

TARTU ÜLIKOOL
Arvutiteaduse instituut
Informaatika õppekava

Karl Mumme
Seiresüsteem taktikaliste objektide
lisaturvamiseks
Bakalaureusetöö (9 EAP)

Juhendaja: Erkki Laaneoks

Tartu 2024

Seiresüsteem taktikaliste objektide lisaturvamiseks

Lühikokkuvõte: Seoses Venemaa agressiooniga Ukrainasse, on toimunud suured arengud tänapäevases sõjanduses ning kasutusele on võetud rohkelt uudseid tehnoloogiaid ja taktikaid. Sellega seoses tuleb ka Eestis käia kaasas arenguga ning luua võimalusi end võimalikult efektiivselt kaitsta võimaliku agressiooni korral. Selle bakalaaurusetöö eesmärk on luua elektroonika abil välisperimeetri kaitseks lisa-turvet lisav lahendus, et julgestada üksuseid puhkeolekutes või pakkuda seiret taktikalistele objektidele. Valminud seiresüsteem koosneb mitmest liikumisandurist, saatjast ja vastuvõtjaga ekraanist. Kui liikumisandur tuvastab liikumise, edastatakse info selle kohta vastuvõtjale, kes vastavalt standardprotseduurile käitub saadud info põhjal. Valmis tehtud seiresüsteem koosneb ühest vastuvõtjast ning kolmest liikumisanduriga saatjast. Nii riist- kui tarkvara võimaldavad komponentide arvu veel suurendada, et suurendada süsteemi poolt kaetavat ala. Seadmeid katsetati erinevates ilmastikuoludes ning leiti, et sademete funktsioneeris seade oodatult - vihmase ilmaga olid tulemused tagasihoidlikumad, kui liiguti andurist kaugemalt mööda.

Võtmesõnad: Informaatika, mikrokontroller, liikumisandur, seire

CERCS: T170 Elektroonika, T125 Automatiseerimine, robotika, control engineering, T330 Sõjandus ja militaartehnoloogia

Surveillance system for additional security of tactical objects

Abstract: In light of Russia's aggression in Ukraine, significant developments have occurred in modern warfare, with the adoption of numerous novel technologies and tactics. Consequently, it is imperative for Estonia to keep pace with these developments and create opportunities to defend itself effectively in the event of potential aggression. The aim of this bachelor's thesis is to develop an additional security solution for perimeter protection using electronics to safeguard units during rest periods and to provide surveillance for tactical objects. The developed surveillance system consists of multiple motion sensors, transmitters, and a collector to display the info on a screen. When a motion sensor detects movement, the information is transmitted to the receiver, which then acts according to standard procedures based on the received data. The completed surveillance system comprises of one receiver and three transmitters with motion sensors. Both the hardware and software allow for an increase in the number of components to expand the coverage area of the surveillance network. The

devices were tested in various weather conditions, revealing that the range of surveillance may decrease during precipitation.

Keywords: Informatics, microcontroller, motion sensor, surveillance

CERCS: T170 Electronics, T125 Automation, robotics, control engineering, T330 Military science and technology

Sisukord

Sissejuhatus.....	6
1 Probleem	7
1.1 Probleem	7
1.2 Analüüs	9
1.3 Võimalikud lahendused	10
2 Seadme arhitektuur ja kasutatud tehnoloogia	13
2.1 Eesmärk.....	13
2.2 Implementeeritud lahendus.....	13
2.3 Seirevõrgu ülesehitus.....	14
2.4 Vastuvõtja ülesehitus	14
2.4.1 Arduino Uno R3.....	16
2.4.2 Transiiver NRF24L01 + PA/LNA	18
2.4.3 LCD-ekraan.....	18
2.5 Jälgimisseadme ülesehitus	19
2.5.1 Arduino Nano.....	21
2.5.2 HC-SR501 PIR Sensor.....	21
2.6 Seadmete maksumus	22
3 Testimine.....	24
3.1 Testimise tingimused ja ülesehitus	24
3.2 Testimine kuival päikeselisel päeval	26
3.3 Testimine märgades tingimustes.....	28
3.4 Testimise kokkuvõte	30
Kokkuvõte.....	32
Kasutatud kirjandus	33

Lisad.....	35
Litsents.....	35

Sissejuhatus

Seoses Venemaa agressiooniga Ukrainasse, on toimunud suured arengud tänapäevases sõjanduses ning kasutusele on võetud rohkelt uudseid tehnoloogiaid ja taktikaid. Sellega seoses tuleb ka Eestis käia kaasas arenguga ning luua võimalusi end võimalikult efektiivselt kaitsta võimaliku agressiooni korral. Peamine roll Eesti kaitsel on Kaitseväel, kus tegutseb valdav enamus tegevväelasi ning mille arengusse on riigi poolt pandud põhirõhk. Kaitseväe kõrval tegutseb riigikaitseorganisatsioon Kaitseliit, mis koosneb peamiselt vabatahtlikest ning millel on võrreldes Kaitseväega piiratumad rahalised võimalused. Selleks, et arendada Kaitseliidus varustust ja tehnikat, on suur rõhk vabatahtlike initsiatiivil.

Eesti kaitsmisel on lisaks muudele olulistele asjadele tähtsal kohal iga võitleja ning võitleja kaitsetahe ja motiveeritus. Sama oluline on omada võimalikult täpset olukorrateadlikkust omade üksuste julgestuseks kui ka vastase liikumistest arusaama loomiseks. Hetkel pole KL Tartu malevas süsteemi, mis pakuks välitingimustes välisperimeetri seirel automaatial põhinevat abistamist.

Töö eesmärk on luua mikrokontrolleritel põhinev andurite võrk, mis teostab statsionaarsete objektide vaatlust vastase lähenemise kohta. Selleks kasutatakse liikumisandurit, mis edastavad vastava info edasi operaatorile, kes käitub vastavalt ettenähtud protseduuridele. Iga üksik andur peab olema võimalikult kompaktne, raskesti märgatav ning energiasäästlik. Lisaks peab see olema võimalikult odav – mida soodsam on toota või hankida, seda rohkem on võimalik kasutada loodud andurite süsteemi.

Selline andurite süsteem on oluline, sest Kaitseliidu tasandil puudub ligipääs rahanappuse tõttu suurele hulgale droonidele. Lisaks on droonid kergesti märgatavad, kuna on liikuvad objektid ja tekitavad heli, lisaks sellele, et on energiakulukad. Antud süsteemi eesmärk on pidevalt valvata taktikalise tähtsusega objekte. Taktikalisteks objektideks võivad olla näiteks hooned, sillad, ristmikud ja teised.

1 Probleem

Kui rühm on laagris rindelähedases kohas, on vaja kindlasti laagri välisperimeeter julgestada. See nõuab võitlejate rakendamist, kes ei saa sel ajal magada või muid vajalikke asju teha. Väsinud võitleja omakorda võib jääda välisperimeetrit valvates magama või olla halvenenud tähelepanuvõimega. Samas on hea, kui julgestamiseks saaks rakendada maksimaalselt tehnilisi abivahendeid, et seiret täiendada ja võimalusel anda võitlejatele rohkem puhkust või võimalust tegeleda muude tegevustega.

