

Autoreferat rozprawy doktorskiej
Zastosowanie systemów agentowych do wspomagania
zarządzania zespołami robotów mobilnych

mgr inż. Wojciech Zaborowski

Promotor: dr hab. inż. Krzysztof Cetnarowicz prof. n. AGH

1. Wprowadzenie

Jednym z kluczowych zagadnień we współpracy robotów mobilnych w ramach grupy jest problematyka przydzielania zadań poszczególnym członkom zespołu. Zagadnienie przydziału dóbr (zadania można traktować jak dobra) jest w wersji statycznej samo w sobie problemem złożonym. Systemy wielorobotowe złożone z robotów mobilnych cechują się natomiast dużą dynamiką zmian swojego stanu. Proces przydzielania zadań musi być dokonywany w szybko zmieniających się warunkach. Gdy krytycznym elementem staje się czas znalezienia rozwiązania, sięga się po metody, które niekoniecznie podają rozwiązanie optymalne, ale potrafią podać akceptowalne rozwiązanie suboptymalne w znacznie krótszym czasie. Grupę taką stanowią, metody oparte o aspekty ekonomiczne procesu przydzielania zadań. Wzorowane na znanym z ekonomii pojęciu wolnego rynku systemy aukcyjne stosowane z pozytywnym skutkiem w wielu działających systemach wieloobrotowych [3]. Sprawne ich funkcjonowanie wydaje się być zależne od istnienia globalnej komunikacji pomiędzy wszystkimi członkami zespołu. Sugeruje to wrażliwość tych technik na zjawiska ograniczające lub blokujące wzajemną wymianę informacji. Stosowane obecnie techniki komunikacji pomiędzy robotami jak i przyszłe zadania, do których te roboty są przygotowywane pozwalają na przyjęcie założenia, że w tych nowych zastosowaniach nie uda się usunąć zjawiska występowania ograniczeń komunikacyjnych. W związku z czym konieczne staje się poszukiwanie takich metod przydziału zadań, które skutecznie będą eliminować negatywny wpływ zjawisk ograniczających komunikację na efektywność mechanizmu przydzielania zadań.

Jako jedno z wielu potencjalnych zastosowań systemów agentowych wymienia się rozproszoną robotykę, rozumianą jako sterowanie działaniem grupy autonomicznych robotów realizujących wspólne przedsięwzięcia, w warunkach niepełnej informacji, dynamicznych zmian celu działania oraz ewolucji środowiska. W wielu publikacjach prowadzone były rozważania nad podobieństwami i różnicami pomiędzy systemami wielorobotowymi i systemami wieloagentowymi. Według jednej z koncepcji architektur systemów agentowych (architektura M-agenta [1]), autonomiczny robot mobilny może, poza szczególnymi przypadkami, posiadać wszystkie cechy abstrakcyjnego M-agenta. Ograniczony jest jedynie środowiskiem działania do materialnej przestrzeni rzeczywistej. Można powiedzieć, że w takim ujęciu systemy wielorobotowe stanowią pewną klasę systemów wieloagentowych, w których roboty mobilne są agentami działającymi w rzeczywistym środowisku. Dla porównania, wspomniana architektura M-agenta umożliwia całkowitą dowolność w określaniu środowiska (a właściwie środowisk) działania dla agentów.

W wielu funkcjonujących systemach wielorobotowych mamy do czynienia z sytuacją, gdy na skutek barier technologicznych robot mobilny jest tylko sensorem i efektem, natomiast sztuczna inteligencja odpowiedzialna za jego zachowanie (agent) funkcjonuje z dala od niego. W tej sytuacji środowiskiem dla agenta nie jest już tylko rzeczywista przestrzeń i można powiedzieć, że agent stanowi reprezentację robota w przestrzeni wirtualnej. Pojawia się zatem pytanie czy system agentowy kierujący grupą robotów musi się ograniczać wyłącznie do agentów stanowiących ich reprezentację? Czy wykorzystanie zalet świata wirtualnego i wprowadzenie do systemu agentowego dodatkowych agentów, nie posiadających swoich

efektorów i sensorów w świecie rzeczywistym, lecz operujących wyłącznie w świecie wirtualnym, będzie mieć pozytywny wpływ na funkcjonowanie zespołu robotów, który kontrolują?

