

dr inż. Grzegorz Bocewicz  
Katedra Podstaw Informatyki i Zarządzania, Politechnika Koszalińska  
prof. dr hab. inż. Zbigniew Banaszak  
Zakład Informatyki Gospodarczej, Politechnika Warszawska

## DEKLARATYWNY MODEL MOBILNEGO SYSTEMU INSPEKCYJNEGO

*Rozważany problem planowania działań grupy robotów mobilnych w środowisku pomieszczeń zamkniętych sformułowany został w modelu deklaratywnym języka OZ Mozart. Dla zadanego zbioru zmiennych decyzyjnych charakteryzujących środowisko pomieszczeń zamkniętych i przemieszczające się w nim roboty oraz zbioru ograniczeń wiążących te zmienne, poszukiwana jest marszruta umożliwiająca w określonym horyzoncie czasu inspekcję zadanej liczby pomieszczeń. Proponowane podejście zilustrowane zostało na załączonych przykładach.*

## DECLARATIVE MODEL OF MOBILE INSPECTION SYSTEM

*The problem considered concerns an inspection aimed mission planning of a mobile robots team. The Oz Mozart language is used as declarative modeling framework. For a given set of decision variables describing the robots and their indoor environment as well as a set of linking them constraints a set of routes allowing robots to inspect a given amount of places in assumed time horizon is sought. Illustrative examples explain the approach proposed.*

### 1. WPROWADZENIE

Problem planowania działań grupy robotów mobilnych występuje w wielu obszarach związanych, m.in. z transportem międzystanowiskowym w halach produkcyjnych, komunikacją miejską, kontrolą i nadzorem pomieszczeń, a także wspomaganie akcji prewencyjnych i/lub ratowniczych. Rosnący poziom urbanizacji środowiska, a także rosnące zagrożenie terrorystyczne czyni ostatecznie wyżej wymienionych obszarów szczególnie aktualnym. Przykładem prac prowadzonych w tym zakresie są badania prowadzone na Wydziale Mechatroniki PW w ramach projektu: **Wielorobotowy Mobilny System Inspekcyjny Wspomagający Bezpieczeństwo na Uczelni Technicznej** [3, 4, 5, 6]. Celem tego projektu jest opracowanie zrobotyzowanego, inspekcyjno-interwencyjnego systemu zarządzania bezpieczeństwem opartego na układzie inteligentnych robotów mobilnych połączonych siecią komunikacyjną.

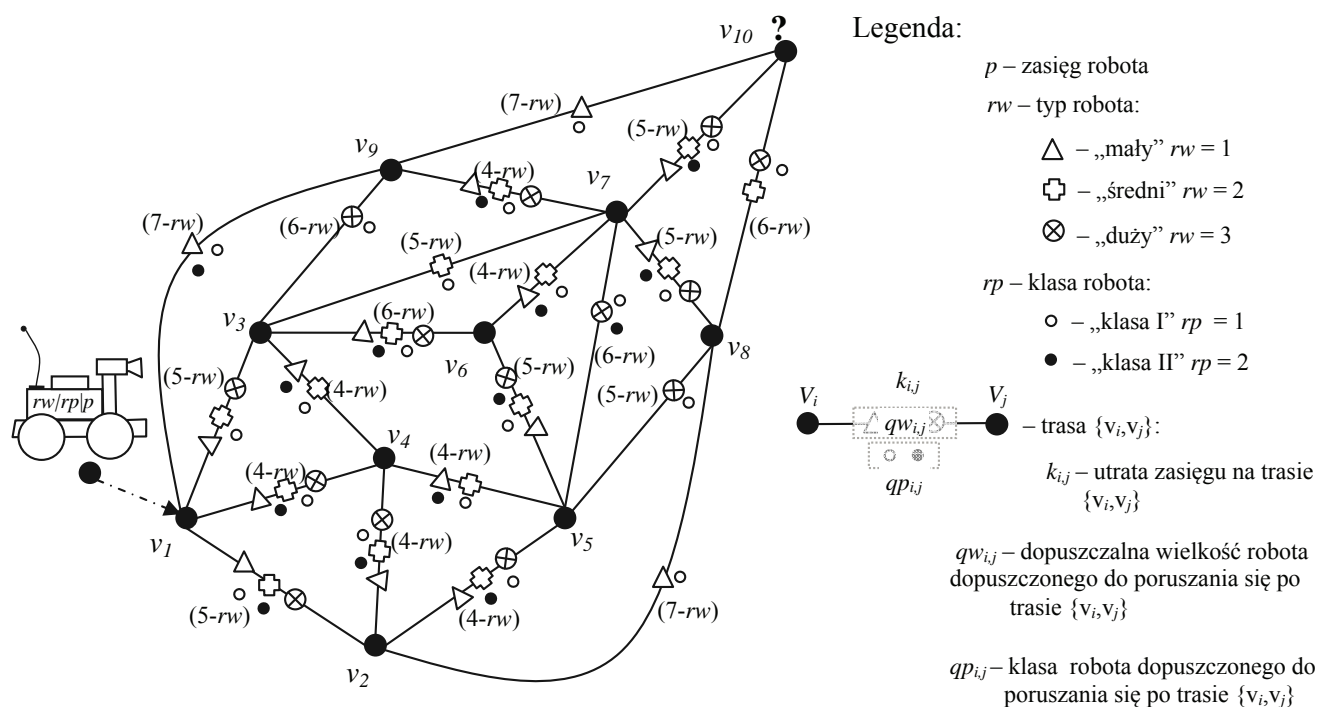
W przedstawionym kontekście, rozważany problem ogranicza się do planowania działań grupy robotów mobilnych w środowiskach pomieszczeń zamkniętych, wielokondygnacyjnych budowli typowych dla biur i urzędów, banków, jednostek akademickich itp. Pomieszczenia te, jak i łączące je przejścia (schody, windy, korytarze) opisane są zbiorem charakteryzujących je parametrów. Poruszające się w tym środowisku, roboty opisuje odrębny zbiór parametrów. Oba zbiory łączą relacje należące do trzeciego zbioru, zbioru ograniczeń. Dla tak sformułowanego modelu (znajdującego swoje odbicie w modelu problemu spełnienia ograniczeń (ang. *constraints satisfaction problem* [7, 13])) sformułowane są problemy poszukiwania marszrut transportowych i/lub ewakuacyjnych.

