Viivi Wejberg

Suurnopeuskuvaus käytännössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Mediatekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

12.5.2013

Metropolia

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Viivi Wejberg Suurnopeuskuvaus käytännössä 33 sivua 12.5.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	mediatekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	digitaalinen media
Ohjaajat	lehtori Aarne Klemetti toimitusjohtaja Mikko Granberg

Insinöörityössä selvitettiin suurnopeuskameran teknisten ominaisuuksien toiminta ja merkitys suurnopeuskuvauksessa ja käytännön kokeella suurnopeuskuvauksen työvaiheet opastaulutörmäystestissä.

Suurnopeuskuvaamiseksi kutsutaan broadcast-nopeuden ylittävää kuvaamista ja siinä on usein kyseessä erikoistilanne, jossa havaitsemattomasta tehdään havaittavaa. Suurnopeuskameran kolme tärkeintä tavallisesta videokamerasta poikkeavaa ominaisuutta ovat suurempi kuvausnopeus, nopeampi suljinaika ja kennon nopea kuvan ulosluku. Kemian, urheilun, teollisuuden ja median alalla suurnopeuskuvaa käytetään esimerkiksi kun kohteesta halutaan saada staattista kuvaa, mutta kuvattava kohde liikkuu tai reagoi liian suurella nopeudella tavalliselle videokameralle. Suurnopeuskameran kuvaa katsotaan päämäärästä riippuen joko hidastetusti tai tavallisen videon vastaisesti kuva kuvalta. Teknisessä suurnopeuskuvaamisessa ei katsota lopputuloksen laatua tai taiteellisuutta, vaan sen ainoa päämäärä on saada kohteesta kuva. Teollisuudessa teknistä suurnopeuskuvaa tarvitaan muun muassa laadunhallintaan, tuotekehitykseen ja kuva- tai vika-analysointiin.

Opastaulutörmäystestissä haluttiin saada selville taulun käyttäytyminen, kun auto törmää siihen 100 ja 35 kilometrin tuntivauhdilla. Koska törmäys tapahtuu hetkessä, tarvittiin suurnopeuskameran kuvaa opastaulun ja siihen törmäävän auton reagointien analysointiin. Tärkeimmät suurnopeuskameran työvaiheet olivat kameroiden sijoittelu, kytkentä ja tallennus. Opastaulutörmäystestissä oli tärkeää huomioida suurnopeuskuvan standardimääräykset, joihin kuuluivat kameroiden määrä ja sijoittelu, kameroiden asetusten asettaminen ja törmäystapahtumista vaadittu kuva-ala. Törmäyksen jälkeen kuva-analyysin avulla tehtiin matemaattisia ja fysikaalisia laskuja. Taulun tuli läpäistä molemmat testit, mutta suurnopeuskameran kuvan avulla tehdyt laskennat ratkaisivat ensimmäisen testin epäonnistuneen, eikä näin ollen toista testiä suoritettu.

Insinöörityön pohjalta voidaan todeta suurnopeuskuvalla olevan tärkeä rooli tuotekehityksessä ja suurnopeuskameran olevan monipuolisten käyttömahdollisuuksien takia hyödyllinen monilla eri aloilla.

Avainsanat	suurnopeuskamera, suurnopeuskuvaus

Author Title Number of Pages Date	Viivi Wejberg High Speed Imaging in Practice 33 pages 12 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Media Technology
Specialisation option	Digital Media
Instructors	Aarne Klemetti, Senior Lecturer Mikko Granberg, Managing Director

The thesis studied the features of a high-speed camera and their performance and importance in high-speed imagining. By a practical test, the thesis studied the workflow of a high-speed imaging in a guide sign crash test.

Broadcast rate which exceeds shooting can be referred to as high-speed imaging and it is often used in cases when the unobserved is converted into something that can be observed. High-speed camera´s three main differences to an ordinary video camera are higher frame rate, faster the shutter speed, and image sensor´s faster read-out. In the field of chemistry, sports, industry and media, high-speed image can be used when a more static image is wanted, but the subject is moving or reacting too fast for the average camcorder. High-speed camera image is viewed in slow motion, depending on the purpose, or in contrast of an ordinary video frame by frame. In technical shooting the quality or artistry of the outcome is not judged since its only aim is to get a picture of the subject. In technical industry high-speed cameras are needed in quality management, product development and in a picture- or fault analysis.

The aim of the guide sign crash test was to find out the panel behavior when a car hits it by 100 and 35 kilometers per hour. Since a crash takes place in an instant, a high-speed camera was needed to capture the reaction of the guide sign and the colliding car for later analysis. The main study phases were the placement of the camera, interconnection and storage. In the crash test it was important to pay attention to high-speed image standard regulations which included the number and placement of cameras, camera settings, and setting the collision events in the required field of view. Afterwards, an image analysis was carried out using mathematical and physical calculations. The guide sign had to pass both tests, but with the help of using the high-speed camera image, calculations indicated that the first test failed, and , therefore, the second test was not carried out.

Based on the thesis it can be said that the high-speed image plays an important role in product development and high-speed camera has versatile usage possibilities in many different areas.

Keywords	high speed camera, high speed imaging

Sisällys

Lyhenteet

1 Johdanto 1

2 Suurnopeuskuvaus 2

2.1 Suurnopeuskuvauksen kehitys 2
2.2 Suurnopeuskameran toiminta 3

3 Suurnopeuskuvaus käytännössä 15

3.1 Kuvattaessa huomioitavaa 15
3.2 Suurnopeuskuvaus tuotekehityksen apuna 22

4 Suurnopeuskuvauksen opastaulukoe 25

4.1 Opastaulukokeen lähtökohdat 25
4.2 Kuvauksen kulku 27

5 Pohdinta ja johtopäätökset 31

Lähteet 33

Lyhenteet

FPS	Frames per second. Kameran sekunnissa ottama kuvamäärä.
ISO	International Organization for Standardization. Kameran ISO-luku, joka ilmaisee kameran herkkyyden.
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor. Puolijohdetekniikka, jota käytetään muun muassa digitaalikameroiden kennoissa.
DRAM	Dynamic Random Access Memory. Väliaikaisesti tallentava muistityyppi, joka säilyttää sisältämänsä datan niin kauan, kuin on kytkettynä teholähteeseen.
eSATA	Nopea Ethernet-verkkosovitinliitäntä.

1 Johdanto

Insinöörityön tavoitteena on käytännön kokemuksen hankkiminen suurnopeuskuvausprosessista. Työn tarkoituksena on selvittää suurnopeuskameroiden kanssa työskentelemistä ja kerätä tietoa niiden tuomista mahdollisuuksista eri toimijoille. Työn lähtökohta on kokemusperäisen tiedon hankkiminen. Olen työskennellyt koko ammattikorkeakoulun ajan audiovisuaalisten projektien parissa, ja insinöörityössä perehdyn niin valokuvauskameroiden kuin videokameroiden tekniikkaan. Työssä perehdyn suurnopeuskameran kanssa työskentelyyn ja sen teknisiin ominaisuuksiin ja niiden vaikutuksiin kuvaustilanteessa.

