

Jerzy ZAJĄC<sup>1</sup>  
Grzegorz CHWAJÓŁ<sup>1</sup>

### **INTEGRACJA PODSYSTEMÓW WYTWARZANIA I TRANSPORTU W ROZPROSZONYM SYSTEMIE STEROWANIA PRODUKCJĄ AIM**

*W pracy przedstawiono rozproszony system sterowania produkcją AIM oraz omówiono integrację podsystemu wytwarzania z podsystemem transportu międzyoperacyjnego złożonym z automatycznych pojazdów mobilnych. Przedstawiono zarys działań wymaganych do osiągnięcia wyżej wymienionego celu oraz dokonano krótkiej charakterystyki proponowanych algorytmów.*

### **INTEGRATION OF MANUFACTURING AND TRANSPORT SUBSYSTEMS IN AIM DISTRIBUTED PRODUCTION CONTROL SYSTEM**

*The paper presents a distributed production control system AIM and shows an idea of integration of manufacturing subsystem with automated guided vehicle transportation subsystem used for work-in-process movement in a production system. Required steps to reach this purpose as well as short descriptions of proposed algorithms are presented.*

#### **1. WSTĘP**

Nowoczesne systemy produkcyjne w coraz większym stopniu wykorzystują podsystemy transportu międzyoperacyjnego zbudowane z automatycznych pojazdów mobilnych AGV (ang. *Automatic Guided Vehicles*). Wymaga to integracji informacyjnej i funkcjonalnej tych podsystemów z podsystemami wytwarzania występującymi w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Naturalnym integratorem informacyjnym tych podsystemów jest podsystem sterowania produkcją. Współczesne trendy określają go jako system o strukturze zdecentralizowanej, posiadający zdolność do samokonfiguracji i rekonfiguracji. Taki podsystem sterowania zapewnić musi odpowiednią solidność systemu produkcyjnego, czyli zdolność do racjonalnego działania w przypadku wystąpienia zakłóceń.

Podsystemy transportowe wykorzystujące automatyczne pojazdy mobilne stanowią przedmiot zainteresowania licznej grupy badaczy, a co za tym idzie, istnieje bogata bibliografia dotycząca tej problematyki. Należy tu jednak zauważyć, że zdecydowana większość publikacji dotyczących problem transportu międzyoperacyjnego traktuje go jako

---

<sup>1</sup> Politechnika Krakowska, Zakład Zautomatyzowanych Systemów Produkcyjnych  
Al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków. E-mail: (zajac,chwajol)@mech.pk.edu.pl

zadanie wydzielone, pomijając otaczające środowisko czyli zintegrowane z nim inne podsystemy systemu produkcyjnego. Wśród najważniejszych zagadnień prezentowanych w literaturze a dotyczącej tej problematyki wymienić można: rozmieszczanie dróg transportowych w przedsiębiorstwie, harmonogramowanie zadań transportowych [3][6], wyznaczanie tras jazdy wózków [1][2], rozwiązywanie konfliktów [10] w trakcie realizacji procesów współbieżnych (kolizje, blokady), pozycjonowanie wózków oczekujących na przydzielenie zadania transportowego, koordynację i współdziałanie [5] w trakcie realizacji zadań, wyznaczanie niezbędnej liczby wózków czy też zarządzanie problematyką ładowania akumulatorów.

Biorąc pod uwagę problematykę sterowania podsystemem transportowym można zauważyć, że dominującym sposobem podejścia jest widzenie go jako systemu scentralizowanego i działającego w warunkach deterministycznych. Stąd liczne pozycje bibliograficzne proponują rozwiązania oparte na metodach analitycznych, takich jak programowanie sieciowe czy programowanie liniowe całkowitoliczbowe. W ostatnich latach zaczęły pojawiać się jednak publikacje dotyczące wykorzystania technologii agentowych do sterowania podsystemem transportowym wykorzystującym automatyczne pojazdy mobilne [3][8]. Prace te otwierają nowy obszar badań w zakresie budowy rozproszonych, rekonfigurowalnych systemów sterowania produkcją, mających zdolność do racjonalnego działania w przypadku wystąpienia zakłóceń. Należy jednak podkreślić, że jak do tej pory, problematyka integracji zbudowanych w oparciu o technologię agentową podsystemów transportowych wykorzystujących automatycznie sterowane pojazdy AGV z wieloagentowym systemem sterowania produkcją nie stanowi głównego nurtu badań, co przejawia się stosunkowo niewielką liczbą prac z tego zakresu.

## 2. WIELOAGENTOWY SYSTEM STEROWANIA PRODUKCJĄ AIM

W Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji Politechniki Krakowskiej opracowany został wieloagentowy system sterowania produkcją AIM (ang. *Agents Integrated Manufacturing*) [12][14]. Zasadniczą rolę w systemie AIM pełnią uniwersalne, rekonfigurowalne moduły programowe zwane agentami wykonawczymi. Ich zadaniem jest reprezentowanie wchodzących w skład systemu wytwarzania zasobów wytwórczych takich jak: maszyny, manipulatory, roboty przemysłowe, magazyny, urządzenia kontrolno-pomiarowe itp. Agenty te charakteryzują się następującymi właściwościami:

- posiadają autonomię decyzyjną związaną ze zbiorem czynności elementarnych realizowanych przez ich zasoby wytwórcze,
- dysponują wiedzą o powiązaniach z innymi agentami wykonawczymi współuczestniczącymi w realizacji poszczególnych czynności,
- kontrolują przepływ wytwarzanych przedmiotów przez reprezentowane zasoby wytwórcze,
- posiadają wiedzę na temat dostępności i stanu zasobów wytwórczych.

