

Mikael Immonen

Fotogrammetrian laskeminen konesalissa

Tradenomi

Tietojenkäsittely

Syksy 2017



KAJAANIN
AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

TIIVISTELMÄ

Tekijä(t): Mikael Immonen

Työn nimi: Fotogrammetrian laskeminen konesalissa

Tutkintonimike: Tradenomi (tietojenkäsittely)

Asiasanat: GPU, GPGPU, Fotogrammetria, Virtualisointi, CPU, HPC

Opinnäytetyössä tutkitaan ja vertaillaan fotogrammetrian laskentaa paikallisella työasemalla ja virtuaalisella tietokoneella konesalissa. Työssä käydään läpi sekä fotogrammetrian että näyttöohjaimen hyödyntämistä, kehityshistoriaa ja tulevaisuuden hyödyntämiskohteita. Käytännön tutkimuksessa käydään läpi ja vertaillaan fotogrammetrialaskentaa konesalitietokoneen ja tehokkaan työaseman välillä. Tietokoneiden tehokkuutta mitattiin laskentaan käytettyjen aikojen perusteella.

Fotogrammetriaa käytetään usein paikallisissa tietokoneissa, jotka ovat heikkotehoisia verrattuna isoihin laskentaklustereihin. Tässä työssä selvitettiin mahdollisuutta hyödyntää konesalin virtualisoituja laitteistoja fotogrammetriaan tarvittavaan laskentaan.

Tulokset olivat yllättäviä, koska virtuaalisella tietokoneella toteutetusta laskennasta ei ollut sanottavaa hyötyä verrattuna laadukkaaseen paikalliseen työasemaan. Käytetty fotogrammetriaohjelma ei kyennyt hyödyntämään tehokkaasti virtuaalisen tietokoneen laskentakykyä. Monikulmioverkko-laskenta (Polygon mesh) tasokkaalla näytönohjaimella nopeutti laskentaa huomattavasti. Tutkimuksen aikana ilmeni ongelmia yhteistyökumppanin tarjoamassa virtualisointijärjestelmässä, jota ei saatu testattua tässä työssä. Tulevaisuudessa on hyödyllistä tutkia lisää konesalin laskentakykyä fotogrammetrian apuvälineenä. Fotogrammetria tarjoaa tulevaisuudessa huomattavasti käyttökohteita eri aloille, joista viihdeteollisuus on ollut jo pitkään edelläkävijä menetelmän hyödyntämisessä.

ABSTRACT

Author(s): Mikael Immonen

Title of the Publication: Photogrammetry Computation in a Data Centre

Degree Title: Bachelor of Business Administration

Keywords: GPU, GPGPU, Photogrammetry, virtualization, CPU, HPC

This Bachelor's thesis compares the photogrammetry computation with the local workstation and a virtual computer. The paper examines the benefits of the photogrammetry and using the display driver with the computation. The thesis also provides an overview on the development history of this technology, and assesses how it can be utilised in the future. A practical study examines and compares the photogrammetry between a computer room and a powerful workstation. The power of computers was measured based on the time used for calculation.

Photogrammetry is typically used only on local computers that are weaker in comparison with large computing clusters. This paper explores the possibility of utilizing the virtualized hardware of a machine room in a photogrammetric calculation.

The results were unexpected, as the virtual computing did not provide advantage compared to a high-quality local workstation. The used program could not efficiently utilize the virtual computing capability. Polygon mesh with high-resolution graphics card accelerated the computation significantly. During the test, problems were encountered in the partner-provided system, so that option was not tested during this work. In the future, photogrammetry will provide interesting possibilities for different fields of technology from which the entertainment industry is already doing pioneering work.

ALKUSANAT

Opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Liikunnan ja hyvinvoinnin uudet teknologiat ja palvelut -hankkeelle (LIKUTPA, A72451). Jyväskylän ja Oulun yliopiston, Teknologian tutkimuskeskus VTT:n, Tieteen tietotekniikan keskus CSC:n ja Kajaanin ammattikorkeakoulun toteuttaman LIKUTPA-hankkeen yhtenä osa-alueena on fotogrammetriamenetelmän ja konosalilaskennan soveltaminen urheilureittien 3D-mallinnuksessa. Konesalilaskennassa on käytetty apuna KajakDC-laboratorion virtualisointijärjestelmää, jossa fotogrammetrian laskentaohjelmistona oli Agisoft PhotoScan.

Työn tekovaiheet ovat olleet mielenkiintoisia ja avartaneet näkemystä tietojenkäsittelyn kehityshistoriasta, alan dynaamisuudesta ja kehitysmahdollisuuksista. Alan kehitys on ollut viimeisten vuosikymmenten aikana erittäin nopeaa, ja tulevaisuudessa kehitys tulee olemaan vähintään yhtä kiivastahtista. Fotogrammetrian mahdollisuudet ovat vielä huonosti tiedostettuja ja sovelluksia on vielä melko vähän käytössä. Tietotekniikan alan oppilaitoksissa tämä ongelma on tiedostettu ja ymmärrys mahdollisuudesta on tulossa eri tieteen aloille. Tämä opinnäytetyö on osa tätä tietoisuuden kasvattamista. Tieto leviää hitaasti oppilaiden kautta alan yrityksiin.

Erityiskiitokset perheelle, ystäville ja sukulaisille, jotka ovat tukeneet minua koko opiskelujeni ajan.

Lisäksi haluan kiittää kaikkia tähän kehitystyöhön osallistuneita osapuolia. Erityisesti kiitän Kajaanin AMK:n projektipäällikkö Taneli Rantaharjua kannustuksesta ja kehitysideoista työhön sekä projektipäällikkö Kyösti Koskelaa avusta työn aiheen valinnassa.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	1
2 FOTOGRAMMETRIA	2
2.1 Teoria	2
2.2 Historia	6
2.3 Käyttötarkoitus.....	8
2.3.1 Ilmakuvat fotogrammetriassa	8
2.3.2 Fotogrammetria arkkitehtuurissa.....	9
2.3.3 Vedenalainen fotogrammetria	10
2.3.4 Fotogrammetria sodankäynnissä	10
2.3.5 Rasteri- ja Moiré-fotogrammetria.....	11
2.3.6 Teollisuusmittaukset.....	13
2.3.7 Fotogrammetria viihdeteollisuudessa	14
3 GPGPU	15
3.1 Teoria	16
3.2 Historia	17
3.3 Käyttötarkoitus.....	20
4 CASE: FOTOGRAMMETRIA VALITUISTA KOHTEISTA.....	21
4.1 Tavoitteet	21
4.2 Suunnittelu	21
4.3 Agisoft PhotoScan -ohjelmisto fotogrammetriassa	22
4.4 Laitteistokokoonpanot	22
4.5 CSC-järjestelmän käyttöönotto.....	23
4.6 Tutkimuskohteet ja kuvien tallennuslaitteisto.....	24
4.7 Toteutusprosessin vaiheet	26
5 TULOKSET	28
6 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	32
7 YHTEENVETO	33
LÄHTEET	35
LIITTEET	

SYMBOLILUETTELO

API (Application programming interface) = ohjelmointirajapinta, jonka kautta ohjelma saa suoritettua koodia laitteistossa.

APU (Accelerated Processing Unit) = prosessoryyppi, jossa CPU ja GPU on integroitu samalle piirilevylle.

CPU (Central Processing Unit) = suoritin, joka hoitaa tietokoneelle tärkeitä toimintoja.

Geodesia = maanmittausoppi, esittää ja mittaa maapallon kokoa, muotoa ja kohteen sijaintia sen pinnalla.

GPGPU (General Purpose Graphics Processing Unit) = grafiikkasuoritin, jolla voidaan ajaa myös muuta koodia.

GPU (Graphics Processing Unit) = näytönohjaimen grafiikkasuoritin, jolla suoritetaan varjostimia.

Laskentaklusteri = rakenne, jossa useat yksittäiset tietokoneet on yhdistetty ohjelmistolla yhdeksi kokonaisuudeksi.

Monivarjostus = monen varjostimen yhteisajoa samaan aikaan GPU:lla.

Palanen (Polygon) = mallin kolmiomuotoinen palainen, johon kohteen pinnanmuoto perustuu.

Varjostin = näytönohjaimessa ajettavia ohjelmia, jotka mahdollistavat grafiikan manipuloinnin erittäin korkealla suorituskyvyllä.

1 JOHDANTO

Viihdeteollisuuden kasvu lisää jatkuvasti elokuva- ja pelialan ammattilaisten työmäärää. Erityisesti grafiikan tekijöiden työmäärä kasvaa merkittävästi, sillä pelit ja elokuvat vaativat aina vain parempaa, yksityiskohtaisempaa ja realistisempaa kuvanlaatua sekä tarkkoja kolmiulotteisia malleja. Viihdealan ammattilaisilta vaaditaan tarkkaa työskentelyä peli- ja elokuvaympäristön hahmojen yksityiskohtien ja taustojen luomisessa. Hahmojen teko vaatii pitkää esisuunnittelua ja tarkkaa viimeistelyä. Pelaajat ja katsojat näkevät hahmon koko elokuvan tai pelin ajan, jolloin niiden pienetkin virheet saattavat rikkoa peli- tai elokuvakokemuksen. Realististen kolmiulotteisten hahmojen ja taustojen toteuttamiseen liittyviä ongelmia voidaan ratkaista nopeasti ja edullisesti fotogrammetrialla.

Perinteistä mallintamista on tehty käsin jo vuosikymmenten ajan. Fotogrammetrialla saadaan graafikoiden ja mallintajien työkuormaa kevennettyä, kun raskain mallinnustyö tehdään valokuvista fotogrammetrialla. Fotogrammetria on vuosisatoja vanhaan matemaattiseen tekniikkaan perustuva menetelmä, jossa valokuvat yhdistetään yhdeksi kolmiulotteiseksi kokonaisuudeksi. Tekniikkaa on käytetty perinteisesti kartoituksessa, mutta nykyaikainen grafiikkaan keskittyvä viihdeteollisuus on ryhtynyt käyttämään valokuvamaista grafiikkaa myös peleissä ja elokuvissa. Fotogrammetrian sovelluksia on paljon tarjolla myös eri tieteiden ja teollisuuden tarpeisiin.

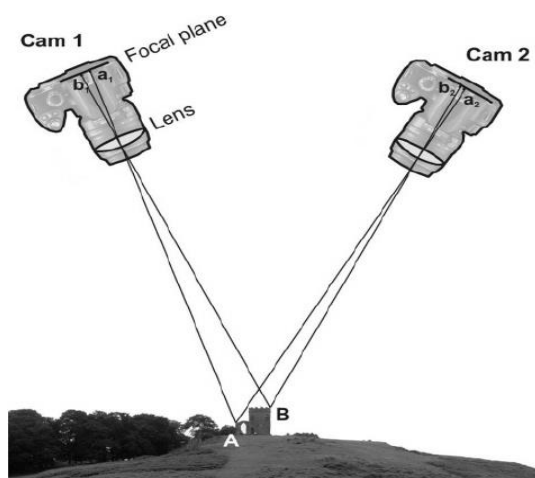
Fotogrammetrialaskentaa voidaan tehdä konesalien "supertietokoneilla", mutta tällaisen järjestelmän käyttö on kallista ja palvelun saaminen on hidasta. Toinen menetelmä on suorittaa laskentaa tehotietokoneilla grafiikkasuorittimien avulla. Tätä menetelmää voidaan käyttää hieman yksinkertaisemmassa laskennassa. Etuina menetelmässä on edullisuus ja palvelun nopea saatavuus. Tutkimuksessa selvitettiin erilaisia mallinnuskohteita, kuvaustekniikkaa, fotogrammetrialaskentaa ja laskennan nopeutta virtuaalinen tietokone vastaan paikallinen tietokone. Fotogrammetriaa käytetään usein paikallisissa tietokoneissa, jotka ovat heikkotehoisia verrattuna isoihin laskentaklustereihin. Tässä työssä selvitetään mahdollisuutta hyödyntää konesalin virtualisoituja laitteistoja fotogrammetriassa tarvittavaan laskentaan.

