

Jerzy HONCZARENKO, Waldemar SZUMOTALSKI, Mariusz SOSNOWSKI
Politechnika Szczecińska

MINIATUROWY SYSTEM ELASTYCZNEGO INTELIGENTNEGO WYTWARZANIA

Streszczenie. W referacie omówiono miniaturowy system elastycznego inteligentnego wytwarzania budowany w Zakładzie Zautomatyzowanych Systemów Wytwarzania Politechniki Szczecińskiej. Praca wykonywana jest w ramach grantu finansowanego przez KBN. Celem budowy systemu jest umożliwienie prowadzenia doświadczalnej weryfikacji komputerowych symulacji nowych metod planowania i harmonogramowania produkcji. Omówiono budowę systemu i jego sterowanie, które można realizować metodą off-line lub on-line. W referacie przedstawiono architekturę wieloagentowego układu sterowania złożoną z trzech agentów podsystemowych i głównego agenta systemowego.

MINIATURIZED SYSTEM OF FLEXIBLE AND INTELLIGENT MANUFACTURING

Summary. This publication describes an example of MINIATURIZED SYSTEM OF FLEXIBLE & INTELLIGENT MANUFACTURING build in the Department of Automatic Production Systems at Technical University of Szczecin. Project is sponsored by KBN. The aim of the research is to develop a computerised simulation system for the new methods of production planning and work scheduling. The publication generally describes the possible structure and control methods performed in off-line or on-line mode. The paper present the architecture of the multi-agent control system structured with three low level system agents and a main one.

1. Wprowadzenie

Referat dotyczy projektu KBN¹ realizowanego w Zakładzie Zautomatyzowanych Systemów Wytwarzania na Wydziale Mechanicznym Politechniki Szczecińskiej. W ramach tego projektu przedsięwzięto budowę badawczego systemu elastycznego inteligentnego

¹ Praca wykonana w ramach projektu badawczego nr 8T07D 00420 „Badawczy system elastycznego inteligentnego wytwarzania” finansowanego przez KBN.

wytwarzania, mającego od strony organizacji i sterowania cechy rzeczywistego systemu, lecz w postaci zminiaturyzowanej. Celem budowy systemu jest umożliwienie prowadzenia doświadczalnej weryfikacji komputerowych symulacji nowych metod planowania i harmonogramowania produkcji. Istnieje bowiem wiele prac posiadających znamiona prac teoretycznych potwierdzonych tylko symulacjami komputerowymi które nie są w stanie uwzględnić wszystkich czynników występujących podczas procesu produkcyjnego. Wykorzystano znane metody standardowego oprogramowania, a także narzędzia programowe leżące w obszarze sztucznej inteligencji, takie jak metoda agentowa, logika rozmyta, sztuczne sieci neuronowe pozwalające na symulacje komputerowe i doświadczalną weryfikację harmonogramowania i sterowania produkcją.

2. Badawczy system elastycznego inteligentnego wytwarzania

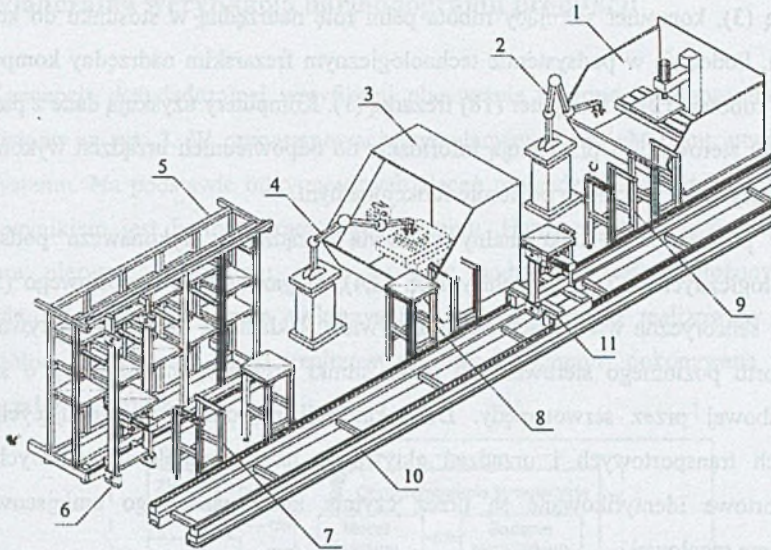
Podstawowymi założeniami podczas doboru urządzeń wchodzących w skład systemu było: zapewnienie możliwie jak największej elastyczności systemu, zastosowanie konstrukcji modułowej, możliwość przyszłej rozbudowy oraz minimalizacja kosztów.