Rolą każdego z agentów wykonawczych jest logiczna reprezentacja w systemie sterowania przypisanego mu zasobu wytwórczego. W jej ramach agent wykonawczy dokonuje m.in. analizy warunków koniecznych realizacji poszczególnych czynności elementarnych oraz współdziałając z agentami przedmiotowymi podejmuje decyzje dotyczące wyboru czynności do rozpoczęcia.

Z poszczególnymi zasobami wytwórczymi oraz reprezentującymi je agentami wykonawczymi ściśle powiązane są tzw. agenty dostosowujące. Agenty te jako jedyne w rozważanym systemie sterowania nie posiadają w zakresie swojego typu cechy uniwersalności w takim znaczeniu, że już na etapach projektowania i późniejszej implementacji (nie zaś dopiero w chwili konfiguracji) dedykowane są konkretnym zasobom wytwórczym i ich agentom wykonawczym. Zasadniczą rolą agentów dostosowujących jest pośredniczenie pomiędzy warstwą logiczną oprogramowania (agentami wykonawczymi) a sprzętowymi sterownikami konkretnych urządzeń.

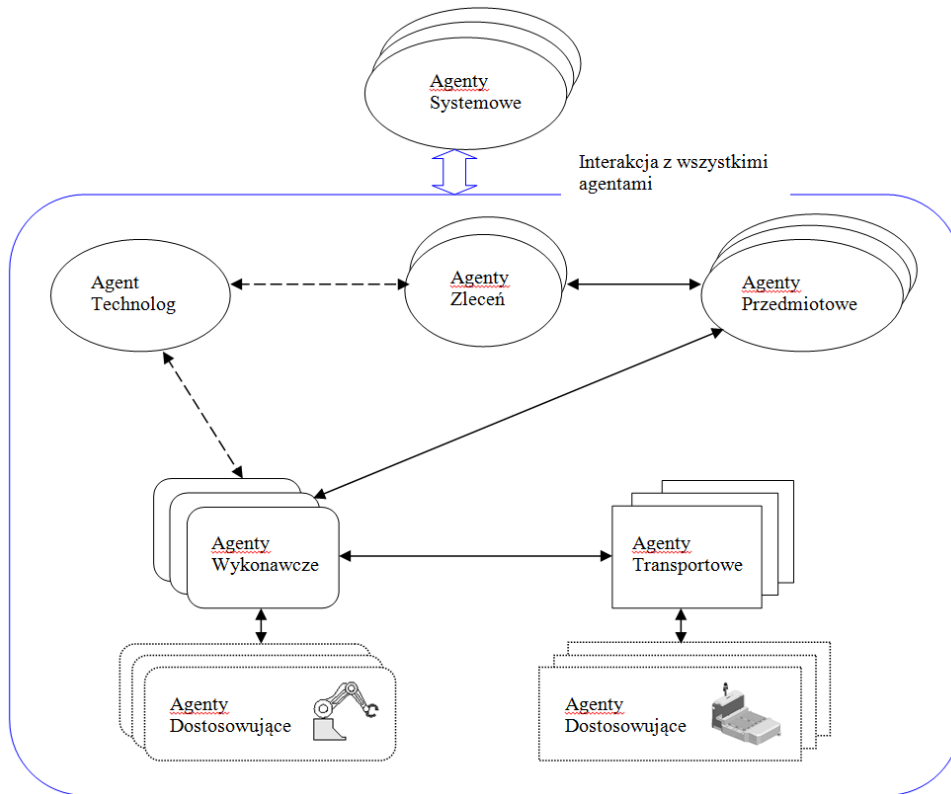
W procesy decyzyjne zachodzące w systemie sterowania poza agentami wykonawczymi zaangażowane są także agenty reprezentujące wytwarzane w systemie przedmioty, tzw. agenty przedmiotowe. Biorą one czynny udział w procesie podejmowania decyzji, dokonują weryfikacji warunków uniemożliwiających wystąpienie blokad, ich rolą jest także m.in. rejestrowanie zmian i stanów pośrednich, jakie przyjmują reprezentowane przez nie przedmioty w trakcie procesu wytwórczego. Założono istnienie dedykowanego agenta przedmiotowego dla każdego z wytwarzanych przedmiotów, jednak z uwagi na przeznaczenie systemu AIM do sterowania spaletyzowanymi systemami produkcyjnymi, część działań wspólnych dla wszystkich znajdujących się w obrębie palety przedmiotów (np. podejmowanie decyzji, weryfikacja warunków przeciwblokadowych) realizowana jest jedynie przez wybrane agenty pełniące role ich reprezentantów.

Z agentami przedmiotowymi blisko związane są agenty zleceń, które reprezentują poszczególne zamówienia. Każdy z nich posiada komplet informacji dotyczących parametrów technicznych oczekiwanych produktów, procesów wytwórczych wymaganych do ich zrealizowania, żądanego terminu realizacji, kosztów itp.

