

## Wybrane problemy komunikacji i wizualizacji w sterowaniu rozproszonymi systemami wytwarzania

*W referacie przedstawiono koncepcję wieloagentowego systemu sterowania wytwarzaniem. Koncepcja ta oparta jest na integracji sieciowej jednolitych, konfigurowalnych, inteligentnych i kooperatywnych obiektów (agentów). Omówiono problematykę wyboru platformy systemowej i platformy integracyjnej do budowy wieloagentowego systemu sterowania. Zaprezentowano także zagadnienia dotyczące systemu wizualizacji rozproszonych zautomatyzowanych systemów wytwarzania.*

### Selected Communication and Visualization Problems in Control of Distributed Manufacturing Systems

*The paper presents the concept of multiagent manufacturing control system. The concept is based on integration of unified, easy to re-configure, intelligent and cooperative objects (agents). Selection of operating system and selection of integrating platform for building multiagent manufacturing control system is shown. Moreover, some aspects of visualization of distributed manufacturing systems are presented.*

#### 1. WSTĘP

Współczesne zautomatyzowane systemy wytwarzania mają w coraz większym stopniu charakter rozproszony. Wynika to zarówno z fizycznego rozproszenia elementów systemu wytwarzania, jak i wykorzystywania sprzętowych i programowych technologii informatycznych, takich jak lokalne i przemysłowe sieci komputerowe [10] w zakresie rozwiązań sprzętowych czy też technologie rozproszonych obiektów oraz agentów [1] w zakresie rozwiązań programowych. Chcąc w pełni wykorzystać możliwości tych technologii należy opracowywać nowe koncepcje opisu procesu wytwarzania i przygotowywać dla nich odpowiednie rozwiązania modelowe. Proces wytwarzania nie jest bowiem tylko 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 są dostępność do informacji na każdym jego etapie oraz zapewnienie współbieżności procesów przepływu informacji i przepływu materiałów.

W referacie zostaną omówione wybrane problemy, z którymi spotkaliśmy się w czasie prac nad opracowywanym w Katedrze Systemów Wytwarzania Politechniki Krakowskiej systemem rozproszonego sterowania zautomatyzowanymi dyskretnymi systemami wytwarzania. Przedstawione problemy związane są z wyborem platformy systemowej i platformy integracyjnej, zagadnieniem jednorodności systemu informacyjnego w przedsiębiorstwie oraz z aspektami wizualizacji procesów wytwarzania.

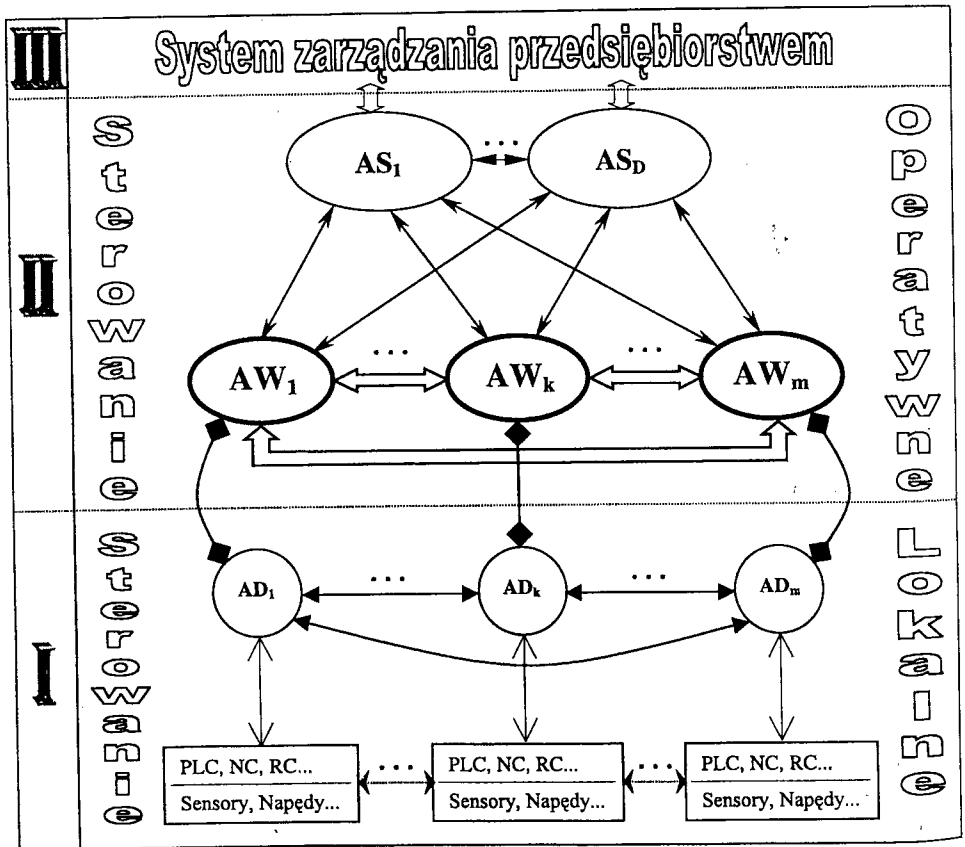
## 2. WIELOAGENTOWY SYSTEM STEROWANIA DYSKRETNYMI ZAUTOMATYZOWANYMI SYSTEMAMI WYTWARZANIA

