

MOBILE ROBOT UTILIZATION IN CASE OF INSPECTION OF SANITATION AND VENTILATION PIPES

Summary

In recent years, there has been a rapid advancement in artificial intelligence and this has led to the widespread construction and usage of mobile robots. Until recently, robots were a figment of imagination of the science-fiction directors. Now, as a result of the commercial use robots have revolutionized man's work helping people in their activities or even replacing people at work [3]. It should be stressed that robots are used in many areas of the economy, such as light and heavy industry, army, medicine and agriculture. The objectives of this research work were to design and construct a mobile robot as well as to write the original software for the image acquisition, which would allow us to monitor hard-to-reach places.

Key words: artificial intelligence; mobile robots; image analysis; software; identification of objects; monitoring

WYKORZYSTANIE ROBOTA MOBILNEGO DO INSPEKCJI RUROCIĄGÓW KANALIZACYJNYCH I WENTYLACJI

Streszczenie

Dynamiczny rozwój sztucznej inteligencji w ostatnich latach spowodował, że budowa oraz wykorzystanie w praktyce robotów mobilnych stało się faktem. Do niedawna roboty były wytworem wyobraźni reżyserów czy też kojarzone były wyłącznie z filmami science-fiction. Dziś można stwierdzić, że od kiedy są stosowane na skalę przemysłową to usprawniły i zrewolucjonizowały wiele czynności realizowanych przez człowieka, wspomagając lub całkowicie zastępując jego pracę [3]. Należy podkreślić, że roboty stosowane są w wielu obszarach gospodarki, takich jak przemysł ciężki i lekki, wojsko, medycyna oraz rolnictwo. Celem pracy badawczej było zaprojektowanie i zbudowanie robota mobilnego wraz z opracowaniem autorskiego oprogramowania do procesu akwizycji obrazu oraz możliwości monitorowania miejsc trudno dostępnych dla człowieka.

Słowa kluczowe: sztuczna inteligencja; roboty mobilne; analiza obrazów; oprogramowanie; identyfikacja obiektów; monitorowanie

1. Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój informatyki oraz robotyki pozwala na coraz szersze zastosowanie tych narzędzi do wspomaganie pracy człowieka w niektórych czynnościach. W ostatnich latach można zaobserwować dynamiczny rozwój badań nad robotami mobilnymi. Tendencja ta wynika z ukierunkowania badań na roboty osobiste, usługowe czy też specjalne. Przed przystąpieniem do projektowania robota należy mieć na uwadze jego zastosowanie, które zdeterminuje jego typ i kształt. Istnieje szereg klasyfikacji robotów. Pierwszym podziałem jest podział na [4, 6, 7]:

- lądowe (kołowe, kroczące, gąsienicowe),
- wodne (podwodne, nawodne),
- latające (poduszkowce, sterowce, samoloty i śmigłowce).

Można również dokonać podziału robotów mobilnych ze względu na obszar zastosowań, czyli na:

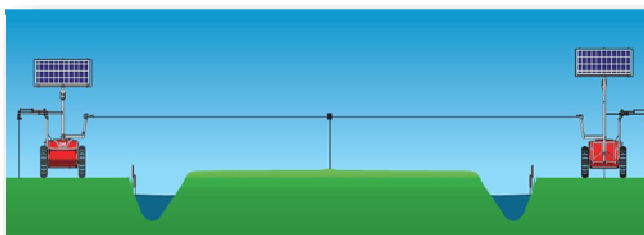
- budowlane,
- bojowe,
- interwencyjno-inspekcyjne,
- transportowe,
- osobiste (np. kosiarki do trawy, odkurzacze),
- medyczne,
- rolnicze itp.

