

KRENICH Stanisław¹

Koncepcja algorytmów generowania trajektorii ruchu robota typu Hexapod w oparciu o system wizyjny

Roboty kroczące, algorytmy sterowania, adaptacja, system wizyjny

Streszczenie

Artykuł prezentuje koncepcję algorytmów generowania trajektorii ruchu rekonfigurowalnego robota kroczącego w oparciu o system wizyjny i analizę pobranego obrazu w czasie rzeczywistym. Wykorzystano opracowaną konstrukcję robota o sześciu odnóżach i trzypoziomowym mikroprocesorowym układzie sterowania. Przedstawiono propozycję algorytmu sterowania umożliwiającego na podstawie analizy obrazu oraz sensorów: zbliżeniowego i stykowych w odnóżach, dostosowywanie się robota do otoczenia, przez dobór odpowiedniego kierunku ruchu, omijanie/przekraczanie przeszkód, dobór postur i typu chodu. Analizę obrazu zrealizowano za pomocą biblioteki OpenCV na podstawie zbudowanego uproszczonego statystycznego klasyfikatora cech Haar'a. Przeprowadzono próby testowe w terenie dla różnych warunków środowiskowych, uzyskując obiecujące wyniki.

THE CONCEPT OF VISION SYSTEM BASED TRAJECTORY GENERATION ALGORITHMS FOR THE HEXAPOD ROBOT

Abstract

The paper describes the concept of trajectory generation algorithms for the reconfigurable walking robot using vision system and real time captured picture analysis. The design of the insect based robot with six legs and three-level control system is used. Based on vision analysis and contact sensors a control algorithm is proposed. The algorithm allows the robot to adapt to the environment by selecting the direction of movement, passing / crossing obstacles, a selection of posture and gait. Image analysis are carried out using the OpenCV library and constructed on the basis of a simplified statistical classifier Haar'a features. Several tests for different environmental conditions are made, giving promising results.

