

mgr inż. Tomasz Więk  
Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji  
Politechnika Krakowska

## LASEROWY SYSTEM NAWIGACJI PLATFORMY MOBILNEJ NA PRZYKŁADZIE SKANERA NAV300

*Laserowy system nawigacji NAV300 jest najnowszym i najbardziej zaawansowanym technicznie urządzeniem nawigacyjnym przeznaczonym do pojazdów AGV. W pracy przedstawiono problematykę związaną z implementacją tego urządzenia w prototypie platformy mobilnej do zadań transportowych budowanym w Zakładzie Zautomatyzowanych Systemów Produkcyjnych.*

### AGV LASER NAVIGATION SYSTEM BASED ON NAV300

*Laser NAV300 navigation system is the newest and most advanced navigation device designed for an AGV. The paper presents problems connected with the implementation of this equipment in a prototype mobile platform built for transportation purposes in the Department of Automated Production Systems.*

## 1. WSTĘP

Prace rozwojowe nad automatycznie sterowanymi pojazdami AGV (ang. *Automated Guide Vehicle*) prowadzone są już od kilkadziesiąt lat. Od samego początku jednym z kluczowych problemów, który należało rozwiązać było prowadzenie pojazdu wzdłuż zaplanowanej trasy oraz określanie jego położenia. Oba te zagadnienia można wspólnie nazwać nawigacją. Zgodnie z definicją a słownikową nawigacja jest to dział nauki obejmujący: prowadzenie statku wodnego lub latającego po wytyczonej trasie, określanie jego pozycji oraz wyboru kursu [1]. Co prawda w definicji nie znajdujemy informacji o nawigowaniu pojazdów lądowych, jednak wydaje się oczywiste, że ich ona również dotyczy, zwłaszcza w dzisiejszych czasach, w dobie GPS i powszechnego zainteresowania robotami mobilnymi (np. projekt „Urban Challenge” organizowany i sponsorowany przez DARPA [8]). Problematyka związana z określeniem położenia i jest również jednym z podstawowych zadań do rozwiązania w prowadzonych w Zakładzie Zautomatyzowanych Systemów Produkcyjnych na Politechniki Krakowskiej pracach badawczych nad autonomicznymi platformami mobilnymi do celów transportu wewnątrzzakładowego [2–5].

## 2. NAWIGACJA MOBILNYCH PLATFORM TRANSPORTOWYCH

Od początku prac nad robotami mobilnymi i oraz platformami transportowymi powstało wiele różnych metod ich nawigacji. Niektóre z tych metod zostały opracowane specjalnie dla nich, a inne zostały zapożyczone i dostosowane z innych dziedzin techniki. Każda z metod bazuje na wykorzystaniu specyficznego zjawiska fizycznego. Z punktu widzenia platform mobilnych metody nawigacji można podzielić na dwie podstawowe grupy.

Do pierwszej z nich zaliczają się będą sposoby nawigacji bazujące na istnieniu fizycznej ścieżki, umieszczonej pod powierzchnią lub na powierzchni podłoża, wzdłuż której ma poruszać się pojazd, np. nawigacja indukcyjna, magnetyczna czy optyczna. Metody nawigacyjne z tej grupy mają jedną wspólną wadę, która w aspekcie wymagań stawianych nowoczesnym, rekonfigurowalnym systemom produkcyjnym, znacznie ogranicza ich stosowanie z powodu kłopotliwej i czasochłonnej procedury modyfikacji ścieżki. Każda zmiana ścieżki wiąże się z fizycznym usunięciem poprzedniego odcinka i zastąpieniem go nowym, co znacząco wpływa na czas przystosowania systemu transportowego do nowych zadań.

W drugiej grupie znajdują się wszystkie metody nawigacji, które nie wymagają istnienia fizycznej ścieżki transportowej. Pozwalają one na przemieszczanie się pojazdu wzdłuż dowolnej trasy, której reprezentacja istnieje w pamięci układu sterowania pojazdu. Do tej grupy zaliczają się metody: odometryczna, inercyjna oraz bazujące na zasadzie działania radaru (RADAR – ang. *Radio Detection And Ranging* lub LIDAR – ang. *Light Detection And Ranging*).

