

Robert **GŁĘBOCKI**
Antoni **KOPYT**
Paweł **KICMAN**
Grzegorz **KOWALSKI**

KONCEPCJA PLATFORMY MOBILNEJ DO WSPARCIA BADAŃ KRYMINALISTYCZNYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono założenia projektu prowadzonego przez Politechnikę Warszawską przy współpracy z Centralnym Laboratorium Kryminalistycznym Policji oraz Przemysłowym Instytutem Automatyki i Pomiarów. Opiszano główne założenia do projektu oraz sposób realizacji nawigacji platformy. W artykule zarysowana została główna koncepcja systemu oraz zaprezentowano rozwiązania, które pozwolą między innymi na autonomiczne sterowanie platformą w przypadku utraty komunikacji między operatorem a platformą mobilną. Przedstawiony został również opis działania całego systemu oraz szczegółowy opis platformy oraz czujników, jakie zostaną wykorzystane w projekcie.

Słowa kluczowe: robotyka mobilna, nawigacja wizyjna, autonomia, symulacja.

1. WSTĘP

W artykule przedstawiono fragment prac, jakie Politechnika Warszawska podjęła w ramach tematu opracowania mobilnej platformy wsparcia badań kryminalistycznych. Prace realizowane są w konsorcjum naukowo-przemysłowym na potrzeby Centralnego Laboratorium Kryminalistycznego Policji. Ich celem jest zaprojektowanie mobilnej platformy do badania miejsc zdarzeń, na których występują zagrożenia dla życia i zdrowia człowieka z zakresu CBRN (Chemiczne, Biologiczne, Radiologiczne, Nuklearne). Powodem podjęcia takiego tematu jest potrzeba zapewnienia bezpieczeństwa pracownikom policji w trakcie zbierania śladów kryminalistycznych w miejscach popełnienia przestępstwa.

Opracowywana platforma bazuje na opracowanym przez Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów robocie Gryf. W trakcie prac opracowywana jest wielosensorowa platforma do wykrywania zagrożeń CBRN. Po ich stwierdzeniu ma ona podjąć czynności związane ze zbieraniem śladów, jakie normalnie wykonują technicy kryminalistyczni. Przy wszystkich ograniczeniach robot ma w miarę możliwości jak najszerzej zastąpić człowieka. Ma on umożliwić prowadzenie prac kryminalistycznych (zbierania śladów i próbek) w warunkach gdy skażenia CBRN uniemożliwiają pracę człowieka bądź czynią ją niebezpieczną. System jest wyposażony w czujniki monitorujące warunki środowiskowe pod kątem stwierdzonych zagrożeń.

Robot w trakcie pracy musi wielokrotnie dojeżdżać i wracać na miejsce zdarzenia, aby zgromadzić i przekazać do zabezpieczenia ślady lub odpowiednie ich próbki. Pobierane są różnorodne próbki, takie jak: ślady mikrobiologiczne, ślady mechanoskopijne, ślady daktyloskopijne, czy też próbki substancji znajdujących się w pomieszczeniu. Innymi

czynnościami mogą być: zebranie niektórych przedmiotów z miejsca zdarzenia celem ich dalszej analizy lub np. rejestracja fotograficzna miejsca zdarzenia. Scenariusz prac przewiduje wielokrotne misje robota w trakcie jednych oględzin miejsca zdarzenia. Najpierw platforma, wyposażona w zestaw czujników CBRN, wjeżdża na miejsce zdarzenia, celem sprawdzenia występowania zagrożeń. Jeżeli zostaną one stwierdzone, dalsze prace są również wykonywane za pośrednictwem robota. Kolejnym etapem jest dokumentacja fotograficzna miejsca zdarzenia. Ma to być wykonane przy użyciu specjalnej kamery 3D oraz tradycyjnych zdjęć. Dalsza kolejność działań zależy od prowadzącego akcję. Składa się standardowo z następujących etapów:

