

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
INFORMATIKOS FAKULTETAS  
PROGRAMŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Šarūnas Galinis

**ROBOTO JUDĖJIMO BEI KĖLIMO ĮTAISO  
KŪRIMAS IR TYRIMAS**

Magistro darbas

Darbo vadovas  
prof. E. Bareiša

Kaunas, 2012

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
INFORMATIKOS FAKULTETAS  
PROGRAMŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Šarūnas Galinis

**ROBOTO JUDĖJIMO BEI KĖLIMO ĮTAISO  
KŪRIMAS IR TYRIMAS**

Magistro darbas

Recenzentas

prof. Vacius Jusas

Vadovas

prof. E. Bareiša

2012-05

Atliko

IFM-0/5 gr. stud.

Šarūnas Galinis

2012-05

Kaunas, 2012

## **Development and Research of Robot Movement and Lifting Control Unit**

### **SUMMARY**

Robots are very rapidly advancing technology. They are used for military, aerospace, medical industry, is also an educational and entertaining.

The practical realization of the robot's movement and development of the lifting mechanism. It has been studied for microcontrollers, sensors, controllers, interface with the computer and chassis. The relevant engine speed signal amplification and conversion problems.

Examination of selected components of the proposed infrared, contact sensors, the signal selected by the engine controller and interface with a computer controller. Selected and programmed microcontroller ATMEGA32-16PU, tested in different modes, oscilloscope signals are sent to investigate. Suggested project improvements.

## **Roboto judėjimo bei kėlimo įtaiso kūrimas ir tyrimas**

### **SANTRAUKA**

Robotai – labai sparčiai tobulėjanti technika. Jie naudojami karo, kosmoso, medicinos pramonėje, taip pat yra ir mokomieji bei pramoginiai.

Šio darbo praktinė realizacija roboto judėjimo bei kėlimo mechanizmo kūrimas. Buvo tyrinėjami mikrovaldikliai, jutikliai, valdikliai, sąsaja su kompiuteriu, važiuoklė. Nagrinėjamos variklių greičio keitimo bei signalo stiprinimo problemos.

Ištyrus siūlomus komponentus parinkti infraraudonųjų spindulių, kontaktiniai jutikliai, parinktas variklio signalo valdiklis, sąsajos su kompiuteriu valdiklis. Parinktas ir užprogramuotas ATmega32-16PU mikrovaldiklis, išbandyta skirtingais režimais, oscilografu ištirti siunčiami signalai. Pasiūlyti projekto patobulinimai.

# TURINYS

<b>1. ĮVADAS .....</b>	<b>8</b>
<b>2. ANALITINĖ DALIS .....</b>	<b>9</b>
2.1. ROBOTŲ ISTORINĖ APŽVALGA.....	9
2.2. PANAŠIŲ PRODUKTŲ APŽVALGA.....	10
2.3. JUDĖJIMAS IR VALDYMAS.....	10
2.4. KOMPONENTŲ APŽVALGA .....	11
2.4.1. Mikrovaldikliai.....	11
2.4.2. Jutiklių palyginimas .....	14
2.4.3. Variklių valdiklis.....	16
2.4.4. Sąsaja su kompiuteriu .....	17
2.5. RATINIAI MOBILŪS ROBOTAI .....	19
2.5.1. Riedėjimo principas .....	20
2.5.2. Ratų klasifikacija .....	20
2.6. RATŲ KONFIGŪRACIJA .....	21
2.7. KĖLIMO MECHANIZMAS .....	29
2.8. IŠVADOS .....	29
<b>3. PROJEKTINĖ DALIS .....</b>	<b>30</b>
3.1. PROJEKTO TIKSLAS .....	30
3.2. REIKALAVIMAI SISTEMAI IR SISTEMOS FUNKCIJOS.....	30
3.3. PANAŠŪS PROJEKTAI .....	31
3.3.1. Mažytis linijų sekantis robotas .....	31
3.3.2. Kliūčių vengiantis robotas naudojantis ATmega32 .....	31
3.3.3. PIC pagrindu sukurtas kliūčių vengiantis robotas.....	31
3.4. ROBOTO PLATFORMOS PROJEKTAVIMAS.....	32
3.5. VARIKLIŲ VALDYMAS .....	32
3.6. IMPULSO PLOČIO MODULIACIJA .....	33
3.7. PROGRAMOS ALGORITMAS .....	35
3.8. PRINCIPINĖ ROBOTO SCHEMA.....	36
3.9. IŠVADOS .....	38
<b>4. TYRIMO DALIS .....</b>	<b>38</b>
4.1. REIKALINGAS SISTEMOS PATOBULINIMAS.....	39
<b>5. EKSPERIMENTINĖ DALIS.....</b>	<b>41</b>
5.1. TECHNINĖ IR PROGRAMINĖ ĮRANGA .....	41
5.2. EKSPERIMENTO TIKSLAS .....	41
5.3. EKSPERIMENTO ATLIKIMO TVARKA .....	41
5.4. REALIZACIJA IR EKSPERIMENTO REZULTATAI.....	42

5.5. IŠVADOS .....	46
6. APIBENDRINIMAS .....	47
7. LITERATŪRA.....	48
8. TERMINŲ IR SANTRUMPŲ SĄRAŠAS .....	50

## PAVEIKSLIUKŲ SĄRAŠAS

1. PAV. LEGO MINDSTROMS PRISILIETIMO JUTIKLIS [23] .....	14
2. PAV. INFRARAUDONŲJŲ SPINDULIŲ JUTIKLIS, SIUNČIANTIS SIGNALĄ APIE SUTIKTĄ KLIŪTĮ [24] .....	15
3. PAV. INFRARAUDONŲJŲ SPINDULIŲ JUTIKLIS, SIUNČIANTIS ATSTUMĄ IKI SUTIKTOS KLIŪTIES [25] .....	15
4. PAV. ULTRAGARSINIS ATSTUMO JUTIKLIS [26] .....	16
5. PAV. H – TILTAS (H - BRIDGE) IR JO VEIKIMO PRINCIPAS [27] .....	16
6. PAV. JY – MCU V1.02 BLUETOOTH MODULIS[28] .....	18
7. PAV. DVIKOJĖ JUDĖJIMO SISTEMA PANAŠI Į JUDANTĮ POLIGONĄ, KURIO PLOTIS LYGUS ŽINGSNIUI D. KAI ŽINGSNIS SUMAŽĖJA, POLIGONAS PANAŠĖJA Į RATĄ AR APSKRITIMĄ SPINDULIU L. ....	19
8. PAV. PAPRASTASIS RATAS, LAISVASIS RATAS, ĮVAIRIAKRYPTIS RATAS [23] .....	21
9. PAV. PEUGEOT MOVILLE AUTOMOBILIS SU SFERINIAIS RATAIS [12] .....	21
10. PAV. LEGENDA.....	22
11. PAV. DVIRATIS.....	22
12. PAV. NESTABILI DVIRATĖ KONFIGŪRACIJA .....	23
13. PAV. STABILI DVIRATĖ SISTEMA, .....	23
14. PAV. JALUARO DVIRATIS ROBOTAS [15] .....	23
15. PAV. NEVAROMAS NEVAIRUOJAMAS RATUKAS [16].....	24
16. PAV. ROBOTAS KHPERA [17] .....	24
17. PAV. ROBOTAS SU DVIEM VARANČIAIS IR VIENU NEVARANČIU NEVAIRUOJAMU RATU .....	24
18. PAV. TRIRATĖ TRANSPORTO PRIEMONĖ, VAROMA PRIEKINIAIS / GALINIAIS RATAIS, VAIRUOJAMA PRIEKINIU / GALINIU NEVAROMU RATU .....	25
19. PAV. TRIRATIS ROBOTAS, VAROMAS GALINIAIS RATAIS, VAIRUOJAMAS PRIEKINIU NEVARANČIU RATU [18] 25	
20. PAV. TRIRATĖ TRANSPORTO PRIEMONĖ, VAROMA IR VAIRUOJAMA PRIEKINIU / GALINIU RATU .....	26
21. PAV. ROBOTAS „NEPTUNE“ [19].....	26
22. PAV. SINCHRONIZUOTA TRIJŲ RATŲ SISTEMA.....	26
23. PAV. MRV4 ROBOTAS [20] .....	26

24. PAV. ROLOPH ACKERMANN VAIRAVIMO SISTEMA [21] .....	27
25. PAV. KETURIAIS RATAIS VAROMOS TRANSPORTO PRIEMONĖS: A) GALAS VAROMAS, PRIEKIS VAIRUOJAMAS, B) PRIEKIS VAROMAS IR VAIRUOJAMAS, C) VAROMAS PRIEKIS IR GALAS, VAIRUOJAMAS PRIEKIS .....	27
26. PAV. VIKŠRINĖ VAŽIUOKLĖ .....	28
27. PAV. ROBOTAS IŠMINUOTOJAS [22].....	28
28. PAV. ROBOTAI VAROMI ĮVAIRIAKRYPČIAIS RATAIS: A) TRIMIS, B) KETURIAIS .....	28
29. PAV. VARTOTOJO PANAUDOS DIAGRAMA .....	30
30. PAV. ROBOTO VAŽIUOKLĖ BEI KĖLIMO MECHANIZMAS .....	32
31. PAV. PROGRAMOS ALGORITMAS .....	35
32. PAV. PRINCIPINĖ PROJEKTO SU ATMEGA32 SCHEMA.....	36
33. PAV. PATOBULINTOS PROGRAMOS ALGORITMAS.....	40
34. PAV. EKRANO PARODYMAI SUSIDŪRUS SU KLIŪTIMIS IR NUSTAČIUS SKirtingUS GREIČIUS .....	42
35. PAV. SIUNČIAMY GREIČIO NUSTATYMAI ROBOTUI PER BLUETOOTH SAŠAJĄ.....	43
36. PAV. IMPULSO PLOTIS NUSTAČIUS REIKŠMĘ 10 .....	43
37. PAV. IMPULSO PLOTIS NUSTAČIUS REIKŠMĘ 1/256.....	43
38. PAV. IMPULSO PLOTIS NUSTAČIUS REIKŠMĘ 64/256.....	44
39. PAV. IMPULSO PLOTIS NUSTAČIUS REIKŠMĘ 128/256 .....	44
40. PAV. IMPULSO PLOTIS NUSTAČIUS REIKŠMĘ 192/256.....	44
41. PAV. KYLANČIO FRONTO OSCIOGRAMA .....	45
42. PAV. KRINTANČIO FRONTO OSCIOGRAMA .....	45
43. PAV. KYLANČIO IR KRINTANČIO FRONTO OSCIOGRAMA.....	45

## LENTELIŲ SAŖAŠAS

1. LENTELĖ. MIKROVALDIKLIŲ PalyGINIMAS .....	13
2. LENTELĖ. H – TILTO TEISINGUMO LENTELĖ.....	17
3. LENTELĖ. H – TILTŲ PalyGINIMAS .....	17
4. LENTELĖ. KLAIDŲ SKAIČIUS PAGAL DUOMENŲ PERDAVIMO GREITĮ IR KVARCINĮ REZONATORIŲ .....	37

## 1. ĮVADAS

Moderniojoje technikoje vis daugėja mašinų ir įrengimų, turinčių techninio intelekto požymių. Visa tai pasiekama bendromis valdymo, informatikos, elektronikos ir mechanikos mokslų pastangomis – mechatronikos priemonėmis. Šiuolaikinės mašinos geba keisti savo vykdomųjų mechanizmų judesio dėsnius. Tai dažniausiai atliekama valdymo priemonėmis, tačiau šiuolaikinės mechanikos ir medžiagų mokslo pasiekimai vis daugiau leidžia tam išnaudoti pačios mechanikos galimybes [5].

Terminas “robotas” apima pačias įvairiausias automatikos mašinas ir sistemas. Tačiau šias sistemas išskiria svarbiausia jų savybė: visos jos sukurtos pakeisti žmogų, ten kur reikalinga atlikti sunkų, monotonišką ar pavojingą sveikatai darbą.

Robotų pritaikymo sritis yra be galo didelė: mašinų pramonė, kalnakasybos ir metalo apdirbimo pramonė, statyba, transportas, atominė energetika, vandenyno ir kosmoso tyrimai, taip pat aptarnavimo ir pramogų sfera. Daugiau nei 80% pasaulyje esančių robotų naudojami pramonėje [6].

Autonominių mobilių robotų projektavimo vystosi labai sparčiai. Vis didėja paklausa armijoje, medicinoje, kosmoso pramonėje, povandeniniuose darbuose ir daugelyje kitų sričių. Pavojingiausiose vietose, tokiose kaip karas ar stichinė nelaimė, yra siunčiami robotai, kurie gali atlikti įvairius darbus. Tačiau visų kliūčių numatyti neįmanoma, todėl robotai turi būti labai adaptyvūs ir greitai prisitaikyti aplinkoje. Kai kurie jau sugeba “mokyti”, panaudojant dirbtinį intelektą. Šiuo metu robotai jau geba valyti patalpas, ruošti valgį, priiminėti užsakymus, skalbti, dirbti sandėliuose, išminuoti bombas, linksminti žmones, keliauti į Mėnulį ar Marsą. Nemažai robotų panaudojama medicinoje. Kanadoje jau 2010 metais atlikta pirmoji visiškai robotizuota chirurginė operacija su pilnos anestezijos panaudojimu. pramoginiai robotai geba surinkti “kubiką rubiką”, žaisti šaškėmis ar šachmatais, net ir futbolą. Kasmet vyksta „RoboCup“ turnyrai, kuriame dalyvauja robotų kūrėjai iš viso pasaulio ir demonstruoja ka gali jų kūriniai. Šis konkursas gyvuoja nuo 1997m., skatindamas tobulinti robotus iki tokio lygio, kad XXIa viduryje nugalėtų žmonių futbolo komandą.

Kol kas dar robotai nėra pasiekę tokios geros orientacijos aplinkoje ir bendravimo lygio kaip žmonės, tačiau yra internetinių botų ir judančių robotų, kurie gali bendrauti ir mokytis frazių bei žodžių. Tai yra didžiulis technikos šuolis šioje srityje. Robotai mokomi atlikti tam tikrų sričių uždavinius, tokius kaip vaizdo ar garso atpažinimas, matematinių veiksmų atlikimas ir pritaikymas, tačiau kombinuotų algoritmų, kurie atitiktų žmogaus mąstymą dar nėra sukurtų.



## 2. ANALITINĖ DALIS

### 2.1. Robotų istorinė apžvalga

Jau prieš mūsų erą senovės mituose ir legendose minimi panašūs į žmogų dirbtiniai padarai, judančios mechaninės statulos. Pirmą kartą žodį “robotas“ – pavartojo čekų rašytojas K. Čapekas fantastinėje pjesėje “R.U.R – Rosumo universalūs robotai“. Šiuo metu mes terminą “robotas“ suprantame kaip dirbtinį nebiologinės kilmės įrenginį, kuris, sąveikaudamas su aplinka, atlieka kai kurias žmogaus funkcijas ir turi tam tikrų pranašumų, palyginti su žmogumi. Dauguma robotų turi vieną arba kelias mechanines rankas, vadinamas manipulatoriais [8].

