Grzegorz Bocewicz[1], **Krzysztof Bzdyra**[2]
Zbigniew Banaszak[3]

INTEGRACJA PROBLEMÓW DOBORU, ALOKACJI I PLANOWANIA DZIAŁAŃ ZESPOŁU MOBILNYCH ROBOTÓW INSPEKCYJNYCH: MODEL DEKLARATYWNY

Streszczenie. Rozważany problem doboru, alokacji i 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 strategia planowania struktury i alokacji elementów umożliwiająca w określonym horyzoncie czasu inspekcję zadanej liczby pomieszczeń. Proponowane podejście zilustrowane zostało na załączonych przykładach.
Słowa kluczowe: system robotów mobilnych, inspekcja pomieszczeń, programowanie z graniczeniami

WPROWADZENIE

Zgodnie z ustawą z dnia 26 kwietnia, 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym (zgodnie z późniejszymi zmianami) [13, 14], istota zarządzania kryzysowego (ang. crisis management, emergency management) [8, 9] sprowadza się do wypracowywania planów awaryjnych (ang. Disaster Recovery Planning) oraz planów działania procesów w kryzysie, tzw. planowania ciągłości działania (ang. Business Continuity Planning). Oznacza to, że wypracowywanie planów awaryjnych związane z projektowaniem zasad bezpieczeństwa odnosi się do prewencji, profilaktyki (działaniem „ex ante” wobec materializacji zagrożenia), zaś projektowanie planów działania procesów w kryzysie dotyczy diagnozy i terapii oraz kontynuowania działania w toku prac naprawczych (działania „ex post” wobec materializacji zagrożenia).

W szczególności, celem zarządzania kryzysowego [9] jest tworzenie planów awaryjnych na wypadek zajścia zdarzenia losowego (np. klęski, katastrofy, ataku terrorystycznego, wojny) oraz wskazywanie przyczyn, które trzeba usunąć, by powrócić do rutynowego działania systemu. Jego wagę potwierdzają m.in.

[1] Katedra Podstaw Informatyki i Zarządzania, Wydział Elektroniki i Informatyki, Politechnika Koszalińska.
[2] Katedra Podstaw Informatyki i Zarządzania, Wydział Elektroniki i Informatyki, Politechnika Koszalińska.
[3] Zakład Informatyki Gospodarczej, Wydział Zarządzania, Politechnika Warszawska.

badania zaistniałych szkód przeprowadzone w latach 1989-1996 w Wielkiej Brytanii dla małej i średniej wielkości przedsiębiorstw produkcyjnych, które wykazały, że w firmach, gdzie istniały plany awaryjne wielkość strat majątkowych związanych z występowaniem zdarzeń losowych była - dla tych samych klas zdarzeń - około 25% niższa w porównaniu do firm, które takiego planu nie przygotowały. Z kolei wydarzenia kilku ostatnich lat, a w szczególności zamachy terrorystyczne w Nowym Jorku, Madrycie i Londynie podkreślają konieczność utrzymywania na wysokim poziomie systemu reagowania kryzysowego (oprócz implementacji szerokiego wachlarza działań rozpoznawczych i prewencyjnych).

Spotykane w literaturze działania składające się na zarządzanie kryzysowe wyróżniają cztery fazy: zapobiegania (ang. mitigation), przygotowania (ang. preparedness), reagowania (ang. response) i odbudowy (ang. recovery). *W fazie zapobiegania* podejmowane są działania, mające na celu redukcję prawdopodobieństwa lub całkowitą eliminację wystąpienia zdarzenia losowego albo też w znacznym stopniu ograniczające jego skutki. *W fazie przygotowania* podejmowane są działania planistyczne dotyczące sposobów reagowania w chwili wystąpienia zdarzenia losowego, a także działania mające na celu powiększenie zasobów sił i środków niezbędnych do efektywnego reagowania. *W fazie reagowania* podejmowane są działania polegające na dostarczeniu pomocy poszkodowanym, zahamowaniu rozwoju występujących zagrożeń oraz ograniczeniu strat i zniszczeń. *W fazie odbudowy* podejmowane są działania mające na celu przywrócenie zdolności reagowania, odbudowę zapasów służb ratowniczych oraz odtworzenie infrastruktury krytycznej. W kontekście wcześniej wyróżnionych obszarów związanych z wypracowywaniem planów awaryjnych oraz planów działania, dwie pierwsze z wyżej przedstawionych faz składają się na pierwszy obszar, z kolei ostatnie dwie fazy na obszar drugi.

Przybliżenie występujących w tych obszarach zagadnień można zilustrować na przykładzie problematyki doboru, alokacji i planowania działań wykorzystania zespołu mobilnych robotów inspekcyjnych w zadaniach związanych z ochroną budynków i/lub terenów [1, 2, 5, 6, 10, 11]. Rosnący poziom urbanizacji środowiska, a także rosnące zagrożenie terrorystyczne czyni ostatni z wyżej wymienionych obszarów szczególnie aktualnym. Związane z tym zadania wiążą się m.in. z poszukiwaniem osób (np. ofiar wypadków) i/lub przedmiotów (np. ładunków wybuchowych) w budynkach, a także z ewakuacją osób i przedmiotów z zagrożonych pomieszczeń oraz neutralizacją zagrożeń (ładunków wybuchowych oraz środków aktywnych radiologicznie, chemicznie i biologicznie), a także z usuwaniem przeszkód (zawaleń, obsunięć) i udrażnianiem tras ewakuacyjnych.