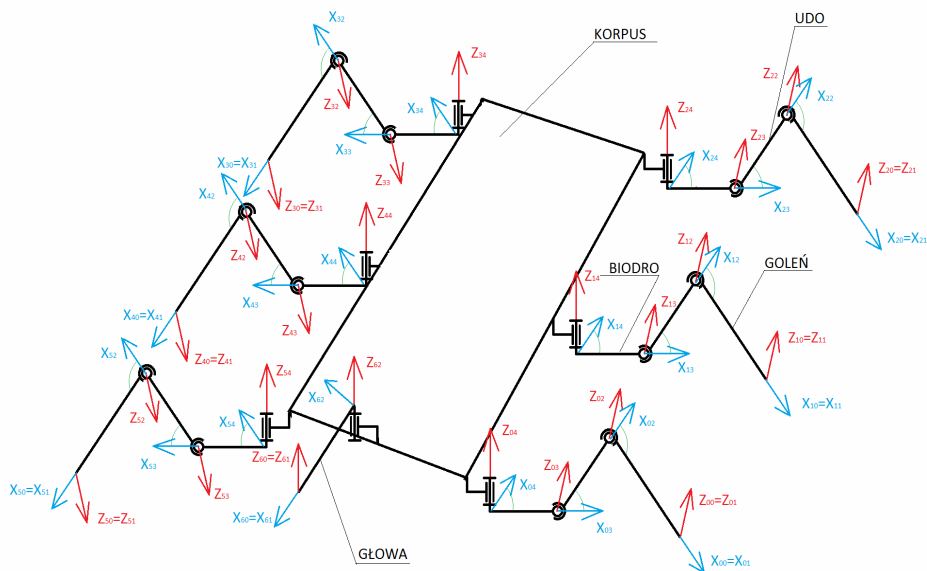
1. WSTĘP

Od lat człowiek obserwując przyrodę, starał się ją naśladować budując rozmaite urządzenia. W wielu współczesnych konstrukcjach możemy dostrzec wzorce pochodzące z natury [1, 2, 5]. Fascynacja możliwościami manipulacyjnymi i lokomocyjnymi człowieka oraz innych organizmów żywych doprowadziła do analizowania i modelowania zasad ich funkcjonowania oraz wykorzystywanie tych zasad do budowy robotów i maszyn mobilnych [6, 7, 8, 9]. W codziennym otoczeniu człowieka występuje wiele niebezpiecznych oraz niedostępnych dla niego miejsc, które z różnych powodów powinny być nadzorowane, monitorowane lub serwisowane. Wykorzystanie do tego celu robotów kołowych [4] napotyka na wiele utrudnień lub jest czasem niemożliwe z wielu względów. Robot kroczący, czyli maszyna, która przemieszcza się podobnie jak większość zwierząt używając kończyn, może być odpowiedzią na ograniczenia pojazdów kołowych, umożliwiając ruch w miejsca dla nich niedostępne. Przemieszczanie się za pomocą kończyn jest zdyskretyzowane, poruszający się obiekt nie zostawia śladu ciągłego, jak w przypadku pojazdów kołowych, tylko szereg dyskretnych odseparowanych od siebie śladów. Ten sposób poruszania po-siada wiele zalet, między innymi możliwość poruszania się po nieutwardzonym terenie, możliwość przekraczania lub przeskakiwania przeszkód, itp. Analizując literaturę, można napotkać na wiele prób budowy maszyn i robotów kroczących. Ruch robota w zmieniającym się otoczeniu wymaga zastosowania algorytmu sterowania umożliwiającego adaptację jego ruchów do aktualnych warunków [1, 2]. Poniżej opisano koncepcję adaptacyjnego algorytmu generowania trajektorii ruchu robota sześcionożnego (typu hexapod) [5], czyli ustalania drogi oraz prędkości ruchu robota dla zmieniających się wybranych warunków otoczenia.