2. Teza pracy

Teza referowanej rozprawy została sformułowana następująco:

Wykorzystanie wirtualnej reprezentacji środowiska wieloagentowego, w skład którego wchodzi między innymi agenty nie posiadające swojego bezpośredniego powiązania z robotami działającymi w przestrzeni rzeczywistej umożliwi lepszą realizację procesu zarządzania zespołem robotów mobilnych w porównaniu z przypadkiem, gdy w przestrzeni wirtualnej działają tylko agenty posiadające swoją reprezentację w rzeczywistym środowisku.

Przez lepsze zarządzanie grupą robotów należy w tym wypadku rozumieć taki sposób kierowania tym zespołem, który umożliwia szybsze wykonanie powierzonych mu zadań.

Przedstawiona powyżej teza została wykazana drogą konstrukcji systemu zarządzania grupą robotów mobilnych i zbadania jego możliwości.

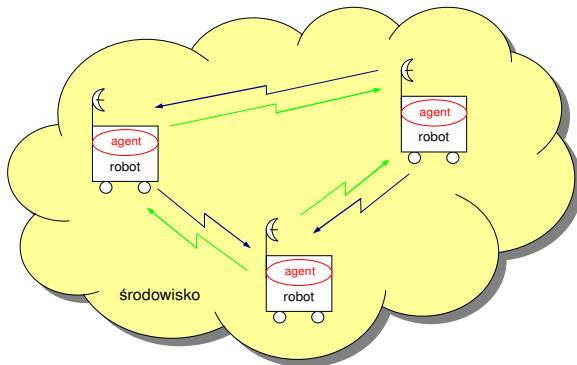
3. Platforma eksperymentalna

Do prowadzenia badań i testów tworzonego w ramach pracy systemu agentowego skonstruowano model symulacyjny pewnego abstrakcyjnego systemu wielorobotowego, tworzonego przez grupę homogenicznych robotów mobilnych, działających w dwuwymiarowej przestrzeni i wykonujących pojawiające się tam zadania. Poniżej wymieniono najważniejsze z przyjętych założeń:

- Środowiskiem działania robotów będzie prostokątny, zamknięty, pozbawiony przeszkód obszar.
- W tym środowisku działać pewna liczba jednakowych (homogenicznych) robotów.
- Każdy z robotów będzie mógł wykonywać w jednej chwili czasu tylko jedno zadanie.
- Zachowanie się każdego robota będzie kontrolowane w sposób niezależny od pozostałych. Roboty tworzyć będą system zdecentralizowany. W systemie nie będzie centralnego elementu koordynującego lub oddziałującego na zachowanie się robotów.
- W środowisku będą pojawiać się zadania do wykonania przez roboty.
- Pojawianie się zadań w systemie będzie procesem rozłożonym w czasie i mającym charakter losowy. Pozwoli to obserwować zachowanie się systemu (robotów) w warunkach dynamicznych – ilość zadań będących do wykonania może być zmienna w czasie.
- Każde zadanie będzie mogło być wykonane przez każdego robota.
- Rozpoczęcie wykonywania zadania przez robota wiązać się będzie z koniecznością jego zakończenia. Robot nie będzie miał możliwości porzucenia zadania w trakcie jego wykonywania
- Zadania pojawiające się w systemie będą zadaniami prostymi. Zadanie takie będzie mogło zostać wykonane tylko przez jednego robota.
- Roboty będą posiadały możliwość komunikacji pomiędzy sobą. Zostanie ona wykorzystana do przesyłania szeroko pojętej informacji, związanej z przydzielaniem zadań poszczególnym robotom. Komunikacja będzie posiadać ograniczony zasięg
- Wiedza robota na temat środowiska oparta będzie na danych uzyskanych z układów percepcji danego robota, lub pozyskanych od innych robotów za pośrednictwem komunikacji.