- rozpoznanie przez operatora wyraźnych, często charakterystycznych śladów danego zdarzenia lub ewentualnych skutków przestępstwa czy przedmiotów mających istotny związek z czynem, również przedmiotów, z których mógł korzystać sprawca. Na tym etapie operator musi rozpoznać wyraziste, nadające się do natychmiastowego zabrania ślady kryminalistyczne i dowody rzeczowe, w szczególności te, które mogą ograniczać swobodne poruszanie się platformy po miejscu zdarzenia;
- zabezpieczenie w całości śladów w postaci przedmiotów o małych i średnich gabarytach (np. butelki, niedopałki papierosów, szklanki, odzież, torebki lub inne pojemniki z substancjami stałymi lub ciekłymi). W celu wstępnej oceny jakościowej substancji pod względem chemicznym operator ma możliwość użycia spektrometru ramanowskiego (po zamontowaniu przez operatora wymiennie z modułami próbkobiorczymi);
- gdy nie można pobrać już więcej śladów, platforma wyjeżdża z miejsca zdarzenia. Platforma zostaje opróżniona i zdezynfekowana. Zabezpieczone przedmioty będą przepakowane przez specjalistę i opatrzone metryczkami;
- platforma zostaje wyposażona w nowe narzędzia do pobierania próbek. Teleoperowana platforma wjeżdża ponownie na miejsce zdarzenia i wykonuje dalsze czynności zmierzające do ujawniania i zabezpieczania kolejnych śladów.

Czynności opisane w powyższych punktach powtarzane są do momentu, aż wszystkie rozpoznane przez operatora przedmioty zostaną podjęte i wywiezione z miejsca zdarzenia. Po zabezpieczeniu śladów w całości następuje wymiana wyposażenia platformy na takie, które pozwoli na zabezpieczanie śladów, których nie można podjąć w całości (np. plamy krwi na różnych podłożach, rozsypane i rozlane substancje chemiczne).

Tego typu scenariusz pracy wymusza na całości systemu, aby jego konstrukcja umożliwiała szybki montaż – demontaż specjalistycznego oprzyrządowania, to jest uchwytów, manipulatorów itp. które będą montowane w zależności od rodzaju zabezpieczanych śladów (biologicznych, chemicznych, daktyloskopijnych, mechanoskopijnych, mikrośladów, łusek, pocisków itp.) oraz niezbędnych pojemników do przechowywania tych śladów. W tym celu opracowywane są wersje narzędzi kryminalistycznych dostosowane do zastosowania ich na platformie mobilnej. Konstrukcja mobilnej części systemu będzie umożliwiała jego łatwą i skuteczną dekontaminację. Prototyp całości systemu zostanie przetestowany w symulowanych warunkach skażenia. Realizacja tak różnorodnych zadań wymaga: modułowej budowy przy dużej zamienności wyposażenia, łatwości montażu i demontażu oraz otwartej architektury całości systemu. Duża zamienność stosowanego wyposażenia, przy stałym urządzeniu sterującym, wymaga narzucenia możliwie uniwersalnego standardu komunikacyjnego. Z tego względu komunikację między poszczególnymi modułami wyposażenia robota zaprojektowano z wykorzystaniem interfejsu CAN2.0a.

W skład systemu robota wchodzi następujące podsystemy:

- półautonomiczna platforma mobilna,
- moduł manipulatora, montowanego na platformie,
- moduły próbkobiorcze, dedykowane dla poszczególnych scenariuszy kryminalistycznych:
 - moduł pobierania próbek biologicznych,
 - moduł pobierania próbek mechanoskopijnych,
 - moduł pobierania próbek stałych, sypkich, cieczy i gazów,
 - moduł pobierania próbek otoczenia (np. kawałki wykładziny, instalacji elektrycznej),
 - zestaw chwytaków o różnej precyzji,
 - zestaw czujników radiologicznych,
 - zestaw czujników chemicznych,
 - zestaw czujników magnetycznych,
 - zestaw czujników biologicznych,
- konsola operatora robota,
- system szkolenia operatorów robota.

Mobilność robota i jego możliwość poruszania się po różnych podłożach, pokonywanie wzniesień, nierówności, schodów, otwieranie drzwi itp. oraz zdalne sterowanie wewnątrz budynków stawiają wysokie i nietypowe wymagania systemowi nawigacji i sterowania platformy. Nie ma tu możliwości wykorzystania nawigacji opartej o rozwiązania stosowane na otwartej przestrzeni, jak np. GPS. Dlatego zdecydowano się zastosować układ częściowo autonomicznego sterowania oparty na nawigacji wizyjnej. Tym zagadnieniem poświęcony jest niniejszy artykuł.

