ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1996
Seria: AUTOMATYKA z.119 Nr kol. 1339

Marek MAGIERA, Piotr ŁEBKOWSKI
Akademia Górniczo - Hutnicza

RELACYJNA BAZA DANYCH DO GENEROWANIA SEKWENCJI OPERACJI DLA ELASTYCZNYCH SYSTEMÓW MONTAŻOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono model bazy danych, umożliwiający cyfrowy zapis geometrii i topologii produktu przeznaczonego do montażu, np. w elastycznych systemach montażowych. Istotą modelu jest opis relacji między wszystkimi częściami składowymi produktu, ich powierzchniami styku i narzuconymi ograniczeniami. W opisie produktu zastosowano funkcje, które przyporządkowują podzbiorom części, styków, połączeń, relacji ich charakterystyczne cechy. W artykule omówiono także przykład zastosowania proponowanego modelu w algorytmie generowania sekwencji montażowych.

RELATIONAL DATABASE FOR GENERATING ASSEMBLY SEQUENCES FOR FAS

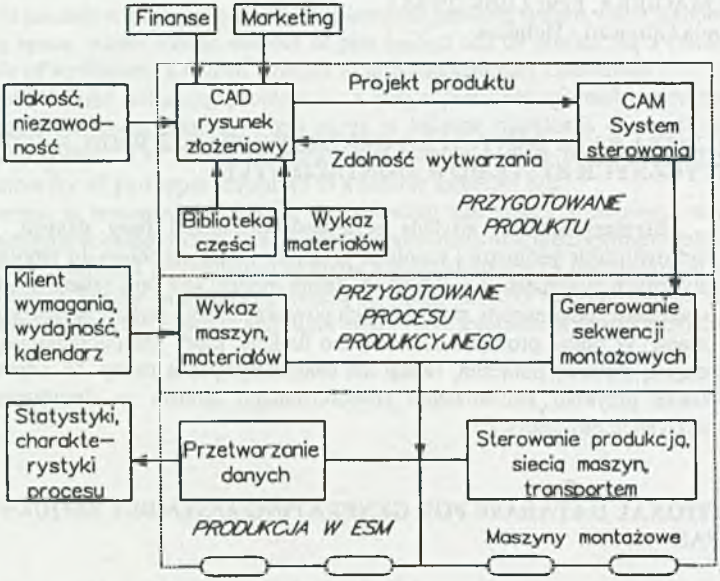
Summary. This paper describes a database model enabling a digital recording geometry and topology of the product being assembled, for example in the flexible assembly system. The essence of the model is description relationships between all component parts, their contact surfaces and limitations. The product description contains functions, which assign part subset, contact subset, relation subset and their characteristics. This paper includes an example of application of this model in the assembly sequence generation algorithm.

1. Wprowadzenie

Elastyczny system montażowy jest komputerowo zintegrowanym systemem produkcyjnym, składającym się z zautomatyzowanych stanowisk montażowych i urządzeń transportowych, przeznaczonych do jednoczesnego montażu różnych wyrobów w krótkich seriach. Integralną częścią elastycznego systemu montażowego jest baza danych, która ze względu na funkcję, jaką pełni w systemie, rozpatrywana jest jako wyodrębniona, zwarta struktura. Od jej budowy zależy sprawność działania całego systemu produkcyjnego.

Z każdą jednostką składową elastycznego systemu montażowego jest związana odrębna baza danych, np. można wyróżnić bazy danych opisujące montowane produkty, park maszynowy i narzędziowy, system transportu produktów i narzędzi [3]. Wysoka efektywność działania systemu jest osiągnięta m.in. dzięki relacyjnemu powiązaniu wszystkich baz danych, które tworzą sieć. Stworzenie tej sieci ułatwia sterowanie pracą systemu i jednoznacznie

określa powiązania pomiędzy wszystkimi jego komórkami. Rys.1 przedstawia strukturę baz danych dla elastycznych systemów montażowych.



Rys.1.System baz danych dla elastycznych systemów montażowych
Fig.1.Typical system corresponding database for FAS

Jedną z podstawowych baz danych jest, jak widać na rys.1, baza związana z opisem rysunku złożeniowego produktu przeznaczonego do montażu. Minimalizacja liczby danych, jednoznaczność opisu produktu przeznaczonego do montażu mają istotne znaczenie dla funkcjonowania całego systemu. Dane umieszczone w omawianej bazie charakteryzują się formatem umożliwiającym ich przetwarzanie i relacyjne powiązanie ich z innymi bazami . Na podstawie danych zawartych w tej bazie, czyli dzięki cyfrowemu zapisowi rysunku złożeniowego produktu, powstała procedura generowania sekwencji montażowych.

