



# KoNaR

KOŁO NAUKOWE ROBOTYKÓW

---

## Projekt inżynierski

Udostępniono dla Koła Naukowego Robotyków „KoNaR”

---

Adam Pyka

Wrocław 2011



POLITECHNIKA WROCŁAWSKA  
WYDZIAŁ ELEKTRONIKI

---

KIERUNEK: Automatyka i Robotyka (AIR)  
SPECJALNOŚĆ: Robotyka (ARR)

**PROJEKT INŻYNIERSKI**

Detekcja zderzeń w robotach mobilnych

Collision detection in mobile robots

AUTOR:  
Adam Pyka

PROWADZĄCY PRACĘ:  
dr inż. Marek Wnuk, I-6

OCENA PRACY:



# Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Cel i zakres pracy</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Przegląd wybranych sensorów</b>	<b>9</b>
3.1	Akcelerometry . . . . .	9
3.1.1	Budowa akcelerometru pojemnościowego . . . . .	9
3.1.2	Budowa akcelerometru piezorezystywnego . . . . .	9
3.2	Detekcja zderzeń — parametry . . . . .	10
3.3	Możliwe rozwiązania . . . . .	11
3.4	Charakterystyka wybranych czujników . . . . .	11
3.4.1	MMA2202KEG i MMA1212D, Freescale Semiconductor . . . . .	12
3.4.2	SA20, SensoNor . . . . .	12
3.4.3	ADIS16204, Analog Devices . . . . .	13
<b>4</b>	<b>Stanowisko testowe</b>	<b>15</b>
4.1	Moduł pomiarowy . . . . .	15
4.1.1	Czujniki akcelerometryczne . . . . .	16
4.1.2	Przetwornik analogowo – cyfrowy, układ klawiatury . . . . .	16
4.1.3	Mikrokontroler i układy komunikacji . . . . .	17
4.1.4	Układ zasilania . . . . .	17
4.1.5	Projekt płytki drukowanej . . . . .	18
4.2	Wykonanie modułu testowego . . . . .	18
<b>5</b>	<b>Robot <i>Micro Sumo</i></b>	<b>21</b>
5.1	Mechanika robota . . . . .	21
5.1.1	Koła . . . . .	22
5.1.2	Silniki . . . . .	23
5.2	Projekt elektroniki . . . . .	23
5.2.1	Moduł czujników białej linii . . . . .	23
5.2.2	Moduł układu mikrokontrolera i dalmierzy optycznych . . . . .	24
5.2.3	Moduł <i>driverów</i> silników i układu zasilania . . . . .	25
5.2.4	Akumulator zasilający . . . . .	27
5.3	Projekt, wykonanie i montaż płytki drukowanej . . . . .	27
5.3.1	Moduł czujników linii . . . . .	28
5.3.2	Moduł mikrokontrolera i dalmierzy optycznych . . . . .	28
5.3.3	Moduł mostków mocy silników oraz układu zasilania . . . . .	28
5.4	Montaż robota . . . . .	30
5.5	Oprogramowanie . . . . .	30

<b>6</b>	<b>Pomiary i analiza charakterystyk zderzeń</b>	<b>35</b>
6.1	Moduł pomiarowy . . . . .	35
6.1.1	Środowisko testowe . . . . .	35
6.1.2	Przebieg badań . . . . .	36
6.1.3	Zderzenie czołowe . . . . .	37
6.1.4	Zderzenie kątowe . . . . .	39
6.2	Robot <i>Micro Sumo</i> . . . . .	39
6.2.1	Środowisko testowe . . . . .	39
6.2.2	Oprogramowanie wizualizacyjno - rejestrujące . . . . .	40
6.2.3	Przebieg badania . . . . .	41
6.2.4	Zderzenie czołowe . . . . .	41
6.2.5	Zderzenie kątowe . . . . .	42
<b>7</b>	<b>Podsumowanie</b>	<b>45</b>
<b>A</b>	<b>Moduł pomiarowy</b>	<b>47</b>
A.1	Schemat ideowy . . . . .	48
A.2	Mozaiki <i>PCB</i> . . . . .	49
A.3	Logika połączeń . . . . .	50
<b>B</b>	<b><i>Micro Sumo</i></b>	<b>51</b>
B.1	Schematy ideowe . . . . .	51
B.2	Mozaiki <i>PCB</i> . . . . .	55
B.3	Logika połączeń . . . . .	58
	<b>Bibliografia</b>	<b>60</b>

# Rozdział 1

## Wstęp

Detekcja zderzeń jest wymagana w wielu urządzeniach technicznych. Trudno wyobrazić sobie działanie dysków twardych w laptopach czy innych przenośnych urządzeniach bez układu tłumienia drgań głowic.

Ponadto, detekcja zderzenia jest konieczna do zapewnienia bezpieczeństwa w motoryzacji - to właśnie akcelerometr jest pierwszym elementem łańcucha zapewniającego uruchomienie poduszek powietrznych w razie wypadku samochodowego.

Producenci urządzeń elektronicznych poszukują nowych rozwiązań zwiększających komfort użytkowania sprzętu - z pomocą przychodzi im akcelerometr, pozwalający wykrywać wstrząsy, które można następnie wykorzystać do sterowania funkcjami danego urządzenia.

W końcu, detekcja zderzeń może służyć także do nawigacji robotów mobilnych. Analizując walki robotów typu *sumo* nie spotkano dotychczas rozwiązań, które wspomagałyby robota w przypadku uderzenia go przez przeciwnika. Niniejsze opracowanie ma stanowić podwaliny do implementacji nawigacji tego typu.





# Rozdział 2

## Cel i zakres pracy

Celem pracy było wykonanie układu do wykrywania zderzeń oraz jego implementacja w robocie mobilnym. Wynikiem pracy mają być charakterystyki zderzeń robota mobilnego z przeszkodą nieruchomą. Zakres pracy obejmuje zaprojektowanie i wykonanie stanowiska testowego wraz z jego oprogramowaniem, przeprowadzenie testów zderzeniowych w warunkach laboratoryjnych, następnie implementacja wybranego rozwiązania w zaprojektowanym i wykonanym mobilnym robocie typu *Micro Sumo* wraz z pozyskaniem charakterystyk zderzeń.



# Rozdział 3

## Przegląd wybranych sensorów

### 3.1 Akcelerometry

Akcelerometr jest urządzeniem umożliwiającym pomiar działającego na niego przyspieszenia liniowego. Obecnie produkowane akcelerometry wykonane są w technologii MEMS<sup>1</sup>. W pojedynczej hermetycznej obudowie, najczęściej typu SMD, zamknięta jest komora pomiarowa oraz często także układ przetwarzania sygnału.

#### 3.1.1 Budowa akcelerometru pojemnościowego

Komora pomiarowa jest strukturą uformowaną z materiału półprzewodnikowego (krzemu polikrystalicznego) przy użyciu technik produkcji materiałów półprzewodnikowych (maskowanie i wytrawianie). Uformowanie tworzy zestaw belek przymocowanych do ruchomej centralnej masy, poruszającej się pomiędzy stałymi belkami. Ruchome belki pod wpływem przyspieszenia odchylają się od swojej pozycji (rys. 3.1).

Kiedy belki przymocowane do centralnej masy poruszają się, odległość od nich do stałych belek z jednej strony wzrośnie, a z drugiej strony zmaleje o taką samą wartość, zależną od wartości przyspieszenia układu.

Belki komory tworzą dzielnik pojemnościowy (rys. 3.1). Gdy środkowa okładka kondensatora poruszy się pod wpływem przyspieszenia, zmieni się liniowo odległość pomiędzy belkami, a w efekcie pojemność kondensatora

Układ ASIC<sup>2</sup> używa techniki przełączanej pojemności do pomiaru wartości pojemności kondensatorów komory czujnika i wydobywa użyteczne dane z różnicy zmierzonych pojemności. Ponadto, ASIC przetwarza i filtruje sygnał, dając na wyjściu napięcie proporcjonalne do przyspieszenia. Spotykane są także układy posiadające wbudowany przetwornik ADC<sup>3</sup>, dający na wyjściu sygnał cyfrowy.

#### 3.1.2 Budowa akcelerometru piezorezystywnego

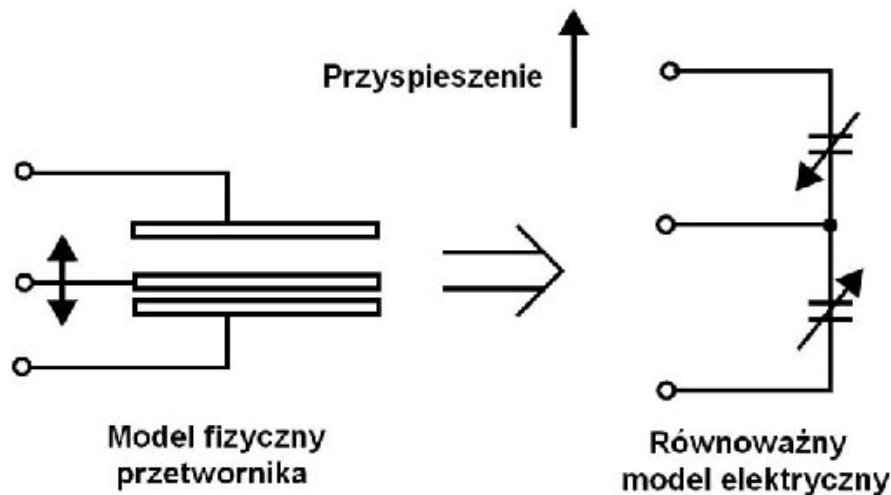
Podobnie jak w akcelerometrze pojemnościowym (par. 3.1.1), w komorze pomiarowej uformowana jest belka pomiarowa, na końcu której zamontowana jest ceramiczna masa. Mostek piezorezystywny zbudowany jest z dwóch poprzecznych i dwóch podłużnych piezorezystorów umiejscowionych w obszarze maksymalnego działania siły.

---

<sup>1</sup>Micro-Electro-Mechanical Systems

<sup>2</sup>Application Specific Integrated Circuit

<sup>3</sup>Analog-to-digital converter



Rysunek 3.1 Modele akcelerometru pojemnościowego

Komora pomiarowa wypełniona jest olejem silikonowym o odpowiedniej lepkości, co zapewnia tłumienie drgań własnych belki pomiarowej. Cienka membrana zatopiona w obudowie wyrównuje ciśnienie oleju we wnętrzu komory przy zmianach temperatury pracy czujnika.

Bezwładność masy pomiarowej poddanej działaniu przyspieszenia powoduje ugięcie belki pomiarowej. Piezorezystory umiejscowione na jej powierzchni doznają silnego udaru siły, co powoduje zmianę wartości ich rezystancji na skutek efektu piezorezystywnego w domieszkowanym krzemie. Zmiana rezystancji dla piezorezystorów poprzecznych i podłużnych będzie przeciwnych znaków, co pozwala utworzyć na wyjściu konfigurację pełnomostkową, cechującą się dobrą stabilnością temperaturową.

Czułość poprzeczna jest niska ze względu na symetryczne umieszczenie masy pomiarowej względem płaszczyzny gięcia.

## 3.2 Detekcja zderzeń — parametry

Przyspieszenie definiuje się jako pochodną prędkości po czasie – jest to miara zmienności prędkości. Przyspieszenie jest wielkością wektorową, gdy jej zwrot jest skierowany przeciwnie do zwrotu prędkości ruchu, to prędkość maleje, a przyspieszenie nazywamy opóźnieniem.

Akcelerometr jest przyrządem pozwalającym zmierzyć wartość przyspieszenia (opóźnienia) oraz określić jego zwrot. W przypadku zderzenia, nastąpi gwałtowny spadek wartości prędkości, czyli gwałtownie wzrośnie wartość opóźnienia.

Z definicji przyspieszenia (opóźnienia) można oszacować jego wartość, znając wartość prędkości badanego ciała (w tym przypadku robota). Problematiczne jest wyznaczenie czasu, w jakim następuje zderzenie. Czas ten zależy od rodzaju zderzenia i strefy zgniotu, która zależy od rodzaju materiału z jakiego zbudowany jest robot oraz od materiału z którym się zderza. Szacunki są bardzo problematyczne i złe oszacowanie zmienia o rząd wartość spodziewanego przyspieszenia (opóźnienia).

Z pomocą w oszacowaniu przychodzi literatura [5]. W opracowaniu autor zamieszcza wykres wartości przyspieszenia od czasu, dla zderzenia samochodu-zabawki ze sztywnym

zderzakiem. Z wykresu odczytano, że maksymalna amplituda opóźnienia wyniosła około 45g w czasie 1ms.

Podobnie, w opracowaniu [6] zamieszczona została charakterystyka czasowa typowego stuknięcia w górną obudowę pagera. W chwili uderzenia, akcelerometr doznaje przyspieszenia o wartości ponad 50g, w czasie nie dłuższym niż 3ms.

W literaturze [10] autor przedstawia charakterystyki czasowe wartości przyspieszenia w przypadku upadku robota bądź detekcji ruchu. Spodziewane wartości przyspieszeń mieszczą się w przedziale  $\pm 6g$ , co jest wartością dość małą i łatwą do pomiaru.

Na podstawie wykresów w obu powyższych opracowaniach zdecydowano, że spodziewana wartość przyspieszenia (opóźnienia) działająca na małego robota mobilnego nie powinna przekroczyć 60g, zatem należy znaleźć akcelerometr cechujący się zakresem pomiarowym tego rzędu.

### 3.3 Możliwe rozwiązania

Wśród producentów akcelerometrów prym wiodą Freescale Semiconductor, Analog Devices, ST Microelectronic, MemsIC oraz SensoNor. Przeanalizowane zostały katalogi wszystkich wymienionych firm pod kątem produktów spełniających wymaganie dużego zakresu pomiarowego (*high-g accelerometers*).

Niestety, jedynie produkty firm Freescale, Analog Devices oraz SensoNor spełniały wymagania. Pozostali producenci nie mają w ofercie akcelerometrów z zakresem co najmniej  $\pm 50g$ .

W ramach kursu „Projekt zespołowy” realizowanego na 6 semestrze studiów, przeanalizowano dostępne sensory pod kątem możliwości wykorzystania do niniejszego projektu. W katalogach producentów znaleziono następujące serie czujników:

- Analog Devices: ADXLxxx (analogowe), ADISxxxxx (cyfrowe),
- Freescale Semiconductors: MMA22xx, MMA32xx, MMA12xx (analogowe),
- SensoNor: SAxx (analogowe).

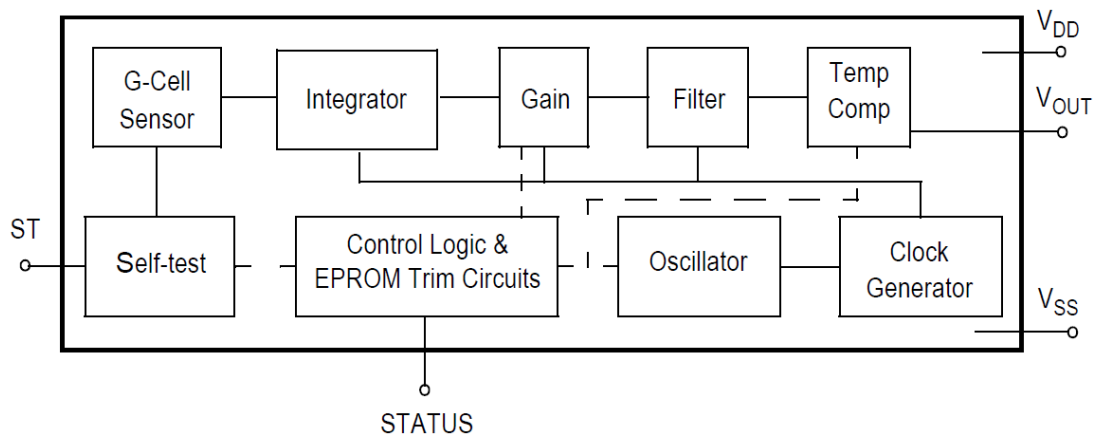
### 3.4 Charakterystyka wybranych czujników

Spośród wymienionych w rozdziale 3.3 seriach akcelerometrów wybrano następujące modele:

- MMA2202KEG, Freescale Semiconductor,
- MMA1212D, Freescale Semiconductor,
- SA20, SensoNor,
- ADIS16204, Analog Devices.

### 3.4.1 MMA2202KEG i MMA1212D, Freescale Semiconductor

Akcelerometry MMA2202KEG i MMA1212D firmy Freescale Semiconductor [15] są jednoosiowymi (oś X), pojemnościowymi, analogowymi akcelerometrami MEMS, pracującymi w zakresie  $\pm 50g$  (MMA2202KEG) oraz  $\pm 200g$  (MMA1212D). Czujniki te wyposażono w 4-biegunowy dolnoprzepustowy filtr Bessela, *self-test* oraz kompensację temperatury. Akcelerometry są fabrycznie skalowane i nie wymagają żadnych zewnętrznych elementów do poprawnego działania.



Rysunek 3.2 Uproszczony schemat blokowy akcelerometrów serii MMA22xx oraz MMA12xx /Freescale/

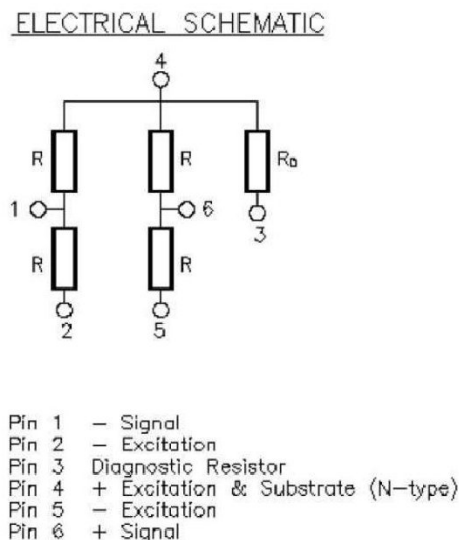
Podstawowe dane techniczne akcelerometrów są następujące:

- zakres pomiarowy:  $\pm 50g$  (MMA2202KEG),  $\pm 200g$  (MMA1212D)
- napięcie zasilania: 5V
- pobór prądu: 5mA
- napięcie braku akceleracji: 2,5V
- czułość: 40mV/g (MMA2202KEG), 10mV/g (MMA1212D)
- *self-test*
- częstotliwość rezonansowa obudowy: 10kHz
- obudowa: SOIC-16

Zakres zastosowań akcelerometrów to m. in. monitoring i rejestracja wibracji, ochrona dysków twardych, mysze, joysticki i inne urządzenia wejścia, systemy monitoringu sportowego.

### 3.4.2 SA20, SensoNor

Akcelerometr SA20 firmy SensoNor [18] jest jednoosiowym, piezorezystywnym, analogowym akcelerometrem MEMS, pracującym liniowo w zakresie  $\pm 50g$  oraz nieliniowo do  $\pm 1500g$ . Czujnik oprócz mostka pomiarowego nie posiada żadnego układu przetwarzania



Rysunek 3.3 Schemat elektryczny akcelerometru SA20 /*SensoNor*/

sygnału, zatem konieczne jest jego zewnętrzne wykonanie. Akcelerometr ten występuje w różnych niestandardowych obudowach, w zależności od docelowego zastosowania.

Parametry techniczne akcelerometru są następujące:

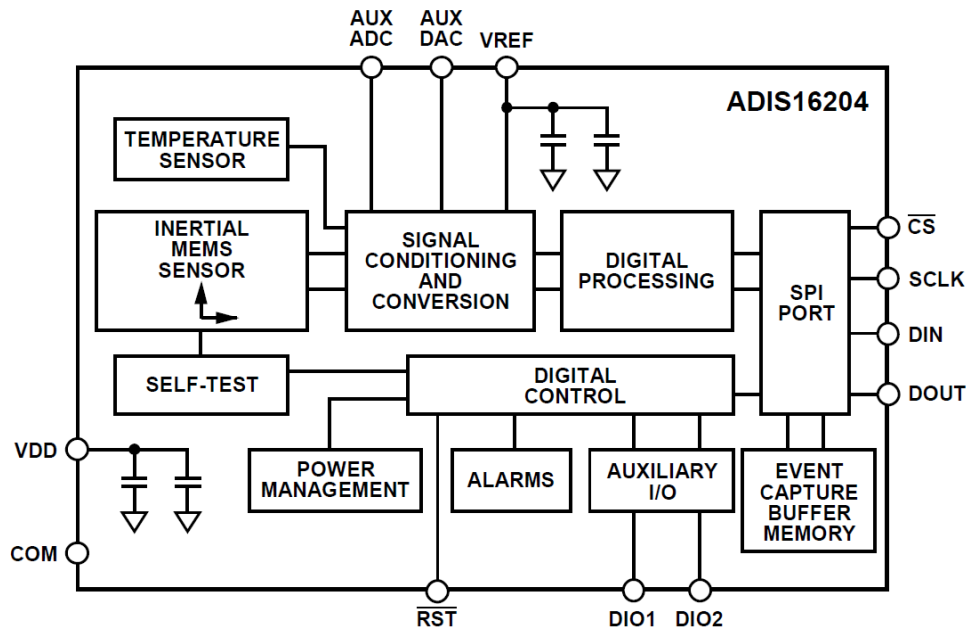
- liniowy zakres pomiarowy:  $\pm 50g$
- maksymalny zakres pomiarowy:  $\pm 1500g$
- napięcie zasilania: max 10V DC lub AC
- rezystancja rezystorów mostka (0g):  $5,5k\Omega$
- rezystancja rezystora diagnostycznego (0g):  $15,5k\Omega$
- czułość ( $V_{cc}=5V$ ):  $0,25mV/g$
- obudowa: SIL

Zakres zastosowań akcelerometru obejmuje głównie systemy uruchamiania poduszek powietrznych (AirBag) w samochodach. Producent deklaruje, że jest to już druga generacja czujników, zapewniająca firmie czołowe miejsce wśród producentów akcelerometrów dla przemysłu motoryzacyjnego.

