

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Infotehnoloogia teaduskond

Marvin Martinson 175339IDAR

**KAUGJUHITAVA MUDELSÕIDUKI LAHENDUS
ERAETTEVÕTTE NÄITEL**

Diplomitöö

Juhendaja

Edmund Laugasson

MSc

Kaasjuhendaja

Lauri Võsandi

MSc

Tallinn 2020

Autorideklaratsioon

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Marvin Martinson

.....

(allkiri)

Kuupäev: 18.05.2020

Annotatsioon

Käesoleva diplomitöö eesmärgiks on luua kaugjuhitav mudeltank, mida saab eemalt juhtida ja võimaldab tulistamist simuleerida ja sealhulgas seda tuvastada. Kuna sellist lahendust, mis kataks täielikult nõuded turult ei leitud siis käesoleva diplomitöö käigus see ehitati.

Arendusprotsessi käigus ehitati valmis nõuetele vastav mudeltank. Arendus on jagatud mitmesse ossa, millest esimeses analüüsi esmalt sõidukile vajalikku funktsionaalsust ja sobivaid komponente ning seejärel teisi analoogseid lahendusi. Töö teises pooles kirjeldatakse lahenduse tehnilist ja tarkvaralist teostust ning ettetulnud probleeme ja nende lahendamist.

Töö rõhk on praktilisel teostusel ja selle toimivuse vastavusel lähtetingimustele. Muuhulgas katab lõputöö kasutatuid tehnoloogiaid, arhitektuuri, testimist ning sellega seonduvad pidevat integratsiooni. Arendusprotsessi tulemuseks on töötav mudeltank.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 23 leheküljel, 6 peatükki, 13 joonist, 2 tabelit.

Abstract

Remote Controlled Miniature Vehicle Solution Case of Private Company

The aim of this diploma's thesis is to create a remote-controlled model tank that can be controlled remotely and allows shooting to be simulated, including detection. Since such a solution what would cover all the requirements was not found on the market then it was built during this diploma thesis.

During the development process, a model tank according the requirements was built. The development is divided into several parts, firstly there were analyzed the functionality required for the vehicle and suitable components, and then other similar solutions. The second part of the work describes the technical and software implementation of the solution and the problems encountered and their solutions.

The emphasis of the work is on the practical implementation and compliance of its performance with the initial conditions. Among other things, the dissertation covers the technologies used, architecture, testing and related continuous integration. The result of the development process is a working model tank.

The thesis is in Estonian language and contains 23 pages of text, 6 chapters, 13 figures, 2 tables.

Nimekiri lühenditest ja terminitest

H.264	Videokoodeki standard
I ² C	Inter-Integrated Circuit kahejuhtmeliides
USB	Universal Serial Bus universaalne järjestiksiin
LiPo	Lithium-ion polymer battery liitiumpolümeeraku
LiFePo4	Lithium iron phosphate battery liitium-raudfosfaataku
PWM	Pulse width modulation pulsilaiusmodulatsioon
LED	light-emitting diode valgusdiod
HTTP	Hypertext Transfer Protocol hüperteksti edastusprotokoll
JPEG	Joint Photographic Experts Group digitaalpildi pakkimise standard
TCP	Transmission Control Protocol edastusohje protokoll
UDP	User Datagram Protocol kasutajadatagrammi protokoll
MJPEG	Motion JPEG multimeedia vorming, iga kaader on pakitud JPEG pilt
HTML	Hypertext Markup Language hüperteksti märgistuskeel
RTP	Real-time Transport Protocol reaalaaja-transpordiprotokoll
RTS	Request To Send soov edastada
CTS	Clear To Send luba edastada
BMS	Battery management system aku haldussüsteem
MTU	Maximum transmission unit maksimumne ülekandeühik
CAN	Controller Area Network sõiduki siini standard, mis võimaldab sõidukis olevatel mikrokontrolleritel ja seadmetel omavahel juhtarvuti abita andmeid vahetada
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance liikluse tuvastuse ja põrke vältimisega multipöördusvõrk

Sisukord

Joonised	vii
Tabelid	viii
1 Sissejuhatus	1
1.1 Taust	1
1.2 Lähtetingimused	1
1.3 Ülevaade tööst	2
2 Olemasolevate lahenduste analüüs ja plaanitav lahendus	3
2.1 Ülevaade plaanitavast mudelsõidukist	3
2.1.1 Plaanitava sõiduki tehniline analüüs ja lahendustee	3
2.1.2 Mudeltanki keskse kontrolleri valimine	3
2.1.3 Mudeltanki kere	5
2.1.4 Mootorite kontrollimine	5
2.1.5 Tulistamine ja selle tuvastamine	6
2.1.6 Videovoo edastamine mudeltankilt	6
2.1.7 Infrapuna dekodeerimine ja kodeerimine	6
2.1.8 Võimsustarve ja toide	7
2.2 Olemasolevate lahenduste uurimine	7
2.3 Järeldused	10
3 Tulemused	11
3.1 Infrapuna vastuvõtja	11
3.2 Infrapunaga tulistamine	13
3.3 Toitelahendus robotile	14
3.3.1 Keskne trükkplaat voolu jagamiseks	14
3.3.2 Akupaki lahendus	14
3.4 Tarkvara robotile	17
3.5 Videovoo edastamine mudeltankilt ja kasutajaliides	18
4 Probleemid	19
4.1 Latentsuse probleemid	19
4.2 Roboti juhtimine üle UDP	19
4.3 Häired	20

5	Edasine töö	21
5.1	Häired WiFi andmeedastuses	21
5.2	Akupaki haldamise süsteem	21
5.3	Tarkvaratäiustused	22
6	Kokkuvõte	23
	Kirjandus	24
	Lisad	26
	Lisa 1 - Lõpptulemus piltidena	26

Joonised

1	Infrapuna vastuvõtu trükkplaadi elektroonikaskeem	11
2	IR signaali vastuvõtja trükkplaadi joonis ülevalt	12
3	IR signaali vastuvõtja trükkplaadi joonis alt	12
4	Keskse trükkplaadi elektroonikaskeem	14
5	Keskse trükkplaadi joonis	15
6	Akupaki trükkplaadi elektroonikaskeem	16
7	Akupaki trükkplaadi joonis	17
8	Riistvara arhitektuuri joonis	18
9	Akupaki kinnitusjoonis	26
10	Tanki vaade seest vasakul mootorite kontroller, keskel juhtkontroller, keskne trükkplaat	27
11	Tanki vaade	27
12	Tanki vaade	28
13	Akupakk	28

Tabelid

1	Keskse kontrolleri valiku võrdlus loodavale mudeltankile	4
1	Keskse kontrolleri valiku võrdlus loodavale mudeltankile	5
2	Komponentide voolukulu analüüs	7

1. Sissejuhatus

1.1 Taust

Autor on seotud erinevate projektide kaudu K-Space MTÜ tegevusega. Autoril ei ole elektroonikaalast haridust kuid on aidanud korraldada erinevaid töötubasid ning osalenud sumorobotite ehitamises. K-Space on turu-tüüpi organisatsioon, mis pakub infotehnoloogiast ja elektroonikast huvitatud inimestele tehniliste võimalustega avatud töökoda, inglise keeles Hackerspace isiklike ja koostööprojektide teostamiseks.