Szczególną rolę w systemie AIM odgrywa agent technolog. Jest on decydentem wyposażonym w ekspercką wiedzę z dziedziny technologii wytwarzania, jego zadaniem jest planowanie i modyfikacja procesów technologicznych dla przyjmowanych zamówień. W ramach swych działań przygotowuje on dla systemu sterowania wielowariantowy proces produkcyjny prowadzący do otrzymania przedmiotu obrabianego z wejściowego półfabrykatu. Wielowariantowość oznacza tu, że to samo zlecenie można zrealizować różnymi sposobami, wykorzystując do tego celu dostępne środki produkcji. Zakłada się, że w systemie istnieje co najmniej jeden agent technolog, który jest uruchamiany przez operatora. Swoją aktywność agent technolog rozpoczyna w chwili otrzymania od agenta zlecenia polecenia przygotowania wielowariantowego procesu wytwarzania, kończy ją zaś przekazaniem temuż agentowi przygotowanego procesu bądź informacji o braku możliwości jego wygenerowania.

Przyjęto, że rozpatrywany podsystem transportowy składa się z automatycznych pojazdów (wózków) mobilnych realizujących indywidualne zadania transportowe. Polegają one na przemieszczaniu się z aktualnego miejsca do miejsca, w którym następuje załadunek, po załadowaniu następuje przejazd do miejsca, gdzie wózek jest rozładowywany, po czym pojazd przemieszcza się do docelowego miejsca parkowania. Każdy automatyczny wózek mobilny posiada reprezentującego go w systemie sterowania agenta transportowego.

Ostatnią grupę agentów tworzą tzw. agenty systemowe uruchamiane na poszczególnych komputerach wchodzących w skład infrastruktury sprzętowej systemu sterowania. Ich zadania zostaną szczegółowo omówione w kolejnym rozdziale.



Rys. 1. Ogólna struktura wieloagentowego systemu sterowania AIM

Przyjęto hybrydową architekturę podsystemu sterowania odpowiedzialnego za realizację zadań transportowych. Oznacza to podział przestrzeni decyzyjnej pomiędzy znajdujące się na niższym poziomie hierarchii agenty transportowe reprezentujące pracujące w systemie rozproszonym pojazdy mobilne, a jednego z reprezentujących cele systemowe agentów systemowych – tzw. superagenta.

### 3. ZADANIA AGENTÓW SYSTEMOWYCH

Agenty systemowe sprawują w systemie AIM szereg funkcji o charakterze administracyjno-monitorującym. Przyjęto, że ich liczba równa jest liczbie komputerów uczestniczących w realizacji procesu sterowania, przy czym założono, że na jednym komputerze znajduje się jeden agent systemowy. W zakresie działań omawianych agentów wyróżnić można cztery zasadnicze grupy zadań.

Zadania z pierwszej grupy wiążą się z działaniami administracyjno-informacyjnymi dotyczącymi pracy agentów wszystkich pozostałych typów uruchomionych na tym samym komputerze co agent systemowy. W zakres działań agentów systemowych wchodzi tu takie zadania jak: inicjalizacja poszczególnych agentów (wykonawczego /W/, przedmiotowego

/P/, zlecenia /Z/, dostosowującego /D/, transportowego /Tr/ oraz technologa /Te/) i odpowiednio usuwanie z systemu tych, które na danym etapie procesu kończą realizację swych zadań. Działania z tej grupy obejmują także rejestrację poszczególnych agentów w lokalnej bazie adresowej, dystrybucję informacji lokalizacyjnych pomiędzy agentami systemowymi oraz udzielanie informacji w odpowiedzi na stosowne zapytania ze strony lokalnych agentów.

