



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

PERTTU JOHANSEN  
TÄHTIKAUKOPUTKEN OHJAUKSEN OHJELMISTOT

Kandidaatintyö

Tarkastaja: Tiina Schafeitel-Tähtinen  
Jätetty tarkastettavaksi  
9.12.2017

## TIIVISTELMÄ

**Perttu Johansen:** Tähtikaukoputken ohjauksen ohjelmistot  
Tampereen teknillinen yliopisto  
Kandidaatintyö, 20 sivua  
Joulukuu 2017  
Tietotekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma  
Pääaine: Ohjelmistotekniikka  
Tarkastaja: Tiina Schafeitel-Tähtinen

**Avainsanat:** kaukoputki, kaukoputken ohjaus, tähtitiede

Tähtikaukoputkella tarkkaillaan tähtitaivaan kohteita, jotka ovat maasta katsottuna jatkuvassa liikkeessä. Kaukoputki suunnataan kuhunkin kohteeseen kaukoputken jalustan akseleita kääntäen. Kaukoputken ohjaamisen automatisointi voidaan toteuttaa akseleihin liitettävillä sähkömoottoreilla ja niiden ohjelmallisella ohjauksella.

Kandidaatintyön tavoitteena on toimia taustaselvityksenä kaukoputken ohjausjärjestelmän suunnitteluprojektille, joka voisi tulevaisuudessa sopia diplomityöaiheeksi. Tutkimuskysymyksiä ovat ”Millaisia tehtäviä harrastajatähtikuvaajan kaukoputken ohjausjärjestelmälle on?” sekä ”Millaisia ohjelmistoja kaukoputken ohjaukseen on saatavilla?”.

Työ suoritettiin kirjallisuustutkimuksena, jossa ensin tutkittiin kaukoputken ohjausjärjestelmään liittyvää astronomiaa ja kaukoputkilaitteiston perusteita. Sitten tutkittiin tarkemmin, minkälaisia tehtäviä ohjausjärjestelmällä on, ja millaisia ohjelmia ohjaukseen on saatavilla.

Tuloseksi on saatu tutkimus joka vastaa asetettuihin tutkimuskysymyksiin, millaisia tehtäviä ohjausjärjestelmälle on, ja millaisia ohjelmistoja harrastajatähtikuvaajan kaukoputken ohjaukseen on saatavilla. Ohjausjärjestelmän tärkeimmät tehtävät ovat kohteiden haku ja seuranta. Kohteiden hakuun liittyvä kohdetietokanta on oleellinen osa ohjausjärjestelmää. Lisäksi tähtikuvausharrastuksen vaatiman tarkkuuden saavuttamiseksi, ohjausjärjestelmään on yleensä tarpeen liittää seurantakamera. Lisätarkkuutta saadaan myös erilaisilla virheidenpoisto-ominaisuuksilla. Kaukoputken jalusta voi pystyä hoitamaan suuren osan tehtävistä itsenäisesti. Ohjausjärjestelmän tehtävien siirtäminen ulkoisen PC:n hoidettavaksi, avaa kuitenkin paremmat mahdollisuudet ominaisuuksien laajentamiseen. Esimerkiksi tuen lisääminen erilaisille lisälaitteille tulee helpommaksi. Seurantakameran ohjaus sekä kuvaavan kameran ohjaus ovat tärkeitä osia tähtikuvaajan ohjelmistokokonaisuudessa.

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
2.	PALLOTÄHTITIEDE .....	2
2.1	Pallotrigonometria .....	2
2.2	Koordinaatistot .....	3
2.3	Koordinaattijärjestelmien häiriöt .....	4
2.4	Tähdistöt ja tähtikartat .....	5
3.	LAITTEISTO .....	6
3.1	Kaukoputki .....	6
3.2	Jalusta .....	7
3.3	Liitynnät .....	8
3.4	Kaukoputken käyttötapaukset .....	8
4.	OHJAUSJÄRJESTELMÄN TEHTÄVÄT .....	10
4.1	Kohteiden haku ja seuranta .....	10
4.2	Seurantakameraohjaus .....	11
4.3	Linkkaus ulkopuolisiin ohjelmistoihin .....	11
4.4	Virheiden korjaus .....	12
4.5	Turvallisuus .....	12
5.	OLEMASSA OLEVAT OHJELMISTOT .....	14
5.1	GoTo-jalusta .....	14
5.2	PC-ohjaus .....	15
5.3	Kameran ohjaus .....	16
5.4	Seurantakamera .....	17
6.	YHTEENVETO .....	18
	LÄHTEET .....	19

# 1. JOHDANTO

Amatööriastronomi ohjaa kaukoputkensa taivaan kohdetta kohti jalustan akseleita kääntäen. Ensin havainnoitava kohde pitää etsiä, ja sen jälkeen kohdetta pitää maapallon pyörimisliikkeen takia aktiivisesti seurata. Ohjauksen automatisointi toteutetaan liittämällä kaukoputken jalustan akseleihin sähkömoottorit ja ohjaamalla niitä ohjelmallisesti. Kun jalustan akselisto on asetettu oikein, voi tähtitaivaan kiertoliikkeen seurannan pienimmillään tehdä yhdellä vakionopeutta ajavalla moottorilla. Kahdella moottorilla ja tietokoneohjauksella voidaan jo toteuttaa kohteiden etsiminen. Kohteen seurannan automatisointi on käytännössä pakollista suuressa osassa tähtikuvauksen alalajeista.

Työssä tutkitaan harrastajatähtikuvaajan kaukoputken ohjausjärjestelmää. Tutkimuksen tavoitteena on toimia taustaselvityksenä kaukoputken ohjausjärjestelmän suunnitteluprojektille, joka voisi tulevaisuudessa sopia diplomityöaiheeksi. Tutkimuskysymyksiä on kaksi:

- Millaisia tehtäviä harrastajatähtikuvaajan kaukoputken ohjausjärjestelmälle on?
- Millaisia ohjelmistoja kaukoputken ohjaukseen on saatavilla?

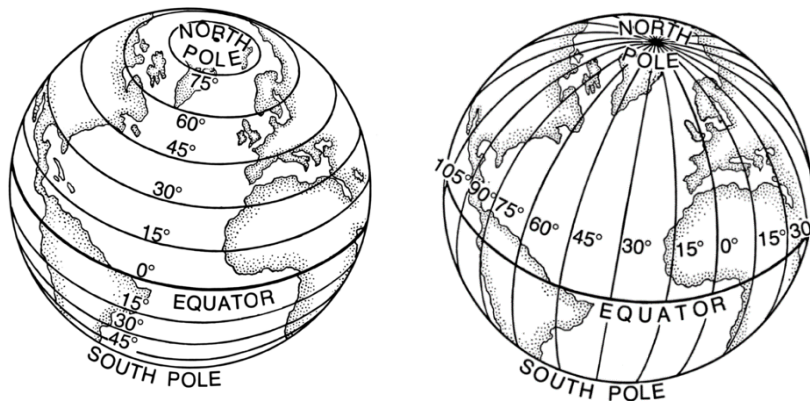
Työssä käydään ensin läpi kaukoputken käytön perustana olevaa astronomiaa. Sen jälkeen esitellään kaukoputkilaitteiston perusosat. Näissä luvuissa esitellään kaukoputken ohjauksen kannalta tärkeitä käsitteitä ja sanastoa. Lisäksi luvuissa listataan astronomiaan ja kaukoputkilaitteistoon liittyviä ilmiöitä ja ongelmia, jotka voivat tulla vastaan ohjausjärjestelmää suunnitellessa. Tämän jälkeen jaetaan ohjausjärjestelmää sille kuuluvien tehtävien mukaan. Sen jälkeen tutkitaan sitä, minkälaisia olemassa olevia ohjelmistoja ja järjestelmiä näihin tehtäviin löytyy. Lopuksi on työn yhteenvetoluku.

