

mgr inż. Wojciech Ulatowski
prof. dr hab. inż. Andrzej Mastowski
Wydział Inżynierii Produkcji
Politechnika Warszawska

KIEROWANIE I NADZOROWANIE DZIAŁAŃ GRUPY POJAZDÓW TRANSPORTOWYCH

W referacie przedstawiono strukturę podsystemu transportowego, algorytm szeregowania zadań dla grupy pojazdów transportowych oraz sposób postępowania człowieka-nadzorcy podczas sytuacji nadzwyczajnych. Przedstawiono koncepcję, strukturę i symulację komputerową modelu człowieka nadzorującego pracę podsystemu transportowego.

GUIDING AND SUPERVISING OF TRANSPORT VEHICLES GROUP BEHAVIOUR

The structure of a transport subsystem, the algorithm of ordering task for the group of transport vehicles as well as the ways human-operator's acting in unexpected situations are described. The paper also presents the concept, structure and computer simulation of human supervising transport subsystem's work model.

1. WPROWADZENIE

Nowoczesne systemy sterowania procesami produkcyjnymi powinny cechować się jak najwyższym stopniem autonomiczności. System sterowania wytwarzaniem na każdym etapie produkcji powinien w jak największym stopniu kontrolować przebieg procesów oraz sterować pracą wszystkich maszyn i urządzeń. Aktualnie stosowane systemy sterowania pracują autonomicznie, ale tylko podczas tzw. normalnej pracy, tj. przy braku zaburzeń, zakłóceń lub awarii. System sterowania wykonuje cyklicznie ciąg następujących po sobie zadań i jest w stanie zareagować na zakłócenie zgodnie z algorytmem zaimplementowanym wcześniej. Nie można jednak na etapie projektowym przewidzieć wszystkich, możliwych do wystąpienia, sytuacji podczas pracy systemu, a przez co ich zalgorytmizowanie i ewentualne wyeliminowanie nie jest możliwe. W sytuacjach kryzysowych nadrzędny program sterujący nie jest więc w stanie przywrócić systemu do normalnej pracy, wynikiem czego jest obecność, nawet w najbardziej zautomatyzowanym systemie, człowieka nadzorującego jego poprawną pracę.

Przy rozwoju systemów zdecentralizowanych udział człowieka w systemie wytwarzania jest czynnikiem ograniczającym jego efektywną pracę. Podjęte próby zamodelowania nadzorcy – człowieka w tradycyjny sposób, oparte na teorii sterowania, nie przyniosły oczekiwanych rezultatów. Modele tradycyjne nie wnikają w rzeczywiste procesy zachodzące w organizmie, w tym w umyśle, człowieka, dlatego też nie są w stanie

przewidzieć reakcji człowieka-nadzorca na sytuacje kryzysowe. Modele te działają głównie w układzie kompensacji lub śledzenia, czyli w warunkach łatwego określenia tzw. wartości idealnej. Jedynie w tych przypadkach można dokonać pomiarów odchylenia od wartości uznanych za dokładne. Istnieje jednak możliwość zamodelowania człowieka, nadzorującego system wytwarzania lub jeden z jego podsystemów, przy wykorzystaniu do tego celu wyników badań, uzyskanych w naukach kognitywnych [1,2,7].

