

AUTONOMICZNA PLATFORMA DO WYKRYWANIA I NISZCZENIA MIN NIEMETALOWYCH

Streszczenie: W pracy przedstawiono zagadnienia związane z projektem automatycznego mobilnego systemu wykrywania i niszczenia min niemetalowych. System ten zamocowany jest na platformie mobilnej na bazie robota pirotechnicznego IBIS. Posiada on zdolność autonomicznej pracy oraz posiada systemy wykrywania min niemetalowych. W referacie przedstawiono metodykę pracy pojazdu naziemnego oraz całego systemu i ich wpływ na wymagania stawiane przez to układowi nawigacji. Przedstawiono też zasady pracy urządzeń wykrywających i neutralizujących miny.

MOBILE AUTONOMOUS PLATFORM FOR DETECTION AND NEUTRALISATION OF NONMETAL LAND MINES

Abstract: The paper presents issues related to the project automated mobile system for detection and neutralization of non-metal mines. This system is mounted on a mobile platform based on a pyrotechnic robot IBIS. Platform is prepared for autonomous operation and has a non-metallic mines detection systems. The paper presents a methodology of work of a ground vehicle and the whole system and their impact on the demands of a navigation system. Paper presents also the principle of the work of the detecting and neutralizing mines systems.

1. Wprowadzenie

W artykule przedstawiono niektóre wyniki prac nad systemem wykrywania i niszczenia min niemetalowych. Miny te stanowią bardzo duże zagrożenie zarówno na obszarach obecnych jak i minionych konfliktów militarnych. Niewykrywalne tradycyjnymi urządzeniami zagrażają nie tylko żołnierzom ale również ludności cywilnej. Z problemem min niemetalowych społeczności borykają się nawet wiele lat po zakończeniu działań wojennych. Politechnika Warszawska podjęła się we współpracy z Przemysłowym Instytutem Automatyki i Pomiarów wykonała prace, których celem było opracowanie autonomicznego systemu wykrywania i niszczenia min niemetalowych i ładunków wybuchowych. System taki ma być umieszczony na mobilnej platformie z własnym napędem i układem sterowania umożliwiającym autonomiczne działanie w terenie. System wykrywania min wyposażony jest w urządzenia umożliwiające detekcję min i innych ładunków wybuchowych oraz w układ ich niszczenia lub neutralizacji. Problem lokalizacji min niemetalowych jest z technicznego punktu widzenia trudny, ponieważ konwencjonalne metody lokalizacji min (oparte o wykrywacze metalu) są w tym przypadku nieprzydatne. W projekcie proponujemy rozwiązanie tego problemu kilkoma sposobami. Wstępną lokalizacją min przeprowadzamy poprzez analizę ultradźwiękową. Po wstępnym wykryciu podejżanego obiektu lokalizację min niemetalowych przeprowadzamy metodami wykorzystującymi analizę zapachową przy użyciu systemu elektronicznego detektora zapachu „sztucznego nosa” specjalnie

wyczulonego na detekcję związków chemicznych wzbudzanych z obudowy miny, drugi sposób rozpoznania opiera się na możliwości wykrywania materiałów wybuchowych min za pomocą spektroskopii mobilności jonów (IMS). Niszczenie min odbywa się przy użyciu armatki bezdrutowej lub poprzez pozostawienie na minie ładunku niszczącego. W tym celu wykorzystane są mieszaniny termitowe.

2. Platforma mobilna i metodyka jej pracy

W trakcie prac opracowana została nieduża gabarytowo platforma mobilna z hybrydowym układem zasilania i kołowym układem jezdnym. Urządzenia do wykrywania i niszczenia min umieszczone są na owej mobilnej platformie przystosowanej do autonomicznego wykonywania misji. Platforma została zbudowana na bazie opracowanego przez Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów robota pirotechnicznego IBIS rysunek 1.



