

Mikael Peltoketo

HDR-KUVIEN ARTEFAKTIT JA NIIDEN POISTAMINEN

Kandidaatintutkielma
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Kesäkuu 2022

TIIVISTELMÄ

Mikael Peltoketo: HDR-kuvien artefaktit ja niiden poistaminen
Kandidaatintutkielma
Tampereen yliopisto
Tieto- ja sähkötekniikan kandidaattiohjelma, tietotekniikka
Kesäkuu 2022

Valokuvausteknologian kehittyessä kuvilta vaaditaan yhä parempaa laatua. Kuvien pitää olla verrattavissa subjektiivisesti silmällä nähtävään maailmaan. Kun valokuvilta vaaditaan lähes välitön kuvien otto ja täydellinen lopputulos, pitää kaikkien kuvanmuokkausteknologioiden kehittyä sekä tehokkuudeltaan että virheettömyydeltä.

Haastavissa olosuhteissa kameralla on vaikea saada yhteen kuvaan kaikki yksityiskohdat ja suuret valotuserot näkyviin, vaikka silmin katsottuna näkymä näyttäisikin normaalilta. Tähän ongelmaan kehitettiin kuvien päällekkäin asettelu -menetelmä, jolla mahdollistetaan useasta kuvasta yksityiskohtien kerääminen eri valotuksen alueilta. Erilaisten menetelmien avulla voidaan useasta eri tavoin valotetusta kuvasta luoda parempilaatuinen eli niin sanottu HDR-kuva, joka sisältää laajemman skaalan eritasoista valoa ja sävyjä ja näyttää samalta silmin katsottuna kuin maailma.

Vaikka tämä prosessi tuottaa virheettömiä kuvia täydellisissä olosuhteissa, kuvaustilanteissa voi tapahtua liikettä sekä kohteessa että kamerassa. Muutkin kuvaustilanteen ulkopuoliset asiat voivat vaikuttaa otettuihin kuviin. Näiden seikkojen takia kuvien yhdistelyprosessi voi luoda erilaisia laatuvirheitä kuviin.

Kuvien laatuvirheiden eli artefaktien poistoon on luotu laaja määrä prosesseja, joiden avulla pyritään samaan kuva mahdollisimman virheettömäksi, mutta silti hyvän ja todellisen näköiseksi. Ongelmaan on luotu prosesseja, jotka perustuvat eri lähtökohtiin ja ratkaisevat ongelman eri osaluilla erilaisilla tuloksilla ja tehokkuudella.

Tässä työssä tutkitut tekniikat kykenevät poistamaan kyseiset laatuvirheet kuvista, vaikka niiden suorituskyky vaihtelee kuvan virheellisyyden ja kuvan laadun välillä. Erilaiset kuvienkäsittelyprosessit ovat kompromissi virheettömyyden ja kuvan dynaamisen alueen välillä, jotka yhdessä luovat kuvan subjektiivisen ulkonäön. Prosessit on myös optimoitu tiettyihin kuvaustilanteiden virheisiin, jolloin niiden käyttökohteet kannattaa erikseen valita. Prosessien monimutkaisuus ja samalla niiden suoritus aika vaihtelee suuresti.

Tämä työ kuvailee, kuinka HDR-prosessia varten voi ottaa kuvia. Työn tavoite on tutkia, miten erilaiset asiat kuvaustilanteessa ja sen ulkopuolella mahdollistavat artefaktien muodostumisen kuviin niiden prosessoinnissa ja miten kuvien artefakteista pääsee eroon. Työ myös kuvailee, mitä eri asioita on pyritty optimoimaan eri tavoissa poistaa artefakteja kuvista.

Avainsanat: HDR, artefaktit, High-Dynamic-Range, dynaaminen alue, HDR-kuvaus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. HDR-KUVAUS	3
2.1 Kuvien dynaaminen alue	4
2.2 HDR-kuvauksen hyödyt	5
3. HDR-KUVIEN ATREFAKTIT JA NIIDEN SYNTYMINEN	6
3.1 Kameran liikkeestä johtuvat kuvien laatuvirheet	6
3.2 Kohteen liikkeestä johtuvat haamukuvat	7
4. ARTEFAKTIEN POISTO HDR-KUVISTA	9
4.1 Kameran liikkeen poisto HDR-kuvista	9
4.2 Kohteen liikkeen poisto HDR-kuvista	10
5. YHTEENVETO	14
LÄHTEET	16

LYHENTEET

DR	Dynamic-Range, dynaaminen alue
HDR	High-Dynamic-Range, korkea dynaaminen alue
LDR	Low-Dynamic-Range, matala dynaaminen alue
SDR	Standard-Dynamic-Range, standardi dynaaminen alue

1. JOHDANTO

Puhelimien ja järjestelmäkameroiden dynaaminen alue on kehittynyt viimeisten vuosien aikana paljon. Uudet sensoriteknologiat ja muutenkin paremmat sensorit mahdollistavat haastavissa olosuhteissa kuvaamisen ja huomattavasti paremman dynaamisen alueen (Aldred, J. 2020). Silti digitaalisten sensorien DR (Dynamic-Range), eli dynaaminen alue, ei ole samaa tasoa kuin esimerkiksi ihmisen silmän. Tämä johtuu silmän kyvystä keskittyä näkymän eri alueisiin ja sopeutua vaihtuvaan valotukseen. Lopulta aivot pystyvät rakentamaan näkymästä tarkan kuvan, jonka dynaaminen alue on laaja (Lorentson, J. 2018). Kameroilta kuitenkin vaaditaan samaa suorituskykyä kuin silmältä, ja tämän takia haasteita syntyy, kun näkymässä on suuria kontrasti eroja (Hoefflinger, B. 2007).