Üks K-Space'i tegevussuundi on viia kokku infotehnoloogiliste lahenduste tellijad ja tööde võimalikud teostajad. Projektidesse kaasatakse K-Space'i liikmeid ja teisi vajalikke asjatundjaid. Autor osales ühes sellises projektis, mille eesmärk oli viie kaugjuhitava sõiduki tehnilise ja tarkvaralise lahenduse väljatöötamine.

1.2 Lähtetingimused

Diplomitöö eesmärgiks on kliendi poolt etteantud nõuetele vastava kaugjuhitava mudelsõiduki leidmine. Selleks analüüsitakse turul olevaid tooteid ja nõuetele vastava lahenduse puudumisel kaalutakse mudeltanki valmistamist.

Kokku on vaja leida või ehitada 5 kaugjuhitavat mudelsõidukit kahe kuu jooksul. Klient kasutab vastavaid sõidukeid esialgu meelelahtuse eesmärgil.

Sõiduki peamised nõuded funktsionaalsusele on järgnevad:

Kaugjuhitav

Mudelsõiduk

Dünaamiliselt muudetav tulistamiskaugus, et lahendust oleks võimalik kasutada erinevate suurustega mänguväljakutel

Reaalajas sõidukil paikneva kaamera videopildi vahendamine ekraanile

Tulistamise simuleerimine ja selle tuvastamine

Aku kestvus 4-5 tundi

Projekti tegemise aeg kaks kuud

Kliendi üheks tegevusvaldkonnaks on küberõppuste korraldamine. Autor soovitas juhtimise ja kaamerapildi edastuseks kaaluda WiFi võimalust, et tulevikus antud sõidukeid kasutada näiteks küberõppustel.

1.3 Ülevaade tööst

Diplomitöö esimene peatükk sisaldab sõidukile vajaliku funktsionaalsuse kirjeldust. Samas peatükis sõnastatakse lähtetingimused ja töö eesmärk.

Teises peatükis analüüsitakse turul olevate lahenduste sobivust nõuetele. Samas peatükis on autor analüüsinud, kuidas teostada ise sõiduki põhifunktsionaalsusi, millistest komponentidest peaks loodav sõiduk koosnema.

Kolmandas peatükis kirjeldatakse lahenduse tehnilist ja tarkvaralist teostust.

Neljandas peatükis nimetatakse praktilise töö käigus ette tulnud probleemid ja kirjeldatakse neile lahenduse leidmine.

Viies peatükk koosneb tulevikuplaanidest edaspidiseks.

Lisades on pildid loodud lahendusest.

2. Olemasolevate lahenduste analüüs ja plaanitav lahendus

Antud peatükis autor uurib turul olevaid lahendusi kas need kataksid kliendi nõuded. Vaadatakse üle võimalus lahendus ise luua, mis nõuab ükshaaval funktsionaalsuste kaardistamist vastavalt nõuetele ja nende analüüsimist.

2.1 Ülevaade plaanitavast mudelsõidukist

2.1.1 Plaanitava sõiduki tehniline analüüs ja lahendustee

Käesolevas peatükis analüüsib autor kliendi nõuded ükshaaval, kuidas järgnevaid sõiduki põhifunktsionaalsusi teostada:

- Tulistamise emuleerimine
- Pihtasaamise tuvastamine
- Videovoo edastamine mudeltankilt
- Kaugjuhtimine
- Keskne aju sõidukile
- Elektriskeemi toitelahendus
- Tarkvara

Arvestada tuleb veel sellega, et projekti tegemise aeg on kaks kuud. Komponentide valikul tuleb võimalusel lähtuda sellest, et asjad leiaks Euroopast. Hiinast tellides ei pruugi asjad jõuda õigeks ajaks kohale.

2.1.2 Mudeltanki keskse kontrolleri valimine

See on projekti üks olulisemaid osasid. Mudeltanki keskne kontrolleri suhtleb järgnevate komponentidega: mootorite kontrolleri, veebikaameraga, mikrokontrolleriga, mis töötlevad infrapunasiignaali. Valik on suur aga valiku kitsendamiseks tuleb kirja panna nõuded. Nõuded tulenevad autori varasemast kogemusest, mida antud sõiduk peaks võimaldama vastavalt kliendi nõuetele:

Seadme trükkplaadil peavad olema 5V toitesisendi kontaktid, mis võimaldavad kergesti anda toidet controllerile. Tavaliselt kasutatakse toiteks USB mikropistikut, mis on paralleelselt paigutatud trükkplaadile. USB-kaabli kasutamisel on palju ruumiraiskamist ja see võib tekitada halva ühenduse vibratsioonirikkas keskkonnas. Andmesidekanalina on soovitatav kasutada WiFi. Varasemalt kogemus näitab, et WiFi võrguühendus võimaldab sõidukeid kasutada kergemini küberõppustel, näiteks kui üks meeskond peaks teise meeskonna sõiduki üle kontrolli saama.

Võimalikult väike volutarve, et saavutada võimalikult pikk töötamise aeg kogu sõidukil.

Riistvara peab toetama Linuxi operatsioonisüsteemi, kus saab kasutada Pythonis loodud programme. Kuna autoril on varasemalt kogemusi nii Linuxi kui Pythoniga, siis on plaanis sõiduki loogika programmeerida Pythonis. Linuxi ja Pythoni kombinatsioon võimaldab kiiresti ja lihtsasti luua tarkvara roboti juhtimiseks ja tulevikus lisada funktsionaalsust juurde.

Vähemalt üks USB 2.0 A tüüpi pesa, kuhu saaks ühendada kaamera.

Kontrolleri GPIO klemmidelt 3.3V toitepinge väljund, mida saab kasutada teiste mikrokontrollerite toiteks

Liides kontrolleritega suhtlemiseks Kas siis sisend/väljund viigud või mõni muu liides nagu I²C, CAN-võrk.

Mida väiksem füüsiline suurus seda parem.

Seadmed, mille vahel autor otsustas valiku teha, oleksid järgnevad: RaspberryPI 3, GL-MT300N-V2, GL-AR150. Kuna need seadmed on dimensioonilt väiksed ja odavad. Tabelis 1 on välja toodud seadmete võrdlus vastavalt nõuetele.

Tabel 1. Keskse kontrolleri valiku võrdlus loodavale mudeltankile

Nõue	Raspberry Pi3 [1]	GL-MT300N-V2 [2]	GL-AR150[3]
Toide GPIO kaudu	Jah	Jah	Ei
Protsessor	BCM2837B0 1.4GHz	MTK 7628NN 580MHz	Atheros 9331 SoC, 400MHz
WIFI	Jah a/b/g/n	Jah b/g/n	jah b/g/n
Voolutarve	750mA	200-300mA	250mA
Pythoni interpreter	Jah	Jah, OpenWrt toetab Pythonit	Jah, OpenWrt toetab Pythonit
USB A-pesa	Jah	Jah	Jah
3.3V toiteväljund GPIO kaudu	Jah	Jah	Jah

Tabel 1. Keskse kontrolleri valiku võrdlus loodavale mudeltankile

Nõue	Raspberry Pi3 [1]	GL-MT300N-V2 [2]	GL-AR150[3]
I ² C	Jah	Jah	Ei
CAN-võrk	Ei	Ei	Ei
Füüsiline suurus	85x56mm	58x58mm	58x58mm
Hind	30-45€	20-25€	25€

Võrdluse tulemustest lähtuvalt võtab autor kasutusele GL-MT300N-V2. GL-MT300N-V2 on odavam, mõõtmelalt väiksem kui Raspberry. GL-AR150 peal käivitusid Pythoni programmid juba liiga aeglaselt, ilmselt seetõttu, et sellel on kolmest kõige nõrgem protsessor. GL-MT300N-V2 on küll nõrgem protsessor kui Raspberry Pi'l aga kuna enamuse pilditötlusest, teeb ära kaamera, siis polegi vaja nii võimast protsessorit. Teiste komponentidega suhtlemiseks võtab kasutusele I²C liidese, GL-MT300N-V2 võimaldab riistvaralist I²C'd. Raspberry Pi üheks miinuseks on failisüsteemi hoiustamine SD-kaardil, mis toite kadumisel võib minna katki. Katkise failisüsteemiga toode ei ole kasutatav kuna alglaadimine ebaõnnestub.