2 FOTOGRAMMETRIA

Fotogrammetria on kappaleen kolmiulotteista mittausta kuvien avulla. Kuvat kertovat kohteesta tarvittavat muodot ja ominaisuudet. Fotogrammetrian perusidea on määrittää kappaleen ja otetun kuvan geometriset mittasuhteet kuvaushetkellä. Kohteen kolmiulotteisen muodon määrittäminen on mahdollista, mikäli laadukkaita kuvia on riittävä määrä. Fotogrammetriaan tarvitaan kameran lisäksi ohjelmisto, jolla voidaan lukea kuvia. Näillä tiedoilla saadaan laskettua erillisohjelmistoilla tiheä pisteverkko, joka mahdollistaa kohteen kolmiulotteisen mallin määrittämisen. Kuvat voidaan tallentaa joko puhelimen kameralla tai ammattitason järjestelmäkameralla. Kuvien ikä ei ole este fotogrammetrian käytölle, mutta vanhat kuvat on muutettava digitaaliseen muotoon laskentaa varten. Fotogrammetriassa käytettävä kalusto voi koostua myös täysin automatisoiduista kuvauslaitteistoista, jolloin kuvaus on helppoa ja nopeaa. Kyseisten laitteistojen hinnat ovat vielä korkeita. (Aalto 2016, 10)

2.1 Teoria

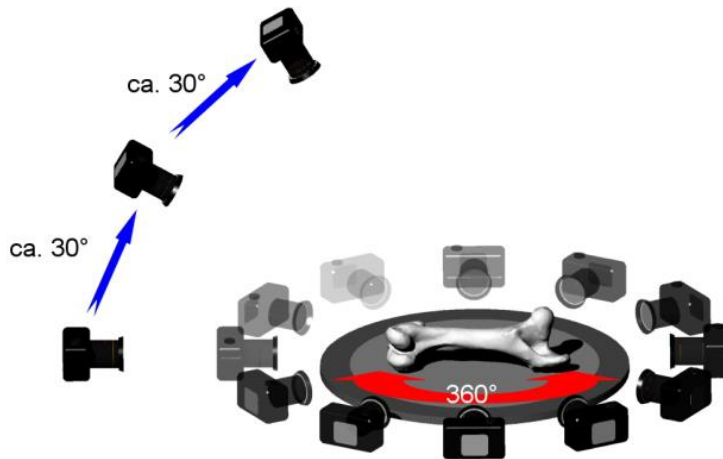
Fotogrammetria sisältää joukon menetelmiä kuvasta tapahtuvaan mittaukseen ja tulkitaan. Niiden avulla kuvasta saadaan erotettua kohteen sijainti ja muoto. Periaatteessa fotogrammetriaa voidaan käyttää erittäin monipuolisesti, sillä lähdeaineistoksi tarvitaan ainoastaan valokuvia kohteesta kuvan 1 mukaisesti. Fotogrammetriassa pääasiallinen tarkoitus on kohteen siirtäminen digitaaliseen muotoon koordinaattien ja geometrinen elementtien avulla. (Luhmann 2006, 2)



Kuva 1. Fotogrammetrian perusidea (ResearchGate, 2007)

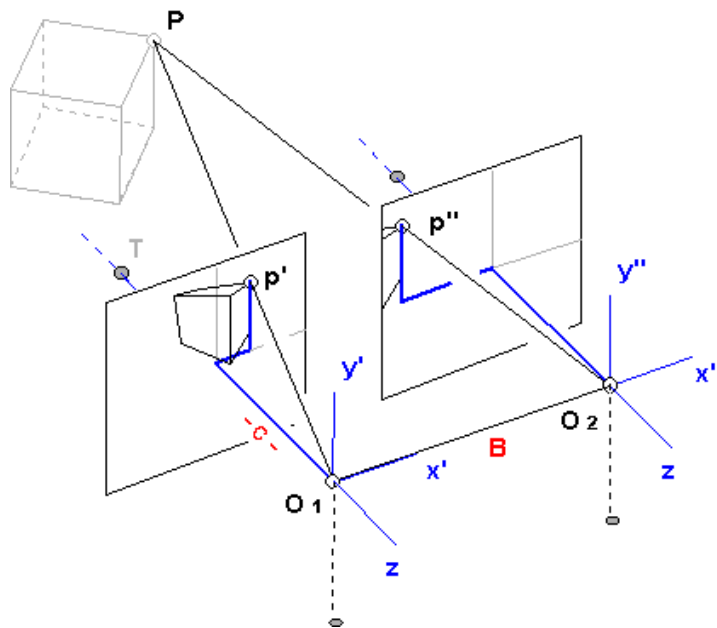
Kohteen kolmiulotteisen muodon hahmottaminen on fotogrammetrian pääasiallinen käyttötarkoitus. Kohteen muoto voidaan muodostaa kuvien, piirustuksien tai karttojen avulla. Digitaaliset valokuvat ovat suotuisia tiedostomuotoja, koska niitä voidaan käyttää toistuvasti ja oikein tallennetut tiedostot eivät tuhoudu. (Luhmann 2006, 2)

Kolmiulotteinen kohde muodostetaan digitaaliseen muotoon kaksiulotteisten kuvien avulla. Kohdealueita, joita ei esiinny valokuvista, ei voida luoda malliin ilman tarvittavaa lisätietoa. Syyt ovat pääasiallisesti piiloon jäävät osat kohteesta, kontrastin puute, kohteen iso koko, epätarkkuus kuvassa, kohteen heijastumat tms. Nämä ovat pääasiallisia syitä kohteen epäonnistuneeseen laskentaan kolmiulotteisessa avaruudessa. Hyvä tekniikka kohteen kuvaamisesta on esitetty kuvassa 2. (Luhmann 2006, 2)



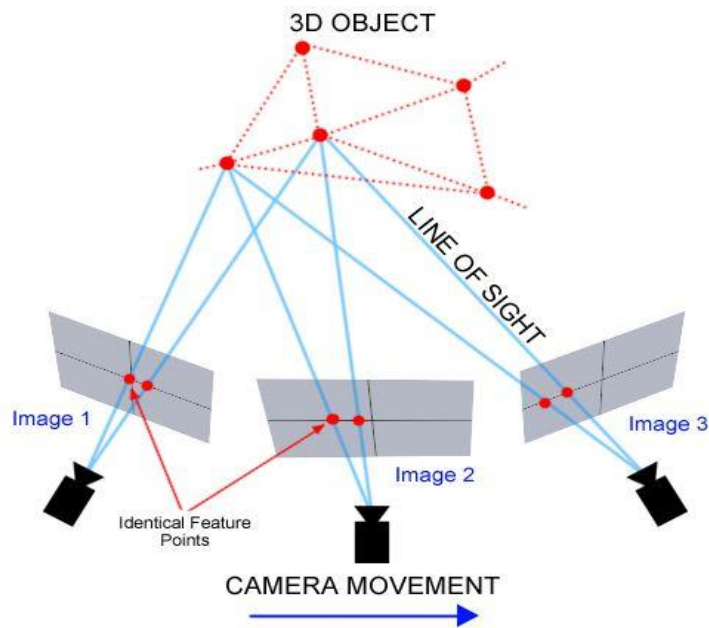
Kuva 2. Lähifotogrammetrian kuvaustapa (Dinosauripalaeo, 2013)

Kolmiomittaus on fotogrammetriassa tärkeä ominaisuus, jolla saadaan laskettua kuvien leikkauspisteiden suorat. Näiden suorien muodostamien kulmien avulla voidaan laskea pisteen paikka avaruudessa. Tämän lisäksi kameran sijainti ja kulma suhteessa edelliseen kuvaan on tiedettävä. Näistä tiedosta saadaan laskettua pisteen sijainti avaruudessa taaksepäinleikkauksen avulla. Kuvassa 3 on esitetty perusperiaate laskennasta. (Korhonen 2017, 2-3)



Kuva 3. Kuvan sijainnin laskemisen teoreettinen periaate (aalto-yliopisto, 2002)

Taaksepäinleikkauksessa mittaus perustuu kahteen kolmioon. Mittauksessa on kolme lähtöpistettä, joiden avulla lasketaan lähtöpisteiden kulmat ja tähtäyssuunnat objektin pisteille. Peräkkäisten kuvien välillä on oltava yhteiset kiintopisteet, jotta laskenta avaruuteen voidaan tehdä. Etäisyys kuvauspaikasta kiintopisteeseen tehdään säteen avulla. Säteiden leikkauskohtien ja niiden välisten kulmien avulla saadaan määritettyä kohteen pisteen paikka avaruudessa kuvan 4 mukaisesti. (Korhonen 2017, 2-3)



Kuva 4. Kohteen kuvaaminen kameralla kolmiulotteisen mallin luomiseksi (The Haskins society)

2.2 Historia

Fotogrammetrian ja valokuvauksen kehitys alkoi samaan aikaan 1850-luvulla. Ensimmäisen fotogrammetrisen laitteiston kehitti ranskalainen Aimé Laussedat. Hän raahasi laitteiston Pariisin talojen katoille ottaakseen kuvia kaupungista ja muodostaakseen kaupungin kartan fotogrammetrian avulla. Naapurimaassa Saksassa Albrecht Meydenbauer aloitti fotogrammetrian kokeilut arkkitehtuurissa ja pystyi korvaamaan perinteiset, vaaralliset rakennusmittaukset valokuvista tehdyillä mittauksilla. (Vinni 2003)

Fotogrammetrian tarkasteluun soveltuva laitteisto kehitettiin jo hieman ennen valokuvaustekniikkaa 1830-luvulla. Silloin kehitettiin kuvaparit ja stereoskooppi, joka on nähtävissä kuvassa 5. Merkittävä askel fotogrammetrian kehityksessä otettiin 1910-luvulla, kun saksalainen Carl P. Pulfrich rakensi ensimmäisen kolmiulotteisiin mittauksiin soveltuvan laitteiston. Keksintö synnytti kokonaan uuden fotogrammetrian osa-alueen, stereofotogrammetrian. (Vinni 2003)



Kuva 5. Stereoskooppi (Mobilier)

Ilmakuvaustekniikan kehitys alkoi vuonna 1858 ranskalaisen Gaspard-Félix Tournachon toimesta. Ensimmäisiä ilmakuvia otettiin kuumailmapalloista, mutta lentokoneiden yleistyminen 1900-luvulla syrjäytti kuumailmapallot ilmakuvauksessa. Ilmakuvauskameroiden kehitys oli voimakasta ensimmäisen maailmansodan aikana. Taustalla oli ilmakuvien hyödyntäminen sodan tarpeisiin. Tiedustelutoiminta synnytti keksinnön, jossa ilmakuvia käytettiin hyödyksi kartoituksessa. Tähän aikaan kartat valmistettiin puhtaasti geodeettisten mittauksien pohjalta, ja siksi ideaa ilmakuvauksesta epäiltiin aluksi. Suomessakin käytiin pitkään keskustelua siitä, kannattaako kartoitusmittauksia tehdä ollenkaan ilmakuvauksien pohjalta. (Vinni 2003)

Fotogrammetria kehittyi nopeasti maailmansotien välissä. Samaan aikaan myös Suomessa otettiin käyttöön ilmakuvat kartoituksessa. Toinen maailmansota kiihdytti merkittävästi fotogrammetrian kehitystä, ja ilmakuviin tuotiin uutta tekniikka, kuten väri- ja infrapuna-filmit. Tekniikan kehittyminen kasvatti suuresti informaation määrää ilmakuvauksissa parantaen samalla tiedustelun ja karttojen laatua. (Vinni 2003)

Maailmansotien jälkeen fotogrammetriaan kehitettiin matemaattiset menetelmät, joista suurin osa on vieläkin käytössä. Tietokoneiden laskentatehon kasvaminen on huomattavasti parantanut fotogrammetrian nopeutta ja tarkkuutta, eikä kymmenen vuotta sitten samanlaista digitaalista muotoa osattu edes kuvitella. Nykyaikaiset skannerit tuottavat kuvia hyvin tarkkoja, ja näitä tuloksia pystytään käyttämään suoraan fotogrammetriassa tarvittaviin sovelluksiin ja tuotteisiin. Stereoskooppiset näyttölaitteet ovat kehittyneet siihen pisteeseen, että kuluttaja pystyy kotitietokoneella vaivattomasti katsomaan fotogrammetrialla tuotettuja tuloksia. (Vinni, 2003)

