

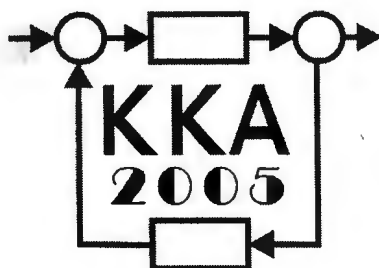
# **XV Krajowa Konferencja Automatyki**

**Tom II**



**Redaktorzy:  
Zdzisław Bubnicki  
Roman Kulikowski  
Janusz Kacprzyk**

# XV Krajowa Konferencja Automatyki Tom II



Redaktorzy:  
Zdzisław BUBNICKI  
Roman KULIKOWSKI  
Janusz KACPRZYK

**ORGANIZATOR**

Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk  
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk

**WSPÓLORGANIZATORZY**

Politechnika Warszawska

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów

Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

## ORGANIZATOR

Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk  
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk

## WSPÓLORGANIZATORZY

Politechnika Warszawska  
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów  
Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

## KOMITET PROGRAMOWY

Przewodniczący	Zdzisław BUBNICKI
Zastępca Przewodniczącego	Roman KULIKOWSKI

## CZŁONKOWIE

Stanisław BAŃKA	Michał BIAŁKO
Mikołaj BUSŁOWICZ	Władysław FINDEISEN
Ryszard GESSING	Henryk GÓRECKI
Jakub GUTENBAUM	Jerzy JÓZEFczyk
Stanisław KACZANOWSKI	Tadeusz KACZOREK
Janusz KACPRZYK	Jerzy KLAMKA
Józef KORBICZ	Zbigniew KOWALSKI
Krzysztof KOZŁOWSKI	Juliusz L. KULIKOWSKI
Krzysztof KUŹMIŃSKI	Kazimierz MALANOWSKI
Krzysztof MALINOWSKI	Wojciech MITKOWSKI
Antoni NIEDERLIŃSKI	Władysław PEŁCZEWSKI
Tadeusz PUCHAŁKA	Leszek RUTKOWSKI
Stanisław SKOCZOWSKI	Roman SŁOWIŃSKI
Jerzy ŚWIĄTEK	Andrzej ŚWIERNIAK
Ryszard TADEUSIEWICZ	Piotr TATJEWSKI
Krzysztof TCHOŃ	Leszek TRYBUS
Jan WĘGLARZ	Andrzej P. WIERZBICKI

## KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodniczący	Roman KULIKOWSKI
Zastępcy Przewodniczącego	Janusz KACPRZYK
	Stanisław KACZANOWSKI
	Tadeusz KACZOREK
	Krzysztof MALINOWSKI
Członkowie	Roman OSTROWSKI
	Tadeusz PUCHAŁKA
	Dariusz WAGNER
Sekretarze naukowci	Jan STUDZIŃSKI
	Jan W. OWSIŃSKI

ISBN 83-89475-01-4

Copyright © Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk  
All rights reserved

Druk: ARGRAF, Warszawa

ROBOTY

## ROBOT ANTYTERRORYSTYCZNY – WYBRANE ZAGADNIENIA KONSTRUKCYJNE

**Piotr SZYNKARCZYK, Sebastian PAWŁOWSKI, Tomasz KRAKÓWKA,  
Rafał CZUPRYNAK, Stanisław NYCZ, Michał KULAWIEC, Mariusz KOZAK,  
Sławomir KAPELKO, Adam ANDRZEJUK\***

\*Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP, Zespół Inteligentnych Systemów Mobilnych,  
Al. Jeruzolimskie 202, 02-486 Warszawa, e-mail: robot@piap.pl, www.piap.pl

**Streszczenie:** Neutralizacja terrorystycznych ładunków wybuchowych jest zadaniem bardzo ryzykownym. Zasadność wykorzystania do tego celu robotów w miejsce ludzi jest bezdyskusyjna. Artykuł opisuje budowę nowego polskiego robota pirotechnicznego zbudowanego specjalnie do prowadzenia misji antyterrorystycznych w ciasnych pomieszczeniach, a w szczególności w środkach komunikacji takich jak samoloty, autobusy i wagony kolejowe. Opis budowy obejmuje takie jej aspekty jak: baza mobilna, manipulator, chwytak, obrotnica manipulatora, stanowisko operatorskie, wyposażenie elektroniczne, oprogramowanie, okablowanie. Przedstawiona jest pokrótce droga jaką przebyli konstruktorzy od prototypu robota do wyrobu gotowego do sprzedaży.

