

Bartłomiej GOLA, Jacek RYSIŃSKIKATEDRA PODSTAW BUDOWY MASZYN, AKADEMIA TECHNICZNO-HUMANISTYCZNA,
ul. Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biała**DUODEPED dwunastożny robot krocący sterowany bezprzewodowo****Mgr inż. Bartłomiej GOLA**

Absolwent Wydziału Budowy Maszyn i Informatyki, Akademii Techniczno Humanistycznej w Bielsku-Białej. Z wykształcenia i zamiłowania automatyk i programista. W czasie trwania swojej kariery zawodowej projektował i wdrażał do użytku wiele innowacyjnych projektów zwiększających bezpieczeństwo i ułatwiających pracę. Poza licznymi sukcesami w pracy został autorem i twórcą swojego największego dotychczas dzieła, którym był robot nazwany „DUODEPED”.

e-mail: bartlomiejgola@wp.pl

**Dr inż. Jacek RYSIŃSKI**

Absolwent Wydziału Budowy Maszyn Filii Politechniki Łódzkiej w Bielsku-Białej. Od 1995 roku zatrudniony w Katedrze Podstaw Budowy Maszyn. Pracę doktorską obronił na Wydziale Budowy Maszyn i Informatyki Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej w 2003 r. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z diagnostyką przekładni zębatach oraz analizą pęknięć zmęczeniowych kół zębatach. Interesuje się komputerowym wspomaganie projektowania części maszyn, oraz symulacją komputerową procesu pęknięcia.

e-mail: jrynski@ath.bielsko.pl

**Streszczenie**

W niniejszym referacie przedstawiono projekt oraz wykonanie dwunastożnego robota mobilnego. Opracowano własny model komunikacji oraz sterowania. Manewrowanie robotem odbywa się poprzez smartfon, tablet lub komputer stacjonarny. Przygotowano wizualizację w oprogramowaniu inTouch, dzięki której możliwy jest monitoring parametrów związanych z zasilaniem, odległością od przeszkody czy podglądem z bezprzewodowej kamery umieszczonej z przodu robota.

Słowa kluczowe: robot mobilny, Modbus, sterowanie i monitoring bezprzewodowy.

DUODEPED – a 12-legged walking robot**Abstract**

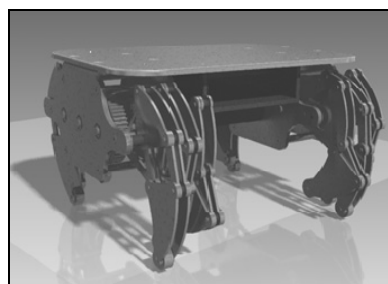
In the paper the design and manufacturing of a twelve-leg (12-leg) mobile robot is described. The robot legs consist of triangles mutually connected by means of special flexible joints. Their original design layout allows for moving the leg end along the versatile trajectories. For example, during performance of a particular step, the lowest positioned leg end moves almost parallelly to the ground. It preserves a smooth movement as well as stability of consecutive steps. The advantages of the design solution including 12 legs are e.g.: high resistance to the loading, a relatively high speed of moving as well as the possibility of overcoming the versatile obstacles when obtaining simultaneously high stability. During motion, 4 legs have a permanent contact with the ground, therefore a thread of loss of stability does not exist in any moment. The central system of DUODEPED is based upon the effective micro-controller PIC24HJ256GP610 made by the “Microchip” firm. The program for the controller was written in the algorithmic language C#. The micro-controller communicates with the bluetooth BTM-222 module by means of the serial transmission module UART. It fully assures a radio transmission to the control device. The prepared software applications allow for intuitive control of the system/object. Control of robot motions is done via a Smartphone, tablet or desktop computer. The prepared visualization is written by means of ‘inTouch’ software. Therefore, it is possible to monitor the robot parameters connected with power supply, distance to an obstacle as well as transmitting view from the wireless camera fixed on the front part of the robot.

Keywords: mobile robot, Modbus, remote control and monitoring system of a mobile robot.

