

## Koncepcja rozproszonego systemu sterowania dyskretnymi systemami wytwarzania

*Streszczenie: Zaprezentowana w referacie koncepcja opiera się na zastosowaniu w procesie sterowania dyskretnymi systemami wytwarzania jednolitych, konfigurowalnych, inteligentnych i kooperatywnych modułów. Dzięki wprowadzeniu modyfikowanej autonomii decyzyjnej modułów można opracowaną koncepcję określić jako koncepcję systemu sterowania z rozproszoną inteligencją.*

### A Concept of Distributed Control System of Discrete Event Manufacturing Processes

*Summary: The presented concept is based on application of unified, easy to re-configure, intelligent and cooperative modules in control of discrete event manufacturing processes. Due to the ability of modifying of autonomy level in the modules the concept can be described as a concept of control with distributed intelligence.*

#### 1. WSTĘP

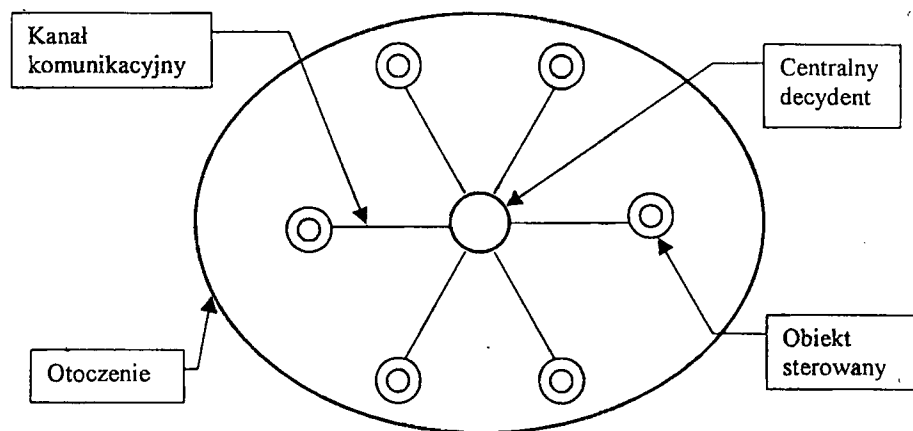
Cele stawiane przez współczesny rynek w ramach tzw. globalnej konkurencji narzucają twórcom stosowanie najnowocześniejszych rozwiązań by zaspokoić ciągle rosnące wymagania klientów. Rozważane w USA w ramach projektu „Agile Manufacturing” [1] a także zainicjowane przez Japończyków koncepcje „Intelligent Manufacturing Systems” [6] czy „Biological Manufacturing Systems” [10] stanowią kilka przykładów prowadzonych na szeroką skalę działań, służących do określenia wymagań stawianych przyszłym systemom wytwarzania oraz poszukiwaniu koncepcji pozwalających na ich zrealizowanie. Jednym z podstawowych cech współczesnego środowiska wytwarzania jest jego rozproszenie. Dotyczy to zarówno procesów wytwarzania w skali makro jak i skali mikro. Przykładem rozproszenia procesów wytwarzania w skali makro jest wytwarzanie określonego wyrobu przez wiele współpracujących jednostek znajdujących się w różnych miastach, krajach czy nawet w różnych kontynentach. W skali mikro, np. dla komórki produkcyjnej czy elastycznego systemu produkcyjnego, rozproszenie procesu wynika z rozproszonego charakteru informacji decydujących o działaniu systemu oraz szerokiego stosowania nowoczesnych sieciowych rozwiązań informatycznych, głównie bazujących na technologii klient/serwer. Produkcja na żądanie wymaga coraz szerszego stosowania systemów elastycznych oraz wykorzystania inteligentnych - łatwo przekonfigurowalnych systemów sterowania. Zbudowanie systemu sterowania dla rozproszonego systemu wytwarzania bazować więc musi na wykorzystaniu inteligentnych modułów programowych zarówno dostosowujących się do konkretnej konfiguracji systemu wytwarzania, jak i właściwie reagujących na różne sytuacje w systemie,