Główną motywacją do wykorzystywania robotów były przede wszystkim zadania, w których istnieje zagrożenie utraty zdrowia lub życia przez człowieka lub też wszędzie tam, gdzie konieczne jest wykonanie prac wymagających dużej precyzji i powtarzalności czy też są pracami żmud-

nymi i monotonnymi. Stosowanie robotów to również aspekt ekonomiczny, który w dłuższej perspektywie czasu zwiększa efektywność, a zarazem poprawia wynik ekonomiczny w obszarach produkcyjnych i logistycznych. Roboty lądowe mają zastosowanie w wielu dziedzinach życia, często służą pomocą człowiekowi w docieraniu do trudno dostępnych miejsc, które to miejsca posiadają: małą średnicę tunelu, który jest poddawany inspekcji lub też są środowiskiem niebezpiecznym dla człowieka. W rolnictwie znajdują już zastosowanie roboty mobilne. Przykładem takim jest robot rolniczy, który powstał w Danii, w Danish Institute of Agricultural Sciences, jest on konstrukcją mobilną zaprojektowaną w celu wykrywania i usuwania chwastów w plonie. Robot porusza się przez wyznaczony sektor i skanuje znajdujące się na nim rośliny. Platforma porusza się samodzielnie i dokonuje oceny roślin. Po przeprowadzeniu analizy zaznacza roślinę, którą uważa za chwast. Następnie po dokonaniu rozpoznania rozpyła minimalną ilość herbicydu. Precyzyjne dawkowanie powoduje zmniejszenie zużycia takiego środka o ponad 70%. Urządzenie to współpracuje z GPS (*Global Positioning System*) działa samodzielnie na podstawie danych uzyskiwanych z systemu. System dostarcza między innymi dane dotyczące rodzaju chwastów, informacji o zasiewie oraz rozmieszczeniu roślin. Informacje pozyskane w ten sposób są analizowane i porównywane ze stanem faktycznym. System ten jest wzbogacony o moduł rozpoznawania kształtu roślin. Kolejnym przykładem jest robot rolniczy *Voyager* firmy Lely, jest on wykorzystywany jako automatyczny pastuch, a jego zadaniem jest kierowanie stadem krów na pastwisku. Ma-

szyna ta pracuje w tandemie (rys. 1), a komunikacja pomiędzy parą robotów odbywa się za pomocą *Bluetooth*.

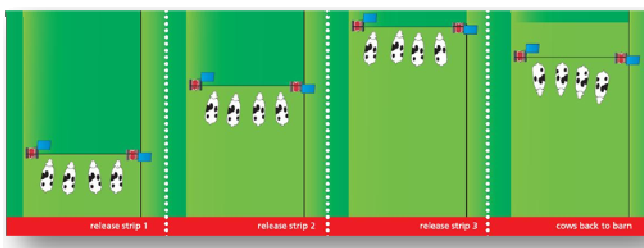
Zaletą zastosowania takiego rozwiązania jest prawidłowe karmienie zwierząt.



Rys. 1. Roboty Voyager. Źródło: www.asimo.pl
Fig. 1. Voyager Robots. Source: www.asimo.pl

Drugą ważną zaletą tego systemu jest dbałość o pastwisko, gdyż system nie dopuszcza do nadmiernego eksploataowania pastwiska i tratowania darni przez rozproszone stado. Sposób działania automatu jest prosty: jest to zespół robotów połączonych ze sobą liną, posiadający odpowiednio ustalony posuw, co powoduje przesunięcie stada o określony odcinek. Automaty po dojechaniu do końca wyznaczonej ścieżki powtarzają czynność w przeciwną stronę (rys. 2).

Automaty te mogą pracować przez długi czas, gdyż uzyskują zasilanie z baterii słonecznych. Dobra komunikacja oraz spora waga (około 170 kg) pozwalają im funkcjonować na nierównym terenie [2].



