

KONCEPCJA SYSTEMU AUTOMATYZUJACEGO GENEROWANIE SEKWENCJI MONTAZOWYCH

Krajewski M.

M.Sc. Marcin Krajewski
Cracow University of Technology, Institute of Production Engineering,
Al. Jana Pawla II 37, 31-864 Cracow, Poland
e-mail: ma_kraj@poczta.onet.pl

STRESZCZENIE: Ze względu na występujące obecnie w przemyśle nastawienie na produkcję seryjną wieloasortymentową z częstą zmianą obiektów produkcji istnieje zapotrzebowanie na systemy wspomagające projektowanie procesów technologicznych wytwarzania. W referacie przedstawiono koncepcję systemu komputerowego wspomagania projektowania procesu montażu, ze szczególnym naciskiem na proces generowania sekwencji montażowych. Opracowano również strukturę bazy danych przeznaczonej dla systemu.

1 Wstęp

Rozwój w dziedzinie inżynierii montażu jest relatywnie powolny w stosunku do rozwoju w dziedzinie obróbki, mimo iż większość części, które zostały wyprodukowane należy później zmontować. Będąc integralną formą działalności w procesie projektowo-wytwórczym, montaż jest szczególnie ważny. Znaczenie montażu wzrasta, gdy uwzględni się wymagania związane z prowadzeniem produkcji według zasad inżynierii współbieżnej. Kiedy dochodzi do montażu źle zaprojektowanego lub źle wykonanego produktu stają się widoczne wszelkie błędy, takie jak niezgodność wymiarowa czy trudność wykonania ruchów montażowych. Jednocześnie następuje wzrost kosztów naprawy popełnionych błędów.

Obecnie dominującym typem produkcji jest produkcja seryjna, wieloasortymentowa o częstej zmianie obiektów produkcji, a przedsiębiorstwa można charakteryzować jako specjalizowane, wielozadaniowe, które powinny szybko i elastycznie reagować na zmiany zapotrzebowan rynkowych. Skomputeryzowanie generowania sekwencji montażowych jest ważne, ze względu na istnienie dużej liczby wymiarowo i geometrycznie wykonalnych sekwencji nawet w produktach składających się z małej liczby części. Etapem wyjściowym dla całościowego systemu wspomagania projektowania procesu montażu jest opracowanie sposobu przechowywania elektronicznego opisu wyrobu oraz opracowanie oprogramowania i algorytmów, które umożliwią łatwiejsze opracowanie podstawowego elementu procesu technologicznego montażu, jakim jest sekwencja montażowa.

2 Proces montażu

2.1 Planowanie procesu montażu

Produkt końcowy składa się zwykle z pewnej liczby elementów składowych, a zatem techniki montażowe mają na celu połączenie części i zespołów w gotowy wyrób. Montaż wyrobów mechanicznych jest zazwyczaj procesem hierarchicznym, w obrębie którego części są łączone w podzespoły i zespoły, a one z kolei tworzą inne elementy lub zespoły. Złożoność montażu jest więc związana z całkowitą liczbą kroków w hierarchii procesu. Planowanie procesu jest decydującym czynnikiem określającym wydajność procesu wytwarzania. Inwestowanie w urządzenia automatyzujące proces montażu jest uzasadnione dopiero po umiejętnym przeprowadzeniu procesu planowania. W ten sposób dochodzi się do zadania, jakie stoi przed projektantem procesu, a którym jest znalezienie sposobu na wykonanie produktu w jak najefektywniejszy, ze względu na koszty, sposób [5].