Wirtualna trasa może być w bardzo prosty i szybki sposób modyfikowana w celu dostosowania jej do nowych wymagań produkcyjnych lub też w celu ominięcia przeszkód aktualnie na niej znajdujących się. Spośród metod należących do tej grupy najlepsze parametry zapewnia system nawigacji laserowej, gdyż jako jedyny pozwala na określenie pozycji i orientacji z wysoką oraz stałą dokładnością. W nawigacji inercyjnej i odometrycznej błąd określenia pozycji i orientacji rośnie ze wzrostem przebytej drogi. W celu utrzymania go na akceptowalnym poziomie wymagane jest okresowe korygowanie pozycji wyliczanej w stosunku do pozycji rzeczywistej.

Metoda nawigacji laserowej jest najlepsza z dostępnych obecnie metod nawigacji dedykowanych dla robotyki mobilnej. Z tego powodu właśnie ta metoda została zastosowana w budowanym w Zakładzie Zautomatyzowanych Systemów Produkcyjnych prototypie autonomicznej platformy transportowej [4].

### 3. LASEROWY SYSTEM NAWIGACJI W PROTOTYPIE AUTONOMICZNEJ PLATFORMY TRANSPORTOWEJ

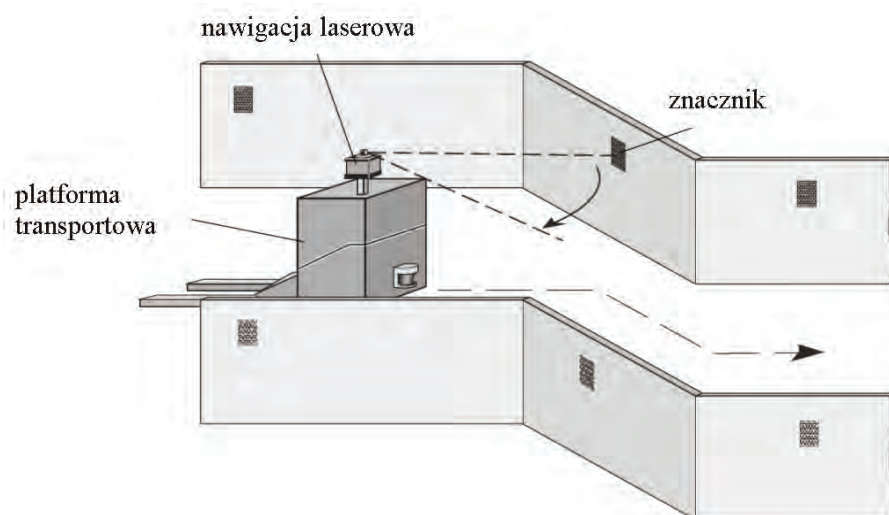
Na chwilę obecą istnieją tylko dwa przemysłowe systemy nawigacji laserowej dedykowane do pojazdów AGV (przedstawione na rysunku rys. 1), są to NAV200 oraz jego nowsza wersja NAV300 produkowane przez firmę SICK.