**Słowa kluczowe:** roboty mobilne, roboty usługowe, teleoperacja, CAD, CAN BUS

### 1. WPROWADZENIE

Neutralizacja terrorystycznych ładunków wybuchowych jest zadaniem bardzo ryzykownym. Zasadność wykorzystania do tego celu robotów w miejsce ludzi jest bezdyskusyjna. Za pomocą robota można dokonać rozpoznania i neutralizacji ładunku niebezpiecznego. Roboty tego rodzaju znacznie redukują lub całkowicie eliminują czas przebywania pirotechnika w strefie zagrożenia. Procedury wykonywane podczas neutralizacji terrorystycznych ładunków wybuchowych obejmują: inspekcję i rozpoznanie, wykonywanie zdjęć rentgenowskich, niszczenie ładunków przy użyciu różnych metod oraz podejmowanie ładunków i ich wywożenie w kontrolowane warunki (np. na poligon). Wykonywanie takich zadań wymaga dostarczenia w pobliże zagrożonego rejonu różnego rodzaju czujników i narzędzi, niezbędne są także możliwości w zakresie manipulowania różnymi przedmiotami. Warto tu nadmienić, że już samo podchodzenie do bomby może być niebezpieczne ze względu na możliwość występowania pułapek. Niezależnie od uwagi, doświadczenia i fachowości, ryzyko podejmowane przez pirotechnika jest tym większe im powszechność dostępu w handlu różnych urządzeń do zdalnego sterowania zwiększa możliwość niespodziewanego wybuchu bomby wyzwolonej przez terrorystę z bezpiecznej odległości (w przypadku telefonów ko-

mórkowych nawet zza granicy). Kiedy całe to ryzyko zostaje przejęte przez robota pirotechnicznego, pirotechnik może lepiej skoncentrować się na wykonywanym zadaniu – zwiększa to skuteczność jego działań. Nawet, jeśli robot nie jest w stanie dotrzeć bezpośrednio do bomby, w dalszym ciągu może skutecznie wspomagać pirotechnika, np. poprzez inspekcję drogi dojazdu czy też dostarczanie narzędzi. Kamery robota mogą być użyte do nagrania przebiegu wydarzeń celem ich przyszłej analizy [1,2,3].

Historia polskich robotów pirotechnicznych rozpoczęła się w roku 1999, kiedy powstał prototyp robota Inspector. Od roku 2000 roboty te są sukcesywnie wprowadzane na wyposażenie oddziałów pirotechnicznych polskiej policji. Sukces robotów klasy Inspector zachęcił konstruktorów PIAP do tego, aby bazując na dotychczasowych doświadczeniach, w ramach nowego projektu celowego KBN podjąć się budowy i wdrożenia nowego robota oznaczonego symbolem SMR-100 Expert. Przeglądowy opis tej konstrukcji jest przedmiotem artykułu.

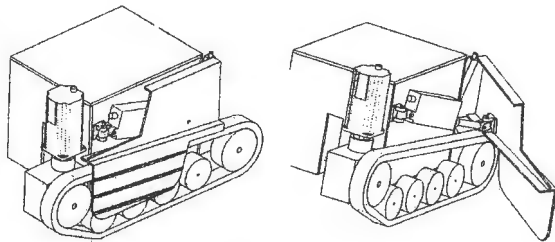
Robot Expert został zaprojektowany tak, aby mógł on skutecznie zastępować człowieka przy rozpoznawaniu i neutralizacji terrorystycznych ładunków wybuchowych. W szczególności docelowym obszarem działań robota są ciasne pomieszczenia i środki komunikacji takie jak samoloty, autobusy i wagony kolejowe.