## 2. PALLOTÄHTITIEDE

Pallotähtitiede antaa tähtitieteilijälle työkalut taivaan kohteiden löytämiseen taivaalta. Tässä luvussa esitellään ohjausjärjestelmän kannalta kyseisistä työkaluista olennaisimmat. Ensin esitellään pallotrigonometriä sekä kaukoputken ohjauksen kannalta tärkeimmät koordinaattijärjestelmät. Ne luovat teoreettisen perustan sille, miten kaukoputkea ohjataan. Sen jälkeen esitellään koordinaattijärjestelmiin liittyvät häiriöt ja niiden vaikutus ohjausjärjestelmän suunnitteluun. Lopuksi on lyhyt katsaus tähdistöihin ja tähtikarttoihin.

### 2.1 Pallotrigonometria

Pallotrigonometriassa etäisyydet esitetään keskuskulmina ja pallon säteellä on toisarvoinen merkitys. Esimerkiksi maapallon pinnalla olevan paikan sijainti voidaan ilmoittaa kahden pallokoordinaatin avulla. Koordinaatisto on luonnollista muodostaa maan pyörimisakselista ja sitä vastaan kohtisuorasta päiväntasaajasta. Päiväntasaaja on napojen puolivälissä oleva isoympyrä ja pisin leveyspiiri. Pituuspiirit eli meridiaanit ovat puolestaan geodeesit navalta navalle. Geodeesi tarkoittaa tässä tapauksessa pallon pinnan suoraa. [1, s. 26–31] Kuvassa 1. on esitetty vasemmalla leveyspiirit ja oikealla pituuspiirit.

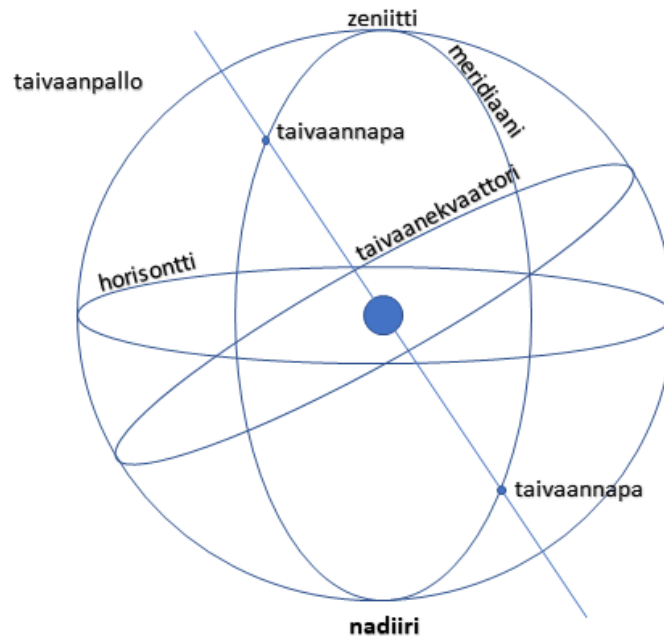


**Kuva 1.** Vasemmalla on esitetty leveyspiirit ja oikealla pituuspiirit [2, 3].

Ensimmäinen koordinaatti on kulma päiväntasaajasta kohti jompaakumpaa napaa. Koordinaattia kutsutaan leveydeksi. Samalla leveydellä olevat pisteet ovat siis samalla leveyspiirillä. Samoin samalla pituuspiirillä olevilla pisteillä on sama pituus. Pituudelle on valittu lähtötasoksi Greenwichin kautta kulkeva nollameridiaani. Nollameridiaani on merkitty oikeanpuoleiseen palloon kuvassa 1. Pituus on siis nollameridiaanin ja kohteen läpi kulkevan meridiaanin välinen kulma. [1, s. 26–31]

## 2.2 Koordinaatistot

Taivaanpallo on maapallon päälle puettu paljon maapalloa suurempi kuvitteellinen pallo, jonka pinnalle tähtitaivas on kiinnittynyt. Mallissa havaitsija on pallon keskellä, eikä maapallon sädettä eikä liikettä huomioida. Tähtien etäisyyttä maasta ei tässä mallissa oteta huomioon ja tähtien väliset etäisyydet ovat vain kulmia. [1, s. 33–34] Käytössä on useita koordinaattijärjestelmiä, joista kaukoputken ohjauksen kannalta tärkeimmät ovat horisonttijärjestelmä ja ekvaattorijärjestelmä. Nämä koordinaattijärjestelmät liittyvät keskeisesti ohjausjärjestelmän ohjelmistoihin, mutta ne vaikuttavat myös käytettävään laitteistoon. Luvussa 3.2 esitellään jalustatyypin yhteys koordinaattisysteemeihin. Tämän luvun viimeisessä kappaleessa esitellään lyhyesti myös ekliptikajärjestelmä, joka on mukana ekvaattorijärjestelmässä käytetyn keväntasauspisteen määritelmässä. Kuvassa 2 on karkea esitys taivaanpallosta ja siihen liittyvistä peruskäsitteistä.



**Kuva 2.** Taivaanpallon peruskäsitteet, perustuu lähteeseen [1, s. 33–34].

Havaitsijakeskisessä horisonttijärjestelmässä havainnoija sijaitsee maapallon pinnalla olevalla tangenttitasolla. Tangenttitaso leikkaa taivaanpallon horisonttia pitkin. Horisonttia vastaavat navat ovat nimeltään zeniitti ja nadiiri. Zeniitti on suoraan havainnoijan yläpuolella oleva taivaan ylin piste ja nadiiri sen vastakohtana havainnoijan alapuolella näkymättömissä. Kuvassa 2 on havainnollistettu näitä käsitteitä. Järjestelmän koordinaatit ovat elevaatio ja atsimuutti. Elevaatio on kulma horisontista zeniittiä tai nadiiria kohti. Zeniitissä kulma on  $+90^\circ$  ja nadiirissa  $-90^\circ$ . Atsimuutti on kierto horisonttitasoa pitkin. [1, s. 34–35] Havainnoijan ollessa pohjois- tai etelänavalla tähdet pyörivät zeniitin ja siis myös navan ympäri. Havainnoijan ollessa päiväntasaajalla tähdet menevät suoraan zeniitin yli idästä länteen. Muualla kuin navoilla tai päiväntasaajalla tähdet piirtävät kaaria. Nämä kaarevat liikkeet ovat yksi koordinaattijärjestelmään perustuvan kaukoputken ohjauksen huonoimmista puolista. Kaarta seuratakseen jalustan pitää ajaa kahta moottoria

muuttuvilla nopeuksilla. Pahimmillaan toisen moottorin ajosuunta pitää vaihtaa kesken ajon, jolloin moottorin välitys aiheuttaa katkon ohjaukseen.