Rys. 1 Platforma mobilna

Wskazany przez operatora obszar jest przeszukiwany według zadanej trajektorii ruchu pojazdu wyznaczanej przy pomocy układu nawigacji satelitarnej zintegrowanej z układem nawigacji inercyjnej. Wykorzystane zostaną tutaj także układy nawigacji wizyjnej oparte na algorytmach śledzących obraz terenu, po którym pojazd się porusza. Zapewni to precyzyjne przeszukanie całości wskazanego obszaru. Systemy GPS i IMU wykorzystywane są jedynie do nawigacji pojazdu po zadanej trajektorii. W momencie wykrycia miny główną rolę zaczyna odgrywać nawigacja obserwacyjna jako bardziej dokładna. Pozwala ona na precyzyjne podejście do miny a następnie wycofanie się na bezpieczną odległość przed jej zniszczeniem. Obecność ewentualnych przeszkód terenowych jest wykrywana przez laserowy skaner terenu. Zadania nawigacyjne obejmują tutaj oprócz poruszania się po przewidywanej trajektorii również określenie położenia miny, precyzyjne wycofanie platformy na bezpieczną odległość po pozostawieniu ładunku niszczącego lub wycelowanie urządzenia niszczącego. Pojazdy takie stanowią cenny element sieciocentrycznego systemu zarządzania polem walki.

Ze względu na fakt iż podstawowym zadaniem badawczym projektu jest opracowanie nowatorskich metod wykrywania min niemetalowych, w opisie strategii poszukiwania min pominięto potencjalne utrudnienia terenowe. Tym samym możliwe jest eksperymentalne

sprawdzenie możliwości wykorzystania nowatorskich metod nawigacji wizualnej.

Pominięto zagadnienia poruszania się w terenie o powierzchni bardzo „nierównej”, typu rumowiska skalne lub o dużej liczbie przeszkód terenowych np. las. Założono, że pojazd porusza się po powierzchni poziomej, wykonując zadanie wykrywania i niszczenia min na trasie przygotowywanej dla transportu lądowego konwojów pojazdów lub grup ludzi, a więc, że pojazd porusza się wzdłuż zadanej drogi rozumianej jako droga czy przejście której pojazd ma za zadanie rozminować. Podsumowując pojazd porusza się wzdłuż zadanej trasy złożonej z odcinków prostoliniowych, lub łuków o stałym promieniu, między punktami trasy wprowadzonymi przez użytkownika do pamięci systemu nawigacyjnego pojazdu. Możliwe jest także zaprogramowanie ruchu pojazdu wzdłuż równoległych, bliskich trajektorii. Jednorazowy przejazd pojazdu wystarcza do rozminowania przejścia o wymaganej przez użytkownika szerokości. Możliwe jest to do uzyskania przez umieszczenie czujnika na ruchomym ramieniu, co pozwoli na poszerzenie obserwowanego obszaru.

Po wykryciuminy pojazd zatrzymuje się rozpoczynając procedurę jej zniszczenia. Możliwe są następujące warianty zniszczeniaminy. Pozostawienie ładunku niszczącego i oddalenie się na bezpieczną odległość po tej samej trajektorii. W tym celu nawigacja wizyjna zapamiętuje ostatnie 10m przebytej drogi. Oddalenie się na odległość bezpieczną z punktu widzenia wytrzymałości pojazdu taką, aby było możliwe zniszczenieminy przy użyciu działka pirotechnicznego). Oddalenie odbywa się po obszarze już sprawdzonym „bezpiecznym”.

Z powyższego scenariuszy działania układu wynikają następujące zadania realizowane przez układ nawigacyjny.

Do wykryciaminy - precyzyjne przemieszczanie obiektu po powierzchni ziemi wzdłuż trajektorii prostoliniowych lub łuków wyznaczonych przez punkty trasowe. Nawigacja realizowana jest przez układ GPS/IMU oraz przez układ wizyjny. Kamera jest tu ustawiona prostopadle do powierzchni ziemi i przekazuje precyzyjne informacje o przemieszczaniu platformy (przemieszczenia i prędkości w ruchu płaskim).