Suurnopeuskuvaus poikkeaa perinteisestä videokuvaamisesta ehkä eniten sen tarkoitusperässä. Videota tuskin koskaan katsotaan kuva kuvalta, sillä videon ajatuksena on kuvien luoma jatkuvuuden tunne eli elokuvallisuus. Suurnopeusotoksia tarkastellaan tuotekehityksen parissa kuitenkin usein yksittäisinä kuvina, sillä tarkoituksena on saada muutoin silmälle näkymättömästä tapahtumasta tietoa. Teknisessä kuvaamisessa kuvan laadulla tai taiteellisuudella ei usein ole merkitystä. Päämääränä on ainoastaan tapahtuman taltiointi havaittavaksi ja havainto analysoitavaksi. Tämän mahdollistaa suuri kuvausnopeus. Kiteytettynä suurnopeuskameroiden kattava ajatus on tehdä havaitsemattomasta havaittavaa. Teknisessä suurnopeuskuvaamisessa, johon insinöörityössä keskityn, ei katsota kuvan taiteellista laatua, vaan tärkeintä on saada kuvista staattisia otoksia oikealla ajan hetkellä. Tämän päämäärään saavuttamiseksi tarvitaan nopeasti liikkuvien kohteiden staattiseen taltiointiin suurta kuvausnopeutta. Suurnopeuskuvauksessa katsotaan yksittäisten kuvien lisäksi toisinaan myös hidastettua liikettä. Esimerkiksi 1 kHz:n mekaaninen värähtely voidaan haluttaessa kuvata niin, että yksi värähdysjakso hidastetaan sekunnin mittaiseksi.

Teen insinöörityön yhteistyössä Citius Imagingin kanssa. Pääasiassa työssä käsitellään sen jälleenmyymiä Vision Researchin Phantom-kameroita, mutta insinööriprojektissa käytetään Citius Imagingin kameroita. Citius Imaging on erikoistunut suurnopeuskameroiden suunnitteluun ja valmistukseen, ja sen tuotteisiin kuuluvat C100 Centurio- ja C10-kameramallit. Käsittelen insinööriprojektissa juuri näitä kameramalleja. Suomessa Citius Imaging ja Jaso ovat suurnopeuskameroita myyviä ja

kuvauspalveluita tarjoavia yrityksiä. Jaso on erikoistunut muun muassa mikroskopiaan, kameratekniikkaan ja kuva-analyysiohjelmiin. Ulkomailla markkinoita hallitsevat suurimpina tällä hetkellä Vision Research, Photron, NAC, Olympus, IDT, AOS ja Fastec Imaging. Valmistajien keskittyneisyys vaihtelee teollisista kameroista elokuvasuurnopeuskameroihin [1].

Suurnopeuskamerasta tekee teknisesti merkittävän paradoksaalisesti sen mahdollisuudet hidastaa aikaa. Tämä silmänräpäystekniikka tuo taiteen, tieteen ja viihteen alalle aivan uusia ulottuvuuksia, sillä aiemmin silmälle havaitsemattomasta on nyt tehty havaittavaa. Työni loppuosuudessa paneudun suurnopeuskameroiden tuomiin tulevaisuuden mahdollisuuksiin ja siihen, miten asiantuntijat pystyvät tutkimaan ja kehittämään maailmaa suurnopeuskameroiden avulla. Mielenkiintoista on, miten visuaalisen tekniikan kehitys voi edesauttaa tiedettä aina autoteollisuudesta lääketeollisuuteen.

2 Suurnopeuskuvaus

2.1 Suurnopeuskuvauksen kehitys

Suurnopeuskuvauksen tekniikan kehitys on tuonut aivan uusia mahdollisuuksia tieteen, taiteen, tuotekehityksen ja urheilun pariin. Tavallisen videokameran kuvausnopeus ei riitä kertomaan tarkasti, mitä on tapahtunut, kun asiat tapahtuvat silmänräpäyksessä. Tämä ongelma on ratkaisu kehittämällä tekniikkaa, joka parantaa kameran kuvausnopeutta ja mahdollistaa otosten hidastamisen. Suurnopeuskuvauksen tarkoitus on hidastaa tapahtumat.

Suurnopeuskuvaus ei ole uutta teknologiaa, sillä suurnopeuskuvaukseksi voidaan kutsua broadcast-nopeuden ylittävää kuvaamista. Suurnopeustekniikkaa voidaan hyödyntää tällä vuosikymmenellä enemmän kuin aikaisemmin, koska elektroniikka on kehittynyt. Ilman puolijohdetekniikan kehittymistä 1990-luvulla eivät olisi myöskään kuvasensorit ja muistit kehittyneet sellaisiksi, kuin ne nyt ovat. Puolijohdetekniikka on mahdollistanut suurnopeuskuvauksessa jatkuvan kuvaamisen. Se ei etene kameroiden ehdoilla, vaan kamerat kehittyvät puolijohdetekniikan mukana. [2; 3, s. 7.] Myös

tietokoneiden muistin ja nopeuden kehittymisellä ja niiden hintojen alenemisella on ollut suuri merkitys kamerateollisuuden kehitykseen.

Suurnopeuskuvauksen ominaisuudet ovat kuvausnopeus ja tarkkuus, jotka tasapainottelevat keskenään: kuvausnopeutta lisättäessä tarkkuus heikkenee ja päinvastoin. Tärkeintä on löytää riittävä nopeus ja tarkkuus, vaikka suurnopeuskuvaus sanana kuvaa kuvausnopeuden suuruutta. [2.]

2.2 Suurnopeuskameran toiminta

Suurnopeuskamera eroaa tavallisesta kamerasta käyttötarkoitukseltaan ja asetuksiltaan. Suurnopeuskameroita käytetään, kun kohde, jota kuvataan, liikkuu tai reagoi liian nopeasti ihmissilmälle. Liike hidastetaan suurella kuvausnopeudella, ja kohdetta tarkastellaan kuva kuvalta tai hidastetusti. Riippuen asiasta, joka kohteessa kiinnostaa eniten, joudutaan puntaroimaan resoluution ja liikkeen pysähtyneisyyden tärkeyttä. Nämä kaksi ominaisuutta vievät kamerassa samaa resurssia. Jos kuvan resoluution halutaan pysyvän hyvänä, se on automaattisesti poissa liikkeen staattisuudesta kuvassa ja toisinpäin. Vaikeaa kuvaamisesta ja asetusten löytämisestä tekee se, että useissa tilanteissa ei oikeastaan edes tiedetä, missä kohde on kuvaushetkellä. Asetuksia on kesken kuvauksen lähes mahdoton säätää optimaaliseksi, sillä kuvaustapahtumat tapahtuvat niin nopeasti. On sinällään jo saavutus, jos talteen saadaan yhtäkään kuvaa kohteesta. Nämä ovat asioita, joihin auttaa vain virheiden tuoma oppi. Laadukkaan kuvan saavuttamiseksi tulee suurnopeuskuvaajalla olla hyvät valokuvaustaidot. Valitettavaa kuvaajan kannalta kuitenkin on, että kuvattaessa tapahtuu lähes poikkeuksetta yllätyksiä. Toisinaan kohteen sijainti ja kirkkaus ovat vaikeasti ennustettavissa [4].

Suurnopeuskuvauksessa on mahdollista vaikuttaa valotusaikaan, syväterävyyteen, objektiivin aukkolukuun ja minimitarkennusetäisyyteen. Objektiivi ja zoom-objektiivissa polttoväli ovat valittavissa sopiviksi kuvattavan kohteen ehdoilla.

Optiikka

Kameran linssi taittaa kameralle saapuvan valon kuvan polttotasoon. Kiinteässä objektiivissa on määräetäisyys linssistä kuvailmaisimelle, ja tämä etäisyys on polttoväli (focal length). Zoom-objektiivissa polttoväli on muutettavissa [5, s. 10]. Objektiivin polttovälistä on myös pääteltävissä, mihin linssi on tarkoitettu. Pitkä polttoväli viittaa kauko-objektiiviin, kun taas lyhytpolttovälinen objektiivi piirtää laajakulmaisen kuvan [5]. Pitkäpolttovälisella optiikalla voidaan usein myös tavoitella lähellä olevasta kohteesta isoa suurennosta.