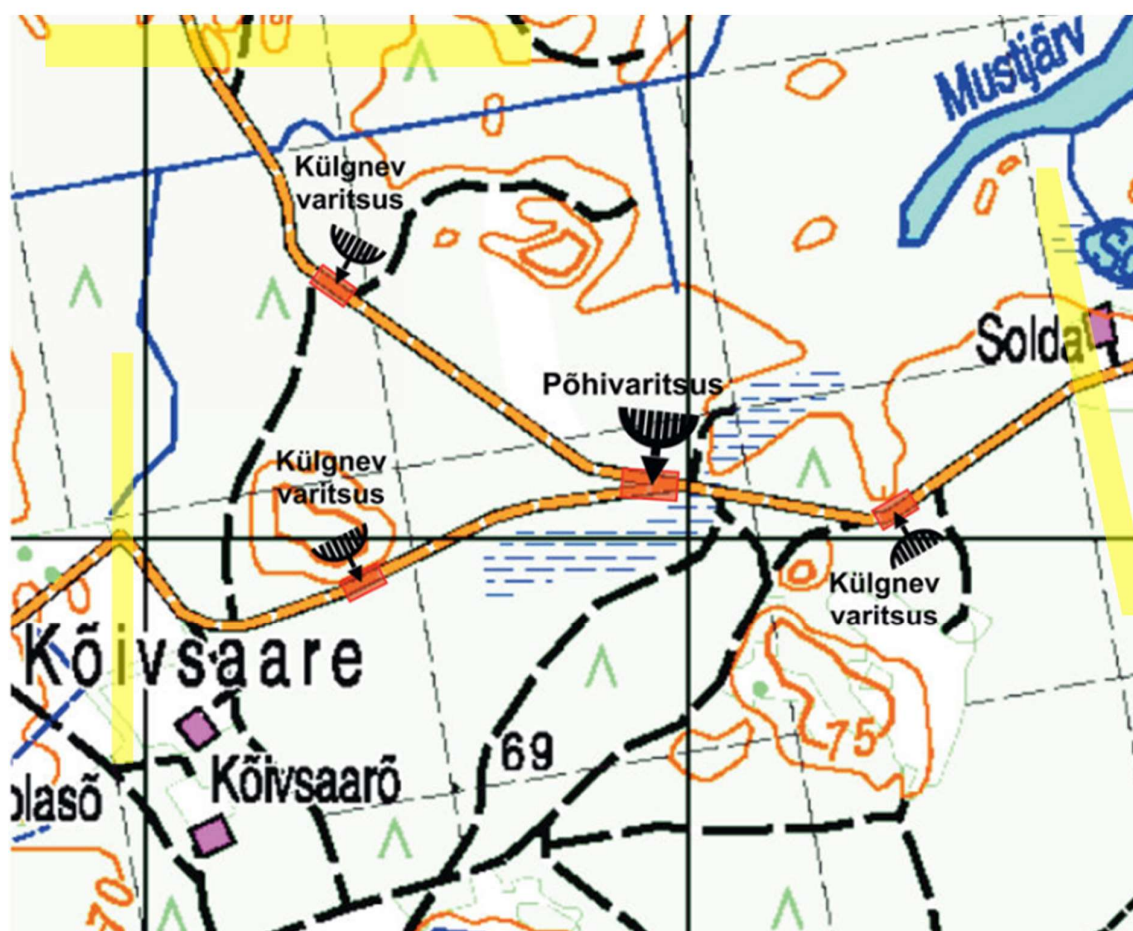
Sellest tuleneb ka seiret pakkuva süsteemi vajalikkus ning probleem erinevates päriselulistest situatsioonides. Antud probleemi lahendamiseks on välja toodud alternatiivseid lahendusi ning allpool on välja toodud nende positiivsed ja negatiivsed aspektid.

1.1 Probleem

Eesti mobilisatsiooniregistris on hetkel kantud 230 000 inimest (Eesti Kaitsevägi, 2024). Tegemist on arvestatava numbriga, kuid võrreldes Venemaa armeega, on sellest vähe. Sealt tuleneb probleem, et võitlejaid on vähe, kõigil on omad ülesanded erinevate üksuste juures ning arv, mis päriselt rindele jõuab, on teadmata. Autori enda Kaitseliidu üksuses on tegemist vabatahtlikega, kes käivad õppustel vabast ajast, saamata selle eest mingit tasu. Õppustel on pidevalt probleem, et inimeste hulka, kes päriselt kohale tulevad, ei tea kunagi ette ning tihti on kohaletulnuid liiga vähe. Seda võib võrrelda ka päris sõja olukorraga, sest nagu eelpool sai mainitud, on tegelik inimeste hulk vaid spekulatsioon.

Olenemata üksusest ja ülesandest, on aeg-ajalt vaja üksusel ööbimiseks või puhkamiseks laagrisse jääda. Enda julgestuseks tuleb alati kaitsta paiknemisala perimeetrit kas liikuvate patrullide, statsionaarsete vaatluspostide või mõlema kombinatsiooniga. Kaitseväes ja Kaitseliidus peab puhkepausidel olema alati välja pandud vastavalt ohutaselele vastav julgestus. Võitlejate säästmise huvides on oluline muuta üksuse välisperimeetri julgestus võimalikult efektiivseks, et võimalikult suur osa üksusest saaks puhata või tegeleda muude vajalike tegevustega, näiteks varustuse hooldamisega, söömisega planeerimisega, relvastuse hooldusega.

Olenevalt ülesandest võib juhtuda, et oleks vaja saada eelhoiatust potentsiaalse vastase luureüksuse liikumise kohta. Näiteks kui sooritatakse varitsust ning varitsuses ootavale üksusele on vaja anda eelhoiatust, võimaliku ohu kohta. Varitsuse olukorda on demonstreeritud joonisel 1. Teisalt võib vaja olla varjatult saada infot vaenlase üksuse liikumisest strateegiliselt olulise, kuid hallis ehk ohtlikus alal asuva objekti juures, näiteks sild, massiivsem hoone, suurem ristmik, kus on teada, et sõbralikke üksuseid ei liigu. Näiteks on vaja kaudtule üksusele anda märku, kui vastase üksused on ületanud silla ning üksus saaks valmistuda lahingkontaktiks.



Joonis 1. Joonisel on kujutatud piirkonnavaritsust, kus on näha erinevate varitsuste piirkonnad ning kollasega märgitud jooned on kohad, kuhu saaks paigutada seiret tegeva süsteemi. Selliselt paigutades annavad andurid üksustele eelhoiatuse, kust vastase üksused on lähenemas, et tekitada valmisolek saabuvaks ohuks. Lisaks saab kaudtule üksus keerata relvad toetamaks õiget varitsuse paika (Toomse, 2011).

1.2 Analüüs

Antud töö raames koostatakse seiresüsteem, mis lahendab eelpool nimetatud probleemi. Kõigepealt analüüsitakse, milline peaks süsteem olema ning millest see koosnema peab. Järgnevalt on toodud peamised nõuded, mida järgida.

Süsteemile esitatavad nõuded:

1. Turvalisus.
 - a. Vastase elektroonilise sõja võimekus on arvestataval tasemel, mistõttu ei tohi tekkida olukorda, kus läbi infoedastuse antakse ära üksuste asukoht. Seetõttu on vaja hoida maksimaalset eetriivaikust ning kiirgama panna seadmed ainult teatud hetkedel. Teine alternatiiv oleks kasutada traatühendust.
 - b. Tegu on pisikeste moodulitega ning kui tekib risk, et vastane on need avastanud, võib saatjad maha jätta, sest seiresüsteem töötab samamoodi edasi, aga andureid on vähem ning seeläbi ka seireala.
 - c. Andurid koosnevad sisaldavad endas vaid töötamiseks vajalikke seadmeid, mistõttu puudub omadele üksustele otsene oht seadmete avastamisel, konfiskeerimisel või hävitamisel.
2. Skaleeritavus: võrku saab suurendada, lisades sinna rohkem saatjaid.
3. Modulaarsus: kõik seadmed süsteemis on kergelt välja vahetatavad. Vajalik tarkvara võib asetseda juhtimispunkti arvutis, kus saaks kõik seadmed vajadusel ümber programmeerida.
4. Võimekus edastada andmeid kaugelt: Vajadusel saaks panna kõik saatjad kuulama teiste saatjate signaali ning seda edasi suunama. Seeläbi saaks tõsta andmeedastuskaugust. Antud töös seda tehtud pole, sest töö autori üksusel puudub vajadus nii kaugelt distantse jälgida, aga seda võiks arvesse võtta lahenduse välja töötamisel.
5. Seadmed peavad olema võimalikult odavad, et võimaldada nende tootmist vabatahtlike ressurssidest ning vähendada kahju andurite kadumise või hävimise korral.

Liikumisanduriga jälgimisseade peab olema võimeline tuvastama liikumist. Lisaks peab olema seadmel võimekus edastada signaal vastuvõtjale pärast liikumise tuvastamist. Andmeedastuseks sobib transiiver, mis võimaldab olla nii kuulaja kui ka saatja rollis. Viimaks on vaja seadet, mis saades liikumisandurilt häire, annab käsu transiiverile signaali edastamiseks.

Vastuvõtja peab võtma vastu saatjalt tulnud signaali, milleks sobib kasutada saatja ja vastuvõtja puhul omavahel ühilduvat transiiverit. Teiseks peab olema võimalik eristada, milliselt saatjalt signaal tuli – selleks on sobilik kasutada ekraani, mis kuvab vastava saatja eristamiseks kasutatud andmeid. Saatjaid eristatakse omavahel igale seadmele antud spetsiifilise koodi abil, mida saadetakse edasi vastuvõtjale.

Kuna operaator, kelle ülesanne on hoida silma peal anduritel, peab saama märguande, mille peale vaadata ekraani, on vaja kasutada mingit seadet heli tekitamiseks, näiteks piosummerit. Viimaks on vaja sarnaselt saatjale kasutada seadet, mis saades signaali, kontrollib selle õigsust ning kuvab vajaliku info ekraanile.

1.3 Võimalikud lahendused

Kaks peamist alternatiivset lahendust antud probleemile oleks kasutada rajakaameraid või droone. Allpool on välja toodud kõigi kolme võimaliku lahenduse plussid ja miinused.