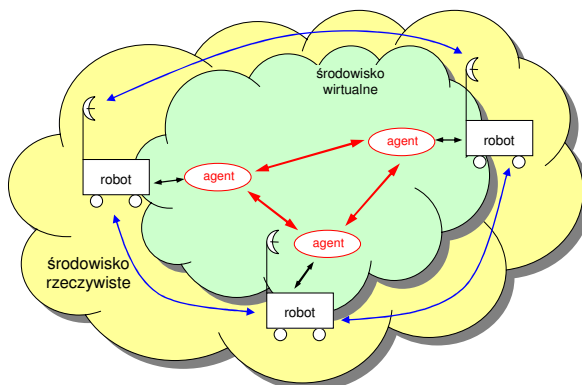
4. System agentowy kierujący grupą robotów

Traktowanie grupy robotów jako systemu wieloagentowego jest w zasadzie standardowym podejściem stosowanym do analizy zagadnień związanych z projektowaniem i funkcjonowaniem zespołów robotów mobilnych. Zwykle przyjmuje ono formę utożsamienia robota z agentem działającym w określonym fragmencie rzeczywistego świata. Sytuację taką ilustruje Rys. 4.1.



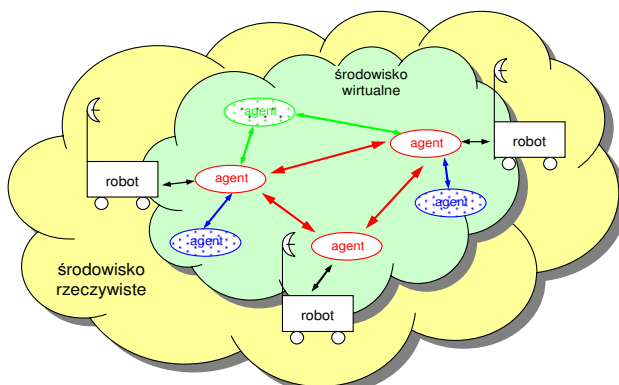
Rys. 4.1 Powiązania pomiędzy agentami i robotami

połączenie tych zasobów związane z tworzeniem grupy robotów można wykorzystać do wzbogacenia robotowego systemu wieloagentowego o nowe możliwości. Dysponując zasobami obliczeniowymi i komunikacyjnymi poszczególnych robotów można stworzyć przestrzeń wirtualną. Korzystając z zasobów komunikacyjnych i obliczeniowych poszczególnych robotów można zbudować zatem nierzeczywistą przestrzeń, w której działać będą agenci reprezentujące interesy poszczególnych robotów. Sytuację taką przedstawiono na Rys. 4.2.



Rys. 4.2 Konstruowanie przestrzeni wirtualnej

Natomiast wszelkie interakcje pomiędzy agentami odbywają się wyłącznie na płaszczyźnie wirtualnej. Dysponując przestrzenią wirtualną można posunąć się dalej i wzbogacić system agentowo-robotowy przez wprowadzenie nowych typów agentów, jak to zostało pokazane na Rys. 4.3.



Rys. 4.3 Wzbogacanie przestrzeni wirtualnej o nowe typy agentów

Robot i agent są spójnym bytem funkcjonującym w pewnym środowisku. Wobec potencjalnych możliwości, jakie dają systemy wieloagentowe, podejście takie wydaje się sprowadzać systemy wielorobotowe do pewnej podklasy systemów agentowych. Obecne rozwiązania konstrukcyjne robotów mobilnych oferują na swym pokładzie pewne sprzętowe zasoby informatyczne (rozumiane tutaj jako moc obliczeniową jednostki sterującej, jej pamięć operacyjną oraz kanały komunikacyjne). Dodatkowe