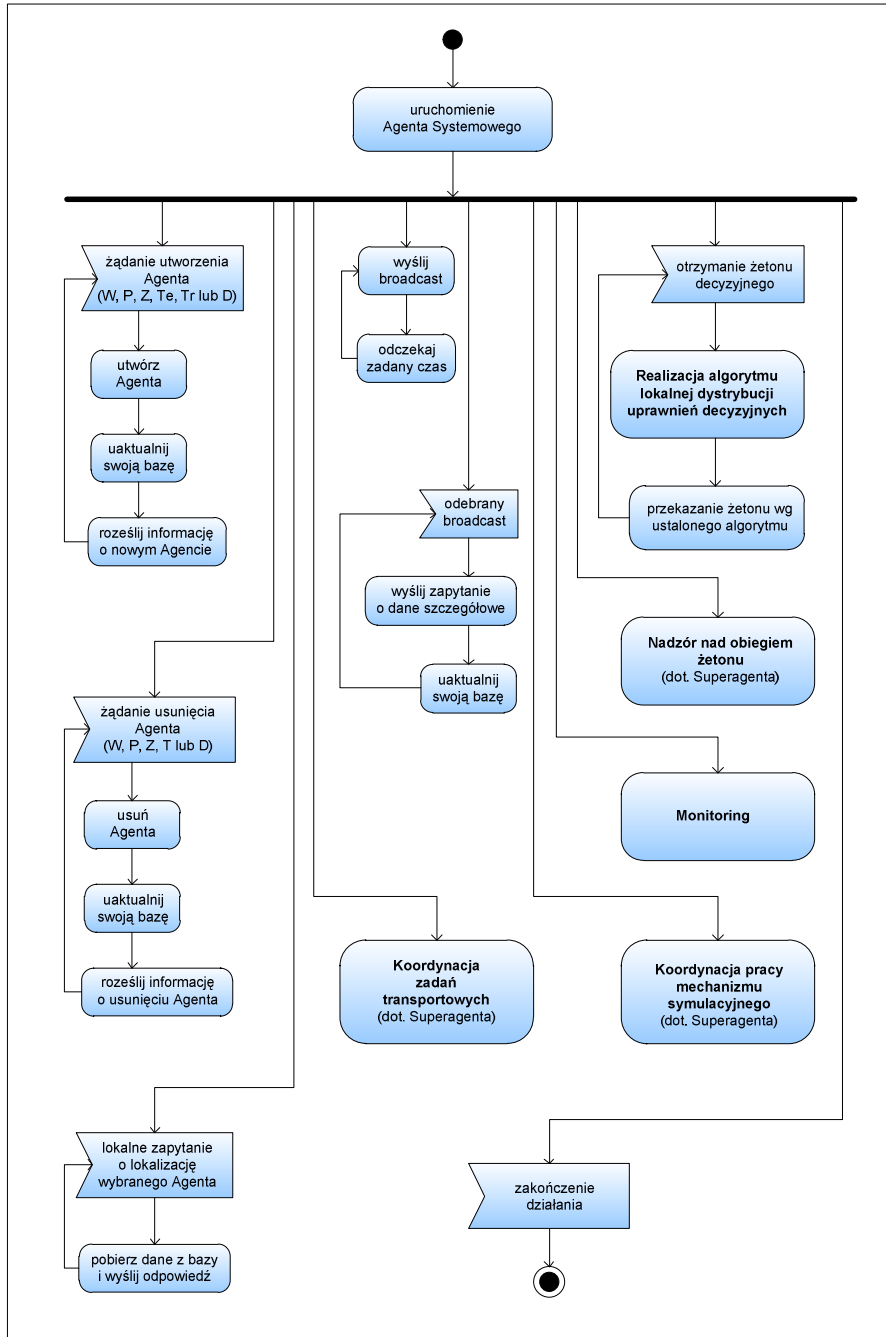
Druga grupa zadań związana jest z udziałem agentów systemowych w procesie dystrybuowania uprawnień decyzyjnych. W systemie AIM przyjęto sekwencyjny sposób ich przyznawania i wykorzystano w tym celu algorytm pierścienia z żetonem [9].

Trzecią grupę zadań stanowią mechanizmy odpowiedzialne za badanie otoczenia sieciowego pod kątem poszukiwań innych agentów systemowych, a tym samym innych komputerów, na których mogą być zlokalizowane agenty wymagane w czasie realizacji procesu sterowania. Badanie to polega na cyklicznym rozgłaszaniu (broadcasting) w sieci informacji o swojej lokalizacji i równocześnie na podejmowaniu stosownych działań po otrzymaniu takiego informacyjnego pakietu danych. Mechanizmy te mogą być jedynym źródłem informacji o agentach systemowych znajdujących się w otoczeniu sieciowym, mogą także uzupełniać przekazaną agentom systemowym (w momencie ich inicjalizacji) wstępną statyczną listę potencjalnych lokalizacji agentów, wreszcie mogą zostać zupełnie wyłączone przy założeniu, że przekazana statyczna lista zawiera pełną informację o lokalizacji agentów systemowych. Należy jednak dodać, że ze względu na zastosowaną implementację polegającą na wysyłaniu pakietów danych na adres rozgłoszeniowy (broadcast) sieci lokalnej, mechanizm ten może być z powodzeniem wykorzystany jedynie w obrębie takiej właśnie sieci.

Ostatnia grupa zadań obejmuje monitorowanie stanu systemu, zarówno w aspekcie lokalnym (stan poszczególnych agentów zlokalizowanych na danym komputerze), jak również w aspekcie globalnym (wzajemne monitorowanie stanu poszczególnych agentów systemowych). W zakres tej grupy zadań wchodzi także działania związane z zapewnieniem integralności systemu sterowania przy uwzględnieniu możliwości wystąpienia sytuacji awaryjnych.

Uprzywilejowanym agentem systemowym posiadającym szczególne znaczenie jest tzw. superagent. Wyłonienie superagenta spośród agentów systemowych zostaje dokonane w chwili inicjalizacji systemu i jest efektem realizacji algorytmu elekcji zapewniającego istnienie tylko i wyłącznie jednej jego instancji. Poza zestawem zadań przynależnych każdemu z agentów systemowych, superagent pełni w systemie AIM określone dodatkowe funkcje. Jedną z nich jest nadzór nad prawidłowym obiegiem żetonu decyzyjnego. Inną ważną funkcją spełnianą przez superagenta jest koordynacja pracy tzw. mechanizmu symulacyjnego. Mechanizm ten wykorzystując wirtualne kopie (klony) agentów biorących udział w procesie sterowania operatywnego realizuje wirtualne procesy wytwórcze, co w powiązaniu ze współbieżnym w stosunku do procesu rzeczywistego sterowania działaniem pozwala między innymi na optymalizację procesów decyzyjnych [15]. Superagent zaangażowany jest również w proces koordynacji zadań transportowych realizowanych z wykorzystaniem zbudowanego z automatycznych pojazdów mobilnych podsystemu transportowego. Wybrane działania związane z tą funkcją zostaną przedstawione w kolejnym rozdziale.