2.3 Käyttötarkoitus

Alun perin fotogrammetriaa käytettiin ainoastaan karttojen ja maastonmuotojen luomiseen, jotta karttojen korkeusmuodot saatiin merkittyä karttoihin. Suomen maantieteelliset tiedot on koottu Maanmittauslaitoksen luomaan ja ylläpitämään JAKO/MTJ-maastotietojärjestelmään. Se sisältää tärkeitä tiedot Suomen maastomuodoista ja rakennetuista kohteista. Tietokantaa päivitetään muutaman vuoden välein ilmakuvien sekä geodeettisten mittauksien avulla. Maanmittauslaitoksen kartat perustuvat kyseiseen tietokantaan. (Vinni, 2003)

Kartoituksen lisäksi fotogrammetrialla on useita sovellusmahdollisuuksia useilla tieteen aloilla. Niitä kutsutaan yleisesti fotogrammetrian erikoissovellutuksiksi, ja niistä käytetään myös nimitystä fotogrammetrian geodeettiset menetelmät. Mikäli kuvan tai mitattavan kohteen ja laitteen välimatka on lyhyt, puhutaan lähifotogrammetriasta. (Vinni, 2003)

2.3.1 Ilmakuvat fotogrammetriassa

Fotogrammetriassa ilmakuvia käytetään muuhunkin kuin kartoitukseen, kuten tien- ja maanrakennuksen suunnitteluun, maankäyttöön ja metsäarvointiin. Euroopan unionin myöntämien maataloustukien tarkkailu on hyvä esimerkki ilmakuvien hyödyntämisestä. Ilmakuvista viranomaiset saavat tietoa peltojen pinta-aloista ja kasvityypeistä, jolloin he voivat vertailla mittaustuloksia tukihakemuksissa esitettyihin tietoihin. (Vinni, 2003)

2.3.2 Fotogrammetria arkkitehtuurissa

Arkkitehtuurissa fotogrammetriaa käytetään yleisesti historiallisesti arvokkaiden kohteiden dokumentointiin, mittauksiin ja digitointiin. Valokuvat antavat nopeasti ja tarkasti tietoa rakennusten mitoista ja julkisivun yksityiskohdista entisöintiä varten. Kuvaus tapahtuu usein sopivalta kuvausalustalta, esimerkiksi vastakkaisen talon katolla. Kuvat tarjoavat paitsi arvokasta dokumentointitietoa rakennuksen nykyisestä kunnosta, myös lähtötietoa mahdollisille korjauksille. Menetelmä tuottaa siten kattavan dokumentaation koko rakennuksesta, sen yksityiskohtien mittasuhteista ja kolmiulotteisuudesta. (Vinni, 2003)

Radio-ohjattavat lennokit eli dronet ovat tulleet uusina laitteistoina arkkitehtuurin ja rakennusuunnittelun avuksi (Kuva 6). Lennokkien yleistymisen on poistanut erillisen kuvausalustan tarpeen sekä helpottanut ja nopeuttanut kuvauksia. (Aalto, 2016, 22)



Kuva 6. Nykyaikainen drone, DJI Inspire 2 (Cinema5D 2016)

2.3.3 Vedenalainen fotogrammetria

Kameroiden kehitys on mahdollistanut myös fotogrammetrian veden alla. Nämä sovellukset jaetaan kahteen osa-alueeseen: vedenalaiseen ja vedenpäälliseen kuvaukseen. Vesi aiheuttaa ongelmia mittauksille, koska valo taittuu vedessä eri tavalla kuin ilmassa. Veden ja ilman rajapinnassa valo taittuu fysiikan lakien mukaisesti, mikä aiheuttaa oman haasteensa kuvien tulkinnalle. Nämä asiat on huomioitava suoritettaessa vedenalaisia fotogrammetriamittauksia. Veden alla on hyvin harvoin riittävästi luonnonvaloa, minkä vuoksi kohteen ympärille täytyy tuoda keinovaloa. Valon puute, lämpötilavaihtelut ja veden puhdistus ovatkin vedenalaisen fotogrammetrian keskeisiä haasteita. (Vinni, 2003)

Vedenalaisen fotogrammetrian sovelluskohteisiin lukeutuvat meriarkeologia ja meribiologiset tutkimukset sekä vedenalaisten rakennelmien tarkastaminen, kartoittaminen ja syvysmittaukset. Meribiologit käyttävät fotogrammetriaa tutkiessaan merenpohjan eliöyhteisöjä ja jätevesien vaikutusta niihin. Öljyteollisuus käyttää fotogrammetriaa porauslauttojen tarkastuksiin, sillä porauslauttojen rakenteita joudutaan tarkastamaan säännöllisesti turvallisuuden takaamiseksi. Tähän tarkoitukseen fotogrammetria tarjoaa hyvän työkalun. (Vinni, 2003)

2.3.4 Fotogrammetria sodankäynnissä

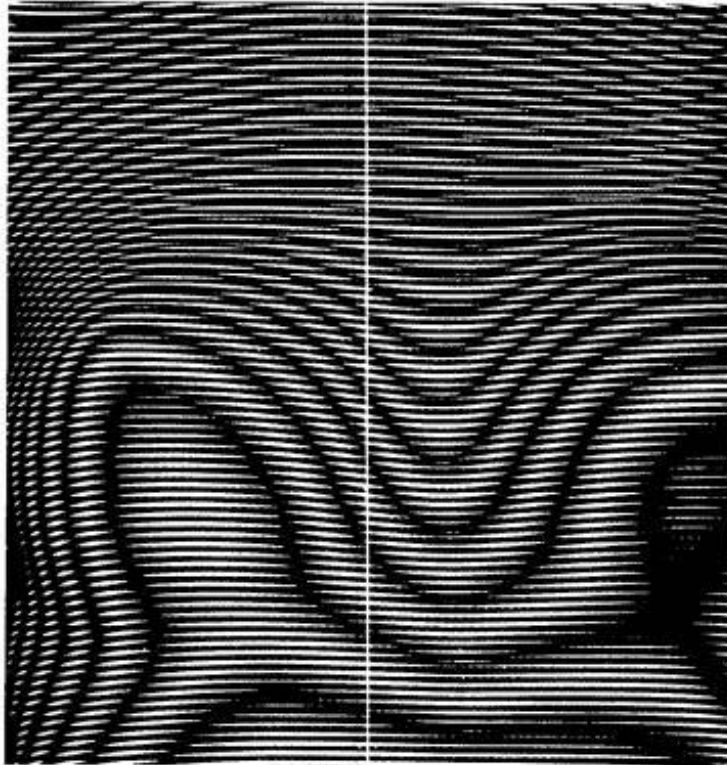
Sodankäynnissä fotogrammetriaa käytetään tyypillisesti tiedusteluun ja kartoitukseen. Sodankäynti vaatii ajantasaista ja erittäin tarkkaa tietoa sekä omilta että vihollisten alueilta. Operaatioiden suunnittelu ja sodanjohto edellyttävät informaatiota ja tarkkoja karttoja. Ilman ajantasaisia karttoja armeija on sokea, ja siksi tähän alueeseen on panostettu paljon nykyaikaisessa sodankäynnissä. (Vinni, 2003)

2.3.5 Rasteri- ja Moiré-fotogrammetria

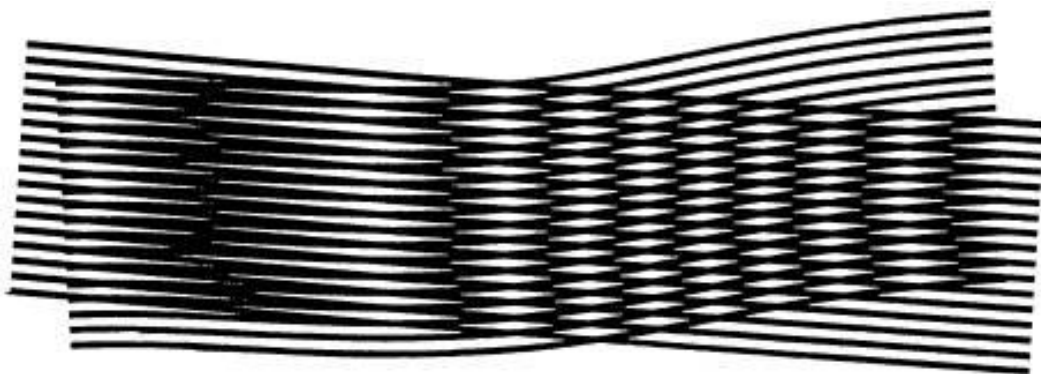
Ihminen havainnoi perspektiivin pinnan kuvioinnin ja vaihtuvan asennon avulla. Ymmärrämme esimerkiksi, että kaukana olevassa kyltissä kirjaimet ovat pienempiä kuin lähellä olevassa kyltissä. Samalla tavalla havaitsemme myös, että kyltti on vinossa meitä kohti. Mikäli pinnoissa ei ole värin tai kuvion vaihtelua, kohteen muodon hahmottaminen on hankalaa. Yksiväriselle pellolle tai luomettomalle iholle ei pystytä määrittelemään korkeuskäyrää kontrastin puutteen takia. (Vinni, 2003)

Tähän ongelmaan ratkaisuna on rasterifotogrammetria. Siinä kohteen pinta valaistaan sopivalla kuviolla ja otetaan samalla stereokuvapari. Kuvio voi olla säännöllinen rasterointi- tai mielivaltainen kuvio. Samaa tekniikkaa käytetään myös laserskannereissa, joissa lasersäde piirtää kohteen pinnalle viivan, joka näyttää pinnan muodot kyseisessä kohdassa. Sädettä siirretään hiljaa eteenpäin ja toistetaan kaikista kohteen kulmista. Tuloksena saadaan sarja kuvia, joista tietokone pystyy luomaan kolmiulotteisen kuvan kohteesta. (Vinni, 2003)

Moiré-tekniikka vastaavaa läheisesti edellä esitettyä rasterointitekniikkaa. Tässä menetelmässä kohteen pinnalle heijastetaan kahden tiheän ristikon viivat ja kohteen pinnanmuodot aiheuttavat leikkauskohtiin tummempia ja vaaleampia kuvioita. Syntyneiden kuvioiden avulla voidaan määrittellä kohteen pinnan muodot. Moiré-fotogrammetrian tekniikka on esitetty kuvissa 7 ja 8. (Vinni, 2003)



Kuva 7. Naisvartalon pinnalle heijastettu moiré-kuvio. (Vinni, 2003)



Kuva 8. Kahden viivaston muodostama moiré-kuvio (Vinni, 2003)

2.3.6 Teollisuusmittaukset

Teollisuudessa käytetään useita fotogrammetrian sovelluksia, ja ne jaetaan karkeasti kahden luokkaan, reaaliaikaisiin on-line-sovelluksiin ja ei-reaaliaikaisiin off-line-sovelluksiin. (Vinni, 2003)

On-line-sovelluksissa hyödynnetään kuvista tehtyjä mittauksia välittömästi kuvien ottamisen jälkeen. Autoteollisuudessa ja vastaavissa prosessinomaisissa tuotannoissa käytetään paljon on-line-tekniikkaa paikkatiedon ja muodon määrittäykseen. Esimerkki nykyaikaisesta on-line-laitteesta on esitetty kuvassa 9. Yleisnimitys näille sovelluksille on reaaliaikainen fotogrammetria, robotinäkö tai konenäkö. (Vinni, 2003)

Off-line-sovelluksessa kuvat otetaan kohteesta, ja mittaus ja analysointi tapahtuvat muualla kuin paikan päällä. Tällaista sovellusta käytetään usein mm. tuotteen laadun tarkkailuun. Kuvista saa tietoa valuvirheistä tai isojen kappaleiden sopimattomuudesta. (Vinni, 2003)



Kuva 9. Nykyaikainen teollisuuden laserskanneri (Directindustry)