połączenie tych zasobów związane z tworzeniem grupy robotów można wykorzystać do wzbogacenia robotowego systemu wieloagentowego o nowe możliwości. Dysponując zasobami obliczeniowymi i komunikacyjnymi poszczególnych robotów można stworzyć przestrzeń wirtualną. Korzystając z zasobów komunikacyjnych i obliczeniowych poszczególnych robotów można zbudować zatem nierzeczywistą przestrzeń, w której działać będą agenci reprezentujące interesy poszczególnych robotów. Sytuację taką przedstawiono na Rys. 4.2. Forma przestrzeni wirtualnej może być praktycznie dowolna i zależeć tylko od wymagań oraz potrzeb agentów. Roboty stanowią w tej sytuacji pomost pomiędzy światem rzeczywistym i przestrzenią wirtualną, natomiast umieszczenie na Rys. 4.2 fragmentu robota wewnątrz obszaru oznaczającego środowisko wirtualne symbolizuje fakt, że roboty używając swoich zasobów sprzętowych stanowią budulec tej przestrzeni. Każdy robot posiada reprezentację w świecie wirtualnym, w postaci własnego agenta, dostarcza temu agentowi niezbędnych do podejmowania decyzji informacji ze świata rzeczywistego, oraz podejmuje zlecone przez agenta

działania. Natomiast wszelkie interakcje pomiędzy agentami odbywają się wyłącznie na płaszczyźnie wirtualnej. Dysponując przestrzenią wirtualną można posunąć się dalej i wzbogacić system agentowo-robotowy przez wprowadzenie nowych typów agentów, jak to zostało pokazane na Rys. 4.3. Agenty te, w odróżnieniu od agentów powiązanych z robotami, nie będą posiadać swojej reprezentacji w rzeczywistym środowisku. Stąd nazywane będą agentami wirtualnymi. Zadania tych agentów zależeć będą od konkretnych potrzeb całego systemu. Generalnie zadania te miałyby się skupiać na zagadnieniach kompensowania niedostatków wynikających z ograniczeń i ułomności komunikacji. Dodatkowo podejście takie może w znaczący sposób ułatwić zarówno proces projektowania, jak i analizy oraz formalnego opisu poszczególnych typów agentów i całego systemu.

W oparciu o przedstawioną tu koncepcję i opierając się na architekturze M-agenta [1] wyspecyfikowano formalnie system agentowy kierujący pracą grupy robotów mobilnych. Pierwsza część specyfikacji objęła system zbliżony budową do sytemu z Rys. 4.1. Funkcjonował w nim tylko jeden typ agentów oznaczony *AGO*. Agent tego typu jest związany z konkretnym robotem. Liczba agentów w systemie jest taka sama jak liczba robotów w zespole, którym system kieruje. Agent dysponuje repertuarem trzech możliwych zachowań: wskazanie swojemu robotowi zadania, które ma zostać wykonane, w sytuacji gdy robot nie dysponuje żadnymi zadaniami do wykonania podjąć próbę pozyskania od innych robotów w zespole zadań do wykonania, w sytuacji, gdy robot dysponuje zbyt dużą ilością zadań do wykonania, podjąć próbę znalezienia wykonawców tych zadań pośród innych członków zespołu robotowego. Druga część specyfikacji rozbudowuje system agentowy do postaci widocznej na Rys. 4.3. Zdefiniowana zostaje wirtualna przestrzeń, w której będą działać agenty. Przyjmuje ona postać zmiennego w czasie grafu nieskierowanego, którego krawędzie odwzorowują aktualny stan komunikacji pomiędzy robotami. Wprowadzone zostają również dwa dodatkowe typy agentów wirtualnych: *AG1* i *AG2*. Oba typy agentów mają możliwość poruszania się w zdefiniowanej dla nich przestrzeni wirtualnej. Zadaniem agentów typu *AG1* jest poszukiwanie zadań do wykonania, natomiast zadaniem agentów typu *AG2* jest poszukiwanie robotów, które mogłyby przyjąć zadania do wykonania.

Tak zaprojektowany system agentowy został zrealizowany i poddany badaniom w serii eksperymentów symulacyjnych omówionych w dalszej części referatu. Badania prowadzone były na modelu symulacyjnym systemu robotowego omówionego w rozdziale 3.

5. Problem wielu komiwojazerów

W trakcie prowadzenia badań zwrócono uwagę na podobieństwo badanego problemu przydziału do zmodyfikowanej wersji zadania komiwojazera [2] (problem wielu komiwojazerów). Jednak zgodnie z założeniami funkcjonowania systemu wielorobotowego, na którym testowane było działanie systemu agentowego, niezbędne dane do znalezienia rozwiązania zadania komiwojazerów dla danej konfiguracji systemu robotowego dostępne były dopiero po zakończeniu eksperymentu (można było wydobyć je analizując cały zapisu przebiegu symulacji). Podobieństwo tych dwóch zagadnień wykorzystane zostało do oceny rezultatów otrzymywanych jako efekt działania systemu agentowego.