### 3.4.3 ADIS16204, Analog Devices

Układ ADIS16204 firmy Analog Devices jest cyfrowym, dwuosiowym, programowalnym rejestratorem akcelerometrycznym wykonanym w technologii iSensor, pracującym w zakresie  $\pm 70g$  (oś X) oraz  $\pm 35$  (oś Y). Układ ten charakteryzuje się wbudowanym procesorem sygnałowym w wyniku czego możliwy jest bezpośredni odczyt wymaganych parametrów w formie cyfrowej poprzez standardową magistralę SPI. Urządzenie dostarcza znaczny zbiór rejestrów, w których znaleźć można m. in. rejestry wartości szczytowych, średnie wartości akceleracji czy też rejestry konfigurowalnych progów alarmowych. Budowę logiczną układu przedstawia rysunek 3.4.

Parametry techniczne układu ADIS16204 przedstawiają się następująco:



Rysunek 3.4 Schemat blokowy akcelerometru ADIS16204 /Analog Devices/

- zakres pomiarowy:  $\pm 70g$  (oś X),  $\pm 35g$  (oś Y)
- napięcie zasilania: 3,3V
- pobór prądu: 15mA
- rozdzielczość pomiarowa: 14 bitów
- czułość: 17,125 mg/LSB (oś X), 8,407 mg/LSB (oś Y)
- *self-test*
- rejestrator zdarzeń (podwójny 1k x 16bit)
- rejestr wartości szczytowych
- dwubiegunowy filtr Bessela, 400Hz
- dwie linie I/O
- 12-bitowy przetwornik ADC
- 12-bitowy przetwornik DAC
- wbudowany czujnik temperatury
- obudowa: 9,2 x 9,2 x 3,9mm LGA

Układ ADIS16204 został zaprojektowany do pracy w rejestratorach uderzeń i zderzeń, ponadto znajduje zastosowanie w monitoringu cennych przesyłek, wyłącznikach bezpieczeństwa oraz detektorach wibracji.



# Rozdział 4

## Stanowisko testowe

Detekcja zderzeń w robotach mobilnych wymaga specyficznego podejścia do układu pomiarowego czujnika akcelerometrycznego. W zastosowaniach IMU<sup>1</sup>, gdzie mierzone przyspieszenie (akceleracja) jest wykorzystywana dalej do nawigacji robota, konieczne jest zastosowanie czujników na małą wartość przyspieszenia  $g$ . Wyższe wartości traktowane są jako szумы i wycinane przez odpowiednią filtrację sygnału. Dla detekcji zderzeń konieczne jest wykrywanie stosunkowo krótkich szpilek sygnałów o dużych amplitudach, stąd nieco inna koncepcja układu pomiarowego.

W celu sprawdzenia poprawności koncepcji pomiaru metodą gęstego próbkowania oraz porównania wybranych sensorów akcelerometrycznych, zdecydowano się na konstrukcję osobnego modułu testowego, który będzie samodzielnie przetwarzał sygnały z czujników i po odpowiedniej obróbce przesyłał do komputera w celu dalszej analizy.

### 4.1 Moduł pomiarowy

Moduł pomiarowy został wykonany w ramach kursu „Projekt zespołowy” realizowanego na semestrze 6 studiów. W wyniku pracy powstało opracowanie [12] w którym zawarta jest pełna dokumentacja techniczna konstrukcji.

Moduł pomiarowy (rys. 4.1) składa się z trzech akcelerometrów i piezorezystywnego czujnika przyspieszeń wraz z układem dopasowującym sygnał i przetwornikiem analogowo-cyfrowym. Sygnał cyfrowy obrabiany jest przez mikrokontroler, który steruje również alfanumerycznym wyświetlaczem LCD oraz obsługuje klawiaturę. Wymagane napięcia otrzymywane są z wbudowanej przetwornicy napięcia oraz stabilizatorów. Całość zasilana jest z napięcia stałego 7,5V/0,4A .. 15V/0,2A.

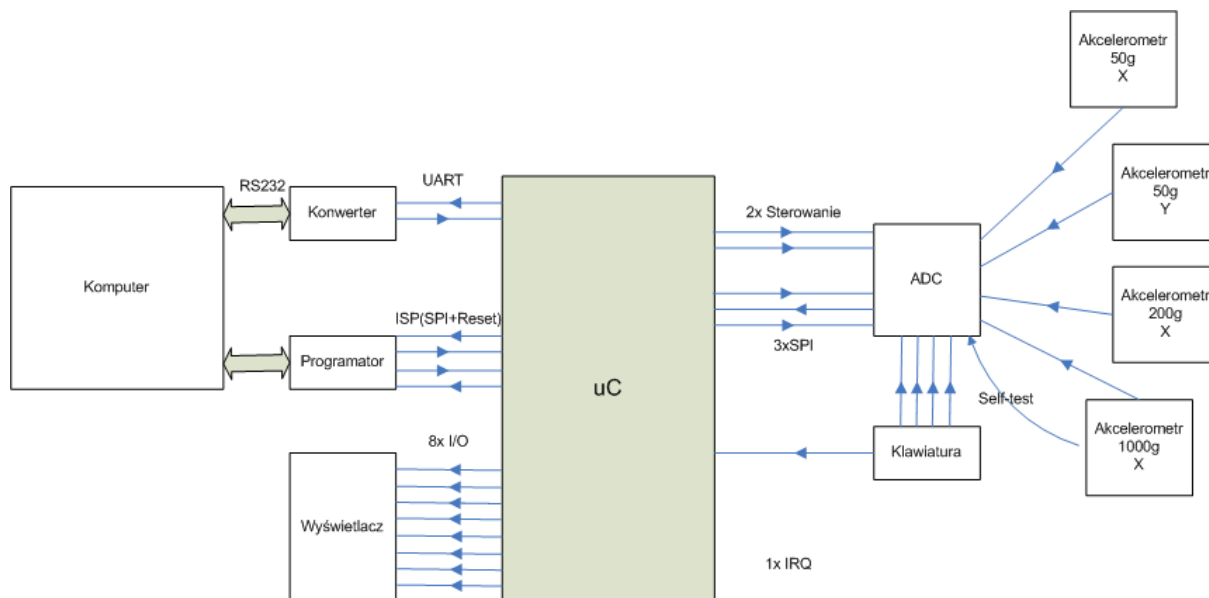
Schemat ideowy modułu pomiarowego załączono w dodatku A, na rys. A.1. Schemat ten jest oryginałem pierwotnego modułu, który na skutek szeregu wykrytych błędów koncepcyjnych powstałych na etapie projektowania uległ dość znacznej modyfikacji.

W module pomiarowym można wyróżnić bloki realizujące poszczególne funkcje modułu:

- blok czujników akcelerometrycznych
- blok przetwornika analogowo-cyfrowego i klawiatury
- blok mikrokontrolera sterującego i układy komunikacji
- blok układu zasilania

---

<sup>1</sup>*Inertial Measurement Unit*



Rysunek 4.1 Schemat blokowy modułu pomiarowego

#### 4.1.1 Czujniki akcelerometryczne

Na płycie modułu, w części centralnej zostały umieszczone prostopadle względem siebie dwa akcelerometry MMA2202EG [15] firmy Freescale Semiconductors. Ich prostopadłe umieszczenie pozwala na pomiar przyspieszenia w osi zarówno X jak i Y. Za oś X uznano oś równoległą do dłuższego boku modułu pomiarowego. Oprócz ww. akcelerometrów stanowiących niejako główny układ pomiarowy, w celach porównawczych, zamontowany został jednoosiowy analogowy akcelerometr MMA1212D [14].

Wyżej wymienione czujniki dają na wyjściu sygnał napięciowy w zakresie 0..5V z wartością 2,5V przy braku akceleracji. Wyjścia napięciowe zostały podłączone do przetwornika analogowo-cyfrowego. Wyjścia diagnostyczne oraz wejścia żądania zwrócenia stanu poprawności działania zostały podłączone bezpośrednio do wyprowadzeń mikrokontrolera.

Ponadto, na płycie umieszczono również piezorezystywny czujnik serii SA20 [18] firmy SensoNor. Czujnik ten sprawia najwięcej kłopotu z powodu konieczności pomiaru sygnału z przekątnej mostka pomiarowego. Konieczne było zatem dobudowanie układu wzmacniacza różnicowego. Został on wykonany w oparciu o dedykowany scalony wzmacniacz różnicowy AD830 [7] i jest jego standardową aplikacją o wzmacnieniu równym 1. Jediną modyfikacją było podciągnięcie napięcia wyjściowego o połowę wartości napięcia zasilania, tj. o 2,5V, celem dostosowania do przyjętego standardu zerowej wartości przyspieszenia przy napięciu wyjściowym równym 2,5V. W celu umożliwienia precyzyjnego ustawienia napięcia zrównoważenia mostka został dodany potencjometr regulujący.

#### 4.1.2 Przetwornik analogowo – cyfrowy, układ klawiatury

Na podstawie literatury [5] [6] wywnioskowano, że spodziewane piki przyspieszeń przy zderzeniach małych robotów mobilnych będą trwałe około 1ms. Zatem zgodnie z twierdzeniem Kotielnikowa-Shannona, należy próbkować sygnał co najmniej dwukrotnie częściej. Zdecydowano się na wykorzystanie 200kpsps, 12-bitowego, 11 kanałowego przetwornika analogowo-cyfrowego TLV2556 [9] firmy Texas Instruments. Układ ten komunikuje się poprzez magistralę SPI z mikrokontrolerem, co pozwala na szybką wymianę danych.

Do kanałów przetwornika zostały podłączone akcelerometry poprzez dolnoprzepustowe filtry RC o częstotliwości granicznej 16kHz, mające za zadanie wy tłumienie zakłóceń z ich wewnętrznych generatorów pomiarowych. Oprócz akcelerometrów, zostało podłączone również wyjście wzmacniacza różnicowego czujnika piezorezystywnego oraz rezystor kontroli działania czujnika. Cztery pozostałe, niewykorzystane kanały przetwornika zostały podciągnięte do szyny zasilania i podłączone poprzez mikroprzełączniki do masy. Układ ten stanowi klawiaturę pozwalającą na poruszanie się po menu modułu testowego. Na płycie modułu występuje także pojedynczy przycisk podłączony bezpośrednio do wyprowadzenia mikrokontrolera. Jego zastosowanie pozwoliło na ignorowanie w trybie normalnej pracy stanu klawiatury – dopiero jego wciśnięcie powoduje wejście w procedurę zczywania stanu klawiatury.

Tabela A.3 załączona w dodatku A podsumowuje logikę połączeń akcelerometrów do przetwornika analogowo-cyfrowego.

### 4.1.3 Mikrokontroler i układy komunikacji

Sercem modułu jest mikrokontroler AtMega8 [2] firmy Atmel. Jest to 8-bitowy mikrokontroler w architekturze RISC. Mikrokontroler AtMega8 został wybrany ze względu na swoją prostotę, w zupełności wystarczającą do obsługi takiej aplikacji pomiarowej oraz dużą dostępność.

Zdecydowano, że komunikacja modułu ze światem zewnętrznym odbywać się będzie poprzez szeregowy interfejs UART <sup>2</sup>. Na płycie wyprowadzone zostały odpowiednie wyprowadzenia mikrokontrolera, przez co możliwe jest podłączenie przejściówki na RS232, Bluetooth lub USB.

Oprócz złącza szeregowego, moduł wyposażony został w złącze wyświetlacza alfanumerycznego LCD 2x16 znaków, o sterowniku zgodnym z HD44780. Wyświetlacz został podłączony bezpośrednio do portu mikrokontrolera.

Tabela A.3 załączona w dodatku A opisuje użycie wyprowadzeń mikrokontrolera. Jest to zmodyfikowana wersja opisu, uwzględniająca korektę błędów schematu ideowego oraz PCB <sup>3</sup>, związanego ze wspomnianymi wcześniej błędami projektowymi.

### 4.1.4 Układ zasilania

Moduł testowy wymaga symetrycznego napięcia zasilającego  $\pm 5V$ . Napięcie asymetryczne 5V zasila wszystkie układy scalone i uzyskiwane jest ze stabilizatora 78L05 [17]. Czujnik piezorezystywny wraz ze wzmacniaczem różnicowym zasilany jest z napięcia symetrycznego, zatem konieczne było zbudowanie przetwornicy napięcia ujemnego w oparciu o układ ICL7662 [16]. Przetwornica ta charakteryzuje się niestety małą wartością prądu wyjściowego, co ogranicza obszar jej zastosowań. Układ podświetlania wyświetlacza LCD zamontowanego w module, ze względu na znaczny pobór prądu diod podświetlających i powodowanych przez to spadków napięć, zasilany jest z osobnego stabilizatora 5V. Ze względu na fakt, że stabilizator w podstawowej aplikacji dostarcza jedynie 100mA prądu, a standardowe wyświetlacze 2x16 pobierają ponad 140mA, konieczne było zastosowanie zewnętrznego tranzystora regulującego. Układ stabilizacji o zwiększonym prądzie został szczegółowo przedstawiony w dokumentacji [17] stabilizatora.

---

<sup>2</sup> *Universal Asynchronous Receiver and Transmitter*

<sup>3</sup> *Printed Circuit Board*

### 4.1.5 Projekt płytki drukowanej

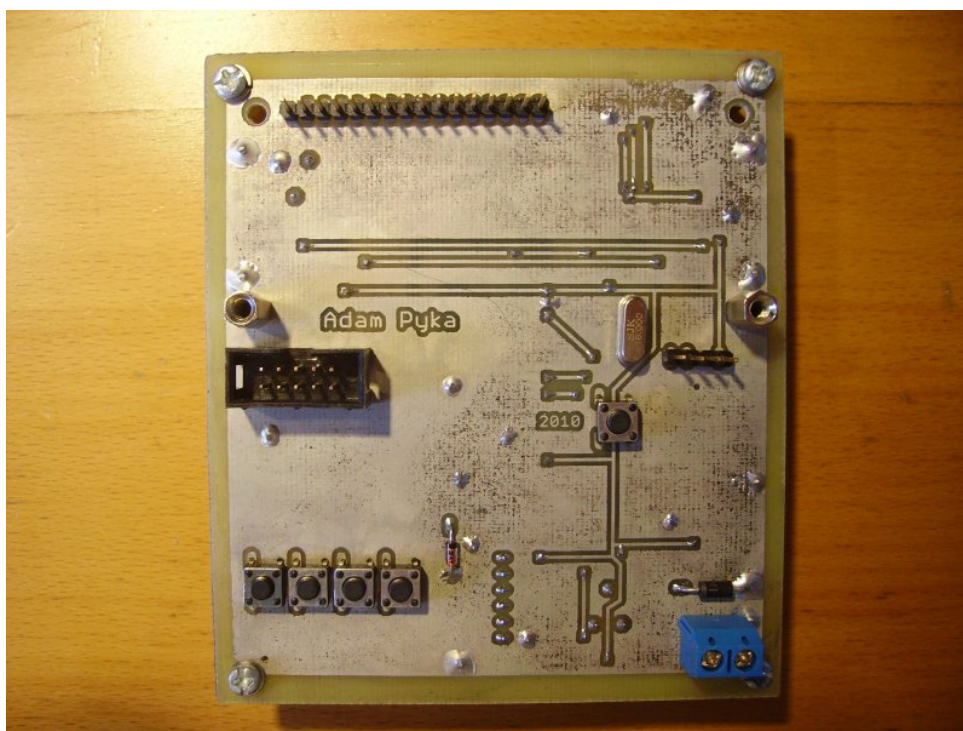
Schemat ideowy jak i płytki drukowana modułu testowego zostały zaprojektowane przy użyciu narzędzia do wspomagania projektowania układów elektronicznych Eagle [4] firmy CadSoft w wersji edukacyjnej, udostępnianej za darmo na stronie producenta.

Płytki drukowana ze względu na stopień skomplikowania została wykonana jako dwuwarstwowa. Warstwa dolna, będąca tak naprawdę warstwą górną docelowego urządzenia, zawiera wyświetlacz LCD, klawiaturę, przycisk menu, diody zabezpieczające, kwarc oraz złącza komunikacyjne, programowania i zasilania. Warstwa góra zawiera pozostałe elementy. Wolne pola na płytce zostały wypełnione masą, co ma na celu spełnienie kryteriów kompatybilności elektromagnetycznej (EMC<sup>4</sup>).

Mozaiki ścieżek obu warstw *PCB* przedstawiają rysunki A.2 i A.3 załączone w dodatku A.

## 4.2 Wykonanie modułu testowego

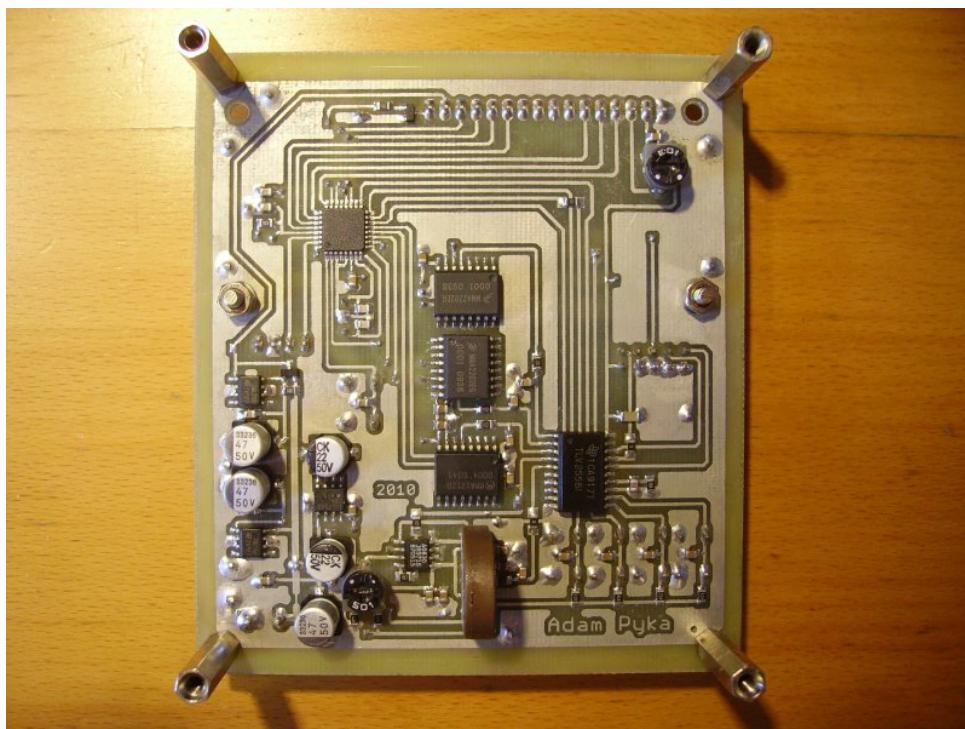
Moduł testowy wykonano na dwustronnym laminacie epoksydowo-szklanym metodą termotransferu. Fotografie zmontowanego układu (bez wyświetlacza) przedstawiają fotografie 4.2 i 4.3.



Rysunek 4.2 Fotografia modułu – warstwa dolna

---

<sup>4</sup> *ElectroMagnetic Compatibility*



Rysunek 4.3 Fotografia modułu – warstwa górna



# Rozdział 5

## Robot *Micro Sumo*

Robot klasy *Micro Sumo* jest małym robotem mobilnym klasy (1,0). Regulamin zawodów robotów tego typu silnie ogranicza konstrukcję mechaniczną robota w chwili startu do wymiarów sześcianu o boku 50mm. Ponadto, całkowita masa robota nie może przekraczać 100g. Zatem głównym problemem przy realizacji zadania projektowego będzie zmieszczenie stosunkowo dużego układu napędowego, który będzie w stanie przepchnąć przeciwnika, do tak małej obudowy.

Ze względu na ograniczone wymiary, robot musi posiadać zwartą budowę. Pierwsza koncepcja ramy nośnej z profili aluminiowych została szybko odrzucona ze względu na brak miejsca oraz odpowiednich narzędzi pozwalających na wycięcie kształtów. Innym możliwym rozwiązaniem była budowa „kanapkowa”, na którą się zdecydowano. Poszczególne elementy tworzą moduły, które zapewniają poszczególne funkcjonalności.

W modelu koncepcyjnym wyróżniono następujące moduły:

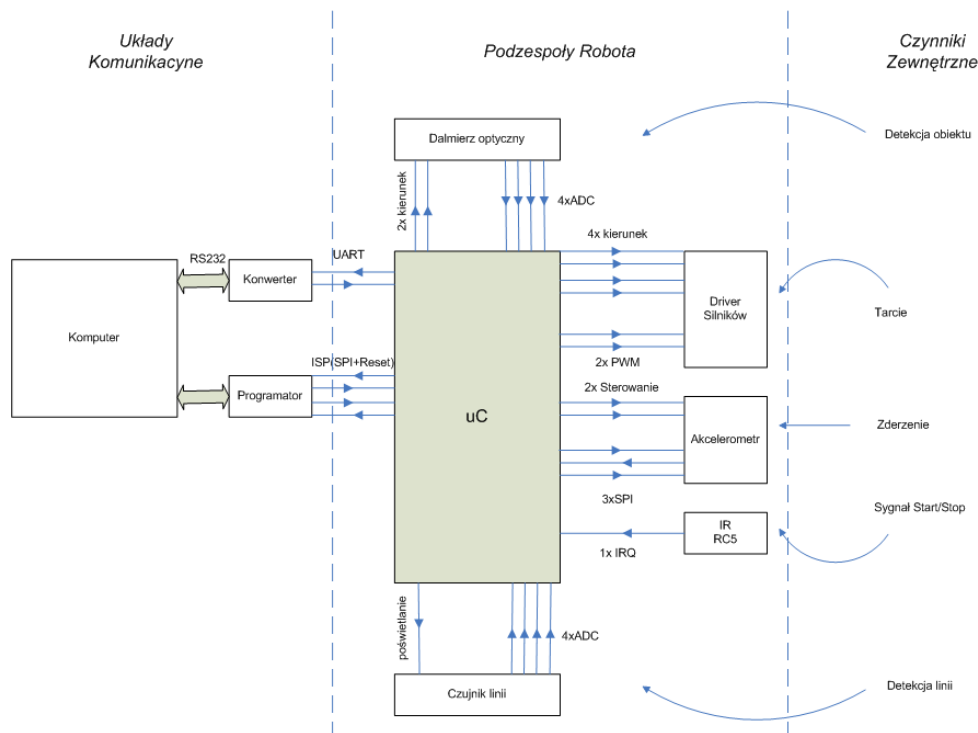
- czujników białej linii,
- silników napędowych wraz z kołami,
- układu mikrokontrolera sterującego i dalmierzy,
- układu zasilania i mostka H sterującego silnikiem.

