

KIWIEL



POLSKA AKADEMIA NAUK
Instytut Badań Systemowych

WSPOMAGANIE DECYZJI

SYSTEMY EKSPERCKIE

pod redakcją

Romana Kulikowskiego i Lucyny Bogdan

Warszawa 1995

WSPOMAGANIE DECYZJI

SYSTEMY EKSPERCKIE

pod redakcją

Romana Kulikowskiego i Lucyny Bogdan

Warszawa 1995

Wydano z wykorzystaniem dotacji
KOMITETU BADAŃ NAUKOWYCH

Materiały konferencji: "Analiza Decyzyjna, Systemy Ekspertskie, Zastosowania Systemów Komputerowych",
Warszawa, 25-27 maja 1994r.

Komitet Programowy Konferencji:

Andrzej Ameljańczyk, Zdzisław Bubnicki, Wiesław Grudzewski, Olgierd Hryniewicz, Janusz Kacprzyk, Lech Kruś, Roman Kulikowski (przewodniczący), Kazimierz Mańczak, Ireneusz Nykowski, Zdzisław Pawlak, Roman Słowiński, Andrzej Straszak, Andrzej Weryński, Andrzej Wierzbicki.

Wykonano z oryginałów tekstowych dostarczonych przez autorów

© Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 1995

ISBN 83-85847-85-5

SYSTEM PODTRZYMANIA WIARYGODNOŚCI W PROCESIE PROJEKTOWANIA

Edward Szczerbicki
Politechnika Gdańska

1. WPROWADZENIE

Zakres problemów związanych z projektowaniem wyrobu spełniającego jednocześnie zadany zbiór wymagań oraz ograniczeń projektowych, jest bardzo szeroki. Problemy te można podzielić na trzy grupy zagadnień występujących najczęściej w modelu procesu projektowania (Pahl i Beitz, 1988):

- Zdefiniowanie zadania projektowego, definicja wymagań projektowych i ograniczeń, oraz identyfikacja funkcji i podfunkcji projektowych;
- Modelowanie wyrobu obejmujące syntezę modelową, przybliżoną reprezentację fizyczną modelu wyrobu, oraz jego ocenę funkcjonalną.
- Wybór najlepszego modelu wyrobu i jego projekt szczegółowy (finalny).

W grupie zagadnień związanych z modelowaniem wyrobu często pojawia się potrzeba usunięcia z budowanego modelu pewnych informacji, których użyto wcześniej do jego konstrukcji. System zachowania wiarygodności TMS (truth-maintenance system) może być pomocny w zachowaniu logicznej spójności modelu w takich sytuacjach. Pozwala on także na uzasadnienie wniosków mówiących na przykład o nieprzydatności modelu. TMS jest pomocny również w wykrywaniu problemów powodowanych błędnymi danymi wejściowymi oraz problemów powodowanych zdefiniowaniem ograniczeń, które nie mogą być spełnione.

Jak dowodzą tego de Kleer i Forbus (1991), system TMS może bardzo znacznie poprawić efektywność rozwiązywania problemów poprzez śledzenie poprzednio wygenerowanych wniosków. Ta właściwość jest szczególnie użyteczna w procesie poszukiwania abstrakcyjnego modelu produktu.

Sam system TMS nie jest mechanizmem przydatnym w modelowaniu kolejnych stanów w trakcie postępującego procesu projektowania. Mechanizm taki może jednak zapewnić użyta przez Filmana (1988) technika równoczesnego przeszukiwania alternatywnych

założeń prowadzących do akceptowalnego rozwiązania problemu. Technika ta, nazywana czasem techniką stanów rozsianych, jest szczególnie przydatna w następujących klasach problemów (Filman, 1988 oraz Nardi i Paulson, 1987):

- Problemy optymalizacji gdzie ocenie podlega wiele alternatywnych rozwiązań. Synteza modelowa może dać w wyniku wiele abstrakcyjnych modeli, które muszą być ocenione.
- Zagadnienia charakteryzujące się niepewnością osiągnięcia rozwiązania. Typowym przykładem mogą być zagadnienia harmonogramowania przedstawione w Fillman (1988).
- Problemy, które obejmują oceny rozwiązań cząstkowych. Modelowanie wyrobu może być ujęte w technice stanów rozsianych poprzez zachowanie informacji na temat odmiennych etapów modelowania w różnych stanach. Stany te mogą być następnie wykorzystane do analiz modelu pod kątem różnych atrybutów związanych z jego cyklem życia.

