

---

# Reprezentacja przestrzenna środowiska na podstawie kognitywnych map obiektowych\*

Stanisław Ambroszkiewicz<sup>1</sup>

---

## Streszczenie

W pracy przedstawiono reprezentację środowiska opartą na koncepcji mapy obiektowej będącej zbiorem obiektów hierarchicznie uporządkowanych. Relacja hierarchii pomiędzy dwoma obiektami polega na tym, że jeden z tych obiektów (podrzędny) jest integralną częścią swojego obiektu nadrzędnego i samoistnie nie może istnieć. Hierarchia ta pozwala na automatyczne wyliczanie ścieżek na mapie. Relacja hierarchii, jakkolwiek kluczowa w proponowanym podejściu, nie wyklucza wprowadzania innych relacji przestrzennych i fizycznych. Proponowana reprezentacja jest wykorzystana w naszych badaniach i eksperymentach nad współdziałaniem heterogenicznych robotów w realizacji złożonych zadań.

## 1. WSTĘP

Reprezentacja środowiska, w której działają roboty jest niezbędna do dobrego ich funkcjonowania. Czasami taka reprezentacja jest wszyta w ich oprogramowanie i wtedy roboty są dedykowane do realizacji specjalnych celów w ściśle wyznaczonym środowisku. Nie o taką reprezentację tutaj chodzi. Powinna być ona jawna zaś jej struktura na tyle uniwersalna żeby *dobrze* odwzorowywać *dowolne* środowisko. Te dwa słowa (*dobrze* i *dowolne*) użyte są tutaj w intuicyjnym sensie, ponieważ ich precyzyjne znaczenie zależy od klasy zadań, jakie chcemy postawić przed robotami do wykonania. Niemniej zdefiniowanie takiej ogólnej struktury odpowiedniej dla bardzo szerokiej klasy zadań wydaje się być możliwe i jest tematem tej pracy. Wymagania dla takiej reprezentacji mogą być następujące. Robot na podstawie takiej reprezentacji powinien być w stanie:

1. Rozpoznawać obiekty na podstawie ich atrybutów.
2. Planować dobre ścieżki prowadzące do wyznaczonego celu oraz potrafić podążać nimi.
3. Poznawać otaczające go środowisko, tzn., dowiadywać się, jakie są relacje pomiędzy obiektami dotyczące np. sąsiedztwa, wzajemnego fizycznego

---

\*Wyniki prezentowane w tej pracy zostały zrealizowane w ramach grantu MEiN 3 T11C 038 29.

<sup>1</sup> Instytut Podstaw Informatyki Polskiej Akademii Nauk, ul. Ordona 21, 01-237 Warszawa oraz Instytut Informatyki Akademii Podlaskiej, ul. Sienkiewicza 51, 08 – 110 Siedlce, sambrosz@ipipan.waw.pl, www.ipipan.waw.pl/mas/stan/ .

oddziaływania, hierarchicznej zależności – jeden obiekt może być częścią innego bardziej złożonego obiektu.

Rozpoznawanie obiektów na podstawie ich cech to nic innego jak ich klasyfikacja według z góry zdefiniowanej taksonomii (typów). Oczywiście jest, że takie rozpoznawanie zależy od rodzaju sensorów i danych dostarczanych za ich pomocą.

Zanim przedstawiona zostanie próba zarysowania takiej struktury, należy spojrzeć na to, co już zostało zrobione w tej dziedzinie. Jeśli chodzi o rozpoznawanie obiektów, to istnieje obszerna literatura i wiele wyników dla danych wizyjnych pochodzących z kamery (obrazy dwuwymiarowe) oraz dalmierza laserowego dającego mapę głębi. Ponieważ ciągle te wyniki nie są wystarczające chociażby na tyle, żeby je porównać z możliwościami prostych organizmów biologicznych; stąd też próbuje się przejść od tzw. „maszynowego rozpoznawania” (ang. computer vision) na kognitywne rozpoznawanie (ang. cognitive vision).

Planowanie ścieżek i związane z nim reprezentacje środowiska są stosunkowo najlepiej rozwiniętymi zagadnieniami w robotyce mobilnej. Ale są one traktowane osobno w stosunku do innych wymagań stawianych reprezentacjom, ponieważ dotyczą tylko i wyłącznie wyznaczaniu ścieżek. W tym podejściu można wyróżnić trzy podstawowe reprezentacje: metryczną, topologiczną i hybrydową.

