



KoNaR

KOŁO NAUKOWE ROBOTYKÓW

Koło Naukowe Robotyków „KoNaR”

Robot mobilny klasy minisumo „Druciarz”

Paweł Kaczmarek
Michał Pochna

Wrocław, 8.01.2009r.

Spis treści

1. Wstęp	4
2. Opis projektu	4
3. Konstrukcja nośna	5
4. Pług	6
5. Napęd	7
6. Czujniki	8
7. Zasilanie	13
8. Sterowanie robotem	14
9. Wnioski po zawodach, planowane zmiany	15
10. Zdjęcia	17

Od autorów

Niniejsze sprawozdanie piszemy z myślą o przyszłych członkach Koła Naukowego Robotyków, którzy będą budować swojego pierwszego robota minisumo. Mamy nadzieję, że pozwoli im to uniknąć wielu pomyłek, błędów oraz chwil, kiedy człowiek siedzi z pustką w głowie, zastanawiając się „dlaczego to dalej nie działa?”.

Jednocześnie będziemy wdzięczni wszystkim tym, którzy znajdą w tym dokumencie jakieś nieścisłości, błędy, czy niezrozumiałe stwierdzenia (na przykład zdania wielokrotnie zbyt złożone, w których sami autorzy nie wiedzą, co mieli na myśli).

Pragnęlibyśmy także podziękować wszystkim osobom związanym z Kołem Naukowym Robotyków KoNaR, bez których wsparcia i cierpliwości w odpowiadaniu na niezliczone pytania nie powstałby nasz pierwszy robot. Z tego miejsca dziękujemy szczególnie Robertowi Budzińskiemu za rozwiązanie wielu naszych problemów oraz wypożyczenie do testów robota minisumo Wojak Wszechmocny oraz Janowi Kędzierskiemu, który nie tylko pomagał nam swą wiedzą, ale także nieświadomie nadał imię naszemu robotowi :)

Michał Pochna
GG: 7178835
michal.pochna.at.gmail.com

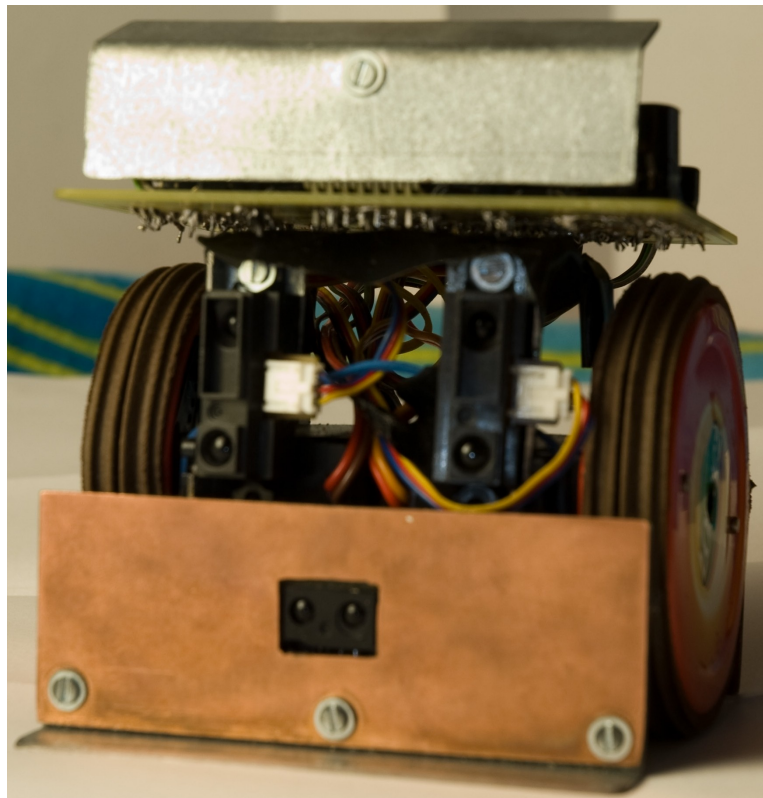
Paweł Kaczmarek
GG: 4621400
aryz_88.at.o2.pl

1. Cel projektu

Celem projektu było zbudowanie w ciągu miesiąca od podstaw robota mobilnego klasy minisumo i pokonanie choćby jednego robota w Międzynarodowych Zawodach Robotów Robotic Arena 2008. Projekt zrealizowany został przez dwie osoby, co pozwoliło na sprawne rozdzielenie niektórych zadań oraz, w myśl starego przysłowia „co dwie głowy to nie jedna”, podwoiło liczbę rozwiązań, pomysłów i sposobów realizacji zadania.

