

dr inż. Janusz Będkowski
mgr inż. Piotr Kowalski
mgr inż. Paweł Musialik
prof. dr hab. inż. Andrzej Masłowski
Instytut Automatyki i Robotyki, Politechnika Warszawska

BADANIE SYSTEMU ROBOTÓW MOBILNYCH W APLIKACJI RISE

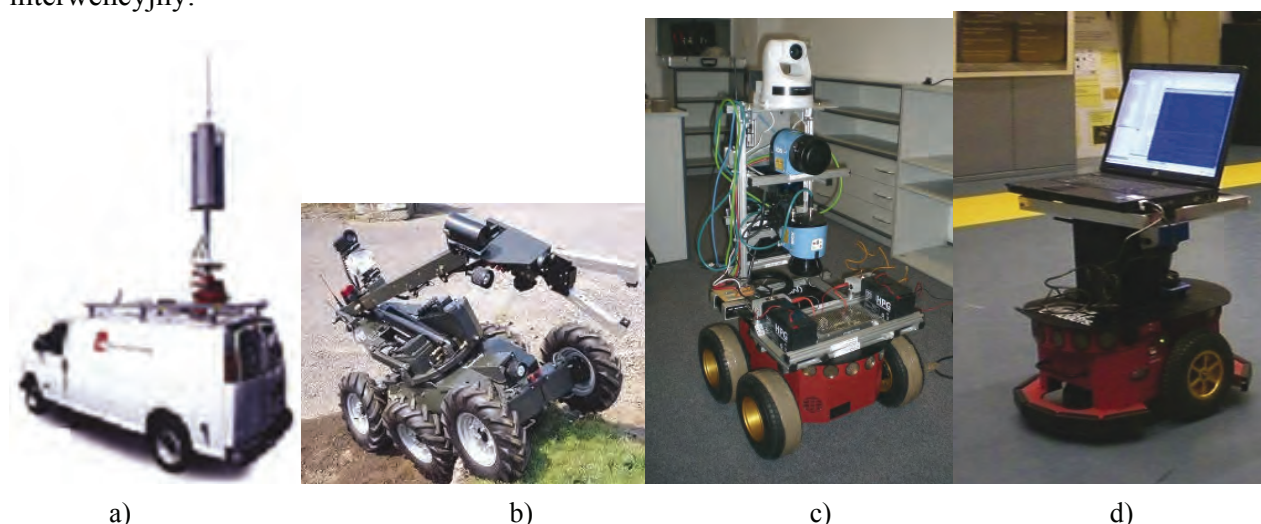
Referat przedstawia wyniki badań rozproszonego systemu sterowania i nadzorowania grupy robotów mobilnych w zastosowaniu do aplikacji RISE (Risky Intervention and Surveillance Environment). Przedstawiono schemat systemu z uwzględnieniem rozproszonego modelu kognitywnego człowieka nadzorującego oraz wspomagającego pracę tego systemu. Omówiono eksperymenty weryfikujące poprawność działania zaimplementowanego systemu sterowania przeprowadzone w środowiskach INDOOR oraz OUTDOOR z udziałem autonomicznych robotów mobilnych.

ANALYSIS OF THE MOBILE ROBOT SYSTEM IN RISE APPLICATION

The paper shows the result of the research related to the implementation of the distributed mobile multi robot inspection system dedicated to the RISE application (Risky Intervention and Surveillance Environment). The scheme of the system is presented with the focus on the distributed cognitive model of the human supervisor that supports the task execution by the system. The experiments that verify the correctness of the control system implementation are shown. They were performed in the INDOOR and OUTDOOR environments with the autonomous mobile robots.

1. WPROWADZENIE

Przedmiotem pracy badawczej był mobilny, połączony w sieć, zrobotyzowany system inspekcyjno-interwencyjny.



