

MOBILNE ROBOTY INTERWENCYJNO-INSPEKCYJNE

Streszczenie: W referacie przedstawiono aktualne tendencje w rozwoju mobilnych robotów inspekcyjnych i interwencyjnych, w szczególności w zakresie ich wyposażenia i oprogramowania do teleoperacji z elementami autonomicznej, inteligentnej nawigacji. Przykłady zastosowań dotyczą takich zagadnień jak humanitarne rozminowanie i unieszkodliwianie niebezpiecznych ładunków w działaniach antyterrorystycznych. Zaprezentowano projekt mobilnego robota interwencyjno-inspekcyjnego nowej generacji.

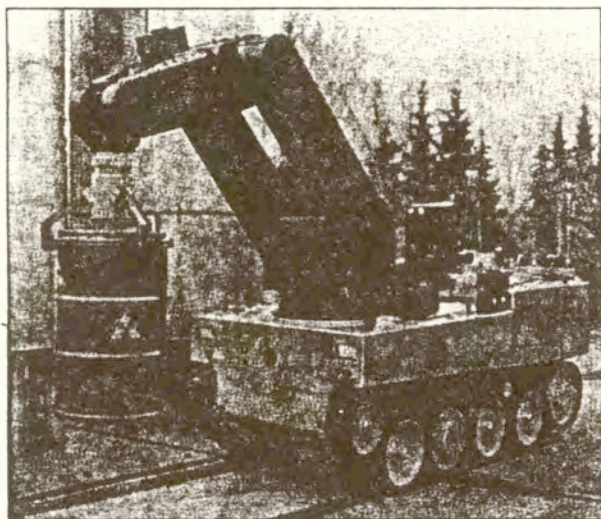
Specjalizowane roboty mobilne są produkowane i stosowane na świecie [1,2,3]. Ich typowe aplikacje to monitorowanie i naprawy elementów w siłowniach jądrowych, inspekcja obszarów skażonych środkami chemicznymi lub zagrożonych skażeniem, walka z pożarami, wyszukiwanie i usuwanie bomb, walka z terroryzmem. Osobnym i ostatnio szczególnie intensywnie rozwijającym się zastosowaniem takich systemów mobilnych jest detekcja i usuwanie min oraz humanitarne rozminowanie [4,5,6,7]. Istnieją także inne aplikacje robotów mobilnych o cechach robotów inspekcyjnych np. w górnictwie [8] czy w rolnictwie [9]. Również we wszystkich innych sytuacjach, gdy zagrożone jest życie operatora, jest celowe stosowanie wyspecjalizowanych systemów mobilnych. Powodem jest to, że nawet w chłodnym ujęciu ekonomicznym, koszt utraty życia znacznie przewyższa wydatki poniesione na konstrukcję, badania, produkcję i utrzymanie maszyn mobilnych.

Rozwój sytuacji politycznej w wielu krajach spowodował wzrost niepokojącej tendencji konfrontacji z udziałem zdarzeń z materiałami wybuchowymi. Radykalne grupy etniczne lub religijne, a także organizacje kryminalne coraz częściej w akcjach terrorystycznych wykorzystują bomby i środki strzałowe [10]. Fakty takie mają ostatnio miejsce także w kraju. Ale jak do tej pory w Polsce nie opracowano i jeszcze nie istnieje wyspecjalizowany system mobilny produkcji krajowej, wspomagający działania antyterrorystyczne, a potrzeby nie są mniejsze od światowych. Policja państwowa, straż

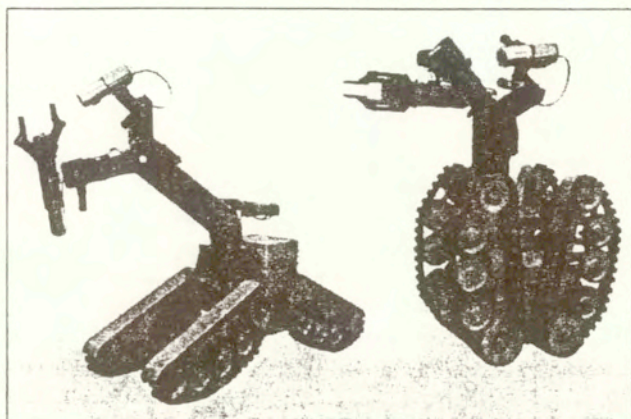
graniczna, straż pożarna, jednostki antyterrorystyczne są zainteresowane zdalnie sterowanym robotem do rozpoznawania i usuwania niebezpiecznych ładunków lub do analizy skutków zdarzeń z udziałem materiałów wybuchowych. Istotny jest również aspekt społeczny produkcji robota interwencyjno-inspekcyjnego w Polsce. W wielu instytucjach państwowych wyposażonych w urządzenia tego typu wzrosło bezpieczeństwo pracy ludzi, którzy aktualnie sami wykonują niebezpieczne zadania, narażając życie i zdrowie.

Przykłady stosowanych robotów interwencyjno-inspekcyjnych

Typowym obszarem zastosowania robotów inspekcyjnych jest technika jądrowa. Jako przykład można wskazać jeden z bardziej zaawansowanych systemów inspekcyjnych-ciężki manipulator mobilny (Heavy Manipulator Vehicle-HMV [11]) - produkowany przez firmę Telerob, przedstawiony na rys.1.



Rys. 1. Ciężki manipulator mobilny HMV firmy Telerob.

