

Równoważenie obciążeń stacji i przepływów między stadialnych w elastycznej linii montażowej bez maszyn równoległych I.

Cele ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z problemem równoważenia obciążeń stacji i przepływów między stadialnych w elastycznej linii montażowej bez maszyn równoległych.

Uwagi do ćwiczenia

Cześć wykonanych zadań może być wykorzystana w kolejnych ćwiczeniach, więc proponowane jest przechowywanie wyników na potrzeby kolejnych ćwiczeń.

Polecenia w środowisku Matlab

Zapoznać się z następującymi poleceniami w środowisku Matlab: `repmat`, `length`, `size`, `intvar`, `sdpsettings`, `solvesdp`, `round`, `double`, `find`.

Jeśli jest to możliwe, użyj powyższych poleceń do implementacji rozwiązań poniższych zadań.

Przykład pomocniczy do zadań – Opis parametrów systemu oraz zmiennych decyzyjnych:

Parametry systemu:

- i -ta stacja montażowa $i = 1, 2, \dots, M$, gdzie M – liczba maszyn
- j -ta operacja montażowa $j = 1, 2, \dots, N$, gdzie N – liczba operacji
- k -ty typ montowanego wyrobu $k = 1, 2, \dots, W$, gdzie W – liczba wyrobów
- w_i – przestrzeń robocza i -tej stacji
- r_k – zapotrzebowanie na wyrób typu k
- t_{jk} – czas wykonywania j -tej operacji dla wyrobu typu k

- J_k – zbiór operacji dla wyrobu typu k
- P_k – zbiór par operacji (j, r) dla wyrobu typu k – ograniczenie kolejnościowe

Zmienne decyzyjne:

- L_{max} – długość cyklu montażowego,
- $x_{i,j} = 1$ jeżeli j -ta operacja została przydzielona do i -tej stacji, inaczej 0

Przykład pomocniczy do zadań – problem optymalizacji z ograniczeniami:

Funkcja celu Minimalizacja maksymalnego czasu cyklu:

$$\min L_{max} \quad (1)$$

Ograniczenie 1: Ograniczenie związane z czasem cyklu

$$\sum_{k=1}^W \sum_{j=1}^N r_k t_{j,k} x_{i,j} \leq L_{max} \quad i \in 1, 2, \dots, M \quad (2)$$

Ograniczenie 2: Każda operacja może być wykonywana tylko na jednej stacji:

$$\sum_{i=1}^M x_{i,j} = 1 \quad j \in 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

Ograniczenie 3: Ograniczenie przestrzeni w danej stacji. Każda stacja może jednocześnie posiadać w_i rodzaj części:

$$\sum_{j=1}^N x_{i,j} \leq w_i \quad i \in 1, 2, \dots, M \quad (4)$$

Ograniczenie 4: Ograniczenie kolejnościowe. Nie uwzględniamy powrotów do stacji już odwiedzonych:

$$\sum_{i=1}^M i x_{i,j} \leq \sum_{i=1}^M i x_{i,r} \quad (j, r) \in P \quad (5)$$

oraz

$$x_{i,j} \in \{0, 1\} \quad i \in 1, 2, \dots, M \quad j \in 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

Przykład pomocniczy do zadań – problem do rozwiązania:

Rozważmy elastyczną linię montażową, która składa się z trzech stacji montażowych ($i = 1, 2, 3$) z możliwością wykonywania sześciu operacji montażowych ($j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$). Każda stacja może jednocześnie posiadać dwa rodzaje części, co odpowiada dwóm operacjom montażowym ($w_i = 2$, dla $i = 1, 2$). Potrzeba wyprodukować cztery różne typy

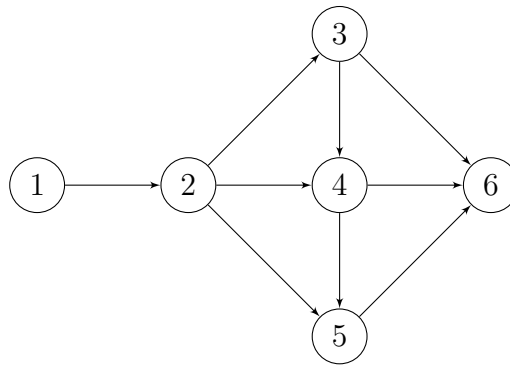
produktów ($k = 1, 2, 3, 4$), po sto pięćdziesiąt sztuk każdego produktu ($r_k = 150$ dla $k = 1, 2, 3, 4$). Casy montażu dla każdego wyrobu są identyczne ($t_{jk} = 4, 3, 2, 2, 4, 5$ dla $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ oraz $k = 1, 2, 3, 4$). Aby wyprodukować każdy produkt należy, wykonać następujące operacje montażowe dla każdego wyrobu:

$$J_k = \{(1, 2, 3, 6), (1, 2, 3, 4, 6), (1, 2, 4, 6), (1, 2, 5, 6)\}, \quad k = 1, 2, 3, 4.$$

Zbiór wszystkich par operacji, które należy uwzględnić w ograniczeniu kolejnościowym ma następującą postać:

$$P_k = \{(1, 2), (2, 3), (2, 4), (2, 5), (3, 4), (3, 6), (4, 5), (4, 6), (5, 6)\}, \quad k = 1, 2, 3, 4.$$

Graf ograniczeń kolejnościowych przedstawiono na rys. 1.