2. Wstęp

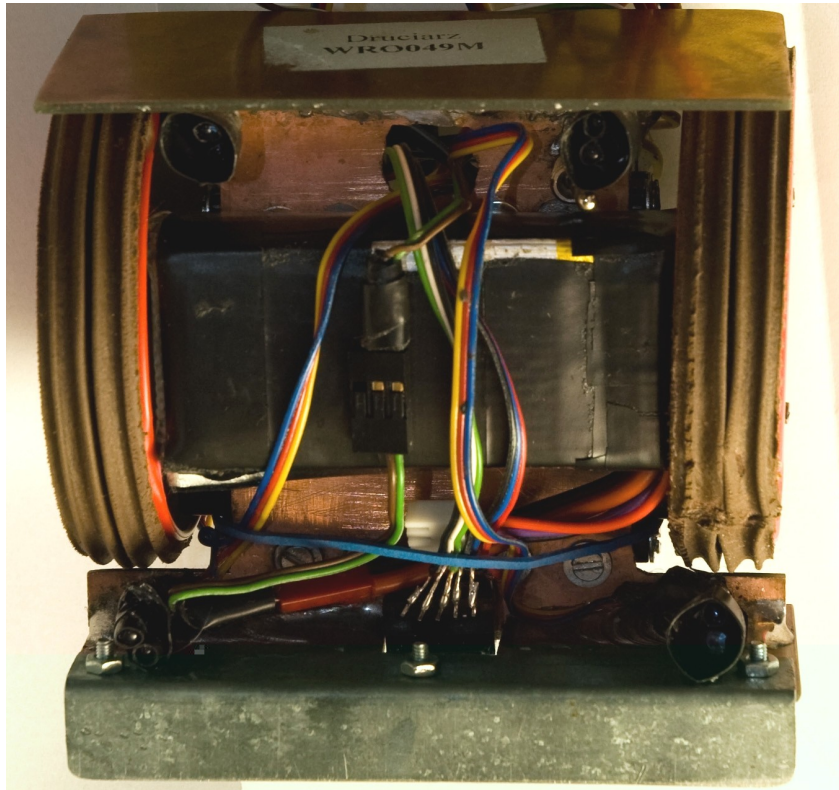
Robot klasy minisumo musi spełniać pewne wymagania konstrukcyjne - wymiary 10x10cm (przy teoretycznie nieograniczonej wysokości) oraz waga 500g. Takie ograniczenia początkowo sprawiały wrażenie nie do przejścia dla początkujących w dziedzinie robotyki, jednak stopniowo rozwiązywaliśmy kolejne problemy związane z brakiem miejsca.



Zdjęcie 1: Widok od przodu

Druciarz, który swą formą i kształtem nawiązuje do klasycznych robotów minisumo (choćby tych stworzonych w KoNaRze – Wibrobot czy X) powstał w oparciu o materiały dostępne w archiwalnych numerach Komputer Świat Eksperta – wykorzystaliśmy gotową płytkę drukowaną oraz niektóre rozwiązania, a także kod źródłowy Mechanicznego Wojownika, który dostosowaliśmy do własnych potrzeb.

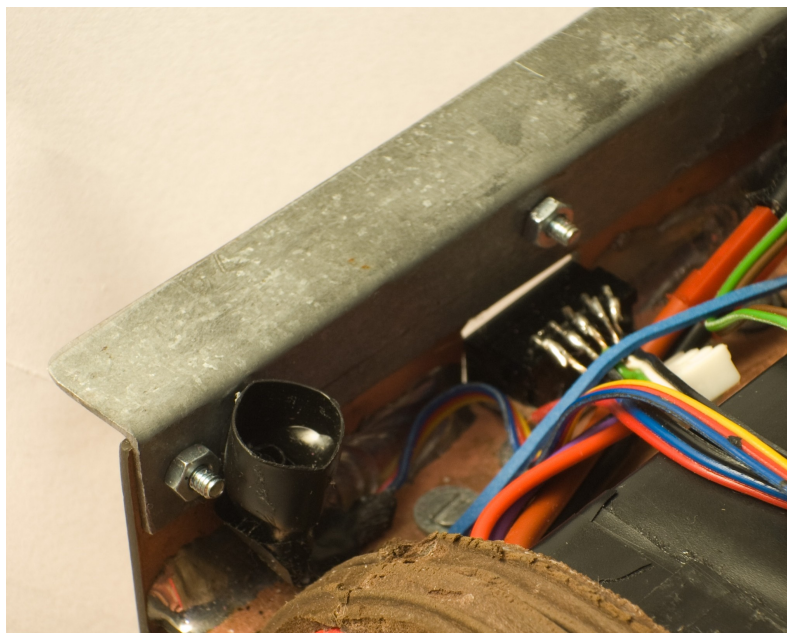
3. Konstrukcja nośna



Zdjęcie 2: Widok od spodu - wyraźnie widoczny laminat dwustronny

Podstawą konstrukcji robota jest laminat dwustronny przycięty w kształt litery T. Zastosowanie tego materiału znacznie ułatwiło montaż dalszych części konstrukcji mechanicznej – laminat jest stosunkowo łatwym w obróbce (a przy tym wystarczająco wytrzymałym) materiałem, więc cięcie, piłowanie, czy wiercenie w nim nie nastręczało najmniejszych problemów. Co więcej płytę czołową oraz tylną mogliśmy po prostu przylutować do podwozia (potrzebna jest do tego lutownica ze sporym zapasem mocy – 40W lutownica kolbowa nie wchodzi w grę). Do cięcia używaliśmy szlifierki kątovej z tarczą 1mm, do wiercenia – wiertarki 12V, a do wyrównywania – szlifierki oraz metalowego pilnika do paznokci (sprawdza się wyjątkowo dobrze także przy obróbce metalu).

Oprócz laminatu do stworzenia konstrukcji nośnej użyliśmy blachy 1mm – wycięliśmy z niej uchwyty do mocowania serw, które jednocześnie spełniały rolę wsporników do zamocowania dalmierzy podczerwonych oraz jako podpórka płytki z elektroniką.



Zdjęcie 3: Mocowanie pług, czujników oraz lut łączący przód i płytę nośną

4. Pług

Pług także został wykonany z blachy 1mm. Wycięliśmy z niej prostokąt o wymiarach 98x25mm, który następnie wygięliśmy na imadle (jest to urządzenie niezbędne do uzyskania jak najbardziej prostego pług) w połowie pod kątem prostym. Ostrze pług zostało wstępnie wyszlifowane szlifierką kontową oraz pilnikiem do paznokci.

Bardzo ważną kwestią było idealnie równe przymocowanie pług do płyty czołowej (krzywo zamocowany zostawiałby w niektórych miejscach prześwit – stwarzałoby to doskonałą okazję przeciwnikom do uniesienia naszego robota). Problem rozwiązaliśmy w następujący sposób. Najpierw nawierciliśmy otwór w środku płyty czołowej, następnie przyłożyliśmy pług do otworu i ołówkiem zaznaczyliśmy miejsce wywiercenia otworu.