Opracowana w Katedrze Systemów Wytwarzania Politechniki Krakowskiej koncepcja [4][5] rozproszonego systemu sterowania dyskretnymi systemami wytwarzania bazuje na integracji sieciowej jednolitych, konfigurowalnych, inteligentnych i kooperatywnych obiektów (agentów).

Wprowadzono trzy typy agentów:

- Agent systemowy,
- Agent wytwórczy,
- Agent dostosowujący.

Agenci systemowi wykorzystywani są dla celów konfiguracyjnych, koordynacyjnych, diagnostycznych oraz wizualizacyjnych. Ogólnie można powiedzieć, że agenci systemowi odpowiedzialni są za zadania, które wymagają wiedzy o całości systemu. Agenci wytwórczy stanowią kluczowy element koncepcji. Reprezentują oni działanie rzeczywistego elementu systemu wytwarzania, jak np. obrabiarka, robot, wózek czy magazyn. Inteligencja agentów wytwórczych związana jest bezpośrednio ze zbiorem realizowanych przez nich czynności elementarnych oraz ich zdolnością do realizacji wspólnych celów przy udziale innych



Rys. 1. Struktura rozproszonego systemu sterowania wytwarzaniem.

agentów. Agent dostosowujący (driver) jest odpowiedzialny za wymianę danych z układami rzeczywistymi (sterowniki, sensory). Zbudowanie systemu sterowania polega na konfiguracji bądź samokonfiguracji agentów w środowisku sieciowym. Działanie systemu sterowania opiera się na założeniu, że każdy agent wytwórczy jest aktywny i dąży do wykonania przyporządkowanych mu czynności elementarnych. Istotnym zagadnieniem jest więc wybór czynności, która będzie realizowana przez danego agenta. Jedną z możliwych koncepcji wyboru opiera się na priorytetach zależnych od preferencji systemowych przekazywanych agentom wytwórczym przez agentów systemowych. Przykładem preferencji, które wpływają na wartości priorytetów są: nowe zamówienia, stopień zaawansowania procesu wytwórczego, współczynniki wykorzystania maszyn itp. Aby rozpocząć czynność, agent wytwórczy zwykle potrzebuje współpracy innych agentów. Tak więc poszukuje agentów zainteresowanych wykonaniem danej czynności elementarnej. Po skompletowaniu zbioru agentów wytwarzania niezbędnych do realizacji danej czynności elementarnej następuje proces weryfikowalności realizacji tej czynności. Proces ten polega na „odpytaniu” agentów dostosowujących czy spełnione są dodatkowe warunki realizacji czynności. Chodzi tu o takie sytuacje jak gotowość urządzeń, dostępność narzędzi itp. Spełnienie ww. warunków powoduje rozpoczęcie realizacji czynności.

Strukturę rozproszonego systemu sterowania wytwarzaniem opartego na opisanej powyżej koncepcji, przedstawiono na rys. 1. Obejmuje ona swoim działaniem dwa najniższe poziomy systemu informacyjnego przedsiębiorstwa tj. poziom sterowania operatywnego (II) i poziom sterowania lokalnego (I). Elementami tworzącymi system sterowania są agenci systemowi ( $AS_i$ ), agenci wytwarzania ( $AW_k$ ) oraz agenci dostosowujący ( $AD_k$ ).