W prezentowanej pracy przyjmuje się, że model wyrobu składa się z komponentów. Każdy komponent reprezentuje funkcję projektową lub też pewien zbiór takich funkcji. Opis komponentu zawiera relacje pomiędzy zmiennymi wejścia i wyjścia. Proces syntezy zakłada, że model projektowanego wyrobu ma strukturę hierarchiczną składającą się z modeli i komponentów o różnych poziomach abstrakcji.

Dwa dominujące problemy w grupie zagadnień związanych z modelowaniem wyrobu obejmują syntezę zbioru modeli z komponentów reprezentujących jedną lub więcej elementarnych funkcji projektowych, oraz analizę funkcjonalną tych modeli. W pracy omówiono zastosowanie systemu podtrzymania wiarygodności w obszarze obu tych problemów. Zastosowanie TMS pozwoliło na:

- zwiększenie efektywności algorytmu przeszukiwania w procesie syntezy,
- generowanie różnych modeli wyrobu wraz z zachowaniem ich w różnych stanach,
- efektywną ocenę funkcjonalną modeli,
- wprowadzenie mechanizmu wyjaśniającego konkluzje.

2. MODELOWANIE PRODUKTU

Modelowanie produktu obejmuje następujące etapy (Szczerbicki, 1993):

1. zdefiniowanie komponentów reprezentujących funkcje projektowe,
2. synteza komponentów,
3. analiza funkcjonalna modeli otrzymanych na drodze syntezy.

Jako ilustracja procesu modelowania posłuży projekt urządzenia służącego do unieruchomienia materiału poddawanego obróbce (imadło). Zbiór funkcji projektowych oraz abstrakcyjnych komponentów dla takiego urządzenia omówiono w Kusiak, Szczerbicki i Park (1991). Wynikiem etapu pierwszego jest baza modeli obejmująca

komponenty wraz ze zdefiniowanymi zmiennymi wejścia i wyjścia. Baza taka dla omawianego przykładu obejmuje osiem komponentów:

1. C1: $\{(F, V) \Rightarrow (M, W)\}$
2. C2: $\{(F) \Rightarrow (M)\}$
3. C3: $\{(F, V) \Rightarrow (F, M, V)\}$
4. C4: $\{(M, W) \Rightarrow (F, W)\}$
5. C5: $\{(F, W)\} \Rightarrow \{(V, F)\}$
6. C6: $\{(M) \Rightarrow (F)\}$
7. C7: $\{(M, V) \Rightarrow (M)\}$
8. C8: $\{(M) \Rightarrow (F)\}$

W powyższej notacji komponenty opisane są poprzez $\{(wejście) \Rightarrow (wyjście)\}$ a zmienne oznaczają odpowiednio: F - siła, M - moment, V - prędkość liniowa, W - prędkość obrotowa. Zmienne pogrubione (w komponentach C1, C6 i C8) oznaczają wejścia lub wyjścia zewnętrzne. Każdy komponent reprezentuje funkcję lub zbiór funkcji. Na przykład komponent C1 ma za zadanie wprowadzenie siły i jej wzmocnienie.

Łączenie komponentów odbywa się na drodze syntezy (Kusiak, Szczerbicki i Vujosevic, 1991). Synteza polega na przyporządkowaniu wejść i wyjść. Na przykład połączenie komponentów C1 i C5 powoduje powstanie następującego modelu:

$$C1.C5: \{(F, V, F) \Rightarrow (M, F, F)\}.$$

Każdy nowy model może być połączony z już istniejącymi. Wynikiem syntezy jest model produktu. Zwykle istnieje więcej niż jedna ścieżka syntezy i otrzymane modele powinny być poddane ocenie funkcjonalnej w celu wyboru najlepszego ze względu na dane kryterium.