### 2. BUDOWA PODSTAWOWYCH CZĘŚCI MECHANICZNYCH

#### 2.1 Baza mobilna

Ograniczenia wymiarowe narzucone na bazę mobilną i jednocześnie wymagania dotyczące dużego zasięgu manipulatora spowodowały powstanie paradoksu: krótka i wąska postawa oraz duży moment pochodzący od obciążenia na długim ramieniu. W efekcie powstał problem z wywracaniem się robota, w szczególności na boki. Zaproponowano rozwiązanie tego problemu przez

użycie rozkładanych stabilizatorów. Mechanizmy te (rys.1.) w stanie złożonym w minimalnym stopniu wpływają na szerokość bazy mobilnej, a jednocześnie w stanie rozłożonym blokują robota pomiędzy rzędami foteli lub stabilizują go przez podparcie na płaskim podłożu. Jest to rozwiązanie wyjątkowe dla tej klasy robotów. Dzięki niemu jest to jedyny na świecie robot pirotechniczny, który przy zasięgu manipulatora 3m jest w stanie unieść 8kg w chwytaku, a jednocześnie jego baza mobilna może manewrować wewnątrz samolotu.



Rys.1. Rozkładany stabilizator boczny

W przedniej części robota zaproponowano rozwiązanie konstrukcyjne dla przedniej gaśienicy o zmiennym koncie natarcia w zakresie od 20...30° poniżej poziomu aż do położenia pionowego (rys.2.). Położenie poniżej poziomu jest używane do zjazdów w dół, a położenie pionowe jest niezbędne podczas manewrów w ciasnych pomieszczeniach. Wyjątkowość tego mechanizmu polega na pogodzeniu jego niewielkich rozmiarów, dużego zakresu ruchu i możliwości przenoszenia obciążeń dochodzących do 400Nm.



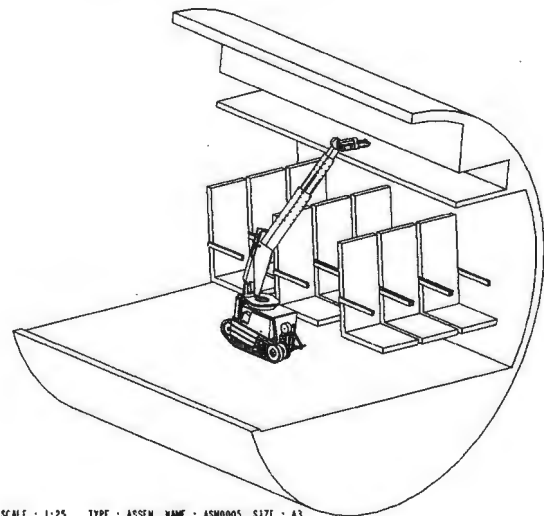
Rys.2. Zakres ruchu przedniej gaśienicy

Robot porusza się na gaśienicach prowadzonych od dołu przez osiem kół jezdnych. Koła jezdne są osadzone na osiach, każde za pośrednictwem dwóch łożysk kulkowych. Sześć kół jezdnych jest zawieszonych elastycznie na wahaczach wleczonych utrzymywanych przez sprężyny rozciągane. Ruchy wahaczy są ograniczone przez gumowe odbijacze. Najtrudniejszym zadaniem obliczeniowym było zaprojektowanie sprężyn zawieszenia robota. Wszystkie metody proponowane w podręcznikach i poradnikach prowadziły do wniosku, że takie sprężyny nie są możliwe do wykonania. Dopiero zastosowanie zaawansowanego programu wspomagającego projektowanie pozwoliło na zaproponowanie odpowiednich rozwiązań. Program ten nie opierał swojego działania na wzorach empirycznych

lecz wykonywał bliższe rzeczywistości obliczenia oparte o metody typu MES.

## 2.2 Manipulator

Wyzwaniem przy konstruowaniu manipulatora było zaprojektowanie go tak, aby jego rozmiary w położeniu złożonym były tak niewielkie jak rozmiary bazy mobilnej (przede wszystkim długość), a jednocześnie w położeniu rozłożonym jego zasięg musiał sięgać 3m. Kinematyka manipulatora została określona przez doświadczenia z modelami na pokładzie samolotów oraz w innych pomieszczeniach mających stanowić środowisko działań robota. Przeprowadzono również doświadczenia symulacyjne w środowisku wirtualnym (rys.3.). Jednocześnie prócz tak określonych wymagań trzeba było uwzględnić konieczność wkomponowania w konstrukcję elementów elektronicznych oraz okablowania. Na końcu można wymienić oczywiste wymagania dotyczące wytrzymałości konstrukcji (np. moment dochodzący do 600Nm u podstawy manipulatora). W ten sposób powstał zestaw wymagań i ograniczeń, które musiał spełniać manipulator robota Expert. Rzeczywiste rozwiązanie konstrukcyjne powstało (podobnie jak w przypadku bazy mobilnej) w dużej mierze dzięki użyciu oprogramowania opierającego się na zasadzie modelowania trójwymiarowego.