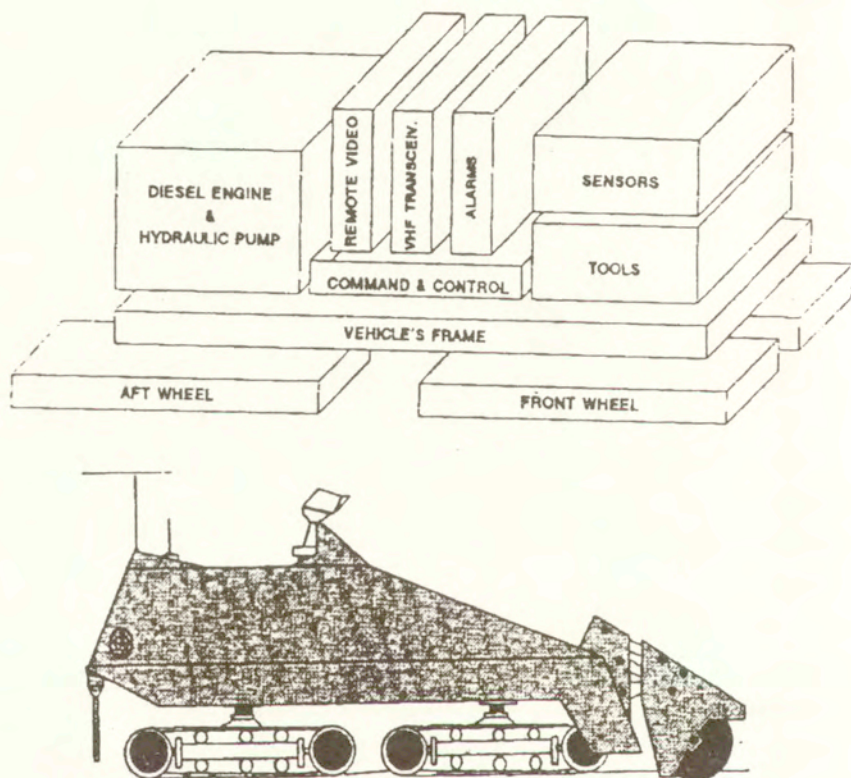


Rys. 2. Robot inspekcyjny MV3 firmy Telerob.

Innym przykładem robota, wykorzystywanego do inspekcji i nadzoru w elektrowniach jądrowych, jest średniej wielkości robot na czterech gąsienicach, również produkowany przez firmę Telerob, o nazwie MV3 [11], przedstawiony na rys. 2.

Szczególnym obszarem zastosowań mobilnych robotów specjalizowanych, posiadających własności zarówno robotów inspekcyjnych jak i interwencyjnych, są roboty wykonujące misję detekcji, neutralizacji lub usuwania min, szczególnie min przeciwpiechotnych (anti-personnel mines) [12]. Jest to związane z akcjami tzw. humanitarnego rozminowania, przeprowadzonymi z reguły po zakończeniu konfliktów zbrojnych. Celowość zastosowania tu wyspecjalizowanych maszyn mobilnych wynika zarówno z analizy stopnia niebezpieczeństwa, powodowanego przez miny, w odniesieniu do człowieka jak i robota mobilnego, jak i konieczności zastosowania nowych, efektywniejszych technologii rozminowania. Na podkreślenie zasługuje duża wydajność oraz małe zagrożenie i łatwa ochrona robota przed minami przeciwpiechotnymi.

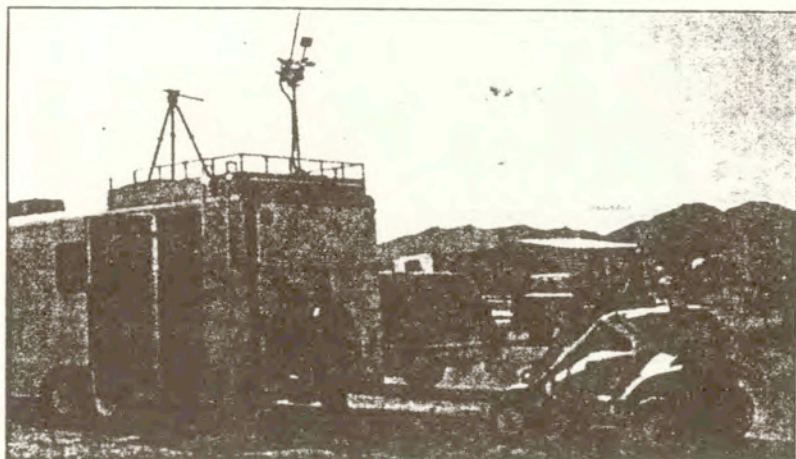
Przykładem mobilnego robota, przeznaczonego do działania w trudnym terenie (np. górzystym czy pustynnym) jest wyprodukowany przez firmę ACSA robot CM-2 [13]. Idea budowy tego robota jest przedstawiona na rys. 3.



Rys. 3. Idea budowy robota CM-2 firmy ACSA.