1. Projekt i wykonanie podzespołów mechanicznych robota krocącego

Głównym celem pracy było zbudowanie dwunastożnego robota krocącego umożliwiającego transport ładunku o masie do 100 kg, z możliwością zdalnego sterowania. Wykonane urządzenie nazwano DUODEPED (rys. 1).

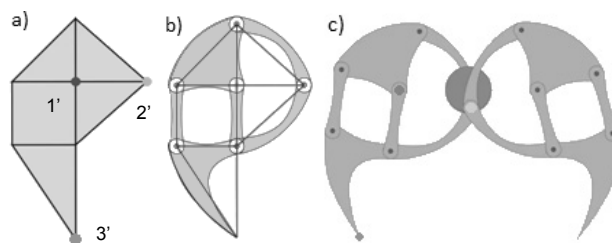
Jest to robot o dwóch niezależnych stopniach swobody. Powiązania mechaniczne między nogami po każdej stronie robota umożliwiają poruszanie się do przodu, do tyłu oraz skręcanie.



Rys. 1. Projekt szkieletu DUODEPED-a
Fig. 1. DUODEPED - Project of the skeleton

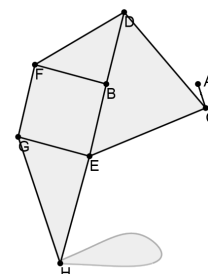
Układ sterowania takiego robota jest podobny do układu sterowania robotem gąsienicowym z dwoma niezależnie sterowanymi gąsienicami. Robot tej konstrukcji może poruszać się tylko jednym rodzajem chodu, lecz prędkość jest regulowana przez elementy sterujące [2, 3, 5].

W pierwszym etapie zaprojektowano szkielet, nogi oraz układu napędowy. Projekt układu napędowego opiera się na wykorzystaniu prostych figur połączonych ze sobą wierzchołkami (rys. 2). Punkt oznaczony na niebiesko (1') jest unieruchomiony na osi obrotowej, pod punktem zielonym kryje się element pośredniczący w przeniesieniu napędu. Nadając ruch kołisty wierzchołkowi oznaczonemu na zielono (2') konstrukcja zostaje wprowadzona w ruch.



Rys. 2. Geneza powstania konstrukcji nóg [7]
Fig. 2. Concept of robot legs [7]

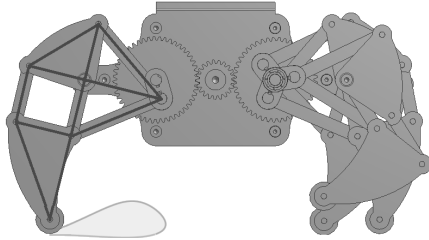
Czas kontaktu wierzchołka pomarańczowego (3') z podłożem jest równy czasowi wykonania obrotu zielonego punktu o kąt 120° wokół wału napędowego. Skoro pełen obrót wynosi 360° to w celu zapewnienia wystarczającej stabilności konstrukcji, liczba par nóg (rys. 2c) przypadających na jeden cykl obrotu została zwiększona do trzech. Taka konstrukcja pozwala na nieustanny kontakt odnóży z podłożem, a zarazem stanowi filary stabilnego chodu.



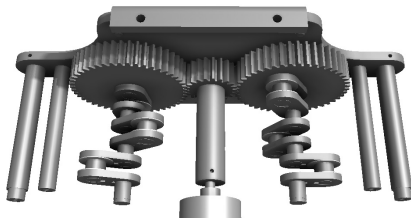
Nogi robota składają się z połączonych ze sobą cięgnami trójkątów, których specjalna konstrukcja umożliwia wykonywanie trajektorii ruchu końca nogi w taki sposób, aby w trakcie wykonywania kroku punkt H przemieszczał się równoległe do podłoża maksymalizując „kulturę” i stabilność wykonywanych kroków.

Elementami napędzającymi mechanizmy robota są dwa silniki prądu stałego firmy SGMADA seria SG-545124500-30K posiadające wbudowaną przekładnię o 30-krotnym przełożeniu.

