

Jerzy CYKLIS, Jerzy ZAJĄC
Politechnika Krakowska

OD CENTRALIZMU DO AUTONOMII W STEROWANIU DYSKRETNymi SYSTEMAMI WYTWARZANIA*

Streszczenie. W pracy przeanalizowano struktury systemów sterowania w systemach wytwarzania. Przedstawiono koncepcję samoorganizującego się systemu wytwarzania. Koncepcja ta oparta jest na integracji sieciowej jednolitych, konfigurowalnych, inteligentnych i kooperatywnych modułów. Dzięki wprowadzeniu modyfikowanej autonomii decyzyjnej modułów można opracowaną koncepcję określić jako koncepcję systemu sterowania z rozproszoną inteligencją.

FROM CENTRAL TO DISTRIBUTED CONTROL IN DISCRETE EVENT MANUFACTURING SYSTEMS

Summary. The paper analysis different structures of manufacturing control systems. Self-organising manufacturing control concept is presented. It is based on integration of unified, easy to re-configure, intelligent and cooperative modules. 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. Wprowadzenie

Wymagania stawiane współczesnym systemom wytwarzania, takie jak: otwartość, elastyczność i inteligencja są możliwe do osiągnięcia jedynie poprzez zastosowanie nowoczesnych rozwiązań modelowych pozwalających na wykorzystanie zalet najnowszych technologii informatycznych. Środowisko informatyczne współczesnych systemów wytwarzania staje się w coraz większym stopniu środowiskiem rozproszonym. Wynika to zarówno z rozproszenia źródeł informacji, jak i szerokiego stosowania technologii klient/serwer, w tym technologii bazujących na tzw. rozproszonych obiektach. Chcąc w pełni wykorzystać możliwości tych technologii, należy opracowywać nowe koncepcje opisu procesu

* Pracę wykonano w ramach projektu badawczego Nr 7T07D 045 14 pt. "Samoorganizujący się system wytwarzania", finansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 1998-1999.

wytwarzania i przygotowywać dla nich odpowiednie rozwiązania modelowe [3]. Niezbędny jest więc swoisty reengineering na poziomie procesu sterowania systemem wytwarzania. Proces wytwarzania nie jest bowiem jedynie procesem, w którym następuje przekształcanie (obróbka) materiału, ale jest także procesem, w którym odbywa się przekazywanie i przetwarzanie informacji. Kluczowymi aspektami umożliwiającymi poprawną realizację procesu sterowania takim systemem jest dostępność do informacji na każdym jego etapie oraz zapewnienie współbieżności procesów przepływu informacji i przepływu materiałów. Zagadnienie zapewnienia współbieżności przepływu materiałów i informacji w procesie wytwarzania zostało wykorzystane po raz pierwszy w ramach opracowanej i zrealizowanej w Japonii technologii produkcji na określony moment czasu (ang. Just in Time). W ramach tego podejścia zastosowano technikę Kanban polegającą na wykorzystaniu specjalnych etykiet powiązanych i przemieszczających się razem z przedmiotem obrabianym. We współczesnych systemach wytwarzania przekazywanie informacji poprzez towarzyszące przedmiotowi obrabianemu etykiety, takie jak w technice Kanban, jest zastępowane przez wymianę komunikatów, zdalne wywołanie procedury lub transakcję komputerową.

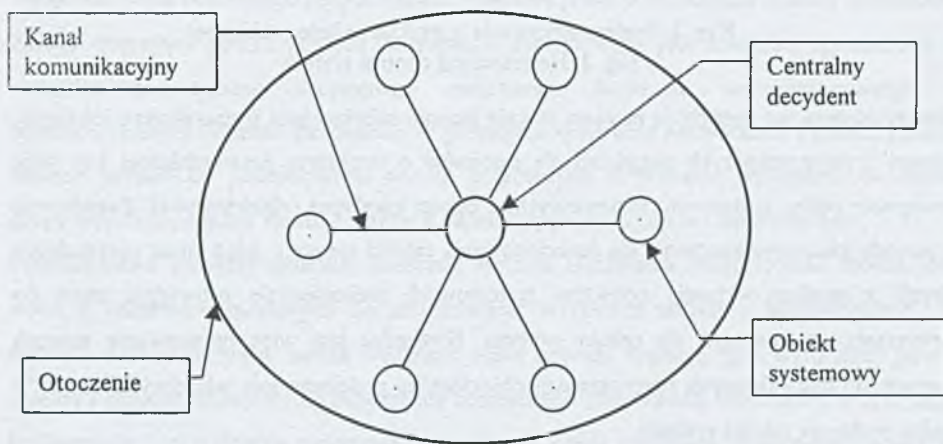
Przyszłościowe systemy wytwarzania stanowią przedmiot zainteresowania naukowców, bogatych korporacji międzynarodowych, jak również rządów największych potęg ekonomicznych współczesnego świata. Przykładami prowadzonych na szeroką skalę działań, służących do określenia wymagań stawianych przyszłym systemom wytwarzania oraz poszukiwaniu koncepcji pozwalających na ich zrealizowanie, są projekty Agile Manufacturing [1] oraz Intelligent Manufacturing Systems [4]. W ramach projektu Intelligent Manufacturing Systems rozważana jest m.in. ciekawa koncepcja dotycząca systemów holonicznych (Holon Manufacturing Systems) [5][6]. 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.