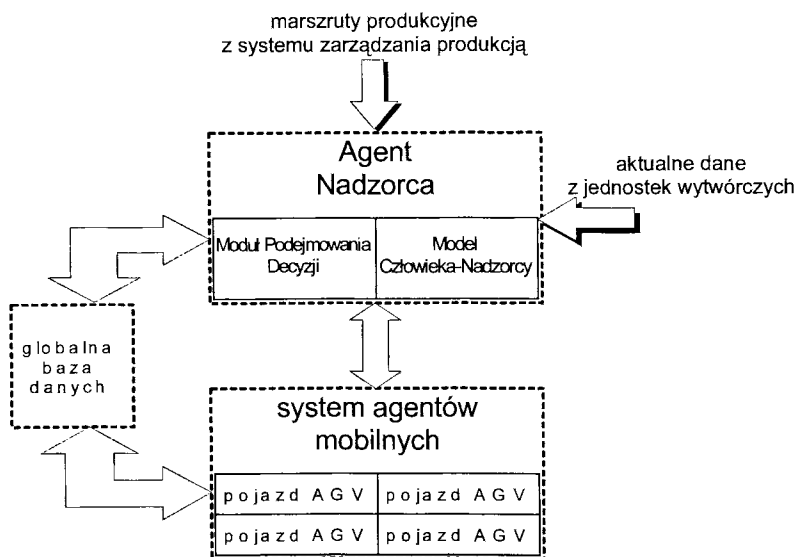
2. STRUKTURA PODSYSTEMU TRANSPORTOWEGO

Danymi wejściowymi dla podsystemu transportowego są informacje od Nadrzędnego Programu Sterującego Produkcją (NPSS). Program ten zleca zadania oraz nadzoruje poprawną pracę wszystkich maszyn, a także odpowiedzialny jest za tworzenie i realizowanie harmonogramu procesu produkcji.

Za dostarczanie półproduktów oraz obieranie produktów finalnych w pełni odpowiedzialny jest podsystem transportowy, który na podstawie danych wejściowych określa kolejność zadań do wykonania oraz zależności czasowe pomiędzy nimi. Na rysunku 1 przedstawiono architekturę podsystemu transportowego.

W skład podsystemu transportowego wchodzi następujące elementy:

- kognitywny Model Człowieka-Nadzorca,
- moduł podejmowania decyzji,
- system pojazdów transportowych (agentów mobilnych),
- globalna baza danych.



Rys. 1. Architektura podsystemu transportowego

Proponowane rozwiązanie łączy strukturę hierarchiczną z rozproszoną strukturą wieloagentową. Oznacza to, że w systemie występuje moduł decyzyjny, który wydaje

polecenia innym elementom składowym systemu. Jest to *Nadzorca*, w skład którego wchodzi *Model Człowieka-Nadzorca* oraz *Moduł Podejmowania Decyzji (MPD)*. Moduł ten przekazuje poszczególnym pojazdom transportowym zadania do wykonania, za realizację których odpowiedzialne są one same. Obecnie rolę pojazdów transportowych pełnią najczęściej *automatycznie sterowane pojazdy (AGV)*, pozwalające transportować elementy składowe, półprodukty oraz narzędzia lub odpady. Ze względu na występowanie w proponowanej strukturze dwóch niezależnych elementów, można wyróżnić dwa poziomy planowania zadań: poziom wyższy, zajmujący się przydzieleniem zadań poszczególnym pojazdom wchodzącym w skład systemu oraz poziom niższy, odpowiedzialny za realizację zleconych zadań. Pierwszy poziom, zwany *planowaniem strategicznym*, realizowany jest w module Nadzorca na podstawie danych z NPSS oraz danych z poszczególnych maszyn (centrów obróbkowych). Na tym poziomie planowane są zadania do wykonania, które zostają przesłane do pojazdów transportowych. Jednostka sterująca pojazdu realizuje *planowanie taktyczne*, czyli planowanie wykonania zadania realizowane jest przez indywidualnego agenta mobilnego [10,11].

W systemie tym nie ma sztywno określonych relacji pomiędzy pojazdami dopasowanymi do konkretnej topologii systemu produkcyjnego oraz marszrut technologicznych. Możliwym jest stosowanie dowolnego typu pojazdów transportowych, a sposób ich poruszania się zależy tylko i wyłącznie od rodzaju układów sensorycznych, w które dany pojazd został wyposażony oraz od jego funkcjonalności. Współpraca pomiędzy poszczególnymi pojazdami oraz pomiędzy pojazdami a Modułem Podejmowania Decyzji MPD oparta jest na wymianie informacji o aktualnej sytuacji, podjęciu dalszych działań lub zadecydowaniu o sposobie rozwiązania problemu i obustronnym zaakceptowaniu tegoż rozwiązania.

3. NADZORCA W PODSYSTEMIE TRANSPORTOWYM

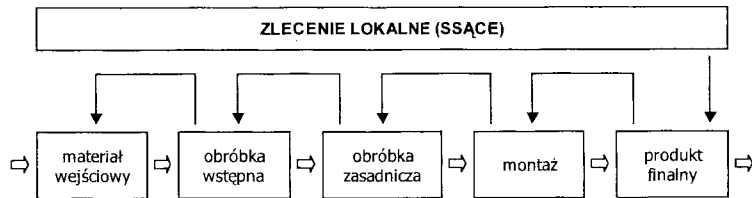
W modelu Nadzorca można wyróżnić Moduł Podejmowania Decyzji MPD, który generuje zadania dla pojazdów transportowych oraz Model Człowieka-Nadzorca, który kontroluje czy wykonywanie zadania przebiega prawidłowo i interweniuje w momencie wystąpienia awarii lub innej sytuacji kryzysowej, a także gdy przewidywane jest wystąpienie takiej sytuacji.

