



## ROBOT MOBILNY KLASY MINISUMO "FLASH"

---

KRZYSZTOF POCHWAŁA

KOŁO NAUKOWE ROBOTYKÓW KoNaR

[WWW.KONAR.PWR.EDU.PL](http://WWW.KONAR.PWR.EDU.PL)

29 STYCZNIA 2015

## Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Konstrukcja mechaniczna</b>	<b>3</b>
2.1	Założenia projektowe . . . . .	3
2.2	Obudowa . . . . .	4
2.3	Napęd . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Elektronika</b>	<b>6</b>
3.1	Czujniki . . . . .	6
3.1.1	Czujniki przeciwnika . . . . .	6
3.1.2	Czujniki linii . . . . .	8
3.1.3	Enkodery . . . . .	9
3.1.4	Akcelerometr i żyroskop . . . . .	10
3.2	Płytką główna . . . . .	11
3.3	Interfejs . . . . .	13
<b>4</b>	<b>Zakończenie</b>	<b>14</b>

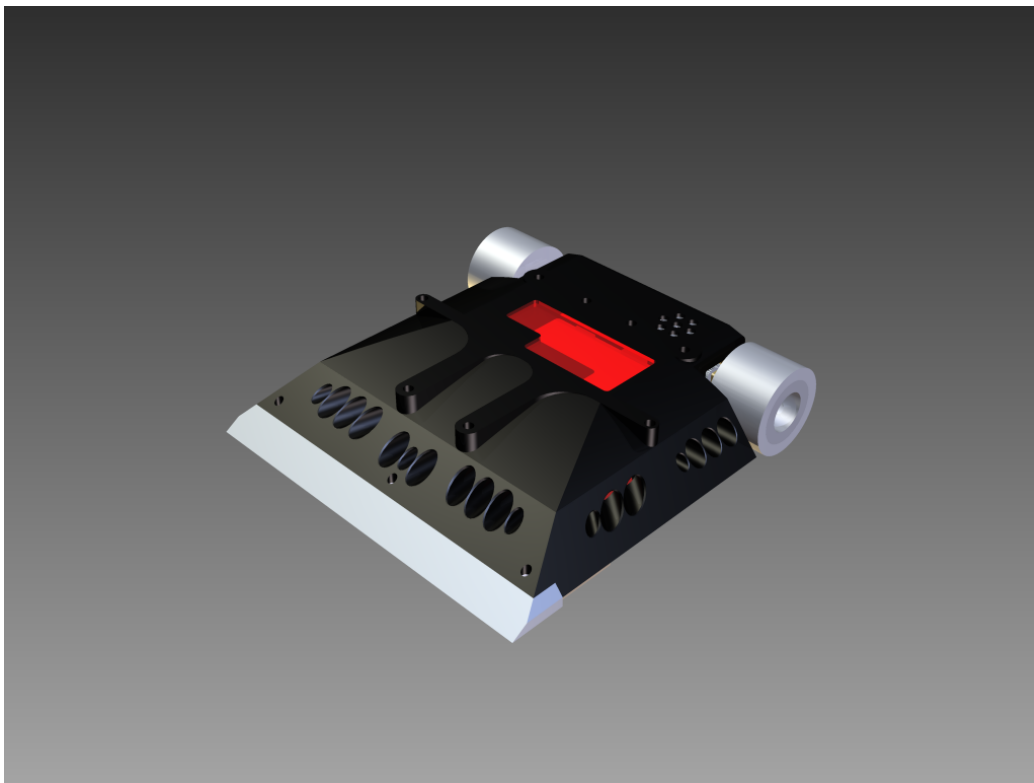
## 1 Wstęp

Celem niniejszego raportu jest przybliżenie konstrukcji robota minisumo Flash. Głównym celem jego budowy było poznanie nowych rozwiązań sensorycznych i algorytmicznych. Ponadto robot powstawał w okresie warsztatów rekrutacyjnych do koła naukowego robotyków KoNaR, których ukończenie jest warunkiem koniecznym do bycia przyjętym w szeregi tegoż. Ogromne podziękowania należą się drużynie Magnat Cyber Forge Team za to, że udostępnili opis swojego robota Enova[1] oraz Karolowi Sydorowi za udostępnienie raportu z budowy robota Shine[2].