a także m arszrut inspek cyjno-rekonesansowych, ratowniczy ch itp. Przedstawione podej ście stanowi kontynuacj ę wcze śniej prowadzonych prac z zakresu harm onogramowania AGV w elastycznych system ach produkcyjnych [7, 8, 10], planowania m arszrut transportowych w systemach jednoczesnej wieloasortym entowej produkcji rytm icznej, a tak ę harmonogramowaniu multimodalnych procesów cyklicznych [9].

## 2. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Jak juŹ wspomniano, deklaracyjny model m obilnego systemu inspekcyjnego obejmuje zbiór zmiennych decyzyjnych charakteryzuj ących roboty m obilne oraz środowisko, w którym realizuj ą one swoj ą mi sję. Znane s ą dziedzin y z miennych decyzyjny ch oraz ograniczen ia łączące zmienne decyzyjne.

Celem ilustracji modelu omawianej klasy rozwaŹmy sieć dwukierunkowych po łączęch (rys. 1) łączących zb iór dziesięciu pom ieszczeń  $v_1 \div v_{10}$ . Po łączenia łączące poszczególne pomieszczenia um oŹliwiają przejazd robotom spe łniającym okre ślone wym agania. W rozwaŹanym przypadku wyró Źnia si ę wym agania dotyczące typu robota (ozn aczane na rys. 1 symbolami  $\Delta$ ,  $\oplus$ ,  $\otimes$ ) oraz jego klasy (sym bole  $\circ$ ,  $\bullet$ ). Wym agania te, uzupe łnione o parametry determinuj ące indywidualny zasi ęg i koszt eksploatacji, charakteryzuj ą poszczególne roboty zespo lu inspekcyjnego. Koszt eksploatacji oraz utrata zasi ęgu robota na określonej trasie s ą zale Źne od rodzaju poruszaj ącego si ę robota. Param etry sieci po łączęch zmieniaj ą si ę w zaleŹności od typu i klasy robota poruszaj ącego si ę wewn ątrz tej sieci.



Rys. 1. Sieć połączeń zbioru pomieszczeń

Dla przyjętych założeń poszukiwana jest odpowiedź na pytania typu:

- I. Czy w zadanej sieci można wyznaczyć marszrutę łączącą wybrane dwa pomieszczenia, którą jest w stanie pokonać jeden z robotów w zadanym czasie i bez przekroczenia zadanego limitu zasięgu?

- II. Czy w zadanej sieci można wyznaczyć marszrutę łączącą, z wybranego pomieszczenia startowego, podzbiór pomieszczeń, która jest w stanie pokonać jeden z robotów w zadanym czasie i bez przekroczenia zadanego limitu zasięgu?
- III. Czy w zadanej sieci można wyznaczyć zbiór marszrut łączących wybrane pomieszczenie startowe z elementami podzbioru pomieszczeń, marszrut które są w stanie pokonać roboty w zadanym czasie i bez przekroczenia zadanego limitu zasięgu?
- IV. itd.

Przedstawiony niżej deklaratywny model systemu pozwala odpowiedzieć na pierwsze dwa z postawionych pytań.

### 3. MOBILNY SYSTEM INSPEKCYJNY

#### 3.1 Model Deklaratywny

Przyjęta koncepcja podziału modelu na trzy obszary (każdy w postaci zbioru zmiennych, ich dziedzin oraz ograniczeń) charakteryzujące kolejno robota inspekcyjnego, sieć połączeń oraz relacje (zasady) wzajemnego oddziaływania robota na sieć i sieci na poruszającego się w niej robota.

- I. **Robot inspekcyjny.** Przyjeto, że robot inspekcyjny jest scharakteryzowany przez trójkę  $PI$ :

$$PI = (p, rw, rp) \quad (1)$$

- gdzie:  $p$  – zasięg robota inspekcyjnego ( $p$  przyjmuje wartości ze zbioru liczb naturalnych,  $p \in \mathbb{N}$ ),  
 $rw$  – typ robota inspekcyjnego,  $rw \in \{1,2,3\}$ , wyróżnia się trzy typy pojazdów (Rys.1): „mały”, „średni”, „duży”, oznaczane są one kolejno przez wartości  $rw = 1,2,3$ ,  
 $rp$  – klasa robota inspekcyjnego,  $rp \in \{1,2\}$ , wyróżniają się dwa rodzaje robotów (Rys. 1): „uprzywilejowane” oraz „nieuprzywilejowane”, oznaczane są one odpowiednio przez wartości  $rp = 1,2$ .