Erilaisilla jälkikäsittelytekniikoilla voidaan kuitenkin parantaa yhden tai useamman kuvan pohjalta kuvan dynaamista aluetta ja samalla myös kuvan kohinatasoa, eli sen rakeisuutta. Samankaltaisia tuloksia voidaan myös saada perinteisellä kuvankäsittelyllä, mutta yleensä tästä seuraa sävyjen menetystä ja lisääntynyttä kohinaa. Tämän takia vuosien mittaan on kehittynyt tapoja luoda HDR-kuvia joko yhdestä kuvasta tai kasamalla useita kuvia päällekkäin. Tällaisia HDR-kuvia voidaan luoda perinteisillä algoritmeilla tai uudemmilla koneoppimismenetelmillä (Yu, L. et al. 2020). Näissä koneoppimismenetelmissä on yleensä pohjana vain yksi kuva (Eilertsen, G. et al. 2017). Perinteisempi useasta kuvasta luotu HDR-kuva perustuu usean kuvan ottamiseen eri valotuksella ja niistä haluttujen alueiden valintaan ja päällekkäin asetteluun.

HDR-kuvien luontiprosessit eivät kuitenkaan ole täydellisiä ja kuviin voi syntyä artefakteja ja laatuvirheitä, jos kuvaustilanne tai kuvat eivät ole optimaalisia. Yleisimmät syyt ovat yleensä kameran tai kohteen liike kuvaustilanteessa. Molempiin ongelmiin on luotu useita erilaisia työkaluja, mutta niiden käyttö voi silti aiheuttaa vaihtelevia tuloksia kuvista riippuen. Myös uudemmat koneoppimistyökalut voivat tuottaa virheitä kuvaan. Nämä virheet eivät kuitenkaan synny samoista syistä kuin perinteisissä menetelmissä, ja virheiden syntymissyyt ovat monimutkaisemmat ja laajempi aihe, jota tämä työ ei käsittele.

Työn tutkimuskohde on HDR-kuvien ottaminen ja kuvien artefaktit, eli erilaiset laatuvirheet ja muut ylimääräiset kohteet, mitä kuviin syntyy eri syistä. Työssä käsitellään syitä, miksi nämä artefaktit syntyvät niin kuvaustilanteessa kuin myöhemmässä kuvan käsitte-

lyssä sekä HDR-kuvan kokoamisessa. Lopulta työ pyrkii kuvaamaan joitakin tapoja kuvauksessa ja kuvien myöhemmässä käsittelyssä, jolla voidaan vähentää tai täysin poistaa nämä artefaktit.

Työ käsittelee ensin, miten HDR-kuvaa varten kannattaa ottaa kuvat, joista eri tavoin muodostetaan kyseinen HDR-kuva ja mitä kannattaa ottaa huomioon kuvia ottaessa. Tämän jälkeen kappaleessa 3 tutkitaan, mistä syistä artefakteja, laaturvirheitä ja haamukuvia syntyy HDR-kuvaan. Kappaleessa 4 tutkitaan, millä tavoin näitä artefakteja poistetaan HDR-kuvista. Lopuksi työn yhteenvedossa pohditaan, onko jokin tekniikka toista parempi ja millä tavoin.

2. HDR-KUVAUS

HDR-valokuvat, eli korkean dynaamisen alueen valokuvat ovat yleistyneet sitä mukaa, kun digitaalisilta kameroilta vaaditaan enemmän suorituskykyä. Puhelinten kamerat ovat myös alkaneet hyväksikäyttää HDR-teknologiaa, kun puhelinten suorituskyky kehittyi riittävästi ja mahdollisti kuvien nopean ottamisen ja melkein välittömän HDR-kuvan luomisen. Tämän jälkeen HDR- ja ylipäättään kuvien yhdistämisteknologia on yleistynyt sekä kuvien ottamisen aikana että kuvien jälkikäsittelyssä. (Hasinoff, S. et al. 2016)

HDR-teknologiaa on käytetty jo varhaisrenessanssin maalauksista filmikuviin. Maalauksissa HDR perustui läheisten sävyjen sekoittamiseen eri alueisiin maalauksessa. Filmin HDR-ominaisuudet olivat parempia verrattuna aikaisiin digitaalisiin kamerasensoreihin, ja nykyäänkin erilaisilla kehitystekniikoilla filmin dynaaminen alue on digitaalista parempi. Kuitenkin filmikuvauskin ajoittain vaati parempia HDR-ominaisuuksia kuvilta, jolloin eri tekniikoilla filmikuvia yhdistettiin HDR-kuviksi. Kuvaustekniikka perustui usean kuvan ottamiseen samasta näkymästä kamerasensorin ”bracketing” -ominaisuudella. Tämän jälkeen kuvan negatiiveista voidaan leikata hyvät alueet ja ne voidaan yhdistää. Prosessi on suurpiirteisesti sama kuin digitaalisille kuvillekin, vaikkakin manuaalinen. Sama usean valotuksen kuvaus on käytössä digitaalikameroissa. Kun digitaalikuvien muokkaus kehittyi, HDR-ominaisuus siirtyi myös digitaaliin, ja samalla prosessia pyrittiin kehittää tarkemmaksi ja virheettömäksi. (Dufaux, G. et al. 2016)

HDR-kuvien ottaminen perustuu joko usean kuvan ottamiseen eri valotuksilla ja niiden päällekkäin asetteluun tai muihin perinteisempiin tapoihin, kuten kuvan histogrammin taasoittamiseen tai kuvan varjojen kirkastamiseen ja kirkkaiden alueiden tummentamiseen. Yhden valotuksen kuvien muuttaminen HDR-kuviksi ei kuitenkaan tuota yhtä hyviä tuloksia kuin muut prosessit. Yhden valotuksen ongelma on usein kohinan lisääntyminen kuvassa ja värien puute kirkkaissa sekä tummissa osissa. Kun hyödynnetään yhden valotuksen tekniikkaa, pyritään kuva valottamaan mahdollisimman tasaisesti. Usean kuvan ottamisessa pyritään valottamaan kuvauskohteen eri osat hyvin, jolloin HDR-kuvaa luodessa voidaan valita kuvista vain hyvin valotetut osiot.