jak np.: przyjęcie zlecenia, wystąpienie awarii itp. Problematyka budowy otwartego modułowego systemu sterowania była przedmiotem zainteresowania badaczy realizujących projekt OSACA (Open System Architecture for Control within Automation Systems) [9]. Także w pracy [7] przedstawiono architekturę układu sterowania komórką produkcyjną bazującą na wykorzystaniu standardowych modułów wielokrotnego użytku. Bardzo ciekawa koncepcja rozważana jest w pracach [2][11][12][13] dotyczących systemów holonicznych (Holonc Manufacturing Systems) realizowanych w ramach projektu Intelligent Manufacturing Systems. Koncepcja ta zakłada budowę systemu wytwarzania jako zbioru współpracujących ze sobą inteligentnych, w pełni autonomicznych jednostek zwanych holonami, które dla realizacji określonych celów tworzą czasowe holarchie (grupy holonów). W ramach powstałych holarchii holony rezygnują z części swojej autonomii na rzecz osiągnięcia wspólnego celu.

W niniejszym referacie zaproponowano koncepcję rozproszonego systemu sterowania dyskretnymi systemami wytwarzania bazującą na zastosowaniu jednolitych, konfigurowalnych, inteligentnych i kooperatywnych modułów (obiektów).

## 2. INTEGRACJA INTELIGENTNYCH I KOOPERATYWNYCH OBIEKTÓW W DYSKRETNYM SYSTEMACH WYTWARZANIA

W każdym dyskretnym systemie wytwarzania wyselekcjonować można zbiór obiektów elementarnych oraz zbiór czynności elementarnych określający sposób, w jaki obiekty te działają. Przyjęty sposób dekompozycji zależy od decyzji podjętej arbitralnie przez projektanta systemu. Dla elastycznego systemu produkcyjnego obiektem elementarnym może być np. centrum obróbkowe czy też robot przy założeniu „zgrubnego” podziału lub podajnik, uchwyt, konik itp. dla bardziej „szczegółowego” podziału. Przyjęcie określonego sposobu dekompozycji decyduje o tym, które z obiektów, z punktu widzenia przyjętej koncepcji



Rys. 1. Scentralizowany system sterowania.

sterowania, podlegają sterowaniu oraz ma wpływ na składowe zbiory czynności elementarnych. Na bazie przyjętych zbiorów obiektów i czynności elementarnych oraz zbioru reguł działania systemu i marszrut technologicznych zbudować można algorytmy pozwalające na sterowanie procesami współbieżnymi w złożonych systemach produkcyjnych. W Katedrze Systemów Wytwarzania Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji

Politechniki Krakowskiej opracowano oryginalną metodę sterowania zwaną metodą macierzową [3][4][5]. Metoda macierzowa, nie wprowadzając a priori żadnych ograniczeń co do elastyczności systemu, pozwala na dekompozycję i sterowanie systemem produkcyjnym bez głębokiej wiedzy i znajomości złożonych narzędzi teoretycznych. W pracy [8] przedstawiono zastosowanie metody macierzowej do sterowania elastyczną linią produkcyjną. Przyjęta w metodzie macierzowej koncepcja sterowania oparta jest na modelu scentralizowanym (rys.1.). Scentralizowany model sterowania posiada wiele cech pozytywnych wynikających z centralnego zarządzania całością informacji. Jako najistotniejsze wymienić należy m.in. duże możliwości w zakresie realizacji procesów predykcyjnych i optymalizacyjnych. Jednocześnie trzeba jednak zauważyć ograniczone możliwości systemów scentralizowanych w zakresie przekazywania uprawnień decyzyjnych oraz dużą wrażliwość na awarie.

Dla poprawnego i efektywnego zintegrowania oraz wykorzystania informacji w systemie wytwarzania niezbędnym jest zbudowanie rozproszonego systemu sterowania. Przy opracowywaniu jego koncepcji przyjęto jako założenia:

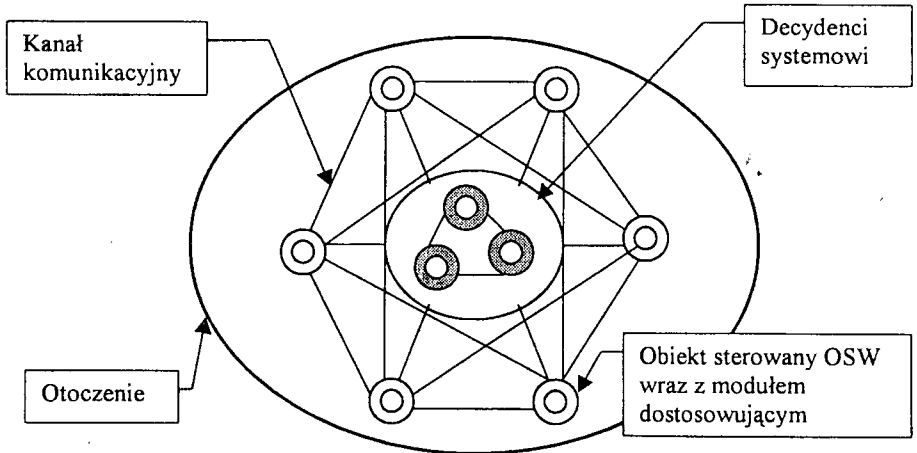
- podział systemu wytwarzania na wydzielone części nazywane obiektami elementarnymi oraz wyodrębnienie czynności wykonywanych przez te obiekty w czasie pracy systemu wytwarzania, zwane czynnościami elementarnymi,
- proces wytwarzania jest realizowany jako kombinacja czynności elementarnych wykonywanych sekwencyjnie lub współbieżnie,
- zastosowanie jednolitych - „uzdalnianych” modułów programowych dla reprezentacji różnych obiektów elementarnych w środowisku rozproszonym,
- zastosowanie możliwości współdziałania w jednym systemie obiektów rzeczywistych z obiektami symulowanymi,
- zapewnienie dużej ogólności i otwartości modelu poprzez uwzględnienie możliwości współpracy z innymi systemami programowymi. Zostanie to osiągnięte poprzez ograniczenie do niezbędnego minimum danych specyficznych (nieдоступnych dla innych systemów) oraz zastosowanie standardowych mechanizmów baz danych dla zapewnienia dostępu do informacji wspólnych dla większej liczby uczestników systemu wytwarzania. Bazy danych stanowią element integracyjny systemu sterowania zarówno z systemami zarządzania produkcją jak i systemami wspomagającymi, takimi jak systemy narzędziowe, systemy zapewnienia jakości itp.,
- zastosowanie koncepcji modułów dostosowujących, pozwalających użytkownikowi systemu na dołączanie układów rzeczywistych bez szczegółowej znajomości zasad działania systemu, problematyki komunikacji sieciowej itp.
- wykorzystanie nowoczesnych technologii informatycznych klient/serwer bazujących na tzw. rozproszonych obiektach.

Zaproponowana koncepcja rozproszonego systemu sterowania dyskretnymi systemami wytwarzania (rys. 2.) opiera się na wyróżnieniu trzech typów konfigurowalnych modułów programowych wyposażonych w interfejsy pozwalające na budowę dowolnej struktury układu sterowania w środowisku sieciowym. Tymi modułami są:

- moduł zarządzający zwany dalej decydentem systemowym,
- moduł reprezentujący działanie obiektu elementarnego zwany dalej obiektem systemu wytwarzania (OSW),
- moduł dostosowujący zwany dalej driverem a służący do integracji OSW z układem rzeczywistym.

Jednym z najistotniejszych zagadnień w procesie budowy rozproszonego systemu sterowania jest problem podejmowania decyzji. W proponowanej koncepcji rozproszonego systemu

sterowania decyzje nie są podejmowane wyłącznie przez centralnego decydenta, ale również przez poszczególne obiekty sterowane OSW. Dodatkową możliwością, która otwiera dalsze perspektywy jest zastąpienie pojedynczego centralnego decydenta przez kilku decydentów systemowych o jednolitym bądź zróżnicowanym zakresie decyzyjnym. To, jakie decyzje podejmowane będą przez OSW, a jakie przez centralnych decydentów, jest ustalane na etapie konfiguracji systemu i może być zmieniane także w czasie jego pracy. Przyjęcie takiej koncepcji umożliwi zbudowanie zarówno w pełni hierarchicznego jak i w pełni heterarchicznego systemu sterowania. Dynamiczne tworzenie kanałów komunikacyjnych pomiędzy obiektami/decydentami współpracującymi przy podejmowaniu decyzji czy też realizacji poszczególnych czynności pozwala również na uzyskiwanie rozwiązań pośrednich, w których część uprawnień należy do decydentów systemowych a część do obiektów. W praktyce typowych systemów wytwarzania zakres decyzyjny decydentów systemowych będzie ograniczony w stosunku do zakresu decyzyjnego centralnego decydenta wykorzystywanego w scentralizowanym systemie sterowania. Ograniczy się on bowiem jedynie do podejmowania decyzji dotyczących rozpoczęcia wykonania określonej grupy przedmiotów czy też realizacji określonej grupy czynności elementarnych. Rola decydenta może więc zostać sprowadzona do przydzielania i odbierania obiektom praw do realizacji wszystkich lub tylko wybranych czynności elementarnych.