2.2 Planowanie operacji montazowej

Planowanie operacji montazowej jest procesem obejmującym kilka stadiów, takich jak, ustalenie zależności pomiędzy jednostkami montazowymi, określenie zdolności uchwycenia części, analiza dostępności, wybór części bazowej i określenie sekwencji montazowej. Planowanie procesu montażu opiera się na tworzeniu sekwencji operacji montażowych, których podstawą są relacje pomiędzy częściami składowymi, z których ma być wykonany produkt. W związku z tym sekwencja montażowa zależy od produktu, a ponadto proces montażu nie zawsze musi mieć tylko jeden poprawny przebieg [2]. Doświadczenie pokazuje, że manualne planowanie procesów montażu nie jest szczególnie trudne, podczas gdy skomputeryzowana procedura realizująca identyczne zadania wcale nie jest trywialna. Dzieje się tak, ponieważ nie można ilościowo opisać całego procesu montażu, dla którego rozwiązanie zależy od wiedzy empirycznej dotyczącej zadania, wynikającej z doświadczenia projektanta. Skomputeryzowany proces planowania montażu wykorzystuje algorytmy i reguły heurystyczne do określenia wszystkich możliwych do wykonania sekwencji montażowych. Ich jakość oraz koszty wykonania montażu zależą głównie od struktury produktu, ponieważ struktura ta opisuje funkcjonalnie narzucony układ i geometrycznie wymagana sekwencja montażowa. Planowanie montażu pozwala określić czas wykonania wyrobu. A zatem naturalnym jest wybór sekwencji, która pozwala na otrzymanie gotowego wyrobu w możliwie najkrótszym czasie. Również jakość planowanego procesu jest tym wyższa, im większa jest ilość alternatywnych sekwencji.

2.3 Reprezentacja obiektu

Jednym z najbardziej złożonych zadań podczas automatyzacji planowania procesu montażu jest zapisanie struktury montowanego wyrobu w postaci cyfrowej.

Efektywność i dokładność automatycznego systemu planowania w pierwszym rzędzie zależy od jakości systemu reprezentacji wykorzystanego do budowy modelu elementów wyrobu. Gdy mamy do czynienia z produktem (w przeciwieństwie do pojedynczej części, np. podczas planowania procesu obróbki) geometryczny model każdej części może się okazać niewystarczający. Potrzebna jest jeszcze informacja na temat topologii wyrobu, czyli przestrzenne relacje pomiędzy składnikami [2]. Idealnie, gdy cały produkt, który ma być poddany analizie, znajduje się już w bazie danych systemu CAD. Jednak obecne systemy CAD dostarczają zwykle niewystarczających danych dla komputerowego wspomaganie projektowania procesu montażu. Nie są w stanie dostarczyć koniecznych informacji, takich jak na przykład tolerancje, wymaganych podczas planowania zadań montażowych. Niektóre systemy mogą dostarczyć informacji o tolerancjach, natomiast brak w nich elastyczności baz danych stworzonych z wykorzystaniem cech lub bezpośrednich informacji montażowych. Stąd też reprezentacja CAD stanowi tylko jeden z elementów reprezentacji wyrobu do celów automatycznego projektowania procesu montażu, czyli między innymi opracowania sekwencji montażowej. Niezbędna staje się baza danych, w której zawarte są wszystkie pozostałe informacje niezbędne do opracowania poprawnego procesu technologicznego montażu.

2.4 Sekwencja montażowa

W zastosowaniach inżynierskich można rozróżnić dwa zasadnicze podejścia do generowania sekwencji montażowej: manualne i automatyczne. W metodzie manualnej za kształt sekwencji odpowiada technolog. To on, na podstawie rysunku złożeniowego, modelu lub prototypu określa kolejność montowania poszczególnych elementów oraz wymagane operacje.

Metody automatycznego generowania sekwencji montażu można podzielić na dwie główne kategorie: te wymagające wydajnych narzędzi programowych i niewielkiej wiedzy i te, które wymagają pełnej wiedzy o strukturze i charakterystykach produktu, ale oczekują od użytkownika dostarczenia tej wiedzy [3].