Kun kameroilla otetaan useita kuvia peräkkäin eri valotuksilla, pitää kamerasensorin asetuksia muuttaa siten, että haluttu valotusero toteutuu. Riippuen kuvauskohteesta, kuvien määrä ja kuvien valotuserot vaihtelevat suuresti. Yleensä kuitenkin kolmesta viiteen kuvaa riittää vaikeissakin olosuhteissa ja, riippuen näkymän valoeroista, kuvia voi yli- ja alivalottaa

kolmesta viiteen f-arvoa (viittaa kuvan yhteen valotusarvovyksikköön). Valotuksen muokkaamisessa yleensä käytetään suljinaikaa. Muiden asetusten, eli aukon ja kennon herkkyyden muuttaminen vaikuttavat kuvan reunojen tarkkuuteen ja niiden tunnistamiseen, joka on tärkeä osa joitakin HDR-algoritmeja. Kennon herkkyyden muuttaminen myös vie pois HDR-kuvauksen edun, matalan kohinan kauttaaltaan kuvassa. Kun kuvat on otettu samalla herkkyydellä varjoiset alueet eivät kohise yhtä paljon, koska HDR-prosessissa varjoisten alueiden yksityiskohdat saadaan useista valotuksista, verrattuna siihen, että varjoisten alueiden kirkkautta olisi vain nostettu. Tämä varmistaa kuvan tasaisen rakeisuuden. Tällaisella sarjakuvaamisella siis saadaan parannettua kuvan yleistä kohinan tasoa (Hasinoff, S. et al. 2016). Herkkyyden muuttaminen vaikuttaa kuvauksessa myös kuvan dynaamiseen alueeseen itsessään, jonka takia valotuksen muutos tällä tavoin ei kannata.

Aukon koon muuttaminen vaikuttaa kuvan syväterävyyteen, joka saa lopullisen HDR-kuvan näyttämään oudolta. Kuvaustilanteissa on myös yleensä enemmän pelivaraa suljinajassa verrattuna aukon kokoon. Puhelinkameroissa ei edes ole fyysistä aukon säätöä. Tämän takia valotus muutetaan kuvissa käytännössä aina suljinajan avulla, vaikka se voi mahdollisesti aiheuttaa muita ongelmia, kuten liikkeen epäterävyyttä tai tärähtäneen kuvan. Kuvien valotukseen voi myös vaikuttaa ulkoisilla valonlähteillä käyttämällä hyödyksi niin sanottua valomaalaustekniikkaa. Tällöin näkymän eri osat valaistaan useassa eri valotuksessa ja samoilla HDR-algoritmeilla saadaan koottua oikein valaistua kuva.

2.1 Kuvien dynaaminen alue

Dynaaminen alue kuvaa kuinka suuri ero kuvan kirkkaimmalla ja tummimmalla pisteellä on. Termille on kuitenkin muitakin määritelmiä, koska dynaamista aluetta ja korkeaa dynaamista aluetta käytetään näyttöjen, videokameroiden ja videopelien värimaailman ja valotuksen kykyjen kuvaamiseen. Dynaaminen alue kuitenkin kuvaa hyvin, kuinka kuva on valotettu ja kuinka laaja dynaaminen alue kuvalla on, jolloin myös HDR-algoritmien ja sensorien suorituskykyä voi tulkita numeerisesti.

Yleisesti dynaamiset arvot normaaleissa järjestelmäkameroissa liikkuu 10–15 f-arvon välillä, kun taas ihmisen silmä on noin 20 f-arvoa. Verrattuna näihin lukuihin parhaat sensorit yltyvät myös noin 20 f-arvoon, mutta muuten HDR-kuvat ovat helpoin vaihtoehto kasvattaa kuvien dynaamista aluetta. (Aldred, J. 2020)

LDR (Low-Dynamic-Range) viittaa kuvaan, jolla on matala dynaaminen alue. Tämä tarkoittaa, ettei kuvassa ole suurta eroa kirkkaimmalla ja tummimmalla pisteellä. SDR (Standard-Dynamic-Range) eli standardi dynaaminen alue viittaa käytännössä samaa asiaan. Tämä termi ei kuitenkaan kuvaa HDR-kuvauksessa korjattavaa puutetta, eli kuvan huonoa tai suppeaa dynaamista aluetta. Muutenkin termin sana "standardi" on harhaanjohtava, koska tämä arvo vaihtelee jokaisen kameran kennon ja näkymän välillä.

2.2 HDR-kuvauksen hyödyt

HDR-prosessissa suurimpia eroja yksittäisiin LDR-kuviin on laajemman valotusskaalan kanssa paremmat sävyt. Näihin sävyihin voi vaikuttaa yksittäisissä LDR-kuvissa, jolloin lopullinen HDR-kuva voi vaikuttaa väriikkaammalta. Sävy muokkausten pitää kuitenkin olla hienovaraisia, ettei lopullisessa kuvassa näy selkeitä rajoja eri sävyjen välillä. Ilman erillistä muokkaustakin HDR-kuvat ovat silti sävyrikkaampia, ja toisiaan lähellä olevia sävyjä löytyy enemmän kuvasta (Chalmers, A. et al. 2016).