## 2 Konstrukcja mechaniczna

### 2.1 Założenia projektowe

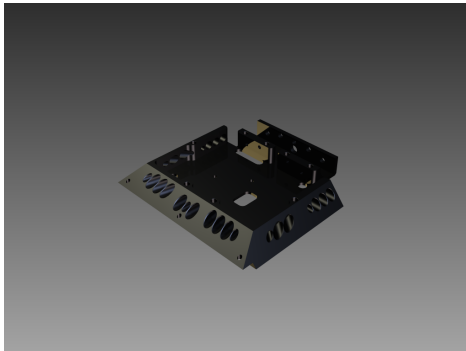
Konstrukcja mechaniczna robota została zaprojektowana w programie Autodesk Inventor 2014 (początkowo również w Solid Edge ST4). Pozwoliło to na zoptymalizowanie rozmiarów robota i maksymalne upakowanie elementów wewnątrz obudowy. Głównym założeniem podczas projektowania obudowy było to, aby była jak najniższa i tak bardzo jak to tylko możliwe utrudniała wykrycie robota przez czujniki przeciwnika. Wysokością, którą autor uznał za nieprzekraczalną był 1 cal (25,4mm), co udało się uzyskać, gdyż robot w najwyższym punkcie mierzy 22mm. Ponadto wszystkie ścianki są pochylone pod kątem co najmniej 45 stopni, a cała obudowa jest pokryta matową farbą proszkową.



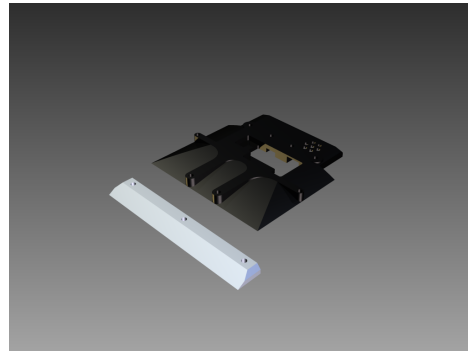
Rysunek 1: Rendering robota

## 2.2 Obudowa

Obudowa robota składa się z trzech głównych elementów - korpusu, pokrywy i dokręcanego do gniazda w korpusie pługu. Elementy te zostały wykonane ze stali narzędziowej na frezarce CNC. Materiał pozwolił uzyskać odpowiednia dla robota minisumo wytrzymałość i masę, natomiast dzięki zastosowanej technologii obróbki możliwe stało się uzyskanie nietypowych kształtów.



