

Tartu Ülikool  
Loodus- ja täppiseaduste valdkond  
Tehnoloogiainstituut

Renet Eres

## **Inimeste tuvastamine droonile paigaldatud seadeldise abil**

Bakalaureusetöö (12 EAP)  
Arvutitehnika eriala

Juhendajad:  
Professor Alvo Aabloo  
Professor Arun Kumar Singh

Tartu 2021

## **Resumee/Abstract**

### **Inimeste tuvastamine droonile paigaldatud seadeldise abil**

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on valmistada laiatarbe vahenditest drooni ja näotuvastusega töötav süsteem, mille abil saaks kindlaks teha, kas etteantud isik on drooni vaateväljas. Töös kasutatakse Parrot Bebop 2 drooni ning Nvidia poolt toodetud seadet ning tarkvara teeki. Seade koosneb Nvidia Jetson TX2 moodulist ja CTI Orbitty Carrier trükkplaadist. Lisaks on kasutuses tarkvaralahendused Pyparrot ja turvaline andmeedastusprotokoll SSH (räsi algoritmiks oli SHA-256). Töö tulemustes selgus, et riistvara üles seadmine ei ole keeruline ning möödus komplikatsioonideta. Probleeme oli pildi töötlemise kiiruse osas ning näotuvastust kiiremaks muutes tekkisid ebatäpsused isiku leidmisel. Antud uurimus näitab, et õpitud algoskusteabega on võimalik riistvara komplekteerida, kuid tarkvara seadistamine on keerukam.

**CERCS:** T125 Automatiseerimine, robotika, juhtimistehnika; P170, Arvutiteadus, arvutusmeetodid süsteemid, juhtimine; P176, Tehisintellekt

**Märksõnad:** Automatiseerimine, droon, näotuvastus, tehisintellekt

### **Drone mounted human identification device**

The aim of this bachelor's thesis is to prepare a complete drone and face detection system, which can be used to determine whether a given person is in the field of view of the drone. The project makes use of a Parrot Bebop 2 drone and an Nvidia artificial intelligence computer device. The device consists of an Nvidia Jetson TX2 module and a CTI Orbitty Carrier circuit board. In addition, software solutions Pyparrot and secure data transmission protocol SSH (the hash algorithm was SHA-256) are used. The results of the work showed that setting up the hardware is not difficult and went without complications. There were issues with image processing speed and speeding up facial recognition caused inaccuracies in locating the person. This research demonstrates that it is possible to assemble hardware with the basic skills, but software management is more complicated.

**CERCS:** T125 Automation, robotics, control engineering; P170, Computer science, numerical analysis, systems, control; P176, Artificial intelligence

**Keywords:** Automation, drone, face recognition, artificial intelligence

## Sisukord

Resumee/Abstract.....	2
Jooniste loetelu.....	5
Tabelite loetelu.....	6
Töös kasutatavad lühendid.....	7
1. Sissejuhatus.....	8
1.1 Probleemi tutvustus.....	8
1.2 Töö eesmärk.....	9
2. Ülevaade.....	10
2.1 Olemasolevad mehitamata õhusõidukite lahendused.....	10
3. Kasutatavad tööriistad.....	12
3.1 Parrot Bebop 2.....	12
3.1.1 FreeFlight 3 rakendus.....	13
3.2 Nvidia Jetson TX2 Developer Kit.....	13
3.2.1 Jetson TX2 moodul.....	15
3.3 CTI Orbitty Carrier.....	16
3.4 Pyparrot.....	17
3.5 Näotuvastuse algoritm.....	17
3.6 SSH.....	18
4. Süsteemi seadistamine.....	19
4.1 Drooni ja näotuvastusega töötava süsteemi struktuur.....	19
4.2 Riistvara seadistamine.....	19
4.3 Tarkvara seadistamine.....	21
4.4 Seadme testimine.....	22
5. Tulemused ja analüüs.....	25
5.1 Riistvara ja tarkvara seadistamise keerukus.....	25
5.1.1 Riistvara.....	25

5.1.2	Tarkvara .....	25
5.2	Seadme testimine .....	26
5.2.1	Tehnilised tingimused .....	27
5.3	Analüüs .....	27
6.	Kokkuvõte .....	29
	Kasutatud kirjandus .....	30
	Lisad .....	34
	Lisa 1. Juhend Jetson TX2 ja Orbitty kandja omavaheliseks ühendamiseks .....	34
	Lisa 2. Juhend arvutiseadme ja Parrot Bebop 2 ühendamiseks.....	36
	Lisa 3. Juhend Pyparroti liidese installeerimiseks .....	37
	Lihtlitsents .....	38

## Jooniste loetelu

Joonis 1. Parrot Bebop 2 droon [15]. .....	12
Joonis 2. Nvidia Jetson TX2 arenduskomplekt [20]. .....	14
Joonis 3. Nvidia Jetson TX2 moodul lahti ühendatuna arendusplaadist. ....	15
Joonis 4. Nvidia Jetson TX2 moodul [25]. .....	15
Joonis 5. Orbitty Carrier [30]. .....	17
Joonis 6. Terviklik drooni ja seadme vahelise suhtluse blokk diagramm. ....	19
Joonis 7. Nvidia Jetson TX2 ja Orbitty Carrier omavahel ühendatud .....	20
Joonis 8. Turvaline seadme kinnitussüsteem droonil. ....	21
Joonis 9. Andmekogumi sisu. ....	22
Joonis 10. Näotuvastuse katsetamine. ....	23
Joonis 11. Pildilt tuvastati etteantud inimene. ....	24
Joonis 12. Kasutusel olev Nvidia Jetson TX2 arenduskomplekt .....	34
Joonis 13. Nvidia Jetson TX2 jahutusradiaatorita. ....	34
Joonis 14. Nvidia Jetson TX2 ning Orbitty kandja vahetükid. ....	35

## **Tabelite loetelu**

Tabel 1. Drooni näotuvastuse katsetulemused sõltuvalt inimese ja drooni vahelisest kaugusest.

..... 26

## **Töös kasutatavad lühendid**

**UAV** (*Unmanned Aerial Vehicle*) – Mehitamata õhusõiduk

**GPU** (*Graphics processing unit*) – Graafikaprotsessor

**RAM** (*Random-access memory*) – Muutmälu

**SDK** (*Software Development Kit*) – Tarkvara arendamise komplekt

**EOL** (*End of Life*) – Kasutuselt kõrvaldatud

**AI** (*Artificial intelligence*) – Tehisintellekt

**OPENCV** (*Open Source Computer Vision*) – Avatud lähtekoodiga arvutinägemise ja masinõppimise tarkvara teek

**CUDA** (*Compute Unified Device Architecture*) – Paralleelarvutuse platvorm ja programmeerimis-mudel

**CMOS** (*Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*) – Komplementaarne metall-oksiid-pooljuht

**UHD** (*Ultra High Definition*) – Ultrakõrglahutus, on digitaalne videovorming, mille resolutsioonik on 3840x2160P

**BSP** (*Board Support Package*) – Plaadi tugipakett

**SSH** (*Secure Shell*) – Võrguprotokoll, mille pikkuseks oli bittides 2048, krüptoskeemiks on RSA ning räsifunktsiooniks SHA-256.

**SMP** (*Symmetric Multi-Processing*) – Sümmeetriline multitöötlus

**PREEMPT** (*Preemption Model*) – Eelisasenduse mudel

## 1. Sissejuhatus

Mehitamata autonoomsed lendavad robotisüsteemid (UAV) (ing. k. *unmanned aerial vehicle*) on kiirelt arenev valdkond ning nad leiavad järjest rohkem vajalikke kasutusi. UAV-del on inimese täieliku juhtimise või ülesannete täitmise ees palju eeliseid, see tähendab, et nad saavad hakkama olukordadega inimesi ohtu seadmata ning vabastavad inimestele aega ja ressursse. Mehitamata sõidukitel on sageli võimalus jõuda ka inimestele kättesaamatutesse või ohtlikesse kohtadesse. Need hüved on põhjuseks, miks mehitamata sõidukid on tänapäeval saavutanud nii suure majandusliku teostatavuse. [1]

Näotuvastustehnoloogiat on õiguskaitseorganid üle maailma laialdaselt kasutama hakanud [2] ja mõnes USA politseiüksuses on pandud lendama, protestimarsside ja miitingute tõttu, väikesed kopter tüüpi UAV-d, mis on valmistatud tsiviiltootjate poolt, kasutades seadmeid kohapeal toimuva kohta reaalsajas teabe kogumiseks [3].

UAV õhukaadrid annavad politseile selgema ülevaate, kuhu rahvahulk liigub ja kuhu sõidukid liiguvad, ning aitab neil protestijatest sammu ees püsida. Politsei kasutab droone ka inimeste otsimiseks või jälgimiseks teatud stsenaariumites, näiteks filmib narkootikumide seadistamist, jälgib sissemurdmises kahtlustatavaid isikuid või otsib soosse sattunud kahtlusosalust. Mõni droon on ka varustatud pardal oleva tarkvaraga, mis suudab liikuvat inimest või sõidukit automaatselt jälgida, ehkki väga piiratud tingimustes (ja lühikese aja jooksul). [3]

### 1.1 Probleemi tutvustus

UAV-d on kättesaadavad tänapäeval igapäevale. Nendega on võimalik jälgida ja kaardistada erinevaid objekte. Õiguskaitseorganitel võimaldab droonile lisatud näotuvastuse süsteem erinevates olukordades abiks olla. Samas, kui antud tehniline seade satuks halbade kavatsustega inimese kätte, muutub see ühiskonnale ohtlikuks. Sellest tulenevalt on oluline teada, milline oskusteave (oskab kasutada seadme ühendamiseks vajalikke tööriistu, aru saada kirjutatud koodide sisust ning neid ka rakendada) peab olema inimesel, et valmistada universaalsete tööriistade ja tehniliste vahenditega seadeldis, mis õigustab oma eesmärgi.