Rys. 2. Roboty Voyager – sposób działania. Źródło: www.asimo.pl
Fig. 2. Voyager Robots – mode of operation. Source: www.asimo.pl

2. Cel pracy i etapy projektowania

Celem pracy było zaprojektowanie lądowego robota mobilnego o nazwie *Fenix*, którego zadaniem była inspekcja i rozpoznanie obiektów w rurociągach kanalizacyjnych i wentylacyjnych (rys. 3). W przypadku kanałów wentylacyjnych utrzymanie sprawnej wentylacji pomieszczeń ma kluczowe znaczenie w zapewnieniu dobrego samopoczucia, koncentracji a nawet zdrowia dla osób w nich przebywających. Niewielkie rozmiary szybów wentylacyjnych znacznie utrudniają ich nadzór i czyszczenie. Z powodzeniem możemy tego dokonać za pomocą zdalnego sterowania robota. Dodatkowym celem projektu było zweryfikowanie możliwości zastosowania przekaźników USB do zdalnego sterowania jednostką mobilną. Podczas inspekcji można napotkać obiekty, które powodują nieprawidłowe funkcjonowanie takiego kanału, tworząc zatory, lub też nieprawidłowe funkcjonowanie systemu. Dlatego też wykorzystując robota mobilnego *Fenix* można dokonać identyfikacji danego obiektu przez takie cechy, jak kolor, wielkość, kształt.

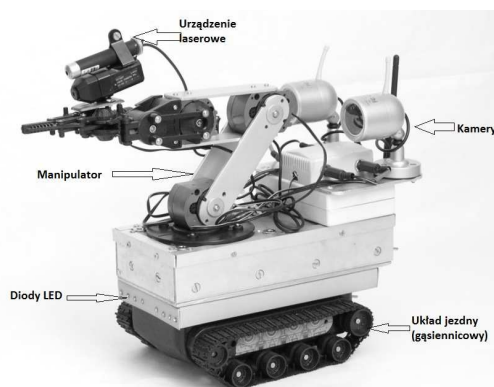
Dlatego też, wykorzystując robota mobilnego, inspektor może dokonać identyfikacji zatoru lub w przypadku uszkodzenia ocenić miejsce powstania i jego rozmiar.

Zakres pracy związany z realizacją celu obejmował:

- zapoznanie się z rodzajami i odpowiednim doborem układu mobilnego do obszaru zastosowania,
- zaprojektowanie i opracowanie oprogramowania mogącego współpracować z urządzeniami mobilnymi o charakterze inspekcyjnym,
- zaprojektowanie diagramów obiektowych w notacji UML,
- przeprowadzenie inspekcji kanału oraz akwizycję zdjęć,
- przeprowadzenie analizy obrazu na zdjęciach pozyskanych w trakcie inspekcji,
- przeprowadzenie testowania systemu w kanale symulacyjnym,
- analizę i ocenę wyników przeprowadzonego doświadczenia.

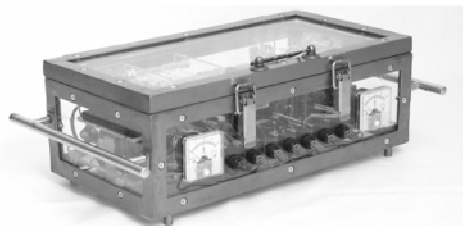
3. Elementy składowe robota

Robot mobilny *Fenix* zbudowany jest z kilku modułów (rys. 3). Jednostka mobilna dysponuje własną platformą na gąsienicach. Robot dysponuje również własnym oświetleniem generowanym przez osiem jasnych diod LED, umieszczonych z przodu urządzenia.