Ograniczając się do zagadnień związanych z planowaniem działań rutynowych występujących w misjach typu inspekcja pomieszczeń budynków wielokondygnacyjnych, w celu poszukiwaniem ofiar i/lub przedmiotów zagrażających bezpieczeństwu celem dalszych rozważań jest dobór modelu deklaratywnego umożliwiającego integrację problemów doboru, alokacji i planowania działań zespołu mobilnych robotów inspekcyjnych. W tym kontekście poszukiwane są rodzaje dostępnych inspekcyjnych robotów mobilnych, ich ilości oraz miejsca dokowania gwarantujące inspekcję zadanych pomieszczeń w z góry ograniczonym horyzoncie czasu.

Przyjmując deklaratywny model problemu doboru, alokacji i planowania działań grupy robotów mobilnych w środowiska pomieszczeń zamkniętych zakłada się, że dla zadanego zbioru zmiennych decyzyjnych charakteryzujących środowisko pomieszczeń zamkniętych i przemieszczające się w nim roboty oraz zbioru ograniczeń wiążących te zmienne, poszukiwana jest strategia planowania struktury i alokacji elementów umożliwiająca w określonym horyzoncie czasu inspekcję zadanej liczby pomieszczeń.

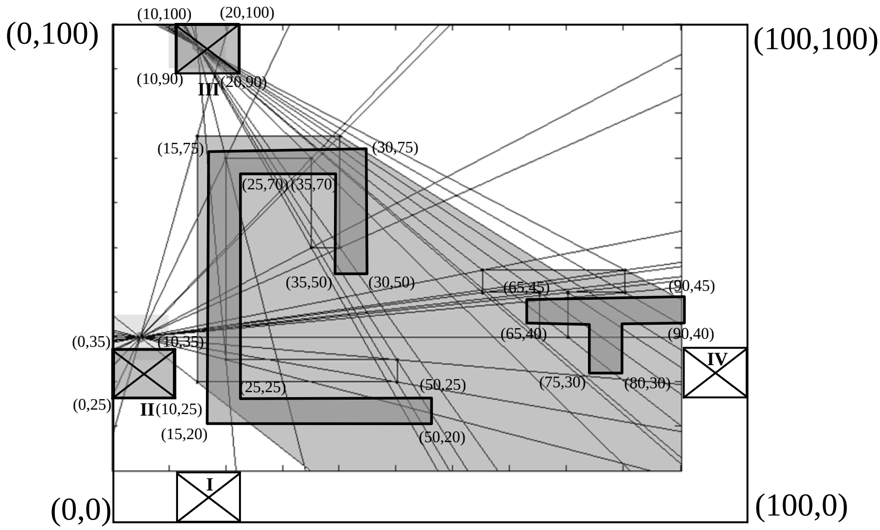
SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Rozważany dalej 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 [3, 4, 12]) formułowane są problemy poszukiwania marszrut transportowych i/lub ewakuacyjnych, a także marszrut inspekcyjno-rekonesansowych, ratowniczych itp.

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 to braku jakiegokolwiek rozwiązania dopuszczalnego, bądź też zbioru dopuszczalnych rozwiązań alternatywnych. W ostatnim przypadku istnieje możliwość poszukiwania dodatkowych ograniczeń pozwalających na kolejne selekcje rozwiązań.

Dany jest zespół robotów P o znanych parametrach (np. scharakteryzowanych przez: wymiary geometryczne, prędkość przemieszczania się itp.), znana jest przestrzeń przeszukiwania S (przyjmuje się, że obszar podlegający inspekcji specyfikują: kształt i rozmiar). W przestrzeni S rozmieszczone są przeszkody O (scharakteryzowane przez parametry determinujące ich kształt, rozmiar i położenie) ograniczające zasięg widzenia robotów. Przyjmując, że rozważany problem inspekcji sprowadza się do odpowiedzi na pytanie czy w danym pomieszczeniu (przeszukiwanej przestrzeni), oprócz znanych przedmiotów (przeszkód) znajdują się jeszcze jakieś inne obiekty można sformułować do jednej z niżej podanych postaci szczegółowych: Czy dane początkowe rozmieszczenie, zadanej liczby robotów o znanych parametrach gwarantuje przeszukanie całej przestrzeni S w zadanym horyzoncie czasu t_H? Ile robotów, gdzie rozmieszczonych i o jakich parametrach gwarantuje przeszukanie całej przestrzeni S w zadanym horyzoncie czasu t_H? Oba rodzaje pytań, odnoszące się do sformułowań odpowiednio problemu wprost i problemu wstecz łączy jedno, wspólne dla obu z nich pytanie: *Czy istnieją takie trajektorie ruchu poszczególnych robotów, które gwarantują przeszukanie całej przestrzeni S w zadanym horyzoncie czasu t_H ?*

Przez przeszukanie przestrzeni S rozumiane jest takie przemieszczanie robotów, które pozwala na przeszukanie całej przestrzeni S (tzn. obszaru niezajętego przez przeszkody). Na rys. 1 przedstawiono przykład dwuwymiarowej przestrzeni S (przestrzeń tą przedstawia widok z góry obszaru podlegającego inspekcji) z dwoma robotami (P_1, P_2) (o kształcie kwadratu) oraz dwoma przeszkodami (O_1, O_2). Kolorem jasno szarym oznaczony został obszar niewidoczny dla robota.