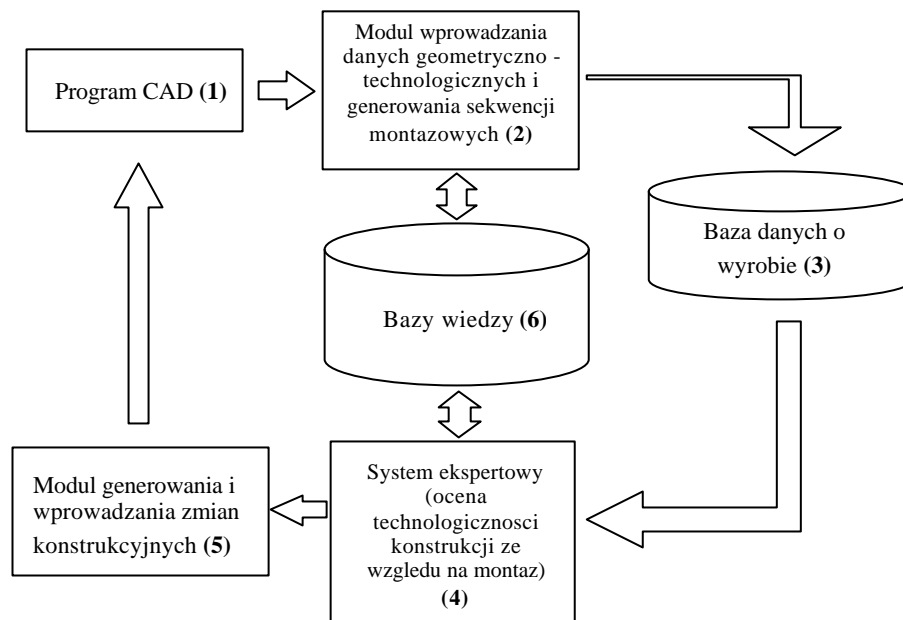
Typowy system należący do pierwszej kategorii rozpoczyna od konwencjonalnej reprezentacji CAD części, zespołów i wyrobów, i symuluje proces demontazu. Program próbuje „przesunąć” część w kierunku demontazu poprzez obliczenie poszczególnych jej położeń i ciągle sprawdzanie interferencji pomiędzy daną częścią, a częściami jeszcze zmontowanymi. W większości przypadków odwrócenie kolejności części „usuwanych” w ten sposób ze złożeń daje sekwencje montazu. Systemy te mogą zwykle obsługiwać szeroki asortyment części i złożeń, ale wykazują dwie podstawowe słabości: zużywają znaczne ilości zasobów komputerowych dla przeprowadzanych prób demontazu oraz brak im inteligentnego podejścia do rzeczywistych części maszyn.

Dróg do przezwyciężenia minusów „nieinteligentnych” metod jest kilka. Jedną z nich jest zastosowanie systemu wieży, które wykorzystują to, że elementy w złożeniu mają bezpośrednie związki z innymi częściami, mogą również ingerować w stan części sąsiadujących. Stopnie ruchliwości części mogą być ograniczone poprzez geometryczną ingerencję części bezpośrednio powiązanych, jak i części sąsiednich. Złożony proces pytań i odpowiedzi jest wykorzystywany do określenia pierwszeństwa ruchów montażowych części. Zachodzi to na etapie, na którym jest wymagana wiedza na temat struktury produktu i jej zrozumienie, czyli coś, co pozostawiono użytkownikowi. W efekcie, w oparciu o pierwszeństwo określonych ograniczeń, następuje algorytmiczne generowanie sekwencji mających na celu ustanowienie wszystkich wieży. W ten sposób wykrywane są wszystkie możliwe sekwencje [1].