Droonide plussid:

1. Kaamerapilt, mis pakub otseülekannet sellest, mis päriselt maastikul toimub. Seeläbi on võimalik vältida valepositiivseid tulemusi, kus näiteks metsloom jooksis liikumisanduri eest läbi.
2. Ühe seadmega on võimalik katta suurt maa-ala ning seeläbi julgestada olenevalt maastikust etteulatuvalt kuni kilomeetrite kaugusele.
3. Vajaduse korral saab drooniga kiirelt eemalduda – näiteks kui on oht, et vastane on selle avastanud.

Droonide miinused:

1. Droonid on kallid, eriti kui tegemist on Kaitseliidu näol vabatahtlikest koosnevast üksusega, kus paljud vahendid tuleb ise soetada.
2. Droonide opereerimine kulutab palju energiat ning lennuajad ei ole pikad. Hetkel autori üksuses kasutusel olevate droonide Autel Nano plus võimaldab soojal päeval

ideaalsetes tingimustes kuni 28min lennata. See on pideva julgestuse ja seire tagamiseks liiga vähe.

3. Drooni operaator on lennutamisega hõivatud ning ei saa oma tähelepanu mujale pöörata. Erinevalt loodavast liikumisandurite peal töötavast süsteemist, peab droonijuht kogu aeg jälgima, kuhu ta lendab ning mida ekraanilt näeb.
4. Droonid tekitavad liigset müra ning on seetõttu märgatavad. Droonidelt tekkiv heli on kaugelt kuulla ning olenevalt drooni lennukõrgusest ka näha.

Rajakaamera plussid:

1. Rajakaamerad on lihtsad paigaldada, sarnaselt loodavate anduritega. Tuleb kinnitada puu külge nii, et pakuks võimalikult head vaatlust.
2. Pakuvad pidevat seiret ning saavad salvestada pildi- või videomaterjali, mis võib olla kasulik hilisemaks analüüsiks.
3. Odavam lahendus kui droonid, aga kallim kui Arduinol ehitatud lahendus.
4. Hea varjatus, üldjuhul on tegemist võrdlemisi kompaksete seadmetega, mis sulanduvad loodusega hästi.
5. Energiasäästlikud – rajakaamerad suudavad päevi kui mitte nädalaid paikneda ühes kohas, sest paljud neist kasutavad päiksepaneeli akude toiteks.

Rajakaamera miinused:

1. Võrreldes Arduinol ehitatud lahendusega on tegemist võrdlemisi kalli süsteemiga, eriti kui lisada mitu kaamerat. Internetist uurides oli soodsamate rajakaamerate hind 60 eurot, mis on umbes 3 korda kallim kui ühe antud töös arendatava anduri hind.
2. Vajab töötamiseks SIM-kaarti, mis on omakorda seotud GSM-võrguga. Tegemist on järjekordse kulutusega ning lisaks sellele ei ole GSM ühendus sõjaajal usaldusväärne, sest sõjas võivad mobiilimastid olla esmaste sihtmärkide seas.
3. Kaamera vajab SIM-kaarti ning vajab ka operaator. Paljud rajakaamerad saadavad tehtavad pildid edasi kasutaja e-mailile. See aga eeldab, et operaatoril on pidev internetiühendus, mis sõjaajal ei ole võimalik.

Liikumisanduritel põhineva seirevõrgu plussid:

1. Võrreldes droonide ja rajakaameratega, on tegu kõige soodsama lahendusega, mis aitab kaasa seiresüsteemi komponentide arvu suurendamisele.
2. Pakuvad pidevat seiret.

3. Lihtsad paigaldada, sarnaselt rajakaameratega. Tuleb kinnitada puu külge nii, et pakuks võimalikult head vaatlust.
4. Hea varjatus, tegemist on kompaksete seadmetega, mis sulanduvad loodusega hästi.

Liikumisanduritel põhineva seirevõrgu miinused:

1. Oht valepositiivsetele tulemustele metsloomade näol, sest puudub võimalus kontrollida, mis liikumisanduri initsieeris.
2. Kõik seadmed tuleb ise osta ja kokku panna.
3. Puudub võimalus kontrollida, kas liikumisandur ja saatja töötavad. Võib juhtuda, et aku saab tühjaks või seade hävib ning operaator seda ei tea, sest signaaliedastus käib ainult liikumisanduri signaali korral.

Eelnev loetelu iseloomustab hästi, et kõigil lahendustel on paremaid ja halvemaid omadusi omavahel võrreldes. Nii droonide kui ka rajakaamerate miinused on need, mis antud hetkel need valikust elimineerib. Peamised miinused on droonide puhul maksumus ja energiakulu ning rajakaameratel GSM-ühenduse vajadus, seega on implementeeritavaks lahenduseks Arduino peal loodud seiresüsteem.

2 Seadme arhitektuur ja kasutatud tehnoloogia

Selles peatükis käsitletakse üksikasjalikumalt seirevõrgu ülesehitust ning selle funktsionaalsust. Kirjeldatakse kasutatavaid seadmeid, tehnoloogiat nende taga ning miks just valitud seadmed kasulikud on seirevõrgus. Lisaks põhjendatakse tehnoloogilisi valikuid, mis tehti võrgu esialgsel loomisel.

2.1 Eesmärk

Töö eesmärk on optimeerida Eesti kaitsejõudude ja Kaitseliidu üksuste välisperimeetri julgestust, et tagada võitlejate efektiivne puhkus ja tegevuste jätkamine ning samal ajal säilitada võitlejate ohutus. Lisaks keskendutakse eelhoiatussüsteemi väljatöötamisele, mis võimaldab vastaste liikumise kiiret tuvastamist ja reageerimist olukordadele, kus on vajalik kiire tegutsemine, nagu varitsuste ettevalmistamine või kaudtule toetamine. Töö eesmärk on seega lahendada julgestusega seotud probleemid, mis tulenevad ressursipuudusest, ning parandada üksuste võimekust erinevates olukordades reageerimiseks.

2.2 Implementeeritud lahendus

Eelmainitud probleemide lahendamiseks, on antud töö raames loodud kolmest liikumisandurist ning ühest ekraaniga vastuvõtjast seiresüsteem, mille peamine ülesanne on pakkuda üksusele julgestust ning vajadusel seirevõimalusi taktikalistele objektidele ilma, et selleks peaks kasutama liigselt inimjõudu.

Seirevõrgu kasutamiseks tuleb viia liikumisanduritega seadmed paiknemisalalt eemale ning paigaldada vastaseohtlikusse suundadesse selliselt, et need pakuks võimalikult head seiret ja oleksid ise varjatud. Seejärel tuleb märkida iga anduri täpne asukoht koos anduri tähisega kaardile ning kaart operaatorile, kelle ülesanne on signaali saamise korral ekraanilt vaadata, milline andur häiret andis.

Seiresüsteem peab olema kaasaskantav koos muu varustusega, mis tähendab, et see peab olema võimalikult kerge, odav ja energiasäästlik. Kuna tegemist on odava lahendusega, on võimalik

võrku ja seeläbi vaatlusalala suurendada, pakkudes välisperimeetri rohkem ette nihutamise võimalust ning seiret.

2.3 Seirevõrgu ülesehitus

Süsteemi realiseerimiseks on vaja jaotada riistvara kaheks suureks komponendiks: vastuvõtja, mis on võimeline võtma vastu signaali kaugemal asuvatelt seadmetelt ning liikumisanduriga varustatud saatjad, mis suudavad signaali edastada. Mõlemad seadmed jaotuvad omavahel mitmeks komponendiks. Nii saatjad kui ka vastuvõtjad vajavad tarkvara, et korrektselt opereerida.

Turvalisuse ning varjatuse kaalutlustel on seiresüsteem üles ehitatud ühe vastuvõtja ning mitme pisikese saatja põhjal. Võrgul on kaks peamist komponenti: liikumisanduriga saatja ning LCD-ekraaniga vastuvõtja. Liikumisanduriga saatjad on paigutatud lähestikku, nii et need kataksid suurema ala maastikust, lõigu teest, ristmikust või oleksid paigutatud ümber taktikalise tähtsusega objekti, andes seeläbi pideva seirevõimekuse. Taktikaliseks objektiks võib olla hoone, sillale suunduvad teed ja nii edasi.

Liikumisanduriga saatja paikneb varjatult maapinnast kõrgemal ning ei ole takistuste poolt varjatud. Olles tuvastanud liikumise, saadetakse info selle kohta edasi vastuvõtjale, mis infot kuvab. Varjatuse eesmärgil peab saatja olema võimalikult kompaktne ning kiirgama signaali ainult liikumise tuvastamisel, sest vastasel juhul võib leida vaenlane andurid.

Selleks, et jälgimisseadmetelt tulev info ja teave jõuaks operaatorile juhtimispunkti, paikneb operaatori käes patareitoitel või arvutiga ühendatud vastuvõtja, et kuvada anduritel tulnud infot.

