące śledzenie i sterowanie podstawowych strumieni w procesie produkcyjnym: materialnego, informacyjnego, decyzyjnego, od poziomu wydziału aż do poziomu kierowania na najwyższym szczeblu decyzyjnym.

Kluczowym problemem ZKSP staje się w tych warunkach wypracowanie technik i metod przetwarzania informacji i dokonywania obliczeń w systemach rozproszonych środków obliczeniowych - komputerowych stanowisk roboczych. KSR wymagają szybkich, tanich komputerów oraz rozbudowanej techniki standardowych łącz sieciowych. O skali problemu połączeń może świadczyć przykład koncernu General Motors [7]. Koncern ten korzysta (dane z 1984 r.) z przeszło 40.000 inteligentnych elektronicznych urządzeń (sterowniki, terminale, systemy komputerowe, KSR-y itp.), szacuje się przy tym, że jedynie 15% tych urządzeń może komunikować się między sobą i komputerem nadrzędnym. Na przeszkodzie stoją trudności sprzężenia różnych niestandardowych systemów we/wy. Specjaliści z tego koncernu oceniają, że 50% nakładów koniecznych dla zrealizowania koncepcji ZKSP poczną nakłady na budowę sieci i standaryzację sprzęgów.

Komputerowe stanowiska robocze mogą być wykorzystywane na różnych poziomach skomputeryzowanego przedsiębiorstwa. Zależnie od przeznaczenia bardzo różne są dla nich wymagania sprzętowe, występuje duża różnorodność w zakresie potrzebnego oprogramowania. Na przykład KSR-y najwyższego poziomu zintegrowanego komputerowego systemu produkcji będą, według specjalistów firmy Hewlett-Packard, bazować na 32-bitowych mikroprocesorach i powinny je cechować następujące parametry: 32-bitowy multiprocesor, pełna współpraca z lokalnymi sieciami komputerowymi (LSK) o szybkości transmisji

rzędu 10M bitów/s, do 20 portów we/wy, języki: BASIC, PASCAL pod systemem operacyjnym UNIX, pełna akceptacja softwaru użytkowego, wielodostępność (do 32 użytkowników). Systemy tego poziomu powinny pracować jako wydzielone inteligentne centra, wyręczające komputer centralny z wielu prac projektowych w 3D, z projektowania statycznego i dynamicznego konstrukcji (metody elementów skończonych), z projektowania układów VLSI, a także powinny służyć jako nośnik baz danych dla pełnego zakresu działań objętych zintegrowanym komputerowym systemem produkcji, włączając opracowania analityczno-statystyczne i sprawozdawczość.

Sygnalizowane zadania KSR-ów wskazują, iż oprogramowanie użytkowe musi korzystać szeroko z różnych metod modelowania matematycznego, w tym z modelu i technik optymalizacji. Uwaga ta dotyczy w znacznym stopniu projektowania elektronicznych obwodów i układów na płytkach (2D) i w kostkach (3D) oraz obliczeń statycznych i dynamicznych w mechanice metodą elementów skończonych. Oczywiście, zapotrzebowań na metody optymalizacyjne może być dużo więcej.

Czy ZKSP staną się powszechne, pokaże najbliższych kilka lat. Niektóre firmy komputerowe, np. Hewlett-Packard, zainwestowały znaczne środki w sprzęt i oprogramowanie dla tych celów, zapewniając ich masową podaż [7]. Informacje o pracach prowadzonych w tym kierunku przez inne firmy komputerowe i softwarowe można znaleźć w pracy [3].

2. Wybrane modele optymalizacji kombinatorycznej

Przegląd dokonany w punkcie 1 pozwala wyróżnić trzy podstawowe grupy problemów, których modelowanie i rozwiązywanie metodami optymalizacji kombinatorycznej może być pożyteczne na etapach przygotowawczych i w projektowaniu ESP/KZSP, a staje się niezbędne przy rozwiązywaniu zadań CAD/CAM z pomocą komputerowych stanowisk roboczych. Te grupy problemów to:

- zagadnienia rozmieszczenia,
- zagadnienia harmonogramowania i planowania,
- zagadnienia komunikacji i sterowania.