Zdjęcie 4: Płyta czołowa z przymocowanym pługiem (i panienka z okienka – Sharp GP2Y0D340)

Ściskając pług w imadle zredukowaliśmy ryzyko krzywego wywiercenia otworu. Niestety używaliśmy wiertarki 230V, przy której wiertło miało tendencję do ślizgania się po powierzchni metalu (mocne przyciśnięcie wiertła nie wchodziło w grę, ze względu na możliwość złamania go).

Mając tak nawiercone otwory skręciliśmy pług z płytą czołową, dodatkowo ścisnęliśmy obydwie warstwy małym kluczem francuskim i przystąpiliśmy do nawiercania dwóch bocznych otworów.

5. Napęd

- serwa

Do napędzania robota użyliśmy serw modelarskich TowerPro MG995 o momencie 15kg/cm przy zasilaniu 6V. Przed zamontowaniem trzeba było je przerobić. Dokładny opis znajduje się na stronie KoNaRu, który sprawdza się znakomicie, z jednym wyjątkiem – serwo to ma metalowe tryby i takież trzpień blokujący pełny obrót serwa. Wystarczy złapać przekładnię kombinerkami, drugimi złapać trzpień i go wykręcić.

Całość operacji robiliśmy na białej kartce i w lateksowych rękawiczkach, po to by nie pogubić drobnych elementów przekładni, a także by ich nie zabrudzić.

Pomimo zastosowania opisanych powyżej środków zdecydowaliśmy się umyć elementy w płynie do naczyń, następnie osuszyć i podczas składania wszystko obficie nasmarować preparatem WD-40 oraz olejem teflonowym.

- Koła

Z racji tego, że zastosowane przez nas serwa nie mają dużej prędkości obrotowej, konieczne było zastosowanie kół o dużej średnicy (uwaga, wzór!):

$$V = \omega \cdot r$$

Bardzo dobre do tego zastosowania okazały się nakrętki od słoików po sosach Łow*cz. Przed użyciem takich nakrętek trzeba bezwzględnie sprawdzić, czy te sosy będą nam smakować, bo może się okazać, że nie wystarczą jedynie dwa.

Ważną kwestią było wypracowanie skutecznego i w miarę dokładnego sposobu na zrobienie otworów mocujących orczyki do kół. Wydaje nam się, że znaleźliśmy godny polecenia sposób:

- na papierze milimetrymym nakreśliśmy okrąg o średnicy równej średnicy nakrętki (którą zmierzaliśmy wcześniej przy pomocy suwmiarki)

- zmierzaliśmy suwmiarką odległość od środka orczyka do otworu mocującego, następnie odłożyliśmy ją na narysowanym okręgu
- wycięliśmy dokładnie koło i przyłożyliśmy do nakrętki tak, aby nie wystawało z żadnej strony
- przy pomocy cyrkla zrobiliśmy dwa otwory na śrubki mocujące orczyk w miejscach uprzednio zaznaczonych (śrubki były rozmiaru 1,2mm, więc nie musieliśmy używać wiertarki – wyeliminowaliśmy tę jedną niedokładność położenia otworów)
- ostatnią czynnością było wywiercenie dużych otworów (ok. 7mm) w środku koła, by móc przykręcać koła do serw bez odkręcania orczyków

Jako ogumienie kół wykorzystaliśmy przycięte skalpelem z obu stron uszczelki do okien profil E, które zamocowaliśmy używając kleju Kropelka. Jest prawdopodobnie najlepsze z prostych (i łatwo dostępnych) rozwiązań, które zapewnia naprawdę dobrą przyczepność kół.

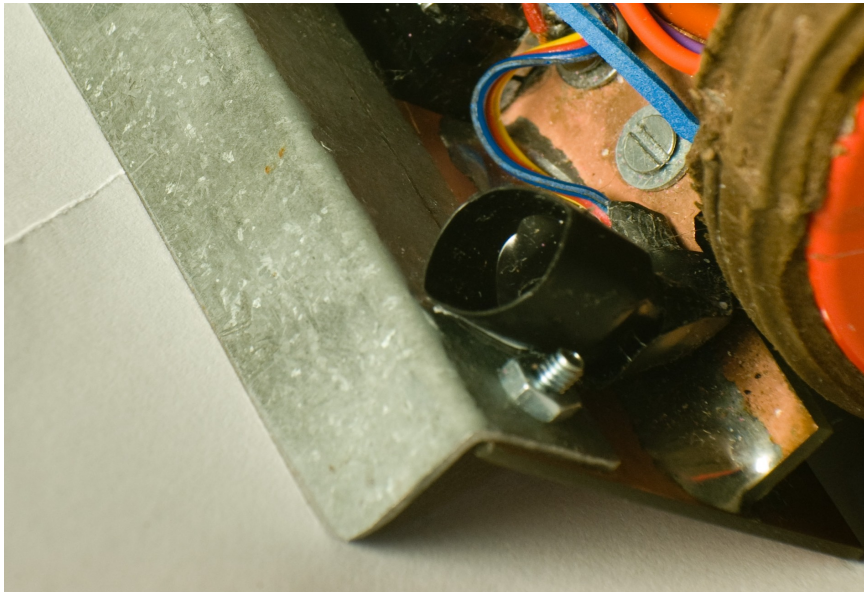


Zdjęcie 5: Koło i mocowanie

6. Czujniki

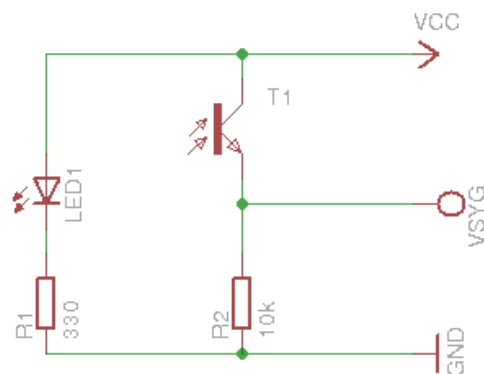
W robocie zastosowaliśmy moduł czterech czujników białej linii oraz trzech dalmierzy podczerwonych (2 analogowych i jednego cyfrowego) firmy Sharp. Zdecydowaliśmy się zrezygnować z czujnika zderzeniowego (na który jest miejsce na płycie drukowanej z KSE), ponieważ coraz większa liczba robotów jest wyposażona w pługi, kliny itp., które bez problemu mogą spychać przeciwnika od frontu nie powodując naciśnięcia tradycyjnie zamontowanego stycznika.