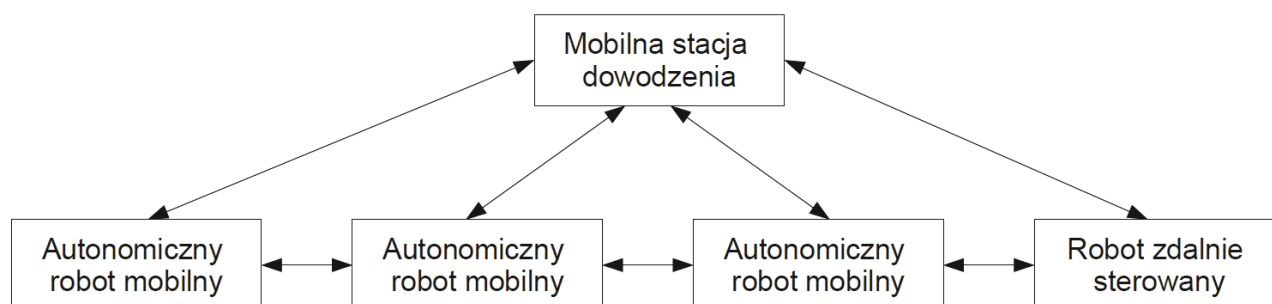
Rys. 1. Komponenty wielorobotowego mobilnego systemu inspekcyjno-interwencyjnego: a) przykład mobilnej stacji dowodzenia, b) robot Hobo, c) robot Pioneer 3AT z systemem SARA, d) robot Pioneer 3DX

Głównymi komponentami systemu, przedstawionymi na rys.1, są:

1. *Mobilna stacja dowodzenia* – jej zadaniem jest zebranie informacji ze zdalnych urządzeń oraz prezentacja tych danych operatorowi system u robotów. Stacja wyposażona jest w urządzenia dotykowe HMI oraz oprogramowanie pozwalające na efektywne zarządzanie grupą robotów.
2. *Robot zdalnie sterowany* – w właściwy robot inspekcyjno-interwencyjny wyposażony w kamery wideo, manipulator wieloosiowy oraz system komunikacyjny. Jego zastosowanie pozwala częściowo wyeliminować potrzebę bezpośredniej interwencji człowieka w miejscach, w których może to być groźne dla jego zdrowia lub życia.
3. *Robot autonomiczny* – jego zadaniem jest inspekcja rejonu zagrożenia. Wyposażony jest w laserowy system pomiarowy umożliwiający trójwymiarową (3D) rekonstrukcję środowiska, kamerę wideo, sonary ultradźwiękowe oraz urządzenia informujące o orientacji robota. Dodatkowo, w zależności od charakteru zastosowania, robot może być wyposażony w sensory chemiczne lub kamerę termowizyjną. Pojedynczy robot jest elementem systemu wielorobotowego i jest wyposażony również w system lokalizacji oraz komunikacji i śledzenia innych robotów.

2. IMPLEMENTACJA SYSTEMU STEROWANIA

Rys. 2 przedstawia schemat systemu robotów mobilnych połączonych w sieć, poddany badaniom poligonowym.