Reprezentacja metryczna używa absolutnego układu współrzędnych do opisu cech występujących w środowisku. Natomiast reprezentacja topologiczna wyraża głównie relację sąsiedztwa pomiędzy *miejscami*. Zazwyczaj ta relacja jest przedstawiana jako graf, w którym wierzchołki reprezentują te miejsca, zaś krawędzie mówią o bezpośrednim połączeniu pomiędzy tymi miejscami. Podejście hybrydowe próbuje łączyć w jedno cechy metrycznej i topologicznej reprezentacji.

Metryczna reprezentacja dzieli się na reprezentację polegającą na dekompozycji przestrzeni (ang. spatial decomposition) oraz geometryczną reprezentację. Dekompozycja przestrzenna dzieli przestrzeń (zwykle dwuwymiarową) na komórki (siatkę) i zapamiętuje czy poszczególne komórki są zajęte czy nie. Oprócz binarnych wartości (zero i jeden) do oznaczania wartości komórek stosowane są też wartości pośrednie z przedziału  $[0;1]$ , które można interpretować jako prawdopodobieństwo zajęcia dla komórek. Dla takiej reprezentacji opracowano szereg algorytmów do jednoczesnego tworzenia mapy przez robota i jego lokalizacji na tej mapie nazwanych SLAM.

W geometrycznej reprezentacji używane są elementarne *geometryczne obiekty* takie jak punkty, linie, wieloboki, itp., do reprezentacji samego środowiska. Parametry liczbowe specyfikują pozycje tych obiektów w globalnym systemie współrzędnych.

W topologicznej reprezentacji jest zakładane, że robot potrafi w jakiś sposób rozpoznawać *miejsca*, w których się aktualnie znajduje. Sąsiednie miejsca (reprezentowane w grafie jako wierzchołki połączone krawędzią) oznaczają, że jest połączenie pomiędzy tymi miejscami, po którym robot może się przemieszczać. Dodatkowe dane dołączone do krawędzi oraz wierzchołków mogą nieść informacje o np. odległościach czy kierunkach, oraz charakteryzować poszczególne miejsca.

Reprezentacja hybrydowa może używać globalnej mapy topologicznej utworzonej z lokalnych map metrycznych, patrz np. [2]. Ale możliwe jest również inne podejście, w którym mapa metryczna jest globalna, podczas gdy bardziej szczegółowe mapy lokalne są topologiczne, patrz np. [3].

Topologiczna reprezentacja używa specyficznej relacji pomiędzy obiektami; jest nią relacja sąsiedztwa. Nie wyczerpuje ona jednak możliwych zależności pomiędzy obiektami. Modelowanie i rozpoznawanie relacji, zarówno przestrzennych jak i fizycznych, pomiędzy obiektami jest chyba najtrudniejszym problemem w reprezentacji środowiska. Jest ono mocno związane z poprzednio omówionymi problemami, ale w tym przypadku postęp w badaniach jest niewielki, jeśli chodzi o praktyczne wykorzystanie w robotyce. Owszem jest wiele prac w tzw. symbolicznej Sztucznej Inteligencji (ang. symbolic AI), ale dotyczą głównie teorii. Warto tutaj wspomnieć o wirtualnych środowiskach używanych do opisu semantyki dla języków programowania robotów, patrz prace [4,5,6]. W tych pracach semantyka zdefiniowana na poziomie trzecim wyraża, w specyficzny sposób, relacje zachodzące pomiędzy obiektami. W tym i wielu innych podejściach używany jest symboliczny sposób (język) opisu środowiska.