Zanim przedstawimy modele kombinatoryczne użyteczne przy rozwiązywaniu różnych zadań cząstkowych i ogólnych należących do każdej grupy problemów, scharakteryzujemy ogólnie rozwiązania przyjęte w istniejących ESP.

Wykonując plan ogólny rozmieszczenia elementów ESP należy wziąć pod uwagę m.in.: maszyny, palety, uchwyty mocujące, obrabiane detale, narzędzia obróbcze, transportery, pomieszczenia przygotowawcze, narzędziownie, magazyny i składy, pomieszczenia komputerowe, pomieszczenia pracownicze i wiele innych elementów. Analiza stosowanych rozwiązań pozwala wyróżnić, w odniesieniu do rozmieszczenia maszyn, kilka charakterystycznych planów ogólnych: plan ewolucyjny, odpowiadający naturalnym etapom rozwoju wydziału (do starych maszyn dostawia się maszyny nowe, dokonuje się wymian maszyn itp.); plan funkcjonalny, w którym rozmieszczenie elementów jest podporządkowane kolejności wykonywania głównych operacji; plan modułarny - maszyny są zgrupowane w ogniwa (moduły) wykonujące te same sekwencje operacji (rozwiązanie to cechuje pewna nadmiarowość, przydatna skądinąd w przypadkach nagłego spiętrzenia prac); plan gniazdowy - maszyny tworzą gniazda, którym przyporządkowuje się grupy wykonywanych detali (rozwiązanie to pozwala na pełne wykorzystanie mocy produkcyjnych i cechuje się łatwością rozbudowy).

Jednym z ważniejszych kryteriów wyboru rozwiązania jest kryterium niezakłóconego, równomiernego przepływu obrabianych detali, uwzględniające wejście do systemu (połączenie z magazynem), obróbkę, montaż, wykończenie, wyjście z systemu (do magazynu albo do wysyłki). Z punktu widzenia tego kryterium jednym z prostszych rozwiązań jest ustawienie maszyn w szereg (uproszczona komunikacja). Wadą tego najprostszego rozwiązania jest duże zapotrzebowanie na powierzchnię pod środki transportu, szczególnie przy krótkich cyklach produkcji.

Pomyślne rozwiązanie całego problemu polega na wykonaniu projektu ogólnego rozmieszczenia łącznie z projektem obsługi transportowej. Należy przy tym wziąć pod uwagę wybór najodpowiedniejszych środków transportu wewnętrznego. Stosowany w ESP sprzęt to wózki swobodnie poruszające się (zaopatrzone w podnośniki), wózki automatyczne sterowane przewodowo (WASF), wózki automatyczne szynowe (WASz), taśmociągi itp. Szczególnie częste rozwiązania to WASP, które daje dużo swobody przy projektowaniu. Umieszczenie palet na wózku na wysokości płaszczyzny urządzenia przeładunkowego pozwala stosować wózki bez podnośników. Taśmociąg jest dobrym rozwiązaniem dla powtarzalnej produkcji małogabarytowych

wyrobów o krótkich cyklach wykonywania produkcji (od kilku sekund do 1 min.). Dla wyrobów o dużych rozmiarach WASP jest najczęściej stosowanym rozwiązaniem.

Zadania harmonogramowania i planowania produkcji należą do rutynowych zadań rozwiązywanych powszechnie przed nastaniem ery elastycznych systemów produkcji. Nowe problemy powstające przy rozwiązywaniu tych zadań w ramach ESP mają swoje przyczyny w: dużej rozmiarowości; znacznym zróżnicowaniu charakteru zadań (zaopatrzenie, oprzyrządowanie, wykonanie, paletowanie, przesuwanie itp.), ostrych wymaganiach czasowych. Przykładami udanych rozwiązań hardwareowo-programowych potrzeb harmonogramowania i planowania są modułowe pakiety komputerowe o nazwach Systime i SYSIMP oferowane przez producentów ESP.