Pirmąjį pasaulyje robotą “Televoks“ 1927 m. sukonstravo amerikietis D.Vensli. Šis robotas buvo panašus į žmogų, galėjo atlikti elementarius veiksmus pagal žmogaus komandas. Reikia pažymėti, kad pradiniam pasaulinės robotų technikos etape robotų diegimo pramonėje tempai buvo žymiai lėtesni negu tikėjosi visuomenė ir prognozavo robotų gamintojai. Tai galima paaiškinti tuo, kad robotų valdymo sistemos buvo sudarytos iš kumštelių, relių, komutacinių lentų [8]. Todėl tokių robotų patikimumas buvo žemas, gamybos technologija prasta, sunku buvo robotus perderinti kitai produkcijai.

Nuo 1972 m. robotų gamyba perėjo į kitą etapą, kadangi imta naudoti kompiuterius. Buvo pradėta naudoti įvairūs jutikliai, kurių sukurta vis daugiau ir vis geresnių. Jutiklių pagalba nustatoma roboto padėtis aplinkoje, taip pat jo atsirų dalių, tokių kaip čiuptuvai, ratai ar kita korpuso dalis, padėtis. 1974 m. “Cincinnati“ firmoje (JAV) buvo pagamintas pirmasis robotas su to meto minikompiuteriu, o 1976 m. imti naudoti mikroprocesoriai pramoniniuose robotuose.

Šiuo metu robotai yra vieni sudėtingiausių įrenginių. Jie pjauna žolę, siurbia grindis, bendrauja su žmonėmis ar atlieka specialias funkcijas. Didžiausias robotų privalumas – gebėjimas dirbti daug greičiau ir tiksliau nei žmogus, ypač pramonėje, kadangi čia robotai gyvuoja jau nemažą laiko tarpą.

Robotai tobulėjo ilgą laikotarpį. Nuo pirmųjų žaislinių robotų iki tikrų žmogaus pagalbininkų, ypač pramonėje. Pagal manipulatoriaus valdymo principą pramoniniai robotai skirstomi į tris kartas. Pirmos kartos robotams priskiriami robotai, galintys atlikti žmogaus užduotį tik jiems gerai pritaikytomis nekintamomis sąlygomis ir valdomi pagal nekintančią programą. Antrajai kartai priskiriami robotai, kurie turi jutiklius ir sugeba prisitaikyti prie kintančios aplinkos. Trečiajai kartai priskiriami robotai su dirbtiniu intelektu [7]. Tai naujausia robotų karta, kuri geba mokytis.

## **2.2. Panašių produktų apžvalga**

Šiuo metu rinkoje yra nemažai autonominių robotų, atliekančių įvairius darbus. Vis populiariausi darosi robotai – siurbliai. Lietuvos rinkoje yra Samsung Navibot, iRobot Roomba, Neato Robotics ir kitų gamintojų produktai. Daugelio forma bei važiuoklė labai panašūs.

Kito tipo robotai yra autonominės žoliapjovės. Šie robotai taip pat turi 2 varomus ratus, o kiti du ratai prilaiko aparatą ir kopijuoja paviršių. Galima nusipirkti Husquarna, E.Zigreen, Viking ar kitų gamintojų produktų.

Taip pat gaminami robotai – kurjeriai, naudojami ligoninėse, karo, kosmoso pramonėje. Šiuo metu gana nemažai pagaminama pramoginių robotų ir maketų, kuriuos galima užprogramuoti. Vienas iš garsiausių tokių maketų – Khpera robotas, tačiau dabar patys populiariausi – LEGO Mindstorms, mokymosi tikslais naudojami ir universitetuose.

## **2.3. Judėjimas ir valdymas**

Projektuojant robotą susiduriama su daugybe keblumų. Vienas didžiausių sunkumų – roboto gebėjimas vengti kliūčių. Pagrindinis mikrovaldiklis gauna informaciją iš jutiklių ir perduoda atitinkamas komandas varikliams, siurbliams ar kitiems elektromechaniniams elementams. Tačiau sutikus vieną ar kitą kliūtį kelyje robotas elgiasi tik taip, kaip yra užprogramuotas. Kiek kitaip yra su įrenginiais, kurie turi dirbtinį intelektą (evoliuciniai). Priklausomai nuo metodo ir konkrečios situacijos, jie gali išmokti atlikti daugybę veiksmų skirtingose situacijose ir net imtis iniciatyvos. Jeigu robotas yra užprogramuotas be klaidų, tai jis niekuomet neatsidurs situacijoje, kurioje nežinos ką daryti. Net ir atsidūręs aklavietėje bandys iš jos išstrūkti, nebent yra nustatyta sustoti. Norint apmokinti robotą judėti ir išvengti kliūčių, galima patalpinti jį į uždara aplinką. Robotas turėtų nueiti kuo ilgesnį kelią ir neatsitrenkti į kliūtis bei sienas.

## 2.4. Komponentų apžvalga

### 2.4.1. Mikrovaldikliai

Mikrovaldikliai naudojami skaitmeninėje elektronikoje, kur nereikia atlikti itin sudėtingų skaičiavimų realiaame laike. Jie itin patogūs ir lankstūs dėl įvairios periferijos integracijos, galimybės suderinti analogines ir skaitmenines grandines, galimybės atnaujinti projektą, neatliekant pakeitimų schemoje, bei sąlyginai nedidelės kainos.

Pirmieji valdikliai buvo gaminami iš loginių komponentų. Tęsiantis miniatiūrizacijos procesui, visi komponentai, reikalingi valdikliui, buvo įdiegti tiesiai į vieną integrinę schemą (kristalą). Tokiu būdu išsivystė taip vadinamas vienkristalis kompiuteris, arba mikrovaldiklis. Mikrovaldiklis yra didelio integracijos lygio mikroschema, kurioje yra visos kontrolieriui reikalingos dalys. Pagrindinės yra šios:

- Centrinis procesorius (CPU);
- Operatyvinė atmintis (RAM);
- Ištrinama, programuojama arba pastovioji atmintis (EPROM/PROM/ROM);
- Nuoseklus ir lygiagretus įėjimo/išėjimo prievadai (I/O ports);
- LCD valdikliai;
- Laikmačiai (timers);
- Pertraukimų valdiklis.

Įdiegus savybes, specifines tam tikrai užduočiai atlikti, mikrovaldiklio kaina yra santykinai maža. Tipiškas mikrovaldiklis turi bito valdymo instrukcijas, tiesioginį įėjimo/išėjimo prievadų išrinkimą, taip pat greitą ir efektyvų pertraukimų apdorojimą. Mikrovaldiklį galima vadinti "vieno kristalo sprendimu". Tokia konstrukcija sumažina dalių skaičių ir kainą.

Mikrovaldiklių rinka labai plati ir rinktis tikrai yra iš ko. Nesunku susirasti projekto reikalavimus geriausiai atitinkantį produktą. Mikrovaldikliai pagal architektūrą skiriami į dvi grupes: Harvard ir von Neumann. Harvard būdingos dvi skirtingos magistralės, duomenų ir programos, tuo tarpu von Neumann architektūroje ji yra bendra. Dėl šios priežasties Harvard architektūra pranašesnė greitaveikos atžvilgiu.

### **Pagrindiniai mikrovaldiklių pasirinkimo kriterijai:**

1) **Procesoriaus architektūra.** Mikrovaldikliai gaminami su 4, 8, 16 ir 32 bitų duomenų magistrale.

2) **Maksimalus taktinis dažnis.** Paprastai mikrovaldiklių greیتaveika pateikiama kaip atliekamų operacijų skaičiumi per sekundę, kuris gali būti mažesnis arba lygus taktiniam dažniui.

3) **Atminties tipas ir kiekis.** Šiuolaikiniuose mikrovaldikliuose plačiausiai taikoma Flash ir EEPROM tipo atmintys, kadangi joms programuoti užtenka nedidelės įtampos. ROM tipo atmintis turintys mikrovaldikliai naudojami masinėje gamyboje. Atminties kiekis gali svyruoti nuo 0,5 kB iki 2MB ar daugiau.

4) **Periferija** - tai papildomi moduliai, integruoti į tą patį kristalą. Tai gali būti blokai, palaikantys įvairius komunikacijos standartus (RS232, RS485, CAN, USB, I2C), analoginių – skaitmeninių signalų keitikliai (ASK, SAK), kontroleriai, palengvinantys LCD displejų valdymą ir t.t.

#### **5) Mikrovaldiklis ar mikroprocesorius?:**

a) **Mikrovaldiklyje** visi moduliai integruoti į tą patį kristalą. Tai blokai, palaikantys įvairius komunikacijos standartus (RS232, RS485 ir kiti.), įtampos keitikliai (ASK, SAK), grandinės, lengvinančios LCD displejų valdymą ir kiti vidiniai įrenginių moduliai.

b) **Mikroprocesorius** yra vienas visame kristalo plote.

c) Prie mikroprocesoriaus yra prijungiami išoriniai moduliai: atminties, analoginis skaitmenis keitiklis ir kiti įrenginiai.

d) Mikroprocesoriaus **greitaveika** yra žymiai didesnė.

Priklausomai nuo reikiamo galingumo ir savybių mikrovaldikliai gali apdoroti 4, 8, 16 arba 32 bitų duomenis.

Didžiausi ir populiariausi mikrovaldiklių gamintojai yra Microchip, Intel, Atmel, Motorola, Cypress, National, Texas Instrument, Philips, Analog Devices, ST-Microelectronics, Dalas - semiconductors, SGS - Thomson ir kiti mažiau žinomi Europoje ir JAV. [9]

### 2.4.1.1. Mikrovaldiklių palyginimas

Šiuo metu rinkoje yra labai platus mikrovaldiklių pasirinkimas, visi jie turi savų privalumų ir trūkumų. Vienas iš svarbiausių kriterijų – mikrovaldiklio turimų prievadų skaičius. Robotui reikia mažiausiai dviejų jutiklių, tačiau kad jis kuo geriau orientuotųsi aplinkoje, reikėtų bent keturių. Taip pat mikrovaldiklis turi turėti universalų asinchroninį imtuvą – siųstuvą (UART), kad galėtų komunikuoti su kompiuteriu. Reikalingi ir impulso pločio moduliacijos išėjimai dviejų variklių valdymui, taigi reikalingos dar keturios kojelės. Dar mažiausiai trijų prievadų reikia kėlimo mechanizmui, t.y. vienas krovinio aptikimui, antras suspaudimui, trečias pakėlimui valdyti. Bus jungiamas skystųjų kristalų ekranas (LCD), kuriam, norint kad rodytų dvi eilutes, reikalingos šešios kojelės. Ateityje plaunuoju jungti GPS imtuvą padėties nustatymui, todėl reikia atsižvelgti ir į tai. Taigi, norint kad robotas būtų gerai veikiantis ir galėtume matyti jo statusą ekrane, reikėtų bent 21 prievado. Taigi, reikėtų rinktis iš mikrovaldiklių, turinčių aštuoniolika ar daugiau programuojamų kojelių. Keletas prievadų yra naudojami pačiam mikrovaldikliui maitinti, gali būti jungiamas kvarcinis rezonatorius, taip pat jungiamas ir programatorius, taigi pačio mikrovaldiklio kojelių skaičius bus dar didesnis, priklauso nuo jo gamintojo.

Nusprendus kad reikės bent aštuoniolikos programuojamų prievadų, galima paanalizuoti siūlomus mikrovaldiklius.

1. lentelė. Mikrovaldiklių palyginimas

Valdiklis	Atmel ATMega32- 16PU	Microchip PIC18F4515	Freescale Semiconductor MC705C8ACPE	Texas Instruments TMS320C10NL
Procesorius	16 MHz, 8bit	40 MHz, 8 bit	2,1 MHz, 8 bit	20 MHz
Darbinė atmintis	2 kB	3,875 kB	304 B	144 B
Flash atmintis	32kB	48 kB	8 kB	4 kB
EEPROM atmintis	1kB	0 B	0 B	0 B
Maitinimo įtampa	4,5-5,5V	2,0-5,5 V	3-5,5 V	5,0 V
Kojelių skaičius	40	40	40	40
Įvesties/išvesties skaičius	32	36	24	28
Kaina	3,9 USD	6,74 USD	12,08 USD	14,99 USD

Kaip matome iš 1 lentelės, visi pasirinkti mikrovaldikliai turi po 40 kojelių, o įvesties/išvesties skaičiai skiriasi, tačiau visi turi pakankamai. Procesorių greičių kiekvieno užtektų. Kainos / greičio santykiu geriausias yra PIC18F4515, o pigiausias yra „Atmel“ ATMega32-16PU. Kadangi 16MHz dažnio projektui laisvai užtenka, pasirinktas ATMega32-16PU.

#### **2.4.2. Jutiklių palyginimas**

Dabar yra sukurta gausybė jutiklių. Kadangi roboto kūrimui reikės tik atstumo jutiklių, jie ir bus analizuojami. Patys paprasčiausi yra prisilietimo, kitap sakant mygtukai. Sudėtingesni – infraraudonųjų spindulių jutikliai. Vieni, pamatę kliūtį, tik išsiunčia signalą, o kiti gali matuoti atstumą. Šiuo metu vis populiarėja ultragarsiniai jutikliai, gebantys „matyti“ aplinką. Kadangi šie jutikliai robotų pramonėje yra populiariausi, tik juos ir nagrinėsiu.

##### **2.4.2.1. Prisilietimo jutikliai**

Prisilietimo jutiklis suteikia robotui galimybę jausti objektus, prie kurių yra minimaliu atstumu. Jutiklis siunčia signalą mikrovaldikliui, kai prie jo yra prisiliečiama bei kai yra atitolstama. Šie jutikliai dažniausiai naudojami labai artimiems objektams aptikti, pavyzdžiui daiktui, prie kurio reikia prisiliesti, jį apčiuopti ar pastumti.



*1. pav. Lego Mindstorms prisilietimo jutiklis [23]*

### 2.4.2.2. Infraraudonųjų spindulių jutikliai

Infraraudonųjų spindulių optiniai jutikliai yra bekontaktis būdas tiksliai nustatyti objekto poziciją. Privalumas prieš artuminius jutiklius (indukciniai, talpuminiai ir t.t.) yra tai, kad optinių jutiklių jautrumo ribos yra žymiai didesnės ir gali siekti net iki 60 m. Dar vienas privalumas – galima aptikti bet kokios sudėties objektus. [29]



2. pav. Infraraudonųjų spindulių jutiklis, siunčiantis signalą apie sutiktą kliūtį [24]



3. pav. Infraraudonųjų spindulių jutiklis, siunčiantis atstumą iki sutiktos kliūties [25]

### 2.4.2.3. Ultragarsiniai jutikliai

Ultragarsinis jutiklis yra vienas jutiklių, kuris gali nustatyti vaizdą. Šis jutiklis leidžia robotui „matyti“ objektus. Su juo galima nustatyti atstumą iki objekto, taip pat išvangti susidūrimo. Atstumas iki tam tikro objekto, nesugermančio garsų, yra nustatomas išsiunčiant garsą, trunkantį labai trumpai, ir skaičiuojant kiek laiko užtrunkama kol jis grįžta. Todėl šie jutikliai tinkami kietiems paviršiams aptikti, o ne audiniams pamatyti.