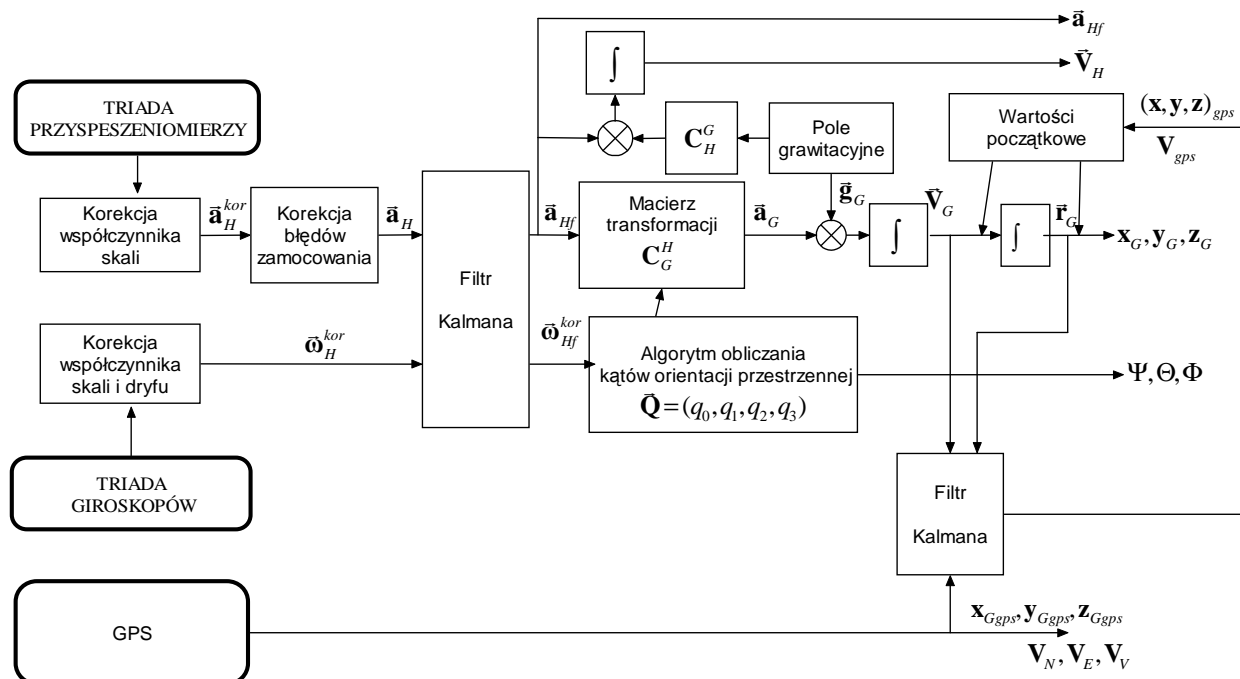
Po wykryciuminy - na podstawie informacji z czujników określone jest położenieminy (miejsce, gdzie została wykryta względem pojazdu). Pojazd powraca po tej samej trasie do „bezpiecznego miejsca”. Pojazd oddala się na zadaną odległość na podstawie obserwacji powierzchni a następnie mamy (drugie zadanie dla nawigacji obserwacyjnej) proces celowania obsługiwany przez inną kamerę lub tę samą pracującą w innym trybie (np. w innym pochyleniu niż 90°).