3.1. Moduł Podejmowania Decyzji

Modułu Podejmowania Decyzji odpowiedzialny jest za harmonogramowanie i szeregowanie zadań dla grupy pojazdów transportowych działających w systemie wytwarzania. Moduł ten przydziela poszczególne zadania konkretnym pojazdom transportowym na podstawie realizowanego przez niego *planowania strategicznego* [8]. Obecnie stosowane systemy wytwarzania wykorzystują dwa rodzaje systemów sterowania: ssące i tłoczące. System sterowania produkcją typu *ssącego* (rys. 2) nie obsługuje zleceń centralnych, a komórki produkcyjne zgłaszają popyt, będący jednocześnie informacją o wielkości zlecenia dla kolejnych faz produkcji. Cykle produkcyjne tej klasy są krótsze, a tym samym zapasy produkcyjne mniejsze. Strategia ssania polega na znalezieniu wolnej stacji obróbczej i sprawdzeniu buforów wyjściowych pozostałych stacji w celu znalezienia wyrobu oczekującego

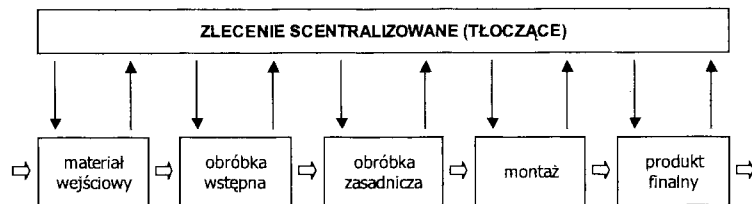
na przewiezenie do wolnej stacji. W sytuacji odnalezienia więcej niż jednej stacji wolnej i więcej niż jednej stacji gotowej do dostarczenia wyrobu należy posłużyć się następującymi regułami:

1. W pierwszej kolejności należy przewieźć wyrób oczekujący przy stacji położonej najbliżej miejsca postoju platformy transportowej;
2. W pierwszej kolejności należy przewieźć wyrób wymagający najmniejszego pozostałego czasu wykonania lub wyrób z najwcześniejszym czasem wykonania.



Rys. 2. Zasada zlecenia produkcji w systemie ssącym

System sterowania produkcją typu *tłoczącego* (rys. 3) wyszukuje zablokowaną stację obróbkową, której bufor wyjściowy jest wypełniony.



Rys. 3. Zasada zlecenia produkcji w systemie tłoczącym

Ponieważ stacja (centrum obróbcze) nie może przyjąć żadnego nowego zadania do wykonania, należy wysłać z niej przedmiot produkcji do dalszej fazy procesu produkcji. Decyzja o tym podejmowana jest w oparciu o następujące reguły:

1. W pierwszej kolejności wysyłamy ze stacji krytycznej wyrób gotowy, oczekujący na opuszczenie systemu;
2. W pierwszej kolejności wysyłamy wyrób ze stacji krytycznej, do której powstała największa kolejka wyrobów oczekujących w buforach wyjściowych innych stacji;
3. W pierwszej kolejności należy wysłać wyrób ze stacji krytycznej do stacji z najmniej wypełnionym buforem wejściowym;
4. W pierwszej kolejności realizujemy obsługę stacji położonej najbliżej wolnego pojazdu transportowego;
5. W pierwszej kolejności należy przewieźć wyrób wymagający najmniejszego pozostałego czasu wykonania lub wyrób z najwcześniejszym czasem wykonania (w oparciu o przyjęte kryterium optymalizacji).

Stosowanie tej metody powoduje, że w pierwszej kolejności wywożone są detale ze stacji przepelnionych.