2. Struktury systemów sterowania w systemach wytwarzania

Każdy system wytwarzania posiada określone możliwości wytwórcze wynikające z możliwości wytwórczych jego elementów składowych. W zależności od przyjętej koncepcji sterowania zbudować możemy:

- System hierarchiczny (scentralizowany) o strukturze pionowej i relacjach podległości pomiędzy wydającym polecenie a polecenie to realizującym,
- System heterarchiczny (rozproszony) o strukturze poziomej i braku relacji podległości pomiędzy biorącymi udział w podejmowaniu i wykonywaniu decyzji.
- System mieszany łączący elementy systemu hierarchicznego i heterarchicznego.

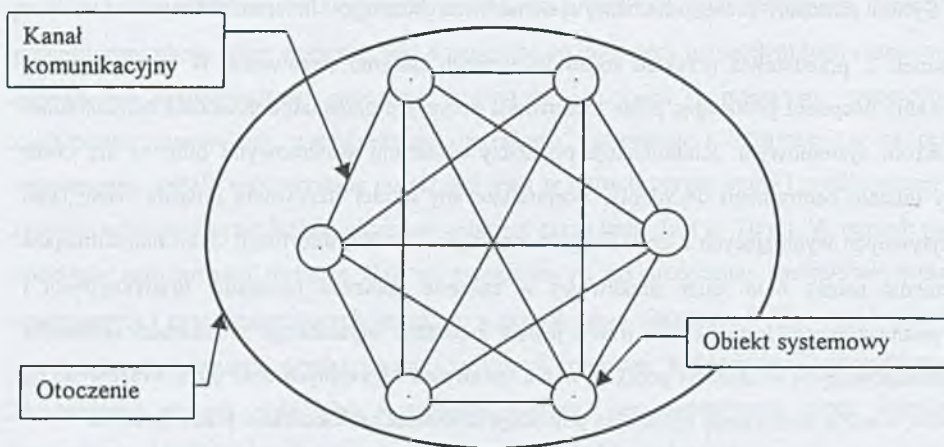
Rysunek 1. przedstawia przykład scentralizowanego systemu sterowania. W tym przypadku centralny decydent posiadając pełne możliwości decyzyjne przekazuje polecenia bezpośrednio obiektom systemowym. Komunikacja pomiędzy obiektami systemowymi odbywa się także przy udziale centralnego decydent. Scentralizowany 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. Awaria centralnego decydentą powoduje całkowite zablokowanie pracy systemu.



Rys. 1. System sterowania o strukturze hierarchicznej
Fig. 1. Hierarchical control system

Odminną koncepcję rozproszonego systemu sterowania prezentuje rys. 2. W tej koncepcji obiekty systemowe posiadają pełną autonomię decyzyjną. Dysponując możliwościami komunikacyjnymi ze wszystkimi lub tylko wybranymi obiektami w systemie, mogą na zasadzie negocjacji z innymi obiektami podejmować się realizacji określonych zadań. Struktura tego typu jest zdecydowanie bardziej odporna na awarie od struktury hierarchicznej.

Awaria pojedynczego obiektu dotyczy tylko jego samego i obiektów z nim współpracujących. Struktura heterarchiczna jest także bardziej elastyczna od struktury hierarchicznej, umożliwia bowiem prostsze dostosowywanie systemu do zachodzących w jego otoczeniu zmian. Słabością struktury heterarchicznej są natomiast trudności w realizacji wspólnych celów.