Schemat blokowy elektroniki robota został przedstawiony na rysunku 5.1.

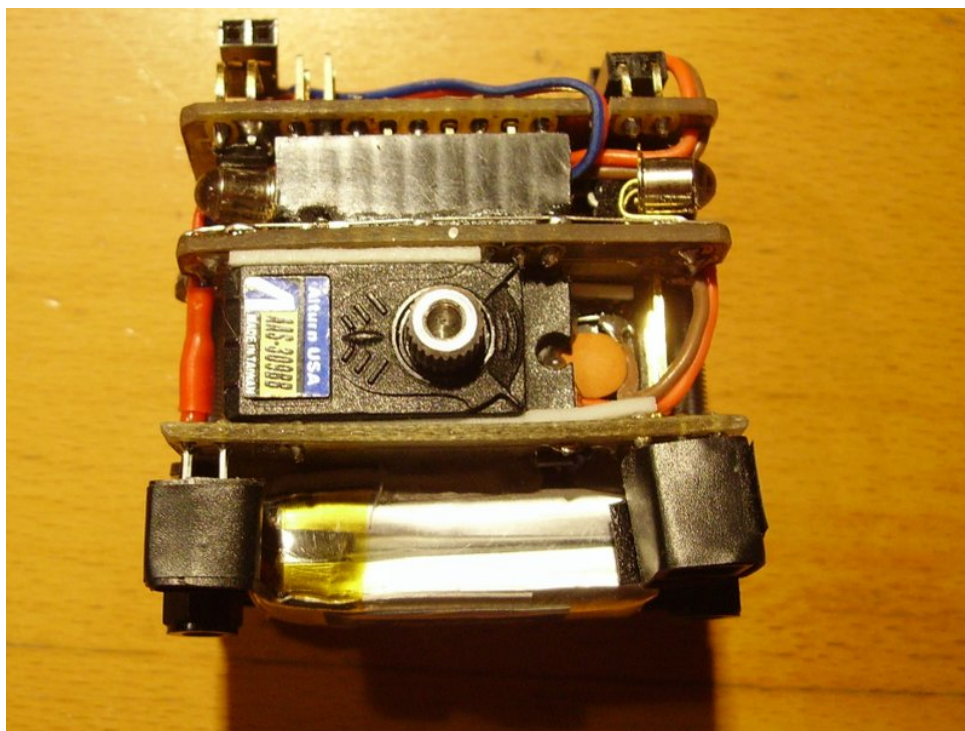
Robota *Micro Sumo* zbudowano w semestrze 6 studiów w ramach kursu „Sterowniki robotów”. Niestety, podczas pierwotnego projektu nie został uwzględniony montaż czujnika akcelerometrycznego, zatem w ramach projektu inżynierskiego należało wykonać nową elektronikę robota. Pełną dokumentację poprzedniego rozwiązania zawiera dokument [13].

### 5.1 Mechanika robota

Szkielet robota tworzą płytki laminatu, który jednocześnie pełni rolę *PCB*. Wykonane zostały 3 dwustronne płytki drukowane, będące niezależnymi modułami. Pomędzy modułem czujników linii i mikrokontrolera został umieszczony moduł napędowy (serwomechanizm). Zawartość elektroniczna płytek zostanie przedstawiona w dalszej części opracowania. Na fotografii 5.2 przedstawiono konstrukcję szkieletu robota, widoczną po zdjęciu kół.



Rysunek 5.1 Schemat blokowy elektroniki robota *Micro Sumo*.



Rysunek 5.2 Modułowa konstrukcja robota.

### 5.1.1 Koła

Spośród wielu typów kół produkowanych dla celów modelarskich, poszukiwane były lekkie oraz stosunkowo cienkie koła zapewniające dobrą przyczepność. Zdecydowano, że wykorzystane zostaną gotowe produkty ze względu na ich niską cenę oraz dostępność. Z katalogu wybrane zostały neoprenowe koła o średnicy 45mm, szerokości 9mm i wadze



5g/sztuka.

W celu zamontowania kół na serwomechanizmach napędowych (por. 5.1.2), konieczne było wycięcie oryginalnego mocowania osi na plastikowych szprychach i wklejenie w jego miejsce odpowiednio pasowanego orczyka.

### 5.1.2 Silniki

Znalezienie odpowiednich silników dla tak małego robota jakim jest klasa *Micro Sumo* stanowiło nie lada wyzwanie. Poszukiwania odpowiedniego produktu zostały skierowane w stronę serw modelarskich, nadających się do przerobienia na silnik z przekładnią poprzez usunięcie wewnętrznej elektroniki. Serwa modelarskie są dobrym rozwiązaniem dla małych robotów mobilnych ze względu na ich nie wygórowaną cenę, dość dobrą jakość wykonania a przede wszystkim dużą dostępność.

Ze względu na małe wymiary (23,5 x 12,5 x 22,5mm), metalowe tryby oraz duży moment obrotowy ( $2[kg \cdot cm]$ ), wybrane zostały 9-cio gramowe micro-serwa AAS-309BB firmy Altum USA LL. Wraz z wybranymi kołami o średnicy 45mm, utworzą zespół napędowy o prędkości teoretycznej ok.  $0,23 \frac{m}{s}$ .

Przeróbka serwomechanizmów do zastosowania w roli silników napędowych polegała jedynie na odlutowaniu dwóch przewodów zasilających silnik oraz wyjęciu płytki elektroniki regulatora, zawierającą m. in. potencjometr sprzężenia zwrotnego, który pracował także w roli ogranicznika mechanicznego.

Następnie należało przyciąć obudowy serwomechanizmów tak, aby cały układ napędowy wraz z kołami zmieścił się w wymiarach 50mm x 50mm. Dwa koła o szerokości 9mm oraz przerwa powietrzna pozostawiają jedynie 30mm na dwa serwomechanizmy. Zatem konieczne było odpowiednie przycięcie i wyszlifowanie obudów serwomechanizmów, według autorskiego projektu, opisanego szerzej w [13].

## 5.2 Projekt elektroniki

Robot *Micro Sumo* z uwagi na zastosowanie jako robot bojowy, oprócz solidnej konstrukcji musi posiadać odpowiednią elektronikę, precyzyjnie dobraną do zastosowania. Nawigacja robota powinna opierać się na danych z jak największej ilości czujników, dających informacje o położeniu, przemieszczeniu i bieżącej lokalizacji robota na ringu. Niestety, każdy dodatkowy element zajmuje cenne miejsce stąd konieczność jej odpowiedniego doboru.

Już na etapie ogólnej koncepcji robota zdecydowano się podzielić elektronikę na moduły, które będą tworzyć również ramę konstrukcji. Zatem przy projektowaniu schematu ideowego należało uwzględnić zarówno rozmieszczenie jak i wielkość obudów elementów.

### 5.2.1 Moduł czujników białej linii

Roboty klasy *Micro Sumo* muszą posiadać czujniki rozpoznające kolor powierzchni na której się znajdują, aby nie wypaść z czarnego ringu ograniczonego białą linią. Zatem konieczna jest detekcja zmiany koloru podłoża z czarnego na biały. Wykonuje się to dzięki czujnikom refleksyjnym podczerwieni, które działają w oparciu o prostą zasadę fizyczną pochłaniania światła przez czarne powierzchnie i odbijania przez białe.

W robocie wykorzystane zostały czujniki CNY70 firmy Vishay [21]. Są to refleksyjne czujniki podczerwieni, zbudowane z diody IR LED oraz współpracującego fototranzystora,

pracujące z długością fali 950nm.

Rysunek B.1 zamieszczony w dodatku B przedstawia schemat modułu czujników białej linii. Rezystory R1..R4 ograniczają prąd diod nadawczych IR LED do wartości bezpiecznej 14mA. Tranzystor Q1 kluczuje diody, rezystor R11 ściąga potencjał bazy tranzystora przy braku sterowania do potencjału masy. Rezystor R5 ogranicza prąd bazy. Fototranzystory wraz ze współpracującymi rezystorami R12..R15 tworzą dzielnik napięcia, które jest mierzone przez przetwornik ADC mikrokontrolera. Napięcie to jest proporcjonalne do ilości światła odbitego od podłoża.

Dzięki kluczowaniu diod IR LED czujników, możliwy jest pomiar różnicowy - mierzone jest napięcie z dzielnika fototranzystor-rezystor przy wygaszonych diodach oraz przy załączonych, a do algorytmu sterowania brana jest różnica obu wartości. Dzięki temu robot staje się praktycznie niewrażliwy na oświetlenie zewnętrzne.

### 5.2.2 Moduł układu mikrokontrolera i dalmierzy optycznych

Główny moduł bazowy zawiera mikrokontroler oraz układ dalmierzy optycznych. Jak wspomniano we wstępie do niniejszego rozdziału, w pierwotnej wersji robota konieczna była prawie całkowita wymiana elektroniki. Zaprojektowano od nowa moduł mikrokontrolera oraz moduł układu zasilania na którym umieszczono czujnik akcelerometryczny.

#### Poprzednie rozwiązanie

Schemat pierwotnego modułu zamieszczono w dodatku B na rysunku B.2.

Elementem centralnym modułu jest mikrokontroler AtMega8 [2] firmy Atmel w obudowie TQFP32, którego peryferia w pełni wystarczały do pracy w poprzedniej aplikacji. Zdecydowano się na największą możliwą częstotliwość taktowania równą 16MHz stabilizowaną zewnętrznym kwarem.

Elementy L1,C6 stanowią filtr zasilania wbudowanego przetwornika analogowo/cyfrowego. Kondensator C7 jest zewnętrznym filtrem wbudowanego źródła napięcia referencyjnego dla przetwornika ADC. Obwód R9,C5 jest filtrem RC wyprowadzenia reset mikrokontrolera. Kondensatory C8,C9 o pojemności 22pF wraz z kwarem Q1 (16MHz) są zewnętrznymi elementami oscylatora mikrokontrolera.

Złącze JP1 służy do podłączenia płytki czujników linii, JP3 jest złączem płytki *drive-rów* silników oraz zasilania natomiast złącze JP2 stanowi wyprowadzenie interfejsu UART. Niewykorzystane cztery wyprowadzenia mikrokontrolera zostały wyprowadzone przez złącza JP4, JP5, JP6 i JP7 i służyły do celów testowych podczas pisania oprogramowania.

Schemat układu dalmierzy optycznych został zaczerpnięty z rozwiązania stosowanego w robocie Shine [8]. W robocie wymagane były modyfikacje oryginalnego rozwiązania, m. in. w celu dostosowania go to niższego napięcia znamionowego baterii. W tym celu, liczba diod została zredukowana z czterech do trzech, dobrano także wartość rezystora ograniczającego prąd do nominalnego napięcia zasilania 7,4V (8,2V max).

Na schemacie B.2 zawarty jest szereg błędów, które zostały poprawione w chwili montażu elementów na *PCB*. Zredukowano liczbę diod do 3 sztuk, dodano rezystory ograniczające prąd bramki tranzystorów kluczujących. Ponadto, na schemacie błędnie narysowane zostały fotodiody zamiast fototranzystorów.

W projekcie zastosowane zostały diody iLED firmy Siemens o symbolu SFH415 [19] o podwyższonym prądzie pracy (0,1A const, 3A max) oraz współpracujące fototranzystory BPW77N [22] firmy Vishay, o kierunkowej charakterystyce czułości ( $\pm 10^\circ$ ).

Impulsowy pobór znacznych prądów powstałych wskutek pracy dalmierza, spowoduje wyindukowanie się w liniach 5V i sygnałowych krótkich szpilek napięciowych. Zatem konieczne jest zastosowanie dużej liczby kondensatorów filtrujących.

### Aktualne rozwiązanie

Schemat aktualnego rozwiązania zamieszczono w dodatku B na rysunku B.3. Schemat bazuje na poprzednim rozwiązaniu, jednakże wprowadzono sporo modyfikacji.

Zasadniczą zmianą w stosunku do poprzedniej konstrukcji jest zmiana mikrokontrolera na układ AtMega32 [1], również firmy Atmel. Zmiana ta wynikała z większej liczby wyprowadzeń niezbędnych do realizacji nowych funkcjonalności a także z czterokrotnie większej pamięci Flash, która pomieści zaawansowany program sterownika robota.

Złącze JP3 jest złączem płytki *driverów* silników oraz układu zasilania. W stosunku do pierwowzoru, zmienił się nieznacznie rozkład wyprowadzeń tego złącza. Złącza JP2 interfejsu szeregowego oraz JP1 czujników linii pozostały bez zmian. Dodane zostało złącze JP4, na którym wyprowadzona jest magistrala SPI, sygnał RESET mikrokontrolera oraz dwie dodatkowe linie I/O, które służy do podłączenia akcelerometru umieszczonego na płytce *driverów*. Dwie linie I/O służą do zerowania akcelerometru (sygnał RESET) oraz załączenia komunikacji SPI (sygnał CS).

Dodatkowo wyprowadzony sygnał RESET-u mikrokontrolera pozwala na proste podłączenie programatora ISP do robota. Płytkę drukowaną wykonano tak, aby złącze można było przylutować przelotowo, co pozwala podpiąć programator przez odpowiednią przejściówkę. Dzięki takiemu rozwiązaniu uniknięto problemu przylutowanych tymczasowo przewodów programatora, na korzyść uniwersalnego rozwiązania z przejściówką, przedstawionego na fotografii 5.3. Przejściówka, dzięki odpowiedniemu ułożeniu elementów na płytce drukowanej, obejmuje również złącze JP2 interfejsu szeregowego, dzięki czemu poza programowaniem ISP, możliwe jest podłączenie zewnętrznego konwertera napięć do standardu RS232 czy modułu bluetooth dla transmisji szeregowej.

Zmodyfikowano także układ dalmierza optycznego. W części nadawczej, przy diodach iLED umieszczono dodatkowe kondensatory tantalowe zasilane przez szeregowy rezystor. Rozwiązanie to zapewnia znikomy wpływ impulsów prądowych generowanych przez dalmierz na pozostałe obwody zasilania robota.

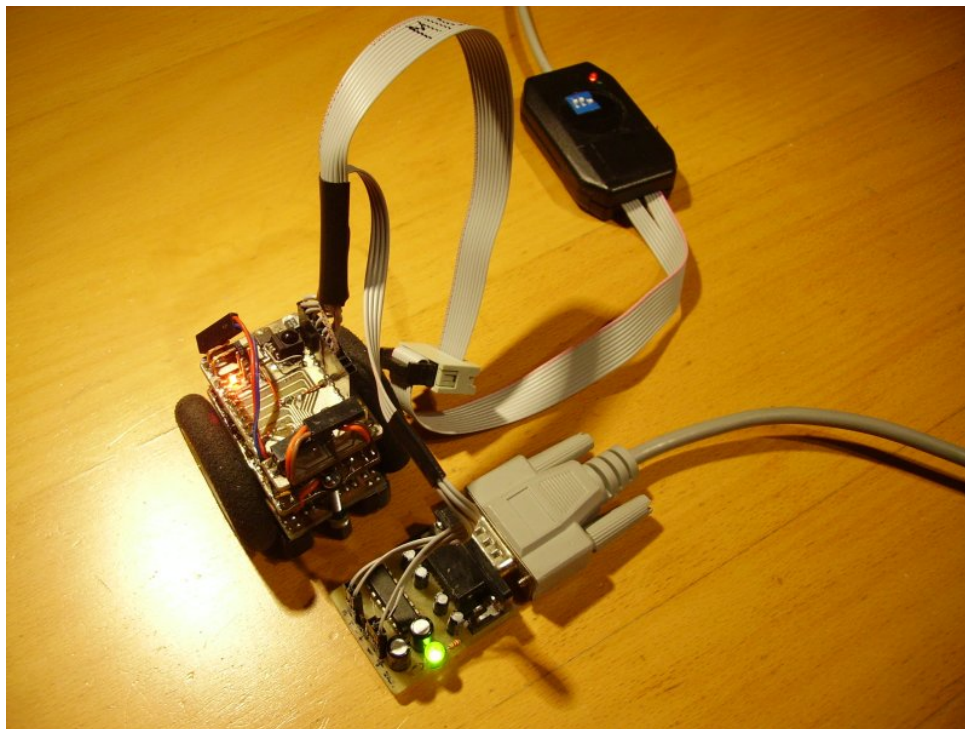
Część odbiorcza dalmierza uległa jeszcze większej modyfikacji. Zrezygnowano ze sprzętowego filtra górnoprzepustowego, a pozyskane na PCB miejsce wykorzystano do zbudowania układu wejściowego o regulowanej czułości. Równolegle załączany do masy rezystor w obwodzie emitera fototranzystora przesunął napięcie mierzone na emiterze w stronę napięcia ujemnego, co powoduje zmniejszenie czułości. Rozwiązanie takie zapewni uodpornienie robota na oślepienie zewnętrznym oświetleniem. Poprzednią funkcjonalność filtra górnoprzepustowego uzyskano poprzez programowy pomiar różnicowy.

Obwody zasilania bloków mikrokontrolera oraz generator kwarcowy są, podobnie jak poprzednio, standardowymi aplikacjami układu. Niewykorzystane wyprowadzenia mikrokontrolera zostały wyprowadzone w postaci pól lutowniczych, co pozwala na ewentualną rozbudowę układu.

Aktualny opis wyprowadzeń mikrokontrolera zawarto w dodatku B w tabeli B.3.

### 5.2.3 Moduł *driverów* silników i układu zasilania

Ze względu na zakłócenia generowane przez przełączanie indukcyjności jaką jest silnik DC oraz na nagrzewanie się elementów, układ *driverów* mocy jak i stabilizatora zasilania



Rysunek 5.3 Robot podczas testów — przejściówka — wpięty programator ISP oraz moduł komunikacji szeregowej w standardzie RS232

nia został wyodrębniony jako osobny moduł. Jego umieszczenie jako ostatnia, wierzchnia warstwa w modułowej budowie robota, pozwala na zapewnienie optymalnego chłodzenia znajdujących się na nim elementów oraz łatwy dostęp w przypadku uszkodzenia.

### Poprzednie rozwiązanie

Silniki zastosowanych serwomechanizmów modelarskich pobierają przy maksymalnym obciążeniu 960mA prądu każdy. Poszukiwano zatem odpowiednich *driverów* które będą w stanie dostarczyć odpowiednią ilość prądu dla silników. Znalaziono ofertę podwójnych mostków H typu TB6612FNG [20] firmy Toshiba, o prądzie ciągłym 1,2A (na mostek) i napięciu maksymalnym 15V. Mostki te posiadają szereg wbudowanych zabezpieczeń, a do pracy nie wymagają żadnych elementów zewnętrznych, co czyni je niezwykle atrakcyjnymi w niniejszej aplikacji.

Wszystkie moduły zasilane są z napięcia 5V, zatem na module *driverów* znalazł się również układ 78L05 [17] stabilizatora napięcia 5V.

Schemat części drivera modułu został przedstawiony w dodatku B na rysunku B.4, natomiast część stabilizatora modułu został przedstawiony na rysunku B.6.

### Aktualne rozwiązanie

Decyzja o zamontowaniu akcelerometru w robocie spowodowała konieczność wymiany zarówno modułu mikrokontrolera jak też modułu *driverów* silników i układu zasilania, gdyż jedynie na nim pozostała wystarczająca ilość miejsca aby zmieścić sporych wymiarów układ.

Schemat nowego rozwiązania został przedstawiony w dodatku B na rysunku B.5, natomiast schemat układu zasilania robota przedstawiono na rysunku B.7.

Układ mostka H spełniał się świetnie w powierzony mu roli, zatem rozwiązanie to przekopiowano z poprzedniego, z uwzględnieniem zmian w logice wyprowadzeń wynikającej ze zmian w module mikrokontrolera. Dodano natomiast układ akcelerometru oraz nowe złącze komunikacyjne.

Akcelerometr wymaga niestety zasilania z napięcia 3,3V zatem konieczne było dodanie dodatkowego stabilizatora w typowej konfiguracji. Układ logiki akcelerometru jest kompatybilny ze standardem TTL co pozwoliło na uniknięcie problemów konwersji napięć.

#### 5.2.4 Akumulator zasilający

Wybór odpowiedniego akumulatora dla tak małego robota był nie lada wyzwaniem. Wśród ofert sklepów specjalizujących się w akumulatorach i pakietach, zarówno modelarskich jak i przemysłowych nie udało się znaleźć ogniwa o odpowiednio małych wymiarach. Dopiero w wyniku przeszukania jednego z większych polskich portali aukcyjnych, udało się zakupić pakiet litowo-polimerowy ZIPPY firmy FlightMax o pojemności 138mAh, napięciu 7,4V i ciągłym prądzie rozładowania 10C. Akumulator waży jedynie 7,3g przy wymiarach 35 x 12 x 12mm.