2.3.7 Fotogrammetria viihdeteollisuudessa

Viihdeteollisuus on ottanut fotogrammetrian laajaan käyttöön. Electronic Arts (EA) julkaisi vuonna 2015 pelin nimeltään Star Wars™ Battlefront™, jossa on käytetty laajasti ja monipuolisesti hyödyksi fotogrammetrialla luotuja hahmoja, materiaaleja ja maisemia. EA oli kuvannut DICE-pelistudiossa paljon aitoja, elokuvissakin käytettyjä pienoismalleja. Pienoismalleista otettiin fotogrammetriaan tarvittavat kuvat, jolloin esineet olivat mahdollisimman aidon näköisiä ja kolmiulotteisia, aivan kuten pelissäkin. Tämä antoi pelistudiolle helpon mahdollisuuden luoda myös elokuvaan pelimaisemia, joihin pelaajat olivat kiintyneet. (Star Wars™ Battlefront™ 2015)

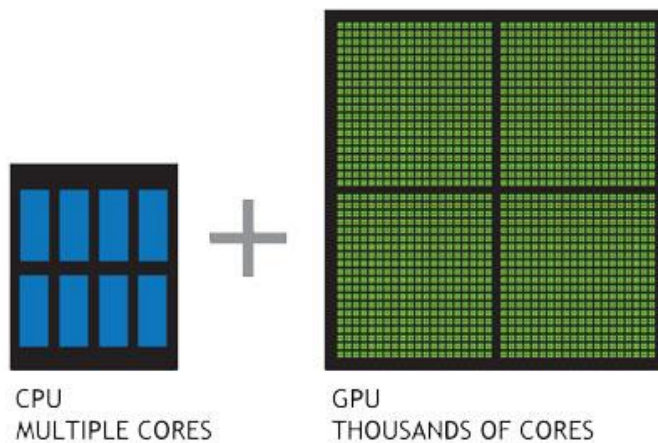
Fotogrammetriaa on käytetty lukuisissa muissakin peleissä ja elokuvissa, joista mainittakoon pelit Halo 4 ja Metal gear solid V sekä elokuva Mad Max: Fury Road. Kuvassa 10 on esitetty havainnollisesti, kuinka fotogrammetrialla luodaan realistisia kuvia peleihin. (PhotoScan 2017)



Kuva 10. Nykyaikaista fotogrammetrialla luotua peligrafiikkaa (Kotaku, 2016)

3 GPGPU

GPGPU (General-Purpose Computation on Graphics Processing Units) on ajatusmalli, missä GPU -laskentaprosessori (Graphics Processing Units) otetaan CPU-laskennan (Central Processing Unit) tueksi muuhunkin kuin näkyvän kuvan tuottamiseen. GPU-laskentaprosessori on modernin suunnittelun ja monen laskentaytimen ansiosta hyvin tehokas rinnakkaislaskennassa. Kuvassa 11 esitetään, kuinka CPU eroaa ytimien määrässä GPU:sta. Nykyään laskentaan käytetään pääasiallisesti tietokoneen CPU-suoritinta, joka ei ole tehokas suorittamaan rinnakkaislaskentaa, sillä se on suunniteltu tietokoneen toiminnalle välttämättömiin laskutoimituksiin. (Isohanni, 2013, 31)



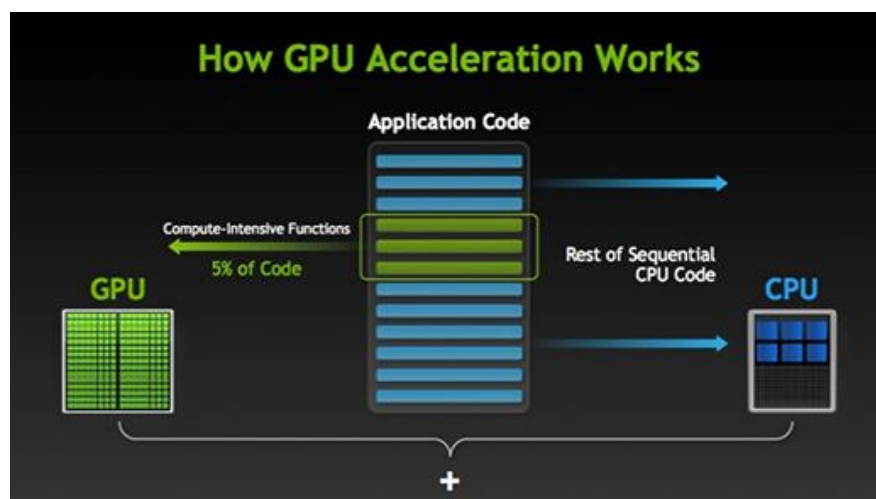
Kuva 11. CPU- ja GPU-suorittimen eroavaisuus ytimien määrässä (NVIDIA)

CPU-laskennan tehostamista GPU-laskennalla ei pystytty hyödyntämään ennen vuotta 2006, koska GPU-valmistajien laiterajoitukset eivät mahdollistaneet kyseistä lähestymistapaa. Tutkijat tosin rakensivat omia funktioitaan, jotka perustuivat olemassa oleviin rajapintoihin. Näiden rajapintojen avulla kyettiin ajamaan GPU-laskentaa huolimatta tarkoista rajoituksista, jotka koskivat GPU:n laskentasääntöjä ja GPU-prosessorin toimintaa. GPU-laskennan laajamittainen hyödyntäminen tuli mahdolliseksi vuonna 2006, kun ATI julkaisi CTM-ohjelmointiympäristön (Close To Metal). Seuravana vuonna vuorostaan NVIDIA julkaisi oman vastineensa ATI:n ohjelmointiympäristölle. Se sai nimekseen CUDA (Compute Unified Device Architecture). Nämä ympäristöt ovat mahdollistaneet GPU:n käytön muuhunkin kuin pelkästään grafiikan tuottamiseen. Ympäristöt tarjoavat ohjelmoijalle suoran pääsyn GPU-prosessorin hallintaan. GPU-valmistajat ovat myös lisänneet korkeimman tason ohjelmointikieliin, kuten Python, C++ ja C, tuen GPGPU-käyttöä varten. (Isohanni, 2013, 32; NVIDIA CUDA)

Nykyään GPGPU on tullut kuluttajien käyttämiin ohjelmistohin sisäänrakennettuna ominaisuutena. Tavallisen kuluttajan ei tarvitse osata ohjelmoida, vaan ohjelmistoissa on asetuksia, joista GPU:n käyttö saadaan kytkettyä päälle tai pois. Adobe'n ohjelmistot ovat kehittyneet tässä suhteessa pisimmälle, ja niissä on ollut jo kauan tuki GPU-laskennalle. (Adobe Premiere. 2013)

3.1 Teoria

GPU:n suorittama laskenta on ollut perinteisesti hyvin rajattua. Viime vuosiin saakka GPU on ollut ainoastaan apuna grafiikan laskennassa. Aikaisemmin GPU:n laskentakyky oli rajattu ainoastaan varjostimiin ja niiden palasiin; nykyaikaisissa prosessoreissa rajoite on jäänyt pois. GPU-prosessointi on mahdollista toteuttaa myös rinnakkaislaskennalla, joka hyödyntää GPU:n moniydinsuorittinta. Tämä tapa on tehokas, jos ohjelmoija haluaa suorittaa monivarjostusta ja palasia samaan aikaan. GPU:n prosessointi toimii rinnakkaislaskennassa, eli yksi ohjelmointiydin, kernel, suorittaa monta prosessia samanaikaisesti. Kernel mahdollistaa monen syötteen ja lähdön yhtäaikaisen toiminnan. Kernel mahdollistaa myös GPU:n käytön rinnakkaistiedon laskentaan GPU-arkkitehtuurissa ja antaa hyvin ison suoritustehon GPU:ssa. Aikaisempien sukupolvien GPU-prosessorit eivät tukeneet kernelin käyttöä, vaan ominaisuus on kehitetty uusimpiin GPU-suorittimiin. Kuvassa 12 esitetään GPGPU:n tehokas toimintamalli. (Ghorpade ym. 2012, 106)



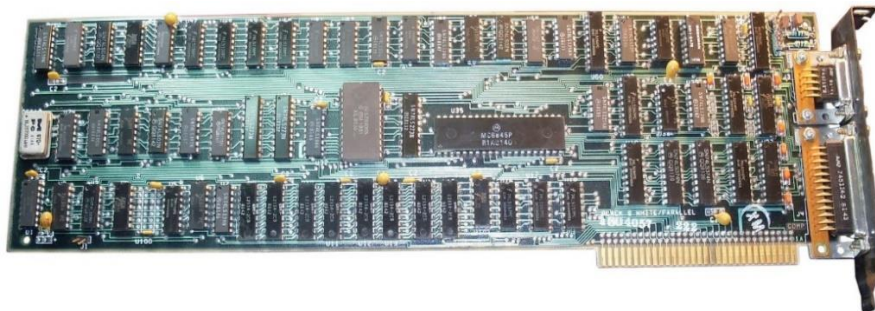
Kuva12. Tehokkaan GPGPU-ohjelman toimintamalli (NVIDIA)

Rinnakkaislaskennan heikkoutena on sen kykenemättömyys suorittaa montaa erilaista prosessia samaan aikaan. Ongelma aiheutuu siitä, ettei GPU lähtökohtaisesti sovellu ta-

vanomaiseen laskentaan ideaalisesti. Tähän ratkaisuksi GPU:n valmistajat ovat kehittäneet erillisen ohjelmointikielen, joka luo edellytykset GPU:n hyödyntämiselle yleisessä käytössä. Tämä lisää ohjelmaan erillisen ohjelmistotason muuttujille mahdollistamaan GPU-laskennan. (Ghorpade ym.. 2012, 107)

3.2 Historia

1980-luvulla GPU:t olivat vielä hyvin alkeellisia, ja grafiikkalaskenta suoritettiin yksinomaan CPU:lla olevien logiikkapiirien avulla. GPU-laskenta ei terminä ollut vielä silloin edes olemassa. Vasta vuonna 1999 NVIDIA esitteli termin. IBM oli ensimmäinen tietokonevalmistaja, joka esitteli grafiikkaan erikoistuneen erilliskortin (kuva 13). Ensimmäinen GPU:n API-rajapinta (Application programming interface) esiteltiin Silicon Graphics Inc:n (SGI) toimesta, ja se oli OpenGL:n esiaste. OpenGL API-rajapintaa käytetään edelleen yleisesti. Samoihin aikoihin esiteltiin ensimmäiset suunnitelmat GPU:n työjärjestyksistä. (McClanahan, 2010, 2)



Kuva 13. IBM Monochrome Display Adapter (Wikipedia, 2017)

1990-luvulla GPU ja grafiikan tiedonkulku vakiintuivat, kun SGI julkaisi ensimmäisen GPU-arkkitehtuurin nimeltään RealityEngine. 1990-luvun puolivälissä SGI:n kortit olivat vain työasemissa, etupäässä yrityksille tarkoitetuissa tietokoneissa. Muut GPU-valmistajat 3dfx (voodoo), NVIDIA (TNT), AMD (Rage) ja Matrox yrittivät saada kuluttajille halpaa GPU-järjestelmää yhdistämällä tietokonepelejä ja GPU-kortteja. Tämä kilpailu nopeutti pelien kehitystä, ja GPU yleistyi myös kuluttajietokoneissa. Työjärjestyksen vakiintumisesta huolimatta grafiikkakortit olivat vielä varsin alkeellisia ja tuottivat ainoastaan yhden pikselin yhdellä laskentakierroksella. Sen aikaisella CPU:lla sai tuotettua paljon paremman laskentatehon. Kehitys ajoi rinnakkaislaskentaan ja virtaviivaiseen tiedonkulkuun. Kehityksen suunta oli sellainen, että GPU pystyi tuottamaan pikseleitä enemmän yhden

laskentakierroksen aikana. Tämä suuntaus johti GPU-prosessoreiden yleistymiseen. (McClanahan, 2010, 2)

Vuonna 1999 GPU-korteissa liitintyyppi vaihtui PCI (Peripheral Component Interconnect) -liittimestä erilliseen grafiikkakäyttöön suunniteltuun AGP-liittimeen (Accelerated Graphics Port). Muutos mahdollisti uusien tekniikoiden tuleminen. Näitä olivat multitekstuurit, pinnanmuodot objektiin ja valaistuskartat. Kolmas sukupolvi siirsi myös geometrian ja valaistuksen laskennan GPU:lle. (McClanahan, 2010, 3)