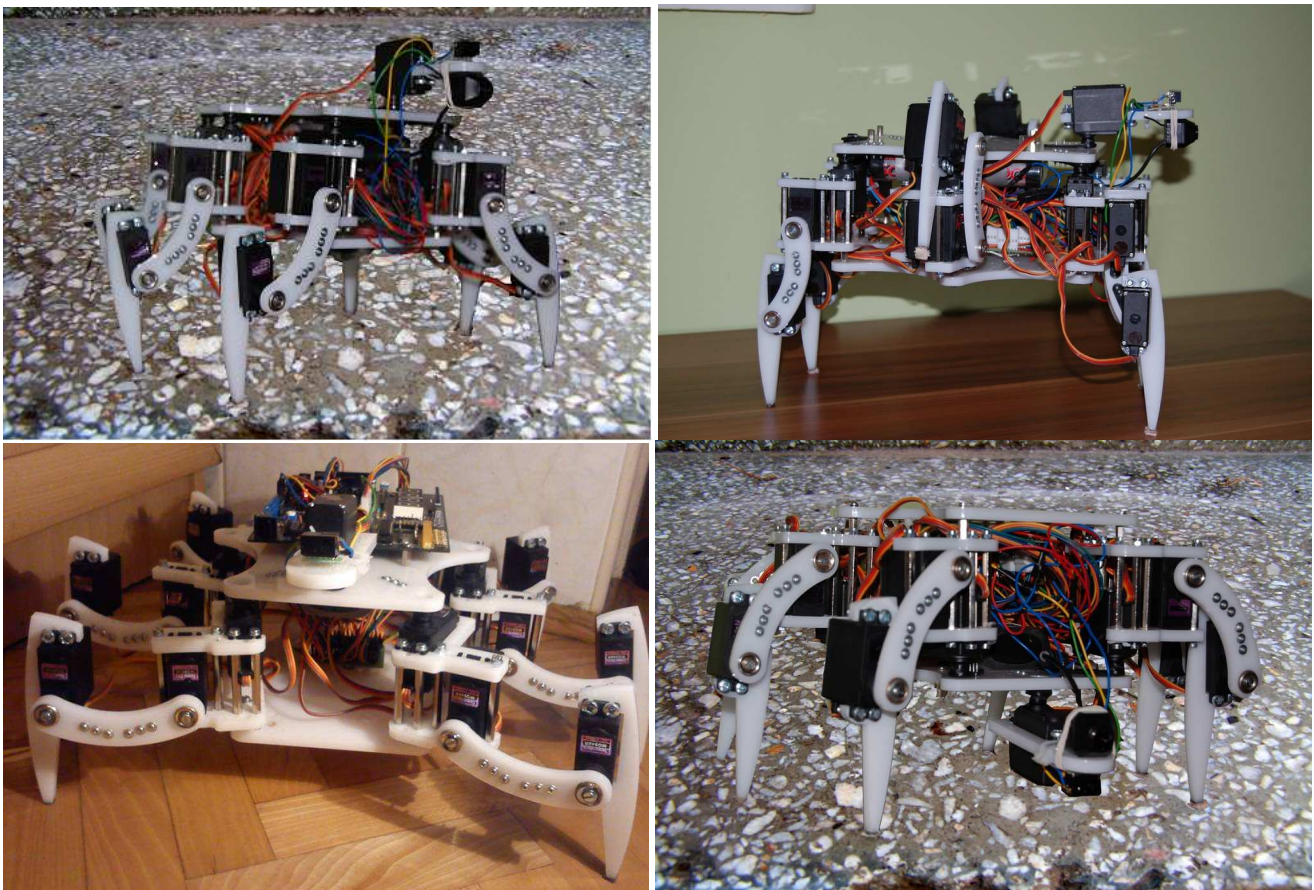
2. OBIEKT STEROWANIA

Obiektem sterowania jest wzorowany na owadach robot kroczący o sześciu odnóżach, z których każde posiada trzy niezależne napędy [5]. Schemat kinematyczny robota, który posiada 18 stopni swobody przedstawiono na rys. 1. Robot może dzięki swojej budowie przyjmować także inne postury np. gadów czy zwierząt czworonożnych, co ułatwia jego adaptację do zmieniających się warunków, w których się porusza (Rys. 2).

¹Institut Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska, Al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków, Tel: +48 12 374 32 18, Fax: +48 12 374 32 04, E-mail: krenich@mech.pk.edu.pl



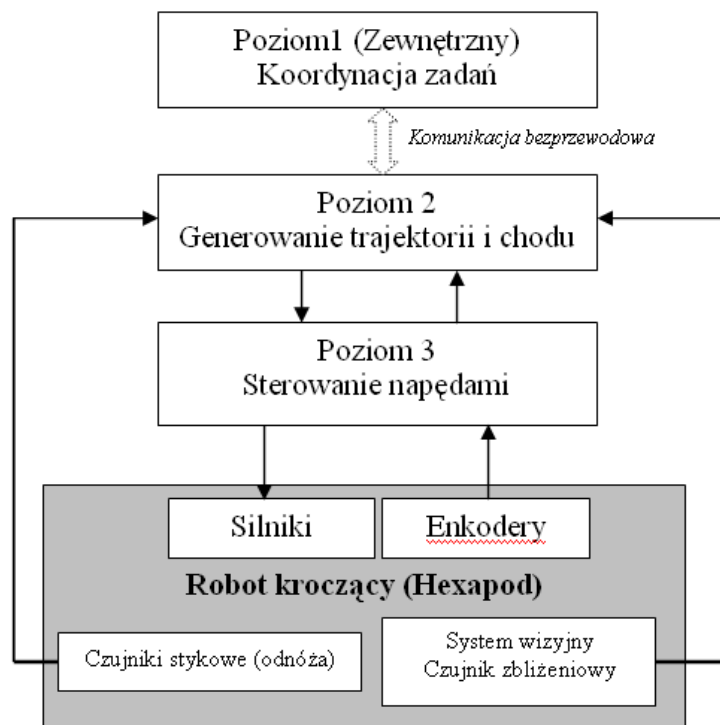
Rys. 1. Schemat kinematyczny robota typu Hexapod.



Rys. 2. Adaptacyjne postury robota: sześćonożna i czteronożna.

3. UKŁAD STEROWANIA

Układ sterowania robota krocącego zbudowano jako system trzypoziomowy, oparty o mikrokontrolery Atmega 8/16. Schemat ogólny układu sterowania przedstawiono na Rys. 3. Poziom pierwszy odpowiada za koordynację zadań ruchowych, sterowanie zdalne przez operatora oraz analizę obrazu i podejmowanie na tej podstawie decyzji ruchowych. Poziom drugi odpowiada bezpośrednio za ustalanie kierunku i szybkości ruchu oraz generowanie różnych rodzajów chodu. Możliwa jest jego praca w ograniczonym zakresie niezależnie od poziomu 1. Poziom trzeci odpowiada bezpośrednio za sterowanie napędami elektrycznymi[5].