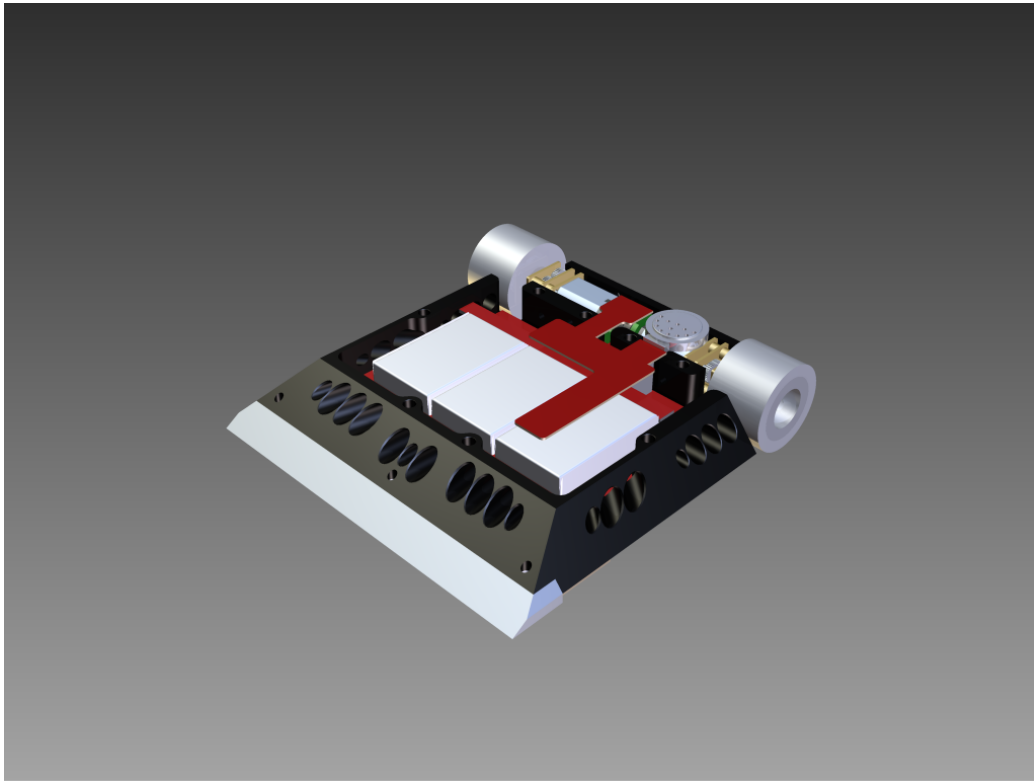
(a) Korpus



(b) Pokrywa i ostrze

Rysunek 2: Obudowa robota

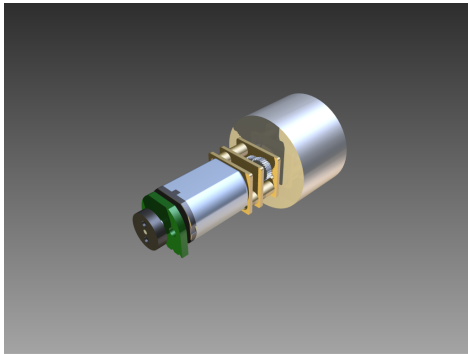
W korpusie zostały wyfrezowane gniazda na silniki i elektronikę, wykonane zostały również otwory na dalmierze i śruby m3 skręcające całego robota. Pokrywa a została wyposażona w otwory na moduł startowy, głośniczek, i interfejs. Gniazdo w korpusie pozwala na zastosowanie wymiennych ostrz pługa (niestety na chwilę obecną zastosowane jest ręcznie robione ostrze z mosiądzu, które wcale nie jest ostre).



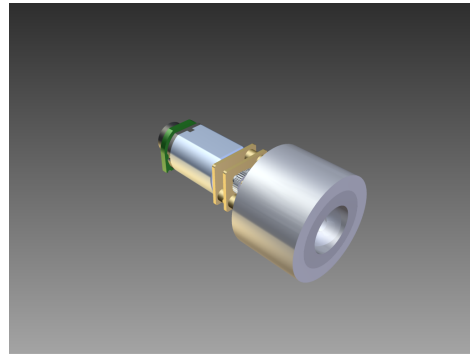
Rysunek 3: Wnętrze robota z widoczną częścią wyposażenia

## 2.3 Napęd

Robota napędzają dwa mikrosilniki DC z przekładniami firmy Pololu. Przełożenie 30:1. Aby uzyskać lepszą odpowiedź silników wyposażone zostały w enkodery magnetyczne tego samego producenta oraz ich sterowniki zasilane są napięciem 11,1V z akumulatora Li-Pol 3S. Wykorzystany mikrokontroler jest wyposażony w sprzętowe wsparcie dla enkoderów, co zostało wykorzystane. Koła, które zostały użyte to przerobione felgi solarbotics z oponą odlaną z silnikonu formierskiego o twardości 16ShA. Rozdzielczość odczytu przemieszczenia robota z zastosowanymi enkoderami to 0,19mm. Silniki blokowane są w ich gnieździe za pomocą czterech śrub m3 bez łba (tzw. robaczek).



(a) Enkoder na silniku



(b) Felga z oponą

Rysunek 4: Pojedynczy zespół napędowy

## 3 Elektronika

### 3.1 Czujniki

Robot wyposażony jest w szereg czujników:

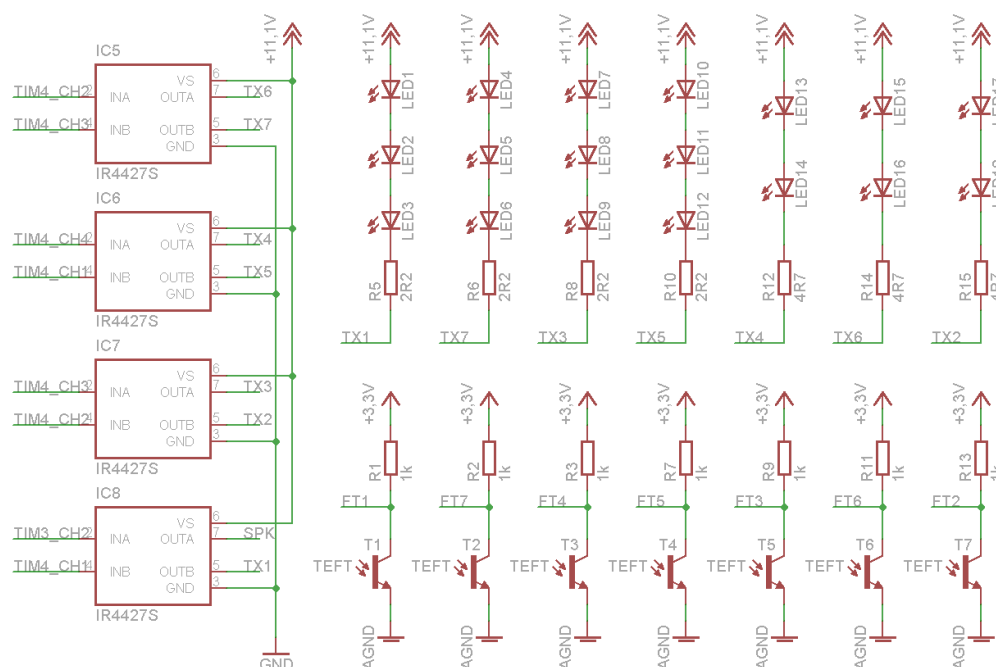
1. Czujniki przeciwnika
2. Czujniki linii
3. Enkodery
4. Akcelerometr i Żyroskop