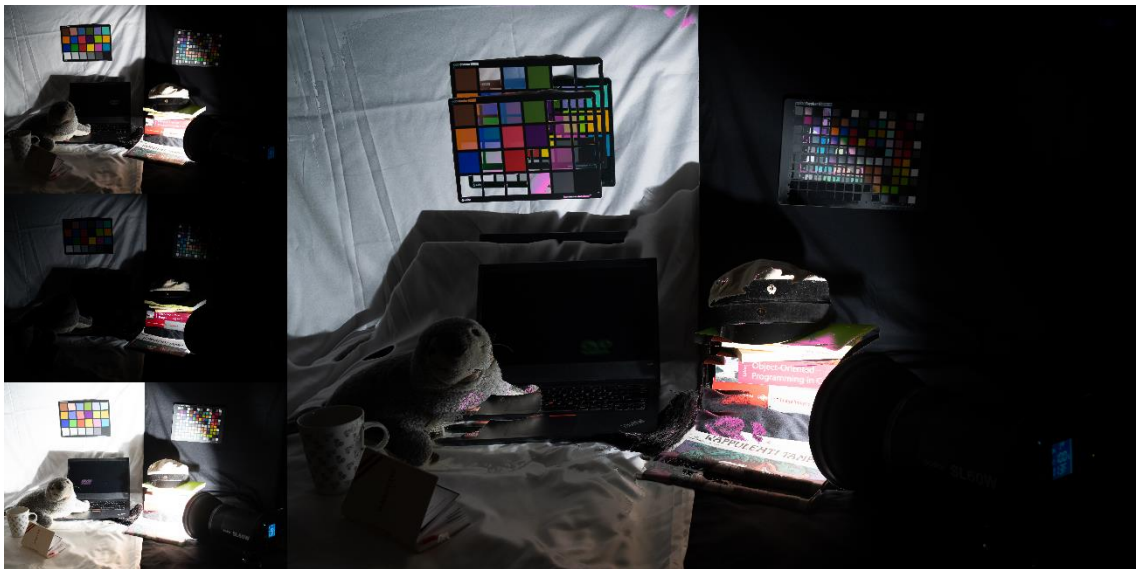
Muuten HDR-kuvat tarjoavat parempaa laatua verrattuna normaaliin kameran kuviin haastavissa olosuhteissa. Se mahdollistaa kuvien ottamisen, joita ei muuten voi saada. HDR:n hyödyt ovat huomattavat, niin kauan kuin kuviin ei synny huomattavia haittoja HDR-prosessista.

3. HDR-KUVIEN ATREFAKTIT JA NIIDEN SYNTYMINEN

Yleisesti artefaktit ovat kuvissa jotain ylimääräistä, jota ei siellä ei pitäisi olla. HDR-kuvissa artefaktit voivat olla kuitenkin jotain mitä löytyy jostain alkuperäisestä LDR-kuvasta. Esimerkiksi liikkeestä johtuva useaan kertaan toistuva esine kuvassa tai sen haamukuva.

3.1 Kameran liikkeestä johtuvat kuvien laatuvirheet

Haamukuvia ja virheitä voi syntyä HDR-kuvaan, jos kuvan ottamisen aikana kamera liikkuu. Tämä voi johtua kameran sisäisistä ominaisuuksista, kuten kennon vakauttajasta tai kuvaajan liikkeestä. Kun kuvista luodaan HDR-kuva, voi kuva vaikuttaa heilahtaneelta tai vaikuttaa olevan hieman epätarkka. Jos LDR-kuvien toisiin verrattu liike on riittävän suurta, voi eri LDR-kuvat helposti erottaa lopullisesta HDR-kuvasta.



Kuva 1. HDR-kuva ilman kuvien kohdistamista

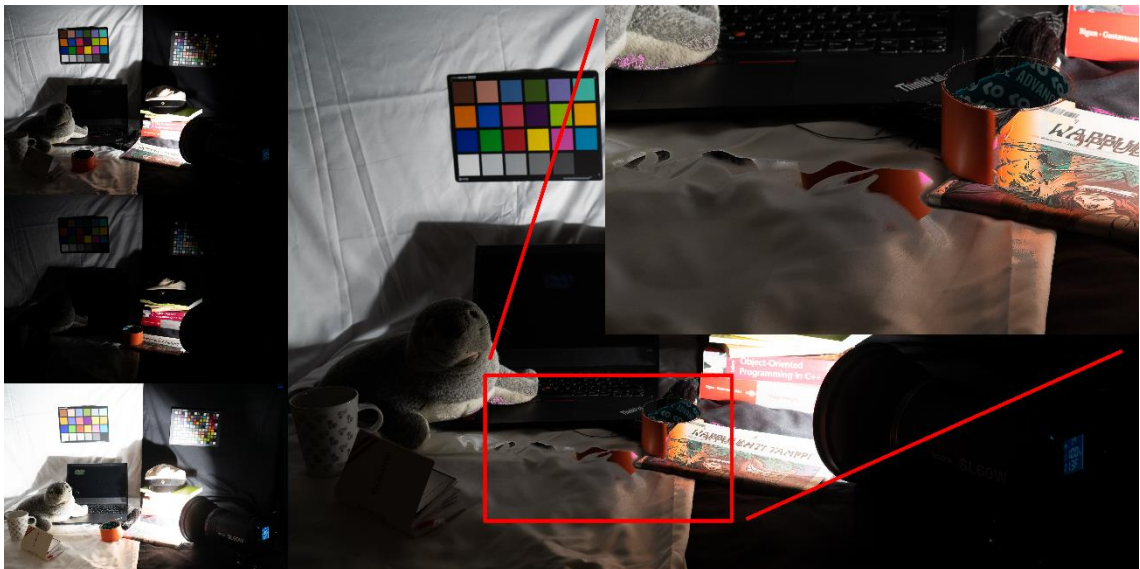
Riippuen kameran liikkeen määrästä voi HDR-kuvan laatu olla todella huono, ja kuvasta voi helposti nähdä kameran liikkuneen, kuten kuvassa 1. Kameran liikkeen määrästä riippuen voi myös HDR-kuvan luominen olla täysin mahdotonta. Tähän merkittävin syy

on kohteen perspektiivin muuttuminen. Kun kamera liikkuu riittävän paljon eri LDR-kuvat näyttävät eri osia kohteesta. Myös linssin vääristymät, varsinkin kuvien reunoilla voivat vaikuttaa epäonnistuneeseen tai vialliseen HDR-kuvaan. Samankaltaisia laatuvirheitä voi myös syntyä, jos kameran sijainti ei muutu, mutta se suunnataan kuvaamaan eri suuntaan.