- czujniki białej linii



Zdjęcie 6: Przyklejony prawy przedni czujnik białej linii

Do wykrywania białej linii, którą otoczone jest dohyo, zastosowaliśmy czujniki własnej roboty, zmontowane według schematu:



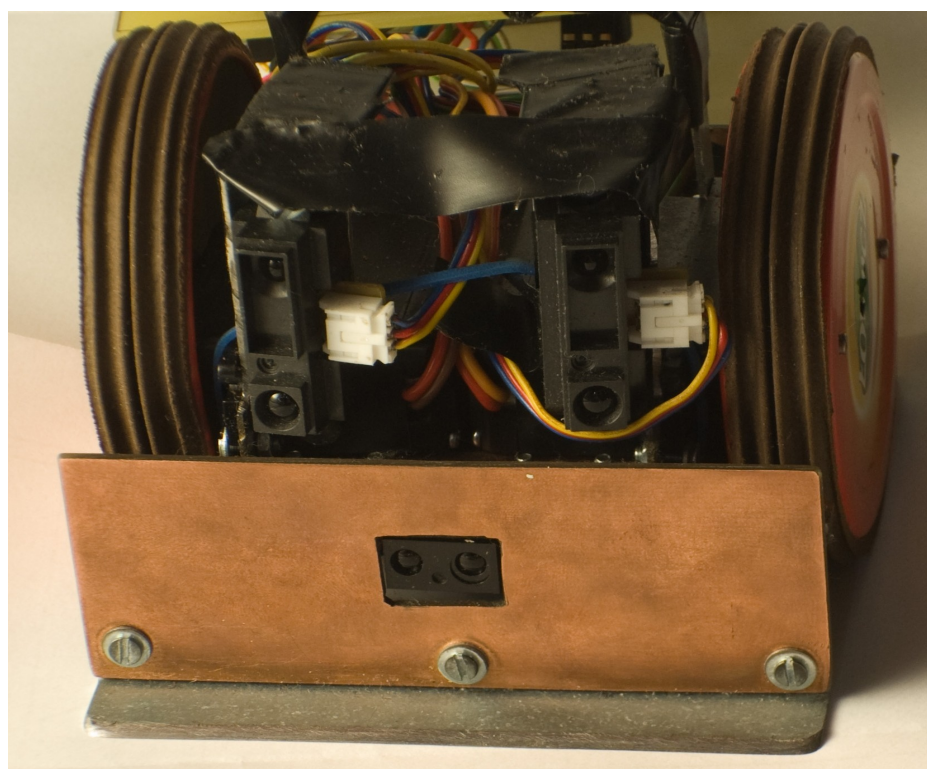
Do ich wykonania wykorzystaliśmy diody nadawcze IR 3mm oraz fototranzystory 3mm.

Jak wynika ze schematu, gdy na bazę fototranzystora pada światło odbite od białej powierzchni na wyjściu czujnika pojawia się stan wysoki. Wyjście podłączone jest do wzmacniacza operacyjnego TL084, w którym następuje porównanie sygnału z napięciem wejściowym. Na wyjściu wzmacniacza dostajemy różnicę tych napięć, więc stan niski przy wykryciu białej linii oraz stan wysoki w sytuacji przeciwnej. Zastosowanie wzmacniacza operacyjnego pozwoliło na sprzętową regulację czułości

czujników poprzez zmianę nastawu potencjometru o wartości 24k , który pełnił rolę dzielnika napięciowego.

Im mniejsze napięcie wchodzące do wzmacniacza tym mniej światła odbitego potrzebne jest do wytworzenia stanu niskiego na jego wyjściu. Ten sam rezultat można uzyskać podłączając czujniki bezpośrednio do przetworników ADC mikrokontrolera, a czułość zmieniając poprzez zmianę wartości w kodzie programu. Jednak zastosowanie regulacji sprzętowej pozwala na płynne i natychmiastowe dostosowanie robota do powierzchni ringu oraz panującego oświetlenia.

- Dalmierze podczerwone



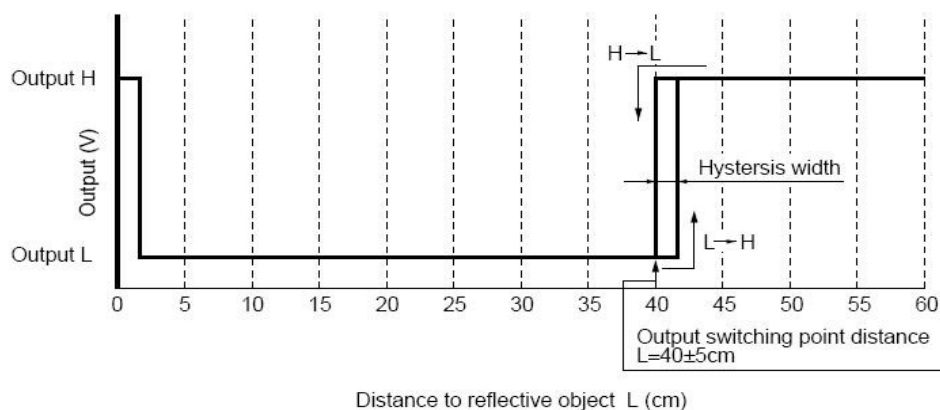
Zdjęcie 7: Widok na czujniki optyczne

W Druciarzu zastosowaliśmy aż trzy czujniki podczerwieni firmy Sharp do lokalizacji przeciwnika na ringu.

