

Fotogrammetriska mätningar med hjälp av digitala bilder tagna från UAV-flygplan

Metodik, precision och vision

Jim Åkerholm

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningsprogrammet för lantmäteriteknik

Vasa 2012



Innehållsförteckning

Abstrakt

Tiivistelmä

Abstract

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte.....	2
1.3	Avgränsning	2
2	Flygplansmodeller som används i Finland	2
2.1	Gatewing.....	2
2.2	C-Astral	3
2.3	MAVinci.....	4
2.4	Lehmann Aviation	5
2.5	SmartPlanes	6
3	Alternativa flygfarkoster.....	7
3.1	Ballonger/zeppelinare	7
3.2	Drakar	8
3.3	Quadrokopter/Helikopter.....	10
4	Resultat från flygfotograferingen	11
4.1	Ytmodell (DSM).....	11
4.2	Ortomosaik	12
4.3	Beräkning i molnet	14
4.4	Beräkning på egen dator	14
5	Fotogrammetri	15
5.1	Kameraparametrar	16
5.1.1	Inre parametrar	16
5.1.2	Yttre parametrar.....	16
5.2	Centralprojektion	17
5.3	Koordinatberäkning	18
6	Datorseende (eng. Computervision)	19
6.1	Introduktion	19
6.2	Allmänna principer	19
7	Felkällor och försämrande faktorer vid beräkningen.....	21
7.1	Skuggor	21
7.2	Homogena ytor	22

7.3	Vibrationer från flygplanet	22
7.4	Inre orientering vid användande av kompaktkamera	22
7.5	För högt ISO-tal.....	22
7.6	För ljusa/mörka bilder	23
7.7	Jpeg-komprimering.....	24
8	Olika användningsområden för UAV-flygplan	25
8.1	Militär	25
8.1.1	Historia	25
8.1.2	Nutid	26
8.2	Växtlighetsanalys.....	28
8.3	Maskinstyrning	31
8.3.1	Noggrannhetskrav för terrängmodeller.....	32
8.4	Mätning av stenvolym	34
8.5	Massaberäkning	36
8.6	Arkeologi.....	36
8.6.1	Cyark	37
8.7	Kartläggning	38
8.8	Katastrofområden	38
8.9	Användning av andra sensorer än kamera	39
9	Användning av UAV-system vid kartläggning	39
9.1	Signalering.....	40
10	Prisnivå vid anlitaandet av en utomstående entreprenör	41
10.1	UAV	41
10.1.1	Företag A.....	41
10.1.2	Företag B	42
10.2	Flyglaserskanning.....	43
11	Noggrannheten som uppnås.....	43
11.1	Motorväg i Nederländerna.....	43
11.2	Världsarvsområde i Peru.....	43
11.3	Jorvas.....	44
11.3.1	Det studerade området	44
11.3.2	Testytan	44
11.3.3	Beskrivning av det fotograferade området.....	44
11.3.4	Resultat	45
12	Referensdatat	46

12.1	Allmänt om flygburen laserskanning.....	46
12.2	Automatisk klassificering av pukter	48
13	Lagar som styr UAV-flygning.....	48
14	Kameran	50
14.1	Allmänt	50
14.2	Objektiv	50
14.3	Bländare.....	50
14.4	Slutare.....	51
14.5	Bildsensorn	52
14.6	Färgmatris.....	53
14.7	Filformat	54
14.8	Infrarött.....	55
15	Optiska förvrängningar.....	56
15.1	Kromatisk aberration	56
15.2	Astigmatism.....	57
15.3	Sfärisk aberration.....	57
15.4	Distorsion	57
16	Framtidsvision för UAV-konceptet	58
16.1	Beräkningskraft	58
16.2	Laserskanner	60
16.3	Utbredning.....	61
17	Resultat	61
17.1	Allmänt	61
17.2	Vidare forskning	61
17.3	Personliga reflektioner.....	62
18	Källförteckning.....	63

EXAMENSARBETE

Författare: Jim Åkerholm
Utbildningsprogram och ort: Lantmäteriteknik, Vasa
Handledare: Sem Timmerbacka

Titel: *Fotogrammetriska mätningar med hjälp av bilder tagna från UAV-flygplan – Metodik, precision och vision*

Datum 25.4.2012

Sidantal 62

Abstrakt

I arbetet undersöker jag flygfotografering med UAV-flygplan och beräkningen av ortomosaik och ytmodeller som görs från bilderna som tagits. Vilka användningsändamål som denna teknik har, noggrannheterna som uppnås och kostnaderna som uppkommer, ingår också i arbetet.

Syftet med arbetet är att utvidga min egen och läsarens kunskap i ämnet till en sådan grad att man vet i vilka situationer tekniken kan användas och vilka starka och svaga sidor den har.

Arbetet gjordes främst genom litteraturstudier och samtal med personer som är insatta i ämnet. Kontakt togs även med ett antal UAV-tillverkare för att få fram specifikationer på deras produkter.

Resultatet av detta arbete är en sammanställning av tekniken kring UAV-flygplan och en beskrivning av produkterna som fås från bilderna som tas.

Språk: svenska Nyckelord: UAV, flygfotografering, fotogrammetri

Förvaras: webbiblioteket Theseus.fi

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Jim Åkerholm

Koulutusohjelma ja paikkakunta: Maanmittaustekniikka, Vaasa

Ohjaaja: Sem Timmerbacka

Nimike: *Fotogrammetriset mittaukset UAV-lennokista otettujen kuvien avulla – Metodiikka, tarkkuus ja tulevaisuudennäkymät*

Päivämäärä 25.4.2012

Sivumäärä 62

Tiivistelmä

Työssäni tutkin lentokuvausta UAV-lentokoneella, sekä ortomosaiikin että pintamallien laskentaa otetuista kuvista. Mitkä käyttötarkoitukset tällä tekniikalla on, saatavat tarkkuudet ja mittauksesta aiheutuvat kustannukset, ovat myös työssäni mukana.

Työn tarkoituksena on laajentaa omaa ja lukijan tietoa tästä aiheesta siihen asteeseen, että tiedetään missä tilanteessa tätä tekniikkaa voidaan käyttää, ja mitkä ovat sen vahvat ja heikot puolet.

Työ tehtiin pääasiassa kirjallisuustutkimuksen kautta ja keskustelemalla aiheesta ammattimiesten kanssa. Yhteyttä otettiin myös pariin UAV-valmistajaan, jotta saatiin tietoja heidän tuotteistaan.

Työn tulos on kooste UAV-lentokonetekniikasta ja kuvaus tuotteista, jotka saadaan otetuista kuvista.

Kieli: ruotsi Avainsanat: UAV, ilmakekuvaus, fotogrammetria

Arkistoidaan: verkkokirjastossa Theseus.fi

BACHELOR'S THESIS

Author: Jim Åkerholm

Degree programme: Land surveying

Supervisor: Sem Timmerbacka

Titel: *Photogrammetric measurements using pictures taken from UAV-airplanes – Methodology, precision and vision*

Date 25.4.2012

Number of pages 62

Abstract

This thesis is a research on aerial photography using UAV-airplanes and on the computation of ortho-mosaic and surface models created from the pictures that have been taken. The thesis also describes how this technology can be used, the accuracy that is achieved with it , and also the costs when using it.

The goal of the thesis work has been to evolve both my own and the readers' knowledge of the subject to such a level that it becomes clear what applications this technology can be applied to and what its strong and weak qualities are.

The thesis has mainly been written after literature studies and conversations with experts in the field. Contact with several UAV manufacturers was also made in order to get specifications on their products.

The result of my work is a compilation of the technology concerning UAV-airplanes and a description of the products resulting from the pictures that are taken.

Language: Swedish Key words: UAV, aerial photography, photogrammetry

Filed at the web library Theseus.fi

1 Inledning

Med rubriken ”Fotogrammetriska mätningar med hjälp av bilder tagna från UAV-flygplan” avses i detta examensarbete automatiska metoder för att producera ytmodeller och bildmosaiker med hjälp av fotogrammetriska principer utgående från bilder tagna från luften av ett obemannat flygplan i storleksklass kråka (*Corvus corone*) med en vikt på ca 2 kg. Trots att de fotogrammetriska principerna har använts länge är användningen av UAV-flygplan i lantmäterisyften relativt ny mätmetod, som kan användas i många mätsituationer däribland massaberäkning och kartläggning. Noggrannheten som uppnås är i närheten av den som man får vid användning av laserskanning och RTK-GNSS-teknik.¹

UAV står för *unmanned aerial vehicle*, obemannat flygande fordon på svenska. Det används för alla flygande fordon som inte har piloten med ombord, utan styrs antingen via autopilot eller via en mänsklig pilot på marken.

Storleken på fordonet kan variera från 15 gram till 5 ton.^{2 3} Detta arbete handlar främst om UAV-flygplan, och de som används i kartläggningssyfte är i storleksklassen 1–3 kg, men i arbetet tas även andra plattformar som drakar och ballonger upp.

1.1 Bakgrund

Mätningar baserade på data samlade av UAV-flygplan är en ny teknologi och okänd för många människor inom lantmäteribranschen, därför finns det ett behov av att lyfta fram denna plattform och alla möjligheter och användningsändamål som den har.

Idén till att skriva ett examensarbete om detta ämne kom till efter en presentation som hölls av Mikael Holm på PIEngineering Oy, det verkade som en intressant teknologi med framtidsmöjligheter. När det började bli dags att fundera på ett examensarbete tog jag kontakt med honom. Till en början var det meningen att jag även skulle utföra en noggrannhetundersökning, men det kom fram att Uleåborgs universitet under ledning av Rauno Heikkilä höll på med en dylik undersökning så det bestämdes att jag kunde forska i andra aspekter kring tekniken och ta del av deras undersökning när den färdigställdes och ta med relevant information från den i mitt arbete.

¹ Gatewing X100 Unmanned Aerial System, Couderé läst 9.4.2012

² Proxydynamics webbsida, PD-100 PRS läst 17.3.2012

³ In the Media Israel's largest drone UAV crashes in central Israel, allvoices.com läst 17.3.2012

1.2 Syfte

Syftena med detta examensarbete är att undersöka UAV-plattformen, och möjligheterna som denna har samt utöka kunskapen i området både för mig själv, men även för dig som läser detta.

1.3 Avgränsning

I arbetet behandlas de olika delarna i arbetskedjan ifrån flygfotograferingen till den färdiga digitala produkten, vilka olika flygplattformer som finns och till vilka användningsändamål man kan nyttja tekniken. Även tas det upp vilka felkällor och försämrade faktorer som finns.

Det som inte tas upp är en djupare analys hur algoritmerna som beräknar ytmodeller och ortomosaiker fungerar på matematisk nivå.

2 Flygplansmodeller som används i Finland

Det finns många olika tillverkare av UAV-flygplan som kan användas i kartläggningssyfte. I detta examensarbete jämförs ett par av de modeller som används i Finland i dagens läge.

Alla pris som anges är från februari 2012, och skall bara användas för att få en ungefärlig uppfattning om prisbilden. Aktuella priser fås av tillverkare och återförsäljare.

2.1 Gatewing

Gatewing är en belgisk flygplanstillverkare som för närvarande har en modell till salu, X100.

Flygplanet säljs som en helhetslösning med allt som behövs för att komma igång med kartläggningar. Systemet innehåller bl.a. kamera (Ricoh GRD III), styrenhet, programvara, extra flygplanskropp, och uppskjutningsramp. Riktpriset för ett helt system ligger på 49 000 € och extra flygplanskroppar säljs för 2000 € styck.⁴

Flygplanet skjuts upp med den medföljande uppskjutningsrampen och landningen sker automatiskt, vilket medför att operatören inte själv behöver vara bekant med manuell

⁴ E-postkonversation med Veronica De Rycke på Gatewing

styrning av radiostyrda flygplan.⁵



Figur 1. Gatewing X100 med uppskjutningsramp och fältdator.⁶

2.2 C-Astral

C-Astral är ett slovenskt företag som även marknadsför sina produkter med betoning på deras militära applikationer, då den kan utrustas med videokamera i nosen för spaningsuppdrag.⁷

Precis som Gatewing så har även C-Astral bara en flygplansmodell till salu, kallad Bramor.

Även denna modell skjuts upp med hjälp av uppskjutningsramp, antingen med gummiband eller genom en pneumatisk uppskjutningsmekanism.

Speciellt för denna modell är att den är utrustad med landningsfallskärm, vilket betyder att landning kan ske i princip var som helst då man inte behöver ta hänsende till några större landningsplatser.

Flygplanet levereras i ett paket i vilket medföljer en 10 Megapixels DSLR-kamera samt andra nödvändiga tillbehör för användningen, så som uppskjutningsrampen och kontrollstation för styrning.⁸

⁵Gatewings webbsida läst 8.1.2012

⁶ Gatewing UAV delivers high-res digital mapping, unmanned.co.uk läst 21.3.2012

⁷Gimbal Camera - Day or Night Thermal Imaging, C-Astrals webbsida läst 11.1.2012

⁸Pricing, C-Astrals webbsida läst 8.1.2012



Figur 2. C-Astral Bramor⁹

2.3 MAVinci

MAVinci är en tysk tillverkare med många modeller på marknaden men två som marknadsförs speciellt i kartläggningssystemen SIRIUS I och SIRIUS II.¹⁰

Kameraalternativen är antingen Sonys spegelfria systemkamera NEx 5N utrustad med ett Carl Zeiss 24mm f/1.8 objektiv (läs mer om objektivet i kamerakapitlet), eller en närinfrarödkamera från Tetracam, som är ett företag som tillverkar specialkameror för fotografering av olika färgspektrum. De tillhandahåller även programvara för bildanalys.¹¹

Bägge flygplansmodellerna lyfter genom att de kastas upp i luften för hand och man slipper på så sätt att använda uppskjutningsramp. Å andra sidan behöver piloten lite mera övning att flyga planet halvmanuellt i samband med start och landning.

Företaget har ett eget program för automatisk planering av flygrutter liksom flertalet av de andra tillverkarna. MAVincis program heter MAVinci Desktop, programmet används även för att följa flygplanets flygning samt för att skicka bilderna till efterbehandlig efter att flygningen är klar.^{12 13}

⁹ Bramor UAV, C-Astrals webbsida läst 21.3.2012

¹⁰ Available models pdf, MAVincis webbsida läst 11.1.2012

¹¹ Tetracams webbsida läst 13.3.2012

¹² Complete product range pdf, MAVincis webbsida läst 11.1.2012

¹³ E-postkonversation med Johanna Born på MAVinci

En sak som är värd att nämna är hur effektstarka UAV-flyplanen i allmänhet är, SIRIUS I med en 700 W motor på en farkost som väger 2,7 kg inklusive kamera har samma vikt/effektförhållande som en Lamborghini

Murciélago.¹⁴



Figur 3. MAVinci SIRIUS I¹⁵



Figur 4. MAVinci SIRIUS II¹⁶

2.4 Lehmann Aviation

Lehman Aviation är ett franskt företag som grundades 2001.¹⁷

I skrivande stund så har de fyra modeller till salu varav en är riktad till lantmäteriapplikationer, LP960¹⁸

Deras övriga flygplanen är mera inriktade på videofotografering, och deras billigaste modell LFPV är nära på lämpad för hobbyentusiasten med en prislapp på under 2000 €¹⁹



Figur 5. Lehmann Aviation LP960²⁰

¹⁴ Lamborghini Murciélago, Car and driver läst 7.4.2012

¹⁵ Airplane models, MAVincis webbsida läst 23.3.2012

¹⁶ ibid

¹⁷ About, Lehmann Aviations webbsida läst 11.1.2012

¹⁸ LP960 - Advanced UAV for Scientific applications, Lehmann Aviations webbsida läst 11.1.2012

¹⁹ A full range of professional UAVs, Lehmann Aviations webbsida läst 11.1.2012

²⁰ LP960 y LVHD de Lehmann Aviation - Dos UAV espía de uso civil läst 3.4.2012

2.5 SmartPlanes

Smartplanes är en svensk tillverkare som inleddes sin verksamhet 2005 och som har en produkt på marknaden, PAMS (Personal Aerial Mapping System)²¹

Flygplanet är relativt litet, och säljs som en helhetslösning med allt som behövs för att flyga och ta tillvara bilderna för vidarebearbetning.

Kameraalternativen är antingen en Canon S95 kompaktkamera eller samma kamera modifierad för irfotografering (mera om ir-modifikation i kamerakapitlet).

Då man skall börja flyga ett nytt område så börjar med att välja området som man vill kartlägga och andra parametrar så som flyghöjd och bildöverlappningsprocent. Detta görs på en bärbar dator och förs över till autopiloten via radiolänk.

Flygplanet kastas upp för hand och flygplanet börjar då flyga uppåt i en cirkelformad bana, då det har nått sin flyghöjd och fått klartecken påbörjar det flygningen i sina förutbestämda flygstråk. Efter att den har avklarat flygningen så går det ner till en förutbestämd höjd (vanligtvis 100 m) och väntar på att piloten skall landa manuellt med handkontroll.²²

Cirka priset för hela systemet inklusive mjukvara för flygning och bildbearbetning, kringutrustning, träning, support/underhåll och licenser är 23 000 €²³



Figur 6. Smartplanes PAMS ovanpå sin transportväska.²⁴

²¹The Personal Aerial Mapping System (PAMS), Smartplanes webbsida läst 11.1.2012

²² Operation, Smartplanes webbsida läst 6.3.2012

²³ E-postkonversation med Ola Friström på Smartplanes

²⁴ Smartplanes webbsida läst 23.3.2012

Tillverkare	Gatewing	C-Astral	MAVinci	MAVinci	Lehman A.	SmartPlanes
Modell	X100	Bramor	Sirius I	Sirius II	LP960	PAMS
T/O Vikt (kg)	2	3,7	2,7 (inkl.0,55 kamera)	3,3 (inkl.0,55 kamera)	1,25	0,95+0,5 kamera
Spännvidd (cm)	100	230	163	200	92	120
Längd (cm)	60	96	120	130	45	
Kamera	Ricoh GRD III	10 Mp DSLR	Sony NEX 5N/Tetracam	Sony NEX 5N/Tetracam	16 Mp APS-C	Canon S95
Lyft	Ramp	Ramp	Handkast	Handkast	Handkast	Handkast
Landning	Automatisk	Fallskärm	Auto/manuell	Auto/manuell	Manuell	Manuell
Batteritid (min)	45	Upp till 100	30	30	Upp till 25	35-90
Motoreffekt (W)	250	500	700	700		200
Vindtålighet	14 m/s	5,5 m/s	14 m/s			10m/s
Cirkapris 2.2012	49000				7990	23000

Figur 7. Jämförelsetabell mellan flygplansmodellerna

3 Alternativa flygfarkoster

Det går även att använda andra plattformar än ett radiostyrt flygplan för att få upp kameran i luften. I följande avsnitt presenteras några av de alternativ som finns på marknaden.

3.1 Ballonger/zeppelinare

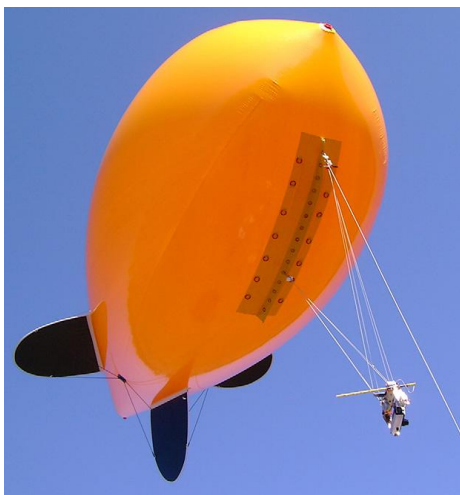
Fördelen med att använda ett fordon som är lättare än den omgivande luften är att man inte behöver ha någon motor som kräver elektricitet för att driva det, utan det går att föra det över området som skall fotograferas via en lina från marken. Detta är positivt i de områden i världen där det är osäker strömförsörjning. En nackdel med att ha en ballong/zeppelinare är att de är mycket mera vindkänsliga än ett flygplan och de kan lätt börja vrida på sig vid vindpustar.