3.2 Kohteen liikkeestä johtuvat haamukuvat

Kun HDR-kuvaa varten otetaan useita LDR-kuvia, voi kuvien ottamisen aikana tapahtua liikettä kuvauskohteessa. Jos liike on riittävän nopea tai kuvia otetaan pitkillä väliajoilla, riippuen suljinnopeudesta ja kuvien ottamisen välissä kuluva ajasta, voi liike olla huomattavaa, kun verrataan LDR-kuvia. Jos kuvista nyt loisi yksinkertaisella algoritmilla HDR-kuvan, olisi kuvassa nähtävissä selkeitä haamukuvia.

Esimerkiksi auringon laskua kuvattaessa, voi taivaalla lentää lintuja. Kun näkymästä otetaan useita LDR-kuvia, ehtivät linnut liikkua taivaanrannan poikki. Tämän jälkeen, kun LDR-kuvat yhdistetään, näkyy taivaanrannalla sama lintu useaan kertaan osittaisena, kokonaisena tai haamukuvana.



Kuva 2. HDR-kuva liikkuvalla kohteella

Kuten kuvasta 2 näkyy, siirtyvä objekti näkyy osittaisena useaan kertaan. Tämä johtuu osittain liikkeestä, mutta osittainen näkyvyys johtuu kohteen valotuksesta. Vain osa kohteesta on valotettu oikein, tai paremmin kuin tausta, joten vain osa objektista päätyy lopulliseen kuvaan. Tätä kutsutaan haamukuvaksi. Objekti voisi myös näkyä useaan kertaan täysin kokonaisena, jos sen valotus olisi oikea läpikotaisin.

4. ARTEFAKTIEN POISTO HDR-KUVISTA

Artefaktien poisto on nykyään olennainen osa HDR-algoritmeja, jolla mahdollistetaan yhden algoritmin avulla sekä kuvan luonti että kuvan laatuvirheiden korjaus. Nämä algoritmit koostuvat yleensä useasta osasta, mutta ne voidaan yleensä rajata kolmeen yleisimpään komponenttiin: kuvien keskinäinen kohdistaminen, kuvissa tapahtuvan liikkeen poisto ja itse HDR-kuvan luominen. Useisiin kuvissa tapahtuvan liikkeen poiston algoritmeihin on itsessään toteutettu omanlainen kuvien kohdistusominaisuus, joka tarjoaa parhaan tarkkuuden ja tehokkuuden kyseisen algoritmin suunniteltuun käyttötarkoitukseen. Prosessin suunnittelussa on siis otettu huomioon, kuinka suurta liikettä kuvassa oletetaan olevan. Samassa prosessissa myös usein luodaan kuvan ääriarvoista rekisteri, jonka avulla kuvien kohdistus ja kuvan kohteiden liikkeen poisto on helppoa. Lopulta HDR-kuva voidaan luoda normaalilla tavalla.

Siinä missä osan artefaktien syntymisestä voidaan estää tai vähentää kuvaustilanteessa, osa niiden poistosta on välttämättömiä tehdä kuvauksen jälkeen tai ne ovat jopa helpompia poistaa kuvauksen jälkeen. Osaa artefakteista ei myöskään voi poistaa tai kuvat eivät ole täydellisiä HDR-kuvia, verrattuna ainakaan kuvaan, joka on otettu oikealla HDR-kameralla tai muilla samankaltaisilla tekniikoilla.

4.1 Kameran liikkeen poisto HDR-kuvista

Tässä vaiheessa HDR-kuvan luontiprosessia on tärkeää asetella LDR-kuvat päällekkäin ja kohdistaa ne. Kuvien välinen pieni liike on yleensä helppo korjata useilla eri tavoilla. Helpoin vaihtoehto on kuvien päällekkäinen kohdistaminen. Tähän on vuosien mittaan kehitetty useita prosesseja, jotka pohjautuvat algoritmeihin tai koneoppimiseen (Ruuhi-korpi, E. 2020). Otetut kuvat kannattaa aina yrittää kohdistaa, tällöin voi poistaa varmuudella mahdollisuuden, että artefaktit johtuvat kuvien välisestä kameran liikkeestä. Kuvien kohdistusvaiheessa voidaan myös laskea ovatko kuvat liikkuneet tai kääntyneet merkittävästi, jolloin voidaan määrittää raja-arvo, joka kertoo, onko liikettä edes tapahtunut.

Jos kuvat ovat suhteessa liikkuneet paljon, mutta ne saadaan silti päällekkäin, on HDR-kuvan luominen silti mahdollista, mutta lopullisen kuvan resoluutio voi olla merkittävästi alkuperäistä pienempi, koska vain osa kuvasta on todellisesti HDR ja kuvan reunat koostuvat vain yksittäisistä eri valotuksista. Tästä voi seurata lopulliseen kuvaan epätasaiset

ja omituiset reunat. Tämänkin voi korjata helposti rajaamalla kuvan vain osaan, jossa jokainen kuva on päällekkäin.

Aikaisemmin kuvattu tapa poistaa paremmin merkittävää kameran liikettä, mutta jos kyseessä on marginaalista kameran liikettä ja kyseessä on melkein tai kokonaan staattinen ympäristö, voi parempia tuloksia saada niin sanotulla yksinkertaisella jäykällä kohdistuksella (simple rigid-alignment). Kyseinen tekniikka perustuu puhtaaseen algoritmipohjaiseen lähestymistapaan, jossa vertaillaan jokaista pikseliä pisimmän valotusajan LDR-kuvaan. (Bogoni, L. 2000)

MTB (Median Thershold Bitmap) tekniikka tarjoaa mahdollisuuden nopeaan kuvien kohdistamiseen, ja jälkeensä prosessin voi tarkentaa suuremmalla, kuvan alkuperäisellä resoluutiolla. Kyseessä on kuitenkin todella yksikertainen ja nopea tapa tunnistaa kuvasta reunat, joiden avulla kuvat voidaan kohdistaa päällekkäin nopeasti (Ward, G. 2012). Prosessi siis tarjoaa tiettyyn tarkkaan tilanteeseen parhaan ratkaisun samoin kuin aikaiseminkin kuvailtu tekniikka.