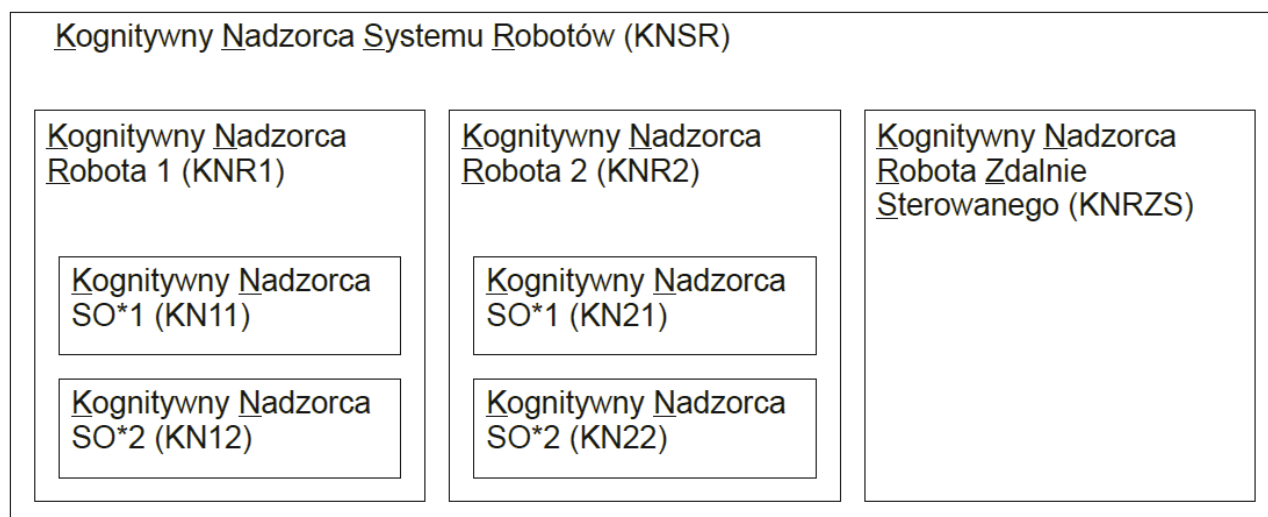


Rys. 2. Schemat inspekcyjno-interwencyjnego systemu robotów mobilnych połączonych w sieć

System inspekcyjno-interwencyjny został zaimplementowany w rozproszonej architekturze CORBA. Jego zaletą jest niezależność od wykorzystywanego języka programowania (C++/Java/Python) oraz systemu operacyjnego (GNU/GPL Linux, Mac OS X, MS Windows). Zaletą systemu jest również możliwość integracji sprzętu pochodzącego od różnych dostawców. Wszystkie zaimplementowane moduły są kompatybilne z CORBA, dzięki czemu implementacja oprogramowania jest niezależna od sprzętu, a tak że bezprzewodowa komunikacja jest transparentna dla działających modułów.

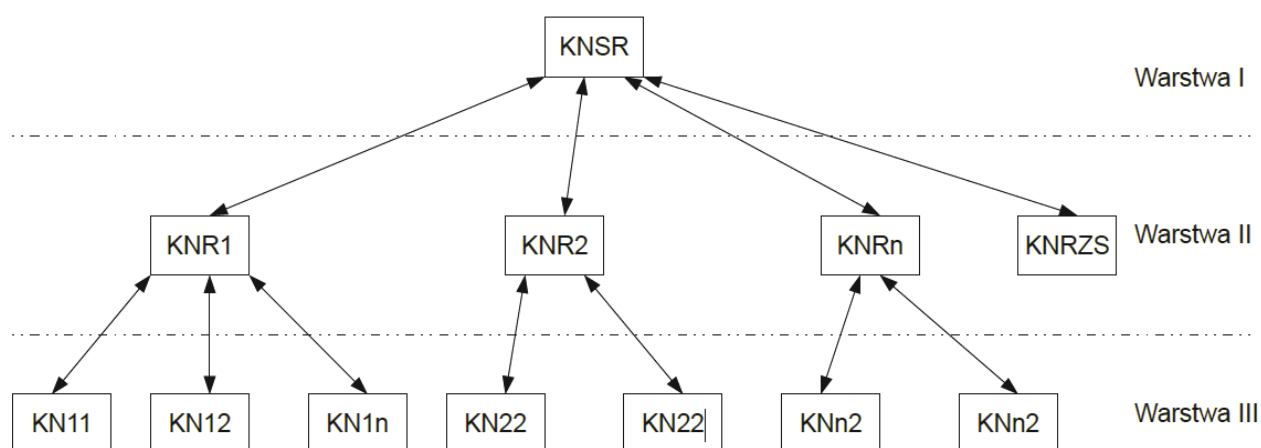
Schemat rozproszonego sterowania i nadzorowania robotów mobilnych jest przedstawiony na rys. 3. Mobilna stacja dowodzenia jest nadzorowana przez Kognitywnego Nadzorcy

Systemu Robotów (KNSR), autonomiczne roboty mobilne są nadzorowane przez Kognitywnych Nadzorców Robota (KNR_n) oraz zdalnie sterowany robot inspekcyjny jest nadzorowany przez Kognitywnego Nadzorcę Robota Zdalnie Sterowanego (KNRZS).