En zeppelinare som är 4 m lång och innehåller $\sim 7 \text{ m}^3$ helium är stabil i vindhastigheter upp till 3–4 m/s vilket kan jämföras med Gatewings flygplan som klarar vindhastigheter upp till 14 m/s.²⁵

Det finns två populära gaser som används i ballongerna/zeppelinarna, helium och varmluft.

²⁵ X 100 specifications, Gatewings webbsida läst 28.2.2012

Helium har en lyftkapacitet på 1 g/L och varmluft 0,2 g/L. Nackdelen med helium är att det är dyrt och nackdelen med varmluft är att man måste ha en skild gasbrännare som



genererar värme vilket minskar massan som kan lyftas.²⁶

Figur 8. Heliumfylld zeppelinare med kamera i picavetställning²⁷

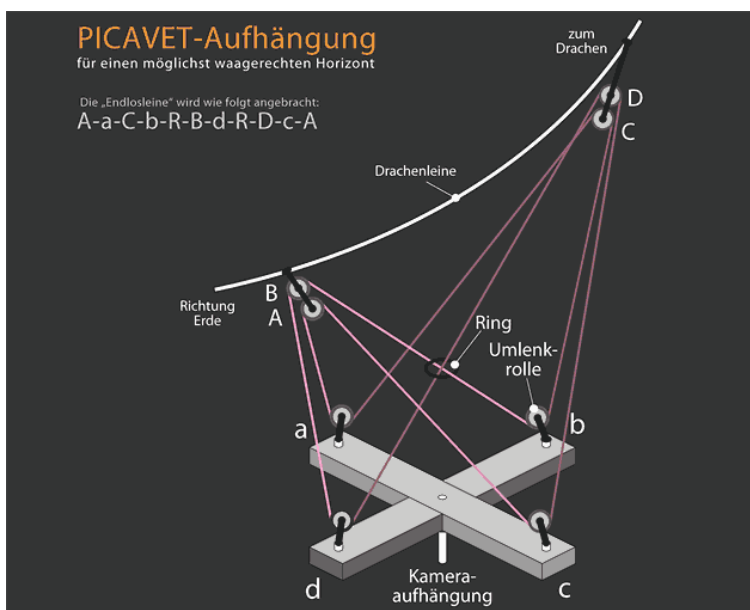
Det går att hålla heliumzeppelinare fyllda i flera dagar i stället för att släppa ut heliumet mellan varje flygning och på så sätt spara kostnader. Det går även att transportera fulla zeppelinare mellan olika projekt i t.ex. en hästrailer.

3.2 Drakar

Drakar var en av de första plattformerna för flygfotografering och används även idag. På senare tid har tekniken utvecklats och drakar används bland annat vid kartläggning av arkeologiska utgrävningar och dylika mindre områden. Det fungerar så att man fäster kameran, som styrs via fjärrkontroll från marken i en picavetupphängning som uppfanns av den franske fotografen Pierre Picavet 1912. Den består av ett kors där kameran sitter fast. Korset har en rulle på varje sida och genom att dra en individuell lina genom varje rulle och fästa linan på två ställen på draklinan. På så sätt hålls korset horisontellt fastän draklinan ändrar vinkel i förhållande till marken.

²⁶ Aber James S., mfl. Small-Format Aerial Photography, Chapter 8

²⁷ ibid s.97



Figur 9. Funktionsprincipen för en picavetupphängning ²⁸

Den största fördelen med drakarna är det låga priset och det behändiga formatet som gör dem lätta att transportera.

Nackdelen är att det krävs kunskaper i drakflygning, samt att det krävs vind för att det skall fungera, dock så finns det olika sorters drakar för olika vindförhållanden och last.

Det finns två kategorier av drakar: utan och med ramstruktur.

Fördelen med de som inte har en ramstruktur är att de är lättare och går enklare att vika ihop och tar på så sätt upp lite utrymme då de transporteras. Nackdelen är att de kan kollapsa om vinden tillfälligt mojnar.

Fördelen med drakarna som har en ramstruktur som traditionellt var byggd av bambu och som idag tillverkas av glasfiber är att de hålls stabila i svaga vindar. Nackdelen är att de är svårare att transportera även om de går att plocka sönder i delar. ^{29 30}

²⁸ Picavetupphängning, wikimedia hämtad 23.3.2012

²⁹ Picavet suspension, Kite aerial photography last 7.4.2012

³⁰ Aber James S., mfl. Small-Format Aerial Photography, Chapter 8

3.3 Quadrokofter/Helikopter

En quadrokofter är en farkost som liknar ett X med totalt fyra rotorerna, en på varje ände.

I en traditionell helikopter behövs en stjärtrotor för att hindra helikoptern att börja snurra runt av huvudrotorns rörelser. Detta problem har eliminerats i quadrokoftern på så sätt att man har två av rotorerna att snurra medsols och två motsols. På så sätt är nettokraften noll.³¹

En quadrokofter som användes vid fotograferingen av ett arkeologiskt projekt som det skulle uppgöras en ytmodell av var microdrone md4-1000. Titta gärna på youtubevideon som visar flygningen³². Quadrokoftermodellens specifikationer kan läsas i figur 10.

Marchfart	15 m/s
Rekommenderad/max nyttolast	800/1200 g
Storlek	1030 mm från rotoraxel till rotoraxel
Flygtid	Upp till 70 minuter
Cirkapris	40 000 €

Figur 10. md4-1000 specifikationer.^{33 34}

Geodetiska institutet i Finland gjorde en undersökning om hur ytmodeller kan genereras från bilder tagna från quadrokofter där bland annat den tidigare nämnda modellen ingick. Där kom man fram till att de är något vindkänsliga och skall inte användas vid vindhastigheter som



överstiger 4 m/s om man skall uppnå ett bra resultat.³⁵ Figur 11. Microdrone md4-1000³⁶

³¹ Understanding The RC Quadrocopter, RC helicopter fun läst 7.4.2012

³² UGent UAV archaeology, youtube läst 6.3.2012

³³ Frequently Asked Questions (FAQ) for microdrones, microdrones webbsida läst 29.3.2012

³⁴ Technical specification for the md4-1000, microdrones webbsida läst 29.3.2012

Den stora fördelen med både helikoptern och quadrokoptern är att de inte kräver några start- och landningssträckor då de kan lyfta och landa vertikalt, vilket gör dem lämpliga för områden där det inte finns stora öppna ytor.

4 Resultat från flygfotograferingen

Efter att man har varit ute och flygfotograferat ett område med sin UAV-farkost så har man ett par olika alternativ att välja mellan då man skall skapa den digitala representationen av det fotograferade området.

För de enklaste tillämpningarna så kan det räcka med att man använder de enskilda bilderna som togs vid fotograferingstillfället. För andra ändamål kan man vidareberäkna bilderna med hjälp av datorkraft till något av de nedanstående alternativen:

4.1 Ytmodell (DSM³⁷)

Ytmodellen är ett koordinatsatt tredimensionellt punktmoln beräknat på fotogrammetriska grunder utgående från bilderna som togs. Detta är den mest komplicerade digitala representationen man kan skapa och den kräver även mest beräkningskraft, vilket även syns i priset om man har en utomstående entreprenör som flyger och levererar resultatet.

Ytmodellen kan tas fram i olika noggrannhetsklasser, dvs hur tätt skall punkterna ligga i ytmodellen. Valet är även en prisfråga då det tar längre att beräkna en noggrannare ytmodell, vilket gör priset högre om man anlitar en yttre beräkningstjänst.^{38 39}

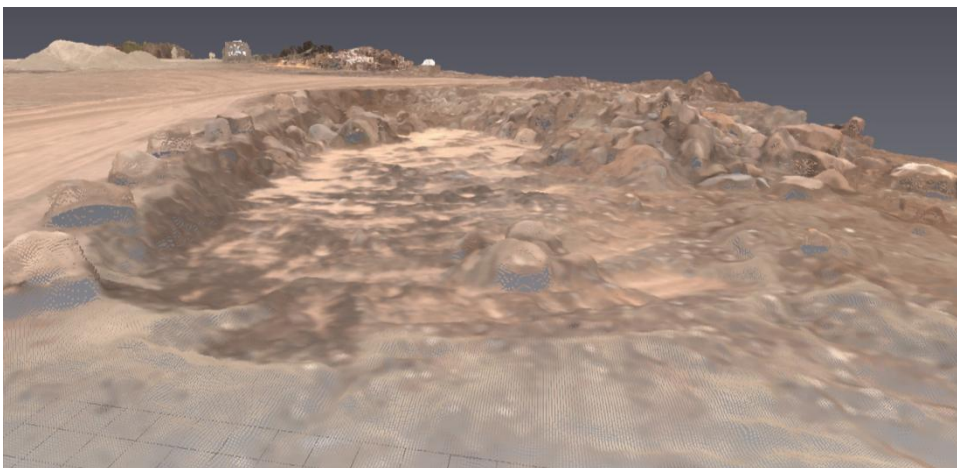
³⁵ Rosnell, Honkavaara: Point Cloud Generation from Aerial Image Data Acquired by a Quadcopter Type Micro Unmanned Aerial

³⁶ Radio-past läst 3.4.2012

³⁷ Digital surface model

³⁸ Image products, Gatewings webbsida läst 27.3.2012

³⁹ Digital Surface Models (DSM), Promap 7.4.2012



Figur 12. Exempel på en ytmodell med 1600 punkter/m², här syns samma grop som i ortomosaiken i Figur 13⁴⁰

4.2 Ortomosaik

Ortomosaiken som består av en plan koordinatsatt 2D-bild beräknad från de bilder som togs vid flygningen. Ortomosaiken är ett bra alternativ om man vill ha ett perspektiv över ett stort område ovanifrån, eller om man bara bryr sig i plankoordinaterna.⁴¹



För att kunna göra en ortomosaik behöver man en bakomliggande ytmodell, utan den så blir slutresultatet en bildmosaik där terrängfelen finns kvar. Om man bara är intresserad av en ortomosaik och inte av en noggrann ytmodell, så beräknas en onnoggrannare ytmodell snabbt bara för användning till ortomosaiken.⁴²

Figur 13. Ortomosaik, jämför med Figur 12 som är ytmodellen över samma ställe.⁴³

Det som skiljer ortomosaiken ifrån en flygbild, förutom att den täcker ett större område, är att den är skalriktig över hela ytan. Precis som i en vanlig karta, är

⁴⁰ Material av Mikael Holm mars 2012

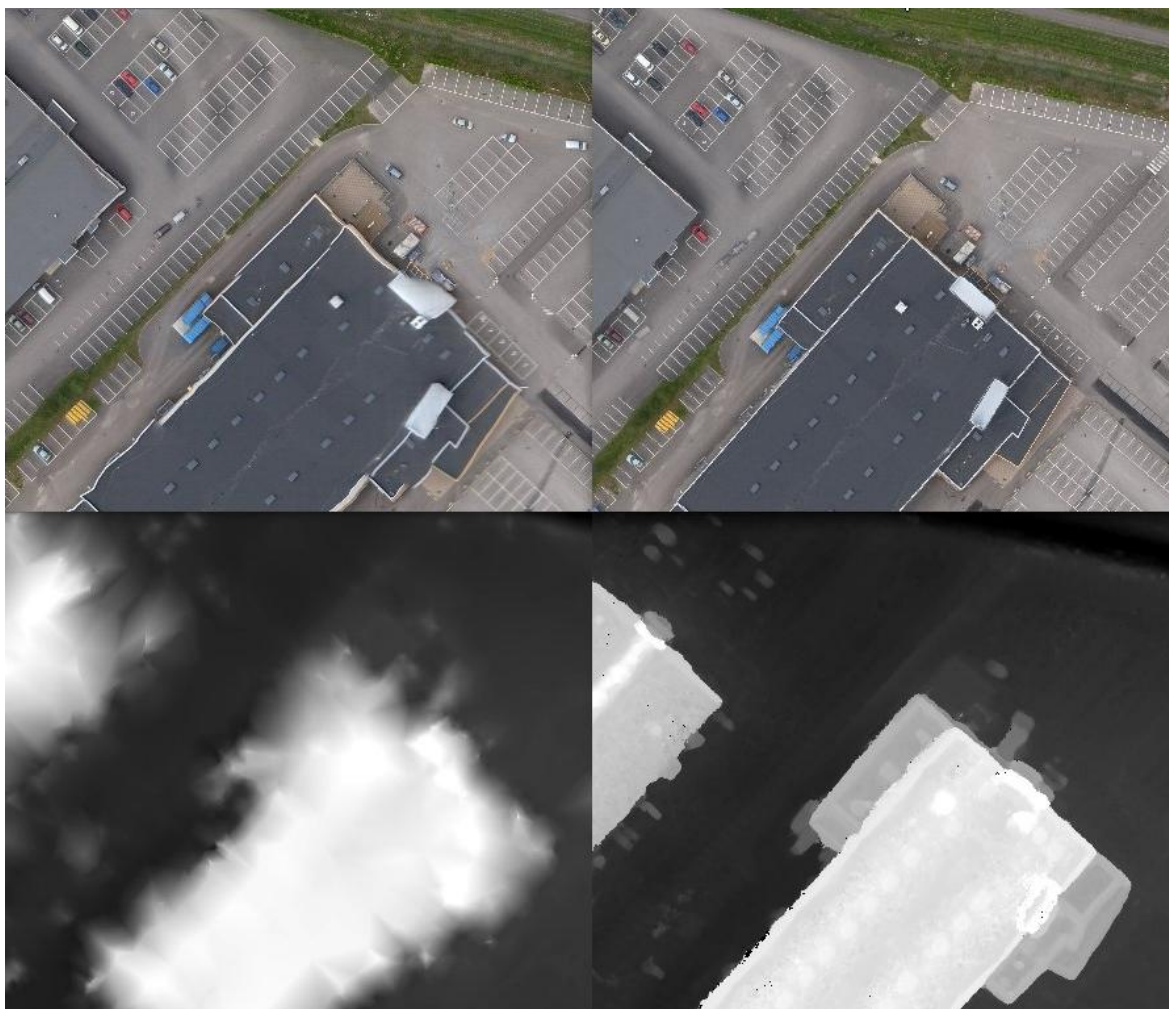
⁴¹ Image products, Gatewings webbsida läst 27.3.2012

⁴² Samtal med Mikael Holm mars 2012

⁴³ Material från Mikael Holm mars 2012

skalan densamma över hela ortomosaiken. En annan sak är att ortomosaiken står vinkelrätt mot markytan till skillnad från flygbilderna som har en viss lutning pga. flygplanets rörelser. Även problemet med att föremål ser ut att luta då befinner sig på kanterna av flygbilden elimineras av ortomosaiken.⁴⁴

Precis som ytmodellen kommer ortomosaiken i olika klasser och här är det fråga om både upplösning (hur stor är en pixel på marken) och noggrannhet (hur noggrann är en pixels koordinater). Detta förklaras bäst i figur 14.



Figur 14. På den övre raden kan vi se ortomosaiken, och på den undre ytmodellen som ligger till grund för den. Den vänstra spalten kommer från en beräkningstjänst som anger att ortomosaiken har en upplösning på 5 cm, dock är det ca. 2–5 m mellan punkterna i ytmodellen som ligger till grund för ortomosaiken och det leder till att man tydligt kan se deformationer. Den högra spalten kommer från en annan beräkningstjänst som anger att den har en upplösning på 10 cm. Här är dock punktavståndet i ytmodellen 10–20 cm och

⁴⁴ Digital orthophotos, U.S. Geological Survey läst 7.4.2012

det leder till att den verkliga noggrannheten i den högra ortomosaiken är högre än i den vänstra trots att upplösningen är lägre.

4.3 Beräkning i molnet

Beräkningen av speciellt ytmodellen är väldigt krävande och därför finns det företag som erbjuder molntjänster dit man kan ladda upp sina bilder efter att man har flugit.

Ytmodellen beräknas därefter på företagets datorer och kunden kan ladda ner den färdiga modellen då den är klar.⁴⁵

Nedan följer ett urval av de företag på marknaden som erbjuder denna tjänst i dagens läge:⁴⁶

- Aerogis, tyskt företag
- Agisoft, ryskt företag
- MosaicMill finländskt företag
- Geo ID, belgiskt företag
- Icaros, amerikanskt företag
- PIEnearing Oy, finländskt företag
- Pix4D, Schweiziskt företag

Tiden som det tar att beräkna och leverera ett område till kund är ungefär en vecka. Det finns även expressalternativ som tar runt två dagar.⁴⁷

4.4 Beräkning på egen dator

Det finns även programvara som tillåter att man utför blocktrianguleringen på egen dator, exempel på sådana program är Leica Photogrammetry Suite (LPS)⁴⁸ och gratisprogramvarorna Apero/MICMAC, som har släppts med öppen källkod.

Även flygplanstillverkarna har egna program för detta ändamål, bl.a. Gatewing har programmet stretchout⁴⁹ som kan användas vid uppgörandet av ortomosaik och ytmodeller.

Det finns även möjlighet att utföra beräkningen i molnet på Gatewings servrar och på så

⁴⁵ Services, PIEnearings webbsida läst 27.2.2012

⁴⁶ Post Processing, MAVincis webbsida läst 13.3.2012

⁴⁷ PIEnearings beräkningstjänst

⁴⁸ LPS, Erdas läst 7.4.2012

⁴⁹ Stretchout, Gatewings webbsida läst 13.3.2012

sätt spara tid och eventuellt egna hårdvaruinvesteringar. Om man väljer att använda sin egen dator för beräkningen så är de rekommenderade systemspecifikationerna för stretchout pro som följer:⁵⁰

OS: Windows 7 (64-bit)
Processor: Nehalem Xeon eller Core i7
Ramminne: 48 GB
Hårddiskutrymme: 400 GB
Grafikkort: NVIDIAkort med stöd för CUDA

5 Fotogrammetri

Med fotogrammetri så menas tekniken att kunna göra tredimensionella mätningar på föremål med hjälp av två eller flera fotografier med överlappning, tagna från olika positioner.⁵¹

Det är enligt samma principer som vi människor har djupseende, skulle inte vi ha två ögon så skulle vi inte kunna bestämma hur långt ifrån oss ett föremål befinner sig. Dock så kan en person som inte har stereoseende p.g.a sjukdom eller bildhet, ungefärligt bestämma avstånd och storleken på olika föremål, om han eller hon ser ett föremål med känd storlek i närheten, exempelvis en bil.⁵²

Enkelt sagt kan man säga att sättet att mäta djup fotogrammetriskt fungerar på så sätt att objekt som är närmare kameran förflyttar sig mera mellan två bilder tagna på två olika platser än objekt som ligger längre bort.

Som exempel kan man ta en bergstopp som man fotograferar från ett flygplan med kameran vinkelrätt mot marken, då kommer bergstoppen att flytta sig mera på bilderna än den omgivande marken. Man kan enkelt testa detta genom att föra ett finger närmare och längre bort från ögonen och växelvis blunda med ögonen. Ju närmare ögat fingret är desto mer ser fingret ut att förflyttas i sidled.