2.1.3 Mudeltanki kere

Tanki kere toorikuna kaaluks komplekte, mis on mudelismipoodides ning internetikaubamajades kättesaadavad. Sioning SN2700[4] komplektiga oli varasemast ajast kogemus olemas. Toorikul on alumiiniumist karkass ja roomikud koos mootoritega.

Korpuse detailid plaaniks 3D-printida, sest see võimaldab kompaktselt paigutada komponendid toorikule. Autoril endal ei ole kogemust 3D-modelleerimisega - printimisega. Plaanitakse kasutada välist abi kellel on varasem kogemus jalgpalli- ja korvpallirobotite keredetailide disainimise ja 3D-printimisega Robotexi robotikavõistluse tarbeks.

2.1.4 Mootorite kontrollimine

Mootorite kontrolleri valikul tuleb lähtuda I²C olemasolust, mille kaudu juhitakse kontrolleri abiga mootoreid. Kontroller peaks hakkama saama vähemalt 12V toitepingel 800mA voolu tarbivate mootoritega. Kiiresti otsides jäi silma Grove I²C mootori kontroller[5], mis vastab põhilistele nõuetele. Kontrolleri valikul ei näinud autor mõtet, et hakata tegema põhjalikumat uuringut, kuna kontrolleri kodulehel on ka erinevate programmeerimiskeelte näited olemas, mille põhjal tundub olevat tegemist võimeka tootega.

2.1.5 Tulistamine ja selle tuvastamine

Olemasolevad kaugjuhitavad mudeltankid kasutavad tulistamiseks infrapunavalgust või plastmassist kuule. Infrapunaga on võimalik edasta informatsiooni, mis võimaldab tuvastada tulistajat. Voolu pinget infrapuna LEDil saab kergesti reguleerida takistiga kui tulevikus oleks vaja reguleerida laskmise distantsi. Lihtsaks lahenduseks oleks kasutada rmade Tamiya või Heng Long mooduleid[6] [7] infrapunavalguse vastuvõtmiseks. Kliendi soov oli sõiduki pihitasaamist teiselt sõidukilt visualiseerida vilkuvate LED-tuledega. Tamiya mooduli hind on põhjendamatult kõrge hinnaga \$170 ja Heng Long moodulil puudub LED valgustus. Autor looks kohandatud trükkplaadi mooduli, kus LED-valgustus ja infrapunavastuvõtjad asuvad ühel moodulil, inspiratsiooni saadi järgnevast projektist [8]. Tulistamiseks kasutaks infrapuna-LEDi, mille oluline parameeter on signaali lainepikkus, mis peab klappima ka signaali vastuvõtja parameetriga.

2.1.6 Videovoo edastamine mudeltankilt

Veebikaamera valikul lähtus autor varasematele teadmistele pildi kodeerimise ressursimahukusest. Riistvaralise kiirendusega kaameral toimub kaamera pildi kodeerimine kaamera enda riistvaral, vabastades üleliigsest koormusest seadme, kuhu kaamera on ühendatud.

K-Space'is on turvakaameratena kasutusel riistvaralise kiirendusega AR0330 kiibistikuga kaamerad, mis võimaldab kaamerast saada H.264 kodeeringuga pilti. Arvutiga on võimalik seda ühendada USB kaudu. Kaamera korpuses on väike kompaktna kaameramoodul[9], mis on sobilik kasutusele võtta. Projekti ajaliimiidi tõttu ei näe autor vajadust teiste kaamerate testimiseks, kuna antud moodul vastab nõuetele.

2.1.7 Infrapuna dekodeerimine ja kodeerimine

Infrapunasignaali dekodeerimiseks ja kodeerimiseks kasutatakse eraldi mikrokontrollereid. Nende valik tuleneb sellest, et süsteemid oleksid eraldi ja ei tekitaks üksteisega konflikte. Infrapunasignaali edastamine toimub reaajas ja signaali pikkus toimib millisekunditega - siis ei tohi signaali töötlemist segada ega blokeerida. Mikrokontrolleri valikukriteeriumid oleksid järgmised:

- väike voolutarve

- mõõtmelult võimalikult väike

- peab toetama tarkvarateeki infrapunasignaali kodeerimiseks, dekodeerimiseks ja I²C siinil suhtlemiseks.

I²C võimalus

Potentsiaalseks mikrokontrolleriks oleks ATtiny85. Antud mikrokontrollerile leiab teeke infrapuna kodeerimiseks, dekodeerimiseks. ATtiny85 voolutarve 8Mhz taktsageduse ja 3.3V juures on umbes 3-7mA[10], täpsemalt oleneb koormusest.

2.1.8 Võimsustarve ja toide

Tabelis 2 on välja toodud pidevalt elektrienergiat tarbivad komponendid, et arvutada kokku võimsuskulu aku mahutavuse leidmiseks. Elektrienergia kulu on mõõdetud laboris kasutamiseks mõeldud toiteploki ja USB-adapteriga[11].

Tabel 2. Komponentide voolukulu analüüs

Komponent	Tarbitav võimsus
Ruuter	1.1W
Kaamera	0.9W
Mootorid	2.5W
2xATtiny85	0.4W
Vabalt liikuvad mootorid	1.1W
Põrandal liikuvad mootorid (takistusega)	4-8W

Mõõtmistulemustest lähtuvalt on seisval sõidukil võimsustarve ~5W ja sõitmise hetkel ~8,9W...~12,9W. Kliendi nõuetest lähtuvalt peab sõiduk vastu pidama 4-5h, seega aku mahutavuseks peaks olema 44,5-64,5 Wh.

Akutehnoloogiana on plaan kasutada LiPo, LiFePo₄ akut või 18650 elementidest tehtud akupakki. Kui mootorite töötamise pinge on 6-12V, siis akupaki nominaalpinge võiks jääda vahemikku 9-12V. Täpsem tehnoloogiavalik tehakse teostamise peatükis.

2.2 Olemasolevate lahenduste uurimine

Antud peatükis uurib autor turul saadaolevate toodete vastavust kliendi nõuetele.

Lähtuvalt nõuetest peatükis 1.2 ja turgu uurides oleks ligilähedaselt valmislahendus analoograadiosidel juhitud tankid, mis kasutavad tulistamise emuleerimiseks infrapunavalgust. Antud tankidega korraldatakse ka võistlusi, kus sõidukid omavahel võistlevad.[12].