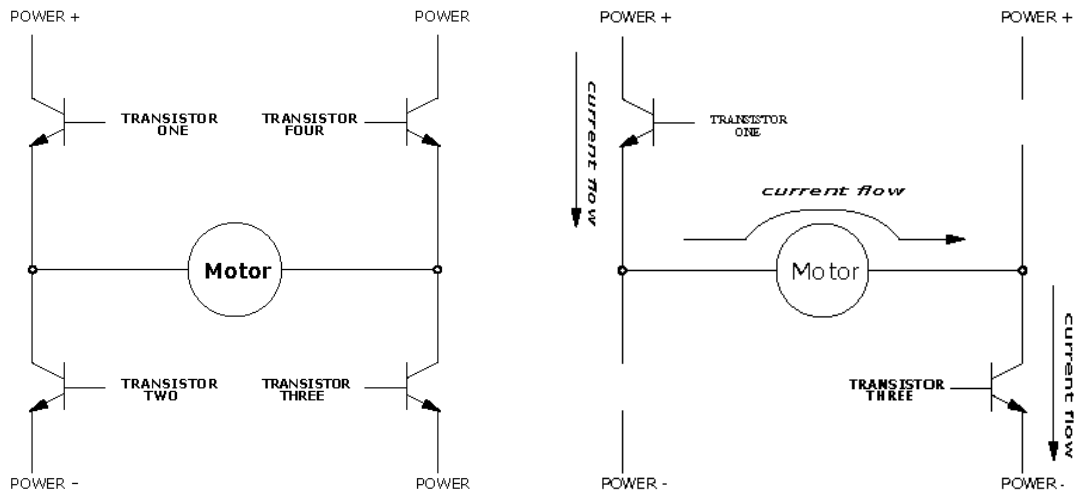


4. pav. Ultragarsinis atstumo jutiklis [26]

### 2.4.3. Variklių valdiklis

Norint valdyti varklus, reikia sustiprinti signalą, gaunamą iš mikrovaldiklio. Vienas iš populiariausių būdų tai padaryti – signalą stiprinti lauko tranzistoriais (FET) arba H – Tiltu (H – Bridge).

H – Tiltas yra elektros grandinė, leidžianti tekėti srovei bet kuria kryptimi. Tai leidžia nuolatinės srovės variklį sukuti į vieną ir kitą pusę, leisti jam lengvai sukintis ar jį stabdyti. Pats H – Tiltas pavadinimas kilęs iš panašios į H raidę formos.



5. pav. H – Tiltas (H - Bridge) ir jo veikimo principas [27]



## 2. lentelė. H – Tiltų teisingumo lentelė

T1	T2	T3	T4	Rezultatas
1	0	1	0	Variklis sukasi pirmyn
0	1	0	1	Variklis sukasi atgal
0	0	0	0	Variklis juda laisvai
1	0	0	1	Variklio stabdymas
0	1	1	0	Variklio stabdymas

Lietuvoje elektronikos prekių parduotuvėse siūlomi kelių gamintojų ir galingumo valdikliai.

## 3. lentelė. H – Tiltų palyginimas

Valdiklis	L298	L293	L293D	L6203
Maitinimo įtampa	50 V	4,5 – 36 V	4,5 – 36 V	12 – 48 V
Pikinė srovė	3 A	2 A	1,2 A	5A
Nuolatinė srovė	2 A	1 A	0,6 A	4 A
Kaina	15 LT	12 LT	7 LT	22 LT

### 2.4.4. Sąsaja su kompiuteriu

Duomenis iš mikrovaldiklio (MV) perduoti į kompiuterį ar kitą įtaisą galima įvairiomis sąsajomis, besiskiriančiomis įvairiais parametrais – sparta, atstumu, atsparumu trikdžiams ir t.t. Viena iš paprasčiausiai valdomų ir plačiai naudojamų yra RS232 sąsaja.

Standartas EIA232 arba RS232 buvo rekomenduotas 1960 m. ANSI (angl. American National Standard Institution) nesimetriniams duomenų mainams tarp kompiuterių ir jų periferinių įrenginių. Tuo metu skaitmeninis duomenų apsikeitimas vykdavo tarp centrinių kompiuterių (mainframe) ir terminalų. Šie įtaisai tarpusavyje buvo sujungti telefono linija, todėl papildomai duomenų perdavimui kiekvienoje pusėje reikėjo prijungti po modemą.

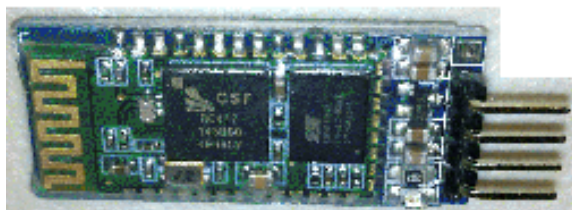
Duomenys EIA232 perduodami įtampų lygiais, besiskiriančiais nuo standartinių 5 V:

- „1” atitinka įtampa nuo -3 V iki -25 V žemės atžvilgiu;
- „0” atitinka įtampa nuo +3 V iki +25 V žemės atžvilgiu;

Mikrovaldikliuose paprastai būna įdiegta aparatinė nuoseklaus ryšio sąsaja UART arba USART (UART palaiko tik asinchroninį darbo režimą, USART palaiko tiek asinchroninį, tiek ir sinchroninį darbo režimą). Kadangi RS232 ir TTL įtampų lygiai skiriasi, gaminami įvairūs suderinimo grandynai, pavyzdžiui, MAX232.

Naudojant BlueTooth imtuvą – siųstuvą daugumai tokių grandynų nereikia, kadangi jie dažniausiai priima ir siunčia standartinius 3,3 V arba 5 V įtampų lygius. BlueTooth standartas siekia užtikrinti technologijos globalines pritaikymo galimybes, t.y., kad kiekvienas BlueTooth įrenginys galėtų keistis duomenimis su kitu BlueTooth prietaisu, esančiu jo veikimo zonoje, nepriklausomai nuo jo tipo ir to, kokioje šalyje juo naudojama. BlueTooth įrenginiai tarpusavyje keičiasi duomenimis radijo ryšio pagalba. Ryšį užtikrina specializuoti pikt tinklai (angl. piconet). Kiekvienas elektroninis įrenginys tinklo pagalba gali vienu metu keistis duomenimis net su septyniais kitais įrenginiais. Dar daugiau, kiekvienas įrenginys gali priklausyti keletui tinklų, taip padidindamas duomenų perdavimo galimybes. BlueTooth įrenginys automatiškai priskiriamas kuriam nors, arba net keletui tinklų, kai tik patenka į jų aptarnavimo zoną.[30]

Šiam projektui bus naudojamas JY – MCU V1.02 BlueTooth modulis.

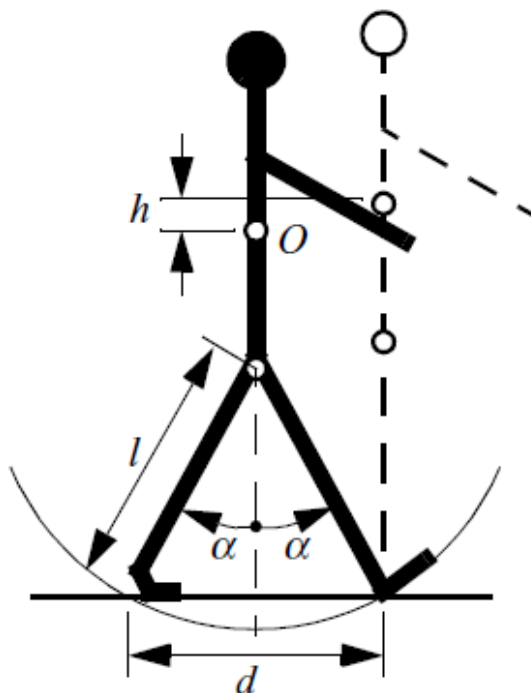


6. pav. JY – MCU V1.02 BlueTooth modulis[28]

## 2.5. Ratiniai mobilūs robotai

Prieš projektuojant ir kuriant judėjimo mechanizmą, reikia išanalizuoti egzistuojančius mechanizmus ir palyginti jų privalumus ir trūkumus.

Daugelis judančių mechanizmų yra panašūs į esančius biologinius, bet gamtoje neradime visiškai besisukančių, kurie yra reikalingi ratinėms transporto priemonėms. Tačiau ratas nėra visiškai svetimas gamtai. Mūsų vaikščiojimo sistema panaši į poligoną. Šis judėjimo principas reikalauja aukštesnio laisvės laipsnio ir mechaninio sudėtingumo nei ratiniai mechanizmai.



7. pav. Dvikojė judėjimo sistema panaši į judantį poligoną, kurio plotis lygus žingsniui  $d$ . Kai žingsnis sumažėja, poligonas panašėja į ratą ar apskritimą spinduliu  $l$ .

Ratas yra vienas populiariausių judėjimo mechanizmų, pritaikomų mobiliuose robotuose ir apskritai daugumoje žmogaus sukurtų transporto priemonių. Jis pasiekia aukštą naudingumo koeficientą ir yra pakankamai lengvai pritaikomas. Ratai yra daug geriau pritaikyti lygiems paviršiams nei kojos. Kaip pavyzdys gali būti traukinio bėgiai, kur ratai yra išnaudojami efektyviausiai, atsižvelgiant į trintį ir kietą plieno paviršių. Kai paviršius tampa minkštas ir klampus, didesnę pranašumą turi kojos, kadangi ratai turi sukimosi trintį, o kojos liečiasi tiesiogiai į žemę. Gamtoje rasime tik kojinių judėjimo principą, kadangi žemė nėra lygi ir visuomet kieta, o visi organizmai yra labai prisitaikę prie aplinkos. Priešingai, žmogaus kuriama aplinka dažniausiai būna lygi tiek patalpų viduje, tiek išorėje. Dėl šios priežasties didžiojoje dalyje robotų yra naudojami ratai.

### **2.5.1. Riedėjimo principas**

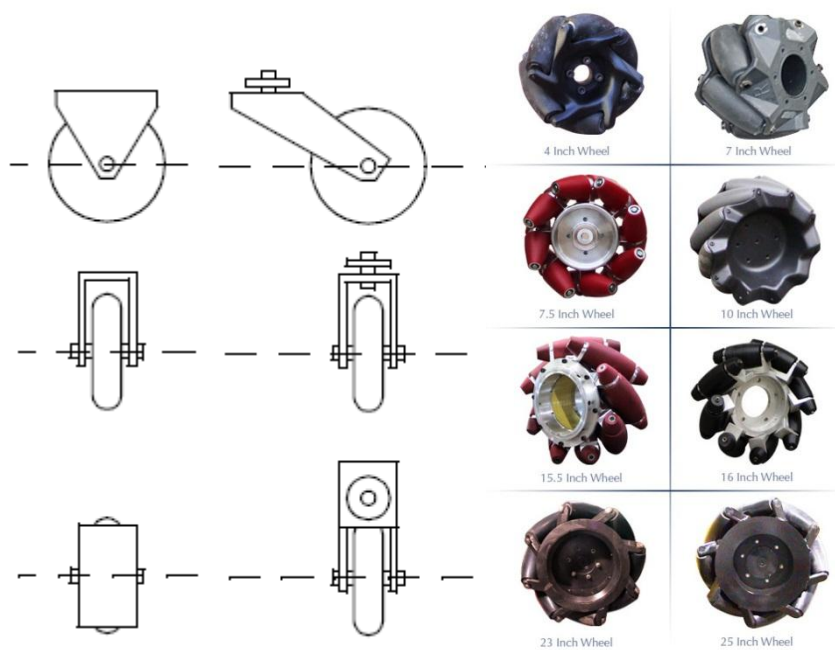
Ratas yra apskritimo formos detalė, naudojama įrengimuose ir transporto priemonėse. Jis išrastas apie 3500 m. pr. m. e. Mesopotamijoje. Ratas yra simetriškas aplink savo ašį ir visus išorinius taškus. Vieta, kur ratas liečiasi su paviršiumi, yra sąlyginai maža, tačiau tai yra trinties zona, kuri pagal rato paviršių bei žemę gali turėti ir didelę trinties jėgą. Taigi, besisukdamas ratas neslysta arba slysta nedaug kontaktiniame taške su paviršiumi, o aplink ašį sukasi su maža trintimi.

### **2.5.2. Ratų klasifikacija**

Iš viso yra trys pagrindinės ratų klasės. Jos labai skiriasi savo savybėmis, todėl ratinės sistemos parinkimas turi labai didelę reikšmę mobiliam robotui. Žmogus, paklaustas kaip įsivaizduoja ratą, greičiausiai nupieš ar apibūdins standartinį, tokį kaip pavaizduota paveikslėlyje. Standartinis ratas turi lygiagrečią paviršiui ašį, aplink kurią sukasi. Nesukinėjamas standartinis ratas yra pritvirtintas tiesiogiai prie roboto korpuso. Kai ratas, pritvirtintas prie roboto, gali sukinėti įvairiomis kryptimis, jis vadinamas standartiniu vairuojamuoju ratu.

Šiuo metu robotikoje yra gana plačiai paplitę įvairiakrypčiai ratai. Jų yra taip pat keletas rūšių. Šių ratų privalumas – mechanizmas gali ne tik judėti pirmyn, atgal ar sukti į šoną, tačiau gali pajudėti į kairę arba dešinę nei kiek nepasisukęs[11]. Šio tipo ratai turi mažyčių ratukų, kurie išdėstyti 45o arba 90o kampu. Žinoma, šių ratų sukibimas yra prastesnis, o maksimalus greitis nėra didelis, tačiau manevringumas, lyginant su standartiniu, ypač nevairuojamuoju ratu, yra kur kas didesnis.

Trečiasis ratų tipas yra sferinis ratas. Jis gali judėti visiškai bet kuria kryptimi. Su šio tipo ratais kurti robotus nebuvo labai daug bandymų, kadangi tai yra pats sudėtingiausias ratas darant jį varančiuoju. Norint kad jis būtų varantysis, reikia sukančių volelių, tokių kaip rutulinėje kompiuterinėje pelėje.



8. pav. Paprastasis ratas, laisvasis ratas, įvairiakryptis ratas [23]

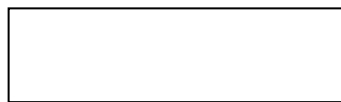


9. pav. Peugeot MoVille automobilis su sferiniais ratais [12]

## 2.6. Ratų konfigūracija

Rato tipas ir ratų konfigūracija yra nepaprastai svarbūs, jie sudaro neatskiriama ryšį, ir jie veikia tris pagrindines savybes: manevringumą, valdomumą ir stabilumą. Tarp valdomumo ir manevringumo yra atvirkštinis koreliacinis ryšys [13].

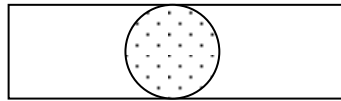
Populiariausias ratų konfigūracijas pavaizduosiu sekančiuose skyreliuose. Ratų skaičius yra nuo dviejų iki keturių ir daugiau. Taip pat bus pateikiama trumpa informacija apie stabilumą, valdomumą ir manevringumą.



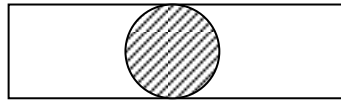
Standartinis nevarantis ratas



Standartinis varantis ratas



Standartinis nevaromas vairuojamas ratas



Standartinis varomas vairuojamas ratas



Įvairiakryptis ratas



Sferinis arba laisvai judantis, nevairuojamas, nevarantis ratas



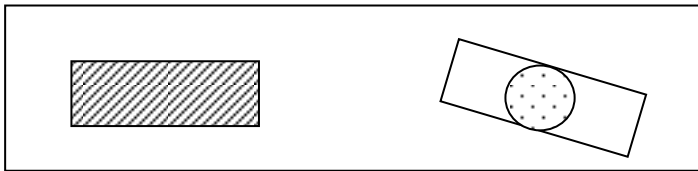
Vikšrinė pavara

10. pav. Legenda

Ratų konfigūracija su dvejais ratais parodyta žemiau esančiuose paveikslėliuose (). Tokia ratų konfigūracija naudojama dviračiuose ir motocikluose. Priekyje yra vairuojamas nevaromas ratas, o gale – nevairuojamas varomas ratas. Šis mechanizmas nėra stabilus kol juo nėra važiuojama.