3. OCENA WIARYGODNOŚCI

TMS jest ogólną techniką rozwiązywania problemów pracującą w tandemie z mechanizmem wnioskowania (de Kleer 1986). Wyróżnia się kilka rodzin TMS, z których najbardziej przydatny w procesie modelowania produktu jest system oceny wiarygodności oparty na założeniach - ATMS (de Kleer i Forbus, 1991). ATMS pozwala na współpracę mechanizmu wnioskowania z wieloma na raz kontekstami (kontekstami rozsianymi). Jest on w stanie wygenerować wszystkie możliwe rozwiązania danego problemu.

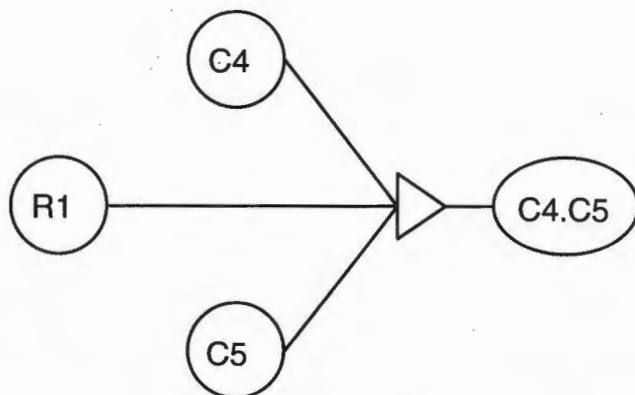
Istotną cechą ATMS jest postrzeganie różnicy pomiędzy założeniami a danymi innego typu. Założenia to dane, o których przypuszcza się, że są prawdziwe. Pozostają one prawdziwe aż do momentu gdy pojawią się dowody na ich nieprawdziwość. Przesłanki

wyprowadzone na podstawie założeń i danych są przekazywane do ATMS. Każda przesłanka jest opisana etykietą z listą środowisk. Środowisko jest to zbiór założeń, przy których przesłanka jest prawdziwa. Środowisko jest sprzeczne (niezgodne) jeśli pozwala na wyprowadzenie przesłanki będącej zaprzeczeniem (nazywane jest ono wtedy *nogood*). Jeśli środowisko takie zostanie wykryte, powinno być usunięte ze wszystkich etykiet. Zbiór przesłanek wyprowadzonych ze zgodnego środowiska nazywa się jego kontekstem.

W trakcie procedury rozwiązywania problemu powstaje sieć zależności. Składa się ona z węzłów przypisanych założeniom, uzasadnieniom, oraz przesłankom (wnioskom) (de Kleer i Forbus 1991). Przykład prostej sieci zależności reprezentującej połączenie komponentów C4 i C5 przedstawiono na rys. 1. Połączenie komponentów C4 i C5 powoduje powstanie następującego modelu:

$$C4.C5: \{(M,W) \Rightarrow (V,F)\}.$$

Odpowiednia sieć składa się z dwóch węzłów założeniowych reprezentujących informacje o komponentach C4 i C5, uzasadnienia w postaci zasady produkcji R1 (zbiór zasad produkcji kierujących syntezą modeli wraz z ich szczegółowym omówieniem podano przy opisie systemu ekspertowego wspierającego projektowanie koncepcyjne w Kusiak, Szczerbicki i Vujosevic (1991)), oraz z węzła przesłankowego reprezentującego wniosek będący rozwiązaniem problemu połączenia komponentów - model C4.C5.



Rys. 1. Sieć zależności

ATMS może być połączony z koncepcją stanów rozsianych w celu otrzymania mechanizmu przydatnego w modelowaniu zmian działań i stanów (Filman, 1988). Zgodny stan zawiera zbiór faktów, które są prawdziwe w tym stanie i spełniają

ograniczenia przypisane temu stanowi. Zbiór faktów prawdziwych w każdym stanie nazywa się jego tłem.

Stan jest definiowany zbiorem założeń. Fakt należy do stanu jeśli zbiór założeń przypisanych temu faktowi stanowi podzbiór zbioru założeń stanu. Procedura rozwiązywania danego problemu polega zwykle na budowie drzewa stanów z zachowaniem zasady dziedziczenia faktów. Rola ATMS w takiej procedurze polega na ustalaniu środowiska stanu.

