

Łukasz Jakóbiec (jasques@jasques.com)

Mariusz Żelazewski (mariusz@zelazewski.pl)

Polsko-Japońska Wyższa Szkoła Technik Komputerowych

Katedra Robotyki i Systemów Wieloagentowych

KONSTRUKCJA ROBOTA HOLONOMICZNEGO PATHFINDER

Artykuł ten prezentuje podejście do problemu budowy robota o holonomicznym układzie jezdny z elementami adaptacyjnego zawieszenia. Praca została omówiona w trzech częściach. Pierwsza odnosi się do najczęściej spotykanych układów jezdnych o holonomicznych możliwościach. Druga część odnosi się do zastosowanych przez nas rozwiązań, algorytmów sterowania układem jezdny. Natomiast w trzeciej części skupiliśmy się na przykładowych aplikacjach, wyposażeniu robota i planach rozwoju konstrukcji.

DESIGN OF HOLONOMIC ROBOT - PATHFINDER

In this paper we present our approach to building mobile robot with full holonomic motion possibilities with basic suspension. Article is divided into three parts. First summarizes most common approaches to holonomic motion. Second part shows our approach to this problem and our proposals for overcoming common problems. Finally we show example applications parts of Pathfinder and future plans for this robot.

1. WSTĘP

Niniejszy projekt jest wynikiem zapotrzebowania na robota mobilnego z układem jezdny pozwalającym na bardzo szybką zmianę kierunku przemieszczania się robota. Wszystkie dotychczas stosowane rozwiązania w naszym laboratorium oparte na układach jezdnych – Ackermana, czterokołowy bez osi skrętnych, tzw. czołgowy, trójkołowy/dwukołowy oraz rozwiązania oparte na gąsienicach mają istotne wady związane z wykonywaniem manewru skrętu. Powyższe układy jezdne, z wyłączeniem modelu Ackermana, pozwalają na obrót robota w miejscu, co znacznie ułatwia sterowanie pozwalając zadać żądany kąt obrotu. Jednak dla układu czterokołowego, a także w pewnym stopniu gąsienicowego, obrót jest realizowany poprzez zerwanie przyczepności z podłożem. Pojawiają się także problemy z zachowaniem jazdy po linii prostej wynikające z różnych prędkości osi dla wszelkich konstrukcji o napędzie różnicowym.

2. HOLONOMICZNE UKŁADY JEZDNE

Holonomiczne układy jezdne charakteryzują się większą, bądź równą liczbą stopni swobody, którymi można sterować w stosunku do stopni swobody, które opisują jego poruszanie się. Wszystkie konstrukcje niespełniające tego warunku nie są konstrukcjami holonomicznymi. Zapewnienie prawdziwości tego warunku jest realizowane na kilka sposobów, znacznie różniących się podejściem do całego problemu:

- Wykorzystanie kół omnidirectional
- Zaawansowana konstrukcja układu jezdnego

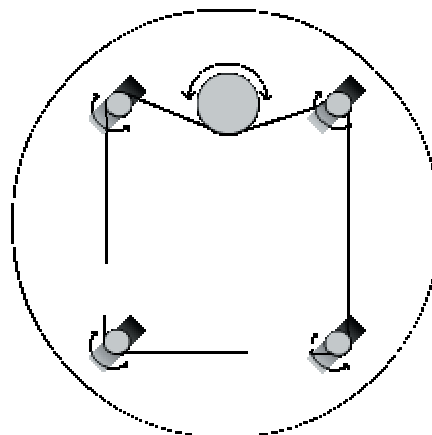
Najczęściej spotkane konstrukcje projektowane są na bazie, coraz łatwiej dostępnych, kół omnidirectional. Holonomię ruchu w tym przypadku uzyskuje się poprzez umieszczenie kół na planie trójkąta lub kwadratu i odpowiednie algorytmy sterujące nimi.