Legenda:

(vx_1,vy_1) (vx_2,vy_2)

(vx_4,vy_4) (vx_3,vy_3)

- robot inspekcyjny P_i o współrzędnych wierzchołków: (vx_1,vy_1), (vx_2,vy_2), (vx_3,vy_3), (vx_3,vy_3)

(vx_1,vy_1) (vx_2,vy_2)

(vx_4,vy_4) (vx_3,vy_3)

- *i*-ta przeszkoda o współrzędnych wierzchołków: (vx_1,vy_1), (vx_2,vy_2), (vx_3,vy_3), (vx_3,vy_3)

- obszar niewidoczny dla robotów

i

- *i*-ta potencjalna pozycja początkowa Ps_i

Rys. 1. Przestrzeń S z jednym robotem i trzema przeszkodami

MODEL DEKLARATYWNY

W przyjętym modelu zakłada się, że zarówno przestrzeń S, zespół robotów P jak i przeszkody O reprezentowane są przez obiekty dwuwymiarowe (wielokąty proste). Formalnie wielkości te definiowane są następująco:

- S - przestrzeń przeszukiwania reprezentowana przez wielokąt prosty postaci:

$$S = (s_1, s_2, \dots, s_n)\ , \tag{1}$$

gdzie: $s_i = (sx_i, sy_i)$ – *i*-ty wierzchołek wielokąta o współrzędnych sx_i, sy_i (współrzędne wyrażane są w układzie kartezjańskim): $(sx_i, sy_i) \in \mathbf{R}^2$.

- P - zespół robotów:

$$P = (P_1, P_2, \dots, P_m) , \tag{2}$$

gdzie: $P_i = (p_{i,1}, p_{i,2}, \dots, p_{i,l(i)})$ – wielokąt prosty reprezentujący *i*-ty robot inspekcyjny, $p_{i,j}$ - wierzchołek wielokąta P_i o współrzędnych $(px_{i,j}, py_{i,j}) \in \mathbf{R}^2$, $l(i)$ – liczba wierzchołków wielokąta P_i, m – liczba robotów inspekcyjnych.

- O – sekwencja przeszkód:

$$O = (O_1, O_2, \dots, O_k) , \tag{3}$$

gdzie: $O_i = (o_{i,1}, o_{i,2}, \dots, o_{i,lo(i)})$ – wielokąt prosty reprezentujący *i*-tą przeszkodę, $o_{i,j}$ - wierzchołek przeszkody O_i o współrzędnych $(ox_{i,j}, oy_{i,j}) \in \mathbf{R}^2$, $lo(i)$ – liczba wierzchołków przeszkody O_i, k – liczba przeszkód.

Zakłada się, że przeszkody O leżą wewnątrz przestrzeni S, związek ten opisuje ograniczenie:

$$S \cap O_i = O_i, \qquad \forall i \in \{1, \dots, k\}, \tag{4}$$

gdzie: $A \cap B$ - część wspólna obszarów ograniczonych wielokątami A, B.

Dla robotów inspekcyjnych P definiowane są ponadto:

- $w(P_i)$ – zasięg widzenia *i*-tego robota reprezentowany jest przez wielokąt dowolny wyznaczany, jako:

$$w(P_i) = S \quad b(P_i) \tag{5}$$

gdzie: $b(P_i)$ – wielokąt dowolny reprezentujący obszar niewidoczny dla *i*-tego robota (obszar oznaczony na Rys. 1 kolorem szarym).

$A \setminus B$ – różnica zbiorów A , B ; przez zbiory A , B rozumie się zbiory punktów przestrzeni ograniczonej wielokątami A , B .

Na rys. 1 obszar oznaczony białym kolorem (tło przestrzeni S) jest traktowany jako zasięg widzenia robota P_1 .

- $W(P)$ – zasięg widzenia zespołu robotów:

$$W(P) = \bigcup_{i=1}^{m} w(P_i) \quad , \tag{6}$$

gdzie:

$$\bigcup_{i=1}^{k} A_i = A_1 \cup A_2 \cup \cdots \cup A_k \quad , A_i \cup A_j$$

- T_i – trajektoria robota P_i, stanowiąca sekwencję kolejnych pozycji robota P_i :

$$T_i = (P_i^1, P_i^2, \dots, P_i^q) \quad , \tag{7}$$

gdzie: P_i^j – wielokąt prosty reprezentujący położenie *i*-tego robota w *j*-tym kroku, zakłada się, że położenie początkowe określone jest przez P_i, $P_i^1 = P_i$,

q – długość trajektorii T_i, (zakłada się, że każda trajektoria ma tą samą długość tzn. każdy robot realizuję tę samą liczbę kroków).