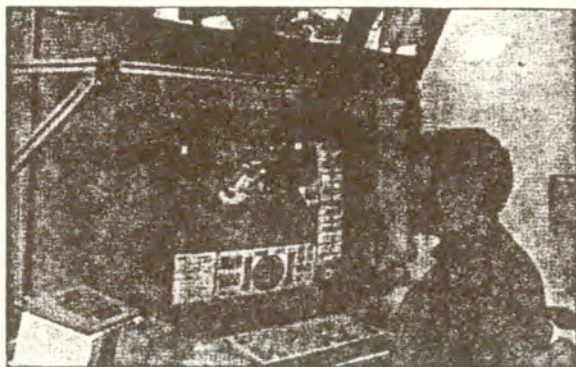
Cechami wyróżniającymi tego robota są: modułowa budowa, a co za tym idzie łatwość transportu i naprawy, prosta obsługa, zintegrowany system sygnalizacji i sterowania. Do celów rozminowania robot jest wyposażony w przedni bęben o napędzie hydraulicznym, czujniki magnetyczne, działko wodne oraz 6-cio funkcyjny manipulator.

W Sandia National Laboratory w USA opracowano i wdrożono system zdalnie sterowanego robota mobilnego RETRVIR [14], pokazany na rys. 4.



Rys. 4. Zdalnie sterowany mobilny manipulator RETRVIR wraz ze stanowiskiem sterowania. stanowisko sterowania z konsolą operatorską (rys.5), wyposażoną w wysokiej klasy interfejs graficzny oraz moduł szybkiej łączności radiowej.

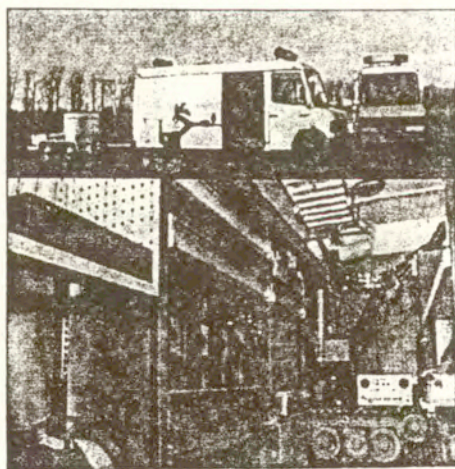
W skład tego systemu wchodzi czterokołowa baza mobilna z 6-cio funkcyjnym manipulatorem hydraulicznym, chwytak z czujnikami siły, układy wizyjne, mobilne. Rozkazy operatora, jako decyzje wyższego rzędu, są przekazywane do układu sterowania systemu RETRVIN, który automatycznie wyznacza właściwą do wykonania danego zadania trajektorię ruchu ramienia manipulatora i jego chwytaka. W celu uniknięcia kolizji z otaczającymi przeszkodami ruch ramienia jest korygowany i odpowiednio zsynchronizowany z ruchem bazy mobilnej. Daje to w sumie efekt znacznego przyspieszenia operacji wykonywanych za pomocą tego robota. Chwytak manipulatora może albo bezpośrednio ujmować niebezpieczne przedmioty (np. miny) lub mogą być one wydobywane innymi narzędziami, dodatkowo montowanymi na ramieniu manipulatora. Czujniki siły zainstalowane w chwytaku pozwalającym na delikatne nim operowanie (ważne przy chwytniu min).



Rys. 5. Operator przy konsoli sterującej robotem RETRIVIR.



Rys. 6. Robot MV4 firmy Telerob.



Rys. 7. System TEL 600 firmy Telerob.

Ze względu na wymiar społeczny akcji terrorystycznych, za ważną aplikację robotów interwencyjno-inspekcyjnych należy uznać ich zastosowanie w zdarzeniach z udziałem materiałów wybuchowych, narkotyków czy gazów toksycznych. Na plan pierwszy wysuwa się ich wykorzystanie w technice usuwania ładunków wybuchowych (lokalizacja, identyfikacja, unieszkodliwienie). Tu przykładem robota interwencyjno-inspekcyjnego dobrej konstrukcji jest robot MV4 [15] firmy Telerob, rys.6, stanowiący integralną część w pełni wyposażonego zestawu do inspekcji i interwencji TEL 600, przedstawionego na rys. 7.

Nowoczesne tendencje w sterowaniu robotami interwencyjno-inspekcyjnymi

System mobilnego robota inspekcyjno-interwencyjnego składa się z dwóch głównych elementów. Pierwszy z nich to stanowisko operatorskie do zdalnego sterowania robotem mobilnym, ewentualnie z wykorzystaniem elementów rzeczywistości wirtualnej. Stanowisko to jest elementem dialogu na łączu człowiek - maszyna oraz obsługuje radiową lub przewodową komunikację z robotem. Drugim elementem jest robot mobilny wyposażony w manipulator z chwytakiem, różnego rodzaju czujniki [23] służące do badania stanu otoczenia, dwie kamery (jedna do obserwacji drogi, druga do obserwacji manipulatora), modemu radiowego i inteligentnego sterownika. Oprogramowanie takiego systemu składa się również z dwóch części: pierwszej związanej z obsługą stanowiska operatorskiego oraz drugiej dotyczącej komunikacji i sterowania robota.

Jednym z zadań zdalnie sterowanego mobilnego robota inspekcyjnego czy interwencyjnego jest dostarczanie tele-operatorowi informacji o swoim otoczeniu, informacji zebranych i przedstawionych tak, aby umożliwiała to sprawne nim manewrowanie w nieznanym terenie [16,17,18,19]. W razie pomyłek tele-operatora lub w razie zakłóceń w łączności, robot powinien przejmować inicjatywę i kontynuować wykonywanie zadania, a przede wszystkim być w stanie wrócić samodzielnie do miejsca startu misji. Robot taki powinien wspomagać tele-operatora przez autonomiczne wykonywanie pewnych funkcji, np. jazda wzdłuż, ściany, jazda środkiem korytarza, jazda z unikaniem zderzeń z przeszkodami (ruchomymi i nieruchomymi) itp.