Aby poruszyć konstrukcje w jednym kierunku, należy napędzać dwa koła w tym samym kierunku, środek napędzanej pary będzie wyznaczał kierunek poruszania się robota. Sterowanie większą liczbą kół robota pozwala na dowolne wybranie kierunku jazdy, jak również umożliwi obrót całej konstrukcji. Jednak kombinacja napędu każdego koła powoduje, że robot porusza się w poślizgu, dodatkowo zapanowanie nad zgraniem prędkości obrotowej kół wymaga bardzo zaawansowanych technik sterowania przez co bardzo łatwo o błędy z wyznaczaniu ruchu jak i położenia takich modeli. Kolejnym problemem staje się duża liczba ruchomych, małych elementów w każdym z kół, przez co wzrasta wrażliwość na zanieczyszczenia ograniczając zastosowanie tych układów jezdnych praktycznie tylko do warunków laboratoryjnych. Koła Meccanum, będące wariacją kół omnidirectional, mają większą odporność na zanieczyszczenia (projektowane pod kątem wykorzystania ich w przemyśle) lecz jest to opatentowane rozwiązanie przez co dostępność tych kół jest bardzo ograniczona.

Bardziej doświadczeni konstruktorzy wybierają rozwiązana opierające się na zaawansowanych układach jezdnych, jakim np. jest Synchro Drive. Idea działania takiego układu jezdnego opiera się na możliwości zmiany kierunku każdego z kół o określony kąt, co pozwala na jazdę w dowolnym kierunku. Koła są „zsynchronizowane” poprzez połączenie ich paskiem lub poprzez koła zębate i sterowanie całym mechanizmem za pomocą jednego silnika lub serwa modelarskiego. Konstrukcja ta eliminuje poruszanie się robota w poślizgu

ułatwiają pomiary odometryczne oraz sterowanie modelem. Niestety wykonanie takiej platformy robota mobilnego wymaga dostępu do specjalistycznych narzędzi i elementów, przez co znacznie wzrasta koszt robota oraz jego bezawaryjność (dużo ruchomych części).



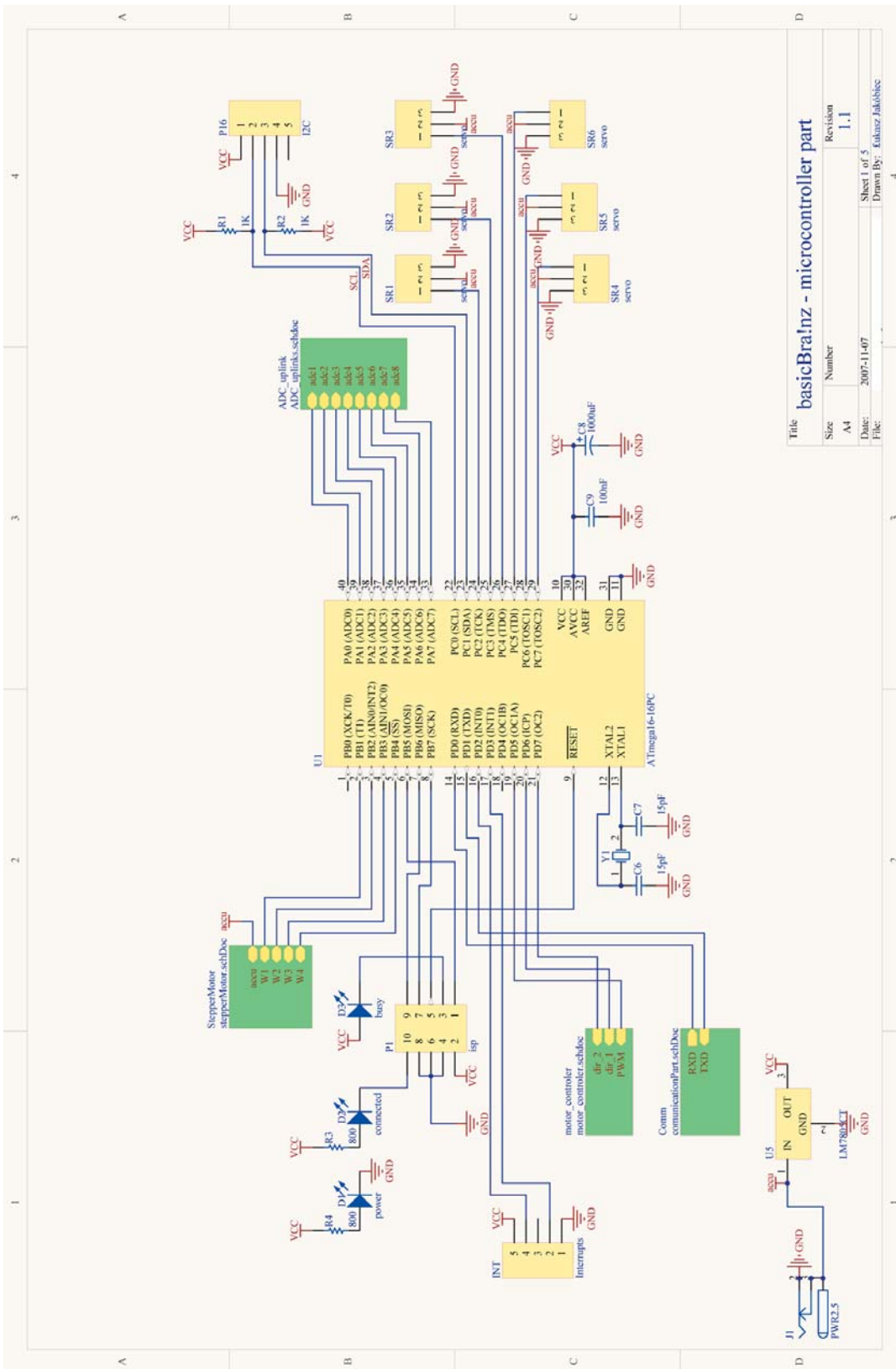
3. KONSTRUKCJA I WYKONANIE ROBOTA PATHFINDER