2. OPIS SYSTEMU

2.1. Platforma mobilna

Platforma mobilna, która będzie służyła do wykonywania misji musi spełniać podstawowe kryteria określone w założeniach projektu. Przeznaczenie platformy to między innymi: rozpoznanie wizyjne, chemiczne, radiologiczne, biologiczne oraz zabezpieczenie śladów kryminalistycznych. Głównym celem wykorzystania robota mobilnego jest zastąpienie człowieka podczas wykonywania określonych zadań. Dlatego z uwagi na trudny charakter pracy, jakim są zagrożenia CBRN, aby platforma w pełni spełniła swoją funkcję, czyli zastąpiła człowieka, musi spełniać określone kryteria.

Sterowanie platformą odbywa się drogą radiową (kodowaną). Zasięg w terenie otwartym wynosi do 500 metrów, a w terenie zabudowanym do 100 m. Czas pracy platformy przy zasilaniu z akumulatorów wynosi 2 godziny. System ma również możliwość sterowania przewodowego.

System jezdny jest w stanie pokonać elementy o wysokości do ok. 200 mm oraz inne przeszkody i nierówności terenu, jak schody, krawężniki itp. Platforma ma możliwość przejazdu w standardowych korytarzach i przejściach (szerokość przejazdu do 700 mm). Liczba stopni swobody manipulatora – 7. Zasięg manipulatora 1500 mm. Najnowszy model robota mobilnego [6] wyprodukowany przez Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów (PIAP) – GRYF (rys. 1) spełnia powyższe kryteria sterowania oraz właściwości jezdne.



Rys. 1. Platforma mobilna – GRYF

Rozmiar platformy wynosi odpowiednio: długość - 840 mm (przy rozłożonych przednich gaśienicach / szerokość - 580mm / wysokość 400 mm. Układ jezdny jest kołowo - gaśienicowy. Składa się z czterech kół oraz gaśienic zwiększających mobilność robota przy pokonywaniu przeszkód. Dodatkowo platforma jest wyposażona w przednie gaśienice. Są one współosiowe z przednimi kołami. Operator może ustalić je w dogodnej pozycji, w zależności od terenu. Znacznie zwiększają one stabilność robota szczególnie podczas jazdy z wysuniętym manipulatorem. Konstrukcja robota pozwala na pokonywanie zróżnicowanego terenu (błoto, piach, śliskie powierzchnie, płytkie kałuże). Waga platformy wynosi 38 kg. Manipulator zamontowany na platformie posiada 7 stopni swobody. Zasięg manipulatora wynosi maksymalnie 1900 mm. Maksymalny udźwig wynosi 15 kg. Manipulator ma zmienne końcówki (chwytnak, urządzenia służące do analizy chemiczno – biologicznej). System wizyjny składa się z 3 kamer, w tym dwie wbudowane w podwozie oraz jedna na końcu chwytnaka. Opcjonalnie jest możliwe dołączenie kolejnej kamery wraz z oświetleniem na ramieniu manipulatora. Takie wyposażenie umożliwia precyzyjne pozycjonowanie zarówno samej platformy jak i końcówki manipulatora. W ramach projektu do platformy zostanie dołożony zestaw czujników oraz komputer pokładowy klasy PC104, pozwalający na autonomiczny powrót platformy. Zwiększy to ciężar robota, natomiast nie pogorszy to widocznie właściwości jezdnych platformy. Sterowanie platformą odbywa się za pomocą specjalnej konsoli. Na zdalnym pulpicie operator ma zestaw przełączników oraz dwa joysticki odpowiednio przeznaczone do sterowania napędem oraz manipulatorem. Konsola jest również wyposażona w monitor, na którym wyświetlany jest obraz z aktualnie wybranej kamery.

2.2.Symulator

Ostatnim elementem systemu będzie wdrożenie symulatora robota mobilnego. W Zakładzie Automatyki Osprzętu Lotniczego na Politechnice Warszawskiej powstaje symulator przeznaczony dla przyszłych operatorów robotów mobilnych. Trudne warunki pracy operatora

oraz duże prawdopodobieństwo uszkodzenia platformy mobilnej podczas wykonywanych zadań, wymagają dużego doświadczenia operatorów robota mobilnego. W związku z ryzykiem zniszczenia drogiego sprzętu oraz wysokimi wymaganiami postawionymi operatorom, zdecydowano się na stworzenie symulatora szkoleniowego. Korzystanie z symulatora pozwoli na doskonalenie umiejętności, jakie przyszły operator powinien posiadać. Są to przede wszystkim: precyzyjne sterowanie platformą oraz posługiwanie się manipulatorem.