- $t(T_i)$ – czas przebycia trajektorii T_i, wyznaczany z zależności:

$$t(T_i) = \sum_{j=1}^{q-1} \Delta t(P_i^j, P_i^{j+1}) \quad , \tag{8}$$

gdzie: $\Delta t\left(P_i^j, P_i^{j+1}\right)$ – czas przemieszczenia się *i*-tego robota między kolejnymi pozycjami P_i^j , P_i^{j+1} .

W rozważanym przypadku przyjęto, że czas przemieszczania jest stały w każdym kroku i niezależny od rodzaju robota: $\Delta t\left(P_i^j, P_i^{j+1}\right) = \Delta t$, stąd:

$$t(T_i) = (q-1)\cdot\Delta t \quad , \forall i \in \{1, \dots, m\} \tag{9}$$

Wprowadzone pojęcia umożliwiają formalne sformułowanie postawionego problemu.

***Sformułowanie problemu*:**

Dane są: S , P , O. Czy istnieje zbiór trajektorii $T = \{T_1, T_2, \dots, T_m\}$, spełniający ograniczenia:

$$t(T_i) \le t_H \quad , \forall i \in \{1, \dots, m\}, \tag{10}$$

$$\bigcup_{i=1}^{m} \bigcup_{j=1}^{q} \left[w\left(\left[P_i \right]^{j} \right) \right] = S\left(\bigcup_{i=1}^{k} O_i \right), \tag{11}$$

$$S \cap P_i^j = P_i^j, \qquad \forall i \in \{1, \dots, m\}, \qquad \forall j \in \{1, \dots, q\}, \tag{12}$$

$$\left(\bigcup_{l=1}^{k} O_l \right) \cap P_i^j = \emptyset, \qquad \forall i \in \{1, \dots, m\}, \qquad \forall j \in \{1, \dots, q\}, \tag{13}$$

$$P_a^i \cap P_b^i = \emptyset, \qquad a \neq b, \qquad \forall a, b \in \{1, \dots, m\}, \qquad \forall i \in \{1, \dots, q\}, \tag{14}$$

Interpretacja ograniczeń (10) ÷ (14) jest następująca. Czas ukończenia przebycia trajektorii każdego robota ograniczony jest przez wartość zadanego horyzontu czasu t_H (10). Cała przestrzeń S (z wykluczeniem obszarów zajętych przez przeszkody O), powinna być w zasięgu widzenia zespołu robotów przemieszczających się wzdłuż trajektorii T (11). W trakcie przemieszczania roboty nie powinny: opuszczać obszaru określony przestrzenią S (12), zajmować wspólnego obszaru z przeszkodami O (13) oraz zajmować wspólny obszar z innymi robotami (14).

Problem Spełnienia Ograniczeń

Sformułowany problem, w sposób naturalny może być wyrażony w kategoriach Problemu Spełniania Ograniczeń (PSO) [3], [4], [12] gdzie rolę zmiennych decyzyjnych pełni zbiór trajektorii T , a pozostałe wielkości (S , P , O , t_H, Δt) traktowane są jako stałe. Z kolei zbiór ograniczeń C zawiera ograniczenia (10) ÷ (14), gdzie P_i^j są składowymi poszukiwanych trajektorii $T_i \in T$. Problem tego typu definiowany jest następująco:

$$PS = \left((T, D_T), C\right), \tag{15}$$

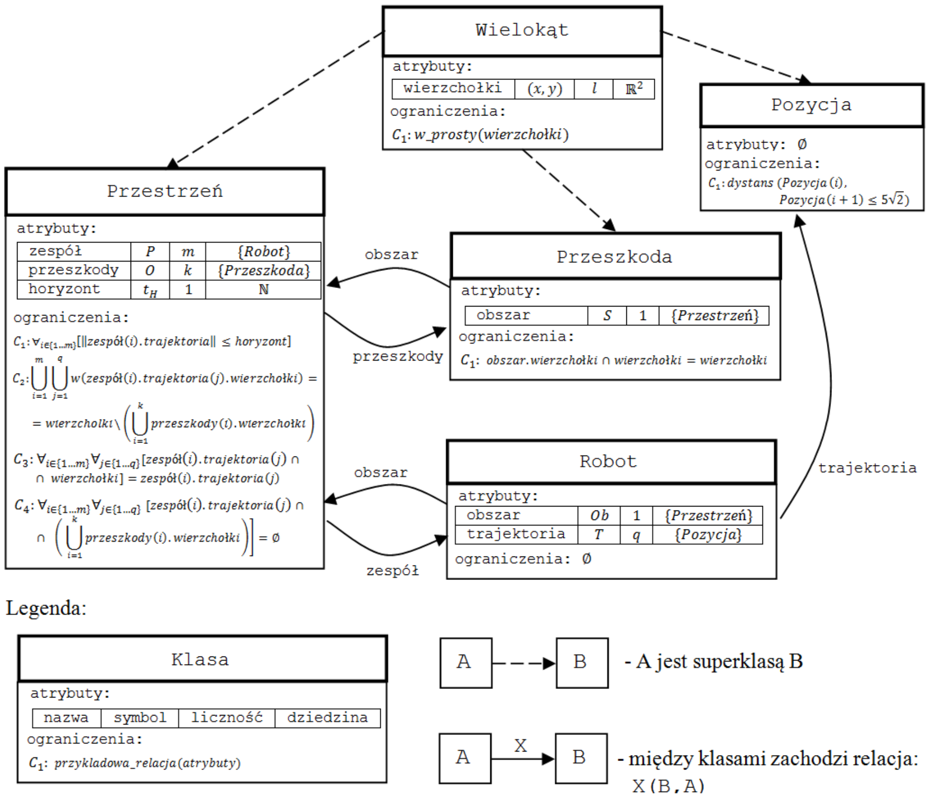
gdzie: T – zbiór zmiennych decyzyjnych (trajektorii), $T = \{T_1, T_2, \ldots, T_m\}$,

