



KoNaR

KOŁO NAUKOWE ROBOTYKÓW

Robot mobilny klasy micromouse

IPreferPI

Elżbieta Bundz

Bartosz Wawrzacz

Koło Naukowe Robotyków „KoNaR”

www.konar.pwr.wroc.pl

Wrocław 2012

Spis treści

1. Wstęp.....	3
2. Założenia projektu.....	3
3. Konstrukcja mechaniczna	4
4. Układ napędowy	6
5. Układ zasilania.....	7
6. Elektronika.....	8
7. Komunikacja z robotem oraz łączność bezprzewodowa.....	10
8. Oprogramowanie.....	11
9. Podsumowanie.....	12

1. Wstęp

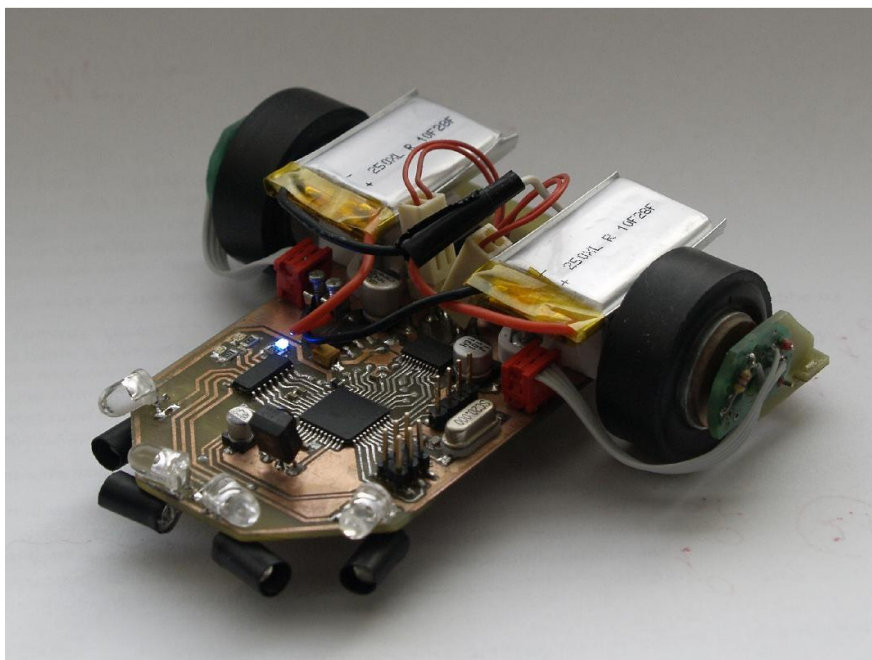
„IPreferPI” jest robotem micromouse stworzonym w ramach warsztatów rekrutacyjnych organizowanych przez Koło Naukowe Robotyków „KoNaR”.

Niniejszy dokument przedstawia opis konstrukcji mechanicznej, zastosowane rozwiązania elektroniczne oraz nietypowe koncepcje wykorzystane przy budowie robota. Został on podzielony na sekcje osobno opisujące powyższe aspekty, stąd też poszczególne moduły są wspomniane wielokrotnie i do poznania pełnego ich opisu wymagana jest lektura całości tekstu.

2. Założenia projektu

Nadrzędnym celem było przygotowanie robota do startu w zawodach Robotic Arena 2011. Z powodu niewystarczającej ilości dostępnego czasu, nie udało się jednak napisać algorytmu rozwiązywania labiryntu i robot nie wziął udziału w konkurencji.

Głównym założeniem towarzyszącym powstawaniu micromousa było stworzenie lekkiego, zwrotnego i szybkiego robota deklasującego istniejące wówczas konstrukcje oparte głównie na wyjątkowo wolnych serwomechanizmach. Pomimo iż podczas konstrukcji popełniono kilka błędów, a oprogramowanie robota wciąż jest dopracowywane, przez co nie osiągnął on pełni swoich możliwości, powyższe założenia uznano za spełnione.