Rozważając możliwości implementacyjne przedstawionej koncepcji napotkano kilka zagadnień wymagających dogłębnej analizy. Trzy wybrane zagadnienia dotyczące:

- wyboru platformy systemowej,
- wyboru sprzętowej i programowej platformy integrującej oraz
- określenia sposobu realizacji procesu wizualizacji sterowania rozproszonego, będą przedmiotem dalszych rozważań w ramach niniejszego referatu.

## 2.1. Wybór platformy systemowej

Analizując rynek współczesnych systemów sterowania systemami wytwarzania można zauważyć dwa trendy rozwojowe tych systemów. Pierwszy polega na integracji różnych technologii informatycznych w ramach modelu systemów otwartych, drugi natomiast opiera się na tworzeniu nowych rozwiązań w oparciu o standardowe rozwiązania sprzętowe i programowe środowiska komputerów osobistych (PC). Podział ten w znacznym stopniu odzwierciedla istniejącą na rynku rywalizację pomiędzy dynamicznie rozwijającym się rynkiem PC bazującym na systemach operacyjnych firmy Microsoft (głównie Windows NT) a dominującymi w przedsiębiorstwach rozwiązaniami korzystającymi z innych systemów operacyjnych (głównie UNIX). Obydwa systemy mają szerokie grono swoich zwolenników, nie należy się więc spodziewać, by początek nowego stulecia zmienił w sposób radykalny bieżącą sytuację. Pomimo wielu potencjalnych zagrożeń wynikających z dominującej roli firmy Microsoft na rynku oprogramowania dla komputerów osobistych, nie należy lekceważyć zalet jakie niesie ze sobą jednorodność utworzonych przez nią technologii informatycznych. Problem dostępu do informacji na wszystkich poziomach systemu informacyjnego w przedsiębiorstwie, łatwość wymiany danych pomiędzy poszczególnymi jego elementami, brak konieczności wykonywania wielokrotnych konwersji danych to zalety, które trudno zignorować. Zalety te zostały zauważone przez wszystkie liczące się firmy opracowujące oprogramowanie dla wspomagania zarządzania przedsiębiorstwem ERP czy też systemy wspomagania projektowania CAD/CAM/CAE. Jednocześnie należy zauważyć dużą

dynamikę w zakresie rozwoju układów sterowania „opartych na oprogramowaniu” standardowego sprzętu klasy PC. Dotychczas bowiem układy sterowania realizowane są w większości przez specjalizowane układy sprzętowe.

Dążenie do wprowadzenia w przemyśle rozproszonych układów sterowania nowej generacji wymaga zastosowania koncepcji opartych na integracji inteligentnych, autonomicznych i kooperatywnych agentów. Przykładem może być przedstawiona powyżej koncepcja. Nie nakłada ona ograniczeń na wybór systemu operacyjnego, tak więc najważniejszym czynnikiem wpływającym na podjęcie decyzji co do wyboru platformy systemowej jest aktualny stan systemu informacyjnego w przedsiębiorstwie. Jest oczywistym, że w działającym przedsiębiorstwie nie należy w krótkim okresie diametralnie zmieniać technologii informatycznych. Takie działanie najczęściej prowadzi bowiem do chaosu i kłopotów. Choć z wielu względów jednorodność platformy systemowej jest pożądana, to jednak należy się spodziewać, że systemy informacyjne większości już istniejących przedsiębiorstw będą miały charakter heterogeniczny. Jedyne nowo tworzone systemy informacyjne mogą bazować na jednym z dominujących systemów.

## 2.2. Wybór sprzętowej i programowej platformy integrującej

Przedstawione powyżej rozważania dotyczące wyboru platformy systemowej dla budowy rozproszonego systemu sterowania wytwarzaniem są ściśle powiązane z wyborem programowej platformy integrującej. Dla utworzenia rozproszonego systemu sterowania wytwarzaniem można wykorzystać technologie obiektów rozproszonych. Obecnie na rynku dominują dwie konkurencyjne technologie integracji obiektów w środowisku rozproszonym, tj. CORBA i DCOM, choć pojawiła się i trzecia technologia Java RMI [6] wspierana przez firmę SUN. Wszystkie te technologie umożliwiają współpracę między obiektami znajdującymi się w różnych aplikacjach, działającymi na komputerach o różnej architekturze oraz wykorzystującymi różne systemy operacyjne. Podstawową cechą odróżniającą technologie CORBA i DCOM od technologii Java RMI jest fakt, że CORBA i DCOM są niezależne od języka programowania, natomiast Java RMI bazuje na języku Java. Zarówno technologia CORBA wspierana głównie przez środowisko UNIXowe jak i technologia DCOM wspierana przez Microsoft doczekały się swoich wersji na konkurencyjne systemy operacyjne. Nie wdając się w szczegóły różniące te dwie technologie obiektów rozproszonych [2][3][11] należy zauważyć jednorodność implementacji technologii DCOM na tle wielu nie do końca kompatybilnych implementacji technologii CORBA.