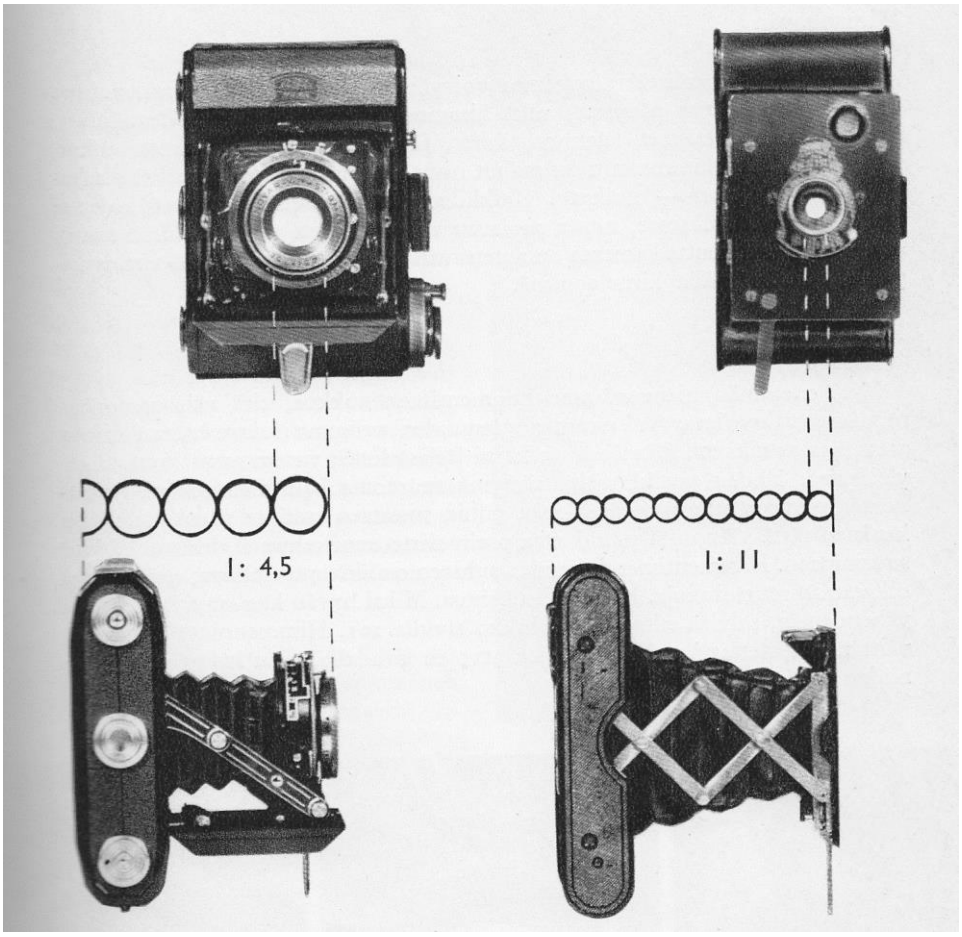
Yleisesti ottaen kiinteäobjektiivit ovat valovoimaltaan ja laadultaan parempia kuin zoom-objektiivit, mutta suurnopeuskuvauksessa zoom-objektiivi on hyvin hyödyllinen sen joustomahdollisuuksien takia [4; 6]. Kun objektiivin polttoväliä voidaan muuttaa laajakuvasta kaukokuvaan vaihtamatta linssiä, säästetään kuvattaessa tärkeitä sekunteja, mikä on suurnopeuskuvauksessa tärkeää huomioida. Paras soveltuva polttoväli voidaan etsiä zoom-objektiivilla ja vaihtaa vastaavaan kiinteäpolttoväliseen objektiiviin.

Kaikilla objektiiveilla on olemassa minimitarkennusetäisyys, joka keskivertoisesti perusobjektiiveilla on 0,5–1,2 m. Tätä lähemmistä kohteista ei saada tarkkaa kuvaa [4; 5]. Insinöörityössä ei keskitytä makrokuvaamiseen eikä paneuduta minimitarkennusetäisyyteen.

Objektiiveja on monia erilaisia, ja niiden kiinnitystavat poikkeavat valmistajasta riippuen. Objektiivissa on tärkeää huomioida, onko se yhteensopiva kameran kiinnityksen kanssa. Erilaisten sovittimien avulla on mahdollista yhdistää kameraan sen standardista poikkeava linssi.

Vision Researchin Phantom-kameroihin käyvät samat objektiivit kuin tavallisiin järjestelmäkameroihin. Esimerkiksi Phantomin Miro-M-sarjan standardina on perinteinen C-sovitin ja Nikonin F-sovitin. Kameraan voidaan kuitenkin valinnaisesti yhdistää myös Canonin EOS-sovite tai PL-sovite, joka on elokuvaoptiikkaa. Tv-optiikoita varten kameraan pystytään yhdistämään myös B4-sovite. [6; 9.]

Aukkoluku (aperture, iris) kertoo objektiivin valovoiman eli sen, minkä kokoisesta aukosta kameraan pystytään päästämään valoa. Kameran aukkoluvulla tarkoitetaan iiriksen aukon suhdetta polttoväliin, esimerkiksi 1:4,5 tai 1:11. Aukkoluku ilmaistaan usein vain yhtenä lukuna, esimerkiksi 4,5 tai 11. Iiriksen aukon suhdetta polttoväliin havainnollistaa kuva 1.



Kuva 1. Kameran iiriksen suhde polttoväliin [5, s.10].

Iiristä säätämällä aukkolukua muutetaan [5]. Aukkoluku vaikuttaa myös kuvan syväterävyyteen. Mitä pienempi aukko, sitä syväterävämpi kuva on. Taulukossa 1 on havainnollistettu aukon ja suljinajan käyttäytymistä toisiinsa nähden [7].

Taulukko 1. Tyypillisiä suurnopeuskameran suljinaikoja suhteessa aukkolukuihin.

Aukkoluku	Suljinaika
f2	50 µs
f2.8	100 µs
f4	200 µs
f5.6	400 µs
f8	800 µs
f11	1600 µs
f16	3200 µs
f22	6400 µs

Kun aukkoa pienennettään yhden pykälän verran (aukon numeraalisen arvon kasvaessa), on suljinajan kaksinkertaistuttava, jotta valoa saapuu kameraan suhteessa yhtä paljon kuin ennen aukon koon muuttamista.

Kameran ominaisuuksia

Valotusaika (exposure time, shutterspeed) tarkoittaa sitä aikaa, kun kenno kerää itseensä valoa ja muodostaa kuvan. Valaistuksesta riippuen säädetään valotusaika joko lyhyeksi tai pitkäksi. Jos valoa on vain vähän, tulee kennon antaa kerätä dataa valon intensiteetistä pitempään. Kennolle riittää lyhyempi valotusaika, jos valoa on paljon. Lyhyellä valotusajalla kohteesta saadaan tarkempaa, staattisempaa kuvaa, sillä kohde ei ehdi juuri liikkua nopean valotuksen aikana. Lyhyellä valotusajalla vältetään liike-epäterävyyttä kuvassa. [4.]

Herkkyydellä viitataan kameran ominaisuuteen muodostaa hämärässä kuva. Herkkä kamera muodostaa kuvan vähemmässä valossa kuin epäherkkä kamera. Kennon herkkyys esitetään ISO-lukuina. Karkeasti ISO 100:aa käytetään tavallisessa ulkokuvauksessa, ISO 400:aa sisäkuvauksissa ja ISO 1600:aa hämärässä. Mitä pienempää ISO-lukua käytetään, sitä enemmän kamera tarvitsee valoa. Mustavalkokamerat ovat herkempiä kuin värikamerat, sillä valon spektri voidaan käyttää kokonaan hyödyksi. Herkkyyttä kasvatettaessa nousee kameran hinta ja

yleensä myös kohina kuvassa. Suurnopeuskuvauksessa kameran herkkyys on kuitenkin aina eduksi. [2; 8.]