Ze względu na zmianę położenia mocowań nóg element napędowy został zaprojektowany w postaci dwóch odwróconych o 180° korbowodów (rys. 4), których kolejne korby są względem środka osi obrotu przestawione o kąt 120° . Ich napęd został sprzężony z kołami zębatymi przekładni o przełożeniu równym 2,29.



Rys. 3. Geneza powstania konstrukcji nóg
Fig. 3. Design solution for fixing robot legs



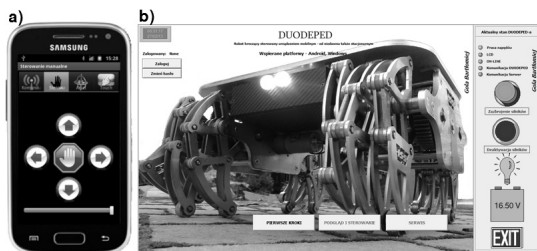
Rys. 4. Układ napędowy
Fig. 4. Crunkshaft design

W kolejnym etapie należało wykonać projekt układu sterowania oraz napędu, w którym zawierało się wykonanie schematów między innymi płyty głównej DUODEPED-a, modułu komunikacji bluetooth, modułu komunikacji USB/RS-232, sterownika silników DC.

2. Komunikacja oraz wizualizacja

Ostatnia faza projektu została podzielona na następujące etapy:

- wykonanie projektu zasilania i sterowania podzespołami robota,
- napisanie programu do mikrokontrolera,
- sparаметryzowanie modułów komunikacyjnych bluetooth,
- wykonanie aplikacji do sterowania robotem na urządzenie mobilne oparte na systemie operacyjnym **Android**,
- wykonanie wizualizacji SCADA do sterowania robotem na komputer PC lub komputer przenośny w oprogramowaniu **inTouch** opartej na systemie operacyjnym **Windows**;
- wykonanie systemu wizyjnego za pomocą platformy komputerowej **Raspberry PI** i kamery o rozdzielczości 5MP.



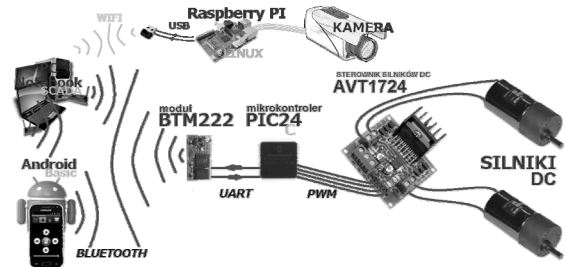
Rys. 5. Aplikacja do komunikacji i sterowania robotem: a) środowisko Android b) środowisko Windows
Fig. 5. Application for communication and control of the mobile robot: a) Android environment; b) Windows environment

Sterowanie robota powinno być intuicyjne, łatwe dla osób z każdej grupy wiekowej jednym słowem proste, a zarazem powinno posiadać możliwości sterowania i wizualizacji, bez których część osób nie wyobrażałaby sobie takiej konstrukcji.

W celu zwiększenia wygody i ułatwienia sterowania robotem zostało ono oparte na bezprzewodowej transmisji danych bluetooth, dzięki czemu można zapomnieć o wszzechobecnych kablach oraz co istotne możliwe jest sterowanie nim na znaczne odległości. Mowa o dystansie do 100m w terenie otwartym w zależności od zjawiska propagacji fal radiowych. Urządzeniem za pośrednictwem którego możliwe jest sterowanie robotem, może być urządzenie oparte na systemie **Android 2.3.6** [6] oraz wyższym np. smartfon, tablet lub urządzenie oparte na systemie operacyjnym Windows np. notebook, czy komputer stacjonarny. Jedynym warunkiem jest posiadanie w urządzeniu modułu bluetooth.