Poszczególne zadania, a także wybrane sekwencje wykonywanych działań dla każdego z zadań, przedstawione zostały za pomocą UML-owego diagramu czynności na rys. 2.



Rys.2. Zadania agenta systemowego

#### 4. PODSYSTEM TRANSPORTOWY W SYSTEMIE AIM

Podsystem transportowy realizujący swoje zadania za pomocą automatycznych pojazdów (wózków, platform) mobilnych jest podsystemem usługowym w stosunku do podsystemu wytwarzania. Podsystem wytwarzania tworzy bowiem wartość dodaną wpływającą na zysk przedsiębiorstwa, podczas gdy podsystem transportowy dzięki skutecznemu działaniu może jedynie umożliwić maksymalnie efektywne wykorzystanie zasobów podsystemu wytwarzania. Konsekwencją „podległości” podsystemu transportowego jest to, że rozwiązanie problemu harmonogramowania zadań transportowych wymaga zsynchronizowania go z procedurą podejmowania decyzji o uruchamianiu czynności wytwórczych zaimplementowaną w systemie AIM.

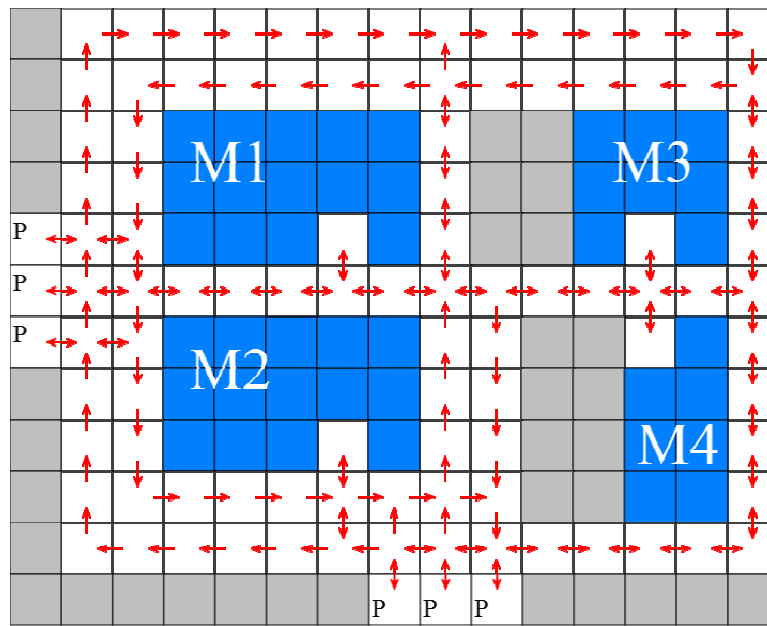
Rozważany problem transportowy można zdefiniować następująco: istnieje zbiór robotów mobilnych  $M$  oraz zbiór zadań transportowych  $T$ . Zadanie transportowe  $t_{(A,B)i}$  należy rozumieć jako zlecenie dostarczenia obiektu będącego przedmiotem procesu produkcyjnego (przedmiot obrabiany, paleta z półfabrykatami itp.) z punktu (obrabiarki, magazynu itp.)  $A$  do punktu  $B$ . Dodatkowo istnieje zbiór ścieżek (tras) jedno- lub dwukierunkowych  $S_{(A,B)}$  łączących każde dwa punkty  $A$ - $B$  stanowiące punkt startowy i docelowy robota. Poszczególne zadania  $t_{(A,B)i} \in T$  mogą być realizowane za pomocą dostępnego robota mobilnego  $m_k \in M$  wykorzystując jedną ze ścieżek  $s_{(A,B)k} \in S_{(A,B)}$ . Zadania w podsystemie transportowym mogą być realizowane współbieżnie. Uwzględniając fakt losowości zleceń transportowych generowanych przez system sterowania produkcją a wynikających z potrzeb podsystemu wytwarzania oraz z usługowości podsystemu transportowego nie jest uzasadnione formułowanie modelu optymalizacyjnego wyizolowanego problemu transportowego. W celu zapewnienia efektywności jego działania należy jednak optymalizować realizację poszczególnych zadań transportowych. Problem optymalizacyjny polega tu na takim wyborze wózka mobilnego, jego ścieżki oraz terminu rozpoczęcia jazdy, aby przy przyjętych założeniach uzyskać najbardziej korzystne rozwiązanie z uwagi na zastosowane kryteria oceny. W literaturze spotykane są różne kryteria oceny, z których najważniejsze to:

- czas, w jakim zadanie zostanie zrealizowane,
- długość drogi, której przebycie jest wymagane w celu zrealizowania zadania,
- koszt realizacji zadania transportowego.