W tej pracy przedstawiono pewien model reprezentacji środowiska opartej głównie na koncepcji hierarchicznej zależności i konstrukcji złożonych obiektów. Przydatność takiego podejścia widać wyraźnie w makroskali, np. dla takich obiektów złożonych jak pomieszczenie, korytarz, holl, piętro, budynek, ulica a nawet miasto. W takim modelu wyznaczanie tras i nawigacja może być realizowana automatycznie. Na podstawie tej reprezentacji przedstawiono również ogólną strukturę mogącą służyć do definiowania bardziej złożonych modeli. Podobna koncepcja występuje w [8], gdzie zaproponowano AL (Assembly Language), język programowania wysokiego poziomu do kontroli manipulatora i składania (demontażu) obiektów (*frames* w terminologii AL.). Występują tam pojęcia takie jak *RIGID Affixment*, oraz *NONRIGID Affixment*, do tworzenia złożonych obiektów

## 2. PROPOZYCJA NOWEJ REPREZENTACJI

Celem proponowanej reprezentacji jest umożliwienie tzw. urządzeniom kognitywnym (posiadającym sensory i mogącym ewentualnie oddziaływać fizycznie na środowisko) na współdziałanie za sobą na poziomie semantycznym. Te współdziałanie to wspólne wykonywanie złożonych zadań wymagających przekazywania informacji o aktualnym stanie środowiska. Co więcej, same zadania mają być formułowane w języku opartym na tej reprezentacji. Ponieważ zakładamy niezależność sposobu reprezentowania oraz specyfikacji zadań od konkretnego środowiska, więc reprezentacja taka musi być uniwersalna i rozszerzalna. Ta rozszerzalność oznacza możliwość wprowadzania nowych typów obiektów oraz relacji opisujących zależności pomiędzy obiektami. Tak rozumiana rozszerzalność

powinna zapewnić uniwersalność dla proponowanej reprezentacji. Jako roboczy przykład rozpatrzmy następujące zadania przedstawione w nieformalny sposób:

- *Znajdź obiekt typu  $A$  o pewnych szczególnych cechach.*
- *Przenieś obiekt typu  $A$  (o pewnych cechach) do obiektu typu  $B$  o pewnych innych szczególnych cechach.*

UWAGA: drugie zadanie może zakładać (implicite) realizację zadania pierwszego. Mamy, więc do czynienia z obiektami pewnych typów. Obiekty te mogą posiadać też szczególne indywidualne cechy. Obiekt typu  $B$  może zawierać (jako elementy) obiekty typu  $A$ . Powyższe zadania zostały przedstawione w imperatywny sposób, tzn., że pewne czynności (tutaj: znajdź i przenieś) powinny być wykonane. Ale można wyrazić te zadania w sposób deklaracyjny, jako formuły w pewnym formalnym języku logiki, w następujący sposób:

- *$x$  jest typu  $A$  oraz  $p(x)$  oraz  $q(x,y)$*
- *$x$  jest typu  $A$  oraz  $p(x)$  oraz  $z$  jest typu  $B$ , oraz  $f(z)$  oraz  $q(x,z)$*

przy czym  $x$ ,  $y$ ,  $z$  są zmiennymi (w logicznym sensie),  $p(x)$  jest predykatem reprezentującym wspomniane szczególne cechy poszukiwanego obiektu,  $f(x)$  wyraża własności miejsca, do którego obiekt  $x$  ma być przeniesiony, natomiast relacja  $q(x,u)$  wyraża, że  $x$  jest elementem  $u$ .