GP2Y0D340

Dalmierz cyfrowy został umieszczony centralnie, na małej wysokości (ok. 2 cm nad ziemią) – został przyklejony klejem Kropelka do spodu płyty nośnej - co pozwalało na wykrywanie nawet niskich przeciwników (których pojawia się coraz więcej).

Najistotniejszą zaletą tego modelu jest bardzo wysoką częstotliwość pomiarów oraz niewielkie rozmiary. Natomiast jego główną wadą jest praktycznie punktowa wiązka pomiarowa (czujnik podaje wartość 0 – oznaczającą wykrycie obiektu - jedynie, gdy przedmiot znajduje się dokładnie przed nim). Poniższy rysunek przedstawia zależności napięcia wyjściowego w zależności od odległości przedmiotu podaną w dokumentacji przez producenta.



Wykres 1: Charakterystyka napięciowo-odległościowa GP2Y0D340

W rzeczywistości zaobserwowaliśmy, że czujnik daje na wyjściu 0 także wtedy, gdy obiekt jest bezpośrednio przed nim (jest to niewątpliwą zaletą, ponieważ nie „gubiliśmy” przeciwnika, gdy dochodziło do zwarcia) oraz, że górna granica wykrycia przedmiotu zależy w bardzo dużej mierze od koloru i faktury przedmiotu oraz oświetlenia – w obecności światła żarówki biała kartka wykrywana była nawet z odległości 60cm.

Decydując się na zastosowanie tego czujnika należy pamiętać o konieczności zakupu dodatkowych elementów - rezystora 1Ω oraz kondensatora 1uF, dokładny sposób ich montażu opisany został w dokumencie „Cyfrowy Sharp” Karola Sydora <http://www.konar.pwr.wroc.pl/uploads/download/raporty/sharp1.pdf>.

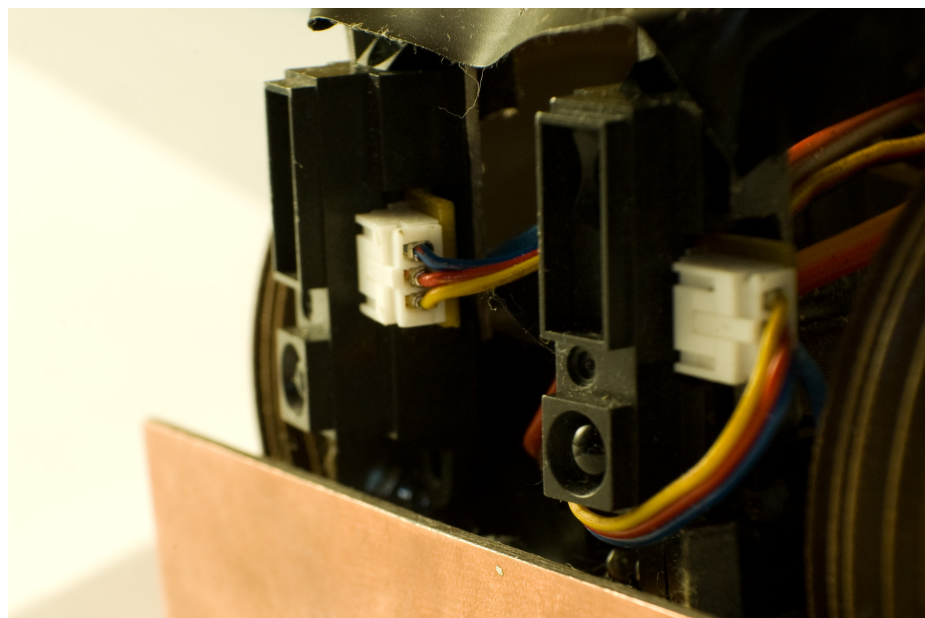
GP2D120

W naszej konstrukcji zastosowaliśmy dwa dalmierze analogowe tego typu. Biorąc jednak pod uwagę fakt, iż ma on krótszy zasięg od choćby GP2Y0A02, a jego główna zaleta (jest nią zależność napięcia na wyjściu od odległości przeszkody, która w porównaniu do innych dalmierzy podczerwonych, pozwala bardzo dokładnie określić położenie obiektu) nie była przez nas w ogóle wykorzystywana (w robocie, którego napęd stanowią mocne i niezbyt szybkie serwomechanizmy, praktycznie zawsze na wykrycie przeciwnika reaguje się jazdą na niego z pełną prędkością – odtwarzanie położenia przeciwnika jest w takim wypadku całkowicie pozbawione sensu), możemy stwierdzić, że nie był to najbardziej trafny wybór. Dużą zaletą, dla której zdecydowaliśmy się na ten czujnik, było to,

że nawet dla 0cm daje on wystarczająco wysokie napięcie, które nie można pomylić z zakłóceniami – robot nie gubił przeciwnika nawet w zwarcu. W dokonaniu wyboru czujnika z bardzo pomocne okazały się dokumentacje dalmierzy dostępne w internecie w formacie pdf oraz dokument Bolesława Jodkowskiego i Karola Sydora „Wstęp do użytkowania modeli GP2D12 i GP2Y0A02”
<http://www.konar.pwr.wroc.pl/uploads/download/raporty/Raport1-bolo.pdf>.