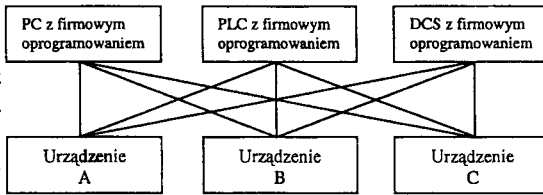
W przedstawionej na rys. 1. strukturze rozproszonego systemu sterowania wytwarzaniem wyróżnić możemy dwa poziomy: poziom sterowania operatywnego oraz poziom sterowania lokalnego. Struktura powiązań międzyagentowych na obydwu poziomach nie musi opierać się o te same technologie integracyjne. Podstawową różnicą pomiędzy poziomem sterowania operatywnego a poziomem sterowania lokalnego dyskretnymi systemami wytwarzania jest fakt, że sterowanie operatywne nie wymaga systemów czasu rzeczywistego, natomiast w ramach sterowania lokalnego mogą wystąpić ściśle uwarunkowania czasowe [8]. Tak więc komunikacja pomiędzy agentami wytwórczymi (a także pomiędzy agentami wytwórczymi a agentami systemowymi) odbywać się może za pomocą jednej z przedstawionych powyżej technologii obiektów rozproszonych. Na poziomie sterowania lokalnego natomiast, w zależności od konkretnego systemu wytwarzania, mogą ale nie muszą wystąpić uwarunkowania czasowe ograniczające lub uniemożliwiające zastosowanie technologii CORBA lub DCOM. Istotną rolę odgrywa tu aktualnie zaimplementowana struktura sprzętowych powiązań komunikacyjnych pomiędzy elementami biorącymi udział w procesie wytwarzania. Jeżeli wszystkie powiązania (także pomiędzy agentami dostosowującymi oraz agentami dostosowującymi a sterownikami) realizowane są za pomocą sieci lokalnych, to

można wykorzystać przedstawione powyżej technologie obiektów rozproszonych. Jeżeli natomiast powiązania te realizowane są za pomocą sieci miejscowych, to niezbędnym jest opracowanie i zaimplementowanie w agentach dostosowujących możliwości komunikacyjnych na poziomie sieci miejscowych.

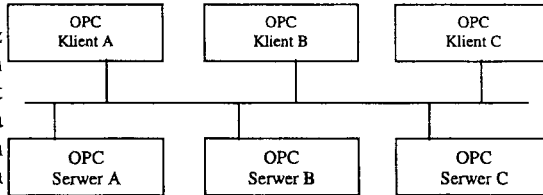
Innym problemem związanym z komunikacją w systemach sterowania wytwarzaniem jest zagadnienie opracowywania oprogramowań dostosowujących (driverów), umożliwiających wymianę informacji pomiędzy wykorzystywanym oprogramowaniem (np. systemy SCADA) a urządzeniami. Przykład typowego rozwiązania tego problemu pokazano na rys.2. Rysunek ten prezentuje fakt, że wymiana informacji pomiędzy oprogramowaniem a urządzeniami wymaga opracowania indywidualnego drivera dla każdego urządzenia.

Dodatkowym problemem związanym z wykorzystaniem tego rozwiązania są trudności z równoczesnym dostępem do urządzenia poprzez dwa różne drivery.