W pracy [4] zastosowano dyspozytorski algorytm szeregowania, w którym wykorzystano cechy systemów tłoczącego oraz ssącego, w odniesieniu do sterowania

przepływem produkcji. Jako kryterium optymalizacji przyjęto najkrótszy czas wyprodukowania zadanej partii produkcyjnej. Algorytm szeregowania zadań wyszukuje zablokowaną stację obróbkową, której bufor wyjściowy jest zapełniony, jednocześnie poszukuje stacji, która dostarcza do zablokowanej stacji detale, w celu wysłania pojazdu odbierającego. Optymalizacja polega na poszukiwaniu pojazdu z detalem oczekujący w kolejce do danej maszyny, a następnie odblokowanie całej kolejki zadań i wysłanie ze stacji obróbkowej detalu dalej wzdłuż marszruty. Polega to na przyporządkowaniu zadań do wolnych w danym momencie pojazdów transportowych, które rozpoczynają pracę, wprowadzając do systemu detale pobrane z magazynu. Algorytm służy rozwiązywaniu problemów, opisanych zmiennymi dyskretnymi. Działa w trybie on-line, poszukując rozwiązania na bieżąco.

3.2. Model Człowieka-Nadzorcy

W nowoczesnych systemach można wyróżnić, z jednej strony, stałą tendencję do pełnej automatyzacji procesów wytwarzania, z drugiej zaś strony, podkreśla się rolę człowieka w procesach wytwórczych jako przynoszącego wiele korzyści i znacznie je usprawniającego [8,9]. Próbą połączenia obu sprzecznych wymagań jest zamodelowanie nadzorcy ludzkiego, jednak nie według tradycyjnej teorii sterowania, lecz poprzez analizę procesów myślowych, zachodzących w mózgu człowieka podczas podejmowania decyzji [5].

Architektura modelu człowieka-nadzorcy odwzorowuje mechanizmy umysłu na poziomie intencjonalnym, czyli działa jak system do przetwarzania informacji. Wiedząc, że zasady współpracy pomiędzy ludźmi a urządzeniami automatyki regulowane są przez ściśle określone algorytmy, procedury oraz zasady i to zarówno podczas warunków normalnych (prawidłowych) jak i w trakcie awarii, słuszną wydaje się próba przekazania maszynie tej wiedzy w celu jej przetwarzania i generowania odpowiedniego sterowania. Maszyna musi posiadać określoną strukturę oraz zostać wyposażona w odpowiednie reguły, tak aby funkcjonowała na wzór umysłu ludzkiego. Ludzka wiedza tylko w niewielkim stopniu związana jest z ogólnymi zasadami rozumowania, a w znacznie większym stopniu opiera się na wiadomościach specyficznych dla danej dziedziny czy problemu, co sprowadza rozpatrywane zagadnienie do określenia reprezentacji pojęć i poszukania reguł przetwarzania wiedzy używanej przez umysł człowieka [2,6,7,9].

Człowiek w celu podjęcia decyzji odpowiednio przetwarza dane przechowywane w pamięci tak, aby właściwie dopasować ciąg zachowań do danej sytuacji i wygenerować odpowiednie sterowanie. Aby przetwarzanie danych było efektywne, a plany działań poprawne, model nie może być oparty na ekwiwalentnym, reaktywnym systemie jednopoziomowym, w którym wszystkie możliwe interakcje są predefiniowane do z góry określonej liczby reguł. Wydaje się więc oczywistym, że proponowany model, podobnie jak człowiek, musi dokonywać dekompozycji złożonego zadania na podzadania, zaś uzyskane podzadania na kolejne, tak aby dekompozycja osiągnęła poziom zawierający proste reakcje sensomotoryczne. Można więc wysunąć twierdzenie, że Model Człowieka-Nadzorcy powinien być oparty na wielowarstwowej, hierarchicznej strukturze układu sterowania, w której następuje transferowanie wiedzy pomiędzy planami współdzielącymi cele, co pozwala realizować różnorodne plany przy wykorzystaniu niewielkiej bazy wiedzy ogólnej.

W przypadku wystąpienia sytuacji awaryjnej w pierwszej fazie działań nadzorca podejmuje tzw. działania krótkookresowe mające na celu ustabilizowanie pracy systemu. Uwaga nadzorca koncentruje się głównie na elementach systemu biorących udział w sytuacji awaryjnej, czyli wymagających interwencji. Po zakończeniu działań krótkookresowych następuje faza działań długookresowych, mających na celu przywrócenie systemu do normalnej pracy.