Ekvaattorijärjestelmä on puolestaan maapallokeskinen. Siinä taivaanpallo jaetaan pyörimisakselin suunnalla ja päiväntasaajan kautta kulkevalla taivaanpallon ekvaattorilla. Järjestelmän ensimmäinen koordinaatti on deklinaatio, joka on kulma ekvaattoritasosta. Koordinaatiston kiinnittäminen pyörimisakseliin johtaa siihen, että tähden deklinaatio ei muutu maapallon pyöriessä. Järjestelmän toinen koordinaatti on rektaskensio. Se on kulma taivaanpallon ekvaattoria pitkin valitusta pisteestä. Valittuna pisteenä käytetään kevättasauspistettä. Ekvaattorijärjestelmän kumpikaan koordinaatti ei riipu havainnoitsijan sijainnista eikä maapallon liikkeistä. Tämän takia koordinaatistoa käytetään tähtikartoissa. Rektaskension nollapiste on havainnoitsijan kannalta jatkuvassa liikkeessä. Kevättasauspisteen tuntikulma on nimeltään tähtiaika. Tähtiajalla saadaan yhteys havainnoitsijan ja ekvaattorisen koordinaatiston välille. [1, s. 36–42]

Kolmas koordinaatisto on Maan ratatasoon perustuva ekliptikajärjestelmä. Järjestelmän perustasona on ekliptika eli Maan ratataso Auringon ympäri. Järjestelmää käytetään pääasiassa aurinkokunnan kappaleille. Ekvaattorijärjestelmässä käytetty kevättasauspiste on ekvaattorin ja ekliptikan tasoja leikkaavan suoran suunta. Kevättasauspistettä käytetään myös ekliptikajärjestelmän perussuuntana. Tähtitieteessä käytetään myös muita koordinaatistoja, mutta niillä ei ole suoraa merkitystä harrastajan kaukoputken käytölle. Muun muassa Linnunrataa tutkittaessa käytetään koordinaatistoa, jossa perustasona on Linnunradan taso. Koska Aurinko on lähellä tuota tasoa, käytetään sitä origona. [1, s. 43–44]

### 2.3 Koordinaattijärjestelmien häiriöt

Koordinaattijärjestelmät on luotu yksinkertaistettujen mallien mukaan. Horisonttijärjestelmässä maapallon pyöriminen siirtää kohteita jatkuvasti, mutta myös kiinteäksi tarkoitettuun ekvatoriaaliseen järjestelmään liittyy häiriöitä. [1, s. 45–51] Taulukossa 1. on listattu koordinaattijärjestelmien olennaisimmat häiriöt kaukoputken ohjausjärjestelmän kannalta.

**Taulukko 1.** Koordinaattijärjestelmiin liittyviä häiriöitä [1, s. 45–51].

Nimi	Kuvaus
Prekessio	Maan pyörimisakselin kiertyminen.
Nutaatio	Kuun painovoiman aiheuttama periodinen häiriö prekessioliikkeeseen.
Parallaksi	Koska taivaan kohteet ovat eri etäisyyksillä maasta, vaikuttaa havaintopaikan muuttuminen taivaan kohteiden sijaintiin taivaanpallolla. Maapallon pyöriminen ja Auringon kiertäminen siirtävät havaitsijaa.
Aberraatio	Kuvaa ilmiön, jossa havainnoitsijan liike vaikuttaa havainnoitavan kohteen havaittuun sijaintiin.
Refraktio	Ilmakehä taittaa valoa. Zeniittiin katsottaessa ilmakehän vaikutus on pieni, mutta myös zenitissä ilmakehän säälmiöt vaikuttavat valoa taittavasti.

Edellä mainittujen häiriöiden lisäksi tähdet myös liikkuvat toisiinsa nähden. Tähtiluetteiloissa ilmoitetuista sijainneista on korjattu mainittujen virheiden vaikutuksia. Maan pyörimisestä johtuvaa vuorokautista aberraatiota eikä refraktiota ole voitu ottaa paikallisina ilmiöinä kuitenkaan huomioon. Sen sijaan refraktio muuttaa lähellä horisonttia näkyvän kohteen korkeutta yli Auringon leveyden verran. Refraktion vaikutusta eri korkeuksilla pystytään approksimoimaan ennalta määritellyn taulukon perusteella. [1, s. 51] Häiriöt vaikuttavat ohjauksen tarkkuuteen ja siihen, minkälaisia keinoja ohjauksen apuna on käytettävissä. Harrastajan kaukoputken ohjauksen kannalta vuorokautisen aberraation vaikutus jää pieneksi. Sen sijaan refraktion vaikutusta eri korkeuksilla pystytään approksimoimaan ennalta määritellyn taulukon perusteella, ja näin ohjausjärjestelmä voi huomioida ilmiön.

## **2.4 Tähdistöt ja tähtikartat**

Tähdistöt ja tähtien nimeäminen perustuvat siihen, mitä ihmiset ovat pystyneet havaitsemaan ja kuvittelemaan kyseisistä havainnoista. Myös tähtiluetteloiden ja tähtikarttojen perusta ovat havaitut sijainnit.

Nykyään on käytössä ICRS-järjestelmä, jossa taivaanpallon koordinaatisto on kiinnitetty kaukaisten, hyvin paikoillaan pysyvien kvasaarien sijainteihin. Havaitun sijainnin lisäksi kartoista ja luetteloista löytyy myös muuta tieteellistä tietoa tähdistä. Kaukoputken ohjausjärjestelmissä on yleensä tietokanta, jossa on tietty joukko kohteita järjestelmän käytössä kaukoputken ohjaamiseksi. Kun tietokone otetaan mukaan ohjausjärjestelmään, havainnoitavien kohteiden tietojen saatavuus ei ole rajoite.



## 3. LAITTEISTO

Silmän jälkeen ensimmäinen havaintolaite oli kaukoputki. Tähtivalokuvaus on myös varhainen keksintö. Nykyään havainnoidaan monimutkaisilla laitteistoilla jo koko elektromagneettisen säteilyn spektriä ja myös muita energian muotoja.

Tässä luvussa esitellään harrastaja-astronomin laitteisto yleisellä tasolla. Luvussa 3.1 esitellään kaukoputken perustyyppit. Luvussa 3.2 esitellään ohjausjärjestelmän mekaanisesti tärkein osa, eli jalusta. Jalusta vaikuttaa oleellisesti siihen, minkälaiseen ohjaukseen se soveltuu. Luvussa 3.3 esitellään ohjauksen automatisoinnin kannalta välttämättömät liitynnät. Luvussa 3.4 listataan amatööriastronomin kannalta olennaisimmat kaukoputken käyttötapaukset.

### 3.1 Kaukoputki

Tähtikaukoputki on optinen laite, joka suunnataan taivaan kohteeseen kohteen havainnointia varten. Kaukoputkelta vaaditaan eri ominaisuuksia riippuen kohteen ominaisuuksista kuten havainnoitava laajuus tai kirkkaus. Kohteen laajuus vaikuttaa polttoväliin ja käytettäviin suurennoksiin. Himmeää kohdetta tarkkaillessa pitää puolestaan saada kerättyä mahdollisimman paljon kohteesta tulevasta valosta. Koska kaukoputken näkökenttä on monesti hyvin kapea, on kaukoputkeen yleensä kiinnitetty saman suuntainen ohjauskaukoputki, jonka näkökenttä on laajempi ja soveltuu siten kaukoputken suuntaamisen avuksi.

Tähtikaukoputken perustyyppit ovat linssikaukoputki ja peilikaukoputki. Kaukoputken päätehtävät ovat:

- kerätä mahdollisimman paljon säteilyä kohteesta,
- parantaa erotuskykyä ja suurentaa kuvaa,
- ja toimia kohteen paikan mittaussvälineenä [1, s. 85].

Ohjausjärjestelmän tehtävät liittyvät pääasiassa kaukoputken jalustaan, jolla varsinainen ohjaus tehdään. Mitä pidemmälle automatisoitu ohjausjärjestelmä on, sitä enemmän tehtäviä voi tulla myös kaukoputkelle. Harrastajavälineistössä muun muassa kaukoputken fokusointi on voitu ottaa ohjausjärjestelmän tehtäväksi, mutta ei suinkaan aina.

Kaukoputkilaitteisto koostuu useista osista. Käytännössä pienimmän kokoonpanon muodostavat kaukoputki, jalusta ja okulaari. Tavallisimmat harrastajien käyttämät kaukoputket ovat kiinteäpolttovälisiä, ja näkymän suurentamiset ja muut muutokset tehdään visuaalisessa käytössä okulaarilla, joka piirtää lopullisen kuvan ihmisen silmälle. Visuaalinen

käyttö tarkoittaa kaukoputken käyttöä optiikan läpi ilman kameraa. Kun kameraa käytetään, korvaa se usein okulaarin kokonaan, mutta kuvaamista tehdään myös okulaarin läpi.