2. Model relacyjny

Model wyrobu przeznaczonego do montażu zawiera opis relacji między wszystkimi częściami, ich powierzchniami styku i narzuconymi ograniczeniami. Model ten jest uporządkowaną piątką <X, Y, Z, R, F>, w której:

$X=\{x_1,x_2,...,x_N\}$ - oznacza zbiór symboli części w montowanym zespole,
N- liczba części w montowanym zespole,
$Y=\{y_1,y_2,...,y_L\}$ - zbiór symboli reprezentujących powierzchnie styku między częściami,
L - liczba powierzchni styku,

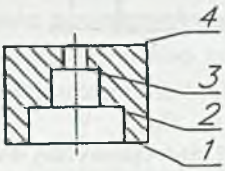
$Z=\{z_1,z_2,...,z_S\}$ - zbiór symboli sposobów połączeń występujących na powierzchni styku, S - liczba sposobów połączeń.

R - zbiór symboli odpowiadających relacjom między parami elementów z $X \cup Y \cup Z$, np.: relacja (część, styk) lub relacja (zamontowanie, styk).

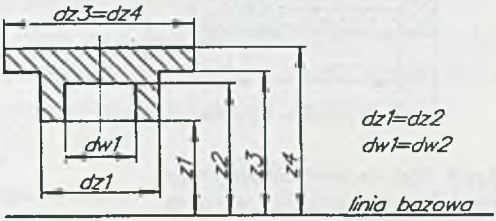
F - zbiór funkcji, których dziedzinami są podzbiory X, Y, Z, R. Funkcje te przyporządkowują podzbiorom części, styków, połączeń, relacji ich charakterystyczne cechy.

Liczba parametrów opisujących daną część zależy od jej typu. Wyróżnione zostały następujące typy części [7]: 1- pręt, 2- śruba, 3 - stożek, 4 - sprężyna, 5 - nakrętka, 6 - podkładka, 7 - łożysko, 8 - tuleja, 9 - część dowolna. Grupowanie części w typy ułatwia cyfrowy zapis rysunku złożeniowego, gdyż niektóre parametry dla poszczególnych typów mają wartości stałe. W dalszej części pracy wartości zmiennej X odpowiadają numerowi porządkowemu w wykazie typów części.

Aby określić wielkości Y, Z, R, F, należy wprowadzić pojęcie "powierzchnia czołowa"[5,6]. Jest to powierzchnia należąca do danego elementu, prostopadła do głównej osi symetrii, będąca naturalnym ograniczeniem procesu montażu. Interpretacja tego pojęcia przedstawiona jest na rys.2. Powierzchnie czołowe oznaczone są na nim cyframi 1,...,4.



Rys.2.Przykładowe powierzchnie czołowe części
Fig.2.Example of butting faces of parts



Rys. 3. Interpretacja graficzna wprowadzanych danych
Fig. 3. Graphical interpretation of input data

Niech "b" oznacza liczbę powierzchni czołowych dla danej części. Odległość i-tej powierzchni czołowej od linii bazowej oznaczona została zmienną z_i, i = 1,...,b. Ilustracja zmiennej z_i oraz pojęcia "linia bazowa" (linii odniesienia, znajdującej się poza obrębem rysunku, względem której mierzone są poszczególne odległości "z_i") przedstawiona jest na rys.3.

Czołowa l-ta powierzchnia i-tej części (patrz rys.3) opisywana jest przez najmniejszy wewnętrzny wymiar (d_{wil}) otworu leżącego w tej płaszczyźnie (przy braku otworu $d_{wil}=0$) oraz przez największy wymiar zewnętrzny (d_{zil}) mierzony w tej samej płaszczyźnie. Opis części typu "stożek" wymaga identyfikacji dwóch płaszczyzn ograniczających pobocznicę stożka. Przedstawiany cyfrowy zapis rysunku umożliwia także opis części, których oś symetrii nie pokrywa się z główną osią symetrii montowanego zespołu części. Do elementów tych należą m.in.: śruby, podkładki, nakrętki. W opisie tych części istotna jest odległość osi symetrii tych części od głównej osi symetrii produktu, oznaczana przez z_{b+1}. Wartości zmiennych: b, d_{wil},

d_{zil}, z_i służą do utworzenia modelu relacyjnego <X, Y, Z, R, F>. Powierzchnie styku są określone przez wartość zmiennej Y.