Aby pokazać związek grup problemów, o których posaliśmy wyżej, z modelami matematycznymi optymalizacji kombinatorycznej, posłużymy się poniższymi założeniami:

a. Dany jest skończony pełny graf D o n wierzchołkach. Każdy wierzchołek reprezentuje pewną działkę - miejsce lokalizacji. Do każdego łuku lub krawędzi (graf może być skierowany lub nieskierowany, symetryczny lub niesymetryczny) przypisana jest pewna liczba dodatnia rozumiana, umownie, jako odległość między działkami.

b. Dany jest skończony pełny graf O o m wierzchołkach. Każdy wierzchołek przedstawia pewien obiekt (maszynę, gniazdo obróbcze, środek transportu, robot, magazyn itp.). Każdemu łukowi (krawędzi) łączącemu parę wierzchołków przypisujemy liczbę o wartości zero, jeżeli obiekty nie są ze sobą połączone, a liczbę o wartości jeden w przypadku przeciwnym.

c. Każdy obiekt grafu O musi być przyporządkowany jednoznacznie do działki grafu D w taki sposób, aby były spełnione pewne warunki (ograniczenia) zależne od konkretnego zadania i aby suma iloczynów wag odpowiednich łuków z grafów O i D była minimalna (zadanie minimalizacji funkcji na skończonym zbiorze rozwiązań).

Z pomocą założeń a-c można przedstawić wiele zadań optymalizacji powstających w każdej ze wspomnianych grup problemów. Przedstawimy dwa przykłady:

- Zagadnienie rozmieszczenia elementów układu elektronicznego (typowe zadanie do wielokrotnego rozwiązywania w ramach CAD z pomocą komputerowego stanowiska roboczego).

Niech graf O reprezentuje schemat połączeń elektrycznych (iuki) między elementami (obiekty-wierzchołek). Niech wierzchołki grafu D przedstawiają poletka na powierzchni (zadanie w przestrzeni dwuwymiarowej) lub w przestrzeni (przypadek trójwymiarowy) przeznaczone do umieszczenia elementów (jeden element na jednym miejscu). Liczba przypisana krawędziom grafu D może, w tym przypadku, oznaczać długość przewodu łączącego parę miejsc. Zadanie polega na takim jednoznacznym rozmieszczeniu elementów na miejscach (płytki, kostki), aby łączna długość połączeń w układzie była minimalna. Zadanie to jest prostszym wariantem ogólniejszego zadania znanego pod nazwą kwadratowego zagadnienia rozmieszczenia, do którego w innej interpretacji wrócimy w punkcie 3.

- Zagadnienie ustalania kolejności wykonywania wielu partii wyrobów.

Niech każdy wierzchołek grafu D reprezentuje pewien stan linii produkcyjnej (wybrane np. oprzyrządowanie, rodzaj maszyn, nastawy parametrów) zapewniający wykonanie określonej partii wyrobów. Liczby przypisane łukom grafu interpretuje się jako koszt zmiany stanu linii tak, aby mogła być wykonywana inna partia wyrobów. Dowolny cykl prosty w grafie O obchodzący wszystkie jego wierzchołki przedstawia pewien dopuszczalny cykl produkcyjny. Zadanie optymalizacyjne polega na takim przyporządkowaniu elementów cyklu do wierzchołków grafu D , aby łączny koszt wykonania wszystkich partii zamówień, uwzględniający koszty zmiany oprzyrządowania i parametrów procesu obróbki, był minimalny.