Odmiennej sposób podejścia do rozwiązania tego zagadnienia został zaproponowany przez OPC Foundation [7]. Zaproponowana koncepcja nosi nazwę OPC (OLE for Proces Control) i oferuje standardowy sposób (rys.3.) wymiany informacji pomiędzy różnymi źródłami danych. Dla każdego źródła danych zostaje opracowany przez jego twórcę jeden uniwersalny moduł programowy tzw. OPC Serwer. Z tym modulem komunikują się różne programy za pomocą klientów OPC. Rys.4. przedstawia schemat powiązań komunikacyjnych

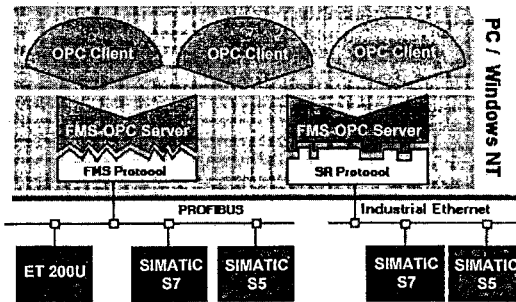


Rys.2. Klasyczne rozwiązanie połączeń aplikacja-urządzenie.

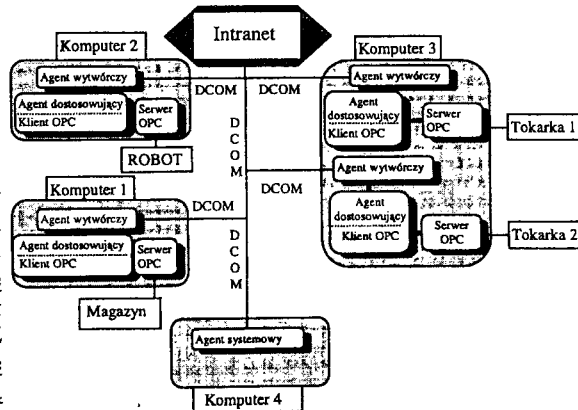


Rys.3. Schemat połączeń aplikacja-urządzenie z wykorzystaniem technologii OPC.

### Communication SIMATIC NET OPC Server



Rys.4. Schemat połączeń za pomocą serwera OPC SIMATIC NET.



Rys.5. Przykład rozproszonego systemu sterowania wytwarzaniem.

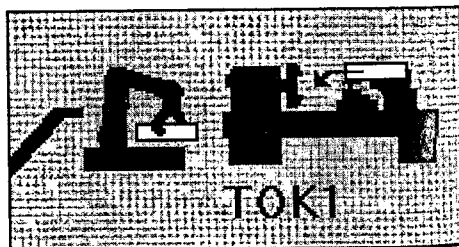
dla opracowanego przez firmę Siemens serwera OPC SIMATIC NET [9]. Serwer ten umożliwia wymianę informacji pomiędzy klientami OPC a rozproszonymi systemami we/wy i sterownikami PLC firmy Siemens podłączonymi do sieci PROFIBUS lub Industrial Ethernet.

Technologia OPC jest technologią nową i ciągle rozwijaną. Nie bez znaczenia jest jednak fakt, że OPC opiera się na technologii OLE (Object Linking and Embedding) firmy Microsoft, co powoduje jej „automatyczną” integrację z innymi aplikacjami bazującymi na technologiach COM/DCOM. O rosnącym znaczeniu OPC świadczy także wsparcie jej przez ponad 170 firm oraz duża dynamika w liczbie powstających aplikacji. Rys. 5. przedstawia przykład prezentujący zastosowanie technologii DCOM/OPC do budowy systemu sterowania rozproszonego dla gniazda produkcyjnego składającego się z dwóch tokarek, robota i magazynu.

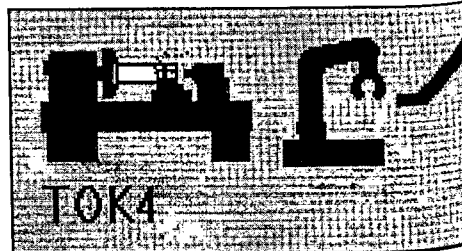
### 2.3. Określenie sposobu wizualizacji