Ilmakehä vaikuttaa kaukoputkella tehtäviin havaintoihin huomattavasti. Pilvet, sade, valosaaste, ja kaikki mahdolliset ilmakehän ilmiöt häiritsevät valon kulkua. Myös aallonpituus vaikuttaa ilmakehän vaikutuksen voimakkuuteen. Ilmakehän vaikutusta kaukoputken näkymään kutsutaan *seeingiksi*.

Ihmissilmä näkee kaukoputken läpi parhaimmallakin *seeingillä* hyvin vähän. Kamera mahdollistaa paljon suuremman valonkeräyksen ja kuvan tietomäärän lisäämisen. Tähtikuvauksessa käytetään järjestelmäkameroita, sekä tähtikuvaukseen suunniteltuja CCD-kameroita.

## 3.2 Jalusta

Kaukoputki ohjataan jalustan avulla osoittamaan haluttuun kohteeseen. Kaukoputken tuottaman suurennoksen vuoksi jalustan tärkein ominaisuus on pitää kaukoputki vakaana, sillä pienetkin tärähdykset suurentuvat ja pilaavat näkymän. Samalla tavoin pienikin ohjausvirhe tekee suuren vaikutuksen näkymään. Ohjattaessa kaukoputkea sen asento ja painopiste muuttuvat, ja näin painovoiman vaikutuksen määrä ja suunta muuttuvat [4, s. 104]. Lähtökohtaisesti isompi ja painavampi jalusta on vakaampi. Ohjauksen tarkkuutta ja vakautta puolestaan saadaan panostamalla akseleihin ja niiden laakerointiin [4, s. 107]. Manuaalisessa ohjauksessa on yleensä käytössä akselikohtainen pyöritettävä nuppi jonkinlaisella välityksellä. Moottorit liittyvät akseleihin irrotettavilla vaihteilla, jolloin moottorihjauksen saa irrotettua manuaaliohjauksen ajaksi.

Jalustoja on kahta perustyyppiä: atsimutaalinen ja ekvatoriaalinen. Atsimutaalisessa jalustassa on kaksi akselia jonka ympäri kaukoputkea voi kääntää. Vaaka-akselilla saadaan käännettyä kaukoputken korkeutta ja pystyakselilla atsimuuttia. Ekvatoriaalisessa jalustassa tuntiakseli säädetään maan pyörimisakselin suuntaiseksi. Toinen, eli deklinaatioakseli, on kohtisuorassa tuntiakselia kohti. Näin tähden liikkeen seuranta maapallon pyörimisen mukana on mahdollista ainoastaan tuntiakselia kääntämällä. Ekvatoriaalinen jalusta myös kiertää kaukoputken näkymän orientaatiota taivaan mukana, mikä on erityisen tärkeää kuvatessa. [4, s. 96–97]

Nämä kaksi jalustatyyppiä vertautuvat suoraan luvussa 2.2 esitettyihin vastaaviin koordinaattijärjestelmiin. Ekvatoriaalinen jalusta on monimutkaisempi, isompi ja painavampi. Jalusta tekee kuitenkin käytöstä yksinkertaisempaa ja on siksi yleisempi harrastajatähtikuvaajien käytössä. Isoissa ja kalliissa robottikaukoputkissa tarkempi mekaniikka mahdollistaa atsimutaalisen jalustatyyppin käytön. [5]

### 3.3 Liitynnät

Kaukoputki kiinnitetään tukevasti jalustan päälle. Kaukoputken kiinnitys on mekaaninen, mutta mikäli kaukoputkessa on esimerkiksi elektroninen fokusoija, on kaukoputkeen elektroninen yhteys. Yleisesti kaukoputki on kuitenkin vain optinen laite, ja kaikki elektroniikka on jalustassa ja lisälaitteissa, kuten kamerat, GPS-paikantimet yms. Optisille laitteille kaukoputkissa on omat liityntästandardinsa, ja esimerkiksi yleisimmille järjestelmäkameroille on tarjolla valmiit adapterit optiikkaan liittymiseksi [5].

Kaukoputkeen tehdään muitakin mekaanisia kiinnityksiä. Yleensä kaukoputken kanssa samansuuntaisesti kiinnitettynä on ohjauskaukoputki. Monesti kaukoputken kylkeen on kiinnitetty myös erillisellä optiikalla oleva kamera. Näissä mekaanisissa kiinnityksissä tukevuus on tärkeää, sillä kaukoputken kääntyessä taivaan liikkeiden mukana, laitteistoon kohdistuvien voimien suunta muuttuu. [5]

Jalusta on ohjauksen ydin, ja siihen liittyy enemmän elektroniikkaa. Kun jalusta automatisoidaan, liitetään ohjausakseleihin sähkömoottorit, niiden ohjauselektroniikka ja virtalähde. Moottoriohjaus voi olla yksinkertaisimmillaan yhden moottorin kohteen seuranta. Kahdella suorituskykyisemmällä moottorilla voi kaukoputkella toteuttaa kohteiden haun. Tällöin on kysymyksessä GoTo-jalusta, jossa moottoreiden lisäksi on ohjauskaukosäädin, jossa on tietokone hoitamassa kohteiden tiedot ja ohjauksen logiikan. [5] GoTo-jalusta on esitetty luvussa 5.1. Goto-tietokone on yleensä johdollisessa käsiohjaimessa, joka liittyy jalustan ohjausjärjestelmään sarjaportilla tai USB:llä. Koska kaukoputkea käytetään yleensä kylmässä, myös virtalähteeseen pitää kiinnittää huomiota [5].

### 3.4 Kaukoputken käyttötapaukset

Kaukoputken vakaana pito kohdetta tarkkaillessa on jalustan tärkein tehtävä. Jotta kohdetta päästään tarkkailemaan, pitää kohde etsiä ja asettaa näkökenttään. Kaukoputken kaupan näkökentän vuoksi apuna on yleensä ohjauskaukoputki, jolla kaukoputken karkeampi ohjaus onnistuu. Monesti ensimmäisen suuntauksen tekemiseksi ohjausakseleiden jarrut voidaan avata, jolloin kaukoputki voidaan kääntää fyysisesti suoraan kaukoputkea käsin kääntäen. Tällöin moottorit ja myös manuaalisen ohjauksen nupit pysyvät paikoillaan kaukoputken kääntyessä. GoTo-avusteisella kaukoputkella näin ei voi toimia, koska moottorien ohjausjärjestelmän paikkatieto katoaa ja ohjausjärjestelmä pitää alustaa näiltä osin uudestaan. [5]

Lukuun ottamatta geostationaarisia satelliitteja, ovat kaikki taivaan kohteet liikkeessä maan pintaan nähden [4, s. 417–418]. Visuaalisessa käytössä, eli silmällä kaukoputken läpi havainnoidessa, voi kaukoputkea ohjata ohjausnuppeja vääntämällä kohteen pyrkinessä lipumaan näkökentästä. Valokuvattaessa kohteen pitää kuitenkin pysyä tarkasti paikallaan kameran kennolla. Kohteiden jatkuva liike ja himmeys edellyttävät hyvin pit-

kien valotusaikojen käyttämistä. Vaikka laitteisto olisi hyvä ja ohjaus tarkkaa, vaatii kohteiden himmeys yleensä useiden kuvien yhdistämistä yhdeksi kuvaksi, jotta kuvainformaatiota saadaan riittävästi. Monesti yhdistettäviä kuvia otetaan useana yönä, jolloin kaukoputki pitää kohdistaa kuvausession aluksi uudestaan samaan kohteeseen huomioiden kameran kuva-alan orientaatio. [5]

## 4. OHJAUSJÄRJESTELMÄN TEHTÄVÄT

Luvussa esitellään harrastajan kaukoputken ohjausjärjestelmän tärkeimmät tehtävät. Luvussa 4.1 esitellään järjestelmän päätehtävät: haku ja seuranta. Luvussa 4.2 esitellään seurantakameran käyttö järjestelmän osana. Luku 4.3 käsittelee ohjausjärjestelmän linkittymistä ulkopuolisiin ohjelmistoihin. Luvussa 4.4 esitellään ohjauksen virheenkorjausominaisuuksia. Luvussa 4.5 käsitellään ohjausjärjestelmän turvallisuuteen vaikuttavia asioita.