Jeszcze inną metodą generowania sekwencji montażowych rozpoczyna się od konwencjonalnego opisu geometrii CAD, a następnie częściowo automatycznie, a częściowo manualnie, tworzone są graficzne modele relacji, określające styk i połączenia pomiędzy składnikami (częściami, zespołami). Używając reprezentacji w postaci grafu przeszukuje się wszystkie sekwencje demontazu, na które następnie zostają nałożone ograniczenia konstrukcyjne. Potem wybiera się wykonalne sekwencje demontazu i ewentualnie optymalne sekwencje montazu. W efekcie wysiłki te dają automatyczne określenie pierwszeństwa pomiędzy ruchami montażowymi części [4].

3 Koncepcja rozwiązania

3.1 Systemu generowania sekwencji montażowych



Rys. 1. Ogólna koncepcja systemu generowania sekwencji montażowych

Proces tworzenia sekwencji montażowej rozpoczyna się od reprezentacji wyrobu zapisanej w bazie danych systemu CAD (1)(rys.1). Dane z systemu CAD trafiają następnie do modułu (2), którego zadaniem jest dostarczenie do opisu wyrobu brakujących danych geometryczno-technologicznych niezbędnych podczas procesu planowania montazu, przy czym rodzaj i ilość tych danych zależy od

zastosowanego systemu CAD. Po uzyskaniu wszystkich niezbędnych danych następuje wygenerowanie wszystkich możliwych sekwencji montazowych, a następnie wybór jednej z nich. Proces ten opiera się na wiedzy zawartej w bazach wiedzy systemu (6). Wszystkie informacje uzyskane z modułu (2) są następnie zapisywane w bazie danych (3). Z bazy danych opis wyrobu wraz z sekwencją montażową trafia do systemu ekspertowego (4), gdzie na podstawie wiedzy zawartej w jednej z baz (6) zachodzi proces oceny technologiczności konstrukcji wyrobu ze względu na montaż. Wyniki tej oceny trafiają następnie do modułu (5), którego zadaniem jest opracowanie i wprowadzenie zmian konstrukcyjnych w wyrobie. Ich celem jest jak najlepsze dostosowanie tego wyrobu do potrzeb procesu montażu, bez wpływu na jego późniejszą funkcjonalność. Zmiany te trafiają ponownie do systemu CAD, skąd cały opisany powyżej przebieg rozpoczyna się na nowo, aż do uzyskania zadowalających rezultatów.

Powyższa koncepcja zapewnia zgodność systemu z wymogami inżynierii współbieżnej, dzięki czemu już na wczesnym etapie projektowania wyrobu jesteśmy w stanie określić jego wymagania montażowe oraz wskazać wszystkie błędy, które uwiidocznia się podczas procesu montażu.

Do otrzymania wartościowego procesu montażowego niezbędne są co najmniej trzy elementy z powyższego diagramu, którymi są:

1. program CAD zapewniający pełną reprezentację wyrobu włącznie z geometrią wyrobu, jego topologią oraz cechami technologicznymi,
2. moduły dekompozycji wyrobu i generowania sekwencji montażowych,
3. baza danych o wyrobie.