Symulator będzie się składał z:

- systemu wizualizacji,
- stanowiska operatora,
- stanowiska instruktora,
- sprzętu komputerowego obsługującego cały system,
- oprogramowania.

Dodatkowo symulator będzie wyposażony w system generacji dźwięku oraz rejestracji wideo przebiegu ćwiczenia. System wizualizacji składa się z ekranu 47-calowego, na którym wyświetlana będzie wizualizacja platformy w otoczeniu treningowym. Operator do sterowania wykorzystywać będzie konsolę (imitacja rzeczywistego urządzenia). Dzięki temu możliwe będzie poruszanie się wirtualnym robotem w środowisku treningowym dokładnie tak jak w rzeczywistości. Osoba siedząca na stanowisku instruktora będzie miała do dyspozycji dwa monitory 17-calowe służące do podglądu ekranu przedstawiającego aktualne położenie platformy oraz wskazania konsoli. Dzięki takiemu rozwiązaniu instruktor będzie w stanie na bieżąco korygować działania operatora. Środowisko treningowe zawiera elementy pozwalające na szkolenie podstawowych manewrów i zadań, jakie są niezbędne do poprawnego operowania platformą.

Wirtualne otoczenie zawiera wszystkie podstawowe elementy wyspecyfikowane w oparciu o literaturę [1,2] oraz o wymagania stawiane przez grupy odbiorców wykorzystujących roboty mobilne (policja, straż pożarna, wojsko). W stworzonym środowisku istotnym założeniem było, aby na jednym obszarze możliwe było ćwiczenie nie tylko poszczególnych zadań, ale również kompletnych misji. Na zbiór elementów tworzących całość otoczenia składają się między innymi:

- drogi, chodniki, płot, pagórki, doły, przeszkody naturalne, labirynt, podjazdy, tunele, latarnie, zabudowanie, wagon pociągu, mosty itp.
- wyboje, różnego rodzaju nawierzchnie, pagórki, rzeki.

Dzięki oprogramowaniu symulatora, nadzorujący ćwiczenie ma podgląd na wszystkie działania operatora. Instruktor ze swojego stanowiska jest w stanie zadawać różne warunki atmosferyczne podczas ćwiczenia. Dodatkowo kierujący ćwiczeniem ma możliwość symulowania różnych awarii sprzętu.

3. UKŁAD NAWIGACYJNY

3.1. Opis układu

Układ nawigacyjny odpowiada za określenie pozycji pojazdu w trakcie trwania misji oraz za sterowanie robotem w trybie autonomicznym, kiedy robot wraca samodzielnie do miejsca startu. System ten składa się z zestawu czujników (kamera wizyjna, jednostka inercjalna, magnetometr). Pozwalają one na określenie pozycji i orientacji. Istotnym elementem układu jest również komputer pokładowy. To za jego pomocą wykonywane są

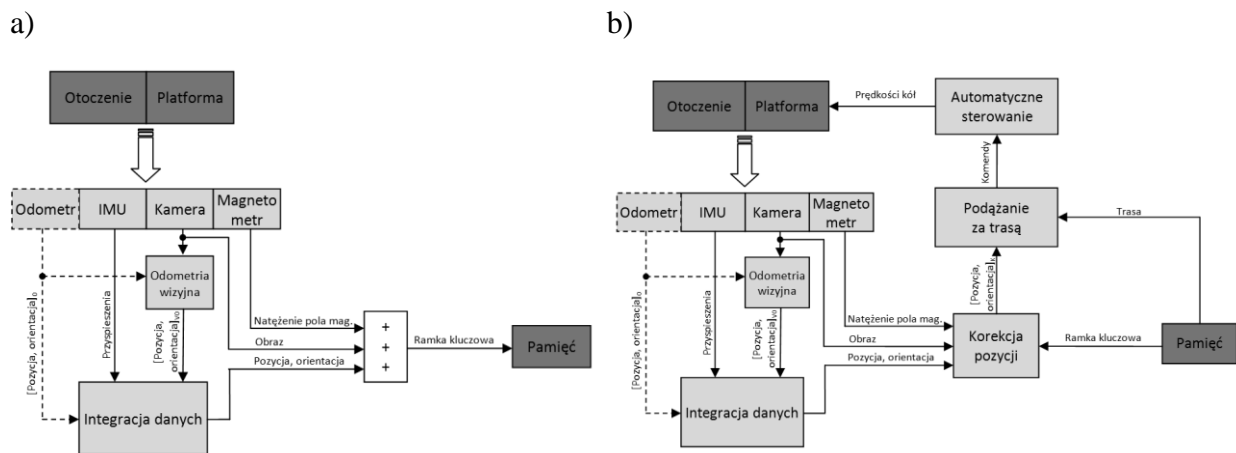
obliczenia i filtracja. Również tutaj wyznaczane są komendy sterujące dla platformy robota. Funkcjonalność oraz opis poszczególnych elementów układu zostały opisane w poniższych rozdziałach.