### 4.1 Kohteiden haku ja seuranta

Kuten luvussa 3.4 kerrottiin, jalustan päätehtävät kaukoputken vakaana pidon lisäksi ovat kohteiden haku ja seuranta. Jotta ohjausjärjestelmä voi löytää kohteen, tulee sen tietää kaukoputken osoittama nykyinen sijainti ja haettavan kohteen sijainti. Lisäksi ohjausjärjestelmän pitää kyetä ajamaan kaukoputki kohteeseen.

GoTo-tyyppisellä ohjausjärjestelmällä on taivaan kohteiden sijaintitiedot tietokannassa. Sen lisäksi järjestelmän pitää tietää oma sijaintinsa maapallolla, oma asentonsa, päivämäärä ja kellonaika, sekä akseleidensa asennot. Lisäksi ekvatoriaalinen jalusta pitää olla asetettu tarkasti pystysuoraan ja sen tuntiakseli maan pyörimisakselin suuntaiseksi. Tarkemman toiminnan takaamiseksi järjestelmälle pitää opettaa muutamien tunnettujen tähtien sijainnit. Tämä tapahtuu ohjaamalla kaukoputki täsmälleen kohteeseen, ja tallentamalla asento järjestelmään. [5]

Kun järjestelmä on edellisen kappaleen mukaisesti alustettu ympäristöönsä, osaa se myös seurata tähtiä maapallon pyöriessä ja ajan kuluessa. Varsinkin kuvatessa myös kuvan orientaatiolla on merkitystä. Oikein suunnattu ekvatoriaalinen jalusta pitää kuva-alan orientaation samana, mikä ei onnistu atsimutaalisella jalustalla. Ekvatoriaalisella jalustalla, joka on suunnattu oikein, voi seurannan tehdä myös yksinkertaisemmin yhdellä moottorilla ilman aktiivista moottorin ohjausta. Moottorin ajonopeuden säädön voi tehdä visuaalisesti tarkkaillen aluksi sitä, että kaukoputken näkymä pysyy kohteessa. [5]

Aina kohteeseen ajo tai seuraaminen ei ole kuitenkaan niin suoraviivaista, sillä esimerkiksi ekvatoriaalisella jalustalla ei voi ajaa meridiaan yli suoraviivaisella liikkeellä. Mikäli näin tehtäisiin, olisi kaukoputki vaarassa törmätä jalustaansa. Ohjausjärjestelmän pitää tunnistaa tilanne. Useimmilla jalustoihin integroiduilla GoTo-järjestelmillä meridiaanin yli ohjaaminen on estetty, mutta ohjausjärjestelmä voi myös tehdä ns. *meridian flipin* [5]. Siinä jalusta ohjaa kaukoputken asentoon, jossa molempia akseleita voi pyöräyttää 180 astetta ja palauttaa sen jälkeen kaukoputken osoittamaan samaan suuntaan kohdetta kohti. Liikkeen jälkeen kaukoputki on vaihtanut puolta jalustan toiselle puolelle ja on esteetön jatkamaan kohteen seuranta.

## 4.2 Seurantakameraohjaus

Seurantakamera (*autoguidet*) on suunnattu samaan suuntaan kuin itse kaukoputki. Seurantakameran kohteena on joitain seurattavan kohteen ympärillä olevia tähtiä. Jos tähdet siirtyvät seurantakameran näkökentässä, antaa se ohjausjärjestelmälle signaalin moottorien nopeuden säätämiseksi. [4, s. 124] Luvussa 5.4 on kuvattu seurantakameraan liittyviä ohjelmistovaikutuksia.

Kamera voi olla kytkettynä ohjauskaukoputken optiikkaan tai pääkaukoputken optiikkaan ns. *off-axis-liitynnällä*. *Off-axis-liitynnässä* osa kaukoputken keräämästä valosta ohjataan prismalla seurantakameralle. Molemmilla tavoilla on etunsa. Ohjausjärjestelmän tarkkuuden kannalta pääkaukoputken optiikan käyttäminen poistaa laitteiston taipumisesta johtuvat virheet ohjauksesta. Toisaalta erillisen ohjauskaukoputken laajempi näkökenttä helpottaa sopivien ohjaustähtien löytämisen näkökentästä. [4, s. 126] Johtuen jalustan mekaanisista ja elektronisista vajavaisuuksista, jalustan tarkan suuntauksen vaikeudesta, sekä pitkien valotusaikojen käyttämisestä, on käytännössä välttämätöntä ohjata molempia akseleita aktiivisesti seurannan aikana. Tämä tarkoittaa, että molemmissa akseleissa pitää olla moottori ja että käytössä pitää olla seurantakamera. [4, s. 124]

## 4.3 Linkkaus ulkopuolisiin ohjelmistoihin

Kaukoputki jalustoineen on yleensä riittävä kokonaisuus toimiakseen itsenäisesti ilman yhteyksiä muihin ohjelmistoihin. Mikäli jalustassa on GoTo-ominaisuus, on siinä akku ja sulautettu ohjausjärjestelmä tarvittavine ohjauslogiikkoineen ja havaintokohdetietokantoineen. GoTo-ohjausjärjestelmä tuo jalustaan myös portit joilla tietokoneen ja seurantakameran voi liittää järjestelmän osaksi. [5]

Seurantakameran voi liittää jalustaan, joko suoraan erityisellä seurantakameraportilla, tai tietokoneen kautta. Seurantakameraporttia käytettäessä tulee kameran olla varta vasten tähän käyttöön suunniteltu. Tietokoneen kautta liitettynä, kameran tai muiden lisäjärjestelmien malleilla ei ole merkitystä, kunhan sopivat ajurit ovat saatavilla [4, s. 125–126].

Seurantakameran lisäksi tietokoneen kautta järjestelmään voi liittää myös kuvaavia kameroita. Kun kameraa voidaan ohjata ohjausjärjestelmästä, pystyy sen avulla viemään kuvauksen automatisoinnin ja etukäteissuunnittelun vieläkin pidemmälle. Lisäksi järjestelmä pystyy käyttämään kameraa avustaviin tehtäviin, kuten jalustan suuntauksen ja moottoreiden ajonopeuksien säätämisen avuksi. Vielä kun kameran saadaan kuvat järjestelmään automaattisesti, voidaan myös kuvankäsittely liittää järjestelmän osaksi. [5]

Tietokoneliityntä mahdollistaa myös sen, että voidaan käyttää ulkopuolisia kohdetietokantoja, sekä planetaariovisualisointeja ja muita vastaavia esitystä tukevia ohjelmia. Luvussa 5 esitellään tietokoneen tuomia mahdollisuuksia tarkemmin. Kun automatisointi ja liitynnät on viety tarpeeksi pitkälle, voidaan koko harrastus myös hoitaa etänä. Herkkien

laitteiden sääsuojaus on kuitenkin tärkeää, eikä laitteita kannata jättää ilman suojausta pihalle.