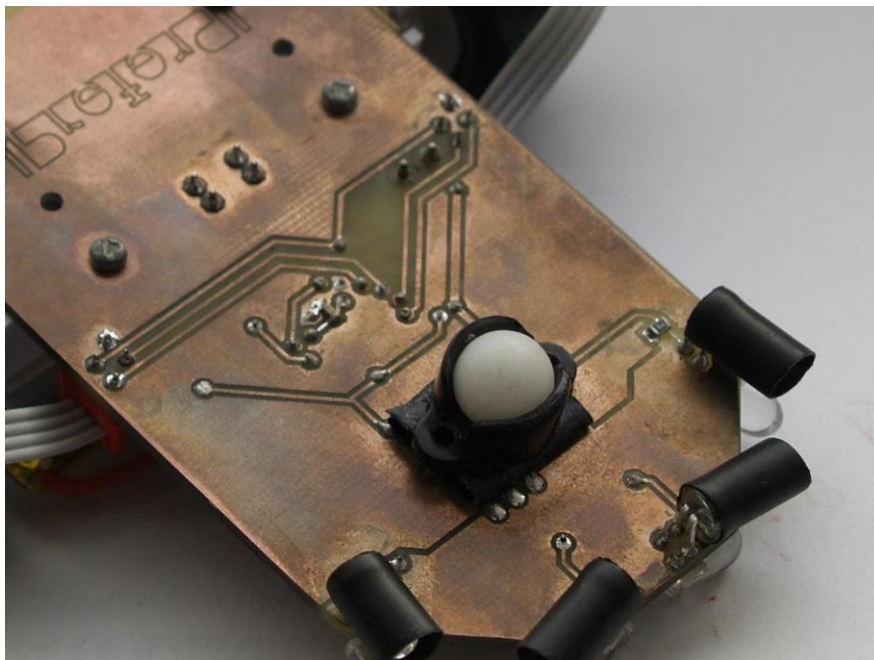


Rys 1. Robot IPreferPI

3. Konstrukcja mechaniczna

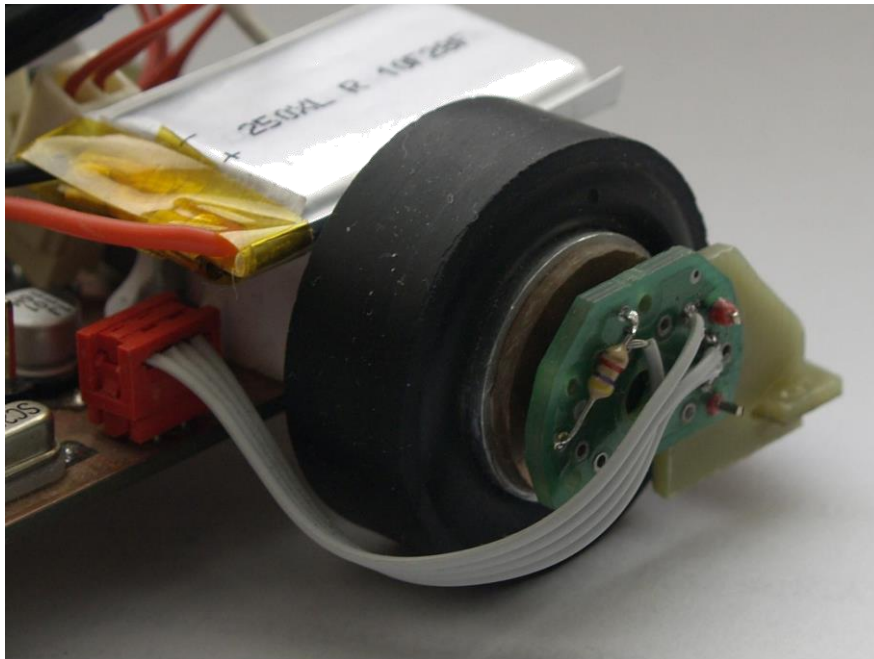
Płytką z laminatu o grubości 1,5mm, na której znajduje się elektronika, jest jednocześnie podstawą mechaniki „IPreferPI”. Laminat tej grubości zapewnia idealną sztywność i pozwala na uniknięcie stosowania dodatkowej konstrukcji nośnej, zwiększającej masę robota.