Jednym z głównych założeń konstrukcyjnych naszego projektu było umożliwienie seryjnej produkcji robota. Tak więc poza elementami zawieszenia wykonanymi specjalnie pod nasz projekt reszta części jest stosunkowo łatwo dostępna.

Sercem robota jest mikrokontroler z rodziny AVR – ATmega16. Posiadając 1KB pamięci podręcznej i 16KB pamięci programowalnej w systemie Flash, co pozwala na zapisanie całkiem pokaźnego programu do sterowania wszystkimi podzespołami pozostawiając jednocześnie miejsce na dodatkowe procedury. Jego zadaniem jest sterowanie pięcioma serwami modelarskimi, prędkością i kierunkiem silników napędowych, współpraca z czujnikami i komunikacja z nadrzędną jednostką sterującą. Dodatkowo mikrokontroler odpowiedzialny jest za ew. urządzenia rozszerzające funkcjonalność robota podłączane za pomocą I²C lub SPI (np. czujniki ultradźwiękowe czy też radiomodemy, kompasy wykorzystujące SPI). Istnieje możliwość implementacji pewnych niskopoziomowych zachowań jak np. obsługa bumperów, jednak już próba linearyzacji odczytów z czujników odległości będąca funkcją kwadratową wartości 16 bitowych jest obliczeniowo zbyt obciążająca dla 8 bitowego sterownika. Dlatego też postawiliśmy na komunikację z komputerem sterującym poprzez Bluetooth. Korzystając z gotowego modułu komunikacyjnego implementującego cały stos profilu Serial (także Audio jednak nie jest przez nas ta funkcjonalność wykorzystywana) zyskaliśmy szybki link sterujący praktycznie bezawaryjny dla odległości 30 m przy wielu urządzeniach pracujących w paśmie 2.4GHz lub do 100 m w terenie zamkniętym gdzie nie występuje więcej niż 4 nadajniki działające na tej samej częstotliwości. Ponieważ zależało nam na możliwości „remote presence” dołączyliśmy kamerę bezprzewodowa 1.2 GHz aby nie zakłóciła częstotliwości modułu Bluetooth.

