

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärgiks oli tutvustada ühe mehitamata õhusõiduki teliku-, elektri- ja piloodivaatekaamera süsteemide arendust: kirjeldada, millised süsteemid antud lõputöö raames ehitati ning tuua välja võimalikud lahendused, kuidas praeguseid süsteeme paremaks muuta. Lisaks soovis ettevõtte järgmise õhusõiduki jaoks kompaktsemat ning kergemat telikut.

Rohelohe OÜ eesmärgiks on hakata pakkuma järelvalve ning kaardistamise teenust, kasutades fotogramm-meetriliste seadmetega mehitamata õhusõidukeid. Antud eesmärgi jaoks sobib kõige paremini lennuk-tüüpi õhusõiduk. Nõutud tingimustega lennuki ehitus telliti Novaviking OÜ-lt, kellega koostöös käesoleva töö autor projekteeris ja valmistas lennukile piloodivaatekaamera ja elektrisüsteemi ning aitas optimeerida telikusüsteemi.

Lennuk pidi õhku tõstma kaks Nikon D800E digitaalpeegelkaamerat. Kaks kaamerat võimaldavad koguda ühe lennu jooksul erinevat infot, tänu millele alaneb pakutava teenuse hind. Kaamerad asuvad spetsiaalsetel kahe telje sihis stabiliseeritud alustel. Esimene kaamera vaatab 45° ette-alla, et oleks mugavam jälgida näiteks taimestiku kõrgust või elektriliinide mastide ja isolaatorite seisukordi. Tagumine kaamera teeb pilte otse alla vaadates. Liites tagumise kaamera pildid spetsiaalse tarkvara abil kokku, on võimalik saada 3D-mudel ja ortofoto. Mõlema kaamera asendeid saab lennu ajal muuta. Esimesed katsetused väiksema katselennuki ja –kopteriga näitasid, et kasutatav pilditöötlustarkvara töötab, kuid kiirete tulemuste saamiseks on vaja suure arvutusvõimsusega arvuteid. Konsulterides pilditöötlustarkvara arendajatega selgus, et nende tarkvara ei ole mõeldud mahukate tööde tegemiseks. Seetõttu hakatakse klientidele pakkuma alternatiivina LIDAR-seadme abil tehtud mudeleid, sest nende valmistamiseks ei vajata nii suurt arvutusvõimsust ning see tehnoloogia sobib suurte alade katmiseks paremini.

Lennuki üldkonstruktsioon koosneb kahest kokkuliidetud võistluspurilennukist, mille liitekohta on lisatud lihtsasti eemaldatav keremoodul. Lennuki tiiva siruulatus on 5 m ning mass 19 kg. Keremoodulis asuvad pildistavad kaamerad, telik, avioonika ning akud. Lennukit liigutavad kaks 1,2 kW võimsusega elektrimootorit, mis asuvad purilennuki keredes. Sobivate mootorite, propellerite ning akude kombinatsiooni leidmiseks tehti standikatsaid, mille tulemusena valiti propelleriteks 20x13-tollised süsinikkiust klapp-propellerid ning 5S1P

liitium-polümeer akud. Stendis tagas selline kombinatsioon maksimaalseks tõmbejõuks 37 N mootori kohta. Pika lennuaja saavutamiseks konstrueeriti lennuk võimalikult aerodünaamiline ning ehitati sissetõmmatav telik. Suurimaks probleemiks on side mehitamata õhusõidukiga pikkade vahemaade korral ning seetõttu kasutatakse 3G andmesidet.

Kaamerad asuvad keremooduli otstes ning ülejäänud süsteemid mahutati nende vahele. Kõige rohkem ruumi nõuavad akud ning telik. Teliku konfiguratsiooniks valiti jalgratas-tüüpi telik, millel põhitelik asub keremoodulis ning lennu ajaks eemaldatavad lisatoed asuvad välistes keredes. Ehitatud lennuk täidab ühtlasi katselennuki ülesandeid seega projekteeriti telik vastu pidama maandumisel tekkivatele suurtele koormustele. Täpsem telikusüsteemi optimeerimine tehakse hiljem lennulist saadava info alusel. Kõige esimene teliku lahendus ei sobinud, sest konstruktsioon ei pidanud vastu maandumisel tekkivatele külgkoormustele. Teliku teine lahendus oli konstruktsioonilt ruumilisem ning suutis külgkoormuseid paremini taluda, kuid võttis keremoodulis liigselt ruumi. Seetõttu arendas töö autor kolmanda lahenduse, mis oleks kompaktsem ning kergem.