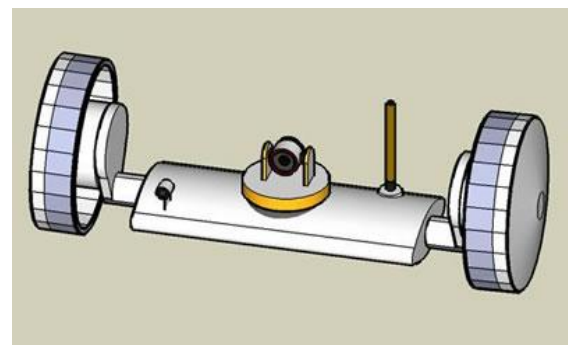
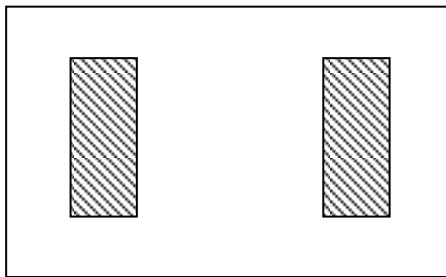


11. pav. Dviratis



12. pav. Nestabili dviratė konfigūracija

Dviejų ratų sistema gali būti ir stabili. Kaip parodyta žemiau esančiame paveiksle (), dviejų ratų sistema, jei masės centras yra žemiau už už rato ašį, gali būti stabili. Šis stabilumas labai priklauso nuo ratų dydžio, juo jie didesni, tuo robotas bus stabilesnis. Šio roboto pavyzdys parodytas žemiau esančiame paveiksle.



13. pav. Stabili dviratė sistema,

14. pav. Jaluaro dviratis robotas [15]

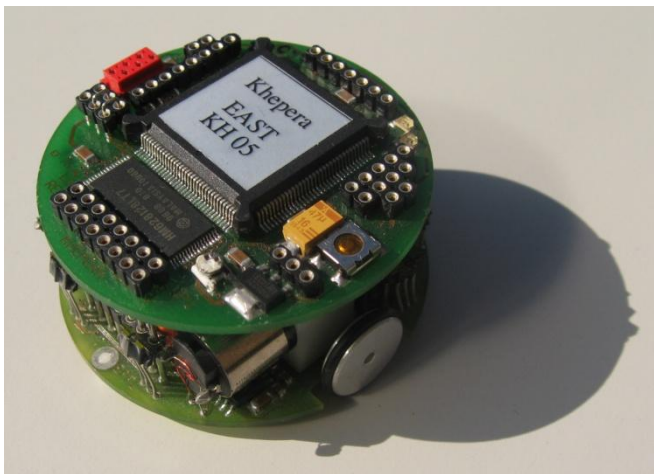
Norint kad robotas būtų tikrai stabilus, reikėtų mažiausiai trijų ratų, taip pat masės centras turi būti paskirstytas ant jų, atsižvelgiant į važiavimo greitį.

Diferencialinė pavara yra dviratė sistema su nepriklausomais varikliais kiekvienam ratui. Varantys ratai dažniausiai būna prie pat roboto kraštų. Laisvasis nevarantis, nevairuojamas ratas su varančiais formuoja trikampį, tai sudarydamas didesnę stabilumą. Jeigu ratukas toks, kaip pavaizduota () paveikslėlyje [16], tuomet robotas, važiuojantis atgal, gali pasisukti į šoną, kadangi ratukas gali būti pasisukęs šonu. Projektuojant triratį robotą taip pat svarbu žinoti, kad jeigu jis važiuos nelygiu paviršiumi, bus gana sunku padaryti taip, kad važiuotų tiesia linija. Roboto pasisukimą, kuomet jis važiuoja tiesiai, taip pat lemia ir skirtingi variklių greičiai. Todėl jei norime kad robotas judėtų tiesiai, turime nuolat patikslinti roboto koordinates.

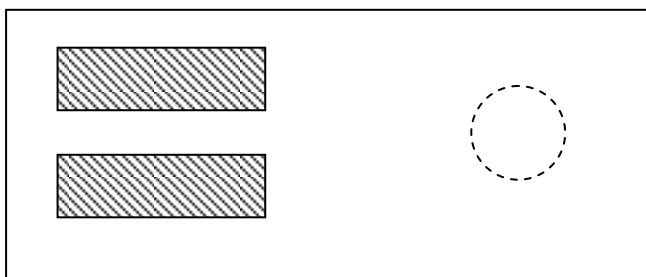


15. pav. Nevaromas nevairuojamas ratukas [16]

Jeigu naudojame žingsninius variklius, tuomet robotui judėti tiesia linija yra paprasčiau, tačiau jeigu nuolatinės srovės variklius – tuomet reikia apsisukimų skaičiuotuvų. tai labai apsunkina programinę įrangą, kadangi reikia nuolat naudoti pertrauktis.



16. pav. Robotas Khpera [17]

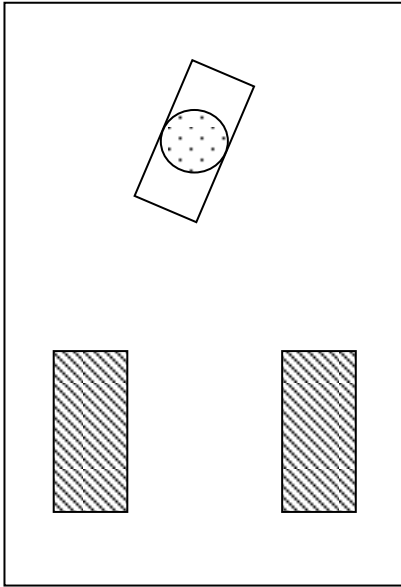


17. pav. Robotas su dviem varančiais ir vienu nevarančiu nevairuojamu ratu

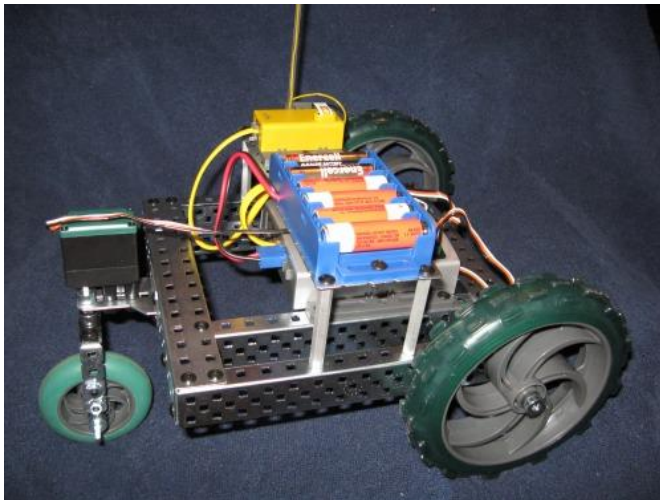
Stabilesnis, tačiau sudėtingesnis variantas yra triratė transporto priemonė, kuomet priekiniai / galiniai ratai yra varomi, o priekinis / galinis ratas yra vairuojamas. Čia yra reikalingas mechaninis diferencialas arba jeigu suka du varikliai, reikia atitinkamai reguliuoti greičius, norint išvengti technikos laužymo ar padangų dilimo. Norint valdyti robotą tokiu principu su dviem elektriniais varikliais, reikia užprogramuoti mikrovaldiklį taip, kad pasukus



vairuojamąjį ratą į kairę ar dešinę atitinkamai skirtųsi variklių sukimosi greičiai. tai padaryti yra labai sudėtinga, todėl dažnai naudojamas mechaninis diferencialas.

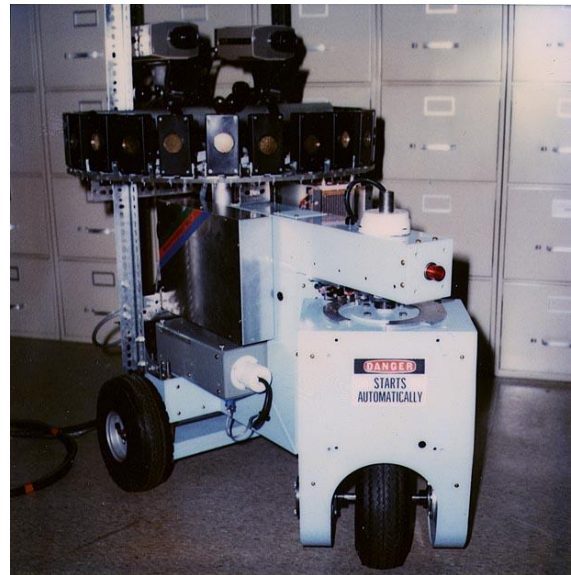
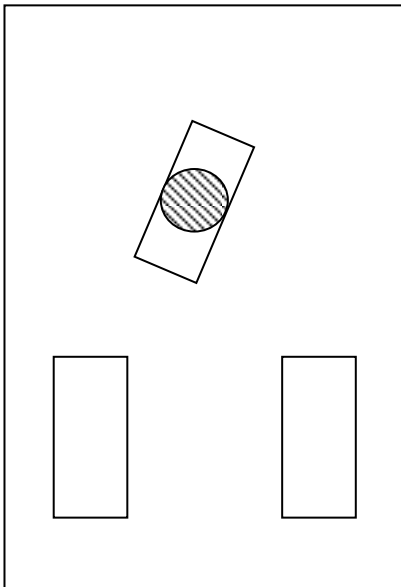


18. pav. triratė transporto priemonė, varoma priekiniais / galiniais ratais, vairuojama priekiniu / galiniu nevaromu ratu



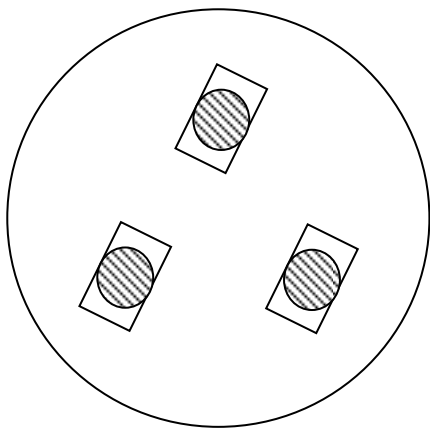
19. pav. Triratis robotas, varomas galiniais ratais, vairuojamas priekiniu nevarančiu ratu [18]

Dar viena triratė transporto priemonė, neturinti diferencialo, tai vairuojama ir varoma priekiniu / galiniu ratu, o du likę priekiniai / galiniai ratai nevairuojami ir nevarantys. Šio tipo robotai turi mažesnę varančiojo rato sukibimą lyginant su praeitu, tačiau nereikia programuoti mikrovaldiklio taip sudėtingai. Kaip pavyzdys šiai realizacijai gali būti „Neptune“ robotas arba kai kuriuos elektrokrautuvai, dažniausiai gebantys kelti krovinius į didelį aukštį.



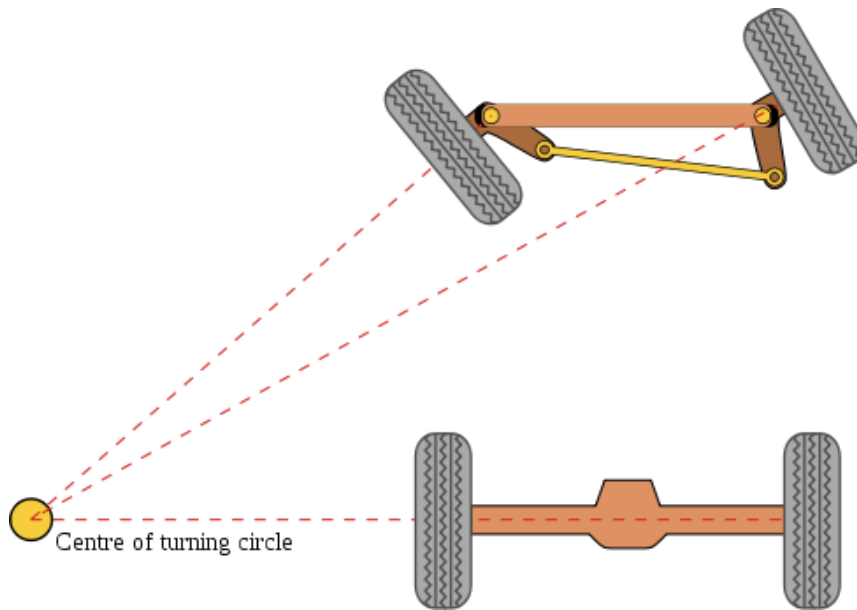
20. pav. *Triratė transporto priemonė, varoma ir vairuojama priekiniu / galiniu ratu*  
 21. pav. *Robotas „Neptune“ [19]*

Pats manevringiausias robotas, turintis tris ratus, būtų varomas ir vairuojamas visais trimis sinchronizuotai. Taip pat šis variantas turėtų ir dižiausią sukibimą, tačiau tokio tipo robotą kurti mechaniškai yra sudėtingiausia.



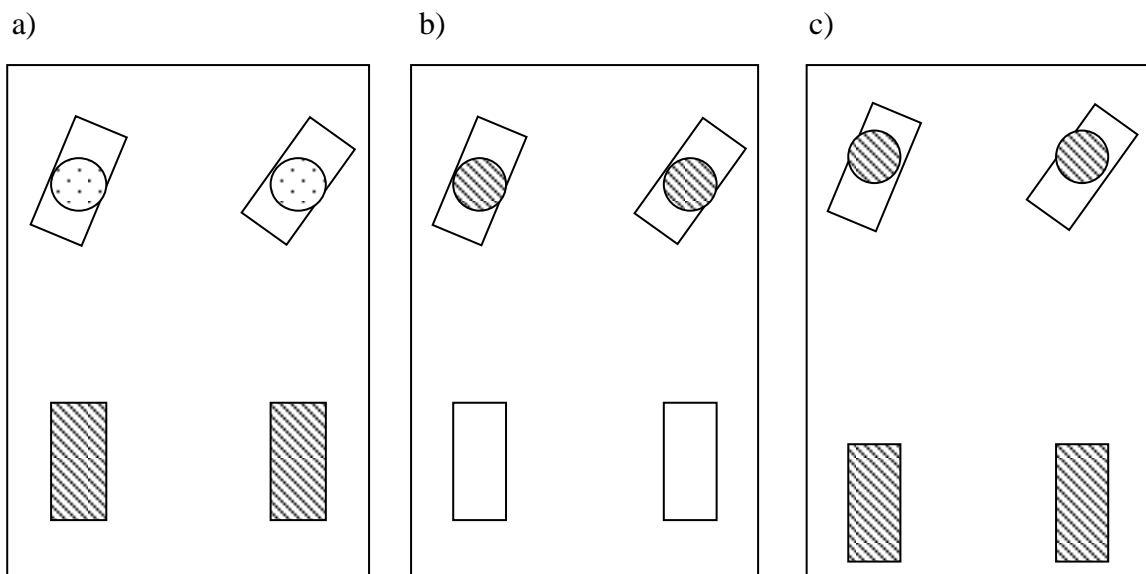
22. pav. *Sinchronizuota trijų ratų sistema*  
 23. pav. *MRV4 robotas [20]*

Keturių ratų važiuoklė yra populiariausia pasaulyje. Ant tokios platformos kuriami automobiliai, traktoriai, krautuvai, sunkioji technika, taip pat robotai. Skiriasi vairuojantys ratai bei varančiųjų skaičius. Populiariausia vairavimo sistema yra Ackermann. Kadangi sukant vairą į šoną ratai daro skirtingus posūkių kampus, jie turi būti atitinkamai susukti.