Kolejnym kamieniem milowym naszego projektu było osiągnięcie jak najdłuższego czasu działania na baterii, ponieważ wiele komercyjnych rozwiązań pozwala pracować od 30 min. do 1 godziny. Nasz projekt bez problemu funkcjonuje ponad 4 godziny na maksymalnym obciążeniu. Czas ten jest możliwy do osiągnięcia dzięki układowi napędowemu, który napędza robota czterema silniczkami o bardzo dużej redukcji, sumarycznie wymagają one ok. 100 mA. Natomiast moment krytyczny dla wielu konstrukcji, czyli moment skrętu powoduje

skok poboru prądu do ok. 400 mA na 0,5 s co przy zasilaniu układu akumulatorem o pojemności 4,3 Ah daje pole do popisu.



Title		basicBra:nz - microcontroller part	
Size	Number	Revision	
A4		1.1	
Date:	2007-11-07	Sheet 1 of 5	
File:		Drawn By:	katanz.jakobiec

4. MOŻLIWE SCHEMATY RUCHÓW ROBOTA

W aktualnie spotykanych rozwiązaniach mamy najczęściej do czynienia z konstrukcjami dwu kołowymi + dodatkowy element zapewniający stabilność, ślizgacz bądź kółko o odpowiednim stopniu swobody. Skrećanie odbywa się poprzez zmianę prędkości obrotowej kół (lub też zmianę kierunku obrotu). Konstrukcje te mają swoje wady, przede wszystkim sporą niestabilność, która jest eliminowana rozwiązaniami czterokołowymi. Jednak i te nie są wolne od wad, rozwiązując jedne wprowadzają nowe jak np. problemy ze skrećaniem.

Nasze rozwiązanie czerpie inspiracje z najlepszych elementów istniejących rozwiązań. Nasz robot nie ma problemu niestabilności charakterystycznej dla dwukołowych rozwiązań (ze „ślizgaczem” jak np. Pioneer firmy ActiveMedia) czy też konieczność stosowania układów Ackermana czy też „czołgowych”. Ponieważ mamy pełną kontrolę nad kierunkiem i kątem kół możemy stosować następujące schematy skrętu:

- znany z dwukołowych rozwiązań, czyli obrót o zadany kąt i jazda w tamtym kierunku
- skrećanie wszystkich kół w żądanym kierunku jazdy (jak w Synchro Drive)
- jazda po łuku tak jak umożliwia to system dwukołowy czy Ackermana.

Tak więc wyeliminowaliśmy energetycznie nieoptymalne rozwiązania jak np. skręt „czołgowy” wymagający zrywania przyczepności kół powodując poślizg, a więc nie dając rzeczywistej kontroli nad kątem obrotu a tym bardziej możliwości utrzymania środka rotacji w jednym miejscu.

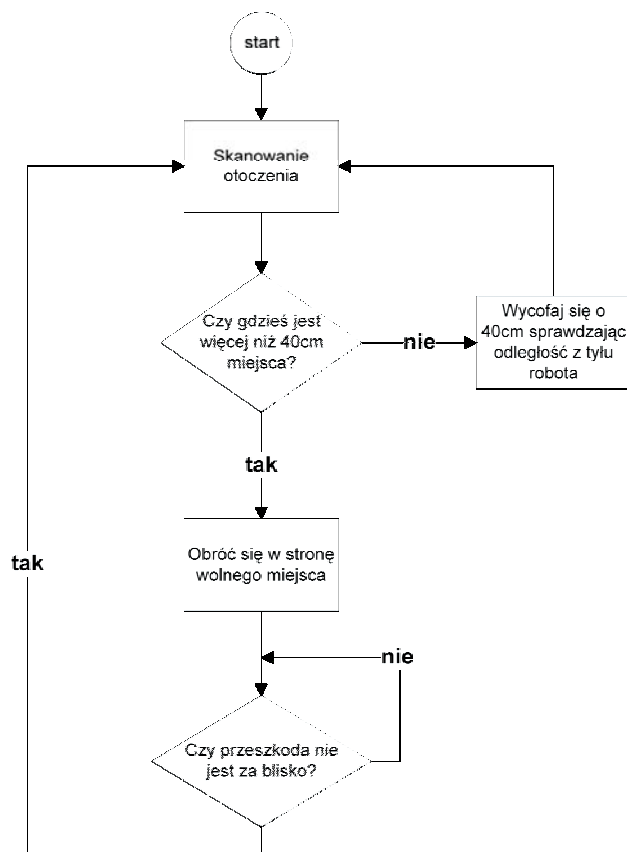
Przykład możliwych sposobów poruszania się robota został zademonstrowany na filmie dostępnym pod adresem <http://wemakerobots.com/pathfinder>