2.4 Vastuvõtja ülesehitus

Vastuvõtja on loodud võimalikult odav, energiasäästlik ning väike. Kuna vastuvõtja külge on ühendatud lisaks transiiverile ka LCD-ekraan ning piosummer (piiosummer on elektrooniline seade, mida kasutatakse heli, alarmi või signaali tekitamiseks (Piezo Buzers, 2024)), peab antud mikrokontroller olema suurem, et võimaldada rohemate viikude kasutamist.

Vastuvõtja koosneb alljärgnevatest komponentidest:

1. Mikrokontroller Arduino Uno R3, mis saades signaali andurilt, valmistab ette teksti, mida kuvada LCD-ekraanile. Kui seade on ühendatud arvutiga, ei pea LCD-ekraani jälgima, vaid info kuvatakse arvuts.
2. Vastuvõtja, mis võtab vastu andmepaketi seadme numbriga edasi vastuvõtjale. Antud töö raames on jälgimisseadme transiiver seadistatud ainult edastama, mitte kuulama.
3. LCD-ekraan 16x2 tekstiaknaga, et kuvada infot kellaaja ning jälgimisseadme numbri kohta.
4. Piesosummer, mille eesmärk on anda pininaga operaatorile märku, et vastu on võetud signaal, mida ekraanilt saab näha. See on lisatud mõttega, et operaator ei peaks kogu aeg jälgima LCD-ekraani, vaid saaks vaid vastava hääle peale pöörata ekraanile tähelepanu.

Vastuvõtja kood on kirjutatud selliselt, et antud vastuvõtja ainult kuulab ning ei edasta ise midagi. See on tehtud selleks, et igasuguseid signaale, mida seadmed kiirgavad, on võimalik jälgida ning nende asukoht tuvastada.

Saades andurilt signaali, kontrollib vastuvõtja programm, kas saadud andmepaketi sisu on korrektne. Igal seadmel on oma unikaalne kood, mida see edastab ning kui vastuvõtja tuvastab, et tegemist on korrektse koodiga, hakkab tööle piesosummer, mis kuvab ekraanile vastava seadme ID ning laseb välja kolm poolesekundist piiksu. Seadme ID-d on inglise tähestiku suurtähed. Seadme ID püsib ekraanil kuni tuleb sisse järgmine signaal. Eelpool kirjeldatud protsess kirjeldab järgnev koodijupp joonisel 2, kus seadmete koodid on vahetatud.

```

switch (code) {
  case 1234567:
    display_text('A');
    sound_buzzer();
    break;

  case 7654321:
    display_text('B');
    sound_buzzer();
    break;

  case 5555555:
    display_text('C');
    sound_buzzer();
    break;
}

```

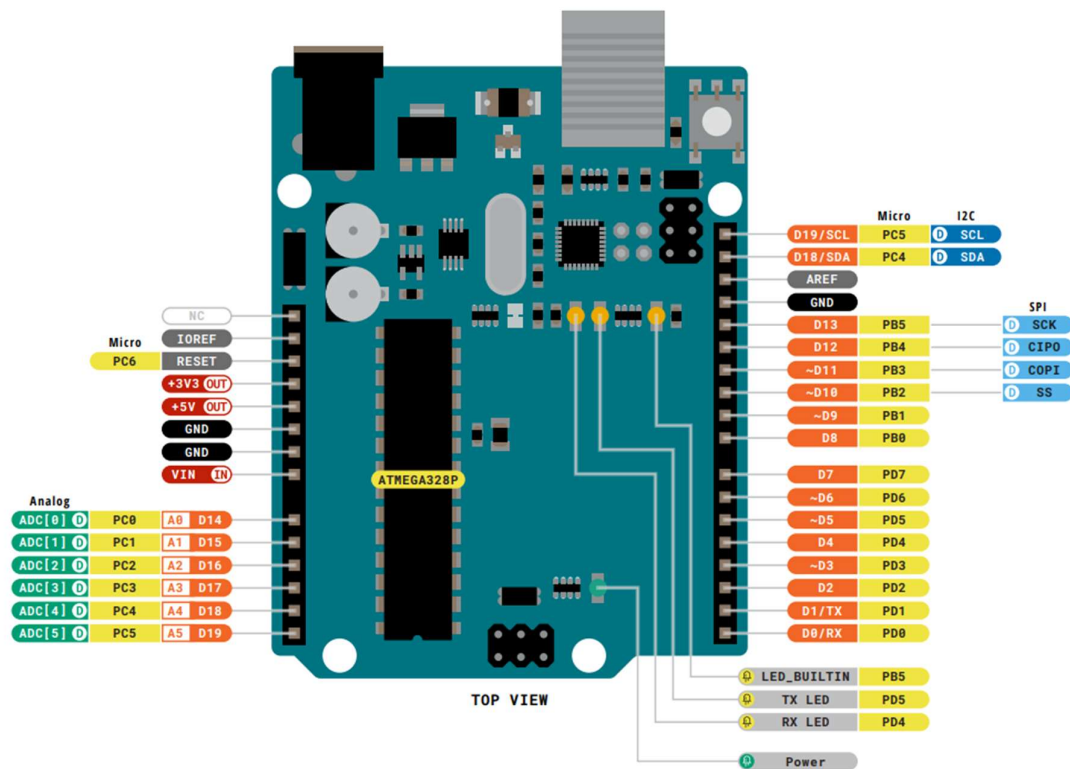
Joonis 2. Seadme kindlaks tegemine signaalilt saadud koodi järgi. Olles saanud liikumisandurilt koodi, kontrollib vastuvõtja, kas see kood eksisteerib ning jaatava vastuse korral kuvab ekraanile vastava seadme ID ning käivitab piesosummeri.

2.4.1 Arduino Uno R3

Selleks, et transiiverilt saadud signaali kuvada ekraanile ning tekitada heli, on vaja seadet, mis kõiki tegevusi haldaks. Selleks sobib Arduino Uno R3, mis sai valitud seepärast, et tegemist on hästi optimeeritud, energiasäästliku ning võrdlemisi taskukohase mikrokontrolleriga. Lisaks pakkus see täpselt õiget arvu viike ning oli võrreldes võimsuselt järgmise, Arduino Mega-ga odavam ja energiasäästlikum.

Arduino Uno on ATmega328P peal töötav mikrokontrollerplaat, millel on 16 MHz keraamiline resonator, 14 digitaalset sisend- ja väljundviiku. Nendest kuut on võimalik kasutada PWM-väljunditena (Uno R3, 2023). PWM-väljund ehk impulsilaiusmodulatsioon võimaldab kasutajal kontrollida signaali keskmist pingetaset, muutes signaali keskmist osa ajast, mil signaal on kõrge (1) või madal (0). Sisulises mõttes on tegemist analoogsignaali simuleerimisega. See võimaldab juhtida näiteks mootoreid, reguleerida LED-valgustust ja palju muud, mis töötavad analoogsignaali peal (Lazaridis, 2009). Lisaks on Arduino Uno ka

6 analoogsisendit. Toite jaoks on ICSP-pistikupesa, toitepistik, ühenduse jaoks USB port ning lähtestusnupp (Uno R3, 2023).



Joonis 3. Arduino Uno R3 pistikud (Arduino uno R3, 2024).

Arduino UNO R3 on vastuvõtja kontrolleri:

1. Arduino UNO R3 on varustatud ATmega328P protsessoriga, mis kontrollib sisenevaid andmeid ning kuvab need ekraanile.
2. Kompaktsus. Seadmeid, mis kontrolleri külge kinnitub on 3, mistõttu on vaja palju viike, kuhu neid kinnitada. Antud töö raames läksid käiku kõik Uno R3 peal olevad digitaalsed viigud.
3. Taskukohane. Kaitseleidus puudub madalamal tasemel samalaadne rahastus nagu Kaitseväes, mistõttu peavad vabatahtlikud ise rahaliselt panustama. Kuna tegemist on oma funktsionaalsuse kohta odava seadmega, saab neid osta hulgi, et tagada võimalikult efektiivne seiresüsteem.

4. Laialt kasutusel. Tegemist on ülemaailmselt populaarse mikrokontrolleriga, mis tähendab, et õpetusi selle kasutamiseks leiab palju. See tagab selle, et vajadusel saab üksikvõitleja kiirelt leida abi, kuidas mingeid vigu parandada või vähemalt sooritada algelist veaotsingut.

2.4.2 Transiiver NRF24L01 + PA/LNA

Nii saatja kui vastuvõtja kasutavad transiiver NRF24L01 moodulit andmete edastamiseks. Tegemist on 2.4 – 2.5GHz ISM sagedusvahemikuga, mis on samas sagedusalas WI-FI'ga ning mis on vabalt kasutatav. Koos antenniga levib avatud maastikul kuni 1,1km kaugusele. Moodul on võimeline kasutama 125 erinevat kanalit ning igal kanalil kuni kuut erinevat seadet. See tähendab, et ühe vastuvõtjaga külge on võimalik panna kuni 5 erinevat seadet infot saatma. Kui muuta saatjad ka kuulajaks ning panna need teiste andurite signaali edastama, on võimalik lisada ühte seiresüsteemu kuni 3125 seadet. Andmeedastuskiirused on võimalik seadistada 250 Kb/s, 1Mb/s ja 2Mb/s (Dejan, 2024).