Autoril puudub varasem kokkupuude selliste kaugjuhitavate tankidega, seetõttu kasutati olemasolevate lahenduste ja teabe otsimiseks Google'i otsingumootorit. Otsinguks kasutati märksõnu RC battle tank RC tank ja RC infrared tank. Kuna tootjaid on palju ja toodete valik lai ja üsna sarnane, siis autor toob välja toodete üldisemad puudused ja vaatab turgu laiemalt. Tooteid ei võrrelda üksikshaaval.

Torro, Heng Long ja Tamiya mudeltankid

Tegemist on inimestega, kes on spetsialiseerunud mudeltankide ja lisakomponentide tootmis-
ele. Palju pööratakse tähelepanu mudelsõidukite välistele detailidele ja tehakse originaal-
mõõtmetes tankidest vähendatud kujul mudelsõidukeid. Tegemist on kallimate toodetega.
Detailsusele tähelepanu pööramine tõstab toote hinda kõrgemaks. Toote hind oleneb palju
sellest millistest materjalist on tehtud sõiduki konstruktsioon ja mootorid. Kvaliteetsemad
sõidukid, mis sisaldavad alumiiniumist komponente, on tunduvalt kallimad kui plastikust
sisaldavad tooted. Mõned näited toodetest Torro[13], Heng Long[14], Tamiya[15]. Oma-
vad lisafunktsionaalsusi nagu mootori ja tulistamise hääle emuleerimine ning suitsupilve
tekitamine.

Arvestades projekti eesmärki, on nende kolme tootja tooted sarnaste puudustega. Projekti
mõttes ei ole oluline sõiduki detailirohke väljanägemine ja eelmainitud lisafunktsionaalsu-
sed.

Põhilised puudused:

Kaamera puudub

Akude vastupidavus ajaliselt liiga lühike, umbes 15-40 minutit.

Tulistamise distantsi muutmine, kasutusjuhendi järgi on Torro mudelil kseeritud
15m [16]

eBay, AliExpress, Amazoni keskkonnas müüdavad tankid

Toodete valik on suur, tootjaid on palju. Üldiselt on tegemist odavama hinnaklassi Hiina
toodetega. Põhifunktsionaalsus sarnaneb eelmises lõigus mainitud toodetele ja puudused on
samad. Sama rüüga odavamatel mudelitel on suure tõenäosusega kattuvad raadiosageduse
kanalid, mille kaudu sõidukeid juhitakse, mis ei võimaldada eetris tekkinud kon-
fliktide tõttu kahel identsel mudelil lähistikus sõita. Kuna ühtegi toodet pole ka käepärast võtta ja peab
usaldama puudulikku infot, mis on veebilehel toote juures kirjas, siis suure tõenäosusega
ei saa muuta raadiosidekanalit odavamatel toodetel.

Põhilised puudused:

Kaamera puudub

Akude vastupidavus ajaliselt liiga lühike

Puudub tulistamise distantsi muutmine

Tuvastada, milline tank täpsemalt lasi

Suure tõenäosusega Identsetel mudelitel raadiosidekanalid kattuvad

DJI Robomaster S1

2019 suvel tuli DJI välja tootega Robomaster S1[17], mis oli mõned kuud peale projekti valmimist. Autor arvas, et seda tasuks diplomitöös ikkagi mainida, kuna on väga sobilik toode kliendi nõuetele.

Leitud lahendustest sobiks antud toode kliendi nõuetele kõigeparemini. Suurimateks miinusteks oleks aku vastupidavus ja et ei saa muuta tulistamise tugevust. Toote juhtimiseks on võimalik kasutada sinihammast või WiFi ühendust, tootel on olemas ka kaamera. Mudelsõidukid saavad üksteist tulistada infrapunasignaalidega.

Turul olevate toodete hinna määrab enamasti see kui palju komponente on tankil alumiumist (Al). Al-komponentidega ja detailirohke sõiduki hind on kallim.

2.3 Järeldused

Turgu uurides järeldub, et olemasolevatel lahendustel puuduvad järgnevad kliendi poolt määratud funktsionaalsused:

Kaamera

Tuvastada, milline tank täpsemalt lasi, et pidada arvestust

Tulistamise distantsi dünaamiline muutmine

Akude pealt töötamine 4-5h

Akusid saab turult saadavatel tankidel vahetada aga kuna nende keskmine vastupidavus on umbes 30-40 minutit siis 4-5h ürituse jooksul tuleb akusid ilmselt tihti vahetada.

Analüüsi tulemusena jõudis autor järeldusele, et lahenduseks on ise ehitada mudeltank kuna on võimeline looma sõiduki, kus on kõik nõuded täidetud.

Mudeltanki loomiseks kasutaks järgmist lahendust:

Toorikuna SN2700 kere

Infrapuna kodeerimiseks ja dekodeerimiseks ATtiny85 mikrokontrollereid

Mudeltanki keskseks kontrolleriks GL-MT300N-V2

Kaameraks AR0330 kiibistikuga kaamera, millel on riistvaraline kiirendus

Infrapuna vastuvõtmiseks kohandatud trükkplaat

3D-prinditud keredetailid

Roboti toiteks võtab kasutusele kas LiPo, LiFePo4 või 18650 akud. Mis täpsemalt kasutusele võetakse, selgub töö käigus. Oluline on akupaki mahutavus 44,5-64,5 Wh.

3. Tulemused

Järgnevas peatükis autor kirjeldab, kuidas teostas tanki ehitamist. Peatükis kirjeldatakse tähtsamate funktsionaalsuste loomist. Lõpptulemuseks peaks olema sõiduk, mis vastab kliendi nõuetele.

3.1 Infrapuna vastuvõtja

Infrapuna vastuvõtumehhanismi loomisel lähtus autor järgnevast lahendusest [8]. Autor tegi ringikujulise kahepoolse trükkplaadi, kus asub neli infrapuna vastuvõtumoodulit. Vastuvõtjad demoduleerivad infrapuna signaali Attiny85 jaoks. Attiny85 mikrokontroller asub eraldi trükkplaadil. Täpsemalt leiab infrapuna vastuvõtja trükkplaadi elektroonikaskeemi kohta teavet jooniselt 1. Joonisel 3 ja joonisel 2 on näha trükkplaadi paigutust alt- ja ülevaltvaates.