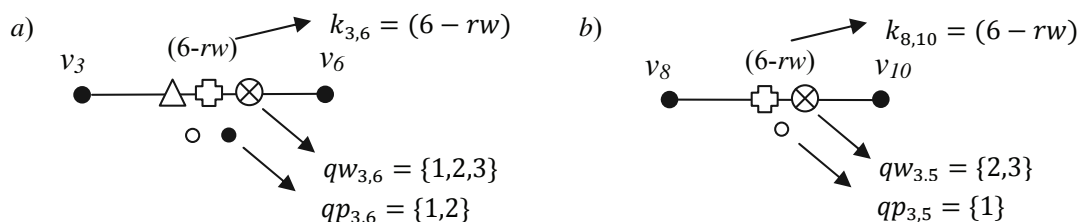
- II. **Sieć połączeń.** Przyjeto, że sieć dwukierunkowych połączeń jest reprezentowana przez graf nieskierowany postaci:

$$G = (V, E, PV, K, QW, QP, X, A) \quad (2)$$

W przedstawionej ósemce wyróżnia się następujące wielkości:

- $V$  – zbiór wierzchołków  $V = \{v_1, \dots, v_n\}$  ( $n$  - liczba wierzchołków). W rozważanym przypadku (Rys. 1) zbiór ma 10 postaci:  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_{10}\}$ , każdemu wierzchołkowi  $v_i \in V$  odpowiada wartość zasięgu  $pv_i \in \mathbb{N}$  pojazdu, który dotarł do wierzchołka  $v_i$  po zadanej drodze (w rozważanym przypadku jest to droga związana z najmniejszym zasięgiem),  $pv_i$  są elementami zbioru  $PV$ .
- $E = \{e_1, \dots, e_m\}$  – zbiór krawędzi (tras), gdzie  $e_i$  to  $i$ -ta krawędź  $e_i = \{v_a, v_b\}$ ,  $v_a, v_b \in V$ ,  $v_a \neq v_b$ . Każdej krawędzi  $\{v_a, v_b\}$  odpowiada ilość traconego zasięgu  $k_{a,b}$ , tzn. ilość tracona przez pojazd poruszający się po zadanej trasie. Dodatkowo dla każdej krawędzi definiuje się zbiory  $qw_{a,b}$  i  $qp_{a,b}$  zawierające wartości cech  $rw$  (typ robota) oraz  $rp$  (klasa robota) określających dopuszczalne parametry robota poruszającego się po trasie  $\{v_a, v_b\}$ .

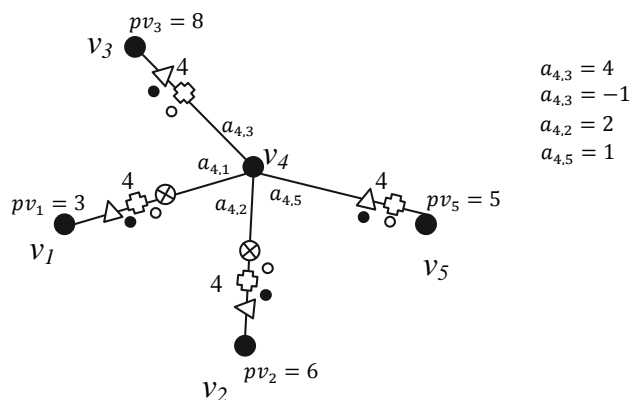
Na rys. 2 p rzedstawiono dwie przy kładowe trasy sieci z rys. 1. Tras ą  $\{v_3, v_6\}$  ma prawo si ę poruszać robot o dowolnym rozmiarze  $qw_{3,6} = \{1,2,3\}$  i dowolnej klasy  $qp_{3,6} = \{1,2\}$ , z kolei tras ą  $\{v_8, v_{10}\}$  mogą poruszać si ę tylko roboty „klasy I”,  $qp_{3,5} = \{1\}$  i typie „średni” lub „duży”  $qw_{3,5} = \{2,3\}$ .



Rys. 2. Przykład wielkości opisujących trasy sieci połączeń z rys. 1 a) trasa  $\{v_3, v_6\}$ , b) trasa  $\{v_8, v_{10}\}$

Wielkości  $k_{a,b}$ ,  $qw_{a,b}$ ,  $qp_{a,b}$  wchodzą w skład zbiorów, odpowiednio:  $K$ ,  $QW$ ,  $QP$ .

- $X$  – zbiór punktów aktywacji,  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ . Każdemu wierzchołkowi  $v_i \in V$  odpowiada punkt aktywacji  $x_i$ . Punkt aktywacji  $x_i$  przyjmuje wartość  $p$  (zasięg pojazdu) w przypadku gdy wierzchołek  $v_i$  jest wierzchołkiem, od którego robot rozpoczyna pracę (dalej wierzchołek początkowy oznaczany jest przez  $v_p$ ). Dla pozostałych wierzchołków  $x_i = -\infty$ ,  $x_i \in \{p, -\infty\}$ .



Rys. 3. Zmienne pomocnicze dla wierzchołka  $v_4$

- $A$  – rodzina zmiennych pomocniczych,  $A = \{A_1, \dots, A_n\}$ . Każdemu wierzchołkowi  $v_i \in V$  odpowiada zbiór zmiennych pomocniczych  $A_i$ . Zbiór  $A_i = \{a_{i,k}, \dots, a_{i,l}\}$  zawiera elementy  $a_{i,j} \in \mathbb{C}$  określające wartość utraty zasięgu robota zwi ązan ą z jego przej ściem z wierzchołka  $v_i$  do wierzchołka  $v_j$  wzdłuż krawędzi  $\{v_i, v_j\}$ . Na Rys. 3 przedstawiono zbiór zmiennych pomocniczych dla wierzchołka  $v_4$ :  $A_4 = \{a_{4,1}, a_{4,2}, a_{4,3}, a_{4,2}\}$ , których wartości wyznaczane są jako różnica zasięgu wierzchołka sąsiadującego i utraty zasięgu jaki ponosi robot w wyniku poruszania się po określonej trasie:  $a_{i,j} = pv_j - k_{a,b}$ .