Realizacja zadań człowieka-nadzorca uaktywnia procesy na dwóch poziomach działania:

- *poziomie poznawczym* – jest to poziom zachowań świadomych, na którym do podejmowania decyzji wykorzystywana jest predykcja przyszłych stanów świata, a także przewidywane potencjalne skutki podjętych działań; działania realizowane na tym poziomie wykonywane są pod nadzorem i mają na celu rozwiązanie problemów oraz radzenie sobie w sytuacjach nietypowych; poziom poznawczy posiada zdolność adaptacji;
- *poziomie behawioralnym* – jest to poziom zachowań podświadomych, na którym do podejmowania działań wykorzystywane są sygnały spostrzegane bez przeprowadzania rozumowania; działania podejmowane na tym poziomie są działaniami zautomatyzowanymi i odpowiadają one za reaktywność.

Powyższy podział jest kluczowy dla rozważań na temat modelowania działań człowieka-nadzorca, a wraz z uwagami poczynionymi na początku niniejszego punktu pozwala sformułować tezy służące do stworzenia warstwowej architektury modelu.

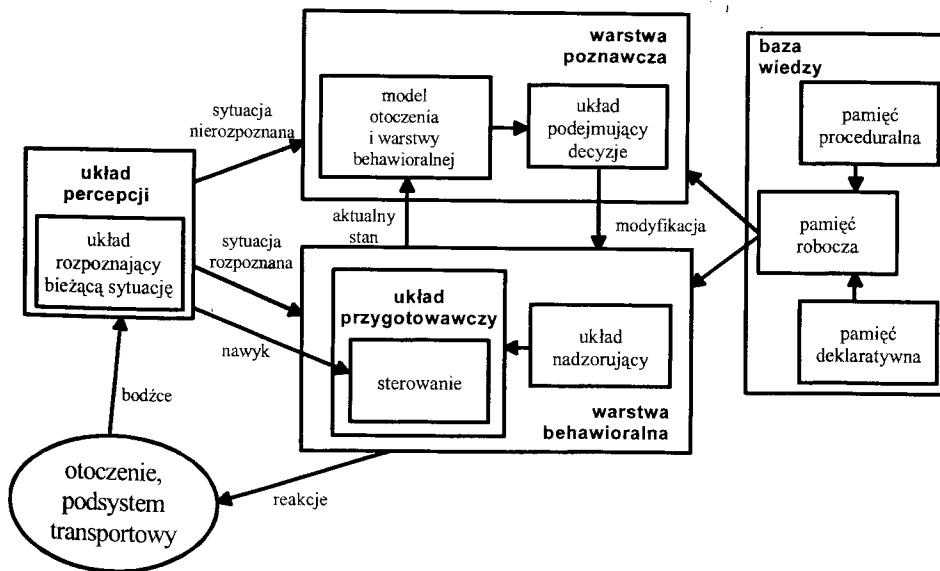
Koncepcja architektury modelu człowieka-nadzorca jest następująca:

- do opracowania modelu wykorzystano właściwości systemów symbolicznych [1];
- głównym zmysłem człowieka-nadzorca, za pomocą którego odbiera on dane z otoczenia jest wzrok, dlatego też w proponowanym modelu w układzie percepcji dokonywana jest analiza obrazu, na podstawie której generowany jest sygnał o wystąpieniu sytuacji awaryjnej;
- ludzki umysł dąży do uzyskania dużej mocy obliczeniowej, co spowodowało, że złożony jest on z pewnej liczby modułów wzajemnie na siebie oddziaływujących i mogących być jednocześnie aktywnymi;
- predykcja przyszłych stanów jest stanem mentalnym człowieka, co oznacza, że dokonywana jest ona nie tylko podczas uaktywnienia wyższych procesów poznawczych, ale również w działaniach zautomatyzowanych;
- warstwa poznawcza musi posiadać zdolność rozumowania i oceny bieżącej sytuacji, aby wykryć stany, z którymi część behawioralna modelu sobie nie radzi; w proponowanym modelu warstwa poznawcza ocenia wskaźniki charakteryzujące warstwę behawioralną i reaguje, gdy rezultaty działań tej warstwy są nie zadowalające;
- warstwa behawioralna jest systemem o strukturze reaktywnej, który w celu generowania działań dokonuje monitorowania, diagnozowania, predykcji oraz sterowania; działanie warstwy behawioralnej sprowadza się do zautomatyzowanego rozróżniania bodźców charakterystycznych dla danej sytuacji, a następnie reaktywnego planowania zachowań w celu usunięcia powstałego zakłócenia; oznacza to, że działania zautomatyzowane realizowane na poziomie warstwy behawioralnej mogą być zarówno reaktywne, jak i celowo zorientowane;