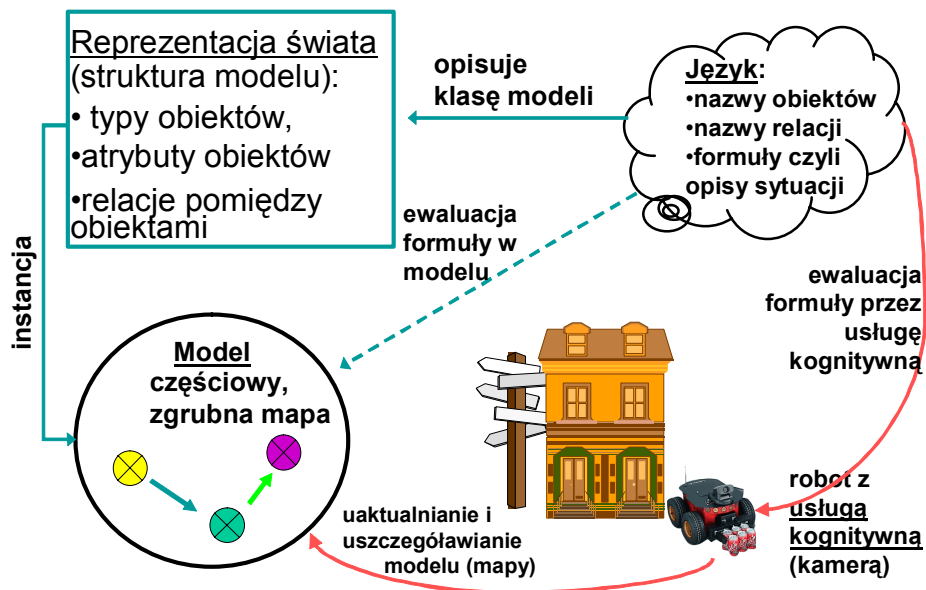
Wykonanie takiego zadania sprowadza się do doprowadzenia do takiej sytuacji środowiska, w której formuła odpowiadająca temu zadaniu jest prawdziwa. Nie ważne, w jaki sposób, z pomocą jakich czynności, taka sytuacja zostanie osiągnięta. Istotne jest, że ewaluacja takich formuł musi być dokonana lokalnie przez jakieś urządzenie kognitywne, które na podstawie danych sensorycznych z konkretnego miejsca sprawdzi czy ta formuła jest prawdziwa czy fałszywa.

Wracając do przykładu, pierwszą formułę należy interpretować w następujący sposób. Pewien obiekt  $x$  typu  $A$  posiadający pewne cechy wyrażone za pomocą predykatu  $p$ , jest elementem jakiegoś innego bliżej nie sprecyzowanego obiektu  $y$ . Aby ta formuła była prawdziwa, należy znaleźć taki obiekt  $x$  niezależnie gdzie się on znajduje; musi być więc jakiś podmiot, który to wykona. Ale żeby było to realne zadanie, obszar przeszukiwania powinien być ograniczony; taki obszar powinien być obiektem pewnego typu. Druga formuła powinna być interpretowana w ten sposób, że obiekt  $x$  jest (a raczej ma być) w miejscu typu  $B$  o pewnych konkretnych własnościach. To czy ten obiekt już jest w takim miejscu należy sprawdzić, co zakłada, że musi być jakiś podmiot, który te sprawdzenie wykona. Może to być zaskakujące, ale różnica pomiędzy tymi dwoma formułami jest niewielka. Intuicyjne, drugie zadanie sugeruje, że odpowiadająca mu formuła nie jest spełniona w żadnym miejscu. Natomiast pierwsze zadanie zakłada przeszukanie pewnego obszaru i „sprawdzenie” tam w wielu miejscach czy odpowiadająca mu formuła nie jest przypadkiem spełniona. W obu przypadkach musi być podmiot, który sprawdza prawdziwość formuły w pewnych miejscach. Taki podmiot nazwany jest *usługą kognitywną*.

Istotnym założeniem proponowanej reprezentacji jest to, że język do opisu sytuacji w środowisku tak naprawdę opisuje klasę modeli konstruowaną na podstawie z góry zdefiniowanych: typów obiektów, ich atrybutów oraz relacji

pomiędzy obiektami. Instancją tej klasy jest (częściowy) model, który nie musi być dokładny, co znaczy, że nie wszystkie obiekty są do końca wyspecyfikowane; jest to założenie bardzo realistyczne i tak np. często jedyną informacją o pewnym obiekcie należącym do takiego modelu jest typ tego obiektu. Modele takie nazywane też będą zgrubnymi mapami. W logice, formuły są ewaluowane (tzn., sprawdzane czy są prawdziwe czy też nie) w konkretnym modelu. Tak też może być w naszym podejściu, ale nie do końca. Model może nie być aktualny lub też za bardzo zgrubny, żeby ewaluować formułę. W takich przypadkach należy odwołać się do usług kognitywnych, żeby uaktualnić lub/ oraz uszczegółwić model na tyle żeby móc ewaluować te formułę. W tym właśnie punkcie następuje kontakt z tzw., „rzeczywistością” poprzez pobranie danych przez sensory (przez usługę kognitywną) ich przetworzenie a następnie klasyfikacje hipotetycznych obiektów na podstawie wydzielonych atrybutów, własności i relacji. Na rys. 1 przedstawiono opisane powyżej założenia dotyczące proponowanej reprezentacji środowiska.