Do realizacji tych celów służy stanowisko tele-operatora mającego do dyspozycji panel do sterowania mobilnym manipulatorem, mogącego posługiwać się hełmem wirtualnym z obrazem otoczenia robota [20,21,22]. Obraz ten jest przetwarzany i przekazywany drogą radiową z kamer robota: kamery umieszczonej z przodu robota (umożliwiającej kontrolowaną jazdę bazy mobilne) i kamery obserwującej manipulator (umożliwiającej kontrolę jego ruchu). Głównym powodem stosowania elementów techniki wirtualnej rzeczywistości jest ułatwienie tele-operatorowi wykonania zadania. Przetworzony obraz z kamer robota, rzutowany na ekran wewnątrz hełmu na głowie operatora, stwarzać ma wrażenie osobistego jego pobytu na miejscu robota. Efekt ten jest spotęgowany faktem, że ruchom głowy operatora na boki odpowiadają obroty wieży robota (na niej zamocowana jest kamera). Dzięki temu sterowanie robotem i zdalne wykonanie zadania staje się łatwiejsze. Roboty, dzięki modemowi radiowemu, mogą poruszać się w odległości do kilkuset metrów od tele-operatora. Wykorzystuje się przy tym odczyty z czujników robota i/lub systemu wizyjnego, uwzględniając błędy pomiaru, zakłócenia radiowej transmisji danych, a także dynamikę robota.

Do sterowania robotem stosuje się obecnie hybrydowe i hierarchiczne sterowniki. Taka struktura pozwala na dużą szybkość ich działania w przypadku często powtarzających się sytuacji (np. zagrożenia zderzeniem z dowolną przeszkodą). Sterownik może być zbudowany przy wykorzystaniu sieci neuronowych lub zbiorów rozmytych, ale wykonuje się również implementację niektórych funkcji metodami klasycznymi (np. wtedy, gdy czas reakcji robota jest wielkością krytyczną). Głównym wyznacznikiem skuteczności sterownika jest jego niezawodność.

Ponieważ robot (lub zespół robotów) ma pracować na znacznej przestrzeni, a co za tym idzie w znacznej odległości od operatora, to wykluczony jest nieprzerwany nadzór jak i stałe przekazywanie danych o stanie jego otoczenia (np. szybka transmisja sygnału wizyjnego). Zadaniem sterownika będzie wówczas zarówno sterowanie robotem według decyzji operatora, jak i podejmowanie własnych (co do szczegółów realizacji zadania) i reagowania na nieznane sytuacje. Taki autonomiczny sterownik robota będzie się wówczas składał z czterech podstawowych bloków: bloku analizy zadań zleconych przez operatora, bloku priorytetów zadań, bloku decyzyjnego, bloku bezpieczeństwa.

Blok analizy zadań służy do ich klasyfikacji do znanych kategorii, które robot potrafi wykonać. Blok priorytetów zadań będzie zaszeregowywał zlecone, a jeszcze nie wykonane zadania tak aby robot mógł jak najefektywniej wykorzystać czas i posiadane zasoby energii. Optymalizacja czasu wykonania pewnej liczby zleconych zadań jest nowym rozwiązaniem zarówno problemu szybko wyczerpujących się zasobów energii w robocie, jak i zwiększenia liczby wykonanych zadań (biorąc pod uwagę prawdopodobieństwo uszkodzenia robota w trudnych warunkach). Blok decyzyjny będzie odpowiedzialny za wybór środków do realizacji całego zadania. Blok bezpieczeństwa wyposażony będzie w system odruchowy przejmujący kontrolę nad robotem w sytuacjach zagrożenia dla robota. Dotychczasowe próby wprowadzenia odruchów do sterowania robotami, stanowią początki badań w tej dziedzinie.

Opisana powyżej zasada teleoperacji łączy w sobie szereg cech zwiększających możliwości sterowania robotami na dużych odległościach. Robot wyposażony w taki sterownik będzie mógł dłużej i efektywniej wykonywać zadania tam, gdzie występują trudne lub niebezpieczne warunki pracy i wynikłe stąd ograniczenia. Jest to nowe i jeszcze nie rozwiązane zagadnienie, stwarzające możliwości usprawnienia mobilnych robotów interwencyjno-inspekcyjnych o rozszerzonej autonomii. Przykładem tego trendu jest inteligentny sterownik mobilnego systemu autonomicznego, zbudowanego w oparciu o architekturę wielowarstwową [25], [27], gdzie każda warstwa, odpowiedzialna za realizację danego celu, ma bezpośredni dostęp do receptorów i efektorów sterowanego obiektu. W proponowanym rozwiązaniu, typowe problemy związane z innymi architekturami np. subsumption architecture mogą być usunięte przez zastosowanie dynamicznego przydziału priorytetów warstwom. Wymaga to dodania modułów wstępnego przetwarzania danych filtrujących informacje z poszczególnych warstw (wzorce biologiczne) oraz zastosowania do budowy niektórych warstw techniki sieci neuronowych samouczących się (unsupervised learning).