**Ograniczenia sieci połączeń.** Parametry opisujące sieć są zależne od klasy robota, który porusza się w sieci. Inaczej mówiąc utrata zasięgu na określonej drodze zależy od parametrów robota, który się po tej drodze porusza. Przyj ęto, że wartości utraty zasięgu  $K$  są zależne od parametrów robota  $p, rw, rp$ :

$$k_{a,b} = f(p, rw, rp), \quad \forall \{v_a, v_b\} \in E, \quad (3)$$

w rozważanym przypadku (rys. 1) przyjęto, że wartości  $K$  są zależne tylko od typu robota  $rw$ . Funkcja (3) przyjmuje postać:

$$k_{a,b} = k_{a,b}^* - rw, \quad \forall \{v_a, v_b\} \in E, \quad (4)$$

gdzie:  $k_{a,b}^*$  – stała wartość utraty zasięgu wzdłuż krawędzi  $\{v_a, v_b\}$ .

III. **Relacje wzajemnego oddziaływania.** Przemieszczanie się robota w sieci wpływa na wartości zmiennych ją charakteryzujących: wartości zmiennych pomocniczych  $A$  oraz zasięgu  $PV$  w określonych wierzchołkach. Z kolei wartości zmiennych opisujących sieć (np.  $K$ ) wpływają na możliwości dotarcia robota do określonych pomieszczeń. Przyjęto, że relację wzajemnego oddziaływania między robotem a siecią opisuje następująca zasada: wartość zasięgu robota  $pv_i$  w wierzchołku  $v_i$  jest wartością uzyskaną z najkorzystniejszej (tzn. o najmniejszej utracie zasięgu robota) drogi łączącej wierzchołek początkowy  $v_p$  z wierzchołkiem  $v_i$ . Przyjęcie tego typu zasady prowadzi do ograniczeń następującej postaci:

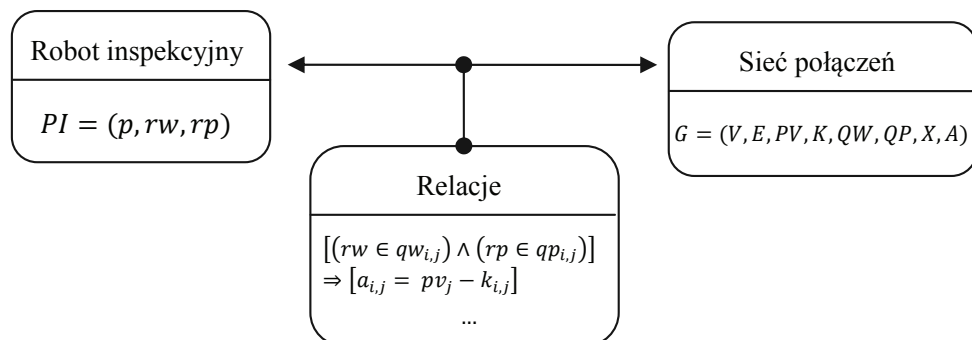
$$[(rw \in qw_{i,j}) \wedge (rp \in qp_{i,j})] \Rightarrow [a_{i,j} = pv_j - k_{i,j}], \quad \forall \{v_i, v_j\} \in E, \quad (5)$$

$$\neg[(rw \in qw_{i,j}) \wedge (rp \in qp_{i,j})] \Rightarrow [a_{i,j} = -\infty], \quad \forall \{v_i, v_j\} \in E, \quad (6)$$

$$pv_i = \max \left\{ x_i, \max_{a_{i,j} \in A_i} \{a_{i,j}\} \right\}, \quad \forall v_i \in V, \quad (7)$$

$$\exists! x_i = p, \quad \forall x_i \in \{p, -\infty\}, \quad (8)$$

Trzy częściową strukturę modelu ilustruje rys. 4. W szczególności obszary charakteryzujące roboty i strukturę sieci po połączeniu pozwalają niezależnie (tzn. możliwe jest sformułowanie opisu sieci niezależnie od opisu robota inspekcyjnego). W konsekwencji pozwala to rozważać problemy związane z analizą osiągalności określonego zachowania dla zadanej struktury sieci i robota, jak i z syntezą parametrów sieci/robota gwarantujących określone zachowania.



Rys. 4 Struktura przyjętego modelu deklaratywnego

W kontekście tak przyjętego modelu problemy sformułowane w punkcie 2 sprowadzają się do:

- I. **Pytanie typu:** Czy w zadanej sieci można wyznaczyć trasę łączącą wybrane dwa pomieszczenia, która jest w stanie pokonać jeden z robotów bez przekroczenia zadanego limitu zasięgu?

**Problem I**

Dana jest sieć połączeń  $G$ , w której znane są  $V, E, K, QW, QP$ , (wartości  $K$  określone są zgodnie z ograniczeniami i (4)). W  $G$  wyróżniony jest wierzchołek początkowy  $v_p \in V$  i końcowy  $v_k \in V, (v_p \neq v_k)$ .

Dany jest robot inspekcyjny  $PI$  rozpoczynający trasę w wierzchołku  $v_p$  (w wierzchołku tym  $x_p = p$ ).

*Poszukiwana jest odpowiedź na pytanie: Czy istnieje  $PV, A$  spełniające ograniczenia (5)–(8)?*

Wyznaczenie marszruty łączącej wierzchołek  $v_p$  z  $v_k$ , w przyjętym modelu sprowadza się do wyznaczenia wartości zasięgu  $pv_i$  dla każdego wierzchołka (w tym dla wierzchołków  $v_p, v_k$ ). Jeśli możliwe jest uzyskanie nieujemnej wartości  $pv_k$  dla wierzchołka końcowego to znaczy, że istnieje droga łącząca wierzchołek początkowy i końcowy, a tym samym odpowiedź na postawione pytanie jest pozytywna.

Poszukiwana marszruta przebiega przez wierzchołki z wyznaczoną wartością  $pv_i$ .

- II. **Pytanie typu:** Czy w zadanej sieci można wyznaczyć marszrutę łączącą, z wybranego pomieszczenia startowego, podzbiór  $r$  pomieszczeń, którą jest w stanie pokonać jeden z robotów bez przekroczenia zadanego limitu zasięgu?