## 1.2 Töö eesmärk

Antud bakalaureusetöö lõppülesandeks on valmistada terviklik drooni ja näotuvastusega töötav süsteem, mille abil saaks kindlaks teha, kas etteantud isik on drooni vaateväljas.

Töö eesmärgi välja selgitamiseks koostas autor järgnevad hindamiskriteeriumid:

- Riistvara ja tarkvara seadistamise keerukus - autori hinnang riistvara ja tarkvara seadistamisele töös kasutatud lahendusele.
- Seadme testimine lõppülesande saavutamiseks - autori hinnang saadud tulemusele.

## 2. Ülevaade

Viimaste aastate jooksul on näotuvastus tarkvarad kiiresti arenenud. Erinevad riistvara tootjad pakuvad tarkvara lahendusi, mis on integreeritud nende tootega.

### 2.1 Olemasolevad mehitamata õhusõidukite lahendused

Iisraeli sõjaväega seotud idufirma AnyVision on taotlenud USA patenti tehnoloogiale, mis annab droonidele teada, kuidas manööverdada, et kohapeal olevate inimestest paremaid näotuvastuspilte saada. Patenditaotluses pealkirjaga “Droonide adaptiivne positsioneerimine tõhustatud näo-tuvastuse jaoks” (ing. k. *Adaptive Positioning of Drones for Enhanced Face Recognition*) [4] kirjeldatakse arvuti nägemissüsteemi, mis analüüsib droonikaamera nurka maapinnal oleva inimese näo suhtes, seejärel juhendab drooni, kuidas seda paremaks muuta. Antud süsteemi abil saab pildi saata läbi masinõppemudeli, mis on koolitatud üksikute nägude klassifitseerimiseks. Mudel võimaldab arvutada klassifikatsiooni tõenäosust, see tähendab, et kui tõenäosus langeb alla kindla künnise, algab kogu protsess otsast peale. [2]

Lisaks on tehnoloogiaettevõtte DJI poolt loodud Tello [5] drooni õpetusi [6] [7] [8], kuidas saaks näotuvastust rakendada. Tello drooni kasutatakse hariduslikel eesmärkidel ning seda on lihtne programmeerida [5].

Ettevõtte Nordic Drones *GeoDrone* UAV abil pääseb kergesti ligi väljakutset pakkuvatele maastikutele ja loodusõnnetuste poolt hävitatud kohtadele. Erinevateks tööstusülevaadeteks mõeldud droonid muudavad töö ohutumaks, lihtsamaks ja tõhusamaks. Neid saab kasutada ka maamõõtmistel ja kaardistamistel. Selle seadmega tuleb kaasa ka maapealse jaama *VideoDrone Ground Station* lennuplaani tarkvara, mis töötab Windowsi arvutites ja seda kasutatakse kaardistava ala planeerimiseks. Tegelik ettemääratud lend sooritatakse automaatselt. [9]

Lennundustootmisettevõtte Skyeton on teinud erinevaid lahendusi nii kaubanduslikeks kui ka riikide kaitse- ja turvasüsteemide jaoks. Elektriliini kontrolli, mere järelevalve, torusüsteemide seire ning metsatulekahjude ennetamise kaubanduslike rakendusi ja erinevate operatsioonide õhutoetuse lahendusi pakub Skyeton mehitamata õhusüsteem *Raybird-3*. [10]

Eesti Kaitsevägi kasutab Läti piiri jälgimiseks ettevõtte Threod Systems mehitamata õhusõidukeid [11] ning koostöös politsei ja Eesti Sisekaitseakadeemiaga tehakse jälituslende riigipoolsete erakorraliste rikkumiste avastamiseks [12]. Eelnevates katsetes kasutatakse UAV nimega *EOS V VTOL*, mis võib ühe lennu jooksul läbida 120 kilomeetrit ning mille suhtlusulatus on 50 kilomeetrit [13].

### 3. Kasutatavad tööriistad

Käesolevas bakalaureusetöös kasutatakse Parrot Bebop 2 drooni ning Nvidia poolt toodetud tehisintellekti arvutiseadet. Seade koosneb Nvidia Jetson TX2 moodulist ja CTI Orbitty Carrier trükkplaadist. Lisaks on kasutuses tarkvaralahendused Pyparrot, näotuvastuse k-nn ehk *Nearest Neighbour* algoritm ja SHH võrguprotokoll turvaliseks terminaliühenduseks SHA-256 räsi-algoritmiga.

#### 3.1 Parrot Bebop 2

Parroti poolt toodetud 14-megapikselse lennukaameraga Bebop 2 droon (vt. joonis 1) on WiFi-põhine mobiilseadmetega ning kaugjuhtimisega töötav kvadrokopter, mis suudab jäädvustada 1080p videot õhust ning teha 4096 x 3072 eraldusvõimega fotosid. Kaameral on elektrooniline pildistabilisaator, mis tugineb 3-teljelisele liikumisandurile, et motoriseeritud gimbali lisakaalu ja energiatarbimist vältida ning 180 kraadine kalasilmaobjektiiv, mille abil saadakse täielik kõrglahutusega pilt. [14]



Joonis 1. Parrot Bebop 2 droon [15].

Juhtpuldi (*Skycontroller*) asemel saab Bebop 2 drooni juhtida ka Androidi või iOS mobiilseadmest, mis jooksutab rakendust FreeFlight 3. Lisaks kvadrokopteri juhtimise võimaldamisele pakub rakendus reaajas eelvaadet lennukaamerast ja saab madala resolutsiooniga voogedastuse otse oma seadmesse salvestada. Kõrge resolutsiooniga salvestamiseks saab kasutada 8GB sisseehitatud mälu. [14]

Drooni lennujuhtimissüsteem põhineb Linuxi 3.4.11 SMP PREEMPT kernelil [16], mis on loodud eelisasenduse mudelil (ing. k. *preemption model*) ja sümmeetrilise multitöötusega (ing. k. *symmetric multi-processing*) [17] ja koosneb kahetuumalisest (ing. k. *Dual-core*) protsessorist ning neljatuumalisest (ing. k. *Quad-core*) graafikaprotsessorist. Omab erinevaid sensoreid: vertikaalne kaamera, ultraheli, baromeeter, kiirendusmõõtur, magnetomeeter ja güroskoop ning geograafilist asukohta jälgib GPS. Droonil on liitiumpolümeerist (ing. k. *LiPo*) aku, mille mahutavus on 2700 mAh ning millega saab lennata kuni 25 minutit. Maksimum kiirus tõustes on 6 m/s ning horisontaalselt 16 m/s. Mehitamata õhusõidukil on kaamera, mille objektiiv koosneb kuuest elemendist, omab 1/2.3-tollist komplementaarse metall-oksiid-pooljuhist (CMOS) sensorit ning mille vaateväli on 180 kraadi. Kaamera suudab teha 14-megapiksliseid (4096 x 3072) fotosid ning 1080p videoid 30 kaadrit sekundis. Piltide suudab kodeerida JPEG või DNG RAW formaadis ning videoid H.265 formaadis. [18]

### **3.1.1 FreeFlight 3 rakendus**

Rakendus FreeFlight 3 võimaldab kaamerapilti otse jälgida koos lennutelemeetriaga. Rakenduse puutetundliku liidese abil saab kaamera pildi vaatevälja digitaalselt liigutada 180 kraadi ulatuses. Kasutades standardset WiFi ühendust, saab Bebop 2 drooni juhtida iOS või Android nutitelefoni või mõne muu mobiilseadmega 300 meetri vaatevälja kaugusel. Juhtimisseadme ja õhusõiduki vahel peab lihtsalt looma ajutise ühenduse. Eraldi saadaval vahemiku pikendaja (Skycontrolleri süsteemi osa) võimaldab Bebop drooni kasutada kuni 1,2 miili (1.93 km) kaugusel. [14]

## **3.2 Nvidia Jetson TX2 Developer Kit**

Käesolevas bakalaureusetöö jaoks valiti *Jetson TX2 Developer Kit* (vt. joonis 2). Spetsialistid kasutavad Nvidia Jetson arenduskomplekte, et Jetsoni moodulitel põhinevate toodete tarkvara edasi arendada ja testida ning õpilased ja harrastajad kasutavad neid projektide ja õppimise jaoks. Iga arenduskomplekt sisaldab tugiplaadile kinnitatud Jetson moodulit, millel on standardsed riistvaraliidesed, et paindlikult arendada ja kiirelt prototüüpe luua. [19]

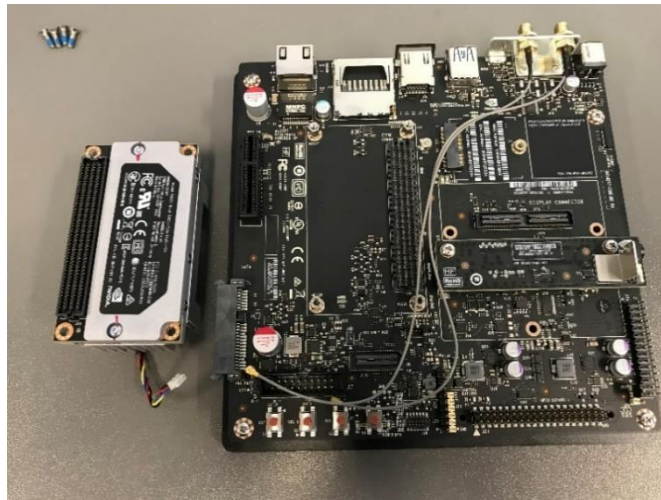


Joonis 2. Nvidia Jetson TX2 arenduskomplekt [20].