⁵⁰ Gatewing Stretchout System requirements, Gatewings webbsida läst 27.3.2012

⁵¹ The Basics of Photogrammetry, Geodetic systems läst 7.4.2012

⁵² Depth perception, wikipedia uppdaterad 29.2.2012

5.1 Kameraparametrar

För att kunna använda sig av fotogrammetriska metoder vid uppgörandet av en 3D-modell så måste man känna igen kamerans parametrar.

Kameraparametrarna delas in i två delar, inre och yttre parametrar.^{53 54}

5.1.1 Inre parametrar

De inre parametrarna anger kamerans optiska och geometriska egenskaper. Man beräknar de inre parametrarna genom att fotografera ett testmönster ur olika vinklar.⁵⁵ Därefter för man över bilderna till datorn och bearbetar dem i ett program som beräknar ut kameraparametrarna utgående från bilderna. Komponenterna som de inre parametrarna består av är:

- Objektivets brännvidd.
- Antalet pixlar (ljuskänsliga element) i bildsensorn.
- Storleken på sensorn i mm.
- Storleken på de förvrängningar i bilden som uppstår på grund av objektivet.
- Bildkoordinaterna för objektivets brännpunkt på bildsensorn (principalpunkten).

5.1.2 Yttre parametrar

De yttre parametrarna anger kamerans plats i det yttre omgivande koordinatsystemet, parametrarna består av:

- Kamerans position (X, Y, Z) .
- Rotation (ω, ϕ, κ) i det yttre koordinatsystemet⁵⁶.

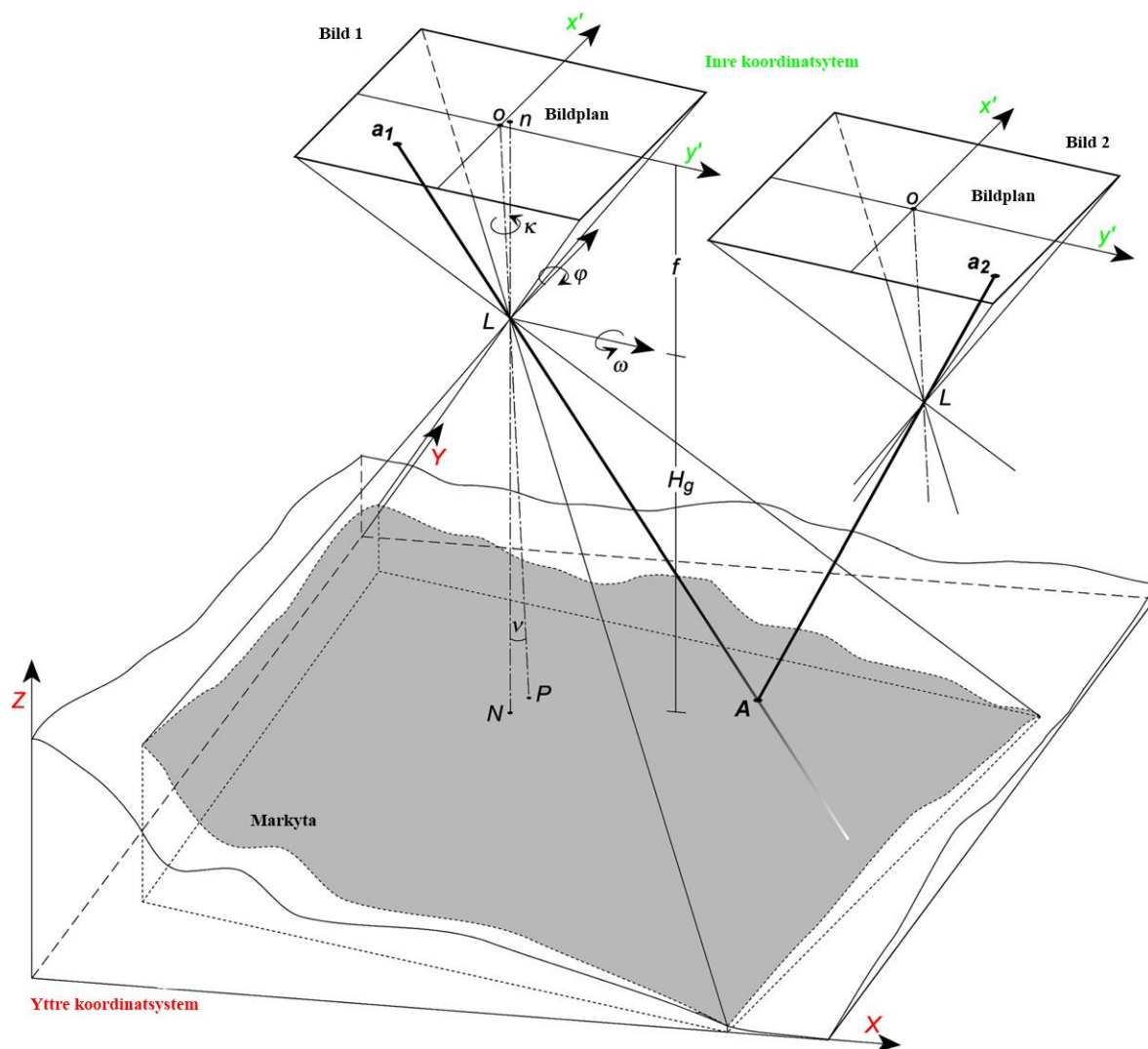
Närmevärden till de yttre parametrarna kan tas från flygplanets GNSS-mottagare och lutningssensor. Alternativt beräknas de endast utgående från marksignaler.

⁵³ Camera Calibration and 3D Reconstruction, Open CV läst 7.4.2012

⁵⁴ University of Edinburgh, Computer Vision IT412 läst 26.2.2012

⁵⁵ Rutgers University, CS 534: Computer Vision Camera Calibration läst 26.2.2012

⁵⁶ Koordinatsystemet som gäller på marken t.e.x. WGS84



Figur 15. Principskiss över hur koordinaterna för punkt A på marken kan räknas ut genom linjeskärning då man vet bildkoordinaterna x' , y' för a_1 och a_2 i det inre koordinatsystemet, och X, Y, Z koordinaterna för L i det yttre koordinatsystemet samt vridningarna (ω, ϕ, κ) för bildplanet i förhållande till markplanet.⁵⁷

5.2 Centralprojektion

Sättet hur man kan mäta avstånd och höjder på markytan genom fotogrammetri följer enkla geometriska regler. Eftersom kameran nyttjar en centralprojektion där (i teorin) alla ljusstrålar går genom en och samma punkt i objektivet, får man skalenliga förhållanden mellan ett avstånd på marken och ett på bildplanet.

⁵⁷ Aber James S., mfl. Small-Format Aerial Photography, s.32

Skalförhållandet är dock inte jämt över hela bilden, endast för ytor som ligger på samma höjd som principalpunkten i bilden. För övriga ytor så är skalan större för sådana ytor som ligger närmare kameran och mindre för sådana som ligger längre bort.⁵⁸

Ett annat fenomen som också uppkommer pga. centralprojektion är att höga föremål ”lutar” utåt från principalpunkten. Detta fenomenets storlek beror på objektivets brännvidd. Om man flyger på låg höjd med ett objektiv som har kort brännvidd så blir effekten större än om man flyger på hög höjd med lång brännvidd, fastän man fotograferar lika stor yta.

5.3 Koordinatberäkning

Om man skall kunna mäta med fotogrammetriska metoder så krävs det att samma yta ses på två eller flera bilder och det går bara att mäta på den ytan som har överlappning.

I och med att det tas flera hundratals bilder på ett relativt litet område under en flygning med UAV-flygplan så ses samma punkt ofta från flera olika bilder. Då kan man göra en så kallad blocktriangulering. Det går ut på att man automatiskt indentifierar gemensamma markpunkter på de olika bilderna genom datorseende och sedan anpassar och vrider bilderna så att felen vid ihoppassningarna minimeras. I teorin så klarar man sig med tre stycken flygbildssignaler vid användning av denna metod, oavsett antalet bilder.⁵⁹ Men i praktiken behövs flera för att kompensera eventuella fel och brister i orienteringsparametrarna och/eller kamerakalibreringen.⁶⁰

Eftersom man vet den inre och yttre orienteringen av kameran, så kan man när man vet vilka bildkoordinater en punkt på marken har, på åtminstone två bilder beräkna vilka markkoordinater punkten har genom linjeskärning.

⁵⁸ Aber James S., mfl. Small-Format Aerial Photography, Chapter 3

⁵⁹ Ibid

⁶⁰ Samtal med Mikael Holm mars 2012

6 Datorseende (eng. Computervision)

Datorseende är ett vetenskapsområde, som strävar efter att ge datorer och maskiner möjligheten att självständigt kunna se och ”förstå” sin omgivning.

6.1 Introduktion

Till skillnad från människan har datorer svårt att relatera till sin omgivning, exempelvis att se skillnad på en skugga och ett objekt.⁶¹

Vi människor kan ha svårt att förstå detta faktum då vi är vana att se på en sak och förstå vad vi ser på. Som en historisk parentes kan nämnas då professor Marvin Minsky vid MIT (Massachusetts Institute of Technology) gav sin elev Gerald Sussman som uppgift att under en sommar ”koppla ihop en kamera med en dator och få datorn att beskriva vad den ser”.

Detta skedde år 1966 och detta problem gäcker vetenskapen ännu 46 år senare.⁶²

6.2 Allmänna principer

Teorin bakom datorseende är att om man har ett tillräckligt antal bilder av ett objekt eller en yta, tagna från olika positioner så kan man skapa en 3D-modell genom låta datorn identifiera gemensamma punkter i bilderna och sedan använda sig av fotogrammetriska beräkningsmetoder.⁶³

Hur detta sker i praktiken, och hur alla metoder och formler är uppbyggda, är dock mycket komplicerat och kräver en hel del förkunskaper inom fotogrammetri och bildbehandling, och därför tas det endast upp i sin enklaste form i detta examensarbete.

Problematiken i det hela ligger i att hitta de gemensamma punkterna i bilderna, då datorn måste räkna ut vilka punkter som är tagna av samma ställe på flera olika bilder.

För att underlätta matchningen av punktparen mellan bilderna så kan man använda sig av bildförbättringsmetoder. Vanliga metoder som används är att öka och minska kontrasten i

⁶¹ Szeliski Richard, Computer Vision: Algorithms and Applications s.3 (September 3, 2010 draft) ISBN 978-1-84882-934-3

⁶² ibid

⁶³ ibid

bilden, ändra färgnyanserna, minska på antalet färger, göra bilden suddigare, samt att rotera den.⁶⁴ Dessa metoder används i samband med algoritmer som förtydligar kanter och gränser mellan olika områden, exempel på en enkel metod är sobeloperatorn.⁶⁵

Sobeloperatorn fungerar genom att föra två olika 3x3 matriser som beräknar gradienten, som är riktningen för den största förändringen av intensitet, över varenda pixel på bilden genom att jämföra intensitetsvärdet med de omkringliggande pixlarna i matrisen. Den matematiska bakomliggande principen är att man beräknar uppskattningar av derivatorna, en för de vertikala förändringarna och en för de horisontella, och sedan slår man ihop dem och får en ny bild där skarpa förändringar i bilden anges som ljusa områden. En nackdel med sobeloperatorn är att den endast kan arbeta med en färgkanal alternativt med gråskalebilder.⁶⁶



Figur 16. Kantigenkänning genom olika metoder. På den första raden (BG) används ljusgradienten, (CG) färggradienten, (TG) texturgradienten, och sedan kombineras alla

⁶⁴ibid s.100

⁶⁵ Ibid chapter 3–4

⁶⁶ Sobel Edge Detector, HIPR2 läst 7.4.2012

svaren i näst sista raden. På den sista raden är resultatet av då en människa har försökt identifiera kanterna.

Efter det så använder man sig av algoritmer som hittar entydiga punkter, ytor, kanter eller linjer i bilderna, såsom takkanter.

Det finns även en uppsjö av andra algoritmer som kan användas för att identifiera punkter, linjer och områden som kan användas som hjälppunkter vid ihoppningen av bilder i blocktrianguleringen.⁶⁷

7 Felkällor och försämrande faktorer vid beräkningen

Vid efterberäkningen av bilderna så finns det ett antal felkällor och försämrande faktorer som försämrar slutresultatet. Ett urval av dessa faktorer finns uppräknade i detta kapitel. Vissa har urklipp av exempelbilder som kommer från flygningar som gjorts.

7.1 Skuggor

Om flygningen sker sent på året på våra breddgrader så uppstår problem då solen ligger lågt över horisonten, vilket leder till väldigt långa skuggor. Då skuggorna är så långa så rör sig skuggan av toppen på ett högt föremål relativt snabbt. Som exempel kan tas ett träd som har en 50 meter lång skugga. I det fallet rör sig toppen på skuggan ca 4 mm i sekunden.



Figur 17. Här ser man hur felaktiga upphöjningar i asfalten har uppstått då skuggan av en skylt på trafikdelaren har förflyttat sig under flygningen.

⁶⁷Szeliski Richard, Computer Vision chapter 4

Problemet som uppstår då skuggan förflyttar sig under flygfotograferingen och är på olika ställen på olika bilder, kan det tolkas som en höjdskillnad av programmet vid uppgörandet av ytmodellen.⁶⁸ Objekt som rör sig snabbare, som bilar, är oftast inget problem eftersom de filtreras bort.

7.2 Homogena ytor

Ytor som är lika i färg eller textur bjuder även på en utmaning vid uppgörandet av ytmodellen, då det är svårt att hitta gemensamma bildpar i bilderna. Detta kan leda till att det uppstår en brusighet på sådana ytor, med många punkter ovanför och under den rätta ytan.⁶⁹

7.3 Vibrationer från flygplanet

Om det kommer en hård vindpust vid flygning så korrigerar autopiloten den uppkomna kursavvikelsen. Vid sådana korrigeringar så kan motorvarvtalet plötsligt öka kraftigt och förorsaka vibrationer som skakar om flygplanet. Om detta sker vid ett fotograferingsögonblick så är risken stor att bilden som tas blir suddig.⁷⁰

7.4 Inre orientering vid användande av kompaktkamera

Vid användning av en kompaktkamera som drar in objektivet då man stänger av den och faller ut det då man sätter igång den, så ändras de inre kameraparameterarna varje gång om inte objektivet återvänder till samma plats som det hade då kamerakalibreringen utfördes.⁷¹

Detta problem undviks vid användning av kameror som har fasta objektiv.

7.5 För högt ISO-tal

ISO-talet anger hur känslig bildsensorn är för ljus, ju högre ISO-tal man har desto mer förstärks de elektriska signalerna som kommer från bildsensorn, vilket leder till en högre brusnivå.

⁶⁸ Samtal med Mikael Holm på PIEnengineering Oy mars 2012

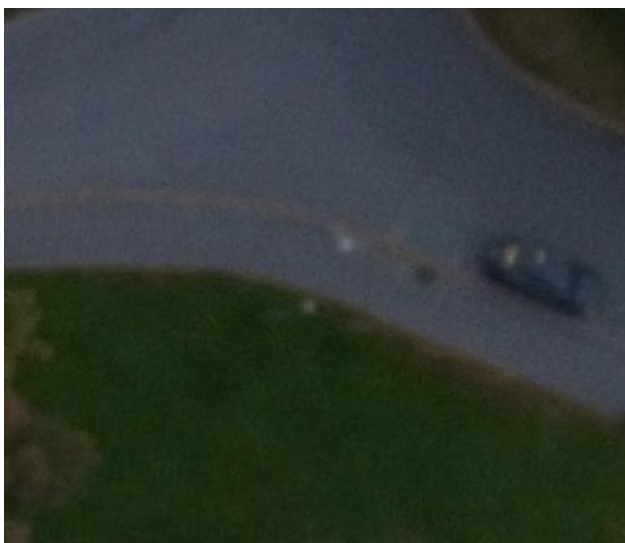
⁶⁹ ibid

⁷⁰ ibid

⁷¹ ibid

Detta kan jämföras med om man höjer ljudet på sin stereoanläggning, ju mera man förstärker ljudet desto mera höjer man även på brusnivån.

Om man gör en flygfotografering under svaga ljusförhållanden så kan man till en viss del kompensera behovet av att använda en längre slutartid med att öka på ISO-talet, dock finns det även en gräns för detta. Till slut blir bilden så grynig att den antingen inte går att använda, alternativt går den bara att använda vid beräkandet av en modell med lägre noggrannhetskrav.



Figur 18. Bild tagen med högt isotal, vilket ger en brusig bild.⁷²

Problemet som uppstår då en bild är grynig är att då programmet letar efter gemensamma bildpunkter så tar det även med grynigheterna som inte finns ”på riktigt”. Detta gör att felaktiga ihopparningar görs.^{73 74}

7.6 För ljusa/mörka bilder

Om bilderna som tas under flygningen blir för ljusa eller för mörka antingen på grund av felaktiga kamerainställningar eller ofördelaktiga ljusförhållanden, uppstår problem vid letandet efter gemensamma bildpunkterna.

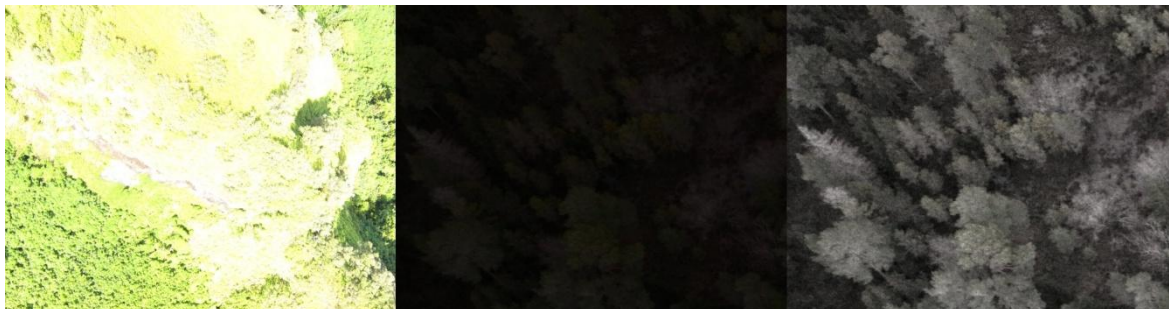
Detta problem förvärras vid användning av JPEG-formatet då färgdjupet är mindre än för RAW. Detta gör då att mörka och ljusa ytor ofta blir helt vita eller helt svarta (dvs. 255,255,255 eller 0,0,0 i 8 bitars RGB-kod). Om man i stället hade använt RAW med flera

⁷² Material av Mikael holm mars 2012

⁷³ Film speed,wikipedia uppdaterad 24.3.2012

⁷⁴ Samtal med Mikael Holm på PIEngeering Oy mars 2012

bitar per pixel så skulle kanske en viss nyansskillnad kunnat märkas och på så sätt hjälpa vid punktingenkänningen.



Figur 19. På bilden längst till vänster ser man då stora ytor har blivit överexponerade och helt vita, vilket gör det omöjligt att se någon skillnad i textur på de ytorna.

Den mittersta bilden har i stort sett samma problem som den till vänster fast denna gång har bilden blivit underexponerad med svarta ytor som följd.

I den högra bilden så har den mittersta bildens histogram dragits ut för att bättre visa vad som syns på den⁷⁵.