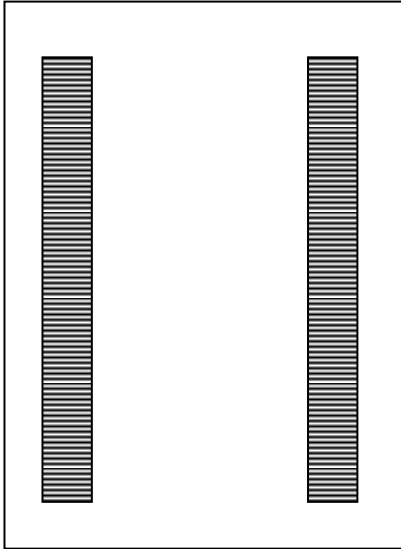
24. pav. Roloph Ackermann vairavimo sistema [21]

Naudojant tokią vairavimo sistemą, galima varyti priekinius, galinius arba visus keturis ratus nepažeidžiant greičių dėžės ar padangų.



25. pav. Keturiais ratais varomos transporto priemonės: a) galas varomas, priekis vairuojamas, b) priekis varomas ir vairuojamas, c) varomas priekis ir galas, vairuojamas priekis

Gana populiari važiuoklės rūšis – vikšrinė. Ji dažniausiai naudojama tankuose, traktoriuose ir išminavimo robotuose. Ši važiuoklė turi vieną iš didžiausių pravažumų, tačiau greitis nėra didelis, o energijos sąnaudos didesnės nei ratinių transporto priemonių.

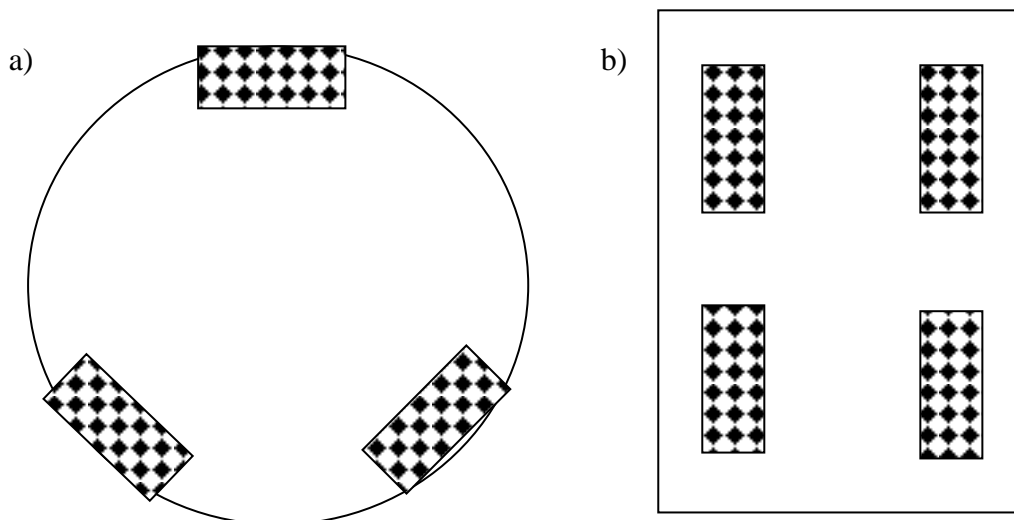


26. pav. Vikšrinė važiuoklė



27. pav. Robotas išminuotojas [22]

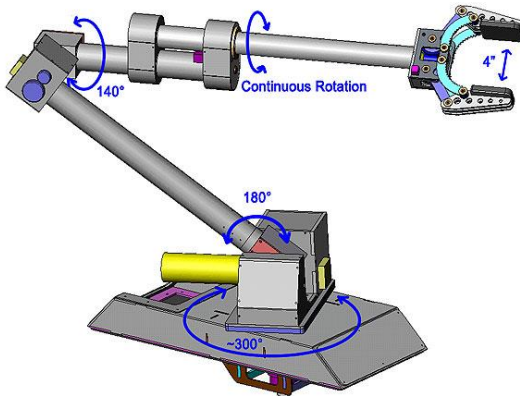
Kai kurie robotai gali judėti įvairiomis kryptimis patys nepasisukdami. Taip pat jie yra labai manevringi. Norint sukurti tokį robotą, reikia naudoti įvairiakrypčius ratus. Ši važiuoklė nėra labai populiari, tačiau turi savų privalumų. Žinoma, sukibimas suprastėja, nes įvairiakrypčiai ratai turi išilgai arba  $45^\circ$  kampu pritvirtintus mažyčius ratukus. Didžiausias manevringumo įrodymas – tokio tipo važiuoklę turintis mechanizmas gali apsisukti stovėdamas vietoje  $360^\circ$  kampu.



28. pav. Robotai varomi įvairiakrypčiais ratais: a) trimis, b) keturiais

## 2.7. Kėlimo mechanizmas

Vienas populiariausių krovinių paėmimo mechanizmų – autokrautuvo šakės, keliamos hidrauliškai. Apskritai dauguma kėlimo mechanizmų yra hidrauliniai. Tačiau robotuose daugiausiai naudojama valdomų servo varikliais, kadangi gana sunku rasti mažą hidrosiurbį, mažus cilindrus arba pneumatinę sistemą.



29. pav. Kėlimo mechanizmas

## 2.8. Išvados

Ištyrus rinkoje esančius mikrovaldiklius, nuspręsta pasirinkti pigiausią – ATmega32-16PU. Šio mikrovaldiklio greičio, atminties bei prievadų skaičiaus laisvai užtenka ir tolimesniems tyrimams, jungiant kitus jutiklius ar aktuatorius. Jutiklius nutarta naudoti lietimui bei infraraudonųjų spindulių, fiksuojančius kliūtį, tačiau reguliuojamu aptikimo atstumu. Matuojantys atstumą infraraudonųjų spindulių arba ultragarsiniai būtų suteikę galimybę tiksliau atpažinti aplinką ir joje esančias kliūtis, tačiau jie yra pakankamai brangūs.

Variklių valdiklis buvo rastas namuose, tai yra L293D. Jei robotas sunkiai važiuos ir kais variklių valdiklis, bus jungiamas lauko tranzistorių H – Tiltas. BlueTooth siųstuvą – imtuvą taip pat pavyko rasti namuose, todėl kitoks net nebuvo ieškomas.

Ištyrus važiuoklių privalumus ir trūkumus, padaryta išvada kad pati manevringiausia ir turinti labai gerą sukibimą yra sinchronizuota trijų ratų. Tačiau tokią važiuoklę sukurti mechaniškai ir programiškai yra sudėtinga, kadangi reikia grandinių arba diržų visų ratų sukinėjimui ir žingsninio variklio, kad galėtume pasukti ratus nedideliu kampų. Žinoma, galima naudoti ir nuolatinės srovės variklį pritaikant impulso pločio moduliaciją (PWM), tačiau tuomet reikėtų reduktoriaus ir ratų padėties pozicionavimo.

Kėlimo mechanizmą nuspręsta rinktis valdomą dviem varikliais, vienas būtų griebtuvo suspaudimui, kitas – pakėlimui. Signalui, išeinančiam iš mikrovaldiklio pastiprinti bus naudojami lauko tranzistoriai.

Taigi, robotą nuspręsta konstruoti dviem ratais varomą, trečiuoju laisvu ratu. Tai yra vienas iš paprasčiausių ir pigiausių variantų, tačiau gana manevringas ir turi gali turėti neblogą sukibimą parinkus atitinkamas padangas.

### 3. PROJEKTINĖ DALIS

#### 3.1. Projekto tikslas

Projekto tikslas yra sukurti važiuojantį robotą, kuris galėtų pakelti krovinį.

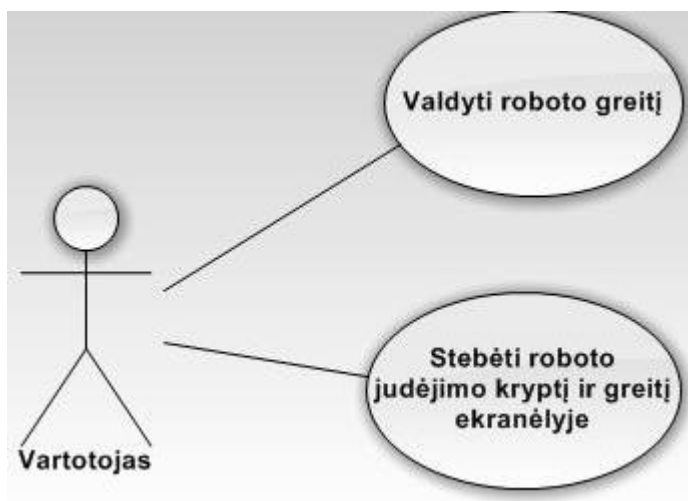
Reikalavimai robotui:

- Įvesti naują objektą į sistemą (BlueTooth ir ekranėlį)
- Robotas turi išvengti kliūčių
- Turi būti reguliuojamas važiavimo greitis

#### 3.2. Reikalavimai sistemai ir sistemos funkcijos

Esminiai reikalavimai sistemai yra šie:

- Turi būti reguliuojamas kliūties aptikimo atstumas
- Varikliai turi būti sukami impulso pločio moduliacijos metodu
- Nustačius greitį į 0, valdiklis turi negeneruoti triukšmų
- Sistema turi naudoti atviro kodo ir nemokamą programinę įrangą.



30. pav. Vartotojo panaudos diagrama

Vartotojo (28 paveikslėlis) pagrindinės funkcijos yra šios:

- Valdyti roboto greitį
- Stebėti roboto judėjimo kryptį ir greitį ekranėlyje

### **3.3. Panašūs projektai**

Robotų, galinčių vengti kliūčių, prikūrta yra labai daug, tačiau jie visi yra skirtingi, nes naudojami kiti mikrovaldikliai, jutikliai ir aktuatoriai

#### **3.3.1. Mažytis liniją sekantis robotas**

Šis robotas sukurtas neprisistačiusio autoriaus

- Tai labai mažas, lengvas mechanizmas
- Naudoja šešis infraraudonųjų spindulių jutiklius linijos sekimui
- Varikliai sukami impulso pločio moduliacijos metodu
- Naudojamas ATmega8 mikrovaldiklis

Šis robotas neturi sąsajos su kompiuteriu ir ekranėlio, nevengia kliūčių o seka liniją.

#### **3.3.2. Kliūčių vengiantis robotas naudojantis ATmega32**

Šį robotą sukūrė žmogus, prisistatantis Avinash slapyvardžiu.

- Robotas kurtas ant xBoard 2.0 platformos, pagamintos eXtreme Electronics
- Varikliai sukami naudojant impulso pločio moduliacijos metodą
- Naudoja tris infraraudonųjų spindulių jutiklius aptikti kliūtims
- Turi ekranėlį, rodantį ar kuris nors jutiklis fiksuoja kliūtį

Šis kūrinys važiuoja pastoviu greičiu, jį galima pakeisti tik perprogramuojant mikrovaldiklį. Nerodo variklių greičio ir judėjimo krypties.

#### **3.3.3. PIC pagrindu sukurtas kliūčių vengiantis robotas**

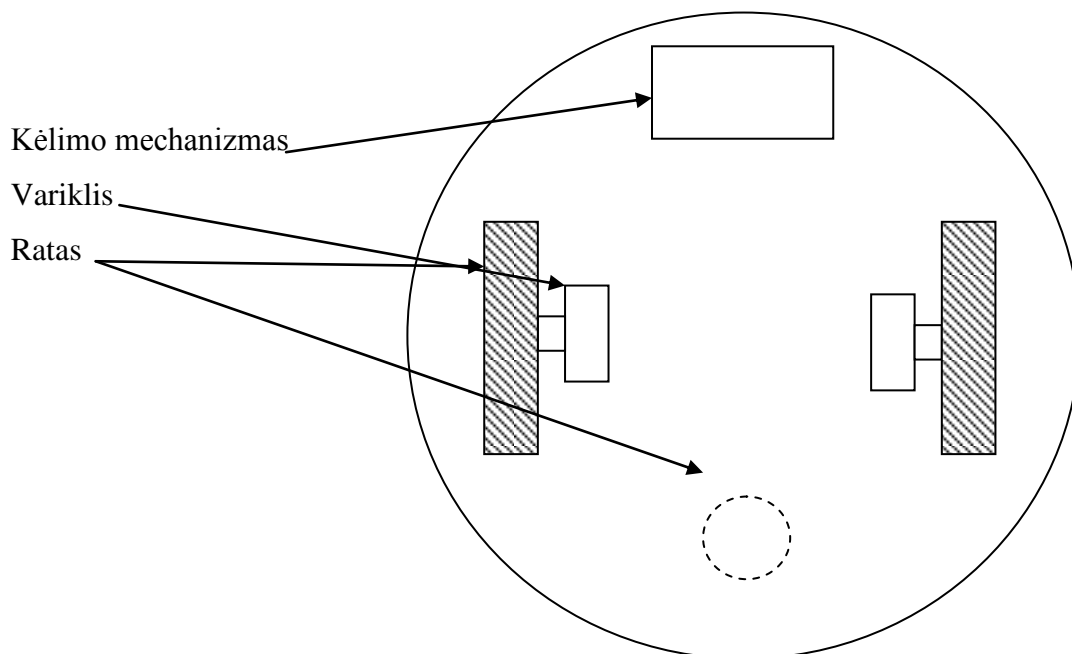
Šį robotą sukūrė Pololulu korporacija.

- Naudojamas PIC 16f628 mikrovaldiklis
- Kliūtims aptikti naudojami lietimui jutikliai
- Varikliai valdomi impulso pločio moduliacijos metodu

Šis robotas neturi sąsajos su kompiuteriu ir ekranėlio, važiavimo greitis keičiamas tik perprogramuojant mikrovaldiklį.

### 3.4. Roboto platformos projektavimas

Robotas planuojamas kurti ratinis, vairuojamas dvejais varomais ratais. Užpakalinis ratas prilaikytų robotą, jog šis nevirštų ir lengvai riedėtų, nepažeidžiant korpuso. Kuriamas robotas turi pakelti truputį daugiau nei vieną kilogramą, taip pat turėtų sugebėti suspausti krovinį, kad šis neslystų. Krovinio suspaudimui ir pakėlimui bus panaudota po vieną mikrovaldiklio išvestį. Apskaičiavus kiek laiko truks suspausti ir pakelti krovinį, bus galima nustatyti tai mikrovaldiklyje.



31. pav. Roboto važiuoklė bei kėlimo mechanizmas

### 3.5. Variklių valdymas

Robotas kuriamas atsižvelgiant į finansinius resursus, todėl varikliai panaudoti tokie, kokius pavyko rasti. Panaudoti nuolatinės srovės varikliai. Jų greitis reguliuojamas impulso pločio moduliacija (angliškai – Pulse Width Modulation (PWM) ). Signalas sustiprinamas H-Tilto pagalba. Naudojant šį tiltą, nereikia naudoti lauko tranzistorių užkrovimo valdiklių (driver), kadangi jie jau integruoti viduje.



### 3.6. Impulso pločio moduliacija

Impulso pločio moduliacija (angliškai – Pulse Width Modulation (PWM) ) yra labai dažnai naudojama šiuolaikinėje technikoje, norint valdyti daugybę elektronikos elementų bei variklių.