3.2. Tryb teleoperacji

W trakcie teleoperacji zadaniem układu nawigacyjnego jest określenie pozycji robota. (Rys. 2a) W tym stanie układ nawigacyjny działa w sposób bierny i nie wpływa na sterowanie pojazdem. Jest to tryb akwizycji, w trakcie którego do pamięci zapisywane są trasa pojazdu oraz ramki kluczowe. Ramki kluczowe zawierają zdjęcie otoczenia, informację o natężeniu lokalnego pola magnetycznego oraz dane na temat stanu robota (pozycja, orientacja przestrzenna, prędkość). Są one zapisywane w wybranych, charakterystycznych punktach trasy.

3.3. Tryb autonomiczny

Zapisane w fazie akwizycji dane wykorzystywane są w trybie autonomicznym (Rys. 2b). Na tym etapie układ w dalszym ciągu określa pozycje i orientacje robota, jednak jego głównym zadaniem jest wyprowadzenie pojazdu do punktu startowego po zapisanej uprzednio trasie. Na tym etapie algorytm sterujący przesyła do platformy robota sygnały sterujące, dzięki którym robot pozostaje na ścieżce. Szczegóły dotyczące prowadzenia po trasie i sterowania robotem zostały przedstawione w rozdziale 4. Dodatkowo na tym etapie aktywny jest system korygujący pozycję oparty o ramki kluczowe. Kiedy robot znajduje się w punkcie, w którym zapisana została ramka kluczowa, obraz otoczenia jest porównywany z aktualnym odczytem z czujników (zdjęcie oraz pole magnetyczne). Na podstawie różnicy w obserwacjach wyznaczana jest poprawka pozycji.



Rys. 2. Schemat funkcjonowania układu nawigacji w trybie a) teleoperacji b) autonomii

3.4. Nawigacja wizyjna

Układy wizyjne stanowią ciekawą alternatywę dla nawigacji satelitarnej oraz dla układów inercjalnych powszechnie stosowanych w robotyce mobilnej. Są one atrakcyjne ze względu na ich bierny tryb operacji, małą masę i niski pobór prądu. Pomimo niskiej ceny umożliwiają one wyznaczanie dokładnej pozycji i orientacji pojazdu o sześciu stopniach swobody. Kamera może dostarczać też dodatkowych informacji o otoczeniu, np. o umiejscowieniu przeszkód lub obiektów zainteresowania. Do ich wad można zaliczyć wrażliwość na zmianę oświetlenia oraz wymagania dużej mocy obliczeniowej [9, 10].

Jedną z możliwości klasyfikacji układów wizyjnych jest podział ze względu na rodzaj używanej kamery. Wykorzystuje się kamery jednoobiektywowe, stereowizyjne (posiadające dwa lub więcej obiektywów) oraz dookólne. Kamery monokularowe są najprostsze i najtańsze, dają jednak najśłabsze możliwości. W jednej klatce pozwalają one na określenie jedynie zamiaru na obiekt, bez określenia odległości do niego. Dopiero w czasie ruchu można określić odległość do obiektu zainteresowania. Kamera stereowizyjna pozwala na przezwycięzenie tego problemu. Określenie odległości do obserwowanych obiektów jest możliwe dzięki triangulacji obrazów widzianych przez obiektywy. Znacznie ułatwia to nawigację i poprawia jakość otrzymywanych wyników. Kamera dookólna posiada podobne ograniczenia jak kamery jednoobiektywowe. Pozwala ona jednak na obserwację całego obszaru wokół robota, dzięki czemu obserwowane obiekty mogą być śledzone przez długi czas, zapewniając stabilną informację nawigacyjną. Wadą takiego podejścia są duże zniekształcenia obrazu.