3. Zintegrowany układ nawigacyjny



Rys. 2 Schemat układu nawigacji i sterowania

Podstawowym elementem układu nawigacji platformy jest odbiornik systemu nawigacji satelitarnej GPS, a w przyszłości także europejskiego systemu nawigacji satelitarnej Galileo. Planowane jest również zastosowanie pseudolitów do wspomaganie nawigacji platformy. Zadania pojazdów przeznaczonych do celów bojowych wymagają często pracy w warunkach „ciszy elektromagnetycznej”. W terenie zabudowanym sygnał z satelity systemu nawigacyjnego może być niedostępny lub obciążony dużym błędem wielotorowości, przez co dokładność określania własnej pozycji platformy może być zbyt mała jak na potrzeby wykonywanej misji. Jako wspomagający zostanie użyty układ nawigacji inercyjnej zintegrowany z GPS. Do wspomaganie systemu nawigacji wykorzystano w projekcie także układy nawigacji oparte na algorytmach śledzących obraz terenu po którym pojazd się porusza. W celu uzyskania odpowiedniej jakości nawigacji i sterowania platformą opracowany został układ zintegrowany, wykorzystujące wszystkie wymienione wcześniej czujniki i metody.



Rys. 3 Zintegrowany układ INS/GPS

Użycie do nawigacji połączenia systemów inercyjnego i nawigacji satelitarnej jest rozwiązaniem od pewnego czasu już stosowanym w lotnictwie oraz w układach naprowadzania pocisków sterowanych. Układy oparte na nawigacji inercyjnej jak INS dają pomiar stabilny i niezależny od zakłóceń zewnętrznych. Problemem jest jednak narastający w czasie błąd wynikający z procesu całkowania wskazań przyspieszeniometrycznych i giroskopów prędkościowych stanowiących podstawę pomiaru. Z tego względu dokładny pomiar dają jedynie przez krótki czas. Z kolei system GPS daje mniej więcej stały błąd niezależny od czasu. Może on jednak podlegać skokowym zmianom. Mogą wówczas następować zakłócenia związane ze zmianami konstelacji obserwowanych satelitów oraz odbiciami sygnału od budynków lub innych wysokich obiektów. Taki charakter sygnałów uniemożliwił sterowanie obiektem w sposób ciągły na podstawie jedynie sygnałów GPS. Na rysunku 1 przedstawiono schemat integracji układu INS z układem GPS.

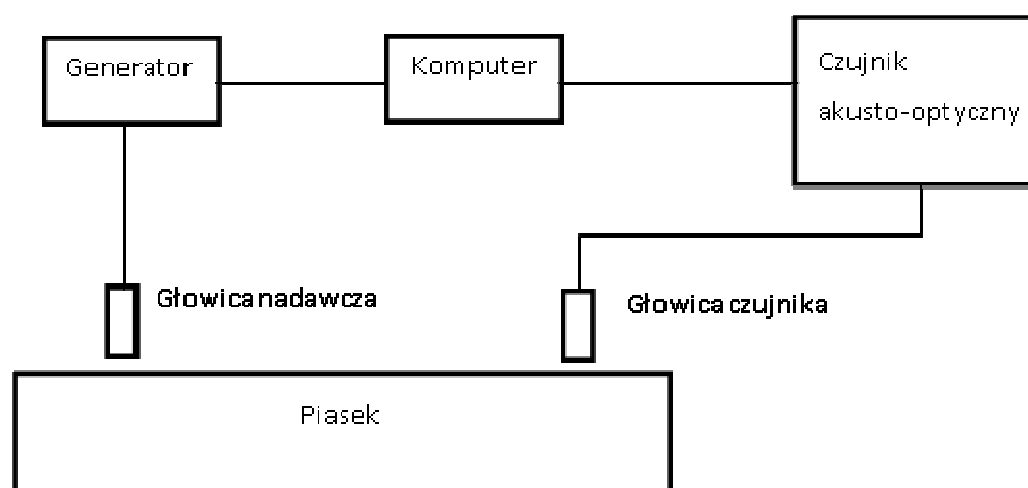
Układ INS wykorzystujący 3 przyspieszeniometryczne i 3 giroskopy do wyliczenia pozycji i orientacji przestrzennej połączony jest z odbiornikiem GPS poprzez filtr Kalmana. Pozycja wyliczona w tym bloku wykorzystywana jest do aktualizacji wartości początkowych wykorzystywanych w całkowaniu przyspieszeń i prędkości w systemie INS. Założono, że aktualizacja pozycji w układzie INS dokonywana jest gdy błąd wyliczonej pozycji przekroczy

założony próg i sygnał z GPS jest dostępny. Bardzo istotną kwestią w procesie integracji jest dobór współczynników filtra Kalmana. W tym celu przeprowadzono serię badań laboratoryjnych oraz terenowych.

