

KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE WYBORU SEKWENCJI MONTAŻU A METODY SIECIOWE

Taras NAHIRNY, Michał SAŚIADEK

Streszczenie: W referacie przedstawiono komputerowo wspomagane wariantowanie sekwencji montażu. Scharakteryzowano założenia metody, algorytm i program komputerowy przeznaczone do wspomaganie projektowania procesów montażu. Na przykładzie pokazano zastosowanie programu komputerowego do generowania zbioru sekwencji montażu. Uzyskane wyniki (warianty realizacji procesu montażu) porównano z wynikami na podstawie metody ścieżki najkrótszej oraz macierzy porządkującej.

Słowa kluczowe: montaż, komputerowe wspomaganie, metody sieciowe, sekwencje montażu.

1. Wprowadzenie

Montaż jest ważnym etapem procesu wytwarzania i wpływa on istotnie na koszt i czas realizacji wyrobu. Prawidłowy przebieg procesu montażu zależy od kolejności i poprawności łączenia części. Jeżeli jest N elementów, wtedy istnieje potencjalnie $N!$ różnych możliwych sekwencji montażu tych części. W rzeczywistości, w związku z tym, że niektóre części muszą być zmontowane wcześniej od innych, liczba możliwych wariantów montażu jest redukowana. Efektywny porządek montowania części powinien znacząco redukować czas wytwarzania produktu. Wariantowanie sekwencji montażu jest zagadnieniem trudnym kombinatorycznie, w związku z tym jako pomoc dla projektanta wymagane jest narzędzie komputerowe umożliwiające powiązanie projektowania konstrukcji zorientowanych na montaż z planowaniem procesu montażu (w przedstawionym ujęciu – wyznaczenia dopuszczalnych sekwencji montażu).

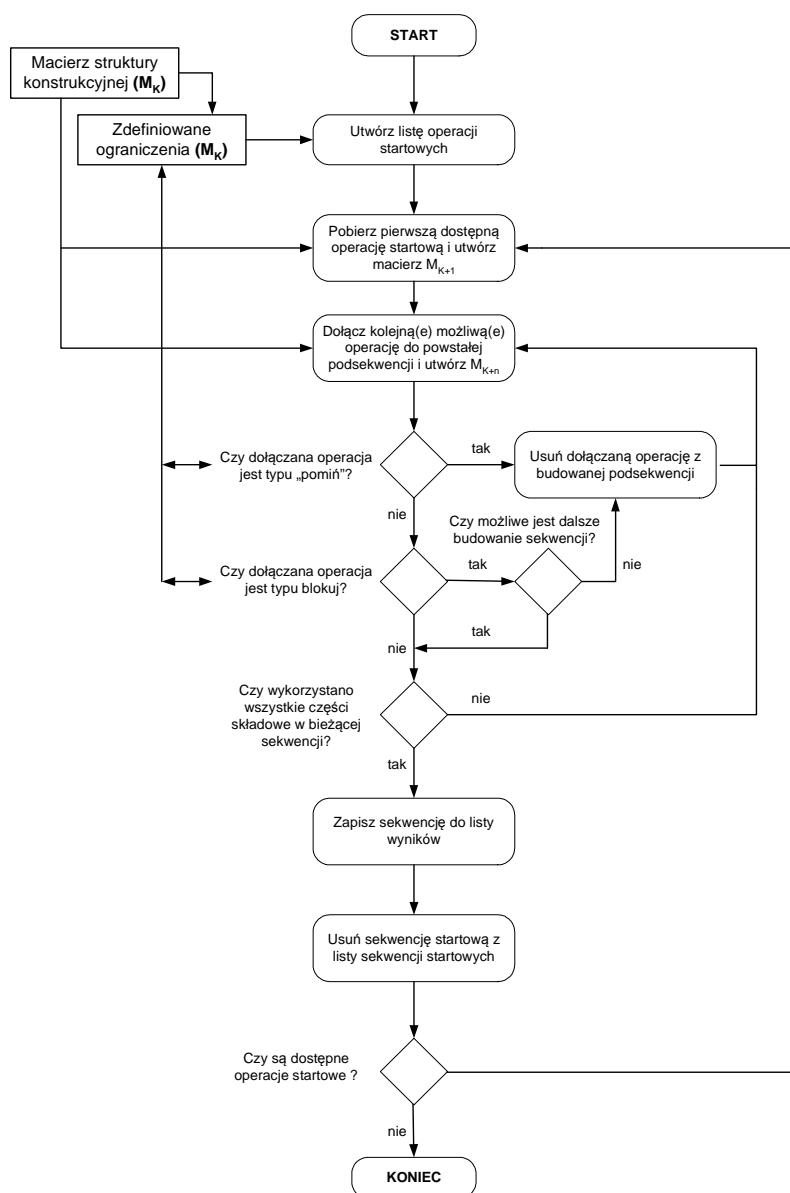
We wcześniejszych publikacjach [1,2] przedstawiono koncepcję, której głównym założeniem jest ułatwienie planowania procesu montażu w trakcie projektowania i zapewnienie możliwości dostosowywania konstrukcji do wymagań montażu w czasie jej opracowywania. Szczególną uwagę poświęca się przy tym ustalaniu prawidłowej kolejności łączenia części. Ze względu na dużą liczbę możliwych kombinacji zagadnienia tego nie można rozwiązać bez zastosowania komputera. Tylko pod tym warunkiem symulacja i analiza sekwencji montażu będą możliwe już w czasie projektowania.