Rys. 3. Schemat 3-poziomowego układu sterowania robotem.

4. ALGORYTM STEROWANIA

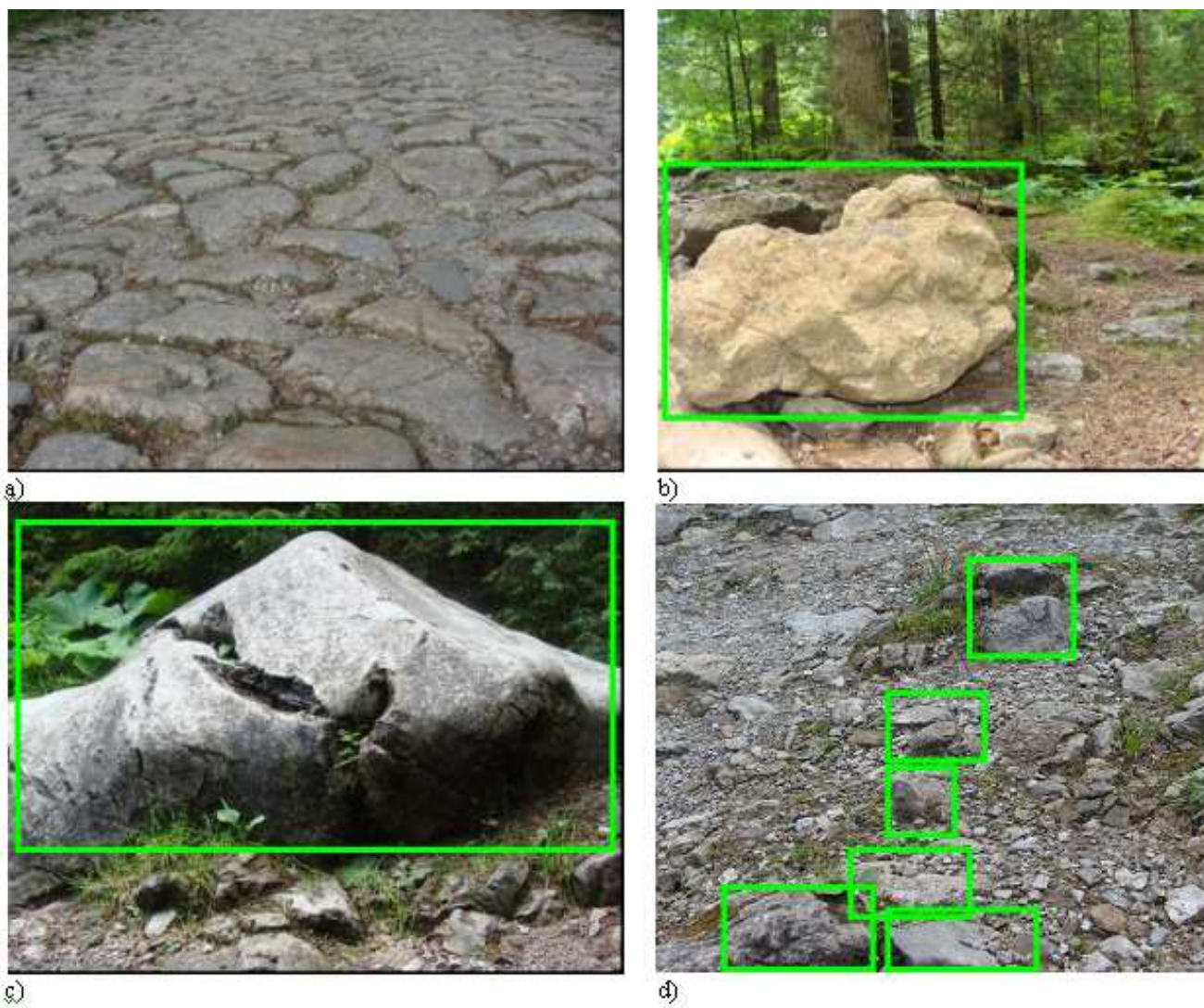
Przemieszczający się w zmieniającym środowisku robot kroczący wymaga zastosowania algorytmu sterowania w czasie rzeczywistym, umożliwiając zarówno autonomiczną pracę robota jak również jego zdalne sterowanie przez operatora. W związku z tym opracowano algorytm umożliwiający adaptację ruchów robota do zmieniającego się otoczenia, dla wybranych warunków. Adaptacja polega przede wszystkim na możliwości zmiany kierunku ruchu (omijanie przeszkód, zawracanie), zmiany postury robota w celu przekroczenia (owad, gad, zwierzę czworonożne, zmiana prędkości ruchu, zmiana sposobów poruszania odnóżami, dostosowanie ruchu odnóży do nierównej powierzchni. Działanie algorytmu oparto o sygnały z czujników stykowych umieszczonych na końcach każdego z odnóży, sygnału z czujnika zbliżeniowego oraz z kamery wizyjnej. W przypadku zdalnego sterowania przez operatora, decyzje, co do wymaganej trajektorii ruchu w zakresie kierunku ruchu, przyjętej postury robota, prędkości podejmowane są na podstawie obrazu z kamery, natomiast w zakresie lokalnych ruchów odnóży układ działa autonomicznie w oparciu o sygnały z czujników stykowych umieszczonych na końcach każdego odnóża. W przypadku autonomicznego trybu pracy, ruch robota jest realizowany w oparciu o komputerową analizę obrazu otrzymywanego z kamery wizyjnej oraz sygnału z czujnika zbliżeniowego oraz dodatkowo na podstawie sygnałów z czujników na odnóżach. Zaproponowano algorytm otwarty umożliwiający wprowadzanie i analizę dowolnych warunków otoczenia robota, przy czym zaimplementowano i przetestowano następujące warunki: ruch po powierzchni nieregularnej poziomej i pochylonej do 30 stopni (Rys. 4a), przeszkody wymagające ominięcia (Rys. 4b), przeszkody wymagające wycofania (Rys. 4c), przeszkody umożliwiające przekraczanie (Rys. 4d).