6. Eksperymenty symulacyjne i ich rezultaty

W ramach badania zachowania się zaprojektowanego systemu zaplanowano i przeprowadzono pewną liczbę eksperymentów symulacyjnych. Podzielono je na dwie serie:

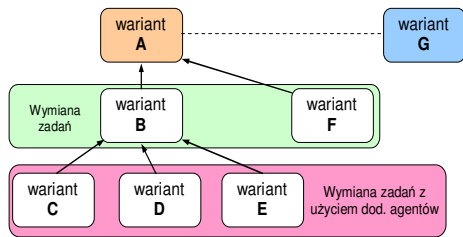
Seria I – plansza o wymiarach 800x600 punktów, losowo rozmieszczone 10 robotów mających do wykonania 500 zadań o losowo wybranym czasie trwania, zawartym w przedziale od 4 do 40 jednostek symulowanego czasu.

Seria II – plansza o wymiarach 1500x300 punktów, losowo rozmieszczone na niej 20 robotów mających do wykonania 1000 zadań o losowo wybranym czasie trwania, zawartym w przedziale od 4 do 40 jednostek symulowanego czasu.

Dla statystycznej oceny uzyskanych wyników, w ramach każdej serii przeprowadzono symulację dla 20 różnych konfiguracji robotów i zadań.

Do oceny wpływu zastosowania dodatkowych agentów typu *AG1* i *AG2* wspomagających proces przydziału zadań robotom w ramach każdej serii eksperymentów wyodrębnione zostało siedem wariantów. Powiązania pomiędzy nimi przedstawia Rys. 6.1.

Wariant A – roboty wykonywały otrzymane zadania bez możliwości porozumiewania się między sobą i wymiany zadań. Jediną rolą rezydentnego agenta typu *AGO* było decydowanie o kolejności wykonywania zadań. Możliwości komunikacji pomiędzy robotami nie miały w tym wariantcie znaczenia. Jest to tożsamy z sytuacją, w której zasięg komunikacji robotów jest równy zero. Kolejne warianty są rozszerzeniem wariantu A o nowe elementy.



Rys. 6.1 Powiązania pomiędzy wariantami eksperymentów.

Wariant B – wariant ten jest wariantem pochodnym od wariantu A. Nowym elementem w stosunku do wariantu A jest dodanie agentom typu *AG0* możliwości wymieniania zadań pomiędzy sobą w sytuacji gdy ich roboty-gospodarze znajdowały się w odległości umożliwiającej wzajemną komunikację. Istotną rolę w zachowaniu się agentów zaczyna odgrywać zasięg komunikacji pomiędzy robotami.

w wariacie B, możliwości generacji agentów typu *AG1* jako mechanizmu wspomagającego i poprawiającego efektywność przydziału zadań.

Wariant C – jest wariantem pochodnym w stosunku do wariantu B. Nowym elementem jest dodanie agentom typu *AG0*, do własności posiadanych przez nie

w wariacie B, możliwości generacji agentów typu *AG2*. Zadaniem generowanych agentów było podobnie jak w wariacie C poprawienie efektywności mechanizmu przydzielania zadań robotom.

Wariant E – jest wariantem pochodnym w stosunku do wariantu B. Stanowi niejako złożenie wariantów C i D. Agenty typu *AG0* miały możliwość generacji obu typów agentów wspomagających proces rozdzielania zadań (*AG1* i *AG2*). Wybór, jaki typ agenta zostanie w danej chwili wygenerowany, zależny był od ilości zadań, które miał wykonać robot-gospodarz.