2. Algorytm generowania dopuszczalnych sekwencji montażu

Działanie algorytmu generowania dopuszczalnych sekwencji montażu polega na wyborze pierwszego dostępnego połączenia montażowego z listy połączeń startowych i dołączaniu do powstałego podzespołu kolejnych części (przy uwzględnieniu ograniczeń), aż do wyczerpania zbioru części montowanego obiektu. Algorytm generowania dopuszczalnych sekwencji przedstawiony został na rysunku 1.

Algorytm (rys. 1) generuje wszystkie możliwe kolejności operacji montażowych rozpoczynające się od zadanych połączeń startowych. Utworzone sekwencje są

zapisywane, a wykorzystane połączenie startowe jest usuwane z listy dostępnych połączeń startowych. Następnie algorytm wybiera kolejne dostępne połączenie startowe i proces tworzenia sekwencji powtarza się. Po wykorzystaniu wszystkich połączeń startowych otrzymuje się zbiór wszystkich możliwych sekwencji montażu.



Rys. 1. Algorytm generowania dopuszczalnych sekwencji montażu

W pierwszym kroku algorytmu z listy połączeń startowych wybierane jest pierwsze dostępne i tworzona jest podsekwencja montażowa z części składowych tego połączenia.

Podsekwencja ta zapisywana jest w formie macierzy M_{K+1} . Jednocześnie sprawdzane są ograniczenia dla bieżącej podsekwencji. W przypadku występowania ograniczeń uniemożliwiających dalsze budowanie sekwencji – bieżąca sekwencja zostaje usuwana z dalszych rozważań. Jeżeli ograniczenia pozwalają na dalsze budowanie sekwencji montażu dołączane są kolejne części składowe i tworzone są podsekwencje wyższego rzędu aż do zbudowania kompletnej sekwencji spełniającej wszystkie ograniczenia.

3. Program komputerowy do wyznaczania i oceny zbioru dopuszczalnych rozwiązań. Informacje ogólne

Wynikiem komputerowej implementacji zaproponowanej w pracy metody wyznaczania i oceny zbioru dopuszczalnych sekwencji montażu jest program EASYASSEMBLE. Program ten opracowany został w języku C++, w wersji angielskiej i składa się z czterech głównych zakładkek.

W pierwszej zakładce *Structure Matrix* użytkownik programu definiuje relacje pomiędzy częściami, przypisując im jednocześnie wartości składowych funkcji - Assembly variability risk.

Kolejna zakładka *Start Sequencies* przeznaczona jest do prezentacji wygenerowanego zbioru dopuszczalnych operacji, z których użytkownik ma możliwość wyboru operacji typu: „start” i „pomiń”.

W zakładce *Blocking Sequencies* wprowadzane są ograniczenia kolejnościowe typu: „OR” i/lub „AND”. Wszystkie informacje definiowane w pierwszych trzech zakładkach zapisywane są do pliku programu z rozszerzeniem *.asp.

W ostatniej zakładce *Run Process* wykonywany jest algorytm generowania dopuszczalnych sekwencji montażu wg zdefiniowanego wcześniej pliku *.asp.

Użytkownik również ma możliwość przeglądu wyników i ich zapisu do pliku tekstowego (*.txt), a ponadto przeglądu poszczególnych kroków algorytmu.