Ogólny schemat działania algorytmu generowania trajektorii ruchu robota przedstawiono na Rys. 5. Analiza obrazu uzyskanego z kamery umieszczonej na robocie odbywa się na zasadzie wykrywania konturów obiektów znajdujących się na nim pod warunkiem uzyskania jednocześnie sygnału z czujnika zbliżeniowego potwierdzającego przeszkodę. W przypadku braku takiego sygnału analiza nie jest wykonywana i algorytm zakłada niejednorodną strukturę podłoża bez przeszkód uniemożliwiających przejście (Rys. 4a). W przypadku pojawienia się sygnału z czujnika zbliżeniowego, analiza obrazu jest wykonywana i w opracowanym algorytmie możliwe są następujące reakcje:

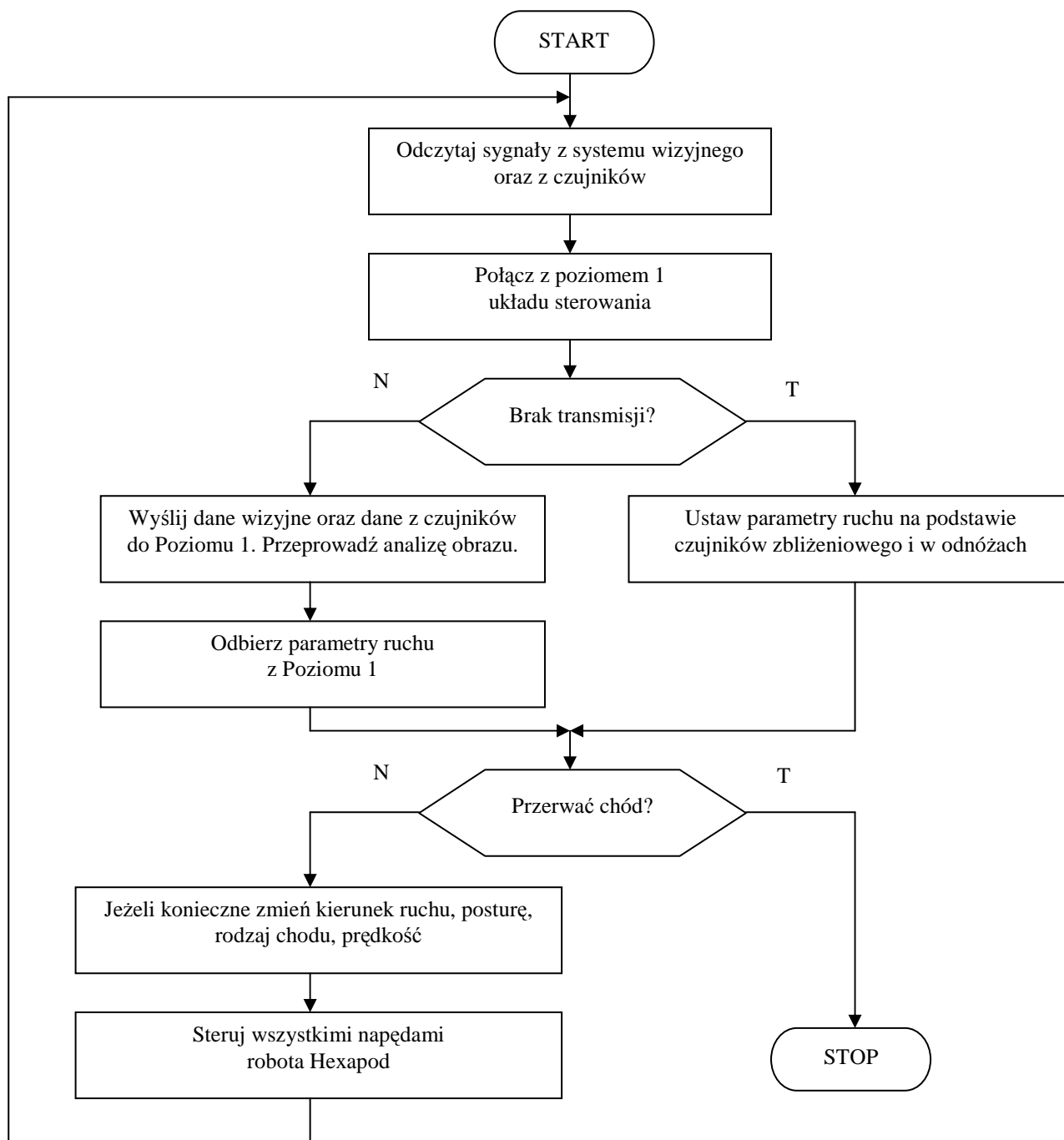
1. wykryte kontury(kontur) obiektów zajmują cały obszar w zakresie widzenia kamery, wówczas robot wycofuje się o zadaną liczbę kroków a następnie zmienia kierunek ruchu o zadany kąt (Rys. 4c)
2. wykryte kontury(kontur) nie zajmują całego obszaru i są większe niż maksymalny prześwit pod robotem, wówczas robot zmienia kierunek ruchu o zadany kąt przemieszczając się w obszar bez wykrytych konturów (Rys. 4b)
3. wykryte kontury są mniejsze niż maksymalny prześwit pod robotem, robot zmienia posturę i kontynuuje ruch (Rys. 4d)

Dodatkowo ruch każdego odnóża jest wykonywany do momentu uzyskania sygnału potwierdzającego jego styczność z podłożem, w przypadku braku takiego sygnału mimo ruchu dwóch ostatnich ogniów odnóża (uda i goleni) w całym możliwym zakresie, ruch robota jest zatrzymywany, po czym następuje wycofanie robota o założony krok i zmiana kierunku ruchu.