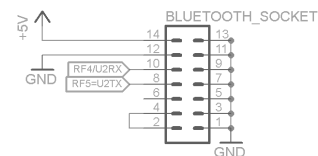
Sercem DUODEPED-a jest wydajny mikrokontroler **PIC24HJ256GP610** firmy Microchip do którego został napisany program w języku C#.

Mikrokontroler komunikuje się za pośrednictwem transmisji szeregowej UART z modulem bluetooth **BTM-222**, który w pełni realizuje transmisję radiową z urządzeniem sterującym. Schemat ideowy poczynawszy od urządzenia sterującego, aż po silniki przedstawia rysunek 6.

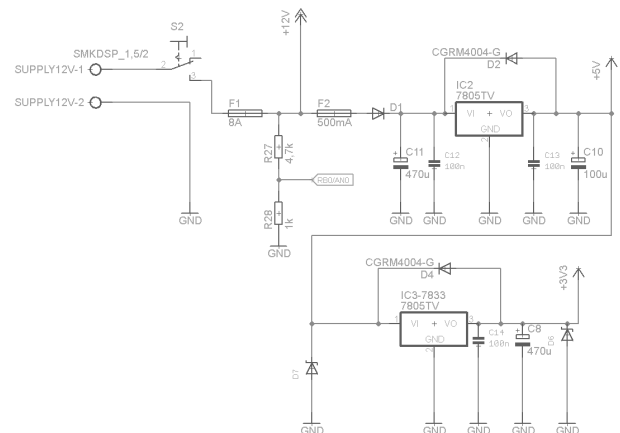


Rys. 6. Schemat ideowy
Fig. 6. Schematic diagram

Ze względu na ograniczenia objętościowe artykułu zostaną przedstawione tylko schematy komunikacji i zasilania.



Rys. 7. Gniazdo komunikacyjne z modulem bluetooth
Fig. 7. Communications socket with a bluetooth module



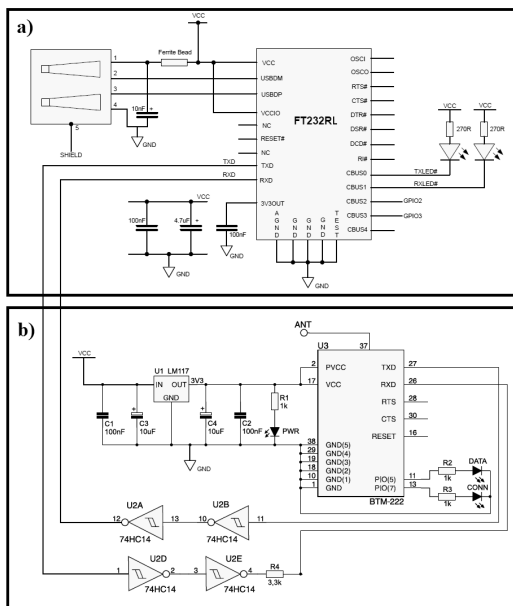
Rys. 8. Schemat zasilania.
Fig. 8. Scheme of electrical supply

Komunikacja i wizualizacja

Sterowanie robotem za pośrednictwem komputera jest możliwe dzięki adapterowi komunikacyjnemu bluetooth, który automatycznie po podłączeniu do komputera PC, czy też laptopa nawiązuje połączenie z modułem komunikacyjnym w maszynie [4].

Protokołem komunikacyjnym pomiędzy robotem, a urządzeniami sterującymi jest MODBUS działający z prędkością 115,2 kB/s. Wizualizacja inTouch jako element sieci Master/Slave wysyła instrukcje zapisu, bądź odczytu do mikrokontrolera co pewien okres czasu. Rejestry zostały podzielone na trzy grupy 100ms, 300ms i 1000ms. Czasy odpowiadają ważności informacji tj. najkrótszy interwał czasowy przypisany jest dla rozkazu związanego z bezpieczeństwem czyli start/zatrzymanie robota. Kolejne czasy to rozkazy sterowania i dane informacyjne takie jak pobór prądu, napięcie akumulatorów oraz odległość od przeszkody.