Rys. 3. Schemat rozproszonego sterowania i nadzorowania robotów mobilnych (*SO – System Operacyjny)

W celu minimalizacji ryzyka utraty łączności pomiędzy komponentami rozproszonego systemu inspekcyjno-interwencyjnego zaproponowano wykorzystanie kognitywnego modelu człowieka nadzorującego system [5]. Łączy on w sobie elementy scentralizowane z koncepcją systemu wieloagentowego.



Rys. 4. Schemat rozproszonego, wieloagentowego, kognitywnego, nadzorowania systemu

Rys. 4 przedstawia warstwę koncepcyjną takiego modelu. Architektura wieloagentowa opracowanego systemu składa się z trzech warstw. Pierwsza warstwa jest zarezerwowana dla najwyższego poziomu nadzorowania i z tego punktu widzenia najważniejszego w hierarchii,

nazwanego Kognitywnym Nadzorcą Systemu Robotów (KNSR). Podczas normalnej pracy programy działające w warstwie II są zależne od warstwy I systemu. Od strony implementacji mamy więc do czynienia z rozproszonym kognitywnym nadzorcą. W przypadku wystąpienia problemów z komunikacją pomiędzy warstwami I oraz II, agenty z warstwy II operują w pełni autonomicznie zgodnie z wzorcem systemu wieloagentowego. Zakłada się bezawaryjną pracę i komunikację pomiędzy agentami warstwy II oraz III, dzięki wykorzystaniu komunikacji przewodowej Ethernet w ramach jednego robota. W warstwie sprzętowej architektura kognitywnego nadzorca wygląda następująco:

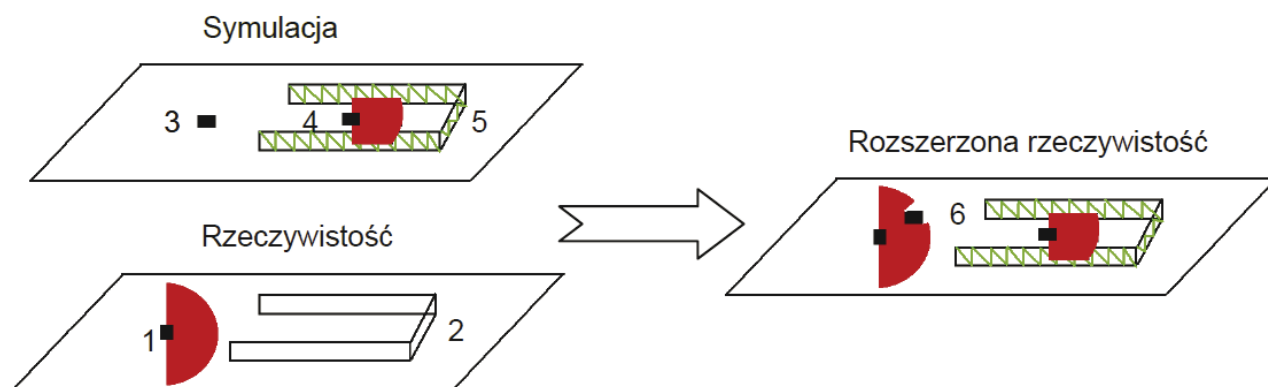
- a) KNSR zainstalowany jest w stacji dowodzenia,
- b) Kognitywni Nadzorcy Robotów (KNR1, KNR2, ...) znajdują się na komputerach pokładowych robotów,
- c) Kognitywny Nadzorca SO (KN SO1, KN SO2, ...) jest interfejsem implementowanym przez każdy wykonywany program, zgodnie z regułami OOP (*Object Oriented Programming*).