#### 3.1.1 Czujniki przeciwnika

Najważniejszym są czujniki przeciwnika. Zostały one wykonane samodzielnie z diod IR OPE5594A i fototranzystorów TEFT4300. Nadajniki zostały dobrane ze względu na szerokość wiązki, moc światła i możliwość pracy w impulsach o dużym prądzie. Pod uwagę brane były również TSAL6400 i LD271, jednak wybrane OPE w zestawieniu wypadły najlepiej. Rozwiązanie to jest wzorowane na robotach "Insumountable" [3] i "Stealth2" [4] Petera Wallera, oraz "Shine" [2] Karola Sydora.

Zasada działania jest prosta. Diody oświetlają przestrzeń dookoła robota, a fototranzystory mierzą ile światła, które robot wyemitował powraca do niego. Dzięki zastosowaniu mikrokontrolera wyposażonego w rdzeń Cortex-M4, a co z tym idzie w jednostkę FPU i dodatkowe instrukcje DSP możliwe jest zastosowanie filtrów cyfrowych, zmniejszając tym samym ilość elementów na PCB i dodając walorów edukacyjnych. Całe przetwarzanie sygnałów

dokonywane jest w programie, jedynym elementem biernym w torze odbiorczym jest rezystor przy fototranzystorze, dzięki któremu sygnał prądowy z fototranzystora zamieniany jest na napięciowy, który następnie trafia do przetwornika ADC mikrokontrolera (12 bit, 2,4MSPS). Rezystor dobrany jest tak, by odbiornik działał cały czas w liniowej części swojej charakterystyki (nie nasyczał się). Jedyny element aktywny to wspomniany fototranzystor. Nadajniki załączane są na bardzo krótki okres czasu ( $50\mu s$ ), aby zmaksymalizować emitowaną przez nie moc. Do sterowania diodami nadawczymi zostały zastosowane w dość niestandardowej aplikacji drivery tranzystorów MOSFET TC4427. Są one w stanie dostarczać diodom 1,5A w impulsie.