Zadanie to jest wariantem znanego zagadnienia komiwojażera, jednego z najbardziej popularnych zadań optymalizacji kombinatorycznej. Jednocześnie zadanie to jest najlepiej poznanym zadaniem i rozwiązywanie problemów o n w granicach 2-4 tysięcy nie nastrocza większych trudności.

W podobny sposób można modelować wiele zadań obsługi transportowej oraz zadania sterowania komputerowego w ESP. Obok zagadnienia komiwojażera często występuje zadanie znalezienia dendrytu minimalnego rozpiętego na wierzchołkach grafu D .

Cechą zadań kwadratowego rozmieszczenia i komiwojażera jest ich przynależność do klasy bardzo trudnych zadań optymalizacji kombinatorycznej. Klasa ta nazywana klasą zadań NF-zupełnych ma tę właściwość, że czas rozwiązania każdego zadania należącego do

do niej rośnie wykładniczo w funkcji jego rozmiaru (np. liczby wierzchołków i łuków).

5. Problemy obliczeniowe algorytmów optymalizacji kombinatorycznej w systemach zautomatyzowanych

Zastanówmy się nieco bliżej nad rozmiarami zadań optymalizacji, z którymi możemy mieć do czynienia, i jakiej mocy komputery byłyby konieczne, aby te zadania rozwiązać w zadowalającym czasie i z możliwością do przyjęcia dokładnością.

Z opisu elastycznego systemu produkcji firmy FANUC widzieliśmy, że należy rozmieścić łącznie ponad 100 maszyn: 60 na parterze i 40 na piętrze. Przyjmijmy, że kwadratowe zadanie rozmieszczenia posłuży jako abstrakcyjny model pomocny w komputerowym rozwiązywaniu problemu optymalnego usytuowania maszyn na wydziale.

Kwadratowe zadanie rozmieszczenia można, na nasze uproszczone potrzeby, sformułować następująco: Danych jest n maszyn i n możliwych miejsc do ich umieszczenia (jedno miejsce-jedna maszyna). Z każdą parą maszyn jest związana pewna liczba nieujemna, np. liczba detali przekazywanych z jednej maszyny do drugiej. Każdą parę miejsc charakteryzuje liczba dodatnia, np. odległość między środkiem tych miejsc. Należy tak umieścić maszyny na miejscach, aby zminimalizować sumę iloczynów (liczba detali danej pary maszyn) \times (odległość między miejscami, na których umieszczono maszyny) wziętą po wszystkich możliwych kombinacjach par. Jeżeli wprowadzimy zmienną x_{ij} , która przyjmuje wartość 1 lub 0: $x_{ij} = 1$ wtedy i tylko wtedy, gdy maszyna o numerze i jest umieszczona na miejscu o numerze j , $x_{ij} = 0$ w przypadku przeciwnym, to zadanie nasze można przedstawić jako zadanie kombinatoryczne z liniowymi ograniczeniami i z funkcją celu będącą wielomianem drugiego stopnia [1].

Już dla zadań przy $n > 15$ należy uciekać się do algorytmów przybliżonych. Wiele z nich charakteryzuje się nakładem obliczeń $O(m^2)$, gdzie $m = n^2$.

Niech $n = 60$ a współczynnik proporcjonalności przy m^3 niech będzie równy 50 (człony niższego rzędu dla prostoty pomijamy). Mamy więc do wykonania $233 \cdot 10^{10}$ podstawowych operacji maszynowych,

aby algorytm zakończył pracę. Przyjmijmy, że dysponujemy sprzętem komputerowym o mocy obliczeniowej $100 \cdot 10^6$ operacji na sekundę. Do rozwiązania kwadratowego zadania rozmieszczenia o $n = 60$ potrzeba nam będzie około $23300 \text{ s} = 6,5$ godz.