Kennotekniikka

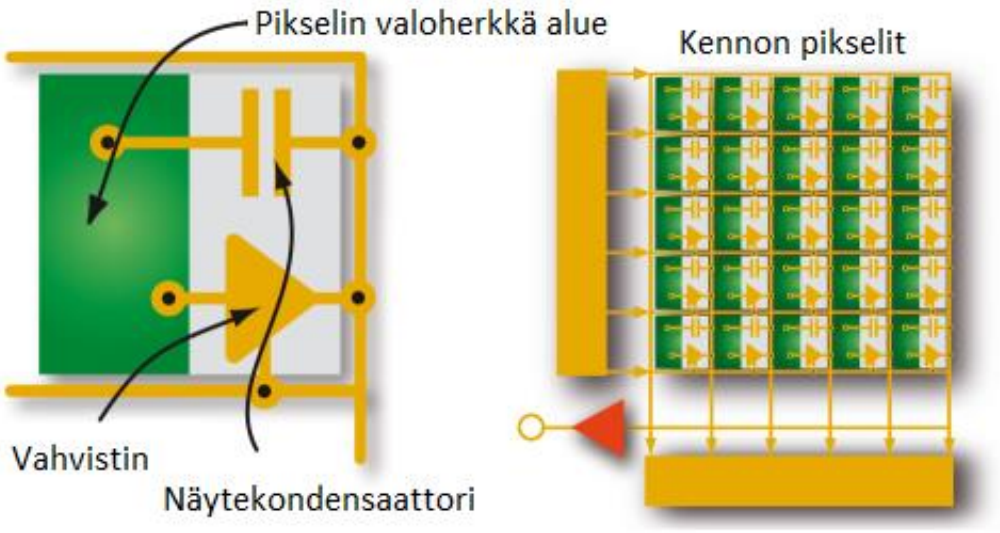
Suurnopeuskameroissa yleisin kuvailmaisin on CMOS-kenno. Se perustuu puolijohdetekniikkaan, ja sen yleisyys perustuu yksinkertaisesti teknistä toimintaa katsomatta edullisuuteen. Luonnostaan sen tekniikka sopii huonosti valoherkkien komponenttien valmistamiseen. Kennon apuelektroniikka voidaan tehdä helposti kennon kanssa samalle piipalalle, mikä madaltaa huomattavasti kameran tuotekehitys- ja tuotantokustannuksia. [2; 3; 1.]

CMOS-kenno vastaanottaa fotonien tuoman energian ja muuntaa sen kuvaksi. Sähköisessä kennossa sulkija ei toimi fyysisellä sulkijalla, vaan valotus riippuu kennon lukuajasta ja -tavasta [10]. Fyysistä sulkijaa käytetään itse kameran ja sen tuottaman kuvan kalibroimisessa. Kamerassa pikselin pohja-arvo halutaan mahdollisimman matalaksi, mutta ei kuitenkaan aivan nollaan. Jotta tämä voitaisiin tehdä hallitusti, tarvitaan musta kohde kalibroinnin ajaksi. Kuvien jälkituotannossa referenssiksi tarvitaan absoluuttinen musta. Pikseleillä on jokaiselle yksilöllinen pohjataso, jonka ne pimeässä tuottavat. Pohjatasojen välinen ero voidaan korjata ohjelmallisesti, kun tiedetään, mikä pimeässä tuotettu pohjataso on. [2; 11.]

CMOS-kennot toimivat joko rolling shutter- tai global shutter -tekniikalla. Rolling shutter -kennossa sulkija valottaa matriisin eri rivejä eri aikavälillä. Toisin sanoen kennon detektorit keräävät valoa yhtä kauan, mutta eri aikana. Valotuksen jälkeen pikselien varaus luetaan, minkä aikana niiden arvo nollataan ja alkaa uusi valotus. Global shutterissa kaikki pikselit valotetaan samanaikaisesti. Tämän lisäksi valotuksen jälkeen varaus siirtyy pikseleistä ”varastoalueelle”, josta se myöhemmin siirretään jatkokäsittelyyn. Rolling shutter -kennossa ei ole varastoaluetta, vaan kennon valottumisen jälkeen pikselien varaukset luetaan heti ja nollataan ennen uutta valotusta. [2; 10; 12.] Tällainen tekninen toimintatapa johtaa toisinaan koko kuvan vääristymiin. Molemmissa tekniikoissa pikselin lukemiseen tai varastoimiseen tarvittavia transistoreja on jouduttu sijoittamaan pikselin optisesti herkälle alueelle, mikä epäonneksi vähentää pikselin täyttöastetta huomattavasti. Pikseli ei siis pysty vastaanottamaan fotoneja sataprosenttisesti pinta-alaltaan, vaan transistorien sijoitus

samalle alueelle syö pikselin valoherkkää pinta-alaa. Suurnopeuskameroiden täyttöaste liikkuu 30–70 prosentissa transistorien takia. [1; 12; 13.]

Kuvassa 2 on havainnollistettu yksittäinen pikseli, ja vihreä alue on pikselin valoherkkä alue. Kuvasta näkee myös, kuinka pikselin pintaan sijoitettu elektroniikka asettuu yksittäisessä pikselissä. Oikeanpuoleisesta kuvasta ilmenee, kuinka pikselit ovat sijoittuneet kennossa.



Kuva 2. Elektroniikkaa pikselissä ja pikselien järjestäytyminen kennossa [14].

Rolling shutter -efekti aiheutuu kennon tavasta muodostaa kuva. Tätä tekniikkaa käytetään CMOS-kennoissa, ja siinä kuva muodostetaan matriisissa rivi riviltä ja pikselien varaukset luetaan valotuksen jälkeen suoraan ilman talletusta valolta suojatulla varastoalueella. Tämä varausten lukeminen on kameran hitain tapahtuma, ja siksi seuraava pikseli on aina hiukan eri ajanhetkellä kuin seuraava. [2; 15.] Tämän takia kuvaan syntyy nopeita kohteita kuvattaessa tai puolestaan kameraa itseään nopeasti liikuteltaessa koko kuvan vääristymiä [16]. Myös salamavalot aiheuttavat epätasaisia valotuksia kuvassa. Lopputuloksena valotason muuttumisesta valotuksen aikana voi olla osittain valottunut kuva. Tällaisen virheen korjaaminen jälkikäteen on lähes mahdotonta. Kun tiedetään rolling shutterista muodostuvat mahdolliset haitat, ne pystytään myös paremmin ennalta ehkäisemään. [17; 18.]

Kaksi muuta osittaisen valaistumisen lisäksi tunnettua rolling shutterista johtuvaa efektiä ovat kuvan vinoutuminen ja kuvan hyytelöityminen. Vinoutuminen (engl. skewing) aiheutuu kameran horisontaalisesta pannaamisesta. Kun kuvaa liikutetaan esimerkiksi oikealta vasemmalle, näyttää kohde vääntyneen sivuun [18]. Lipputanko saattaakin siis muuttua pannattaessa etukenoiseksi pystysuoran sijaan ja kalteva torni suoraksi. Tätä havainnollistava esimerkki on kuvassa 3.

Kuva 3. Rolling shutterista aiheutuva kuvan vinoutuminen [19].

Kuvaan saattaa tulla hyytelöitymistä (engl. wobbling), vanumista ja tärinää, kun kamera on kuvattaessaan tiltannut tai sitä on esimerkiksi liikkutettu käveltäessä käsivaralta [18]. Tästä on esimerkki kuvassa 4.

Kuva 4. Hyytelömäistyminen kuvassa [20].