Ograniczeniami, które należy uwzględnić podejmując się rozwiązania postawionego problemu są: niedopuszczenie do powstania kolizji robotów mobilnych oraz uniknięcie możliwości wprowadzenia systemu transportowego w stan blokady. Przyjęto, że realizacja zadania transportu z punktu  $A$  do punktu  $B$  wiąże się z wymaganym uprzednim dojazdem wybranego wózka z parkingu do punktu  $A$  oraz przejazdem wózka (po wykonaniu zadania) z punktu  $B$  do parkingu.

W celu rozwiązania problemu transportowego, w systemie AIM przyjęto kilka założeń. Jednym z nich jest dyskretyzacja powierzchni hali produkcyjnej. Polega ona na pokryciu obszaru, w obrębie którego znajdują się urządzenia wytwórcze oraz dostępna dla robotów mobilnych przestrzeń, siatką prostokątnych komórek. Dopuszcza się, by wymiary poszczególnych komórek były różne, minimalne długości ich boków powinny być jednak nie mniejsze niż wymiary wózka. Przyjęte rozmiary komórek powinny także uwzględniać możliwą zmianę kierunku ruchu wózka w obrębie pojedynczej komórki. Każdą z komórek charakteryzuje dodatkowy parametr, który określa czy dana komórka jest dla wózka

przejezdna, czyli nie zajęta przez żadne urządzenie wytwórcze i inne potencjalne przeszkody. Ruch robota mobilnego przez komórki przejezdne może odbywać się w jednym lub wielu kierunkach. W szczególności, sekwencje sąsiadujących z sobą komórek mogą tworzyć jedno- lub dwukierunkowe odcinki dróg. Decyzja dotycząca możliwych kierunków ruchu wózka poprzez poszczególne komórki podejmowana jest arbitralnie przez projektanta systemu.



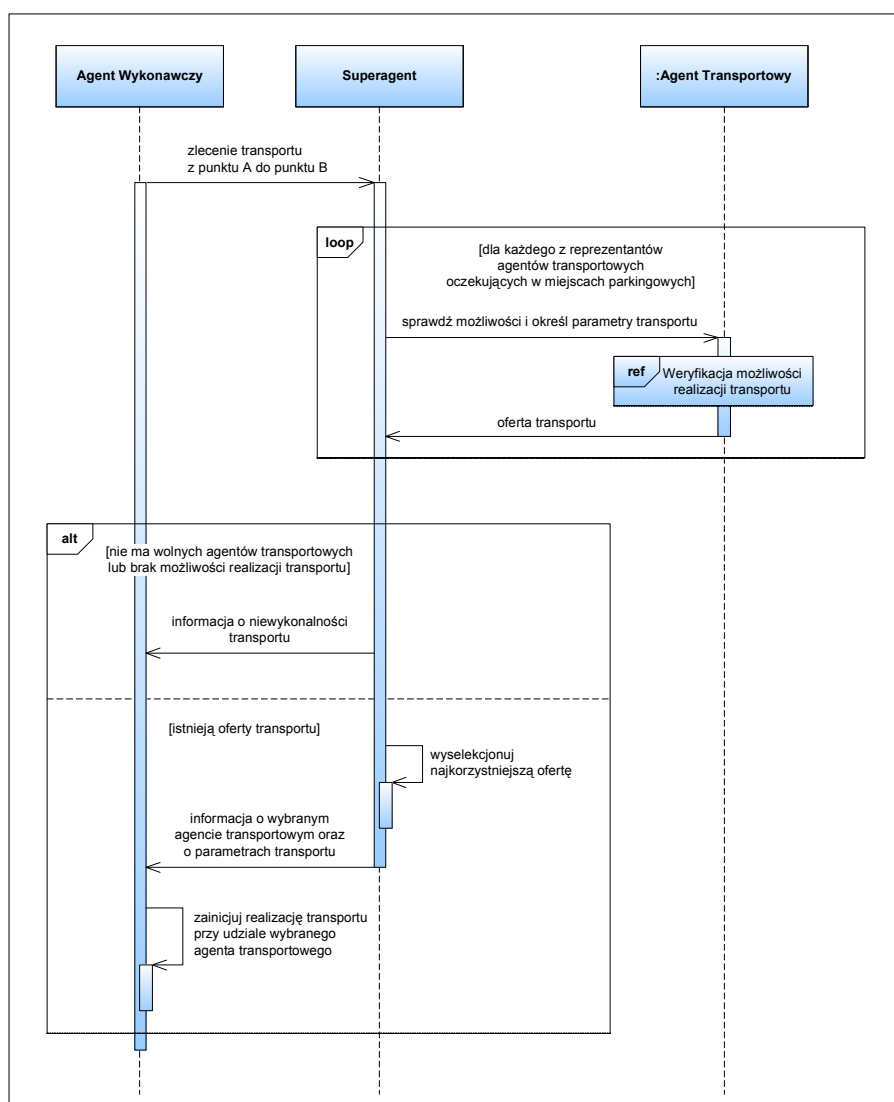
Rys.3. Przykład dyskretyzacji powierzchni hali produkcyjnej

Rysunek 3 przedstawia przykład zdyskretyzowanej powierzchni hali produkcyjnej. Komórki wypełnione białym tłem odpowiadają obszarom przejezdnym dla pojazdów mobilnych. Pozostałe komórki obejmują obszary zajmowane przez urządzenia wytwórcze oraz ich ścisłe otoczenie (M1-M4), a także innego typu obiekty (ściany, mury itp.) uniemożliwiające ruch robotów w ich obrębie. Strzałki przecinające granice kolejnych komórek definiują możliwe kierunki przemieszczania się wózka. Komórki oznaczone literą „P” odpowiadają miejscom parkowania robotów mobilnych.