Jetson TX2 arenduskomplekt annab kiire ja lihtsa viisi kuidas riistvara ja tarkvara arendada Jetson TX2 tehisintellekti (AI) arvutiseadme moodulil. See paljastab arendusplaadi riistvaralised võimalused ja liidesed, tuleb koos disainijuhiste ja muu dokumentatsiooniga ning sellele on eelnevalt lisatud Linux arenduskeskkond [21], milleks on Ubuntu 18.04.

Jetsoni arendamiseks on loodud tootja poolt ka vajalik tarkvara, mida nimetatakse Nvidia JetPack'iks. *Jetpack SDK* ehk tarkvara arendamise komplekt sisaldab uuemat Linux draiveripaketti *Linux for Tegra (L4T)* koos Linux operatsioonisüsteemiga [22]. Nvidia L4T on Jetsoni arendusplaadi tugipakett, mis põhineb Ubuntu 18.04, kuhu kuulub Linux Kernel 4.9 algladaja, Nvidia draiverid, tarkvara üle kirjutamine (ing. k *flashing utilities*) ja näidisfailisüsteemi. [23] Antud projektis kasutatakse *Jetpack SDK* 4.4, mis sisaldab L4T 32.4.3 versiooni.

Antud töö autor kasutab sellest arenduskomplektist ainult Jetson TX2 moodulit. See ühendatakse algse arendusplaadi küljest lahti (vt. joonis 3) ning kasutatakse teist ning väiksemat trükkplaati (vt. joonis 4).



Joonis 3. Nvidia Jetson TX2 moodul lahti ühendatuna arendusplaadist.

### 3.2.1 Jetson TX2 moodul

Tehisintellekti ja visuaalse arvutamise kõige uuenduslikum tehnoloogia on krediitkaardi suurune arvutiseade. Selle väike vormitegur ja toiteümbris muudavad Jetson TX2 mooduli (vt. joonis 4) ideaalseks intelligentsete servaseadmete jaoks nagu näiteks robotid, dronid, nutikaamerad ja kaasaskantavad meditsiiniseadmed. [24]



Joonis 4. Nvidia Jetson TX2 moodul [25].

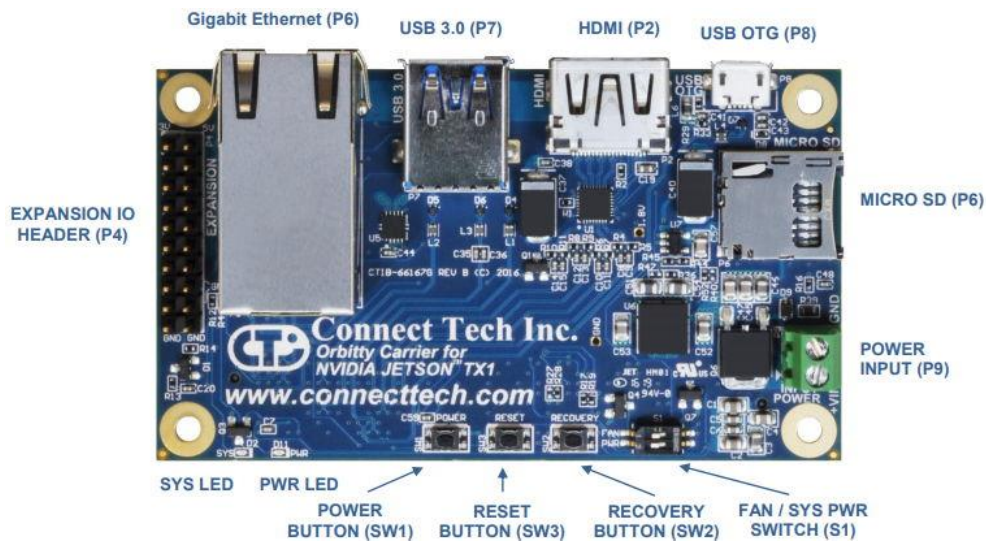
Jetson TX2 on kiireim ja energiatõhusaim sisseehitatud tehisintellekti arvutiseade. See moodulil olev 7.5W superarvuti toob tõelise tehisintellekti servaseadmetele. Seade on ehitatud Nvidia Pascal perekonna GPU ümber ning talle on antud 8 GB muutmälu ja 59,7 GB/s mälu ribalaiusega. Tootel on mitmesugused standardsed riistvaraliidesed, mis hõlbustavad selle integreerimist paljudesse toodetesse ja vormifaktoritesse. [26]

Jetson TX2 moodul integreerub:

- 256 tuumaga Nvidia Pascal GPU ehk graafika-protsessor.  
GPU toetab kõiki samu funktsioone nagu diskreetsed Nvidia GPU-d, sealhulgas ulatuslikud arvutusliidesed, CUDA ning teegid. Suure võimsusega optimeeritud, et manustatud kasutusjuhtumite puhul saavutada parim jõudlus.
- ARMv8 (64-bitiline) mitme protsessori keskseadme ehk keskprotsessori kompleks.  
Denver 2 (kahetuumaline) protsessori klaster on optimeeritud suurema üheahelalise jõudluse jaoks; ARM Cortex-A57 MPCore (neljatuumalised) protsessori klastrid sobivad paremini mitmelõimeliste rakenduste ja kergemate koormuste jaoks.
- Täiustatud kõrglahutusega video kooder.  
4K üliterava eraldusvõimega video salvestamine kiirusega 60 kaadrit sekundis. Toetab kodeeringuid H.265 ja H.264 BP / MP / HP / MVC, VP9 ja VP8.
- Täiustatud kõrglahutusega video dekodeer.  
4K üliterava eraldusvõimega video taasesituskiirusega 60 kaadrit sekundis kuni 12-bitiste pikslitega. Toetab videostandardeid H.265, H.264, VP9, VP8 VC-1, MPEG-2 ja MPEG-4 [27].
- 8GB 128 bitiline LPDDR4 muutmälu kiirusega 59,7 GB/s.
- 32GB eMMC 5.1 mäluandja [26]. Mõiste eMMC tähistab lühendit “*embedded Multi-Media Card*” ehk integreeritud multimeedia kaart, mis koosneb nii väikmälest kui ka samasse räni pooljuhtplaati (ing. k. *silicon die*) integreeritud väikmälu kontrolleri [28].

### 3.3 CTI Orbitty Carrier

Connect Tech'i Orbitty kandja Nvidia® Jetson™ TX2, TX2i 4 gigabait, TX2i ja Jetson™ TX1 jaoks on loodud sobituma mooduli Nvidia Jetson TX2 / TX2i / TX1 vormiga. Orbitty sisaldab (vt. joonis 5) järgmisi sisendväljundporte: 1x USB 3.0, 1x USB 2.0 OTG, 1x HDMI, 1x Gigabaidi Ethernet, 1x microSD, 2x 3,3V UART, I2C ja 4x GPIO. [29]



Joonis 5. Orbitty Carrier [30].

Trükkplaadi soovitatav sisendvõimsus peaks jääma +9V ja +14V vahemikku. Kuvari ehk ekraaniga saab ühendada HDMI pordi abil, mis toetab kuni UHD 4K 2160p 60Hz juures. [29]

### 3.4 Pyparrot

Töös kasutatakse drooni ühendamiseks ja piltide salvestamiseks pythoni liidest Parroti droonidele nimega Pyparrot. Pyparrot on loodud eesmärgiks programmeerida Parrot Mambo ja Bebop 2 droone [31].

Töös kasutatavad näidiskoodid:

- demoBebopVision.py - lülitab kaamera sisse, teeb pilte ning salvestab need eraldi kausta [32],
- demoBebopIndoors.py - paneb drooni propellerid tööle ja droon tõuseb teatud kõrgusele õhku ning maandub [33],
- demoBebopDirectFlight.py - liigutab drooni erinevates suundades [34].

### 3.5 Näotuvastuse algoritm

Töös kasutatakse *Haar Cascades* klassifikaatoreid [35] ja süvaõpet näotuvastamiseks ning selle tehnikat sügav meetrilist õppimist. Näotuvastuseks oli kasutusel lisa teegid, milleks olid *dlib*, *face\_recognition* ja *imutils*.

- *Dlib* - töövahend, mis sisaldab masinõppe algoritme ja tööriistu keeruka tarkvara loomiseks [36].

- *Face\_recognition* teek on ülesehitatud toetudes *dlib* teegile, mille abil saab tuvastada ja manipuleerida inimeste nägusid pythoni abil [37].
- *Imutils* on funktsioonide komplekt, mis muudavad põhilised pilditöötlusfunktsioonid nagu tõlkimine, pööramine, suuruse muutmine, skelettimine ja Matplotlib-piltide kuvamine OpenCV ning nii Python 2.7 kui ka Python 3 abil [38].