Rys.3. Robot w środowisku wirtualnym.

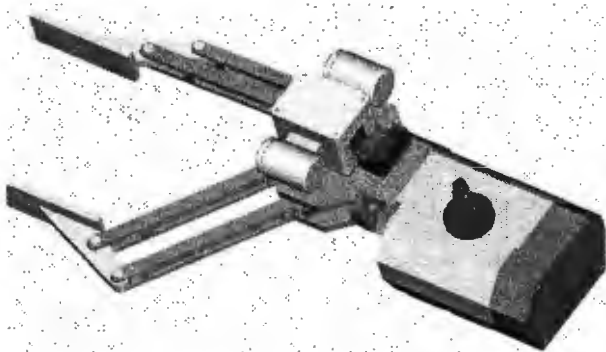
Szczególnym elementem manipulatora jest para postępowca. Dzięki jej działaniu ramię o długości całkowitej 800mm wydłużyć się może aż o dalsze 600mm. Ramię wysuwne napędzane jest silnikiem elektrycznym. Napęd przenoszony jest na śrubę trapezową poprzez pasek zębaty. Ten sam pasek napędza koło zębate podzespołu wyłączników krańcowych. Śruba trapezowa współpracuje z nakrętką wykonaną z brązu związaną z ostatnim aluminiowym profilem ramienia. Część wysuwna ramienia składa się z trzech połączonych teleskopowo kwadratowych profili aluminiowych obudowanych wkładkami ślizgowymi. Powierzchnie zewnętrzne profili zostały utwardzone poprzez zastosowanie specjalnych

metod pokryć galwanicznych umożliwiających osiągnięcie twardości zbliżonej do twardości stali.

Ważną cechą manipulatora jest lekkość. Może podnosić około 15kg w chwytaku przy własnym ciężarze 25kg. Warto także zaznaczyć, że większość stopni swobody manipulatora jest zabezpieczona mechanicznie przez sprzęgła przeciwwpraczeniowe oraz wszystkie wyposażone są w czujniki położenia i wyłączniki krańcowe.

### 2.3 Chwytak

Elementem, na którym opiera się konstrukcja chwytaka (rys.4.) jest aluminiowy odlewany korpus, w którym umieszczone są napędy obrotu i zacisku wymiennych szczęk, złącze obrotowe, płyta elektroniki, łożyska oraz interfejs łączący chwytak z ramieniem manipulatora. Silnik napędu zacisku szczęk jest umieszczony w osi chwytaka i napęd z niego jest przenoszony poprzez sprzęgło bezpośrednio na mechanizm zacisku wymiennych szczęk. Natomiast napęd obrotu szczęk jest umieszczony równoległe do osi chwytaka i napęd z niego jest przenoszony przez pasek zębaty. Płyta elektroniki zamocowana jest w korpusie głównym i umieszczona bezpośrednio nad złączem obrotowym. Interfejs łączący chwytak z manipulatorem umożliwia jego szybki montaż i demontaż. Na jego końcu zamocowane jest złącze elektryczne za pośrednictwem, którego przesyłane są sygnały elektryczne do i z chwytaka.



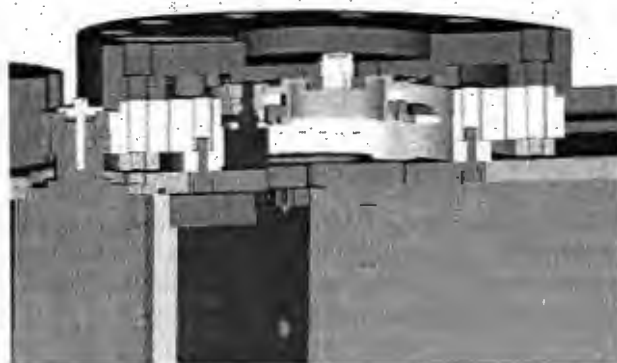
Rys.4. Chwytak

Wśród szczególnych cech chwytaka wymienić można: udźwig 15 kg przy ciężarze własnym 8 kg, pełna integracja części mechanicznych i elektronicznych, zastosowanie złącza obrotowego własnej konstrukcji (dostępne komercyjne złącza obrotowe są bardzo kosztowne).