Y ∈ {płaski, cylindryczny, wielościenny, gwintowany,...}

Między dwoma częściami (i) i (j) można stwierdzić styk płaski na powierzchniach czołowych l-tej i k-tej, jeżeli ich współrzędne pokrywają się:

$$z_{il} = z_{jk}$$

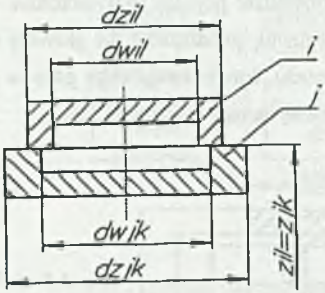
Jeżeli w l-tej lub k-tej powierzchni czołowej jest otwór, czyli jeżeli jest spełniona zależność:

$$d_{wil} > 0 \vee d_{wjk} > 0$$

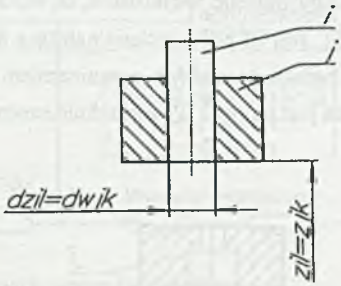
to muszą być spełnione następujące warunki:

jeżeli $d_{wil} < d_{wjk} \Rightarrow d_{zil} > d_{wjk}$ lub jeżeli $d_{wil} > d_{wjk} \Rightarrow d_{wil} < d_{zjk}$

Interpretacja graficzna tych warunków jest przedstawiona na rys.4.



Rys.4. Styk czołowy dwóch części
Fig.4. Butting contact of two parts



Rys.5. Styk cylindryczny dwóch części
Fig.5. Cylindrer contact of two parts

Między częściami (i) i (j) można stwierdzić styk cylindryczny (rys.5), jeżeli:

$$z_{il} = z_{jk} \wedge (d_{zil} = d_{wjk} \vee d_{wil} = d_{zjk})$$

Gdy parametry opisujące dwie części spełniają wielokrotnie powyższy warunek (dla różnych wartości l, k), to styk jest wielocylindryczny. Jeżeli jeden z elementów jest śrubą lub nakrętką (typ części określa wartość zmiennej X), lub posiada otwór nagwintowany, to ma miejsce połączenie gwintowo-cylindryczne.

Kolejną zmienną służącą do opisu relacyjnego modelu jest Z. Jej wartość określa sposób połączeń występujących na powierzchni styku, np. połączenie klejone, spawane, zgrzewane, lutowane, śrubowe itp.

Między parami elementów z X∪Y∪Z tworzone są relacje R, np. relacje: zamontowanie - styk, część - styk, część - położenie.

Podzbiory X, Y, Z, R są dziedzinami funkcji F, które przyporządkowują podzbiorom części, styków, połączeń, relacji ich charakterystyczne cechy. Oto najważniejsze funkcje [5,6]:

- f_1 - funkcja kształtu: f_1: X → S, gdzie S jest zbiorem wszystkich rodzajów kształtów,

- f_2 - funkcja położenia: f_2: X → z_{min}, gdzie z_{min} = min (z_1, z_2,...,z_b), czyli jest to minimalna odległość danej części od linii bazowej,
- f_3 - funkcja typu styku: f_3: Y → typ styku, gdzie: typ styku ={płaski, cylindryczny, ...}
- f_4 - funkcja położenia wektora normalnego do powierzchni styku. Gdy normalna do powierzchni styku wskazuje na zewnętrzne części, to powierzchnia jest tylna, a gdy wskazuje na wewnętrzne części, to powierzchnia jest przednia.
- f_5, f_6 - funkcje określające położenie części względem powierzchni styku.

Funkcja f_5 umożliwia utworzenie uporządkowanej pary dowolnych dwóch części (i,j), która wyraża relację "powyżej" - część (i) znajduje się "powyżej" części (j). Uporządkowana para części (i,j) musi spełniać następujące warunki:

A. $$z_{i\min} > z_{j\min},$$

gdzie z_{min} jest określone przez wartość funkcji f_2.