Micromouse ma trzy punkty podparcia - z tyłu opiera się na dwóch kołach, natomiast z przodu zamontowana jest kulka plastikowa Pololu o średnicy 3/8 cala. Silniki Pololu są trzymane przez standardowe obejmy tej samej firmy w wersji powiększonej (doświadczenie pokazuje, że stosowanie mniejszych obejm mija się z celem – są wyjątkowo łamliwe).

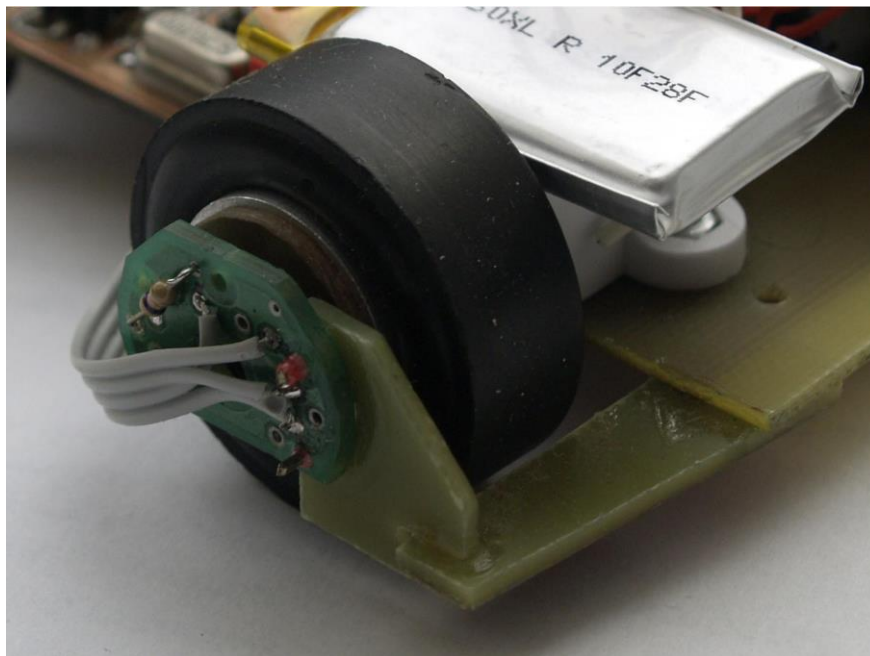


Rys 2. Widok na spód robota pokazujący mocowanie kulki podporowej

Położenie kół jest określone za pomocą enkoderów magnetycznych AS5040 firmy austriamicrosystems. Płytki enkoderów, które musiały zostać umieszczone po zewnętrznej stronie kół, trzymają się na konstrukcji z laminatu, która wyśmienicie spełnia swoje zadanie jednocześnie wprowadzając ducha „rozwiązania alternatywnego”. Magnesy wymagane do pracy enkoderów zostały wklejone w „kołpaki” wykonane z laminatu, te zaś przytwierdzone są do felgi za pomocą kleju typu superglue. Pomimo wyśrodkowywania „na oko” mocowanie takie spełnia restrykcyjne warunki przedstawione w dokumentacji enkodera.



Rys 3. Szczegóły konstrukcji mocowania enkodera



Rys 4. Mocowanie enkodera – widok od tyłu

Przy projektowaniu konstrukcji mechanicznej popełniony został szereg błędów mogących negatywnie wpływać na działanie robota:

- nie przewidziano miejsca na otwory pod śruby mocujące kulkę podporową, przez co jest ona przyklejona taśmą izolacyjną. Wbrew pozorom, jest to najmniejsza wada konstrukcyjna, mająca wręcz stronę pozytywną – mocowanie takie dobrze tłumi drgania i ewentualne nierówności podłoża;
- diody IR oraz fototranzystory użyte w roli czujników odległości wychodzą poza obrys płytki, przez co każde zderzenie ze ścianą, których ciężko uniknąć podczas pisania oprogramowania robota, skutkuje ich wyginaniem i koniecznością ponownego ustawiania w poprawnej pozycji;
- tylna oś została umiejscowiona za daleko względem środka robota, co czasami skutkuje trudnościami z obrotem robota w labiryncie o 180° , nie jest to jednak problem krytyczny;
- nie przemyślano sposobu wygodnego i bezpiecznego mocowania ogniów dostarczających zasilania – z pomocą znów musiała ruszyć taśma izolacyjna;
- nie przewidziano mechanicznego wyłącznika odcinającego zasilanie, uznanego zgodnie z tradycją za zbędny.