Analiza obrazu jest wykonywana z wykorzystaniem biblioteki OpenCV [3], która posiada gotowe narzędzia do analizy obrazów w szerokim zakresie, umożliwiając ich dostosowanie do różnych indywidualnych zadań. OpenCV (Open Source Computer Vision Library) – to biblioteka funkcji typu open source, wykorzystywanych podczas obróbki obrazu. Do badań wykorzystano analizę z zastosowaniem klasyfikatora cech Haar'a, który jest oparty o statystyczny opis cech charakteryzujących dany obiekt i zawiera reguły decyzyjne, opracowane podczas treningu odróżniające ten obiekt [3]. W celu stworzenia dobrze działającego klasyfikatora należy zgromadzić dużą liczbę obrazów. Obrazy powinny być podzielone na obrazy pozytywne, czyli zawierające obiekty i próbki negatywne, na których brak danych obiektów. Próbki negatywne, jak i pozytywne powinny być tego samego rozmiaru. Podczas tworzenia klasyfikatora wprowadzono wiele danych ze zdjęć obiektów reprezentujących potencjalne podłoża. Dane pobierano z kamery rejestrującej obraz z rozdzielczością 640x480. Działanie przygotowanego klasyfikatora umożliwiało rozpoznawanie z rzeczywistego obrazu pobranego z kamery, wybranych obiektów ze stosunkowo dużą dokładnością. Dla rozpoznanych obiektów oznaczonych przez aplikację zieloną linią, biblioteka OpenCV umożliwia wyznaczenie współrzędnych narożników prostokąta, który otacza rozpoznane obiekty a tym samym także wyznaczenie przybliżonych ich wymiarów. Aplikacja umożliwia również wykrycie wielu obiektów jednocześnie i określenie ich wymiarów. Cechy te zostały wykorzystane do sterowania robotem krocącym.