Rys. 1. Laserowy system nawigacji NAV200 i NAV300

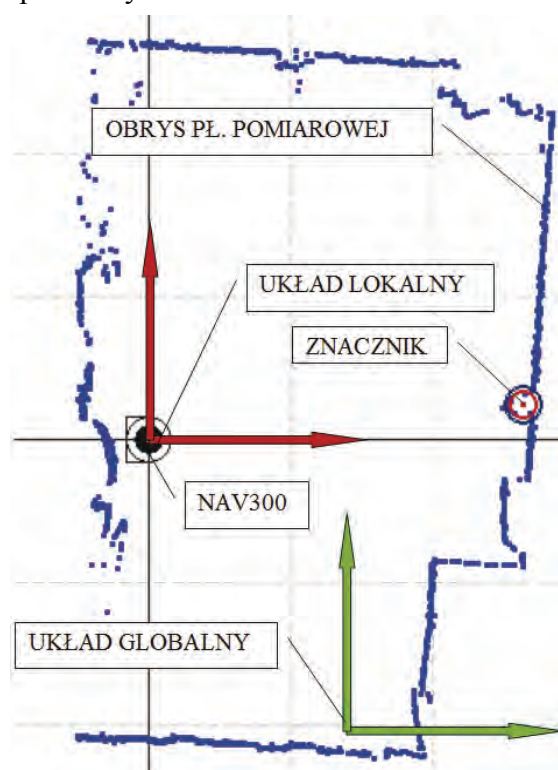
Zasada działania obu urządzeń nawigacyjnych, bazująca na pomiarze odległości między wirującą głowicą pomiarową a specjalnymi znacznikami umieszczonymi na obwodzie płaszczyzny wyznaczonej przez wirującą wiązkę pomiarową, przedstawiona została na rys. 2 [6].

Pomiary dokonywane są we współrzędnych biegunowych z zaprogramowaną rozdzielczością kątową. Do pomiaru kąta zastosowano enkoder obrotowy o rozdzielczości  $0,0625^\circ$  ( $5760$  imp). Na etapie konfiguracji urządzenia możliwe jest ustawienie rozdzielczości pomiarowej jako wielokrotności podwojonej rozdzielczości podstawowej zastosowanego enkodera, np.  $0,125^\circ$ ,  $0,25^\circ$ ,  $0,375^\circ$ , ... Pomiar odległości dokonywany jest na podstawie pomiaru czasu propagacji modulowanego impulsu światła laserowego między głowicą urządzenia, a elementami otoczenia. Urządzenie jest w stanie rozróżnić maksymalnie 32 znaczniki w jednym cyklu pomiarowym, a informacja o ich położeniu udostępniana jest przez interfejs RDI (ang. *Reflektor Data Interface*).



Rys. 2. Zasada działania nawigacji laserowej

W skanerze nawigacyjnym NAV300 w stosunku do jego poprzednika NAV200 nastąpiła zasadnicza zmiana idei działania. Skaner NAV200 pozwala na uzyskanie informacji o położeniu i orientacji pojazdu we współrzędnych globalnych. Jest to możliwe po uprzednim zapisaniu w jego pamięci rzeczywistego położenia wszystkich znaczników. Skaner NAV300 natomiast dokonuje pomiaru położenia znaczników w jego układzie lokalnym, a zadanie wyliczenia pozycji w układzie globalnym spoczywa na komputerowym układzie sterowania.



Rys. 3. Widok pojedynczego cyklu pomiarowego skanera NAV300

Pozornie takie rozwiązanie może wydawać się bardziej kłopotliwe, jednak po głębszej analizie okazuje się, że zapewnia znacznie większą funkcjonalność. Dzięki możliwości pomiaru odległości do elementów otoczenia, możliwa jest implementacja, w komputerowym układzie sterowania, funkcji pozwalających na budowanie mapy lub poruszanie się pojazdu w środowisku, w którym

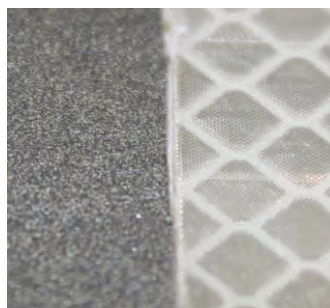
niemożliwe jest umieszczenie znaczników, np. podczas automatycznego załadunku lub rozładunku naczepy ciężarówki, co jest uwidocznione na rys. 4.



Rys. 4. Przykład zastosowania systemu NAV300 [6]

Możliwość dokładnego odwzorowania przestrzeni pracy jest szczególnie istotna w kontekście doboru właściwych warunków początkowych w modelu symulacyjnym, który będzie niezbędny do opracowania poprawnego algorytmu sterującego platformą transportową [2].