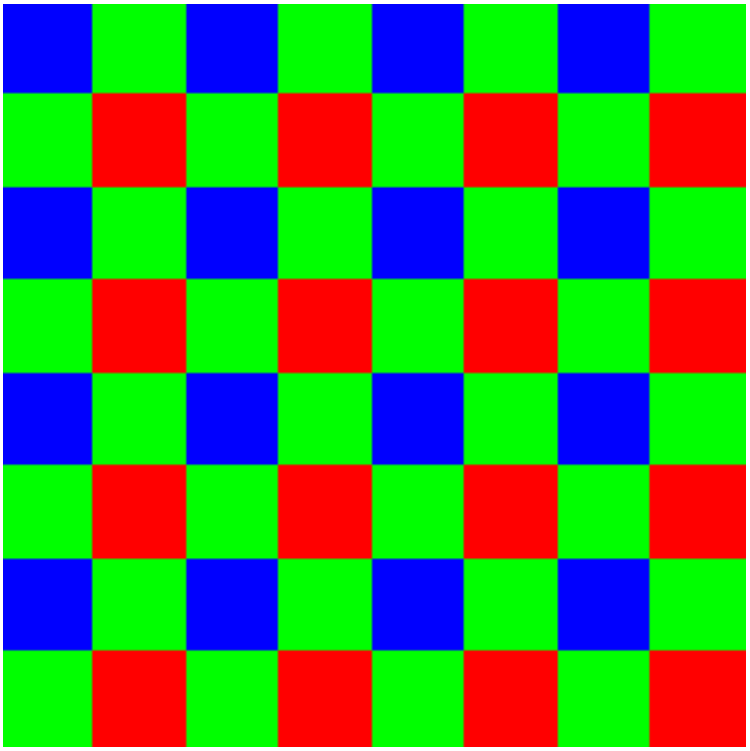
Phantom-kameroissa CMOS-kennon suljintoiminto on toteutettu sähköisesti erityisellä varastoalueella eli global shutter -tekniikalla. Kameran kennoa on kehitelty paremmaksi, jotta ikävältä vääristymiseltä vältyttäisiin. Tähän on päästy, kun kennon pikselit on saatu valottumaan yhtäaikaisesti ja siirtämään data pikselin arvosta samanaikaisesti muistiin kennolle. Vasta väliaikaisesta muistista kennolta kuvan informaatio siirretään eteenpäin kameran DRAM-muistiin. [10.]

Bayer-suodin

Kameran kenno koostuu valoherkistä reseptoreista, jotka vastaanottavat fotoneja ja säilyttävät niiden aiheuttaman varauksen eli valon tuoman intensiteetin datan. Bayer-suotimessa jokainen pikseli vastaanottaa vain yhtä väriä. Kenno vaatii värisuotimen, jotta videokuvasta saadaan värillinen, sillä kenno ei itsessään tunnista värejä. Pikselit ovat ainoastaan laajaspektrisiä, ja värikamera on luotu suodattamalla kennoon saapuvasta valosta värikomponentteja. [2.]

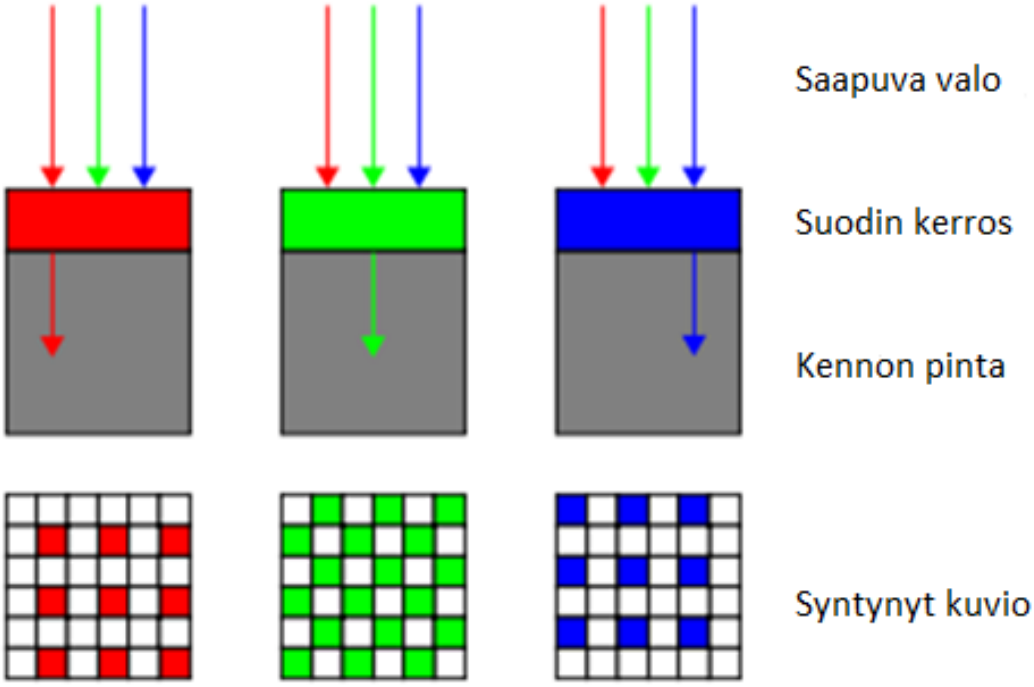
Kameroissa yleisin käytetty värisuodin on Bayer-suodin, joka perustuu RGB-tekniikkaan. Bayer-suotimessa jokainen pikseli vastaanottaa vain yhtä väriä. Jokaiselle reseptorille on määrätty sen RGB-väri, kuten kuva 5 osoittaa. Kuvassa näkyy, kuinka kennon pikselit jaetaan kolmen osavärin kesken [10]. Ihmissilmä on kolmesta RGB-

väristä herkin vihreälle, ja tästä syystä vihreitä reseptoreita on kennolla kahta muuta väriä enemmän [21]. Kamera laskee monimutkaisella algoritmilla pikseliin saapuneen valon signaalin, minkä jälkeen jokaiselle pikselille interpoloidaan sen lopullinen väri vertaamalla sitä ympäröivien pikseleiden laskettuun signaaliin ja väriin [22].



Kuva 5. Bayerin mosaiikki [23].

Kuvassa 6 esitetään, kuinka aallonpituudet suodattuvat RGB-suodattimen reseptoriin. Punainen suodin vastaanottaa ainoastaan pitkiä aallonpituuksia ja sininen puolestaan lyhyitä aallonpituuksia. Tieto tallentuu reseptorin valoherkkään sensoriin, ja lopullinen väri muodostetaan jo aiemmin mainitun laskennan eli interpoloinnin myötä. Sensorit tunnistavat 8-bittisellä värisyvyydellä enintään 256 valovoimakkuuden astetta. Kullakin osavärillä on näin ollen 256 sävyä, jotka kertomalla saadaan 16 miljoonaa värisävyä. Tällainen väriskaala on hyvin laaja, joten näytöt eivät pysty sitä täydellisesti toistamaan. [2.]



Kuva 6. Valon suodattuminen Bayer-suotimessa [23].

Valo

Valaistuksen merkitys kuvauksen aikana on suuri, sillä se on kriittisin kompastuskivi kuvauksen onnistumisen kannalta. Ilman valoa kuvaaminen ei onnistu, sillä kamera lukee ainoastaan kennoon saapuvan valonmäärää, eli intensiteettiä. Jos kameraan ei tule valoa, ei myöskään synny kuvaa. Värikuvaamisessa käytetään värisuodinta, jonka avulla lasketaan pikselille väriarvo. Kuten aiemmin on mainittu, värisuodin alentaa kameran herkkyyttä ja lisää valomäärän tarvetta.

Suurnopeuskuvaamisessa valon määrä ja valon laatu ovat molemmat erityisen tärkeitä, sillä kuvattaessa käytetään lyhyitä suljinaikoja. Valoa on saavuttava kameraan lyhyessä ajassa paljon tai kuva jää tummaksi ja tärkeää intensiteettitietoa katoaa. Toisaalta valoa ei saa tulla kerralla liikaa, ettei kuva ylivalotu ja kadota kerättyä tietoa pysyvästi.

Aina kun kuvausnopeus kaksinkertaistuu, kaksinkertaistuu myös tarvittavan valon määrä. Vaikka kameran ”hämäränäkö” olisikin hyvä, parantaa valo huomattavasti

kuvan laatua. Oikealla valaistusvalinnalla kuvaaja saa joustavuutta kuvaamiseen laadusta ja kuvausnopeudesta tinkimättä. Valaistuksella voidaan hyvin pitkälle ratkaista aukkoluvun ja valotusajan toisiaan syövät resurssit [4; 25].