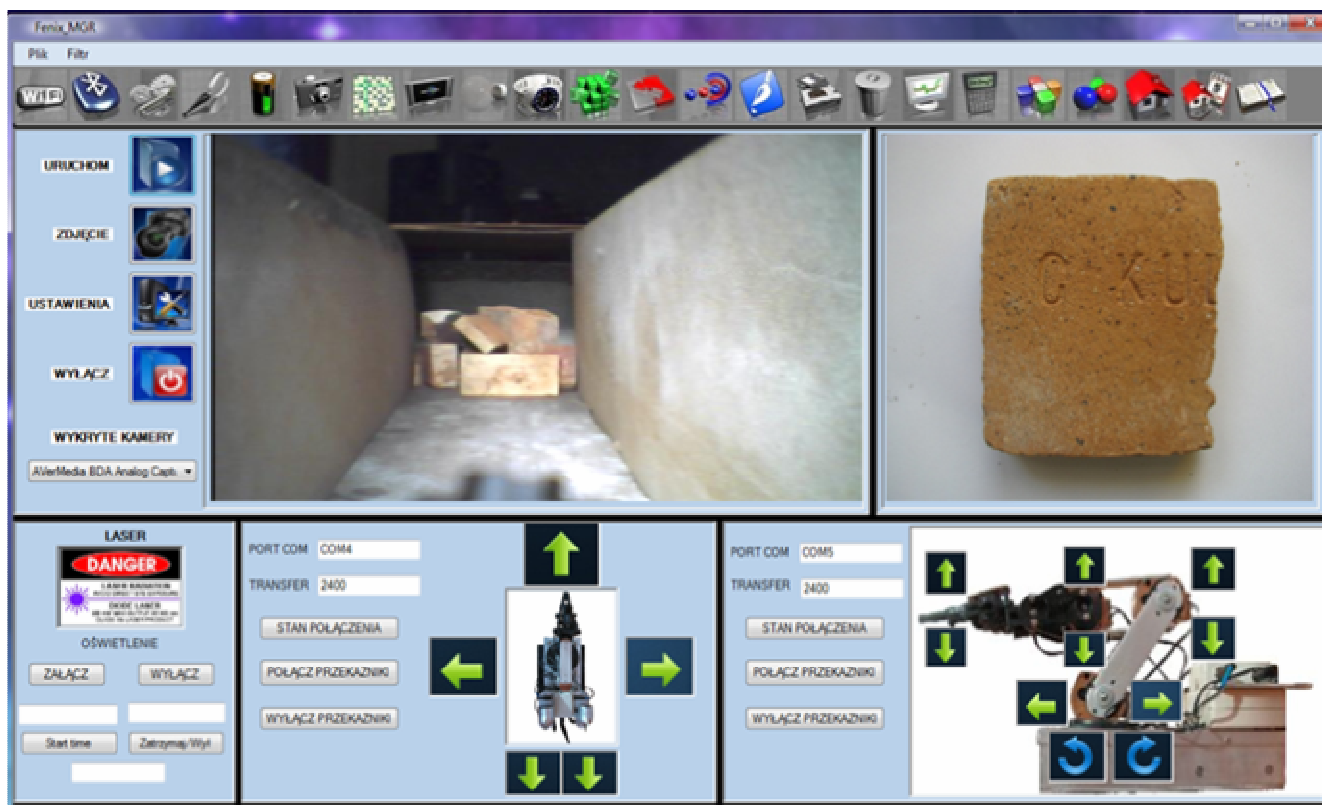
Rys. 3. Robot FENIX. Źródło: Opracowanie własne
Fig. 3. FENIX Robot. Source: own work

Urządzenie laserowe umieszczone na manipulatorze nad kamerą służy do określenia i pomiaru odległości pomiędzy robotem a napotkanym przedmiotem lub przeszkodą. Baza sterująca jest to urządzenie łączące robota z komputerem osobistym (rys. 4). Za jej pomocą odbywa się wymiana danych pomiędzy robotem a komputerem. Do bazy przesyłany jest obraz z kamery za pomocą fal radiowych. Sterowanie modułem jezdnym odbywa się za pomocą fal radiowych o częstotliwości 27 MHz.