### Język, model, rzeczywistość ...



Rys. 1. Zależności pomiędzy językiem, klasą modeli (strukturą zawierającą typy obiektów, atrybuty i relacje), a zgrubnym modelem i ewaluacją formuł

Ważną cechą tak przeprowadzanych ewaluacji formuł jest ich lokalność i temporalność procesu ewaluacji. Tzn. ewaluacja formuły dotyczy konkretnej chwili czasu i konkretnego miejsca związanego z pobraniem danych przez sensory. Oczywiście jest, że pobieranie danych przez sensory nie musi być wykonywane jedynie na potrzeby ewaluacji formuł. Aktualizacja i uszczegóławianie mapy może

być dokonywane niezależnie (przez wybrane usługi kognitywne) jako osobne zadanie w systemie.

### 3. OBIEKTY ZŁOŻONE I HIERARCHIA OBIEKTÓW

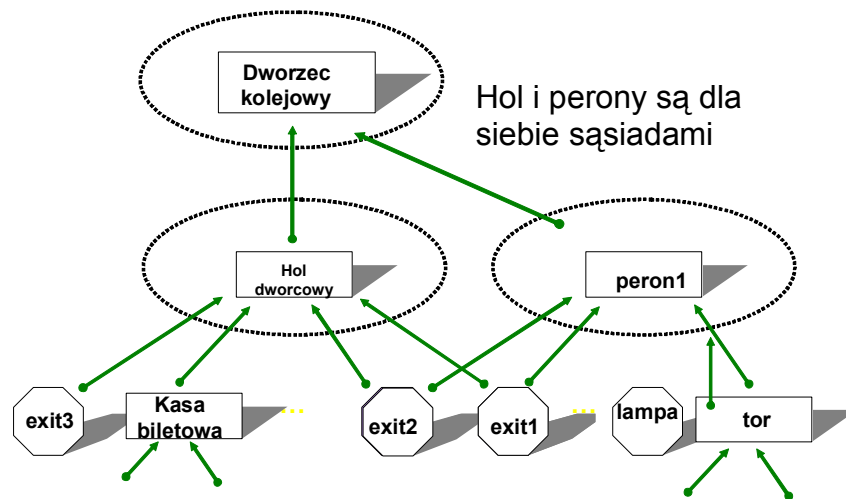
W proponowanej reprezentacji stosowane jest podejście obiektowe. Znaczący to tyle, że poszczególne elementy, fizyczne i abstrakcyjne, traktowane są jako obiekty. Reprezentacja środowiska jest zbiorem obiektów połączonych relacjami hierarchii, sąsiedztwa oraz w założeniu również innymi wyrażającymi np. relacje fizyczne. Obiekt (w reprezentacji) jest pewnego typu i posiada atrybuty, które go charakteryzują. Wartości wyznaczonych atrybutów są podstawą do klasyfikacji (rozpoznawania) obiektów w środowisku.

Relacja hierarchii pomiędzy dwoma obiektami wyraża fakt, że jeden z tych obiektów (obiekt podrzędny  $x$ ) jest częścią obiektu drugiego (obiektu nadrzędnego  $y$ ) oraz że obiekt podrzędny nie jest samoistny, tzn., nie może występować bez swojego obiektu nadrzędnego. Symbolicznie relacja ta jest przedstawiana w postaci  $\mathcal{R}(x,y)$ . Przykładami takich obiektów są np. drzwi, ściana, pomieszczenie, piętro, budynek. Każdy poprzedni jest obiektem podrzędnym w stosunku do następnego obiektu. Warto tutaj zaznaczyć, że tak rozumiana relacja hierarchii  $\mathcal{R}$  jest zupełnie inna od relacji należenia (bycia elementem). Dobrym przykładem może być tutaj para obiektów stół i pokój, w którym ten stół się znajduje. Ten stół jest ewidentnym elementem tego pokoju, ale stół może być przeniesiony gdzie indziej i tam też będzie stołem. Po usunięciu stołu zasadnicza struktura pokoju nie zostanie naruszona. Inaczej rzecz ma się np. z usunięciem ściany, która jest jedną z integralnych części pokoju.

