ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1994
Seria: AUTOMATYKA z.115 Nr kol. 1251

Piotr ŁEBKOWSKI, Marek MAGIERA
Akademia Górniczo-Hutnicza

KOMPUTEROWY SYSTEM GENEROWANIA SEKWENCJI MONTAŻOWEJ DLA FAS [1]

Streszczenie: W artykule opisano heurystyczną procedurę generowania sekwencji montażowych. Punktem wyjścia jest specjalnie utworzona baza danych opisująca geometrię i topologię montowanego produktu. Dalej, na podstawie zaproponowanych reguł, tworzy się graf rozstrzelonego rysunku produktu, a następnie znajduje się zbiór dopuszczalnych sekwencji montażowych. Tę heurystyczną metodę ograniczono do klasy montaży, które przeprowadzane są tylko wzdłuż jednej osi.

COMPUTER SYSTEM FOR GENERATING ASSEMBLY SEQUENCES FOR FAS

Summary: This paper describes a heuristic procedure for the generation of assembly sequences. The starting point is a specially created data base, which describes the geometry and topology of the product being assembled. Then, on the basis of proposed rules, an exploded-view drawing of the product is created, and a set of possible assembly sequences is identified. This heuristic method is limited to the category of those assembly operations which are carried out only along one axis.

EIN RECHNERGESTÜTZTES–SYSTEM ZUR ERZEGUNG DER MONTAGEFOLGEN IN FAS

Zusammenfassung: In dem Artikel wird ein heuristisches Verfahren zur Erzegung der Montagefolgen beschrieben. Man geht von einer speziell gebildeten Datenbank aus, in der die Geometrie und die Topologie des mon- tierten Produktes beschrieben werden. Mit Hilfe neun Regeln wird zuerst der Graph der explodierenden Zeichnung gebildet und danach wird die Menge der zulässigen Montagefolgen bestimmt. Die Anwendung dieses Verfahrens beschränkt sich auf die Klasse der Produkte mit nur einer Achse.

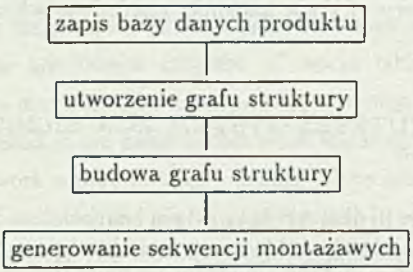
[1] Praca była finansowana przez KBN, grant nr 681/S5/93/5.

1. Wprowadzenie

Główna trudność w rozwiązywaniu problemów generowania sekwencji montażowych dla FAS polega przede wszystkim na ogromnej liczbie zarówno danych określających wymiary, wzajemne położenia, kształty części składowych montowanego produktu, jak i na wielkiej liczbie możliwych sekwencji operacji, z których tylko niewielka część może być technicznie realizowana [8]. W tej sytuacji niezbędne staje się użycie algorytmicznych procedur i to takich, które będą generować tylko dopuszczalne (a najlepiej optymalne) sekwencje.

Proponowany w tej pracy algorytm (rys.1) budowania sekwencji montażowych dotyczy produktów, których montaż odbywa się wzdłuż jednej osi [9]. To ograniczenie, zdaniem autorów, można pominąć. Wielokrotne stosowanie tego samego algorytmu do kolejnych osi montowanego zespołu umożliwia utworzenie głównej sekwencji montażu podzespołów, które to podzespoły składane będą wzdłuż własnych osi.

Pierwszym, a zarazem najbardziej żmudnym etapem generowania sekwencji montażowych jest zbudowanie odpowiedniej bazy danych opisującej montowany produkt. Dalsza realizacja procedury nie wymaga już ingerencji użytkownika. Możliwa jest natomiast ciągła kontrola poprawności konstrukcji rozważanego produktu. Bardzo pomocnym narzędziem jest tu graf struktury zespołu jednoznacznie opisujący wzajemne położenie części składowych w produkcie. W następnym etapie tworzony jest graf struktury rozstrzelonej odpowiadający rysunkowi eksplodującemu, rysunkowi niezbędnemu w proponowanej metodzie, przy ograniczaniu zbioru dopuszczalnych sekwencji montażowych. Heurystyczne generowanie sekwencji operacji polega na analizie możliwości tworzenia trwałych podzespołów - grup części spiętych określonym typem złącza (np. śrubowym, spawanym, wciskanym).