4. Wykrywanie min niemetalowych

Wykrywanie przedmiotów plastikowych umieszczonych w ziemi nie zostało dotychczas definitywnie rozwiązane. Do wykrywania przedmiotów plastikowych w piasku może być wykorzystane promieniowanie mikrofalowe, neutronowe lub fale mechaniczne (akustyczne). Promieniowanie mikrofalowe jest silnie pochłaniane w piasku, ale przy użyciu bardzo silnej wiązki odpowiednio skolimowanej można identyfikować przedmioty plastikowe w ziemi, niestety takie promieniowanie jest niebezpieczne dla otoczenia. Promieniowanie neutronowe nawet niewielkiego natężenia wytwarzane w mikroogniskowej plazmie jest wystarczające do identyfikacji przedmiotów niemetalowych w piasku, ale jest bardzo niebezpieczne dla otoczenia. Najbardziej przyjazne i nieszkodliwe dla środowiska i ludzi są fale akustyczne, których analiza rozpraszania w piasku pozwala na identyfikacje przedmiotów plastikowych umieszczonych w piasku.

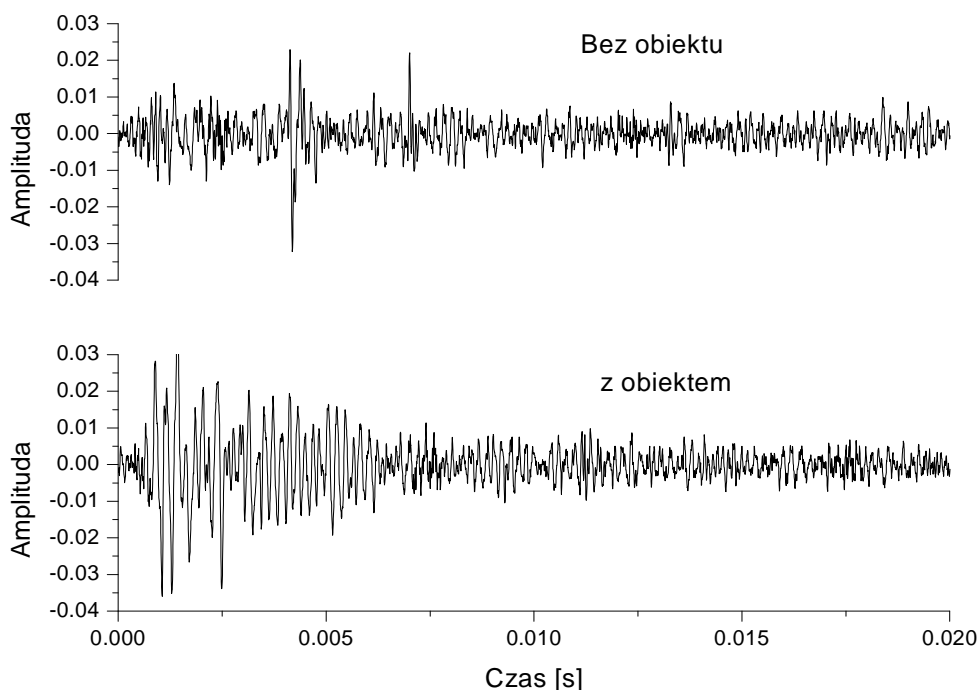
Przeprowadzono pomiary tłumienia w piasku promieniowania mechanicznego od częstotliwości 10 kHz do kilku MHz. Okazało się, że najniższe tłumienie fal mechanicznych w piasku obserwuje się dla niskich częstotliwości akustycznych z wyłączeniem częstotliwości 500 Hz, ponieważ te częstotliwości są szkodliwe dla zdrowia. Do wykrywania przedmiotów niemetalowych w ziemi, przyjęto częstotliwość fal akustycznych 10 kHz. Dla tej częstotliwości istnieją najczulsze czujniki akusto-optyczne do pomiaru rozpraszonych fal akustycznych. Zbudowano generator fal akustycznych o częstotliwości 10 kHz o regulowanej moc do maksimum 1 kW. Energia z generator jest przekazywana do głowicy, która może znajdować się w odległości do dwóch metrów od generatora. Impulsy akustyczne wytworzone w generatorze mają długość w czasie poniżej 1 ms. A odstęp czasowy między impulsami może się zmieniać od 0.1 sekundy do kilku sekund. Schemat blokowy układu pomiarowego przedstawia Rys. 4.