Vidutinė įtampa gaunama keičiant įjungto ir išjungto įrenginio laikus. Kol turime impulsą (loginį 1), tol akuatorius veikia, kai jį išjungiame (loginis 0), neveikia. Norint kad elementas dirbtų kuo tolygiau, turime paduoti loginių vienetų ir nulių seriją kuo greičiau. Elektrinėms viryklėms įjungti ir išjungti kaitinimo element pakanka kelis kartus per minutę, elektros lemputei pakanka 120 Hz, elektros pavarai reikia nuo kelių kilohercų iki kelių dešimčių kilohercų, o garso stiprintuvams ar impulsiniams maitinimo šaltiniams – nuo kelių dešimčių iki kelių šimtu kilohercų dažnio.

Duty cycle (darbinis ciklas) – tai toks laiko tarpas, kai įrenginys įjungtas. Darbinio ciklo trukmė išreiškiama procentais, 100% yra įjungtas visą laiką.

Pagrindinis PWM privalumas – labai maži energijos nuostoliai. Tuo metu, kai įrenginys išjungtas, praktiškai neteka jokia srovė. Galios praradimas, kuomet akuatorius įjungiamas ar išjungiamas, taip pat artimas nuliui.

Impulso pločio moduliacija buvo naudojama tam tikrose ryšių sistemose, kuriose jos darbinis ciklas buvo naudojamas perduoti informaciją ryšio kanalu.

Anksčiau galios mažinimas (ypač variklio apsisukimų per laiko tarpą arba apšvietimo slopinimo) buvo reostatu. Tačiau tai buvo labai nuostolinga, ypač sumažinant variklio galią iki minimumo. Dalis Elektros srovės, tekančios reostatu, virsta šilumine energija.

Laikui bėgant technika tobulėjo, o energiją imta taupyti vis labiau. Vienas iš pirmųjų PWM pavyzdžių – Sinclair X10, 10 vatų galios garso stiprintuvas, sukurtas 1960 metais. Maždaug tuo pačiu metu imta taikyti impulso pločio moduliaciją ir kintamos srovės varikliams.

Impulso pločio moduliacija naudoja stačiakampio impulso bangą, kurios impulso plotis yra moduluojamas, ko pasekoje gaunama signalo forma. Jeigu laikysime signalą funkcija  $f(t)$  su mažiausia verte  $y_{min}$ , o didžiausia  $y_{max}$  ir darbinio ciklu  $D$ , tai vidutinė

reikšmė bus 
$$\bar{y} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt. \quad (1)$$

Kai  $f(t)$  yra impulso banga, jos reikšmė  $y_{max}$  yra  $0 < t < D \cdot T$  ir  $y_{min}$  yra  $D \cdot T < t < T$ , tuomet

$$\begin{aligned}
\bar{y} &= \frac{1}{T} \left( \int_0^{DT} y_{max} dt + \int_{DT}^T y_{min} dt \right) \\
&= \frac{D \cdot T \cdot y_{max} + T(1 - D) y_{min}}{T} \\
&= D \cdot y_{max} + (1 - D) y_{min} \quad (2)
\end{aligned}$$

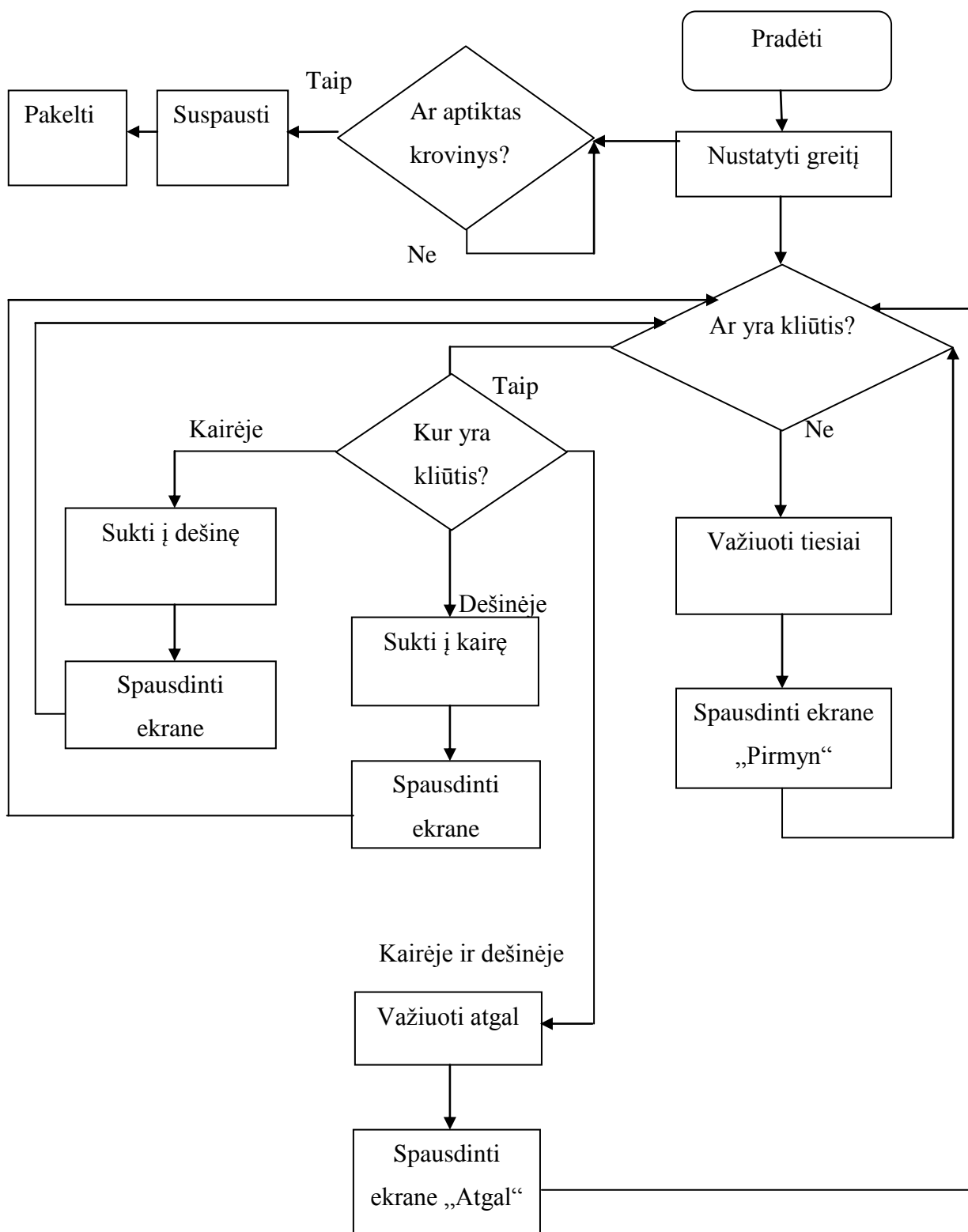
Suprastinus gauname  $y_{min} = 0$ , o  $\bar{y} = D \cdot y_{max}$ . Taigi, vidurkis  $\bar{y}$  yra tiesiogiai priklausomas nuo darbinio ciklo  $D$ .

Paprasčiausias būdas sugeneruoti PWM signalą yra pjūkladantiška arba trikampė signalo forma, kuri paprasčiausiai gali būti gauta naudojant rezonatorių ir komparatorių. Susikirtus rezonatoriaus generuojamam signalui ir komparatoriaus lyginamajai srovei, gaunamas loginis vienetas, kitu atveju gaunamas loginis nulis.

Delta – Sigma moduliacija realizuojama kai išėjimo signalas atimamas iš etaloninio signalo ir suformuoja klaidos signalą. Ši klaida yra integruota ir kai klaidos integralas viršija ribas, išėjimas pakeičia būseną.

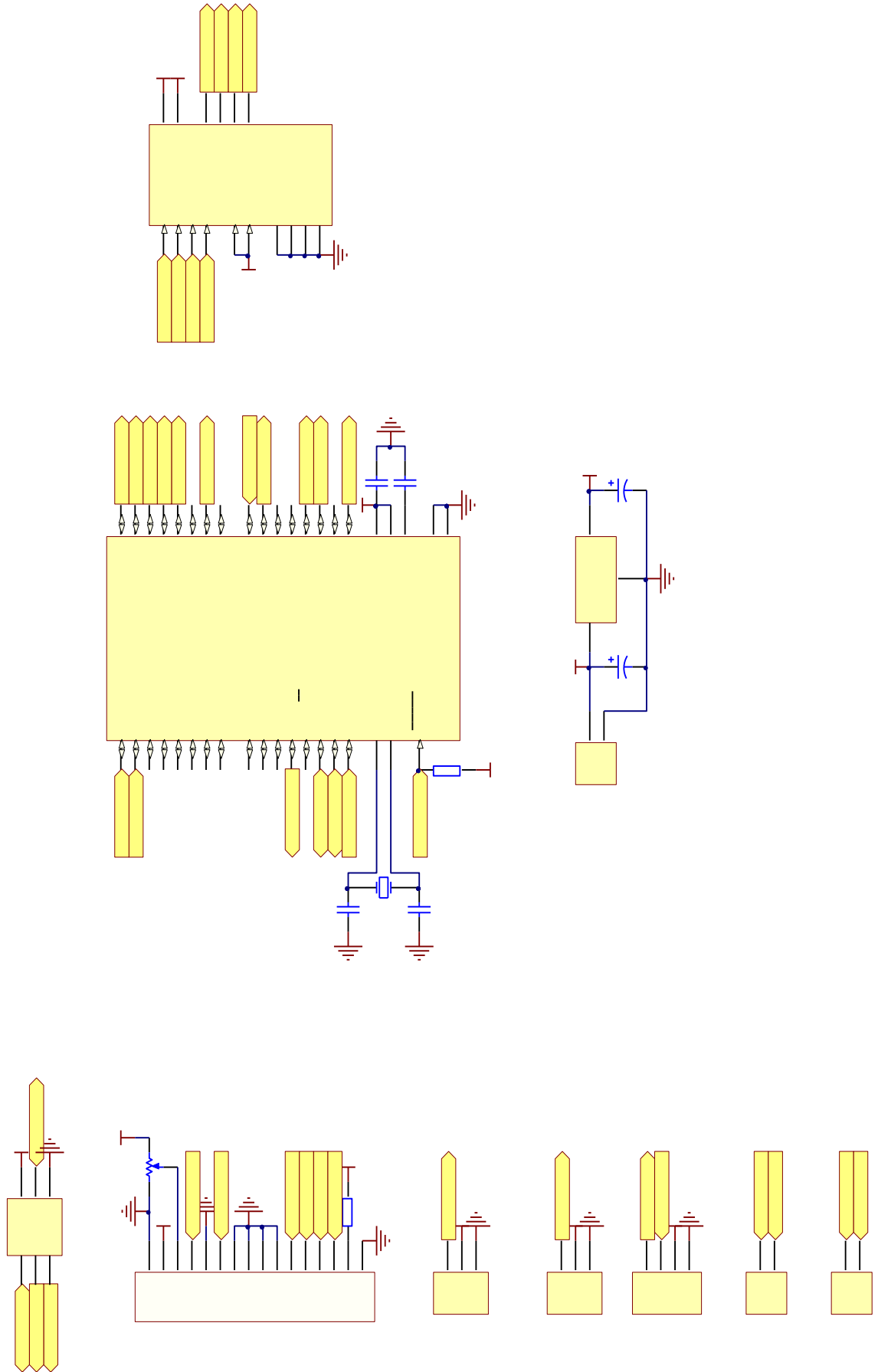
Daug skaitmeninių grandinių gali generuoti impulso pločio moduliacijos signalus (pavyzdžiui daug mikrovaldiklių turi PWM išėjimus). Jie paprastai naudoja skaitiklį periodiniams padidėjimams ir prilygina perkrauna reikšmes kiekvieno impulso pabaigoje. Skaitiklis tiesiogiai arba netiesiogiai sujungtas su grandine. Kai skaitiklio reikšmė yra didesnė už etaloninę, PWM išėjimas pasikeičia iš loginio vieneto į nulį (arba atvirkščiai). Ši technologija žinoma kaip laiko proporcionavimas – kiek laiko užtrunkama darbiname cikle. Padidėjimas ir reikšmių prilyginimas nuliui yra susikertančių reikšmių kita versija. Aukštos skiriamosios gebos skaitiklis gali duoti gana gerus rezultatus.

### 3.7. Programos algoritmas



32. pav. Programos algoritmas

### 3.8. Principinē roboto schema



33. pav. Principinē projekto su ATmega32 schema

Visa sistema yra maitinama 12V įtampa, todėl jungiant ATmega32 mikrovaldiklį, reikia ją sumažinti iki 5 voltų. Tam bus naudojamas LM7805 įtampos stabilizatorius. Infraraudonųjų spindulių davikliai ir Bluetooth imtuvai taip pat maitinami 5V įtampa. Naudojamas 7,3728 MHz kvarcinis rezonatorius. L293D H – tiltas maitinamas 4,5-36V, todėl pasirinkta 12V įtampa, kadangi varikliai bus maitinami per šį tiltą. Montažinėje plokštėje suprojektuoti išvadai programatoriui, kad ateityje būtų lengva pakeisti mikrovaldiklio kodą.

$$F_{PWM} = \frac{F_{CPU}}{256 \cdot N \cdot 2} \quad (3)$$

Šioje formulėje  $F_{PWM}$  yra impulso pločio moduliacijos dažnis,  $F_{CPU}$  yra dažnis, kuriuo dirba procesorius.  $N$  yra dažnio daliklis.

Kadangi naudojamas 7,3728 MHz kvarcinis rezonatorius, o dažnio daliklis lygus 1, tai variklių valdymo impulsų dažniai pilname PWM darbiname cikle turi būti tokie:

$$7372800 / 256 * 2 = 14400 \text{ Hz} = 14,4 \text{ KHz.}$$

#### 4.Lentelė. Klaidų skaičius pagal duomenų perdavimo greitį ir kvarcinį rezonatorių

Baud Rate (bps)	$f_{osc} = 3.6864\text{MHz}$				$f_{osc} = 4.0000\text{MHz}$				$f_{osc} = 7.3728\text{MHz}$			
	U2X = 0		U2X = 1		U2X = 0		U2X = 1		U2X = 0		U2X = 1	
	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error
2400	95	0.0%	191	0.0%	103	0.2%	207	0.2%	191	0.0%	383	0.0%
4800	47	0.0%	95	0.0%	51	0.2%	103	0.2%	95	0.0%	191	0.0%
9600	23	0.0%	47	0.0%	25	0.2%	51	0.2%	47	0.0%	95	0.0%
14.4k	15	0.0%	31	0.0%	16	2.1%	34	-0.8%	31	0.0%	63	0.0%
19.2k	11	0.0%	23	0.0%	12	0.2%	25	0.2%	23	0.0%	47	0.0%
28.8k	7	0.0%	15	0.0%	8	-3.5%	16	2.1%	15	0.0%	31	0.0%
38.4k	5	0.0%	11	0.0%	6	-7.0%	12	0.2%	11	0.0%	23	0.0%
57.6k	3	0.0%	7	0.0%	3	8.5%	8	-3.5%	7	0.0%	15	0.0%
76.8k	2	0.0%	5	0.0%	2	8.5%	6	-7.0%	5	0.0%	11	0.0%
115.2k	1	0.0%	3	0.0%	1	8.5%	3	8.5%	3	0.0%	7	0.0%
230.4k	0	0.0%	1	0.0%	0	8.5%	1	8.5%	1	0.0%	3	0.0%
250k	0	-7.8%	1	-7.8%	0	0.0%	1	0.0%	1	-7.8%	3	-7.8%
0.5M	-	-	0	-7.8%	-	-	0	0.0%	0	-7.8%	1	-7.8%
1M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-7.8%
Max <sup>(1)</sup>	230.4Kbps		460.8Kbps		250Kbps		0.5Mbps		460.8Kbps		921.6Kbps	

Iš ketvirtosios lentelės matome, kad pasirinkus 7,3728 MHz dažnio kvarcinį rezonatorių naudojant 9600 B/S greitį klaidų kiekis yra 0%. Šis kvarcinis rezonatorius

pasirinktas dėl to, kad naudojamas BlueTooth modulis duomenis perduoda 9600 B/S, tuomet klaidų kiekis lygus 0%.