3. WERYFIKACJA SYSTEMU STEROWANIA I NADZOROWANIA

Weryfikacja systemu sterowania oraz nadzorowania została przeprowadzona podczas testów poligonowych w rzeczywistych akcjach inspekcyjno-interwencyjnych [5, 6, 7]. Wykonano również eksperymenty w technologii AR (*Augmented Reality* – rzeczywistości rozszerzonej). Poniżej przedstawiono uzyskane wyniki.

3.1. Inspekcja w środowisku INDOOR z wykorzystaniem AR

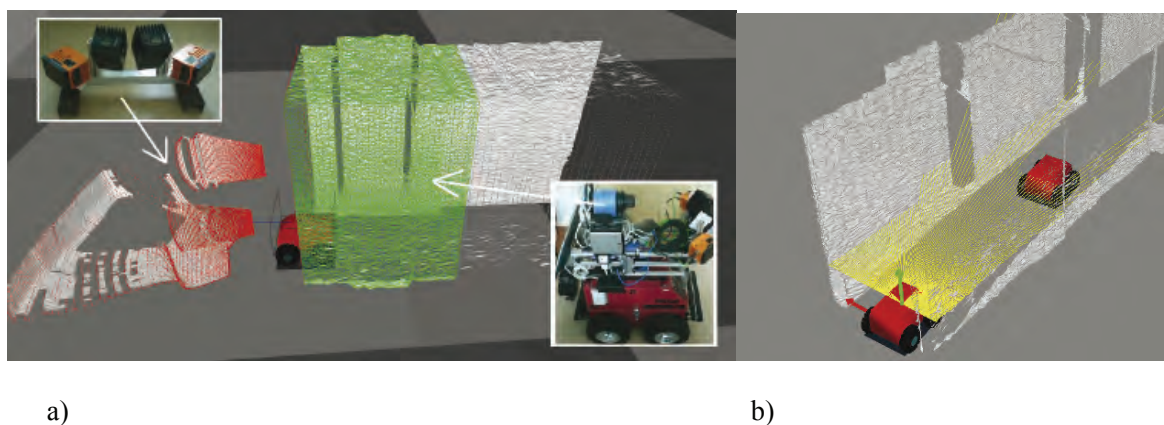
Badany system, którego idea jest przedstawiona na rys. 5, składał się z agentów wirtualnych oraz agentów rzeczywistych, wchodzących ze sobą w interakcję [3, 4]. Do symulacji rozszerzonej rzeczywistości zastosowano technologię gier komputerowych NVIDIA PhysX. Podstawowym założeniem opisywanego podejścia jest znajomość pozycji każdego agenta, dzięki czemu fuzja danych rzeczywistych i wirtualnych jest możliwa. Do lokalizacji globalnej rzeczywistego robota zostały wykorzystane algorytmy [1, 2] bazujące na laserowym systemie pomiarowym SICK 200 oraz odometrii robota. Natomiast globalna pozycja symulowanych agentów jest obliczana w środowisku PhysX. Aby umożliwić symulację laserowego systemu pomiarowego, trójwymiarowy model środowiska został przeniesiony do formatu zgodnego z silnikiem fizyki. Celem eksperymentów była weryfikacja możliwości budowy środowiska 3D, które może zostać wykorzystane do celów nadzorowania [6, 7]. Mapa 3D została zbudowana podczas ruchu robota, a jej dokładność jest zależna od dokładności wykorzystywanego algorytmu lokalizacji SLAM.



Rys. 5. Idea wykorzystania rozszerzonej rzeczywistości

Na powyższym rysunku oznaczono:

- 1 – rzeczywisty robot wyposażony w laserowy system pomiarowy,
 - 2 – rzeczywista przeszkoda,
 - 3 – wirtualny robot,
 - 4 – wirtualny robot wyposażony w symulowany laserowy system pomiarowy,
 - 5 – wirtualny trójwymiarowy model przeszkód zbudowany na bazie rzeczywistych pomiarów dokonanych przez robota 1,
 - 6 – rzeczywistość rozszerzona o wirtualny model.
- Pomiar z czujnika zawiera zarówno elementy rzeczywiste, jak i wirtualne.