### Problem II

Dana jest sieć połączeń  $G$ , w której znane są  $V, E, K, QW, QP$ , (wartości  $K$  określone są zgodnie z ograniczeniami i (4)). W  $G$  wyróżniony jest wierzchołek początkowy  $v_p \in V$ . Dany jest podzbiór wierzchołków  $V^* \subset V$ .

Dany jest robot inspekcyjny  $PI$  rozpoczynający trasę w wierzchołku  $v_p$  (w wierzchołku tym  $x_p = p$ ).

*Poszukiwana jest odpowiedź na pytanie: Czy istnieje zbiór marszut (będących rozwiązaniem Problemu I) pomiędzy wierzchołkami zbioru  $\{v_p\} \cup V^*$  których sumaryczna utrata zasięgu nie przekracza limitu zasięgu robota  $PI$ .*

Należy zwrócić uwagę, że rozwiązanie problemu II sprowadza się wielokrotnego, iteracyjnego rozwiązania problemu I. Oba problemy w sposób naturalny można wyrazić w formalizmie Spełniania Ograniczeń (PSO) [7, 13]. Poszukiwane zmienne decyzyjne  $PV, A$ , zbiory określające ich dziedziny  $\mathbb{N}, \mathbb{C}$  oraz ograniczenia (4), (5), (6), (7), (8), przyjmują postać trójki:

$$PS = ((X_{PS}, D_{PS}), C_{PS}) \quad (9)$$

gdzie:  $X_{PS}$  – zbiór zmiennych decyzyjnych,  $X_{PS} = PV \cup A$ ,

$D_{PS}$  – zbiór dziedzin zmiennych ( $\mathbb{N}, \mathbb{C}$ , odpowiednio dla elementów zbiorów  $PV, A$ ),

$C_{PS}$  – zbiór ograniczeń postaci (4), (5), (6), (7), (8).

Rozwiązanie tak sformułowanego problemu, polegające na znalezieniu wartości zmiennych  $X_{PS}$ , tzn.  $PV, A$ , dla których spełnione są wszystkie ograniczenia ze zbioru  $C_{PS}$  (ograniczenia opisujące relacje wzajemnego oddziaływania), jest równoznaczne z rozwiązaniem problemu I.

## 3.2 Przykłady ilustracyjne

**Przykład I.** Celem przykładu jest ilustracja wyznaczenia marszruty łączącej wybrane dwa pomieszczenia w zadanej sieci połączeń.

Dana jest sieć połączeń jak na rys. 1. Dany jest robot inspekcyjny  $PI$  typu „średni” ( $rw = 2$ ), „klasy II” ( $rp = 2$ ) i zasięgu 12 ( $p = 12$ ),  $PI = (12, 2, 2)$ . Robot rozpoczyna pracę w pomieszczeniu  $v_1$ .

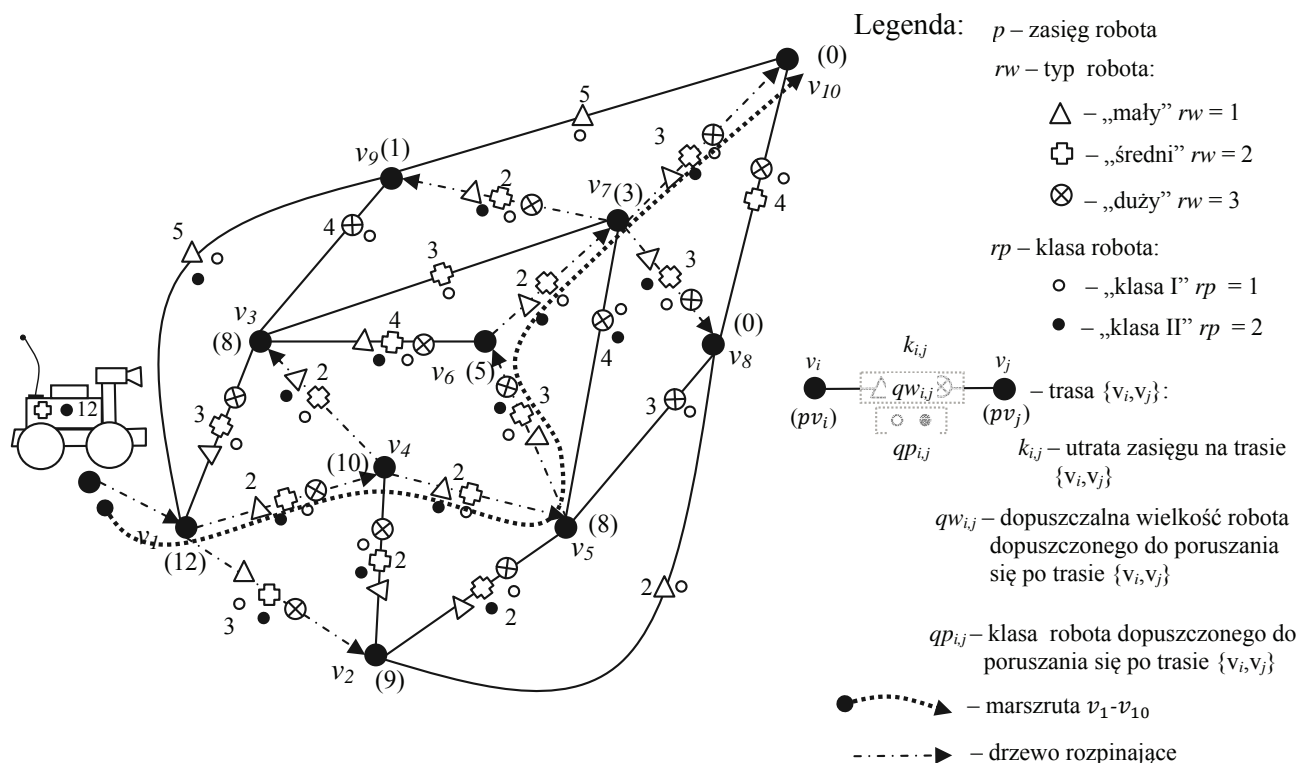
Poszukiwana jest odpowiedź na pytanie:

Czy w zadanej sieci można wyznaczyć marszrutę łączącą pomieszczenie  $v_1$  i pomieszczenie  $v_{10}$ , którą jest w stanie pokonać robot  $PI$  bez przekroczenia zadanego limitu zasięgu?