Rys. 4. Baza sterująca. Źródło: Opracowanie własne
Fig. 4. Central Management Unit. Source: own work

Układ sterowania składa się z dwóch układów niezależnych od siebie. Pierwszy układ steruje platformą jezdną ro-



Źródło: Opracowanie własne / Source: own work

Rys. 5. Główny formularz programu FENIX_MGR

Fig. 5. FENIX_MGR form. Source: own work

bota, drugi natomiast jest wykorzystywany do sterowania układem manipulatora. Manipulator (rys. 3) wykorzystany w projekcie Fenix dysponuje pięcioma silniczkami napędowymi, które są częścią przekładni zębatach. Wykorzystanie tych przekładni umożliwia sprawne pozycjonowanie części manipulatora. Nie wymaga ciągłego zasilania wykorzystywanego do unieruchomienia wybranego zespołu manipulatora. Takie rozwiązanie powoduje oszczędności zasilania oraz zmniejsza obciążenie silników napędowych. Manipulator jest zakończony chwytakiem, który dysponuje tzw. sprzęgłem przeciążeniowym zapobiegającym zbyt mocnemu zaciśnięciu szczęk na przedmiocie. Zasięg manipulatora wynosi 37 cm, możliwość operowania – 360°. Manipulator ma budowę modułową, pozwalającą na szybki demontaż i montaż innego modułu, np. większej kamery lub układu czyszczącego.

Układ akwizycji obrazu bazuje na trzech kamerach. Kamery tego typu są wykorzystywane w monitoringu. Zaletą kamer są nie tylko małe wymiary, ale możliwość pracy przy braku oświetlenia. Kamery tylne są wykorzystywane do celów nawigacyjnych. Umieszczone są na tylnej części robota i dysponują większym polem widzenia, co ułatwia sterowanie robotem. Kamera na manipulatorze jest przystosowana do inspekcji (rys. 3). Jako mini kamera zamontowana na końcu manipulatora ma możliwość obrotu oraz zbliżenia się do obiektu. Dzięki takiemu rozwiązaniu można dokonywać oględzin miejsc trudno dostępnych. Kamera współpracuje z urządzeniem laserowym, dzięki któremu istnieje możliwość pomiaru odległości. Kamera pozbawiona jest całkowicie okablowania oraz dysponuje własnym zasilaniem w postaci akumulatora, co nie utrudnia pracy manipulatora.

4. Opis systemu informatycznego

Do sterowania robotem mobilnym jak również w celu akwizycji obrazu zaprojektowano i opracowano autorski program komputerowy „Fenix_mgr”, którego okno powitalne zostało przedstawione na rys. 5.

Opracowanie oprogramowania to zbiór procedur, których głównym celem jest powstanie dobrego produktu informatycznego. W ramach wytwarzania aplikacji do sterowania robotem Fenix powstały diagramy przypadków użycia, czynności, klas, komponentów, komunikacji, sekwencji, w notacji UML, a następnie zostały one zweryfikowane przez użytkowników [1].

Aplikacja wyposażona jest także w moduł odpowiadający za odbiór sygnału video z kamery umieszczonej na robocie. Składa się z trzech głównych bloków. Pierwszy blok posiada wszystkie przyciski aktywacyjne służące do wyboru i obsługi kamery, jak również posiada przycisk aktywujący „aparatus fotograficzny”. Blok środkowy odpowiada za wyświetlanie obrazu uzyskanego z kamery. Ostatni blok służy do wyświetlania zdjęcia, które wykonano w trakcie inspekcji. Z tego bloku zdjęcie zostaje przesłane do dalszej obróbki i analizy w programie.