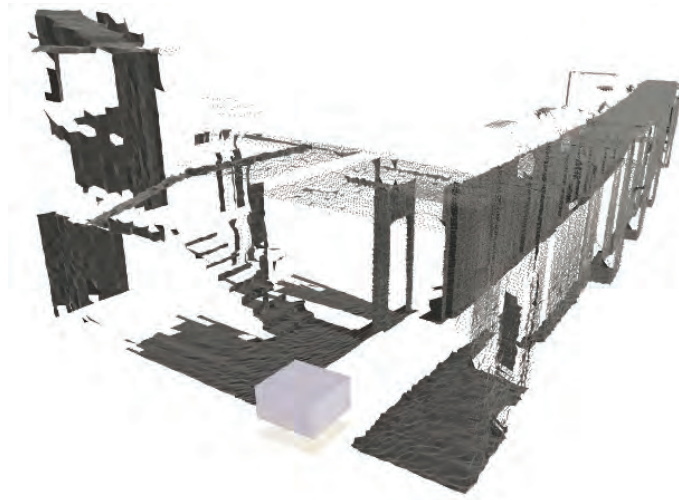


Rys. 6. Wizualizacja robota mobilnego w środowisku 3D

Na rys. 6a czerwonym kolorem oznaczono dane z kamer IFM, na zielono trójkąty lokalnej mapy, na szaro zaznaczono zachowaną mapę w środowisku PhysX. Na rys. 6b zobrazowano symulację wskazań lasera na danych rzeczywistych. Rys. 6a przedstawia wizualizację robota mobilnego z wyposażeniem (4 kamery IFM oraz laser SICK 1000) w środowisku 3D. Rys. 6b przedstawia symulację laserowego systemu pomiarowego – obliczany i wizualizowany jest dystans pomiędzy robotem a wirtualnymi przeszkodami takimi jak zrekonstruowana mapa 3D czy wirtualny robot. Symulowany laserowy system pomiarowy wykorzystuje mechanizm przecinania się promieni do obliczenia odległości.

Wynikiem inspekcji środowiska INDOOR jest model w formacie PhysX przedstawiony na rys. 7a.

Na rys.7b przedstawiono stanowisko do badania sterowania robotami i zarówno rzeczywistymi jak i symulowanymi. Tu symulowany robot wirtualny jest widoczny w rzeczywistej kamery robota autonomicznego.



Rys. 7a. Wynik inspekcji środowiska w postaci modelu 3D PhysX



Rys. 7b. Stanowisko do badania rozszerzonej rzeczywistości AR

3.2. Inspekcja w środowisku OUTDOOR

Podczas tego eksperymentu przetestowano system sterowania autonomicznego robota mobilnego. Do lokalizacji wykorzystywano odometrię robota. Dane z sonarów oraz laserowego systemu pomiarowego pozwoliły na wykrywanie przeszkód, a laser umieszczony wertykalnie, w połączeniu z odometrią, pozwalał na akwizycję danych 3D. Celem tego eksperymentu było dostarczenie w czasie rzeczywistym modelu 3D środowiska robota do stacji dowodzenia. Pozwoliło to na dostarczenie modelu do stacji bazowej oraz jego rekonstrukcję umożliwiającą poprawną interpretację sytuacji kryzysowej. Rys. 8 przedstawia HRI w stacji bazowej oraz rezultaty eksperymentów.



