ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1980
Seria: AUTOMATYKA z. 56 Nr kol. 652

Zbigniew Banaszak, Jan Betta,
Andrzej Drzazga
Politechnika Wrocławska

ZASADY BUDOWY ZAUTOMATYZOWANYCH DYSKRETNYCH SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH */

Streszczenie. W artykule przedstawiono koncepcję komputerowo zorientowanej procedury projektowania systemów produkcyjnych. W procedurze efektywnie wykorzystuje się tzw. zbiór zasad budowy zautomatyzowanych systemów produkcyjnych. W zbiorze zasad wyróżnia się zasady o charakterze dyrektyw i ograniczeń /kształtujące własności systemu/ oraz o charakterze metasystemowym /pozwalające ocenić jakość systemu/. Przyjęcie pewnego podzbioru zasad budowy prowadzi do określonego wariantu modelu systemu produkcyjnego oraz związanej z nim wartości funkcji oceniającej.

1. Wstęp

Ważnym aktualnie problemem występującym w krajowym przemyśle maszynowym jest budowa i wdrażanie zautomatyzowanych systemów produkcyjnych. W szczególności istota wymienionego wyżej problemu sprowadza się do rozwiązania zadania racjonalnego projektowania systemów produkcyjnych. Decydujący wpływ na racjonalny przebieg procesu projektowania ma zbiór wykorzystywanych w nim reguł decyzyjnych, określających charakter i własności projektowanego systemu.

W pracy [1] dokonano wstępnego ustalenia i systematyzacji tego typu reguł. Reguły decyzyjne, częstokroć o charakterze heurystycznym, zorientowane na procesy syntezy, nazwano zasadami budowy. Oznacza to celowość ich wykorzystania w procesach projektowania wspomaganego komputerem i związane jest z wyznaczaniem i oceną wariantów modeli systemów produkcyjnych.

Należy zauważyć, że prace związane z ustaleniem zasad budowy związane są z zagadnieniami:

- określenia reguł projektowania nowych i reguł przekształcania /modernizacji/ istniejących systemów produkcyjnych,
- sformułowania reguł makro- i mikroprojektowania dla potrzeb określenia elementów i struktury systemu produkcyjnego.

Znaczy to, że prace prowadzone w tym zakresie stanowią przyczynek do problemu znacznie ogólniejszego - teorii automatyzacji dyskretnych systemów produkcyjnych.

*/ Praca wykonana w ramach problemu węzłowego 05.3.2

2. Kryteria doboru zasad budowy

Można przyjąć, że system produkcyjny zbudowany jest z dwóch podsystemów [3] : podsystemu wykonawczego /realizującego m.in. funkcje wytwarzania, transportu, magazynowania/ oraz podsystemu sterującego /realizującego m.in. funkcje planowania i kierowania produkcją/. Przyjęte rozróżnienie pozwala analizować problem automatyzacji procesów produkcyjnych w kontekście uwarunkowań związanych z metodami i środkami:
- automatyzacji procesów technologiczno-produkcyjnych,
- automatyzacji procesów sterowania systemami technologiczno-produkcyjnymi.

Przedstawione rozróżnienie należy uzupełnić charakterystką systemu mówiącą o sposobie i zakresie współdziałania z otoczeniem. Własnościami tego typu są m.in. integralność i elastyczność systemu. Pierwsza z wymienionych charakterystyk określa scalanie i współdziałanie procesów składających się na wyodrębnioną z otoczenia całość - system produkcyjny. Druga z charakterystyk, elastyczność systemu, związana jest z możliwościami programowania i reprogramowania warunkującymi dostosowanie się systemu do oczekiwań otoczenia.
Wymienione własności osiągane są poprzez wykorzystanie komputerów jako środków i systemów oprogramowania jako metod automatyzacji procesów produkcyjnych. Oznacza to możliwość integracji różnego typu procesów jednostkowych /przepływy narzędzi, materiałów, operacje kontrolno-pomiarowe itp./, a także możliwość elastycznego programowania przebiegu sterowanych procesów, np. automatyczne przezbrajanie stanowisk produkcyjnych. Należy zauważyć, że w przedstawionej sytuacji komputer spełnia rolę środka automatyzacji procesów sterowania i kierowania systemem produkcyjnym.