Na rys. 1 pokazano konfigurację budowanego systemu, którego wymiary wynoszą 4x1,5 m. Istnieje możliwość rozbudowy przez powiększenie liczby maszyn oraz powiększenie powierzchni magazynowej.

W systemie zastosowano następujące podsystemy składowe:

- magazynowo-transportowy: magazyn regałowy wysokiego składowania (5) o wymiarach 1500x160x820 mm, stanowiska odkładcze (7), układarka regałowa (6), aktywny wózek transportu poziomego (11) wraz z torem jezdny długości 4 m (10), Nośnikami przedmiotów są palety transportowe o wymiarach 160x160 mm, pojemność magazynu wynosi 15 palet transportowych.
- technologiczny tokarski: tokarka CNC-SLT-0400 (3), robot o strukturze przegubowej (4), stanowiska odkładcze (8).
- technologiczny frezarski: frezarka CNC-SLM-0200 (1), robot o strukturze przegubowej (2), stanowiska odkładcze (9).

Budowę podsystemu transportu i magazynowania oparto na modułowym systemie montażowym maszyn i urządzeń z profili aluminiowych niemieckiej firmy ITEM.



Rys. 1. Konfiguracja badawczego systemu inteligentnego elastycznego wytwarzania (opis w tekście)
 Fig. 1. Configuration of the experimental Intelligent & Flexible Manufacturing System
 (description in the text)

3. Struktura sterowania zastosowanego w systemie

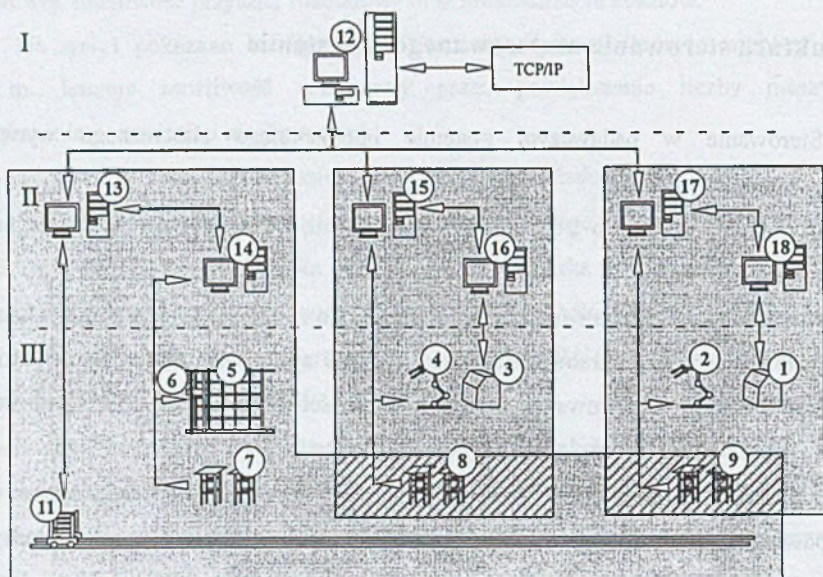
Sterowanie w badawczym systemie inteligentnego elastycznego wytwarzania przedstawiono na rys. 2.

Sterowanie oparto na trójpoziomowej hierarchii, którą tworzą następujące poziomy funkcjonalne:

- Pierwszy poziom (I) pełni funkcję nadrzędną. Jego zadaniem jest za pomocą komputera (12) jako jednostki centralnej sterowanie globalne systemem, nadzorowanie jego pracy, ustalanie algorytmu sterowania, ustalanie kolejności zadań zleconych do realizacji oraz rozpatrywanie ich pod względem przyjętych priorytetów.
- Drugi poziom (II) podsystemu sterowania stanowią komputery wraz z oprogramowaniem odpowiedzialnym za sterowanie poszczególnych podsystemów. W podsystemie magazynowo-transportowym komputer (13) steruje aktywnym wózkiem transportu poziomego (11), a komputer (14) steruje układarką regalową (6), przy czym komputer sterujący wózka pełni rolę nadrzędną w stosunku do komputera układarki. W podsystemie technologicznym tokarskim komputer (15) steruje robotem (4), a komputer (16) steruje

tokarką (3), komputer sterujący robota pełni rolę nadrzędną w stosunku do komputera tokarki. Podobnie w podsystemie technologicznym frezarskim nadrzędny komputer (17) steruje robotem (2), a komputer (18) frezarką (1). Komputery uzyskują dane z pierwszego poziomu sterowania i przekazują informacje do odpowiednich urządzeń wykonawczych znajdujących się w trzecim poziomie funkcjonalnym.

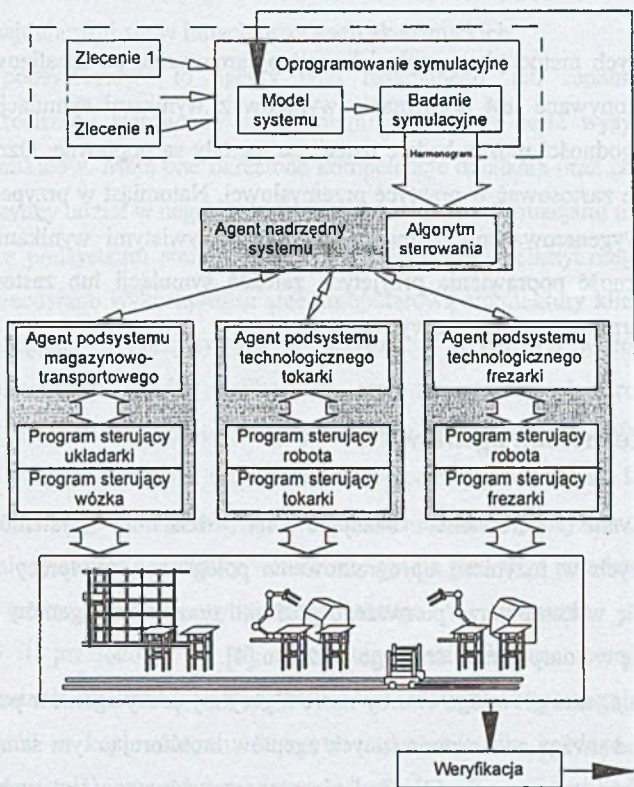
- Trzeci poziom (III) funkcjonalny stanowią urządzenia wykonawcze podsystemów technologicznych (1,3), manipulacyjnych (2,4), magazynowo-transportowego (5,6) oraz układy sensoryczne wskazujące stan rzeczywisty. Układarka regałowa i aktywny wózek transportu poziomego sterowane są przez silniki krokowe, manipulatory o strukturze przegubowej przez serwonapędy. Do lokalizacji przedmiotów znajdujących się na paletach transportowych i urządzeń aktywnych użyto czujników stykowych. Palety transportowe identyfikowane są przez czytnik kodu paskowego umiejscowiony na układarce regałowej.
- Urządzenia wykonawcze znajdujące się w trzecim poziomie funkcjonalnym sterowane są przez komputery drugiego poziomu wykorzystujące porty równoległe i szeregowo.



Rys. 2. Architektura podsystemu sterowania będącego w budowie systemu wytwarzania (opis w tekście)
 Fig. 2. Architecture of the low-level control system as a part of the Intelligent & Flexible manufacturing system (description in the text)

4. Doświadczalna weryfikacja harmonogramu produkcji

Koncepcję doświadczalnej weryfikacji planowania i harmonogramowania produkcji przedstawiono na rys. 3. W oprogramowaniu symulacyjnym, np. eM-Plant, utworzony jest model systemu. Na podstawie otrzymywanych zleceń prowadzone są badania symulacyjne, których wynikiem jest harmonogram pracy systemu. Harmonogram zostaje przesłany do komputera pierwszego poziomu, gdzie na jego podstawie zostaje ułożony algorytm sterowania. Algorytm sterowania wykorzystując metodę agentów realizowany jest przez poszczególne podsystemy. Po zrealizowaniu harmonogramu dokonywana jest jego doświadczalna weryfikacja.