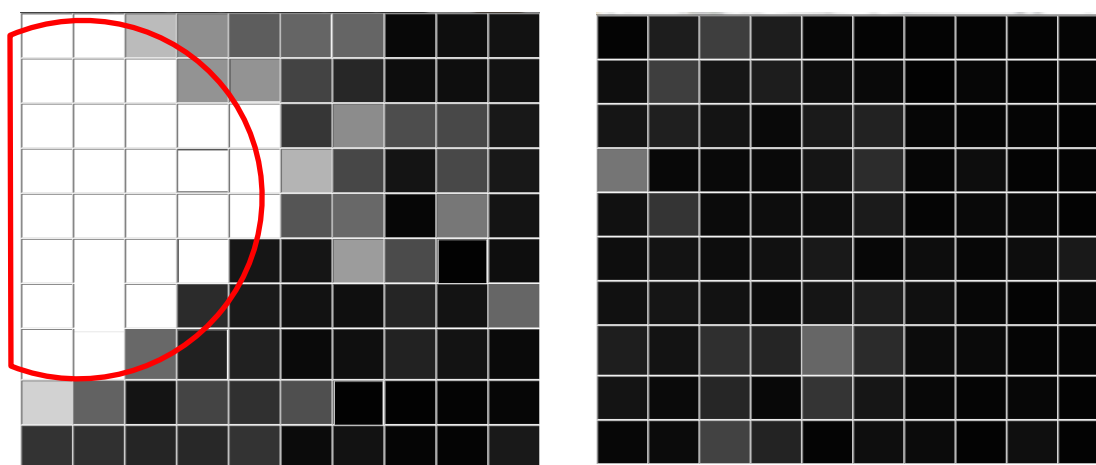
Rys. 4 Schemat układu pomiarowego.

Cały układ pomiarowy wraz z czujnikiem sterowany jest za pomocą komputera i specjalnie do tego celu przygotowanego oprogramowania. Głowica nadawcza i głowica czujnika izolowana jest przez przesłony akustyczne. Pomiar ma charakter statyczny bez przesuwu głowicy nadawczej. Głowicą czujnika dokonywane są pomiary w około stu punktach w

otoczeniu głowicy nadawczej. Wyniki pomiarów dla rozproszenia fal akustycznych w samym piasku oraz rozproszonych fal akustycznych w piasku z przedmiotem plastikowym Rys.5. (przebiegi czasowe).