B. $$\forall_{d_{zi}(z_{i\min})} d_{zi}(z_{i\min}) \le d_{wj}(z_{j\min}) \Rightarrow \exists_{z_{rj} \ge z_{rj}} d_{z_i \max} \le d_{wj}(z_r)$$

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,

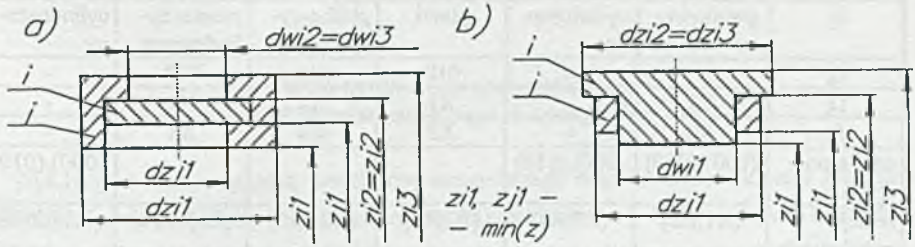
d_{zimax} - największa średnica zewnętrzna części (i).

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). Rys.6a jest przykładem niespełnienia tego warunku.

C. $$\forall_{d_{wi}(z_{i\min})} \ge d_{zj}(z_{i\min}) \Rightarrow \exists_{z_{rj} \ge z_{rj}} d_{wi\min} \ge d_{zj}(z_r)$$

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

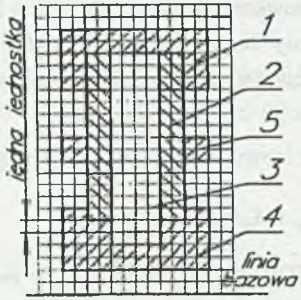
Warunek ten oznacza, że jeżeli część (i) leży choć częściowo na zewnątrz części (j), to wszystkie średnice zewnętrzne części (j) mierzone na płaszczyźnie styku i na płaszczyznach leżących powyżej części (i) muszą być mniejsze lub równe minimalnej średnicy wewnętrznej części (i). Rys.6 b jest przykładem niespełnienia tego warunku.



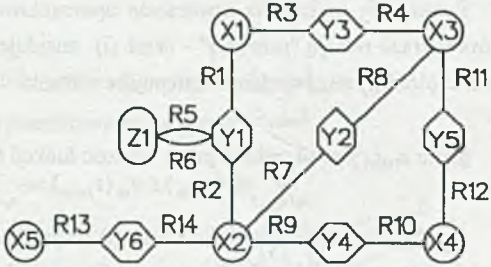
Rys.6.Część o większym z_{min} leży "poniżej" drugiej części
Fig.6.Part of greater z_{min} is located below the second part

Omówiony zbiór funkcji może być powiększony o wszystkie te informacje, które mogą być potrzebne do generowania sekwencji montażowych.

Rys.7 przedstawia rysunek złożeniowy przykładowego produktu przeznaczonego do montażu. Cyfrowy zapis tego rysunku zawarty jest w tabl.1.Na rys.8 zespół ten jest ukazany w postaci grafu, który jest uzupełniony tablicą 2.



Rys.7.Przykład rysunku złożeniowego
Fig.7.Example of assembled drawing



Rys. 8. Graf montowanego zespołu
Fig. 8. Graph of assembled unit

Tablica 1

Cyfrowy zapis rysunku złożeniowego

nr	X	b	z_1	d_{z1}	d_{w1}	z_2	d_{z2}	d_{w2}	z_3	d_{z3}	d_{w3}	z_4	d_{z4}	d_{w4}
1	9	3	15	12	8	20	12	8	22	12	0	-	-	-
2	8	2	6	8	4	20	8	4	-	-	-	-	-	-
3	1	2	4	4	0	20	4	0	-	-	-	-	-	-
4	9	4	2	12	0	4	12	4	6	12	4	7	12	8
5	8	2	10	12	8	12	12	8	-	-	-	-	-	-

Tablica 2

Opis montowanego zespołu

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
f_3	gwintowany	cylindryczny	płaski	płasko-cylindryczny	płasko-cylindryczny	cylindryczny
f_4	-	-	010	010	010	-
f_5	X1	-	X1	X2	X3	-
f_6	X2	-	X3	X4	X4	-
oś dla pow. styku	(000),(010)	(000),(010)	-	-	-	(000),(010)
relacja część - styk	(R1,R2)	(R7,R8)	(R3,R4)	(R9,R10)	(R11,R12)	(R13,R14)
rel. trwałości połącz.	R5	-	-	-	-	-
relacja typu połączenia	R6	-	-	-	-	-