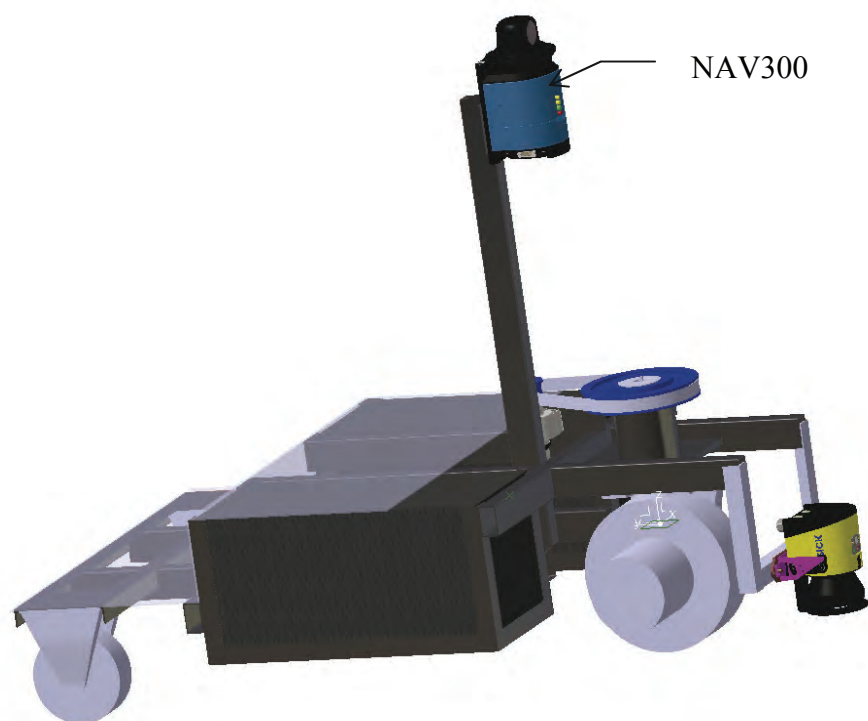
Do poprawnej i stabilnej pracy systemu na wiggacji laserowej, bazującym na skanerze NAV300, wymagany jest odpowiedni dobór i rozmieszczenie znaczników. W wykrywanie znaczników odbywa się na podstawie pomiaru natężenia światła odbitego od obiektu. Jeżeli natężenie jest większe niż zaprogramowana wartość graniczna, skaner interpretuje ten fakt jako odbicie od znacznika i w sposób precyzyjny dokonuje pomiaru jego położenia. W innym przypadku mamy do czynienia z odbiciem od elementu otoczenia. Ważne jest więc, aby stosowane znaczniki były wykonane z odpowiedniego materiału, takiego który charakteryzuje się minimalnym rozpraszaniem oraz bardzo wysokim stopniem odbijania światła w kierunku jego źródła. Mogą to być materiały odbłaskowe bazujące zarówno na mikropryzmatkach, które są polerowane przez producenta skanera jak i tzw. szklanych kropelkach (rys. 5). Z przeprowadzonych wstępnych testów wynika, że te pierwsze mają lepsze parametry, gdyż wykazują mniejszy stopień rozpraszania, co powoduje, że większa część energii impulsu wraca do detektora urządzenia.



Rys. 5. Folie odbłaskowe – na bazie: szklanych kropel (lewa), mikropryzmatów (prawa)

Oprócz rodzaju powierzchni znacznika bardzo ważny jest też jego rozmiar oraz kształt. Rozmiar znacznika należy rozumieć jako jego szerokość i wysokość. Oba te wymiary są powiązane z torem pomiarowym skanera oraz maksymalną odległością, z której ma być dokonywany pomiar. Pierwszym krokiem, który należy wykonać, jest przeanalizowanie warunków technicznych przestrzeni pracy platformy mobilne w celu określenia maksymalnej odległości pomiarowej.

W pracach nad proto typem autonomicznej platformy transportowej (rys. 6) przyjęto maksymalną odległość wynoszącą 30 m.