Wszystkie współczesne systemy komputerowe wyposażone są w Graficzny Interfejs Użytkownika. Nawet komputery pracujące pod kontrolą, skądinąd konserwatywnych, systemów operacyjnych takich jak UNIX czy VMS wykorzystują efektywne środowiska graficzne X-windows czy też Motif. Oferowane przez współczesne systemy komputerowe duże możliwości w zakresie multimedialnej prezentacji są wykorzystywane także w sterowaniu rozproszonymi zautomatyzowanymi systemami wytwarzania. Komunikacja w systemach sterowania bazujących na integracji sieciowej agentów realizowana jest najczęściej na zasadzie wymiany komunikatów. Dla umożliwienia śledzenia działania systemu sterowania niezbędne jest zastosowanie modułów wizualizacyjnych HMI (Human Machine Interface) pozwalających na analizowanie zachowania się sterowanego systemu bez konieczności interpretacji dużej liczby złożonych komunikatów. Przykładem aplikacji HMI jest pakiet InTouch firmy Wonderware. Systemy wizualizacyjne posiadają graficzne narzędzia pozwalające projektantowi na przygotowywanie modeli odpowiadających rzeczywistym obiektom. Można to zrobić z prostych elementów wektorowych takich jak: linie, prostokąty, elipsy, wielokąty, a także pola tekstu. Można też wstawiać rysunki czy zeskanowane zdjęcia w postaci bitmap. Proste elementy graficzne układa się na ekranie, wyrównuje względem siebie, zmienia ich orientację, a także zmienia wzajemne nałożenie. Wizualizacja procesu produkcyjnego odbywa się poprzez zmianę: wymiarów, położenia, koloru linii, koloru wypełnienia (gdy figura geometryczna jest zamknięta), procentu wypełnienia przez określony kolor (możliwa płynna zmiana symbolizująca np. zmianę poziomu cieczy w zbiorniku), widoczności, orientacji, koloru tekstu itp.

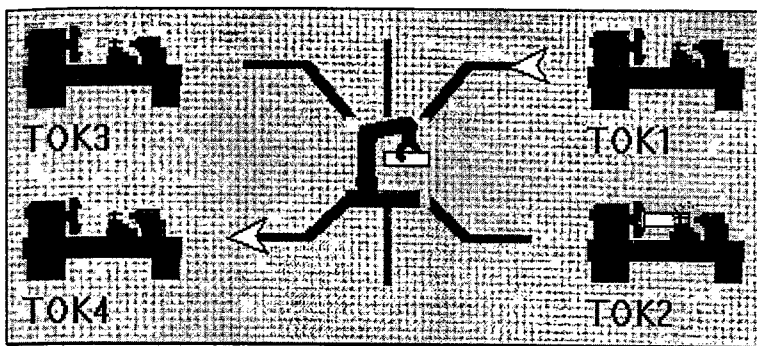
Komercyjne aplikacje wizualizacyjne mają zwykle charakter ogólny i przeznaczone są do wizualizacji różnych procesów np. procesów



Rys.6. Załadunek przedmiotu na obrabiarce.



Rys.7. Obróbka na obrabiarce.



Rys.8. Przekazywanie przedmiotu z TOK1 na TOK4 za pomocą robota.

ciągłych oraz procesów dyskretnych. Ponadto często występuje sytuacja, że na danym systemie komputerowym nie ma możliwości jednoczesnego uruchomienia dwóch instancji aplikacji wizualizacyjnej. Dla wieloagentowego systemu sterowania jest to duże ograniczenie. Istnieje więc konieczność opracowania dedykowanych modułów wizualizacyjnych reprezentujących specyfikę sterowanego systemu np. rozproszonego zautomatyzowanego systemu wytwarzania.

W zautomatyzowanym systemie wytwarzania istnieją urządzenia, których celem jest zmiana charakterystyki przedmiotu, jego przechowanie oraz takie, które są odpowiedzialne za jego transport czy manipulację. Maszyną, która zmienia charakterystykę przedmiotu jest np. obrabiarka. Obrabiarka może uczestniczyć w realizacji czynności: załadunek przedmiotu (rys.6.), obróbka przedmiotu (rys.7.) oraz rozładunek przedmiotu. Każdą czynność spośród wymienionych można wizualizować zmieniając mapę bitową na taką, która obrazuje stan obrabiarki. Urządzenia, których przeznaczeniem w systemie produkcyjnym jest zmiana charakterystyki przedmiotu oraz te, które przechowują przedmioty, z punktu widzenia procesu wizualizacji można traktować jako obiekty stałe. Natomiast w przypadku urządzeń transportujących (wózki) lub manipulujących (roboty) ważne jest, aby wizualizować poza zmianą stanu (załadunek, rozładunek) także zmianę ich położenia. Dzięki temu wyraźniej widoczny jest przepływ przedmiotów w systemie wytwarzania (rys.8.). Te urządzenia można nazwać obiektami ruchomymi. Jeżeli chodzi o reprezentację graficzną, obiekty te wyróżniają się tym, że posiadają linie połączenia, których końce znajdują się przy obiektach stałych współpracujących z ruchomym. Obiekt ruchomy może, w razie nadejścia odpowiednich komunikatów, zająć miejsce przy obiekcie stałym (na końcu linii połączenia). Sygnalizowane jest także przemieszczanie obiektu ruchomego od jednego stałego w kierunku drugiego (do tego służą strzałki).