Przedstawione rozważania uwidaczniają metody wykorzystywane przez technikę systemów, zwaną niekiedy inżynierią systemów. Technika systemów i jej metody stają się użyteczne wówczas, gdy rozważany system jest tworem bardzo dużym, zawierającym wiele różnych części i podlegającym wpływom wielu czynników zewnętrznych. W tego typu sytuacjach istnieje zazwyczaj wiele strukturalnych i funkcjonalnych wariantów jego rozwiązania, wśród których należy wybrać wariant najlepszy.
Wskazując na źródła zasad należy zatem wskazać obszar zastosowań metod teorio-systemowych przydatnych w zagadnieniach automatyzacji, a automatyzacji kompleksowej w szczególności. Z tego też względu część zasad wynika z obszaru ogólnej teorii systemów /zwłaszcza zasady metodologiczne i zasady realizowalności fizycznej/ oraz z jej części szczegółowych - teorii systemów dynamicznych /zasady tworzenia modeli/ i teorii sterowania /zasady dotyczące sterowania, struktury systemu sterowania, podziału na warstwy/. Innymi źródłami zasad są ekonomiczne rozważania optymalizacyjne, szeroko rozumiana humanizacja pracy, sozologia, wyniki badań w zakresie metodologii projektowania itp.
Dla przedstawionego w pracy [1] zestawu zasad budowy przyjęto podział na

zasady budowy i zasady automatyzacji, co odpowiada przedstawionemu na wstępie wyróżnieniu podsystemów systemu produkcyjnego. Warto w związku z tym zauważyć, że przedstawiony podział umożliwia interpretację bloku zasad budowy jako realizacji warunku koniecznego, a bloku zasad automatyzacji jako realizacji warunku wystarczającego budowy zautomatyzowanych systemów produkcyjnych.

Interpretacja zbioru zasad budowy zautomatyzowanych systemów produkcyjnych jako problemu decyzyjnego prowadzi do podziału na zasady typu ograniczeń i zasady typu dyrektyw. Wśród obu typów zasad można wyróżnić ograniczenia metodologiczne, fizykalne, inżynierskie, techniczno-ekonomiczne, bhp, sozologiczne oraz dyrektywy metodologiczne, inżynierskie, techniczno-ekonomiczne, socjologiczne.

Zaproponowany podział uwzględnia zarówno pochodzenie zasad, ich wagę, jak też sposób wykorzystania. Klasyfikacja taka sugeruje również częściową hierarchizację zasad. Zasadami nadrzędnymi nazywane są te zasady, którym podporządkowane są /w sensie logicznego wynikania, zależności funkcyjnych bądź jakościowych/ jedna lub więcej zasad. Hierarchizacja oddaje znaczenie poszczególnych grup zasad i kolejność ich wykorzystania. Jako pierwsze, w procesie budowy, powinny być brane pod uwagę zasady metodologiczne, następnie zasady typu dyrektyw i ograniczeń stopniowo specyfikujące indywidualne cechy i własności projektowanego systemu.

Różne zasady budowy systemów produkcyjnych można porównać za pośrednictwem przydatności rozumianej jako stosunek efektów osiąganych do założonych. Pozwala to na weryfikację poszczególnych zasad za pośrednictwem efektów związanych z ich wykorzystaniem /tzn. efektów uzyskanych w systemach produkcyjnych zbudowanych zgodnie z tymi zasadami/.

W celu efektywnego wykorzystania zbioru zasad budowy zautomatyzowanych systemów produkcyjnych należy dążyć do sformułowania pewnego problemu decyzyjnego, gwarantującego wybór ograniczonego zbioru wariantów takich systemów. Jego częściami składowymi są funkcje celu i ograniczenia, będące treścią niektórych zasad budowy. Sytuacją idealną, w której można efektywnie i dokładnie rozwiązać powyższy problem decyzyjny, jest taka, w której zawsze znane są wyrażenia analityczne wszystkich funkcji celu i funkcji ograniczeń oraz ich wzajemne zależności. Sytuacja taka w praktyce nie występuje niemal nigdy.

Z przedstawionego punktu widzenia wszystkie zasady dadzą się podzielić na zasady bądź to jakościowe, bądź weryfikowalne numerycznie. Przykładem zasady opisywalnej jakościowo jest zasada standaryzacji, której realizacja wymaga studiów literaturowych i konsultacji z ekspertami. Natomiast przykładem zasady weryfikowanej numerycznie jest zasada maksymalizacji czasu międzywaryjnego, której realizacja wymaga przeprowadzenia wstępnych oszacowań niezawodności systemu dla przyjętej struktury połączeń i parametrów elementów składowych.