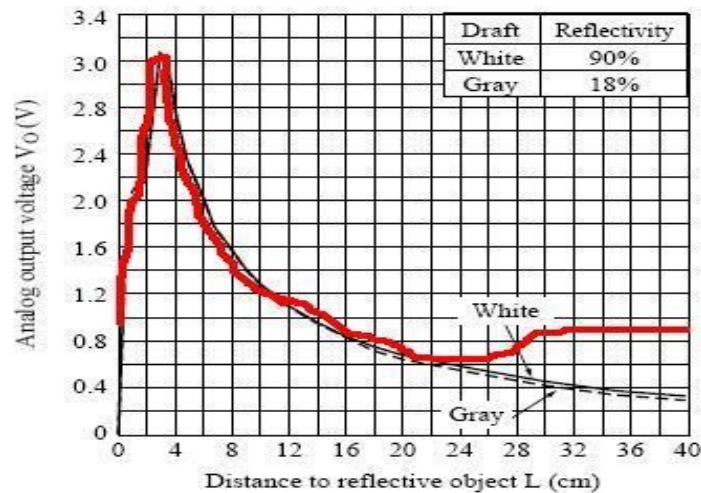
Dalmierze analogowe zostały umieszczone z przodu, na lekko rozchylonych na boki wspornikach serw i płytki z elektroniką, co znacznie poszerzyło pole widzenia robota podczas poszukiwania przeciwnika (mimo początkowych obaw 3 czujniki położone stosunkowo blisko siebie nie zakłócały się wzajemnie). Pamiętaliśmy jednocześnie, aby nie były rozchylone zbyt mocno - robot wykrywałby przeciwnika, wykonywał obrót, a przeciwnik znajdowałby się w strefie martwej robota, powodowałoby to ciągłe gubienie przeciwnika i brak ciągłości w ruchach robota.

Początkowo planowaliśmy ustawić dalmierze analogowe tak, by wtyczki obu czujników skierowane były do środka robota (takie rozwiązanie było po prostu prostsze w montażu), okazało się jednak, że gdy część emitująca podczerwień znajduje się bliżej podłoża, czujniki są w stanie wykrywać dużo niższe obiekty. Zdecydowaliśmy się więc na rozwiązanie, w którym detektory obu czujników znajdują się wyżej od emiterów. Stosując opisany powyżej sposób montażu należy szczególnie uważać, by przewody dołączone do czujników nie znalazły się przed dalmierzem w wyniku zderzenia z przeciwnikiem lub innego nagłego ruchu, spowodowałoby to kręcenie się w kółko robota i zmniejszyło szanse na zwycięstwo do zera.



Zdjęcie 8: Prawidłowo zamontowane czujniki GP2D120 – na pierwszym planie niesforny kabelek

Wart uwagi jest problem, który napotkaliśmy podczas pierwszego podłączenia dalmierza analogowego. Po podłączeniu czujnika i kilku pomiarach poprawności jego działania, stwierdziliśmy dziwne zachowanie charakterystyki napięciowo-odległościowej (czerwona linia na poniższym wykresie)



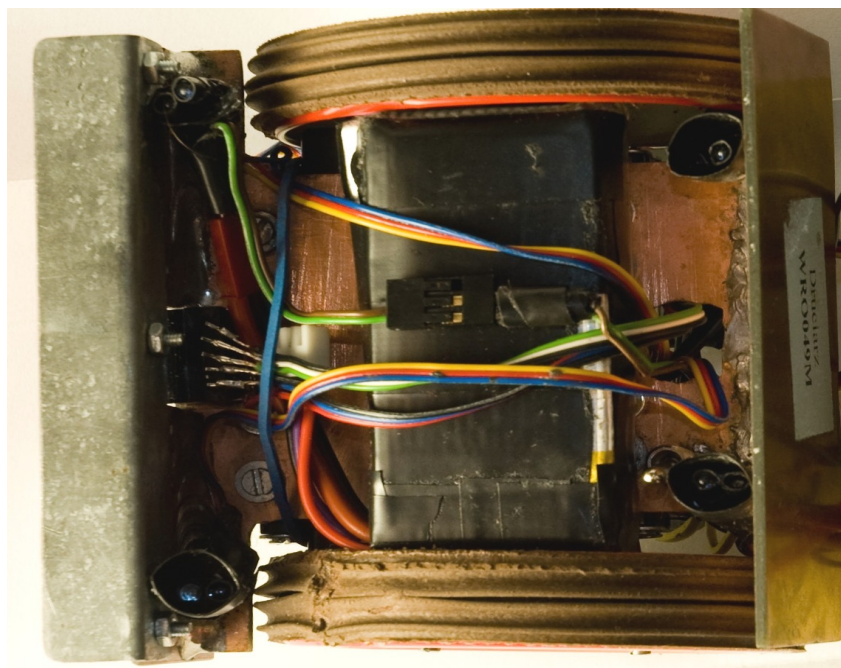
Wykres 2: Charakterystyka napięciowo-odległościowa GP2D120

Dziwne zachowanie czujnika dla odległości powyżej 20cm powodowało konieczność zmniejszenia jego czułości w bardzo znacznym stopniu, co ograniczyłoby możliwości wyszukiwania przeciwników. Na szczęście problem dało się rozwiązać w prosty sposób – wystarczyło wylutować cewkę L2 na linii doprowadzającej zasilanie do czujnika (która miała ograniczać zakłócenia w przypadku podłączania sonaru ultradźwiękowego) i wlutować zamiast niej przelotkę z kawałka drutu, by charakterystyka odpowiadała podawanej przez producenta.

7. Zasilanie

Źródłem zasilania robota jest akumulator litowo-polimerowy o pojemności 1800mAh (w zupełności wystarczyłby również o pojemność 1500mAh) i napięciu 7,4V (można go naładować do około 8,3V), który przyklejony został pod robotem, by maksymalnie obniżyć środek ciężkości.