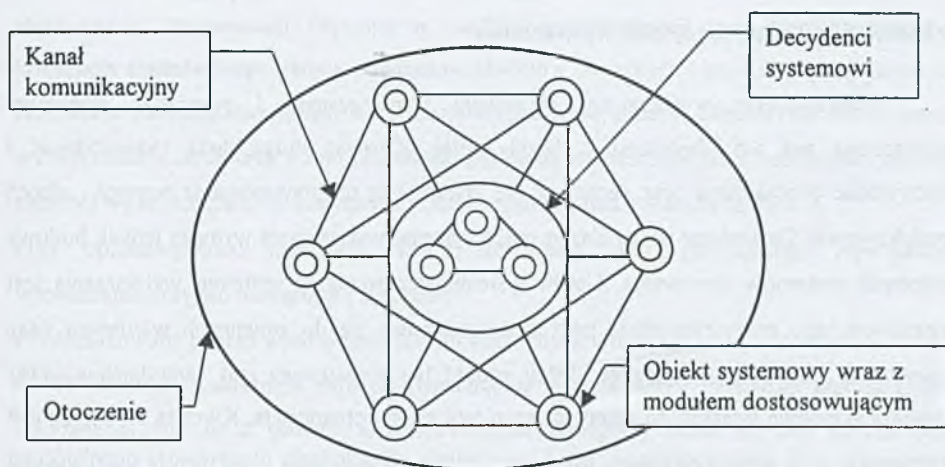


Rys. 2. System sterowania o strukturze heterarchicznej.

Fig. 2. Heterarchical control system.

Obiekty systemowe dysponują bowiem zwykle jedynie informacjami o charakterze lokalnym. Jednym z najistotniejszych zagadnień dla systemów o strukturze heterarchicznej jest więc powiązanie celów globalnych (systemowych) z celami lokalnymi (obiektowymi). Zagadnienie to posiada kluczowe znaczenie dla funkcjonowania całości systemu, gdyż suma optymalnych decyzji z punktu widzenia obiektów systemowych niekoniecznie prowadzi do rozwiązania optymalnego dla całego systemu. Niezbędne jest więc opracowanie nowych algorytmów pozwalających rozproszonym obiektom na podejmowanie właściwych decyzji z punktu widzenia całości systemu.

Przedstawione powyżej koncepcje hierarchiczna i heterarchiczna posiadają określone wykluczające się nawzajem wady i zalety. Należałoby więc poszukiwać struktury uwzględniającej w maksymalnym stopniu zalety struktur hierarchicznej i heterarchicznej, a pomijających posiadane przez nie wady. Proponowana struktura zapewnić musi przede wszystkim elastyczność w sensie możliwości przyporządkowania kompetencji decyzyjnych poszczególnym obiektom oraz określać sposoby podejmowania przez nie decyzji. Rysunek 3. przedstawia schemat mieszanej (heterarchicznej z elementami hierarchicznymi) struktury systemu sterowania pozwalającej na budowę samoorganizujących się systemów.



Rys. 3. System sterowania o strukturze mieszanej

Fig. 3. Structure of hybrid control system

W systemie sterowania opartym na strukturze mieszanej decyzje nie są podejmowane ani wyłącznie przez centralnego decydenta, ani wyłącznie przez poszczególne obiekty systemowe. Zakres decyzyjny poszczególnych decydentów systemowych jest znacznie ograniczony w stosunku do zakresu decyzyjnego centralnego decydenta wykorzystywanego w scentralizowanym systemie sterowania. W przypadku systemów wytwarzania ogranicza się on bowiem jedynie do podejmowania decyzji dotyczących rozpoczęcia wykonania określonej grupy wyrobów, czy też zlecenia realizacji określonej grupy czynności elementarnych.

Przedstawioną powyżej strukturę mieszaną systemu sterowania interpretować można jako jeden z wariantów możliwych do zrealizowania w ramach struktury heterarchicznej. W systemie heterarchicznym można wyobrazić sobie bowiem sytuację, gdy wyróżnimy pewne obiekty i przyporządkujemy im zwiększone kompetencje (możliwości decyzyjne), w tym także kompetencje o charakterze systemowym. Powstanie wtedy możliwość zbudowania powiązań hierarchicznych w ramach struktury heterarchicznej. Ma to istotne znaczenie w sytuacji, gdy w systemie występują różnego rodzaju hierarchie, np. wprowadzane w zależności od przyjętych celów systemowych. Wyróżnienie struktury mieszanej jako niezależnej koncepcji ma na celu wypuklenie potrzeby istnienia obiektów o charakterze systemowym, tzn. realizujących (koordynujących) cele systemowe. W systemach wytwarzania wyodrębnienie takiej grupy obiektów tzw. decydentów systemowych wynika także z faktu, że posiadają one oprócz zdolności decyzyjnych również inne zadania, np. konfiguracyjne, diagnostyczne, audytorskie.