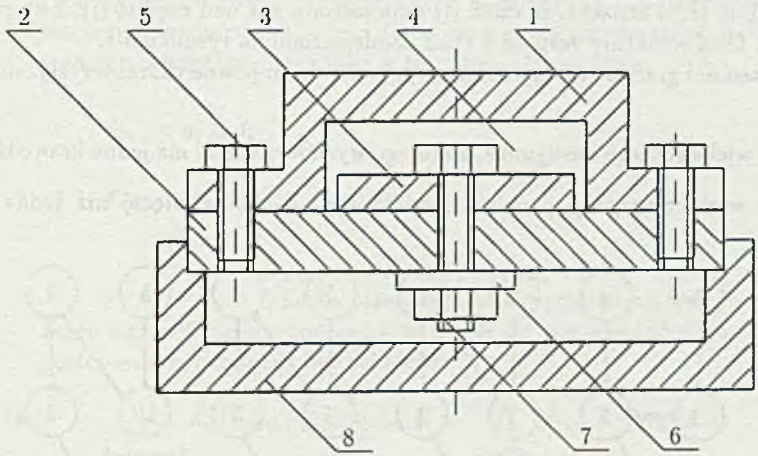
Rys.1. Ogólny algorytm tworzenia sekwencji montażowej
Fig.1. General algorithm for generating assembly sequences

2. Wprowadzanie danych

Punktem wyjścia do budowy modelu matematycznego opisującego rysunek rozstrzelony, a następnie sekwencję montażową jest znajomość geometrii i topologii montowanego produktu.

Wprowadzenie danych do bazy polega na podaniu, w oparciu o rysunek złożeniowy montowanego produktu, opisu części składowych. Oczywiście, w sytuacji projektowania wyrobów przy użyciu typowych pakietów cyfrowych procedura ta wykonywana jest automatycznie. Głównym parametrem określającym sposób wprowadzania danych jest typ części. W programie wyróżniono m.in.: pręt, śrubę, stożek, sprężynę, nakrętkę, podkładkę, tuleję. Typ części jest istotny podczas poszukiwania kierunku montażu i wyznaczania części bazowej. Przyjęto bowiem założenie, że podkładka, łożysko, sprężyna, wpust nie mogą być pierwszą częścią umieszczoną w uchwycie montażowym.

W montażu odbywającym się wzdłuż jednej osi naturalnym ograniczeniem warunkującym kolejność operacji są powierzchnie czołowe części, tj. powierzchnie prostopadłe do osi rozstrzelenia. Powierzchnie równoległe do osi montażu nie narzucają więzów utrudniających proces technologiczny. W związku z tym następnymi wielkościami opisującymi poszczególne części są: liczba powierzchni czołowych każdej z nich oraz odległość (x_l) tych powierzchni względem umownie przyjętej płaszczyzny odniesienia, tzw. linii bazowej. Linia bazowa umieszczana jest na rysunku złożeniowym poniżej wszystkich części. Czołowa l-ta powierzchnia i-tej części opisywana jest także przez podanie najmniejszego wewnętrznego wymiaru (d_{lwi}) otworu leżącego na tej płaszczyźnie (przy braku otworu $d_{lwi} = 0$) oraz największego wymiaru zewnętrznego (d_{lzi}) części. Opis części typu "stożek" wymaga identyfikacji dwóch płaszczyzn ograniczających pobocznicę stożka.



Rys.2. Przykład rysunku złożeniowego
Fig.2. Example of assembly drawing

Wiele informacji umieszczonych jest w bazie automatycznie. Należą do nich wielkości stałe, określające np. liczbę powierzchni czołowych w danym typie części oraz dane możliwe do wyliczenia na podstawie wcześniej wprowadzonych wartości. Przykładową tablicę danych opisujących zespół przedstawiony na rysunku 2 zamieszczono na rys. 3.