Udzielenie odpowiedzi sprowadza się do rozwiązania problemu I i tym samym odpowiedniego problemu spełniania ograniczeń (9).

Parametry sieci o robotach  $PI$  wyrażone w terminologii PSO zostały zaimplementowane w środowisku programowania z ograniczeniami i Oz Mozart [13]. Rozwiązanie uzyskane zostało w wyniku wstępnej propagacji ograniczeń.

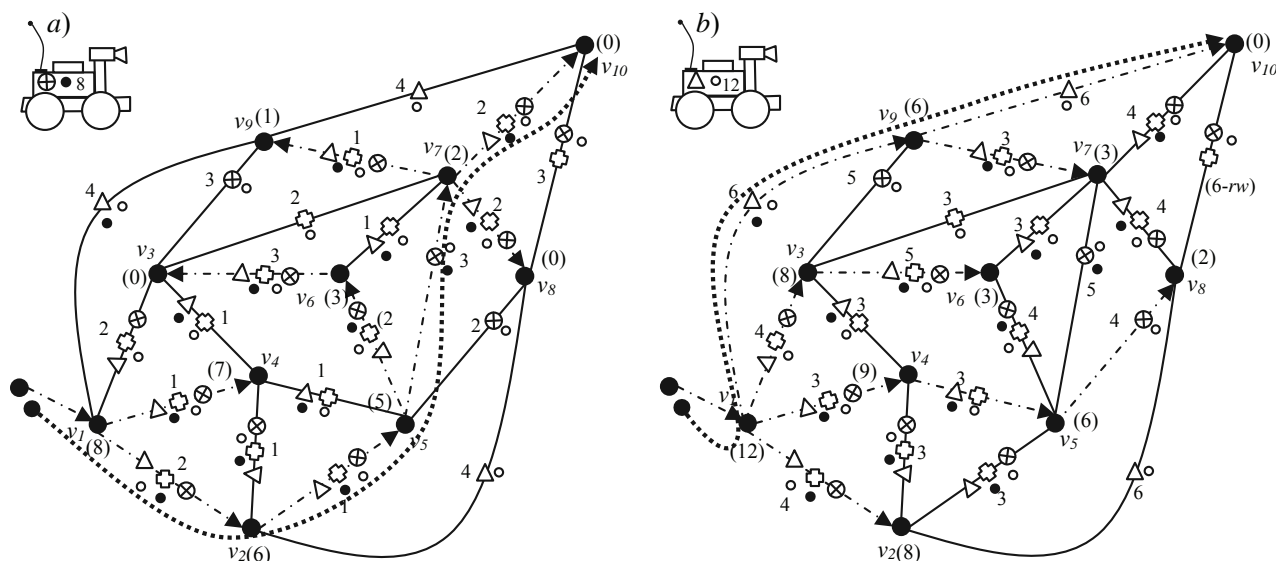
W ramach rozwiązania uzyskano wartości zasięgu  $pv_i$  dla każdego wierzchołka sieci połączeń. Wartości te określają minimalny zasięg między wierzchołkiem początkowym  $v_1$  a każdym wierzchołkiem w sieci. Uzyskane wartości pozwalają utworzyć drzewo rozpinające, którego gałąź łącząca  $v_1-v_{10}$  jest poszukiwaną marszrutą (rys. 5).



Rys. 5. Marszruta łącząca pomieszczenia  $v_1-v_{10}$ , dla robota  $PI = (12,2,2)$

Warto zauważyć, że uzyskana marszruta jest najlepszą dla zadanych parametrów robota inspekcyjnego. Robot osiąga pomieszczenie  $v_{10}$  całkowicie „wyczerpany” ( $pv_{10} = 0$ ). Oznacza to, że w przypadku robotów średnich, klasy II, minimalny zasięg konieczny do pokonania drogi między pomieszczeniami  $v_1 - v_{10}$  wynosi 12. Nie oznacza to jednak, że uzyskana marszruta jest najlepsza w przypadku innych konfiguracji robota inspekcyjnego.

Na rys. 6 przedstawiono marszrutę dla przykładowych konfiguracji robotów. Osiągnięcie pomieszczenia  $v_{10}$ , w zadanej sieci, przez robota dużego, klasy II, wymaga już zasięgu 8 (rys. 6a).