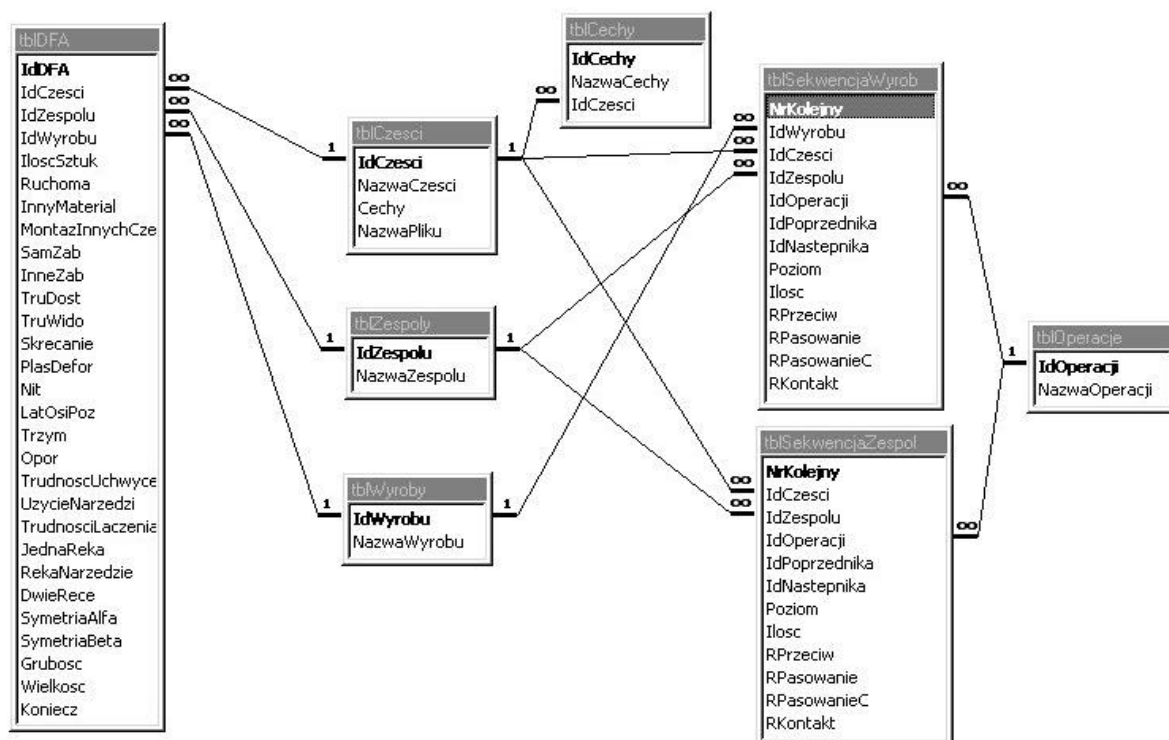
Należy również zaznaczyć, że system według proponowanej koncepcji charakteryzuje się dużą elastycznością, jeżeli chodzi o stopień jego automatyzacji. System może rozpocząć działanie jako w pełni manualny i z upływem czasu być uzupełniany o elementy automatyzujące. Pozwala to na łatwą rozbudowę systemu oraz na stosowanie wydajniejszych algorytmów automatyzujących jego działania, jeżeli tylko takie algorytmy zostaną opracowane.

Przy założeniu maksymalnego stopnia automatyzacji systemu interakcja użytkownika z systemem polegałaby wyłącznie na udzieleniu odpowiedzi na pytanie o nazwę analizowanego wyrobu. Tak wysoki stopień automatyzacji jest jednak bardzo trudny do zrealizowania, a to nie ze względu na aspekt sprzętowy, ponieważ obecnie komputery dysponują dość dużymi mocami obliczeniowymi, ale przez trudności powstające przy próbie automatyzacji rozpoznawania części, zespołów i generowania sekwencji montażowych. Do przeprowadzenia tych działań wymagana jest bowiem duża wiedza technologiczna, jak i intuicja, i doświadczenie projektanta. Problemy pojawiają się podczas prób przelożenia na język zrozumiały dla komputera wiedzy technologicznej, natomiast zadanie przekazania programowi komputerowemu doświadczenia i intuicji projektanta jest zadaniem bardzo trudnym.

3.2 Baza danych wyrobu dla celów montażu

Bazy danych wyrobu do celów montażu powinna:

1. Zapewniać jednoznaczny i łatwy do odczytania opis wyrobu.
2. Zawierać wykaz wszystkich części i zespołów wchodzących w skład wyrobu.
3. Zawierać informacje na temat kształtu geometrycznego poszczególnych elementów wyrobu, które to informacje mogą być przedstawione przy pomocy ich cech geometrycznych i technologicznych.
4. Obejmować dane na temat relacji pomiędzy poszczególnymi elementami (częściami, zespołami) wyrobu.
5. Umożliwić zapis i odczyt sekwencji montażowej zarówno na poziomie całego wyrobu, jak i na poziomie pojedynczych zespołów.
6. Posiadać odpowiednio elastyczną strukturę, która w razie potrzeby pozwoli na łatwą rozbudowę bazy o nowe tabele lub pola w tabelach istniejących.
7. Posiadać mechanizmy czuwające nad integralnością danych w niej umieszczonych.