W następnym etapie do bazy danych wprowadzane są wszystkie połączenia. Jest to realizowane przez wyszczególnienie nazw (numerów) części złożonych w określony sposób.

Znacznym ułatwieniem przy wczytywaniu danych jest zastosowanie skanera. Wprowadzony do pamięci komputera rysunek złożeniowy jest automatycznie przeszukiwany. Przesuwne osie znajdują krawędzie poszczególnych części, określają ich współrzędne.

nr	a	b	z_1	d_{1w}	d_{1z}	z_2	d_{2w}	d_{2z}	z_3	d_{3w}	d_{3z}	z_4	d_{4w}	d_{4z}
1	1	4	10	10	24	12	10	24	14	10	12	15	0	12
2	1	2	7	2	22	10	2	22	-	-	-	-	-	-
3	9	2	8	12	2	8	-	-	-	-	-	-	-	-
4	3	3	4	0	2	12	0	4	13	0	4	0	-	-
5	3	3	8	0	2	12	0	4	13	0	4	9	-	-
6	7	2	6	2	6	7	2	6	0	-	-	-	-	-
7	6	2	5	2	4	6	2	4	0	-	-	-	-	-
8	1	4	2	0	26	3	22	26	7	22	26	8	24	26

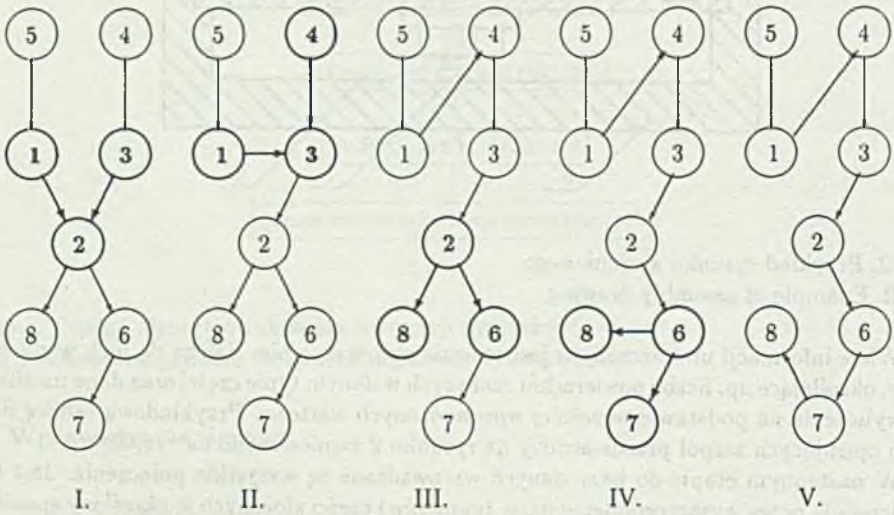
Rys.3. Dane dotyczące części zespołu z rysunku 2
Fig.3. Data of parts of assembly from fig.2

3. Utworzenie grafu struktury montowanego produktu

Strukturę produktu przeznaczonego do montażu można przedstawić za pomocą grafu skierowanego. Wierzchołki będą odpowiadały częściom, zaś łuki określają wzajemne położenia części. Łuk (i, j) oznacza, że część (i) umieszczona jest nad częścią (j), z którą styka się czołowo. Graf struktury zespołu z rys.2 zamieszczono na rysunku 4-I.

Analizując własności grafu struktury można wyróżnić w nim pewne charakterystyczne wierzchołki:

- wierzchołek wielokrotnego następnika, z którego wychodzi więcej niż jedna krawędź,
- wierzchołek wielokrotnego poprzednika, do którego dochodzi więcej niż jedna krawędź.