Lisaks NRF24L01 moodulile on igal moodulil ka küljes PA (*Power Amplifier*), mis on võimendi väljuva signaali tugevdamiseks, et suurendada selle ulatust (Schweber, 2013).

Viimane oluline komponent andmeedastusmooduli juures on LNA (*Low-Noise Amplifier*). LNA ehk madala müraga eelvõimendi eesmärk on läbi antenni korjata üles nõrgad signaalid ning neid võimendada, et oleks võimalik sealt kätte saada andmed ilma andmekadudeta (Schweber, 2013).

2.4.3 LCD-ekraan

Vastuvõtjal on kasutusel LCD (*Liquid Crystal Display*) ehk vedelkristallkuvar, millele kuvatakse vajalik info, mis võimaldab tuvastada, mis andurilt signaal tuli. Vedelkristallkuvari tööpõhimõte on tugineb vedelkristallide omadusel omada laias temperatuurivahemikus nii kristalli kui ka vedeliku aineomadusi. Tegemist on orgaanilise ainega, mis samaaegselt omab voolavust kui ka molekulide korrapära ning anisotroopiat, ehk kristallikihi läbipaistvus on sõltuv sellest, mis suunas molekulid parasjagu asetsevad (Vedelkristallkuvar, 2024).

Hetkel on kasutusel 16x2 mõõtudega vedelkristallkuvar, mis saab kuvada kuni 32 ruutu – ehk kahes veerus 16 ruutu. Igasse ruutu saab kuvada ühe tähemärgi. Tegemist on sinise tausta ja valge kirjaga ekraaniga.

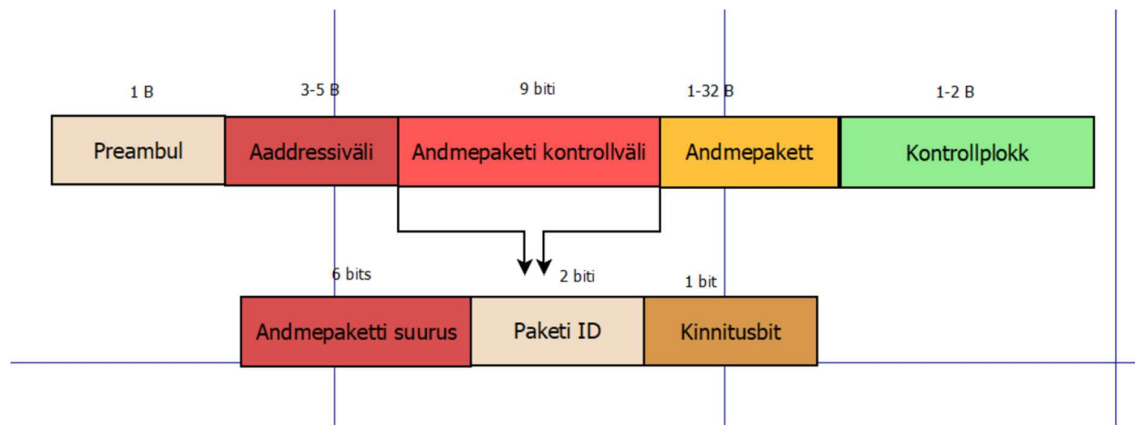
Antud LCD-ekraanil on paralleelühendus, mis tähendab, et mikrokontroller peab korraga manipuleerima mitme liidesega, et juhtida ekraani Antud juhul 11. liidesega (Söderby, 2023).

2.5 Jälgimisseadme ülesehitus

Jälgimisseade on ehitatud järgides kolme peamist aspekti. Võimalikult soodne toota ja tarnida, energiasäästlik ning võimekas.

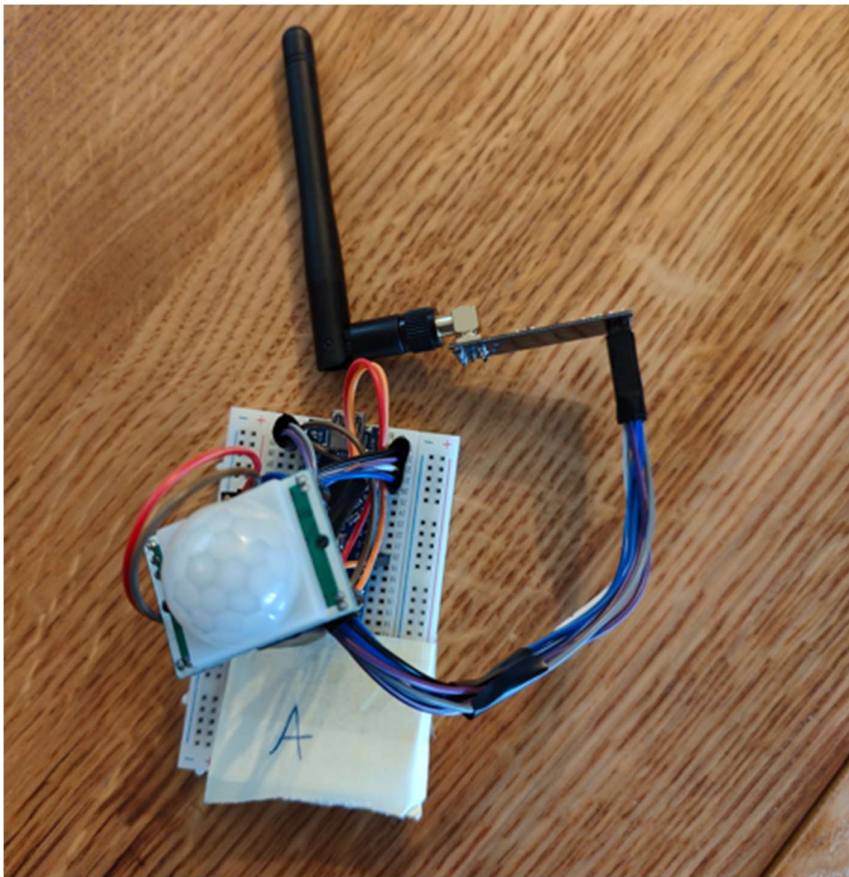
Jälgimisandur koosneb alljärgnevatest komponentidest:

1. Liikumisandur, mis töötab passiivsel infrapunaanduril ning mis tuvastab liikumise seadme vaatlusalal.
2. Mikrokontroller Arduino Nano, mis saab liikumisandurilt signaali ning initsieerib seejärel andmeedastuse. Andmepaketid, mis teele lähevad on fikseeritud ning need ei sõltu liikumisandurilt saadud signaalist. Andmepaketi näidis on toodud joonisel 4.
3. Transiiver, mis saadab andmepaketi seadme numbriga edasi vastuvõtjale. Antud töö raames on jälgimisseadme transiiver seadistatud ainult edastama, mitte kuulama. Transiiver kasutab ESB (*Enhanced ShockBurst*) andmeedastusprotokolli. ESB on Nordic Semiconductor'i poolt välja töötatud raadioside protokoll, mis jaguneb osadeks nagu on näidatud joonisel 4 (Fraser, 2017).
4. Aku, et hoida seadet töötamas.



Joonis 4. Andmepaketi näidis, kus on näidatud, milliseks jaguneb andmepakett ESB protokoll järgi. Seirevõrgu puhul kasutusel olev kood, mida saatja saadab, kuulub andmepaketi plokki alla (Fraser, 2017).

Saatja transiiver on simpleksühendus (programmeeritud ainult edastama, mitte kuulama), et hoida eetrivaikust ning seeläbi varjata üksuse asukohta. Igale saatjale määratakse mingisugune kood, mille abil vastuvõtja neid identifitseerida saab. Kui liikumisandur tuvastab liikumise, pannakse andmepakett teele ning vastuvõtja käitub sellele vastavalt. Saatja antenn kiirgab ainult selleks üheks hetkeks, mil signaal välja saadetakse. Transiiver on seadistatud kiirgama maksimaalsel võimsusel, et edastada signaali võimalikult kaugele. Kui transiiver on signaali edastanud, läheb see kinni, et säästa akut ning hoiab seadet vaenlase poolt avastamise eest.



Joonis 5. Liikumisanduriga saatja komponendid programmeerimise ajal. Joonisel on näha valget fresnel-läätse, mille all on passiivse infrapunaandur. Lisaks on pildil näha

transiiver moodulit koos antenniga. Kõik see on ühendatud maketeerimislaua abil Arduino Nanoga. Täht „A“ oli andurite eristamiseks testimisel.