Ważną zaletą takiego systemu sterowania jest jego odporność na uszkodzenia. Na przykład, gdy ulegnie uszkodzeniu warstwa odpowiedzialna za wyszukiwanie celu, dalej istnieje szansa realizacji zadania, gdyż robot jest w stanie omijać przeszkody. Prawdopodobnie warstwa odruchów warunkowych (nauczona przez warstwę wyszukującą cele) może zastąpić uszkodzoną część sterownika. Warto ponadto zaznaczyć, że proponowane

do stosowania sieci neuronowe przejawiają pewną odporność na częściowe uszkodzenia, co wynika z samej ich budowy [29].

Robot musi wspomagać zdalnego operatora w stopniu umożliwiającym łatwe nim sterowanie. W razie zakłóceń lub całkowitego zerwania łączności, powinien bezpiecznie wrócić do miejsca rozpoczęcia misji lub samodzielnie wykonać zadanie i powrócić. Służą temu, będące na wyposażeniu robota mobilnego, czujniki odległości (ultradźwiękowe, podczerwone i dalmierz laserowy) do tworzenia mapy otoczenia robota oraz czujniki taktylne do sygnalizowania ewentualnego zdarzenia z przeszkodami. Dane z układów sensorycznych powinny się wzajemnie potwierdzać (realizuje się tu ideę fuzji sensorów). Obraz z systemu wizyjnego może być (w przypadku użycia standardowego modemu radiowego) przekazywany tele-operatorowi jedynie w uproszczonej postaci. Przy zastosowaniu szybkiego łącza radiowego możliwe jest przekazywanie obrazu o większej rozdzielczości. Operator mobilnego robota interwencyjno-inspekcyjnego powinien również dysponować narzędziowymi funkcjami przetwarzania obrazów (np. filtrowanie, wyostrzenie, cyfrowa regulacja jasności i kontrastu itp.) [24]. Nie jest to możliwe w przypadku stosowania standardowych łącz telewizyj przemysłowej. System wizyjny, zainstalowany w robocie mobilnym wyposażonym w komputer pokładowy, spełnia takie wymagania.

Oprogramowanie wspomagające działania operatora powinno pozwolić na autonomiczny ruch robota w danej sytuacji, np. na jazdę wzdłuż ściany, optymalne omijanie przeszkód, ciągle monitorowanie przestrzeni wokół siebie (wyświetlanie mapki) i alarmowanie w sytuacji zbliżania się do przeszkody (lub interwencji), autonomiczną inspekcję terenu. Mimo to nadrzędną rolę w sterowaniu będzie zawsze pełnił operator.

Reasumując poruszane do tej pory kwestie, można stwierdzić, że za nowe i oryginalne tendencje należy uznać rozwiązania problemów związanych ze sterownikiem robota mobilnego interwencyjno-inspekcyjnego o ograniczonej autonomii, zdalnie prowadzonego przez operatora. Jest to połączenie dwóch oddalonych od siebie ośrodków decyzyjnych - człowieka i komputera robota. Uwzględnia się przy tym fakt pracy robota, rozpoznawania stanu otoczenia i jego autonomiczną nawigację w skrajnie trudnych warunkach (np. zapylenie, temperatura, wilgotność nierówność terenu, jazda po schodach itp.).

Mobilny robot interwencyjno-inspekcyjny „INSPECTOR”

W Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów PIAP podjęto realizację projektu celowego [28] dotyczącego opracowania, wykonania i badania prototypu mobilnego robota interwencyjno-inspekcyjnego.

Zasadniczym czynnikiem różniącym to przedsięwzięcie od konstrukcji zagranicznych jest założenie o zdolności robota do autonomicznego wykonywania określonych czynności, w pewnych sytuacjach lub na życzenie operatora. Do działań takich należy autonomiczny powrót robota do stanowiska operatora lub jazda w kierunku operatora, w przypadku utraty łączności radiowej. Zapobiega to wyłączeniu robota z dalszej akcji lub konieczności bezpośredniej ingerencji operatora. Zastosowanie zaawansowanego komputera pokładowego pozwala na zaprogramowanie innych funkcji robota np. autonomiczne poruszanie się robota w korytarzu w ustalonej odległości od ściany [29] lub w terenie. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że urządzenia tego typu działają w specyficznych warunkach i są wykorzystywane do zadań specjalnych. Z tego względu pełną, niczym nie ograniczoną zdolność sterowania robotem może mieć wyłącznie operator. Wszystkie funkcje programowane mają jedynie podrzędny priorytet sterowania. Istotną zaletą projektu jest możliwość uzupełniania programowania robota, co pozwala dostosować każdy egzemplarz do specyfiki jego zastosowania.

Robot interwencyjno-inspekcyjny INSPECTOR wyposażony jest w manipulator o 6 stopniach swobody, z wymiennymi chwytakami, umożliwiającymi wykonanie typowych czynności interwencyjnych. Manipulator może obracać się na podstawie, podnieść i wysunąć ramię, dokonać skrętu i zgięcia „nadgarstka” oraz zamknąć chwytak. Wszystkie stopnie swobody manipulatora są rozprężone, co jest ważne ze względu na charakter wykonywanych przez robota zadań. Maksymalny wysięg manipulatora wynosi ok. 2 m, a udźwig na ramieniu 0,6 m (w bezpośrednim sąsiedztwie bazy mobilnej) jest nie mniejszy niż 20 kG.