Joonis 1. Infrapuna vastuvõtu trükkplaadi elektroonikaskeem

Joonis 2. IR signaali vastuvõtja trükkplaadi joonis ülevalt

Joonis 3. IR signaali vastuvõtja trükkplaadi joonis alt

Attiny85 ülesandeks vastuvõtmisel on dekodeerida signaal, mis tuleb infrapunavastuvõtjalt ja kuna suhtlus keskse ajuga käib üle I²C siini, siis mikrokontroller tuleb programmeerida I²C alamrežiimi (ingl.k. slave mode). Olemasolevat koodimaterjali on internetis piisavalt, mistõttu kasutas autor internetis avalikult kättesaadavat skripti [18] antud lahenduse loomiseks. Olemasolev kood sisaldab täiendavaid võimalusi, mida vajamineva funktsionaalsuse saavutamiseks vaja ei ole. Autor muutis koodi vastava lahenduse jaoks sobivaks

ja lõplik kood on kättesaadav koodihoidlast [19] Infrapuna vastuvõtmisega tegelev mikrokontroller salvestab õnnestunud infrapunasignaali dekodeerimisel tulemuse muutujasse. Tegemist on siis unikaalse koodiga, mis on igal tankil erinev, selle järgi suudab eristada tanke omavahel. Üle²C siini käib ülemre iimis (ingl.k.master mode) töötav keskkontroller perioodiliselt kontrollimas mikrokontrolleri vastava muutuja väärtust. Õnnestunud muutuja lugemisel kontrollitakse keskses kontrolleris muutuja väärtust kui see peaks olema mõne vastase kood, siis järelikult keegi tulistas antud sõidukit. Samale mikrokontrollerile antakse üle I²C käsk sümboliseerida pihtasaamist valgusdiodide vilgutamisega. Mikrokontrolleri väljaviigu abil juhitakse väljatransistorit, mis lülitab nelja LED moodulit sisse, välja.

3.2 Infrapunaga tulistamine

Infrapunatulistamiseks kasutatakse teist Attiny85 mikrokontrollerit, kuhu ühele viigule on ühendatud infrapuna-LED mida kasutatakse infrapunasignaali edastamiseks, mille abil edastatakse igal robotil olevat unikaalset koodi, mis võimaldab roboteid üksteisest eristada. Ülemre iimis töötav ruuter saadab käsked mikrokontrollerile, millal ja millist koodi infrapunaga edastada. Selleks, et mikrokontroller töötaks ülemre iimis, kasutab autor TinyWire'i teeki [20]. Unikaalse koodi edastamiseks infrapunasignaali abil kasutatakse IRremote'i teeki [21], mis kodeerib koodi pulsilaiusmoduleeritud signaaliks (PWM-signaali) infrapuna-LED'ile. Autori lõplik kood on kättesaadav koodihoidlas [22]

Üheks tingimuseks on ka dünaamiliselt muudetav tulistamise kaugus. Selle lahendamiseks kasutab autor potentsiomeetrit, mis pannakse jadamisi Attiny85 ja infrapuna-LED'iga. Potentsiomeetriga reguleeritakse voolupinget, mis läbib LEDi. Mida väiksem pinge seda nõrgem on ka infrapuna-LEDi abil edastatav infrapunasignaali.

3.3 Toitelahendus robotile

3.3.1 Keskne trükkplaat voolu jagamiseks

Kasutusele on plaanis võtta 11.1V - 14.6V nominaalpingega aku, kuna mootorite töötamise voolupinge on 12V . Ruuterile, infrapunasignaali töötlevatele kontrolleritele ja valgusdiodidele on vaja väiksemat toitepinget. Infrapuna vastuvõtmise moodulitele 3.0-5V valgusdiodidel onoleb täpsemalt komponendi värvist aga üldjuhul 2,1-3,3V. Selleks kasutakse pingevaldise (step-down) moodulit mis teeb kõrgemast toitepingest 5V. Valgusdiodide puhul on kasutusel takistid, mis piiravad voolupinget. Kõikidele komponentidele on ka soovitatav panna toiteahelasse kondensaatorid toitepinge silumiseks ja müra ltreerimiseks. Kõikide nende komponentide kompaktselt paigutamiseks loob autor eraldi trükkplaadi. Trükkplaadi joonis 5 ja elektroonikaskeemi joonis 4.

Joonis 4. Keskse trükkplaadi elektroonikaskeem

3.3.2 Akupaki lahendus

Toite lahenduseks robotile plaanib autor toiteallikaks kasutada kas LifePo4, LiPo akut või 18650 elementidest koostatud akupakki.

Alguses oli plaan kasutada olemasolevaid LiPo akusid aga nende sõidukitega oli vaja minna välismaale, siis ei lubatud nendega lennukile ja oli vaja leida toite lahenduseks teine varjant.

Joonis 5. Keskse trükkplaadi joonis

Akupaki loomiseks tuleks teha trükkplaat akuelementide grupeerimiseks. Valik langes 18650 elementide kasuks, sest trükkplaati saab kasutada kinnitusvahendina akupaki kinnitamiseks roboti külge, mis teeks kogu ehitamise kompaktsemaks. Trükkplaat libiseks siinide peal robotisse, lõplik tulemus kinnitusest ja akupakist Joonis 12 Joonis 13.

Peatükis 2.1.8 saadud arvutustele peaks akupaki energiamahutavus olema vahemikus 44,5-64,5 Wh. 18650 elemendid on tavaliselt 2000-3500 mA mahutavusega.

Akuelementide valik tehti leheküljakkuteile.dëpõhjal, projekti ajalise piirangu tõttu on akuelementidega kiire kuna tekkisid lennukiga reisimise probleemid isetehtud LiPo akudega ja Saksamaalt tellides jõuavad Eestisse kiiresti.

Põhilised kriteeriumid akuelementide valikul:

Mahutavus - akupaki minimaalne energiamahutavus peaks olema 44,5-64,5 Wh arvestades, et see on ikkagi teoreetiline väärtus ja mudeltankil mikromootorid võtavad palju energiat tarbimisel. Kasulikum koostada võimalikult suure energiamahutavusega akupakk. Minimaalseks ühe elemendi mahuks võiks olla 3000mAh.

Väljastatav voolutugevus - ei ole oluline väärtus. Projekti juures jääb voolutugevus vahemikku 0.5-0.8 A. Mida toetavad enamus akuelemente. Suurem voolutugevus võimaldaks kasutada ka teistes projektides.

Hind - Mida odavama hinnaga saab seda parem aga tuleb ka arvestada ka mahutavusega.

Valituks ostusus Samsung 30q elemendid. Koostatakse akupakk, kus on kolm elementi ja-
das, et saavutada 11,1V voolupinge ja kaks paralleelselt, et saada $11,1V \cdot 6000mAh = 66,6Wh$
energiamahutavus. Lõplik akupaki elektroonikaskeemi joonis 6 ja akupaki trükkplaadi
joonis 7.

Joonis 6. Akupaki trükkplaadi elektroonikaskeem

Joonis 7. Akupaki trükkplaadi joonis

3.4 Tarkvara robotile

Keskkontrolleri operatsioonisüsteemiks oleks OpenWrt, millega on autoril ka eelnevat kogemust.

Mikrokontrolleritele tuli tarkvara kirjutada C programmeerimiskeeles. Kesksel kontrolleri, mis suhtleb mikrokontrolleritega otsustati tarkvara kirjutada Pythonis. Autoril on Pythoniga varasemaid kogemusi. Mikrokontrolleritega suhtlus käib ²Üsini, millel on kasutusel kaks juhet ja siinil töötavad seadmed on kas ülem- või alamre iimil. Antud juhul keskkontroller on ülemre iimis, kaks Attiny85 ja mootorite kontroller on alamre iimis. Riistvara arhitektuuri ülevaade joonisel 8.

I²C seadmetega suhtlemisel kasutatakse Pythonis smbus ²Üsini alamre iimis töötavale seadmega suhtlemiseks edastatakse ²Üsini seadme aadress millega soovitakse suhelda ja kas seadmelt soovitakse lugeda midagi või kirjutada.