### 2.4 Obrotnica manipulatora

Moment napędowy silnika obrotnicy manipulatora przenoszony jest poprzez przekładnię zębatą na zespół łożyskowy. Podstawowym elementem tego zespołu jest łożysko z zewnętrznym pierścieniem zębatym. Pierścień ten stanowi jednocześnie koło bierne w przekładni przenoszącej moment obrotowy. Wewnątrz łożyska znajdują się zespoły czujnika położenia oraz wyłączników krańcowych. Konstrukcja zespołu wyłączni-

ków krańcowych umożliwia obrót manipulatora w zakresie maksymalnie  $\pm 160^\circ$ .



Rys.5. Przekrój obrotnicy manipulatora

Łożysko przykręcone jest do pokrywy bazy mobilnej poprzez element dystansowy. Do pokrywy przykręcone są również elementy zawiasów i zamków stanowiące równocześnie jej wzmocnienie.

### 2.5 Stanowisko operatorskie

Sterowanie robotem odbywać się może przy użyciu walizkowego przenośnego stanowiska sterowniczego (rys.6.). Operator może za pomocą joysticków sterować płynnie każdym wybranym stopniem swobody robota.



Rys.6. Stanowisko operatorskie

Podobnie jak robot, stanowisko operatorskie zasilanie jest z własnych akumulatorów lub z zewnętrznego źródła zasilania. Zespół klawiszy na konsoli sterowniczej pozwala na sterowanie wyposażeniem robota (np. oświetlaczami kamer) oraz narzędziami lub uzbrojeniem. Ze względów bezpieczeństwa sterowanie uzbrojeniem zabezpieczone jest stacyjką z kluczykiem oraz dodatkowym włącznikiem, który musi być wciśnięty jednocześnie z klawiszem powodującym strzał.



Postęp konstrukcyjny w zakresie stanowiska operatorskiego można zobrazować poprzez porównanie jego ciężaru 25kg z ciężarem stanowiska operatorskiego robota Inspector wynoszącym 109kg, przy czym mniejsze urządzenie wykonuje więcej funkcji.

W celu ułatwienia operatorowi sterowania robotem mobilnym, stanowisko operatorskie zostało wyposażone w monitor pomocniczy, na którym w sposób graficzny (pseudo 3d) prezentowana jest aktualna konfiguracja manipulatora, gąsienicy przedniej a także aktualne dane z różnych czujników. Dostępne jest menu służące do nadawania funkcji klawiszom i joystickom oraz do wyboru różnego rodzaju nastaw i regulacji.

Stanowisko operatorskie w trybie natychmiastowym poinformować może operatora o ewentualnej awarii robota. Jest to możliwe dzięki działaniu systemu auto-diagnostycznego który w sposób ciągły monitoruje stan urządzenia.

### 3. WYPOSAŻENIE ELEKTRONICZNE

Funkcjonalność, szybkość i niezależność działania poszczególnych modułów sterowania robota została uzyskana przez rozdzielanie zadań w rozproszonym układzie wieloprocesorowym powiązanych siecią typu CAN BUS. W PIAP opracowano własne rozwiązania sterowników mikroprocesorowych zarządzających działaniem systemu. Również sterowniki silników manipulatora są konstrukcją własną PIAP. Czterema silnikami (obrót wieży, pochylenie gąsienicy, lewy i prawy stabilizator) steruje bezpośrednio komputer pokładowy robota. Pozostałymi silnikami sterują następujące moduły: sterownik ramienia, sterownik nadgarstka, sterownik chwytaka, sterownik głowicy kamery głównej. Oprogramowanie tych sterowników miało na celu nie tylko samo sterowanie napędami zgodnie z wolą operatora i zadanymi parametrami określającymi przyspieszenie i hamowanie, ale również zabezpieczenie manipulatora przed samouszkodzeniem. Z każdym stopniem swobody manipulatora związane są dwa czujniki położenia krańcowego. W przypadku osiągnięcia położenia krańcowego przez dane ramię, jest ono automatycznie przesuwane w bezpieczne miejsce, bez względu na sterowanie wykonywane przez operatora.