Proces ładowania tego typu akumulatorów jest skomplikowany, więc nie ryzykowaliśmy budowy własnej ładowarki – koszt zakupu nowej baterii w wyniku zniszczenia poprzedniej przez błędnie skonstruowaną ładowarkę jest porównywalny z zakupem gotowego urządzenia do ładowania baterii. My w tym celu wybraliśmy ładowarkę Graupner Li-Po Charger 4, którą zasilaliśmy z zasilacza komputerowego. Było to rozwiązanie tymczasowe wynikające z braku zasilacza stabilizowanego.



Zdjęcie 9: Widok od spodu - centralnie umieszczona bateria owinięta taśmą izolacyjną

Korzystając z zasilacza komputerowego trzeba zwrócić uwagę na jego moc (od 300W wzwyż), ponieważ zbyt słaby zasilacz nie naładuje akumulatora do maksymalnego napięcia, na jakie pozwala ładowarka. Ładowarkę podłącza się do dowolnego kabla zasilającego (choćby dysku twardego) – żółty przewód – VCC, a dowolny czarny – GND. Sam zasilacz włącza się zwierając kable zielony i czarny, znajdujące się w wiązce kabli podłączanych do płyty głównej komputera.

Podczas użytkowania pakietu należy uważać by nie doszło do zwarcia jakichkolwiek przewodów akumulatora – w naszym pierwszym pakiecie doszło do zwarcia dwóch (spośród trzech) wyprowadzeń do balancera ogniw, co spowodowało spadek napięcia na jednym z ogniw poniżej 2,8V – oznaczało to nieodwracalne uszkodzenie akumulatora i konieczność zakupu nowego.

8. Sterowanie robotem

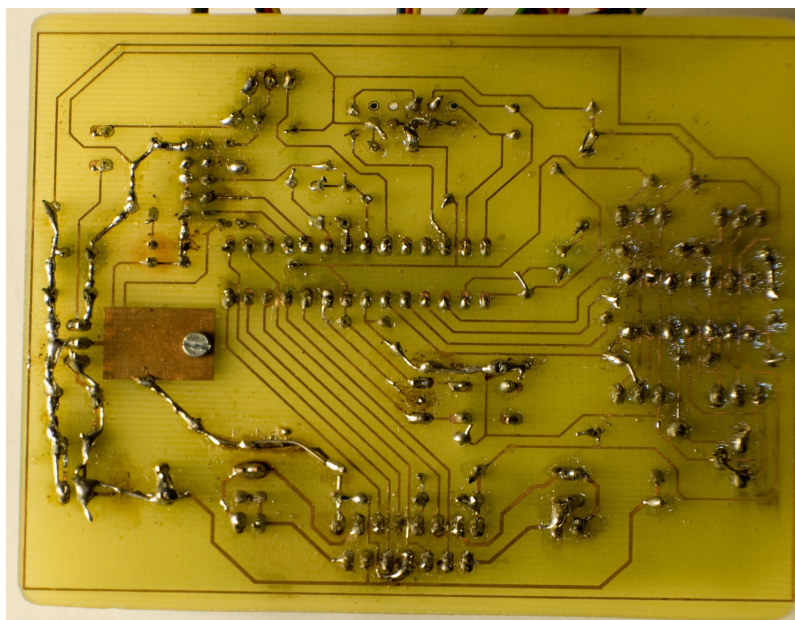
Robotem steruje mikrokontroler ATmega8, który został oprogramowany w języku BASCOM. Program sterujący robotem został napisany na bazie kodu Mechanicznego Wojownika, udostępnionego na stronie KoNaru <http://www.konar.ict.pwr.wroc.pl/kse/roboty.exe>. Wielką zaletą takiego rozwiązania była możliwość skrócenia procesu tworzenia części programowej robota – kod konstrukcji z KSE jest napisany bardzo przejrzysto i wystarczy bardzo pobieżne zapoznanie się z podstawowymi komendami i zasadami składni języka by w całości go zrozumieć i móc łatwo modyfikować.

Najważniejsze zmiany, które zostały wprowadzone to obsługa trzech dalmierzy podczerwonych (uwzględniająca ich różne prędkości działania),

rozwiniecie zachowań związanych z reakcją na białą linię oraz stworzenie własnego algorytmu szukania. Sposób w jaki robot porusza się po ringu nie widząc przeciwnika jest niezwykle istotną sprawą, która jest przez wielu uczestników ignorowana, a zachowania robota redukowane są do kręcenia się w kółko – skutkiem tego było kilka walk, w których roboty ustawione na krańcach dohyo obracały się cały czas nie mogąc się wykryć czujnikami, ze względu na ich za krótki zasięg.

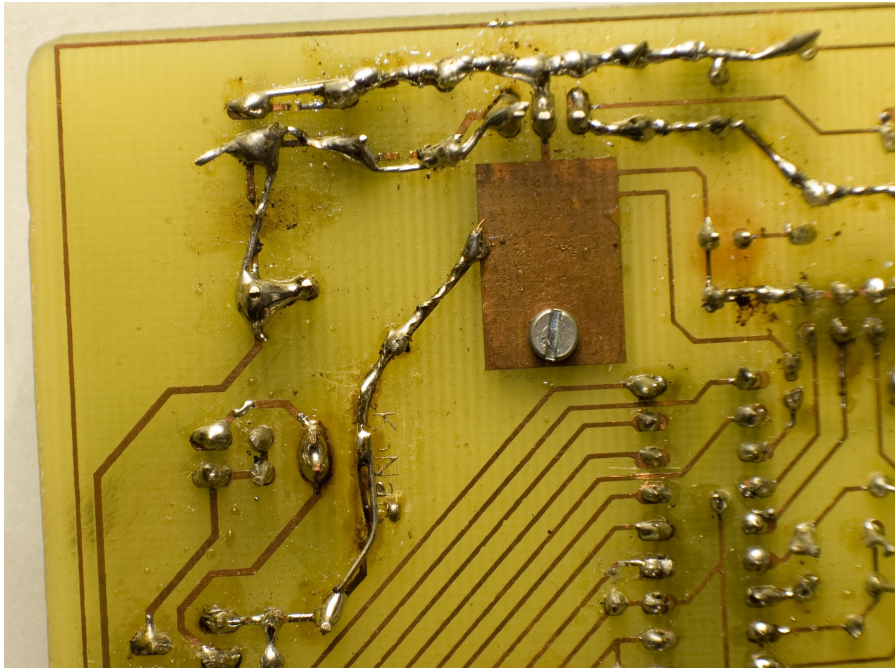
9. Wnioski po zawodach, planowane zmiany