Rys. 8. Od lewej: HRI, widok z kamery zamontowanej na robocie, wizualizacja 3D samolotu

3.3. System wspomagający akcję straży pożarnej

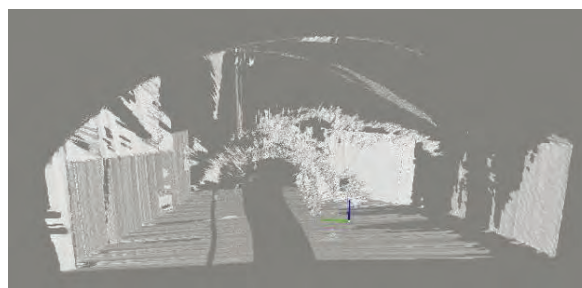
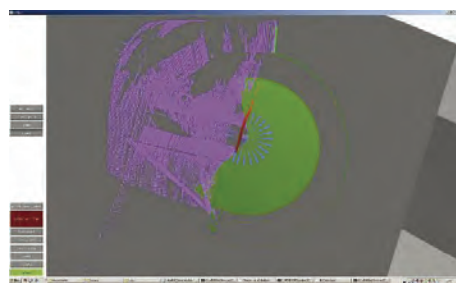
Podczas ćwiczeń w bazie wojskowej NATO w Beauvechain w Belgii w 2009 roku badano opracowany system mobilnej inspekcji. Zasymulowano konsekwencje wypadku lotniczego ze skażeniem chemicznym i ofiarami w ludziach. Autonomiczny robot inspekcyjny został wprowadzony do wnętrza hangaru i przeprowadził serię pomiarów na dystansie około 20 metrów (rys. 9 i 10). Robot dostarczał danych o stężeniu substancji chemicznych, temperaturze w budynku oraz geometryczny model 3D otoczenia. Dane wizualizowano w stacji dowodzenia w postaci modelu trójwymiarowego widocznego na rys. 11.



Rys. 9. Od lewej: mapa miejsca ćwiczeń, szczątki samolotu, hangar SH



Rys. 10. Robot autonomiczny w akcji

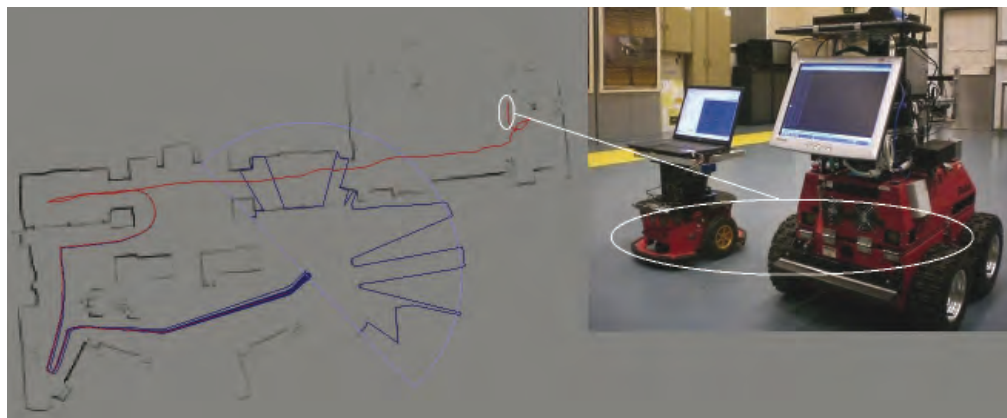


Rys. 11. Trójwymiarowy model wnętrza hangaru wizualizowany w stacji dowodzenia

3.4. Wielorobotowa inspekcja środowiska INDOOR

Celem przeprowadzonego eksperymentu była weryfikacja mobilnego systemu inspekcyjnego, składającego się z dwóch różnych robotów autonomicznych oraz stacji dowodzenia. Rys. 13 przedstawia wynik działania algorytmu SLAM w badanym środowisku robotów. Założono, że oba roboty (rys. 12 i 13) dysponują niezależnym i wystarczającym algorytmem lokalizacji oraz, że znane są pozycje początkowe obu robotów. Dzięki temu możliwe było umiejscowienie obu robotów na jednej, sumarycznej mapie w stacji dowodzenia.