Kõige levinum viis, kuidas näotuvastust tehakse, on võrgu koolitamisega. Võetakse vastu üks sisendkujund ning väljastatakse pildi klassifikatsioon ehk kujutised kategoriseeritakse arvuliste omaduste põhjal. Süvameetriline õppimine erineb eelnevast meetodist selle poolest, et kui välja anda üks klassifikatsioon (või isegi pildil olevate objektide koordinaadid / piirikast), siis väljastatakse hoopis reaalselt hinnatud tunnusvektor. *Dlib* näotuvastusvõrgu puhul on väljundfunktsiooni vektoriks 128-d, mis tähendab 128 reaalselt hinnatud numbriline loend, mida kasutatakse näo kvantifitseerimiseks. Neurovõrkude koolitamine käib aga kolmikute abil, kus kasutatakse kolme unikaalset pilti, millest kaks on samad inimesed ning kolmas on erinev. Iga pildi põhjal genereeritakse 128-d vektor. Sama inimese kahe näokujutise jaoks muudetakse neurovõrgu kaalu (ing. k. *weights*), et muuta vektor kaugusmõõdiku kaudu lähemaks. Seejärel saab klassifitseerimise käigus lõpliku näo klassifikatsiooni koostamiseks kasutada lihtsat k-NN (*k-Nearest Neighbors*) mudelit [39]. K-NN töötab nii, et leiab päringu ja kõigi andmete näidete vahemaad, valides päringule kõige lähemal toodud arvnäited (K), seejärel valib kõige sagedasema sildi (klassifitseerimise korral) või keskmistab sildid (regressiooni korral). [40]

### 3.6 SSH

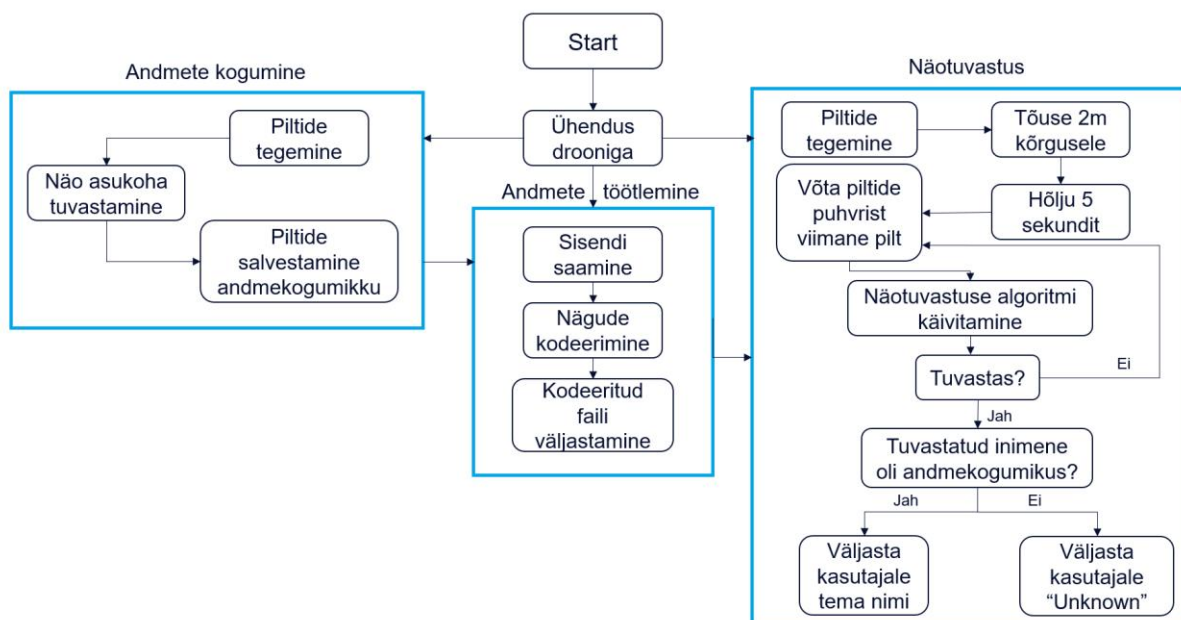
SSH ehk *Secure Shell* on võrgusideprotokoll, mis võimaldab kahel arvutil suhelda ja andmeid jagada. SSH omaseks tunnusjooneks on see, et kahe arvuti vaheline suhtlus on krüpteeritud, mis tähendab, et see sobib kasutamiseks ebaturvalistes võrkudes. SSH-d kasutatakse sageli kaugarvutisse sisselogimiseks ja toimingute tegemiseks, kuid seda võib kasutada ka andmete edastamiseks [41]. Räsifunktsiooniks oli SHA-256. Räsifunktsioon on deterministlik algoritm, mis saab sisendiks suvalise hulga andmeid ning mille väljund on alati ühepikkune. Töös kasutati RSA krüptoskeemi, mis põhineb siis sellel, et suurte täisarvude tagurdamine on raske [42]. Genereeritud võtme pikkus oli bittides 2048 ning võtmeid on kahte tüüpi, avalik ja salajane võti.

## 4. Süsteemi seadistamine

Käesolevas peatükis saab ülevaate süsteemi seadistamisest, mis lõpeb seadme testimisega.

### 4.1 Drooni ja näotuvastusega töötava süsteemi struktuur

Antud lahenduses alustatakse riistvara seadistamisega, kus liigutakse edasi tarkvara kohandamisele vastavalt vajadustele. Edasi kontrollitakse, kas riistvara ja tarkvara ühildumise tulemusena hakkab seade tööle. Töö esimeses pooles tegutses juhendi [43] alusel riistvara kui ka tarkvara seadistamiseks. Lisaks kasutati ka teist instruksiooni [44], kus oli kirjas, milliseid tarkvaralisi samme tuleb järgida, et seade tööle hakkaks. Tervikliku süsteemi lihtsustamiseks on lisatud alljärgnev blokk diagramm (vt. joonis 6).



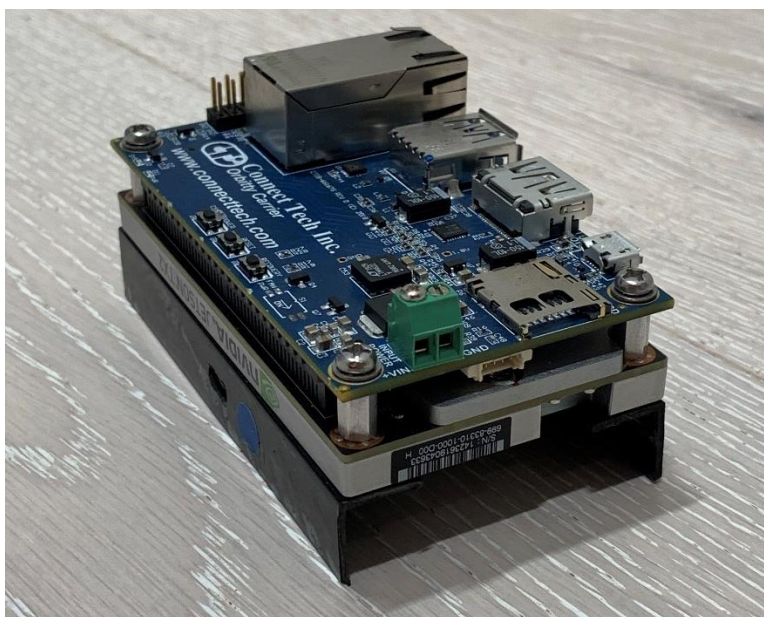
Joonis 6. Terviklik drooni ja seadme vahelise suhtluse blokk diagramm.

### 4.2 Riistvara seadistamine

Projekti esimeseks eesmärgiks on riistvaralised komponendid valmis seada ning need omavahel kokku monteerida. Vajalikud seadmed on Parrot Bebop 2 droon, Nvidia Jetson TX2 arenduskomplekt ja CTI Orbitty Carrier trükkplaati.

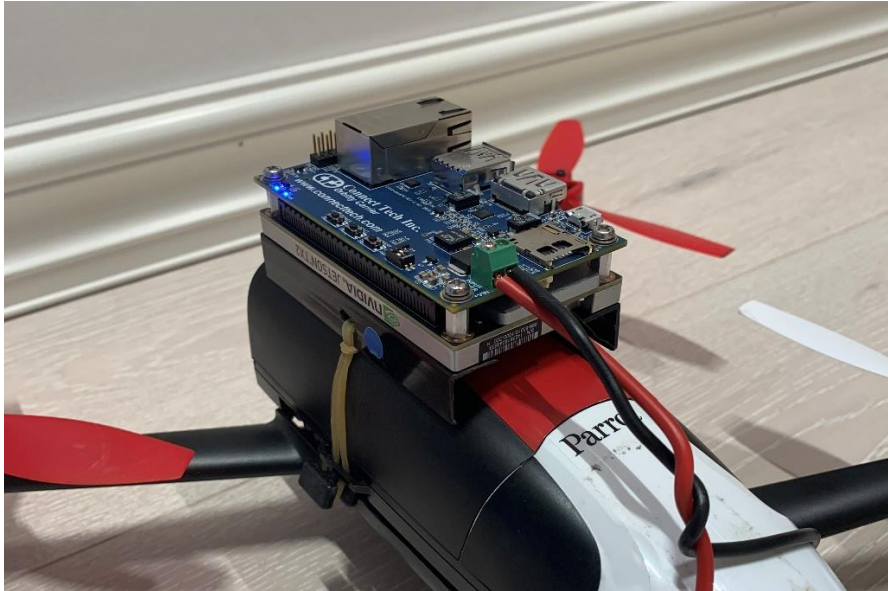
Esmalt on vaja Nvidia Jetson TX2 ja Orbitty kandjale toidet saada. Selleks eemaldatakse droonilt propellerid ja aku. Peale seda võetakse maha Parrot Bebop 2 kaamera kate ning tuleb lahti keerata kolm kruvi, mis hoiab GPS + kompassi moodulit paigal. Toitejuhtmed joodetakse aku klemmide külge.

Kuna Nvidia Jetson TX2 arenduskomplekt on liiga suur drooni külge monteerimiseks, siis kasutatakse Connect Tech Orbitty Carrier trükkplaati, mis on Jetson TX2 mooduliga sama suur. Neid komponente omavahel ühendades (vt lisa 1) tekib terviklik arvutiseade (vt joonis 7).



Joonis 7. Nvidia Jetson TX2 ja Orbitty Carrier omavahel ühendatud

Arvutiseadme paigaldust Parrot Bebop 2 külge näeb lähemalt vaadates lisa 2. Samuti leidis autor lahenduse, kuidas seadeldis droonile paigaldada nii, et see oleks turvaline ning aku tühjenemisel saaks toiteseadet kergesti vahetada (vt. joonis 8).



Joonis 8. Turvaline seadme kinnitussüsteem droonil.