Pomiędzy poszczególnymi zasadami istnieje cały szereg zależności logicz-

nych, jakościowych i ilościowych. Związki te każdorazowo określa specyfika rozważanego zadania syntezy systemu produkcyjnego. Oznacza to, że istnieje pewien ogólny schemat wykorzystania zasad: w pierwszej kolejności należy wykorzystywać zasady o charakterze uniwersalnym niezależnym od specyfiki zagadnienia, a w dalszej kolejności wykorzystywać zasady o charakterze partykularnym, uszczegóławiające specyfikę zagadnienia.
Należy podkreślić, że tak rozumiany zbiór zasad nie tworzy zbioru skończonego, może być aktualizowany i rozszerzany wraz z gromadzonym doświadczeniem i potrzebami projektowania.

3. Budowa modelu systemu produkcyjnego

Procedura tworzenia zintegrowanego modelu zautomatyzowanego systemu produkcyjnego oparta jest na pewnym wybranym a priori podzbiorze zasad. W zintegrowanym modelu, zgodnie z przyjętymi na wstępie założeniami, można wyróżnić dwie zasadnicze części: model procesu technologiczno-produkcyjnego, model systemu sterowania procesem technologiczno-produkcyjnym.

Punktem wyjścia do opracowania modelu systemu produkcyjnego jest wstępny projekt technologiczny. Projekt ten zawiera wykaz operacji technologicznych prowadzących do wytworzenia zadanego wyrobu finalnego przy założonej strukturze półwyrobów oraz uwzględnia kolejność wykonywania operacji. /Przykładem procesu tworzenia formalnego opisu takiego projektu jest praca [4]./ Wzmiankowany projekt pozwala na stworzenie grafowego modelu procesu technologicznego

$$\langle X , M \rangle$$

gdzie: X - zbiór operacji technologicznych, M - macierz określająca następstwo operacji.
Załóżmy, że model systemu produkcyjnego będzie spełniał zasadę komputerowej automatyzacji procesu technologiczno-produkcyjnego.

W ramach procesu technologicznego można wyodrębnić kilka typów operacji. Wydaje się więc celowa dekompozycja takiego procesu na szereg podprocesów, zawierających sekwencje operacji o podobnym charakterze, np. obróbka ubytkowa, obróbka cieplna itp. Dekompozycji takiej można dokonać np. w oparciu o symbole kodowe operacji. Powszechne stosowanie kodowania produktów i operacji technologicznych [2] pozwoli na algorytmizację procesu dekompozycji systemu.
Przyjęcie określonej relacji dekompozycji R pozwala określić przestrzeń ilorazową $X_{/R}$, a tym samym zbiór podsystemów. Określonym operacjom technologicznym ze zbioru X przyporządkowywane są odpowiednie realizatory ze zbioru RE. Odwzorowanie

$$\alpha : X_{/R} \longrightarrow RE$$

wiąże operacje z realizatorami mającymi funkcjonować w poszczególnych

podsystemach. Dobór realizatorów do poszczególnych operacji może zostać przeprowadzony np. w oparciu o dostępne katalogi obrabiarek. Należy zauważyć, że dekompozycja procesu w fazie tworzenia opisu systemu jest bezpośrednią konsekwencją przyjęcia zasady agregacji obiektów automatyzacji oraz zasady dekompozycji procesu produkcyjnego.
W przypadku, gdy dany jest opis działania realizatora, a tym samym pewne odwzorowanie

$$\beta : X \times RE \longrightarrow T,$$

przyporządkowujące każdej operacji średni czas trwania $t \in T$ operacji na wybranym realizatorze, można określić liczbę realizatorów i kolejność obróbki gwarantujące ich równomierne obciążenie.
Dobór realizatorów dla poszczególnych podsystemów winien realizować zasadę unifikacji środków produkcji. Unifikacją objęte winny zostać także pomocnicze środki obsługi procesu m.in. środki transportu i kontroli.
Wprowadzone odwzorowania pozwalają określić zasadnicze cechy struktury procesu technologicznego. Strukturę tę należy uzupełnić strukturą urządzeń transportowych, manipulacyjnych, kontrolno-pomiarowych itp., którą uzyskuje się z analizy struktury i uwarunkowań czasowych procesu technologicznego.