Valaistuksella on kolme eri valaistusvaihtoehtoa riippuen ympäristöstä: luonnonvalaistus, keinovalaistus ja kohteen tuottama oma säteily. Viimeiseksi mainittuun ei tässä työssä paneuduta.

Suurilla kuvausnopeuksilla tärkeäksi tekijäksi muodostuu valon määrän lisäksi valotyyppi. Keinovalaistuksen suurin ongelma suurnopeuskuvauksessa on verkkojännitteeseen kytkettyjen hehkulamppujen ja etenkin loisteputkien vilkunta 100 Hz:n taajuudella, mikä on siis verkkovirran taajuuden (50 Hz) kaksinkertainen määrä. Tämä johtuu vaihtovirran sähköpulsseista sinimuodossa, jotka aikaan saavat pienitehoisessa sähkölampussa hehkulangan himmentymisen tietyin pulssivälein virran nollakohtien lähellä. Käytännössä tämä näkyy kuvassa valomäärän vaihteluna ja häiritsevänä välkkymisenä. Hyvänä valaisimena toimii 300 watin tehon ylittävä valaisin, sillä se ei välky merkittävästi. [1; 3; 27.] Suurnopeuskuvissa sen vilkunta ei ehdi näkyä, sillä lampun teho on riittävän suuri, ettei hehkulanka ehdi himmentyä merkittävästi pulssien välissä [27]. Vilkunnan näkyminen kuitenkin riippuu suoraan kuvausnopeudesta ja valotusajasta. Esimerkiksi 25 kHz (25 000 kertaa/sekunti) välkkyvä LED-valon välkyntä näkyy epätasaisena valotuksena kuvassa, jos kuvausnopeus ylittää lampun välkyntä taajuuden, esimerkiksi kuvattaessa 100 000 kuvaa/sekunti. Pulssittamattomat LED-valot käyvät hyvin suurnopeuskuvaukseen, sillä ne toimivat tasavirralla ja ovat siis sähköpulssittomia. [27.]

Erillisellä korkeataajuisella liitäntälaitteella varustetut ammattitason loisteputket sopivat suurnopeuskuvaukseen kuvausnopeuden pysyessä noin 2 000 kuvassa per sekunti. Jos kuvausnopeus ylittää usean tuhannen kuvausnopeuden, kuvassa esiintyy valomäärän vaihtelua liitäntälaitteen sähköpulssien takia [27].

Keinovalotyyppejä on erilaisia, ja ne eroavat tosistaan paitsi tehoiltaan myös värilämpötiloiltaan. LED-valaisimilla päästään esimerkiksi kustannustehokkaasti viileään 6 500 kelvinin värilämpötilaan, kun taas tavallisella hehkulampulla saadaan lämmin 3 200 K:n värilämpötila [25].

Jos aurinko on kuvattaessa ainoa valonlähde, törmätään valon lähteen säädön kontrolloimattomuuteen. Kuvausolosuhteet voivat vaihtua nopeasti tai hiljalleen päivän edetessä. [3.] Vaikka aurinko on valon lähteenä kontrolloimaton, voidaan sen kohteeseen luomaan heijastukseen vaikuttaa käyttämällä lisävarusteina erilaisia heijastimia tai varjostimia.

Kuvaa rajattaessa on syytä ottaa huomioon taivaan kirkkaus kontrastissa kuvattavaan kohteeseen. Taivasta voidaan rajata mahdollisimman paljon, sillä usein se on epäoleellinen seikka ja häiritsevä tekijä. [4.]

Useilla kameroilla on mahdollista mitata ohjelman avulla kohteen valaistusta. Citiuksen suurnopeuskameran 8-bittisellä värisyvyydellä arvoasteikko on puhekielessä mustasta puhki palaneeseen valkoiseen eli 0:sta 255:een. Phantomin kameran 12-bittisellä värisyvyydellä asteikko on 0–4095. Kumpaakin ääripäätä tulee välttää informaatiohukan takia. Tämä siis koskee itse kohdetta, ei taustaa. [4; 28.]

Tärkeimmät tekijät valaistuksessa ovat etäisyys valon lähteen ja kohteen välillä, valolähteen tyyppi, kohteen ja taustan kontrasti, objektin heijastavuus ja väri. Valaistuksessa on hyvä muistaa jo edeltä mainitut värillisen ja mustavalkokennon herkkyyserot. Värillinen kuva vie noin 4–8-kertaisesti herkkyyttä monokuvaan verrattuna ja vaatii siis valaistukselta yhtä moninkertaisesti enemmän. Tästä syystä onkin hyvä miettiä, onko väreillä kuvassa merkitystä.

Keinovalot tulee sijoittaa mahdollisimman lähelle kohdetta, siten ettei valon lähde näy heijastuksena kohteesta tai luo liian suuria varjoja kohteen ympärille. Liian suuria kontrasteja tuovat varjot voidaan välttää, kun valo asetetaan tulemaan laajalta alueelta. [4.]

Kohteen kirkkaus on riippuvainen valaisimen etäisyydestä. Kun matkan valolähteen ja kohteen välillä kaksinkertaistuu, pienenee alkuperäinen kirkkaus neljäsosan, ja kun matka kolminkertaistuu, alkuperäisestä kirkkaudesta jää jäljelle vain yhdeksäsosa. [26.]

Sijoitettaessa keinovalo lähelle kohdetta tulee ottaa huomioon kohteen arkuus lämmölle, sillä jotkin keinovalot säteilevät paljon lämpöä. Jos kohde on lämmölle arka,

voidaan välttyä suurilta vahingoilta, kun valot pidetään päällä vain kuvauksen aikana. [27.]

Keinovalaistuksen hyvä etu on sen jatkuvuus. Kun on kerran asentanut valot kohdalleen, voi valon jatkuvuuteen luottaa, enää tarvitsee kiinnittää huomio vain kuvattavan tapahtuman mahdolliseen toistettavuuteen.

Ihminen kiinnittää huomiota kuvan vaaleimpaan kohtaan [4]. Tämä kannattaa pitää mielessä teknisessä kuvaamisessa, jotta asiaan voidaan kiinnittää huomiota ennen kuvaustilannetta. Jotta otoksessa saadaan huomio kiinnitettyä sen tärkeimpään osaan, on syytä kiinnittää huomiota kohteen ja taustan kontrastin luomiseen. Kohde on helpompi huomata, kun tausta pidetään tummempana kuin kohde. Tällainen sommitelma vähentää myös huomattavasti valaistuksen tarvetta verrattuna tilanteeseen, jossa sekä tausta että kohde ovat molemmat kirkkaita tai tummia. [26.]

On myös mahdollista tehdä kuvattaviin kohteisiin merkintöjä, esimerkiksi maalilla. Tällöin tummasta esineestä tehdään niin kameralle kuin kuvan tarkkailijoille näkyvämpi. Vähemmän tärkeitä vaaleita osia voidaan yhtä lailla värjätä tummiksi, jotta katsojan huomio ei kiinnity epäolennaisiin tapahtumiin. Jos kuvattavaa kohdetta maalataan edellä mainitulla tavalla, on maalien oltava mattavärejä, jotta heijastuksilta vältyttäisiin. [4.]