Uusien GPU-korttien avulla pelien kehitys ja kulutus lähtivät vahvaan nousuun. Samoihin aikoihin GPU-laskennassa oli kuitenkin yksi iso ongelma: dataa ei voinut muokata prosessin aikana. Täten ohjelmoijat olivat edelleen hyvin riippuvaisia fyysisen suorituskyvyn riittävydestä. Näiden ongelmien ratkaiseminen mahdollisti laitteistojen kehittymisen uusiin ulottuvuuksiin. (Kananen, J. 2016, 8)

Ohjelmoitavat liukuhihnalaskennat loivat ohjelmille edellytykset monimutkaisten valojen ja varjojen käytölle reaaliaikaisessa 3D-piirtämisessä. Tämä ei ollut mahdollista aikaisemmin, koska liukuhihnalaskenta tapahtui kolmio ja sirpale kerrallaan. Ohjelmoitava liukuhihnalaskenta tarjosi tavan suorittaa laskutoimitukset samanaikaisesti usealle objektille. Näin rinnakkaislaskenta oli syntynyt. (Kananen, 2016, 9)

Vuonna 2002 julkaistiin viidennen sukupolven grafiikkasuorittimet. Nämä toivat mukanaan täysin ohjelmoitavan liukuhihnalaskennan. Ensimmäisiä täysin ohjelmoitavia grafiikkasuorittimia olivat NVIDIA GeForce FX ja ATI Radeon 9700. Näiden lisäksi seuraavana vuonna julkaistiin ensimmäinen grafiikkasuorittimia hyödyntävä API-ohjelma. Se käytti ohjelmoitavaa DirectX 9 -laskentaa, joka ei sisältänyt grafiikkaan liittyviä ominaisuuksia. (McClanahan, 2010, 3)

Kuudes sukupolvi muutti täysin grafiikkasuorittimen toiminnan. Tällöin ryhdyttiin käyttämään täysin rinnakkaista laskentaa. Suoritin oli ohjelmoitavissa eri toimintoihin ilman rajoitteita. Tästä eteenpäin laskennan järjestys oli ohjelmoijan päätettävissä, eikä se ollut mitenkään riippuvainen suorittimesta. Samaan aikaan julkaistiin myös GPGPU-ohjelmointikieli, joka mahdollisti grafiikkasuorittimen hyödyntämisen samankaltaiseen käyttöön kuin CPU:n. GPGPU:sta tuli ohjelmoitavien suorittimien trendi, ja se vakiintui samalla tulevaisuuden uudeksi suunnaksi. Kuvassa 14 on esitetty modernia suunnittelua edustava GPU-ohjainkortti. (McClanahan, 2010, 3)

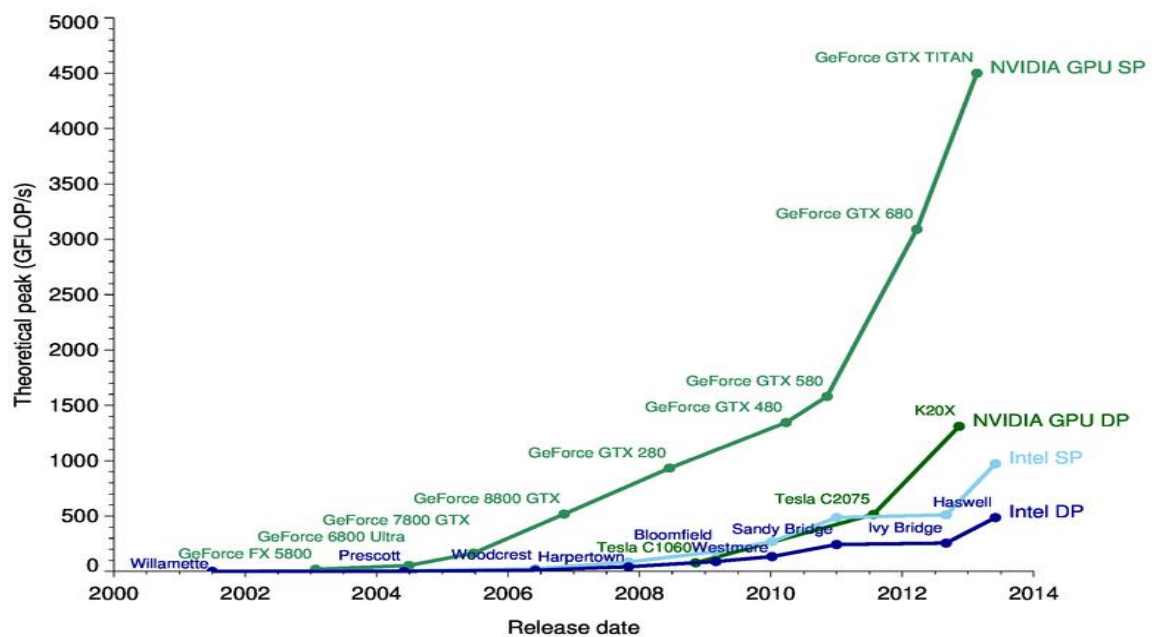


Kuva 14. GeForce 8800 Ultra, julkaistu 2006 (Wikipedia, 2017)

3.3 Käyttötarkoitus

Suurteholaskentaa voidaan käyttää useisiin tarkoituksiin eri aloilla. Näistä esimerkkejä ovat viihdeteollisuus, sää-, lääke- ja taloustiede, tekoälyalgoritmit, virtausmallinnukset ja lukuisat muut tieteen sovellukset. Teollisuudessa teholaskentaa käytetään muun muassa tuotannon laadunvarmistuksessa ja valvonnassa, suunnittelussa ja kuvantunnistuksessa sekä monissa muissa kohteissa. (Goopax)

Näytönohjain on pelitietokoneissa huipputasoa, mutta sitä hyödynnetään vain grafiikan laskentaan. Näytön ohjaamisen lisäksi tätä laskennan tehopakkausta voidaan käyttää edellä mainittuihin, raskasta laskentaa vaativiin sovelluksiin. GPU-laskentatehon kehitys on erittäin nopeaa (kuva 15). Laitteistojen hinta ei kuitenkaan nouse samalla nopeudella kuin laskentateho. Tämä tehon kasvu on kyettävä hyödyntämään teholaskennassa.



Kuva 15. GPU-tehon kehitys vuosittain (Michaelgalloy, 2013)

4 CASE: FOTOGRAMMETRIA VALITUISTA KOHTEISTA

Työn käytännön osuudessa vertailtiin kolmen eri laitekokonaisuuden suorituskykyä 3D-mallien tuottamisessa fotogrammetrialla. Lähdeaineistona käytettiin viidestä kohteesta otettuja digitaalisia kuvia, ja fotogrammetrinen prosessi toteutettiin Agisoft Photoscan -ohjelmistolla.

4.1 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua yleisesti fotogrammetriaan 3D-mallinnuksen menetelmänä. Aiheen käsittely jaettiin seuraaviin osa-alueisiin: toteutusprosessi, fotogrammetrinen mittaaminen ja ohjelmistojen toiminta sekä asennus ja käyttö konesalissa olevilla laitteistoilla. Lisäksi päämääränä oli tutkia, kuinka tehokkaan PC:n hyvää grafiikkasuorintaa voidaan hyödyntää teholaskentaan. Konesalin suurin hyöty saavutetaan teholaskennassa. Tästä syystä työssä selvitettiin myös ”supertietokoneen” hyödyntämismahdollisuutta fotogrammetrisessä mallinnusprosessissa.

4.2 Suunnittelu

Tietokonepelien grafiikka, elokuvat ja useat tietokonesovelluskohteet vaativat fotorealismia. Lisäksi kuluttajat edellyttävät nykyaikaisilta sovelluksilta mahdollisimman korkeataasoista kuvanlaatua. Kuluttajien ja viihdeteollisuuden asettamat vaatimukset ovat johtaneet tilanteeseen, jossa sovellusten ja työkalujen tarvitsema laskentateho on huomattavasti suurempi kuin mitä paikallinen työasema kykenee tarjoamaan. Suurta laskentatehoa vaativien käyttösovellusten, kuten fotogrammetrian, tarvitsema suorituskyky on tuotettavissa konesalien tehokkailla tietokoneilla. Nämä lähtökodot huomioiden tutkimus suunniteltiin monivaiheiseksi siten, että se sisältäisi kaikki fotogrammetrisen mallinnusprosessin päävaiheet. Suunnitteluvaiheessa perehdyttiin kuvaustekniikoihin, fotogrammetriaan tarkoitettujen ohjelmistojen toimintaan ja asennukseen sekä laskentatehon mittaukseen konesalin laitteistolla.

4.3 Agisoft PhotoScan -ohjelmisto fotogrammetriassa

Fotogrammetrian laskemiseen käytettiin Agisoft PhotoScan -ohjelmistoa, jonka kehitys on aloitettu vuonna 2006. Ohjelmistolla on tehty esineitä ja hahmoja niin useisiin peleihin kuin kohtauksiin elokuvissa, ja se onkin noussut yhdeksi johtavaksi ohjelmistoksi fotogrammetriassa. Agisoft PhotoScanin valintaan vaikutti myös se, että opinnäytetyön alussa Kajaanin AMK:lle hankittiin ohjelmiston kaupallinen lisenssi, joka antoi käyttöoikeudet sen kaikkiin ominaisuuksiin ja siten myös valmiudet ohjelmiston monipuoliseen käyttöön. Ennen ohjelmiston hankintaa Kajaanin AMK:lla oli toteutettu kattava vertailu eri valmistajien tarjoamista, fotogrammetriakäyttöön tarkoitetuista ohjelmistoista.

4.4 Laitteistokokoonpanot

Työssä käytettiin kolmea erilaista laskentaympäristöä. Niistä ensimmäinen, DC-labran laitteisto, koostuu virtuaalisesti tietokoneesta, joka sijaitsee KajakDC-laboratorion konealissa Kajaanin AMK:lla. Siinä on 32 virtuaalista CPU-prosessoria ja käyttöjärjestelmänä toimii Ubuntu 16.04. Toisena laitteistona toimi Teho-PC, keskitasoa tehokkaampi, pelikäyttöön tarkoitettu kotitietokone. Kolmanneksi ympäristöksi valittiin Tieteen tietotekniikan keskus CSC:n cPouta-pilvipalvelussa sijaitseva virtuaalinen tietokonekokonaisuus. Osa palvelun uusimmista ominaisuuksista oli tutkimuksen aika vielä rajattujen käyttäjien ulottuvilla. Pilvipalvelun GPU-valmius tuli saataville vasta opinnäytetyöprosessin puolivälin jälkeen, mikä aiheutti omat haasteensa toimenpiteiden aikataulutukselle, palvelun käyttöönotolle ja testiajojen suorittamiselle. Edellä kuvattujen laitteistojen tekniset tiedot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Tutkimuksissa käytettyjen järjestelmien tekniset tiedot

Komponentit	DC-labra	Teho-PC	CSC-järjestelmä
CPU	32 vCPU	Intel 6700k 4.00GHz	28 vCPU
RAM	64 GB	16 GB DDR4	234.4 GB
GPU	–	Nvidia 980Ti	2x Nvidia Pascal P100
Käyttöjärjestelmä	Ubuntu 16.04	Windows 10	Ubuntu 16.04

4.5 CSC-järjestelmän käyttöönotto

Tutkimuksessa oli tarkoitus käyttää CSC:n tarjoamaa cPouta-järjestelmää fotogrammetrian laskentaan. Kyseinen laitekokonaisuus on suunniteltu raskaaseen laskentaan. Laitteistokokonaisuus täydentyi GPU-kapasiteetilla vasta opinnäytetyön aikana. Laitteistoasennuksen keskeneräisyyden vuoksi PhotoScan-ohjelmisto ei toiminut tällä laitteistokokonalla. Ensimmäinen ongelma aiheutui, kun GPU-ajurit jouduttiin asentamaan uudelleen. Käyttöjärjestelmän kuvakkeessa oli asennettu useita ajureita päällekkäin, minkä seurauksena OpenGL-koodikirjasto ei toiminut asennuksen jälkeen. Toisen ongelman CSC:n järjestelmässä aiheutti VNC-etäyhteys. Agisoft PhotoScan-ohjelmiston ongelmana on, ettei ohjelmisto osaa tuottaa ikkunaa virtuaaliselle VNC-työpöydälle. Tämä ongelma johtuu ohjelmiston koodikirjaston virheestä, johon on jo kehitetty korjauskoodit. Ohjelmisto on suljettu järjestelmä, joka ei salli muutoksia käyttäjiltä. Tästä syystä Agisoft PhotoScan-ohjelman korjaaminen saatavissa olevalla korjauskoodilla ei ollut mahdollista. Ongelma aiheutti merkittäviä rajoitteita laitteistovertailuun.