7.7 Jpeg-komprimering

JPEG är ett förstörande bildformat. Det innebär att det försämrar bildkvaliteten vid om man sparar en bild i det formatet. JPEG-formatet utnyttjar faktumet att människor har svårare att uppfatta färgskillnader än skillnader i ljusstyrka, då kan man minska på färginformationen i bilden och på så sätt minska på filstorleken.⁷⁶

I korthet fungerar det genom att dela in bilden i block med liknande färg och beräkna en medelfärg för området⁷⁷. På en kamera finns det oftast en inställning för hur stor komprimeringsgraden av JPEG-bilden skall vara. Om man har valt en hög komprimeringsfaktor så uppstår det så kallade artefakter i bilden. Dessa ser ofta ut som en kvadrat i bilderna. Problemet med artefakterna är detsamma som för kornigheten vid användning av ett högt isotal. Det stör identifieringen av gemensamma bildpunkter och kan göra att programmet gör felaktiga ihoppningar, vilket leder till sämre noggrannhet.

⁷⁵ Material av Mikael Holm på PIEngeering Oy mars 2012

⁷⁶ Baseline JPEG and JPEG2000 Artifacts Illustrated läst 23.3.2012

⁷⁷ Hur fungerar JPEG?,fotosidan.se läst 24.3.2012



Figur 20. Bilden längst till höger har komprimerats med allt högre faktor för varje bild vänsterut, speciellt på bilderna längst till vänster kan man se de typiska artefakterna som uppkommer vid hög JPEG-komprimering.

8 Olika användningsområden för UAV-flygplan

Användningsändamålen för UAV-flygplan är många och i det här kapitlet framkommer ett par områden där UAV-teknik kan användas för att förenkla vardagen.

8.1 Militär

Inom militären så används UAV-flygplanen främst för spanings- och övervakningsuppdrag. Till skillnad från lantmåteriapplikationerna använder man en filmkamera med direkt videolänk ner till marken, istället för en stillbildskamera som töms då flygplanet landar.⁷⁸

8.1.1 Historia

Inom den amerikanska militären har forskning inom fullstora obemannade flygfarkoster pågått länge. Redan 1917 så fick Elmer Sperry ett kontrakt på att ta fram en ”flygande bomb”.

Sperry fick hjälp med sitt projekt av det kroatiska universalgeniet Nikola Tesla⁷⁹ som började forska i möjligheten med obemannade flygfarkoster redan på 1890-talet.

Den flygande bombens funktion var att flyga en viss sträcka på en jämn höjd och därefter stört dyka och explodera vid kraschningen. Flygplanet kunde automatiskt justera sin höjd

⁷⁸ Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), GlobalSecurity läst 7.4.2012

⁷⁹ Tesla Biography, Tesla memorial society of New York läst 7.4.2012

tack vare ett gyroskop, som även innehöll mekanismen som styrde flygplanet mot marken med sin bomblast⁸⁰.

Tyvärr så var framgången inte så stor med projektet och det lades ner år 1922.⁸¹

Därefter stod forskningen kring obemannade flygplan i princip stilla i USA till slutet på 1930-talet.

I Storbritannien däremot så forskade man däremot mera i ämnet. Bland annat så lyckades man 1927 flyga ett obemannat flygplan kallat Larynx, 180 km. Dock så landade det 8 km bort från det planerade målet.

8.1.2 Nutid

I dagens läge så har man många olika obemannade flygplan i olika storleksklasser i tjänst, men det är kanske Predator-modellen som har synts mest i nyheterna.⁸² Modellen som började användas 1995 i spaningssyfte samt för att markera mål med laser för målsökande missiler.⁸³ År 2001 uppgraderades modellen och den bestyckades med Hellfire-missiler.

I den mindre storleksklassen har man tre olika modeller.

- Raven, tillverkare AeroVironment
- Dragon Eye, tillverkare AeroVironment
- ScanEagle, tillverkare Boeing

Raven som är den mest använda modellen introducerades 2003, 90 cm lång och med en spännvidd på 140 cm.⁸⁴ Den är utrustad med en färg-CCD videokamera för spaningsuppdrag dagtid och med en infraröd kamera för spaning i mörker.⁸⁵ Maximala räckvidden för flygplanet ligger på 10 kilometer vid öppet landskap. Uppskjutningen sker genom att man kastar upp den och sedan styr den antingen manuellt eller genom att rita in

⁸⁰ Blom John David, Unmanned Aerial Systems: A Historical Perspective, Chapter 2

⁸¹ ibid

⁸² ibid, Chapter 4

⁸³ MQ-1 Predator, Deagel läst 7.4.2012

⁸⁴ Blom John David, Unmanned Aerial Systems: A Historical Perspective, Chapter 4

en flygrutt som flygplanet själv följer⁸⁶. Landningen går till på så sätt att flygplanet flyger på en låg höjd och stänger av motorn varvid det faller ner på marken.⁸⁷



Dragon Eye är något mindre än Raven och den används av marinkåren. Dock så valde man senare att övergå till Raven-systemet, men de Dragon Eye flygplan som finns så används ännu i strid.⁸⁸

ScanEagle-modellen har dubbelt så stort vingspann som Raven och

Figur 21. Soldat ifärd med att kasta upp ett Raven-flygplan

den har betydligt längre batteritid (20 timmar mot under två timmar). I motsats till de andra modellerna så kräver ScanEagle en skild uppskjutningsramp för att ta sig upp i luften. Till landningen har den även ett separat system, kallat "SkyHook" som består av ett rep som hänger ned från en stolpe. Då flygplanet skall landa så navigerar den sig till repet tack vare DGPS-system som finns monterat både på flygplanet och på stolpen, då flygplanet flyger in i repet så hakar det fast i en krok på flygplanet och fångar upp det.⁸⁹

Gemensamt för alla system är att de kan överföra data från en eller flera videokameror eller andra övervakningssystem, såsom värmekameror, i realtid till användaren.

Att veta vad som finns omkring en i en krigssituation kan vara skillnaden på liv och död. Exempelvis så flygplanen användas till att se vad som är bakom en kulle eller i strid i bebyggelse kan man se om någon gömmer sig på ett tak.

Dock finns möjligheten att fienden kan dra nytta av realtidsövervakningen av slagfältet om man inte krypterar datalänken. Detta skedde i Irak då den amerikanska militären kopplade bort krypteringen p.g.a. att den slöade ner videolänken.⁹⁰ Det gjorde att fienden kunde se

⁸⁶Digital Raven: Hand-Launched UAV Goes Binary, Defense industry daily läst 22.1.2012

⁸⁷Raven overview läst 22.1.2012

⁸⁸AeroVironment RQ-14 Dragon Eye, Designation-Systems läst 7.4.2012

⁸⁹ScanEagle, Boeing läst 7.4.2012

⁹⁰Iraq insurgents 'hack into video feeds from US drones', BBC news läst 25.1.2012

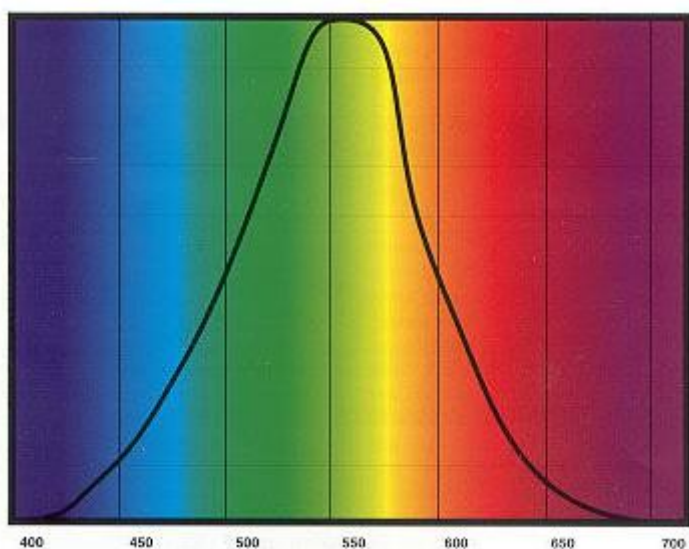
allt som amerikanerna såg på genom att använda Skygrabber, ett program som kunde köpas av vem som helst för 26 USD.⁹¹

8.2 Växtlighetsanalys

Genom att även använda en bit av det infraröda spektrumet som ligger utanför det område som är synligt för människor, kan man bland annat enklare se skillnaden mellan olika växtarter samt mängden klorofyll i en växt.⁹²

Ungefär halva energin av solens strålning ligger i det infraröda spektrumet, dock kan inte ljus i våglängder större än ca 700 nm användas till fotosyntes, så grönväxter reflekterar stora delar av den strålningen för att undvika överhettning och cellskador.⁹³

Det mänskliga ögat kan bara uppfatta elektromagnetisk strålning (ljus) med våglängder mellan 400 nm och 700 nm, med den högsta känsligheten kring 555 nm.⁹⁴



Figur 22. Graf över ögats färgkänslighet.⁹⁵

På grund av att vi inte kan se den infraröda strålningen måste man ersätta den ”färgen” med en annan om man skall använda den i en bild.

En vanlig färgkanalskombination som används vid så kallade falskfärgsbilder är:

⁹¹MQ-1 Predator, Deagel läst 7.4.2012

⁹²A Guide to the Practical Use of Aerial Color-infrared Photography in Agriculture, University of Nebraska-Lincoln läst 30.1.2012

⁹³Measuring vegetation, NASA läst 7.4.2012

⁹⁴What Wavelength Goes With a Color?, NASA läst 7.4.2012

⁹⁵Colorimetry, Local 600–International Cinematographers guild läst 3.4.2012

Röd kanal = Infraröd

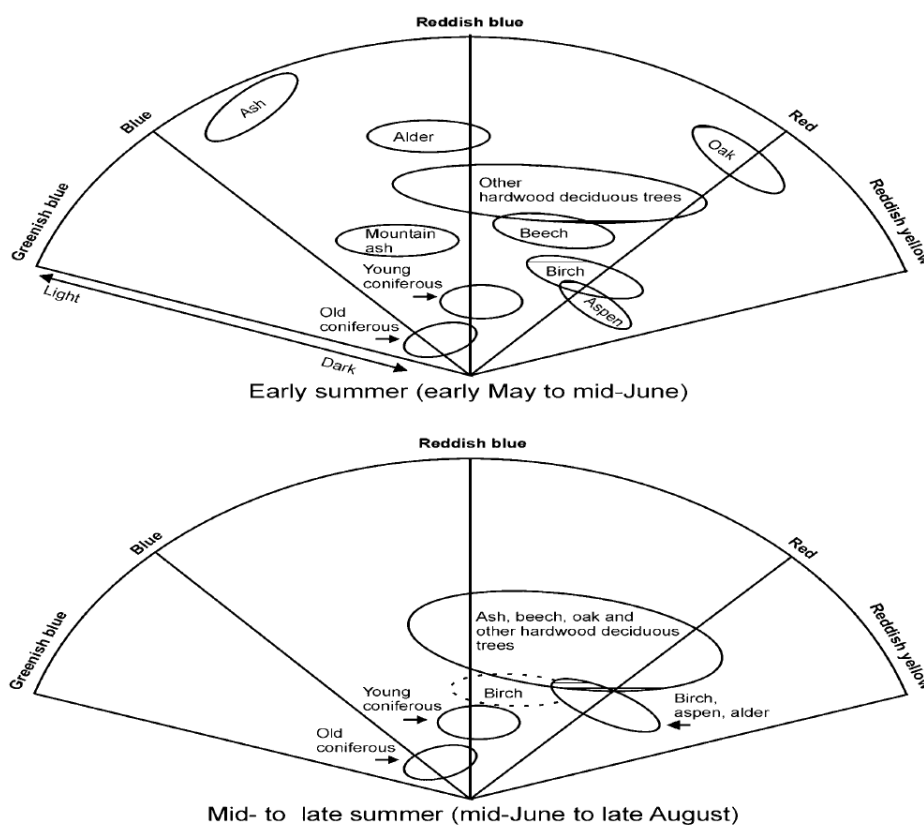
Grön kanal = Röd

Blå kanal = Grön

Färgkombinationen gör att all växtlighet har en röd färg där intensiteten beror på mängden klorofyll och att alla ”döda” ytor är i en grå nyans.⁹⁶

Vid artbestämningen av olika träd så ser man främst på färgen, växtplatsen, kronans struktur och trädens höjd.

Vid bestämning av lövträd använder man bilder från tidpunkten kring lövsprickningen, Skillnaden i färg mellan olika lövträdsarter är störst vid tidpunkten då de senfärdigaste arterna som ek och ask börjar lövsprickningen.⁹⁷



Figur 23. Färgskillnader mellan olika trädslag och tider på året.⁹⁸

Knoppar, stammar och grenar och är blåaktiga på falskfärgsbilderna medan nytt lövverk är ljusrött och gamla löv är mörkröda.⁹⁹

⁹⁶ Interpreting Optical Remote Sensing Images, Centre for remote sensing läst 6.2.2012

⁹⁷ Ihse, Margareta, Colour infrared aerial photography s.170-191

⁹⁸ Ibid s.182

Barrträden håller i motsats till lövträden en relativ jämn färg året om, då de inte har några skilda lövsprickningsperioder. Barrträden är alltid mycket mörkare på falskfärgbilderna än lövträden.¹⁰⁰

Identifikationsnoggrannheten som uppnås beror på trädslaget och tidpunkten för fotograferingen som diskuterades tidigare, med den ligger kring ca 80 % på försommaren och ca 60 % på högsommaren.¹⁰¹

Från bilderna kan man även analysera annan typ av växtlighet. Som exempel kan tas ängsmark som man kan kategorisera i tio olika nivåer från torr till våt endast från färgern på bilderna. Metodiken för hur detta fungerar är att man tar bilder på olika tidpunkter på året och analyserar färgerna som förekommer. Exempelvis torra ängar som kan ses på försommaren då de har en röd färg p.g.a. växligheten som börjar komma upp, våta ängar har i motsats mycket död vegetation vid den tidpunkten på året och det syns som blåa ytor.¹⁰²

Fördelen vid användning av UAV-plattformen i detta sammanhang då skalan på bilderna är så stor, är att man utan problem ser de individuella träden och då ser om något är angripet av insekter eller annars sjukt eller dött. Dessa träd kan man se då de har en grå färg, och då kan man kanske sätta in förebyggande åtgärder i ett tidigt skede eller hindra en spridning av sjukdomen/insekterna till andra träd i området¹⁰³

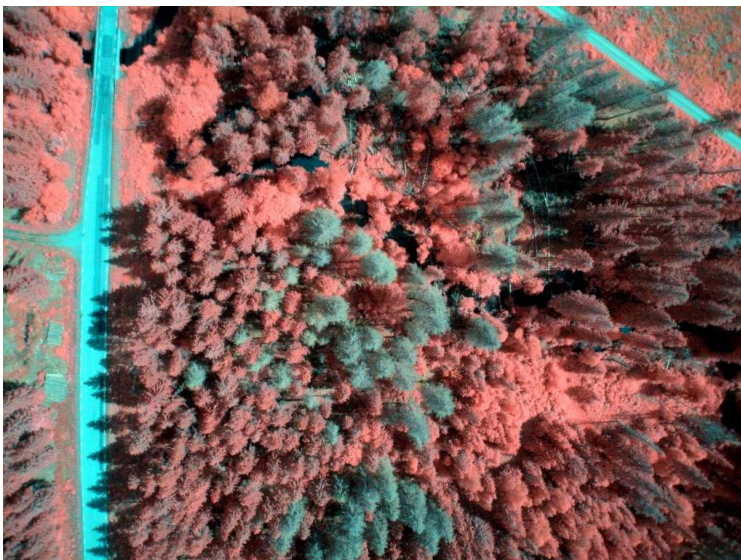
⁹⁹ Ihse, Margareta, Colour infrared aerial photography s..182

¹⁰⁰ Ibid s.182

¹⁰¹ Ibid s.187

¹⁰² Ibid s.182

¹⁰³ Unmanned Aircraft Systems' Remote Sensing Technology Used Against Bark Beetles in National Forests, sUAS News läst 27.3.2012



Figur 24. Falskfärgsbild där man tydligt kan se träd som har blivit angripna av barkborrar p.g.a. deras gråa färg.¹⁰⁴

Nackdelen är att man inte får översikt över stora skogsområden utan otaliga flygningar och då kanske det vore billigare att använda ett fullstort flygplan som flyger på högre höjd och kan fotografera ett större område.¹⁰⁵

8.3 Maskinstyrning

Maskinstyrning innebär att man via RTK-GNSS eller totalstation, eller på ett annat noggrant sätt, bestämmer positionen av en maskin i realtid. Vanligtvis används denna teknik inom jordbyggnadsbranschen exempelvis på en grävmaskin. Vid användning av maskinstyrning på grävmaskiner lägger man även lutningssensorer på bommen och skopan så man kan räkna ut var skopan gräver.¹⁰⁶

Om man använder sig av RTK-GNSS-teknik kan man antingen använda sig av en eller två mottagare. Skillnaden i arbetsgången ligger då i att vid användning av endast en mottagare så måste man rotera maskinen ett varv varje gång man har förflyttat sig för att bestämma riktningen.

Detta problem elimineras med dubbla mottagare med antenner som placeras på varsin sida maskinen, varvid man konstant erhåller riktningen som maskinen befinner sig i. Vid

¹⁰⁴ Galleri, Smartplanes webbsida

¹⁰⁵ Epostkonversation med Anna Allard på Sveriges lantbruksuniversitet

¹⁰⁶ Malin Berndtsson, Maskinstyrning på småskaliga markentreprenader

mätning till sjöss är det tvång med användning av dubbla mottagare för att konstant kunna hålla reda på riktningen.¹⁰⁷



Figur 25. Grävmaskin utrustad med maskinstyrning och dubbla GNSS-antennerna bakpå.¹⁰⁸

Syftet med att använda sig av maskinstyrning är att man kan ha en koordinatsatt 3d-modell av hur projektet skall se ut hur det är färdigtställt. Då man noggrant vet placeringen och riktningen av sin maskin på jorden så kan man jämföra med 3d-modellen som man ser inne i hytten. Där ser man tydligt i numeriska värden om man t.ex. har tagit bort för mycket eller för lite massor, alternativt grävt på fel ställe.

Då man gör ritningen för grävningen så krävs det att man har en noggrann terrängmodell att arbeta på, då små höjdskillnader på ett stort grävprojekt kan orsaka att stora mängder massor måste flyttas i onödan, vilket leder till stora kostnader.

Det är i det skedet som fördelen med att kunna beräkna en ytmodell från bilderna tagna med UAV-flygplanen kommer in. Vartefter projektet framåtskrider och man tar bort jordlager och annars förändrar området så är det lätt, snabbt och billigt att göra en ny ytmodell. Modellen används vid fortsatt planering, med data från UAV-flygplanen. Man kan jämföra med om man skulle flyg/helikopterlaserskanna området.