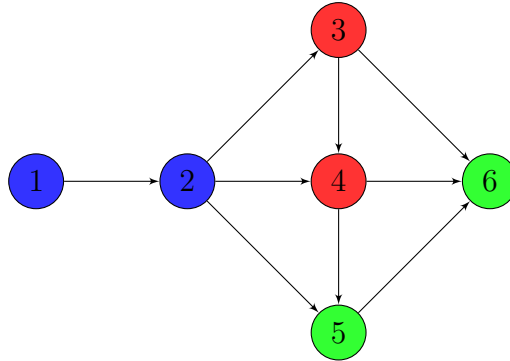
Rysunek 1: Graf ograniczeń kolejnościowych

Do rozwiązania problemu optymalizacji, wykorzystano pakiet Matlab wraz z oprogramowaniem yalmip. W wyniku przeprowadzenia procesu optymalizacji otrzymano następujące wyniki wartości cykli montażowych dla poszczególnych stacji¹: **Stacja 1** – wartość cyklu – 4200, **Stacja 2**: – wartość cyklu – 1200, **Stacja 3**: – wartość cyklu – 3600. Przydział poszczególnych operacji montażowych do stacji przedstawiono w tabeli 1. Z tabeli jasno wynika, iż nałożone ograniczenia zostały spełnione. Dodatkowo, na rysunku 2, przedstawiono graficznie przydział operacji do poszczególnych stacji w grafie ograniczeń kolejnościowych. Odpowiednio: stacja 1 – kolor nieniebieski, stacja 2 – kolor czerwony, stacja 3 – kolor zielony.

¹Pełny kod w programie Matlab do rozwiązania problemu do równoważenia obciążeń stacji i przepływów między stacjami w elastycznej stacji montażowej bez maszyn równoległych zawarto w materiałach dydaktycznych na stronie

Tablica 1: Przydziały operacji do poszczególnych stacji (stacja 1 – kolor nieniebieski, stacja 2 – kolor czerwony, stacja 3 – kolor zielony) wraz z wartościami ograniczeń

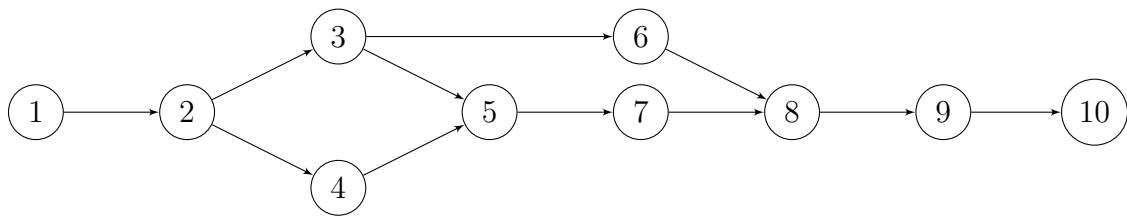
–	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$	$j = 6$	$\sum_{j=1}^N x_{i,j} \leq w_i$
$i = 1$	1	1	0	0	0	0	2
$i = 2$	0	0	1	1	0	0	2
$i = 3$	0	0	0	0	1	1	2
$\sum_{i=1}^M x_{i,j} = 1$	1	1	1	1	1	1	–



Rysunek 2: Graf superograniczeń kolejnościowych z zaznaczonym przydziałem do stacji. Odpowiednio: stacja 1 – kolor nieniebieski, stacja 2 – kolor czerwony, stacja 3 – kolor zielony.

Zadania do wykonania w ramach ćwiczenia:

1. Rozważmy elastyczną linię montażową, która składa się z czterech stacji montażowych ($i = 1, 2, 3, 4$) z możliwością wykonywania dziesięciu operacji montażowych ($j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$). Każda stacja może jednocześnie posiadać trzy rodzaje części, co odpowiada trzem operacjom montażowym ($w_i = 3$, dla $i = 1, 2, 3$). Potrzeba wyprodukować trzy różne typy produktów ($k = 1, 2, 3$), po pięćdziesiąt sztuk każdego produktu ($r_k = 50$ dla $k = 1, 2, 3$). Czasy montażu dla każdego wyrobu są identyczne ($t_{jk} = 2, 5, 6, 9, 3, 12, 7, 4, 15, 11$ dla $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$ oraz $k = 1, 2, 3$). Aby wyprodukować każdy produkt należy, wykonać kolejne operacje montażowe dla każdego wyrobu zgodnie z rys. 3.



Rysunek 3: Graf ograniczeń kolejnościowych

Określić zbiór operacji montażowych, zbiór wszystkich par operacji które należy uwzględnić w ograniczeniu kolejnościowym. Następnie rozwiązać problem optymalizacji oraz przedstawić wyniki analogicznie do przykładu pomocniczego.

2. Zaproponuj własną elastyczną linię montażową, która będzie składał się z minimum czterech stacji montażowych z możliwością wykonywania minimum dwunastu operacji montażowych. Każda ze stacji może jednocześnie posiadać minimum trzy rodzaje części. System powinien umożliwiać wyprodukowanie minimum sześciu produktów różnego typu. Ilość sztuk dowolna. Czasy montażu dla danego wyrobu przyjąć identyczne. Określić kolejne operacje montażowe. Następnie przedstawić graf superograniczeń kolejnościowych wraz ze zbiorem operacji montażowych. Określić zbiór wszystkich par operacji, które należy uwzględnić w ograniczeniach kolejnościowych. Rozwiązać problem optymalizacji. Przedstawić przydział operacji w postaci tabelarycznej oraz graf superograniczeń kolejnościowych z zaznaczonym przydziałem danej operacji do stacji.