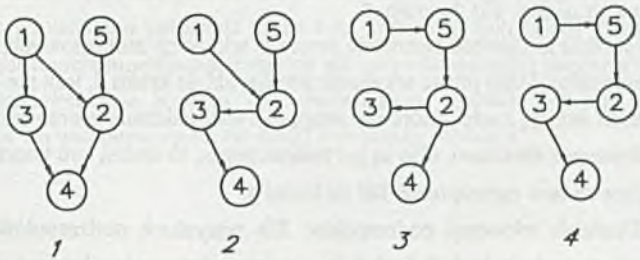
3. Zastosowanie relacyjnego modelu

Graf struktury produktu pokazany na rys.8 jest grafem nieskierowanym. Funkcje f_2, f_5, f_6 określające relacje położenia dwóch części umożliwiają utworzenie grafu skierowanego montowanego zespołu (rys.9-1). Jest to graf spójny i acykliczny, który posiada charakterystyczne wierzchołki:

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

Na rys.9-2,3,4 pokazane są przekształcenia grafu struktury w celu uzyskania grafu rozstrzelenia (rys.9-4) zwanego inaczej łańcuchem struktury. Łańcuch struktury charakteryzuje się uporządkowaniem wszystkich części. Generowanie rozstrzelonych grafów odpowiadających rysunkowi rozstrzelonemu polega na przekształceniu drzewa struktury w łańcuch struktury [5,6,7]. Jest to realizowane za pomocą funkcji opisujących wzajemne położenie części, które są zastosowane w procedurach:

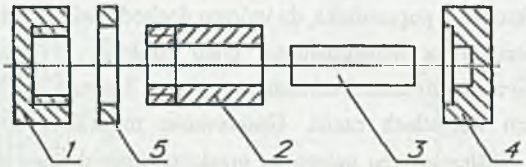
a) pokrycie (część(i), część(j)). Procedura sprawdza, czy osie symetrii części (i) i (j) pokrywają się ze sobą i równocześnie z osią rozstrzelenia;
b) kolizja (część(i), część(j)). Procedura sprawdza, czy zamontowanie jednej części nie przeszkadza w zamontowaniu drugiej;
c) centralny otwór (część(i), część(j)). Procedura ta służy do rozpoznawania istnienia otworu charakteryzującego jedną z części i powiązania go z wymiarami i położeniem drugiej części.



Rys.9.Kroki transformacji grafu wejściowego
Fig.9.Transformation steps of input graph

Rys.10 przedstawia rysunek rozstrzelony montowanego zespołu, odpowiadający grafowi struktury rozstrzelonej (łańcuchowi struktury), pokazanemu na rys.9-4. Na podstawie łańcucha struktury produktu i jego geometrycznego opisu generowane są sekwencje montażowe. Przyjęte zostały przy tym 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, tym jest ona łatwiejsza w technicznej realizacji.



Rys.10.Rysunek rozstrzelony montowanego zespołu
Fig.10.Exploded drawing of assembled unit

W budowie sekwencji montażowych istnieje wiele ograniczeń, związanych m.in. z wyborem elementu bazowego, do którego domontowane będą kolejne części, z dostępem do niektórych części podczas montażu (łatwo mogą być zablokowane przez inne części). Ponadto istnieją ograniczenia heurystyczne, np. równoczesne montowanie łożyska na wale i w korpusie jest w algorytmie zabronione.

Ogólny algorytm budowy sekwencji montażowych ma postać [5]:

- krok 1. Przyjmij do analizy uporządkowaną listę nazw części odpowiadającą grafowi struktury rozstrzelonej. Idź do kroku 2.
- krok 2. Sprawdź możliwość tworzenia prostych sekwencji montażowych, nie zawierających podzespołów. Jeżeli proste sekwencje istnieją, idź do kroku 5, jeśli nie - idź do 3.
- krok 3. Jeżeli istnieją części, które nie mogą być indywidualnie montowane lub nie mają styku czołowego z częściami, albo są już zamontowane, to muszą być tworzone podzespoły spełniające zadane ograniczenia. Idź do kroku 4.
- krok 4. Ustalenie sekwencji podzespołów. Dla wszystkich podzespołów rekurencyjnie powtarza się procedurę: krok 2, krok 3 do momentu otrzymania sekwencji składających się z pojedynczych części. Idź do kroku 5.
- krok 5. Jeżeli istnieją nie rozpatrywane jeszcze listy części, to idź do kroku 1, w przeciwnym przypadku zakończenie obliczeń.