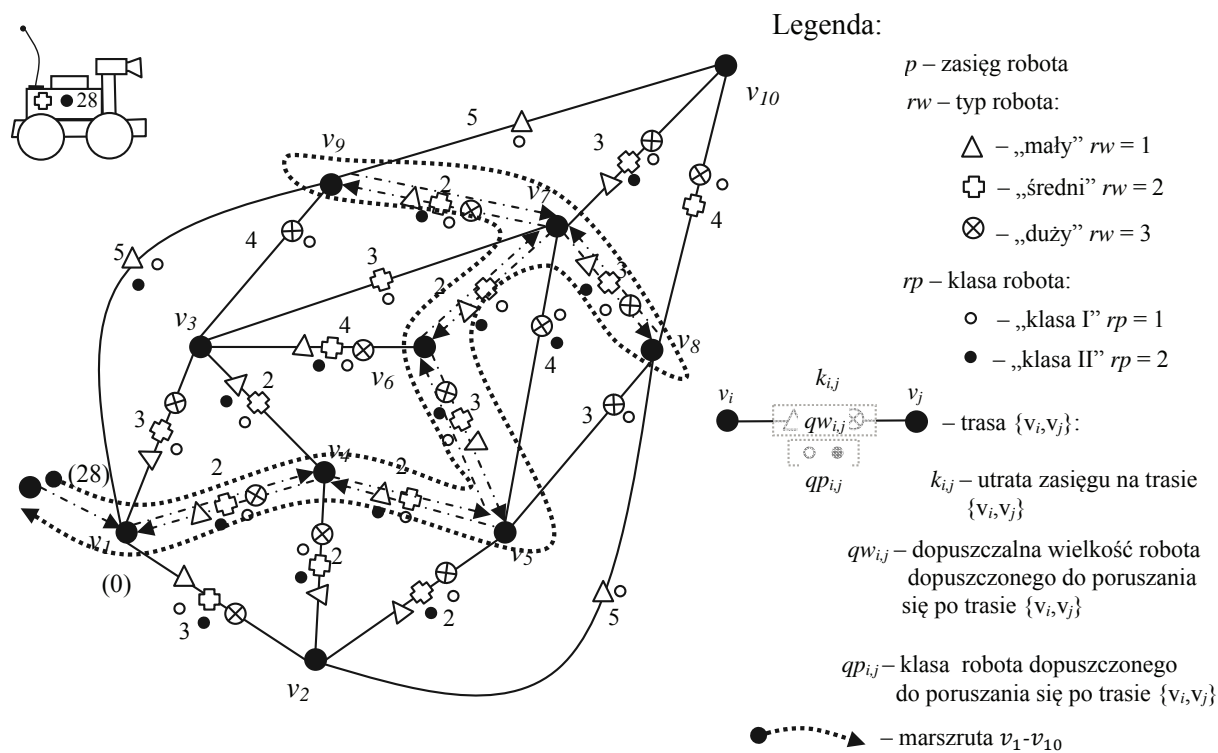


Rys. 6. Przykładowe marszruty robotów inspekcyjnych: a) dla robota  $PI = (8,3,2)$ , b) dla robota  $PI = (12,1,1)$

**Przykład II.** Celem przykładu jest ilustracja w yznaczenia marszruty łączącej, z wybranego pomieszczenia startowego, podzbiór pomieszczeń w zadanej sieci połączeń.

Dana jest sieć połączeń jak na rys. 1. Dany jest zbiór pomieszczeń przeznaczonych do inspekcji  $V^* = \{v_5, v_9, v_8\}$ . Dany jest robot inspekcyjny  $PI$  typu „średni” ( $rw = 2$ ), „klasy II” ( $rp = 2$ ) i zasięgu 28 ( $p = 28$ ),  $PI = (28,2,2)$ . Robot rozpoczyna swoją marszrutę w pomieszczeniu  $v_1$ .

Poszukiwana jest odpowiedź na pytanie: Czy w zadanej sieci można wyznaczyć marszrutę łączącą, z pomieszczenia startowego  $v_1$ , zbiór pomieszczeń  $V^*$ , którą jest w stanie pokonać robot  $PI$  bez przekroczenia zadanego limitu zasięgu?



Rys. 7. Marszruta łącząca pomieszczenia  $v_1, v_5, v_9, v_8$  dla robota  $PI = (28,2,2)$



Przedstawiony problem należy do klasy II. Jego rozwiązanie sprowadza się do iteracyjnego rozwiązania problemu I, w którym kolejno poszukiwane są m marszruty łączące pary wierzchołków zbioru  $V^* \cup v_1$ .

Problem został zaimplementowany w środowisku programowania z ograniczeniami i Oz Mozart [13]. Pierwsze rozwiązanie dopuszczalne (marszruta łącząca wierzchołki  $v_1, v_5, v_9, v_8$ ) zostało uzyskane w wyniku przeszukania drzewa zawierającego 22 węzły, co wymagało realizacji 3 kroków propagacji ograniczeń.

Uzyskana marszruta została przedstawiona na rys. 7. Dla przyjętej konfiguracji robotów pokonuje zadaną trasę wykorzystując całkowity limit posiadanego zasięgu.

#### 4. PLANOWANIE AKCJI RATOWNICZYCH

Przedstawione przykłady wariantowania marszrut transportowych nie wyczerpują oczywiście wszystkich potencjalnie możliwych scenariuszy. W zależności od przyjętego modelu uwzględniającego np. parametry opisujące cechy charakterystyczne poszukiwanych (ratowanych) osób, np. cechy osobnicze związane z rozpoznanymi obrazami i dźwiękami, mową, zapachem, kolorem, kształtem itp. oraz wybrane parametry otoczenia zadane, np. rozkładem temperatur, promieniowaniem, rodzajem skażenia chemicznego i/lub bakteriologicznego możliwe są inne rozwiązania wymuszające przechodzenie na inne doraźnie bądź uprzednio zaplanowane warianty realizowanej misji [1, 2, 14, 15]. Przyjęcie modułowej, rekonfigurowanej struktury robotów pozwala rozważać kolejne scenariusze akcji ratowniczych związane np. z łączeniem się w jeden, mobilny zespół, kilku robotów niezależnie osiagających zadane po mieszczenie lub też z dekompozycją danej jednostki na mniejsze, roboty mobilne (np. latające lub pływające) mogące samodzielnie kontynuować zadaną misję.