Baza mobilna wyposażona została w gaśnicę, a zastosowanie układu przednich gaśnic pozwoli na poruszanie się jednostki w trudnym terenie, pokonywanie schodów oraz innych przeszkód. Wszystkie urządzenia wykonawcze robota są zasilane wyłącznie elektrycznie, z akumulatorów umieszczonych wewnątrz bazy mobilnej. Czas pracy układu

zasilanego z akumulatora jest krótszy niż 1 godzina. Możliwe jest również przewodowe zasilanie robota. W trybie tym akumulatory robota są doładowywane.

Robot mobilny wyposażony jest w cztery kamery cyfrowe oraz zaawansowany system wizyjny. Jedna z kamer jest przeznaczona do obserwacji terenu 80 - 100 cm przed robotem. Jest ona wykorzystywana głównie w trakcie jazdy robota. Druga, umieszczona w łożu strzelby, jest wykorzystywana jako kamera celownicza, trzecia przekazuje obraz z przetrzeni roboczej chwytaka, natomiast czwarta obserwuje przestrzeń z tyłu robota. Sygnał z kamer jest wstępnie opracowany i przetwarzany przez zaawansowany system wizyjny.

Czujniki odległości rozmieszczone na obwodzie bazy mobilnej dostarczają operatorowi informacji o odległości od przeszkód znajdujących się wokół robota. Jak wykazały doświadczenia z robotem interwencyjnym G1 firmy TIG oraz MV4 firmy Telerob, sterowanie robotem mobilnym w wąskim korytarzu (np. w samolocie) jedynie przy wykorzystaniu obrazu z kamery skierowanej do przodu jest bardzo trudne i zwykle prowadzi do zbliżania się do ścian (przeszkód) lub kolizji. Przełączanie obrazów z kamer lub obserwacja kilku na raz, w trakcie ruchu robota, są również czynnościami niewygodnymi. Dostarczenie operatorowi mapy rozmieszczenia przeszkód wydaje się być optymalnym rozwiązaniem, które znacznie zwiększy „pole widzenia” operatora, zasadniczo wpływając na bezpieczeństwo i łatwość wykonywanych operacji. Informacje potrzebne do sterowania robotem mobilnym, pochodzące z pulpitu sterowniczego oraz dane z systemu wizyjnego i czujników robota, transmitowane są przy zastosowaniu bardzo szybkich kart modemowych, co gwarantuje ich przesył w czasie rzeczywistym. Zasięg modemu radiowego nie powinien być mniejszy niż 500 m w terenie otwartym. Transmisja danych odbywa się w technice utrudniającej zakłócenia informacji bądź też jej przechwycenie przez osoby niepowołane.

Funkcjonalność, szybkość i niezależność działania poszczególnych modułów robota jest uzyskana przez rozdzielenie zadań w wieloprocesorowym układzie sterowania. Komputerem nadrzędnym, zarządzającym działaniem systemu, jest komputer klasy PC (komputer pokładowy robota). Rolę procesorów podrzędnych pełnią układy sterownika silników, systemu wizyjnego, układu nadawczo/odbiorczego oraz czujników odległości

Pulpit sterowniczy jest również wyposażony w komputer klasy PC (komputer bazowy). Obrazy z kamer oraz mapa rozmieszczenia przeszkód, utworzona na podstawie informacji z czujników odległości, wyświetlane na monitorze. Pulpit jest wyposażony w

joystick, pozwalający na płynną zmianę prędkości i kierunku ruchu robota. Zakres prędkości podzielony jest na podzakresy, dzięki czemu możliwe staje się dokładne jej dobranie w zależności od wykonywanego zadania. Zawracanie przeciwbieżne wyróżnione jest jako osobna funkcja pulpitu sterowniczego. Pulpit wyposażono ponadto w zespół przełączników pozwalających na sterowanie manipulatorem, wyposażeniem dodatkowym (np. reflektorami) oraz uzbrojeniem (zaciski napięciowe do wyzwiania strzelby, działka oraz dwa dodatkowe zaciski do wykorzystania przez operatora).

Zarówno architektura robota jak i układów pulpitu sterowniczego pozwala na przysłą ich rozbudowę. Planowane jest doposażenie robota w głowicę o dwóch stopniach swobody, na której zamocowane będą dwie kamery CCD. Do pulpitu sterowniczego podłączony zostanie hełm wirtualny, wyposażony w dwa wyświetlacze ciekłokrystaliczne oraz układy przetwarzające ruch głowy operatora na ruch kamer w robocie. Dzięki takiemu rozwiązaniu stanowisko operatora zostanie „wirtualnie” umieszczone na robocie mobilnym. Stereowizja zlikwiduje problem pomiaru odległości od przeszkody, a w połączeniu ze sprzężeniem kamer, znacznie ułatwi wykonanie zadań operacyjnych dając pełniejszą informację o położeniu robota w przestrzeni.

Integralną częścią systemu jest specjalistyczne oprogramowanie zarówno poszczególnych podsystemów robota, pulpitu sterowniczego jak również systemu jako całości. Oprogramowanie napisano w języku C++ , z wykorzystaniem systemu operacyjnego czasu rzeczywistego QNX, który cechuje duża stabilność i niezawodność, przy jednoczesnym zachowaniu oszczędności pamięci operacyjnej.