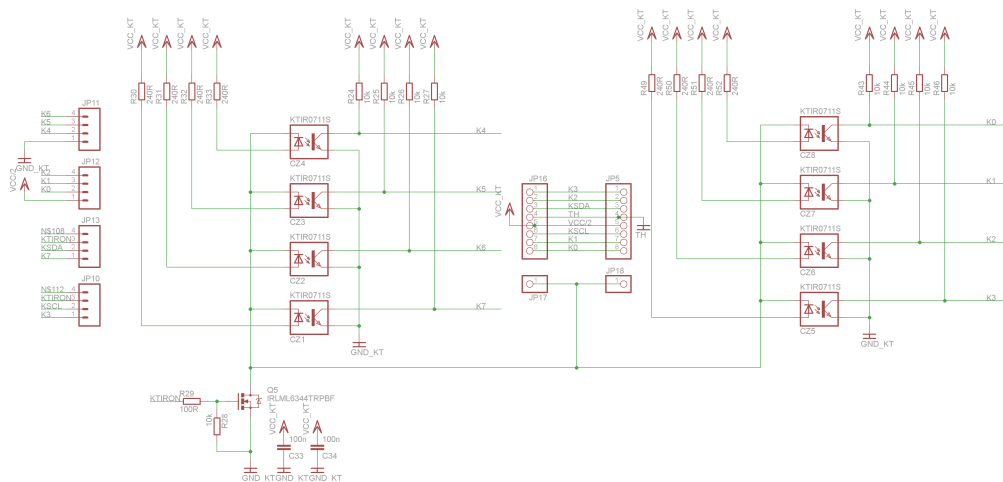
Rysunek 5: Schemat dalmierzy

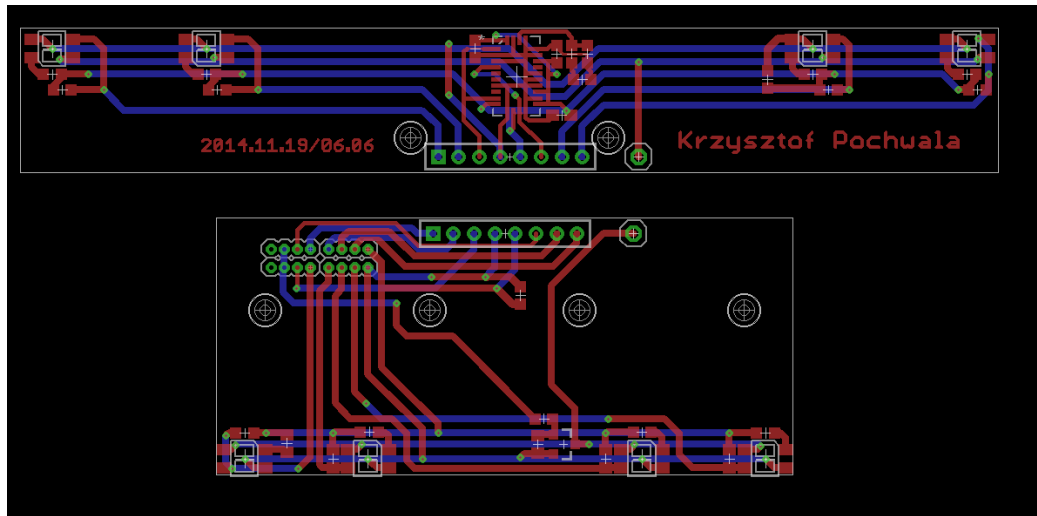
Jak widać, w robocie zostało zastosowane w sumie 7 dalmierzy. Dzięki temu, że pola widzenia sąsiednich się w pewnym stopniu pokrywają, możliwe jest dość dokładne określenie pozycji przeciwnika względem środka robota. Jest to uchyb podawany na regulator PID, którego zadaniem jest utrzymanie przecwnika na wprost pługa.



## 3.1.2 Czujniki linii

Czujniki linii to popularne transoptory odbiciowe KTIR0711S podłączone bezpośrednio do przetwornika ADC mikrokontrolera. Z mikrokontrolera można również sterować diodami transoptorów - czy mają być zapalone, czy zgaszone. Pozwala to na pomiar różnicowy i eliminację zakłóceń powstałych np. z nierównomiernego oświetlenia ringu, jego nagrzania lub innego wolnozmennego promieniowania podczerwonego.





Rysunek 7: Płytki czujników linii

Robot jest wyposażony w sumie w 8 czujników przeciwnika, po 2 na każdy róg robota. Dzięki temu, robot może oszacować kąt, pod jakim najechał na linię i odbić się od niej w kierunku środka ringu. Znana jest odległość pomiędzy czujnikami, znana jest również odległość, jaką robot przejechał od zobaczenia linii czujnikiem zewnętrznym do zobaczenia jej wewnętrznym - na tej podstawie można skonstruować trójkąt prostokątny i przy pomocy trygonometrii obliczyć interesujący nas kąt. Jest to rozwiązanie zaczerpnięte z robota Enova.

### 3.1.3 Enkodery

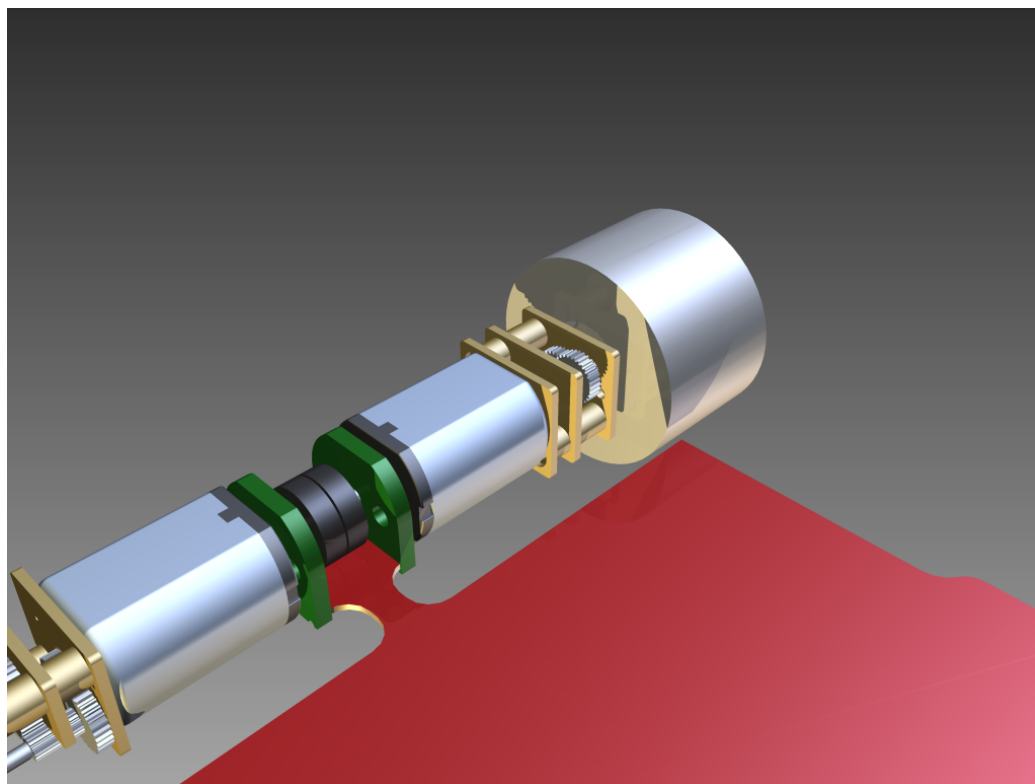
Podłączenie enkoderów do robota jest trywialne. Na płytce przylutowanej do silnika znajdują się następujące wyjścia:

sygnał	opis
GND	ujemny biegun zasilania enkodera
B	wyjście B enkodera
A	wyjście A enkodera
VCC	dodatni biegun zasilania enkodera
M2	zacisk silnika
M1	zacisk silnika

Tabela 1: Przyłącza silników

Jak widać na poniższym renderingu, PCB enkoderów są przylutowane

bezpośrednio do płytki głównej - w gnieździe silników absolutnie nie było miejsca na poprowadzenie przewodów.



Rysunek 8: Połączenie enkoderów z płytką główną

Wyjścia A i B enkoderów podłączone są do zewnętrznych wejść liczników, a te z kolei ustawione są na obsługę enkoderów inkrementalnych. Dzięki temu ich obsługa w ogóle nie obciąża jednostki centralnej. Wystarczy z odpowiednich rejestrów odczytać aktualną wartość licznika - jeśli silnik kręci się w jedną stronę licznik zwiększa się, jeśli w przeciwną zmniejsza.

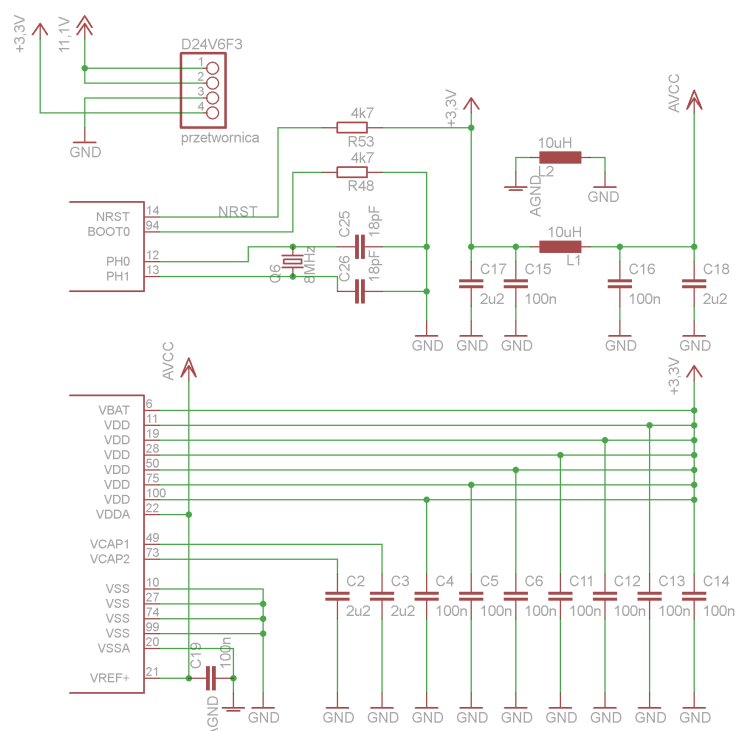
#### 3.1.4 Akcelerometr i żyroskop

W robocie jest miejsce na IMU produkcji ST Microelectronics - LSM330DH. Niestety przez nieuwagę w projekcie PCB została użyta błędna obudowa niż ta, która została zakupiona, co uniemożliwiło jak na razie jego wykorzystanie. Jego zamontowanie motywowane było tym, by robot znał swoją orientację w przestrzeni nie tylko na podstawie odometrii opartej o enkodery. Ponadto możliwe byłoby wykrywanie uniesienia i wykonywanie uników. W planach było zastosowanie filtra Kalmana w celu fuzji sygnałów z akcelerometru (zszumiony, szybkozmienny) i żyroskopu (gładki, ale obarczony stale

narastającym błędem wynikającym z dryftu). Byłoby to sprzężenie zwrotne dla regulatora odpowiedzialnego za orientację robota względem przeciwnika.