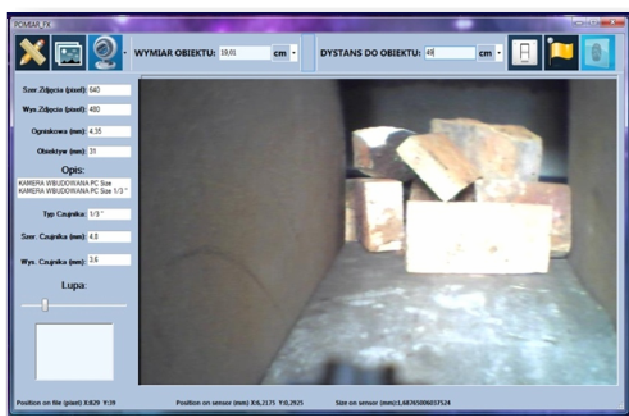
5. Wyniki testów

Badania przeprowadzono w specjalnie przygotowanym kanale w celu przeprowadzenia doświadczenia symulacyjnego. Za pomocą robota FENIX dokonano inspekcji kanału wentylacyjnego. Obraz uzyskiwany z kamer na robocie pozwala na rozpoznanie obiektu powodującego zator (rys. 6).



Źródło: Opracowanie własne / Source: own work

Rys. 6. Widok z kamery na manipulatorze
Fig. 6. The view from the video camera on the manipulator



Źródło: Opracowanie własne / Source: own work

Rys. 7. Moduł pomiaru programu FENIX_MGR
Fig. 7. Measurement module of the FENIX_MGR programme

Z informacji pozyskanych z kamery można określić wielkość przedmiotu. Moduł pomiarowy dostępny w programie FENIX_MGR ma możliwość odczytu pomiaru obiektu z otrzymanego wcześniej zdjęcia (rys. 7). W czasie badań uzyskano pomiar cegieł, gdzie różnica wymiaru wy-

nosiła 3 mm pomiędzy pomiarem uzyskanym ze zdjęcia a faktycznym wymiarem cegły. W tym module istnieje również możliwość pomiaru odległości pomiędzy robotem mobilnym a obiektem zlokalizowanym w tunelu.

6. Wnioski

W pracy zaprezentowano i opisano autorski projekt robota mobilnego FENIX będącego narzędziem do inspekcji kanałów wentylacyjnych. Oprócz tego zaprojektowano i opracowano program komputerowy, który w swym zakresie obejmował sterowanie platformą mobilną, posiadał moduł analizy obrazów oraz moduł diagnostyczny. Zrealizowanie pracy, zgodnie z przyjętym celem głównym i celami cząstkowymi, pozwoliło na sformułowanie następujących stwierdzeń i wniosków:

1. Zastosowanie przekaźników USB w konstrukcji robota mobilnego umożliwia zdalne i skuteczne sterowanie.
2. Kamery wykorzystywane w monitoringu spełniały postawione zadania w inspekcji trudno dostępnych miejsc przy mało sprzyjających warunkach oświetleniowych.
3. Komunikacja układów zdalnego sterowania w kanale wentylacyjnym jest możliwa, ale może być mało skuteczna na długich dystansach z powodu generowania zakłóceń.
4. Wykorzystanie technik komputerowej analizy obrazów umożliwia rozpoznanie miejsca i rodzaju zatoru wraz z jego pomiarem.
5. Zastosowanie modułowej struktury systemu umożliwia jego dalszą rozbudowę.

7. Bibliografia

- [1] Booch G., Rumbaugh J., Jacobson I.: UML Przewodnik użytkownika. Warszawa: WNT, 2001.
- [2] Boniecki P.: Elementy modelowania neuronowego w rolnictwie. Poznań: Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, 2008.
- [3] Koszela K., Weres J.: Neuronowa klasyfikacja obrazów suszu warzywnego. Inżynieria Rolnicza, 2009, Nr 8, (117).
- [4] Honczarenko J.: Roboty przemysłowe. Budowa i zastosowanie. Warszawa: WNT, 2004.
- [5] Tadeusiewicz R.: Systemy wizyjne robotów przemysłowych. Warszawa: WNT, 1992.
- [6] Tadeusiewicz R., Korohoda P.: Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów. Fundacja Postępu Komunikacji. Kraków, 1997.
- [7] Szmigielski A., Ciesielski P., Sawoniewicz J.: Elementy robotyki mobilnej. Warszawa: Wydawnictwo PJWSTK, 2004.
- [8] Strony internetowe: <http://www.asimo.pl>,