Rys. 3. Idea doświadczalnej weryfikacji harmonogramowania produkcji w systemie wytwórczym
Fig. 3. Idea of the experimental verification of work scheduling in the manufacturing system

Harmonogram wygenerowany może być dwoma sposobami: off-line lub on-line. W pierwszym przypadku harmonogramy wygenerowane są w komputerze znajdującym się na zewnątrz systemu wytwarzania i przesyłane za pomocą Internetu. Drugi sposób to tworzenie harmonogramu bezpośrednio w komputerze nadrzędnym, wtedy harmonogramy pracy będą

mogły być tworzone i korygowane dynamicznie w miarę napływu zleceń z zewnątrz, przy wykorzystaniu metod sztucznej inteligencji.

Wykorzystując tradycyjne sterowanie rozproszone lub metodę agentów [3,4], algorytm sterowania jest przesyłany i realizowany przez poszczególne podsystemy, a efektem będą wyprodukowane przedmioty i wszystkie dane charakteryzujące proces wytwarzania, tzn. przebieg realizacji harmonogramu (czasy pracy/przestojów maszyn i urządzeń transportowych itp.). Po badaniach weryfikacyjnych mających na celu uzyskanie zgodności wyników symulacji komputerowych prowadzonych dla szczegółowych danych systemu z wynikami doświadczalnymi można będzie uznać, iż opracowany model systemu jest prawidłowy i przystąpić do badań nowych metod planowania i harmonogramowania wytwarzania.

Dla nowych metod planowania i harmonogramowania, po zrealizowaniu procesu w systemie – dokonywane jest porównanie wyników z wynikami symulacji komputerowej. W przypadku zgodności można będzie uznać, że metody są poprawne. Oznacza to także, że można będzie je zastosować w praktyce przemysłowej. Natomiast w przypadku stwierdzenia niezgodności wygenerowanego harmonogramu z rzeczywistymi wynikami jego realizacji zajdzie konieczność poprawienia przyjętych założeń symulacji lub zastosowanych metod planowania i harmonogramowania wytwarzania.

5. Sterowanie metodą agentów

Zastosowane sterowanie bazujące na działaniu systemów agentowych wykorzystywanych w inżynierii oprogramowania polega na współpracy agenta głównego znajdującego się w komputerze pierwszego poziomu oraz trzech agentów podsystemowych znajdujących się w komputerach drugiego poziomu [4].

Program agenta głównego tworzy nowe algorytmy pracy agentów podsystemowych, a także bierze pod uwagę zachowania innych agentów monitorując tym samym aktualny stan pracy w systemie wytwarzania [2]. Zadaniem agenta głównego jest wykluczenie sytuacji nieprawidłowych mogących zaistnieć w otoczeniu pracy agentów systemowych, np. konfliktu o zasoby albo kolizji w przypadku zastosowania większej liczby robotów mających wspólną przestrzeń roboczą. Agent główny jako nadrzędny program sterujący poprzez agenty podsystemów składowych komunikuje się z oprogramowaniem poszczególnych urządzeń wykonawczych. W ramach każdego z podsystemów zachowana jest w pełni komunikacja

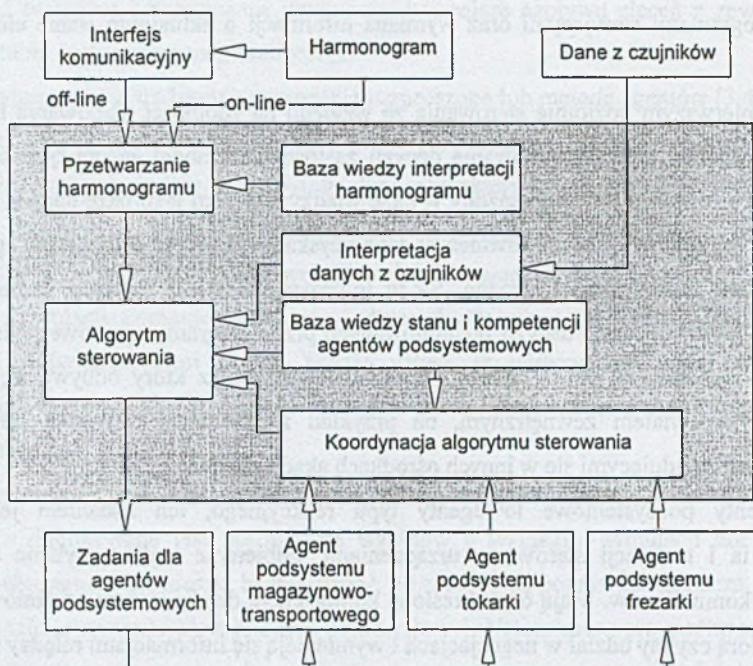
między programami sterującymi oraz wymiana informacji o aktualnym stanie elementów i urządzeń.