### 3.2 Płytką główna

Jednostką obliczeniową robota jest mikrokontroler STM32F407VGT6. Rdzeń Cortex-M4 został wybrany ze względu na dużą moc obliczeniową (210 DMIPS przy 168MHz). Ponadto wyposażony jest w jednostkę zmiennoprzecinkową i podstawowe instrukcje DSP. Te cechy umożliwiają zastosowanie zaawansowanych algorytmów, a duża pamięć wewnętrzna (1MB) pozwala na ciągłe rozwijanie kodu. Zastosowany został również ze względu na to, że dokładnie ten sam model jest na płytkach STM32F4 Discovery, co pozwoliło na bezpośrednie przenoszenie kodu pomiędzy płytką ewaluacyjną a robotem w celu sprawdzenia poprawności programu. W planach jest ciągłe rozwijanie algorytmów.

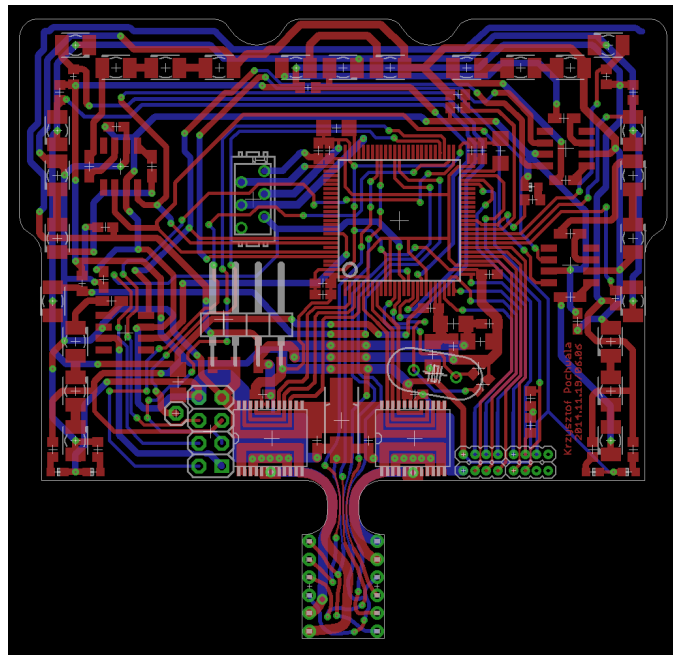


Rysunek 9: Otoczenie mikrokontrolera

Ponadto, na płytce głównej znajdują się pola lutownicze dla diod i fototranzystorów czujników przeciwnika, szereg diod kontrolnych - obecność zasilania silników, obecność zasilania logiki robota, dioda połączona z tranzystorem sterującym diodami czujników linii i wolna dioda podłączona do jednego z pinów GPIO mikrokontrolera ułatwiająca debugowanie kodu na wczesnym etapie jego powstawania. Zamianą napięcia z akumulatora na 3,3V dla logiki zajmuje się przetwornica impulsowa D24V6F3 firmy Pololu. Na płytce nie została wylana masa ze względu na to, że ścieżki zasilania prowadzone są zgodnie z topologią gwiazdy i łączą się w jednym punkcie. Ponadto masa i zasilanie części analogowej robota (przetwornika ADC mikrokontrolera, fototranzystory dalmierzy) odseparowane są od swoich cyfrowych odpowiedników dławikami  $10\mu\text{H}$ .

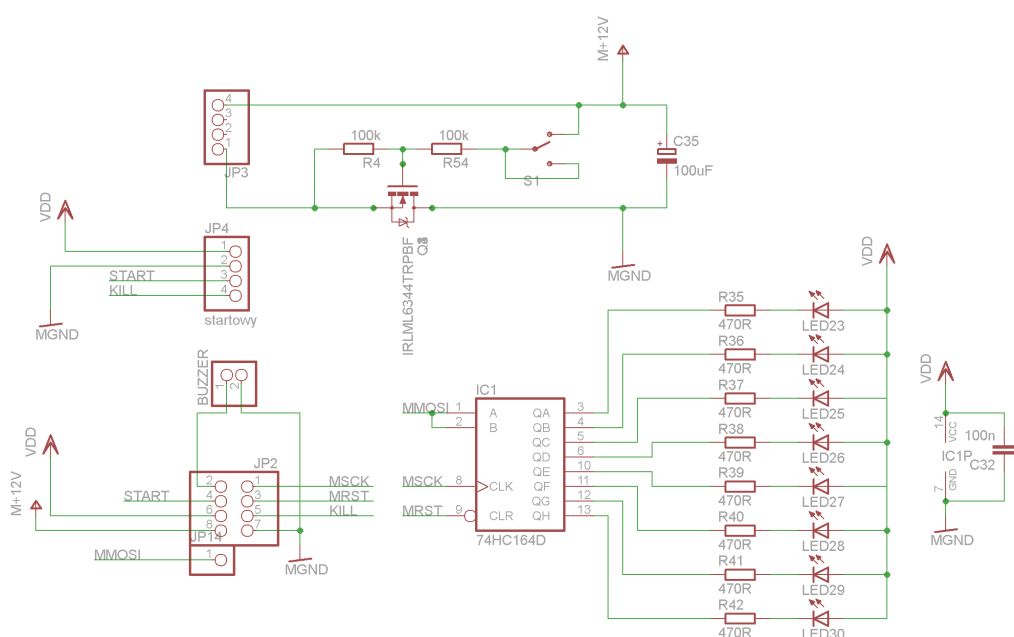
Na płytce znajduje się też szereg złącz. Są to konektory do płytek czujników linii, interfejsu i złącze SWD służące do programowania i debugowania mikrokontrolera.