Na fotografii 5.4 przedstawiono montaż akumulatora w robocie poprzez przyklejenie do modułu czujników linii.



Rysunek 5.4 Moduł czujników linii – fotografia zamontowanego w robocie modułu

### 5.3 Projekt, wykonanie i montaż płytki drukowanej

Podobnie jak schematy ideowe, projekt *PCB* został wykonany w oprogramowaniu Eagle firmy CadSoft. Poszczególne moduły zaprojektowano i wykonano na dwustronnych płytkach drukowanych o wymiarach 30x45mm. Wymiary te zostały narzucone przez mo-

duł silników (szerokości 30mm) oraz wymiar robota (50mm). Pozostałe 5mm w wymiarze wzdłużnym przeznaczono na montaż ewentualnych pługów.

### 5.3.1 Moduł czujników linii

W module czujników linii elementy rozmieszczono na warstwie spodniej. Warstwa górna zawiera jedynie połączenia, a pozostałe wolne miejsce jest wypełnione obszarem masy. Takie rozwiązanie narzuca konstrukcja mechaniczna, gdyż górna warstwa stanowi jednocześnie mocowanie silników.

Rysunki B.8 oraz B.9 umieszczone w dodatku B zawierają mozaiki ścieżek, natomiast na fotografii 5.4 przedstawiono zmontowany moduł.

### 5.3.2 Moduł mikrokontrolera i dalmierzy optycznych

W module mikrokontrolera, odwrotnie w stosunku do modułu czujników linii, elementy rozmieszczono na warstwie górnej, również ze względu na montaż mechaniczny.

Na krótszych bokach płytki tuż przy krawędziach rozmieszczone zostały diody iLED dalmierza optycznego. W narożnikach usytuowano fototranzystory dalmierza. Mikrokontroler został umieszczony centralnie. Z lewej strony płytki umieszczono złącze do komunikacji z modulem driverów silników, w dolnej części złącze do modułu czujników linii, natomiast z prawej strony złącze UART oraz, w nowej wersji, dodatkowe złącze SPI.

Ze względu na stopień skomplikowania *PCB* modułu oraz jego amatorskie wykonanie techniką fototransferu, konieczne było połączenie kilku ścieżek kynarem.

Podczas montażu zdano sobie sprawę z faktu, że robot nie posiada żadnego *micro-switcha* który umożliwiłby start algorytmu w dowolnej chwili po załączeniu zasilania. Zdecydowano, że zamontowane zostanie rozwiązanie bardziej uniwersalne - układ scalonego odbiornika podczerwieni TSOP32136 [23], który pozwoli na sterowanie robotem przy pomocy kodów RC5 standardowego pilota podczerwieni. W tym celu wykorzystano jeden z niewykorzystanych uprzednio wyprowadzeń mikrokontrolera. Sam odbiornik został zamontowany na górnym module, tj. płytce modułu *driverów*, a połączenie elektryczne zostało wykonane kynarem.

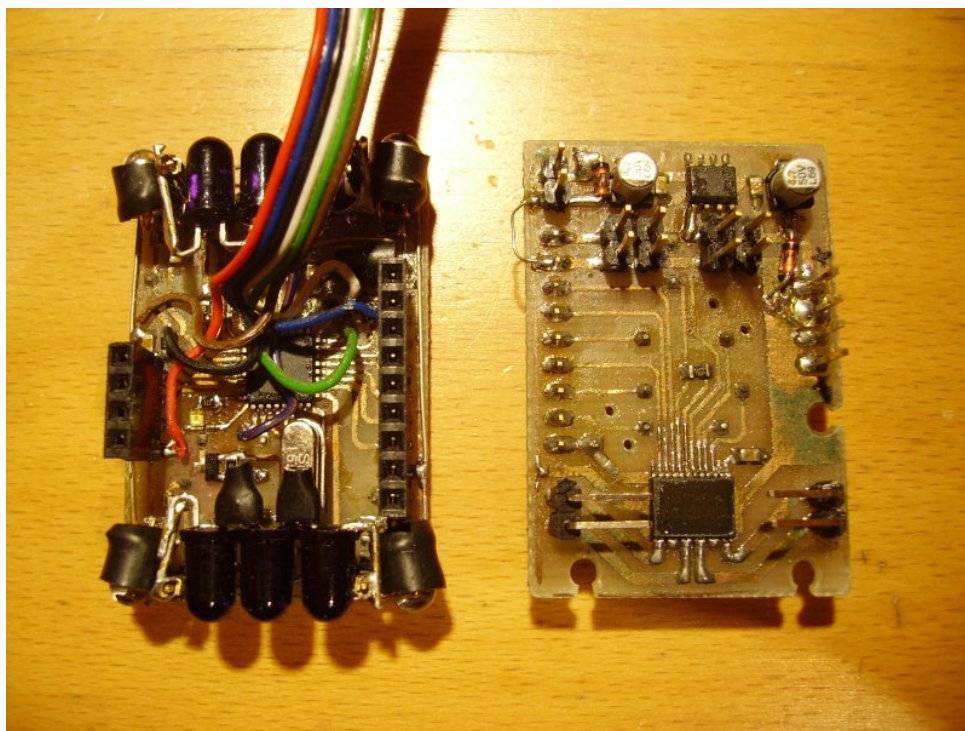
Oprócz powyższej modyfikacji, dodano także diodę LED wlotowaną do wolnego wyprowadzenia mikrokontrolera. Pozwoliła ona w prosty sposób wizualizować stan robota.

Na fotografii 5.5, z lewej, przedstawiono zmontowany moduł w wersji pierwotnej, natomiast na fotografii 5.6, z lewej, płytkę *PCB* pod nowe rozwiązanie. Mozaiki ścieżek nowego rozwiązania zawierają rysunki B.10 oraz B.11 umieszczone w dodatku B.

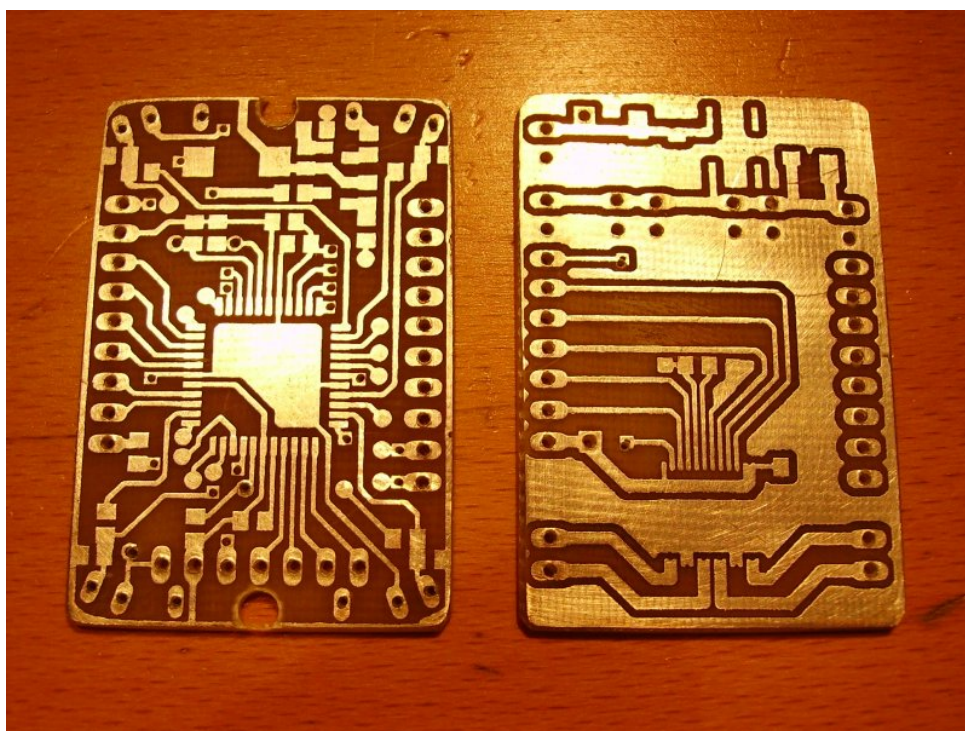
### 5.3.3 Moduł mostków mocy silników oraz układu zasilania

W module elementy stabilizatora napięcia 5V oraz *driver* silników rozmieszczono na warstwie wierzchniej, ze względu na ułatwienie rozpraszania ciepła przez nagrzewające się układy scalone. W nowej wersji dodatkowo zamontowany jest układ akcelerometru oraz niezbędny stabilizator napięcia 3,3V. Elementy te umieszczono na warstwie spodniej. Akcelerometr zamontowano w centralnym punkcie płytki, co wprawdzie nie pozwala na mierzenie rotacji, ale umożliwia sprowadzenie wartości przyspieszeń do wektorów działających na masę punktową.

Z lewej strony modułu umieszczone zostało złącze komunikacji z modulem mikrokontrolera, w lewym górnym rogu znajduje się złącze baterii. Złącze z prawej strony modułu to wyprowadzenie przelotowe złącza UART z płytki mikrokontrolera. Ponadto, w nowej



Rysunek 5.5 Fotografia poprzednich wersji modułów



Rysunek 5.6 Fotografia aktualnej wersji modułów – płytki drukowane gotowe do lutowania

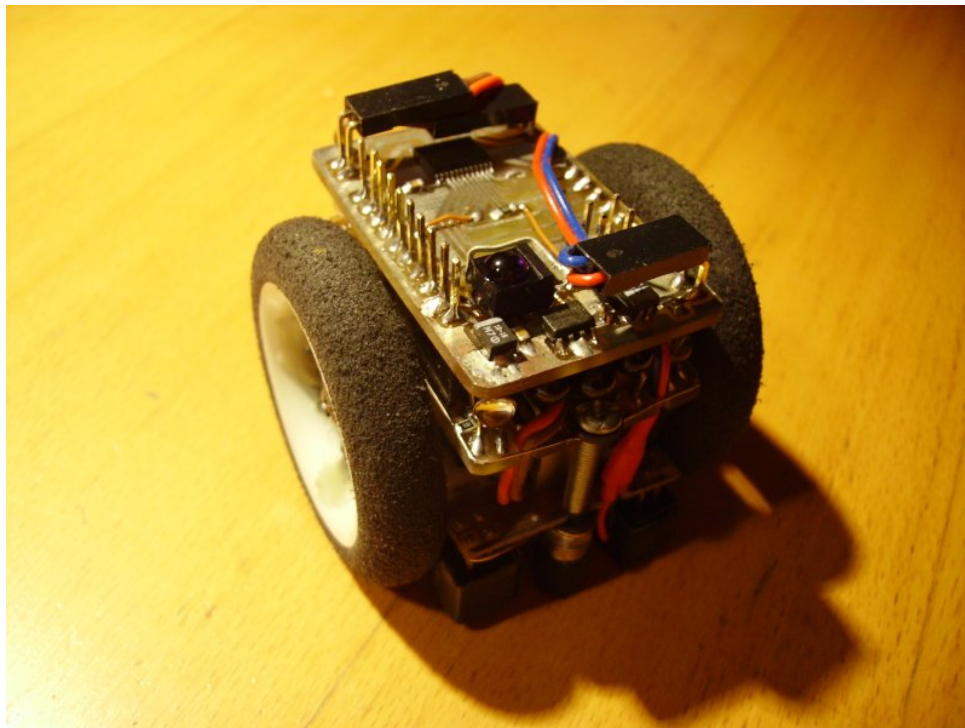
wersji płytki, równoległe do złącza UART zamontowano złącze SPI. W dolnej części płytki, symetrycznie umieszczone zostały złącza silników.

Jak wspomniano w rozdziale 5.3.2, na module zamontowany został również scalony odbiornik podczerwieni, który umożliwi start robota przy pomocy pilota zdalnego sterowania.

Na fotografii 5.5, z prawej, przedstawiono warstwę górną zmontowanego modułu w wersji poprzedniej, natomiast na fotografii 5.6, z prawej, płytkę *PCB* pod aktualne rozwiązanie. Mozaiki ścieżek nowego rozwiązania zawierają rysunki B.12 oraz B.13 umieszczone w dodatku B.

## 5.4 Montaż robota

Montaż nowych płytek *PCB* wymagał rozłożenia całego robota na części pierwsze, co dzięki modułowej konstrukcji nie stanowiło problemu. Fotografia 5.7 przedstawia gotowego robota w nowej wersji.



Rysunek 5.7 Zmontowany robot

## 5.5 Oprogramowanie

Wprowadzenie nowych zmian wymagało zaktualizowania poprzedniego oprogramowania. Nowy mikrokontroler wymusił rewolucyjne zmiany w konfiguracji *hardware* robota. Ponadto, należało oprogramować nowe urządzenia tj. akcelerometr i odbiornik podczerwieni. W efekcie powstał wielostronicowy kod, pozwalający na podstawową reakcję robota na czynniki zewnętrzne.

Oprogramowanie robota pozwala na regulaminowe walki w kategorii *Micro Sumo*, wykorzystując do nawigacji wszystkie wbudowane czujniki. Algorytm robota realizuje sterowanie bez namysłu i opiera się o automat skończony z trzema stanami: ataku, poszukiwania oraz ucieczki z białej linii, które odpowiadają trzem warstwom sterownika.

W celu badania zderzeń w oprogramowaniu wyłączono większość funkcjonalności i pozostawiono jedynie pomiar wartości przyspieszeń działających na robota.

Po załączeniu zasilania robota, oprogramowanie wywołuje funkcje inicjalizujące poszczególne bloki mikrokontrolera i akcelerometr oraz wykonuje *self-testy*. Następnie pro-



gram przechodzi od pętli, w której oczekuje na otrzymanie prawidłowego kodu RC5 z pilota zdalnego sterowania. Otrzymanie prawidłowego kodu jest równoznaczne z opuszczeniem pętli, zadaniem maksymalnego wypełnienia PWM na silniki oraz przejściem do pętli głównej.

Pętla główna programu (listing 5.1) zawiera dwa bloki: odczytu danych z akcelerometru oraz wysyłania danych przez łącze szeregowe. Listing 5.2 zawiera fragmenty kodu obsługi akcelerometru, natomiast listing 5.3 zawiera kod tworzący ramki danych dla oprogramowania do wizualizacji i rejestracji, uruchomionego na komputerze.

```

1  SPI_MasterTransmit(0x05); //sends X-axis read command
2  while (1)
3  {
4      accelXData = SPI_MasterTransmit(0x07); //sends Y-axis read command,
           read X-axis
5      accelYData = SPI_MasterTransmit(0x0D); //sends peak-X-axis read command
           , read Y-axis
6      accelXPeakData = SPI_MasterTransmit(0x0F); //sends peak-Y-axis read
           command, read peak-X-axis
7      accelYPeakData = SPI_MasterTransmit(0x19); //sends RSS read command,
           read peak-Y-axis
8      accelRSSData = SPI_MasterTransmit(0x1B); //sends peak-RSS read command,
           read RSS
9      accelRSSPeakData = SPI_MasterTransmit(0x05); //sends X-axis read
           command, read peak-RSS
10
11     if (accelXData & 0x2000) //if is negative
12         accelXData |= 0xE000;
13     else //is positive
14         accelXData &= 0x1FFF;
15     if (accelYData & 0x2000) //if is negative
16         accelYData |= 0xE000;
17     else //is positive
18         accelYData &= 0x1FFF;
19     if (accelXPeakData & 0x2000) //if is negative
20         accelXPeakData |= 0xE000;
21     else //is positive
22         accelXPeakData &= 0x1FFF;
23     if (accelYPeakData & 0x2000) //if is negative
24         accelYPeakData |= 0xE000;
25     else //is positive
26         accelYPeakData &= 0x1FFF;
27     accelRSSData &= 0x3FFF;
28     accelRSSPeakData &= 0x3FFF;
29
30     // CODE BELOW IS USED BY ANALYSING PROGRAM
31     sendUsartFrame('u', accelXData+32768); //1 - X acceleration
32     sendUsartFrame('r', accelYData+32768); //2 - Y acceleration
33     sendUsartFrame('i', accelXPeakData+32768); //3 - X peak
34     sendUsartFrame('e', accelYPeakData+32768); //4 - Y peak
35     sendUsartFrame('c', accelRSSData); //5 - XY RSS
36     sendUsartFrame('v', accelRSSPeakData); //6 -XY RSS peak
37 }

```

Listing 5.1 Kod pętli głównej programu

```

1  uint16_t SPI_MasterTransmit(uint8_t address)
2  {
3      uint16_t dataOut = 0;
4      uint8_t tempDDRB, tempPORTB; //temporary DDRB and PORTB state

```

```

5  uint8_t i = 100;
6
7  tempDDRB = DDRB; //set SS pin as output - avoid transmission problems
8  tempPORTB = PORTB;
9  DDRB |= (1<<4);
10 PORTB |= (1<<4);
11  SPI_MasterInit();
12
13  PORTC &= ~(1<<PORTC5); //start communication - set low level on CS pin
14  //Tcs - delay 62.5ns
15  asm("NOP");
16
17  SPDR = (address & 0xBF); //transmit address (MSB part)
18  while(!(SPSR & (1<<SPIF))); //wait for transmission complete
19  dataOut = (((uint16_t)SPDR)<<8); //remember input MSB
20
21  SPDR = 0xFF; //transmit output LSB
22  while(!(SPSR & (1<<SPIF))); //wait for transmission complete
23  dataOut += (uint16_t)SPDR; //remember input LSB
24
25  //Tsf - delay 62.5ns
26  asm("NOP");
27
28  PORTC |= (1<<PORTC5); //stop communication - set high level on CS pin
29
30  //minimum Tcs high - below
31  //delay 100us
32  while(i--){
33      asm("NOP");asm("NOP");asm("NOP");asm("NOP");asm("NOP");asm("NOP");asm("
34          NOP");asm("NOP");
35          asm("NOP");asm("NOP");asm("NOP");asm("NOP");asm("NOP");asm("NOP");asm("
36          NOP");asm("NOP");
37  }
38
39  DDRB = tempDDRB; //return SS pin to previous state
40  PORTB = tempPORTB;
41  return dataOut; //return data register
42 }

```

Listing 5.2 Fragment kodu obsługi akcelerometru

```

1 void sendUsartFrame(uint8_t c, uint16_t value)
2 {
3     convert.sht = value;
4     USART_Transmit(c);
5     USART_Transmit(convert.chr[1]);
6     USART_Transmit(convert.chr[0]);
7     USART_Transmit(compute_crc8_4b((uint32_t) value));
8 }

```

Listing 5.3 Fragment kodu obsługującego transmisję danych przez łącze szeregowe

Program robota, wykonując pętlę główną, odczytuje wartości przyspieszenia z akcelerometru, konwertuje dane do standardu 16-bitowej liczby całkowitej ze znakiem oraz transmituje odpowiednio przygotowaną ramkę danych. Opóźnienie w pętli wprowadzają czasy pobrania danych oraz aktywnego wysyłania (nie jest wykorzystane przerwanie od nadajnika).

Ramki dla oprogramowania komputerowego są czterobajtowe. Pierwszy bajt jest bajtem określającym zawartość ramki:

- $u$  – przyspieszenie w osi  $X$
- $r$  – przyspieszenie w osi  $Y$
- $i$  – przyspieszenie maksymalne w osi  $X$
- $e$  – przyspieszenie maksymalne w osi  $Y$
- $c$  – pierwiastek z sumy kwadratów przyspieszeń w osi  $X$  i  $Y$
- $v$  – pierwiastek z sumy kwadratów maksymalnych przyspieszeń w osi  $X$  i  $Y$

Kolejne dwa bajty stanowią wartości danych, z czego MSB transmitowane jest jako pierwsze. Ostatnim bajtem jest 8-bitowa suma kontrolna liczona z bajtów danych.

Ramki transmitowane są przez łącze szeregowe o przepustowości 57600bps oraz konfiguracji: 8 bitów danych, 1 bit stopu, brak kontroli przepływu oraz bitu parzystości. Transmisja szeregowa podczas testów przesyłana była poprzez dołączany przewodowo zewnętrzny konwerter UART - RS232 z wykorzystaniem opisaną wcześniej przejściówkę (rys. 5.3) oraz dalej w standardzie RS232 do komputera. Docelowo podczas badań wykorzystano zamontowaną bezpośrednio na robocie płytkę modułu bluetooth. W dalszej części opracowania, w rozdziale 6.2.1 opisano szczegółowo przebieg badania wraz z komunikacją robota z komputerem.



# Rozdział 6

## Pomiary i analiza charakterystyk zderzeń

Detekcja zderzeń w robotach mobilnych wymaga nietypowego podejścia do akwizycji danych z czujników akcelerometrycznych. W typowych zastosowaniach akcelerometrów próbkowanie sygnału odbywa się stosunkowo rzadko. Do detekcji zderzeń konieczne jest wykrywanie stosunkowo krótkich szpilek sygnałów o dużych amplitudach, stąd zgodnie z twierdzeniem Kotielnikowa-Shannona, konieczne jest próbkowanie co najmniej dwukrotnie częstsze niż okres spodziewanej akceleracji.

### 6.1 Moduł pomiarowy

Moduł pomiarowy pełni rolę platformy z zestawem czujników akcelerometrycznych, mikrokontrolerem przetwarzającym sygnał z zewnętrznego przetwornika analogowo-cyfrowego oraz klawiatury i wyświetlacza. Analogowe dane z czujników akcelerometrycznych są przetwarzane w przetworniku analogowo-cyfrowym na postać cyfrową, a następnie transmitowane do komputera poprzez łącze szeregowo.

Z powodu dostępności jedynie szczątkowych danych o możliwych spodziewanych czasach trwania zderzenia robota z przeszkodami, na podstawie analizy wykresów przedstawionych w publikacjach [5] [6], zdecydowano się na próbkowanie sygnału z akcelerometrów z częstotliwością 1kHz, tj. co 1ms. Rozważano również częstsze próbkowanie, niemniej z powodów dalej opisanych chwilowo z niego zrezygnowano.