Przedstawiony na rysunku 4 UML-owy diagram sekwencji obrazuje przepływ informacji pomiędzy poszczególnymi agentami od momentu pojawienia się zadania transportowego do czasu rozpoczęcia jego realizacji. W chwili wystąpienia zapotrzebowania na usługę transportową, agent wykonawczy przekazuje związane z tym żądanie do superagenta. Następnie superagent, na podstawie posiadanych informacji o wolnych (nierealizujących w danej chwili żadnych zadań) pojazdach mobilnych, zleca wybranym agentom transportowym weryfikację możliwości realizacji rozważanego zadania. Wybrane agenty są reprezentantami pojazdów mobilnych oczekujących na każdym z istniejących stanowisk parkingowych. W dalszej kolejności wytypowane agenty



transportowe inicjują proces wyznaczania potencjalnych tras dla reprezentowanych przez siebie pojazdów. Trasy te obejmują także odcinki związane z dojazdem z parkingu do punktu startowego. Podstawę do określenia trasy stanowią wskaźniki definiujące umowny koszt przemieszczania się wózka pomiędzy sąsiadującymi komórkami. Koszt ten jest funkcją długości odcinka drogi wymaganej do przebycia przy przejściu z jednej komórki do komórki sąsiedniej. Suma tak zdefiniowanych kosztów jednostkowych stanowi jeden ze składników umownego kosztu całkowitego. Drugi jego składnik ma na celu preferowanie



Rys.4. Przepływ informacji podczas realizacji zadania transportowego

jazdy wózka w aktualnie przyjętym kierunku. Uzasadnione jest to tym, iż zmiana kierunku jazdy wózka wymaga zmniejszenia jego prędkości. W konsekwencji często identyczny (a nawet krótszy) odcinek drogi może zostać pokonany w dłuższym czasie niż odbywałoby się to bez zmiany kierunku jazdy. W efekcie, w określonych sytuacjach korzystniejszy może okazać się wybór dłuższej drogi obejmującej jednak mniejszą liczbę punktów zmiany kierunku jazdy. Rozważany drugi składnik kosztu całkowitego jest więc ściśle związany z liczbą takich punktów. Zadanie optymalizacyjne polega na wyznaczeniu trasy o najmniejszym umownym koszcie całkowitym związanym z jej pokonaniem. W celu realizacji tego zadania wykorzystano algorytm  $A^*$  wraz z heurystyką nakładającą dodatkowe kary w przypadku zmiany kierunku jazdy robota mobilnego.

Skuteczna realizacja zadania transportowego wymaga uwzględnienia dodatkowych ograniczeń wynikających z niebezpieczeństwa wystąpienia kolizji. Sytuacja ta wiąże się z oczywistym faktem, iż dwa lub więcej robotów mobilnych nie może jednocześnie znaleźć się w tym samym miejscu, a biorąc pod uwagę zastosowaną dyskretyzację powierzchni, w tej samej komórce. Aby przeciwdziałać takiemu zagrożeniu przyjęto, iż przed znalezieniem się robota mobilnego w obrębie danej komórki, leżącej na wyznaczonej uprzednio trasie, komórka ta zostaje oznakowana przez reprezentującego wózek agenta transportowego jako nieprzejezdna dla innych robotów mobilnych. Działanie to dokonywane jest z określonym wyprzedzeniem uwzględniającym aktualne parametry kinematyczne i dynamiczne robota mobilnego. Usunięcie wprowadzonego oznakowania następuje z chwilą opuszczenia przez wózek rozważanej komórki.

Drugie z ważnych ograniczeń związane jest z możliwością wprowadzenia systemu w stan blokady. Aby nie dopuścić do powstania takiej sytuacji wykorzystano zaadoptowaną na potrzeby podsystemu transportowego metodę rezerwacji procesowej [12][13].

Po przeprowadzeniu wyżej wymienionych działań każdy z wytypowanych uprzednio agentów transportowych zwraca superagentowi własną ofertę realizacji zadania transportowego lub też informację o aktualnym braku możliwości jego wykonania. W sytuacji gdy żaden z agentów nie zwrócił realizowalnej oferty bądź też w rozważanej chwili nie było oczekujących w miejscach parkingowych robotów mobilnych, superagent zwraca stosowną informację agentowi wykonawczemu. W przeciwnym wypadku, spośród otrzymanych ofert superagent dokonuje wyboru najkorzystniejszej, a następnie informuje agenta wykonawczego o dokonanym wyborze. Ten ostatni inicjuje realizację zadania transportowego przy udziale wybranego pojazdu mobilnego.