4.6 Tutkimuskohteet ja kuvien tallennuslaitteisto

Tutkimukseen kuvattiin yhteensä kymmenen kohdetta, joista puolet karsittiin pois kuvien välisten kohdennuspisteiden vähäisen määrän takia. Lopulta työhön valikoitui viisi testikohdetta (Kuva 16), joissa kussakin oli monipuolisesti erilaisia pintoja ja muotoja. Kuvien ottamiseen käytettiin kahta kameramallia, Canon 5D mark IV ja Canon 7D. Yhteenveto kuvien teknisistä tiedoista on esitetty taulukossa 2. Tutkimuksen kannalta parhaat kuvat syntyivät patsaista, koska niissä oli hyvä valo, vähän heijastuksia ja sopivasti värin vaihteluja kohdistusta varten. Moottorisaha valittiin yhdeksi kohteeksi pienen kokonsa vuoksi, sillä vertailussa haluttiin myös tietoa fotogrammetrian toiminnasta pienten kohteiden mallinnuksessa. Sahassa oli sopivasti värikkäitä hallintapainikkeita, jotka toimivat hyvin kuvien välisinä kohdistuspisteinä. Kuvien taustat voivat niin ikään toimia kuvien välisinä kohdistuspisteinä, mutta ne saattavat hidastaa fotogrammetrian laskentaa.

Taulukko 2. Kuvien tekniset tiedot

Case	Kuvien määrä (kpl)	Resoluutio	Sijainti	Kamera	Objektiivi
1. Kallion näköispatsas	26	6720x4480	Helsinki	Canon 5D mark IV	Canon 24-105 4.0 L IS USM
2. Castren näköispatsas	32	6720x4480	Helsinki	Canon 5D mark IV	Canon 24-105 4.0 L IS USM
3. Pietari Brahe näköispatsas	95	3456x5184	Kajaani	Canon 7D	Sigma 50 1.4 USM DG HSM
4. Elias Lönnrot näköispatsas	64	3456x5184	Kajaani	Canon 7D	Sigma 50 1.4 USM DG HSM
5. Moottorisaha	39	6720x4480	Jyväskylä	Canon 5D mark IV	Canon 24-105 4.0 L IS USM

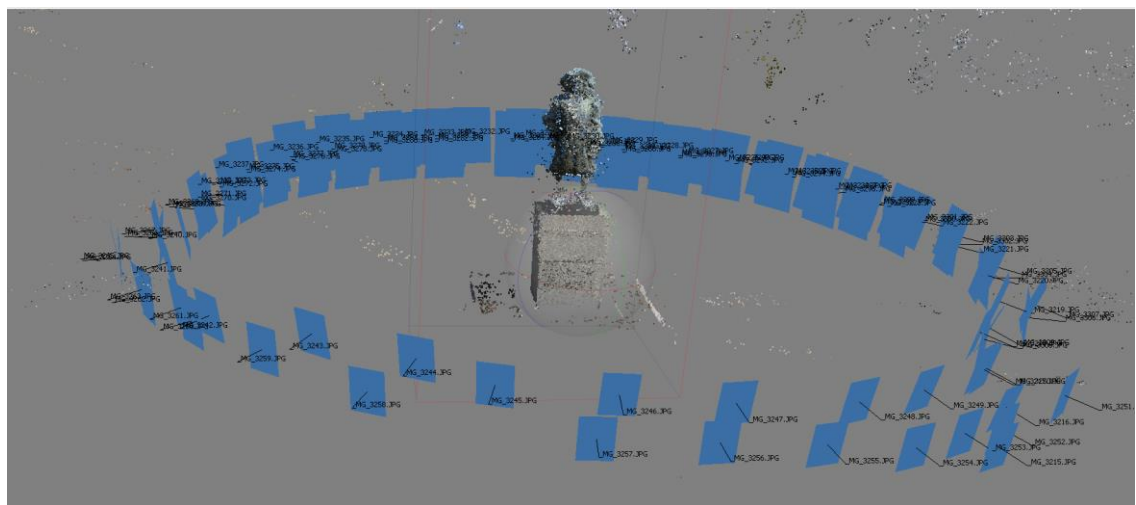
Tutkimuksen kannalta parhaat kuvat syntyivät patsaista, koska niissä oli hyvä valo, vähän heijastuksia ja sopivasti värin vaihteluja kohdistusta varten. Moottorisaha valittiin yhdeksi kohteeksi pienen kokonsa vuoksi, sillä vertailussa haluttiin myös tietoa fotogrammetrian toiminnasta pienten kohteiden mallinnuksessa. Sahassa oli sopivasti värikkäitä hallintapainikkeita, jotka toimivat hyvin kuvien välisinä kohdistuspisteinä. Kuvien taustat voivat niin ikään toimia kuvien välisinä kohdistuspisteinä, mutta ne saattavat hidastaa fotogrammetrian laskentaa.



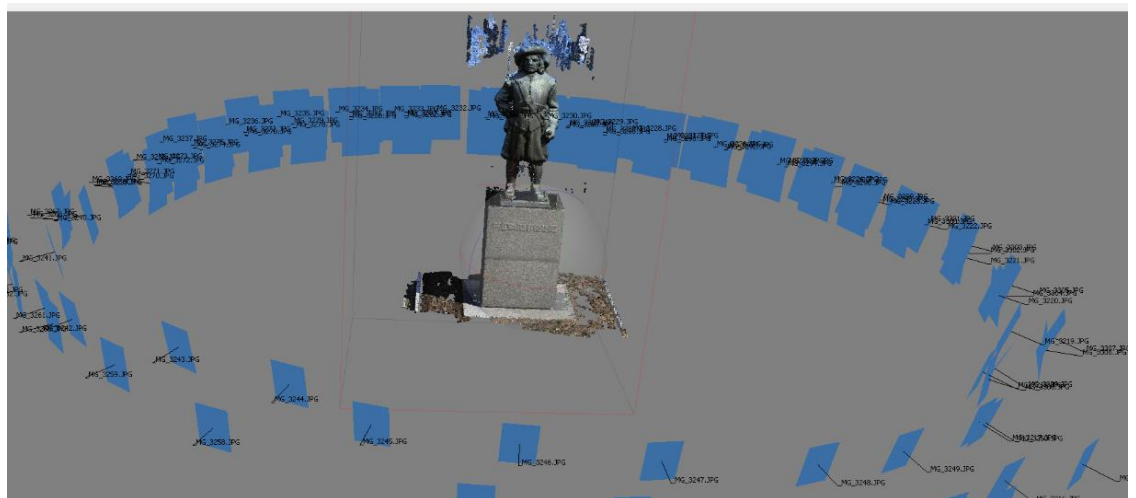
Kuva 16. Tutkimukseen valitut kohteet: a) Kallion näköispatsas, b) M.A.Castrenin näköispatsas, c) Pietari Brahen näköispatsas, d) Elias Lönnrotin näköispatsas ja e) Moottorisaha

4.7 Toteutusprosessin vaiheet

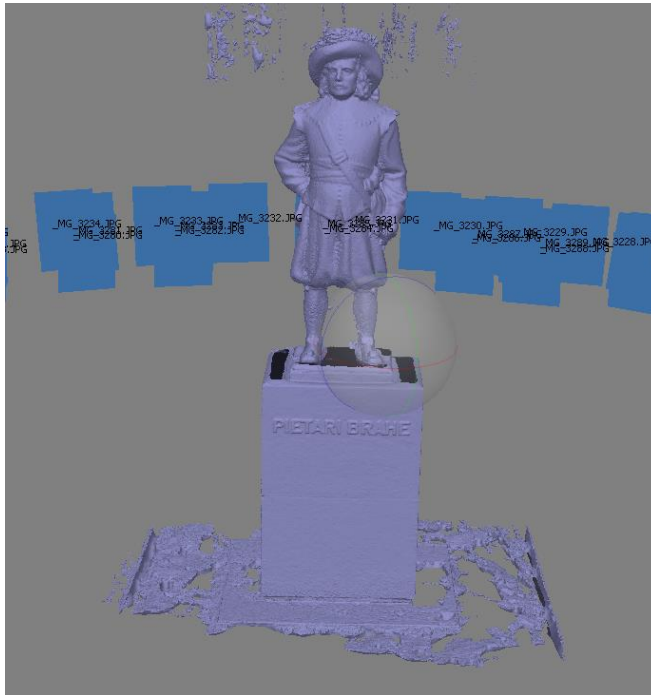
Fotogrammetria alkaa kohteen valinnalla. Kohteen ympärillä on oltava riittävästi tilaa ympärikuvaukseen. Valaistuksen täytyy olla riittävä ja heijastuksia ei saa olla kuvattavassa kohteessa. Kuvien kohdistamiseen on oltava riittävästi kohdistuspisteitä, ja niitä voidaan tarvittaessa erikseen lisätä kohteeseen. Patsasiin ylimääräisiä pisteitä ei voitu lisätä. Kuvien tallennus täytyy toteuttaa siten, että kuvien avaus ja käyttö on mahdollista tulevaisuudessakin. Fotogrammetriaan tarvittava laskenta on seuraava vaihe. Kuvien laadullinen tarkastelu tapahtui tässä vaiheessa. Kuvissa 17–19 on havainnollistettu laskennan vaiheet.



Kuva 17. Kohde kuvien asettelun jälkeen

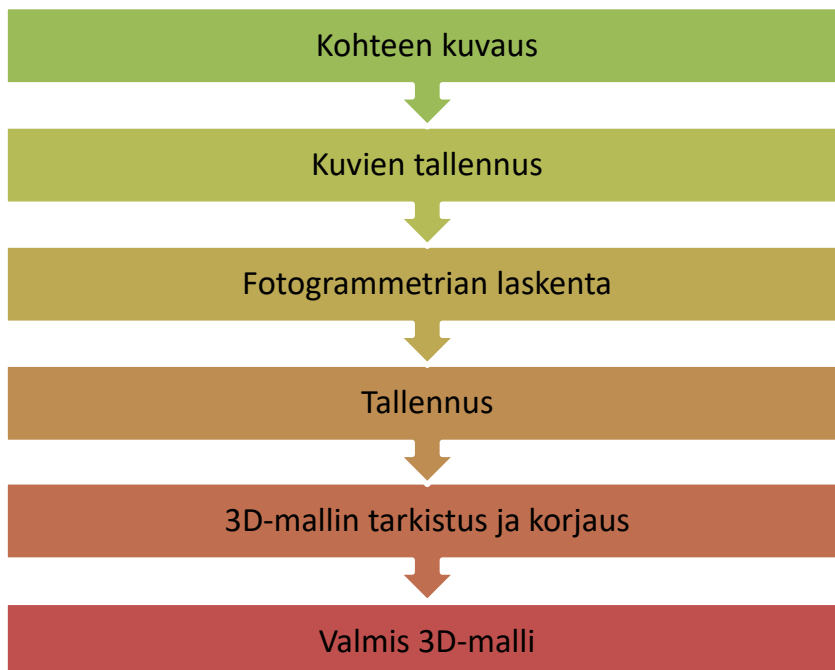


Kuva 18. Kohde tiheän pisteverkkon laskemisen jälkeen



Kuva 19. Kohde monikulmioverkon (Polygon mesh) laskemisen jälkeen

Saatu tulos tallennetaan myöhempää jatkojalostusta varten. Tarvittaessa kohde voidaan siistiä tai korjata erillisellä 3D-ohjelmalla. Näiden vaiheiden jälkeen 2D-valokuvista on saatu tuotettua valmis kolmiulotteinen malli kohteesta. Prosessi on kuvattu kuvassa 20.