#### 6.1.1 Środowisko testowe

Pomiar w przetworniku odbywa się z rozdzielczością 8-bitową. Wartość ta została wstępnie wybrana ze względu na znaczące ułatwienie implementacji algorytmu pomiarowego - wynik z pojedynczego czujnika jest liczbą jednobajtową. Przetwornik komunikuje się z mikrokontrolerem poprzez magistralę SPI na częstotliwości 4MHz. Częstotliwość ta została wybrana nieco na wyrost w stosunku do 8-bitowej rozdzielczości i pomiarze z 4-rech kanałów przetwornika.

Najsłabszym punktem całego systemu pomiarowego jest transmisja szeregowo moduł - komputer. Wykonując pomiar co 1ms na 4-rech kanałach przetwornika o rozdzielczości 8-bitowej uzyskuje się 4000 bajtów danych na sekundę czyli 32000 bitów/s. Dodając do każdej 4-bajtowej ramki bajt kontrolny, potrzebna jest przepustowość łącza rzędu 40kbps. Częstotliwość oscylatora mikrokontrolera równa 16MHz pozwala na wybór jedynie niektórych ze standardowych szybkości transferu. Największa przy której udało się

komunikować, 115,200kbps, pozwala na transmisję maksymalnie 2880 5-bajtowych ramek na sekundę. Zatem możliwe jest próbkowanie czujników co pół milisekundy, przy 8-bitowej rozdzielczości. Chcąc stosować maksymalną, 12-bitową rozdzielczość przetwornika, przy czterech kanałach i 8-bitowej sumie kontrolnej, należałoby użyć ramki o długości 7-dmiu bajtów, co teoretycznie powinno się jeszcze udać przesłać przez łącze (wymagana przepustowość w tym wypadku wynosi 106kbps). Podsumowując, przy obecnie wybranej szybkości transferu można jeszcze zwiększyć dwukrotnie częstotliwość próbkowania.

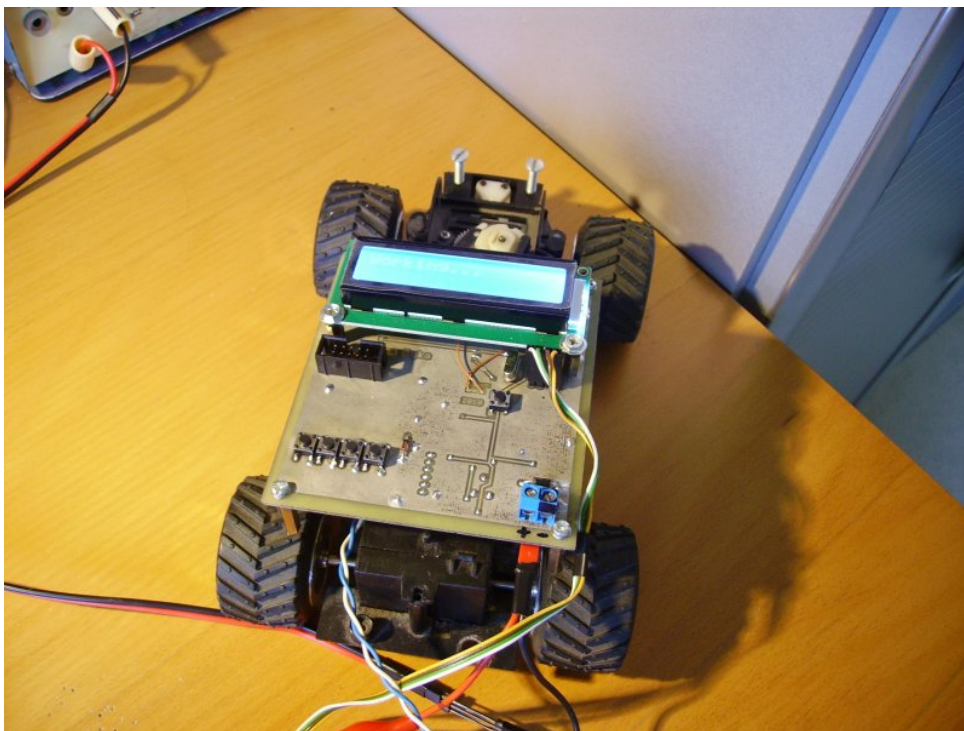
Ostatecznie, parametry transmisji zostały wybrane jako: szybkość 115,200kbps, 8-bitów danych, 1-bit stopu, brak bitu parzystości, brak kontroli przepływu. Moduł pomiarowy został podłączony do komputera poprzez interfejs RS232 przy wykorzystaniu odpowiedniej przejściówki konwertującej napięcia.

Moduł pomiarowy został kolejno zamontowany na dwóch rodzajach platform jezdnych:

- robocie *Mini Sumo*, o masie około 500g i prędkości 1m/s
- podwoziu samochodu zdalnie sterowanego, o masie około 300g i prędkości 1,5m/s

Każda z platform posiada sztywne zderzaki, co pozwala stosować przybliżenie zderzenia sprężystego. Dzięki zróżnicowanej masie platform, możliwy jest do zaobserwowania wpływ masy na siłę zderzenia.

Ważnym aspektem zauważonym podczas pierwszych prób pomiarowych było sztywne umocowanie modułu na platformie. Pierwotne, próbne mocowanie na plastikowych opakach okazało się być całkowicie zawodne. Dopiero przykręcenie modułu na metalowych tulejach dystansowych spełniło oczekiwania (rys. 6.1).



Rysunek 6.1 Moduł zamontowany na platformie jezdnej

### 6.1.2 Przebieg badań

Dane pomiarowe były wysyłane z mikrokontrolera jako ramki czterobajtowe i zapisywane w komputerze przy użyciu standardowego emulatora terminala. Następnie zostały

zdekodowane oraz przeglądnięte w celu usunięcia nieinteresujących fragmentów historii zapisu. Ostatecznie zostały utworzone wykresy zmian akceleracji w funkcji czasu.

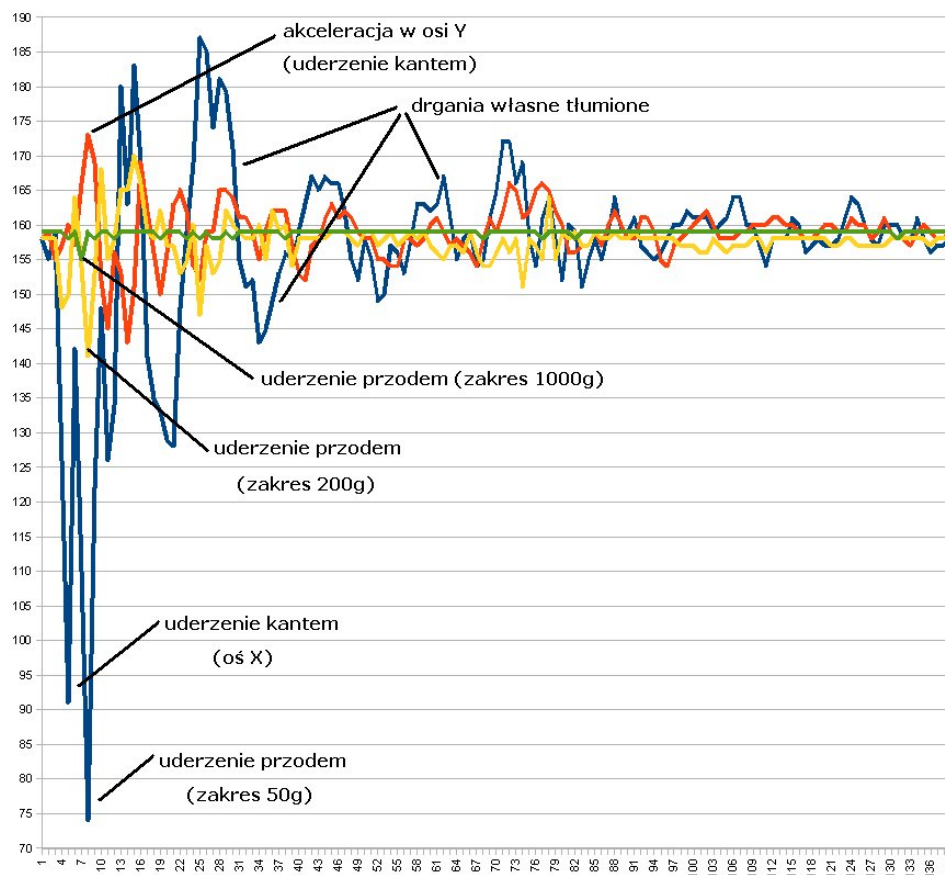
Zostały zasymulowane dwa najczęściej występujące typy zderzeń:

- zderzenie czołowe (jazda na wprost)
- zderzenie kątowe (uderzenie robota z kąta 45°)

Wszystkie pomiary były wykonywane przy maksymalnej prędkości robota w chwili zderzenia.

### 6.1.3 Zderzenie czołowe

Wykres 6.2 przedstawia zderzenie platformy modelu samochodu ze ścianą, z jazdy na wprost.



Rysunek 6.2 Zderzenie czołowe platformy modelu samochodu. Niebieski - oś X, zakres 50g, czerwony - oś Y, zakres 50g, żółty - oś X, zakres 200g, zielony - oś X, zakres 1000g

Linia niebieska zakreśla zmiany akceleracji w osi X, czerwona w osi Y, na zakresie 50g. Linia żółta przedstawia zmiany akceleracji w osi X na zakresie 200g, natomiast zielona na zakresie 1000g. Wykres wyskalowany jest w wartościach bitów odczytanych bezpośrednio z przetwornika, gdzie wartość 159 oznacza brak przyspieszenia.

Przybliżone przeliczniki osi Y wykresu na wartość akceleracji dla poszczególnych zakresów są następujące:

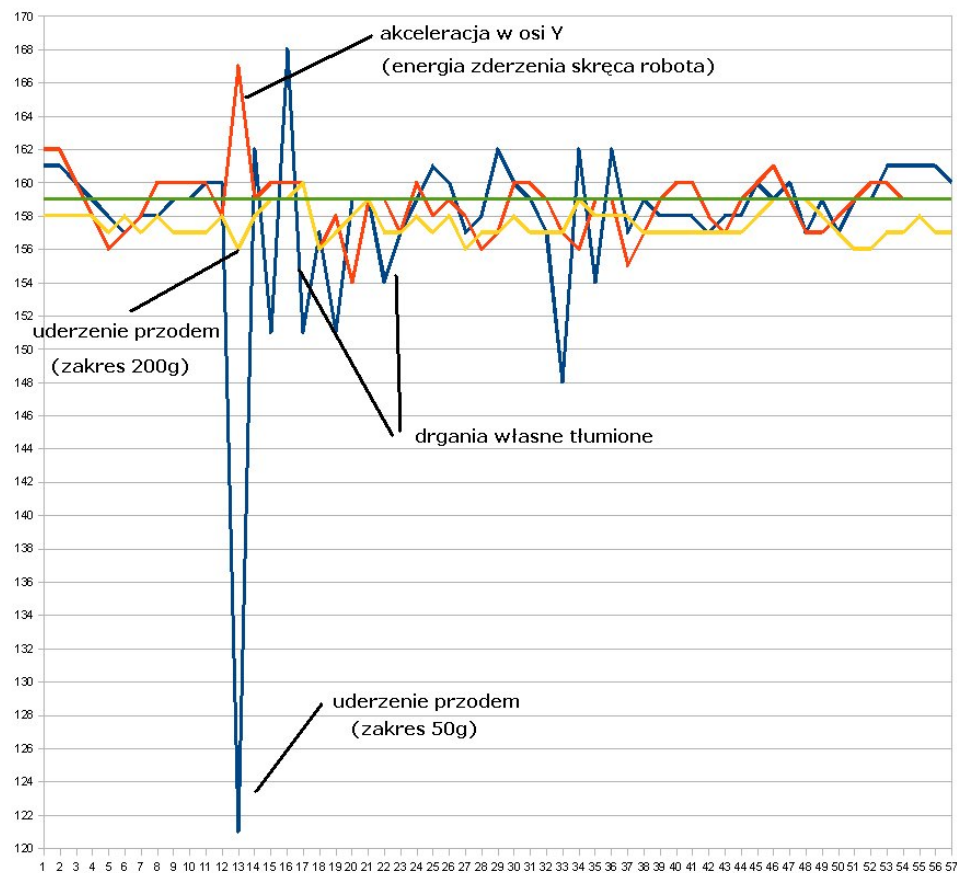
- 50g : 1LBS = 0,5g

- 200g :  $1LSB = 2g$
- 1000g :  $1LSB = 10g$

Przeliczniki zostały wyliczone na podstawie zakresu przetwornika analogowo-cyfrowego [9] oraz dokumentacji akcelerometrów [18], [15], [14].

Z wykresu wynika, że mimo czołowego ustawienia platformy w stosunku do ściany, uderzenie odbyło się z lekkiego kąta. Platforma najpierw uderza narożnikiem zderzaka, a dopiero 4ms później czołowo. Szczytowa wartość opóźnienia działająca na platformę wynosi aż 42,5g. Przyspieszenie boczne, spowodowane uderzeniem z pewnego kąta wynosi około 7g. Z prostych obliczeń trygonometrycznych wynika, że platforma uderzyła w ścianę pod kątem  $80^\circ$ , a całkowita wartość opóźnienia która na nią działała w układzie platformy wynosiła 43g.

Wykres 6.3 przedstawia zderzenie robota *Mini Sumo* ze ścianą, z jazdy na wprost.



Rysunek 6.3 Zderzenie czołowe robota *Mini Sumo*. Niebieski - oś X, zakres 50g, czerwony - oś Y, zakres 50g, żółty - oś X, zakres 200g, zielony - oś X, zakres 1000g

Oznaczenia zakresów są podobne jak na wykresie 6.2.

W tym wypadku robot uderzył prawie idealnie prostopadłe do ściany, gdyż nie występują dwa sąsiednie piki wartości opóźnienia. Wartość opóźnienia w chwili zderzenia wynosiła 19g. Widać natomiast co stało się z energią zderzenia – robot odbija od ściany gwałtownie skręcając z przyspieszeniem 4g.

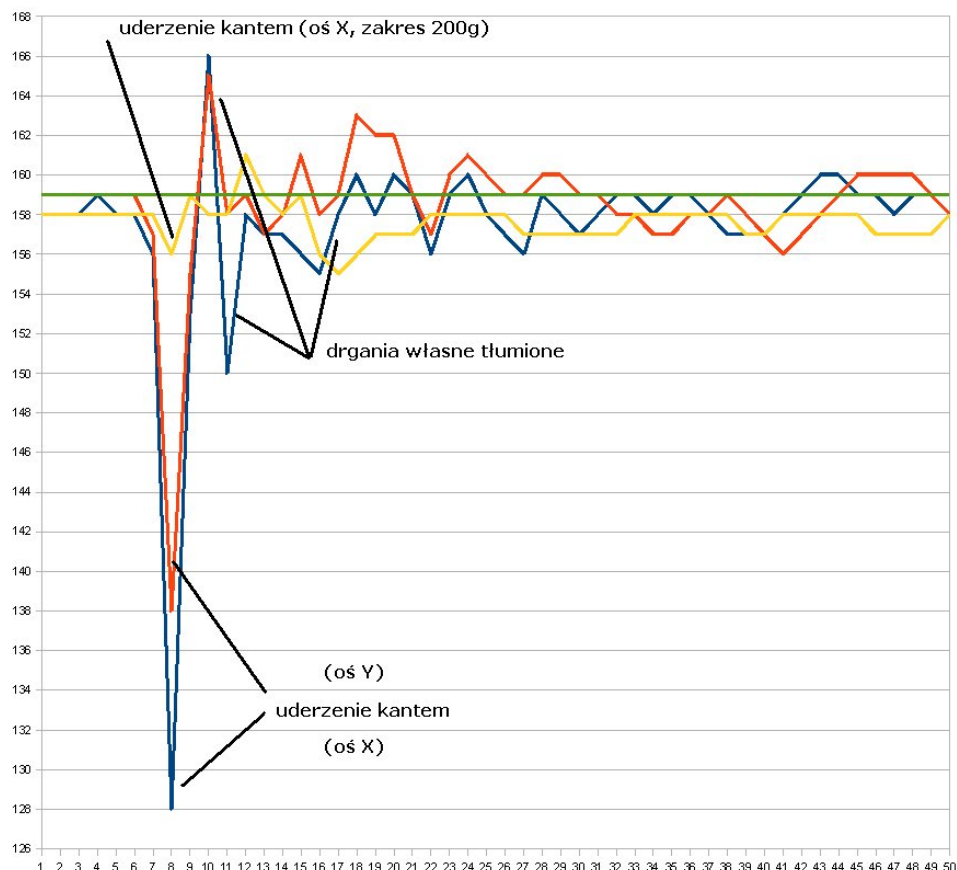
Na obu przedstawionych wykresach widoczne są gasnące drgania wartości akceleracji. Wynikają one z budowy akcelerometru, którego wewnętrzny układ pomiarowy posiada pewną inercję mechaniczną.



### 6.1.4 Zderzenie kątowe

Wykres 6.4 przedstawia zderzenie robota *Mini Sumo* ze ścianą z kąta około  $45^\circ$ .

Analizując wykres, stwierdzamy że opóźnienie w osi X wynosi  $15,5g$ , w osi Y  $10,5g$ . Zatem kąt uderzenia wyniósł  $55^\circ$ . Łączne opóźnienie działające na układ robota wyniosło  $18,72g$ . Na wykresie widać także, że po zderzeniu robot odbija się od ściany z przyspieszeniem  $3,5g$  oraz ulega skręceniu z przyspieszeniem  $3g$ .



Rysunek 6.4 Zderzenie kątowe robota *Mini Sumo*. Niebieski - oś X, zakres 50g, czerwony - oś Y, zakres 50g, żółty - oś X, zakres 200g, zielony - oś X, zakres 1000g

## 6.2 Robot *Micro Sumo*

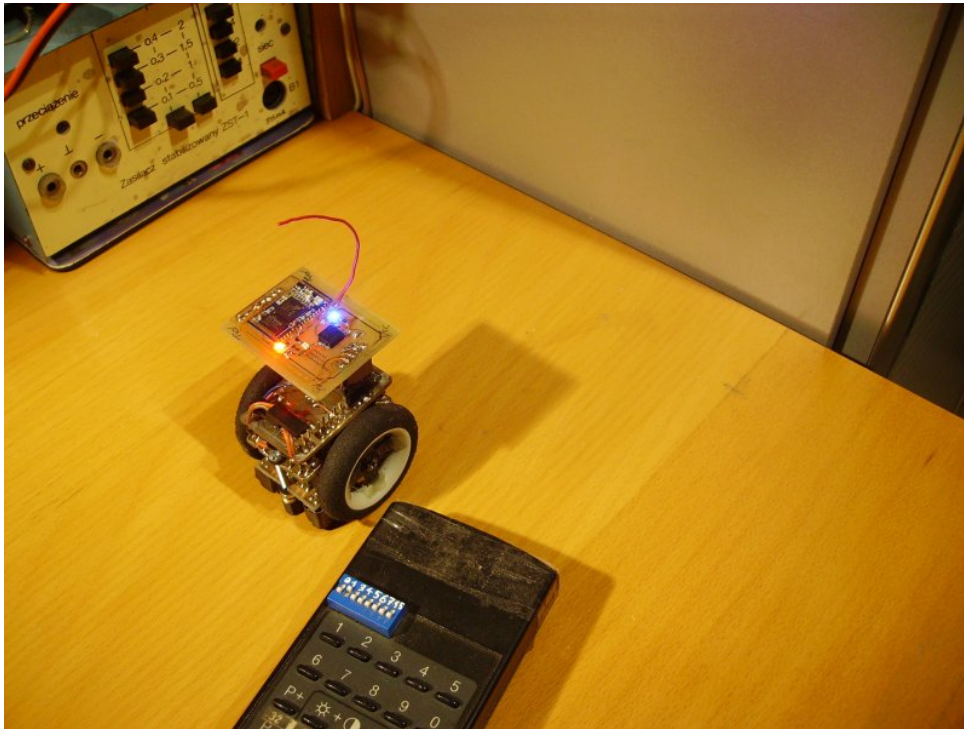
Na podstawie analizy danych z modułu testowego oraz doświadczeń nabytych podczas badań przy jego wykorzystaniu, przeprowadzono badania zderzeń robota *Micro Sumo*. W nowym rozwiązaniu zdecydowanie poprawiono metodę komunikacji robota z komputerem, napisane zostało odpowiednie oprogramowanie wizualizujące w czasie quasi-rzeczywistym zmiany akceleracji oraz rejestrujące je do pliku. Zamiast surowych cyferek przesuujących się w okienku terminala, dostępny jest teraz interfejs przyjazny użytkownikowi.

### 6.2.1 Środowisko testowe

Aby możliwa była analiza porównawcza wyników pomiarów, zdecydowano że podobnie jak przy pomiarach z wykorzystaniem robota *Mini Sumo* jak i platformy z samochodu-zabawki, zderzenia odbywać się będą z powierzchnią boczną drewnianej szafy, natomiast

podłożem będzie blat biurka. Podobnie jak poprzednio przeprowadzono komplet badań z najazdu na wprost przeszkody oraz z uderzenia pod kątem  $45^\circ$ .

Fotografia 6.5 przedstawia robota na scenie testowej, umieszczonego prostopadle do przeszkody. Na fotografii widoczny jest również pilot standardu RC5 służący do bezprzewodowego rozpoczęcia badania oraz zamontowany na robocie moduł bluetooth służący do bezprzewodowej komunikacji z komputerem. Działania takie mają na celu wyeliminowanie zewnętrznych sił (nacisk na robota, naprężenia na przewodach itp.), które mogą zakłócić pomiary.