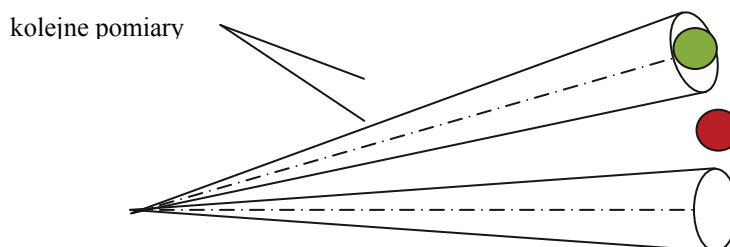
Rys. 6. Wizualizacja prototypu platformy mobilnej wyposażonej z skaner NAV300

Kolejnym czynnikiem wpływającym na rozmiar znaczy jest rozbieżność wiązki pomiarowej emitowanej przez obrotową głowicę urządzenia. Według informacji podanych przez producenta wynosi ona 5 mrad. Średnicę wiązki pomiarowej dla danej odległości uwzględniającą niedokładności układu optycznego przedstawia poniższa zależność (1). Wynika z niej, że na odległości 30 m wiązka pomiarowa ma średnicę ok. 170 mm.

$$\text{średnica wiązki} = \text{odległość} \times 5 \text{ mrad} + 20 \text{ mm} \quad (1)$$

Ostatnim czynnikiem wpływającym na rozmiar znacznika, który należy uwzględnić przy prawidłowo projektowanym systemie nawigacji laserowej jest kąтова rozdzielczość pomiarowa. Musi ona być tak dobrana, aby nie doszło do sytuacji, w której znacznik znajdzie się w martwej strefie pomiarowej, czyli w przestrzeni między kolejnymi punktami pomiarowymi. Na rys. 7 zilustrowano ten problem, gdzie kolorem czerwonym zaznaczono obiekt, który nie zostanie wykryty w aktualnym cyklu pomiarowym. Możliwe jest jego wykrycie przy innym położeniu skanera nawigacyjnego (przejazd platformy transportowej) lub innym położeniu obiektu, w przypadku gdy jest on w ruchu.

Dla zakładanej w projekcie odległości 30 m i rozdzielczości wynoszącej 0,125°, odległość między kolejnymi pomiarami wynosi ok. 65,45 mm. Aby mieć pewność że znacznik zawsze będzie rozpoznany z maksymalnym możliwym natężeniem światła odbitego jego szerokość powinna być nie mniejsza niż suma odległości między punktami pomiarowymi i średnicy wiązki przy zakładanej odległości. W rozpatrywanym przypadku szerokość ta wynosi ok. 235 mm. Wysokość znacznika uzależniona jest od średnicy wiązki pomiarowej, nierówności podłoża, po którym przemieszcza się platforma transportowa oraz wysokości i sztywności zamocowania skanera.



Rys. 7. Nieciągłość pomiaru kąтового

Kształt znaczników może przybierać jedną z dwóch form. Mogą one być w postaci płaskiego arkusza folii odbłaskowej lub w postaci cylindrycznej. Znaczniki cylindryczne są korzystniejsze gdyż eliminują problem związany ze zmianą współczynnika odbijania światła przy dużych kątach padania wiązki pomiarowej. Przy ich wyborze należy podać średnicę cylindra w odpowiednim parametrze konfiguracyjnym. Jest to niezbędne do prawidłowego określenia środka znacznika.

#### 4. KONCEPCJA ALGORYTMU OKREŚLANIA POZYCJI POJAZDU WE WSPÓLRZĘDNYCH GLOBALNEGO UKŁADU NA PODSTAWIE POMIARÓW ZE SKANERA NAV300