- architektura kognytywnego modelu człowieka-nadzorcy jest architekturą hybrydową o pionowym przepływie informacji; architektura ta łączy więc architekturę reaktywną (warstwa behawioralna) z architekturą wnioskującą (warstwa poznawcza).

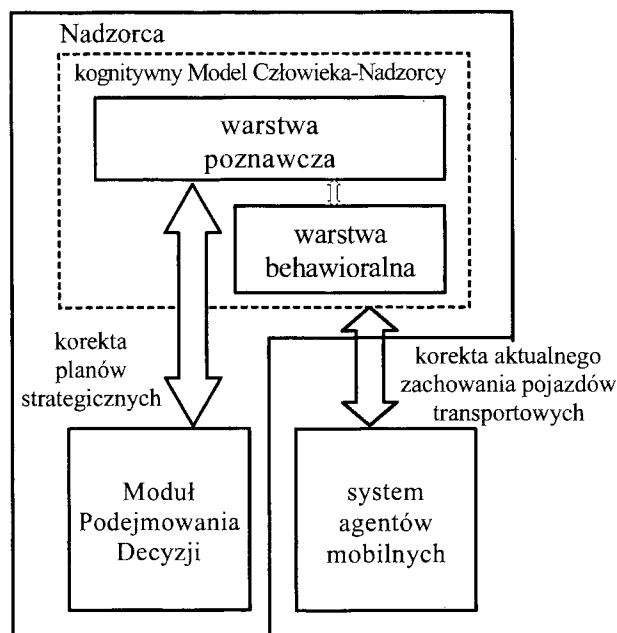
W architekturach hybrydowych łączących w sobie warstwy gwarantujące reaktywność (warstwa behawioralna) oraz warstwy analizujące plany i cele długofalowe (warstwa poznawcza), kluczowym zagadnieniem jest określenie współpracy pomiędzy tymi warstwami oraz oddziaływanie modelu na otoczenie, jakim w rozpatrywanym przypadku jest podsystem transportowy.

W proponowanym modelu warstwy poznawcza oraz behawioralna współpracują ze sobą bezpośrednio. Współdziałanie pomiędzy tymi warstwami polega na zmianie wiedzy, czyli zastępowaniu przez warstwę poznawczą niektórych parametrów opisujących nawyki oraz korekcji mechanizmów automatycznego wyboru akcji innymi parametrami lub zmianie ich wartości. Warstwa poznawcza nie steruje więc bezpośrednio zachowaniem człowieka, a jedynie poprzez zmianę wiedzy w warstwie behawioralnej kieruje akcjami człowieka. Odpowiednie przekształcenia mogą mieć miejsce na różnych poziomach hierarchicznej struktury wiedzy tak, jak to określają reguły skojarzone z wykrytym, niepożądanym stanem. Proponowany kognytywny model człowieka mogącego skutecznie nadzorować poprawną pracę podsystemu transportowego przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Model Człowieka-Nadzorcy

Na rysunku 5 przedstawiono sposób oddziaływania modelu człowieka-nadzorcy na elementy składowe podsystemu transportowego. Podczas bezawaryjnej pracy sterowaniem pracą systemu zajmuje się Moduł Podejmowania Decyzji, który przydziela zadania poszczególnym pojazdom transportowym.