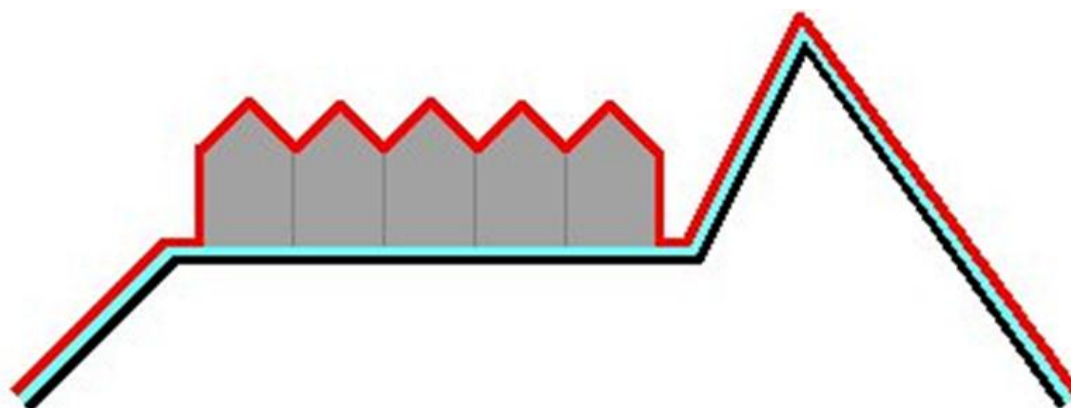
8.3.1 Noggrannhetskrav för terrängmodeller

För att ytmodeller som beräknats från flygplanen skall få användas vid vägbyggnadsprojekt så finns noggrannhetskrav beskrivna. Dock så gäller kraven

¹⁰⁷ Grävmaskin, SBG läst 12.2.2012

¹⁰⁸ Topcon excavator system helps owner-operator double his income läst 3.4.2012

terrängmodeller (DTM¹⁰⁹), inte ytmodeller (DSM¹¹⁰). Skillnaden mellan en ytmodell och en terrängmodell är att terrängmodellen bara har med själva markytan medan ytmodellen även har med hus och träd, som om man skulle kasta en våt duk direkt ovanpå världen.¹¹¹



Figur 26. Avbildat är en markyta med några hus på, den turkosa linjen är hur området ser ut på terrängmodellen medan den röda är ytmodellen¹¹²

8.3.1.1 Finland

I trafikverkets anvisning 18/2011 finns följande skrivet om terrängmodellernas noggrannhetskrav:

Medelfelet för en entydig punkt i modellen får högst vara 50 mm. Detta gäller enskilda punkter och brytpunkterna i linjeformade objekt.

Vid höjdmätning så gäller kravet på hårda ytor som man kan bestämma höjden på entydigt. Vid mätning på obbyggda ytor i terrängen så skall eventuella problem att bestämma markytan tas i beaktande vid noggrannhetsgranskningen.¹¹³

Vid mätning av broars fasta konstruktion så får medelfelet uppgå till 25 mm.

Vid mätning av järnvägsspår så får enligt RATO 2¹¹⁴ det maximala felet uppgå till +/- 20 mm.

¹⁰⁹ Digital Terrain Model

¹¹⁰ Digital Surface Model

¹¹¹ Digital Surface Models (DSM), Promap

¹¹² ibid

¹¹³ Trafikverket, Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot – Mittausohje (18/2011)

¹¹⁴ Trafikverket, Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 2 Radan geometria (03/2010)

8.3.1.2 Sverige

Då anvisningarna inte i Finland inte är speciellt detaljerade så togs även SIS:s tabell för noggrannhetskrav på terrängmodeller vid uppgörandet av detaljprojekteringsunderlag med som jämförelse:

Tillåtet medelfel i höjd (meter)	Marktyp
0,02	Hårdgjorda ytor, asfalt, betong, plattbeläggning
0,03	Grusytor
0,05	Jämna gräsytor
0,10	Parkmark, gräsytor
0,15	Jämn skogsmark, åkermark
0,25	Ojämn, storblockig skogsmark
0,30	Bottenyta vattendrag

Figur 27. Tillåtna medelfel i SIS

Detta är dock inte en svensk standard utan en specifikation som utformats främst på begäran av Banverket och Vägverket.¹¹⁵

8.4 Mätning av stenvolym

Vid byggnadsprojekt där det finns många stora stenar som skall flyttas så måste man mäta volymen på dessa så man vet vilka som går att lyfta upp direkt på lastbilsflaken för bortforsling och bearbetning och vilka som måste sprängas innan man kan forsla bort dem.¹¹⁶

Det traditionella sättet som detta har utförts på är med måttband, vilket är tidskrävande och relativt inexakt då man i princip måste uppskatta ett rätblock av en sten som kan ha en mycket irregulär form. Man använder även en faktor som man multiplicerar den uppmätta volymen med för att få den närmare stenenes rätta volym. Denna faktor varierar dock mellan olika projekt, men ligger runt 0,7.¹¹⁷

¹¹⁵ SIS-TS 201144:2007 s.17

¹¹⁶ Telefonsamtal med Frans-Emil Nygård på Skanska mars 2012

¹¹⁷ ibid

Då det finns så många olika former på stenar och mätgubbarna själva måste ta ställning till det ungefärliga rätblocket som mäts, leder det till att repeterbarheten i mätningarna är låg och att stenvolymer som uppmätts på samma område av olika mätgrupper skiljer sig.¹¹⁸

Med hjälp av UAV-flygplan så skulle man kunna skapa en ytmodell av området och beräkna volymen för varenda individuell sten enskilt. Detta förfarande skulle möjligtvis öka precisionen på volymberäkningen och minska antalet stenar som felaktigt blir/inte blir märkta för sprängning. Dock så krävs det vidare forskning och undersökning i detta förfarande.

Om man vill märka de stenar som skall sprängas, kan detta då till exempel göras genom att man gör en *.dxf-fil där de stenar som skall sprängas är inlagda. Sedan är det enkelt att gå runt med en handhållen DGPS-enhet (noggrannheten på ca 1 meter¹¹⁹ i plan torde räcka) och märka stenarna som skall sprängas utgående från *.dxf-filen.¹²⁰

Om sprängarna har tillgång till DGPS så skulle en lösning också vara att man skickar *.dxf-filen direkt åt dem och de endast använder sig av den vid identifiering av stenarna som skall sprängas. Då undviker man också sådana fall där färgen på en sten som har blivit sprejad har blivit bortnött eller täckt med damm från omgivningen. Det kan då leda till att en sten som borde sprängas förbises.

Fel som kan uppkomma med att använda en ytmodell är bland annat om en sten har ett tjockt lager mossa eller snö på sig, vilket då räknas som stenvolym och gör stenen större på pappret än i verkligheten. Ett annat problem är att få den omgivande markytan noggrannt specificerad om det är mycket sly och annat bråte runt omkring. Detta kan då även utgöra en felkälla för volymberäkningen.

¹¹⁸ ibid

¹¹⁹ Topcon GMS-2, Topgeo läst 5.3.2012

¹²⁰ Samtal med Rauno Heikkilä på Uleåborgs universitet mars 2012

8.5 Massaberäkning

Om man gör upp en noggrann ytmodell av ett område så kan denna användas till volymeräkning, exempelvis vid olika slags jordbyggnadsprojekt. Vid inventering av lager såsom kross, torv och kol¹²¹ kan man använda tekniken med att beräkna en ytmodell till att beräkna hur stora massor som finns på ett område.¹²²

Som exempel kan tas kolkraftverket i Vasklot, Vasa, där man mäter volymen på kolförrådet en gång per år. Kolförrådet ligger i en hop utomhus så det skulle kunna mätas med UAV-teknologi. I dagens läge mäts förrådet med takymeter och RTK-GNSS.¹²³

8.6 Arkeologi

Vid arkeologiska undersökningar är tekniken även användbar, då man vill kartlägga historiska monument och dokumentera utgrävningar som håller på. Antingen fotograferar man bara någon enstaka bild för att få en överblick på området eller så fotograferar man med överlappning och beräknar fram en ortomosaik eller ytmodell.¹²⁴

I många fall använder man sig av drakar, men även ballonger och quadrokoptrar då ytan på områdena som skall fotograferas oftast är små och pga. av prisnivån på plattformen.¹²⁵

Tack vare av att man får ett perspektiv ovanifrån så kan man även upptäcka formationer och strukturer som kan vara svåra att få syn på från marken.¹²⁶

¹²¹ Massaberäkning, Mapteam läst 29.3.2012

¹²² Applications, Gatewings webbsida läst 29.3.2012

¹²³ Samtal med Sem Timmerbacka på Novia mars 2012

¹²⁴ Sauerbier M., Eisenbeiss H., Uavs for the documentation of archaeological excavations läst 27.3.2012

¹²⁵ UGent UAV archaeology,youtube tittat 5.3.2012

¹²⁶ Thamm Hans-Peter, Scheele Konstantin, Henrich Verena Application of UAV Documentation of Archaeological Digs and the Derivation of Very High Resolution Digital Elevation Models läst 27.3.2012



Figur 28. Dokumentering av utgrävning¹²⁷

8.6.1 Cyark

Värt att nämna i detta sammanhang är den ideella organisationen CyArk som jobbar med att bevara världarvsplatser för framtida generationer i digital form. För närvarande har man 3d-modeller av 31 stycken världsarvsplatser. Med på listan finns bland annat moaistatyerna på Påskön, ruinerna av Pompeji samt den kända Mayastaden Chichén Itzá i Mexiko.¹²⁸ Dessa modeller är fritt tillgängliga för alla att ta del av.

I nuläget använder man sig av man sig av laserskannrar och takymetrar vid kartläggningarna, men man använder fotogrammetriska metoder vid inmätning av mindre objekt och man har även börjat undersöka möjligheterna av att använda sig av fotogrammetriska mätningar baserade på bilder tagna från UAV-plattformar i framtiden.¹²⁹

Man planerar även att börja arbeta med att få upp allmänhetens intresse för 3D-data, bland annat med att visa upp Autodesk's 123D Catch-tjänst¹³⁰ som är en tjänst där man gratis kan göra upp 3D-modeller från fotografier enligt de principer som har presenterats i detta arbete. Själva beräkningarna av modellerna sker i molnet på Autodesk's servrar så man behöver inte ha en kraftfull dator för att använda det.

¹²⁷ flickrhivemind.net läst 30.3.2012

¹²⁸ Heritage Sites, Cyarks webbsida läst 15.3.2012

¹²⁹ Epostkonversation med Justin Barton på CyArk

¹³⁰ 123D Catch, Autodesk's webbsida läst 17.3.2012

8.7 Kartläggning

I kartläggnings syfte så är UAV-plattformen väldigt praktisk att använda på sådana områden som är för tidskrävande eller svåråtkomliga för att kartlägga med traditionella metoder som takymeter eller RTK-GNSS och för små för att vara kostnadseffektiva för att laserskanna med flyg/helikopter.

Problemet med att laserskanna med flyg/helikopter är att startkostnaden är hög och även de löpande servicekostnaderna och försäkringarna, som kostar pengar fastän fordonet är parkerat i sin hangar. Detta gör att man behöver ha ett konstant arbetsflöde av områden som man skall laserskanna om det skall bli kostnadseffektivt, vilket i sin tur leder till att det blir en lång kö för beställarna som vill ha sina områden kartlagda.

Detta problem kan undvikas med UAV-plattformen som har små servicekrav och försäringkostnader i jämförelse, tack vare att investeringskostnaden är mindre så kan flera företag verka på samma område, vilket gör att väntetiderna för kunden minskar.

En annan styrka är möjligheten att kartlägga samma område med en tät intervall för att kartlägga förändringar. Detta skulle vara svårt att göra kostnadseffektivt med en annan metod.

UAV-tillverkaren MAVinci räknar med att om man vill ha en ytmodell med en upplösning på 2 centimeter så kan man kartlägga 45 hektar mark på en flygning som räcker 40 minuter, om det däremot räcker med en bildmosaik med en upplösning på 10 centimeter så kan man kartlägga 500 hektar mark.¹³¹

8.8 Katastrofområden

Vid en naturkatastrof så kan data samlat från UAV-flygplan användas till att snabbt få en överblick över vilka områden som är drabbade och hur stora skador på bebyggelse och infrastruktur som har uppstått. Ett annat alternativ är att använda satellitbilder, men de brukar inte vara tillgängliga förrän några dagar efter att olyckan har skett. UAV-flygplan kan fotografera marken fastän det är molnigt, tack vare att de flyger på låg höjd till skillnad mot satelliter.

¹³¹ Complete Orthofoto System, MAVincis webbsida läst 27.2.2012

En fördel med att använda obemannade plan i stället för bemannade är om området som flygningen sker på är förorenat med ämnen som är skadligt för oss människor^{132 133}

8.9 Användning av andra sensorer än kamera

UAV-plattformen är inte begränsad till att enbart användas med kameror, man kan även använda andra sensorer. Exempel på sådana är:¹³⁴

- Temperatursensorer
- Elektrokemiska sensorer som används för att upptäcka olika sorters gaser.
- Strålningsmätare som kan användas vid ex. kärnkraftsolyckor.

Styrkan som plattformen har är att den snabbt kan skickas ut i miljöer som är farliga för människan och på så sätt kan man snabbt få en uppfattning om storleken på ett utsläpp av farliga kemikalier eller dyl.

9 Användning av UAV-system vid kartläggning

Som exempel tas här hur Gatewing-flygplanet och alla dess komponenter är uppbyggda, samt hur de fungerar i användningen, men det gäller i stor utsträckning även för andra tillverkare och deras olika modeller.

Själva flygplanskroppen är tillverkad av kolförstärkt expanderad polypropen, vilket gör att den är väldigt okänslig mot stötar vid landing.^{135 136} Om den skulle gå sönder så går det att flytta elektroniken till en ny flygplanskropp.

På undersidan av flygplanskroppen finns en hålighet där kameran är placerad. Själva kameran är en normal kompaktkamera som en vanlig privatperson kan köpa från vilken välsorterad hemelektronikbutik som helst. I det här fallet är det en Ricoh GR Digital III, mera om kamerans funktionsprinciper finns i kapitel 14.

¹³² Tien-Yin Chou, Mei-Ling Yeh, Ying-Chih Chen, Yen-Hung Chen, Disaster monitoring and management by the unmanned aerial vehicle technology läst 27.3.2012

¹³³ Bendea H., Boccardo P. mfl. Low cost uav for post-disaster assessment läst 27.3.2012

¹³⁴ Sensor Platform, MAVincis webbsida läst 26.2.2012

¹³⁵ X100 specifications, Gatewings webbsida läst 28.1.2012

¹³⁶ Polypropylene, wikipedia uppdaterad 15.4.2012

Då man inleder ett nytt projekt börjar man med att ruta in området som skall flygfotograferas på fältdatorn. Som bakgrundskarta vid valet så används en Google maps karta, och flygstråken beräknas automatiskt därefter. Efter det så mäter man vindriktningen med en vimpel och matar in det i fältdatorn.

Sedan så gör man ett par inspektioner enligt en checklista av flygplanet för att säkerställa att det är flygdugligt och inte har några skador, efter det så kan man skjuta upp det.

Uppskjutningen av flygplanet sker från en ihopfällbar uppskjutningsramp som drivs av ett gummiband. Själva uppskjutningen kräver öppet område på 200 – 300 meter i flygriktningen.¹³⁷

Då flygplanet är uppe i luften så sköter autopiloten flygningen helt själv och följer flygstråken som är relativt täta p.g.a. att bildöverlappningen är på ca 75 %¹³⁸. Autopiloten styr flygplanet med information som den får via GPS-navigering och tröghetspositionering. Man ser även på fältdatorn var flygplanet befinner sig och på vilket flygstråk det är. Kommunikationen mellan fältdatorn och flygplanet sker via en radiolänk på 2,4 GHz och har en räckvidd på 5 km.

Under en flygning som tar ungefär 45 minuter så tas ca 700 bilder.

Landningen sker även den automatiskt och den kräver ett 500 – 600 meter öppet område.

Efter landningen plockar man ut kameran ur flygplanet och för över bilderna som tagits till fältdatorn för snabbkontroll, så att man vet att inte några grova fel uppstått. Därefter för man bilderna vidare till beräkning av ortomosaik eller ytmodell, antingen på egen dator eller till någon av molntjänsterna.

9.1 Signalering

Signalering med flygbildssignaler är inget tvång vid flygning och beräkning, med om man vill uppnå den bästa noggrannheten så skall de användas. Utan signalering används endast koordinaterna som fås ur UAV-flygplanets GPS-mottagare med absolutpositionering som utgångskoordinater för de yttre kameraparametrarna, dock uppnås en noggrannhet på marken i XY-led om 1–2, meter tack vare att samma punkt ses från flera olika bilder och

¹³⁷ Leikas & Mäkilä, Lennokkikuvauksen hyödyntämisestä turvetuotantoalueen kartoituksessa läst 28.1.2012

¹³⁸ Gatewing X100 Unmanned Aerial System, Couderé läst 7.4.2012

felvektorerna tar då ut varandra till en del. Även GPS-felen tar ut varandra till en del då flygningen tar ca 45 minuter. Dock är risken för vridningar av hela området större om man inte signalerar då det inte finns några absoluta fästpunkter.¹³⁹

Om man använder flygbildssignaler vid en vanlig flygning av ett rektangelformat område, räcker det med att lägga ut fem signaler, en i varje hörn och en i mitten av området. Om området som kartläggs är större än vad man kan få med i en flygning måste man planera flygstråken så att två flygbildssignaler från den föregående flygningen kommer med på det nya området, det vill säga så att man får en överlappning mellan flygningarna.

Signalerna är vita kvadrater med en storlek på ca 50x50 cm med en svart cirkel i mitten, inuti den svarta cirkeln kan det även finnas en liten vit cirkel¹⁴⁰

10 Prisnivå vid anlitaandet av en utomstående entreprenör

10.1 UAV

En prisundersökning gjordes genom att skicka en förfrågan till två finländska företag som arbetar med att flygfotografera med UAV-flygplan.

10.1.1 Företag A

Priset för att anlita företag A för att flygfotografera och uppgöra en ortomosaik ligger i stora drag kring 2500 €/dag, och på det så fotograferar man mellan 10 och 200 hektar beroende på vilken pixelstorlek man vill ha (vilken storlek som en pixel skall ha på markytan). Vill man ha en liten pixelstorlek så måste man flyga på en låg höjd, vilket betyder att man måste göra många flygningar för att få täckt ett lika stort område som man skulle kunna göra om man flög på högre höjd, dessutom blir beräkningen av materialet mer krävande och dyrare om pixelstorleken är liten.

Vill man ha en ytmall så sänds datat till en extern konsult som beräknar, och då så tillkommer kostnaderna för beräkningen som utförs .

¹³⁹ Samtal med Mikael Holm på PIEnengineering Oy mars 2012

¹⁴⁰ Samtal med Mikael Holm på PIEnengineering Oy mars 2012

10.1.2 Företag B

Priset på företag B:s tjänster ligger stort sett på samma nivå som företag A:s. Men svaret som kom därifrån var mera utförligt.

En grundavgift tas ut på mellan 1000–1500 € per flygdag och till det priset tillkommer även resekostnader på 50 c/km tur-retur till området som skall flygfotograferas, samt eventuella boendekostnader.

Efter att flygningen har utförts så tillkommer avgiften för efterberäkning, vilken är som följer:

Ortomosaik		
Upplösning (cm)	Grundavgift	€/ha
3,5	98	24
5	98	9,6
10	98	3,4
20	98	1

Figur 29.Ortomosaikpriser

Ytmodell		
Punkter/m ²	Grundavgift	€/ha
400	163	112
100	163	60
25	163	32
4	163	16
1	163	5,6
0,25	163	1,6

Figur 30.Ytmodellpriser

Om fler än en flygning behövs för att täcka området som man vill ha kartlagt så tillkommer en faktor på efterberäkningen, vilken ökar med antalet flygningar.

Flygningar	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Faktor	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8

Figur 31.Faktortabell

10.2 Flyglaserskanning

Prisförfrågningar skickades ut till tre olika flyglaserskanningsoperatörer i tre olika länder, men ännu en månad efter att e-postmeddelandet skickades ut så hade inte något svar från någondera av de tillfrågade inkommit. Så tyvärr föll denna jämförelse bort från examensarbetet.