W pierwszym poziomie sterowania ze względu na zdolności planowania i realizacji przyjętych planów oraz podejmowania decyzji zastosowano model agenta typu socjalnego. Agent typu socjalnego jest wyposażony w bazę wiedzy nie tylko jako bazę danych odczytaną z urządzeń wykonawczych, ale również w dane uzyskane od innych programów agentowych podczas pracy systemu wytwórczego. Są to informacje o stanie systemu, które stanowią podstawę dla późniejszych decyzji podejmowanych przez programy agentowe podsystemów. Agent ten wyposażony jest w interfejs komunikacyjny, przez który odbywa się wymiana informacji ze światem zewnętrznym, na przykład zapewniający wymianę informacji z komputerami znajdującymi się w innych ośrodkach akademickich.

Agenty podsystemowe to agenty typu reakcyjnego, ich zadaniem jest oprócz generowania i realizacji sterowania urządzeniami, odbieranie bądź wysyłanie do agenta głównego komunikatów. Mają one określone kompetencje działania oraz zdefiniowane bazy danych. Biorą czynny udział w negocjacjach i wymieniają się informacjami między sobą.

Topologię podsystemu sterowania badawczego systemu elastycznego inteligentnego wytwarzania opracowano wykorzystując sieć komputerową architektury klient – serwer. Jest to obecnie najczęściej wykorzystywana architektura w systemach wieloagentowych. Za zachowanie komunikacji między aplikacjami oraz za zapewnienie procesu negocjacji odpowiedzialny jest protokół komunikacyjny bazujący na protokole TCP/IP oraz określony zarezerwowany programowo port. Oba te elementy spełniają rolę kanału komunikacyjnego pomiędzy programem-agentem głównym a programami-agentami podsystemowymi [1,3].

Sterowanie w zakresie struktury wewnętrznej agenta głównego przedstawiono na rys. 4. Harmonogram pracy systemu wytwarzania zostaje w programie agenta głównego zinterpretowany i przełożony na algorytm sterowania. Wygenerowany algorytm jest rozkładany na zadania dla każdego z podsystemów składowych, które zostają umieszczone w „tablicy ogłoszeń” w bazie danych. Algorytm sterowania dla każdego z podsystemów (podprogram sterowania) jest przechowywany w bazie danych w postaci kodu. Podzadania te zostają podejmowane przez agenty podsystemowe na drodze negocjacji przy uwzględnieniu warunków pozwalających na ich wykonanie. Kod przesyłany jest przez określony port charakterystyczny tylko dla danego agenta. Kod stanowi podstawę harmonogramu pracy agenta, na jego podstawie zostaje ułożony z podprogramów przechowywanych w bazie danych agenta podsystemowego algorytm sterowania dla urządzeń wykonawczych.



Rys. 4. Struktura wewnętrznego sterowania agenta głównego

Fig. 4. Structure of the internal control of the main agent

Informacje zbierane z czujników przez agenty podsystemowe są przechowywane w bazach danych, tworzą obraz środowiska agentów, co ma istotny wpływ na wyznaczenie ich pracy. W bazie danych informacje przechowywane są w postaci tablic. Baza danych agenta podsystemu magazynowo - transportowego zawiera takie informacje jak, np.:

- dla magazynu regałowego w postaci tablicy piętnastoelementowej informacje identyfikujące miejsce w magazynie:
 - paleta_numeral,
 - regał_numeral,
 - regał_stan: 0 – regał pusty, 1 – regał zajęty,
- dla stanowisk odkładczych w postaci tablicy sześciu-elementowej:
 - stanowisko_nazwa,
 - stanowisko_stan: 0 – stanowisko wolne, 1 – stanowisko zajęte.