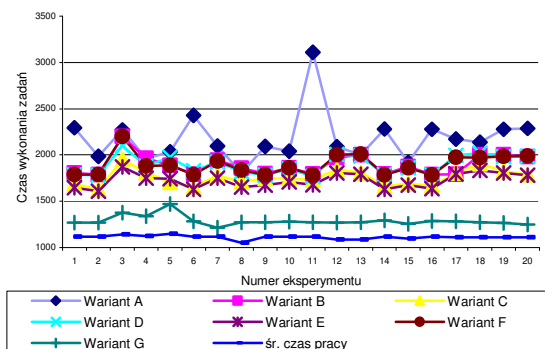
W wariantach A–E roboty funkcjonowały w warunkach ograniczonego zasięgu komunikacji. Dla obu serii eksperymentów przyjęto ograniczenie komunikacji do odległości 250 jednostek dla Serii I i 300 jednostek dla Serii II.

Do oceny rezultatów, uzyskanych w eksperymentach obejmujących warianty A–E obu serii, potrzebne było przeprowadzenie dodatkowych eksperymentów. Wykorzystywały one dane konfiguracyjne wcześniejszych eksperymentów. Dla ujednolicenia systematyki wyników nazywane są one również wariantami.

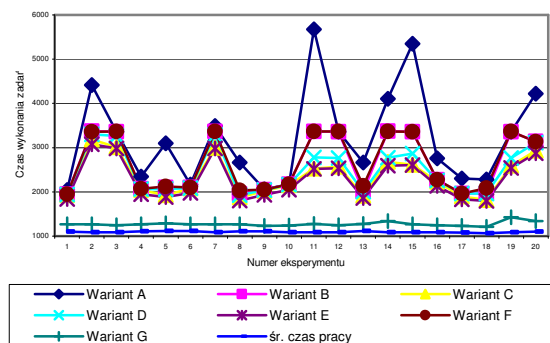
Wariant F – odpowiada pod względem zachowania się agentów i robotów konfiguracji wariantu B. Usunięte zostało jednak ograniczenie zasięgu komunikacji. Dodatkowe agenty typu *AG1* i *AG2* nie zostały w tym wariacie użyte.

Wariant G – powstał przez wyznaczenie rozwiązania przydziału zadań jako zagadnienia wielu komiwojażerów. Rozwiązanie zostało wyznaczone dla każdej z badanych w ramach poszczególnych wariantów konfiguracji robotów i zadań. Dane wejściowe pochodziły z analizy zapisu przebiegu symulacji wcześniejszych wariantów. Rezultaty te zostaną wykorzystane przy ocenie rezultatów otrzymanych dzięki badaniom systemu agentowego w wariantach A–F.

Otrzymane czasy wykonania zadań przez roboty w poszczególnych wariantach dla serii I przedstawiono na Rys. 6.3 natomiast dla serii II na Rys. 6.2.



Rys. 6.3 Zestawienie czasów wykonania zadań przez roboty dla poszczególnych wariantów Serii I



Rys. 6.2 Zestawienie czasów wykonania zadań przez roboty w eksperymentach II serii

Do oceny uzyskanych wyników zaproponowano dwa przedstawione poniżej wskaźniki. Wskaźnik E_{f1} służy do określenia wydajności (efektywności) pracy robotów i zdefiniowany jest zależnością:

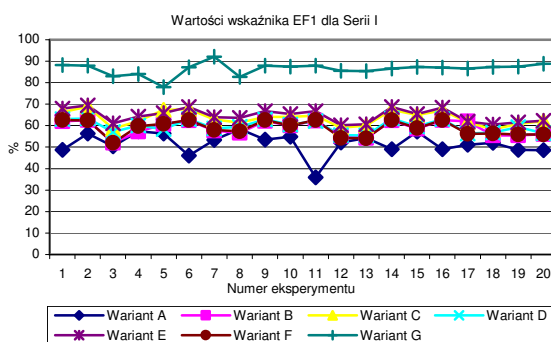
$$E_{f1} = \frac{T_w}{n * T_c} * 100\%$$