Rys.4. Cztery kroki transformacji grafu wejściowego
Fig.4. Four transformation steps of initial graf

Graf struktury jest grafem spójnym i acyklicznym. Niespójność oznaczałaby istnienie niezależnych, nie połączonych podzespołów, zaś występujący cykl styczność czołową pewnej części z nią samą. Graf struktury powstaje poprzez określenie relacji *powyżej* między wszystkimi częściami montowanego zespołu. Stwierdzenie styku czołowego pomiędzy dwoma częściami (i) i (j) oraz utworzenie łuku skierowanego od (i) do (j) następuje po spełnieniu przez części następujących warunków:

- istnieją powierzchnie czołowe (l) i (k) części (i) i (j), których współrzędne pokrywają się:

$$\bigvee_{k,l} x_{li} = x_{kj} \tag{1}$$

- dla elementów, których osie pokrywają się z główną osią symetrii montowanego zespołu a w l-tej lub k-tej powierzchni istnieje otwór (tzn.: $d_{lwi} > 0$ lub $d_{kwj} > 0$), musi być spełniona jedna z nierówności:

$$d_{izj} > d_{kwj} \quad lub \quad d_{lwi} < d_{kzj} \tag{2}$$

- dla elementów, których osie nie pokrywają się z główną osią symetrii zespołu, styk czołowy jest możliwy, gdy odległość y_l pomiędzy tymi osiami jest większa od wewnętrznej średnicy, np. części (j) mierzonej na płaszczyźnie styku i mniejsza od średnicy zewnętrznej tej części w tej samej płaszczyźnie

$$d_{kwj} < y_l < d_{kzj} \tag{3}$$

- $$x_{imin} > x_{jmin} \tag{4}$$

  gdzie:

  $x_{imin} = min(x_{1i}, x_{2i}, ..., x_{bi})$

  b-liczba płaszczyzn czołowych opisujących i-tą część.

  Jeżeli warunek nie jest spełniony, to następuje zamiana indeksów obu części i dalsze postępowanie przebiega bez zakłóceń

- $$\bigvee_{d_{zi}(x_{imin})} d_{zi}(x_{imin}) \leq d_{wj}(x_{imin}) \Rightarrow \bigwedge_{x_{rj} \geq x_{kj}} d_{zimax} \leq d_{wj}(x_r) \tag{5}$$

  dla r=1,...,b

  gdzie:

  $d_{zi}(*)$ - największa średnica części (i) na przekroju leżącym w odległości (*) od bazy,

  $d_{wj}(*)$ - najmniejsza średnica części (j) na przekroju leżącym w odległości (*) od bazy,

  d_{zimax} - największa średnica zewnętrzna części (i).

Warunek ten oznacza, że jeżeli część (i) leży choć częściowo wewnątrz części (j), to wszystkie średnice wewnętrzne części (j) mierzone na płaszczyźnie styku i na wszystkich płaszczyznach leżących poniżej części (i) muszą być równe lub większe od maksymalnej średnicy zewnętrznej części (i).

- $$\bigvee_{d_{wi}(x_{imin})} d_{wi}(x_{imin}) \geq d_{zj}(x_{imin}) \Rightarrow \bigwedge_{x_{rj} \geq x_{kj}} d_{wimin} \geq d_{zj}(x_r) \tag{6}$$

  gdzie:

  d_{wimin} - największa średnica wewnętrzna części (i).

  Warunek ten oznacza, że jeżeli część (i) leży choć częściowo na zewnątrz części (j), to wszystkie średnice zewnętrzne części (j) mierzone na płaszczyźnie styku i na płaszczyznach leżących powyżej części (i) muszą być mniejsze lub równe minimalnej średnicy wewnętrznej części (i).

Spełnienie jednego z dwóch ostatnich warunków przy zachowaniu poprzednich oznacza, że część (i) leży powyżej części (j) i możliwe jest wprowadzenie luku (i, j) do grafu struktury.

4. Budowa grafu rozstrzelonego

Charakterystyczną cechą rysunku rozstrzelonego jest przede wszystkim to, że wszystkie części są dokładnie uporządkowane. To uporządkowanie można wyrazić także za pomocą grafu struktury nazwanego łańcuchem struktury lub grafem rozstrzelenia. Łańcuch struktury zespołu z rysunku 2 zamieszczono na rys. 4-V.