4. Przykładowe zastosowanie programu i weryfikacja wyników

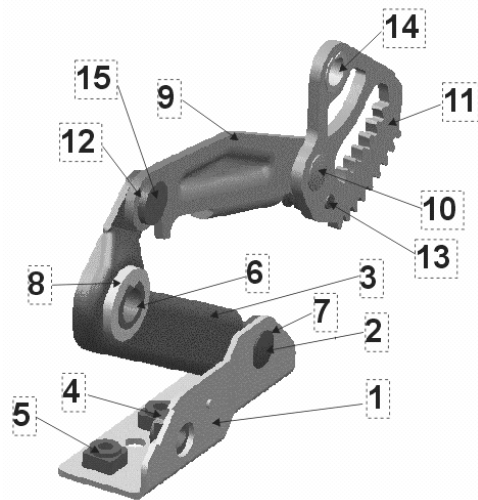
Do analizy wybrano część konstrukcji siedzenia samochodowego (zespół montażowy), złożony z czterech podzespołów. Jest to prosty zespół, ale uwzględniając wszystkie części składowe, w tym również tuleje łożysk ślizgowych oraz łączniki podzespołów, ustalenie kolejności montażu nie staje się już tak trywialne.

Zespół ten przedstawiony jest na rysunku 2 i wyodrębniono w nim 15 części składowych:

1-Podpora kątowna, 2- Nitowkręt, 3- Ramię przegubowe, 4- Czworokątna nakrętka zgrzew.7/16, 5- Czworokątna nakrętka zgrzew.M8, 6- Tuleja łożyska ślizgowego d14, 7- Tuleja łożyska ślizgowego d12, 8- Tuleja stopniowana tylna, 9- Łącznik, 10- Nitowkręt, 11- Blacha zębata, 12- Tuleja łożyska ślizgowego, 13- Bolec, 14- Tuleja łożyska ślizgowego d12, 15- Nitowkręt.

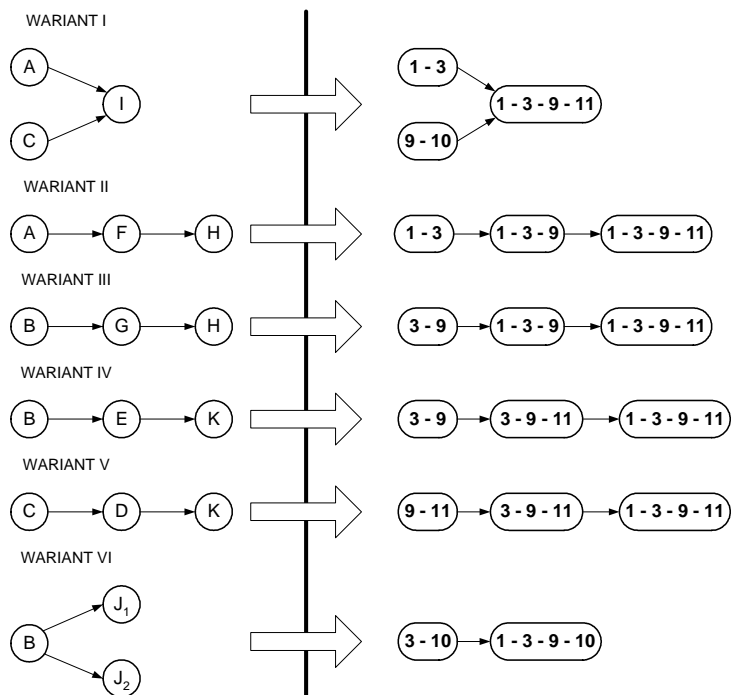
Wariantowanie możliwych sekwencji montażu dla przedstawionych powyżej podzespołów montażowych, można uprościć do wariantowania części bazowych w poszczególnych podzespołach, czyli do części 1, 3, 9 i 11.

Warianty montażu wygenerowane w programie, w zależności od wykonywanych operacji przedstawiono na rysunku 3, gdzie z lewej strony wyodrębniono operacje montażowe, natomiast z prawej strony odpowiadające im połączenia części.



Rys. 2. Zespół montażowy konstrukcji siedziska samochodowego

W analizie tego przykładu nie uwzględniono oceny wynikowych sekwencji montażowych. Oczywiście kryteria wyboru najlepszej sekwencji montażu są określane przez projektanta (konstruktora) oraz pozostałych pracowników mających, w późniejszym cyklu rozwoju produktu, istotny wpływ na kształtowanie ostatecznej formy wyrobu.



Rys. 3. Warianty montażu części bazowych rozważanego zespołu montażowego

W celu weryfikacji przeprowadzono porównanie otrzymanych wyników z wynikami uzyskanymi na podstawie metod sieciowych, mianowicie metody ścieżki najkrótszej oraz macierzy porządkującej.

Na podstawie rysunku sporządzono poniższą macierz sąsiedztwa części składowych zespołu.