Rysunek 6.5 Scena testów - robot *Micro Sumo* przed przeszkodą

### 6.2.2 Oprogramowanie wizualizacyjno - rejestrujące

W celu ułatwienia komunikacji z robotem, zostało napisane specjalne oprogramowanie wizualizacyjno - rejestrujące. Oprogramowanie zostało napisane w języku C++ przy wykorzystaniu biblioteki Qt4 [11] tworzącej interfejs użytkownika oraz biblioteki QExt-SerialPort [3] zapewniającej obsługę komunikacji szeregowej.

Program umożliwia nawiązanie łączności szeregowej na dowolnym porcie komputera z wybranymi parametrami transmisji z robotem. Odbiera ramki danych z robota, weryfikuje ich poprawność sprawdzając sumę kontrolną CRC a następnie przelicza do wartości akceleracji. Ostatecznie, obrobione dane są wyświetlane na sześciu wykresach oraz logowane do pliku tekstowego, który można później wyedytować dowolnym programem.

Program wizualizuje wartości przyspieszeń w czasie quasi-rzeczywistym, pozwalając na zmianę zakresu widzialnego okna czasowego. Dodatkowo w pasku bocznym możliwy jest podgląd wartości numerycznych poszczególnych przyspieszeń robota oraz w dodatkowym oknie - surowych ramek transmisji.

Screeny z działania programu przedstawiono w dalszej części opracowania, na ilustracji 6.7 oraz 6.9.

### 6.2.3 Przebieg badania

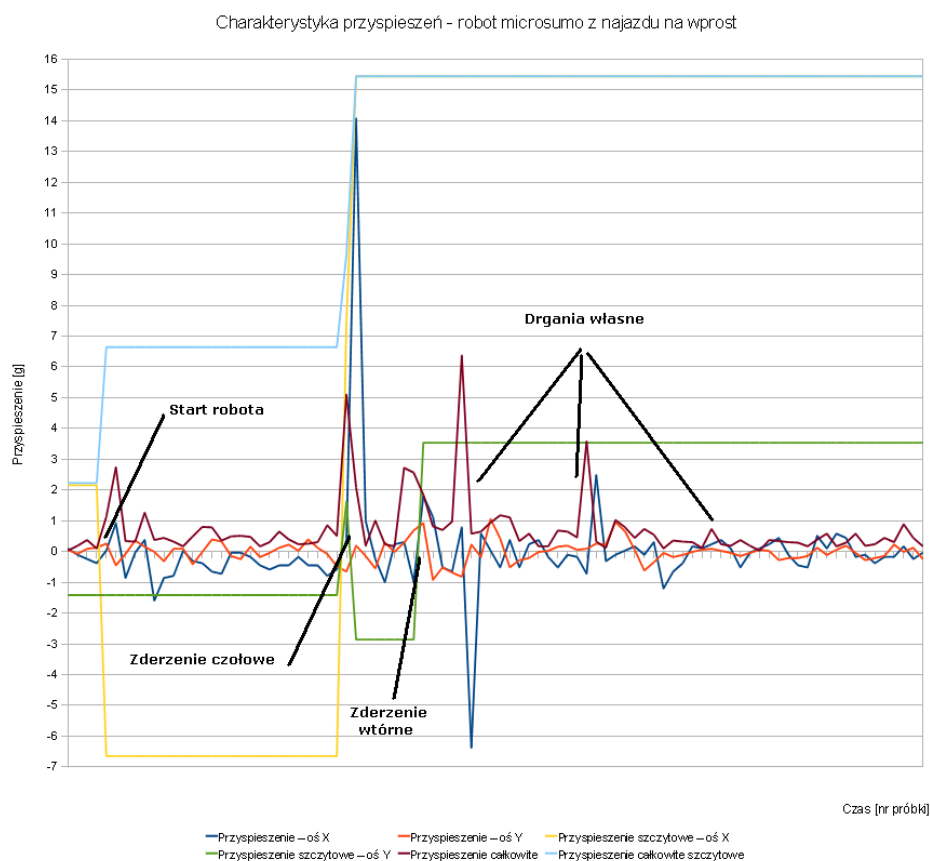
Na komputerze zostaje uruchomione oprogramowanie wizualizacyjno – rejestrujące. Następuje jego konfiguracja: wybranie portu szeregowego, parametrów transmisji oraz ścieżki i nazwy pliku wyjściowego.

Robot zostaje ustawiony w żądanej konfiguracji. Po załączeniu zasilania, robot przechodzi *self-testy*, inicjalizuje łączność bezprzewodową z komputerem i po ok. dwóch sekundach jest gotowy do pracy. Oprogramowanie robota wyczekuje na komendę startu, nadaną z pilota RC5.

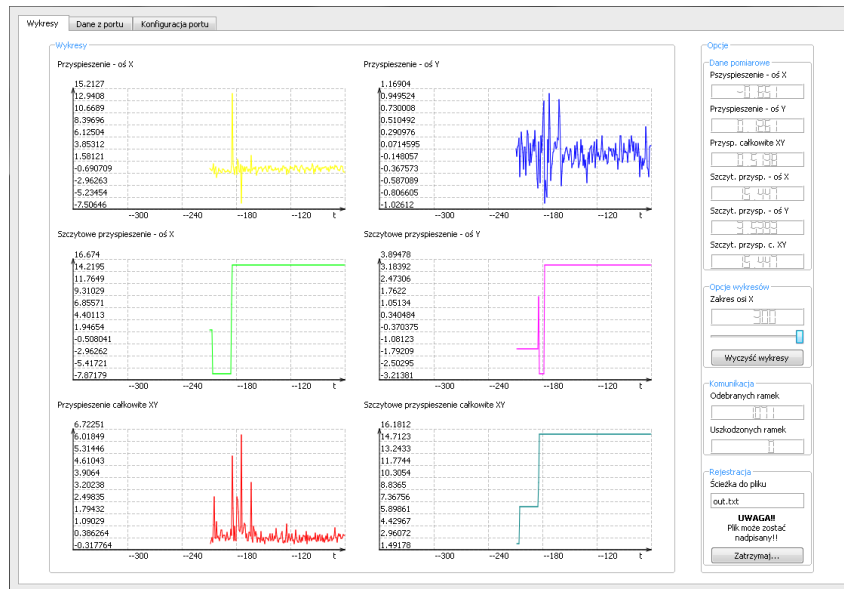
W programie rejestrującym należy otworzyć port transmisji szeregowej oraz rozpocząć rejestrację zderzenia. Po wciśnięciu przycisku „Start” na pilocie RC5 robot rusza z pełną prędkością do przodu. Od tej chwili, wizualizowane i rejestrowane będą przyspieszenia działające na robota. Po zakończeniu badania, po zderzeniu, należy zatrzymać rejestrację oraz wyłączyć robota. Plik wynikowy zawiera pełną dokumentację przebiegu zderzenia.

### 6.2.4 Zderzenie czołowe

Na wykresie 6.6 przedstawiono zderzenie robota *Micro Sumo* ze ścianą z najazdu na wprost. Na ilustracji 6.7 przedstawiono zrzut ekranu z programu do wizualizacji i rejestracji danych pomiarowych z tejże sytuacji.



Rysunek 6.6 Zderzenie czołowe robota *Micro Sumo* .



Rysunek 6.7 Zderzenie czołowe robota *Micro Sumo* – zrzut ekranu z programu wizualizującego w trakcie pomiarów.

Analizując wykreśloną charakterystykę zderzenia już w pierwszej chwili zauważamy, że wartość maksymalna przyspieszenia uzyskana drogą próbkowania znacząco różni się od wartości maksymalnej podawanej z układu *sample&hold* układu akcelerometru. Rozbieżność ta wynika oczywiście ze zbyt rzadkiego próbkowania, co potwierdza wcześniejsze tezy o konieczności gęstego próbkowania w przypadku braku układu *sample&hold*.

Mimo, wydawałoby się, idealnego ustawienia robota prostopadle względem przeszkody, zderzenie odbywa się jednak pod pewnym kątem, gdyż najpierw występuje impuls akceleracji w osi Y, a dopiero po nim gwałtowny wzrost opóźnienia w osi X. Z wielkości numerycznych obu pików, korzystając z prostej analizy trygonometrycznej przy założeniu zderzenia idealnie sprężystego, można wyznaczyć kąt ustawienia robota w przybliżeniu równy  $84^\circ$ .

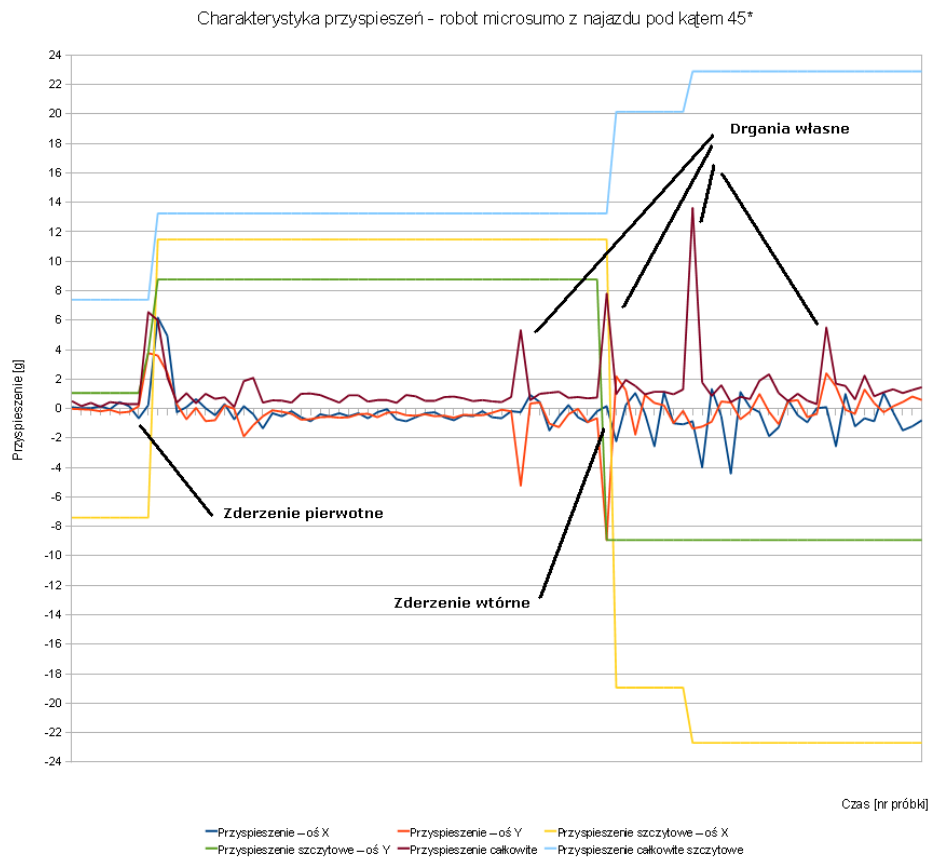
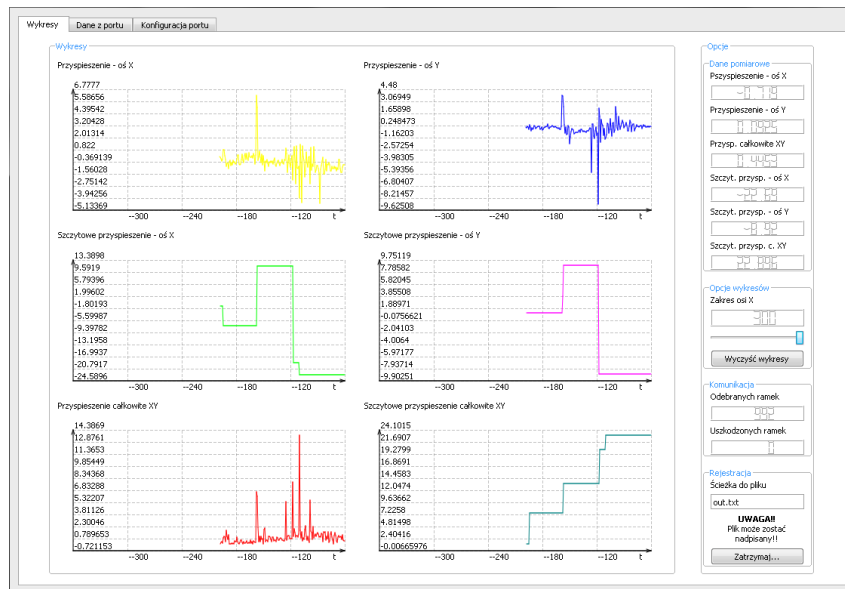
Na robota w chwili zderzenia zadziałało przyspieszenie w osi Y równe  $3,53g$  oraz  $15,44g$  w osi X.

Na charakterystyce widoczne jest w chwilę po impulsie opóźnienia, ponowne przyspieszenie. Jest to efekt odbicia się robota od powierzchni przeszkody. Ponadto, kolejne próbki niosą informację o drganiach własnych akcelerometru, spowodowane inercją mechanicznej masy pomiarowej, użytej do jego budowy.

### 6.2.5 Zderzenie kątowe

Na wykresie 6.8 przedstawiono zderzenie robota *Micro Sumo* z przeszkodą z kąta około  $45^\circ$ . Ponadto, na ilustracji 6.9 przedstawiono zrzut ekranu z programu do wizualizacji i rejestracji danych pomiarowych.

Analiza charakterystyki potwierdza uprzednio wysnuty wniosek o różnicy wartości akceleracji odczytanej bezpośrednio oraz z rejestru układu *sample&hold*. Niemniej, opierając się na wynikach otrzymanych z tego drugiego, można zauważyć, że robot uderza praktycznie idealnie pod zadaniem kątem - moment szczytu akceleracji jest dla obu osi ten sam. Rozbieżność wartości akceleracji, przy większej wartości w osi X wynika najprawdopodobniej z różnicy wartości tarcia poprzecznego i wzdłużnego.

Rysunek 6.8 Zderzenie kątowe robota *Micro Sumo*.Rysunek 6.9 Zderzenie kątowe robota *Micro Sumo* – zrzut ekranu z programu wizualizującego w trakcie pomiarów.

Chwilę po zderzeniu następuje kolejne, wynikające najprawdopodobniej ze skręcenia robota, o czym świadczy duży szczyt akceleracji poprzecznej w przeciwnym kierunku w stosunku do pierwszego, oraz równoległy w czasie szczyt opóźnienia.

Następnie wystąpiło ciekawe zjawisko, zarejestrowane w układzie *sample&hold* – nałożenie się drgania własnego układu akcelerometru z akceleracją zewnętrzną. W efekcie odczytana została duża wartość przyspieszenia w osi X układu. Z uwagi na możliwość wystąpienia takiego zjawiska, nie można bezgranicznie ufać wartościom otrzymanym w wyniku działania tego układu. Zawsze podczas analizy należy wartości te odnieść do wartości rzeczywistych przyspieszeń otrzymanych z bieżących pomiarów.

# Rozdział 7

## Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych prac udało się zrealizować cel projektu, jakim była realizacja układu do detekcji i rejestracji zderzeń w robocie mobilnym.

Podczas realizacji, zaprojektowany i zbudowany został moduł pomiarowy czujników akcelerometrycznych. Zamontowano na nim trzy typy czujników o różnym zakresie pomiarowym:  $\pm 50\text{g}$ ,  $\pm 200\text{g}$  oraz  $\pm 1000\text{g}$ . Zamontowane zostały dwa czujniki z zakresu  $50\text{g}$  ustawione ortogonalnie, w wyniku czego możliwy był pomiar przyspieszenia zarówno w osi X jak i Y. Moduł ten stanowił podwaliny do praktycznej implementacji rozwiązania detekcji zderzenia w robocie mobilnym.

W celu realizacji drugiego z postawionych celów jakim była implementacja układu w robocie mobilnym, wykonany i zaprojektowany został robot mobilny klasy *Micro Sumo* w którym zainstalowany został scalony czujnik i rejestrator przyspieszeń o zakresie pomiarowym  $\pm 70\text{g}$  w osi X oraz  $\pm 35\text{g}$  w osi Y. Opracowano również oprogramowanie pozwalające na rejestrację zderzenia oraz jego analizę na komputerze.

Dane uzyskane podczas zderzeń, zarówno testowych jak i bezpośrednio w robocie, pozwoliły stwierdzić poprawność idei pomiaru poprzez gęste próbkowanie oraz układ *sample&hold* wbudowany w czujnik akcelerometryczny. Jak zauważono podczas analizy danych, samo próbkowanie może przeoczyć maksimum akceleracji natomiast ślepa wiara w wyniki z układu *sample&hold* może być katastrofalna w skutkach z powodu braku odporności tego układu na zaburzenia w postaci nakładania się wartości przyspieszenia aktualnego z przyspieszeniem rezonansowym struktury akcelerometru. Z uzyskanych danych, oprócz obliczenia siły zderzenia, można w przybliżeniu oszacować kąt pod jakim robot uderza w przeszkodę, przy założeniu jednakowego tarcia podłużnego i poprzecznego, które w rzeczywistości nie zawsze jest spełnione, co zaobserwowano w jednym z eksperymentów.

Analiza danych pozwala zaobserwować że zderzenie cięższego ale wolniejszego *Mini Sumo* wprowadza akcelerację ponad dwukrotnie mniejszą niż zderzenie lżejszej lecz szybszej platformy modelu auta zdalnie sterowanego. Czterokrotnie wolniejsze i lżejsze w stosunku do *Mini Sumo*, *Micro Sumo*, w wyniku zderzenia wprowadza do układu podobne opóźnienie.

W dalszym rozwoju projektu można ukierunkować badania w stronę rozpoznania typu zderzenia i obserwacji wpływu różnych powierzchni na wartości akceleracji. Ponadto należałoby także rozbudować funkcjonalne oprogramowanie robota o możliwość korzystania z wartości przyspieszeń uzyskanych z akcelerometru, do podejmowania odpowiednich akcji (uniku oraz ataku) podczas walk robotów *Micro Sumo*.



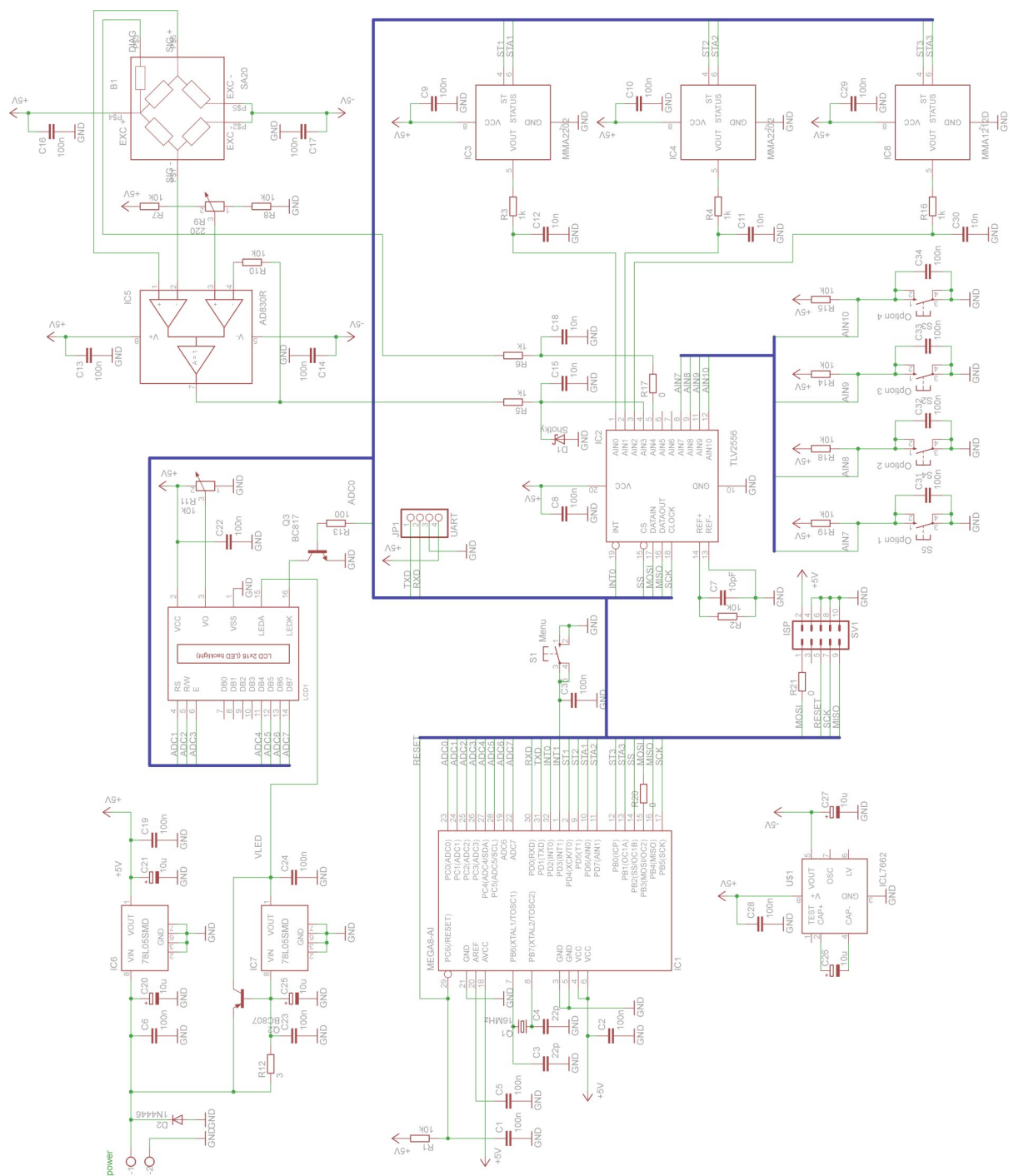




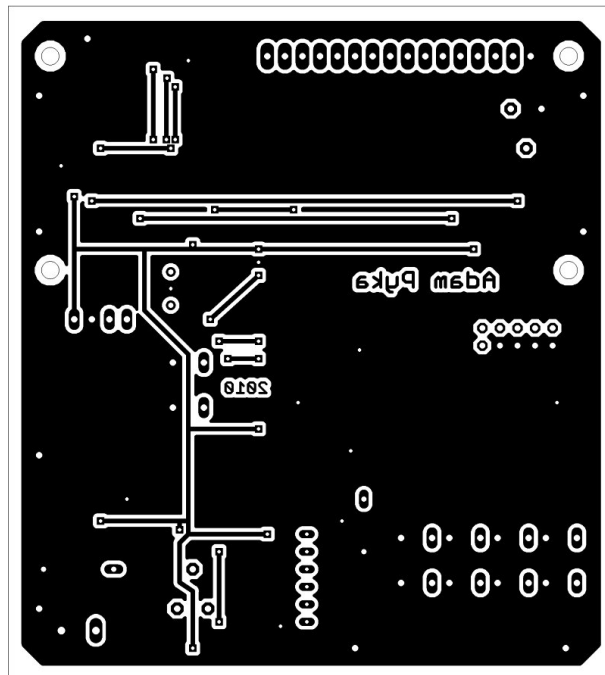
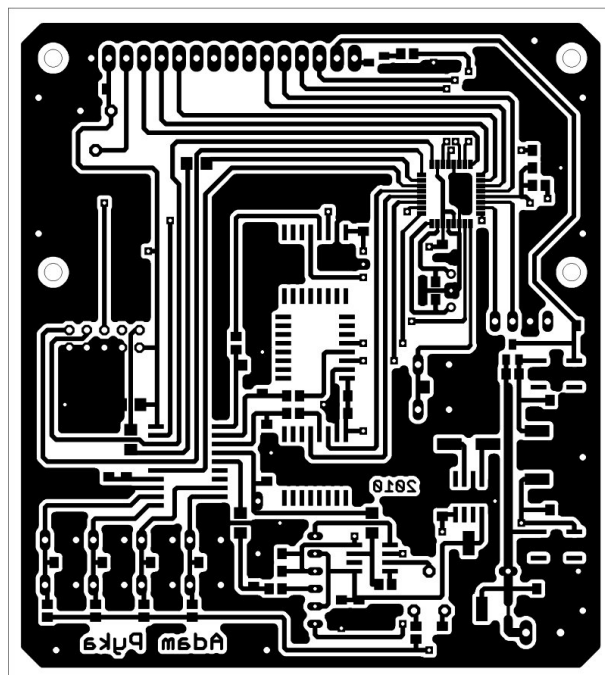
# Dodatek A