Podsumowanie

Efektywne wykorzystanie mobilnych robotów interwencyjno-inspekcyjnych, w zakresie ich aplikacji w akcjach antyterrorystycznych, wymaga istnienia zintegrowanego systemu inspekcyjno-śledczego dla zastosowań specjalnych z udziałem materiałów wybuchowych, gazów toksycznych czy narkotyków. Tyczy się to, szczególnie w skali naszego kraju, przypadków użycia środków strzałowych [30, 31]. Taki system inspekcyjno-śledczy dla

zdarzeń z materiałami wybuchowymi powinien być przebadany i zweryfikowany w warunkach symulacji hybrydowej [32, 33] jak i rzeczywistych warunkach pracy.

W reasumpcji można również stwierdzić, że wykorzystanie mobilnych robotów klasy interwencyjno-inspekcyjnych w akcjach humanitarnego rozminowania jest alternatywą, do obecnie stosowanych, techniką neutralizacji niebezpiecznych ładunków. Powinno ono zapewnić spełnienie założenia o likwidacji tak znacznej liczby zainstalowanych min [34], głównie przeciwpiechotnych, w racjonalnym okresie czasu 20-30 lat [35]. Wyraźnie rysuje się przy tym zagadnienie ściślejszej współpracy międzynarodowej zarówno ośrodków badawczych, przemysłowych, jak też problem koordynacji nakładów finansowych, przeznaczonych na humanitarne rozminowanie. Na podkreślenie zasługuje fakt rozpoczęcia w kraju prac nad specjalizowanym robotem mobilnym przedstawionym powyżej, o takich właściwościach, które predestynują go także do aplikacji w akcjach humanitarnego rozminowania. Zastosowane nowe koncepcje i rozwiązania w sterowaniu tego robota (zdolność do autonomicznego wykonywania określonych czynności, wyposażenie i oprogramowanie do celów teleoperacji z elementami inteligentnej nawigacji) wzbudził już zainteresowanie specjalistów zagranicznych. Jako przykład można przytoczyć przedstawienie na międzynarodowej konferencji SusDem'97 [36], zorganizowanej w Zagrzebiu, Chorwacja, referatu pt: „Surveillance mobile robot and teleoperation with elements of autonomous navigation to mine clearing”. Jest to potwierdzeniem aktywnego włączenia się polskich ośrodków naukowych i badawczych do ogólnoświatowej akcji humanitarnego rozminowania.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Katalogi i materiały firm produkujących zdalnie sterowane mobilne roboty inspekcyjno-interwencyjne: REMOTEC, DATA MAST, AI Security, ALVIS LOGISTICS LTD, Telerob, Kentree, PIMCO, BILZ.
- [2] J. Mononen and T. Nieminen, J. Puputti, *Teleoperation and Autonomous Guidance Systems for Off-Road Vehicles*, SAE Technical Paper Series 941804.
- [3] J. Mononen, T. Nieminen, J. Puputti, M. Sampo, *Development of Autonomous Vehicles for Commercial and Government Applications*, in: Proc. of the AUVS Annual Symp. Detroit, MI, May 23-25, 1994.

- [4] D. Daniels and J. Ditter, *Design Challenges for Ultra-Wideband Radar for AP Mine Detection*, in: Proc. of the Workshop on Anti-personel Mine Detection and Removal, Lausanne, 30th June and 1st July, 1995.
- [5] X. Liu, S. Fu, H. Zhang and J. Zhang, *Hidden Explosive Detection Methods*, in: Proc. of the 4th Int. Symp. on Analysis and Detection of Explosives, Sept. 7-10, 1992, Jerusalem, Israel.
- [6] A.J. Sieber, Ed., *Localization and Identification of Anti-personnel Mines*, Joint Research Center European Commission, ECSC-EC-EAEC, Brussels-Luxemburg, 1995.
- [7] J. D. Nicoud, *Mine Clearance - not only a problem for the military and more*, Proc. of the Int. Conf. on Measurement and Control in Robotics, ISMCR,96, Bruxelles, 9-11 May, 1996.
- [8] H. Makela, H. Lehtinen, K. Koskinen, *Navigation System for LHD Machines*, in: Proc. of the 2nd IFAC Conf. on Intelligent Autonomous Vehicles'95, 12-14 June, 1995, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland.
- [9] T. Nieminen, M. Sampo, *Unmanned Vehicles for Agricultural and Off-Highway Applications*, 1993 Int. Off-Highway & Power Plant Congress & Exposition, SAE Technical Paper Series 932475.
- [10] Proc. of the 4th Int. Symp. on Analysis and Detection of Explosives, Sept. 7-10, 1993 Jerusalem, Israel., J. Yinon, Ed., Kluwer Academic Publishers, 1993.
- [11] Katalog wyrobów firmy Telerob, Wyd. Telerob, Kiel, 1996.
- [12] J. A. Craib, *Humanitarian Mine Clearance Equipment Requirements*, WAPM'95, Lausanne, June 30- July 1, 1995.
- [13] G. Valez, H. Thomas, *Requirements for Robotics in Explosive Ordnance Disposal Operations in Tropical and Desert Areas*, WAPM'95, Lausanne, June 30- July 1, 1995.
- [14] *Remotely Operated Dexterous Manipulation for Landmine and Unexploded Ordnance Detection and Remova*: Sandia National Labs Research Report, Albuquerque, New Mexico/Livermore, California, 1997.
- [15] *Manipulator Vehicle Systems MV4*, Katalog wyrobów firmy Telerob, Wyd. Telerob, Kiel, 1996.