Robot wyposażony jest w zestaw kolorowych kamer z oświetlaczami. Pozwalają one na obserwacje terenu przed robotem i za robotem. Dodatkowo możliwe jest obserwowanie terenu nisko po obu bokach robota (np. w celu sprawdzenia przestrzeni pod fotelami w samolocie). Kamera główna jest umieszczona na szybkiej ruchomej głowicy (możliwe ruchy kamery: lewo-prawo, góra-dół). Oddzielna kamera służy do przekazywania obrazu bezpośrednio z przestrzeni roboczej chwytaka.

Informacje potrzebne do sterowania robotem neutralizująco-wspomagającym pochodzące z pulpitu sterowniczego oraz dane z czujników robota, transmitowane są przy użyciu cyfrowych urządzeń radiowych pracujących w technice widma rozproszonego (ang. Spread Spec-

trum), co praktycznie eliminuje możliwość celowego zakłócenia informacji bądź też jej przechwycenia przez osoby niepowołane.

Sygnał wizyjny z wybranej kamery robota jest transmitowany oddzielnym kanałem radiowym.

Możliwe jest zdalne sterowanie robotem za pomocą łącza kablowego pomiędzy stanowiskiem operatorskim a robotem.

### 4. OPROGRAMOWANIE

Ze względu na to, że w robocie zdecydowano się na decentralizację sterowania i zastosowano magistralę CAN, konieczne było opracowanie protokołu i sposobu transmisji pomiędzy poszczególnymi węzłami dołączonymi do tej magistrali. Każdy węzeł magistrali CAN wymaga oprócz interfejsu magistrali, kontrolera realizującego zadane funkcje. Tak więc do prawidłowej pracy danego węzła wymagane jest działanie dwóch programów: nadzorującego pracę całego systemu wraz z komunikacją pomiędzy węzłami, oraz programu realizującego funkcję lub zestaw funkcji do sterowania urządzeń wykonawczych przypisanych danemu węzłowi magistrali.

Oprogramowanie robota składa się z następujących elementów: oprogramowania niskiego poziomu związanego z obsługą zastosowanych procesorów i układów elektronicznych, oprogramowania poszczególnych węzłów robota oraz transmisji danych w magistrali CAN, oprogramowania telemetrii, oprogramowania interfejsu człowiek-maszyna (w stanowisku operatorskim). Poniżej zostaną omówione niektóre z nich.

Telemetria jest częścią oprogramowania robota odpowiedzialną za dwukierunkową, cyfrową transmisję danych między pulpitem sterującym, a robotem mobilnym. Istotą opracowanego algorytmu było osiągnięcie takiej szybkości wymiany informacji, aby możliwa była kontrola robota w czasie rzeczywistym. Procedury obsługujące komunikację gwarantują maksymalną z możliwych do osiągnięcia (racjonalnym kosztem szybkości transmisji) wiarygodność przesyłanych informacji. Dodatkowo wyposażono robota w procedury "uśpienia" i zaniechania realizowanych czynności w przypadku utraty lub zakłócenia połączenia ze stanowiskiem operatora.

W obustronnej telemetrii występuje pewna asymetria. Jeśli robot nie odbiera danych ze stanowiska operatorskiego to po upływie około 1 sekundy zatrzymuje się i oczekuje na wznowienie komunikacji wysyłając, co pewien czas dane do stanowiska operatorskiego. Jeśli natomiast stanowisko operatorskie nie odbiera danych od robota, to czeka na nie stosunkowo krótko i ponawia transmisję z nowymi i aktualnymi danymi. W ten sposób około 10 razy na sekundę stanowisko wysyła dane sterujące robotem, mimo że ten nie potwierdza ich odebrania. Dzięki temu robot ma większą szansę na ich odebranie. W ten sposób powstaje asymetria łączności



wyrażająca większą wagę przypisaną łączności od stanowiska operatorskiego do robota niż odwrotnie.