2.5.1 Arduino Nano

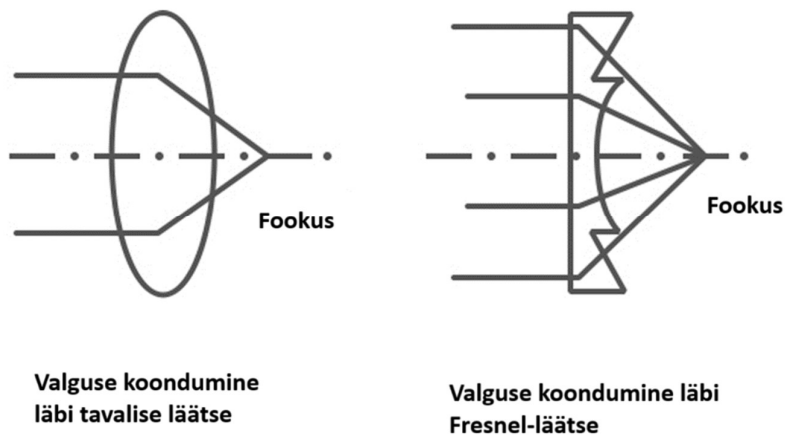
Komponendiks, mis võtab liikumisandurilt vastu signaali ning annab käsu transiiverile sobib mikrokontroller Arduino Nano. Arduino Nano sai valitud seepärast, et tegemist on hästi optimeeritud, energiasäästliku ning odava mikrokontrolleriga. Nano sai valitud arvestusega, et vajadusel saab edasiarenduse korral lisada jälgimisseadmele ka kaamera. Hetkel ei ole kaamerat anduritele lisatud, aga kõik eeldused sellele on loodud.

Arduino Nano on ATmega328 peal töötav mikrokontrollerplaat, millel on 16 MHz keraamiline resonaator, 14 digitaalset sisend- ja väljundviiku, millest kuut on võimalik kasutada PWM-väljunditena. Toite jaoks on sellel Mini-B USB pesa (Nano, 2024).

2.5.2 HC-SR501 PIR Sensor

Järgnev lõik on lühikirjeldus passiivse infrapunasensori tööpõhimõtte kohta ning põhineb veebilehe lastminutengineers.com (How HC-SR501 PIR Sensor Works & Interface It With Arduino, 2023) artiklil.

PIR-andur töötab infrapunakiirguse taseme muutuste tuvastamise põhimõttel. Kuna kõik kehad kiirgavad mingil määral soojust, on võimalik tuvastada muutusi infrapunakiirguse hulgas. Andur koosneb kahest põhilisest osast: püroelektrilisest andurist ja fresnel-läätsest. Püroelektriline andur reageerib infrapunakiirguse muutustele anduris, kus on kaks eraldi vastuvõtjat, millest üks tekitab vastavalt väliskeskkonna infole negatiivset signaali ja teine positiivset signaali. Kui liikumist ei ole, on signaalid võrdsed ja vastasmärgilised, mis tähendab, et kogu süsteemi väljundsignaal on 0. Kui aga üks vastuvõtjatest tuvastab muutuse, muutub selle väljundsignaal enne, kui teisel, mis põhjustab süsteemi signaalis muutusi, mida on võimalik tuvastada. Fresnel-lääts fokusseerib infrapunakiirgust andurile, et suurendada selle tundlikkust ja vaatevälja, mida on näidatud joonisel 6.



Joonis 6. Tavaline lääts (vasakul) ja Fresnel-lääts (paremal). Joonisel on näha, kuidas Fresnel-lääts fokusseerib valguskiiri üle kogu lääts laiuse (Basics - What is the Fresnel lens used in infrared sensors?, 2024).

HC-SR501 PIR Sensori peamised plussid:

1. Odav hind. Kuna raha on oluline faktor ning tegemist on seadmetega, mille vaenlane võib avastada või muul mool kaduda, peavad need olema võimalikult odavad ja lihtsasti asendatavad.
2. Lihtne kasutamine. Tegemist on lihtsalt ühendatava ja modulaarse seadmega, mille saab vajadusel teise, samasuguse anduriga välja vahetada.
3. Suur ulatus ja vaateväli
4. Madal Müratase. Kuna PIR-sensorid ei kiirga mingeid signaale, vaid ainult võtavad vastu infrapunakiirgust, ei ole neid võimalik läbi selle avastada.

2.6 Seadmete maksumus

Ühe vastuvõtja külge on võimalik lisada kuni 5 saatjat või nagu eelpool mainitud sai, on võimalik muuta saatjad ka kuulajateks ning seeläbi suurendada seirevõrgus olevate seadmete arvu kuni 3125 seadmeni. Hetkel tuuakse välja ühe saatja ning ühe vastuvõtja hind. Tabel 1 kujutab vastuvõtja maksumust ning tabel 2 näitab liikumisanduriga saatja maksumust.

Tabel 1. Vastuvõtja maksumus

Seade	1 tüki hind (€)	Kokku seadmes	Maksumus (€)	Ostukoht
Arduino Uno R3	31	1	31	Oomipood
LCD-ekraan	10	1	10	Oomipood
Piesosummer	5	1	5	Oomipood
Transiiver NRF24L01 + PA/LNA	3,50	1	3,50	Amazon
Maketeerimislaua juhtmed	0,09	24	2,16	Oomipood
Toiteallikas 10000mAh akupank	15	1	15	Euronics

Kokku maksumus: 66,66€

Tabel 2. Liikumisanduriga saatja maksumus

Seade	1 tüki hind (€)	Kokku seadmes	Maksumus (€)	Ostukoht
Arduino Nano	7	1	7	Amazon
HC-SR501 PIR Sensor	6	1	6	Oomipood
Transiiver NRF24L01 + PA/LNA	3,50	1	3,50	Amazon
Maketeerimislaua juhtmed	0,09	10	0,90	Oomipood
Toiteallikas 9v patarei	4,50	1	4,50	Oomipood

Kokku maksumus: 21,90€

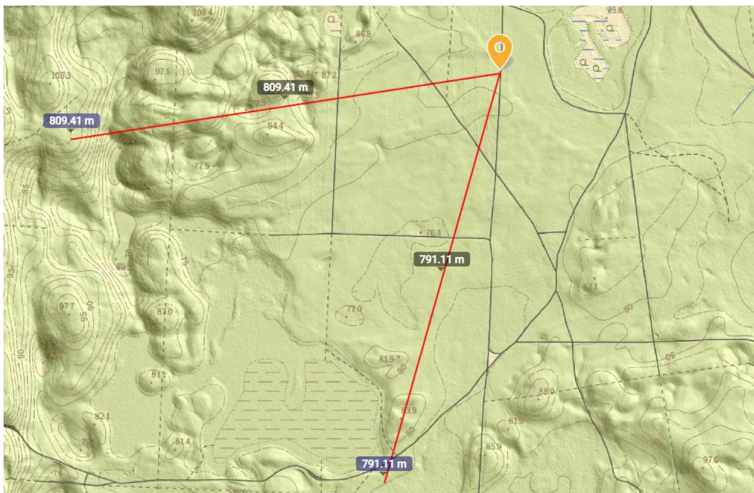
Kindlasti on saavutatud maksumuse madalal hoidmine. Selle põhjuseks on seadmete lihtsus ja odavus, mille arvelt on võimalik suurendada andurite arvu ning pakkuda seeläbi võimalikult suurt jälgimisala.

3 Testimine

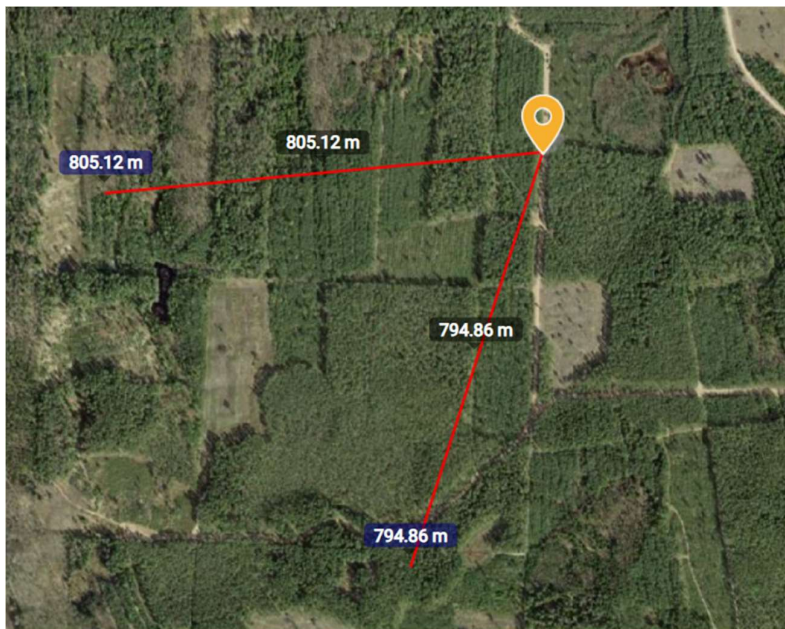
Seirevõrgu testimist sooritati mitmekülgses ilmastikuoludes, päikeselise ja vihmase ilmaga. Eesmärk oli testida, kuidas mõjutab ilm andurite töökindlust ja vastupidavust. Lõpus on toodud kokkuvõtte tulemustest ning analüüs, kas selliselt üles ehitatud andurid on piisavalt võimekad, et täita antud ülesannet.