Kuvaustilanteessa voidaan myös vaikuttaa lopullisiin kuviin ja tarpeeseen kohdistaa niitä. Mahdollisuuksien mukaan kuvatessa voidaan käyttää kameran jalustaa tai muita tukia. Useimmat kamerat myös sisältävät tekniikkaa, joilla heiluntaa voi vähentää, kuten kennon ja linssin vakauttajia.

4.2 Kohteen liikkeen poisto HDR-kuvista

Kohteen liikkeen poisto HDR-kuvista on paljon haastavampaa verrattuna aikaisemman kappaleen kameran liikkeen poistoon. Suurin ongelma muodostuu, kun ottaa huomioon kuvien välisen merkittävän valotuseron. Kuvien välisen liikkeen ero voi olla suuri ja erilaista riippuen suljinajoista ja kuvattavan kohteen nopeudesta. Liike on myös vaikea tunnistaa, koska kuvien välillä on huomattava valotusero. Ottaen nämä asiat huomioon suuri osa kyseisistä haamunpoistoalgoritmeista (deghost algorithm) myös toteuttavat omanlaisen kuvien kohdistamisen. Nämä haamunpoistoalgoritmit viittaavat HDR-kuvaan muodostuviin haamukuviin, jotka voivat olla osittaisia tai esimerkiksi ääriviivoja liikkuvasta objektista, joka halutaan poistaa.

Kyseiset haamunpoistoalgoritmit perustuvat kuvien hylkäämiseen (rejection-based). Ja edelleen algoritmit voivat poistaa kuvia ilman referenssikuvaa tai ne voivat valita referenssikuvan eri attribuuttien perusteella, kuten kuvien välisen liikkeen, värieron ja kuvien eri osien tai eri liikkuvien osien eron perusteella.

Aikaisemmin kuvatun MTB-tekniikan pohjalta on kehitetty SIFT (Scale Invariant Feature Transform) tekniikka, jonka avulla voidaan hylkäämisperiaatteella kohdistaa kuvat. Merkittävä ero verrattuna MTB:hen on SIFT:in kyky rekisteröidä kuvan eri osat tehokkaasti, ja rekisteröinnin avulla tehdään kuvien kohdistus. Tämän rekisteröinnin pohjalta myöhemmät tekniikat voivat tulkita tarkasti liikkeessä olevat alueet, ja korjata ne. (Qingsong, W. & Li, J. 2020)

Yleensä ottaen kaikki hylkäämiseen perustuvat haamunpoistoalgoritmit eivät tuota haluttuja tuloksia, varsinkaan kun LDR-kuvien valotusero on merkittävä. Näissä tapauksissa suuri osa pikseleistä tai koko kuva poistetaan, jolloin kuvan dynaaminen alue laskee merkittävästi. Tekniikat ovat kuitenkin hyvä pohja kuvien rekisteröinnille ja kohdistamiselle.

Molemmat aikaisemmin kuvatut algoritmit siis perustuvat koko kuvan tai kuvan osan hylkäämiseen. Nämä osat valitaan erilaisilla raja-arvoilla, jotka kuvaavat kuinka paljon kuvien tai sen alueiden välillä on liikettä. Näitä raja-arvoja muokkaamalla voidaan saada lähes tai täysin haamuvapaa kuva. Merkittävin ero algoritmien välillä on siis mihin verrataan kyseisiä raja-arvoja. Ilman referenssikuvaa arvo lasketaan kaikkien kuvien välille, ja sen perusteella tulkitaan, mitkä osat kuvasta hylätään. Kun algoritmi käyttää referenssikuvaa, lasketaan arvot vain referenssikuvan kanssa, jolloin lopullinen tulos voi paremmin esittää referenssikuvan esittämän tilanteen liikkeen suhteen. Tässä algoritmista on haastavinta valita oikea referenssikuva. (Dufaux, G. et al. 2016; Aguerrebere, C. et al. 2014)

Sen sijaan että kuvista yksinkertaisesti hylätään tiettyjä osia, jotka voisivat tarjota merkittävää dataa lopullista HDR-kuvaa varten, voidaan kuvat käsitellä nimenomaan laaja dynaaminen alue tähtäimessä. Tästä voi seurata huomattavampia artefakteja, mutta myös huomattavasti laajempi dynaaminen alue. Tämä voi tarkoittaa subjektiivisesti parempilaatuista HDR-kuvaa.