4. PROCES SYNTEZY W MODELOWANIU PRODUKTU

Synteza jest procesem, w wyniku którego powstaje model produktu spełniający wymagania i ograniczenia projektowe. Algorytm syntezy (Szczerbicki, 1992) staje się nieefektywny w przypadku dużej ilości komponentów. Dla zwiększenia jego efektywności wprowadzono do syntezy mechanizm podtrzymania wiarygodności w stanach rozsianych. Pozwala to na:

1. powrót do decyzji powodującej powstanie sprzeczności wykrytej na dalszym etapie syntezy,
2. zachowanie chronologicznego porządku decyzji podejmowanych w trakcie całego procesu przeszukiwania (dzięki czemu generowany jest model zawierający wszystkie informacje potrzebne do oceny funkcjonalnej modelu),
3. zachowanie wszystkich pośrednich modeli.

Procedura syntezy zaczyna się od stworzenia stanu (W1) przypisanego komponentowi (C1) (wszystkie jego wejścia są zewnętrzne). Założenie, które reprezentuje to działanie jest następujące : "komponent C1 jest dodany do stanu W1". Stan W1 zawiera po tej akcji wszystkie informacje o komponentie C1.

Tworzeniu każdego stanu towarzyszy wygenerowanie przez zasady związane z ograniczeniami listy komponentów, które mogą być dodane do modelu w tym stanie. Dla W1 lista ta jest następująca:

W1: C1 → (C4, C5, C6, C7, C8)

Następnie algorytm przeszukiwania "depth-first" wybiera pierwszy komponent z listy możliwych połączeń i tworzy stan (oznaczmy go W2), który zawiera ten punkt w przestrzeni przeszukiwania. Stan W2 jest tworzony przy użyciu zasad produkcji związanych z łączeniem komponentów. Utworzenie stanu W2 reprezentuje połączenie komponentów C1 i C4 w model C1.C4.

Stan W2 zawiera następujące informacje:

1. Komponent C1 odziedziczony ze stanu W1,

2. Założenie "komponent C4 jest dodany do stanu W2". Komponent C4 jest dodany do W2 poprzez połączenie węzła stanu N_{W2} (uzasadnienie) oraz węzła założenia $A_{W,C4}$:

$$N_{W2} \wedge A_{W,C4} \rightarrow C4$$
3. Przesłankę reprezentującą model M2: C1.C4:

$$C1 \wedge C4 \rightarrow M2$$

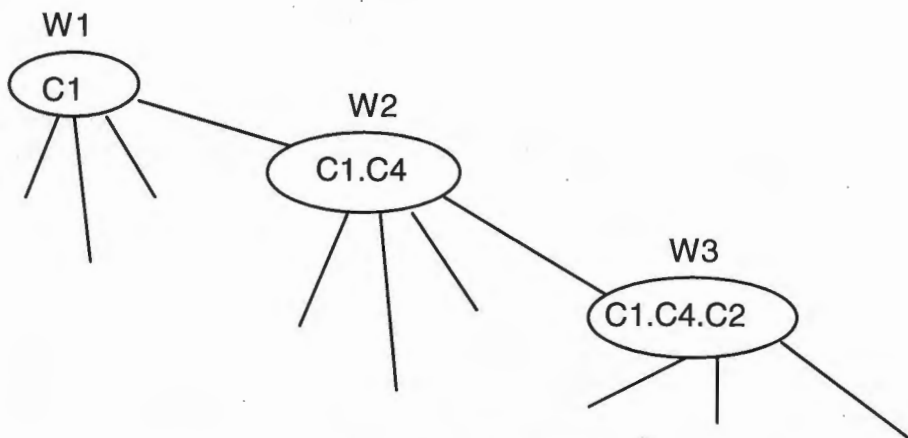
Środowisko stanu W2 jest generowane przez ATMS i stanowią je założenia dodane do stanu oraz odziedziczone. Każdy stan ma swoje środowisko zachowane w etykiecie węzła stanu. Węzeł stanu jest przypisany każdemu stanowi i pozwala na podtrzymanie wiarygodności w różnych stanach. Węzeł stanu (N_{W2}) w stanie W2 jest następującą przesłanką:

$$N_{W1} \wedge A_{W2} \rightarrow N_{W2},$$

gdzie N_{W1} jest węzłem stanu W1, a A_{W2} jest założeniem stanu W2.