Na centralnej PCB znajdują się także sterowniki silników. Są to układy Toshiba TB6612FNG w standardowej aplikacji ze zmostkowanymi kanałami zwiększającymi wydajność prądową układu (przy okazji zmniejszając rezystancję wewnętrzną tychże).



Rysunek 10: Projekt płytki głównej

W celu komunikacji ze światem zewnętrznym zaprojektowana została płytka, składana "na kanapkę" z płytką główną. Na niej mieści się multiplekser 74HC164 podłączony do szyny SPI mikrokontrolera, którego wyjścia są z kolei podłączone do diod LED. Dzięki temu używając tylko dwóch linii (SCK i MOSI) możemy sterować ośmioma diodami, czyli wyświetlać 256 różnych kombinacji (na dwóch liniach byłyby tylko 4). Dzięki wykorzystaniu sprzętowego interfejsu, zmiana stanów diod może odbywać się bez obciążania jednostki centralnej programową implementacją protokołu SPI.



Rysunek 11: Schemat interfejsu

Robot wyposażony został również w niewielki głośniczek, który jest podłączony do jednego z wolnych wyjść driverów TC4427. Sterowany jest on jednym z timerów mikrokontrolera.

Na tej samej płytce umieszczone zostało także złącze dla standardowego modułu startowego, obowiązkowego w kategorii minisumo. Jest też złącze akumulatora wraz z zabezpieczeniem przed odwrotną polaryzacją i wyłącznik (szybkie odłączenie akumulatora nie wchodzi w grę, ze względu na zamknięcie go w obudowie skrecanej śrubami).

## 4 Zakończenie

Jest to jak na razie najbardziej skomplikowany robot jakiego projektowałem. Absolutnie nie jest w myśl zasady KISS (Keep It Simple, Stupid), co zaowocowało podczas uruchamiania. Na zawodach robot wystartował ślepy, gdyż czujniki przeciwnika nie były jeszcze dokończone, co oczywiście skutkowałem pozostaniem w grupie. Okazało się jednak, że część robotów miała problem z zauważeniem go. Za jeden z większych błędów uważam zastosowanie mikrokontrolera w obudowie LQFP100 - katorga podczas lutowania i wysoka cena. Jednak ten błąd okazał się ułatwieniem gdy na 2-3 dni przed zawodami mikrokontroler uległ uszkodzeniu wskutek zwarcia jednego pinu z plusem akumulatora (TB6612 ma piny PWM i VMOT obok siebie, zostały zmostkowane i mikrokontroler nie przetrwał). Jako, że miałem pod ręką Discovery, szybko naprawiłem usterkę. W kolejnej rewizji PCB (a na pewno powstanie, ze względu na IMU i kilku mniej ważnych błędów naprawionych kynarem) zastosuję mikrokontroler w mniejszej obudowie.

## Literatura

- [1] Magnat Cyber Forge Team (publikował Krzema). *[Minisumo] Enova Minisumo*. <http://www.forbot.pl/forum/topics7/minisumo-enova-minisumo-vt9961.htm?sid=b7a63e015be55a65dd4b315b21374526>, 2014.
- [2] Karol Sydor. *Raport z budowa robota mobilnego klasy minisumo "Shine"*. <http://konar.pwr.edu.pl/index.php/pobieralnia/category/9-minisumo?download=53:shine>, 2009.
- [3] Peter Waller (PeterW). *Insumountable*. <http://er-online.co.uk/minisumo/forum/viewtopic.php?f=6&t=261&sid=2efeba90c3c97b500221e470b0> 2007.
- [4] Peter Waller (PeterW). *Stealth2*. <http://er-online.co.uk/minisumo/forum/viewtopic.php?f=6&t=433&sid=793ff5f2f3e601062f2e739f666c> 2008.