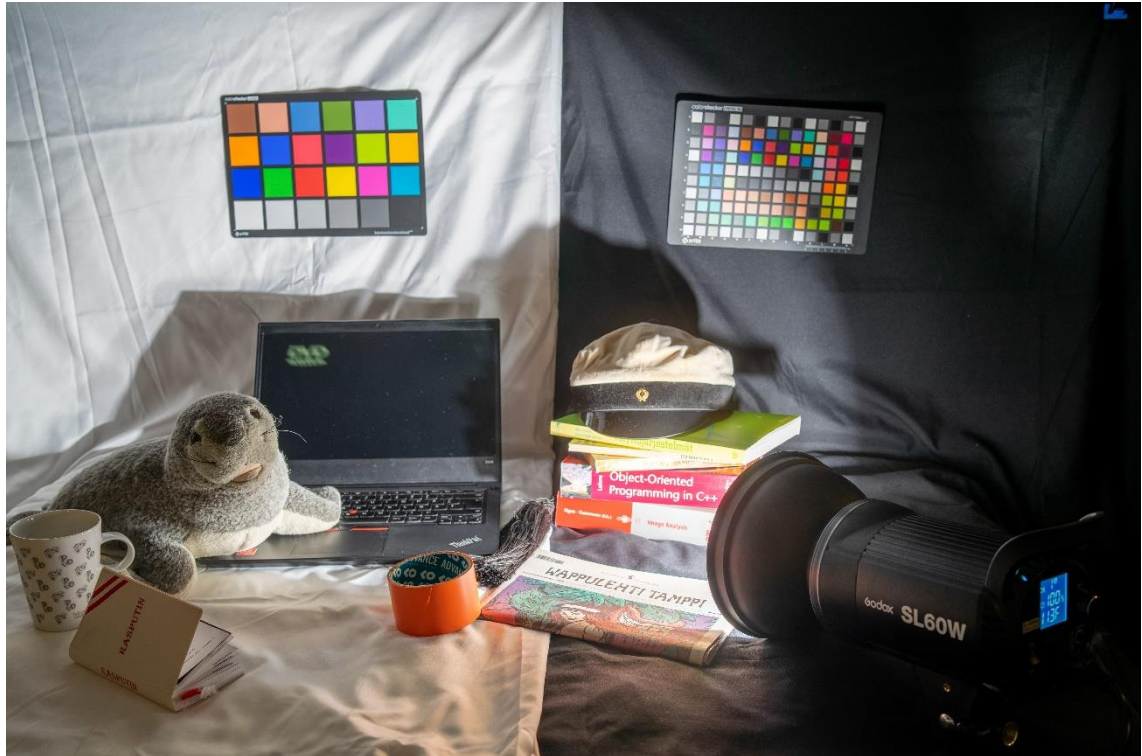
Nämä ei-jäykät rekisteröintialgoritmit (non-rigid registration algorithms) ottavat huomioon paremmin kuvassa tapahtuvan liikkeen erilaisilla rekisteröintitekniikoilla, kuten SIFT:llä. Nämä tekniikat voidaan jakaa kahteen osaan: algoritmeihin, jotka kohdistavat kuvat niiden optisen sujuvuuden perusteella (flavor of optical flow) ja algoritmeihin, jotka

pohjautuvat paikkaperusteiseen synteetikorjaukseen (patch based synthesis), jolla edelleen saadaan HDR-kuva luotua. Tekniikan hyötynä on siis hyvin kohdistetut kuvat, joiden pohjalta voidaan helposti koota HDR-kuva normaalilla menetelmällä. Kyseessä on siis kuvien alueiden tarkka rekisteröinti liikkeen kannalta, jolloin kuvien kohdistus on helppoa, jonka jälkeen voidaan käyttää normaalia HDR-menetelmää.

Paikkaperusteinen synteetikorjausrekisteröinti perustuu kuvista laskettaviin arvoihin, jotka pyritään optimoimaan. Prosessi ensin arvioi lukuja, jotka olisivat lähellä lopputulosta, jonka jälkeen kuvista iteratiivisesti arvioidaan tarkempia arvoja. Lopuksi saadaan tarkka rekisteröinti kuvasta, joka pystyy ottamaan huomioon suuren ja monimutkaisen liikkeen jokaisesta LDR-valotuksesta, jolloin vain staattiset alueet valitaan perinteiseen HDR-prosessiin.

Tekniikan etu on siis korjata suurta liikettä useasta kuvasta, jota muut prosessit eivät pysty korjaamaan. Tekniikan huono puoli on kuitenkin sen monimutkaisuus, josta seuraa kuvien pitkä luomisaika ja korkeat suorituskyky vaatimukset kuvan muodostavalle laitteelle. Prosessi ei myöskään luo todellista kuvaa, vaan arvailee ja arvioi miltä se voisi näyttää. (Dufaux, G. et al. 2016)

Prosessin tässä vaiheessa pitää valita, pyritäänkö artefakti vapaaseen HDR-kuvaan vai mahdollisimman laajan dynaaminen alueen HDR-kuvaan tai johonkin siltä väliltä. Lopulta kun otetaan huomioon kuvassa ja kamerassa tapahtuneen liikkeen suuruus, voidaan valita tilanteeseen sopivat tekniikat ja prosessoida kuvat niiden avulla.



Kuva 3. Oikein kohdistettu ja haamuartefakteista poistettu HDR-kuva

Lopputuloksen pitäisi olla virhevapaa kuva, josta voi selvästi todeta HDR-ominaisuudet, kuten kuvassa 3. Kuvasta voi myös tulkita mahdollisia laatu- ja sävyvirheitä, joiden pohjalta voi edelleen muokata mahdollisia algoritmien raja-arvoja ja vaihtaa prosessia. Kuvasta voi myös tulkita silmämääräisesti onko laatuvirheet huomattavia verrattuna HDR-prosessin laatuun. (Fang, Y. et al. 2017)

5. YHTEENVETO

Kun kuvilta vaaditaan korkeaa laatua haastavissa laajan dynaamisen alueen näkymissä ja kyseessä ei ole korkean tason HDR-kamera, paras tekniikka on lähes aina usean matalan dynaamisen alueen valotuksen ottaminen ja kuvien päällekkäin asettaminen korkean dynaamisen alueen kuvaksi. Tämä prosessi tapahtuu kameran käyttöliittymän kautta joko automaattisesti tai kuvien jälkikäsittelyssä kuvaajan toimesta.

Kuvaustilanteessa sekä näkymän että kuvaajan toimet voivat tuoda kuviin erilaista liikettä, joka on yleisin syy kuvien yhdistettäessä tapahtuviin artefakteihin. Kun liike johtuu kameran heilunnasta voivat lopulliset HDR-kuvat näyttää epätarkoilta tai useasta eri kohdasta terävästi heilahtaneilta. Kun liikettä tapahtuu näkymässä ja kuvat yhdistetään, syntyy yleensä jonkinlaisia haamukuvia lopulliseen HDR-kuvaan tai HDR-kuvassa näkyy sama liikkuva objekti useaan kertaan. Muut artefaktit ovat myös mahdollisia. Ne yleensä johtuvat väärinotetuista pohjakuvista. Kyseisiä kuvien laatuvirheitä on vaikea korjata kuvaustilanteen ulkopuolella.