Piloodivaatekaamera süsteemis kasutati esialgu arvutit Raspberry Pi koos spetsiaalse kaameraga. Selle arvuti eeliseks on kiire andmesideühendusega kaamera ning riistavaraline H.264-enkooder, mis tagavad väikese latentsusega videoülekande. Töö käigus kirjutati operatsioonisüsteemi skriptid, mis ühendavad arvuti automaatselt 3G-võrku, kontrollivad perioodiliselt võrguühenduse olemasolu ning vajadusel taaskäivitavad programmid. Samal ajal logitakse info erinevatesse failidesse: side katkemise korral aitab see hiljem üles leida side kadumise põhjuse. Piloodivaatekaamera arvuti ning maapealse arvuti vahele loodi AES-128 krüpteeringuga tunnel. Tunneli loomiseks ning töös hoidmiseks kirjutati skript, mis logib tunneli olekut ning vajadusel taaskäivitab tunneli loomisega tegeleva programmi. Kontrollpiltide maajaama edastamiseks katsetati peegelkaamerate ühildumist ka teiste arvutitega peale Raspberry Pi ning lõpuks võeti kasutusele Raspberry Pi 2, mis on eelkäijast oluliselt võimekam.

Kaamera videopildi edastamiseks kasutatakse tarkvara Gstreamer, mis edastab kaamerast tuleva video UDP kaudu maapealsesse arvutisse. Piloodivaatekaamera süsteemi peamine eesmärk on saata maajaama lennuki asendist võimalikult väikese viitega pilt. Andmemahu vähendamiseks ning horisondi paremaks nägemiseks muudeti piloodivaatekaamera pilt must-

valgeks ning maksimaalselt kontrastseks. Katsetused on näidanud, et kehva levikvaliteediga piirkondades tekib lubamatult pikk viide.

Peamine tingimus elektrisüsteemi projekteerimisel oli, et ühe pingeregulaatori vea korral oleks tagatud autopiloodi toide. Praegu on autopiloodil kaks eraldi toiteallikat, kuid järgmistel lennukitel suurendatakse +5 V toiteallikate arvu neljani. Kõikide madalpinge-siinide toiteallikad dubleeritakse, tagades sellega suurema ohutuse ning veakindluse. Kogu elektrisüsteem paigutati selliselt, et mootorite tarbitavast voolust tekkinud elektromagnetiline müra oleks võimalikult eraldatud signaali edastavatest juhtmetest. Juhtmetestiku massi vähendamiseks on juhtmete ristlõiked valitud vastavalt neid läbivale voolule.

Kõik lõputöö eesmärgid täideti ning jätkatakse tööd, et viia sisse kõik töös kirjeldatud muudatused. Tabelis 2 on toodud kokkuvõtte autori tehtud töödest.

Tabel 2. Ülevaade lõputöö raames autori tehtud töödest

Seis enne lõputöö alustamist	Lõputöö jooksul tehtud
Telikute paigutus oli ebaõnnestunud.	Telikute disaini uuendamine ja esiteliku optimeerimine koormusele vastavaks. Tänu optimeerimisele hoiti kokku <i>ca</i> 20% teliku massist. Kolmanda teliku lahenduse rakendamisel väheneb esiteliku mass 40% ning peateliku mass 25%. Lõpptulemusena kaalub uus esitelik ~200 g ning peatelik ~530 g.
Osteti piloodivaatekaamera koos arvutiga Raspberry Pi.	Raspberry Pi asendati Odroidiga ning see omakorda asendati Raspberry Pi 2-ga. Kõik arvutid programmeeriti ühenduma 3G-võrku, tekitati krüpteeritud tunnelühendus piloodivaatekaamera arvuti ning maapealse arvuti vahel. Kirjutati skriptid, et automaatselt võrku ühenduda, perioodiliselt kontrollida internetiühenduse olemasolu ning selle kadumisel taastada ühendus automaatselt. Hea kvaliteediga 3G levialas jääb pildiedastuse latentsus vahemikku (200...300) ms. Piloodivaatekaamera pilt muudeti must-

	<p>valgeks ning maksimaalselt kontrastseks, et muuta horisondi jälgimine mugavamaks.</p> <p>Katsetati muutuva andmesidekiirusega videopildi edastamist, kuid see ei andnud oodatud tulemusi.</p> <p>Raspberry Pi 2 ja kaamera vahelise suhtluse tööle saamine.</p>
Elektrisüsteem puudus	<p>Elektrisüsteemi projekteerimine ning selle elementide valimine.</p> <p>Elektrisüsteemi paigutamine ja juhtmistamine.</p>

SUMMARY

The purpose of this thesis was to introduce the development of an unmanned aerial vehicle's (UAV) landing gear, electrical and pilot's camera system. In this thesis are given descriptions how the systems were developed and what properties are still in need of further development. In addition the company who ordered this work wanted to re-design the landing gear so that it would be more compact and also lighter on the next airplane.

Rohelohe OÜ wanted to offer the service of observing and mapping by using unmanned aerial vehicles which photograph the landscape and combine the pictures using principles of photogrammetry. The best type of UAV to serve this purpose is airplane. The airplane construction was ordered from Novaviking OÜ. The author of this thesis co-operated with Novaviking OÜ to design and construct the pilot's camera and electrical system and also helped to design and optimize the landing gear.