Generowanie rozstrzelonych grafów odpowiadających rozstrzelonemu rysunkowi polega na przekształceniu drzewa struktury w łańcuch struktury. By tego dokonać, opracowano kilka procedur ułatwiających znalezienie głównych reguł tego przekształcenia. Oto one:

a) *pokrycie (część(i), część(j))*. Procedura sprawdza, czy osie symetrii części (i) i (j) pokrywają się ze sobą i równocześnie z osią rozstrzelenia oraz czy zajmowane przez części przestrzenie ograniczone minimalnymi i maksymalnymi współrzędnymi powierzchni czołowych, choć częściowo się pokrywają.

b) *kolizja (część(i), część(j))*. Procedura sprawdza, czy zamontowanie jednej części przeszkadza w zamontowaniu drugiej lub czy możliwa jest jakakolwiek sekwencja montażowa.

c) *centralny otwór(część(i), część(j))*. Rozpoznawane jest tu istnienie otworu charakteryzującego jedną z części i powiązanie go z wymiarami i położeniem drugiej części.

Na rysunku 4-I zaznaczono podgraf wielokrotnego poprzednika. Zastąpienie tego podgrafu (lub podgrafu wielokrotnego następnika) podłańcuchem powstałym w wyniku przesunięcia krawędzi grafu polega na określeniu nowej relacji powyżej rozpatrywanych części. W [9] dokładnie omówiono 8 reguł znajdowania nowych relacji powyżej. Są to reguły heurystyczne, gdyż m.in. przyjęto, że montaż części wyższej lub zewnętrznej jest łatwiejszy niż części niższej lub wewnętrznej. Analizując zespół 3 części (1),(3),(2) określamy nową regułę powyżej między częściami (1) i (3). Obie pokrywają się osiami i żadna z nich nie ma centralnego otworu, a współrzędne x_{min} są jednakowe (jest to tzw. reguła 8 w [9]), to części szeregujemy porównując pozostałe współrzędne, tu x_{max}. Część (1) będzie powyżej części (3) na rysunku rozstrzelonym, ponieważ $x_{1max} > x_{3max}$. Likwidowany jest zatem luk (1,2) a wprowadzany (1,3). Postępując analogicznie ze wszystkimi podgrafami wielokrotnych następników i poprzedników otrzymujemy w 4 iteracjach łańcuch struktury (rys. 4-V) jednoznacznie opisujący rysunek rozstrzelony.

5. Generowanie sekwencji montażowych

Problem generowania sekwencji montażowej można sformułować następująco: na podstawie geometrycznego i topologicznego opisu produktu, uporządkowanych list nazw części odpowiadających rozstrzelonym rysunkom produktu (w ogólnym przypadku może zostać utworzonych kilka alternatywnych rysunków) utworzyć wszystkie użyteczne sekwencje montażowe. Opis procedury budowania sekwencji montażowej wymaga wprowadzenia następujących formalizujących poszczególne etapy symboli: *część(nazwa), podzespół(lista), sekwencja produktu(n, kierunek, lista)*. Zmienna użytkowo definiująca część, to *nazwa*, np. *część(1)*; *lista*, to uporządkowany zgodnie z kolejnością montażu ciąg zmiennych zawierających *nazwy* części lub *podzespoły*; *n*, to numer sekwencji montażowej; *kierunek* określa kierunek procesu montażu w stosunku do wcześniej ustalonego.

Przyjęto następujące założenia:

- operacja montażu możliwa jest tylko wtedy, gdy istnieje płaszczyzna styku czołowego między montowaną częścią a dowolną częścią uprzednio zamontowaną lub uchwytem montażowym;
- im mniej jest podzespołów w sekwencji, to jest ona łatwiejsza w technicznej realizacji.

W praktyce, przy użyciu omawianego systemu numerycznego, opisywane są wszystkie podzespoły. Często struktura typowego zespołu jest stopniowa, to znaczy istnieją *podzespoły* wewnątrz *podzespołów*. Prowadzi to w konsekwencji do dużej liczby różnych sekwencji montażowych, z których tylko niewiele jest technicznie dopuszczalne. Dlatego właśnie określenie na podstawie opisu produktu informacji eliminujących zbędne sekwencje jest istotą prezentowanej metody.

Podczas analizy wejściowej bazy danych algorytm identyfikuje 3 typy podzespołów:

- grupy części tworzących stabilną całość dzięki stosowaniu śrub, nakrętek, klinów, tzw. spinaczy;
- układów części połączonych specjalnymi technikami: wciskaniem, klejeniem, spawaniem, itp.;
- podzespoły implikowane, tzn. podzespoły dwóch poprzednich typów mających co najmniej jedną wspólną część.