Joonis 8. Riistvara arhitektuuri joonis

Tanki juhitakse üle veebilehitseja kasutades WebSocketit. Robot oleks WebSocketi server ja lõppkasutaja arvuti oleks WebSocketi klient. Füüsiliseks kanaliks andmeedastusel on kasutusel 2,4GHz WIFI. Suuremal testimisel aga osutus antud lahendus probleemiks ja sellest kirjutab autor probleemide peatükis lähemalt.

3.5 Videovoo edastamine mudeltankilt ja kasutajaliides

Alguses oli plaan veebikaamera pildi saamiseks robotist lõppkasutaja ekraanile kasutada MJPG-streamer tarkvara, mis on eraldi pakulina OpenWrt'le olemas. MJPG-streamer kasutab transpordina HTTP'd, mis omakorda kasutab TCP'd.

Antud tarkvara edastab kaamera pilti JPG-piltidena, mida on võimalik veebilehitsejas näidata. Veebilehitsejas on hea HTMLi abil videovoole peale joonistada kasutajaliides. MJPG-streamer lahendus on samuti problemaatiline TCP pakettide taasedastamise ja tervikluse kontrolli tõttu ja sellest kirjutab samuti probleemide peatükis pikemalt.

4. Probleemid

Antud peatükis toob autor välja suuremad probleemid ja nende lahendused. Osad probleemid tulid välja ehitamise käigus aga oli ka neid probleeme, mis ilmsid siis, kui kõik oli juba valmis.

4.1 Latentsuse probleemid

Pikemal testimisel selgus, et üle WiFi juhtimisel tekivad paketihood, see väljendus viitega roboti liikumises ja kaamera pildis. Üksiku tankiga seda probleeme tihti polnud, pigem siis kui oli juba üle kolme tanki võrgus.

Latentsuse probleemi üheks lahenduseks oleks transpordiprotokolliks kasutusele võtta TCP asemel UDP. TCP korral kontrollitakse, et kas pakett jõudis kohale. Ebaõnnestunud saatmise korral saadetakse pakett uuesti. Robotiga sõites väljendub see selles, et paketihood korral robot ei reageeri aga siis tulevad käsud viitega järgi ja tundub nagu robot sõidab suvaliselt.

4.2 Roboti juhtimine üle UDP

Mängukontrolleri sisendite lugemiseks kasutab autor Pythoni evdev teeki, mis võimaldab kergesti lugeda Xbox360 mängukontrolleri poolt edastatud sündmusi. Sündmused edastatakse üle UDP sõidukini.

Veebikaamera pildi edastamisel kasutab autor GStreamer tarkvara[23], mis saadab H.264 videovoo üle RTP voogedastusprotokolli kasutades UDP-d. Kliendi poolel varasemalt kasutati veebikaamera vastuvõtmisel veebilehitsejat. Veebilehitsejad ei toeta RTP protokollit, siis on tarvis kasutada kohandatud lahendust. Kaaludes erinevaid võimalusi metainfot lisada Gstreameri abil vastu võetud videovoo peale jäi sõelale OpenCV kasutamine koos Gstreameri sisendi pistikprogrammiga. Kliendipoolne rakendus programmeeriti Pythonis OpenCV teegiga, mis võimaldab luua arvutigraaikat. Lähemal testimisel selgus, et Gstreameri OpenCV pistikprogramm eksisteerib ainult Fedora operatsioonisüsteemis, mis piirab kasutajapoolseks operatsioonisüsteemiks Fedora. Ubuntu puhul oleks OpenCV pildid kompileerima koos Gstreamer toega, mida ajapuuduse tõttu ei otsustatud teha ja

kasutusele võeti Fedora.

Kirjandust lugedes[24] kasutatakse WiFi's kaadrite põrgete vältimiseks CSMA/CA liikluse ja põrke tuvastusega multipöörduvõrgu meetodit. Kui mitu seadet üritavad eetris samal ajal ruuteriga suhelda siis tekib kon ikt ja selle lahendamiseks saadab ruuter kliendile tagasi aja, millal võib WiFi kaadri taasedastada. Põrke probleemi korral tekib WiFi kaadrite taasedastamine.

Oluline on jälgida WiFi töötamise sagedust, et samal kanalil poleks teisi ligipääsupunkte (hotspot) ja kanal oleks müravaba. Paljude testide tulemusena leiti lahendus võtta kasutusele mitu WiFi tugijaama, mis töötavad erinevatel kanalitel. Ühed robotid on ühe tugijaamaga ühenduses ja teised teisega. Mida rohkem kliente oli ühendatud seda kiiremini probleemid tekkisid, ühe kahe tankiga saab hakkama aga neljaga tekkisid probleemid tihedamini.

UDP protokoll ja mitme tugijaama kasutuselevõtmine leevendas tunduvalt latentsuseprobleeme ja WiFi võrgus tekkinud kollisioone.

Kliendipoolne lõplik kood asub repositooriumis [25] Tankil olev lõplik kood repositooriumis [26]

4.3 Häired

Hilisemal testimisel avastas autor, et robotil infrapuna vastuvõtmine ei ole nii töökindel. Probleemiks osutus infrapunavastuvõtja anduri aktiveerinud müra, mida omakorda püüti moduleerida mikrokontrollerile. Õige signaali edastades kadus see müra sisse ära ja seda ei suudetudki dekodeerida kuna mikrokontroller oli koormatud müra töötlemisega.

Ostilloskoobiga infrapuna vastuvõtumooduli andmeviigul mõõtes avastas autor müra. Müra algallikateks võivad olla toitekaablid, teised elektroonikakomponendid tanki sees.

Müra leevendamiseks võttis autor kasutusele toiteliinidel ferriitsüdamikud, ehitas vaskteibist varjestuse ja kasutas toiteliinil keraamilisi - ja elektrolüüt-kondensaatoreid toite silumiseks.

Peale kondensaatoreite, vaskteibi ja ferriitsüdamike paigaldamist oli infrapuna vastuvõtmine andmeviiguni jõudev müra maht tunduvalt väiksem. Natuke müra oli aga see ei seganud enam mikrokontrolleril õiget infrapunasiignaali dekodeerimist.

5. Edasine töö

Käesolevas peatükis kirjeldab autor, mida võiks antud lahenduse juures muuta ja milliseid funktsionaalsusi juurde teha.

5.1 Häired WiFi andmeedastuses

WiFi häired vajavad sügavamat uurimist, mis täpsemalt probleeme tekitab ja võimalikud lahendused neile. Mõned ideed: WiFi standardi/modulatsioonide lukustamine, eraldi kanalite kasutamine, RTS/CTS parameetrite seadistamine.

5.2 Akupaki haldamise süsteem

Kasutusel olev 18650 akupakk ei sisalda endas akude haldamise süsteemi (BMS - Battery Management System moodul). Praegu on aku pinge jälgimiseks alarmmoodul, mis hakkab piiksuma kui akupakk hakkab tühjaks saama. Piiksumise korral tuleb akupakk robotist käsitsi eemaldada, et ei toimuks akuelementide alatühjenemist, mis võib lõppeda tulekahjuga.

Praegu tuleb akupakk robotist eemaldada ja panna eraldi tasakaalustava laadija külge. Laadija hoolitseb selle eest, et akupaki pinge ei läheks liiga kõrgeks ja tasakaalustab akupakis olevad elemendid ühisele toitepingele. Sellised targad laadijad on kohmakad ja kallid kuna võimaldavad laadida erinevate tehnoloogiatega akusid.