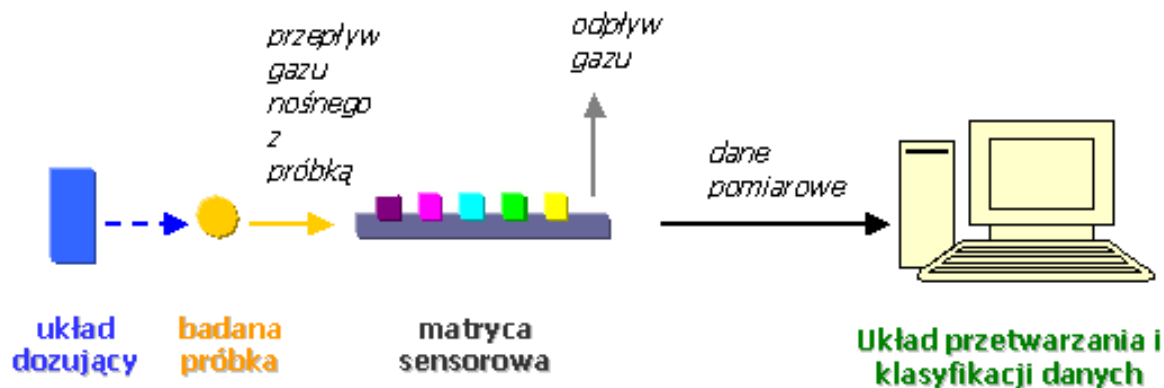
Rys. 5. Przebiegi czasowe rozproszenia fal akustycznych.



Rys. 6 Odwzorowanie przedmiotu z miną (po lewo) oraz po wyjęciu miny (po prawo).

Największe tłumienie następuje na przejściu fali akustycznej z głowicy do piasku. Powstaje fala odbita od powierzchni piasku, która utrudnia pomiary fali rozproszonej w piasku, fala rozproszona w piasku jest nawet kilka rzędów wielkości słabsza od fali odbitej. Pomiary fali rozproszonej przez przedmiot plastikowy znajdujący się w piasku są zakłócone, ponieważ tłumienie fal akustycznych przez piasek zmienia się wraz z grubością piasku nieregularnie, ze względu na niejednorodności zagęszczenia piasku. Dlatego aby z przedstawionego przebiegu w czasie, wyciągnąć informacje o przedmiocie plastikowym umieszczonym w piasku, trzeba zastosować odpowiednie programy komputerowe. Ale dopiero następny program komputerowy przetwarza informacje o przedmiocie plastikowym w rzeczywisty obraz przedmiotu plastikowego Rys. 6. Uzyskany obraz, co do kształtu jest odwzorowaniem przedmiotu plastikowego umieszczonego 15cm pod powierzchnią piasku.

Otrzymany obraz przedmiotu plastikowego pozwala na odróżnienie przedmiotu plastikowego od kamieni i innych zanieczyszczeń. Ze względu na regularność kształtu detekowanych obiektów. Inne przedmioty nie mają zazwyczaj regularnego kształtu. Przy zastosowaniu jeszcze innych programów komputerowych można otrzymać tzw. głębię obrazu, która pozwala na dokładne określenie faktury powierzchni przedmiotu. Obrazy przedmiotu mogą być wykrywane przy ruchu głowicy lub kilku głowic przymocowanych do pojazdu, jeżeli zastosuje się do pomiaru od dziesięciu do piętnastu czujników, zamocowanych na stałe wokół każdej z głowic. Wysunięte parę metrów głowice przed pojazd mogą wykryć umieszczone w ziemi plastikowe ładunki



Rys. 7 Układ do analizy zapachowej (detekcji) min plastikowych.

Inną zastosowaną technologią wykrywania min jest metoda analizy zapachowej. Lokalizacja min plastikowych (obudowy z PCV) jest zapewniona poprzez analizę zapachową rysunek 7. System ten oparty jest na tak zwanym elektronicznym nosie czyli urządzeniu do wykrywania zapachów. Wprawdzie urządzenie to potrafi wykrywać również same materiały wybuchowe jednak zdecydowano się wykorzystywać do wykrycia min zapach ich obudów. Zdecydował o tym znacznie intensywniejszy zapach wydzielany przez obudowy min niż przez zawarty w ich środku materiał wybuchowy. System detekcji obiektów z tworzyw sztucznych działa na podstawie analizy zapachowej związków chemicznych. Głównie są to związki chloropochodne uwalniane z PCV. Dodatkowo pomiar jest wzmacniany przez system wzbudzania zapachów obiektów plastikowych poprzez naświetlanie odpowiednim promieniowaniem. W tym również obiektów przykrytych warstwą ziemi. Aby uniezależnić pomiar od zapachów obecnych w powietrzu zastosowano pomiar różnicowy, który porównuje wyniki zebrane nad próbką ze związkami chemicznymi obecnymi w powietrzu wokół pojazdu. Obydwa opisane urządzenia są własnym opracowaniem Politechniki Warszawskiej.