Tak wydzielone podzespoły sprawdza się pod względem przydatności w budowie sekwencji montażowej według następujących kryteriów:

- dostępności do pewnych części podczas operacji montażu. Na przykład, zamocowanie nakrętki (7) (rys.2) na śrubie (4) po wcześniejszym złączeniu części (1) i (2) śrubą (5) nie jest możliwe,
- wyborem części, którą należy zamontować w uchwycie jako pierwszą,
- ograniczeniami często heurystycznymi. Przyjęto na przykład, że równoczesne montowanie łożyska na wał i w korpus, teoretycznie możliwe, ale trudne praktycznie, jest w algorytmie zakazane.

Ogólny algorytm budowy sekwencji montażowych przedstawia się następująco:

- **krok 1.** Punktem wyjścia są uporządkowane zgodnie z grafami rozstrzelenia listy nazw części. Przyjmij do analizy listę dotychczas nie rozpatrywaną. Przejdź do kroku 2.

- **krok 2.** Tworzenie prostych sekwencji. Sprawdź możliwość utworzenia prostych, składających się tylko z pojedynczych części, sekwencji rozpoczynającej się od góry

(sekwencja z opcją *zgodny*) oraz sekwencji rozpoczynającej się od dołu (opcja *odwrotny*). Dla przykładu pojedyncza sekwencja z opcją *odwrotny* wymaga sprawdzenia, czy ostatnia część może być traktowana jako składnik bazowy (są specyficzne reguły określające warunki niespełnienia tego wymogu), a następnie wszystkie części sprawdzane są pod kątem posiadania czołowych styków z częścią leżącą powyżej. Idź do kroku 3.

- **krok 3.** Tworzenie sekwencji zawierających podzespoły. W kroku 2 natrafiono na część, która nie może być indywidualnie montowana, ponieważ np.: jest nieodpowiednia dla bazowego składnika, nie ma czołowego styku z częściami, które są już zamontowane itd. Próbuje się teraz konstruować podzespół zawierający tę część, a spełniający omówione ograniczenia. Jeśli się to uda, podzespół jest opisywany w sekwencji montażowej, tzn. zastępuje się pojedyncze części (konstytuenty) z listy rozstrzelenia strukturą podzespołu. Procedura jest powtarzana tak długo, aż sekwencja montażowa będzie kompletna. Idź do kroku 4.

- **krok 4.** Ustalenie sekwencji podzespołów. Dla wszystkich podzespołów procedura: krok 2, krok 3 musi być powtarzana aż do chwili otrzymania sekwencji składających się z pojedynczych części. Idź do kroku 5.

- **krok 5.** Sprawdź, czy istnieją jeszcze nie rozpatrywane dotychczas listy. Jeżeli są takie listy, przejdź do kroku 1. W przeciwnym wypadku zakończ obliczenia.

Opisywany w niniejszym artykule komputerowy system zastosowany do zespołu przedstawionego na rysunku 2 generuje następujące sekwencje montażowe zapisane za pomocą zaproponowanej wcześniej formuły:

sekwencja(1,zgodny,[8,podsekwencja(1,zgodny,[7,6,2,3,4]),1,5]);
sekwencja(2,zgodny,[8,podsekwencja(1,zgodny,[7,6,2,3,4,1,5])]);
sekwencja(3,odwrotny,[podsekwencja(1,zgodny,[7,6,2,3,4,1,5]),8]);
sekwencja(4,odwrotny,[podsekwencja(1,zgodny,[podsekwencja(2,zgodny,[7,6,2,3,4]),1,5]),-8]);
sekwencja(5,zgodny,[podsekwencja(1,odwrotny,[podsekwencja(2,zgodny,[4,3,2,6,7]),8]),-1,5]).