Oprogramowanie implementujące przedstawiony algorytm jest poddawane testom przy współdziałaniu ze środowiskiem symulacyjnym Arena [4], a następnie zostanie wykorzystane do sterowania zespołem automatycznych pojazdów mobilnych budowanym w Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji Politechniki Krakowskiej. Każda platforma mobilna [16] wyposażona jest w laserowy skaner umożliwiający detekcję pojawiających się w trakcie ruchu przeszkód oraz w laserowy system lokalizacyjny [11].

## 5. WNIOSKI

Zmiana paradygmatu produkcji z produkcji masowej na produkcję zindywidualizowaną wymusza konieczność wprowadzenia w przemyśle nowych innowacyjnych technologii wytwórczych oraz wzrost informatyzacji, robotyzacji i automatyzacji realizowanych procesów produkcyjnych. Aby sprostać tym wymaganiom niezbędne stają się działania

mające na celu wdrażanie zwiększających efektywność, innowacyjnych rozwiązań. Jednym z ważnych obszarów dla takich działań jest transport międzyoperacyjny wykorzystujący automatyczne pojazdy mobilne. Podkreślić też należy, że dotychczasowe, najczęściej scentralizowane podejście do sterowania podsystemem transportowym powinno ulec zmianie poprzez otwarcie się na nowoczesne rozwiązania zdecentralizowane.

Omówiona w pracy integracja podsystemu transportowego zbudowanego z automatycznych pojazdów mobilnych z podsystemem wytwarzania jest odpowiedzią na wspomniane wymagania rynku. Wykorzystanie technologii agentowych umożliwia zwiększenie odporności systemu sterowania na potencjalne zakłócenia w procesach produkcyjnych.

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego własnego Nr N N503 214237 pt. "Integracja rozproszonego systemu sterowania produkcją z podsystemem transportu międzyoperacyjnego zbudowanym z autonomicznych wózków mobilnych", finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2009-2011.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Cherkassky B., Goldberg A.V., Radzik T.: *Shortest Paths Algorithms: Theory and Experimental Evaluation*. Proc. of 5th Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, Arlington 1994, s. 516–525.
- [2] Fox R., Garcia A., Nelson M.: *A Generic Path Planning Strategy for Autonomous Vehicles*. The University of Texas - Pan American, Department of Computer Science Technical Report CS-00-25, August, 2000.
- [3] Helleboogh A., Holvoet T., Berbers Y.: *Testing AGVs in Dynamic Warehouse Environments*. In D. Weyns, V. Parunak, and F. Michel, editors, *Environments for Multiagent Systems II*, volume 3830 of *Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, 2006, s. 270–290.
- [4] Małopolski W.: *Metoda wyznaczania dowolnych tras przejazdu obiektów systemu transportowego w środowisku symulacyjnym Arena*. *Pomiary Automatyka Robotyka*, Nr 2, 2011.
- [5] Masłowski A., Ulatowski W.: *Modeling of Supervisor's Action Measurements in Control of Multi-Agents Mobile Robotic Subsystem*. XVIII IMEKO World Congress, Metrology for Sustainable Development, September 17-22, 2006, Rio de Janeiro, Brazil.
- [6] Qiu L., Hsu W.-J., Huang S.-Y., Wang H.: *Scheduling and routing algorithms for AGVs: a survey*. *International Journal of Production Research*. 2002, vol. 40, no. 3, s. 745–760.
- [7] Shen W., Norrie D.H.: *Agent-Based Systems for Intelligent Manufacturing: A State-of-the-Art Survey*. *Knowledge and Information Systems*, 1998, s. 129–156.
- [8] Srivastava S.Ch., Choudhary A.K., Kumar S., Tiwari M.K.: *Development of an intelligent agent-based AGV controller for a flexible manufacturing system*. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, No.7-8, 2008, s. 780–797.
- [9] Tanenbaum A.S.: *Rozproszone systemy operacyjne*. PWN, 1997

- [10] Watanabe M., Furukawa M., Kakazu Y.: *Intelligent AGV Driving Toward an Autonomous Decentralized Manufacturing System*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 17, Issues 1-2, February 2001, s. 57–64.
- [11] Więk T.: *Laserowy system nawigacji autonomicznej platformy mobilnej na przykładzie urządzenia NAV300*. Pomiary Automatyka Robotyka, Nr 2, 2011.
- [12] Zajac J.: *Rozproszone sterowanie zautomatyzowanymi systemami wytwarzania*. Monografia 288, Seria Mechanika. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2003.
- [13] Zajac J.: *A Deadlock Handling Method for Automated Manufacturing Systems*. CIRP Annals - Manufacturing Technology 2004, Vol. 53, No. 1, s. 367–370.
- [14] Zajac J., Chwajol G.: *Towards Agent-Based Manufacturing Systems*. Annals of DAAAM for 2008 & Proceedings of the 19th International DAAAM Symposium, Austria, 2008, s. 1541–1542.
- [15] Zajac J., Chwajol G.: *Wykorzystanie wirtualnych procesów sterowania produkcją do wspomagania decyzji w zautomatyzowanych systemach wytwarzania*. Problemy Robotyki Tom II, Red. K. Tchoń, C. Zieliński. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2008, s. 625-634.
- [16] Zajac J., Krupa K., Słota A., Więk T.: *Autonomiczna platforma mobilna do realizacji transportu międzyoperacyjnego – projekt wstępny*. Logistyka, nr. 6, 2010, s. 3779-3788.