3. Samoorganizujący się system wytwarzania

Podstawowym wymaganiem stawianym współczesnym i przyszłym systemom wytwarzania jest ich elastyczność, dzięki której oferować mogą dużą różnorodność i efektywność produkcyjną oraz cechować się otwartością na przyjmowanie nowych zleceń produkcyjnych. Osiągnięcie pełnej elastyczności systemu wytwarzania wymaga jednak budowy złożonych systemów sterowania. Celem systemu sterowania w systemie wytwarzania jest organizacja jego pracy rozumiana jako dostosowywanie się do zmiennych warunków oraz zapewnianie porządku w systemie. Jeżeli proces ten realizowany jest samodzielnie przez elementy składowe systemu, to mamy do czynienia z samoorganizacją. Kwestia oceny, co jest organizacją, a co samoorganizacją, zależy oczywiście od położenia obserwatora oceniającego to zjawisko. System wytwarzania może okazywać swoją samoorganizację np. przez efektywną realizację wielowariantowych procesów technologicznych przy zachowaniu swojej struktury lub też zmieniać swoją strukturę, gdy zaistnieje taka potrzeba.

Poniżej zaprezentowano koncepcję [2] systemu sterowania dla samoorganizującego się systemu wytwarzania. Przyjęto, że nie będzie ona oparta na budowie scentralizowanego systemu o skomplikowanych regułach działania i złożonej strukturze, lecz na integracji w środowisku sieciowym jednolitych konfigurowalnych modułów o prostej strukturze i prostych regułach działania. Budowa scentralizowanego systemu sterowania wiąże się z koniecznością przeanalizowania wszystkich możliwych do zaistnienia sytuacji. W systemach o strukturze rozproszonej należy natomiast stworzyć podstawowe (bazowe) reguły działania (indywidualnego i grupowego) obiektów, a system sam dostosuje się do zaistniałej sytuacji. Można w tym momencie zwrócić uwagę na ciekawą, choć tylko częściową analogię proponowanego podejścia polegającego na utworzeniu samoorganizującego się systemu wytwarzania na bazie integracji sieciowej jednolitych, konfigurowalnych, inteligentnych i kooperatywnych modułów (obiektów) do zagadnienia zastosowania sztucznych sieci neuronowych w modelowaniu złożonych procesów. Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych pozwala modelować zachowanie się złożonego systemu za pomocą sieci zbudowanej z neuronów o bardzo prostej strukturze, a efekt modelowania uzyskuje się przez odpowiednie uczenie sieci neuronowej. W przypadku samoorganizującego się systemu wytwarzania można natomiast mówić zarówno o uzdalnianiu obiektów do realizacji określonych zadań, jak i o samokształceniu obiektów w czasie pracy systemu. Mimo ciekawych analogii należy również zauważyć różnice, jak np. tę, że pojedyncze neurony nie

mają swojej reprezentacji fizycznej w modelowanym systemie, natomiast proponowana koncepcja zakłada bezpośrednie powiązanie obiektów fizycznych i modułów programowych. Koncepcja samoorganizującego się systemu wytwarzania stanowi alternatywę dla systemów wytwarzania o strukturze scentralizowanej, podobnie jak sztuczne sieci neuronowe stanowią alternatywę w stosunku do klasycznych metod modelowania matematycznego.

Przy opracowywaniu koncepcji układu sterowania samoorganizującego się systemu wytwarzania przyjęto następujące założenia:

- Analizowany proces wytwarzania jest procesem dyskretnym;
- W procesie dyskretnym daje się rozróżnić skończoną liczbę czynności elementarnych. Oznacza to, że z punktu widzenia rozpatrywanego procesu są one czynnościami niepodzielnymi;
- Proces jest realizowany jako kombinacja czynności elementarnych wykonywanych sekwencyjnie lub współbieżnie;
- System jest przedstawiany jako skończony zbiór obiektów. Podobnie jak w przypadku czynności elementarnych, obiekty są niepodzielne;
- Podział procesu na czynności elementarne oraz podział systemu na obiekty elementarne dokonywany jest poprzez arbitralną decyzję projektanta, tzn. ten sam system oraz ten sam proces można zdyskretyzować na różne sposoby, biorąc pod uwagę przyjęty poziom szczegółowości;
- Czynności elementarne są realizowane przez pojedyncze obiekty lub grupy obiektów. Każdy obiekt dysponuje więc własnym zbiorem czynności elementarnych;
- Każdy obiekt może realizować w danej chwili tylko jedną czynność ze zbioru przynależnych mu czynności elementarnych;
- Dane są reguły działania systemu i marszruty technologiczne określające kolejność wykonywania poszczególnych czynności.