Arvutiseadmega tuleb ühendada HDMI kaabel, klaviatuur ning hiir. CTI Orbitty kandjal on USB OTG (On-the-go) port, mida antud töös kasutatakse seadme ja peaarvuti omavahelise ühenduse loomiseks vastava kaabli abil.

Riistvara üles seadmine võtab autoril aega umbes kaheksa tundi. Sinna sisse võib arvestada vajalike tööriistade leidmise, drooni lahti võtmise, Jetson TX2 demonteerimise, kaablite vedamise ja jootmise ning kogu süsteemi kokku panemise ning ühendamise.

### 4.3 Tarkvara seadistamine

Tarkvara seadistamiseks on vaja Lenovo Legion Y720 sülearvutit, millele *Dual-Bootiti* ehk lisati kõvaketale, olemasolevale Windowsi operatsioonisüsteemile, ka kõrvale jooksuma Linuxi operatsioonisüsteemi Ubuntu 18.04.

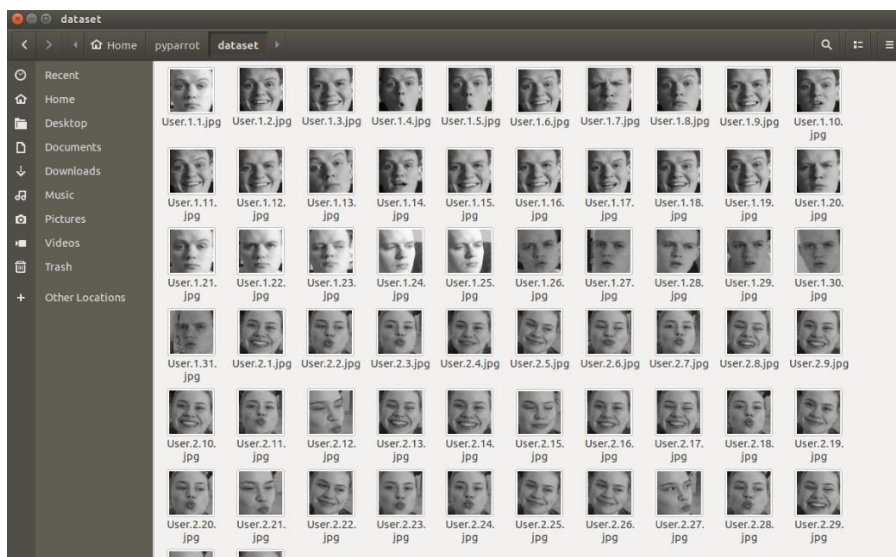
Tarkvara seadistamiseks kasutati *CTI-L4T Board Support Package Installation for NVIDIA JetPack with Connect Tech Jetson™ Carriers* [44]. Seda järgides tuleb muuta ainult sihtriistvara valik Jetson TX2-ks. Kuna kasutatakse JetPack 4.4, siis tuleb võtta ka vastav plaadi tugipakett (BSP), milleks on TX2 L4T r32.4.3 BSP [45]. Instruktsiooni lõpus tuleb seade uue tarkvaraga üle kirjutada (ing. k. *flashing*) ja peale seda saab arvutiseadet kasutama hakata. Esimest korda seadme käima panemisel tehakse ära ka vajalikud uuendused, et valitud operatsioonisüsteem käiks ajaga kaasas.

Järgnevalt installeeritakse Pyparrot liides koos vajaliku tarkvaraga [46] ning teegid opencv ja ffmpeg (vt lisa 3), mille abil saab näha ja töödelda drooni pilti.

Antud töö autor kasutas turvalist andmeedastusprotokolli SSH, et saada ligi droonil olevasse seadmesse ilma, et peaks ekraani ning mitmeid juhtmeid sellega ühendama. Tarkvara seadistamisele kulus kokku 50-60 tundi.

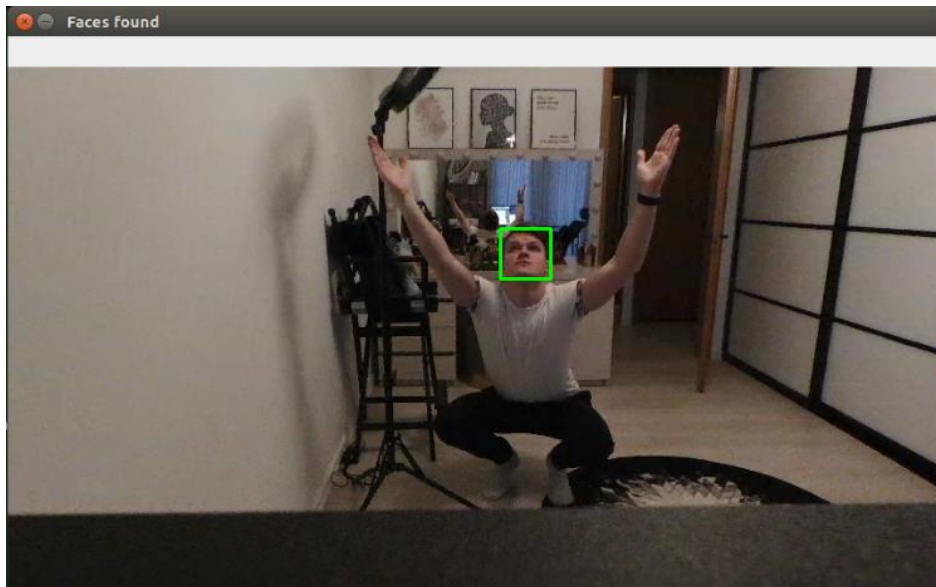
#### 4.4 Seadme testimine

Esmalt testisin siseruumides. Drooni sisselülitamisel käivitatakse kood, mille eesmärk on koguda inimesest erinevaid pilte. Selle põhjal moodustatakse andmekogum (vt joonis 9), kus on jäädvustatud teatud inimeste pildid, keda tahetakse tuvastada.



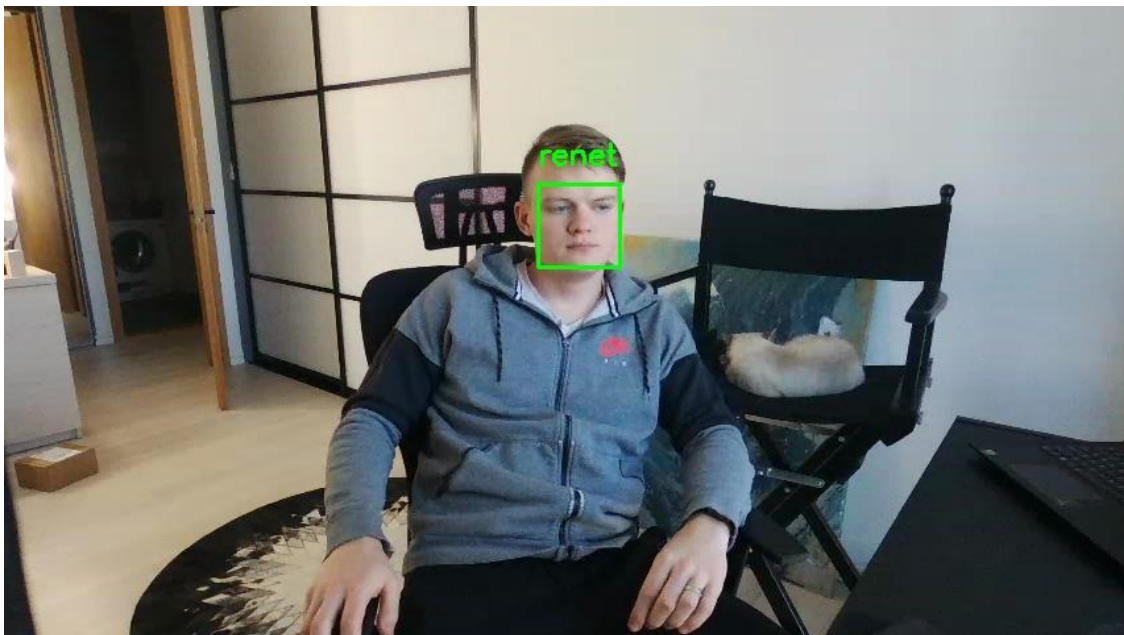
Joonis 9. Andmekogumi sisu.

Järgmiseks sammuks on käivitada teine kood, mis kodeerib andmekogumi sisu ning väljastab tuvastatud andmed järgmisesse faili. Kolmandaks ning viimaseks sammuks on näotuvastus. Koodi abil hakkab droon pilte tegema ning eraldi kausta panema ja samal ajal toimub ka näotuvastus, kus võetakse sisendiks need samad pildid ning tuvastatakse, kas inimene on pildil või mitte. Esimeseks läbimurdeks tuvastati autori näo asukoht (vt joonis 10).



Joonis 10. Näotuvastuse katsetamine.

Näotuvastust prooviti tööle saada *Real-Time Face Recognition: An End-To-End Project* õpetuse järgi [35], kus kasutatakse *Haar Cascades* klassifikaatorit. Selles õpetuse välja toodud lahenduses toimub ka andmete kogumine, kuid erinevalt töös olevas meetodis kasutatakse siin andmete töötlemiseks tuvastaja treenimist. Kuna see moodus osutus ebatäpseks, siis võeti kasutusele teine, kuid aega nõudvam lahendus, mis hõlmab süvaõpet nii näotuvastuse kui ka piltide kodeerimise osas. Antud töös neurovõrku ei treenita, sest seda on juba tehtud ~ kolme miljoni pildiga andmekogumi 128-d manuste loomiseks. Ettetreenitud võrgu eeliseks on see, et seda on lihtsam rakendada. Näotuvastusel kasutati k-NN ehk *Nearest Neighbour* ehk lähimate naabrite algoritm ja klassifikatsioonimeetodit. Näotuvastus on täpsem ning tuvastatakse etteantud pildilt inimene (vt joonis 11).



Joonis 11. Pildilt tuvastati etteantud inimene.