Wyróżniamy dwa różne sposoby wykorzystywania układów wizyjnych. W pierwszym mamy do czynienia z odometrią wizyjną. Jest to klasa algorytmów, które pozwalają na zliczanie przemieszczeń i obrotów pojazdu pomiędzy następującymi po sobie klatkami nagrania. Dzięki temu można określić pozycję pojazdu w lokalnym układzie współrzędnych. Dogłębna analiza tego zagadnienia została przedstawiona w dwuczęściowym przeglądzie opublikowanym przez Scaramuzzę i Fraundorfera [13, 14]. Dzięki rozwojowi szybkich komputerów w ostatniej dekadzie pojawiła się możliwość praktycznej realizacji algorytmów. Taka możliwość przyczyniła się do szybkiego wzrostu zainteresowania tym zagadnieniem, nad którym pracowano już od około 30 lat. Artykuły opublikowane w połowie ubiegłego dziesięciolecia przez Nistera [11, 12] zdefiniowały pojęcie odometrii wizyjnej i przyczyniły się do dynamicznego rozwoju tego zagadnienia. Obecnie istnieje wiele działających rozwiązań, przetestowanych na kamerach jednoobiektywowych, stereowizyjnych, a także dookólnych. Odometria wizyjna była również testowana na pojazdach latających. Ze względu na zliczeniowy charakter pracy odometrii wizyjnej we wszystkich rozwiązaniach obserwuje się narastający w czasie błąd. Na szczególną uwagę zasługuje tutaj jeden z najlepszych obecnie algorytmów, który pozwala na osiągnięcie błędu pozycji na poziomie 0,1% na odcinku 10 km. Układ ten wykorzystuje kamerę stereowizyjną oraz jednostkę inercjalną do korekcji [15].

Na drugą klasę algorytmów składają się rozwiązania oparte o metodologię jednoczesnej nawigacji i tworzenia mapy (z ang. Simultaneous Localization and Mapping, SLAM). W tym rozwiązaniu punkty charakterystyczne obserwowane w obrazie są wykorzystywane do tworzenia mapy, która służy do określenia i korekcji pozycji. Dobrym wprowadzeniem do zagadnienia SLAM jest seria tutoriali [7, 8]. Natomiast czytelnik może znaleźć bardzo dobre wprowadzenie do zagadnienia w odniesieniu do nawigacji wizyjnej w publikacji [9].

Ze względu na swoje zalety układ nawigacji wizyjnej został wybrany na główny czujnik nawigacyjny pojazdu. Zastosowany algorytm odometrii wizyjnej powinien umożliwić wyznaczenie trójwymiarowej pozycji oraz orientacji pojazdu z zadowalającą dokładnością. Rozwiązania proponowane w ramach technologii SLAM są wciąż rozwiązaniami laboratoryjnymi i pozostaje jeszcze wiele praktycznych problemów do rozwiązania. Ze względu na ten fakt oraz biorąc pod uwagę, że zakres operacyjny robota będzie stosunkowo niewielki (< 1000m), postanowiliśmy wykorzystać algorytm oparty na odometrii wizyjnej.

3.5. Pozostałe czujniki

Dodatkowe informacje nawigacyjne będą pochodzić z IMU. Jako że planowane jest zastosowanie jednostki low - grade (o stosunkowo niskiej dokładności), wykorzystywana będzie jedynie informacja o lokalnym pionie. Pozwoli to na określenie pochylenia i przechylenia pojazdu.

Magnetometr będzie wykorzystywany jako źródło informacji o natężeniu lokalnego pola magnetycznego. Informacja taka jest dodatkową zmienną opisującą otoczenie robota, która pozwoli na korekcję pozycji w fazie autonomicznej operacji.

Przewidywane jest również wykorzystanie informacji dostarczanych z klasycznych odometrów. Urządzenie takie pozwala na określenie położenia i orientacji pojazdu, poruszającego się po płaszczyźnie. Może ono być wykorzystane jako informacja pomocna przy inicjalizacji obliczeń dla odometrii wizyjnej, jak również jako dodatkowe źródło do korekcji samej pozycji. Jednak wykorzystanie tego czujnika jest jedynie opcjonalne, gdyż nie będzie on dostępny na docelowej platformie wykorzystywanej w projekcie.