- Dobrze wykonana i polutowana płytką drukowaną jest niezbędnym warunkiem bezproblemowego działania robota. Nasza płytką była pełna nadtrawionych ścieżek oraz zimnych lutów, które tylko czekały, żeby przepalić się w najmniej oczekiwanych momentach.



Zdjęcie 10: Płytką drukowaną

Popelniliśmy tu istotny bład – gdy pierwsze ścieżki zaczęły się przepalać, a niektóre luty – zupełnie odpadać, zamiast wykonać płytkę jeszcze raz a porządnej, poprawialiśmy ją łącząc przepalone ścieżki drucikami i obklejając punkty lutownicze spoiwem. Przez takie zaniedbanie ostatnią noc przed zawodami spędziliśmy, zamiast na testowaniu robota i dopracowywaniu algorytmu poruszania, na szukaniu przyczyny niedziałania modułu czujników białej linii (którą to okazały się być właśnie przepalone ścieżki i zimne luty) Dlatego też konieczne jest wykonanie nowej płytki z elektroniką, lepszej i poprawniej zlutowanej.



Zdjęcie 11: Płytką drukowaną, czyli jak robić NIE wolno

- Zamontowanie płytki z elektroniką na gumkach recepturkach pozwala na wygodne jej serwisowanie, ale powoduje tarcie gumek o koła – z całą pewnością istnieje lepsze rozwiązanie tego problemu.
- Projektując własną płytkę drukowaną, warto pomyśleć o kilku diodach, które będą sygnalizować stan robota (wykrycie białej linii lub przeciwnika za pomocą dalmierzy) – ich brak utrudnia serwisowanie robota na zawodach, gdy trzeba szybko się dowiedzieć, czemu robot nie działa poprawnie.
- Płaski pług – choć ściśle dolegający do podłoża i bardzo ostry, zwłaszcza, gdy jest krótki (taki jak w Druciarzu) nie jest najlepszym rozwiązaniem – co prawda pług naszego robota „wcinał się” praktycznie pod każdego robota, z którym przyszło mu walczyć, jednak nie spełniał swojego zadania w pełni, Nie podnosił robota przeciwnika na tyle wysoko, by ten stracił przyczepność, lub żeby się przewrócił. Dlatego też stwierdziliśmy, że dodanie na pługu kawałka zaokrąglonej blachy będzie bardzo efektywnym rozwiązaniem.
- Do podłączenia drugiego dalmierza analogowego i dalmierza cyfrowego użyliśmy wolnych punktów lutowniczych w miejscu, gdzie pierwotnie miało być gniazdo sonaru ultradźwiękowego, w które wlutowaliśmy potrzebne kable. Zaowocowało to jedynie małym chaosem w tej okolicy – splątane w nieładzie kable, niepewnie przylutowany kabel doprowadzający VCC do czujników (jeden punkt lutowniczy połączony był z VCC, a potrzebowaliśmy dwóch do czujników – wlutowaliśmy malutki kabelek w płytkę i do niego dwa kable od czujników) oraz wiszące nad tym wszystkim rezystor i kondensator . Było to wynikiem braku czasu, a w większej mierze nieznaną obsługą programu do projektowania schematów i płytek elektronicznych Eagle. Teraz jednak, jako że i tak wykonamy nową płytkę, będzie ona przystosowana do elementów, które faktycznie wykorzystujemy w robocie.

- Prawdziwą kopalnią refleksji był moduł czujników białej linii, a konkretnie same czujniki.

Zastosowanie czujników własnej roboty – biorąc pod uwagę emocje, jakich nam dostarczyły m.in. na pół godziny przed startem w zawodach – było kompletnie bezsensowne. Teraz wiemy, że do tej kwestii nie warto podchodzić ambicjonalnie i wyważać otwartych już przez kogoś drzwi.

Warto wspomnieć o trzech kwestiach:

- po zlutowaniu, odizolowaniu połączeń taśmą izolacyjną, i włożeniu czujników w koszulki termokurczliwe, całość okazała się być bardzo dużych rozmiarów, przez co mieliśmy duże problemy z właściwym ich przymocowaniem pod podwoziem robota.
- w trakcie testów i sparingów czujniki okazały się bardzo awaryjne. Co prawda, gdy działały, spełniały swoje zadanie wyśmienicie, jednak nader często ni stąd, ni zowąd przestawały poprawnie pracować. I nigdy nie wiadomo było, co tym razem się stało – czy rozpadły się luty (opakowane szczelnie w taśmę izolacyjną i koszulkę termokurczliwą, co znacznie utrudniało ich sprawdzenie), czy przestał działać fototranzystor, czy może wtyczka lub kabel zaczęły sprawiać problemy.
- zakupienie odpowiednich fototranzystorów okazało się być dużo trudniejsze niż może się to na pozór wydawać – pierwsze dwa rodzaje nie sprawdziły się w czujnikach.

W związku z tym planujemy wyposażyć Druciarza w inne czujniki – CNY70, do których trzeba jeszcze dolutować odpowiednie rezystory i okablowanie, lub jakieś całkowicie gotowe czujniki białej linii.

I wszystkim konstruktorom także doradzamy takie rozwiązanie.

10. Zdjęcia