Przedstawiony w pracy model relacyjnej bazy danych był zastosowany w programie komputerowym [6], generującym dopuszczalne sekwencje montażowe na podstawie skrótowo omówionego tu algorytm. Dla przykładu z rys. 8 uzyskano następujące sekwencje montażowe:
sekwencja 1(zgodny,[4,3,podsekwencja 1(odwrotny,[2,5]),1]),
sekwencja 2(zgodny,[4,3,podsekwencja 1(zgodny,[2,5,1])]),
sekwencja 3(odwrotny,[podsekwencja 1(zgodny,[2,5,1]),3,4]),

sekwencja 4(odwrotny,[podsekwencja 1(zgodny,[podsekwencja 2(zgodny,[2,5]),1,3]),4]),
sekwencja 5(odwrotny,[podsekwencja 1(zgodny,[podsekwencja 2(odwrotny,[5,2]0,3,4]),1]).
W opisie sekwencji montażowych symbole: zgodny, odwrotny określają kierunek procesu montażu w stosunku do wcześniej założonego. Występujące w nawiasach listy są ciągami zmiennych zawierającymi nazwy części lub podzespołów uporządkowanych zgodnie z kolejnością montażu produktu.

4. Uwagi końcowe

Przedstawiony model relacyjnej bazy danych umożliwia dokonanie cyfrowego zapisu rysunku złożeniowego produktu. W jego opisie minimalizowana jest liczba danych. Zostało to osiągnięte dzięki wprowadzeniu zależności funkcyjnych pomiędzy danymi i podziałowi części na grupy.

Pokazany model relacyjnej bazy danych może być stosowany wszędzie tam, gdzie niezbędny jest odczyt rysunku, a następnie przetwarzanie uzyskanych w ten sposób danych. Przedstawiona procedura umożliwia utworzenie biblioteki produktów zawierających podzespoły, które z kolei zawierają części. Pomiędzy produktami, podzespołami, częściami istnieją powiązania relacyjne. Każda część znajdująca się w bibliotece może być składnikiem wielu różnych produktów.

Zbudowany na podstawie przedstawionego algorytmu program komputerowy umożliwia tworzenie dynamicznych baz danych zawierających opisy rysunków złożeniowych, określa relacje wzajemnego położenia części i na podstawie tych relacji generuje wszystkie dopuszczalne sekwencje montażowe. Program ten sprawdza ponadto poprawność konstrukcji całego produktu, analizuje bowiem cały zmontowany produkt i w razie konieczności sygnalizuje błąd we wstępnym opisie lub samej konstrukcji produktu.

LITERATURA

1. Delchambre A.: Computer - Aided Assembly Planning. Chapman and Hall, London, New York, Tokyo 1992.
2. Homem de Mello L.S., Lee S.: Computer - Aided Mechanical Assembly Planning. Kluwer Academic Publishers, Boston, Dordrecht, London 1991.
3. Jha K.:Handbook of flexible manufacturing systems. San Diego, 1991.
4. Korcyl A., Łebkowski P., Sawik T.:Selection of Assembly Sequences and Balancing Workloads in Flexible Assembly Line. Proceedings ETFA 95, INRIA/IEEE Symposium on Emerging Technologies and Factory Automation. Paris 1995, pp.349-359.
5. Łebkowski P.: Algorytmy generowania rysunku rozstrzelonego i sekwencji montażowej dla FAS. Zeszyty Naukowe Akademii Górniczo-Hutniczej, Automatyka z.64, Kraków 1993, str. 501-519.

6. Łebkowski P., Magiera M.: Komputerowy system generowania sekwencji montażowych dla FAS. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Zeszyty Naukowe, Automatyka z.115, Gliwice 1994, str.191-200.

7. Magiera M.: Komputerowe algorytmy generowania rozstrzelonych rysunków w projektowaniu ESM. Praca magisterska, AGH, maszynopis, Kraków 1993.

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

9. Sawik T.: Optymalizacja dyskretna w elastycznych systemach produkcyjnych. WNT, Warszawa 1992.

Recenzent: Dr hab.inż. Mirosław Zaborowski, prof. Pol. Śl.

Wpłynęło do Redakcji do 30.06.1996 r.

Abstract

A relational database includes the basic dimensions of the particular parts of the product being assembled, as well as a drawing of the product structure, where the part names correspond to nodes while contact relationships between parts correspond to arcs.

The parts library is a database which aids the product designer who is faced with a very large selection of potential components when creatingg a design. Its major application is a catalog of the parts to be included in an assembly.

A relational database is a starting point of the assembly sequence generation algorithm. 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 constitnent 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.