Pomimo powyższych błędów, robot jest w stanie sprawnie poruszać się po labiryncie. Budowa robota pozwoliła na uzyskanie sporego doświadczenia, które będzie przydatne przy projektowaniu następnego robota klasy micromouse.

4. Układ napędowy

Do napędu robota wykorzystano silniki Pololu HP z przekładniami 30:1. Na ich wałach zamontowane zostały koła firmy Solarbotics o średnicy 31,2 mm. Felgi musiały zostać przyklejone klejem na gorąco do wałów silnika, gdyż oryginalne mocowanie śrubą dociskającą wał jest zawodne – z biegiem czasu śruba całkowicie się luzuje.

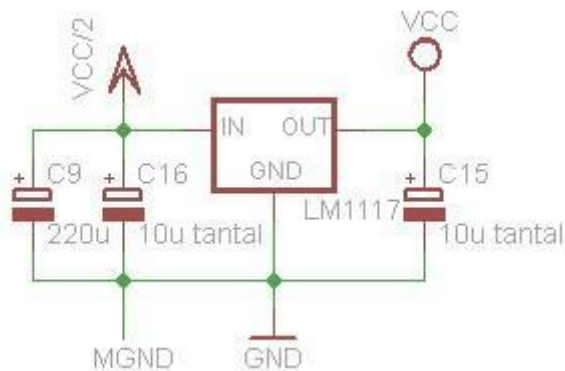
Zakres prędkości obrotowych osiągniętych przez w/w silniki jest zbliżony do optymalnego dla robota typu micromouse. Stosunkowo wysokie wypełnienie sygnału PWM sterującego silnikiem wymagane do jego ruszenia powoduje jednak problemy z precyzyjnym poruszaniem się z małymi prędkościami i wymaga specjalnego obejścia w oprogramowaniu.

5. Układ zasilania

Do zasilania robota wykorzystano dwa rodzaje ogniw. W początkowej fazie testów konstrukcja jeździła na dwu-celowym pakiecie litowo-polimerowym firmy Kokam o pojemności 640 mAh. Później zakupione zostały pojedyncze ogniwa szczytujące się pojemnością 250 mAh. Połączenie dwóch ogniw szeregowo dało pakiet o zadowalających parametrach i wyjątkowo małej masie.

Cała elektronika łącznie z diodami IR do czujników odległości jest zasilana poprzez stabilizator liniowy LM1117 5V. Pierwotne plany zakładały użycie przetwornicy impulsowej stabilizującej napięcie zasilające silniki, lecz pomysł ten został porzucony w trakcie projektowania elektroniki. Decyzja ta zapadła, ponieważ prędkość silników sterowana jest za pomocą regulatora PD ze sprzężeniem zwrotnym z enkoderów, przez co stałe napięcie zasilania silników nie jest wymagane. Argumentem był także brak takiego rozwiązania w robotach powstających w Japonii.

W układzie wydzielono 3 pola mas: cyfrową (procesor i logika mostka H), analogową (diody sygnalizacyjne i czujniki) oraz przeznaczoną dla silników. Łączą się one w jednym punkcie tuż przy złączu zasilania i kondensatorze 220 μ F.