Kuvien artefaktien korjaukseen on kehitetty useita tekniikoita. Kuitenkin korjaustekniikat voidaan jakaa yleisluokkiin. Kameran liike korjataan erilaisilla kuvan kohdistusmenetelmillä, joiden valintaan vaikuttaa lähinnä liikkeen määrä ja onko kuvan näkymä staattinen. Jos kuvan näkymä ei ole staattinen ja mahdollisesti kamera on liikkunut, käytetään artefaktien poistoon ja HDR-kuvan luomiseen joko hylkäysmenetelmää tai erilaisia rekisteröintimenetelmiä. Nämä huomattavan monimutkaiset prosessit kuitenkin pysyvät tuottamaan lähes virheettömiä ja ainakin laajemman dynaamisen alueen omaavia kuvia verrattuna alkuperäisiin.

Nämä kaksi prosessia tarjoavat useita eri vaihtoehtoja, joiden suorituskyky artefaktien poistossa ja dynaamisen alueen määrässä vaihtelee. Näistä prosesseista kannattaa valita se, joka sopii parhaiten käyttötarkoitukseen, ottaen huomioon kuinka laaja dynaaminen alue halutaan ja kuinka suuret artefaktit ovat hyväksyttäviä kuvassa. Algoritmin valintaan vaikuttaa myös pohjakuvien valotus- ja liike-erot. Loppujen lopuksi valinnan tärkein päätös on kompromissi kuvan virheettömyyden ja dynaamisen alueen välillä, jotka yhdessä muodostavat kuvan subjektiivisen ulkonäön.

HDR-kuvaus ja HDR-kuvien artefaktit ovat laaja aihealue, joka sisältää paljon monipuolisia ratkaisuja. Tämä työ ei kuitenkaan pysty käsittelemään kaikkia niitä ja ottamaan

huomioon kaikkia niihin liittyviä tutkimuksia. Tulevaisuudessa tutkimusta voisi jatkaa vertaamalla puhelinten kameroiden dynaamista aluetta monen valotuksen HDR-kuvan dynaamiseen alueeseen ja kuvien laatueroon.

Tämä tieteenala vaatii lisää subjektiivista tutkimusta siitä, miten ihmiset näkevät kuvien kyseiset artefaktit suhteessa parempaan dynaamiseen alueeseen. Tämä tutkimus kertoisi, mikä on oikea tasapaino kuvan laaturvirheiden ja laajan dynaamisen alueen välillä.

LÄHTEET

Aguerreberre, C., Delon, J., Gousseau, Y. & Musé, P. (2014). Best Algorithms for HDR Image Generation. A Study of Performance Bounds. *SIAM Journal on Imaging Sciences*, 7(1), pp.1-34. doi: 10.1137/120891952

Aldred, J. (2020) Canon has developed a new sensor with 20-stops dynamic range that's good down to 0.08 Lux. [online] *DIY Photography*. Saatavissa (viitattu 4.3.2022): <https://www.diyphotography.net/canon-has-developed-a-new-sensor-with-20-stops-dynamic-range-thats-good-down-to-0-08-lux/>.

Bogoni, L. (2000). Extending dynamic range of monochrome and color images through fusion. *Proceedings 15th International Conference on Pattern Recognition*, 3, pp. 7-12. doi: 10.1109/ICPR.2000.903475.

Chalmers, A., Karr, B., Suma, R. & Debattista, K. (2016). Fifty shades of HDR. *Digital Media Industry & Academic Forum (DMI AF)*, pp. 53-58. doi: 10.1109/DMI AF.2016.7574902.

Dufaux, F., Callet, P., Mantiuk, R. & Mrak, M. (2016). *High dynamic range video*. London: Academic Press, pp.85-119.

Eilertsen, G., Kronander, J., Denes, G., Mantiuk, R. & Unger, J. (2017). HDR image reconstruction from a single exposure using deep CNNs. *ACM Transactions on Graphics*, 36(6), pp.1-15.

Fang, Y., Zhu, H., Ma, K. & Wang, Z. (2017). Perceptual quality assessment of HDR dehazing algorithms. *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, pp.3165-3169. doi: 10.1109/ICIP.2017.8296866.

Hasinoff, S., Sharlet, D., Geiss, R., Adams, A., Barron, J., Kainz, F., Chen, J. & Levoy, M. (2016). Burst photography for high dynamic range and low-light imaging on mobile cameras. *ACM Transactions on Graphics*, 35(6), pp.1-12.

Hoefflinger, B. (2007). *High-Dynamic-Range (HDR) Vision*. Berlin: Springer, pp.1-12.

Lorentson, J. (2018). *Dynamic Range & Visual Perception*. [online] *James Lorentson Photography: Nature Photography Workshops & Fine Art Prints*. Saatavissa (viitattu 4.3.2022): <https://jameslorentson.com/blog/2018/9/5/we-see-more-than-our-cameras-do>

Qingsong, W. & Li, J. (2020). Investigation of High Dynamic Range Image Registration Algorithm. *17th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP)*, pp. 19-22. doi: 10.1109/ICCWAMTIP51612.2020.9317363.

Ruuhikorpi, E. (2020). *Learning to align images*. Tampereen yliopisto, pp. 1-23.

Ward, G. (2012). Fast, Robust Image Registration for Compositing High Dynamic Range Photographs from Hand-Held Exposures. *Journal of Graphics Tools*, 8(2), pp.17-30. doi: 10.1080/10867651.2003.10487583.

Yu, L., Wu, R. & He, J. (2020). A Multi Exposure Synthetic HDR Image Algorithm based on Cascaded Network. 17th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP), pp. 356–360. doi: 10.1109/ICCWAMTIP51612.2020.9317511.