Jeśli dwa obiekty są podrzędne w stosunku do tego samego obiektu nadrzędnego, czyli  $\mathcal{R}(x,z)$  oraz  $\mathcal{R}(y,z)$ , to uważamy te dwa obiekty  $x$  i  $y$  za równorzędne. Przykładami takich równorzędnych obiektów, w stosunku do nadrzędnego obiektu typu pokój, są np. ściany sufit, podłoga, okna, drzwi. Pomędzy takimi równorzędnymi obiektami mogą zachodzić różne relacje przestrzenne oraz fizyczne. Na przykład specyficzne relacje przyległości pomiędzy ścianami, czy też specyficzna relacja pomiędzy drzwiami a ścianą. Można rozszerzyć relację hierarchii do relacji przechodniej, tzn., jeśli  $\mathcal{R}(x,y)$  oraz  $\mathcal{R}(y,z)$ , to również  $\mathcal{R}(x,z)$ . Innym przykładem relacji zachodzących pomiędzy samoistnymi obiektami należącymi (będącymi) w pokoju jest np. relacja fizyczna zachodząca pomiędzy stołem a komputerem leżącym na nim. Natomiast relacja sąsiedztwa może wyrażać bliskość obiektów równorzędnych, czyli będących na tym samym poziomie hierarchii albo należących do tego samego obiektu. Wydaje się, że sensowne relacje można definiować jedynie pomiędzy obiektami równorzędnymi w hierarchii. Z jednej strony można definiować i wprowadzać do języka sporo takich i podobnych relacji, ale z drugiej strony ważne jest żeby móc ewaluować formuły zawierające takie relacje. Czyli nie wystarczy wprowadzić do języka nowy symbol

relacyjny, ale też trzeba podać konkretny implementowany sposób stwierdzania czy taka relacja zachodzi czy nie.

## Przykład mapy obiektowej

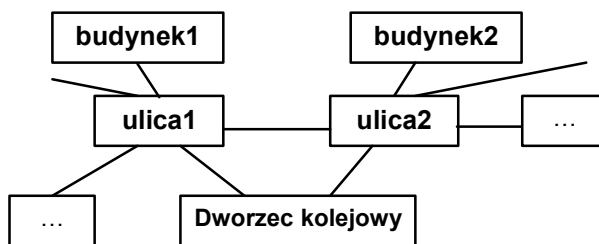


Rys. 2. Zgrubna mapa, w której głównym obiektem złożonym jest Dworzec kolejowy

Relacja hierarchii pomiędzy obiektami ułatwia automatyczną orientację oraz wyznaczanie ścieżek, patrz [1]. Przedstawimy teraz jak takie ścieżki można wyznaczać. Obiekty podrzędne można też nazywać podobiektami, za nadrzędne nadobiektami. To, że częściowe modele nazywamy mapami jest spowodowane tym, że zazwyczaj w modelu (mapie) jest główny złożony obiekt. Mapa przedstawia (modeluje) ten obiekt. Przykładem takiego złożonego obiektu może być miasto, duży budynek, itp.. Na takiej mapie przedstawione są jego pod-obiekty, pod-pod-obiekty, itd., aż do obiektów elementarnych. Co uznamy za obiekty elementarne jest umowne. W naszych bieżących badaniach założyliśmy, że obiekty elementarne są rozpoznawalne za pomocą znaczników żeby nie wpaść w trudny problem rozpoznawania. Znaczniki są protezą wobec niemożności, póki co, rozpoznawania cech ich przetwarzania segmentacji w kształty, bryły itp.. Obiekty elementarne są bezpośrednio rozpoznawalne poprzez ich cechy. Obiekty złożone są rozpoznawane na podstawie ich elementarnych pod-obiektów. Robot identyfikuje tylko znaczniki umieszczone na obiektach elementarnych. Mają one specjalny format umożliwiający ich stosunkowo łatwe rozpoznawanie. Na podstawie rozpoznanej znacznika dostajemy cechy obiektu oznaczonego tym znacznikiem. Stopniowo będziemy ograniczać, w naszych badaniach, stosowanie znaczników na rzecz rozpoznawania.