Klaidų kiekis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\text{Error}[\%] = \left( \frac{\text{BaudRate}_{\text{Closest Match}}}{\text{BaudRate}} - 1 \right) \cdot 100\%$$

$\text{Error}[\%]$  - Klaidų kiekis procentais

$\text{BaudRate}_{\text{Closest Match}}$  - Duomenų perdavimo greičio artimiausias atitikmuo

$\text{BaudRate}$  - Duomenų perdavimo greitis

### 3.9. Išvados

Projektuojant robotą teko išsiaiškinti kokių yra panašių sprendimų, ką galima pritaikyti ir patobulinti savo projekte. Teko išmokti programuoti Atmel firmos mikrovaldiklį C kalba. Ypatingas dėmesys buvo skiriamas variklių greičio reguliavimui ir krypties pakeitimui. Įsigilinta į impulso pločio moduliacijos metodus nuolatinės srovės varikliams (tinka ir LED). Nustatytas kvarcinio rezonatoriaus dažnis, kad nebūtų perduodant duomenis BlueTooth moduliui klaidų. Nubraižyta principinė schema, daroma montažinė (PCB) plokštė, korpusas.

## 4. TYRIMO DALIS

Analizuojant kuriamą sistemą buvo tikrinama ar negalima nusiųsti duomenų, nuo kurių įrenginys nustotų veikti. Kadangi duomenys siunčiami HEX sistemoje, buvo bandyta vietoj didžiausios FFFF reikšmės parašyti pavyzdžiui GGGG. Įvedus tokią reikšmę, atvirojo kodo programa "WakeUp!" siunčia nulines vertes. Įvedus tik vieno variklio reikšmes, kito lieka nepakitusios. Taigi, padaryti taip, jog robotas atsidurtų nežinomoje būsenoje, nepavyko.

Bandant jutiklius, varikliai reagavo atitinkamai. Pirmiausiai jie pristabdomi, tik vėliau perjungiami pirmyn arba atgal. Tačiau tuomet, kai robotas važiuoja atgal, pastebėtas trūkumas. reikalingi sensoriai gale, kadangi jis gali atsitrenkti. Taip pat jo nebuvo galima išbandyti ant stalo, kadangi gali nukristi. Todėl nuspręsta ateityje pridėti bent du galo atstumo jutiklius bei mažiausiai po vieną atstumo jutiklį, stebintį ar robotas neatsiduria pavojingame aukštyje. Taip pat reikalingi atstumą matuojantys jutikliai, nes esant mažam atstumui iki objekto dar būtų galima važiuoti, tačiau robotas suka į šoną arba važiuoja atgal. Norint kad su

esamais jutikliais manevruotų kuo mažesniais atstumais, reikia nustatyti fiksuojamą atstumą potenciometru kiekvienam jutikliui atskirai.

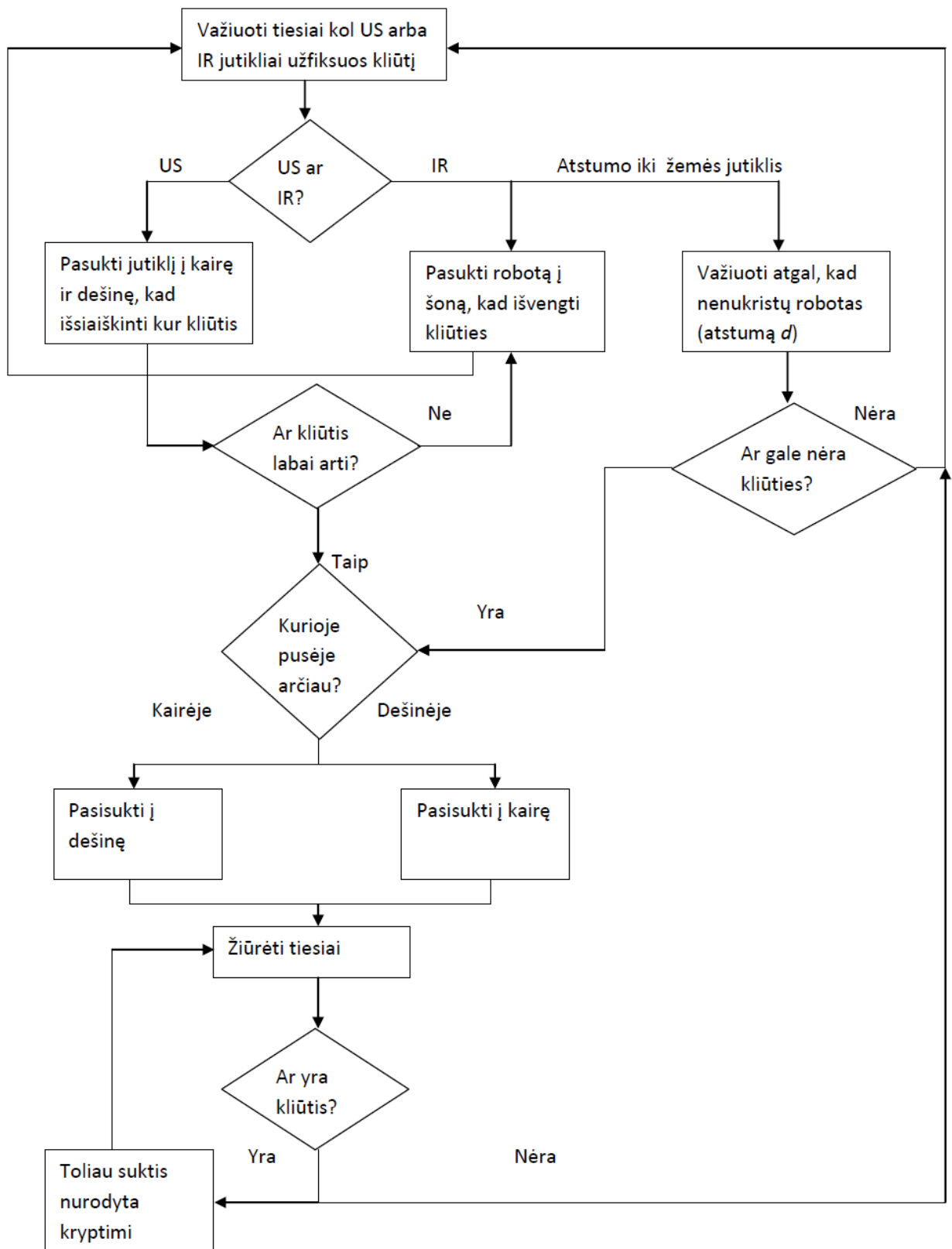
Išbandytas Bluetooth modulis maksimaliu atstumu – apie 10 metrų, tačiau per uždarytas duris, klaidų nepastebėta. Pagal siūstuvo gamintojo pateikiamas technines charakteristikas, maksimalus atstumas gali būti 150 m. Išbandyti atviroje teritorijoje nebuvo galimybės.

Taip pat pastebėtas įtampos stabilizatoriaus kaitimas. Reikalingas radiatorius.

#### **4.1. Reikalingas sistemos patobulinimas**

Atlikus tyrimą, nuspręsta padaryti šiuos pakeitimus:

- Pakeisti paprastus infraraudonųjų spindulių jutiklius pakeisti matuojančiais atstumą infraraudonųjų spindulių arba ultragarsiniais
- Padidinti jutiklių skaičių, taip pat pridėti bent du atstumo iki žemės paviršiaus jutiklius, norint išvengti roboto sudužimo
- Pridėti radiatorių įtampos stabilizatoriui
- Sugalvotas naujas kliūčių išvengimo programos algoritmas, panaudojant ultragarsinius ir infraraudonųjų spindulių atstumo jutiklius, pavaizduotas 33 paveikslėlyje



34. pav. Patobulintos programos algoritmas



## **5. EKSPERIMENTINĖ DALIS**

### **5.1. Techninė ir programinė įranga**

Projektui buvo naudojama:

- Kompiuteris Intel Core 2 2,13 GHz, 4 GB RAM, 64-bit Windows7 OS
- AVR STK500 programatorius
- BlueTooth siųstuvas – imtuvas
- „WakeUp!“ atviro kodo programa
- „RIGOL“ DS1302CA oscilografas
- Multimetras

### **5.2. Eksperimento tikslas**

Norėdamas patikrinti ar viskas veikia kaip projektuota, realizavau projektą. Po realizacijos išbandžius robotą ir tikrinau ar:

- Veikia jutikliai
- Teisingai rodo ekranėlis
- Nusistato siunčiamas variklių greitis
- Sukasi varikliai
- Nustačius variklių greitį į žemiausią lygį negauname triukšmų

### **5.3. Eksperimento atlikimo tvarka**

Eksperimentas buvo atliekamas tokia tvarka:

- Užprogramuojamas mikrovaldiklis su dalikliu ar be jo
- Prijungiamas oscilografas
- Pajungiamas maitinimo šaltinis
- Nustatomas reikiamas greitis (pradinis greitis yra 0)
- Stebimi parodymai roboto ekranėlyje
- Stebimi oscilografo parodymai:
  - Amplitudė
  - Dažnis / periodo laikas

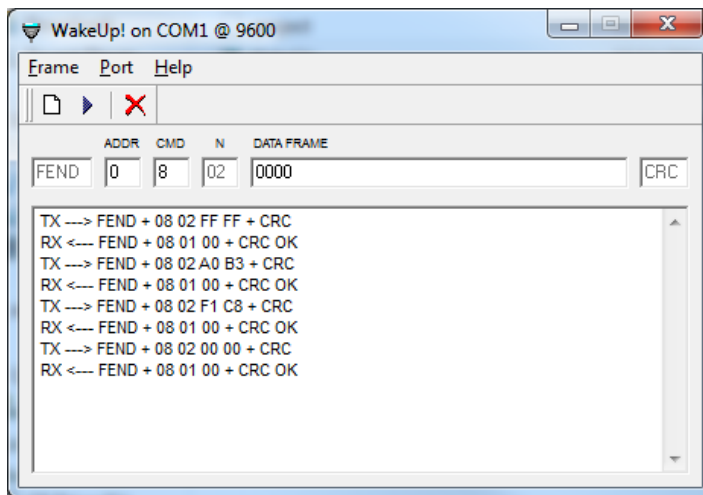
- Darbinis ciklas
- Maksimali įtampa
- Minimali įtampa
- Fronto kilimo bei kritimo laikai
- Oscilografo parodymai saugojami kompiuteryje
- Stebimas variklių darbas
- Uždengiami bei atidengiami jutikliai

#### 5.4. Realizacija ir eksperimento rezultatai

Sujungus schemą ir užprogramavus ATmega32 mikrovaldiklį, viskas veikia taip, kaip ir turėtų veikti. Variklio greičiai nustatomi per Bluetooth sąsają, juos galima padaryti skirtingus. Jeigu kairės pusės jutiklis pamato kliūtį – robotas sukasi į dešinę, jei dešinys – į kairę, jei abu – važiuoja atgal. Variklių greičiai bei važiavimo kryptis rodoma skystųjų kristalų ekrane.

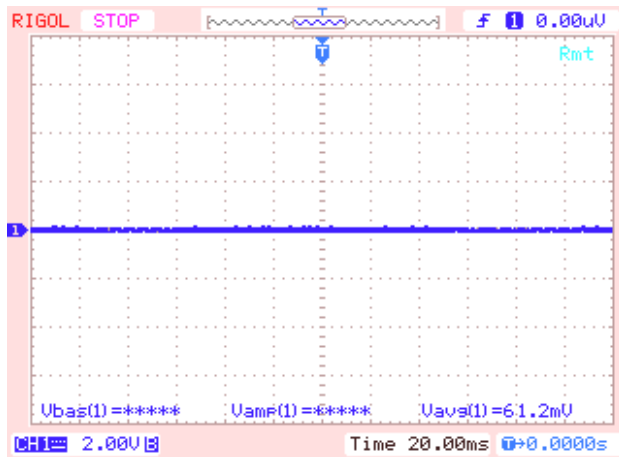


35. pav. Ekranų parodymai susidūrus su kliūtimis ir nustatytus skirtingus greičius



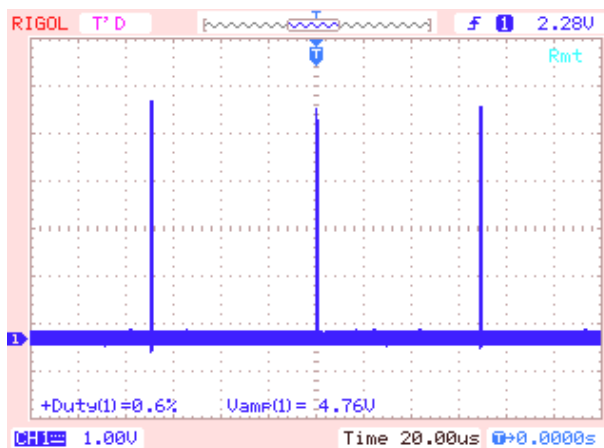
36. pav. Siunčiami greičio nustatymai robotui per Bluetooth sąsają

Buvo tikrinama impulso pločio moduliacija (PWM) naudojant „RIGOL“ DS1302CA oscilografą.



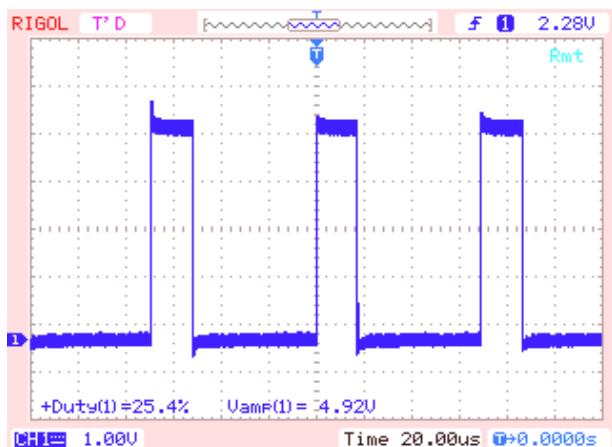
37. pav. Impulso plotis nustatytus reikšmę į 0

Nustatytus PWM lygį į 0, gauname labai mažą įtampą, vidutinė reikšmė lygi 61,2mV. Variklių valdiklis į tokį impulsą nereaguoja, varikliai nesisuka.