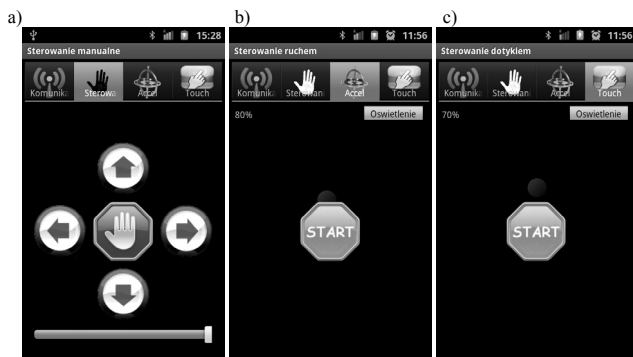
Rysunek 10 przedstawia algorytm komunikacji modbus.



Rys. 9. Schemat adaptera bluetooth
Fig. 9. Scheme of the bluetooth adapter

Sterowanie za pomocą smartfona

Program sterujący robotem z urządzenia mobilnego został napisany w języku Basic i umożliwia sterowanie maszyną za pomocą trzech trybów. Aby móc sterować najpierw należy nawiązać połączenie, a następnie wybrać jedną z metod sterowania.



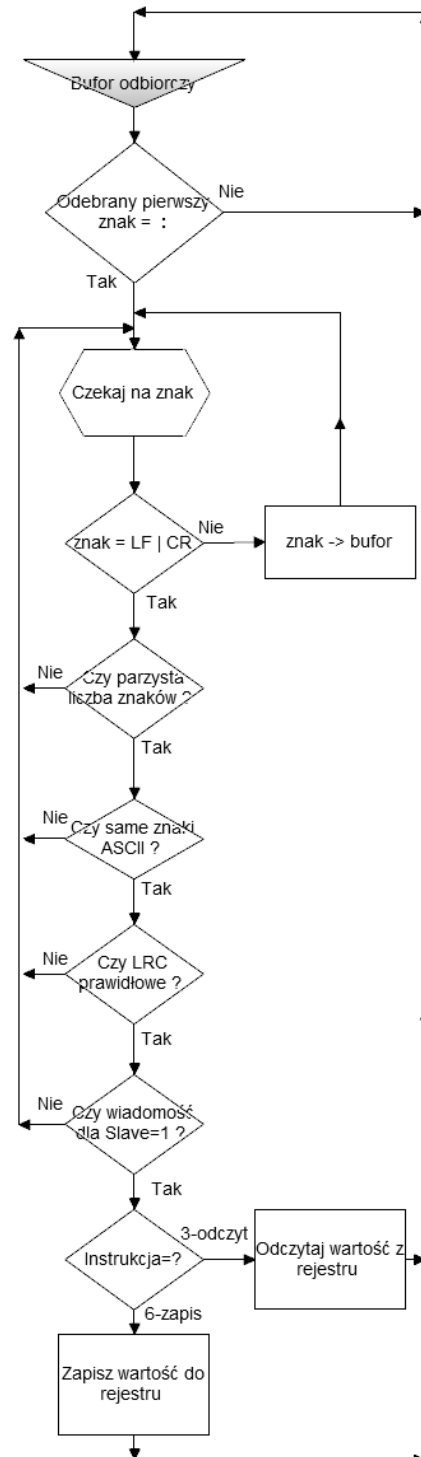
Rys. 10. Ekran sterowania
Fig. 10. Control panels

Pierwsza (rys. 10a) jest najprostsza, posiada strzałki kierunkowe jawne oraz ukryte strzałki do wykonywania ruchów kolistych.

W zależności od wybranego kierunku ruchu robot będzie się poruszał na wprost, zawracał w miejscu, bądź skręcał po łuku.

Drugi sposób sterowania (rys. 10b) wykorzystuje czujnik akcelerometryczny znajdujący się w smartfonie. Przechylając urządzenie, do odbiornika zostają wysłane informacje o położeniu telefonu, jeżeli zostaną uruchomione silniki za pomocą przycisku START, robot będzie wykonywał ruch zgodny z pochyłem urządzenia sterującego.