## Moduł pomiarowy

### A.1 Schemat ideowy



Rysunek A.1 Schemat modułu testowego

A.2 Mozaiki *PCB*Rysunek A.2 Projekt *PCB* – warstwa dolnaRysunek A.3 Projekt *PCB* – warstwa górna

### A.3 Logika połączeń

Kanał	Urządzenie	Oś
0	MMA2202EG	X
1	MMA2202EG	Y
2	MMA1212D	X
3	SA20	X
4	SA20 - diagnostyka	n.d.
5	niepołączone	n.d.
6	niepołączone	n.d.
7	microswitch S5	n.d.
8	microswitch S4	n.d.
9	microswitch S2	n.d.
10	microswitch S3	n.d.

Tabela. A.1 Logika połączeń kanałów przetwornika ADC

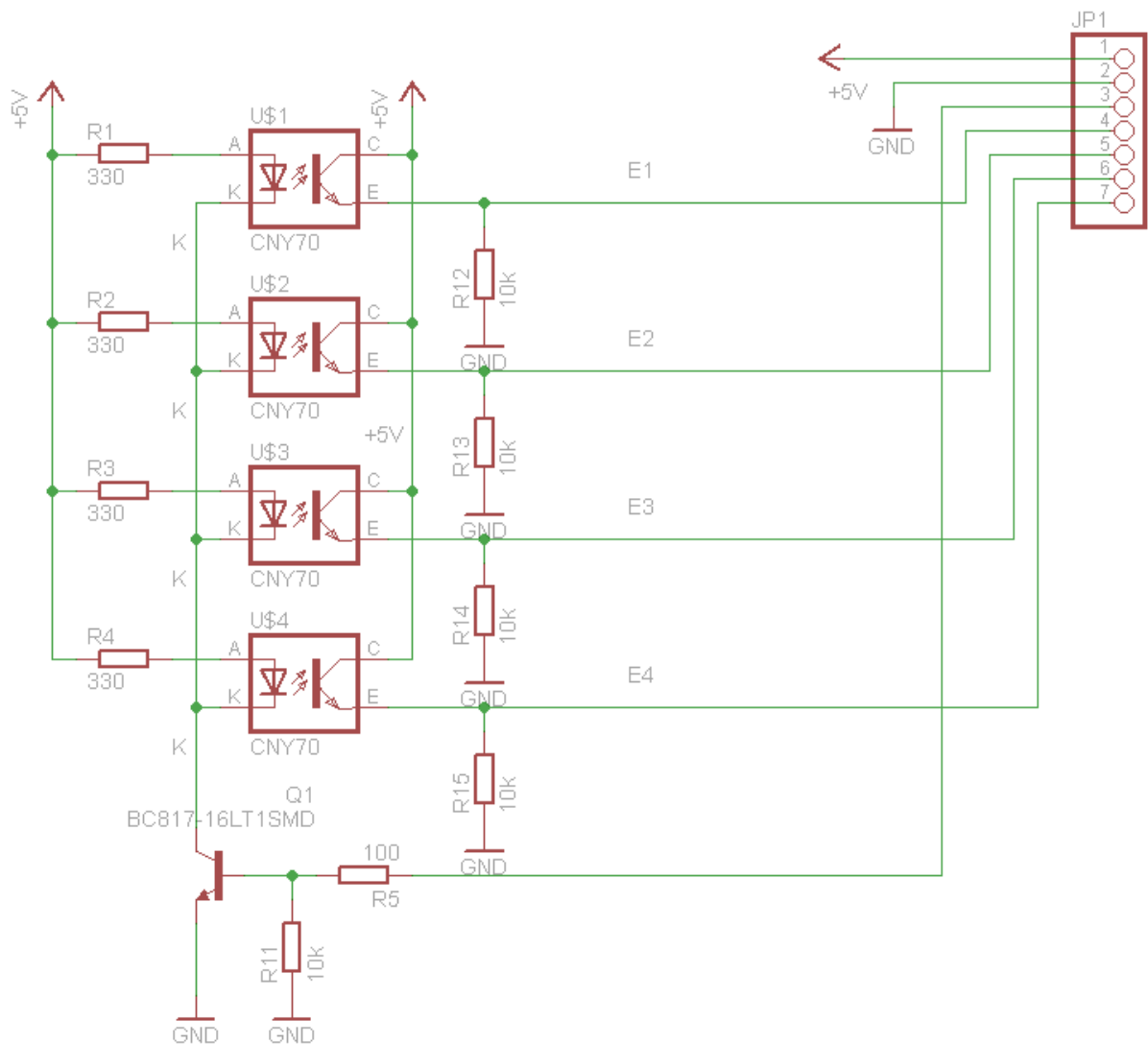
Pin	Sygnal	Kierunek	Opis
PB0	ST3	OUT	Accelerometer 3 init self-test
PB1	STA3	IN	Accelerometer 3 indicate fault
PB2	SS	OUT	Slave Select
PB3	MOSI	OUT	SPI
PB4	MISO	IN	SPI
PB5	SCK	OUT	SPI
PD0	RXD	IN	USART Receive
PD1	TXT	OUT	USART Transmit
PD2	INT0	IN	Interrupt from Accelerometer
PD3	INT1	IN	Interrupt from microswitch S1
PD4	ADC4	OUT	LCD DATA4
PD5	ADC5	OUT	LCD DATA5
PD6	ADC6	OUT	LCD DATA6
PD7	ADC7	OUT	LCD DATA7
PC0	ADC0	OUT	LCD Backlight enable
PC1	ADC1	OUT	LCD Reset
PC2	ADC2	OUT	LCD Read/Write
PC3	ADC3	OUT	LCD Enable
PC4	ST1	OUT	Accelerometer 1 init self-test
PC5	ST2	OUT	Accelerometer 2 init self-test
ADC6	STA1	IN	Accelerometer 1 indicate fault
ADC7	STA2	IN	Accelerometer 2 indicate fault

Tabela. A.2 Opis wyprowadzeń mikrokontrolera – wersja poprawiona

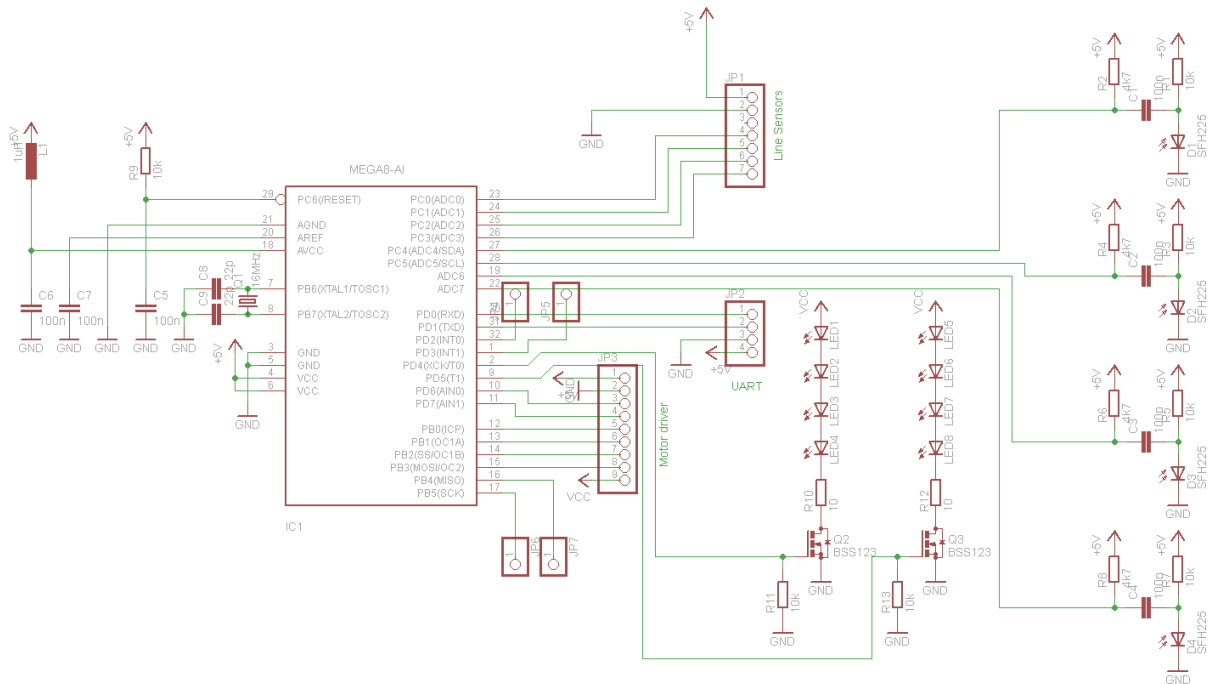
# Dodatek B

## *Micro Sumo*

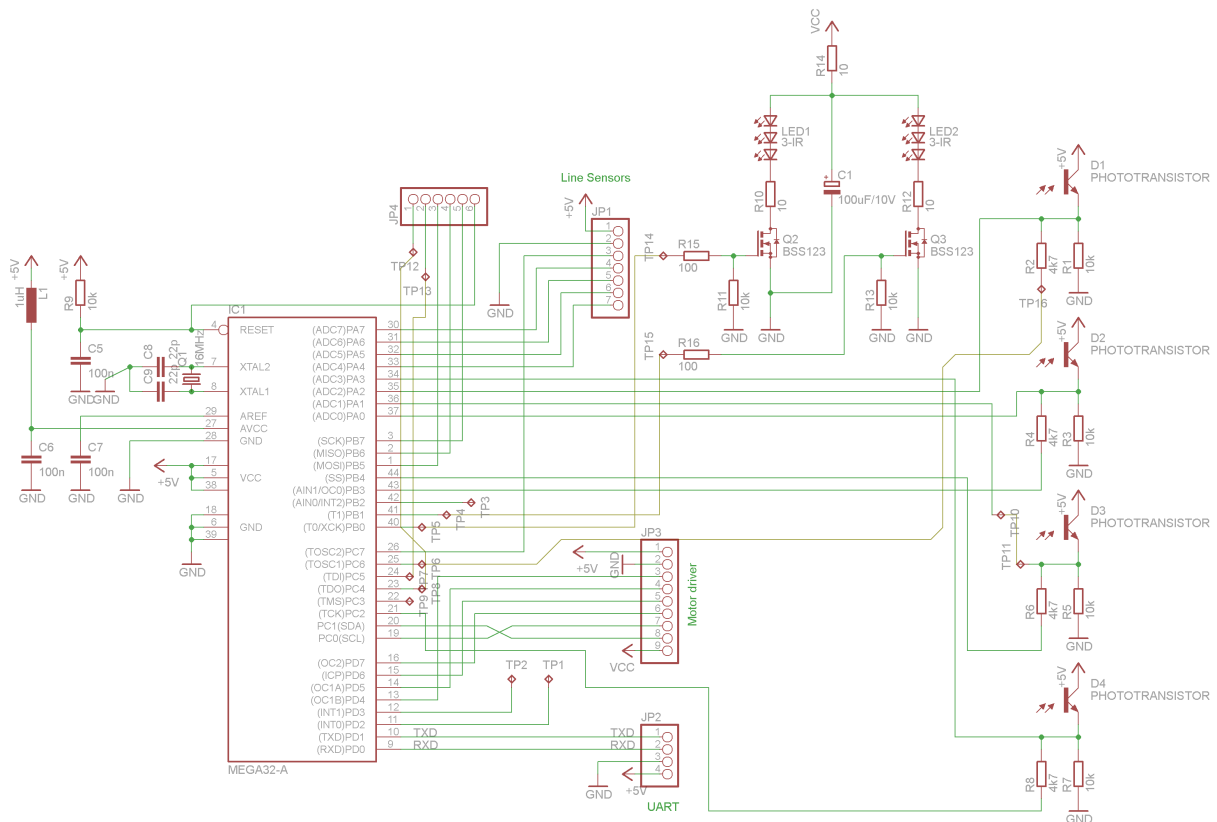
### B.1 Schematy ideowe



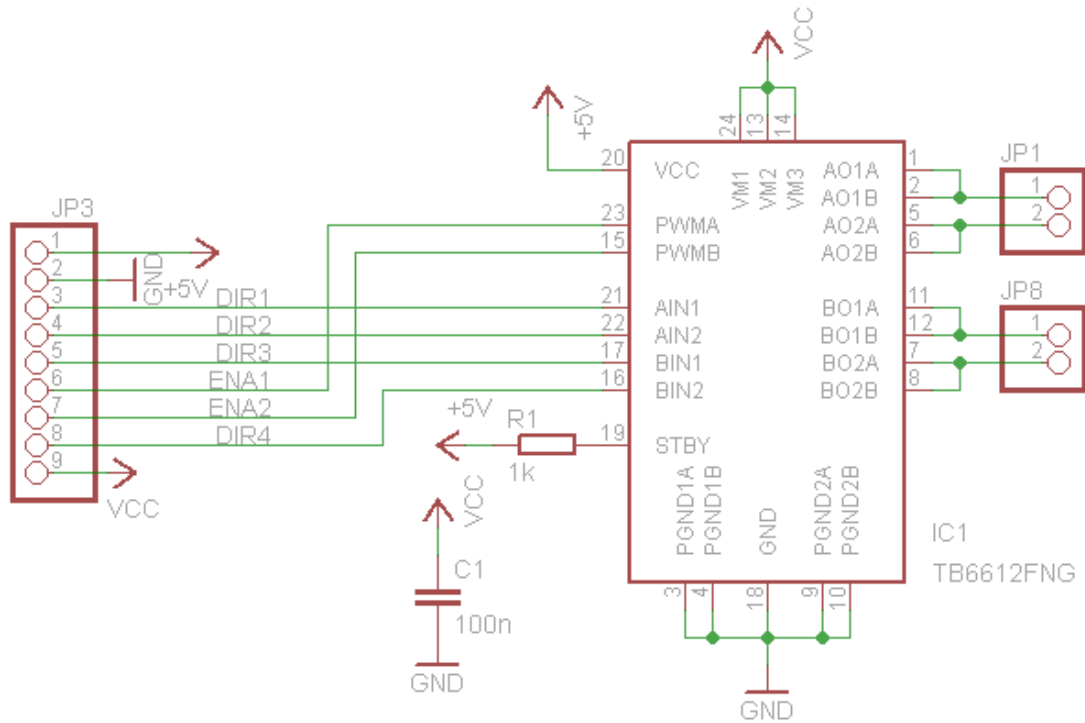
Rysunek B.1 Moduł czujników białej linii – schemat ideowy



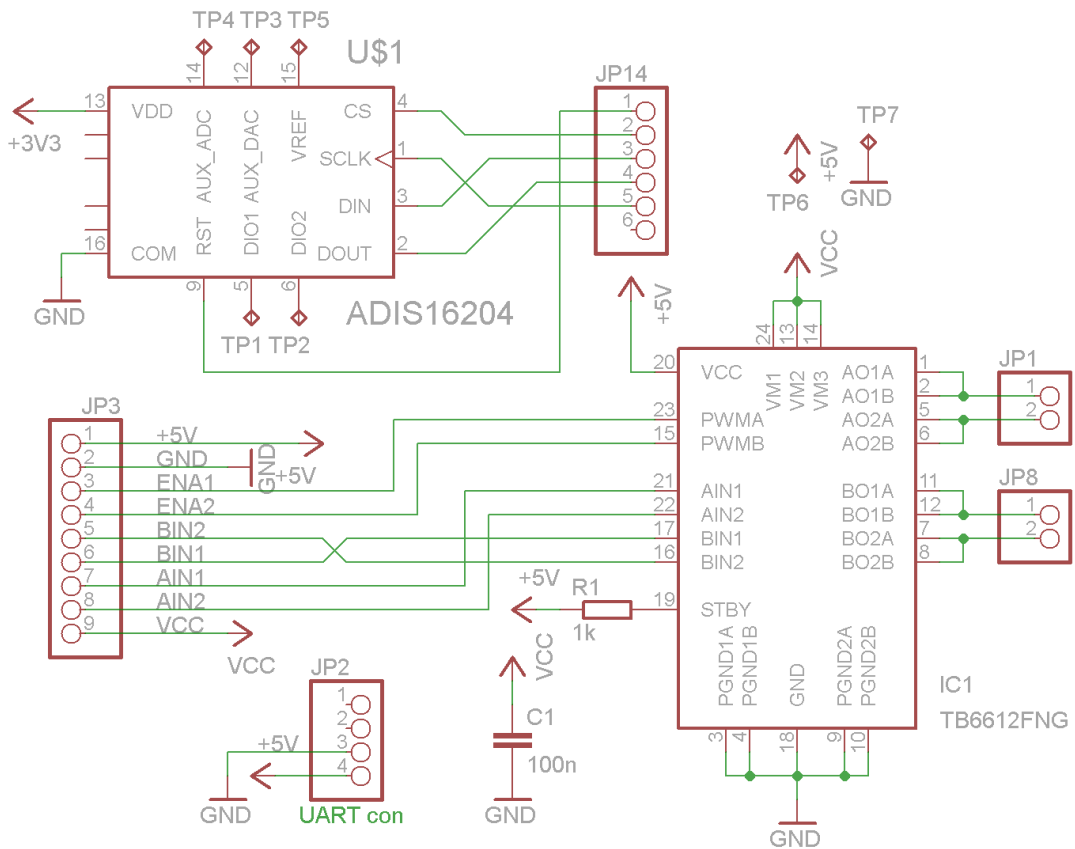
Rysunek B.2 Moduł mikrokontrolera i dalmierzy optycznych – schemat ideowy — poprzednie rozwiązanie



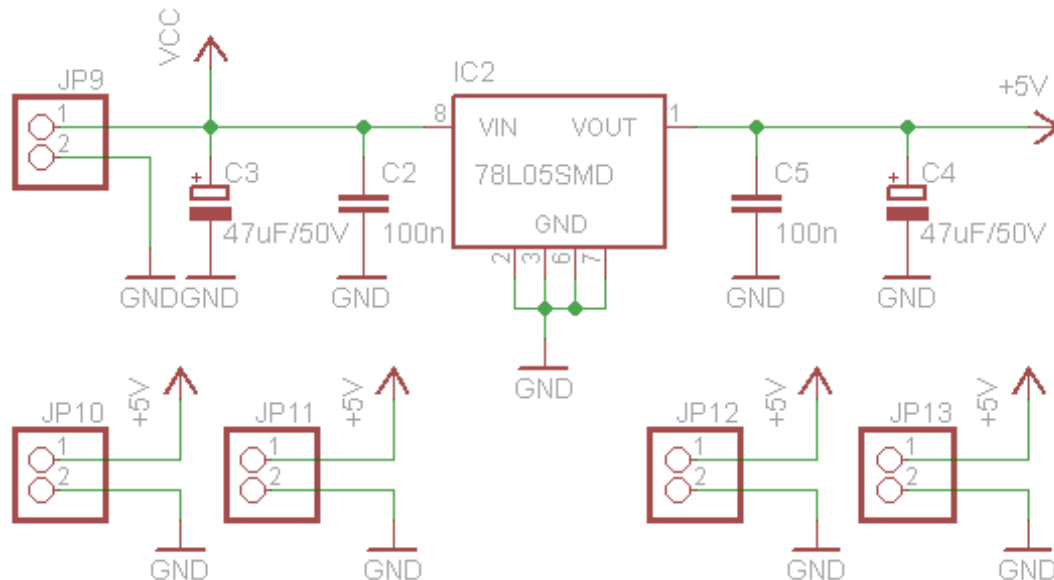
Rysunek B.3 Moduł mikrokontrolera i dalmierzy optycznych – schemat ideowy — aktualne rozwiązanie