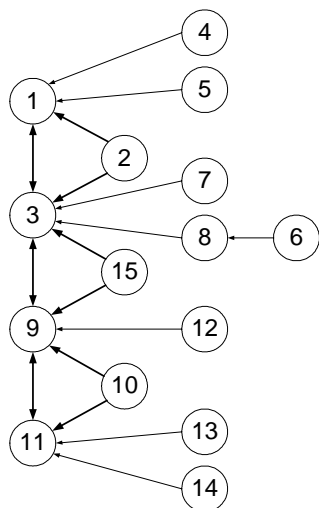
Tab. 1. Macierz sąsiedztwa części składowych zespołu

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
15	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Korzystając z macierzy sąsiedztwa opracowano skierowany graf montażu, gdzie kierunek łuków (i, j) określa preferowany sposób łączenia części i do części j . Kierunki łuków zdefiniowano na podstawie analizy technologiczności łączenia dwóch wybranych części. Graf ten przedstawiono na rysunku 4.

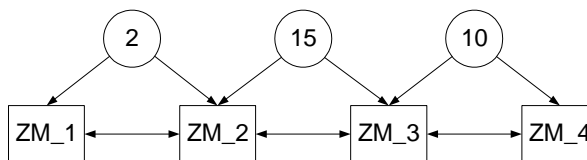
Analizując macierz sąsiedztwa i graf wyodrębnić można cztery podzespoły montażowe oraz trzy łączniki tych zespołów (części bazowe poszczególnych podzespołów pogrubiono). Są to:

- ZM_1 – 1, 4, 5
- ZM_2 – 3, 7, 8, 6
- ZM_3 – 9, 12
- ZM_4 – 11, 13, 14
- i łączniki: 2, 15, 10



Rys. 4. Struktura graficzna montażu

Uwzględniając podzespoły montażowe jako wierzchołki, zmodyfikowany graf montażu można przedstawić w postaci jak na rysunku 5. Wierzchołki odwzorowujące podzespoły montażowe pokazano w postaci kwadratów celem odróżnienia od pojedynczych elementów zespołu.



Rys. 5. Graf montażu z uwzględnieniem podzespołów montażowych

Wyznaczenie optymalnej sekwencji montażu sprowadzono do poszukiwania najkrótszej ścieżki na grafie [3] (taką sekwencję można odnaleźć również na podstawie drogi Hamiltona [4,5]). W przypadku wykorzystania ścieżki najkrótszej niezbędnym jest przypisanie łukom wag. Takimi wagami mogą być między innymi czasy łączenia odpowiednich części. Czasy połączeń montażowych są trudne do oszacowania i oszacowane zostały na podstawie metody normatywów elementarnych Ligskija i Siewastianowa (wykorzystać można również metody Work-Factor, MTM lub inna).

5. Podsumowanie

Zastosowanie przedstawionego w referacie programu wariantowania sekwencji montażu, jest szczególnie istotne już na etapie projektowania (konstruowania) produktu. Inżynier projektant powinien, równoległe do prowadzonych prac projektowo-konstrukcyjnych, uwzględniać ich wpływ na przebieg procesu montażu. Dzięki temu można znacznie skrócić czas oraz koszt realizacji produktu już we wczesnej fazie rozwoju produktu, ponieważ stosowanie metod analitycznych jest skomplikowane i pracochłonne. Zaproponowane podejście może stanowić doradcze, a zarazem pomocne narzędzie wspomagające prace realizacyjne.

Wyniki uzyskane przy pomocy programu wykazują zgodność z wynikami uzyskanymi przy wykorzystaniu metody ścieżki najkrótszej oraz macierzy porządkującej.

Literatura

1. Sasiadek M.: Optimal mechanical assembly sequence planning. Modelování a optimalizace podnikových procesů - MOPP 2008: 11. ročník mezinárodního semináře. Plzeň, Czechy, 2008.
2. Sasiadek M.: Planowanie i wybór sekwencji montażu w projektowaniu współbieżnym. Technologia i Automatyzacja Montażu, nr 2, 2008.
3. Deo N.: Teoria grafów i jej zastosowanie w technice i informatyce. PWN, Warszawa, 1980.
4. Żurek J., Ciszak O.: Modelowanie oraz symulacja kolejności montażu części i zespołów maszyn za pomocą teorii grafów. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 1999.
5. Izdebski K.: Modelowanie i symulacja procesów technologicznych montażu. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, 2002.

Prof. dr hab. inż. Taras NAHIRNY
Mgr inż. Michał SAŚIADEK
Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcji
Wydział Mechaniczny
Uniwersytet Zielonogórski
tel. (0-68) 328 23 01
e-mail: T.Nahirny@iizp.uz.zgora.pl
M.Sasiadek@iizp.uz.zgora.pl