gdzie: T_w – ilość czasu wymagana do wykonania wszystkich zadań przez 1 robota

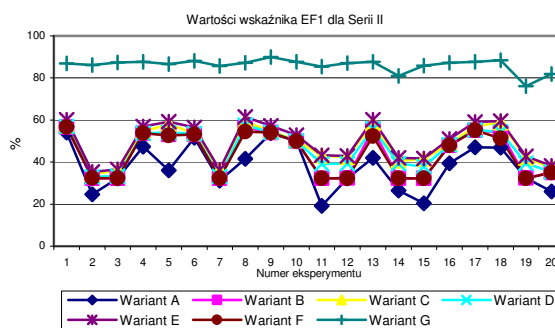
n – liczba robotów

T_c – symulowany czas wykonania zadań przez grupę robotów

Według tak skonstruowanego wskaźnika system funkcjonuje wydajniej, im wartość wskaźnika jest bliższa 100%. Osiągnięcie wartości 100% nie będzie jednak nigdy możliwe. Przyczyną tego jest konieczność przemieszczania się robotów pomiędzy miejscami wykonywania zadań, a czas, który na to zużywają nie jest wliczany do czasu pracy. Istotne informacje zawiera zmiana jego wartości pomiędzy kolejnymi wariantami eksperymentów. Wzrost oznacza, że wprowadzane zmiany w działaniu systemu przynoszą oczekiwany efekt. Zestawienie wyznaczonych wartości tego wskaźnika dla poszczególnych wariantów eksperymentów dla Serii I przedstawiono graficznie na Rys. 6.5, natomiast dla Serii II odpowiednio na Rys. 6.4.



Rys. 6.5 Zestawienie wartości wskaźnika E_{f1} dla eksperymentów Serii I



Rys. 6.4 Zestawienie wartości wskaźnika E_{f1} dla eksperymentów Serii II

Do konstrukcji wskaźnika E_{f2} wykorzystane zostaną wyniki uzyskane jako rozwiązanie zagadnienia wielu komiwojazerów. Rozwiązanie to można uznać za hipotetyczne rozwiązanie wzorcowe. Ma tą zaletę, że uwzględnia zarówno czas potrzebny do wykonania zadań jak i minimalny czas niezbędny robotom, wykorzystany na przemieszczanie się w celu wykonania tych zadań. Współczynnik ten będzie określał jaka ilość czasu eksperymentu przypadła na aktywność nie związaną bezpośrednio z wykonywaniem zadań. Wskaźnik E_{f2} określony jest zależnością:

$$E_{f2} = \frac{n(T_c - T_k)}{T_w} * 100\%$$

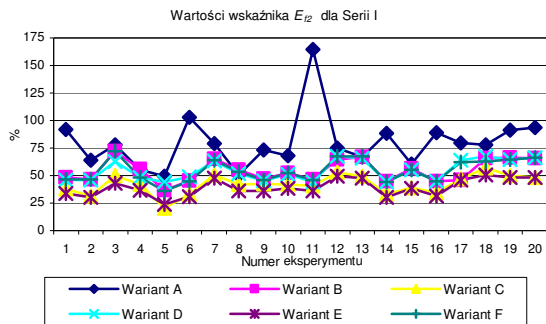
gdzie: n – liczba robotów

T_c – czas wykonania zadań przez grupę robotów

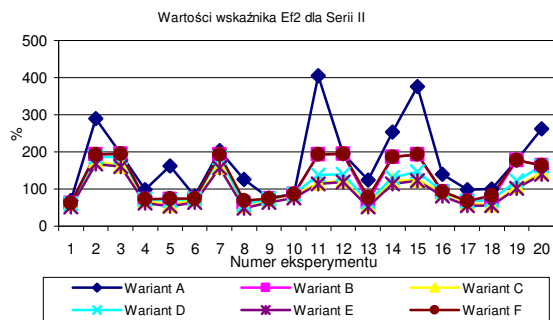
T_k – czas uzyskany jako rozwiązanie problemu komiwojazera

T_w – ilość czasu wymagana do wykonania wszystkich zadań przez 1 robota

Wskaźnik ten niesie informacje o tym, jak źle wypada porównywane rozwiązanie (czas wykonania zadań przez grupę robotów) w stosunku do teoretycznie możliwego do uzyskania czasu optymalnego. Im mniejsza wartość tego wskaźnika, tym czas trwania poszczególnych eksperymentów jest bardziej zbliżony do czasu optymalnego. Z drugiej zaś strony, im system agentowy wspomagający proces przydzielania zadań lepiej funkcjonuje, tym czas wykonania wszystkich zadań przez grupę robotów jest krótszy, a wydajność robotów (wyznaczona jako stosunek czasu zużytego na pracę w stosunku do czasu wykonywania innych czynności) większa. Wartości wskaźnika E_{f2} dla poszczególnych wariantów eksperymentów Serii I przedstawiono na Rys. 7.2, a Serii II na Rys. 6.1.