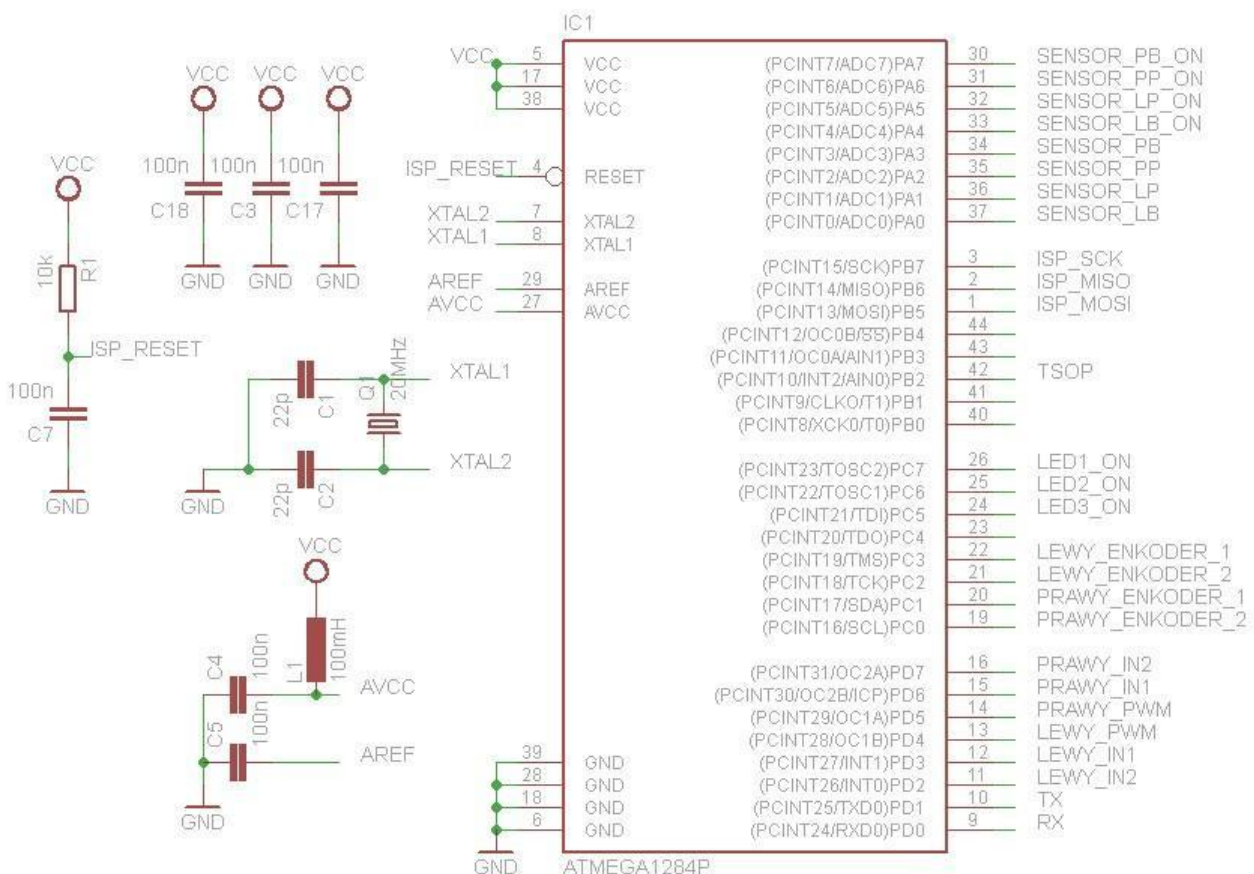


Rys 5. Schemat układu zasilania

6. Elektronika

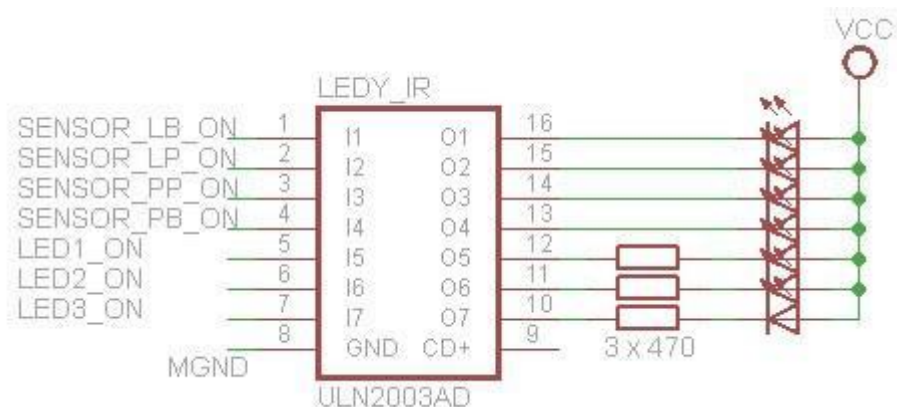
Robotem zarządza mikrokontroler ATmega1284P. Wersja -4 wybrana została przede wszystkim z racji na dostępność przerwań zewnętrznych na wszystkich pinach, co pozwoliło na obsługę enkoderów opartą o przerwania. W momencie zakupu procesora wersje o mniejszej pojemności pamięci flash nie były dostępne, także w zastosowanym układzie gotowy kod robota zajmuje zaledwie 10% dostępnej przestrzeni.