Rys. 2. Rozproszony system sterowania.

Podstawową rolę w proponowanej koncepcji pełnić będą obiekty systemu wytwarzania. OSW reprezentuje działanie realnego elementu systemu wytwarzania jak np. obrabiarka, robot, magazyn czy wózek lub też jego symulowanego odpowiednika. Każdy OSW jest „uzdalniany” do realizacji określonego zbioru czynności elementarnych. Dla przykładu obrabiarka może uczestniczyć w realizacji trzech czynności: załadowanie, obróbka i rozładowanie. Poniżej przedstawiono jedną z możliwych sytuacji prezentujących sposób działania OSW. Po uzyskaniu od decydenta systemowego zlecenia na wykonanie określonego przedmiotu lub określonej czynności, OSW rozpoczyna proces wyszukiwania obiektów niezbędnych do realizacji otrzymanego zlecenia. Wyszukiwanie dokonywane jest spośród działających OSW zainteresowanych realizacją zlecenia. Po zgromadzeniu grupy niezbędnych obiektów następuje proces weryfikacji realizowalności otrzymanego zlecenia.

Weryfikacja polega na odpytaniu modułów dostosowujących, łączących OSW z układami rzeczywistymi, czy spełnione są wszystkie niezbędne warunki pozwalające na wykonanie zlecenia. Sprawdzanie dotyczy może np. dostępności programów numerycznych, dostępności narzędzi, sprawności urządzeń itp. W przypadku odpowiedzi pozytywnej następuje przejście do realizacji zlecenia. W sytuacji gdy istnieje więcej niż jeden wariant realizacji zlecenia (np. robot może przekazać przedmiot do wykonania na jednej z dwóch obrabiarek), sprawdzanie realizowalności dotyczy wszystkich możliwych wariantów, a wybór właściwego następuje poprzez zastosowanie preferencji (priorytetów) dla poszczególnych czynności. Odmienna sytuacja wystąpi gdy decydent przekaze obiektowi uprawnienia do działania bez wybierania konkretnej czynności do realizacji. W tym przypadku OSW przejmuje inicjatywę i rozpoczyna wyszukiwanie czynności (ze zbioru swoich czynności elementarnych), która z jego punktu widzenia jest najkorzystniejsza do wykonania. Czynności elementarne są więc szeregowane zgodnie z priorytetem (reprezentującym korzyści wynikające z ich wykonania), a następnie dla czynności o najwyższym priorytecie rozpoczyna się proces wyszukiwania obiektów niezbędnych do jej realizacji. W przypadku gdy zgromadzona zostanie grupa niezbędnych obiektów, następuje proces weryfikacji realizowalności otrzymanego zlecenia. Uzyskanie pozytywnego rezultatu ze sprawdzania realizowalności powoduje natychmiastowe przejście do wykonania czynności. Otrzymanie wyniku negatywnego powoduje zajęcie się następną na liście priorytetów czynnością i powtórzenie całego cyklu działań.

Dla zapewnienia niezawodności i bezpieczeństwa pracy systemu sterowania niezbędnym jest zapewnienie bezkolizyjności realizacji czynności, wprowadzenie mechanizmów unikania zastoju oraz zaimplementowanie skutecznego systemu bezpieczeństwa. System bezpieczeństwa, działający na podobnej zasadzie jak system bezpieczeństwa plików w systemie operacyjnym, umożliwi jednoznaczne definiowanie praw dostępu, modyfikacji, tworzenia i usuwania dla decydentów systemowych, obiektów oraz czynności.

Realizacja zaproponowanej w referacie koncepcji jest możliwa jedynie przy wykorzystaniu najnowocześniejszych technologii informatycznych. W pracy [14] przeanalizowano możliwości zastosowania technologii tzw. obiektów rozproszonych DCOM (Distributed Component Object Model) do budowy rozproszonego systemu sterowania dyskretnymi systemami wytwarzania. Technologia DCOM pojawiła się wraz z wersją 4.0 systemu operacyjnego WindowsNT, a obecnie umożliwia integrację obiektów rozproszonych także w środowisku heterogenicznym.