Osobnym zagadnieniem jest możliwość planowania skoordynowanego (zsynchronizowanego) działania różnie rozmieszczonych robotów [5, 11, 12]. Warto zauważyć, że przy tych samych możliwych decyzyjnych, rozszerzając zbiór relacji (ograniczeń) wiążących otoczenie i poruszające się w nim roboty o dodatkowe ograniczenia narzucone na poszczególne pary, trójki, itd. robotów można rozważać różne warianty ich wzajemnie zsynchronizowanego współdziałania, związanego np. z wzajemnym położeniem robotów w czasie wykonywanej misji. Oznacza to możliwość wariantowania różnych scenariuszy planowanej misji – w tym samym środowisku te same roboty mogą realizować różne warianty planowanej misji.

Można wreszcie rozważyć sytuacje, w których np. w efekcie realizowanej misji ratowniczej poziom skażenia środowiska, wysokiej temperatury czy dostępnego tlenu pozwala na bezpieczne włączenie się ekip ratowniczych (pożarniczych, medycznych itp.). Planowanie tego typu akcji ratowniczych zakłada o oczywiście odpowiednie wyposażenie uczestniczących w nich robotów.

#### 5. ZAKOŃCZENIE

Istotą przedstawionego podejścia jest założenie, że każdy problem planowania misji systemu zespołu robotów mobilnych ujęty w modelu deklaratywnym można sprowadzić do pewnego problemu spełnienia ograniczeń. Oznacza to, możliwość szybkiego potwierdzenia, bądź też braku jakiegokolwiek rozwiązania dopuszczalnego, bądź też z zbioru dopuszczalnych

rozwiązań alternatywnych. W ostatnim przypadku istnieje możliwość poszukiwania dodatkowych ograniczeń pozwalających na kolejne selekcje rozwiązań.

W przypadku braku jakichkolwiek rozwiązań dopuszczalnych zawsze istnieje możliwość sformułowania problemu odwrotnego. Przykładowe sformułowanie tego typu problemu sprowadza się do poszukiwania odpowiedzi na pytanie związane z parametrami jakie winny charakteryzować zespół robotów mobilnych, zagwarantowanie których umożliwi spełnienie zakładanej misji w danym środowisku i występującym w nim zagrożeniu. Reasumując, proponowane podejście składające się na pewną metodykę wariantowania misji zespołu inteligentnych, inspekcyjno-ratowniczych robotów mobilnych w sytuacjach wymagających działań antykrzysowych i antyterrorystycznych może być również wykorzystane w szeregu innych zadań np. związanych z kompletacją zespołów projektowych lub partnerów przedsięwzięć outsourcingowych.

## BIBLIOGRAFIA

1. Ambroszkiewicz S., Bartyna W., Faderewski M., Terlikowski G., Multirobot system architecture: environment representation and protocols, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences* Vol. 58, No. 1, 2010, 3–13.
2. Baker, M., Casey, R., Keyes, B., Yanco, H. A., Improved Interfaces for Human-Robot Interaction in Urban Search and Rescue. *Proceedings of the IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, October, 2004.
3. Achmed B. S., Będkowski J., Lubasiński Ł., Masłowski A., Robot Localization based on Geo-referenced Image and Graphic Methods, *Robotics for risky interventions and surveillance of the environment RISE 2008 Benicassim – SPAIN*, 07–08, January, 2008.
4. Będkowski J., Masłowski A., Cognitive Theory – Based Approach for Inspection using Multi Mobile Robot Control, *The 7<sup>th</sup> IARP International Workshop HUDEM'2008*, AUC, Cairo, March 28–30, 2008.
5. Będkowski J., Kowalski G., Masłowski A., Wielorobotowy mobilny system inspekcyjno-interwencyjny, *X Krajowa Konferencja Robotyki KKR*, 2008.
6. Będkowski J., Kowalski P., Masłowski A., Inteligencja obliczeniowa w zastosowaniu do kognitywnego nadzorowania systemu wielu robotów pracujących w sieci, *PAR* 2/2009, s. 312–321.
7. Bocewicz G., Bach I., Banaszak Z., Logic-algebraic method based and constraints programming driven approach to AGVs scheduling. In: *International Journal of Intelligent Information and Database Systems*, Vol.3, No 1, 2009, 56–74.
8. Bocewicz G., Banaszak Z., Wójcik R., Design of admissible schedules for AGV systems with constraints: a logic-algebraic approach. In: *Agent and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications*, Nguyen N.T., Grzech A., et al. (Eds.), *Lecture Notes in Artificial Intelligence* 4496, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007, 578–587.
9. Bocewicz G., Banaszak Z., Cyclic processes scheduling. In: *Applied Computer Science*, Vol. 6, No. 2, 2010, (w druku).
10. Bocewicz G., Wójcik R., Banaszak Z., AGVs distributed control subject to imprecise operation times. In: *Agent and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications*,

Lecture Notes in Artificial Intelligence, LNAI, Springer-Verlag, Vol. 4953, 2008, 421–430.

11. Siemiątkowska B., Uniwersalna metoda modelowania zachowań robotów mobilnego wykorzystująca architekturę uogólnionych sieci komórkowych, Oficyna Wydawnicza PW, 2009.
12. Skrzypczyński P., Jednoczesna samolokalizacja i budowa mapy: podejście probabilistyczne, Problemy robotyki TO MI, ISSN 0137-2343, strony 3–22, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2008.
13. Schulte CH., Smolka G., Wurtz J., Finite Domain Constraint Programming in Oz, DFKI OZ documentation series, German Research Center for Artificial Intelligence, Stuhlsaltzenhausweg 3, D-66123 Saarbrücken, Germany, 1998.
14. Trouvain B., Schlick C., A Study of Audio and Visual Context Switch Indicators in a Multirobot Navigation Task. Proceedings of the Conference on Systems, Man, and Cybernetics, The Hague, Netherlands, 2004.
15. Yanco H. A., Drury J., Classifying Human-Robot Interaction: An Updated Taxonomy. Proceedings of the IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics, Oct. 2004.