Lahenduseks oleks tulevikus lisada akupakile BMS-moodul mis kaitseb akuelemente akupakis alatühjenemise, lühise ja ülelaadimise eest. BMS-funktsionaalsuseks on ka akuelementide tasakaalustatud laadimine. Sel juhul tanki laadimiseks oleks vajalik kõigest 1A, 12,6V parameetritega toiteadapter.

5.3 Tarkvaratäiustused

Tulevikus sõiduki kasutamiseks küberõppuste läbiviimiseks on kavas robotit interaktiivsemaks muuta.

Näiteks krüpteerida tunneliga andmesideliiklus robotiga. Eesmärk oleks siis tunneli liiklus lahti murda ja saada kontroll vastase roboti üle. Selleks, et tunneli liiklust oleks võimalik dekrüpteerida, tuleb tekitada soodne olukord, näiteks:

Kasutada krüpteerimiseks

- aegunud šifreid, millel on teada-tuntud turvanõrkused
- lühikesi võtmeid, mis on kergesti murtavad.
- parooli, mille saab teisest ülesandest aga tuleb aru saada kus seda saab kasutada.

Tanki juhtimisele lisada juurde isikutuvastuse mehhanism, mis tuleb lahti murda.

6. Kokkuvõte

Käesolevas diplomitöös otsis autor lahendust probleemile: leida lähtetingimustele vastav kaugjuhitav mudelsõiduk. Kuna turul saadaolevad lahendused ei vastanud lähtetingimustele (kliendi nõuetele) siis ehitas autor kohandatud lahendusena kaugjuhitava mudeltanki. Selleks analüüsis kliendi nõudeid ja leiti praktilised lahendused nende realiseerimiseks.

Lõpuks saadi kokku 5 töötavat kaugjuhitavat mudeltanki. Autori jaoks oli selline suurem robotika projekt esmakordne. Autor puutus kokku trükkplaatide tegemisega, sh jootmisega ja testimisega; tarkvara kirjutamisega ja kliendi üritusel robotite ülesseadmisega ja toe pakkumisega. Klient jäi lõpuks loodud lahendusega rahuldavalt rahule. Suuremaks probleemiks jäi WiFi andmeedastuses tekkivad tõrked mis häirivad robotiga suhtlemist. Lisades on lõpptulemustest ka pilte.

Kokku on osaletud kolmel suuremal üritusel tooted ei ole sellisel tasemel, et võetakse kapist ja pannakse tööle vaid on vaja rohkem hooldamist ja spetsialisti juuresolekut.

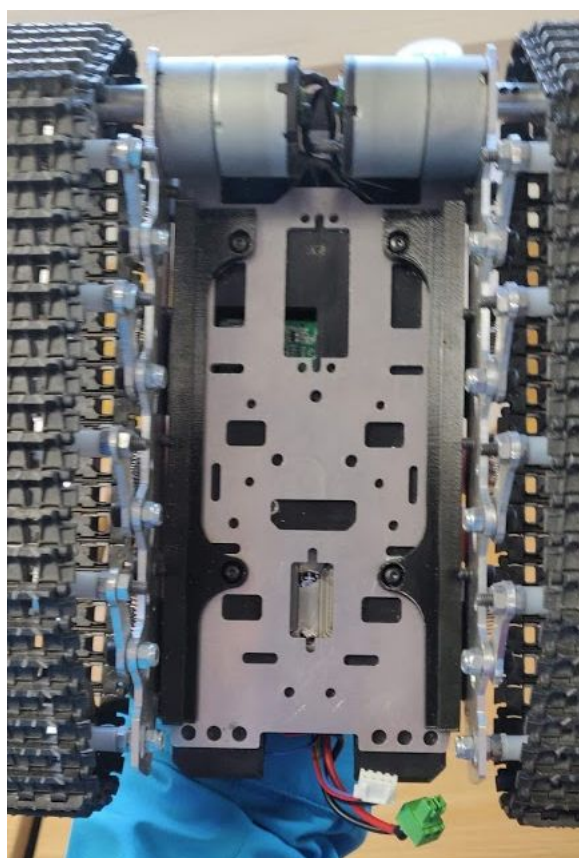
Kirjandus

- [1] *Raspberry Pi 3 Model B+*. URL: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/> (vaadatud 30.04.2020).
- [2] *GL-MT300N-V2*. URL: <https://www.glinet.com/products/gl-mt300n-v2/> (vaadatud 30.04.2020).
- [3] *GL-AR150*. URL: <https://www.glinet.com/products/gl-ar150/> (vaadatud 30.04.2020).
- [4] *SN2700 metal tank chassis install guide*. URL: <https://www.singon.cc/singon-post/sn2700> (vaadatud 30.04.2020).
- [5] *Grove - I2C Motor Driver with L298*. URL: <https://www.seedstudio.com/Grove-I2C-Motor-Driver-with-L298.html> (vaadatud 30.04.2020).
- [6] *Tamiya IR battle system*. URL: <https://www.tamiyausa.com/shop/116-tank/rc-116-tank-led-battle-system/> (vaadatud 30.04.2020).
- [7] *Heng Long IR battle system*. URL: <http://www.rc-panzer-shop.de/infrared-receiver-infrared-battle-system> (vaadatud 30.04.2020).
- [8] *Assembly instructions for David's Battle Unit*. URL: http://darkith.dyndns.org/~darkith/html/dbu_inst.shtml (vaadatud 30.04.2020).
- [9] *ELP 1080p Full HD CMOS AR0330 H.264 camera module*. URL: <https://www.aliexpress.com/item/32517658214.html> (vaadatud 30.04.2020).
- [10] *Atmel 8-bit AVR Microcontroller*. URL: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2586-AVR-8-bit-Microcontroller-ATtiny25-ATtiny45-ATtiny85_Datasheet.pdf (vaadatud 30.04.2020).
- [11] *USB power meter*. URL: <https://www.amazon.com/Centech-USB-Power-Meter/dp/B00DAR4ITE> (vaadatud 30.04.2020).
- [12] *Näite-lahing mudeltankidega*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=8fVfd1XGIX8> (vaadatud 12.05.2020).
- [13] *RC tank torro t-34*. URL: http://www.rc-panzer-shop.de/epages/78261295.sf/en_GB/?objectPath=/Shops/78261295/Products/%22rcps%20-%20WSNt34-85green%22 (vaadatud 30.04.2020).