5. MOŻLIWOŚCI APLIKACYJNE

„Pathfinder” umożliwia wykonywanie tych samych prac, co każdy robot mobilny z tą zaletą, że może wykonywać wszystko dużo sprawniej dzięki wykorzystaniu holonomicznego układu jezdnego. W ramach testów wykorzystywaliśmy robota w projektach: jazda bezkolizyjna, „strażnik”. Nic nie stoi na przeszkodzie, aby wykonać na nim budowanie map lub zaimplementować algorytm wyszukiwania najkrótszej drogi do celu. Zaprojektowany został jako platforma edukacyjna umożliwiająca implementacje jak największej ilości schematów poruszania się i wprowadzenia pewnych możliwości rozbudowy o własne elementy, czujniki itp.

5.1. Jazda bezkolizyjna

Najprostszym projektem, jaki przyszedł nam do głowy było zaimplementowanie jazdy bezkolizyjnej. Do tego celu posłużyliśmy się obrotowym czujnikiem odległości oraz wyposażyliśmy robota w „wąsy” pełniące rolę zderzaka (czujniki będące przełącznikami reagującymi na dotknięcie w przeszkodę). Robot porusza się do przodu, zatrzymując się po przejechaniu dystansu równego jego długości i wykonuje skan otoczenia wyszukując miejsce, w którym nie widzi żadnych przeszkód lub ma aktualnie najwięcej miejsca. W przypadku wystąpienia przeszkody tuż przed nim, stara się ją ominąć poruszając się w jeden z boków.



5.2. Strażnik

Właściwości holonomicznego układu jezdnego pozwalają na bardzo szybkie reagowanie, dzięki czemu można śledzić obiekty, nie tracąc ich z pola widzenia. Również poruszanie się pomiędzy pudłami (np. w magazynie) jest znacznie ułatwione, dzięki dużej manewrowości robota – można wjechać w wąskie korytarze i np. pojechać w bok w przypadku braku możliwości obrotu czy kontynuacji jazdy w przód. Do tego projektu robot został wyposażony w bezprzewodową kamerę działającą w paśmie 1,2GHz oraz super jasną, białą diodę LED podłączoną za pomocą drivera ULN2803 do GPIO mikrokontrolera.