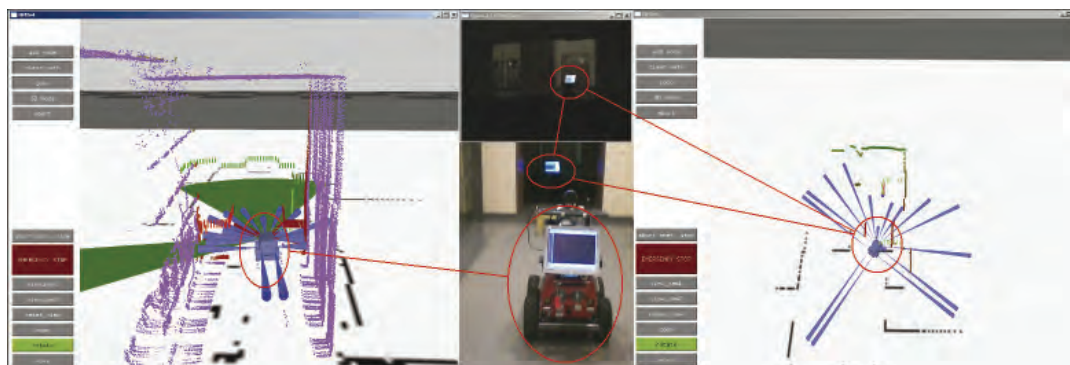
Jeden z robotów, szybszy, wykorzystywany jako robot zwiadowczy wykonuje skanowanie oraz lokalizuje się na utworzonej mapie (SLAM – rys. 14). Drugi, większy i lepiej wyposażony w układy sensoryczne generuje mapę 3D oraz dokonuje pomiaru stężeń chemicznych i temperatury.



Rys. 12. Po lewej: SLAM – mapa 2D zbudowana przez robota zwiadowczego; po prawej: dwa współpracujące roboty



Rys. 13. Jednoczesna inspekcja środowiska INDOOR



Rys. 14. Stacja dowodzenia HRI

4. PODSUMOWANIE

W referacie zaprezentowano wyniki badań związanych z rozproszonym wielorobotowym systemem sterowania i nadzorowania dedykowanym dla aplikacji typu RISE. Głównym osiągnięciem jest tu implementacja kognitywnego modelu człowieka nadzorującego system. Weryfikacja systemu sterowania oraz nadzorowania została przeprowadzona podczas testów poligonowych INDOOR i OUTDOOR, z wykorzystaniem robotów różnych producentów, w rzeczywistych akcjach inspekcyjno-interwencyjnych. Wykonano również eksperymenty w technologii AR (*Augmented Reality* – rzeczywistości rozszerzonej).

BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Howard. Multi-Robot Mapping using Manifold Representations. In: IEEE International Conference on Robotics and Automation. Proceedings New Orleans, Louisiana, Apr, 2004, s. 4198–4203
- [2] A. Howard. Simple mapping utilities (pmap).
<http://www-robotics.usc.edu/~ahoward/pmap/index.html>
- [3] R. Azuma, Y. Baillot, R. Behringer, S. Feiner, S. Julier, B. MacIntyre, Recent advances in augmented reality. In: Computer Graphics and Applications, IEEE 21 (6), Proceedings, 2001, s. 34–47.
- [4] B. Giesler, T. Salb, P. Steinhaus, R. Dillmann, Using augmented reality to interact with an autonomous mobile platform. In: ICRA. IEEE (6), Proceedings, 2004, s. 1009–1014.
- [5] J. Będkowski, A. Masłowski.: Cognitive Theory – Based Approach for Inspection using Multi Mobile Robot Control. In: The 7th IARP International WS HUDEM' 2008, AUC, Cairo. Proceedings, March, 2008, CD-ROM.
- [6] J. Będkowski, A. Masłowski. NVIDIA CUDA application in the Cognitive Supervision and Control of the Multi Robot System. In: International Workshop on Robotics for Risky Interventions and Environmental Surveillance RISE'2009, Brussels. Proceedings, January 2009, CD-ROM.
- [7] J. Będkowski, J. Piszczek, P. Kowalski, A. Masłowski. Improvement of the robotic system for disaster and hazardous threat management, In: 14th IFAC International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics. Proceedings, August, 2009 (CD-ROM).