Przyjąwszy zadanie o $n = 200$, co jest liczbą zupełnie realną dla większych ESP, otrzymamy $32 \cdot 10^{14}$ operacji, co odpowiada około 9000 godz. pracy naszego superkomputera (ponad rok nieprzerwanego liczenia). Liczba ta pokazuje, jak mało przydatne mogą okazać się algorytmy, nawet o zupełnie przyzwoitych wielomianowych ocenach nakładu obliczeń, dla rozwiązywania zadań kwadratowego rozmieszczenia o realnych rozmiarach.

Założmy teraz, że mamy zadowalający nas algorytm przybliżony o ocenie nakładu obliczeń $O(m)$. Przy współczynniku proporcjonalności 50 otrzymamy dla $n = 60$ i $n = 200$ odpowiednie czasy obliczeń 1,8 i 200 ms. Liczby te pokazują, jaki kierunek poszukiwań nowych efektywnych algorytmów jest obiecujący.

Zauważmy jeszcze, że moc obliczeniową wyrażającą się liczbą 100 mln operacji na sekundę mogą zagwarantować jedynie superkomputery wektorowo-konwejerowe lub sieci wieloprocesorowe, np. transputerowe (sieć złożona z 16 modułów transputerowych typu TSM-42 pracujących współbieżnie może wykonywać 160 mln prostych operacji na sekundę [6]).

W pracy [5] badano różne algorytmy kombinatoryczne na eksperymentalnej prototypowej sieci transputerowej. Punktem wyjścia był dość oczywisty fakt, że komputerowe stanowiska robocze oparte na mikrokomputerach sekwencyjnych są zbyt powolne do wykorzystania w projektowaniu wspomagany maszyna. Sieć transputerowa jest pomysłana jako przystawka przyspieszająca obliczenia w KSR. Rozważane są zagadnienia projektowania obwodów drukowanych, układów scalonych o bardzo dużej skali skupienia oraz zadania harmonogramowania. Zaproponowany został algorytm, który jest odmianą tzw. algorytmu "symulowanego wyżarzania". Algorytm ten jest uznawany za efektywny przybliżony algorytm losowy do rozwiązywania różnych zadań optymalizacji kombinatorycznej charakteryzujących się wykładniczym wzrostem czasu obliczeń w funkcji rozmiaru zadania. Algorytm został zrealizowany w wersji równoległej i testowany był na prototypowej sieci złożonej z 5 transputerów. Transputery są połączone w pierścien, podstawowe kroki algorytmu są wykonywane

przez cztery transputery w układzie szeregowym z konkurencyjnym dostępem do transputera sterującego. Omawiany współbieżny algorytm typu symulowanego wyzarczenia został zaprogramowany w języku OCCAM [4] i uruchomiony na komputerze VAX 8600. Do porównań użyto sekwencyjnej wersji tego algorytmu zaprogramowanego również w języku OCCAM. Uzyskane wyniki wskazują na nieznaczną przewagę algorytmu równoległego, jeżeli chodzi o "jakość" optimum, natomiast czas obliczeń zmalał ponad 10 razy.

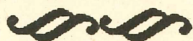
Obliczenia równoległe to drugi, jak można sądzić, kierunek rozwoju (obok doskonalenia efektywności samych algorytmów) stwarzający nadzieję na to, że optymalizacja kombinatoryczna stanie się praktycznym narzędziem w nowoczesnych elastycznych i komputerowych zintegrowanych systemach produkcji.

Literatura cytowana

1. Grabowski W. (1980) Programowanie matematyczne. Warszawa PWE.
2. Hartley J. (1984) FSM at Work. IFS (Publications) Ltd., UK North-Holland.
3. Industrie-Automation (1986) Leist und Steuerungssysteme. Internationales Symposium "Initiativen für die Fabrik mit Zukunft", Hannover Messe Industrie. Vorträge 10-11 April.
4. Pountain D. (1986) Tutorial Introduction to OCCAM Programming. Including Language Definition by David May. "Rapid Silicon". Rapid House, High Wycombe.
5. Price W.L. (1987) Combinatorial Optimization Algorithms for a CAD Workstation. Technical Report. University of East Anglia, Norwich, England.
6. Transtech Devices (1986) TSM-42 Low-Cost Transputer Module. Transtech Devices Ltd.
7. Wargin J.J. (1984) Workstations for Computer Integrated Manufacturing: Bringing Computer Graphics into the Factory Floor. In: Computer Graphics 84. Proc. of the International Conference held in London.