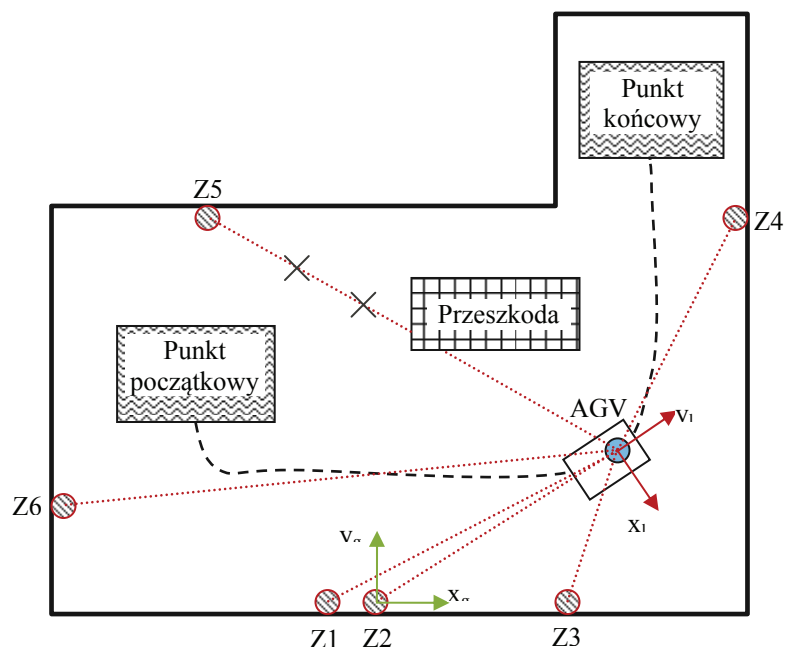
Laserowy system nawigacji NAV300 dzięki swojej uniwersalności pozwala na wyznaczenie aktualnego położenia platformy mobilnej na dwa odmienne sposoby.

Pierwszy z nich bazuje na systemie znaczników odbłaskowych umieszczonych na obwodzie przestrzeni roboczej. Skaner, po każdym cyklu pomiarowym, przekazuje do komputerowego układu sterowania informacje o liczbie rozpoznanych znaczników oraz ich współrzędnych w układzie lokalnym. Na podstawie tych danych specjalny algorytm zaimplementowany w komputerowym układzie sterowania dokonuje niezbędnych obliczeń w celu wyznaczenia rzeczywistego położenia pojazdu.

W drugim sposobie nawigacji nie występują znaczniki odbłaskowe, dokonywane są jedynie pomiary odległości między skanerem NAV300 a elementami otoczenia. Do jednostki centralnej przekazywana jest tablica pomiarów, gdzie każdy element tablicy przedstawia wartość pomiaru odległości dla kolejnego położenia kątownego głowicy pomiarowej. Rozmiar tablicy zależy od rozdzielczości kątowej: przy rozdzielczości  $0,125^\circ$  tablica zawiera 2880 pomiarów odległości. W tej metodzie zadanie wyznaczenia położenia platformy transportowej może być dokonywane w sposób programowy poprzez zaawansowane algorytmy samolokalizacji i budowania mapy otoczenia tzw. SLAM – *Self Localization And Mapping* [7].

Ważną cechą urządzenia nawigacyjnego NAV300 jest możliwość równoczesnej i niezależnej pracy obu przedstawionych sposobów nawigacji. Na aktualnym etapie prac nad prototypem platformy transportowej zdecydowano się na zastosowanie jako pierwszej, metody bazującej na znacznikach. Metoda bez znaczników będzie weryfikowana w następnej kolejności.

Metoda bazująca na znacznikach pozwala na bardzo szybkie i precyzyjne określenie położenia oraz orientacji pojazdu. Możliwe jest to przy założeniu, że w danej chwili widoczne są co najmniej trzy znaczniki, co oznacza, że znane jest ich położenie w układzie lokalnym oraz znaczniki mają ustalone położenie w układzie globalnym.