Do procesora podłączono wszystkie niezbędne elementy – kondensatory filtrujące zasilanie, filtr napięcia zasilania przetwornika analogowo-cyfrowego, złącze programowania ISP 6-pin. Jest on taktowany przez zewnętrzny kwarc 20MHz, przez co nie ma problemu z wykonywaniem wszystkich niezbędnych obliczeń. Został wyposażony w scalony odbiornik podczerwieni TSOP4840, co umożliwia jego zdalne startowanie. Bardzo ważnym z punktu widzenia programowania i testowania robota jest wyprowadzenie sygnałów Tx i Rx protokołu UART, który dzięki zastosowaniu oddzielnego modułu bluetooth umożliwia wyjątkowo wygodne sterowanie oraz zdalne pozyskiwanie danych z sensorów robota.



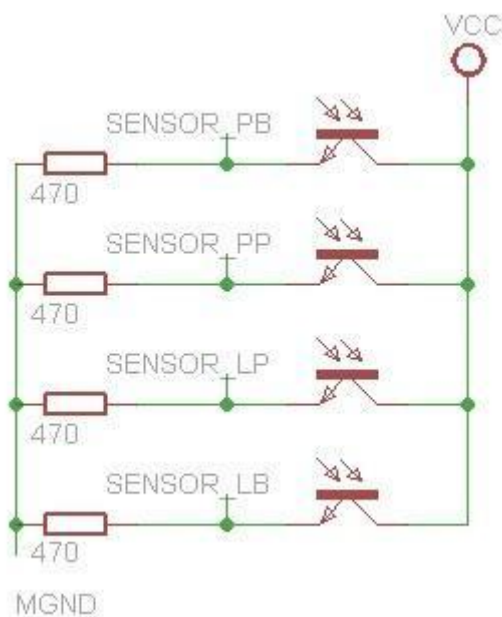
Rys 6. Schemat podłączenia procesora

Sterowanie diodami IR oraz trzema diodami sygnalizacyjnymi zostało zrealizowane za pomocą układu ULN2003A, składającego się z siedmiu osobnych układów Darlingtona. Ponieważ diody IR wykorzystane do stworzenia czujników odległości włączane są impulsowo na ułamki sekund wymagane do pomiaru ADC, prąd przez nie płynący nie został ograniczony przez rezystory – dzięki tego zwiększa się zasięg i rozdzielczość sensorów.