Uzyskane wyniki pozwalają sformułować wymagania dla systemu sterowania dokonującego doboru odpowiednich wartości parametrów sterujących. Dobór parametrów dokonywany jest w oparciu o dane o stanie procesu technologicznego. Można zatem wymienić zasadnicze funkcje realizowane przez system sterowania: zbieranie i wstępne przetwarzanie danych, przechowywanie danych, wypracowanie sterowań procesem technologiczno-produkcyjnym.
Projektowanie systemu sterowania uwzględniać powinno, poza aspektem funkcjonalności, również ograniczenia wynikające ze specyfiki problemów stawianych przed systemem oraz możliwości technicznej realizacji, a w szczególności zasady postulujące potrzebę sterowania numerycznego obiektami automatyzacji i w konsekwencji, cyfrowej realizacji algorytmów sterowania w czasie rzeczywistym. Istotne znaczenie posiada także zasada funkcjonalno-strukturalnego dopasowania obiektu obsługującego z obsługiwanym. Realizacja tej zasady może zostać zapewniona przez postulowanie jednolitego systemu sterowania systemem produkcyjnym. Zakładając sterowanie przebiegiem poszczególnych operacji należy uwzględnić tryb pracy systemu /real-time/ oraz zakres współpracy z otoczeniem / systemy transportowe, magazyny itp./.

Przyjmuje się, że zbiór decyzji sterujących D opracowany jest w oparciu o macierz następstwa operacji rozszerzoną o zbiór pomocniczych operacji technologicznych X'

$$f_{M'} : X' \times RE' \longrightarrow D$$

Wprowadzenie odwzorowania Φ określającego wykonywanie poszczególnych funkcji przez rozszerzony zbiór realizatorów RE

$$\Phi : D \times RE' \longrightarrow X'$$

pozwala określić, która operacja jest przydzielona do wykonania na określonym realizatorze.

Przedstawiony zestaw warunków prezentuje jeden z możliwych sposobów syntezy modeli wariantów procesu produkcyjnego. Jego uszczegółowienie może być kontynuowane przy uwzględnieniu dalszych, mocniej specyfikujących zasad budowy warunkujących np. modularność struktury systemu.

4. Ocena wariantów modeli procesu produkcyjnego

Przedstawiony schemat tworzenia modelu jest silnie uzależniony od przyjętego do rozważań zbioru zasad budowy i stanowi etap wstępny procesu projektowania zautomatyzowanych dyskretnych systemów produkcyjnych. Podejście takie pozwala traktować uzyskany model jako model hipotetycznego zautomatyzowanego systemu, umożliwiający ocenę zaprojektowanego bądź funkcjonującego systemu pod kątem kompleksowego ujęcia automatyzacji. Symulacja komputerowa takiego modelu zestawiona z symulacją modelu rzeczywistego niezautomatyzowanego /bądź zautomatyzowanego bez bezpośredniego uwzględnienia zasad budowy/ systemu produkcyjnego pozwoli na weryfikację poprawności przyjętego zbioru zasad.

Należy zauważyć, że wykorzystywanie różnych zbiorów zasad prowadzi na ogół do różnych wariantów modelu systemu produkcyjnego. Schemat weryfikacji uzyskiwanych modeli przedstawia rys.1.

Zakładając, że dana jest procedura generowania realizacji modelu w oparciu o zadany zbiór założeń projektowych A oraz podzbiór zasad budowy $Z' \subset Z$ uzyskiwany jest zbiór realizacji modeli SP procesu produkcyjnego

$$\eta : A \times Z' \longrightarrow SP$$

Uzyskany zbiór potencjalnych realizacji /zbiór rozwiązań dopuszczalnych/ oceniany jest wg kryteriów zawartych w podzbiorze zasad budowy typu metasystemowego $Z'' \subset Z$

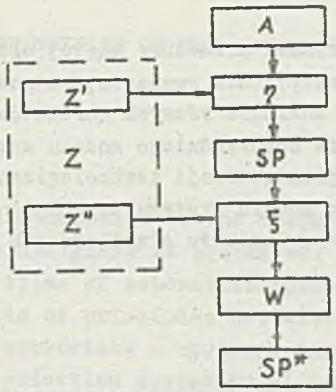
$$\xi : SP \times Z'' \longrightarrow W$$

gdzie: W - uporządkowany antysymetrycznie przez relację $\geqslant_W$ zbiór wektorowych wartości ocen.

Określenie na zbiorze wariantów SP relacji częściowego porządku $\geqslant_o$

$$SP_i \geqslant_o SP_j \Longleftrightarrow W_i \geqslant_W W_j$$

/przy czym: $SP_i \geqslant_o SP_j$ czytamy: wariant SP_i jest nie gorszy aniżeli wariant SP_j/ prowadzi do spostrzeżenia, że z równości ocen dwóch wariantów nie wynika identyczność tych wariantów. Innymi słowy, dwa różne warianty mogą mieć identyczne oceny, co oznacza, że zbiór wariantów SP^* o maksymalnej ocenie /wobec braku antysymetrii $\geqslant_o$ / nie będzie na ogół jednostkowy.