D_T – rodzina dziedzin zmiennych decyzyjnych, $D_T = \{D_{T_1}, D_{T_2}, \ldots, D_{T_m}\}$, D_{T_i} - dziedzina zmiennej T_i określająca rodzinę trajektorii *i*-tego robota,

C – zbiór ograniczeń zawierający ograniczenia (10) ÷ (14).

Przez rodzinę trajektorii rozumie się w tym przypadku zbiór dopuszczalnych tras wzdłuż, których może poruszać się robot wewnątrz zadanej przestrzeni. Ze względu na dużą ich liczbę zbiór ten reprezentowany jest przez przestrzeń (w tym przypadku wielokąt) określającą obszar pozycji osiągalnych przez robota.

Należy zwrócić uwagę, że rozwiązanie PSO (15), polegające na znalezieniu trajektorii T spełniających zadane ograniczenia, pozwala na udzielenie odpowiedzi na pytanie *Czy istnieją takie trajektorie ruchu poszczególnych robotów, które gwarantują przeszukanie całej przestrzeni* S *w zadanym horyzoncie czasu* t_H? Sformułowane PSO (15) jest więc dedykowane tylko dla problemów w ramach, których poszukuje się trajektorii robotów. Jak już wspomniano, w ogólnym przypadku pytania mogą dotyczyć nie tylko parametrów (kształtów, liczby itp.) robotów, ale i przestrzeni, przeszkód itp. Możliwość udzielania odpowiedzi na tego typu pytania determinuje konieczność posiadania swoistej metawiedzy pozwalającej na formułowanie PSO w zależności od charakteru rozwiązywanego problemu.



Rys. 2. Struktura klas systemu inspekcyjnego

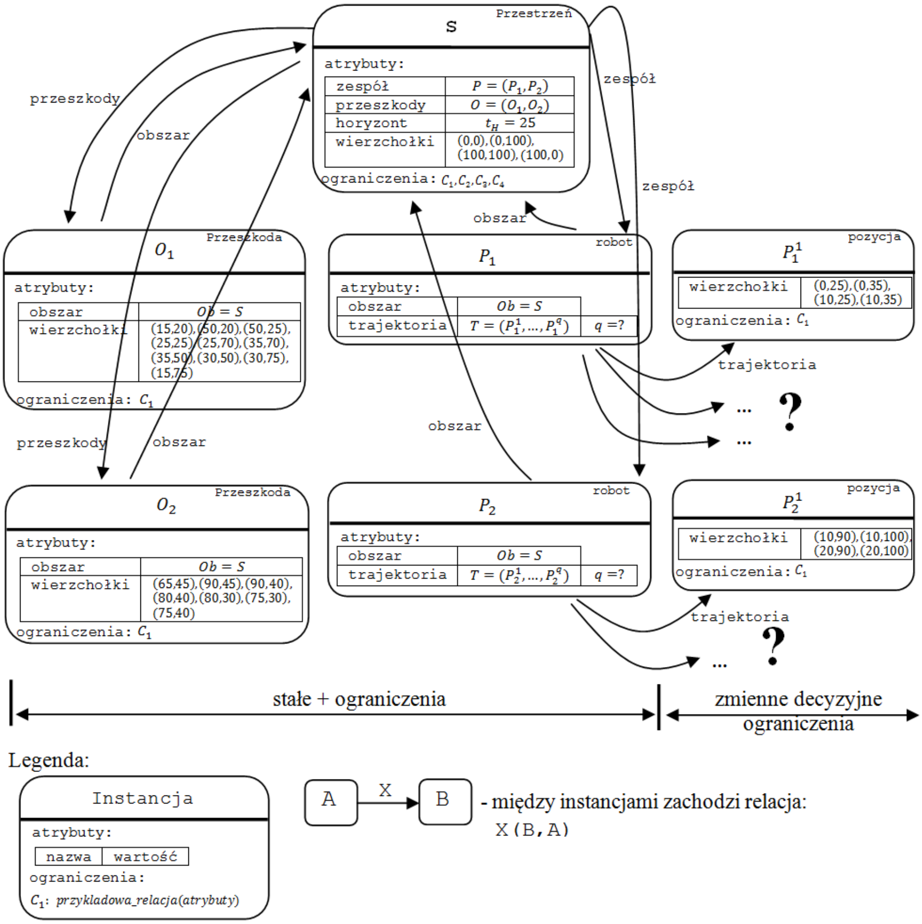
W zaproponowanym podejściu rolę tego typu wiedzy pełni struktura klas (Ontologia) - rys. 2. Zakłada się, że każdy „byt" charakteryzowanego środowiska (przestrzeń, przeszkody, roboty, itp.) reprezentowany jest przez klasę determinującą dopuszczalne potencje możliwych instancji. Każda klasa opisywana jest przez zbiór atrybutów (cech) oraz ograniczeń (relacji) określających wzajemne związki między wartościami atrybutów. Przykładowo klasa Przeszkoda określa dopuszczalne kształty przeszkód, które mogą zostać umieszczone w przestrzeni – przeszkoda nie może być większa od przestrzeni i musi leżeć wewnątrz niej (ograniczenie C_1 tej klasy). Klasy oddziałują na siebie nawzajem (relacje pomiędzy klasami) - rozmiar przeszkody wymusza minimalny rozmiar przestrzeni i odwrotnie rozmiar przestrzeni wymusza rozmiar przeszkody.