3.1 Testimise tingimused ja ülesehitus

Testimine sai läbi viidud kahel eri päeval, eesmärgiga analüüsida andurite töökindluse sõltuvust ilmast. Mõlemal korral toimus testimine Tartu lähedal Unikülas. Täpsem asukoht, koos operaatori asukohaga ning liikumisandurite suundadega on märgitud joonisel 7 ning ortofotol joonisel 8. Testide ajal olid kasutusel ekraaniga vastuvõtja ning kaks liikumisanduriga saatjat. Saatjad paiknesid vastuvõtjast eri suundades ning neid testiti kolmel eri distantstil: 100m, 400m ning 800m. Transiiverid küll võimaldavad teoreetiliselt kuni 1100m, aga kuna peamine kasutusala seirevõrgule oleks metsas poolkinnisel maastikul, ei ole läbi takistuste selline distantis võimalik ning autori enda üksuselt lähtuvalt ka vajalik.



Joonis 7. Testimise asukoht Uniküla lasketiiru juures. Joonisel on kõrgusjoonte järgi näha, et ühes suunas on maastik tasane, teises künklik. Kõik testid viidi läbi liikudes piki joonisel märgitud jooni, vastavalt 100m, 400 ja 800m (Maainfo (X-GIS 2), 2024).



Joonis 8. Testimise asukoht Uniküla lasketiiru juures ortofotona. Joonisel on näha, et tegemist on metsase alaga. Tegemist on peamiselt parkmetsaga, kus esineb ka tihedamat põõsastikku (Maainfo (X-GIS 2), 2024).

Testimise ajaks kinnitati igale andurile ka LED-tuli, mis süttis, kui liikumisandur tuvastas liikumise. Selle eesmärk oli teha vigade analüüsi: kui tuli süttib, on liikumine tuvastatud, aga kui signaal vastuvõtjani ei jõua, peab viga olema andmeedastuses. Ning kui tuli ei sütti, kui liikumisanduri eest läbi liikuda, siis andur liikumist ei registreerinud.

Algselt kinnitati andurid puu külge erinevate kõrguste peale: üks anduritest oli umbes 20cm kõrgusel maapinnast, ning teine andur 1,50m kõrgusel. See oli eesmärgiga leida, kas anduri tuvastustäpsus sõltub anduri kõrgusest liikumise suhtes. Testimise käigus selgus, et maapinnast 20cm kõrgusel paiknenud andurilt signaali kätte saamine oli raske, selleks, et tuli süttiks, sai andurist olla maksimaalselt kuni 4m kaugusel. See distants on anduri kasulikkuse mõttes liiga väike. Seetõttu viidi kõik testid läbi, kinnitades andurid 1,50m kõrgusele ning teisi tulemusi ka all ei kajastata. Anduri paigutus puu külge on nähtav joonisel 9. Tegemist ei ole kõige viimase versiooniga – ilmastikukindluse parandamiseks kaeti kogu karp teibiga.



Joonis 9. Kaetud liikumisandur puu küljes.

Testimisel liitus kaks inimest, kes liikusid erinevatel distantidel anduri eest läbi. Vastavalt sellele sai üles märgitud, kas signaal jõudis ka operaatorile kohale. Antud protsessi korrati igalt distantilt 3 korda, et veenduda anduri töökindluses. Anduri eest läbi liikumise distantid olid 1m, 5m, 7m ja 10m. Edasi distantse mõõta polnud mõtet, sest kasutusel olev liikumisandur suuremaid distantse mõõta ei võimalda.

Tulemuste tabelite selgituseks. Veergudes, kus pealkiri on „Liikumise tuvastamine“ on kajastatud mõlema anduri tulemused. Kuna mitte kordagi ei esinenud probleemi, kus operaatori ekraanile oleks kuvatud vale anduri signaal, ei ole seda eraldi tulemustes välja toodud.

2.2 Testimine kuival päikeselisel päeval

Test sai läbi viidud 27. aprillil, mis oli päikesepaisteline päev ning temperatuur oli testimise ajal Unikülas www.yr.no järgi 12 kraadi C. Allpool tabel 3, tabel 4 ning tabel 5 kujutavad testimise tulemusi vastavalt 100m, 400m ning 800m pealt päikeselise ilmaga.

Tabel 3. Anduri kaugus 100m. „✓“ - liikumine tuvastati, „-“ – liikumist ei tuvastatud

Veerud tähisega „A“ ja „B“ tähistavad vastavat andurit.

Andurist möödumise distsantsid	A	A	A	B	B	B
1m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7m	✓	✓	-	✓	✓	✓
10m	✓	✓	-	✓	-	-

Distsantsil 100m ei esinenud mingeid probleeme andmete edastamisega ning iga kord, kui liikumisandur tuvastas liikumise, jõudis see ka operaatorile.

Tabel 4. Anduri kaugus 400m. „✓“ - liikumine tuvastati, „-“ – liikumist ei tuvastatud

Veerud tähisega „A“ ja „B“ tähistavad vastavat andurit.

Andurist möödumise distsantsid	A	A	A	B	B	B
1m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5m	✓	-	✓	✓	✓	✓
7m	-	✓	-	✓	✓	✓
10m	-	-	-	-	✓	✓

Distsantsil 400m ei esinenud samuti probleeme signaali edastamisega ning iga tuvastatud liikumine jõudis operaatorini. Üks anduritest oli pärast testimist ülevaatusel nähtavalt osaliselt kuuseokste varjus, mis kahandas märgatavalt selle töökindlust. See tõi välja hea aspekti edasisel andurite paigaldamisel, sest osaliselt kaetud liikumisandur ei tuvastanud alates 7m usaldusväärselt.

Tabel 5. Anduri kaugus 800m. „✓“ - liikumine tuvastati, „-“ – liikumist ei tuvastatud

Veerud tähisega „A“ ja „B“ tähistavad vastavat andurit.

Andurist möödumise distsantsid	A	A	A	B	B	B
1m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5m	✓	-	✓	✓	✓	✓
7m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
10m	✓	-	✓	✓	✓	-

Distsantsil 800m esines mõningaid probleeme signaali jõudmisega operaatorini. See oli tingitud sellest, et antenn, mis seadme küljes oli jäi ise puu tüve taha varju. Korrigeerides natuke antenni asendit ja anduri asukohta vastuvõtja asukoha suhtes, paranes signaali edastamine ning edaspidi probleeme ei esinenud. Teiselt andurilt tulnud signaal kadus korra ära, kuid oli ühekordne juhus ning selle põhjust välja selgitada polnud võimalik.

Kokkuvõtvalt võib testide kohta öelda, et andur töötab päikesepaistelise ilmaga kuni 10m kauguseni töökindlalt, aga eeldab avatud vaatevälja ning peaks olema paigutatud rindkere kõrgusele. Lisaks tuleb ka antenni asendit jälgida, et see ei jääks kohe esimese puu varju.

2.3 Testimine märgades tingimustes

Test sai läbi viidud 26. aprilli pärastlõunal ajal, mil ilm oli pilves ning enamasti ajast sadas vihma. Temperatuur oli testimise ajal Unikülas www.yr.no järgi 10 kraadi C. Allpool tabelis on toodud testimise tulemused. Tabel 6, tabel 7 ning tabel 8 kujutavad testimise tulemusi vastavalt 100m, 400m ning 800m pealt vihmase ilmaga.

Tabel 6. Anduri kaugus 100m. „✓“ - liikumine tuvastati, „-“ – liikumist ei tuvastatud. Veerud tähisega „A“ ja „B“ tähistavad vastavat andurit.

Andurist möödumise distsantsid	A	A	A	B	B	B
1m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5m	✓	✓	✓	✓	✓	✓

7m	-	-	-	✓	✓	✓
10m	-	✓	✓	-	-	-

Distsantsil 100m ei esinenud mingeid probleeme andmete edastamisega ning iga kord, kui liikumisandur tuvastas liikumise, jõudis see ka operaatorile. Probleemne oli sensori tuvastuskaugus, mis vihma käes ei küündinud 10m peale. Antud testi ajal oli vihm võrreldes järgnevate kaugustega kõige tugevam, mis võib seletada, miks anduri tulemused niivõrd halvemad olid päikeselise ilmaga võrreldes.

Tabel 7. Anduri kaugus 400m. „✓“ - liikumine tuvastati, „-“ – liikumist ei tuvastatud

Esimeses veerus on kujutatud andurist möödumise distantsid. Veerud tähistega „A“ ja „B“ tähistavad vastavat andurit.