Järgnevalt testitakse drooni ja arvutiseadme koostööd välitingimustes, kus näotuvastuses kasutatakse viimati testitud siseruumide tehnoloogiat, kuid eelnevale lahendusele lisatakse juurde ka drooni lendamine. Kui kood käivitatakse, sai droon impulsi pilte tegema hakata ning lendu tõusta. Seadeldis tõuseb umbes kahe meetri kõrgusele maapinnast ning teeb samal ajal pilte. Droon lendab koha peal viis sekundit ja peale seda hakkab näotuvastus peale. Läbi SSH ühenduse annab seade autorile teada, kas keegi on pildi peal. Kui see inimene on andmekogumikus, siis ilmub tema nimi terminali ekraanile. Peale seda maandus droon ohutult ning ühendus drooniga katkestati. Iga koodi käivitamisel salvestati video reaalsajas droonile ning pildid arvutiseadmepoolsele kaustadesse.

Kogu süsteemi plussiks on see, et arvutiseade liigub drooniga kogu aeg kaasa ning saab ka sealt voolu. Selleks, et drooni juhtimiseks mõeldud autonoomset koodi jooksutada on vaja järjepidavat WiFi ühendust ning kui see katkeb, siis ka autonoomsus lõppeb ja droon võib õhust alla kukkuda.

Seadme testimise käigus tehti ka erinevad arvutused näotuvastuse tõenäosuse selgitamiseks olenevalt kaugusest drooni ja inimese vahel. Iga meetri pealt tehti 3 katset ning iga katsega tehti 10 pilti, millest siis inimesi tuvastati. Süsteemi testimiseks kulus aega 40 tundi.

## 5. Tulemused ja analüüs

Tulemustes lähtus autor eesmärgi välja selgitamiseks koostatud hindamiskriteeriumitest.

### 5.1 Riistvara ja tarkvara seadistamise keerukus

Autori hinnang riistvara ja tarkvara seadistamisele töös kasutatud lahendusele.

#### 5.1.1 Riistvara

Riistvara valmis seadmisel järgiti *Parrot Bebop2 setup with NVIDIA JETSON TX2* juhendit [43] ja kuna see oli päris põhjalik, siis kõik töö edenes ladusalt. Töös kasutati *Jetson TX2 Developer Kit* (vt. joonis 2), kuna tellimise ajahetkel oli see kõige mõistlikuma hinna ja kvaliteedi suhtega. Praeguse seisuga on see arenduskomplekt jõudnud oma elu lõppu (EOL) [47] ehk täpselt seda sama toodet enam juurde ei toodeta. Autor teadis, kuidas seadmeid ühendada ning elektroonikat käsitleda ning riistvara ülesseadmine kulges selle arvelt kiiremini ja komplikatsioonideta.

#### 5.1.2 Tarkvara

Tarkvara seadistamisel selgus, et tuleks drooni tarkvara muuta, sest versioonides 4.1+ esineb probleeme õhku tõusmisega, kuid tegelikult neid probleeme ei tuvastatud ning droonile sai installeeritud kõige uuem versioon 4.7.1. Järgnevalt kasutati Jetson TX2 jaoks Ubuntu 16.04-L4T ja soovitatav oli installeerida põhivarvutile ka Ubuntu 16.04 operatsioonisüsteem. Selle tulemusena ei töötanud korralikult paljud lisad, programmid ja liidesed. Põhivarvutilt kustutati vana Ubuntu ning installiti Ubuntu 18.04 ning peale seda tehti sama ka teisele seadmele. Installimisel kasutati *CTI-L4T Board Support Package Installation for NVIDIA JetPack with Connect Tech Jetson Carriers* juhendit [44]. Kuna varem oli seadet *flashitud*, siis läks see tegevus teise korraga kiiremini kui eelnevalt. Peale seda kadusid ära vead, mis enne töö tegemist takistasid.

## 5.2 Seadme testimine

Teiseks analüüsiti seadme testimise tulemusi. Drooni ja arvutiseadme ühendamine läbi WiFi võrgu ei osutunud väga raskeks, kuna pyparroti näidisprogramm demoBebopVision.py tegigi täpselt seda sama ning vajalikud liidesed olid enne installeeritud ning probleeme ei tekkinud. Autori hinnangul drooni lennutamisega ei olnud probleemi. Seade lendas ning tegi seda, mida autor oli kirjutanud.

Süvaõppe kasutamine piltide töötlemisel ja näotuvastamisel parandas tulemusi märgatavalt võrreldes *Haar Cascades* klassifikaatoritega. Tulemuste täpsuste tõusu arvelt kaotati aga väärtuslikku aega tuvastamise ja töötlemise peale. Protsessi resultaadi arvutamiseks tehti iga meetri pealt kolm katset ning prooviti teatud vahemaa tagant tuvastada ära inimese nägu. Iga katse koosnes kümne pildi tuvastamisest, ehk kokku tehti iga meetri tagant 30 pilti. Tulemused on välja toodud tabelist Tabel 1.

Tabel 1. Drooni näotuvastuse katsetulemused sõltuvalt inimese ja drooni vahelisest kaugusest.

<b>Kaugus inimesest</b> <b>(m)</b>	<b>Kõrgus maapinnast</b> <b>(m)</b>	<b>Edukad/Kõik</b> <b>katsed</b>	<b>Tõenäosus</b> <b>(%)</b>
1	2	30/30	100
2	2	30/30	100
3	2	30/30	100
4	2	5/30	17
5	2	0/30	0

Tulemustest selgus, et droon tuvastab inimese nägu kuni kolme meetrini 100% ning peale seda tuvastuse tõenäosus hakkab kahanema. Nelja meetri pealt näo tuvastuse tõenäosuseks oli 17%. Viie meetri pealt ning edasi, ei suutnud droon inimese nägu enam ära tuvastada.

Lisaks katsetati seadme töövõimet kolme inimesega, kus kasutati eelnevat lahendust, kuid nendest kaks inimest olid andmekogumis olemas ning ühte polnud. Katse käigus tuvastati kaks inimest ning kolmas inimene oli “Unknown” ehk tundmatu, sest tema näo pilti polnud andmekogumis. Ka mitme inimesega suutis seade kolme meetri raadiuses ja kahe meetri kõrguselt ära tuvastada inimese näo.

Katsetulemustest selgus, et vastav seadeldis vajab veel edasi arendamist autonoomsuse poole pealt. Seadme testimisel selgus, et tarkvara arenduses oli vajaka jäämist just erinevate käskluste

kirjutamisel, et seadeldis suudaks oma ümbritsevas keskkonnas lennata. Kuna täpne näotuvastamine võtab aega, siis probleemiks kujunes aeglane tuvastus. Kasutades *Haar Cascades* klassifikaatoreid oli näotuvastus pool sekundit kiirem võrreldes k-NN algoritmiga, kuid tuvastas ainult poole meetri kauguselt inimese nägu. K-NN ehk lähimate naabrite algoritmi kiirus oli aeglasem, kuid tuvastas ära inimese näo kuni ühe meetri pealt.

### **5.2.1 Tehnilised tingimused**

Siseruumides testimisel tuli arvestada ruumi kõrgusega, milleks oli vähemalt kolm meetrit, sest etteantud isiku ära tundmiseks kasutatud koodi tulemusena vajab seade rohkem ruumi. Ruumis lendamiseks tuli arvestada seinte ja drooni vahelist kaugust, sest UAV tiivikud tekitavad korrapäratut õhuliikumist, mis mõjutab seadme lendu.

Välitingimuste katsete tegemisel oli segavaks faktoriks tuule kiirus (10m/s), mis mõjutas drooni püsimist etteantud kõrgusel. Seadet testiti perioodil 01.03.2021-18.05.2021, päevasel ajal (08.00 – 19.00), kuna valguse puudumine on probleemiks näotuvastusel.

## **5.3 Analüüs**

Käesoleva lõputöö käigus valmis drooni ja näotuvastusega töötav süsteem, mis tuvastas, kas etteantud isik on seadme vaateväljas.

Esiteks taheti teada saada, milline on riistvara ja tarkvara seadistamise keerukus. Autor leidis, et õpitud oskusteabega on võimalik riistvara komplekteerida vastavalt vajadusele. Tarkvara seadistamine võrreldes riistvaraga oli problemaatilisem. Ilma koodi lugemis- ja kirjutamisoskuseta seadeldist tööle panna ei ole võimalik, seega vajab toode lisaseadistamist ning arendamist, millest omakorda sõltus ka terviklik töötav süsteem.

Teiseks testiti seadet lõpptulemuste saavutamiseks. Oluline oli arvestada drooni lennutamisel vajalike tingimustega. Siseruumides tuli arvestada kõrgusega laest, kaugusega seintest välitingimustes tuule suunaga, et seade kahjustada ei saaks. Seadme testimisel toimus droon nii nagu autor oli juhised andnud, millest saab järeldada, et etteantud koodid vastasid tegevustele. Näotuvastuses aga selgus, et süsteemi kiiremaks muutes tekkivad ebatäpsused isiku leidmisel.

Lisaks selgus, et kauguste suurenedes mõõtmistulemuste täpsus vähenes. See võib olla pildi kvaliteedi vähenemisest, mis on seotud drooni lendamisega.

## 6. Kokkuvõte

Mehitamata autonoomsete robotsüsteemide kasutamine on tekitanud probleemi, milline oskusteave peab olema inimesel, kes on suuteline valmistama universaalsete tööriistade ja tehniliste vahenditega seadeldise, mis õigustaks oma eesmärgi. Töö tegemiseks püstitas autor eesmärgi valmistada terviklik drooni ja näotuvastusega töötav süsteem, mille abil saaks kindlaks teha, kas etteantud isik on drooni vaateväljas.