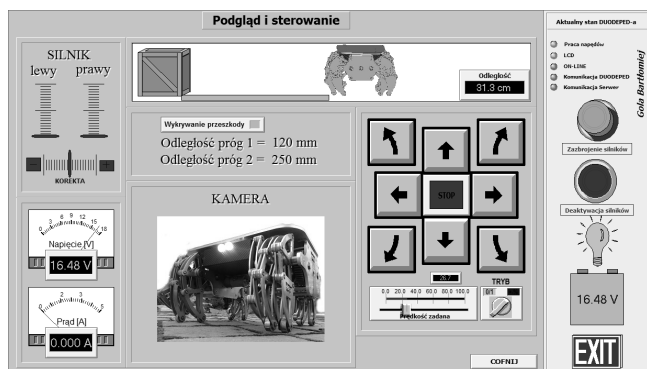
Trzeci i ostatni sposób sterowania (rys. 10c) za pomocą androida wykorzystuje wyświetlacz dotykowy po kliknięciu w który robot zostaje wprawiony w ruch, jeżeli uprzednio kliknięto na START uaktywniając zasilanie do silników



Rys. 11. Algorytm komunikacji MODBUS
Fig. 11. Modbus algorithm of Communications

Sterowanie za pomocą komputera

Sterowanie robotem odbywa się bardzo intuicyjnie. Wystarczy zalogować się jako użytkownik i zostaje aktywny przycisk „Podgląd i Sterowanie”, który otwiera okno sterowania. W oknie można wyszczególnić pomiar napięcia akumulatora znajdującego się w maszynie i pomiar prądu, który przepływa przez sterownik silników DC i zasila silniki, są one stale monitorowane i zapisywane w tablicy danych procesora na którą składa się 50 rejestrów.



Rys. 12. Ekran „Podgląd i sterowanie” wizualizacji inTouch
Fig. 12. inTouch visualisation screen for the option: "Monitoring and control"

W górnej części okna znajduje się podgląd odległości zarówno wyświetlony w okienku po prawej stronie, jak i zwizualizowany w postaci przemieszczającej się konstrukcji. Okno to jest skalowane od 0 do 50 cm, więc powyżej tej odległości konstrukcja na wizualizacji będzie znajdowała się z prawej strony okna. Opcja wykrywania przeszkody jest domyślnie aktywna, więc, gdy robot w trakcie ruchu do przodu zbliży się na odległość mniejszą od **prog 2** zostanie obniżona prędkość przemieszczania się w tym kierunku. Lecz gdy odległość w dalszym ciągu będzie się zmniejszała i przekroczy **próg 1**, mechanizm napędowy zatrzyma się, zmieni kierunek obrotów i z prędkością 20% zacznie się cofać. Powtórne przekroczenie **prog 2**, tj. gdy będzie w bezpiecznej odległości, spowoduje zatrzymanie ruchu i oczekiwanie na kolejne rozkazy. W celu rozpoczęcia ruchu należy w pierwszej kolejności „zazbroić silniki” – czyli zezwolić na podanie zasilania. Zostawiając robota na dłuższy okres w bezczynności, ze względów bezpieczeństwa należy dezaktywować silniki, aby nie zostały przypadkowo uruchomione w nieoczekiwanym momencie.

Używając wizualizacji można sterować zarówno za pomocą myszki, strzałek na klawiaturze, oraz klawiaturą numeryczną.