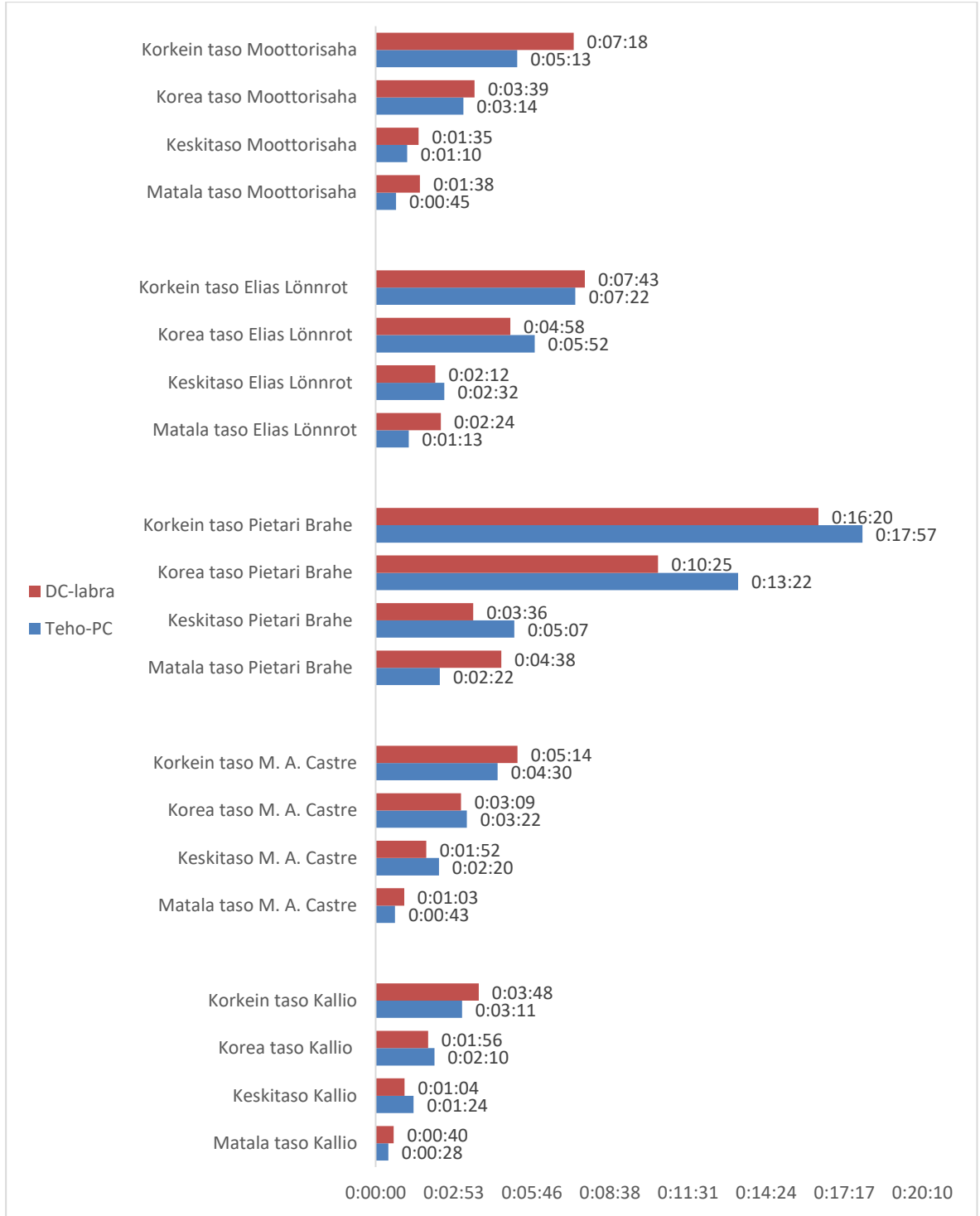


Kuva 20. Toteutusprosessin vaiheet

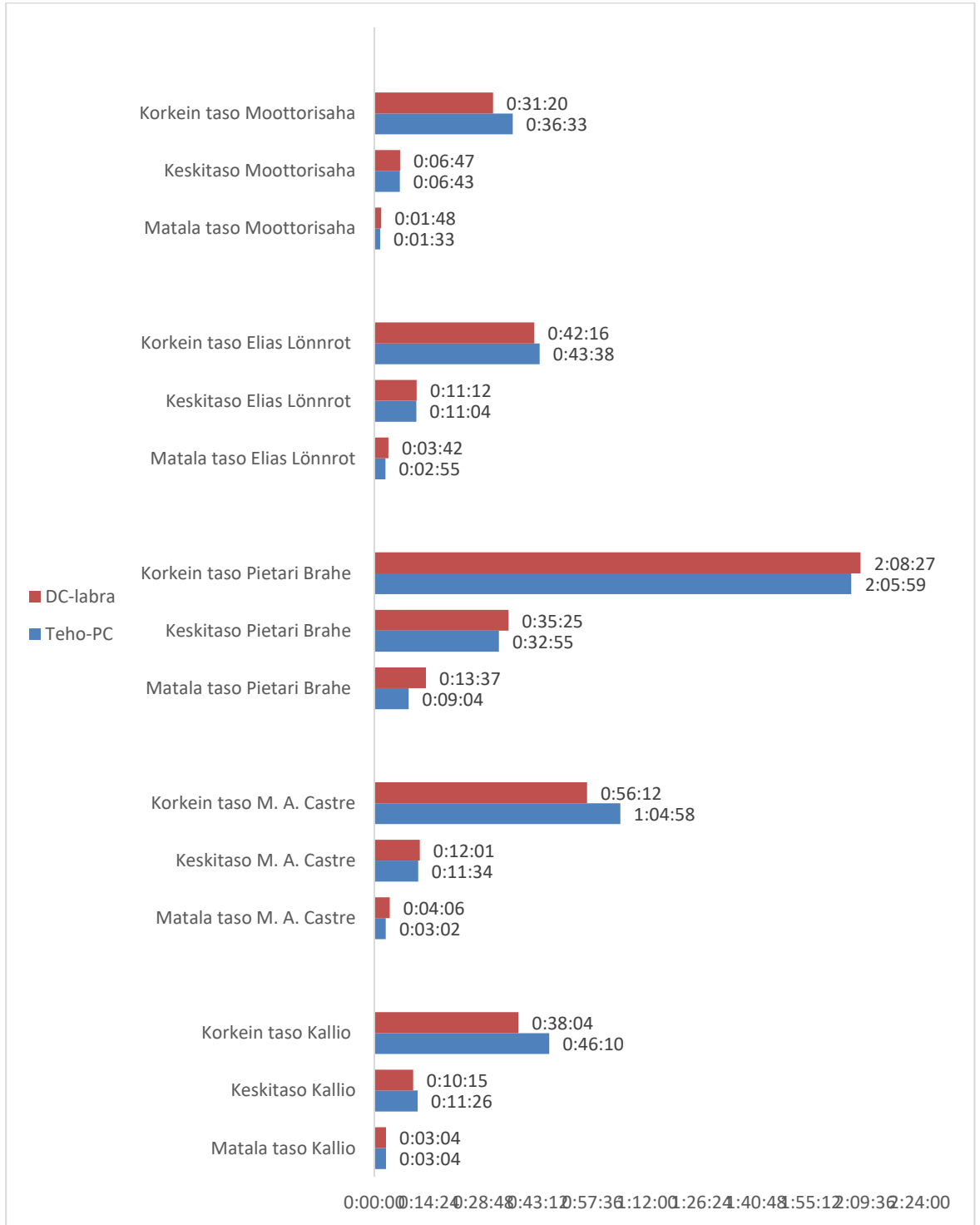
5 TULOKSET

Testit antoivat kiinnostavaa tietoa erilaisten komponenttien vaikutuksista fotogrammetrian laskentaan. Patsaiden pintojen väri vaihtelu, muotojen erilaisuus, hyvä valo ja patsaiden liikkumattomuus olivat peruste laskennan onnistumiselle. Väri vaihtelut toimivat hyvin kuvien kohdistuspisteinä Agisoft PhotoScan-ohjelmistossa. Patsaiden yläosiin jäi reikiä fotogrammetrian laskennan jälkeen, koska välineistö ei mahdollistanut kuvaamista ylhäältä. Kuvia täydentämällä tai 3D-mallia korjaamalla nämä virheet voitaisiin poistaa.

Tutkimuksen laskenta-ajat osoittivat, etteivät virtuaalisen työpöydän 32 vCPU:ta tarjoa huomattavaa laskentahyötyä verrattuna Teho-PC laskentaan, vaikka niin alun perin oletettiin. Tämä on nähtävissä kuvien 21 ja 22 pylväsdiagrammeista. Tuloksissa oli paljon samoja laskenta-aikoja molemmissa tapauksissa. Tulos johtuu todennäköisesti ohjelmistosta, joka ei kykene hyödyntämään suurta määrää CPU-prosessoreita samanaikaisesti. Suurimman laskenta-ajan vaati Pietari Brahen näköispatsas (Kuva 16, c-kohta), josta otettujen kuvien määrä oli huomattavasti suurempi kuin muissa tapauksissa.

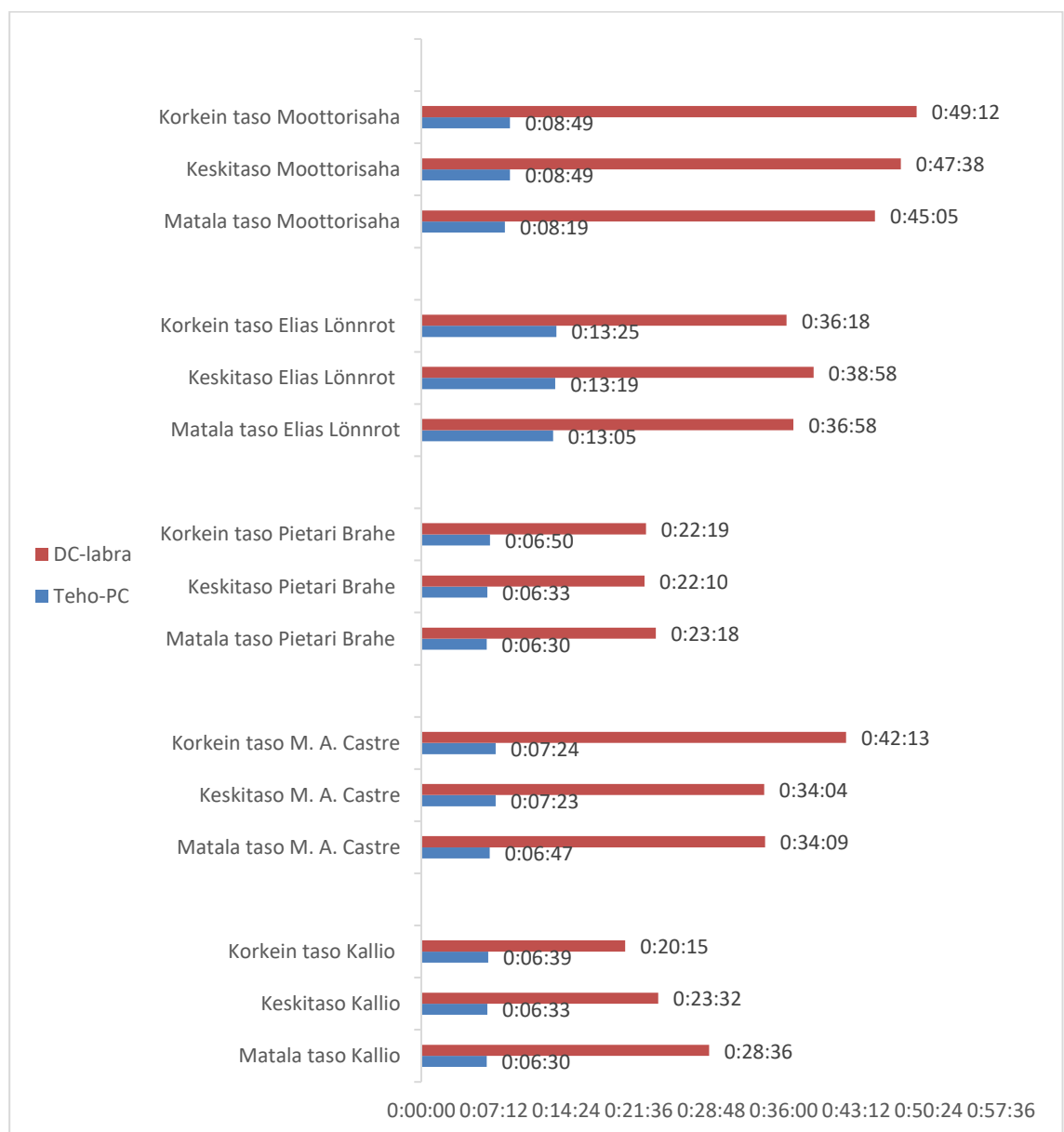


Kuva 21. Kuvien paikkatietojen laskenta-ajat



Kuva 22. Tiheän pisteверkon laskuajat

Monikulmioverkon (Polygon mesh) laskeminen oli neljä kertaa nopeampaan teho-PC:llä kuin virtuaalisella työpöydällä. GPU:n puute virtuaalisessa PC:ssä näkyy tuloksissa selvästi hitaampana laskenta-aikana. Monikulmioverkon (Polygon mesh) laskemisessa vaaditaan miljoonia samanaikaisia laskutoimituksia. Virtuaalisessa PC:ssä GPU:ta ei ole, ja näin ollen vaadittava laskuaika kasvaa huomattavasti verrattuna GPU:lla varustettuun Teho-PC:en (Kuva 23). Pietari Brahen näköispatsaalle (Kuva 16, c-kohta) laskenta oli ylittäen huomattavasti nopeampaa kuin muissa tapauksissa. Fotogrammetrian laskentaa nopeuttavia seikkoja olivat kuvien selkeät taustat ja kuvien väliset hyvät kohdennuspisteet.