5. Niszczenie min

Do niszczenia min zastosowano działko pirotechniczne rysunek 8 lub specjalne ładunki z mieszanin termitowych. W pierwszym przypadku pojazd po wykryciu miny odjeżdża na bezpieczną odległość 10m i niszczy minę wystrzałem z działka pirotechnicznego o kalibrze 25mm. W drugim pojazd zostawia na wykrytej minie ładunek termitowy celem jej wypalenia.



Rys. 8 Opracowane działko pirotechniczne w trakcie prób laboratoryjnych.

6. Wnioski

Z przeprowadzonych badań wynika, że opracowany wyselekcjonowany do opracowania systemu posiada dostateczną dokładność i uzyskane wyniki mogą być podstawą do dalszych badań. Zastosowane technologie wykrywania i niszczenia min pozwalają na wykrycie i zniszczenie min. Jednak uzyskane dotychczas wyniki wskazują na możliwości zastosowania opracowanych metod do przewidywanych zadań. Jednak integracja oraz dostosowanie do pracy na pojeździe wymaga jeszcze dalszych prac. Szczególnie dotyczy to metod wykrywania min. Metoda ultradźwiękowa jest bardzo energochłonna i nie pozwala na dłuższą pracę pojazdu. Jest na obecnym etapie też dość powolna. Metoda analizy zapachowej mimo użycia pomiaru różnicowego jest jeszcze zbyt mało dokładna gdy mina jest zakopana na większej głębokości. Wymaga przez to wzmocnienia przez pobudzenie termiczne obudowy miny do dodatkowej emisji. Przez co również jest energochłonna.

Literatura

- [1] K.Brudzewski,S.Osowski, J.Ulaczyk, Differential electronic nose of two chemo sensor arrays for odor discrimination, *Sensors and Actuators B* 145 (2010) 246-249
- [2] K.Brudzewski,S.Osowski,W.Pawłowski, Metal oxide sensor arrays for detection of explosives at sub-parts per million concentration levels by the differential electronic nose, *Sensors and Actuators*, in print
- [3] R. Głębocki: „Autonomiczny system sterowania pojazdem do wykrywania i niszczenia min niemetalowych.” *Konf. Uzbrojenie 09, Pułtusk 2009*
- [4] R. Głębocki, G Świętoń, M. Zasuwa: “Visual navigation for autonomous system for detection and neutralisation of non-metal mines” *Methods and Models in Automation and Robotics 2009*
- [5] R. Głębocki: „Wybrane zagadnienia sterowania autonomicznym pojazdem naziemnym”, *AUTOMATION' 2010 Automatyzacja Nowości i Perspektywy*, Publikacja w miesięczniku *Pomiary Automatyka Robotyka*.
- [6] R. Głębocki: „System sterowania autonomicznego bezałogowego pojazdu naziemnego” *IX Krajowa Konferencja Elektroniki Darłówko 2010*
- [7] R. Głębocki; „System nawigacji i sterowania dla niewielkiego obiektu ruchomego” *VI Konferencja Awioniki Rzeszów 2010*, Publikacja w *Zeszytach Naukowych Politechniki Rzeszowskiej*
- [8] G. Świętoń, R. Głębocki, M. Zasuwa; „Nawigacja wizyjna oparta o metodę przepływu optycznego dla autonomicznego pojazdu lądowego” *Konf. Uzbrojenie 2010, Pułtusk 2010*

Prace wykonano w ramach grantu MNiSW nr 0006/R/T00/2008 „Autonomiczny system wykrywania i niszczenia min niemetalowych”.