Rys. 4. Środowisko testowe robota krocącego z rozpoznanymi przeszkodami: a) niejednorodna struktura podłoża, b) przeszkoda częściowa, c) przeszkoda całkowita, d) podłoże do przekroczenia.



Rys. 5. Ogólny schemat opracowanego algorytmu sterowania robotem.

5. WNIOSKI

W ramach badań dla zaprojektowanej koncepcji układu mechanicznego robota oraz systemu sterowania opracowano i przetestowano różne algorytmy generowania trajektorii ruchu robota. Algorytmy umożliwiają autonomiczne przemieszczanie się robota, wykonującego m.in. ruchy prostoliniowe, skręty lewo-prawo, omijanie przeszkód, zawracanie, realizowane z różną prędkością. Działanie algorytmów oparto o analizę odbieranego w czasie rzeczywistym obrazu z kamery umieszczonej na korpusie robota. Rozpoznawanie obiektów na obrazie wykonywano za pomocą analizy statystycznej i tzw. klasyfikatora cech Haar'a przy zastosowaniu biblioteki OpenCV. System ma strukturę otwartą, umożliwiając wprowadzanie nowych danych o środowisku ruchu robota. Należy tu podkreślić, iż analiza i rozpoznawanie obiektów jest obciążona pewnym błędem. W czasie testów niektóre obiekty nie zostały prawidłowo rozpoznane lub nie rozpoznano wszystkich występujących na obrazie. Wynikało to przede wszystkim ze zmienności natężenia oświetlenia oraz w niektórych przypadkach z niewłaściwie ustawionych parametrów klasyfikatora cech Haar'a. Zwiększenie liczby odpowiednich próbek uczących klasyfikator umożliwi zwiększenie efektywności jego działania. Dalsze prace będą kontynuowane w kierunku polepszania i rozszerzania możliwości klasyfikatora rozpoznającego oraz zwiększania parametrów motorycznych robota kroczącego.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Belter D, Skrzypczyński P.: A biologically inspired approach to feasible gait learning for a hexapod robot. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, 2010, Vol. 20, No 1, str. 69-84
- [2] Jakimovski B., Meyer B., Maehle E.: Swarm intelligence for self-reconfiguring walking robot. *Swarm Intelligence Symposium IEEE SIS*, 2008, str. 1-8.
- [3] Kaehler A., Bradski G.: *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library*, O'Reilly Media, 2008.
- [4] Krenich S., Szewczyk P, Zdebski M.: Projekt i badanie własności czterokołowego robota mobilnego. *Logistyka* 6/2011.
- [5] Krenich S., Urbanczyk M.: Six-legged walking robot for inspection tasks. *Solid State Phenomena*, Vol. 180, 2012, str. 137-147.
- [6] Marin E, Curaj A., Vladareanu L.: Design and Motion Synthesis of Modular Walking Robot Mero. *Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems*, 2008, Vol. 2, No. 4, str. 25-30.
- [7] Morecki A.: *Modelling and Simulation of Human and Walking Robot Locomotion*. Human and Machines Locomotion, SpringerWienNewYork, 1997, str. 1-78.
- [8] Waldron J.: *Design of Walking Machines*. Human and Machines Locomotion, SpringerWienNewYork, 1997, str. 283-315.
- [9] Zielinska T.: Autonomous walking machines - discussion of the prototyping problems. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences*, 2010, Vol. 58, No 3 443-451.