11 Noggrannheten som uppnås

I det här kapitlet presenteras ett antal noggrannhetsundersökningar som har genomförts på ytmodellerna som fås som resultat av den fotogrammetriska beräkningen på bilderna som tagits av diverse UAV-plattformar. Undersökningarna kommer från olika delar av världen och bilderna är tagna från olika plattformar och beräknade med olika programvaror.

11.1 Motorväg i Nederländerna

I Nederländerna gjordes en undersökning där man flygfotograferade en testyta på en motorväg med en Geocopter UAV-helikopter. Kameran som användes var en Fuji FinePix Pro S3 och flyghöjden var 100 meter. Sammanlagt togs 39 bilder, och 14 flygbildssignaler användes.

Ytmodellen beräknades med hjälp av programvara från Inpho och jämfördes sedan med takymetermätt data från det nederländska trafikverket. I jämförelsen framkom att medelhöjdskillnaden var på 0,35 cm med en standardavvikelse på 2,56 cm.¹⁴¹

11.2 Världsarvsområde i Peru

Pinchango Alto, ett världsarvsområde i Peru flygfotograferades med en Canon D60 i en UAV-helikopter och av bilderna uppgjordes en ytmodell med hjälp av programmet sat-pp. Ytmodellen jämfördes med marklaserskannat och RTK-GNSS mätt data. Resultatet av jämförelsen mellan mätmetoderna ses i tabellen nedan.¹⁴²

¹⁴¹ Haarbrink R. mfl. Accurate dsm production from unmanned helicopter systems

¹⁴² Eisenbeiss Henri mfl. Comparison of dsms generated from mini uav imagery and terrestrial laser scanner in a cultural heritage application

	Laserskanner/UAV	Laserskanner/RTK	UAV/RTK
Standardavvikelse(m)	0,06	0,11	0,10
Medelavvikelse (m)	<0,01	<0,01	<0,01
Maxavvikelse (m)	0,54	0,66	0,46

Figur 32. Tabell över skillnaderna i mätdatat.

11.3 Jorvas

En jämförelse över höjdnoggrannheten som uppnås vid flygfotografering med UAV-flygplan gjordes av Uleåborgs universitet under ledning av professor Rauno Heikkilä. Undersökningen utfördes genom att man flygfotograferade en testyta med UAV-flygplan och beräknade en ytmodell av det och man jämförde sedan den med mätdatat från en helikopterlaserskanner och en marklaserskanner.

11.3.1 Det studerade området

Området som har valts som testyta ligger i Jorvas by, som är belägen i Kyrkslätt kommun i landskapet Nyland i södra Finland.¹⁴³

11.3.2 Testytan

Området som flygfotograferades är till formen en rektangel som ligger med långsidan i en nordostlig riktning och har en ungefärlig storlek på 430 x 560 meter. Inuti området jämfördes ett område på ca 150 x 150 meter med de laserskannade materialen.

Flygfotograferingen utfördes den 15 november 2011 med ett Smartplanes PAMS-flygplan utrustat med en Canon PowerShot S95 kamera. Flygningen tog sammanlagt 22 minuter och på den tiden togs 330 bilder med en sammanlagd filstorlek på 1,23 GB.

Från de fotograferade bilderna beräknades en ytmodell med en punkttäthet av 5 cm på PIEngeering Oy.

11.3.3 Beskrivning av det fotograferade området

Inom området finns i fråga om byggnader en liten del av ett relativt nybyggt detaljplaneområde, ett par egnahemshus intäckta av lummig växtlighet, några radhus samt en del av en industribyggnad.

¹⁴³Jorvas, wikipedia uppdaterad 5.3.2010

En järnväg går tvärs över området och även en hållplats finns för den. I övrigt finns det en relativt stor åker på området.

11.3.4 Resultat

Undersökningen genomfördes genom att göra ett rutnät med totalt 23806 punkter där man jämförde höjden som fått fram av de olika mätformerna. Beräkningen utfördes i excel. Nämnas bör även att det upptäcktes ett fel i programvaran som beräknade ytmodellen i detta projekt, och noggrannheten försämrades till en viss del p.g.a. detta.

Den terrestriella laserskannern var en Rieglskanner. Det helikopterlaserskannade datat kom från lantmäteriverket och var i N2000. Det räknades om till N60 genom att jämföra skillnaden mellan N2000 och N60 höjderna på närbelägna höjdfixpunkter.

Två versioner beräknades, en där skillnaden mellan mätmetoderna beräknades med förtecken (+/-) och en med absolutbelopp. Om man räknar med förtecken så tar felen som kommer för högt och för lågt i förhållande till referensdatat till en viss del ut varandra. Det är exempelvis den noggrannheten man ser på vid massaberäkning, då massaresultatet blir detsamma bara punkterna som kommer för högt och för lågt tar ut varandra.

Räknar man istället ut skillnaden med absolutbelopp så får man en jämförelse av de absoluta skillnaderna. Dvs. om man tänker sig att jämförelsen bara skulle innehålla två punkter där den ena har ett fel på +1 m och den andra på -1 m så skulle medelavvikelsen vara 0 m med förtecken och 1 m utan förtecken.

I jämförelsen utan förtecken ser man att många punkter har kommit för högt upp med UAV, orsaken till detta är tät växtlighet där laserskannrar lättare kommer ner till markytan.

Jämförelse med förtecken	Ter.Laser.-UAV	Heli.Laser.-UAV	Ter.-Heli.
Standardavvikelse	0,261	0,296	0,107
Max. + avvikelse	1,984	1,983	0,779
Max. - avvikelse	-3,629	-3,681	-1,305
Medelavvikelse	0,017	0,000	0,017
Medianavvikelse	0,052	0,053	-0,006
Totalt antal punkter	23806	23806	23806
Antal punkter > 1m fel	8	8	0
Antal punkter < -1m fel	257	294	2
Antal punkter över +3 σ	13	14	0
Antal punkter under -3 σ	323	365	3

Figur 34. Jämförelse med förtecken

Jämförelse utan förtecken	Ter.Laser.-UAV	Heli.Laser.-UAV	Terr.-Heli.
Standardavvikelse	0,261	0,296	0,107
Max.avvikelse	3,629	3,698	1,288
Medelavvikelse	0,116	0,145	0,074
Medianavvikelse	0,074	0,101	0,048
Totalt antal punkter	23806	23806	23806
Antal punkter >1m fel	265	302	2
Antal punkter 3σ	336	381	3
Antalet punkter <0,1m fel	15435	11770	18062

Figur 35. Jämförelse utan förtecken dvs. absolutbelopp.

12 Referensdatat

I det här kapitlet beskrivs flygburen laserskanning som var en av referenskällorna till undersökningen som gjordes i Jorvas. Det är även en alternativ mätmetod till UAV-flygplanen.

12.1 Allmänt om flygburen laserskanning

Flyglaserskanning sker genom att man ombord på ett fullstort flygplan/helikopter har en laserskanner som skickar ut 4-10 ns (1,2-3 m) långa laserpulser från en halvledar- eller Nd:YAG- laser¹⁴⁴ på en våglängd mellan 800 och 1600 nm.^{145 146 147}

Pulserna skickas ut med en frekvens på 50–200 kHz och skickas ut i ett mönster som sveper vinkelrätt mot flygplanets bäring. Frekvensen som används beror på flyghöjden och på områdets albedo (reflektivitet)¹⁴⁸.

Eftersom laserskannerns position i luften går att beräkna genom GNSS- och IMU-teknologi (tröghetspositionering) och man vet vinkeln som laserskottet flög i, samt avståndet tack vare att en fotodiod känner av ljus som reflekterats från marken, kan man beräkna koordinaterna för punkten som laserskottet landade på.

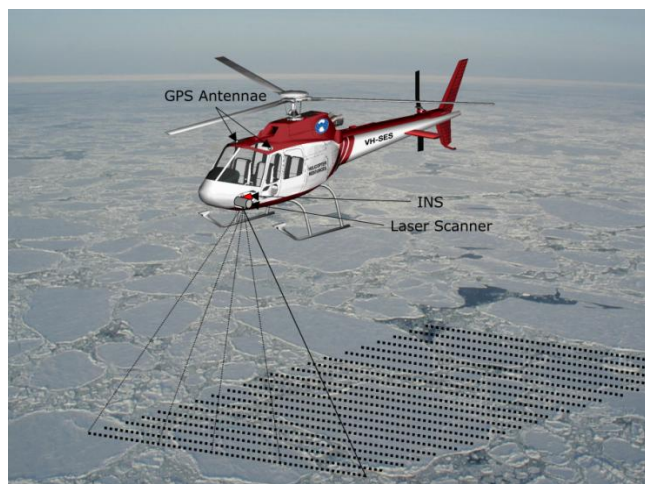
¹⁴⁴En laser av en kristall av oxid av yttrium och aluminium med granat-strukturen ($Y_3Al_5O_{12}$, **YAG**) som dopats med neodym.

¹⁴⁵Speed of light in vacuum, The NIST Reference on Constants, Units, and Uncertainty läst 7.4.2012

¹⁴⁶Juha Huuppä mfl. The SAGE Handbook of Remote Sensing (2009) kap 14

¹⁴⁷Wehr Aloysius, Airborne laser scanning—an introduction and overview (1999)

¹⁴⁸RIEGL VQ-580 faktablad läst 10.3.2012



Figur 36. Illustration över hur helikopterlaserskanning fungerar.¹⁴⁹

Av ett och samma laserskott så kan man också få flera reflektioner.

Det maximala antalet reflektioner som kan tas emot beror bland annat på pulslängden, bearbetningsalgoritmen, men främst

på ytan som skannas. I en skog kan man få flera reflektioner där laserskottet går igenom en trädkrona och kanske även då det träffar marken. Det totala antalet reflektioner vid skanning i skog kan vara upp till tio stycken. På släta ytor som tak och asfalt är dock reflektionerna betydligt färre. Den tekniska gränsen för antalet reflektioner utgörs dock av pulslängden. Det går inte att särskilja objekt som åtskiljs av en sträcka som är betydligt kortare än pulslängden.¹⁵⁰

Enligt en studie gjord av universitetet i Stuttgart kan man räkna med att en reflektion från marken fås för 20–40 % av laserskotten vid laserskanning i barr- och lövskog av europeisk modell. Vintertid i lövskog kan man emellertid få en reflektion från marken av upp till 70 % av laserskotten.¹⁵¹

En fördel med laserskanning jämfört med beräkning av en 3D-modell på fotogrammetrisk väg är när ytorna som mäts är homogena till färg och mönstring, och därigenom kan det vara svårt att finna punktpar i bilderna då man använder sig av fotogrammetriska mätmetoder.

En annan fördel är att laserskanning inte är beroende av solen för belysning av området som mäts, och därigenom så kan laserskanning ske på natten. Dock har laserskanningen liknande begränsningar som traditionell flygfotografering vid molnighet.¹⁵²

En nackdel med laserskanning är den låga geometriska upplösningen, dvs. att det är få punkter per areaenhet jämfört med vad man kan få ut vid fotogrammetrisk mätning.

¹⁴⁹ Sea ice research group hämtad 3.4.2012

¹⁵⁰ Epostkonversation med Martin Pfennigbauer på RIEGL

¹⁵¹ Ackermann Friedrich, Airborne laser scanning—present status and future expectations (1999)

¹⁵² Klang Dan, Lantmäteriet, Flygburen laserskanning (2009)

12.2 Automatisk klassificering av punkter

Punktmolnet som man får som resultat efter en avklarad laserskanning kan till en viss del automatiskt klassificeras genom statistiska metoder. Punkterna kan delas in i olika klasser berodande på deras intensitetsvärde, vilken reflektion i ordningen punkten var ifall det kom många svar på samma laserskott, höjd samt tid.

Olika filteringsmetoder har utvecklats för att identifiera låga punkter, ellinjer, byggnader och markytan.

Låga punkter är punkter som befinner sig under markytan och förekomsten av sådana kan bero på multipla reflektioner från träd eller byggnader.

Det är av stor vikt att låga punkter elimineras från den slutgiltiga modellen då det skapar ett fel på markytan i den slutgiltiga 3D-modellen.

En punkt kan definieras som låg om alla dess närliggande punkter ligger på en högre höjd än ett fördefinierat värde.¹⁵³

13 Lagar som styr UAV-flygning

Samtliga civila UAV-flygplan som omnämns i detta examensarbete faller under 6§ i luftfartslagen:

” Bestämmelserna i 2, 3, 5, 6 och 9 kap. tillämpas inte på följande luftfartyg och anordningar och om det inte finns några hinder med hänsyn till flygsäkerheten kan Trafiksäkerhetsverket i fråga om dessa medge smärre undantag från bestämmelserna i 7 och 8 kap.:

- 1) tyngdpunktsstyrda ultralätta flygplan eller motordrivna fallskärmar
- 2) glidare med en maximal tom massa på högst 80 kilogram för ensitsiga eller 100 kilogram för tvåsitsiga, inklusive sådana med fotstart
- 3) obemannade luftfartyg med en operativ massa understigande 150 kilogram

¹⁵³Huuppä Juha mfl. The SAGE Handbook of Remote Sensing (2009) kap 14

4) övriga luftfartyg som har en maximal tommassa inklusive bränsle på högst 70 kilogram.”¹⁵⁴

Det betyder att man kan undgå reglerna angående:

- Kap 2: Luftfartygs registrering, nationalitet och märkning
- Kap 3: Luftfartygs luftvärdighet och begränsningar av utsläpp
- Kap 5: Certifikat och behörighetskrav
- Kap 6: Certifikatregister
- Kap 9: Flygplatser och markutrustning

samt att följande regler kan ges undantag ifrån:

- Kap 7: Allmänna krav som gäller flygverksamhet
- Kap 8: Kommersiell lufttransport och tillstånd till luftfartsverksamhet i vissa fall

I praktiken betyder det att man får flyga i princip överallt utom på de ställen som anges i 8§ om statsrådet så bestämmer:

” Områden där luftfart är inskränkt och farliga områden

Genom förordning av statsrådet kan luftfart begränsas eller förbjudas

1) i närheten av objekt som är viktiga för försvaret och i närheten av kärnkraftverk i syfte att skydda dessa,

2) inom zoner i rikets gränsområden (identifieringszoner) i syfte att skydda riksgränserna och främja gränsövervakningen.”

Dock gäller förstasunt bondförnuft. Flyger man exempelvis nära en flygplats så skall man ta kontakt med kontrolltornet och fråga lov.

På EU-nivå pågår ett arbete med att utarbeta enhetliga regler för alla medlemsländer, då dessa i dagens läge skiljer från land till land.¹⁵⁵

¹⁵⁴ Luftfartslag 22.12.2009/1194

¹⁵⁵ ENTR/2007/065, Study analysing the current activities in the field of UAV

14 Kameran

Eftersom kameran är en viktig del av flygfotograferingen så beskrivs här dess funktionsprincip.

14.1 Allmänt

Ordet kamera kommer från latinets *camera obscura* som betyder mörkt rum. Det är just det som största delen av en kamera består av, ett ljustätt rum som innehåller en ljuskänslig yta (bildplanet), exempelvis en film eller en CCD-sensor.

Genom att leda ljus in till kamerarummet via ett objektiv så projiceras en bild av omvärlden på det ljuskänsliga materialet som senare kan omvandlas till ett fotografi genom framkallning eller på digital väg.¹⁵⁶

14.2 Objektiv

Hur stor bildvinkel, det vill säga hur vid ljuskärve som objektivet tar in till kamerarummet beror på avståndet mellan objektivet och bildplanet. Detta avstånd kallas objektivets brännvidd. Ett objektiv med en stor brännvidd som ett teleobjektiv ger en förstörande effekt, medan ett objektiv med kort brännvidd som ett fisheyeobjektiv ger en väldigt bred bild av världen.

Ljusstyrkan hos en lins beror på dess linsdiameter och brännvidd. Det anges av ett värde som är kvoten av linsdiameteren genom brännvidden, vilket betyder att ett teleobjektiv är ljussvagare än ett normalobjektiv om båda har samma linsdiameter.

14.3 Bländare

Hur mycket ljus som ska falla på bildplanet vid en enskild exponering regleras genom hur mycket bländaren ska öppnas och exponeringstiden.

Bländaren är en förslutningsbar öppning i änden på objektivet som reglerar hur mycket ljus som ska komma in i kameran. Den vanligaste typen av bländare är irisbländaren som består av små tunna metallskivor som kan regleras så att själva ljusöppningen alltid är

¹⁵⁶ Kamera,wikipedia uppdaterad 24.3.2012

cirkelformad.¹⁵⁷ Hur mycket bländaren öppnar sig kan oftast regleras och anges då som ett förhållande mellan brännvidden och bländaröppningen kallat bländartal, exempelvis så ger ett objektiv med en brännvidd på 90 mm och en bländaröppning på 32 mm ett bländartal på $\frac{90mm}{32mm} = 2,8$. Detta värde brukar då skrivas som $f/2,8$. Kort sagt kan man säga att ett lägre bländartal ger ett större ljusinsläpp.

14.4 Slutare

Då man ändrar exponeringstiden justerar man hur länge slutaren ska vara öppen och släppa in ljus. Det finns flera olika typer av slutare men två vanliga är fokalplansslutaren och centralslutaren.

Fokalplansslutaren som är vanlig i spegelreflexkameror, består av två ”gardiner” som förs över filmplanet. I exponeringsögonblicket täcks bildplanet av en gardin som börjar röra sig bort från bildplanet, beroende på hur lång slutartid som är vald så stängs ljusinsläppet till bildplanet senare av en annan gardin. En fördel med detta system är att mycket korta slutartider tillåts, ända ner till 1/8000 sekund, nackdelen är att det är ett komplext system och kräver hög precision vid tillverkning.¹⁵⁸

Centralslutaren fungerar ungefär som en bländare och finns inne i själva objektivet. Detta betyder då att om man har en kamera med utbytbara objektiv så måste man ha en slutare i varje objektiv. Detta gör att centralslutaren är vanligare i kompaktkameror, även det faktum att det är svårt att få den lika snabb som en fokalplansslutaren, minsta slutartiden ligger runt 1/500 sekund. En fördel med systemet är dock att det är enklare att bygga än fokalplansslutaren.

Då man fotograferar är det även viktigt att ljusstrålarnas brännpunkt ligger på bildplanet, annars så blir bilden oskarp. Detta ställer man in genom att justera fokus, vilket man gör genom flytta objektivet eller i vissa fall ett enskilt linselement närmare och längre bort från bildplanet, man flyttar det längre bort om det fotograferade objektet är nära.¹⁵⁹

¹⁵⁷ Attridge Geoffery G mfl. The manual of photography - photograpic and digial imagning s.131

¹⁵⁸ Attridge Geoffery G mfl. The manual of photography - photograpic and digial imagning s.133

¹⁵⁹ How Cameras Work, Howstuffwork läst 7.4.2012

14.5 Bildsensorn

När man sedan fotograferar sin bild så registreras det inkommande ljuset på en bildsensor som består av en små ljukänsliga element, de två vanligaste typerna av bildsensorer är CCD¹⁶⁰ och CMOS¹⁶¹.

I en CCD-sensor så registreras ljusstyrkan som faller in på varje element och skickas som en analog signal från sensorn till ett skilt signalbehandlingssystem.