Struktura klas tego typu odwzorowuje możliwe związki, jakie mogą zaistnieć między utworzonymi instancjami. Nie określa ona jednak konkretych instancji (zarówno ich liczby jak wartości atrybutów), a także w odróżnieniu od PSO nie wskazuje na niewiadome (zmienne decyzyjne), których wartości poszukuje się ramach rozwiązywania określonego problemu. Stanowi jednak platformę do konstrukcji PSO różnego rodzaju.

Budując PSO określa się instancje wybranych klas, które determinować będą stałe (wartości atrybutów) oraz część zbioru ograniczeń (ograniczenia instancji). Instancje nieokreślone, ale będące wynikiem wzajemnego oddziaływania klas determinują zmienne decyzyjne oraz pozostałe ograniczenia.

Przykład takiej instancji przedstawiony został na rys. 3. Zdefiniowane zostały, dwa roboty (wraz z pozycjami początkowymi), dwie przeszkody oraz przestrzeń przeszukiwania (dane odpowiadają systemowi z rys. 1). Istnienie instancji klasy Robot wymusza istnienie co najmniej jednej instancji Pozycja. Ograniczenia instancji klasy Przestrzeń wymuszają na robotach taką ilość pozycji trajektorii by odkryta została cała przestrzeń. Pozycje te nie zostały zadane, więc traktowane są, jako niewiadome. Chcąc wiedzieć czy możliwe jest przeszukanie całej przestrzeni należy stwierdzić czy istnieją kolejne instancje klasy Pozycja tak by spełnione zostały wszystkie ograniczenia. Innymi słowy struktura przedstawiona na rys. 3 odpowiada problemowi PSO, w którym poszukiwane są trajektorie robotów. Struktura ta odwzorowuje problem (15) dla systemu inspekcyjnego z rys. 1. W ogólnym przypadku różne struktury instancji determinują różne PSO.

W ogólnym przypadku PSO uzyskiwane z zadanej struktury klas mogą należeć do grupy problemów charakteryzujących się zmienną liczbą zmiennych decyzyjnych i ograniczeń [6] (PSO (15) należy do tej grupy). Z uwagi na dużą złożoność obliczeniową tego typu problemów do ich rozwiązania zaproponowany został heurystyczny (ukierunkowujący sposób dystrybucji zmiennych) algorytm poszukiwania zbioru trajektorii T . $\mathbf{FeasiblePositions}$ [6].



Rys. 3. Instancje dla problemu PSO (15)

WARIANTOWANIE STRUKTURY WIELOOBROTOWEGO SYSTEMU INSPEKCYJNEGO

Przedstawione ilustracje wariantowania struktury wieloobrotowego systemu inspekcyjnego odpowiadają pierwszemu z wcześniej przedstawionych sformułowań problemu, problem doboru, alokacji i planowania działań grupy robotów – problemowi wprost. Dana jest przestrzeń przeszukiwania S jak na rys. 1:

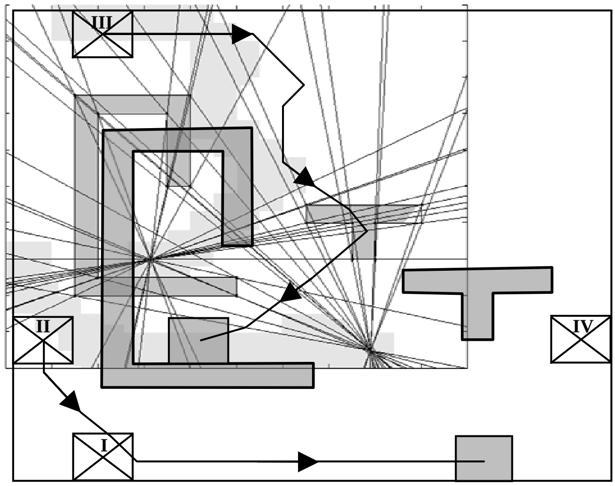
$$S = ((0,0),(0,100),(100,100),(100,0)).$$

W przestrzeni rozmieszczone są dwie przeszkody O_1, O_2 o współrzędnych wierzchołków:

$O_1 1 = ((15,20),(50,20),(50,25),(25,25),(25,70),(35,70),(35,50),$ $(30,50),(30,75),(15,75))$,

$O_2 = ((65,45),(90,45),(90,40),(80,40),(80,30),(75,30),(75,40))$.

