



# **Robust mid-altitude long endurance position hold algorithm for tethered drones in GPS-denied envi- ronments**

Master's thesis

Student: Mikk Kruusalu  
Supervisor: Nazrul Nazeer,  
Mairo Leier  
Programme: Applied Physics  
and Data Science

Tallinn 2026



# Multirootordrooni GPS-vaba positsiooni hoidmise algoritmi arendus kauakestvale lennule keskmisel kõr- gusel

Magistritöö

Üliõpilane: Mikk Kruusalu

Juhendaja: Nazrul Nazeer,  
Mairo Leier

Õppekava: Rakendusfüüsika  
ja andmeteadus

Tallinn 2026

# Abstract

Tethered multirotor drones provide persistent aerial presence for communication, surveillance and sensing. Tethered drones are intended for stationary flight and can be used in environments where the Global Positioning System (GPS) is not available due to signal jamming. This raises the need for alternative localisation mechanisms for automatic position hold. The target drone provides an onboard camera, inertial measurement unit (IMU), barometer and a companion computer. This thesis explores the topic of visual inertial odometry (VIO) in general and develops an algorithm tailored specifically for the target use case and hardware. The state-of-the-art VIO models are designed for different objectives than the present use case, which is why a custom algorithm is developed.

The proposed model uses a loosely-coupled error-state Kalman filter to fuse inertial measurements with visual constraints and barometric altitude. The vision module outputs a pose estimate relative to the first camera frame. The scene is assumed to have a dominant ground plane in the view, which makes it possible to greatly simplify a general visual odometry method. This results in a model with stronger physical constraints, lower algorithmic complexity and reduced computational requirements. The proposed visual odometry method fits a homography to feature points with a robust RANSAC method. The decomposition of homography gives up-to-scale pose estimates. IMU provides high-frequency motion predictions, while barometer measurements connect the up-to-scale visual trajectory to metric scale.

The algorithm is implemented as a real-time software running on the drone's onboard computer. Performance of the method is evaluated on offline datasets by accuracy of trajectory estimation against RTK GPS. Comparing studies with similar scene structure shows that our algorithm's performance is comparable to a general state-of-the-art VIO method while having lower complexity. In addition, the software is run in real-time on the onboard computer to perform hover tests, where the autopilot uses the proposed model only for navigation. These tests show stable position hold performance on every tested altitude. However, it needs more validation in different environments, weather conditions and estimates of long-term drift.

# Annotatsioon

Toitekaabliga multirootordroone kasutatakse erinevates rakendustes, kus on pidev õhus püsimine vajalik side, seire ja sensor platvormi eesmärkidel. Selliseid rakendusi leidub ka keskkondades, kus globaalne positsioneerimissüsteem (GPS) ei ole usaldusväärne, näiteks signaali segamise tõttu. Seetõttu on tarvis alternatiivset meetodit drooni lokaliseerimiseks, et vähendada operaatori koormust positsiooni hoidmiseks. Platvorm, mida töös kasutatakse sisaldab kaamerat, inertsiiaalseid andureid (IMU), baromeetrit ja miniarvutit. Käesolevas töös uuritakse üldiseid visuaal-inertsiiaalseid odomeetria (VIO) lahendusi ning nende teadmiste baasil arendatakse algoritm, mis on kohandatud antud rakendusele ja riistvarale. Arutletakse ka olemasolevate VIO meetodite rakendamise üle antud olukorras, aga kuna kasutusjuhtumid on väga erinevad, siis on mõistlik uurida spetsiifilisemaid algoritme, mis vastavad paremini probleemi püstitusele.

Arendatud mudel kasutab nõrgalt seotud veaseisundi Kalmani filtrit, et ühendada mõõtmised inertsiiaalsetest anduritest, baromeetri ja visuaalsete vaatlustega. Kaamera pildi töötlemiseks on eraldi moodul, mis konstrueerib ainult kaadrite põhjal kaamera asendi ja liikumise trajektoori. Eeldusel, et suurem osa kaadrist moodustab maapind, on võimalik üldiste visuaal odomeetria meetodite asemel kasutada lihtsamat mudelit. Antud juhul tehakse seda homograafia teisenduse abil. Homograafia leitakse kahe kaadri vaheliste tunnuste paaride abil, kasutades RANSAC meetodit, mis võimaldab välja filtreerida punktid, mis tasandi eeldusele ei vasta. Homograafia dekompositsioon annab kaamera asendi ja trajektoori hinnangud. Selline meetod sisaldab tugevamaid geomeetrilisi piiranguid, on väiksema algoritmilise keerukusega ja nõuab vähem arvutusressurssi. IMU eesmärk on filtrile anda informatsiooni kaadrite-vahelisel ajal ning baromeetri mõõtmised on seotud ühikuta visuaalse trajektoori meetrilise skaalaga.

Algoritm realiseeriti ka testdrooni jaoks. Meetodit hinnatakse kogutud andmete põhjal ennustatud trajektoori ja RTK GPS mõõtmiste erinevuse järgi. Tulemused on võrreldavas suurusjärgus ka üldise VIO mudeli tulemustega sarnastes tingimustes, kuid välja pakutud algoritmi keerukus on väiksem. Lisaks testitakse ka drooni positsiooni hoidmise võimet, kui autopiloot kasutab lokaliseerimiseks ainult pakutud algoritmi väljundit. Need katsed näitavad, et droon suudab stabiilselt positsiooni hoida kõigil testitud kõrgustel. Siiski oleks algoritmi vaja valideerida erinevates keskkondades, ilmastikuoludes ja hinnata triivi pikema aja jooksul.