The main requirement for the airplane was that it had to be able to lift two Nikon D800E digital single-lens reflex (DSLR) cameras in the air. This setup guarantees that two different types of data can be gathered with one flight, thus making the service more affordable. Both cameras are located on specially designed gimbals which are 2-axis stabilized. The front camera is looking 45° front-down direction making the observation of e.g. flora height and the condition of electrical masts and their isolators more comfortable. The rear camera is looking straight down. By using a special software, the rear camera's pictures can be joined together to make a 3D-model or orthophoto. Direction of field-of-view can be set on both cameras separately during flight. The first test flights using other aerial vehicles showed that the technology works, but significant computing power is needed in order to get quick results. After consulting with software developers it turned out that their program wasn't meant for high-capacity jobs. So in order to satisfy the customers who have high capacities and want the results quickly, the company decided to start offering alternative means. Best alternative for photogrammetry is using LIDAR, which doesn't need huge computing power and thus suits better for orders that require to map several square-kilometers of landscape.

The overall construction of airplane described in this thesis consists of two professionally used sailplanes which are joined together from the wing, giving the total wingspan 5 m. In the

middle of the joined wing is a module which is easily removable. The cameras, landing gear avionics and batteries are located in that module. Two 1,2 kW electric motors provide the propulsion. The motors are located in the outer fuselages on both sides of the module. In order to find the best combination of motors, propellers and batteries dynometric tests were performed. These resulted in choosing the 20x13 carbon fiber foldable-propellers and 5S1P batteries which has the nominal voltage of 18,5 V. This combination gave maximum thrust of 37 N per motor. In order to achieve maximum time of flight the airplane had to be as aerodynamic as possible, for that reason the landing gear is retractable. Communication with the UAV over long distances is one of the biggest obstacles at the moment and to overcome this problem the team decided to use 3G mobile data connection.

Since the cameras are located at each end of the module, all the other systems had to be fitted between the cameras. The landing gear and the batteries needed the most space. The configuration for the landing gear is bicycle-type. This means that the main and front landing gear are located in the module and removable struts are located in the outer fuselages. Since for the crew it was the first airplane with this size to build that also had to go through the test flights, then the landing gear for airplane was designed to withstand higher impact forces than normally. It was planned to optimize it later when the flight logs have shown the exact accelerations the airframe suffers during the landing. The original landing gear design wasn't acceptable because the construction couldn't cope with impacts from side. Second construction was more three-dimensional, hence it could handle the side impacts, but also required a lot of room. For that reason it was necessary to develop a solution that is more compact and lighter. The solution has been shown in the last chapter.

First pilot's camera system was based on a Raspberry Pi and its dedicated camera. The main advantages were a high-speed camera setup and hardware H.264 encoder which makes this camera very popular for low latency video streams. During this work several scripts were written to connect the computer automatically to 3G-internet, to periodically check the connection and if necessary restart the connection. The pilot's camera computer communicates with the ground control computer via AES-128 encrypted virtual private network. A script was written to check whether the network is up between two computers. All the actions related to losing connection to ground and reconnecting are being logged which helps later to troubleshoot what exactly failed. While developing the pilot's camera system

also other minicomputers were tested, mainly for enabling communication between the computer and DSLR cameras. Although ODroid had very good specifications the operating system was unstable and the camera was too slow for this application. While ODroid was tested a new Raspberry Pi 2 came out. Since it was remarkably more powerful than the predecessor, this computer was chosen.

For transmitting the camera’s video stream to ground via UDP a program called Gstreamer was used. The main purpose of pilot’s camera system is to send video stream to ground with as low latency as possible so the attitude of the aircraft can be observed. In order to keep the bitrate low and for better horizon visualization, the video was changed to monochrome and the contrast was set to maximum. Tests have shown that in the areas where the 3G quality is poor, latency occurs and to avoid it, some possible solutions have been discussed about in the last chapter. The work for implementing these solutions is still ongoing.

When designing an electrical system one of the main requirements was to make the autopilot power supply redundant so that a power supply failure doesn’t cause the autopilot to shut down. Currently the autopilot has two different power supplies, but according to the plan the next airplanes will be using two power supplies for each 5 V channel, altogether 4 power supplies. By using redundancy on all the low-voltage buses safety is assured against unit’s failure. The high-current wiring was done so that the electromagnetic interference would be kept to minimum in small power signal wires. Cross-sections of wires have been chosen according to current to keep the loom weight as small as possible. There are possible solutions on how to improve the electrical system safety further in the last chapter.

All the purposes stated at the beginning of the thesis were reached and the work will be continued to implement all the possible solutions brought out in the last chapter. In the table below is an overview of assignments that were done by the author in this thesis.

Table 1. Overview of assignments done by the author.

Before thesis	Done during thesis
The design of the landing gear was unacceptable.	Enhancing the design of the landing gear and optimizing the nose landing gear to withstand the desired load. The optimization helped to cut down <i>ca</i> 20% of weight. Implementing