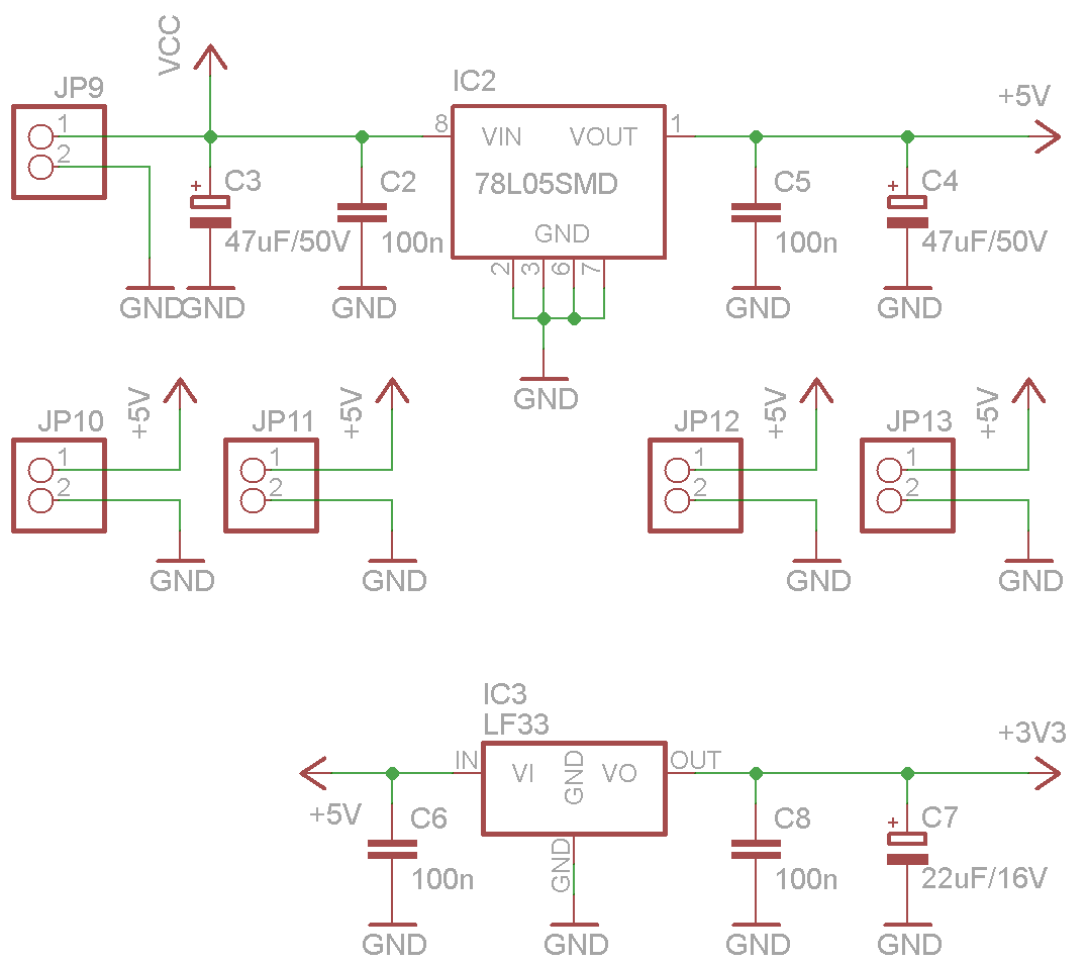
Rysunek B.4 Moduł driverów silników oraz układu zasilania – schemat ideowy drivera — poprzednie rozwiązanie



Rysunek B.5 Moduł driverów silników oraz układu zasilania – schemat ideowy drivera oraz akcelerometru — aktualne rozwiązanie



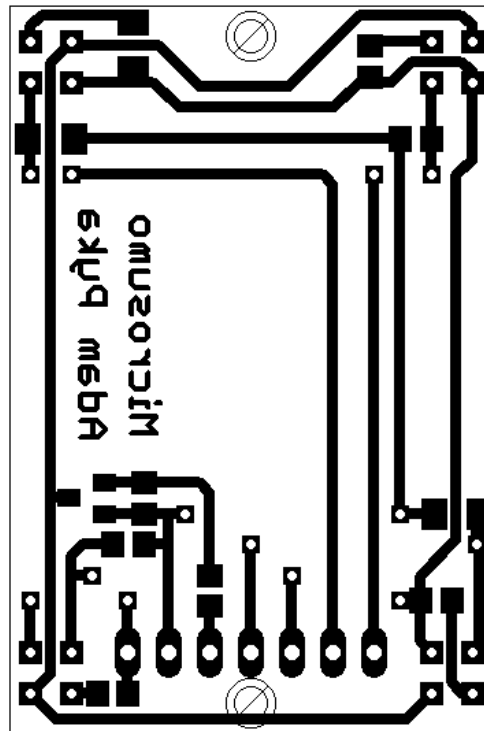
Rysunek B.6 Moduł driverów silników oraz układu zasilania – schemat ideowy stabilizatora — poprzednie rozwiązanie



Rysunek B.7 Moduł driverów silników oraz układu zasilania – schemat ideowy układu stabilizatorów — aktualne rozwiązanie

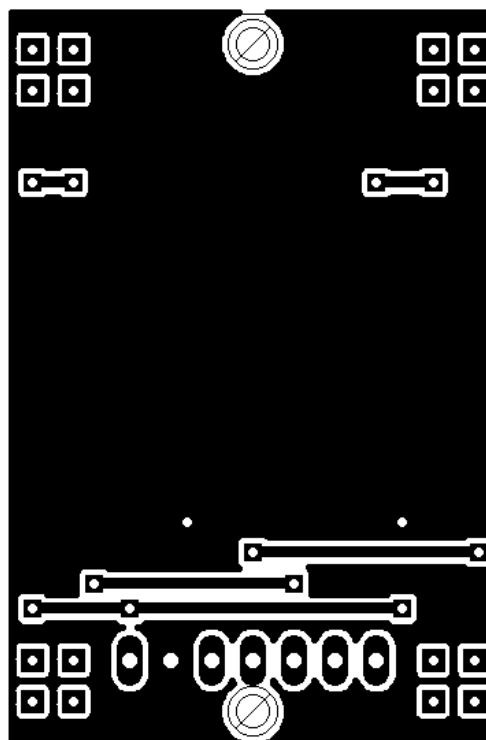


## B.2 Mozaiki PCB



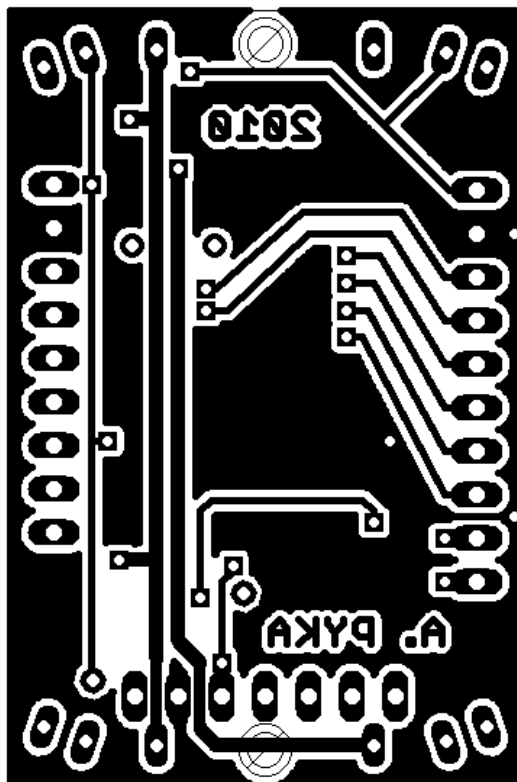
Rysunek B.8 PCB modułu czujników linii – warstwa dolna

widok patrzac z gory na robota



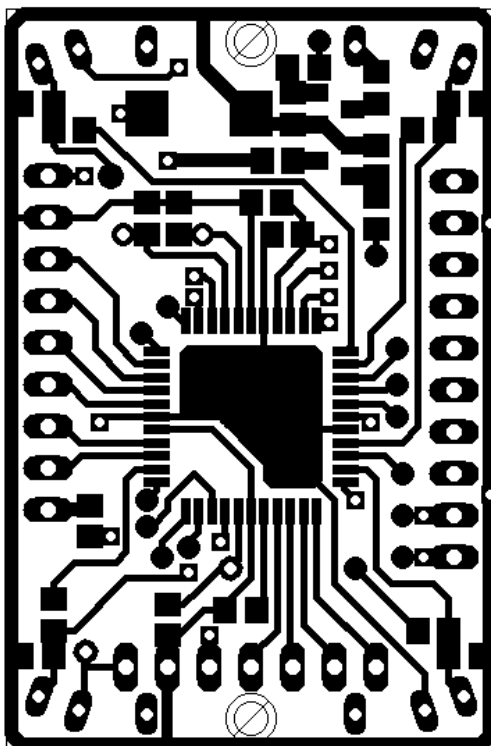
Rysunek B.9 PCB modułu czujników linii – warstwa górna

АԳԳԻՄ ԲՆԻԿՏ  
ՄԻՇՐՈՇՆՈՄՈ



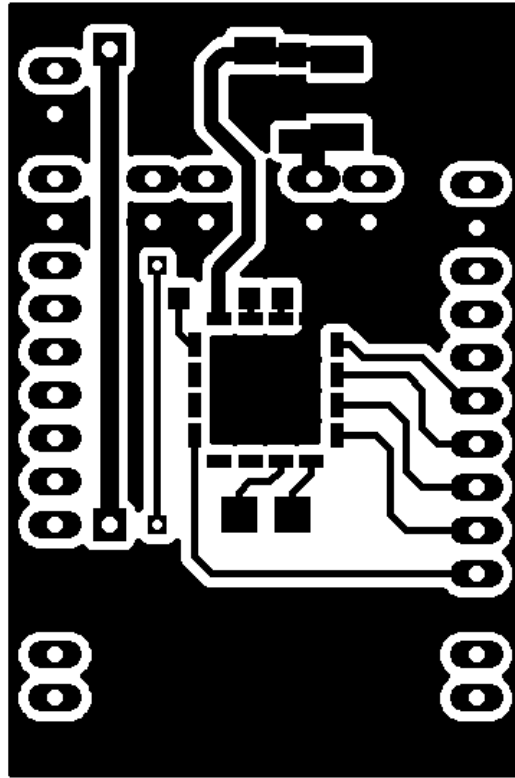
Rysunek B.10 *PCB* modułu mikrokontrolera – warstwa dolna

վիճոկ քառչառ շ ցորո ոա ռոբոթա



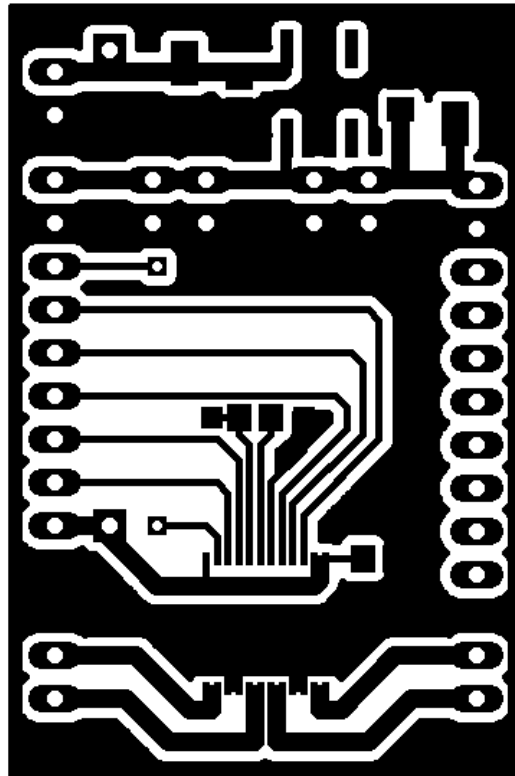
Rysunek B.11 *PCB* modułu mikrokontrolera – warstwa górna

Модуль драйвера  
акселерометра



Rysunek B.12 PCB modułu drivera, akcelerometru i stabilizatorów – warstwa dolna

видок патрзак з гору на робота



Rysunek B.13 PCB modułu drivera, akcelerometru i stabilizatorów – warstwa górna

### B.3 Logika połączeń

Pin	Kierunek	Stan	Opis
PA0	IN	0	ADC0 - DETECTOR NE
PA1	IN	0	ADC1 - DETECTOR NW
PA2	IN	0	ADC2 - DETECTOR SE
PA3	IN	0	ADC3 - DETECTOR SW
PA4	IN	0	ADC4 - WL
PA5	IN	0	ADC5 - WL
PA6	IN	0	ADC6 - WL
PA7	IN	0	ADC7 - WL
PB0	OUT	0	IR FRONT
PB1	OUT	0	IR REAR
PB2	IN	1	IR remote controller
PB3	IN	0	range shift ADC0
PB4	IN	0	range shift ADC1 / SS
PB5	OUT	0	MOSI
PB6	IN	0	MISO
PB7	OUT	1	SCK
PC0	OUT	0	motor A1
PC1	OUT	0	motor A2
PC2	IN	0	range shift ADC3
PC3	OUT	1	LED
PC4	OUT	0	accel RST
PC5	OUT	1	accel CS
PC5	IN	0	range shift ADC2
PC7	OUT	0	WL lighting
PD0	IN	0	RxD
PD1	OUT	0	TxD
PD2	IN	0	INT0 - not used
PD3	IN	0	INT1 - not used
PD4	OUT	0	OC1B - motor PWMA
PD5	OUT	0	OC1A - motor PWMB
PD6	OUT	0	motor B2
PD7	OUT	0	motor B1

Tabela. B.1 Opis wyprowadzeń mikrokontrolera – nowa wersja

# Bibliografia

- [1] Atmel.  
ATmega32 - 8-bit AVR with 32K Bytes In-System Programmable Flash.  
2010.
- [2] Atmel.  
ATmega8 - 8-bit AVR with 8K Bytes In-System Programmable Flash.  
2010.
- [3] sourceforge.net Brandon Fosdick.  
QextSerialPort - a cross-platform serial port class.  
[online].  
<http://qextserialport.sourceforge.net>.
- [4] CadSoft.  
Eagle - manual.  
2010.
- [5] Freescale Semiconductor C.S. Chua.  
Impact measurement using accelerometers.  
2004.
- [6] Freescale Semiconductor C.S. Chua.  
Shock and mute pager applications using accelerometers.  
2006.
- [7] Analog Devices.  
Ad830 - high speed, video difference amplifier.  
2010.
- [8] inż. Karol Sydor.  
Robot minisumo shine.  
2009.
- [9] Texas Instruments.  
TLV2556 - 12-bit, 200-ksps, 11 channel, low power, serial ADC with internal reference.  
2010.
- [10] Freescale Semiconductor Kimberly Tuck.  
Motion and freefall detection using the mma8450q.  
2010.
- [11] Nokia.  
Qt - a cross-platform application and UI framework.  
[online].  
<http://qt.nokia.com>.
- [12] Adam Pyka.

- Detekcja zderzeń w robotach mobilnych - opracowanie w ramach kursu „Projekt zespołowy”.  
[online].  
[http://rab.ict.pwr.wroc.pl/~mw/pdfs/raport\\_pz\\_microsumo.pdf](http://rab.ict.pwr.wroc.pl/~mw/pdfs/raport_pz_microsumo.pdf).
- [13] Adam Pyka.  
Robot mobilny klasy microsumo - opracowanie w ramach kursu „Sterowniki robotów”.  
[online].  
<http://rab.ict.pwr.wroc.pl/~mw/pdfs/microsumo.pdf>.
- [14] Freescale Semiconductor.  
MMA1212D - Surface Mount Micromachined Accelerometer.  
2009.
- [15] Freescale Semiconductor.  
MMA2202KEG - Surface Mount Micromachined Accelerometer.  
2009.
- [16] Maxim Semiconductors.  
Icl7662 - cmos voltage converters.  
1996.
- [17] ST Semiconductors.  
78lxx - positive voltage regulators.  
2007.
- [18] SensoNor.  
SA20 Crash Sensor.  
2006.
- [19] Siemens.  
Sfh415 - gaas infrared emitter.  
1997.
- [20] Toshiba.  
Tb6612fng - driver ic for dual dc motor.  
2007.
- [21] Vishay.  
Cny70 - reflective optical sensor with transistor output.  
2000.
- [22] Vishay.  
Bpw77n - silicon npn phototransistor.  
2005.
- [23] Vishay.  
Tsop321.., tsop323.. - ir receiver modules for remote control systems.  
2008.

# Spis rysunków

3.1	Modele akcelerometru pojemnościowego . . . . .	10
3.2	Uproszczony schemat blokowy akcelerometrów serii MMA22xx oraz MMA12xx /Freescale/ . . . . .	12
3.3	Schemat elektryczny akcelerometru SA20 /SensNor/ . . . . .	13
3.4	Schemat blokowy akcelerometru ADIS16204 /Analog Devices/ . . . . .	14
4.1	Schemat blokowy modułu pomiarowego . . . . .	16
4.2	Fotografia modułu – warstwa dolna . . . . .	18
4.3	Fotografia modułu – warstwa górna . . . . .	19
5.1	Schemat blokowy elektroniki robota <i>Micro Sumo</i> . . . . .	22
5.2	Modułowa konstrukcja robota. . . . .	22
5.3	Robot podczas testów — przejściówka — wpięty programator ISP oraz moduł komunikacji szeregowej w standardzie RS232 . . . . .	26
5.4	Moduł czujników linii – fotografia zamontowanego w robocie modułu . . . . .	27
5.5	Fotografia poprzednich wersji modułów . . . . .	29
5.6	Fotografia aktualnej wersji modułów – płytki drukowane gotowe do lutowania . . . . .	29
5.7	Zmontowany robot . . . . .	30
6.1	Moduł zamontowany na platformie jezdnej . . . . .	36
6.2	Zderzenie czołowe platformy modelu samochodu. Niebieski - oś X, zakres 50g, czerwony - oś Y, zakres 50g, żółty - oś X, zakres 200g, zielony - oś X, zakres 1000g . . . . .	37
6.3	Zderzenie czołowe robota <i>Mini Sumo</i> . Niebieski - oś X, zakres 50g, czerwony - oś Y, zakres 50g, żółty - oś X, zakres 200g, zielony - oś X, zakres 1000g . . . . .	38
6.4	Zderzenie kątowe robota <i>Mini Sumo</i> . Niebieski - oś X, zakres 50g, czerwony - oś Y, zakres 50g, żółty - oś X, zakres 200g, zielony - oś X, zakres 1000g . . . . .	39
6.5	Scena testów - robot <i>Micro Sumo</i> przed przeszkodą . . . . .	40
6.6	Zderzenie czołowe robota <i>Micro Sumo</i> . . . . .	41
6.7	Zderzenie czołowe robota <i>Micro Sumo</i> – zrzut ekranu z programu wizuali- zującego w trakcie pomiarów. . . . .	42
6.8	Zderzenie kątowe robota <i>Micro Sumo</i> . . . . .	43
6.9	Zderzenie kątowe robota <i>Micro Sumo</i> – zrzut ekranu z programu wizuali- zującego w trakcie pomiarów. . . . .	43
A.1	Schemat modułu testowego . . . . .	48
A.2	Projekt <i>PCB</i> – warstwa dolna . . . . .	49
A.3	Projekt <i>PCB</i> – warstwa górna . . . . .	49

B.1	Moduł czujników białej linii – schemat ideowy . . . . .	51
B.2	Moduł mikrokontrolera i dalmierzy optycznych – schemat ideowy — poprzednie rozwiązanie . . . . .	52
B.3	Moduł mikrokontrolera i dalmierzy optycznych – schemat ideowy — aktualne rozwiązanie . . . . .	52
B.4	Moduł driverów silników oraz układu zasilania – schemat ideowy drivera — poprzednie rozwiązanie . . . . .	53
B.5	Moduł driverów silników oraz układu zasilania – schemat ideowy drivera oraz akcelerometru — aktualne rozwiązanie . . . . .	53
B.6	Moduł driverów silników oraz układu zasilania – schemat ideowy stabilizatora — poprzednie rozwiązanie . . . . .	54
B.7	Moduł driverów silników oraz układu zasilania – schemat ideowy układu stabilizatorów — aktualne rozwiązanie . . . . .	54
B.8	<i>PCB</i> modułu czujników linii – warstwa dolna . . . . .	55
B.9	<i>PCB</i> modułu czujników linii – warstwa górna . . . . .	55
B.10	<i>PCB</i> modułu mikrokontrolera – warstwa dolna . . . . .	56
B.11	<i>PCB</i> modułu mikrokontrolera – warstwa górna . . . . .	56
B.12	<i>PCB</i> modułu drivera, akcelerometru i stabilizatorów – warstwa dolna . . .	57
B.13	<i>PCB</i> modułu drivera, akcelerometru i stabilizatorów – warstwa górna . . .	57



# Spis tabel

A.1	Logika połączeń kanałów przetwornika ADC . . . . .	50
A.2	Opis wyprowadzeń mikrokontrolera – wersja poprawiona . . . . .	50
B.1	Opis wyprowadzeń mikrokontrolera – nowa wersja . . . . .	58