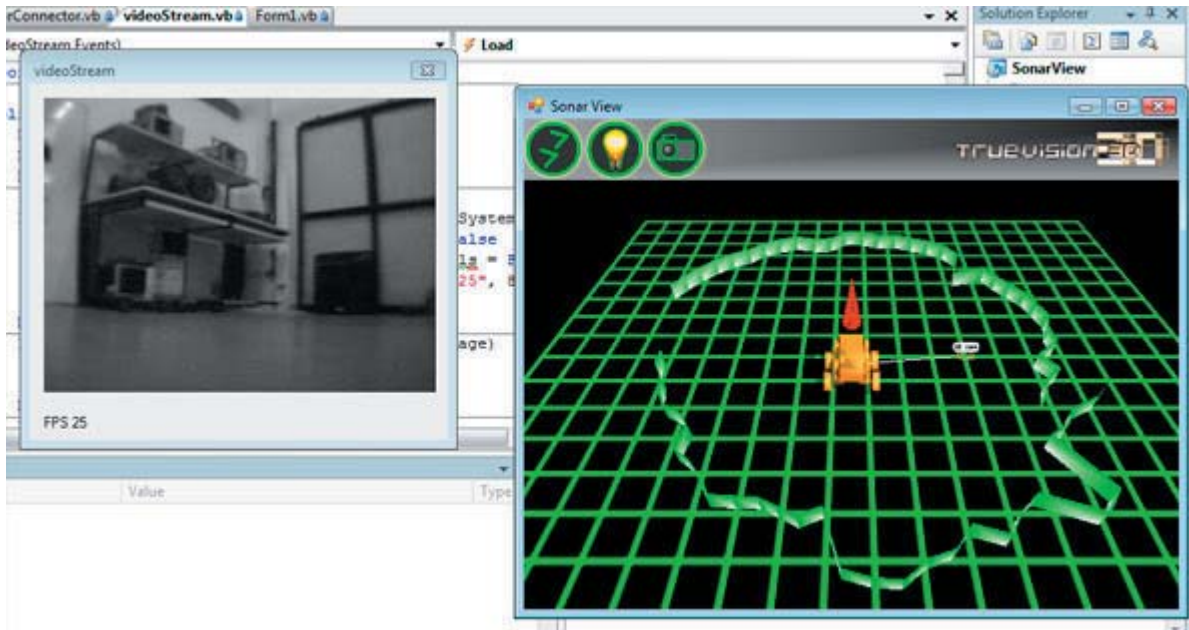
5.3. Zaawansowany strażnik

Dzięki nastawieniu projektu robota na jak największe możliwości rozbudowy planowane jest rozszerzenie zakresu sensorów poprzez dodanie czujników dymu, wilgotności, gazu, światła, ruchu, itp. Rozbudowa projektu pozwoli na nadzór obiektów, obniżając koszty związane z zatrudnianiem odpowiednio wykwalifikowanych osób.

5.4. Budowanie map

Wykorzystanie obrotowego czujnika odległości, o promieniu widzenia 1,5 m, pozwala na zbudowanie mapy środowiska otaczającego robota. W połączeniu z systemem odometrii, możliwe jest tworzenie mapy po przebyciu określonej drogi. Połączenie wszystkich odczytów pozwala na zbudowanie mapy otoczenia, w którym porusza się robot. Dodatkowo korzystając

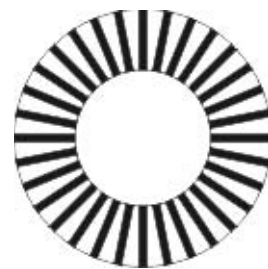
z zapisu obrazów z kamery możliwe jest stworzenie mapy bitmapowej środowiska. Z połączenia tych dwóch map, będzie możliwe uzyskanie wirtualnego obrazu otoczenia.



6. ROZWÓJ PROJEKTU

Robot został zaprojektowany z postawieniem uwagi na jak największe możliwości rozbudowy. Do tego celu udostępnione są magistrale I²C oraz SPI, rezygnacja z modułu Bluetooth umożliwia wykorzystanie portu szeregowego UART. Dla wygody użytkowników chcemy zaprojektować uniwersalną płytkę, na której mogliby uruchamiać i testować swoje własne moduły.

Istotną wadą konstrukcji jest brak odometrii. Na szczęście w zastosowanym przez nas układzie jezdnym wszystkie koła poruszają się z taką samą prędkością, dzięki czemu możemy pobierać odczyty tylko z jednego z nich. W celu uzyskania odpowiednich danych, umieścimy wewnątrz koła tarczę z odpowiednio spreparowanymi czarnymi paskami. Do odczytu posłuży podczerwony czujnik odległości zamontowany w wsporniku koła. Dzięki wykorzystaniu właściwości czujników podczerwonych (czarna barwa pochłania promienie podczerwone) czarne paski będą odczytywane jako „0”, białe natomiast jako „1”. Poprzez odpowiednią interpretację wyników otrzymamy enkoder inkrementalny.