#### 4.4 Virheiden korjaus

Jalustan vaihteiston epätäydellisyyden johdosta ohjauksessa esiintyy jaksollisia virheitä. Jaksollinen virheenkorjaus pyrkii korjaamaan näitä virheitä. Teoriassa virheet voi poistaa ennen liikkeen tapahtumista. Näihin virheisiin voi reagoida myös seurantakameralla, mutta vasta virheliikkeen jälkeen. [6]

Jaksollisten virheiden korjaus toimii siten, että ensin kaukoputki laitetaan seuraamaan tähteä. Tähteä pitää seurata vähintään virheen jakson pituuden ajan, mutta monikerta jaksosta poistaa satunnaisvirheitä virhedatasta. Yleensä jakson pituus on akselin kierukavaihteen ympäri pyörähtämisen aika, mikä voi olla luokkaa kymmenen minuuttia. Tähteä seurattaessa seurantaa korjataan jatkuvasti siten, että tähti pysyy täsmälleen paikoillaan kuvassa. Korjauksen voi tehdä manuaalisesti GoTo-ohjaimella, jolloin käytetään isosuurenoksisista näkymää, joka tuo pienetkin virheet näkyviin. Lisäksi näkymässä pitää olla ristikko tai vastaava, jolla tähden sijainnin näkymässä voi pitää tarkasti liikkumattomana. Jaksollisen virhedatan voi myös kerätä ohjelmallisesti kameraa käyttäen. Kun virhedata on kerätty, pitää järjestelmän osata toistaa virhedatan korjaus oikeaan aikaan kaukoputken käytön aikana. Tähän järjestelmä tarvitsee kierukavaihteen asentotiedon. [6]

Muita laitteistosta aiheutuvia virhelähteitä ovat muun muassa:

- Muut kuin jaksolliset ja lyhyempijaksoiset jaksoiset vaihteistosta tai moottoreista johtuvat epätäydellisyydet.
- Kaukoputken ja muun laitteiston taipuminen. Erityisesti meridiaanin ylittävän kaukoputken taipumisen puolen vaihtoheilahdus.
- Jalustan suuntauksen virheet.
- Tilapäiset häiriöt esim. likaa jalustan vaihteistossa, tuuli, tai muut vastaavat.

Seurantakameralla voi yrittää korjata joitain virheitä, mutta sillä ei pysty korjaamaan kaikkea. Seurantakamera sopii paremmin hitaiden ajautumistyyppisten virheiden korjaamiseen. Nopeisiin heilahdusliikkeisiin kamera ei ehdi reagoida tai aiheuttaa ylireagoinnin. Myöskään jalustan suuntauksen virheistä aiheutuvaa kuva-alan kiertymistä ei voida korjata. [6]

#### 4.5 Turvallisuus

”Älä katso kaukoputkella Aurinkoon!” on yleinen varoitus kaukoputkilaitteita ostettaessa. Kaukoputki kerää suuren määrän valoa ja keskittää sen pienelle alueelle. Mikäli Aurinkoon suunnatulla kaukoputkella yritetään tehdä visuaalisia havaintoja, on vakavan

silmävaurion todennäköisyys suuri. Mikäli kaukoputkeen on liitetty kamera, ovat kameran vauriot todennäköisiä. Lisäksi kaukoputken osat kuumenevat ja aiheuttavat tuhoa kaukoputkelle. On olemassa suotimia, joilla kaukoputken sisään pääsevää valonmäärää voi rajoittaa turvallisesti auringon katselua varten, mutta tällöin pitää muistaa suojata myös ohjauskaukoputki ja omat silmät. [5]

Pääosa kaukoputkiharrastusta tapahtuu yöllä, mutta myös päivällä voi olla toimintaa, esimerkiksi juuri Auringon tarkkailu. Harrastajien GoTo-järjestelmät varoittavat, kun kaukoputki aiotaan ohjata Aurinkoa kohti. Ohjausjärjestelmän olisi hyvä myös osata välttää Aurinkoon päin ohjaaminen kohteen seurannan aikana, tai ohjatessa kaukoputkea Auringon päältä.

Toinen laitteiston kannalta vaarallinen asia on kaukoputken törmäminen jalustaansa. Ekvatoriaalisella jalustalla pelkästään meridiaanin ylittäminen aiheuttaa törmäämisvaaran, jonka todennäköisyys riippuu kaukoputken ja jalustan muodoista. [5] Luvussa 4.1 on esitelty meridiaanin yli ajaminen *meridian flip -liikkeellä*. Meridiaanin yli ajaminen ei ole ainoa potentiaalisesti haitallinen liike, vaan kaikki ääriasennot voivat aiheuttaa törmäyksen, myös atsimutaalisella jalustalla. Kaukoputken lisäksi myös moottorit ja vaihteet voivat vahingoittua törmäyksessä.



## 5. OLEMASSA OLEVAT OHJELMISTOT

Luvussa esitellään ohjausjärjestelmään liittyvät ohjelmistot. Luvussa 5.1 esitellään kaukoputken ohjauksen automatisoinnin perustyökalu GoTo-jalusta. Luvussa 5.2 käsitellään GoTo-jalustan ominaisuuksien ulkoistamista tietokoneelle. Luvussa 5.3 esitellään tähtikuvauksessa tärkeässä osassa olevia kameran ohjausjärjestelmiä. Ja viimeisessä luvussa 5.4 käsitellään seurantakameran ohjelmistojen ominaisuuksia.

### 5.1 GoTo-jalusta

Jalustaan integroitu GoTo-järjestelmä on kaukoputken jalustan moottoroitu tietokoneohjaus, joka alustuksen jälkeen osaa kohteen nimen perusteella etsiä kohteen automaattisesti näkymään. [4, s. 122] GoTo-järjestelmän perusosat ovat moottorit, moottorien ohjauslaitteet, ohjaustietokone, kohteiden sijaintitietokanta, ja ohjauskaukosäädin. Lisäksi järjestelmä tarjoaa usein liitynnän seurantakameralle, GPS-laitteelle, sekä sarjaportin lisälaitteiden tai ulkoisen tietokoneen liittämiseksi. Kaukoputkivalmistajat myyvät useita jalustamallejaan eriasteisesti varusteltuna. Tarjolla on manuaalisesti ohjattavien jalustojen lisäksi moottoroiteja eri asteisilla automatisoinneilla. [5]

GoTo-järjestelmän ydin on luvussa 2 esitellyissä matemaattisissa malleissa. Järjestelmän perusominaisuuksia ovat:

- Kaukoputken ajaminen taivaalla (*slewing*) ohjaimella. Ajonopeuden täytyy olla riittävä liikkuvien kohteiden kiinni saamiseksi.
- Kohteen seuraaminen (*tracking*).
- Kohdetietokanta.
- Kohteen automaattinen etsiminen nimen perusteella.
- Ajo sijaintiin koordinaatin perusteella.
- Seurantakameran käyttäminen ohjauksen apuna.

Järjestelmän on toteutettava seuraavat toiminnot oman toimintansa takaamiseksi:

- Tähtisuuntaus (*star align*), eli toiminto jossa kaukoputkea ajetaan valittujen ohjaustähtien kohdalle, ja niiden sijainnit tallennetaan järjestelmään. Näiden suuntien perusteella ohjausjärjestelmä saa selville akseleidensa asennot.
- Jalustan sijainnin syöttäminen.
- Kellonajan ja päivämäärän syöttäminen.

Kaikki nämä ominaisuudet liittyvät ohjausjärjestelmän oman paikan ja asennon määrittelyyn käytetyn koordinaatiston sisällä. Muita ominaisuuksia ovat muun muassa:

- Kohteen synkronointi (*Object synchronization*). Ominaisuudella tallennetaan löydetyn kohteen tarkempi sijainti järjestelmään. Tällä saadaan kohteen lähiympäristön kohteiden etsintää tarkemmaksi.
- Jaksollisen virheenkorjaus (*PEC, periodic error correction*). Ominaisuus on esitelty luvussa 4.4.
- Sijainnin ja ajan lataus GPS-laitteelta.
- Kaukoputken elektronisen fokusoija käyttö.
- Liikkeen rajoitus jalustaan törmäyksen estämiseksi.
- *Park-toiminto*, jossa kaukoputki ajaa akselinsa tietämiinsä asentoihin. Näin ohjausjärjestelmä osaa jatkaa virtojen katkaisun jälkeen toimintaansa ilman, että tähtisuuntausta tarvitsee tehdä uudestaan.