I CMOS-sensorn däremot så behandlas ljuset som tas emot direkt i varje ljuskänsligt element, ofta görs även bildförbättrande åtgärder så som brusreduktion. Detta gör att det krävs mindre kringliggande elektronik för signalbehandling då man får ut en digital-istället för en analog signal direkt från bildsensorn.¹⁶²

Fördelarna med CCD-sensorn är att man får något bättre bildkvalitet och att hela sensorytan kan användas till att samla in ljus då signalbehandlingen görs på annan ort. Men på senare tid har CMOS-sensorn kommit ikapp med bildkvaliteten och idag finns CMOS-sensorer även i dyra spegelreflexkameror.^{163 164}

Nackdelarna med CCD är att signalbehandlingen inte kan göras direkt i sensorn, vilket gör hela systemet dyrare. Sensorn är även känsligare för starka ljuskällor, som kan göra att ljuset som kommer från dessa läcker över till flera element än det borde. Det här gör att ljuskällan ser ut att vara större ut på bilden än vad den egentligen är.¹⁶⁵

Fördelarna med CMOS-sensorn är att hela bildbehandlingssystemet kan göras mindre än med en CCD-sensor. Detta gör att den passar bra i sådana produkter som är utrymmesbegränsade så som en mobiltelefon. Den är även mindre känslig för vissa svåra fotograferingsförhållanden som starka ljuskällor.

Nackdelen är bland annat att hela sensorytan inte kan användas till att samla in ljus då signalbehandlingen även görs där.

¹⁶⁰ Charge-coupled device

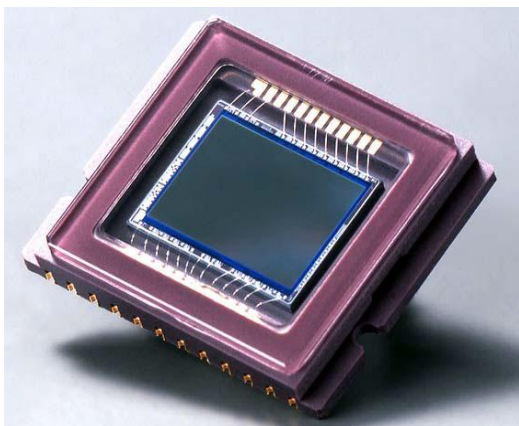
¹⁶¹ Complementary metal-oxide-semiconductor

¹⁶² CCD vs. CMOS, Teledyne Dalsas webbsida läst 17.2.2012

¹⁶³ Canon EOS 5D Mark III Hands-on Preview, Dpreview läst 7.4.2012

¹⁶⁴ CMOS vs CCD, Hearst electronic products läst 7.4.2012

¹⁶⁵ Litwiller Dave, CCD vs. CMOS: Facts and Fiction



Figur 37. CCD-Sensor¹⁶⁶

14.6 Färgmatris

För att få de olika färgkanalerna separerade från varandra så läggs en färgfiltermatris ovanpå bildsensorn.

Den mest använda typen är bayerfiltret. Det består av en matris av 50 % gröna, 25 % blå och 25 % röda filter. Orsaken till att det finns så många gröna filter är att den mänskliga ögat är känsligast för grönt ljus och på så sätt fås den fotograferade bilden mest naturtrogen för oss människor.

Problemet med Bayerfiltret är dock att varje element endast är känsligt för en färgkanal, vilket gör att 2/3 av färginformationen går förlorad i varje element. Detta problem löser man genom att även ta hjälp av algoritmer som läser av färginformationen från de omkringliggande elementen och interpolerar fram vilken färg elementet egentligen skall ha.

Denna systematik har dock en chans att falla om det fotograferade objektet har små oregelbundna mönster, i vilket fall man får felaktiga färgval.¹⁶⁷

Det finns även andra metoder att bestämma färger, som systemet som används i Foveon X3-bildsensorn, en CMOS-sensor som används i några kameramodeller av Sigma.

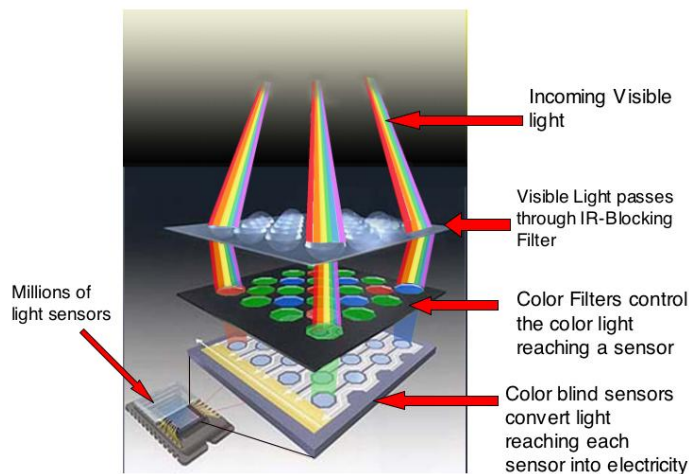
Det fungerar enligt principen att ljus av olika våglängder tränger igenom silikon till olika djup. Genom att registrera hur mycket ljus som absorberas i varje silikonlager får man

¹⁶⁶ Charge Coupled Device (CCD) – Definition, Circuits Today hämtad 3.4.2012

¹⁶⁷ Hardware limitations, Warren mars webbsida läst 18.2.2012

fram en RGB-färg för varje element, till skillnad från sensorer som använder sig av Bayerfiltret där varje element bara registrerar förekomsten av en färgkanal och den slutgiltiga RGB-färgen för elementet måste beräknas fram på matematisk väg.¹⁶⁸

Foveon X3-sensorn är dock en rätt så ny uppfinning, den första kameran som använder den kom ut 2002. Det kan jämföras med Bayerfiltret som Bruyce Bayer patenterade redan 1976.¹⁶⁹



Figur 38. Förklaring över hur färger registreras.¹⁷⁰

14.7 Filformat

När man då har kommit till skedet då informationen som registrerades av bildsensorn skall sparas så finns det i princip två sätt det kan ske på. Antingen i JPEG- eller i RAW- format.

Skillnaden mellan de två kan man beskriva som skillnaden mellan ett framkallat foto och negativet. Det ena är enkelt att dela med sig men saknar viss bildinformation som det andra har och vice versa.

Sparar man en bild i RAW-format så sparas all information som bildsensorn registrerade vid fotograferingsögonblicket, om sensorn ger ett färgdjup på 14 bitar ($2^{14} = 16384$) i varje färgkanal så registreras 14 bitar i varje färgkanal. Om man istället använder sig av JPEG så sparas endast 8 bitar ($2^8 = 256$) i varje färgkanal. Detta gör att antalet möjliga färgnyanser sjunker drastiskt, med över 98 %. Om man bara vill titta på bilderna som man

¹⁶⁸ Direct Image Sensors, Foveon läst 7.4.2012

¹⁶⁹ Digital camera sensors, Cambridge in colour läst 7.4.2012

¹⁷⁰ Digital photography tutorials, photoaxe hämtad 3.4.2012

har tagit på en datorskärm, så utgör detta dock inget problem då de flesta datorskärmar inte kan visa fler nyanser än vad JPEG-standarden sparar.¹⁷¹

Om man i stället vill börja manipulera bilden man har tagit så lämpar det sig bättre att använda sig av RAW, då all färginformation sparas. Detta är vid stor nytta om man till exempel vill göra bilden ljusare. Har man istället en JPEG-bild så kan det uppstå en randighet på vissa ytor då datorn har färre nyanser att arbeta med.

Nackdelen med RAW är att det kräver mycket större lagringsutrymme än JPEG, samt att formatet är ett råmaterial, det vill säga inte en färdig bild. Det betyder att om man sänder en bild i RAW-format åt en annan person som behandlar den med ett annat program eller med andra inställningar, så kan det hända att den inte ser likadan ut som för en själv. Detta problem finns inte med JPEG.¹⁷² På grund av att RAW-filerna är större så tar det även längre tid att skriva filerna på kamerans minneskort. Detta gör då att om man har en kamera som skriver filer långsamt så är man tvungen att använda sig av JPEG-formatet, då man annars inte skulle hinna ta tillräckligt med bilder för att uppnå en tillfredställande bildöverlappning. Om flyghöjden ökas krävs det inte en lika hög fotograferingsfrekvens då ytan som täcks av varje bild ökar. Detta gör då att man möjligtvis kan använda sig av RAW med kameran.

14.8 Infrarött

Det är även möjligt att ta bilder i det infraröda spektrumet med en vanlig digitalkamera. Dock måste man först ta bort ett inbyggt dikroiskt filter i kameran som blockerar infrarött ljus, ett så kallat hot mirror filter, som sitter precis framför bildsensorn.¹⁷³ Antingen ersätter man det med ett cold mirror filter, som är ett filter som blockerar allt synligt ljus men släpper igenom det infraröda ljuset, alltså tvärtemot vad hot mirror gör. Eller så ersätter man hot mirror filtret med ett klarglasfilter, vilket leder till att ljus av alla våglängder träffar sensorn, då måste man i stället sätta ett filter utanpå objektivet, vilket blockerar de våglängder man inte vill ha på sensorn.¹⁷⁴

Man kan även fotografera ir med en icke-modifierad kamera om man har ett ir-filter framför objektivet, med då måste man använda sig av väldigt långa slutartider.

¹⁷¹ RAW vs JPG, vad ska du välja? läst 20.2.2012

¹⁷² Raw vs JPEG: The pros and cons of Raw files or Jpeg files läst 20.2.2012

¹⁷³ Hot mirror filter, Lifepixels webbsida läst 29.3.2012

¹⁷⁴ Digital Infrared Filter Comparison Photos, Lifepixels webbsida läst 29.3.2012

Ett problem med att fotografera ir med en kamera som är konstruerad för att arbeta med synligt ljus är att det infraröda ljuset bryts annorlunda och därför måste man göra korrekationer för att fokusen skall fungera korrekt. Detta kan bland annat göras genom att flytta bildsensorn längre bort från objektivet.¹⁷⁵

Kameror som har sensorer utrustade med bayerfilter är sämre vid infrarödfotografering än kameror som har Foveon X3 sensorn, då bayerfiltret absorberar en stor del av det infraröda ljuset.¹⁷⁶

15 Optiska förvrängningar

15.1 Kromatisk aberration

Kromatisk aberration uppstår eftersom objektivet inte klarar av att fokusera ljus av olika våglängder till samma punkt. Fenomenet att ljus av olika våglängder bryts olika mycket har alla säkert upplevt i barndomen då man höll upp ett prisma mot solen och fick ett spektrum av färger på väggen. Då kunde man se att ljuset bryts mindre ju längre våglängd det har (rött ljus bryts mindre än blått).



På en bild syns detta fenomen oftast som en lila rand i gränsen mellan ett mycket mörkt och ett mycket ljus område på en bild.

Figur 39. Exempel på kromatisk aberration, vid hästens ytterkanter så ser man en lilaaktig kant.¹⁷⁷

Fenomenet kan förebyggas genom att använda akromatiska- (kan fokusera två våglängder) och apokromatiska- (kan fokusera tre våglängder) linser. Dessa fungerar bland annat genom att kombinera olika sorters glas som har olika refraktionsindex.^{178 179}

¹⁷⁵ IR Techniques, Maxmax webbsida läst 29.3.2012

¹⁷⁶ Infrared (IR) basics for digital photographers—capturing the unseen,dpFWIW läst 7.4.2012

¹⁷⁷ Art and the zen of design hämtad 3.4.2012

¹⁷⁸ Laboration 4 dispersion, KTH läst 8.3.2012

¹⁷⁹ Chromatic Aberration,dpreview läst 7.4.2012

15.2 Astigmatism

Astigmatism uppstår om en lins har annan fokus i vertikal- än i horisontalled.

Detta gör att ett fotograferat objekt ser ut att vara utdraget i den ofokuserade riktningen.¹⁸⁰

Även människor kan lida av detta synfel.¹⁸¹

15.3 Sfärisk aberration

Sfärisk aberration uppstår då en ljusstrålar som passerar närmare centrum på linsen och ljusstrålar som passerar längre ut i kanten på linsen inte konvergerar i brännpunkten. Detta leder då till att bilden blir suddig i kanterna.

Ett sätt att hjälpa upp det är att minska på bländaröppningen, så att ljuset som passerar längst ut i kanten på linsen stoppas.

Det finns även asfäriska linser som är speciellt tillverkade för att minska på den sfäriska aberrationen.¹⁸²

15.4 Distorsion

Distorsion är ett fel som gör att ett fotograferat objekt inte blir korrekt återgett på bilden.¹⁸³

De vanligaste distorsionerna är kuddformig och tunnformig. Kuddformig om avbildningsfelet pekar ”utåt” och tunnformig om det pekar ”inåt” i förhållande till bildens centrum.¹⁸⁴

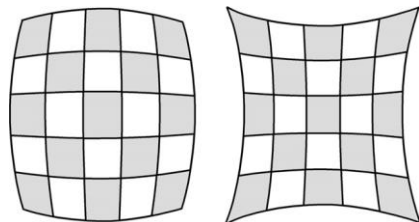
¹⁸⁰ Astigmatism, wikipedia uppdaterad 11.4.2012

¹⁸¹ Astigmatism, vårdguiden läst 7.4.2012

¹⁸² What is Spherical Aberration? läst 8.3.2012

¹⁸³ Svenska OptikSällskapets ordlista läst 8.3.2012

¹⁸⁴ Distortion article, dpreview läst 7.4.2012



Figur 40. Tunnformig respektive kuddformig distorsion på en kvadrat.¹⁸⁵

16 Framtidsvision för UAV-konceptet

Förhoppningen är att denna samling av författarens högst personliga framtidsvisioner för UAV-konceptet inte går samma öde till mötes som nationalekonomen Irving Fishers kända uttalande:

"Stock prices have reached what looks like a permanently high plateau."¹⁸⁶,

vilket han olyckligtvis sade tre dagar innan den stora depressionen började 29 oktober 1929. Men framtiden är ju svår att förutse som vi alla vet.

16.1 Beräkningskraft

Då tekniken med att automatiskt beräkna en ytmodell utgående från bilder tagna från UAV-flygplan är en relativt ung metod, främst för att datorkraften satte käppar i hjulet förr i tiden. Men även idag så krävs det en rejäl datorutrustning för ändamålet om man vill ha ytmodellen inom rimlig tid.

Som exempel på hur länge beräkningen tar i dagens läge kan tas ett område på 140x140 m som det beräknades en ytmodell av med en punkttäthet på 2,5 cm (1600 punkter/m²). Detta tog ungefär 24 timmar. Beräkningen utfördes på fyra datorer med fyra stycken flyrkärniga Intel Core i5 processorer i varje dator.

Om man ser på utvecklingen av datorkraften ur ett historiskt perspektiv så ger Moores lag¹⁸⁷ en bra fingervisning. Enligt lagen som namngavs efter en av Intels grundare Gordon E. Moore fördubblas antalet transistorer i en processor varannat år. Detta betyder grovt sett att då det idag användes 16 processorer för att beräkna området på 24 timmar så kan man 8 år i framtiden beräkna samma område på samma tid med endast en processor.

¹⁸⁵ Distortion article, dpreview läst 7.4.2012

¹⁸⁶ In which I initiate the Irving Fisher award, The Economist läst 7.4.2012

¹⁸⁷ Moore's Law Inspires Intel Innovation, Intel läst 7.4.2012

en stor mängd olika sorters uppgifter medan GPU:n är konstruerad för att utföra enkla repetitiva uppgifter.

Man kan jämföra CPU:n med en liten grupp av intelligenta människor som kan utföra vilken uppgift man än ger dem och GPU:n med en stor grupp av dumma människor som endast kan utföra enkla uppgifter. Tack vare av att GPU:n har fler arbetare så kan den arbeta snabbare än CPU:n i vissa arbeten.¹⁹³ Ett område där GPU-beräkning är speciellt populärt är lösenordsknäckning.¹⁹⁴

Ännu längre in i framtiden så kommer mobiltelefonernas och fältminnenas processorer även att komma upp i en sån nivå att de kan komma att användas till detta syfte, då kan det även bli aktuellt att man skapar en 3D-modell av området man nyligen har flygfotograferat, direkt på plats lika snabbt och med samma lätthet som man idag skapar en *.gt-fil efter att man har varit ute och mätt med sin RTK-GNSS mottagare.

I framtiden kan man även kanske komma till den punkt då mobiltelefonkamerorna och processorn i telefonen blir så bra att man uppgöra noggranna 3D-modeller av föremål endast med hjälp av telefonen.

16.2 Laserskanner

Det finns vissa områden som är svåra eller direkt omöjliga att mäta fotogrammetriskt i dagens läge och troligtvis är dessa områden om inte lika svåra men ändå utmanade att mäta i framtiden. Sådana områden kan exempelvis vara ytor som har en homogen karaktär. På dylika områden skulle det vara enkom med en laserskanner på flygplanet, fullstora flyglaserskannrar är i dagens läge inte att tänka på då de är i storleksklassen 13 kg.

Bland markbaserade laserskannrar så finns det dock mindre modeller, en modell som är bland de mindre är Faro Focus 3D med en vikt på 5 kg, dock är faroskannern en faskanner, vilket innebär att räckvidden är mycket sämre, i det här fallet under 120 meter.¹⁹⁵

Dock så kan dagens små UAV-flygplan endast ha en nyttolast på < 1 kg, dessutom så är priset på ca. 40 000 €¹⁹⁶ för en faroskanner relativt högt i förhållande till en kamera på

¹⁹³ Why a GPU mines faster than a CPU läst 20.3.2012

¹⁹⁴ Cheap GPUs are rendering strong passwords useless, Zdnets webbsida läst 20.3.2012

¹⁹⁵ Faroskannerns datablad

¹⁹⁶ Samtal med Faros återförsäljare mars 2012

kanske 400 € som används annars. Men allt eftersom prisnivån och storleken på utrustningen sjunker så kanske det uppstår som en valmöjlighet i framtiden.

16.3 Utbredning

Då teknologin i dagens läge är relativt ny och få företag har tagit till sig den så är prisnivån för kunden förhållandevis hög. Detta borde dock automatiskt justera sig själv i en marknadsekonomi efter utbud/efterfrågan-modellen. Då priset för utrustningen inte ligger på en högre nivå än en takymeter och då man i framtiden troligtvis snabbt borde kunna beräkna 3D-modeller på egen dator, så borde det finnas utrymme för betydligt flera aktörer än det finns i dagens läge.

17 Resultat

17.1 Allmänt

Tekniken med att beräkna fram ytmodeller och ortomosaik från bilder tagna med UAV-flygplan är relativt ung, men redan i dagens läge har tekniken hittat flera användningsområden. Framtiden ser ljus ut för användningen, i takt med att datorerna blir snabbare så förkortas beräkningstiderna och minskar behovet av att göra stora hårdvaruinvesteringar eller använda molntjänster som tar betalt.

En stor fördel som UAV-flygplanen har, är att de är lätta att transportera och förmånliga i inköp jämfört med andra flygbaserade mätningssinstrument.

17.2 Vidare forskning

Ett ämne för vidare forskning skulle vara att göra en jämförelse mellan olika kameramodeller, olika UAV-plattformar och olika fotograferingstidpunkter.

I jämförelsen skulle man kunna flygfotografera samma testområde under olika tidpunkter och årstider med de olika UAV-plattformarna och kamerorna, för att sedan jämföra de olika ytmodellerna som fås som resultat av respektive flygning.

Även olika beräkningsprogram och tjänster skulle kunna jämföras för att se om det är stor skillnad i slutresultatet mellan dem.

Denna forskning skulle resultera i en enkel tabell ur vilken kan läsas vad de olika alternativen ger för noggrannhetsresultat, och eventuella svagheter och styrkor mellan dem.