- (1) ...
- (2) ...
- (3) ...
- (4) ...
- (5) ...
- (6) ...
- (7) ...
- (8) ...
- (9) ...
- (10) ...
- (11) ...
- (12) ...
- (13) ...
- (14) ...
- (15) ...
- (16) ...
- (17) ...
- (18) ...
- (19) ...
- (20) ...
- (21) ...
- (22) ...
- (23) ...
- (24) ...
- (25) ...
- (26) ...
- (27) ...
- (28) ...
- (29) ...
- (30) ...
- (31) ...
- (32) ...
- (33) ...
- (34) ...
- (35) ...
- (36) ...
- (37) ...
- (38) ...
- (39) ...
- (40) ...
- (41) ...
- (42) ...
- (43) ...
- (44) ...
- (45) ...
- (46) ...
- (47) ...
- (48) ...
- (49) ...
- (50) ...
- (51) ...
- (52) ...
- (53) ...
- (54) ...
- (55) ...
- (56) ...
- (57) ...
- (58) ...
- (59) ...
- (60) ...
- (61) ...
- (62) ...
- (63) ...
- (64) ...
- (65) ...
- (66) ...
- (67) ...
- (68) ...
- (69) ...
- (70) ...
- (71) ...
- (72) ...
- (73) ...
- (74) ...
- (75) ...
- (76) ...
- (77) ...
- (78) ...
- (79) ...
- (80) ...
- (81) ...
- (82) ...
- (83) ...
- (84) ...
- (85) ...
- (86) ...
- (87) ...
- (88) ...
- (89) ...
- (90) ...
- (91) ...
- (92) ...
- (93) ...
- (94) ...
- (95) ...
- (96) ...
- (97) ...
- (98) ...
- (99) ...
- (100) ...

Zarząd
Polskiego Towarzystwa Badań Operacyjnych i Systemowych



Prezes

prof.dr hab.inż. Andrzej Straszak
Instytut Badań Systemowych PAN

Wiceprezes

prof.dr hab.inż. Jan Stasiński
Wojskowa Akademia Techniczna

Wiceprezes

prof.dr hab.inż. Stanisław Piasecki
Instytut Badań Systemowych PAN

Sekretarz generalny

dr inż. Zbigniew Nahorski
Instytut Badań Systemowych PAN

Sekretarz

dr inż. Jarosław Sikorski
Instytut Badań Systemowych PAN

Skarbnik

dr inż. Andrzej Kafuszko
Instytut Badań Systemowych PAN

Członkowie

prof.dr hab. Jerzy Kisielnicki
Wydział Zarządzania UW

doc.dr hab.inż. Bohdan Korzan
Wojskowa Akademia Techniczna

doc.dr hab.inż. Jan Słachowicz
Zakład Nauk Zarządzania PAN

doc.dr hab.inż. Maciej Sysło
Instytut Informatyki UW.

Komisja rewizyjna

PRZEWODNICZĄCY

dr Władysław Świtalski
Katedra Cybernetyki i Badań Operacyjnych UW

CZŁONKOWIE

dr inż. Janusz Kacprzyk
Instytut Badań Systemowych PAN

dr inż. Marek Malarski
Instytut Transportu PW

doc.dr hab. Henryk Sroka
Akademia Ekonomiczna w Katowicach

dr inż. Leon Słomiński
Instytut Badań Systemowych PAN

TBS

41278 $\frac{1}{1}$

ZP2C -

~~Bib. podręczna~~

PION III