Rys. 8. Przykładowe zadanie transportowe

W rzeczywistych warunkach pracy platformy zdarzają się będą sytuacje, w których część znaczników będzie przesłaniana przez elementy wyposażenia hali produkcyjnej, inne pojazdy lub pracowników. Dodatkowo istnieje problem związany z ustaleniem położenia początkowego w momencie uruchomienia systemu. Algorytm wyznaczania rzeczywistej pozycji platformy powinien rozwiązywać te problemy oraz być niewrażliwy na chwilowe zaniki widoczności części znaczników. Po wstępnej analizie sposobu rozwiązania problemu zaproponowano algorytm, który zostanie poddany weryfikacji doświadczałnej na prototypie platformy. Do jego przedstawienia posłużono się rys. 8. Przedstawiono na nim platformę mobilną realizującą zadanie transportowe między dwoma punktami trasy poruszając się po wyznaczonej ścieżce. Układ globalny zaznaczono na zielono, a lokalny, związany z platformą na czerwono. Znaczniki odbłaskowe oznaczono kolejno Z1, Z2...Z6. Rysunek przedstawia moment, w którym jeden ze znaczników jest zasłonięty przez przeszkodę.

Zaproponowany algorytm będzie realizował trzy następujące zadania:

#### 1. Wybór znaczników

Spośród wszystkich dostępnych w danej chwili znaczników wybierane są trzy o najwyższych mocach sygnału odbitego. Podejście takie ma za zadanie wykluczyć problem związany z nieciągłością pomiaru kąтового, który został przedstawiony w rozdziale 3.

#### 2. Określenie pozycji globalnej wybranych znaczników

Na podstawie uzyskanych informacji o położeniu względem siebie wybranych znaczników nastąpi ich identyfikacja i zostaną im przypisane współrzędne globalne przechowywane w lokalnej bazie danych. Pojazdy, za pośrednictwem swoich agentów transportowych, będą mogły wymieniać się informacjami o położeniach znaczników w celu aktualizacji swoich baz [3].

#### 3. Wyznaczenie położenia i orientacji platformy

Mając informacje o lokalnym i globalnym położeniu znaczników wyznaczenie pozycji platformy nie stanowi już żadnego problemu i sprowadza się do prostego przeliczenia współrzędnych.

#### 4. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono zagadnienia związane z problematyką prawidłowej konfiguracji oraz budowy laserowego systemu nawigacji platform mobilnych wykorzystujących urządzenie NAV300. Przedstawiono również koncepcję algorytmu wyznaczającego rzeczywiste położenia platformy. Z przeprowadzonych dotychczas prób i testów wynika, że zastosowany laserowy system pozycjonowania daje duże możliwości precyzyjnego określenia lokalizacji tego typu pojazdów. Dodatkowo dzięki możliwości dokonywania pomiaru przestrzeni otaczającej platformę transportową znacząco ułatwi rozwiązywanie problemów powstałych w przypadku wystąpienia niespodziewanych przeszkód na trasie przejazdu. Ponadto, stwarza warunki do rozwoju algorytmów samolokalizacji oraz budowy mapy środowiska pracy, co niewątpliwie zostanie wykorzystane w dalszych pracach.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Kopaliński W.: Słownik wyrazów obcych i zwrotów obcojęzycznych. Wydawnictwo Muza S.A. 2003.
2. Małopolski W.: Metoda wyznaczania dowolnych tras przejazdu obiektów w systemie transportowego w środowisku symulacyjnym Arena. *Pomiary Automatyka Robotyka*, Nr 2, 2011.
3. Zajac J., Chwajol G.: Koncepcja integracji rozproszonego systemu sterowania produkcją AIM z podsystemem transportu międzyoperacyjnego zbudowanym z autonomicznych robotów mobilnych. *Pomiary Automatyka Robotyka*, Nr 2, 2011.
4. Zajac J., Krupa K., Słota A., Więk T.: Konstrukcja i układ sterowania autonomicznej platformy mobilnej. *Pomiary Automatyka Robotyka*, Nr 2, 2011.
5. Zajac J., Słota A., Chwajol G.: Distributed Manufacturing Control: Models and Software Implementations. *Management and Production Engineering Review*, Vol. 1., No. 1., May 2010, s. 38–56.
6. Dokumentacja techniczna skanera NAV300, <http://www.robotsinsearch.com/file/SICK/NAV300-2232/operatingInstructions.pdf>
7. Strona główna projektu OpenSLAM, <http://www.openslam.org/>
8. Strona główna projektu Urban Challenge, <http://www.darpa.mil/grandchallenge/index.asp>