CAN jest szeregowym, asynchronicznym systemem do komunikacji między czujnikami a układami wykonawczymi manipulatora robota. Wykorzystuje topologię magistrali, czyli wszystkie elementy są połączone za pomocą skrętki co daje możliwość komunikowania się każdego węzła z każdym w obrębie danej sieci. Układ nadawania i odbioru CAN jest połączony z magistralą za pomocą dwóch wyprowadzeń CAN High i CAN Low. Aby zabezpieczyć transmisję przed powstawaniem błędów dane przesyłane są różnicowo, czyli różnica napięcia między liniami CAN High i CAN Low jest skwantowana. Ze względu na to, że zastosowane układy firmy HITACHI (w skrócie HCAN) są zoptymalizowane pod względem zakłóceń EMC, przeciążeń termicznych, błędów transmisji, odpowiedniego standardu sygnału, programista nie jest obciążony prowadzeniem programowej analizy i obsługi w/w zagadnień.

Oprogramowanie interfejsu człowiek-maszyna zostało zaimplementowane na procesorze stanowiska operatorskiego i służy do odczytu stanów przełączników i joysticków stanowiska operatorskiego, oraz do graficznej wizualizacji danych otrzymywanych z robota, na monitorze pomocniczym (pseudo 3d). Razem z oprogramowaniem telemetry oraz oprogramowaniem niskiego poziomu stanowi ono całość oprogramowania stanowiska operatorskiego.

## 5. OKABLOWANIE

Podczas projektowania urządzenia założono maksymalne ukrycie okablowanie robota wewnątrz konstrukcji urządzenia. Małe rozmiary robota, oraz duże wymagania dotyczące jego właściwości operacyjnych, zmusiły konstruktorów do rezygnacji z centralnego sterowania wszystkimi urządzeniami wykonawczymi i w efekcie do rozproszenia układów sterowania na kilka węzłów. Zastosowanie magistrali CAN pozwoliło na znaczne ograniczenie ilości kabli.

Szczególną trudnością było wykonanie kabla wewnątrz wysuwnego ramienia manipulatora spełniającego ściśle określone wymagania gabarytowe jak: średnica wewnętrzna, średnica zewnętrzna, możliwość wydłużania o 600mm. Kabel ten został wykonany w PIAP.

Okablowanie robota zostało wykonane wyłącznie z przewodów i kabli zakwalifikowanych do Mil-W-81044, Mil-C-27500 (Kable) i Mil-C-7078 (Kable). Okablowanie spełnia wymagania NATO oraz znajduje się na liście preferowanych produktów NASA. Wszystkie przewody robota zostały umieszczone w koszulkach termokurczliwych spełniających normy MIL-I-23053 i MIL-R-46846, a złącza i rozdzielnia zostały osłonięte za pomocą kształtek termokurczliwych spełniających normę MIL-I-81765. Parametry elektryczne i mechaniczne okablowania są gwarantowane w zakresie temperatur pracy  $-65$  do  $+150^{\circ}\text{C}$ .

## 6. OD PROTOTYPU DO WYROBU

Po zbudowaniu prototypu przeprowadzono szczegółowe badania poligonowe (wewnątrz samolotów będących w użytkowaniu PLL LOT, wagonów kolejowych i autobusów) – rys.7. Przeprowadzono również badania laboratoryjne, takie jak np.: badania właściwości jezdnych bazy mobilnej, działanie stabilizatorów bocznych i przedniej gąsienicy, maksymalne przechyły robota, zakresy ruchu chwytaka, wydajność systemów zasilania, poprawność działania płytek elektroniki, własności kamery głównej i kamer pozostałych, odporność robota na różne temperatury otoczenia. Wnioski z badań pozwoliły na wprowadzenie udoskonaleń robota.



Rys.7. Wybrane zdjęcia z badań poligonowych robota



Rys.8. Robot przed przeróbkami i (poniżej) po przeróbkach.