Baza danych zawiera oprócz atrybutów określających dane i stany urządzeń również zdefiniowane podprogramy wykonywane przez agenta podsystemu magazynowo-transportowego. Na przykład podprogramy dla aktywnego wózka transportu poziomego:

- prog_1 – pobiera paletę ze stanowiska odkładczego wyjściowego magazynu regałowego i dostarcza na stanowisko wejściowe odkładcze tokarki,
- prog_2 – pobiera paletę ze stanowiska odkładczego wyjściowego magazynu regałowego i dostarcza na stanowisko wejściowe odkładcze frezarki,
- prog_3 – pobiera paletę ze stanowiska odkładczego wyjściowego tokarki i dostarcza na stanowisko odkładcze wejściowe magazynu regałowego,
- prog_4 – pobiera paletę ze stanowiska odkładczego wyjściowego frezarki i dostarcza na stanowisko odkładcze wejściowe magazynu regałowego,
- prog_5 – pobiera paletę ze stanowiska odkładczego wyjściowego tokarki i dostarcza na stanowisko odkładcze wejściowe frezarki,
- prog_6 – pobiera paletę ze stanowiska odkładczego wyjściowego frezarki i dostarcza na stanowisko odkładcze wejściowe tokarki.

Po wykonaniu ostatniego zadania z harmonogramu, programy agentów podsystemowych zwracają informację potwierdzającą wykonanie zadania do agenta głównego i zostają „uśpione”. Zostaną uaktywnione w przypadku pojawienia się nowego podzadania, które na drodze negocjacji zostaje przydzielone danemu agentowi podsystemowemu [1].

Sterowanie wykorzystujące metody agentowe powinno uwzględniać możliwości pojawienia się niezaplanowanych sytuacji, które muszą być przewidziane z góry, np. uszkodzenie robota lub maszyny. W wyniku negocjacji pomiędzy agentami dochodzi wówczas do decyzji, czy wyłączyć z pracy tylko uszkodzony moduł czy też ogólnie zatrzymać pracę całego systemu.

6. Podsumowanie

Budowany system wytwarzania od strony konfiguracji, sterowania i organizacji pracy będzie odpowiadał rzeczywistym systemom stosowanym w przemyśle. Prezentowany system pozwoli zatem na prowadzenie doświadczalnej weryfikacji metod i symulacji komputerowych w zakresie planowania, harmonogramowania i sterowania produkcją.

Sterowanie systemem możliwe będzie na podstawie harmonogramów generowanych za pomocą standardowego oprogramowania oraz na podstawie harmonogramów tworzonych on-line przy wykorzystaniu metod sztucznej inteligencji, szczególnie w miarę napływu nowych zleceń produkcyjnych.

LITERATURA

1. Georgeff M.: Communication and interaction in multiagent planning, Morgan Kaufmann, San Mateo 1988, s. 200-204.
2. Jennings N. R., Sycara K. P., Wooldridge M.: A Roadmap of Agent Research and Development, Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, Vol. 1, No. 1, July 1998, s. 7-36.
3. Jennings N., Rosenschein J. S.: Cooperating among intelligent agents, Computer Science Department, Stanford University, Stanford 1986.
4. Rao A., Georgeff M., BDI Agents: From Theory to Practice, Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS-95), San Francisco, USA, June 1995, s. 312-319.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy Cykils

Abstract

This publication describes an example of MINIATURIZED SYSTEM OF FLEXIBLE -INTELLIGENT MANUFACTURING build in Department of Automatic Production Systems at Technical University of Szczecin. Project is sponsored by KBN. The aim of the research is to develop a computerised simulation system for new methods of production planning and work scheduling.

The publication generally describes the possible structure and control methods performed in off-line or on-line mode. In case off-line control method, work schedules will be generated by the main PC or can be generated by other PCs local branches and send over the Internet to the main PC. On-line method uses an artificial intelligence, while work schedules are created dynamically and are updated with incoming enquires from outside the system. Enquires are updated by the data exchange between the main agent and the local agents.

The paper presents the architecture of the multi-agent control system structured with three low level system agents and one main one. Each agent has been assigned to the specific type, performance directive and the activity range. The system includes: data collection, communication method and data storage in the database building the multi-agents work environment. The paper also includes function algorithms for the multi-agents, in the considered system.