GoTo-jalustan seurantakameraliityntä on de facto standardiksi muodostunut *ST-4-liityntä* [7]. *ST-4-protokollaa* tukevat ohjauskamerat voivat antaa ohjauskäskyjä suoraan GoTo-jalustalle. ST-4 liityntä ei ole ainoa mahdollisuus, vaan seurantakamera voi olla liitettynä myös PC:n kautta. Luvussa 5.4 on esitelty erilaisia seurantakameran käyttötapoja.

Jalustan sarjaportti mahdollistaa lisälaitteiden tai tietokoneen liittämisen järjestelmään. Tietokone voi toimia lisälaitteen tavoin ja antaa jalustan Goto-järjestelmälle komentoja, tai tietokone voi myös ohittaa jalustan ohjausjärjestelmän kokonaan ja ohjata suoraan moottoreita. Käytetyt protokollat vaihtelevat valmistajien ja yksittäisten laitteiden välillä. Esimerkiksi *Meade LX200GPS* -kaukoputken ohjausprotokollalla voi ohjata kyseisen kaukoputken erityisominaisuuksia, kuten säätämään fokusta tai käynnistämään GPS-laitteen [8]. Yhteensopivuuden parantamiseksi *ASCOM-yhteisö* on luonut epävirallisia standardeja laitevalmistajien, ohjelmoijien ja harrastajien käyttöön. ASCOM-yhteisö on ryhmä astronomiaohjelmistojen kehittäjiä ja astronomisten laitteiden laitevalmistajia, joiden tavoitteena on mahdollistaa toimittajarippumaton plug-n-play toiminnallisuus laitteiden ja ohjelmistojen kesken. [9]

## 5.2 PC-ohjaus

Kun ohjausvastuu siirretään GoTo-jalustalta ulkoiselle tietokoneelle, avautuvat paremmat mahdollisuudet päivittää ja laajentaa järjestelmää. Esimerkiksi keinotekoisien satelliittien tai komeettojen sijaintitiedot saadaan lisättyä vaivattomasti.

Esimerkiksi *EQMod* projekti tarjoaa lukuisia ohjelmia useiden kaukoputkien ulkoiseen tietokoneohjaukseen. *EQASCOM*-ajuri tarjoaa PC-version GoTo-järjestelmän toiminoista, joilla esimerkiksi planetaario tai seurantakameraohjelmisto voi ohjata jalustaa. Muita *EQMod* projektin ohjelmia ovat muun muassa:

- *ASCOMPAD*, jolla kaukoputkea voidaan ohjata *EQASCOM*-ajurin kautta käyttäen tavallista peliohjainta.

- *EQMosaiq*, jolla voidaan toteuttaa mosaiikkina paloista koottavan kuvan kuvaussuunnitelma.
- *EQTour*, jolla harrastaja voi ennalta määrättyjen kohdelistojen avulla tutustua tunnettuihin kohteisiin.
- *EQMODLX*, jolla *EQASCOM*-ajuri pystyy näyttämään LX200 yhteensopivaa satelliittien seurantadataa, jollaista esimerkiksi [www.heavenscape.com](http://www.heavenscape.com) satelliittien seuranta ohjelma tarjoaa [10].
- *PECPrep*, jolla voidaan analysoida jalustan jaksollista virhettä ja automaattisen seurannan tehokkuutta. [11]

Suosittu avoimen lähdekoodin planetaario-ohjelma *Stellarium* [12] sisältää myös tuen useiden kaukoputkien ohjaukseen. *Stellariumissa* on suora tuki joillekin kaukoputkille, ja se myös tukee *EQASCOM*-ajurin kautta käytettäviä kaukoputkia. *Stellarium* on laajana planetaario-ohjelmalla hyvä esimerkki siitä kuinka monimuotoisia vaatimuksia ohjelmilla voisi olla kaukoputkille.

### 5.3 Kameran ohjaus

Tähtikuvaukseen myydään erikoistuneita tähtikameroita, jotka on valmistettu käytettäväksi kaukoputken ja tietokoneen kanssa. Näiden kameroiden optiikan saa liitettyä kaukoputkeen, ja kameran ohjaus ja kuvan siirto tehdään tietokoneella. Harrastaja-astronomit käyttävät myös itse tehtyjä CCD-kennollisista web-kameroista rakennettuja kameroita. Kaukoputkien kanssa käytetään myös tavallisia järjestelmäkameroita. Yleisimpiin järjestelmäkameroihin on saatavilla tarvittavat adapterit kaukoputken kiinnittämiseksi objektiivin paikalle. Monesti järjestelmäkameraa käytetään myös oman objektiivin kanssa käyttämättä kaukoputken optiikkaa niin, että kamera on kiinnitettynä kaukoputken kylkeen ja kaukoputki ainoastaan ohjaa kameraa. Järjestelmäkameran käyttö on myös yksinkertaista ja onnistuu myös ilman ohjausjärjestelmään liittämistä [4].

Järjestelmäkameran tietokoneelta ohjaaminen vaatii kameravalmistajakohtaisen johdon [5]. Lisäksi tietokoneelle tarvitaan tuki kyseisten kameroiden ohjaamiseen. Muun muassa *Astro Photography Tool* [13], *Nebulosity* [14], ja *BackyardEos* [15] tarjoavat tuen lukuisille järjestelmäkameroille. Edellä mainitut ohjelmat ovat tähtikuvausohjelmia ja tarjoavat tähtikuvauksessa tarvittavat ominaisuudet, kuten

- kuvaussession suunnittelu,
- kuvanalan kehystys,
- varsinainen kuvaus,
- *darkit* (pimeävirtakuvat), *flatit* (*flat field* -kuvat) ym. tähtikuvauksen erikoisuudet,
- ja kameran fokusointi

Kuvauskameran liittäminen ohjausjärjestelmään mahdollistaa kamerasuunnan ohjausjärjestelmän apuna. Mainitut ohjelmat tarjoavat tuen muun muassa

- kaukoputken kollimointiin (kaukoputken pääpeilin suuntaus) ja
- jalustan suuntaamiseen (*drift align*).

Mainitut toiminnot voi tehdä myös ilman kameraa, mutta kamerasuunnan ja tietokoneen avulla ne sujuvat helpommin.

Myös videokuvaamista käytetään tähtikuvauksessa. Tähtikuvaukseen erikoistuneissa videokameroilla on kyky käyttää pidempiä valotusaikoja kuin tavallisilla videokameroilla. Tällainen kamera mahdollistaa suoratoistokuvan katsomisen etänä. Monet harrastajat toki vannonvat suoran visuaalitarkkailun olevan harrastuksen ydin. Videokuvausta käytetään myös muun muassa planeettojen, Kuun ja Auringon kuvaamiseen. Videosta valitaan parhaat kuvat ja ne pinotaan kuvankäsittelyohjelmalla yhdeksi kuvaksi.

## 5.4 Seurantakamera

Seurantakameran toimintaluoppi on pääpiirteissään seuraavanlainen:

- Kamera ottaa kuvan tähdistä.
- Kuva käsitellään.
- Tähtien liikkeitä lasketaan kahden peräkkäisen kuvan perusteella.
- Lasketaan minkälaisella korjausliikkeellä virheen voi korjata.
- Annetaan jalustalle ohjauskomento.

Voidakseen antaa oikeanlaiset ohjauskomennot, tulee järjestelmän tietää, miten jalustan ohjauskomennoilla pystytään korjaamaan kuvista havaittu liike. Toiminta vaatii kalibroinnin, joka ottaa huomioon kamerasuunnan ja moottoreiden ajonopeuden.