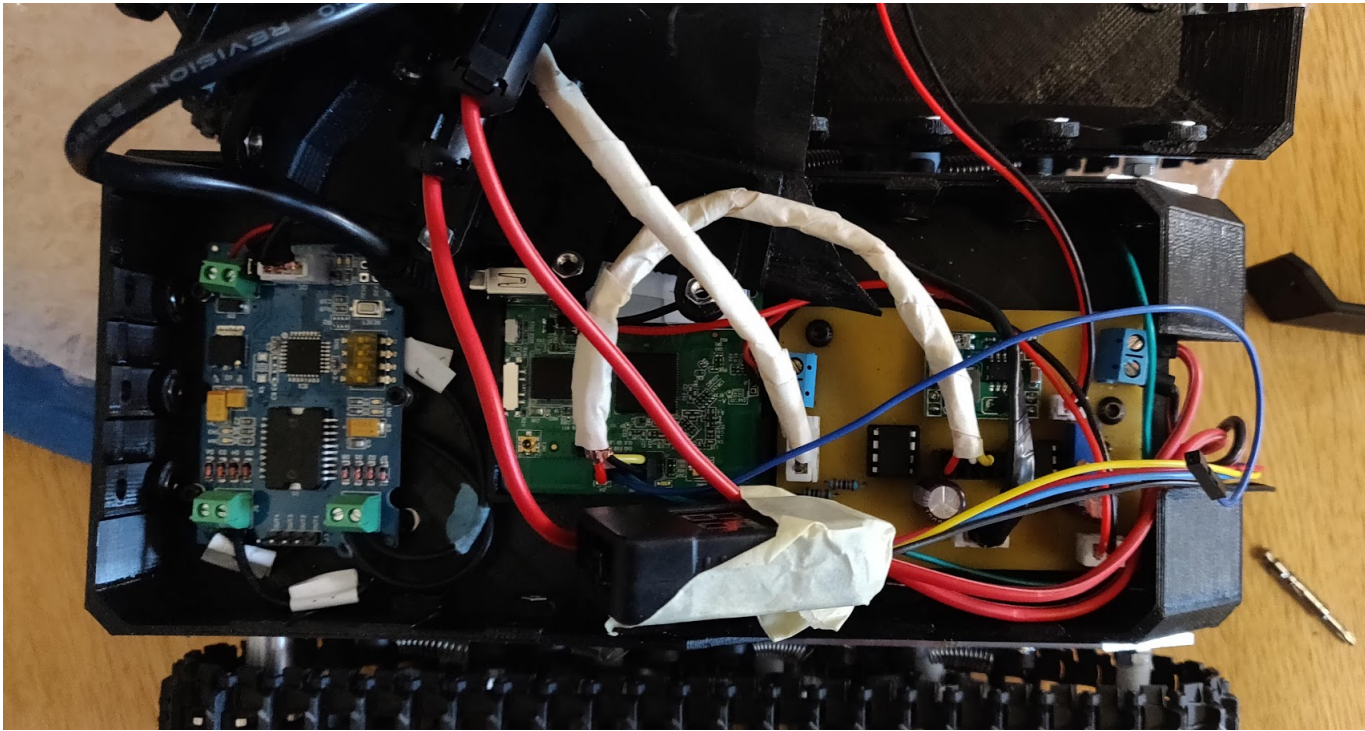
- [14] *RC Tanks Heng Long*. URL: <https://heng-long-panzer.de/de/info/panzer.html> (vaadatud 30.04.2020).
- [15] *Tamiya 1/16 R/C Tank Series*. URL: <https://www.tamiya.com/english/rc/rcitem/kit/kit56001.htm> (vaadatud 30.04.2020).
- [16] *Torro mudelsõiduki kasutusjuhend*. URL: <https://onedrive.live.com/?authkey=%21ABacYVYIefN119E&cid=A62182751EBD6A48&id=A62182751EBD6A48%215348&parlid=A62182751EBD6A48%21213&o=OneUp> (vaadatud 30.04.2020).
- [17] *DJI Robomaster S1*. URL: <https://www.dji.com/ee/robomaster-s1> (vaadatud 30.04.2020).
- [18] *IR I2C ATtiny85 koodinäide*. URL: <https://github.com/fotisl/ir2c/blob/master/src/ir2c.cpp> (vaadatud 30.04.2020).
- [19] *Attiny85 mikrokontrolleril asuv kood infrapunsignaali dekodeerimiseks*. URL: https://git.k-space.ee/marva/rc-ir-tank/src/master/attiny85/ir_receiver.c (vaadatud 30.04.2020).
- [20] *Arduino TinyWire Slave Library*. URL: <https://github.com/rambo/TinyWire/tree/rollback> (vaadatud 30.04.2020).
- [21] *IRremote tarkvara teek*. URL: <https://gist.github.com/SeeJayDee/caa9b5cc29246df44e45b8e7d1b1cdc5> (vaadatud 30.04.2020).
- [22] *Attiny85 mikrokontrolleril asuv kood infrapunsignaali edastamiseks*. URL: https://git.k-space.ee/marva/rc-ir-tank/src/master/attiny85/ir_sender.c (vaadatud 30.04.2020).
- [23] *GStreamer*. URL: <https://gstreamer.freedesktop.org/> (vaadatud 30.04.2020).
- [24] David A. Westcott David D. Coleman. *Certified Wireless Network Administrator Study Guide Fifth Edition*. 2018.
- [25] *Kliendi kood, tanki juhtimiseks, üle UDP*. URL: <https://git.k-space.ee/marva/rc-ir-tank/src/master/client.py> (vaadatud 30.04.2020).
- [26] *Tankil olev kood*. URL: <https://git.k-space.ee/marva/rc-ir-tank/src/master/robot.py> (vaadatud 30.04.2020).

Lisad

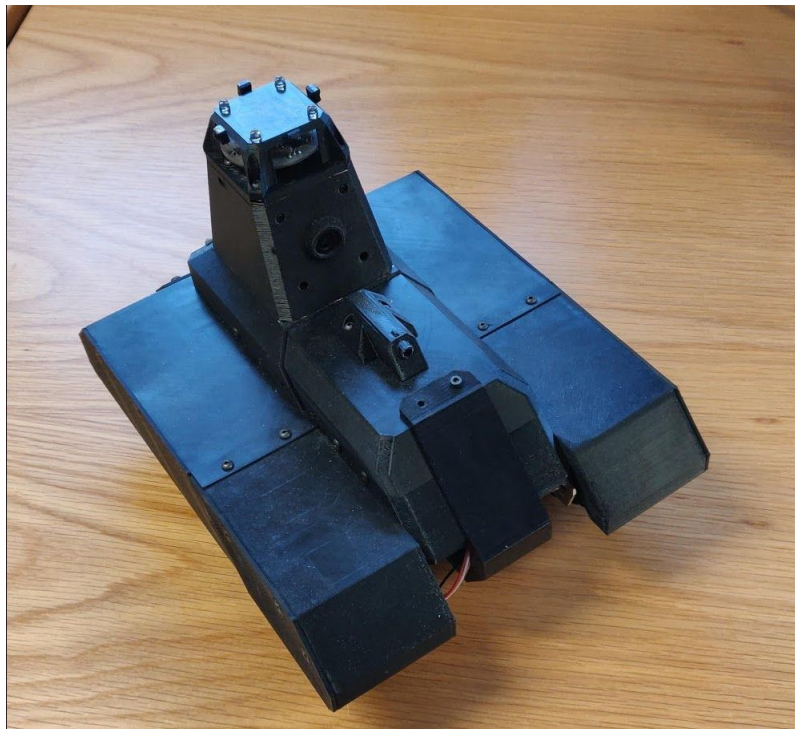
Lisa 1 - Lõpptulemus piltidena



Joonis 9. Akupaki kinnitusjoonis



Joonis 10. Tanki vaade seest vasakul mootorite kontrolleri, keskel juhtkontroller, keskne trükkplaat



Joonis 11. Tanki vaade