17.3 Personliga reflektioner

Under den tiden som jag skrev detta arbete så kom jag i kontakt med en hel del teknik som jag inte läst om förut och då känns det väldigt roligt att skriva då man lär sig något nytt i varje mening. Samtidigt lärde jag mig en hel del om möjligheterna med UAV-plattformen inom lantmäteri och speciellt hur det fungerar ur fotogrammetrisk synvinkel. För att citera mig själv från inledningen ”*Syftena med detta examensarbete är att undersöka UAV-plattformen, och möjligheterna som denna har samt utöka kunskapen i området både för mig själv men även för dig som läser detta.*”. Detta syfte anser jag att har uppnåtts med detta arbete.

Stundom körde jag fast i skrivandet och då var det väldigt bra att kunna lyfta luren och ringa Mikael Holm, som har varit en hjälpare genom hela mitt arbete och som jag tackar stort för hans insats. Jag vill även tacka alla de andra som hjälpt mig med mitt arbete.

Det svåraste var kanske att hitta en bra avgränsning för arbetet. Det var väldigt lätt att börja djupdyka i vissa saker som man läste in sig på.

18 Källförteckning

123D Catch, Autodesk's webbsida

<http://www.123dapp.com/catch> (läst: 17.3.2012)

A full range of professional UAVs, Lehmann Aviations webbsida

<http://www.lehmannaviation.com/solutions.php> (läst: 11.1.2012)

A Guide to the Practical Use of Aerial Color-infrared Photography in Agriculture, University of Nebraska-Lincoln

<http://casde.unl.edu/activities/cir-uses/vegetative-response.php> (läst: 30.1.2012)

About, Lehmann Aviations webbsida

<http://www.lehmannaviation.com/about.php> (läst: 11.1.2012)

AeroVironment RQ-14 Dragon Eye, Designation-Systems

<http://www.designation-systems.net/dusrm/app2/q-14.html> (läst: 7.4.2012)

Airplane models, MAVincis webbsida

<http://www.mavinci.eu/components/mavs> (läst: 23.3.2012)

Applications, Gatewings webbsida

<http://www.gatewing.com/applications> (last: 29.3.2012)

Astigmatism, vårdguiden

<http://www.vardguiden.se/Sjukdomar-och-rad/Omraden/Sjukdomar-och-besvar/Astigmatism/> (läst: 7.4.2012)

Astigmatism, wikipedia

<http://en.wikipedia.org/wiki/Astigmatism> (uppdaterad 11.4.2012)

Available models pdf, MAVincis webbsida

http://www.mavinci.eu/download/Flyer_completeSystem_2011_08_30.pdf (läst: 11.1.2012)

Baseline JPEG and JPEG2000 Artifacts Illustrated

<http://www.stat.columbia.edu/~jakulin/jpeg/artifacts.htm> (läst: 23.3.2012)

Digital camera sensors, Cambridge in colour

<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/camera-sensors.htm> (läst: 7.4.2012)

ScanEagle, Boeing läst

<http://www.boeing.com/defense-space/military/scaneagle/> (läst: 7.4.2012)

Bramor UAV, C-Astrals webbsida

http://c-astral.com/media/website/bramor-uav/img_0308.jpg (läst: 21.3.2012)

Blom John David, Unmanned Aerial Systems: A Historical Perspective

Camera Calibration and 3D Reconstruction, Open CV

http://opencv.willowgarage.com/documentation/camera_calibration_and_3d_reconstruction.html
(last: 7.4.2012)

Canon EOS 5D Mark III Hands-on Preview, Dpreview

<http://www.dpreview.com/previews/canoneos5dmarkiii/> (läst: 7.4.2012)

CCD vs. CMOS, Teledyne Dalsas webbsida

http://www.teledynedalsa.com/corp/markets/CCD_vs_CMOS.aspx (läst: 17.2.2012)

CMOS vs CCD, Hearst electronic products

http://www2.electronicproducts.com/CMOS_vs_CCD-article-fajb_cmosvsccd_sept2011-html.aspx

(läst: 7.4.2012)

Cheap GPUs are rendering strong passwords useless, Zdnets webbsida

<http://www.zdnet.com/blog/hardware/cheap-gpus-are-rendering-strong-passwords-useless/13125>

(läst: 20.3.2012)

Chromatic Aberration, dpreview läst

http://www.dpreview.com/learn/?/Glossary/Optical/chromatic_aberration_01.htm (läst: 7.4.2012)

Complete Orthofoto System, MAVincis webbsida

<http://www.mavinci.eu/products> (läst: 27.2.2012)

Complete product range pdf, MAVincis webbsida

http://www.mavinci.eu/download/MAVinci_complete_product_range.pdf (läst: 11.1.2012)

Depth perception, wikipedia

http://en.wikipedia.org/wiki/Depth_perception (uppdaterad 29.2.2012)

Digital Infrared Filter Comparison Photos, Lifepixels webbsida

<http://www.lifepixel.com/infrared-filters-choices> (läst: 29.3.2012)

Digital Raven: Hand-Launched UAV Goes Binary, Defense industry daily

<http://www.defenseindustrydaily.com/Digital-Raven-Up-to-666M-to-AeroVironment-for-UAV-Upgrades-06050/> (läst: 22.1.2012)

Digital Surface Models (DSM), Promap

http://82.153.217.65/pro_virtual_dsm.php (läst: 7.4.2012)

Digital orthophotos, U.S. Geological Survey

http://online.wr.usgs.gov/ngpo/doq/doq_basics.html (läst: 7.4.2012)

Distortion article, dpreview

<http://www.dpreview.com/articles/distortion/> (läst: 7.4.2012)

ENTR/2007/065, Study analysing the current activities in the field of UAV

http://ec.europa.eu/enterprise/policies/security/files/uav_study_element_2_en.pdf

Faroskannerns datablad

Eisenbeiss Henri, Zhang Li Comparison of dsms generated from mini uav imagery and terrestrial laser scanner in a cultural heritage application

http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/part5/paper/EISE_649.pdf (hämtad: 8.4.2012)

Film speed, wikipedia

http://en.wikipedia.org/wiki/Film_speed (uppdaterad: 24.3.2012)

flickrhivemind.net (läst: 30.3.2012)

How Cameras Work, Howstuffworks

<http://electronics.howstuffworks.com/camera1.htm> (läst: 7.4.2012)

The Basics of Photogrammetry, Geodetic systems

<http://www.geodetic.com/v-stars/what-is-photogrammetry.aspx> (läst: 7.4.2012)

Direct Image Sensors, Foveon

<http://www.foveon.com/article.php?a=67> (läst: 7.4.2012)

Frequently Asked Questions (FAQ) for microdrones, microdrones webbsida

<http://www.microdrones.com/support/frequently-asked-questions-about-microdrones.php> (läst: 29.3.2012)

Friedrich Ackermann, Airborne laser scanning—present status and future expectations (1999)

Gatewing Stretchout System requirements, Gatewings webbsida
<http://www.gatewing.com/stretchout-systemrequirements> (läst: 27.3.2012)

Gatewing UAV delivers high-res digital mapping, unmanned.co.uk
<http://www.unmanned.co.uk/unmanned-vehicles-news/unmanned-aerial-vehicles-uav-news/gatewing-uav-delivers-high-res-digital-mapping/> (läst: 21.3.2012)

Gatewings webbsida
<http://www.gatewing.com/> (läst: 8.1.2012)

Gatewing X100 Unmanned Aerial System, Couderé
<http://www.coudere.be/ned/productDetail.asp?HoofdID=85&SubID=125&ProdID=242> (läst: 7.4.2012)

Gimbal Camera - Day or Night Thermal Imaging, C-Astrals webbsida
<http://c-astral.com/products/gimbal-camera/gimbal-camera/> (läst: 11.1.2012)

Grävmaskin, SBG
<http://www.sbg.se/excavator-2.html> (läst: 12.2.2012)

H. Bendea, P. Boccoardo, S. Dequal, F. Giulio Tonolo, D. Marenchino, M. Piras,
 Low cost uav for post-disaster assessment
http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/8_pdf/14_ThS-20/37.pdf
 (läst: 27.3.2012)

Hans-Peter Thamm, Konstantin Scheele, Verena Henrich Application of UAV Documentation of
 Archaeological
 Digs and the Derivation of Very High Resolution Digital Elevation Models
<http://www.conferences.earsel.org/abstract/show/1960> (läst: 27.3.2012)

Hardware limitations, Warren mars webbsida
http://warrenmars.com/photography/technical/resolution/hardware_limits.htm (läst: 18.2.2012)

Haarbrink R. B., Eisenbeiss H. Accurate dsm production from unmanned helicopter systems
http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1_pdf/214.pdf (hämtad: 8.4.2012)

Heritage Sites, Cyarks webbsida
<http://archive.cyark.org/project-list> (läst: 15.3.2012)

Hot mirror filter, Lifepixels webbsida
<http://www.lifepixel.com/infrared-photography-primer/ch4-choosing-a-camera-hot-mirror-filter>
 (läst: 29.3.2012)

Hur fungerar JPEG?, fotosidan.se
<http://www.fotosidan.se/cldoc/hur-fungerar-jpeg.htm> (läst: 24.3.2012)

Huuppä Juha m.fl. The SAGE Handbook of Remote Sensing (2009). ISBN 978-1-4129-3616-3

Ihse, Margareta, Colour infrared aerial photography s.170-191 Ihse, Margareta (2007)
 'Colour infrared aerial photography as a tool for vegetation mapping and change detection in environmental
 studies of Nordic ecosystems: A review', Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography,
 61:4, 170–191

Ihse, Margareta, Colour infrared aerial photography s.182

Image products, Gatewings webbsida
<http://www.gatewing.com/image-products> (läst: 27.3.2012)

Image products, Gatewings webbsida (läst: 27.3.2012)

In the Media Israel's largest drone UAV crashes in central Israel, allvoices.com
<http://www.allvoices.com/contributed-news/11457030-in-the-media-israels-largest-drone-uav-crashes-in-central-israel>
 (läst: 17.3.2012)

Infrared (IR) basics for digital photographers—capturing the unseen,dpFWIW
<http://www.dpfwiw.com/ir.htm> (läst: 7.4.2012)

Interpreting Optical Remote Sensing Images,Centre for remote sensing
http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/opt_int.htm (läst: 6.2.2012)

IR Techniques, Maxmax webbsida
http://www.maxmax.com/ir_techniques.htm (läst: 29.3.2012)

Iraq insurgents 'hack into video feeds from US drones',BBC news
http://news.bbc.co.uk/2/hi/world/middle_east/8419147.stm (läst: 25.1.2012)

Attridge Geoffery G mfl. The manual of photography - photograpic and digial imagning (2000) ISBN 0240515749

In which I initiate the Irving Fisher award, The Economist
http://www.economist.com/blogs/freeexchange/2006/11/in_which_i_initiate_the_irving (läst: 7.4.2012)

Jorvas,wikipedia
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Jorvas> (uppdaterad 5.3.2010)

Kamera,wikipedia
<http://sv.wikipedia.org/wiki/Kamera> (uppdaterad 24.3.2012)

Klang Dan, Lantmäteriet, Flygburen laserskanning (2009) Dan Klang, Lantmäteriet,Flygburen laserskanning (2009)

Picavet suspension, Kite aerial photography
<http://arch.ced.berkeley.edu/kap/equip/picavet.html> (läst: 7.4.2012)

Kromatisk aberration,wikipedia
http://sv.wikipedia.org/wiki/Kromatisk_aberration (uppdaterad 10.4.2012)

Laboration 4 dispersion, KTH
http://www.biox.kth.se/education/opt_utb/FysikaliskOptik/Lab_4.pdf (läst: 8.3.2012)

Lamborghini Murciélago,Car and driver
<http://www.caranddriver.com/reviews/lamborghini-murcielago-road-test> (läst: 7.4.2012)

Leikas Tarmo, Mäkilä Markku,Lennokkikuvauksen hyödyntämisestä turvetuotantoalueen kartoituksessa
<http://www.geologinenseura.fi/geologi-lehti/6-2011/lennokkikuvaus.pdf> (läst: 28.1.2012)

Litwiller Dave, CCD vs. CMOS: Facts and Fiction Dave Litwiller, CCD vs. CMOS: Facts and Fiction

LPS, Erdas
<http://www.erdas.com/products/LPS/LPS/Details.aspx> (läst: 7.4.2012)

LP960 - Advanced UAV for Scientific applications, Lehmann Aviations webbsida
<http://www.lehmannaviation.com/products/lp960/lp960.php> (läst: 11.1.2012)

Luftfartslag 22.12.2009/1194
<http://www.finlex.fi/sv/laki/ajantasa/2009/20091194> (läst: 7.3.2012)

M. Sauerbier, H. Eisenbeiss, Uavs for the documentation of archaeological excavations

<http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/part5/papers/214.pdf> (läst: 27.3.2012)

Malin Berndtsson, Maskinstyrning på småskaliga markentreprenader
<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/147999.pdf> (läst: 7.4.2012)

Massaberäkning, Mapteam
<http://www.mapteam.fi/pdf/Massaberakning.pdf> (läst: 29.3.2012)

Moore's Law Inspires Intel Innovation, Intel
<http://www.intel.com/content/www/us/en/silicon-innovations/moores-law-technology.html> (läst: 7.4.2012)

MQ-1 Predator, Deagel
http://www.deagel.com/Unmanned-Combat-Air-Vehicles/MQ-1-Predator_a000517002.aspx (läst: 7.4.2012)

Tesla Biography, Tesla memorial society of New York
<http://www.teslasociety.com/biography.htm> (läst: 7.4.2012)

Measuring vegetation, NASA
http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php (läst: 7.4.2012)

Nvidia reclaims title of world's fastest graphics chip with Kepler launch
<http://venturebeat.com/2012/03/22/nvidia-retakes-crown-of-worlds-faster-graphics-chip-with-kepler-launch/>
(läst: 31.3.2012)

Operation, Smartplanes webbsida
<http://www.smartplanes.se/technical/operation/> (läst: 6.3.2012)

Picavetupphängning, wikimedia
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ea/Picavet.gif> (hämtad: 23.3.2012)

Polypropylene, wikipedia
http://en.wikipedia.org/wiki/Polypropylene#EPP_Model_Aircraft (uppdaterad 15.4.2012)

Post Processing, MAVincis webbsida
<http://www.mavinci.eu/components/processingservice> (läst: 13.3.2012)

Pricing, C-Astrals webbsida
<http://c-astral.com/products/ortophoto/pricing/> (läst: 8.1.2012)

Proxydynamics webbsida, PD-100 PRS
http://www.proxdynamics.com/products/pd_100_prs/ (läst: 17.3.2012)

Understanding The RC Quadrocopter, RC helicopter fun
<http://www.rchelicopterfun.com/quadrocopter.html> (läst: 7.4.2012)

Raw vs JPEG: The pros and cons of Raw files or Jpeg files
<http://www.whatdigitalcamera.com/techniques/features/guides/490764/raw-vs-jpeg-the-pros-and-cons-of-raw-files-or-jpeg-files.html> (läst: 20.2.2012)

RAW vs JPG, vad ska du välja?
<http://www.robban.name/index.php/foto/raw-vs-jpg/> (läst: 20.2.2012)

Raven overview
http://www.avinc.com/downloads/Raven_INTL_1210.pdf (läst: 22.1.2012)

RIEGL VQ-580 faktablad
http://www.riegl.com/uploads/tx_pxriegl/downloads/10_DataSheet_VQ-580_24-10-2011_PRELIMINARY.pdf (läst: 10.3.2012)

RQ-11 Raven, Globalsecurity
<http://www.globalsecurity.org/intell/systems/raven.htm> (läst: 7.4.2012)

Rutgers University, CS 534: Computer Vision

Rosnell Tomi, Honkavaara Eija: Point Cloud Generation from Aerial Image Data Acquired by a Quadcopter Type Micro Unmanned Aerial Vehicle and a Digital Still Camera

Camera Calibration

<http://www.cs.rutgers.edu/~elgammal/classes/cs534/lectures/Calibration.pdf> (läst: 26.2.2012)

Sensor Platform, MAVincis webbsida

<http://mavinci.de/products/sensplatform> (läst: 26.2.2012)

Szeliski Richard, Computer Vision: Algorithms and Applications (September 3, 2010 draft) ISBN 978-1-84882-934-3

Services, PIEnearings webbsida

http://www.pieneering.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=91&Itemid=113 (läst: 27.2.2012)

Smartplanes webbsida

http://www.smartplanes.se/wp/wp-content/uploads/2010/02/smartOne_case_assembled.jpg (läst: 23.3.2012)

Sobel Edge Detector, HIPR2

<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/sobel.htm> (läst: 7.4.2012)

Speed of light in vacuum, The NIST Reference on Constants, Units, and Uncertainty

<http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?c> (läst: 7.4.2012)

Spherical aberration, wikipedia

http://en.wikipedia.org/wiki/Spherical_aberration (uppdaterad 13.11.2011)

Stretchout, Gatewings webbsida

<http://www.gatewing.com/products/stretchout> (läst: 13.3.2012)

Svenska OptikSällskapets ordlista

http://www.svenskaoptiksallskapet.com/spr_ord.html (läst: 8.3.2012)

Technical specification for the md4-1000, microdrones webbsida

<http://www.microdrones.com/products/md4-1000/md4-1000-technical-specification.php> (läst: 29.3.2012)

Tetracams webbsida

<http://www.tetracam.com> (läst: 13.3.2012)

The Personal Aerial Mapping System (PAMS), Smartplanes

webbsida <http://www.smartplanes.se/products/the-personal-aerial-mapping-system-pams> (läst: 11.1.2012)

Tidtabeller, VRs webbsida

<http://www.vr.fi/se/index.html> (läst: 24.1.2012)

Tien-Yin Chou, Mei-Ling Yeh, Ying-Chih Chen, Yen-Hung Chen, Disaster monitoring and management by the unmanned aerial vehicle technology

http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/part7/b/pdf/137_XXXVIII-part7B.pdf (läst: 27.3.2012)

Topcon GMS-2, Topgeo

http://topgeo.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=88&Itemid=101 (läst: 5.3.2012)

UGent UAV archaeology, youtube

http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=LWmDcaHOFiI (läst: 6.3.2012)

University of Edinburgh, Computer Vision IT412

http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/OWENS/LECT9/node1.html
(läst: 26.2.2012)

Unmanned Aircraft Systems' Remote Sensing Technology Used Against Bark Beetles in National Forests, sUAS News

<http://www.suasnews.com/2012/02/11985/unmanned-aircraft-systems-remote-sensing-technology-used-against-bark-beetles-in-national-forests/> (läst: 27.3.2012)

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), GlobalSecurity

<http://www.globalsecurity.org/intell/systems/uav-intro.htm> (läst: 7.4.2012)

What is CUDA, NVIDIA's webbsida

<http://developer.nvidia.com/what-cuda> (läst: 24.3.2012)

What is GPU Computing?, NVIDIA's webbsida

http://www.nvidia.com/object/GPU_Computing.html (läst: 20.3.2012)

What is Spherical Aberration?

<http://mansurovs.com/what-is-spherical-aberration> (läst: 8.3.2012)

Wehr Aloysius, Airborne laser scanning—an introduction and overview (1999)

Why a GPU mines faster than a CPU

https://en.bitcoin.it/wiki/Why_a_GPU_mines_faster_than_a_CPU (läst: 20.3.2012)

What Wavelength Goes With a Color?, NASA

http://science-edu.larc.nasa.gov/EDDOCS/Wavelengths_for_Colors.html (läst: 7.4.2012)

X 100 specifications, Gatewings webbsida

<http://www.gatewing.com/x100specs> (läst: 28.2.2012)