Rys 7. Schemat zasilania LEDów

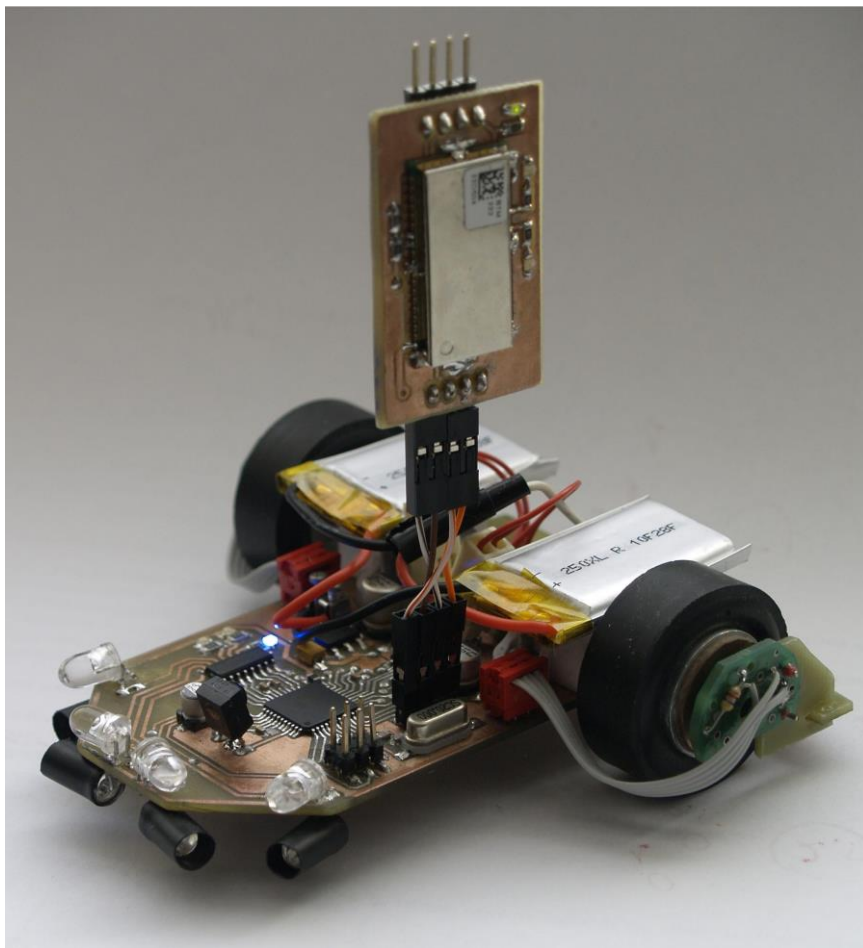
Czujniki odległości zbudowano na podstawie diod IR SFH4550 oraz fototranzystorów BPV11. Wybór diod był prosty – jest to model wykorzystywany przez czołowe konstrukcje japońskie, charakteryzujący się wyjątkowo wąskim kątem świecenia (podawanym przez producenta jako zaledwie 6°). Fototranzystory zostały wybrane na podstawie porównania charakterystyk wielu dostępnych w tym czasie elementów tego typu.



Rys 8. Schemat podłączenia fototranzystorów

7. Komunikacja z robotem oraz łączność bezprzewodowa

Pierwotnie do celu komunikacji z robotem wykonany został przewodowy pilot wyposażony w złącze protokołu UART, wyświetlacz alfanumeryczny 2x16 znaków oraz 5 przycisków. Jego zastosowaniem było ustalanie parametrów jazdy oraz odczyt danych z sensorów. Umożliwiał także start robota za pomocą podczerwieni. Jego stosowanie było jednak wyjątkowo trudne z racji na łączące go z robotem i ograniczające jego ruchy kable. Z tego powodu zakupiono popularny moduł bluetooth BTM222, który znacznie ułatwił programowanie oraz prace nad algorytmem poruszania się po labiryncie.



Rys 9. IPreferPI z dołączonym modułem bluetooth

8. Oprogramowanie

Prace nad programem zarządzającym robotem podzielono na dwa etapy. Pierwszym było opracowanie metod pozwalających na poruszanie się po labiryncie na podstawie z podanych z góry kolejnych ruchów. Wymagało to sprzęgnięcia enkoderów z sterownikiem silnika i początkowo przysporzyło trochę problemów, głównie z powodu trudności z obsługą enkoderów przez procesor. Ponieważ użyte enkodery mają rozdzielczość aż 10 bitów na obrót, wymagane było wyjątkowo sprawnie działające przerwanie zliczające impulsy. Najbardziej optymalny kod, jaki udało się uzyskać przedstawia *listing 1*.

```
ISR(PCINT2_vect) // aktualna wartość enkoderów w globalnych int enkoderL, enkoderP
{
    enk1 = (PINC & (3 << 0)) >> 0; // enkodery podłączone do pinów 0,1,2,3 portu C
    enkp = (PINC & (3 << 2)) >> 2; // enk1 - akt. stan lewego , penk1 - poprzedni

    if(enk1 != penk1)
    {
        if( (penk1 & 1) ^ ((enk1 & 2) >> 1) )
            enkoderL--;
        else
            enkoderL++;
    }

    if(enkp != penkp)
    {
        if( (penkp & 1) ^ ((enkp & 2) >> 1) )
            enkoderP--;
        else
            enkoderP++;
    }

    penk1 = enk1;
    penkp = enkp;
}
```

Listing 1. Fragment kodu odpowiedzialny za zliczanie sygnałów z enkoderów

Ruch micromousa jest stabilizowany względem ściany poprzez „odpychanie się” od niej w przypadku wykrycia zbytnej bliskości. Nieliniowy charakter wyniku pomiaru odległości otrzymany za pomocą wykorzystanych sensorów nie jest w tym przypadku problemem.