Mapa obiektowa jest zbiorem obiektów uporządkowanych hierarchicznie. Może być ona przedstawiona w postaci drzewa, w którym liście czasami są sklejone, patrz rys. 2. Ograniczenie tego drzewa do gałęzi o długości  $n$  może być widziane jako mapa w skali  $n$ .

Graf sąsiedztwa pomiędzy pod-obiektami obiektu złożonego (mapy) miasta



Graf sąsiedztwa pomiędzy pod-obiektami obiektu budynek



Rys. 3. Przykłady grafów sąsiedztwa

Sąsiedztwo obiektów elementarnych jest wyznaczone przez ich fizyczną bliskość i dostępność. Obiekty złożone na tym samym poziomie hierarchii mogą sąsiadować ze sobą, jeśli posiadają wspólne podrzędne obiekty elementarne. Na powyższym rysunku został przedstawiony przykładowy grafy sąsiedztwa dla dwóch poziomów hierarchii. Aby wyznaczyć drogę (najkrótszą) pomiędzy dwoma obiektami, należy znaleźć ich wspólny obiekt nadrzędny; zawsze taki istnieje. Następnie rozpatrywać grafy sąsiedztwa na kolejnych poziomach hierarchii wyznaczając w nich ścieżki. Schodząc tak aż do poziomu obiektów elementarnych dostajemy ścieżki składające się z sąsiednich obiektów elementarnych. Algorytm ten został zaimplementowany i dokładnie opisany w [1].

#### 4. KONLKUZJE I WSTĘPNE WNIOSKI

Proponowana reprezentacja jest podstawą naszych eksperymentalnych badań dotyczących współdziałania heterogenicznych robotów przy wykonywaniu złożonych zadań w częściowo nieznanym środowisku. Roboty dysponują



zgrubnymi mapami, które muszą być uaktualniane i uszczegóławiane przez same roboty bądź też przez usługi kognitywne będące, w naszym przypadku, stacjonarnymi kamerami podłączonymi do komputera i do sieci lokalnej. Aby uprościć rozpoznawanie, wprowadzane zostały znaczniki, które po identyfikacji dostarczają informacji o obiekcie, do którego są przyklejone. Testowe zadanie (w formie deklaratywnej jako formuła języka logiki), które jest zlecone do wykonania przez system polega na znalezieniu obiektu pewnego typu o określonych cechach (w naszym przypadku posiadającego określony znacznik) i przeniesieniu go w miejsce określonego typu i właściwościach. System składa się z dwóch robotów Pioneer 3 wyposażonych w kamery i chwytaki oraz kilku kamer stacjonarnych będących (w połączeniu z komputerami) usługami kognitywnymi. Każdy z robotów posiada ograniczony obszar, po którym może się poruszać, stąd też niektóre zadania wymagają ich współdziałania. Architektura systemu jak i samego robota oraz usług kognitywnych jest oparta na SOA, patrz praca [7] równoległe zgłoszona na IX KKR. Eksperymentalne wyniki zostaną przedstawione na konferencji.

Wprowadzenie znaczników znacznie ułatwia samo rozpoznawanie obiektów, chociaż samo w sobie też nie jest trywialne. Wydaje się, że koncepcja usług kognitywnych jest naturalna i znacznie wzbogaca możliwości systemu, tym bardziej, że w realizacji są one bardzo tanie w przeciwieństwie do robotów mobilnych. Uaktualnianie i uszczegóławianie map polega na identyfikacji znaczników w konkretnych miejscach i powiązanie ich we wzajemne relacje. Natomiast wyznaczanie tras sprowadza się do znajdowania kolejnych sąsiednich znaczników na tej trasie. Jeśli robot zgubi się lub też nie będzie potrafił znaleźć następnego znacznika, to wystarczy, żeby znalazł jakikolwiek inny znacznik, zlokalizował go na mapie i od nowa wyliczył ścieżkę do celu.