Dla stanu W2 ponownie jest generowana lista komponentów, które mogą być dodane do modelu w tym stanie. Następnie wybrany jest pierwszy komponent z listy i tworzony jest stan W3. Procedura taka jest kontynuowana tak długo, dopóki wszystkie modele nie zostaną wygenerowane.

Rys. 2 ilustruje część stanów rozsianych podtrzymania wiarygodności w procesie syntezy.



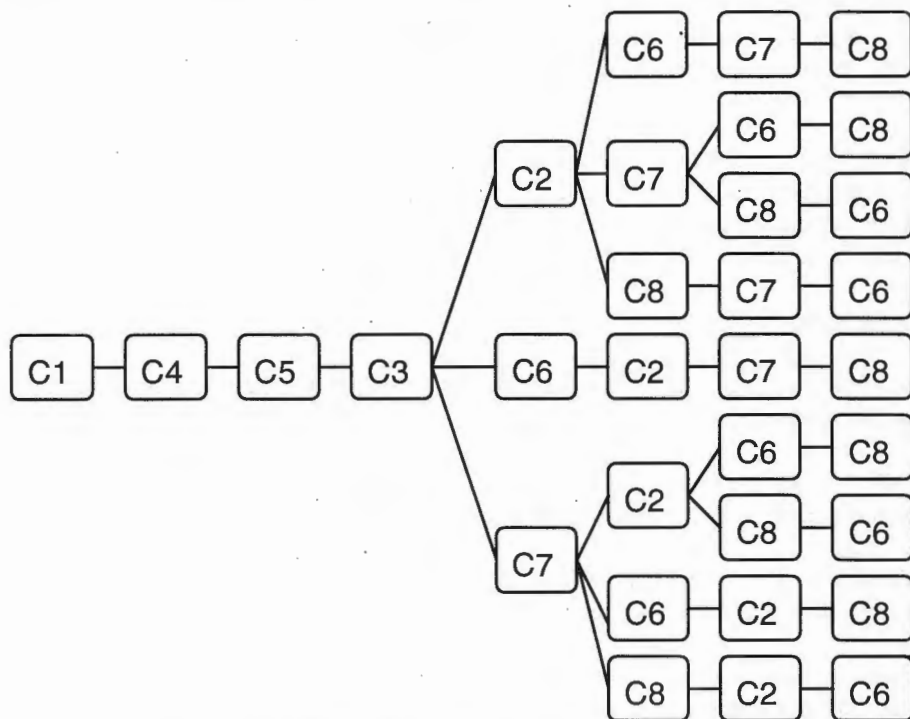
Rys. 2. Stany W1, W2 i W3 w procesie syntezy

Zasady produkcji wykrywające sprzeczności oznaczają stan jako *nogood* jeśli w modelu danego stanu taka sprzeczność się pojawi. Sprzeczność może być związana z faktem, że model w danym stanie zawiera:

1. tylko wyjścia zewnętrzne i tylko część komponentów,
2. przynajmniej jedno wyjście wewnętrzne jednak bez możliwości połączenia go z jakimkolwiek z pozostałych komponentów,
3. wszystkie komponenty, jednak z jednym lub z większą ilością wyjść wewnętrznych.

ATMS zapewnia, że żaden nowy stan nie powstanie z danego zbioru założeń (środowiska zapisanego w etykiecie) jeżeli zbiór ten powoduje sprzeczność. Algorytm ATMS (de Kleer i Forbus, 1991) propaguje zmiany etykiet w całym drzewie stanów.

Rezultatem syntezy ośmiu komponentów jest dziewięć modeli zapisanych w dziewięciu stanach, które nie wykazują sprzeczności. W trakcie syntezy stworzonych zostało 2513 stanów (Vujosevic, Kusiak i Szczerbicki, 1994). Część przestrzeni przeszukiwania reprezentującej dziewięć wynikowych modeli przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Część przestrzeni przeszukiwania w procesie syntezy

Każdy komponent ma przypisaną funkcję transformacji związaną z reprezentacją funkcji projektowych. Na przykład transformację w komponencie C1 można fizycznie wyrazić jako $M=Fr$ oraz $W= V/r$. Aby zgodny model został zaakceptowany jako dopuszczalny model produktu, należy poddać go analizie funkcjonalnej.