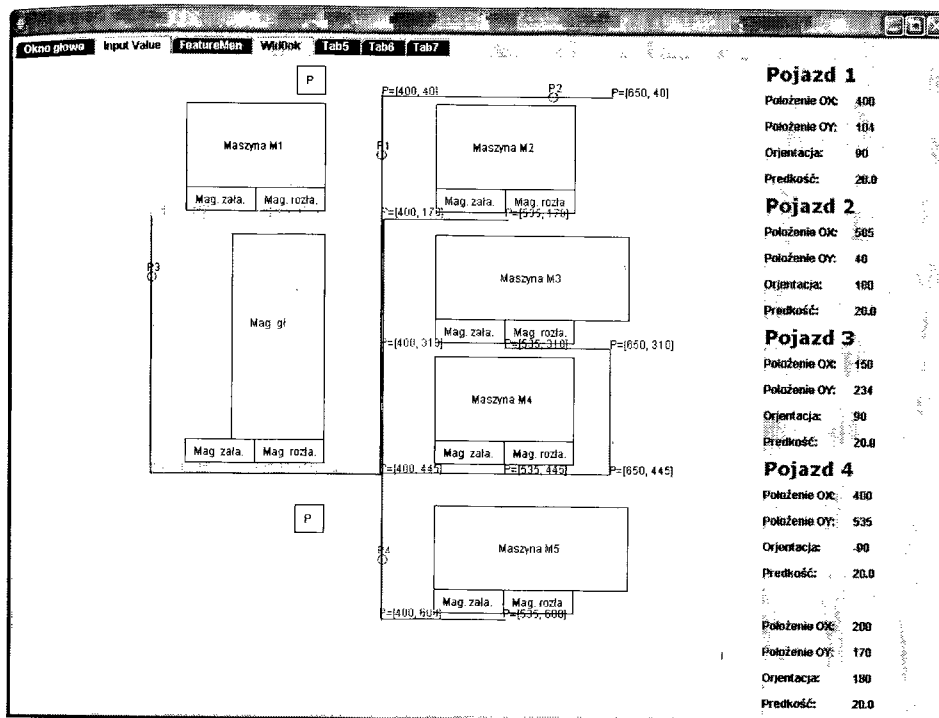


Rys. 5. Oddziaływanie kognitywnego modelu człowieka-nadzorca na podsystem transportowy

W chwili wystąpienia awarii lub przewidywania jej wystąpienia sterowanie przejmuje kognitywny Model Człowieka-Nadzorca i wówczas to on przejmuje sterowanie pojedynczym pojazdem i narzuca sposób rozwiązania zaistniałych problemów. W sytuacji kryzysowej kontrolę nad pojazdem sprawuje warstwa behawioralna, która próbuje przywrócić zachowanie pojazdu do zachowań zgodnych z normalnymi i dopiero, gdy nie jest w stanie tego zrobić, uaktywnia się warstwa poznawcza modelu. Oprócz interwencji modelu w momencie wystąpienia sytuacji kryzysowej, jego warstwa poznawcza śledzi jakość zachowań całego systemu oraz planów strategicznych i dokonuje w nich ewentualnych korekt. Dzieje się to bez udziału warstwy behawioralnej, ponieważ model nie steruje bezpośrednio ruchem pojazdów lecz wpływa na elementy decydujące o ich zachowaniu poprzez Moduł Podejmowania Decyzji.

4. PROGRAM SYMULACYJNY

Dla potrzeb symulacji [3] opracowano hipotetyczny system produkcyjny, w skład którego wchodzi 5 maszyn, wyposażonych w magazyny załadunkowe oraz magazyny rozładunkowe. Do magazynów tych dostarczane są elementy do obróbki oraz pobierane z nich są elementy po obróbce. W obrębie linii montażowej znajduje się również magazyn główny. Transportem elementów do obróbki oraz po obróbce zajmuje się 5 pojazdów AGV. Na rysunku 6 przedstawiono przykładowy widok z ekranu komputera, na którym można zauważyć poruszające się pomiędzy centrami obróbczymi, pojazdy AGV.



Rys. 6. Widok okna programu symulacyjnego

W celu przeprowadzenia jak najbardziej wiarygodnych badań symulacyjnych, zrezygnowano z wykorzystania dostępnych programów takich jak **Soar**, **ACT***, **Simul8** czy też **Arena**, wybierając platforma programową **JAVA** oraz język **Prolog**. Rozwiązanie to umożliwi w dalszej perspektywie czasowej przeprowadzanie badań bez obaw o ograniczenia platform programowych.