3 Suurnopeuskuvaus käytännössä

3.1 Kuvattaessa huomioitavaa

Kuvausnopeuden ja kuvaustarkkuuden löytämiseksi yleissääntö on, että tulee käyttää alinta riittävää kuvausnopeutta ja parasta mahdollista kuvaustarkkuutta [4, s. 4]. Tämän yleissäännön antaman kultaisen keskitien löytäminen on vaikeaa kuvausnopeuden ja kuvaustarkkuuden toisensa syövien resurssien vuoksi. Tähän sääntöön kuitenkin kiteytyy suurnopeuskuvauksen henki. Käytännössä siis pyrittäessä parempaan resoluutioon täytyy kuvausnopeutta alentaa. Vastaavasti kuvausnopeutta

kasvatettaessa täytyy resoluutiota huonontaa. Valotusaika on sen sijaan riippuvainen ainoastaan kuvausnopeudesta. [2.]

Suurnopeuskamera tuottaa pikseleitä vakionopeudella, jolloin käyttäjän päätettäväksi jää, millä resoluutiolla kuvataan. Hyvä resoluutio tinkii aina kuvausnopeudesta. Kohteesta riippuen tulee kuvaajan miettiä, onko kohde itsessään tärkeä, samoin siinä tapahtuvat muutokset, jolloin kuvan tarkkuudella on suuri merkitys, kun lopputulosta katsotaan nimenomaan kuva kuvalta. Vai onko kenties niin, että tärkeintä kuvattavassa on siinä tapahtuvat liikemuutokset, kuten mahdollinen räjähdys. Jos näin on, pystytään huonommallakin resoluutiolla mittamaan, milloin jokin räjähdys tai muu liikemuutos tapahtui.

Kuvausnopeuden valinnalle ei ole teoreettista laskentamallia, jonka avulla oikea kuvausnopeus löytyisi. Huomioon otettavia ja suuntaa antavia neuvoja kuitenkin on.

Kuvaustilanteessa voidaan ottaa perusperiaatteeksi, että kuvattava kohde saa kahden kuvan välisenä aikana liikkua enintään oman pituutensa verran. Jakamalla matka nopeudella saadaan tietoon matkaan kulutettu aika. Esimerkiksi kun 10 cm:n kokoinen esine kulkee 30 m/s, saadaan matkaan kulutettua aikaa 3,3 ms. Tällöin kuvia olisi saatava sekunnissa vähintään 300. [4.]

Vaikutelma pyörivästä liikkeestä saadaan, kun kuvia otetaan yhden pyörähdyksen aikana vähintään viisi. Mikäli kuvia on alle viisi, kohteen pyörivä liike häviää. [4.]

Suurnopeuskuvaamisessa voidaan yrittää ennalta arvioida, mikä on lyhin välttämättä nähtävän tapahtuman matka, ja suhteutettaa se nopeuteen [4]. Tärkeää on myös huomioida, kuinka tarkka kuvasta on saatava, sillä tämä määrää automaattisesti suurimman saavutettavan kuvausnopeuden. Tietokoneen suurnopeuskameran kontrolliohjelma näyttää valitun resoluution jälkeen automaattisesti korkeimman saavutettavan kuvausnopeuden. Tämän jälkeen voidaan harkita, onko kuvausnopeus tarpeeksi suuri. Mikäli kuvausnopeus jää alle halutun nopeuden, on hyvä harkita, tarvitaanko kohteesta näkyviin kokonaisuus vai riittäisikö kenties vain tietty tarkka rajattu alue. Tarkempi rajaus mahdollistaa kuvausnopeuden nostamisen. [4.] Yksi teknisen suurnopeuskuvauksen kompastuskivistä on liian laaja-alainen kuvaus, jossa rajausta ei ole mietitty etukäteen. Suurnopeuskuvauksessa riittää, että kiinnostava asia

saadaan havaituksi. Liian huolimattomalla rajauksella kuvassa on hyödyttömiä pikseleitä. [2.]

Aukkoa ja valotusaikaa asetettaessa on valaistus huomioitava ensin. Mitä enemmän kohteeseen tuodaan valoa, sitä enemmän pystytään muuttamaan aukkoa ja valotusaikaa. Parhaaseen lopputulokseen päästään, kun tuodaan kohteeseen valoa niin paljon kuin mahdollista. Kun valoa on tarpeeksi, voidaan kameran aukkoluku asettaa isoksi ja valotusaika on säädettävissä tilanteesta riippuen mahdollisimman lyhyeksi. Suuri valomäärä mahdollistaa suuren aukkoluvun, mikä puolestaan mahdollistaa syväterävän kuvan kohteesta. Valotusajalla voidaan määrittää, kuinka paljon kohde liikkuu kuvauksen aikana. Lyhyt valotusaika tuo kuvaan staattisuutta. Näillä ominaisuuksilla olevasta kuvasta on tutkijan helppo tarkastella kuvassa tapahtuvia ilmiöitä.

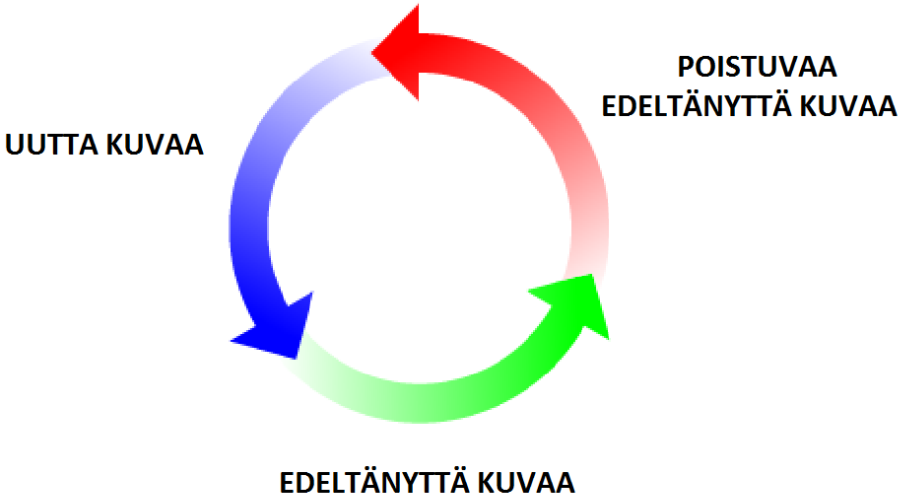
Jos aukkolukua suurennetaan, vaatii kuva voimakkaampaa valolähdettä, jotta lopputuloksen laatu säilyy hyvänä. Samoin on valotusajan kanssa. Kun valotusaikaa pienennetään, täytyy valoa heijastua kerralla paljon kennolle, jottei lopputulos jäisi liian pimeäksi. Suurnopeuskuvauksessa ei voi liikaa korostaa valon merkitystä kuvaustilanteessa, sillä suuri valomäärä helpottaa kuvaajan työtä mahdollistaessaan vapaammat kädet kameran asetuksia säädettäessä ja pyrittäessä parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen. Valo ratkaisee monet kameran asetusongelmat.

Tuotekehityksessä tärkeintä on saada kuvaan tarkasteltava kohde ilman turhia pikseleitä, eli ylimääräiset pikselit heikentävät kuvausnopeutta ja vievät liikaa pikselinkäsittelyaikaa. Ulkona kuvattaessa taivaan kirkkaus on häiritsevää. Se on usein myös epäolennaista, ja sitä tulisin rajata mahdollisimman paljon pois. Tämä onnistuu parhaiten kuvaamalla kohdetta alaviistoon. [4.]

Hyvällä objektiivilla ja kuvan rajauksella ja kameran fyysisellä paikalla ei ole väliä. Kohteen tulisi kuitenkin liikkua sivuttain suhteessa kameraan, sillä syväterävyysakselin suuntainen liike huonontaa kohteen tarkkuutta kamerassa merkittävästi. Kohde muuttuu sameaksi liikkuessaan pois syväterävyysakselilta. [4.]

Phantom-suurnopeuskameroissa on rengasmuisti, johon kuvattava tieto tallentuu. Rengasmuistissa kamera tallentaa jatkuvasti tietyn, ennalta asetetun ajan verran,

kunnes se alkaa pyyhkiä vanhinta kuvaa uuden kuvan tieltä. Kuvassa 7 rengasmuistin toiminta on esitetty graafisesti.