### 3. WNIOSKI

Zaproponowana w referacie koncepcja uwzględnia aktualne trendy w dziedzinie rozproszonego sterowania dyskretnymi systemami wytwarzania. Ze względu na ogólność przyjętych założeń można uznać, że koncepcja ta posiada cechę otwartości i może być wykorzystana do sterowania innymi systemami o charakterze dyskretnym. Aktualna wersja koncepcji zakłada podejmowanie decyzji w oparciu o operacje na priorytetach. W przypadku opracowania innych zasad podejmowania decyzji mogą zostać one zaimplementowane w algorytmach sterowania. Zastosowanie koncepcji jednolitych, konfigurowalnych obiektów spowoduje podniesienie niezawodności systemu sterowania (moduł programowy OSW będzie bowiem wielokrotnie testowany często w całkowicie odmiennych sytuacjach). Możliwość statycznej konfiguracji obiektów OSW na etapie inicjacji systemu oraz dynamicznej rekonfiguracji w czasie jego pracy wprowadza wyjątkową elastyczność proponowanego systemu sterowania. Dzięki przyjęciu regulowanej autonomii obiektów (w sensie podejmowania decyzji) można określić opracowaną koncepcję jako koncepcję systemu sterowania z rozproszoną inteligencją.

## LITERATURA

- [1] Agile Enterprise. <http://www.agilityforum.org/index.html>
- [2] Bongaerts L., Jordan P., Timmermans P., Valckenaers P., Wyns J.: Evolutionary development in shop floor control. Co-operation in Manufacturing: CIM AT WORK, Joint final conference of Esprit Working Groups CIMMOD and CIMDEV, Kaatsheuvel, The Netherlands, August 28-30, 1995, s.278-300.
- [3] J. Cyklis, W. Pierzchała: Modelowanie procesów dyskretnych w elastycznych systemach produkcyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej, Mechanika z. 77, Monografia nr 3, Kraków 1995.
- [4] J. Cyklis, W. Pierzchała, J. Zając: Aspects of Development of Manufacturing Systems. MicroCAD'95 International Computer Science Conference, Miskolc (Węgry) 1995, s.1-6.
- [5] J. Cyklis, W. Pierzchała, J. Zając: Integration of the CIM information on the level of FMS control. Automation und Meßtechnik 4/1997, s. 169-175, Springer-Verlag, Wien.
- [6] Intelligent Manufacturing Systems. A Program for International Cooperation in Advanced Manufacturing. Final Report of the International Steering Committee adopted at ISC6, Hawaii, 24 to 26 January, 1994
- [7] Koch T., Weck M.: COSMOS - an open architecture for discrete cell control. Proceedings of the 27<sup>th</sup> CIRP Seminar on Manufacturing Systems, Ann Arbor, Michigan, Vol. 25, s.17-22, 1996.
- [8] Pierzchała W.: Modernizacja układu sterowania elastyczną linią produkcyjną. Materiały z Konferencji AUTOMATION'98.
- [9] Pritschow, G., Daniel, C.: Open control system - a future-orientated concept. Proceedings of the 27<sup>th</sup> CIRP Seminar on Manufacturing Systems, Ann Arbor, Michigan, Vol. 25, s.9-16, 1996.
- [10] Ueda K., Ohkura K.: A biological approach to complexity in manufacturing systems. Proceedings of the 27<sup>th</sup> CIRP Seminar on Manufacturing Systems, Ann Arbor, Michigan, Vol. 25, s.57-65, 1996.
- [11] Valckenaers P, Bongaerts L, Wyns J.: Planning systems in the next century (II)", ICIMS Network of Excellence Advanced Summer Institute conference 1996, Toulouse, France.
- [12] Van Brussel,: Holonic Manufacturing Systems, the vision matching the problem, Proc. of First European Conf. on Holonic Manufacturing Systems, Hannover 1994.
- [13] Wyns J., Van Ginderachter T., Valckenaers P., Van Brussel H.: Integration of resource allocation and process control in holonic manufacturing systems, Proc. of the 29th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, May 11-13, 1997, Osaka, Japan, s.57-62.
- [14] Zając J., Czmich W.: DCOM jako narzędzie komunikacji w sterowaniu dyskretnymi systemami wytwarzania. Materiały z Konferencji AUTOMATION'98.