Funkcje poszczególnych klawiszy zostały opisane poniżej:

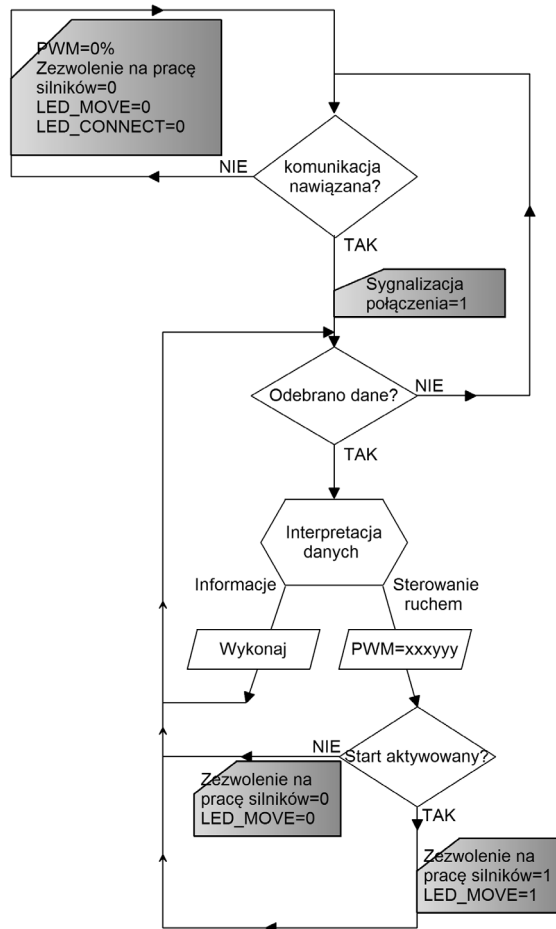
- Strzałki – ruch przód, lewo, prawo, tył.
- Strzałki na klawiaturze numerycznej – funkcje powyższe (dla 8, 4, 6, 2) + skręcanie łukami (1, 3, 7, 9) i STOP (5).
- PgUp – zwiększenie wartości na suwaku prędkości.
- PgDn – zmniejszenie wartości na suwaku prędkości.
- ESC – dezaktywacja silników.
- O – Sterowanie oświetleniem.

3. Wnioski

Główny cel pracy tj wykonie robota mobilnego wraz ze sterowaniem oraz monitoringiem podstawowych parametrów został osiągnięty. Przygotowane aplikacje umożliwiają intuicyjne sterowanie urządzeniem. Zaletą zastosowania w robocie rozwiązania w postaci dwunastu odnóży jest duża wytrzymałość na obciążenia, względnie szybkie poruszanie oraz umiejętność pokonywania różnych przeszkód przy zachowaniu dużej stabilności. Podczas

ruch nieustanny kontakt z podłożem posiadają cztery kończyny, dlatego nie występuje niebezpieczeństwo utraty stabilności

Zaproponowana wizualizacja umożliwi m.in. bezprzewodowy monitoring pola pracy poprzez zainstalowaną kamerę typu HD. Głównym problemem jest także jej skonfigurowanie aby obraz był wyświetlany w sposób płynny.



Rys. 13. Algorytm sterowania
Fig. 13. Control algorithm

4. Literatura

- [1] Di Jasio L.: Programming 16-bit PIC Microcontrollers in C: Learning to Fly the PIC24, Newnes, Burlington 2007.
- [2] Zielińska T.: Maszyny kroczące, Podstawy, projektowanie, sterowanie i wzorce biologiczne, PWN, Warszawa 2003.
- [3] Tchoń K., Mazur A., Dulęba I., Hossa R., Muszyński R., Manipulatory i roboty mobilne, Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa 2000.
- [4] Giergiel M., Małka P., Bezprzewodowe systemy komunikacji w sterowaniu robotów, Wydział Mechaniczny Technologiczny Politechniki Śląskiej w Gliwicach, Modelowanie Inżynierskie Gliwice 2008, str. 95-102.
- [5] Masłowski A., Mobilne roboty interwencyjno-inspekcyjne, Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, Warszawa 1999.
- [6] Frank Ableson W., Sen R., King Ch., Android w akcji – wydanie II, Helion S.A., Gliwice 2011.
- [7] Serwis: <http://shelf3d.com/bFIJ7Qo8L00#> (1.02.2014)

otrzymano / received: 04.05.2014

przyjęto do druku / accepted: 01.07.2014

artykuł recenzowany / revised paper