Innym istotnym zagadnieniem dotyczącym wizualizacji w sterowaniu systemami wytwarzania jest wykorzystanie technologii wideo do obserwacji całości lub istotnych elementów procesu wytwarzania. W tym celu można wykorzystywać zarówno kamery stacjonarne jak i mobilne. W przypadku transmisji wideo istnieją jednak wysokie wymagania co do przepustowości sieci komputerowych. Dla standardu High Definition TV sięgają mogą one nawet 30 mb/s. Spełnienie takich wymagań jest możliwe obecnie jedynie poprzez najszybsze sieci komputerowe: Fast Ethernet, FDDI i ATM.

### 3. WNIOSKI

Przedstawiona w referacie koncepcja wieloagentowego systemu sterowania dyskretnymi systemami wytwarzania jest obecnie na etapie zaawansowanych prac programowych i

pierwszych prac testowych. Jako platformę systemową wybrano Windows NT, a jako platformę integrującą technologię DCOM [12]. Podstawowymi przesłankami, którymi kierowano się przy wyborze tych platform były: (1) wybór najbardziej dynamicznie rozwijającej się platformy systemowej; (2) dostępność technologii DCOM, która stanowi integralną część systemu operacyjnego Windows NT, a także istnieje lub jest w opracowywaniu dla innych systemów operacyjnych; (3) jednorodność platformy zarówno na poziomie systemów zarządzania przedsiębiorstwem, poziomie sterowania operatywnego, jak i na poziomie sterowania lokalnego (technologia OPC); (4) szybko rozwijający się rynek sterowników SoftPLC opartych na platformie PC (Windows NT). Przedstawione powyżej rozważania wyboru platform mają charakter ogólny choć bezpośrednio dotyczą środowiska edukacyjno-badawczego (uczelni). Wydaje się jednak, że ten tok rozumowania jest właściwy dla większości średnich i małych przedsiębiorstw nie posiadających dużego zaplecza kadrowego pozwalającego na posiadanie i rozwijanie środowiska informatycznego o charakterze heterogenicznym.

## LITERATURA

- [1] The Agent Society, 1999. <http://www.agent.org>
- [2] Chung P. E. i inni: DCOM and CORBA Side by Side Step by Step and Layer by Layer, 1997. <http://www.research.att.com/~ymwang/vita/vita.htm#Publications>
- [3] COM versus CORBA: A Decision Framework, 1999. <http://www.quoininc.com/COMCORBA.html>
- [4] Cyklis J., Zajac J.: Koncepcja rozproszonego systemu sterowania dyskretnymi systemami wytwarzania. Zbiór referatów AUTOMATION'98, s. 47-52. PIAP, 1998.
- [5] Cyklis J., Zajac J.: Od centralizmu do autonomii w sterowaniu dyskretnymi systemami wytwarzania. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria AUTOMATYKA z.124. s.43-52. Gliwice 1998.
- [6] Java RMI, 1999. <http://java.sun.com/products/jdk/rmi/index.html>
- [7] OPC Foundation, 1999. <http://www.opcfoundation.org>
- [8] Reiner J., Mrzygłód M., Trzciniński P., Smalec Z.: Przemysłowa sieć komunikacyjna PROFIBUS-DP – wczoraj i jutro. Zbiór referatów AUTOMATION'98, s. 372-379. PIAP, 1998.
- [9] SIMATIC NET OPC servers, 1999. <http://www.opceurope.org>
- [10] Syrczyński A.: Wyniki projektu badawczego zamawianego PBZ-31-05 „Sieciowe systemy komunikacyjne integrujące automatyzację wytwarzania” Zbiór referatów AUTOMATION'98, s. 252-261. PIAP, 1998.
- [11] Thompson D., Watkins D.: Comparisons between CORBA and DCOM: Architectures for Distributed Computing. <http://www.sd.monash.edu.au/research/publications/1997/ABSTRACTS.html#P97-1>
- [12] Zajac J., Cznych W.: DCOM jako narzędzie komunikacji w sterowaniu dyskretnymi systemami wytwarzania. Zbiór referatów AUTOMATION'98, s. 365-371. PIAP, 1998.