Kuva 23. Monikulmioverkon (Polygon mesh) laskuajat

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kolmiulotteisen kohteen muodostaminen valokuvista sopivalla ohjelmistolla on tehokas keino saada laadukkaita 3D-malleja edullisesti. Tähän tarvitaan ainoastaan kamera kuvan tuottamiseen sekä asianmukainen ohjelmisto ja laitteisto laskentaan, minkä jälkeen fotogrammetrian käyttö on mahdollista. Ohjelmistoja on kymmeniä, joista osa on ilmaisia. Fotogrammetria on hyvä toimintamalli tuottaa graafikolle tai mallintajalle puolivalmis malli jatkojalostusta varten.

Valokuvaus fotogrammetriaan on nopeaa ja melko yksinkertaista. Kappaleen valinnassa pitää huomioida kuvien välinen kohdennuspiste, johon seuraava kuva yhdistyy ohjelmistossa. Mikäli kohteessa ei ole kohdennuspisteitä, on ne lisättävä siihen erikseen, jolloin kuvien yhdistäminen on mahdollista. Valokuvien tausta on hyvä olla yksinkertainen, jolloin tarvittava laskenta yksinkertaistuu ja mallin luominen nopeutuu. Kohteiden kontrasi vaikuttaa huomattavasti kuvien käytettävyyteen. Vastavalokuvaan jäi pimeitä kohtia, joita mallinnusohjelmisto ei osannut lukea. Kuvat on otettava kaikista kulmista, myös ylhäältä. Näistä kuvausvirheistä aiheutui reikiä 3D-malliin.

Monikulmioverkkolaskenta (Polygon mesh) tasokkaalla näytönohjaimella nopeutti laskentaa huomattavasti. Virtualisoinnilla ei saatu hyödynnettyä teoreettista laskentakykyä, koska ohjelmisto ei tukenut 32:ta CPU-laskentaprosessoria. Käytetty ohjelmisto ei myöskään toiminut virtuaalisessa etäpöytäyhteydessä CSC-järjestelmässä.

Menetelmää on mahdollista käyttää monilla teollisuuden aloilla, ja sitä jo hyödynnetäänkin. Saatavia hyötyjä ovat kustannustehokkuus, tarkkuus, nopeus, toistettavuus ja monet muut tekijät. Viihdeteollisuus on hyödyntänyt vanhaa kartoitustekniikkaa nykyaikaisilla tietokoneilla ja ohjelmistoilla hyvin edistyksellisesti ja on siten tekniikan suunnannäyttäjä. Tulevaisuudessa suurimmat hyödyt ovat saavutettavissa eri teollisuuden aloilla, kun tekniikka tulee laajempaan tietoisuuteen ja käyttöön.

7 YHTEENVETO

Tulevaisuudessa fotogrammetrialla on eri toimialoilla iso kehityspotentiaali, josta nykyään on käytössä vain murto-osa. Teollisuudessa menetelmä on käytössä eri sovelluksissa mm. koneenrakennus-, valimo-, rakennus- ja autoteollisuudessa. Näillä aloilla on edelleen valtavasti käyttömahdollisuuksia, niin konepajoissa kuin kappaletavara tuotannossa. Tulevaisuuden käyttökohteita teollisuudessa voivat olla pikavalumuotit, kappaleiden asetukset työstökoneille, pikavaraosat kunnossapitoon ja laadunvarmistus suoraan tuotannon valmistuslinjasta.

Kartoituksessa fotogrammetrialla on hyvin vanhat perinteet, mutta miehittämättömän lentotekniikan vahva kehitys on mahdollistanut täysin automaattisen kartoituksen sekä karttojen suuremmat tarkkuudet. Fotogrammetrialla tulee olemaan vahva rooli myös planeettojen kartoituksessa, kun tavoitteena on selvittää planeettojen asuttamista tulevaisuudessa.

Viihdeteollisuus on ottanut fotogrammetrian käyttöön hyvin laajasti, mutta se on vain jäävuoren huippu tulevaisuuden kehityksestä. Tulevaisuudessa pelit muuttuvat erittäin realistiseksi ja todenmukaisiksi. Fotogrammetria tulee parantamaan kuvanlaatua ja kustannustehokkuutta viihdeteollisuudessa.

Fotogrammetrian sotilaskäyttö on tulevaisuudessa hyvin voimakkaasti kasvava toimiala. Sodan aikana johto tarvitsee mahdollisimman tarkkaa tietoa maastosta ja taistelutilanteesta. Tulevaisuudessa sodanjohto voi mahdollisesti nähdä maaston täysin kolmiulotteisesti ja tietää yksittäisen sotilaan paikan tarkasti. Näin ollen yksittäisten sotilaiden johtaminen ja strategiasuunnittelu helpottuu. Nykyään tällaista johtamista löytyy peleistä, joissa pelaaja näkee kartalla liittolaisten sijoittelun reaaliaikaisesti.

Tulevaisuudessa GPU:n rooli tietokoneessa tulee kasvamaan nykyisestä grafiikan laskeamisesta tietokoneen työhevoseksi ja CPU tulee ainoastaan johtamaan tehtävien jakamista. GPGPU-tuki myös kasvaa, kun ohjelmien tekijät havaitsevat tietokoneessa olevan GPU:n erinomaisen laskentatehon. Grafiikkaprosessorien kehitys jatkuu edelleen voimakkaasti ja antaa edelleen lisää laskentatehoa tietokoneille.

Monisiruprosessorit tulevat myös GPU-yksiköihin, aivan kuten ne ovat jo nykyisin käytössä CPU:ssa. Nvidia on testannut kyseistä tekniikkaa ja saanut lupaavia tuloksia. Tämä

on houkutteleva kehityssuunta, koska yhteen siruun ei saada mahdutettua nykyistä enempää prosessoreita.

Kannettavissa tietokoneissa APU-prosessorityyppi tulee yleistymään, koska sillä säästetään huomattavasti tilaa ilman, että laskentatehosta joudutaan erityisesti tinkimään. Tässä prosessorimallissa CPU ja GPU on integroitu yhteen piiriin, jolloin erillistä muistia ei tarvita ja tiedonsiirto yleensä nopeutuu.

LÄHTEET

- Aalto, R. (2016). Hallien tarkastustoiminta fotogrammetrian avulla. Haettu: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2016110315670> (Viitattu 20.9.2017)
- Adobe Premiere Pro CC and GPU support <https://blogs.adobe.com/creativecloud/adobe-premiere-pro-cc-and-gpu-support/> (Viitattu 20.10.2017)
- Cinema5D (2016) DJI Inspire 2 – 5K RAW & the Best Camera Drone We've Ever Seen. <https://www.cinema5d.com/dji-inspire-2-5k-raw-best-camera-drone/> (Viitattu 10.11.2017)
- Dinosaurpalaeo (2013) Photogrammetry tutorial 3: turntables <https://dinosaurpalaeo.wordpress.com/2013/12/20/photogrammetry-tutorial-3-turntables/> (Viitattu 20.11.2017)
- Directindustry MetraSCAN 3D series <http://www.directindustry.com/prod/creaform/product-54710-469750.html> (Viitattu 4.11.2017)
- Fotogrammetrian yleiskurssi aalto-yliopisto (2002) <https://foto.aalto.fi/opus/301/luennot/5/5.html> (Viitattu 6.11.2017)
- Ghorpade, J., Parande, J., Kulkarni, M., & Bawaskar, A. (2012). GPGPU processing in CUDA architecture. arXiv preprint arXiv:1202.4347. <http://www.airccse.org/journal/acij/papers/0112acij09.pdf> (Viitattu 10.10.2017)
- Goopax <https://www.goopax.com/> (Viitattu 26.11.2017)
- How we used Photogrammetry to Capture Every Last Detail for Star Wars™ Battlefront™ (2015) <http://starwars.ea.com/starwars/battlefront/news/how-we-used-photogrammetry> (Viitattu 14.11.2017)
- Isohanni, J. (2013). GPU-laskennan optimointi. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:jyu-201311262661> (Viitattu 10.10.2017)
- Kananen, J. (2016). Grafiikkasuorittimien kehityksen suuret linjat. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:jyu-201608103749> (viitattu 1.10.2017)
- Korhonen, V. M. (2017). Fotogrammetria peliasettien luonnissa. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201703153320> (Viitattu 20.11.2017)
- Kotaku (2016) We're Getting Dangerously Close To Photo-Realistic Video Game Landscapes <https://kotaku.com/were-getting-dangerously-close-to-photo-realistic-video-1767614245> (Viitattu 7.11.2017)
- Luhmann, T. R. S. K. S. (2006). Close Range Photogrammetry. Dunbeath: Whitlles Publishing. <http://kamk.finna.fi/ebookcentral>. (Viitattu 11.9.2017)

McClanahan, C. (2010). History and evolution of gpu architecture. A Survey Paper. <http://mcclanahoochie.com/blog/2011/03/the-history-and-evolution-of-gpu-hardware/> (Viitattu 1.10.2017)

Michaelgalloy (2013) CPU vs GPU performance <http://michaelgalloy.com/2013/06/11/cpu-vs-gpu-performance.html> (Viitattu 24.11.2017)

Mobilia <http://suomenmuseonline.fi/fi/kohde/Mobilia/O64%3A1-7?itemIndex=51973> (Viitattu 10.10.2017)

NVIDIA CUDA <https://developer.nvidia.com/cuda-zone> (Viitattu 19.9.2017)

NVIDIA WHAT IS GPU-ACCELERATED COMPUTING? <http://www.nvidia.com/object/what-is-gpu-computing.html> (Viitattu 29.10.2017)

PhotoScan (2017) <https://en.wikipedia.org/wiki/PhotoScan> (Viitattu 21.11.2017)

ResearchGate (2007) https://www.researchgate.net/figure/245378360_fig1_Fig-1-The-principles-of-photogrammetry-bundles-of-light-rays-pass-from-object-points (Viitattu 21.10.2017)

The Haskins society Making 3D Models with Photogrammetry <https://thehaskinssociety.wildapricot.org/photogrammetry> (Viitattu 26.11.2017)

Wikipedia (2017) IBM Monochrome Display Adapter https://en.wikipedia.org/wiki/IBM_Monochrome_Display_Adapter#/media/File:IBM_PC_Original_Monochrome_Display_and_Parallel_Printer_Adapter.jpg (Viitattu 26.11.2017)

Wikipedia, GeForce 8 series (2017) https://en.wikipedia.org/wiki/GeForce_8_series (Viitattu 29.11.2017)

Vinni, P. 2003. Kuva kertoo enemmän kuin tuhat sanaa – Mitä on fotogrammetria? <http://www.kotikone.fi/faryan/Teksteja/JatkokurssiB.htm> (Viitattu 6.9.2017)