Dane są dwa roboty inspekcyjne P_1 i P_2 o kształcie kwadratu (wymiary 10×10). W przestrzeni S wyróżniono 4 pozycje początkowe (Ps_1, Ps_2, Ps_3, Ps_4), od których roboty inspekcyjne mogą rozpoczynać pracę: $P_1, P_2 \in \{Ps_1, Ps_2, Ps_3, Ps_4\}$. Przyjmuje się, że każdy robot w jednym kroku może przebyć odległość nie większą niż: $\Delta d = 5\sqrt{2}$ (co odpowiada połowie przekątnej kwadratu reprezentującego roboty), natomiast czas przemieszczania każdego robota w ramach jednego kroku wynosi $\Delta t = 1$ u.j.c. (umownych jednostek czasu).



Legenda:

(vx1,vy1) (vx2,vy2)

(vx4,vy4 (vx3,vy3)

- robot inspekcyjny P_i o współrzędnych wierzchołków: (vx1,vy1), (vx2,vy2), (vx3,vy3), (vx3,vy3)

(vx1,vy1 (vx2,vy2)

(vx4,vy4 (vx3,vy3)

- *i*-ta przeszkoda o współrzędnych wierzchołków: (vx1,vy1), (vx2,vy2), (vx3,vy3), (vx3,vy3)

i

- *i*-ta potencjalna pozycja początkowa Ps_i

- kolejne pozycje trajektorii T_i

Rys. 4. Rozwiązanie dla pozycji początkowych Ps_2 , Ps_3

Dana jest przestrzeń S jak na rys. 1, w której zespół robotów P w skład, którego wchodzą dwa identyczne roboty mobilne w kształcie kwadratu (wymiary 10×10). Założenia dotyczące ruchu robotów są takie jak w przykładzie I ($\Delta d = 5\sqrt{2}$, $\Delta t = 1$ u.j.c.).

Poszukiwana jest odpowiedź na pytanie: *Czy istnieje tak kombinacja pozycji początkowych* $P_1, P_2 \in \{Ps_1, Ps_2, Ps_3, Ps_4\}$, *której odpowiadają trajektorie (*T_1, T_2*), pozwalające na przeszukanie całej przestrzeni* S *w czasie nie przekraczającym* t_H *= 25 u.j.c*? Problem został sformułowany, jako PSO (15) i rozwiązany przy użyciu algorytmu .

Na rys. 4 przedstawiono otrzymane rozwiązanie dla pozycji początkowych Ps_2, Ps_3. Obydwie trajektorie T_1, T_2 wymagają realizacji 24 kroków co odpowiada 24u.j.c. – założony horyzont t_H nie został przekroczony.

Odpowiedź na postawione pytanie jest następująca: rozważany zespół dwóch robotów przeszuka całą przestrzeń S w czasie nieprzekraczającym 24 u.j.c. jeżeli rozpoczną pracę z pozycji Ps_2, Ps_3.

W tabeli 1 przedstawiono zastawienie czasów wyznaczania trajektorii w przestrzeni S przy różnej liczbie robotów i dla różnych pozycji początkowych.

Tabela 1. Czas wyznaczania trajektorii dla różnej ilości robotów inspekcyjnych

Liczba robotów m	**Pozycje początkowe**	**Liczba kroków**	**Czas rozwiązania [s]**
1	Ps_1	42*	295
	Ps_2	44*	310
	Ps_3	30*	206
	Ps_4	33*	228
2	Ps_1, Ps_2	30*	203
	Ps_1, Ps_3	20	142
	Ps_1, Ps_4	16	113
	Ps_2, Ps_3	24	174
	Ps_2, Ps_4	25	179
	Ps_3, Ps_4	23	169
3	Ps_1, Ps_2, Ps_3	23	167
	Ps_1, Ps_2, Ps_4	20	146
	Ps_1, Ps_3, Ps_4	17	126
	Ps_2, Ps_3, Ps_4	17	125
4	Ps_1, Ps_2, Ps_3, Ps_4	16	108