4. STEROWANIE W TRYBIE AUTONOMICZNYM

Z operacyjnego punktu widzenia niezwykle istotne jest, by robot znajdujący się na miejscu zdarzenia był w stanie powrócić tą samą drogą, którą tam dotarł, aby zredukować ryzyko przypadkowego zatarcia istotnych śladów kryminalistycznych. Ponadto w sytuacji utraty kontaktu z operatorem po odczekaniu przewidzianego czasu platforma podejmie sama decyzję o autonomicznym wycofaniu się ze skażonej strefy. Dzięki temu nie narazi na zagrożenia w skażonym obszarze ludzi, którzy musieliby ją stamtąd odebrać. Do wypełnienia tych zadań robot jest wyposażony w system umożliwiający częściową pracę autonomiczną. W tym przypadku chodzi o poruszanie się bez sterowania zdalnego przez operatora. Konieczność zastosowania tego typu układu ma miejsce w dwóch przypadkach:

- w sytuacji utraty łączności z operatorem przez określony czas robot wycofuje się po trasie, po której przyjechał. Zabezpiecza to obsługę przed koniecznością wejścia w strefę, gdzie występują zagrożenia CBRN celem jego odzyskania;
- robot powraca tą samą drogą, którą został wprowadzony do strefy operacyjnej z uwagi na istniejące zagrożenie zatarcia istotnych śladów kryminalistycznych w obszarze jego działania.

Systemy nawigacji autonomicznej do platform naziemnych były już przedmiotem opracowań w Politechnice Warszawskiej i zostały tu pokrótce opisane w rozdziale 2. W odróżnieniu od systemów przeznaczonych do pracy na zewnątrz budynków w przedstawianym przypadku nie możemy skorzystać z GPS. Podstawą nawigacji w opisywanym robocie w trakcie pracy autonomicznej jest nawigacja wizyjna. Platforma zapamiętuje ostatnie dziesięć metrów pokonanej trasy i jest w stanie wrócić po swoich śladach. Pozwala to na wycofanie się w sytuacji, gdy robot stracił kontakt z konsolą sterującą lub należy wycofać robota tak, by ślady na podłodze badanego pomieszczenia były jak najmniej uszkodzone. W pierwszym przypadku decyzja o rozpoczęciu nawigacji autonomicznej jest podejmowana przez komputer sterujący robotem, gdy nie ma połączenia przez odpowiednio długi czas. Długość tego okresu jest na razie w fazie ustaleń. W drugim przypadku decyzja jest podejmowana przez operatora konsoli i przesyłana jako polecenie.

5. SZKOLENIE OPERATORÓW

W oparciu o doświadczenia z dziedziny lotnictwa, gdzie symulatory są powszechnie stosowane oraz korzystając z najnowszych prac dotyczących symulatorów robotów mobilnych [3,4,5] zostanie przygotowany specjalny program treningowy pozwalający na szkolenie operatorów. W przypadku zagrożeń CBRN rozpoznanie biologiczne, radiologiczne, chemiczne oraz zabezpieczanie śladów kryminalistycznych, potencjalny błąd operatora może kosztować utratę cennych informacji bądź też niepoprawne odczytanie występującego zagrożenia. Konsekwencje błędnych decyzji i złego wyszkolenia operatora mogą spowodować nieodwracalne szkody czy zagrożenie życia. Tak trudne warunki pracy wymagają dużej precyzji w posługiwaniu się zarówno manipulatorem, jak i poruszaniu się samą platformą. Podczas wykonywania misji, operator robota mobilnego musi potrafić tak sterować platformą, aby nie zniszczyć żadnych śladów. Dodatkowo w przypadku zagrożeń chemicznych operator musi być wyczulony na zagrożenia, jakie mogą uszkodzić platformę bądź działanie poszczególnych systemów rozpoznania.

Program szkoleniowy będzie miał na celu przygotowanie przyszłych operatorów do pracy w rzeczywistości. Ze względu na specyficzny charakter pracy, przeprowadzenie treningu w realnych warunkach może być bardzo trudne i kosztowne, niekiedy nawet niemożliwe. Oprogramowanie symulatora oraz odpowiednio dobrany program ćwiczeń pozwoli na trening skomplikowanych misji oraz manewrów.

6. WNIOSKI

Przedstawiana platforma do badań kryminalistycznych jest rozwiązaniem, które wiąże w sobie wiele różnych technologii z zakresu robotyki i kryminalistyki. Jest rozwiązaniem nowatorskim. Oferowane jest rozwiązanie kompleksowe, pozwalające na zastosowanie wielu różnych technik kryminalistycznych oraz systemu szkolenia opartego o symulator robota. Zgodnie z naszą wiedzą urządzenia o prezentowanych tu możliwościach nie ma w ofercie żadnej ze światowych firm produkujących roboty dla policji i służb paramilitarnych. Opisany w niniejszym artykule podsystem nawigacji rozwiązuje trudne zagadnienie poruszania się autonomicznego robota w pomieszczeniach zamkniętych. Zastosowana metoda pozwala na poruszanie się bez systemu GPS w oparciu o nawigację wizyjną. Korzystamy też ze wsparcia magnetometru oraz nawigacji inercyjnej. Wprowadzenie tej technologii do robotyki pozwala na autonomiczny ruch w pomieszczeniach przy braku komunikacji z teleoperatorem.