Zaproponowana koncepcja układu sterowania samoorganizującego się systemu wytwarzania bazuje na modelu mieszanym systemu sterowania (rys.3.) i opiera się na wyróżnieniu trzech typów konfigurowalnych modułów programowych umożliwiających zbudowanie dowolnej struktury układu sterowania w środowisku sieciowym. Tymi modułami są:

- moduł zarządzający zwany dalej decydem systemowym,
- moduł reprezentujący działanie obiektu elementarnego zwany dalej obiektem systemowym lub obiektem systemu wytwarzania (OSW),

- moduł dostosowujący zwany dalej driverem, a służący do integracji OSW z układem rzeczywistym.

Dominującą rolę w proponowanej koncepcji pełnią 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 dwie z możliwych sytuacji prezentujących sposób działania OSW. Po uzyskaniu od decydenta systemowego zlecenia na wykonanie 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). Odmienna sytuacja wystąpi, gdy decydent przekaze obiektowi uprawnienia do działania bez wskazywania 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. Zbudowanie niezawodnego i bezpiecznego systemu sterowania wymaga zapewnienia bezkolizyjności wykonywania czynności oraz wprowadzenia mechanizmów unikania zastoju.

Realizacja zaproponowanej -w referacie koncepcji jest możliwa jedynie przy wykorzystaniu najnowocześniejszych technologii informatycznych. W pracy [7] przedstawiono możliwości technologii obiektów rozproszonych DCOM (Distributed Component Object Model) jako narzędzia komunikacji do budowy samoorganizującego się systemu wytwarzania.

4. Wnioski

Przedstawiona w referacie koncepcja systemu sterowania samoorganizującego się systemu wytwarzania, ze względu na ogólność przyjętych założeń, posiada cechę otwartości i może być wykorzystana do sterowania innymi systemami o charakterze dyskretnym. Dzięki przyjęciu modyfikowanej autonomii obiektów (w sensie możliwości podejmowania decyzji) można określić opracowaną koncepcję jako koncepcję systemu sterowania z rozproszoną inteligencją. Wychodzi ona również naprzeciw najnowszym tendencjom rozwojowym współczesnych otwartych systemów sterowania bazujących na komputerach PC. Wyposażenie nowej generacji urządzeń technologicznych, takich jak obrabiarki czy roboty w komputerowe systemy sterowania oparte na sprzęcie klasy PC, umożliwi szerokie wprowadzanie inteligentnych samoorganizujących się systemów wytwarzania.

LITERATURA

1. Agile Enterprise. <http://www.agilityforum.org/index.html>
2. Cyklis J., Zajac J.: Koncepcja rozproszonego systemu sterowania dyskretnymi systemami wytwarzania. Materiały z Konferencji AUTOMATION'98. PIAP. Warszawa 1998.
3. Cyklis J., Słota A.: Obiektowo-obszerny sieć Petriego w zastosowaniu do modelowania elastycznych systemów wytwarzania. W materiałach XI KKADPP.
4. 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.
5. Valckenaers P, Bongaerts L, Wyns J.: Planning systems in the next century (II)", ICIMS Network of Excellence Advanced Summer Institute conference 1996, Toulouse, France.
6. Van Brussel: Holonic Manufacturing Systems, the vision matching the problem, Proc. of First European Conf. on Holonic Manufacturing Systems, Hanover 1994.
7. Zajac J., Czmich W.: DCOM jako narzędzie komunikacji w sterowaniu dyskretnymi systemami wytwarzania. Materiały z Konferencji AUTOMATION'98, Automatykacja-Nowości i Perspektywy. PIAP. Warszawa 1998.

Abstract

The paper analysis virtues and drawbacks of hierarchical, heterarchical and hybrid structures of manufacturing control systems. As a result of this analysis a self-organising manufacturing control concept is presented. The concept is based on integration of unified, easy to re-configure, intelligent and cooperative modules. Managing modules, system modules and driver modules are used to build any manufacturing control system. The managing module is applied for scheduling, diagnostics and audit purposes. The system module plays a most important role in the concept. It represents a real or simulated element (i.e. machine tool, robot, AGV) of a manufacturing system. The intelligence of a system module is directly connected with its elementary activities and an ability to solve common tasks in cooperation with other modules. The driver module is responsible for data exchange with field equipment like PLC, NC or RC controllers. Due to the ability of modifying of autonomy level in the object modules, the concept can be described as a concept of control with distributed intelligence.