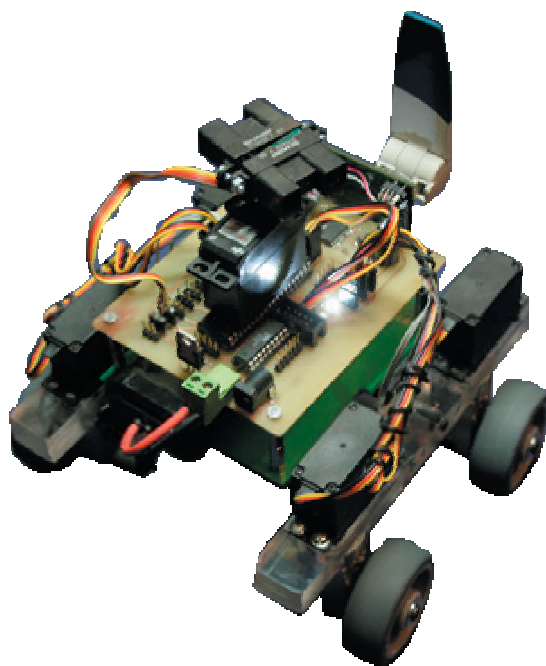


Aktualnie sterowanie robotem odbywa się przez autorską aplikację SonarView, która pozwala w pełni pokazać możliwości jezdne robota jak i demonstrować działanie obrotowych czujników odległości. W Wirtualnym Laboratorium Robotyki na PJWSTK, gdzie docelowo miał być używany Pathfinder, wykorzystywany jest system Player/Stage. Jest to OpenSource'owy projekt spójnego interfejsu do sterowania robotami mobilnymi (również pozwala na obsługę

urządzeń dodatkowych, takich jak czujniki, elementy wykonawcze, kamery, itp.), którego największą zaletą jest bardzo proste przenoszenie kodu na różne platformy robotyczne oraz mnogość języków w jakich można programować zachowania robota. Aby umożliwić Pathfinderowi korzystanie z możliwości systemu Player/Stage, konieczne jest napisanie specjalnego sterownika, łączącego protokół komunikacyjny robota z protokołem używanym w aplikacji.

Planujemy również poszerzenie możliwości wizyjnych robota poprzez zainstalowanie kamery z obsługą funkcji PT (Pan-Tilt), co pozwoli nam na poruszanie kamerą w poziomie i pionie. Niestety nie ma na rynku konstrukcji, które odpowiadałyby naszym wymaganiom – mały rozmiar i bezprzewodowa łączność, co zmusza nas do zaprojektowania i wykonania własnego projektu. Do wprawienia w ruch kamery wykorzystamy dwa miniaturowe serwa modelarskie, podłączone do odpowiednich złącz na płycie Pathfinder'a (sterowanie z GPIO mikrokontrolera).

Projekt „Strażnika” przypadł nam na tyle do gustu, że rozważamy możliwość zaprojektowania modułu dodatkowych, specjalistycznych czujników. Najistotniejsze czujniki jakich moglibyśmy użyć to m.in. czujniki pasywnej podczerwieni (wykrywanie ruchu), temperatury, wilgotności, dymu, gazu, itp. Moduł rozszerzający możliwości monitorowania magazynów, obiektów czy pomieszczeń będzie dołączany do elektroniki robota za pomocą magistrali I²C.



Najciekawszym udoskonaleniem projektu będzie rozbudowa aplikacji SonarView o korelację obrazu z kamery z odczytami z czujników odległości. Pozwoli to na podawanie odległości od obiektów w programie. Kolejnym etapem są elementy rzeczywistości wzbogaconej, takie jak zaznaczanie przeszkód leżących przed robotem.

BIBLIOGRAFIA

1. Dr Adam Szmigielski, 2004 – „Elementy robotyki mobilnej”
2. J. Borenstein, 1996 – „Where am I?”
3. Noty katalogowe
 - a. ATMEL ATmega16
<http://www.wemakebots.com/sources/mega16.pdf>
 - b. SHARP GP2Y0A02YK
http://www.wemakebots.com/sources/sharp_distance_meter.pdf
4. Dokumentacja projektu Player/Stage
<http://playerstage.sourceforge.net/index.php?src=doc>