7. LITERATURA

- [1] Lewis M., Wang J., Hughes S.: *USARSim: Simulation for the Study of Human – Robot Interaction*, Journal of Cognitive Engineering and Decision Making, Volume 1, No. 1, Spring 2007, pp. 98 – 120.
- [2] Casper J., Murphy R. R.: *Human – Robot Interaction During the Robot – Assisted Urban Search and Rescue Response at the World Trade Center*, Army IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics – Part B: Cybernetics, vol. 33, no. 3, 2003 r.
- [3] Messina E., Jacoff A., Scholtz J., Schlenoff C., Huang H, Lytle A., Blich J.: *Statement of Requirements for Urban Search and Rescue Robot Performance Standards*, Preliminary report, National Institute of Standards and Technology.
- [4] Albrecht M., <http://www.army-technology.com/features/feature84912/>, 28.09.2010 r.
- [5] Będkowski J., Kowlaski P., Musialik P., Masłowski A., Kacprzak M., Kaczmarczyk A., Pichlak T.: Rise mobile robot operator training design, IEEE, 978-1-4244-7827-9.

- [6] www.antyterroryzm.com, 15.07.2012 r.
- [7] Bailey T., Durrant-Whyte H.: Simultaneous localization and mapping (SLAM): Part II. *Robotics and Automation Magazine*, 2006, 13(3):108–117.
- [8] Durrant-Whyte H., Bailey T.: Simultaneous localization and mapping (SLAM): Part I the essential algorithms. *Robotics and Automation Magazine*, 2006, 13(2):99–110.
- [9] Lacroix S., Lemaire T., Berger C.: More Vision for SLAM. In Danica Kragic and Ville Kyrki, editors, *Unifying Perspectives in Computational and Robot Vision*, volume 8 of *Lecture Notes in Electrical Engineering*, pages 129–147. Springer US, 2008. 10.1007/978-0-387-75523-6_9.
- [10] Lemaire T., Berger C., Kyun Jung I., Lacroix S.: Vision-Based SLAM: Stereo and Monocular Approaches. *International Journal of Computer Vision*, 74:343–364, 2007. 10.1007/s11263-007-0042-3.
- [11] Nister D., Naroditsky O., Bergen J.: Visual odometry. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2004. CVPR 2004. Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on*, volume 1, 2004, pages I–652 – I–659 Vol.1.
- [12] Nister D., Naroditsky O., Bergen J.: Visual odometry for ground vehicle applications. *Journal of Field Robotics*, 2006, 23(1):3–20.
- [13] Fraundorfer F., Scaramuzza D.: Visual odometry [tutorial]. *Robotics Automation Magazine, IEEE*, 2011, 18(4):80 –92.
- [14] Fraundorfer F., Scaramuzza D.: Visual odometry : Part ii: Matching, robustness, optimization, and applications. *Robotics Automation Magazine, IEEE*, 2012,19(2):78 –90.
- [15] Konolige K., Agrawal M., Sola J.: Large-scale visual odometry for rough terrain. In Makoto Kaneko and Yoshihiko Nakamura, editors, *Robotics Research*, volume 66 of *Springer Tracts in Advanced Robotics*, pages 201–212. Springer Berlin / Heidelberg, 2010. 10.1007/978-3-642-14743-2_18.

MOBILE PLATFORM TO SUPPORT FORENSIC INVESTIGATIONS

Abstract. This article presents the objectives of the project conducted by the Warsaw University of Technology in cooperation with the Police Central Forensic Laboratory and Industrial Research Institute for Automation and Measurements. This paper presents the main objectives of the project and methods implemented to realize autonomous navigation of the platform. This article shows the main concept of the whole system and presents solutions of autonomous control of the platform in case of loss of communication between the operator and the mobile platform. In the paper it was also presented a description of the system and a detailed description of the platform and sensors that are used in the project.

Keywords: mobile robotics, visual navigation, autonomy, simulation.