Praktilise töö tulemusena valmis Parrot Bebop 2 drooni ning Nvidia poolt toodetud arvutiseade süsteem. Seade koosneb Nvidia Jetson TX2 sisseehitatud arvutist ja CTI Orbitty Carrier trükkplaadist. Seadme töökorda seadmiseks kasutati Pyparroti liidest koos vajaliku tarkvaraga ning teke opencv ja ffmpeg, mille abil saab näha ja töödelda drooni pilti. Näotuvastuses oli kasutusel ette treenitud neurovõrk ja k-NN ehk *Nearest Neighbour* klassifikaator. Arvuti-seadmesse kaugsisselogimiseks kasutati turvalist andmeedastusprotokolli SSH.

Töö tulemustes selgus, et riistvara üles seadmine ei ole keeruline ning möödus komplikatsioonideta. Tarkvara seadistamisel kasutati droonil 4.7.1 versiooni, Jetson TX2 ja põhiarvuti operatsioonisüsteemiks oli Ubuntu 18.04. Seadet testiti nii sise- kui ka väliruumis. Seadme testimine toimus kolmes etapis, kus kasutati erinevaid koodi lahendusi: andmete kogumine, andmete tuvastamine ning näotuvastamine.

Antud töö tulemusena oli probleeme pildi töötlemise kiiruse ja kauguse osas. Näotuvastust kiiremaks muutes tekkisid ebatäpsused isiku leidmisel. Kauguse suurenedes ei leidnud seade otsitavat.

Kokkuvõtvalt saab öelda, et õpitud algoskusteabega on küll võimalik riistvara komplekteerida, kuid tarkvara seadistamine vajab tõsisemat pingutust. Seega annab valminud autonoomne seadeldis võimaluse tehtud tööga edasi minna.

## Kasutatud kirjandus

- [1] M. Volger, *Human detection and recognition in visual data from a swarm of unmanned aerial and ground vehicles through dynamic navigation*, Groningen: Groningeni Ülikool, 2015.
- [2] M. Sullivan, „Fast Company & Inc,“ Fast Company, 22 veebruar 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.fastcompany.com/90606400/facial-recognition-drone-patent-anyvision>. [Kasutatud 30 aprill 2021].
- [3] F. Greenwood, „Can a Police Drone Recognize Your Face?,“ The Slate Group LLC., 8 juuli 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://slate.com/technology/2020/07/police-drone-facial-recognition.html>. [Kasutatud 4 mai 2021].
- [4] A. I. T. Ltd., „Adaptive positioning of drones for enhanced face recognition“. Ameerika Ühendriigid Patent 933,016, 4 veebruar 2021.
- [5] SZ DJI Technology Co., „DJI Store,“ SZ DJI Technology Co., 1 mai 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://store.dji.com/ee/shop/tello-series>. [Kasutatud 1 mai 2021].
- [6] A. Bajpai, „Autonomous-Drone-based-on-Facial-Recognition-and-Tracking,“ GitHub, Inc., 20 oktoober 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://github.com/Akbonline/Autonomous-Drone-based-on-Facial-Recognition-and-Tracking>. [Kasutatud 30 aprill 2021].
- [7] J. M. Pérez, „Face Detection and Tracking with Dji Tello drone,“ GitHub, Inc., 31 oktoober 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://github.com/juanmapf97/Tello-Face-Recognition>. [Kasutatud 30 aprill 2021].
- [8] C. Sampaio ja E. Fielding, „Drone Facerec,“ GitHub, Inc., 10 märts 2020. [Võrgumaterjal]. Available: [https://github.com/cleuton/drone-facerec/blob/master/english\\_version.md](https://github.com/cleuton/drone-facerec/blob/master/english_version.md). [Kasutatud 30 aprill 2021].
- [9] Nordic Drones, „Nordic Drones Products,“ Nordic Drones, 12 veebruar 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://nordicdrones.fi/en/products/>. [Kasutatud 18 mai 2021].
- [10] Skyeton, „SOLUTION FOR COMMERCIAL APPLICATIONS,“ Skyeton, 7 mai 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://skyeton.com/commercial>. [Kasutatud 18 mai 2021].
- [11] Threed Systems, „Estonian Defense Forces use Stream C UAV to monitor the Latvian border,“ Threed Systems, 30 november 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://threed.com/news/estonian-defense-forces-use-stream-c-uav-to-monitor-the-latvian-border/>. [Kasutatud 18 mai 2021].
- [12] Threed Systems, „Threed performed surveillance flights to detect emergency state violations in cooperation with Police and Estonian Academy of Security Sciences,“ Threed Systems, 13 mai 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://threed.com/news/surveillance-flights-to-detect-emergency-state-violations/>. [Kasutatud 18 mai 2021].
- [13] Threed Systems, „EOS C VTOL,“ Threed Systems, 11 november 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://threed.com/wp-content/uploads/2020/06/EOS-C-VTOL-UAS-datasheet.pdf>. [Kasutatud mai 18 2021].
- [14] B & H Foto & Electronics Corp., „Parrot BeBop 2 Drone with 14 Megapixel Flight Camera (Red),“ B & H Foto & Electronics Corp., 8 märts 2021. [Võrgumaterjal].

- Available: [https://www.bhphotovideo.com/c/product/1206693-REG/parrot\\_pf726000\\_bebop\\_drone\\_2\\_with.html/overview](https://www.bhphotovideo.com/c/product/1206693-REG/parrot_pf726000_bebop_drone_2_with.html/overview). [Kasutatud 8 märts 2021].
- [15] Arvutitark OÜ, „Parrot Bebop Drone 2 valge,“ Arvutitark OÜ, 8 mai 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://arvutitark.ee/est/tootekataloog/SERVERID/Parrot-Bebop-Drone-2-valge-207531>. [Kasutatud 8 mai 2021].
- [16] Paparazziuav, „Bebop,“ Paparazziuav, 4 sseptember 2020. [Võrgumaterjal]. Available: [https://wiki.paparazziuav.org/wiki/Bebop#Bebop\\_2](https://wiki.paparazziuav.org/wiki/Bebop#Bebop_2). [Kasutatud 19 mai 2021].
- [17] S. Kitt, „What does “SMP PREEMPT RT” mean in `uname -a`?,“ Stack Exchange Inc, 9 juuni 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://unix.stackexchange.com/questions/591760/what-does-smp-preempt-rt-mean-in-uname-a?fbclid=IwAR1FDZMo7hAAP4k3t-uTEyt2qFQL2P786XwwdNsuJ2kMkmNDCnuO3XIizmE>. [Kasutatud 19 mai 2021].
- [18] B & H Foto & Electronics Corp., „Parrot BeBop 2 Drone with 14 Megapixel Flight Camera (Red),“ B & H Foto & Electronics Corp., 8 märts 2021. [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.bhphotovideo.com/c/product/1206693-REG/parrot\\_pf726000\\_bebop\\_drone\\_2\\_with.html/specs](https://www.bhphotovideo.com/c/product/1206693-REG/parrot_pf726000_bebop_drone_2_with.html/specs). [Kasutatud 8 märts 2021].
- [19] NVIDIA Corporation, „Jetson Developer Kits,“ NVIDIA Corporation, 5 märts 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-developer-kits>. [Kasutatud 5 märts 2021].
- [20] D. Franklin, „NVIDIA Jetson TX2 Delivers Twice the Intelligence to the Edge,“ NVIDIA Corporation, 7 märts 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <https://developer.nvidia.com/blog/jetson-tx2-delivers-twice-intelligence-edge/>. [Kasutatud 4 märts 2021].
- [21] NVIDIA Corporation, „Harness AI at the Edge with the Jetson TX2 Developer Kit,“ NVIDIA Corporation, märts 6 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-tx2-developer-kit#resources>. [Kasutatud 6 märts 2021].
- [22] NVIDIA Corporation, „Jetson Software,“ NVIDIA Corporation, 6 märts 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://developer.nvidia.com/embedded/develop/software>. [Kasutatud 6 märts 2021].
- [23] NVIDIA Corporation, „L4T,“ NVIDIA Corporation, 6 märts 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://developer.nvidia.com/embedded/linux-tegra>. [Kasutatud 6 märts 2021].
- [24] NVIDIA Corporation, „NVIDIA® JETSON™ TX2 SUPERCOMPUTER ON A MODULE FOR AI AT THE EDGE,“ NVIDIA Corporation, 6 märts 2021. [Võrgumaterjal]. Available: [https://static6.arrow.com/aropdfconversion/84bd6c01a442554ac95f1ee837cb467b097aceb8/387675\\_embedded\\_ds\\_jetson\\_tx2\\_module\\_us\\_hr.pdf](https://static6.arrow.com/aropdfconversion/84bd6c01a442554ac95f1ee837cb467b097aceb8/387675_embedded_ds_jetson_tx2_module_us_hr.pdf). [Kasutatud 6 märts 2021].
- [25] Auvideo GmbH, „NVIDIA® Jetson TX2 CVM 8GB Modul,“ Auvideo GmbH, 9 jaanuar 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://auvideo.eu/product/29053/>. [Kasutatud 5 märts 2021].