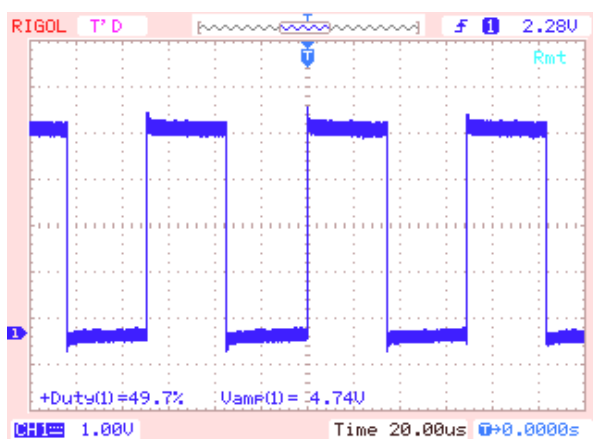
38. pav. Impulso plotis nustatytus reikšmę 1/256

Nustatčius PWM lygį į 1, darbinis ciklas užima 0,6%, impulso amplitudė – 4,76V



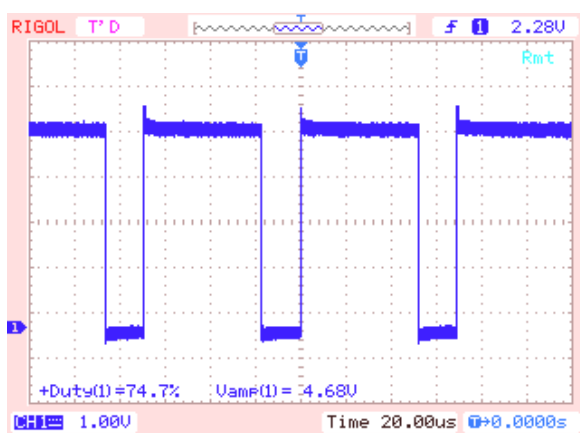
39. pav. Impulso plotis nustatčius reikšmę 64/256

Nustatčius PWM lygį į 64, darbinis ciklas užima 25,4%, impulso amplitudė – 4,92V



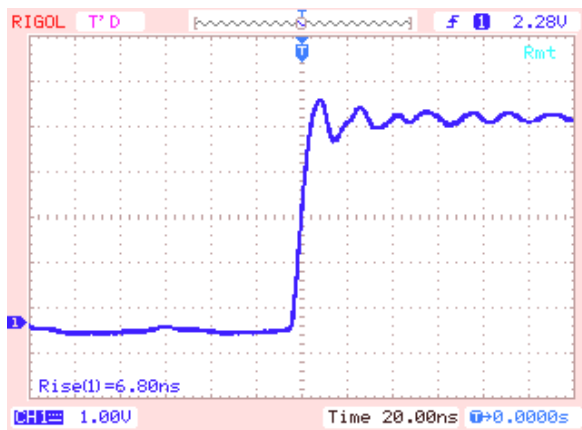
40. pav. Impulso plotis nustatčius reikšmę 128/256

Nustatčius PWM lygį į 128, darbinis ciklas užima 49,7%, impulso amplitudė – 4,74V

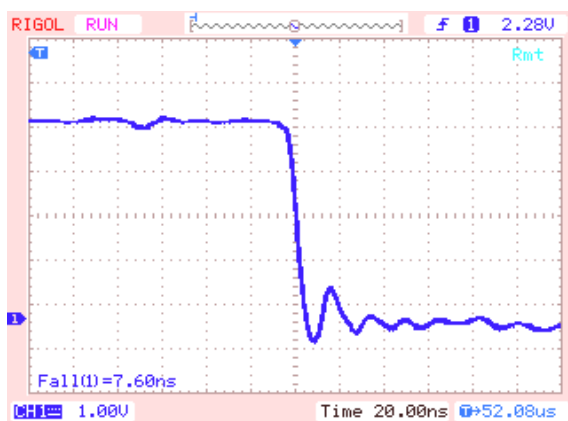


41. pav. Impulso plotis nustatčius reikšmę 192/256

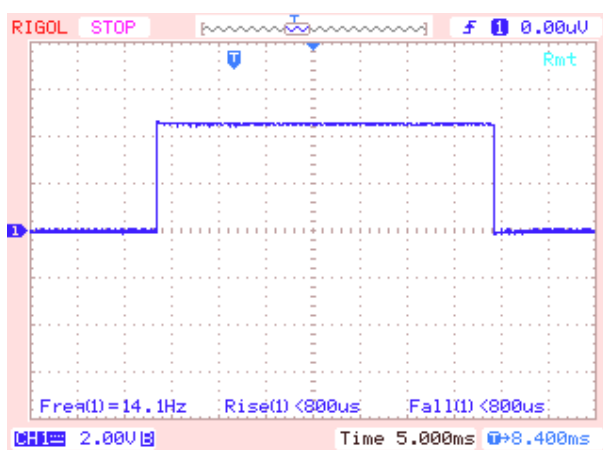
Nustatčius PWM lygį į 192, darbinis ciklas užima 74,7%, impulso amplitudė – 4,68V



42. pav. Kylančio fronto oscilograma  
Fronto kilimas užtrunka 6,8 nanosekundžių



43. pav. Krintančio fronto oscilograma  
Fronto kritimas užtrunka 7,6 nanosekundžių



44. pav. Kylančio ir krintančio fronto oscilograma  
Šioje oscilogramoje matyti kylančio ir krintančio fronto laikai ( $800\mu\text{s}$ ), kai dažnis 14,1 Hz. Toks dažnis gautas panaudojus daliklį 1024.

$$F_{PWM} = 7372800 / (256 * 1024 * 2) = 14,0625 \text{ Hz}$$

Pagal (3) formulę PWM dažnis lygus 14,0625 Hz. Taigi, panaudojus daliklį schema funkcionuoja teisingai. Varikliai, dirbdami tokiu dažniu, pulsuoja, jiems reikia aukštesnio PWM lygio kad pradėtų sukis. Variklių valdiklis, kuo ilgesnis kylančio ir krintančio fronto laikas, ima labiau kaisti, kadangi viduje esantys tranzistoriai būnas nepilnai atsidarę. Kuomet jie atsidarę iki galo, kaitimas yra mažesnis. Todėl daliklis šiame projekte nereikalingas.

## 5.5. Išvados

Sukurtas maketas išbandytas įvairiais režimais, signalas iš kompiuterio iš pradžių buvo siunčiamas per RS232 sąsają, vėliau išbandyta su BlueTooth moduliu. Bandyta reguliuoti infraraudonųjų spindulių daviklius, kurie reaguoja į kliūtis, jų aptikimas veikia.

Varikliai sukasi tiek pirmyn, tiek atgal, taip kaip ir buvo projektuota. Nustačius mikrovaldiklio dažnį į 7,3728 MHz varikliai puikiai sukasi, nejaučiama jokia pulsacija. Panaudojus dažnio daliklį, buvo pajautas variklių pulsavimas, reikėjo aukštesnio PWM lygio kad jie pradėtų sukis. Skystųjų kristalų ekranas rodo ir greitį ir kryptį. Šiuo metu gaminama spausdintinio montažo plokštė (PCB). Programuojant ATMega32 mikrovaldiklį panaudotas AVR STK500 V2 programatorius.

## 6. APIBENDRINIMAS

Atlikus magistrinį darbą buvo padarytos šios išvados:

1. Atlikus važiuoklės analizę buvo pasirinkta triratė, dviem ratais vairuojama ir varoma
2. Atlikus jutiklių analizę buvo nuspręsta pasirinkti infraraudonųjų spindulių paprastus jutiklius, tačiau tyrimo ir eksperimento metu nuspręsta juos pakeisti infraraudonųjų spindulių arba ultragarsiniais jutikliais
3. Atlikus mikrovaldiklių analizę, nuspręsta pasirinkti ATmega32 mikrovaldiklį
4. Sąsajai su kompiuteriu pasirinktas Bluetooth modulis
5. Kuriant robotą susidurta su šiomis problemomis:
  - Susidūrimo su kliūtimis išvengimas
  - Galinių jutiklių trūkumas
  - Aplinkos kitimas ir orientavimasis joje
6. Pasiūlyti problemos sprendimo būdai
  - Kombinuotas infraraudonųjų bei ultragarsinių jutiklių panaudojimas
  - Jutiklių kiekio didinimas
  - Atstumo iki žemės jutiklių prijungimas
  - Sugalvotas tobulesnis kliūčių išvengimo programos algoritmas

## 7. LITERATŪRA

1. Arkin, R.C. Behavior-Based Robotics. Cambridge, MA: MIT Press, 1998.
2. Braitenberg, V. Vehicles. Cambridge, MA: MIT Press, 1984.
3. Holland, J. M. Designing autonomous mobile robots; Inside the mind of an intelligent machine. Elsevier, 2004.
4. K-Team. Khepera: Vartotojo vadovas. Techninės charakteristikos, LAMI-EPFL, 1993.
5. Rymantas Tadas Toločka REGULIUOJAMIEJI MECHANIZMAI, Technologija, Kaunas, 2008. p.5
6. [Шурков В. Н. Основы автоматизации производства и промышленные роботы: Учеб. пособие для машиностроит. техникумов. Москва: Машиностроение, 1989. 240 с.]
7. Козырев Ю. Г. Промышленные роботы: Справочник. Москва: Машиностроение, 1983.376 с.
8. Mogilnickas I., Petrauskas R. Robotų technika. Mokomoji knyga. Vilnius, 1990. 95 p.
9. Mikrovaldikliai [žiūrėta 2012-04-09]. Prieiga per internetą: <<http://www.scribube.com/limba/lituaniana/Mikrovaldikli-apibrimas-ir-sav111982314.php>>
10. Roland Siegwart, Illah R. Nourbakhsh “Introduction to Autonomous Mobile Robots”, The MIT Press, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 2004
11. Įvairiakrypčiai ratai [žiūrėta 2012-04-11]. Prieiga per internetą: <[http://www.omnixtechnology.com/direct\\_components.html](http://www.omnixtechnology.com/direct_components.html)>
12. Peugeot MoVille [žiūrėta 2012-04-11]. Prieiga per internetą: <<http://conceptcar1.blogspot.com/2009/08/moville-peugeot-concept-car.html>>
13. Seminar Human robot interaction, Principles of robot locomotion, Sven Böttcher, 2006
14. JALURO robotas [žiūrėta 2012-04-11]. Prieiga per internetą: <<http://www.technovelgy.com/ct/science-fiction-news.asp?newsnum=2102>>
15. Ratukas [žiūrėta 2012-05-03]. Prieiga per internetą: <[http://www.ajproduktai.lt/lt/Produktai/Perveimui\\_Paklimui/Ratukai/Besisukiojantis\\_ratukas\\_apkrova\\_40\\_kg/462776-59690.wf](http://www.ajproduktai.lt/lt/Produktai/Perveimui_Paklimui/Ratukai/Besisukiojantis_ratukas_apkrova_40_kg/462776-59690.wf)>
16. Khepera nuotrauka [žiūrėta 2012-05-03]. Prieiga per internetą: <[http://da.wikipedia.org/wiki/Fil:Khepera\\_mobile\\_robot.jpeg](http://da.wikipedia.org/wiki/Fil:Khepera_mobile_robot.jpeg)>
17. Triratis robotas [žiūrėta 2012-05-03]. Prieiga per internetą: <<http://letsmakerobots.com/node/656>>



18. Neptune [žiūrėta 2012-05-03]. Prieiga per internetą:  
<<http://www.frc.ri.cmu.edu/~hpm/project.archive/robot.papers/1985/al2.html>>
19. MRV4 [žiūrėta 2012-05-03]. Prieiga per internetą:  
<<http://www.disam.upm.es/~control/Gallery/Robots/Index.html>>
20. Ackermann steering [žiūrėta 2012-05-03]. Prieiga per internetą:  
<<http://www.nwvs.org/Technical/MTFCA/Articles/2502AckermanSteering.pdf>>
21. Proxy robot [žiūrėta 2012-05-04]. Prieiga per internetą:  
<<http://andriybuday.blogspot.com/2011/05/proxy.html>>
22. Įvairiakrypčiai ratai [žiūrėta 2012-05-03]. Prieiga per internetą:  
<[http://www.omnixtechnology.com/direct\\_components.html](http://www.omnixtechnology.com/direct_components.html)>
23. Lytėjimo jutiklis [žiūrėta 2012-05-10]. Prieiga per internetą:  
<<http://www.intelektualiosistemas.net/roboto-technologijos/roboto-jutikliai/prisilietimo-jutiklis/>>
24. IR sensor [žiūrėta 2012-05-03]. Prieiga per internetą:  
<[http://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&product\\_id=114](http://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&product_id=114)>
25. SHARP sensor [žiūrėta 2012-05-11]. Prieiga per internetą:  
<<http://www.robotshop.com/ca/sharp-gp2y0a21yk0f-ir-range-sensor-3.html>>
26. Ultrasonic sensor [žiūrėta 2012-05-11]. Prieiga per internetą:  
<<http://www.parallax.com/tabid/768/ProductID/92/Default.aspx>>
27. H - Bridge [žiūrėta 2012-05-12]. Prieiga per internetą:  
<<http://www.clear.rice.edu/elec201/Book/hardware.html>>
28. BlueTooth V1.02 [žiūrėta 2012-05-03]. Prieiga per internetą:  
<<http://www.dankrill.com/lab/index.php?content=procedures&set=b&item=11>>
29. Infraraudonųjų spindulių optiniai jutikliai [žiūrėta 2012-05-03]. Prieiga per internetą:  
<[http://www.elintosprekyba.lt/lt/g/optiniai\\_jutikliai-infraraudonuju\\_spinduliu\\_optiniai\\_jutikliai-ifm\\_electronic](http://www.elintosprekyba.lt/lt/g/optiniai_jutikliai-infraraudonuju_spinduliu_optiniai_jutikliai-ifm_electronic)>
30. PIC18 mikrovaldiklio prijungimas prie kompiuterio per RS232 sąsają [žiūrėta 2012-05-03]. Prieiga per internetą: <[studijos.ktk.lt/t/elektronikos\\_megejams/S-22600/straipsnis?name=S-22600&l=1&p=1](http://studijos.ktk.lt/t/elektronikos_megejams/S-22600/straipsnis?name=S-22600&l=1&p=1)>

## 8. Terminų ir santrumpų sąrašas

ASCII (angl. *American Standard Code for Information Interchange*) – Amerikos standartiniai kodai tarptautiniams duomenų mainams (skaičiai, raidės, simboliai)

DC (angl. *Direct Current*) Nuolatinė srovė

DIP (angl. *Dual In-Line Package*) – Korpusas su dvejomis kontaktų eilėmis (integrinio grandyno)

EEPROM (angl. *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*) – Elektriškai trinama ir įrašoma skaitymo atmintis

IC (angl. *Integrated Circuit*) – Integrinis grandynas

ISP (angl. *In-System Programming*) – Programavimas dirbančios sistemos aplinkoje

LCD (angl. *Liquid Crystal Display*) – Skystųjų kristalų ekranas

LED (angl. *Light-Emitting Diode*) – Šviesos diodas

MISO (angl. *Master-In, Slave-Out*) – Valdiklio įėjimas, periferijos išėjimas

MOSI (angl. *Master-Out, Slave-In*) – Valdiklio išėjimas, periferijos įėjimas

PCB (angl. *Printed Circuit Board*) – Spausdinto montažo plokštė

PWM (angl. *Pulse Width Modulation*) – Impulso pločio moduliacija

USB (angl. *Universal Serial Bus*) – Universali nuosekloji magistralė

OS (angl. *Operating system*) – Operacinė sistema

Duty Cycle – Darbinis ciklas

IR (angl. *Infra Red*) – Infraraudonieji spinduliai

US (angl. *Ultra Sound*) – Ultra garsas