Język opisu sytuacji w środowisku jest kluczowy do realizacji zadań wymagających współdziałania. Typ czynności (operacji) wykonywanej przez usługę, czyli to, co usługa wykonuje, jest specyfikowany przez: *sytuację wejściową* (precondition) przed wykonaniem operacji przez usługę oraz *sytuację końcową* (postcondition) po wykonaniu operacji. Te sytuacje są wyrażane jako formuły języka. Ewaluacja formuły to sprawdzenie czy ta sytuacja zachodzi w konkretnym modelu i chwili czasu. Ewaluacja jest wykonywana przed i po wykonaniu większości zadań. Niektóre zadania takie jak np. *znajdź wskazany obiekt*, czyli sprawdź, czy wskazany obiekt jest w podanym miejscu, polegają wyłącznie na ewaluacji formuł.

W logice ewaluacja formuł jest prosta, polega na sprawdzeniu danej formuły w kompletnym modelu, czyli w zupełnej mapie. W praktyce jest niemożliwe utrzymywanie i aktualizacja kompletnej mapy. Powinna ona zawierać dokładne specyfikacje wszystkich obiektów i wszystkich relacji na obszarze objętym przez tę mapę.

Koncepcja mapy zgrubnej wydaje się być dobrym i praktycznym rozwiązaniem. Lokalna aktualizacja i uszczegóławianie może odbywać się tylko wtedy, kiedy jest potrzebna ewaluacja formuł. Specyfikowane są obiekty i relacje tylko do pewnego, przyjętego stopnia szczegółowości. Nie musi obejmować

wszystkich obiektów i relacji. Mapa zgrubna może nie posiadać aktualnych informacji o niektórych obiektach. Ich dokładność zależy od potrzeb, dla jakich są budowane. Dopiero w przypadku niemożliwości ewaluacji formuły konieczne jest uszczegółowienie bądź aktualizacja mapy na podstawie danych ze środowiska. W tym miejscu dopiero następuje kontakt z realnym światem.

Usługi kognitywne są udostępniane przez inteligentne urządzenia, pozwalające na sprawdzenie i porównanie stanu rzeczywistego z sytuacją opisywaną przez mapę obiektową. Mogą występować w różnych postaciach i na różnych rodzajach urządzeń, np. robotach, kamerach.

Model może bardziej lub mniej odpowiadać danym z sensorów; wtedy należy zmienić model a nie dane. Klasa modeli ogranicza sposoby postrzegania rzeczywistości. Klasa jest wyznaczona przez typy obiektów oraz relacje pomiędzy obiektami. Definiowanie odpowiednich typów i relacji jest prawdziwym wyzwaniem.

## LITERATURA

- [1] S. Ambroszkiewicz, et al. Blind-enT: Making Objects Visible for Blind People. *Vision 2005 - Proceedings of the International Congress*, 4 - 7 April 2005, London, UK. Edited by S. Jones and P. MacDonald. Elsevier 2005.
- [2] S. Thrun,. Learning Maps for Indoor Mobile Robot Navigation. *Artificial Intelligence* 99(1), 21-71 (1998)
- [3] Wai K. Yeap, Margaret E. Jefferies: Computing a Representation of the Local Environment. *Artificial Intelligence* 107(2), 265-301 (1999)
- [4] C. Zielinski.: Description of semantics of robot programming languages. *Mechatronics* Vol. 2, No. 2, s. 171 -198, (1992)
- [5] C. Zielinski. Opis semantyki rozkazów języków programowania robotów. *Archiwum Automatyki i Telekomunikacji*. Tom XXXV, Zeszyt 1-2, s. 15 – 45, (1990)
- [6] C. Zielinski. TORBOL: An Object Level Robot Programming Language. *Mechatronics* Vol. 1, No. 4, s. 469 – 485, (1991)
- [7] S. Ambroszkiewicz, W. Bartyna. Architektura systemu wielorobotowego w oparciu o paradygmat SOA. W materiałach IX KKR (2006)
- [8] S. Mujtaba, R. Goldman. AL Users' Manual. Computer Science Department, Stanford University, Raport No. STAN-CS-70-7 18, Stanford Artificial Intelligence Laboratory, Memo AIM-323, January 1979.

### **A SPATIAL REPRESENTATION BASED ON THE CONCEPT OF COGNITIVE OBJECT ORIENTED MAPS**

An approach to spatial representation is presented. It is based on the hierarchy relation between objects. Two objects are in hierarchy relation if one of them is an integral part of the second one. This relation allows determining paths in the maps in an automatic way. Based on this framework another spatial and physical relation can be introduced to the representation.