Rys. 7.2 Zestawienie wartości współczynnika E_{12} dla eksperymentów Serii I



Rys. 6.1 Zestawienie wartości współczynnika E_{12} dla eksperymentów Serii II

7. Podsumowanie

Uzyskane wyniki eksperymentów symulacyjnych wykazują poprawność przyjętej tezy. Wprowadzenie do systemu abstrakcyjnego środowiska i dodatkowych agentów przyniosło oczekiwane efekty w postaci skrócenia symulowanego czasu wykonywania zadań w poszczególnych konfiguracjach średnio o 10-15%.

W trakcie pracy nad prezentowanym systemem pojawiły obiecujące zagadnienia badawcze nie przedstawione w niniejszej rozprawie, a mogące stanowić interesujące jej uzupełnienie i rozwinięcie. Najbardziej oczekiwanym kierunkiem rozwinięcia tej pracy jest implementacja i testy zaproponowanego rozwiązania na rzeczywistym systemie wielorobotowym. Choć oczywiście nie jest to jedyny kierunek dalszego rozwoju podjętej tematyki badawczej. Wymaga to jednak dysponowania co najmniej kilkunastoma robotami mobilnymi, wyposażonymi w odpowiednio elastyczne jednostki sterujące, które pozwolą na umieszczenie w nich niezbędnego oprogramowania. Przyjęty model symulacyjny został przygotowany nieco „na wyrost”. Niektóre niewykorzystane w tej pracy elementy modelu, mogą posłużyć do zbadania zachowania się modelu pod innymi aspektami. Dla przykładu wymienić można tutaj modyfikacje funkcji celu lub kryteriów oceny jakości dla poszczególnych typów agentów, dodanie dodatkowych strategii, w sytuacji braku bądź nadmiaru zadań. Kolejnym kierunkiem rozwoju przedstawionego systemu jest wyłączenie kryterium homogeniczności robotów poprzez rozbudowanie modelu robota o możliwość specjalizacji i zwiększania własnych umiejętności w drodze nabywanych doświadczeń. Interesujące wyniki można by uzyskać badając długofalowe zachowanie się modelowanego systemu, kiedy to konieczne stanie się uwzględnianie w zachowaniu się robotów ich aktualnych zasobów wraz z koniecznością odpowiedniego nimi zarządzania. Oczywiście każdy z wymienionych potencjalnych kierunków rozwoju poza badaniami symulacyjnymi może zostać rozwinięty w serie eksperymentów prowadzonych na rzeczywistym systemie wielorobotowym. Ciekawą koncepcją, która pojawiła się w trakcie prowadzenia badań jest problematyka budowania i zachowania się świata wirtualnego (cyberprzestrzeni) przeznaczonej do działania różnych typów agentów, zbudowanego w oparciu o możliwości techniczne jakie udostępniają współczesne autonomiczne roboty mobilne.

8. Literatura

- [1] Cetnarowicz K., *Problemy projektowania i realizacji systemów wieloagentowych*. Kraków: Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, 1999.
- [2] Gajęcki M.: *Algorytm rozwiązujący problem komiwojażera i jego implementacja na różnych architekturach*. Rozprawa doktorska. AGH Kraków 1995.
- [3] Karla N., Stentz A., Ferguson D.: *Hoplites: A market Framework for Complex Tight Coordination in Multi-Agent Teams*. Technical report CMU-RI-TR-04-41, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 2004.
- [4] Zaborowski W.: *Zdecentralizowany system rozdziału zadań w zespole homogenicznych robotów w warunkach ograniczeń komunikacyjnych*. W: Postępy robotyki. Red. Tchoń K. Wyd. 1. Warszawa: WKŁ, 2006, ISBN 978-83-206-1628-6.