6. Uwagi końcowe

W oparciu o przedstawiony algorytm zbudowany został program komputerowego generowania rysunków rozstrzelonych i sekwencji montażowych. Użytecznym walorem tego programu, oprócz -rzecz jasna - tego, że: umożliwia tworzenie dynamicznych baz danych zawierających opisy rysunków złożeniowych, określa relacje styku pomiędzy poszczególnymi częściami, określa relacje wzajemnego położenia części i na podstawie tych relacji znajduje wszystkie możliwe sekwencje montażowe, jest także to, że sprawdza poprawność konstrukcji całego produktu. Produkt powinien spełniać założenie, z którego wynika, że może być bezpiecznie transportowany jako złączona całość. Zbudowany w oparciu o proponowaną metodę program sprawdza to założenie, analizuje bowiem cały zmontowany produkt, a w razie konieczności sygnalizuje błąd we wstępnym opisie lub samej konstrukcji produktu.

LITERATURA

[1] Andreasen M.M., Ahm T.: Flexible Assembly Systems. IFS Publications Springer-Verlag, Berlin, New York, Tokyo, 1988.

[2] Ayres R.U.: Computer Integrated Manufacturing. Chapman and Hall, London, New York, Tokyo, vol.1, 1990.

[3] Delchambre A.: Computer-Aided Assembly Planning. Chapman and Hall, London, New York, Tokyo, 1992.

[4] De Fazio T.L., Whitney D.E.: Correction of 'simplified generation of all assembly sequences'. IEEE Journal of Robotics and Automation, vol.4, 1988, pp.705-708.

[5] Haynes L.S., Morris G.H.: A formal approach to specifying assembly operations. International Journal of Machine Tools Manufacture, vol.28, 1988. pp.281-298.

[6] Kusiak A.: Intelligent Manufacturing Systems. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.

[7] Lee K., Gossard D.C.: A hierarchical data structure for representing assemblies. Computer-Aided Design, vol.17, 1985, pp.15-19.

[8] Homem de Mello I.H., Lee S.,eds.: Computer-Aided Mechanical Assembly Planning, Kluwer Academic Publishers, Boston, Dordrecht, London, 1991.

[9] Łebkowski P.: Algorytmy generowania rysunku rozstrzelonego i sekwencji montażowej dla FAS. Zeszyty Naukowe AGH, Automatyka, z.64, 1993, s.501-519.

[10] Magiera M.: Komputerowe algorytmy generowania rozstrzelonych rysunków w projektowaniu ESM. Praca magisterska, AGH, maszynapis, 1993.

[11] Sawik T.: Optymalizacja dyskretna w elastycznych systemach produkcyjnych. WNT, Warszawa, 1992.

[12] Sawik T., Łebkowski P.: Elastyczne systemy produkcyjne. Skrypt Uczelniany 1265, Wydawnictwo AGH, Kraków, 1992.

Recenzent: Prof.dr hab.inż. Roman Słowiński

Wpłynęło do Redakcji do 30.04.1994 r.

Abstract

A starting point of the algorithm is a data base that includes the basic dimensions of the particular parts of the product being assembled, as well as a drawing of the product structure, in which the names of the parts correspond to the nodes, and the front contact relationships between parts correspond to arcs.

In this paper, before a description of the heuristic procedure, the following terms are introduced:

- the formalizing symbols, and those used to facilitate the identification of particular stages of the process (*part* - name, *subassembly* - list, *sequence (n, direction, list)*:
- the relationships (*above* and *contact*, which specify the relative positions of parts);
- the typology of subassemblies, in order to facitate the identification of subassembly sequences;
- the rules for transformation of the assembly structure drawing into an exploded-view drawing of the assembly.

At the first stage of the assembly sequence, an attempt is made to create simple sequences, i.e. those composed only of single parts. In the case of a part which cannot be individually mounted, we try to constract subassemblies including such a part (stage two). Then, the subassembly is described by the assembly sequence, i.e. particular parts (the constituent parts) from the exploded-view drawing are replaced by a subassembly structure. This procedure is repeated until the assembly sequence comprises all the parts. At third stage, steps one and two are repeated, until the simple subassembly sequences have been obtained.

A computer systems for the generation of assembly sequences fulfills two functions: it creates exploded-view drawings of the set being assembled, which are necessary in the proposed method, and it identifies possible sequencies of the set.