5. ANALIZA MODELU

Dwa następujące procesy można przypisać komponentom (Pu, 1990; Kuipers, 1989): (i) transformacja zmiennych modelu (w naszym przypadku są to zmienne reprezentujące siłę, moment, prędkość liniową i kątową), (ii) transmisja zmiennych poprzez połączenia pomiędzy komponentami. Analiza funkcjonalna modelu odbywa się zgodnie z algorytmem, który śledzi strukturę modelu poczynając od stanu W1 (w omawianym przypadku stan ten jest reprezentowany przez komponent C1) a następnie przechodząc do kolejnych stanów obliczając za każdym razem fizyczną reprezentację ich wyjść. Na przykład dla modelu M2:C1.C4 reprezentującego stan W2 zasymulowane zostaną następujące zdarzenia: (i) transformacja w komponentie C1, (ii) transmisja pomiędzy komponentem C1 i C4, (iii) transformacja w komponentie C4, (iv) reprezentacja wyjść modelu C1.C4. Wszystkie parametry, które nie występują w opisie komponentów a są potrzebne w procesie symulacji, mogą być wprowadzone przez projektanta. Są to najczęściej niektóre wymiary geometryczne produktu. Wyniki symulacji porównuje się z narzuconymi wymaganiami. Jeżeli wymagania nie są spełnione, możliwe jest powtórzenie symulacji dla innych jej parametrów.

Komputerowa implementacja syntezy, podtrzymania wiarygodności i symulacji wykonana została w Smalltalku-80 (Vujosevic, Kusiak i Szczerbicki, 1994). Hierarchia klas w tej implementacji obejmuje modele, ich reprezentację graficzną i opisową, oraz ATMS.

LITERATURA

Filman, R.E. (1988), Reasoning with worlds and truth maintenance in a knowledge-based programming environment, *Communications of the ACM*, Vol. 31, pp. 382-401.

de Kleer, J. and Forbus, K.D. (1991), Truth maintenance systems, Tutorial on the ninth National Conference on Artificial Intelligence, Los Angeles, CA, July, pp. 14-19.

Kuipers, B. (1989), Qualitative reasoning: Modeling and simulation with incomplete knowledge, *Automatica*, Vol. 25, pp. 571-585.

Kusiak, A., Szczerbicki, E., and Park, K. (1991), A novel approach to decomposition of design specifications and search for solutions, *International Journal of Production Research*, Vol. 29, No. 7, pp. 1391-1406.

Kusiak, A., Szczerbicki, E., and Vujosevic, R. (1991), Intelligent design synthesis: an object oriented approach, *International Journal of Production Research*, Vol. 29, No. 7, pp. 1291-1308.

Nardi, B.A. and Paulson, E.A. (1987), Multiple worlds with truth maintenance in AI applications, in Proceedings of the 7th European Conference on Artificial Intelligence, du Boulay, B., and Hogg, D. (eds), North-Holland, Amsterdam, pp. 563-572.

Pahl, G., and Beitz, W. (1988), *Engineering Design*, Springer-Verlag, New York.

Pu, P. (1990), Intelligent computer aided design system: a synergical approach of artificial intelligence and engineering, *Computing Intelligence*, Vol. 6, pp. 81-90.

Szczerbicki, E. (1992), System-theoretic hierarchical model synthesis, *Systems Analysis, Modelling, Simulation*, Vol. 9, 113-135.

Szczerbicki, E. (1993), Conceptual modelling for autonomous systems, *Systems Analysis, Modelling, Simulation*, Vol. 10, pp. 187-207.

Vujosevic, R., Kusiak, A., and Szczerbicki, E. (1994), Reason maintenance in product modeling, *SME Transactions of Engineering: Journal for Industry*, (w druku).

ISBN 83-85847-85-5

**W celu uzyskania bliższych informacji i zakupu dodatkowych egzemplarzy
prosimy o kontakt
z Instytutem Badań Systemowych PAN
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa
tel. 36-19-01 w. 241 e-mail: kotuszew@ibspan.waw.pl**