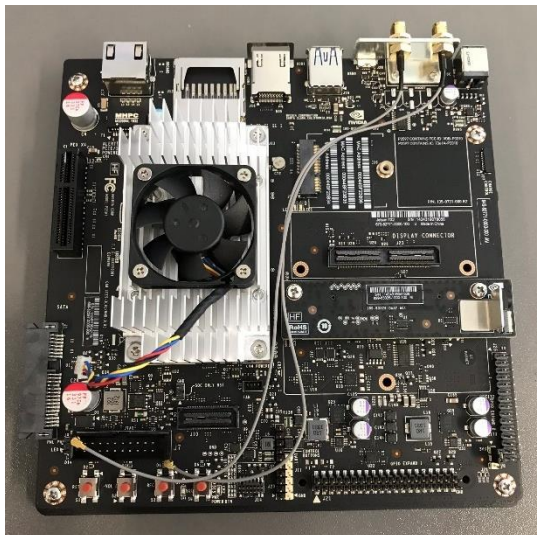
- [26] NVIDIA Corporation, „Jetson TX2 Module,“ NVIDIA Corporation, 4 märts 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-tx2>. [Kasutatud 4 märts 2021].
- [27] NVIDIA Corporation, „NVIDIA Jetson TX2 System-on-Module,“ 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <https://download.kamami.pl/p569306-DATA%20SHEET%20-%20NVIDIA%20Jetson%20TX2%20System-on-Module.pdf>. [Kasutatud 7 märts 2021].
- [28] Datalight Inc, „What is eMMC?,“ Datalight Inc, 7 märts 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.datalight.com/solutions/technologies/emmc/what-is-emmc>. [Kasutatud 7 märts 2021].
- [29] Connect Tech Inc., „Orbitty Carrier for NVIDIA® Jetson™ TX2/TX2i,“ Connect Tech Inc., 5 märts 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://connecttech.com/product/orbitty-carrier-for-nvidia-jetson-tx2-tx1/>. [Kasutatud 9 märts 2021].
- [30] Connect Tech Inc., „Orbitty Carrier for NVIDIA® Jetson™ TX2/TX2i/TX1 Users Guide,“ 17 aprill 2019. [Võrgumaterjal]. Available: [https://connecttech.com/ftp/pdf/CTIM-ASG003\\_Manual.pdf](https://connecttech.com/ftp/pdf/CTIM-ASG003_Manual.pdf). [Kasutatud 9 märts 2021].
- [31] A. McGovern, „pyparrot,“ GitHub, Inc., 6 jaanuar 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://github.com/amymcgovern/pyparrot>. [Kasutatud 8 mai 2021].
- [32] A. McGovern, „demoBebopVision.py,“ GitHub, Inc., 5 jaanuar 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://github.com/amymcgovern/pyparrot/blob/master/examples/demoBebopVision.py>. [Kasutatud 9 mai 2021].
- [33] A. McGovern, „demoBebopIndoors.py,“ GitHub, Inc., 21 oktoober 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://github.com/amymcgovern/pyparrot/blob/master/examples/demoBebopIndoors.py>. [Kasutatud 9 mai 2021].
- [34] A. McGovern, „demoBebopDirectFlight.py,“ GitHub, Inc., 4 juuli 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://github.com/amymcgovern/pyparrot/blob/master/examples/demoBebopDirectFlight.py>. [Kasutatud 9 mai 2021].
- [35] M. Rovai, „Real-Time Face Recognition: An End-To-End Project,“ Towards Data Science Inc., 12 märts 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://towardsdatascience.com/real-time-face-recognition-an-end-to-end-project-b738bb0f7348>. [Kasutatud 11 mai 2021].
- [36] D. King, „Dlib c++ library,“ Boost Software License, 28 märts 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <http://dlib.net/>. [Kasutatud 11 mai 2021].
- [37] A. Geitgey, „Face Recognition,“ GitHub, Inc., 26 september 2020. [Võrgumaterjal]. Available: [https://github.com/ageitgey/face\\_recognition](https://github.com/ageitgey/face_recognition). [Kasutatud 11 mai 2021].
- [38] A. Rosebrock, „imutils,“ GitHub, Inc., 15 jaanuar 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://github.com/jrosebr1/imutils>. [Kasutatud 11 mai 2021].
- [39] A. Rosebrock, „Face recognition with OpenCV, Python, and deep learning,“ PyImageSearch, 18 juuni 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.pyimagesearch.com/2018/06/18/face-recognition-with-opencv-python-and-deep-learning/>. [Kasutatud 11 mai 2021].
- [40] O. Harrison, „Machine Learning Basics with the K-Nearest Neighbors Algorithm,“ Towards Data Science Inc., 10 september 2018. [Võrgumaterjal]. Available:

- <https://towardsdatascience.com/machine-learning-basics-with-the-k-nearest-neighbors-algorithm-6a6e71d01761>. [Kasutatud 11 mai 2021].
- [41] University College London, „What is SSH and how do I use it?“, University College London, 14 oktoober 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ucl.ac.uk/isd/what-ssh-and-how-do-i-use-it>. [Kasutatud mai 9 2021].
- [42] Tartu Ülikool, „Avaliku võtme krüptograafia“, Tartu Ülikool, 8 detsember 2015. [Võrgumaterjal]. Available: <https://courses.cs.ut.ee/2015/infsec/Et/PKI>. [Kasutatud 17 mai 2021].
- [43] C. D. Singh ja N. J. Sanket, „Parrot Bebop2 setup with NVIDIA JETSON TX2“, GitHub, Inc., 7 juuli 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://github.com/prgumd/Parrot-Bebop2-Setup>. [Kasutatud 2 mai 2021].
- [44] Connect Tech Inc. , „CTI-L4T Board Support Package Installation for NVIDIA JetPack with Connect Tech Jetson™ Carriers“, Connect Tech Inc. , 16 september 2020. [Võrgumaterjal]. Available: [https://connecttech.com/resource-center/kdb373/?fbclid=IwAR2bNvo8Sxa3AV78XjUDAIeALJh85sHvnVv8LWwR57pGuCKXhu\\_w1f0vVfc](https://connecttech.com/resource-center/kdb373/?fbclid=IwAR2bNvo8Sxa3AV78XjUDAIeALJh85sHvnVv8LWwR57pGuCKXhu_w1f0vVfc). [Kasutatud 2 mai 2021].
- [45] Connect Tech Inc., „L4T Board Support Packages“, Connect Tech Inc., 25 november 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://connecttech.com/resource-center/l4t-board-support-packages/>. [Kasutatud 2 mai 2021].
- [46] A. McGovern, „Installation“, 6 jaanuar 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://pyparrot.readthedocs.io/en/latest/installation.html>. [Kasutatud mai 8 2021].
- [47] NVIDIA Corporation, „EOL Notice for NVIDIA Jetson TX2 Developer Kit“, NVIDIA Corporation, 1 juuni 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://forums.developer.nvidia.com/t/eol-notice-for-nvidia-jetson-tx2-developer-kit/125752>. [Kasutatud 5 märts 2021].

## Lisad

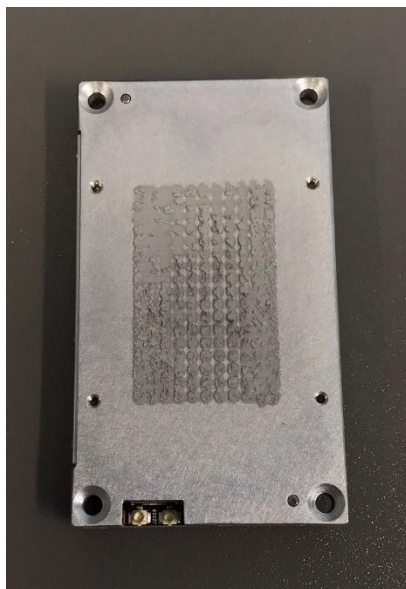
### Lisa 1. Juhend Jetson TX2 ja Orbitty kandja omavaheliseks ühendamiseks

- Eemalda Nvidia Jetson TX2 arenduskomplektist Jetson TX2 moodul
  - Keera lahti neli polti ning eemalda paar antenni juhet (vt joonis 13)



Joonis 12. Kasutusel olev Nvidia Jetson TX2 arenduskomplekt

- Võta moodul arenduskomplektist ära (vt joonis 3)
- Eemalda aktiivne jahutusradiaator (vt joonis 14)



Joonis 13. Nvidia Jetson TX2 jahutusradiaatorita.

- Orbitty kandja ja Jetson TX2 mooduli kokkupanek
  - Ühenda moodul ja kandja kasutades vahetükke seadmete vahel (vt joonis 15)



Joonis 14. Nvidia Jetson TX2 ning Orbitty kandja vahetükid.

- Tulemus (vt joonis 7)

## **Lisa 2. Juhend arvutiseadme ja Parrot Bebop 2 ühendamiseks**

- Ühenda droonil olevad toitekaablid arvutiseadmega
- Paigalda külgedele kaks plast detaili ja kinnita jahutusradiaatori keermesse
- Tee detailide külgedele augud
- Ühenda kummidega seadeldis drooni külge (vt joonis 8)

### Lisa 3. Juhend Pyparroti liidese installeerimiseks

Tarkvara installimiseks kasuta terminali käsuri

- Alusta pakettide loendi värskendamisega järgmise käsu abil
  - `sudo apt Update`
- Installeeri python3 (Python 3 on Ubuntu 18.04 kaasa installeeritud)
  - `sudo apt install python3-pip`
- Installeeri opencv ning ffmpeg
  - `sudo apt-get install python3-opencv`
  - `sudo apt install ffmpeg`
- Installeeri untangle, zeroconf
  - `pip3 install untangle`
  - `pip3 install zeroconf`
- Olles koodikaustas, tuleb sisestada käsud, et alla laadida Pyparrot
  - `git clone https://github.com/amymcgovern/pyparrot`
  - `cd pyparrot`
  - `pip3 install pyparrot`
- Lisaks kui vaja kasutada *Bluetooth*-i, siis tuleb sisestada järgnevad käsud
  - `sudo apt-get install bluetooth`
  - `sudo apt-get install bluez`
  - `sudo apt-get install python-bluez`
  - `sudo apt-get install python-pip libglib2.0-dev`
  - `sudo pip3 install bluepy`

## **Lihtlitsents**

### **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Renet Eres

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose

#### **“Inimeste tuvastamine droonile paigaldatud seadeldise abil“**

mille juhendajad on Professor Alvo Aabloo ja Professor Arun Kumar Singh, 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 3.0, 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.

*Renet Eres*

*20.05.2021*