*PHD guiding* on seurantakameraohjelma, joka tukee *ASCOM pulse guiding* protokollaa [16, 9]. Ohjelmaa mainostetaan sillä, ettei mitään alustuksia eikä asetuksia tarvitse säätää. Ohjelma tunnistaa asentonsa ja osaa itse hoitaa tarvittavat kalibroinnit oppimalla. Tämä on hyvä esimerkki puoltamaan ohjausjärjestelmän osien siirtämistä ohjelmallisiksi.

*EQASCOM* tarjoaa tuen sekä *ST-4*-ohjaukselle että *ASCOM pulse guiding* -ohjaukselle. *ST-4* ohjauksessa vaaditaan sopiva liityntä jalustan seurantakameraporttiin. *ST-4* ohjauksessa itse *EQASCOM-ajuri* ei ole varsinaisesti osallisena ohjauksessa, vaan ohjaussignaali menee suoraan seurantakameralta tai muulta ohjaavalta laitteelta moottoreille. [11]

## 6. YHTEENVETO

Työn tuloksena syntyi kirjallisuustutkimus harrastajatähtikuvaajan kaukoputken ohjausjärjestelmässä käytössä olevista ohjelmistoista, sekä ohjelmistojen ominaisuuksista ja tehtävistä. Tutkimuksessa selvitettiin kaukoputken käyttöön ja tähtitaivaan havainnoitiin liittyvää astronomiaa. Astronomiasta esiin tulivat kaukoputken ohjaamiseen liittyvät matemaattiset mallit ja koordinaattijärjestelmät. Lisäksi selvitettiin, minkä tyyppisiä välineitä harrastajatähtivalokuvaamiseen kuuluu, ja sitä millaiset mahdollisuudet niiden ohjelmalliseen käyttöön on. Tutkimuksessa selvitettiin ohjausjärjestelmän tärkeimmät tehtävät, sekä tärkeimpänä tutkimuksen osana millaisia ohjelmistoja on saatavilla harrastajien käyttöön.

Luku 4 vastaa ensimmäiseen tutkimuskysymykseen, ”Millaisia tehtäviä ohjausjärjestelmälle on?”. Luvussa 5 vastataan toiseen tutkimuskysymykseen ”Millaisia ohjelmistoja harrastajatähtikuvaajan kaukoputken ohjaukseen on saatavilla?”. Lisäksi luku 5 tarkentaa ensimmäisen tutkimuskysymyksen vastausta.

Ohjausjärjestelmän tärkeimmät tehtävät ovat kohteiden haku ja seuranta. Kohteiden hakuun liittyvä kohdetietokanta on oleellinen osa ohjausjärjestelmää. Lisäksi tähtikuvausharrastuksen vaatiman tarkkuuden saavuttamiseksi ohjausjärjestelmään on yleensä tarpeen liittää seurantakamera. Lisätarkkuutta saadaan myös erilaisilla virheidenpoisto-ominaisuuksilla. GoTo-ominaisuudella varustettu jalusta voi kyetä hoitamaan suuren osan tehtävistä itsenäisesti. Ohjausjärjestelmän tehtävien siirtäminen ulkoisen PC:n hoidettavaksi, avaa kuitenkin paremmat mahdollisuudet ominaisuuksien laajentamiseen. Esimerkiksi tuen lisääminen erilaisille lisälaitteille tulee helpommaksi. Seurantakameran ohjaus sekä kuvaavan kameran ohjaus ovat tärkeitä osia tähtikuvaajan ohjelmistokokonaisuudessa.

Tutkimusta tehdessä selvisi myös, että harrastaja-astronomeilla on vilkas yhteisö ja, että internetissä on saatavilla paljon tietoa ihmisten laitteisto- ja ohjelmistoprojekteista. Lisäksi selvisi myös se, että vaikka laitteiden ja ohjelmistojen välisiä rajapintoja ei ole virallisesti standardoitu, on käytössä laajasti de-facto standardeja, jotka mahdollistavat omien ohjelmien ja laitteiden lisäämisen ohjausjärjestelmiin.

Tutkimus on mahdollisesti rajautunut löydettyjen lähteiden ja omien ennakkotietojen vuoksi. On mahdollista, että joitain ominaisuuksia on jäänyt tutkimuksen ulkopuolelle. Harrastajille olennaisen tiedon uskosi kuitenkin löytyvän harrastajien keskustelupalstoilta. Työn rajaamiseksi ominaisuuksia ei ole tutkittu kovin syvällisesti. Tutkimustulokset ovat hyödyllistä taustatietoa mahdollista ohjausjärjestelmän suunnitteluprojektia silmällä pitäen. Tuloksia voi käyttää suoraan ohjausjärjestelmän ominaisuuksien määrittelyyn ja myös arvioidessa projektin aloittamisen kannattavuutta.

# LÄHTEET

[1] H. Karttunen, K.J. Donner, P. Kröger, H. Oja, M. Poutanen, Tähtitieteen perusteet, Kuudes laitos ed., Tähtitieteellinen yhdistys Ursa, Helsinki, 2016, 699 s.

[2] S.F. Pearson, Latitude Image, Wikimedia Commons. Saatavissa (viitattu 25.11.2017): [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Latitude\\_\(PSF\).png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Latitude_(PSF).png).

[3] S.F. Pearson, Longitude Image, Wikimedia Commons. Saatavissa (viitattu 25.11.2017): [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Longitude\\_\(PSF\).png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Longitude_(PSF).png).

[4] G.D. Roth, Handbook of Practical Astronomy, 1. Aufl.; Rev. and updat ed., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2008, 712 p.

[5] F. Tanaka, Astrophotography P2: Choosing & Using Telescope Mounts, youtube.com. Saatavissa (viitattu 10.9.2017): <https://www.youtube.com/watch?v=zQB6UnrTEEM>.

[6] R. McDonald, The Blog Formerly Known as McWiki: Astrophotography Mounts: Periodic Error Correction, Richard McDonald. Saatavissa (viitattu 22.11.2017): [http://astro.neutral.org/astronomy\\_blog/blog/item/2011/05/periodic-error-correction-pec-and-autoguiding-in-telescope-mounts](http://astro.neutral.org/astronomy_blog/blog/item/2011/05/periodic-error-correction-pec-and-autoguiding-in-telescope-mounts).

[7] K. Ferrare, arduino-st4, github.com. Saatavissa (viitattu 5.11.2017): <https://github.com/kevinferrare/arduino-st4/>.

[8] Meade Telescope Serial Command Protocol, Meade Instruments Corp. Saatavissa (viitattu 24.11.2017): <https://www.meade.com/support/LX200CommandSet.pdf>.

[9] ASCOM, Standards for Astronomy, The ASCOM Initiative. Saatavissa (viitattu 05.11.2017): <http://ascom-standards.org/>.

[10] J. Eccles, Heavenscape satellite tracker, <http://www.heavenscape.com>. Saatavissa (viitattu 25.11.2015): <http://www.heavenscape.com>.

[11] The EQMod Project, The EQMod Project, Sourceforge. Saatavissa (viitattu 24.11.2017): <http://eq-mod.sourceforge.net/>.

[12] Stellarium community, Stellarium, Sourceforge. Saatavissa (viitattu 24.11.2017): <http://stellarium.org/>.

[13] APT Astro Photography Tool, Distinct Solutions Ltd. Saatavissa (viitattu 05.11.2017): <http://www.ideiki.com/astro/Default.aspx>.

[14] Stark Labs, Nebulosity, Stark Labs. Saatavissa (viitattu 5.11.2017): <http://www.stark-labs.com/nebulosity.html>.

[15] BackyardEOS, O'Telescope Corporation. Saatavissa (viitattu 05.11.2017):  
<https://www.otelescope.com/store/category/2-backyardeos/>.

[16] C. Stark, PHD Guiding, Stark Labs. Saatavissa (viitattu 24.11.2017):  
<http://www.stark-labs.com/phdguiding.html>.