Następnym etapem było napisanie algorytmu poznawania i rozwiązywania labiryntu. Zastosowano algorytm „zalewania wodą” opracowany dużo wcześniej w języku C++. Jego zaadoptowanie do wymagań języka C oraz dostępnych zasobów mikrokontrolera było już prostym zadaniem.

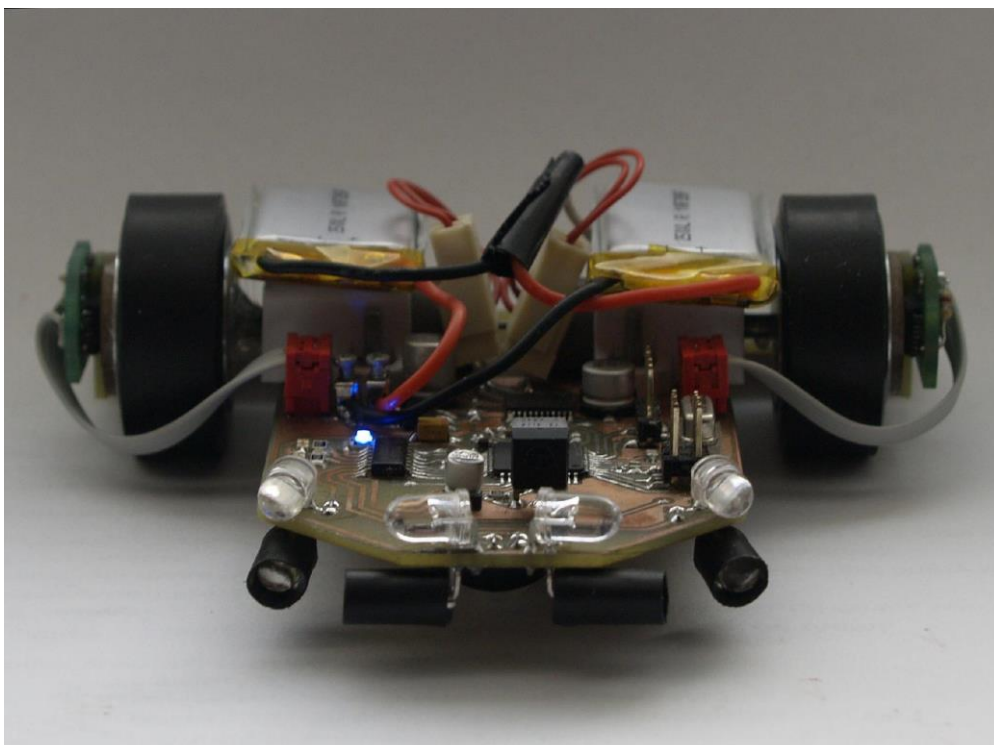
9. Podsumowanie

W robocie pokładane są nadzieje na konkurowanie z najlepszymi w swojej kategorii. Planowane jest wystawianie go w krajowych zawodach micromouse'ów.

Budowa robota pozwoliła nabrać cennego doświadczenia. Wykorzystane w projekcie pomysły i rozwiązania, a także popełnione i zauważone błędy, na pewno zaprocentują przy projektowaniu kolejnych konstrukcji.

Zastosowane optyczne czujniki odległości okazały się zaskakująco dokładne i pozbawione szumów oraz błędnych pomiarów. Bardzo pozytywnie zostały także ocenione enkodery, mimo trudności procesora z ich obsługą.

W planach jest powstanie następcy IPreferPI, pozbawionego wszystkich jego wad. Najważniejszą przewidywaną zmianą jest zastosowanie mikrokontrolera z rodziny STM32, który umożliwi sprzętową obsługę wyjść kwadraturowych z enkoderów oraz pozwalający na zaimplementowanie bardziej zaawansowanego algorytmu, czy też linearyzację wyników pomiaru odległości. Wymaganą modernizacją zapewniającą osiągnięcie dużo lepszych wyników jest także zastosowanie silników lepszej jakości pozwalających na bardziej dynamiczny ruch oraz wyposażonych w przekładnie o mniejszym luzie.



Rys 10. IPreferPI w postawie bojowej