Prolog jest językiem programowania w logice, dlatego też w języku tym został zasymulowany sposób podejmowania decyzji przez kognitywny Model Człowieka-Nadzorcę. Prolog jest językiem deklaratywnym, w którym opisuje się rozwiązywane problemy, nie zaś przedstawia algorytm ich rozwiązania jak ma to miejsce w językach imperatywnych (proceduralnych).

Zgodnie z założeniami przedstawionymi w punkcie 3.2, zachowania człowieka nadzorującego pracę podsystemu transportowego wynikają w dużej mierze z przyswojonych przez człowieka procedur postępowania w sytuacjach nadzwyczajnych, czyli pewnej skończonej wiedzy nabytej podczas szkoleń. Aby zachowanie modelu było jak najbardziej zbliżone do zachowania rzeczywistego człowieka-nadzorcę, należało wpisać odpowiednią wiedzę do bazy wiedzy, w tym wzajemne relacje pomiędzy faktami. Aby cel ten osiągnąć koniecznym było przeprowadzenie dekompozycji zachowań w sytuacjach nadzwyczajnych.

5. PODSUMOWANIE

Zastosowanie struktury wieloagentowej w podsystemie transportowym pozwala na łatwe dokonywanie wszelkich zmian – podsystem transportowy staje się bardziej elastyczny i możliwym jest stosowanie go w wielu różnych aplikacjach. W proponowanym rozwiązaniu Nadzorca dopasowuje się natychmiast do nowych wymagań i bez dokonywania żadnych zmian w strukturze systemu pojazdy transportowe mogą wykonywać nowe zadania.

W przedstawionym rozwiązaniu zaproponowano prekursorski sposób nadzorowania pracy podsystemu transportowego. Zarówno rola i zadania nadzorcy, jak i jego miejsce w systemie odbiegają od rozwiązań znanych dotychczas. W skład nadzorcy wchodzi moduł odpowiedzialny za harmonogramowanie zadań dla pojazdów transportowych oraz Model Człowieka-Nadzorcy odpowiedzialny za poprawny przebieg zadań transportowych. Model Człowieka-Nadzorcy opracowano w oparciu o osiągnięcia nauk kognitywnych, co zbliża zachowanie się modelu do zachowań rzeczywistego człowieka nadzorującego pracę podsystemu wytwarzania. Model taki zbliżony jest do wielopoziomowych układów regulacji tj. takich, w których istnieje podział zadań pomiędzy pewne poziomy lub warstwy, różniące się charakterem i złożonością algorytmów, częstotliwością interwencji i innymi cechami.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Ben-Ari M., *Logika matematyczna w informatyce*, WNT, Warszawa 2005, tłumaczenie: Miłkowska M.
2. Chuderski A., *Wykorzystanie metod sztucznej inteligencji w badaniach nad umysłem*, <http://kognitywistyka.prv.pl>, 1999.
3. Dixon K., Dolan J., Huang W., Paredis Ch., Khosla P., *A Real and Virtual Environment for Multiple Mobile Robot Systems*, IEEE/RJS International Conference on Robotics and Systems (IROS '99), 1999.
4. Dudek M., Szeregowanie zadań dla grupy pojazdów transportowych typu AGV w systemie wytwarzania, Praca magisterska, Wydział Inżynierii Produkcji, Politechnika Warszawska, Warszawa 2005.
5. Januszewski J., *Modelowanie działań pilota jako elementu układu sterowania statkiem powietrznym*, Rozprawa doktorska, Warszawa 2004.
6. Kasperski M., *Sztuczna Inteligencja – droga do myślących maszyn*, Helion, Gliwice 2003.
7. Kołodziejczyk P., *Implikacje behawioryzmu w badaniach nad sztuczną inteligencją*, <http://kognitywistyka.prv.pl>, 2000;
8. Knosala R., *Zastosowanie metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji*, WNT, Warszawa 2002.
9. Pfeifer R., Scheier C., *Understanding intelligence*, Massachusetts Institute of Technology Press, 2000.
10. Ulatowski W., Masłowski A.: *AGVs Motion Planning and Control*, IMEKO TC-17 Measurement and Control in Robotics, Madrid, Spain, 2003, s. 155-160.
11. Ulatowski W., Masłowski A.: *Modeling of supervisor's action in control of multi-agents transport subsystem in a manufacturing system*, Proc. of the ISMCR'2005, Brussels, Belgium, 7-10 November 2005, CD-ROM.