Rys.1 Schemat blokowy procedury budowy i oceny modelu systemu produkcyjnego

Należy zauważyć, że w procesie projektowania wyróżnia się podzbiór zasad o charakterze metasystemowym Z"/pozwalający ocenić jakość systemu/ oraz podzbiór zasad o charakterze dyrektyw i ograniczeń Z'/kształtujący własności systemu/. Oznacza to, że przyjęcie pewnego podzbioru zasad budowy prowadzi do określonego wariantu modelu systemu produkcyjnego. W wyniku zastosowania procedury / wykorzystywanej w trybie konwersacyjnym/ uzyskuje się określony wariant systemu modelu oraz związaną z nim wartość funkcji oceniającej.
Stosowanie przedstawionej procedury odpowiada realizacji etapu projektowania wstępnego i związane jest z wyznaczaniem i oceną wariantu zautomatyzowanego dyskretnego systemu produkcyjnego.

5. Uwagi końcowe

Opracowania zbioru zasad budowy [1] dokonano w kontekście potrzeb projektowania wstępnych wariantów zautomatyzowanych dyskretnych systemów produkcyjnych. Zorientowanie zapostulowanego zbioru zasad na potrzeby projektowania zautomatyzowanych systemów produkcyjnych oznacza możliwość ich wykorzystania w procesach komputerowo wspomaganego projektowania. Projektowanie w trybie konwersacyjnym wymaga opracowania odpowiednich modeli symulacyjnych obiektu - zautomatyzowanego systemu produkcyjnego. Przedstawiony w niniejszym opracowaniu schemat budowy modelu systemu pozwala scharakteryzować podstawowe wielkości i zależności niezbędne i wystarczające do symulacji takiego procesu.

Głównymi zaletami proponowanej procedury są:jej uzależnienie od założonego zbioru zasad oraz elastyczność gwarantująca możliwość generowania różnych modeli systemu przy analizie różnych wariantów automatyzacji. Inną zaletą jest łatwość tworzenia odpowiedniego modelu symulacyjnego /poprzez wprowadzenie dynamicznego opisu operacji technologicznych/ na bazie zaproponowanego zintegrowanego modelu systemu produkcyjnego. Oznacza to możliwość doboru wariantu budowy, wariantu o najlepszych wartościach przewidywanych charakterystyk.

LITERATURA

[1] Banaszak Z.,Betta J. i inni : Zasady budowy zautomatyzowanych systemów produkcyjnych, Wyd.Pwr. Raport serii Sprawozdania nr 28 Wrocław 1979.

[2] Komorowski A.,Berus B. : Racjonalizacja technicznego przygotowania produkcji w ZM URSUS,[w:] Materiały Konferencji COMPCONTROL'77,s.273-284 Warszawa 1977.

[3] Sawik T. : Synteza systemów sterowania produkcji na gruncie nowoczesnej teorii sterowania,[w:] Materiały Krajowej Konferencji SYSTER 79,s.205-214 Katowice 1979.

[4] Tkačenko L.S.,Sous A.V.,Jakovickij Z.P. : Osnovy avtomatizacji projektirovania technołogičeskich procesov obrabotki rezaniem. Nauka i Technika, Minsk 1978.

ПРИНЦИПЫ СТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ДИСКРЕТНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Р е з ю м е

В статье представлено идею машинной процедуры проектирования производственных систем. В предлагаемой процедуре используется т.н. множество принципов строения автоматизированных производственных систем. В множестве можно выделить принципы метасистемного характера /дающие возможность оценить качество системы/ а также принципы о характере рекомендаций и ограничений/ определяющие основные черты и свойства системы/. Это означает, что принятие некоторого множества принципов ведёт к некоторому варианту модели производственной системы и связанному с ней значению оценивающей функции.

THE CONSTRUCTING PRINCIPLES OF THE AUTOMATIZED PRODUCTION SYSTEMS

S u m m a r y

In the paper a conception of the computer-oriented procedure of the production systems designing is presented. In the procedure a set of constructing principles of automatized production systems is used. In this set three kinds of principles are distinguished: metasystem atic principles /which appreciate a system/, instructions and constraints. A variant of the production system model and an appreciating function is done as a result of the production system designing procedure.