Andurist möödumise distsantsid	A	A	A	B	B	B
1m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
10m	✓	-	-	-	✓	✓

Distsantsil 400m oli vihm rohkem järele jäänud, mis kajastus ka liikumisanduri töökindluses. Kuni 7m tuvastati ära kõik eest läbi kõndimised, kuid 10m peal esines siiani probleeme. Lisaks esines ka kord, kus liikumise tuvastamisel ei jõudnud signaal vastuvõtjani.

Tabel 8. Anduri kaugus 800m. „✓“ - liikumine tuvastati, „-“ – liikumist ei tuvastatud

Veerud tähistega „A“ ja „B“ tähistavad vastavat andurit.

Andurist möödumise distsantsid	A	A	A	B	B	B

1m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
10m	✓	✓	-	-	✓	-

Distantsil 800m liikumisanduriga probleeme ei tekkinud ning tuvastas peaaegu kõik liikumised. Esines küll probleeme 10m peal, aga võrreldes neid tulemusi päikeselise ilmaga, siis suurt vahet ei paista. Vihm oli antud testi ajal kerge sabin ning nagu tulemustest näha ei mänginud suurt rolli. Sarnaselt eelmise katsega läks signaal korra kaduma, kuid oli ühekordne juhus ning selle põhjust välja selgitada polnud võimalik.

Kokkuvõtvalt võib testide kohta öelda, et andur töötab vihmase ilmaga vähem töökindlalt kui päikeselise ilmaga. Usaldusväärne tuvastus distants langeb alla 10m ja eeldab avatud vaatevälja. Andmete edastamisega seadmete vahel uusi järjepidavaid probleeme ei tekkinud.

2.4 Testimise kokkuvõte

Testid said läbiviidud kahel erineval päeval ning erinevates tingimustes. Sellest tulenevalt on ka näha erinevaid tulemusi. Mõlemad testid võib lugeda edukaks, sest kirjutatud tarkvara töötas korrektselt ning signaal liikus seadmete vahel usaldusväärselt. Kordagi ei esinenud probleemi, kus vastuvõtja ekraan oleks kuvanud valeinfot või käitunud teistmoodi kui koodis ette nähtud.

Päikeselise ilmaga töötas liikumisandur kindlamalt ja töötas kuni 10m arvestatava täpsusega, tõsise vihma korral aga distants nii kaugemale ei ulatunud. See viitab kindlalt sellele, et ilmastik mängib rolli liikumisanduri töökindluses. Lisaks tulid testimisel välja õppetunnid, kuidas andurit paremini paigutada – maapinnast kõrgemale, umbes rindkere kõrgusele ning võimalikult avatud vaateväljaga. Järgides neid lihtsaid printsiipe töötas liikumisandur usaldusväärselt.

Transiiverid töötasid hästi olenemata ilmast. Esines küll mõni üksik juhus, kui signaal ei jõudnud saatjast vastuvõtjani, aga need olid harvad korrad, millele põhjust ei leitud. Sarnaselt liikumisandurile, tuli ka siit välja õppetund seadme paigutamise osas – antenn tuleb jätta vertikaalselt maaga puu küljele.

Üldiselt võib testi lugeda edukaks, sest andurid töötasid korrektselt, kirjutatud tarkvara töötas kindlalt ilma vigadeta ning ükski andur ei läinud testimise käigus katki. Lisaks tuli testimise käigus esile ka õppetunnid ja punktid, mida jälgida andurite paigaldamisel maastikule. Andurid tuleb paigutada puu küljele, umbes 1,50m kõrgusele maapinnast selliselt, et anduri ees oleks võimalikult lage maa. Antennid tuleb keerata püsti ning veenduda, et seade ka puu küljes püsib.

Kokkuvõte

Bakalaaurusetöö eesmärk oli luua seiresüsteem üksuse julgestuse tõstmiseks puhkeolekutes või sooritada seiret taktikaliste objektide ümbruses. Seiresüsteem koosneb ühest ekraaniga vastuvõtjast, mille ülesanne on kuvad infot ning kolmest liikumisanduriga saatjast. Autori ressursinappuse tõttu piirdus liikumisandurite hulk kolmega, kuid nii riist- kui tarkvara võimaldavad komponentide hulka suurendada.

Töö käigus uuriti erinevaid seadmeid ja komponente, mis saaksid seatud ülesandega hakkama. Lisaks toodi välja teisi samalaadseid võimalusi pakkuvaid lahendusi, näiteks droonid ja rajakaamerad. Võrreldi kõigi lahenduste plusse ja miinuseid ning põhjendati, miks Arduino peal loodav seiresüsteem end õigustab.

Valminud seirevõrgu komponente testiti erinevates ilmastikuoludes, nii päikesellise kui ka vihmase ilmaga. Mõlemad testid olid edukad, tuues välja vigu ja töökindluse langemist vastavalt ilmale. Testimise käigus selgus liikumisandurile kõige parem paigutus, mis on vaadeldava suuna suhtes puu külje peal, nagu on näha joonisel 9. Selliselt ei ole liikumisanduri vaatlusala ega transiiveri antenn takistuste poolt häiritud.

Edasiarendusena saaks liikumisanduritele lisada kaamera, millega pärast liikumise tuvastamist pilt. See aitaks operaatoril tuvastada ja elimineerida valepositiivseid tulemusi. Lisaks tuleks kindlasti paremaks muuta andurite ümbrist, mis hetkel on puidust, kuid mis kindlasti peaks olema ilmakindlamast materjalist – näiteks 3D-printimisel loodud ümbris. Hetkel puudub võimalus jälgida, mis ajal mingi signaal tuli, kui just vastuvõtja pole arvutiga ühendatud. Akutoitel puudub võimalus kella jälgida ning kui operaatoril signaal märkamata jääb, puudub tal teadmine, millal häire tekkis. Selle lahendamiseks oleks vaja lisada vastuvõtjale Arduino RTC ehk *Real Time Clock*.

Kasutatud kirjandus

- Arduino uno R3*. (14. mai 2024. a.). Allikas: Arduino docs:
<https://content.arduino.cc/assets/A000066-full-pinout.pdf>
- Basics - What is the Fresnel lens used in infrared sensors?* (14. mai 2024. a.). Allikas: muRata:
<https://www.murata.com/en-us/products/sensor/infrared/overview/basic/lens>
- Dejan. (28. veebruar 2024. a.). *nRF24L01 – How It Works, Arduino Interface, Circuits, Codes*.
Allikas: How to Mechatronics:
<https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-wireless-communication-nrf24l01-tutorial/#Conclusion>
- Eesti Kaitsevägi*. (5. veebruar 2024. a.). Allikas: mil.ee: <https://mil.ee/kaitsevagi/uldinfor>
- Fraser, B. (28. juuni 2017. a.). *Arduino NRF24L01+ Communications*. Allikas: Medium:
<https://medium.com/@benjamindavidfraser/arduino-nrf24l01-communications-947e1acb33fb>
- How HC-SR501 PIR Sensor Works & Interface It With Arduino*. (7. detsember 2023. a.).
Allikas: Last Minute Engineers: <https://lastminuteengineers.com/pir-sensor-arduino-tutorial/>
- Lazaridis, G. (10. märts 2009. a.). *PWM Modulation*. Allikas: The PCB Heaven Pages:
https://pcbheaven.com/wikipages/PWM_Modulation/
- Maainfo (X-GIS 2)*. (14. mai 2024. a.). Allikas: Geoportaal:
<https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/maainfo>
- Nano*. (28. veebruar 2024. a.). Allikas: Arduino docs:
<https://docs.arduino.cc/hardware/nano/#tech-specs>
- Piezo Buzers*. (14. mai 2024. a.). Allikas: APC International:
<https://www.americanpiezo.com/standard-products/buzzers.html>
- Schweber, B. (24. oktoober 2013. a.). *Understanding the Basics of Low-Noise and Power Amplifiers in Wireless Designs*. Allikas: DigiKey:
<https://www.digikey.com/en/articles/understanding-the-basics-of-low-noise-and-power-amplifiers-in-wireless-designs>

Söderby, K. (7. veebruar 2023. a.). *Liquid Crystal Displays (LCD) with Arduino*. Allikas: arduino docs: <https://docs.arduino.cc/learn/electronics/lcd-displays/>

Toomse, R. (2011). *Maakaitse käsiraamat*. Kaitseliit.

Uno R3. (6. detsember 2023. a.). Allikas: Arduino Docs: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/>

Vedelkristallkuvar. (17. Aprill 2024. a.). Allikas: Wikipedia: <https://et.wikipedia.org/wiki/Vedelkristallkuvar>

Lisad

Litsents

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Karl Mumme,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose **Seiresüsteem taktikaliste objektide lisaturvamiseks**, mille juhendaja on Erkki Laaneoks, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi Dspace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Karl Mumme

15.05.2024