Wprowadzone udoskonalenia (rys.8.) obejmowały m.in. zmiany: szczegółów konstrukcji zawieszenia bazy mobilnej, konstrukcji i kształtu traktora gąsienicy, wprowadzenia okablowania z silników napędowych bazy mobilnej, oprogramowania silników napędowych bazy mobilnej, rozmieszczenia elementów elektronicznych wewnątrz bazy mobilnej, konstrukcji i napędu obrotnicy manipulatora, wzmocnienie pokrywy głównej bazy mobilnej, konstrukcji dolnego ramienia manipulatora, niektórych silników napędowych manipulatora oraz chwytaka, udoskonalenie uszczelnienia całej konstrukcji, konstrukcji stanowiska operatorskiego, okablowania robota i stanowiska operatorskiego, punktu mocowania manipulatora do bazy mobilnej, wprowadzenie możliwości łatwego demontażu kamery głównej, wprowadzenie możliwości łatwego demontażu stabilizatorów bocznych, wyświetlaczy w stanowisku operatorskim, wprowadzenie dodatkowych funkcji serwisowych w stanowisku operatorskim, wprowadzenie ostatecznych poprawek w projektach płytek elektronicznych, dodanie przedniej kamery jezdnej, liczne inne drobne usprawnienia i poprawki.

## 7. ZAKOŃCZENIE

Według wiedzy, którą posiadają konstruktorzy PIAP, **Expert jest jedynym w świecie robotem zdolnym w pełni wykonywać misje antyterrorystyczne wewnątrz samolotów.** Spełnienie tego wymogu, będącego jednym z głównych założeń projektowych, było niezmiernie trudne. Nie byłoby to możliwe bez zaplecza i doświadczenia naukowego konstruktorów, a także bez użycia nowoczesnych narzędzi projektowych i rozwiniętych technologii. Wśród nowoczesnych technologii wymienić można: zastosowanie rozproszonego wieloprocesorowego układu sterowania, zastosowanie sieci CAN, zastosowanie metody projektowania robota w środowisku modelowania trójwymiarowego, zastosowanie śmiałych i niekonwencjonalnych rozwiązań mechanicznych (jak np. stabilizatory boczne, para postępową manipulatora).

Zbudowanie robota Expert (kolejnego po robocie Inspector) pozwoliło na wykonanie dalszego kroku w kierunku nowoczesnych technologii. Wyniki i nabyte doświadczenie promieniają w dwie strony. Następuje transfer nowych technologii wstecz – od nowego robota do starszej konstrukcji (np. w robocie Inspector zastosowano zminiaturyzowane kamery pochodzące z Expert-a). Jednocześnie wiedza, know-how i nowa aparatura wykorzystane zostaną do budowy nowego robota o roboczej nazwie „Ibis”, który w przyszłości zastąpić może Inspector-a. Realizacja tego projektu już się rozpoczęła.

Z dotychczasowych wieloletnich doświadczeń PIAP wynika, że polskie konstrukcje specjalistycznych robotów do celów specjalnych mają realne szanse wejścia na rynek międzynarodowy, gdzie mogą śmiało konkurować z konstrukcjami zagranicznymi. Daje to szanse polskiej nauce na godne zaprezentowanie się w świecie, a także wpłynąć to może na poprawę bilansu handlowego z zagranicą.

## ANTITERRORISTIC ROBOT – CHOSEN DESIGN ISSUES

**Abstract:** Neutralisation of the terrorist explosive devices is a highly risky task. Purposeness of the use of the robot instead of a human for such a task is out of discussion. The article describes how Polish pyrotechnical robot was built especially for antiterrorist missions inside confined spaces, particularly inside means of transport such as the air-crafts, buses and rail cars. Description includes such issues as: mobile base, arm, gripper, turntable at the footing of the arm, control panel, electronics, software, cabling. Described is shortly the way leading from a prototype to a commercial product.

## Literatura

- [1] Masłowski A., Szykarczyk P., Andrzejuk A. (1998) New Methods in Development of Semi-Autonomous Surveillance And Security Mobile Robots, in: *Proceedings of Clawar'98, First International Symposium Clawar*, pp 285-290, Brussels.
- [2] Szykarczyk P., Andrzejuk A., Masłowski A., Kozak M., Krakowka T. (2001) Surveillance Mobile Robot SR-11 INSPECTOR – From Prototype to the Real Application, w mat. konf. *WESIC 2001, 3rd Workshop on European Scientific and Industrial Collaboration*, University of Twente, Enschede, The Netherlands, June 27-29 2001.
- [3] Szykarczyk P. (2001) Konferencja i wystawa Federalnego Biura Śledczego dla Oficerów Docho-dzeniowych i Pirotechników Halle 2001. *Miesięcznik naukowo-techniczny PAR*, 11, Warszawa.



Instytut Badań Systemowych  
Polskiej Akademii Nauk

ISBN 83-89475-01-4