Rys. 2. Struktura bazy danych wyrobu

Bazy danych zawiera 8 tabel połączonych przez 11 relacji.

tblWyroby – zawiera nazwy i symbole wyrobów,

tblZespoly – zawiera nazwy i symbole zespołów,

tblCzesci – zawiera nazwy i symbole czesci,

tblOperacje – obejmuje nazwy operacji i ich symbole,

tblCechy - obejmuje wszystkie cechy geometryczne i technologiczne danej czesci.

tblSekwencjaWyroby – zawiera symbol wyrobu którego dotyczy sekwencja, symbol zespołu, czesci i operacji wchodzących w skład danej sekwencji, poziom, ilość czesci w wyrobie oraz pola IdPoprzednika i IdNastepnika zawierające symbole elementów (zespólów, czesci) znajdujących się bezpośrednio przed i po bieżącym elemencie, co pozwalało zapisywać sekwencje. Puste pole IdPoprzednika określa, że bieżący element jest pierwszym w wyrobie (czyli elementem bazowym), natomiast puste pole IdNastepnika oznacza ostatni element montowany w wyrobie.

tblSekwencjaZespoly – zawiera pola o podobnej zawartości co tabela tblSekwencjaWyroby, z tą różnicą, że brak było pola określającego symbol wyrobu, natomiast pole „Poziom” określało czy mamy do czynienia z sekwencją montażu zespołu czy podzespołu.

tblDFA - zawiera wszystkie informacje potrzebne do analizy ilościowego wskaźnika technologiczności konstrukcji przeprowadzanej przez system, którego czescia jest projektowana baza danych

4 Wnioski

1. Nowe metody planowania i wykonania procesu montażu w połączeniu ze zwiększoną mechanizacją i automatyzacją pozwalają na racjonalizację procesu montażu, poprzez znalezienie drogi do wykonania produktu w sposób najefektywniejszy ze względu na koszty. Koszt procesu montażu wyrobu jest związany zarówno z projektem produktu, jak i z przyjętą metodą montażu.

2. Automatyczne generowanie sekwencji montazowych może być wykorzystane podczas projektowania nowego produktu do oceny niezbędnego wyposażenia montazowego i określenia kosztów montażu podczas konfigurowania wyposażenia montazowego. Nowe metody planowania i wykonania procesu montażu w połączeniu ze zwiększoną mechanizacją i automatyzacją mogą przynieść racjonalizację procesu montażu. Można osiągnąć niższe koszty poprzez montaż produktu według optymalnej sekwencji i przez wykorzystanie właściwych metod, jak również poprzez zmiany dokonane w projekcie.
3. Inwestowanie w urządzenia automatyzujące proces montażu jest uzasadnione dopiero po poprawnym przeprowadzeniu procesu planowania.

5 Literatura

- [1] De Fazio T.L., Whitney D.E.: *Simplified Generation of All Mechanical Assembly Sequences*. IEEE Journal of Robotics and Automation, 3/6/1987.
- [2] Hsu-Pin Wang, Jian-Kang Li: *Computer – Aided Proces Planning*. Elsevier, Amsterdam - Oxford – New York – Tokyo 1991.
- [3] Kroll Ehud: *Concurrent Engineering: Automation, Tools and Techniques*. JohnWiley & Sons, Inc. 1993.
- [4] Sanderson A.C., Homem De Mello L.S., Zhang H.: *Assembly Sequence Planning*. AI Magazine, 11/1/1990.
- [5] Young, J.: *Automated Process Planning for Mechanical Parts Assembly*. State University of New York at Buffalo, New York 1988.