* - brak rozwiązania, przestrzeń S nie została odkryta zadanym horyzoncie

ZAKOŃCZENIE

Warto dodać, że spośród wielu potencjalnych zadań, z zakresu zarządzania kryzysowego, wchodzących w zakres misji zespołu inspekcyjnych robotów mobilnych warto wymienić: wykonywanie zadań związanych z monitorowaniem zagrożeń, z oceną skutków zjawisk zaistniałych na obszarze występowania zagrożeń, wykonywanie zadań poszukiwawczo-ratowniczych, usuwanie materiałów niebezpiecznych i ich unieszkodliwianie, likwidowanie skażeń chemicznych oraz skażeń i zakażeń biologicznych, usuwanie skażeń promieniotwórczych, wykonywanie zadań związanych z naprawą i odbudową infrastruktury technicznej, współudział w zapewnieniu przejezdności szlaków komunikacyjnych, a także współudział w ochronie mienia pozostawionego na obszarze występowania zagrożeń. Zagadnienia tej klasy znajdują swoje zastosowanie w szeregu innych dziedzinach związanych np. inspekcją parkingów i/lub podziemnych garaży, sprzątaniem pomieszczeń itp.

Przedstawione rozwiązanie wpisuje się w oczekiwania związane z budową metodyki wariantowania złożonych systemów wieloobrotowych systemów obejmujących grupy współpracujących, autonomicznych robotów mobilnych. W szczególności oczekiwania związane ze skalowalnością, rozszerzalnością i odpornością algorytmów koordynacji działań grupy robotów mobilnych w sposób naturalny gwarantowane są strukturą problemu PSO, tzn. zbiorem zmiennych, dziedzin ich zmienności oraz zbiorem ograniczeń. Struktura ta pozwala uwzględniać wszelkie rozszerzenia tak w zakresie floty robotów jak i środowiska, w którym realizują one swoje zadania. Naturalną, również wynikającą ze struktury PSO zaletą proponowanego ujęcia deklaratywnego jest możliwość formułowania różnych pytań (problemów typu wprost i wstecz) jak i implementowania strategii poszukiwania rozwiązań, strategii uwzględniających specyfikę rozważanej klasy zagadnień.

Przedstawione badania będą kontynuowane w zakresie przemieszczania się robotów w formacjach (np. robot rozpoznawczy poprzedza robota ewakuacyjnego) oraz w sytuacjach, w których roboty wykrywają swoją wzajemna obecność, a także muszą podejmować decyzje unikające wzajemnych zakleszczeń. Osobny kierunek badań implikowany niepełną lub zakłóconą informacją o systemie, środowisku i obiekcie, wiąże się z koniecznością zastosowania rozmytych systemów wnioskujących [7]. Potrzeba taka wymaga opracowania odpowiednich, rozmytych modeli problemu spełnienia ograniczeń oraz związanych z nimi procedur podejmowania decyzji.

LITERATURA

1. Będkowski J., Kowalski G., Masłowski A., Wielorobotowy mobilny system inspekcyjno-interwencyjny, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej: Elektronika, 2008, z. 166, Tom 2, 695-702.

2. Bocewicz G., Banaszak Z., Deklaratywny model mobilnego systemu inspekcyjnego. Automation, 2011.
3. 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.
4. 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.
5. Bocewicz G., Banaszak Z., Cyclic processes scheduling. In: Applied Computer Science: Production engineering IT-driven concepts, Bzdyra K., Mleczko J. (Eds), Vol. 6, No. 2, 2010, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 41-70.
6. Bocewicz G., Bzdyra K., Banaszak Z., Wariantowanie struktury wieloobrotowych systemów inspekcyjnych, W: Inżynieria Produkcji, Bielsko-Biała 2010.
7. 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.
8. Borodzicz, E. P., Risk, Crisis and Security Management. West Sussex, England: John Wiley and Sons Ltd., 2005, pp. 256.
9. Nowak E., Zarządzanie kryzysowe w sytuacjach zagrożeń niemilitarnych. AON, Warszawa, 2007, pp. 227.
10. Panfil W., Moczulski M., System sterowania grupą robotów inspekcyjnych - opis badań wstępnych. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej: Elektronika, Z. 175, Tom 1, 2010, 161-174.
11. Puchan D., Skrzypczyński P., Perspektywy wykorzystania robotów mobilnych w działaniach poszukiwawczych podczas katastrof budowlanych, Pomiary Automatyka Robotyka, PAR, nr 2/2008, 398–409.
12. 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 Saarbrucken, Germany, 1998.
13. Ustawa z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym, Dz.U. 2007 nr 89 poz. 590.
14. Ustawa z dnia 29 października 2010 r. o zmianie ustawy o zarządzaniu kryzysowym, Dz.U.2010 nr 240 poz. 1600.

INTEGRATED APPROACH TO SELECTION, DOCKING AND ROUTING PLANNING OF MULTI MOBILE ROBOT INSPECTION SYSTEM: DECLARATIVE MODELING PERSPECTIVE

Abstract

Declarative modeling provides attractive perspective for integrated approach to selection, docking and routing planning of multi mobile robot inspection system problem formulation. For given set decision variables describing indoor environment and acting robots as well as the set of constraints limiting these variables robots' navigation strategy is sought out. The solution should respond to the question: what kind and how many and in which way initially docked robots enable to inspect a given indoor environment within a given time horizon? The approach proposed is illustrated on multiple examples.

Key words: multi mobile robot system, indoor inspection, constraints programming.

.