- [16] A. Masłowski, A. Czerniewska-Majewska, A. Andrzejuk, P. Szyrkarczyk, *Komputerowo wspomaganą identyfikacją stanu otoczenia zrobotyzowanych układów mobilnych*, Oprac. nauk.-bad. PIAP nr 7168, Wyd. PIAP, Warszawa, 1994.
- [17] A. Masłowski, *Method of Hazardous Environment State Identification for a Robots*, in: Proc. of the Int. Conf. on Measurement and Control in Robotics, ISMCR'92, Tsukuba, Japan, 1992.
- [18] A. Masłowski, *State Identification of Space-Time Environmental Hazardous Systems in Mobile Robotics*, in: Proc. of the Int. Conf. on Intelligent Robotics Systems IRS'94, Grenoble, France, 1994 (invited paper).
- [19] A. Masłowski, *State Identification of Environment for Inspection Robots*, in: Proc. of the Int. Conf. on Mathematical Models in Automation and Robotics, MMAiR'94, Międzyzdroje, Poland, 1994.
- [20] M. Hallbach, A. van Muyswinkel, *Robotics Control Station: From Teleoperation up to Mission Preparation*, in: Proc. of the 2nd IFAC Conf. on Intelligent Autonomous Vehicles'95, June 12-14, 1995, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland.
- [21] R. A. Jarvis, *An All - Terrain Intelligent Autonomous Vehicle with Sensor Fusion Based Navigation Capabilities*, in: Proc. of the 2nd IFAC Conf. on Intelligent Autonomous Vehicles'95, June 12-14, 1995, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland.
- [22] R. J. Schultz, T. Nishiyama, R. Nakajima, J. Nomura, *A Software Architecture for a Telepresence Mobile Robot*, Proc. of the Second Int. Symp. on Measurements and Control in Robotics, ISMCR'92, November 15-19, 1992, Tsukuba, Japan.
- [23] R. D. Schraft, J. Dahlkemper, W. Baum and H. Gehringer, *Smart Sensor Modules for Operator Assistance of Teleoperated Mobile Robots*, in: Proc. of the Workshop on Anti-personnel Mine Detection and Removal WAMP'95, Lausanne, 30th June and 1 st July, 1995.
- [24] E. R. Davies, *Machine Vision, Theory, Algorithms, Practicalities*, Academic Press, London, 1994.
- [25] P. Szyrkarczyk, *Sieć neuronowa jako analizator sygnału do sterowania robota mobilnego*, w: Mat. konf. V KKR, Prace Naukowe Instytutu Cybernetyki Technicznej Politechniki Wrocławskiej, Świeradów Zdrój, 25-27 IX, 1996.

- [26] P. Szynkarczyk, *Badania możliwości praktycznego zastosowania zjawiska odruchów warunkowych w sterowaniu robotem mobilnym*, Oprac. nauk.-bad. PIAP nr 7313, Wyd. PIAP, Warszawa, 1996.
- [27] P. Szynkarczyk, *Badania eksperymentalne odruchowego sterowania ruchu robota mobilnego*, Oprac. nauk.-bad. PIAP nr 7374, wyd. PIAP, Warszawa, 1996.
- [28] *Mobilny robot interwencyjno-inspekcyjny*, Projekt celowy KBN nr 8T11A009 96C/3033
- [29] A. Masłowski, P. Szynkarczyk, *The Neuro-vision Control for Mobile Robots*, in: Proc. of the ISMCR '96, May 9-11, 1996, Brussels, Belgium.
- [30] S. Cudziło, A. Maranda, J. Nowaczewski, W. Trzciński, R. Morawa, *The Analysis of Demilitarised Explosive Application for the Invitation of Industrial Explosives*, Proc. of 5th Int. Symp. on Explosives Technology, Pretořia, RSA, October 12-14, 1994.
- [31] A. Maranda, J. Nowaczewski, M. Miszczak, *Application of the Explosives Withdraw from Military Stock in the Coal-Mining Industry*, Proc. of the 24th Annual Conference of ICT, Karlsruhe, 1993.
- [32] A. Masłowski, A. Czerniewska-Majewska, A. Andrzejuk, P. Szynkarczyk, *Simulation System to Analysis of Specilalized Mobile Robots*. Microcomputers in Civil Engineering, 12, 1997.
- [33] A. Masłowski, L. Szumilas, *Hybrid Simulation of Mobile System*, w: Proc. of the Int. Symp. on Models and Methods in Automation and Robotics, MMAR '95, Międzyzdroje, Poland, 1995.
- [34] H. „Hap” Hambric, *Demining Projects in the U.S. Department of Defense*, Conf. on Landmine Neutralization and Removal -U.S. Technology and Humanitarian Demining, Brussels, June 19-20, 1997.
- [35] Proc. of the Int. Conf. on Landmine Neutralization and Removal -U.S. Technology and Humanitarian Demining, Brussels, June 19-20, 1996.
- [36] A. Masłowski, *Surveillance mobile robot and teleoperation with elements of autonomous navigation to mine demining*, Conf. on Sustainable Humanitarian Demining, Zagreb, Croatia, Sept. 29 - Oct. 1, 1997.

SECURITY - SURVEILLANCE MOBILE ROBOTS

Abstract: In the paper current trends of surveillance as well as security mobile robots development have been presented, particularly equipment and software to teleoperation with some elements of autonomous, intelligent navigation. Examples of application concerns such problems like humanitarian demining and dangerous materials disposal in security technology. Security-surveillance mobile robot of the new generation INSPECTOR has been described.