Kuva 7. Rengasmuistin toimintaperiaate [29].

Kameran sisäisestä muistista otokset voidaan tallentaa joko Phantomin Cineflash-muistikortille tai Ethernet-piuhalla suoraan PC:lle. Cineflash-muistikortti sisältää muistia parhaimmillaan 240 gigatavua. Muistikortin tallennusnopeus on parhaimmillaan 4 gigatavua minuutissa, mikä tarkoittaa sitä, että 12 gigatavun suuruisen suurnopeusotoksen tallennus kestäisi 3 minuuttia. [30.] Muistikortti on huomattavasti aikaasäästävämpi tapa kerätä otos heti talteen ennen uuden kuvauksen alkua, mutta valitettavasti muistikortit ovat kalliita. Ethernetin etuudeksi onkin luettavissa johdon halpa hinta, mutta epäedulliseksi työtahdin kannalta sen tekee hidas tiedostojen lataus koneelle. Suurnopeuskameran noin 4 gigatavun suuruisen otoksen siirto Ethernet-piuhalla saattaa kestää jopa 12–15 minuuttia. Phantomin 96 gigatavun kuvamuistista tiedon siirto kestäisi useita tunteja. [27.]

CineFlash-muistikortilta data on myöhemmin siirrettävissä edelleen PC:lle tai muulle erilliselle laitteelle CineFlash Dockin avulla. PC:lle siirrettäessä isojen tiedostojen

siirtoon tarkoitettu eSATA toimii liitäntänä CineFlash Dockille ja helpottaa suuren datamäärän siirtoa. [11.]

Kun suurnopeuskameralla kuvataan täydellä pikseliteholla, kuvausnopeus ja resoluutio eivät vaikuta kuvausaikaan. Kamera tuottaa pikseleitä vakiovauhtia. Kuvan muodon ja kuvausajan välillä on kuitenkin pieni riippuvuus. Jos kuvavaihtoja on paljon, kuluu aikaa enemmän, kuin jos niitä on vähän, sillä kuvan vaihtaminen vie jonkin verran aikaa. Näin ollen pieniä kuvia otettaessa pikseleiden tuottamisnopeus laskee. Pienillä kuvilla onkin suhteessa pitempi kuvausaika kuin suurilla kuvilla. [2.]

Sen sijaan kuvausnopeus ja kuvausaika vaikuttavat toisiinsa. Kuvausaika kasvaa, jos resoluutio pidetään samana, mutta kuvausnopeutta alennetaan. Samassa tallennustilassa on siis yhtä monta kuvaa kuin ennenkin, mutta koska kuvausnopeus on hitaampi, ne edustavat pidempää aikaa. Näin ollen ajallisesti talteen saadaan pitempi aika tapahtumasta. [2; 9.]

Phantomin Miro-sarjan suurnopeuskameroissa on mahdollista valita sisäistä muistia 3 Gt, 6 Gt tai 12 Gt [30]. Taulukossa 2 on esitetty kuvausaikoja 12-gigatavuiselle sisäiselle muistille maksimikuvausnopeudella per resoluutio.

Taulukko 2. Kuvausaika Phantomin M320-kameralla 12 Gt:n muistiin [30].

RESOLUUTIO	KUVAA/SEKUNTI	SEKUNTIA
1920 x 1200	1,380	2,5
1920 x 1200	1,000	3,2
1920 x 1080	1,530	2,6
1920 x 1080	1,000	3,5
1920 x 1080	500	6,9
1920 x 1080	24	144,4
1152 x 1152	2,240	2,8
1152 x 1152	1,000	6,0
1024 x 1024	2,770	2,9

1280 x 720	3,200	2,7
1280 x 720	1,000	8,6
1280 x 720	60	144,4
640 x 480	8,300	3,3
640 x 480	1,000	26

Insinöörityöprojektissa käytössä oli muun muassa Citius Imagingin C100 Centrurio -kamera 4-gigatavuiselle muistille. Sen kuvausajat näkyvät taulukossa 3.

Taulukko 3. Kuvausaika C100 Centurio -kameralla / 4 Gt [31].

RESOLUUTIO	KUVAA/SEKUNTI	SEKUNTIA
1280 x 1024	424	7,4
1024 x 1024	513	8,0
512 x 512	1760	9,3
256 x 256	5430	12,1
256 x 128	10570	12,4
128 x 128	14490	18,1
128 x 64	27027	32,1
64 x 16	87719	47,8
64 x 10	1111111	60,4

Suurnopeuskameroiden tiedostokoot ovat isoja RAW-tiedostoja, sillä kuvausvaiheessa ei suurta datamäärää yksinkertaisesti ehdi kompressoida. RAW-tyyppisessä tiedostossa pikselistä luettu arvo on sellaisenaan, ilman prosessointia. Suuri kuvausnopeus ja paras resoluutio täyttävät muistin nopeasti. [11.] Tätä ei pidä laskea epäetuudeksi suurnopeuskameralle, sillä RAW-tiedostot mahdollistavat monia jälkikäteen tehtäviä parannuksia jälkituotannossa, kuten esimerkiksi valkotasapainon ja kuvan kirkkauden asettamisen.

Vaikka tallennusajat tuntuvat lyhyiltä, kun ne ovat vain muutamia sekunteja, saa tallennusajasta oikean kuvan, kun lasketaan, kuinka kauan kuvatun lopputuloksen katsomiseen tavallisella 25 fps -nopeudella menee aikaa. Lasku on yksinkertainen:

kuvausnopeus x kuvausaika = kuvamäärä
1380 fps x 2,5 s = 3 450 kuvaa

3 450 kuvaa / 25 fps = 138 sekuntia

2,5 sekunnin pituisesta kuvaamisesta saadaan siis lopputulokseksi reilun kahden minuutin pituinen otos. Joissakin tuotekehitysprojekteissa käytetään jopa miljoonan kuvan sekuntivauhtia, ja suhteutettuna se samaan 2,5 sekunnin pituiseen kuvausaikaan saadaan lopputulokseksi yli vuorokauden kestävä video. Tästä vielä havainnollistava taulukko 4 katseluajasta.

Taulukko 4. Katseluaikoja eri kuvausnopeuksille [28].

Kuvausnopeus fps	Kuvausaika sekunti	Katseluaika
25	1	1 s
150	1	6 s
1500	1	60 s
10 000	1	6 min 30 s
100 000	1	~1 h
1 000 000	1	~11 h

Kameraan kiinnitettävä akku mahdollistaa kameran kulkemisen kuvaajan mukana ilman verkkovirran johdon tuomaa rajoitusta. Suurnopeuskameroiden akku mahdollistaa kuvaamisen vaikeissa olosuhteissa. Aina kuvauspaikalla ei ole mahdollisuutta kytkeä kameraa verkkovirtaan tai verkkovirta on hankalan etäisyyden päässä.

Työskenneltäessä pelkän kameran akun varassa ilman verkkovirtaa on akun oltava ehdottoman varma kameran väliaikaisen DRAM-muistin toimintaperiaatteen vuoksi. Kameran keräämä tieto DRAM-muistiin on väliaikaista, ja kuvat pysyvät DRAM-

muistissa vain niin kauan, kuin kamera on päällä. Jos DRAM-muistia ei tyhjennetä välillä ulkoiselle muistikortille, on data välittömästi menetetty, kun kamera suljetaan tai siihen tuleva virta katkaistaan. Kun kamera saa virtaa akusta, on tärkeää varmistaa akun kestoaika säännöllisin väliajoin ja vaihtaa akku uuteen sopivalla hetkellä, kun kuvattava tieto on saatu turvaan ulkoiseen muistiin.

Yleisesti ottaen tarvitaan suuren kulutuksen kannalta paljon tehoa, joten vara-akkuja on hyvä olla koko ajan valmiina vaihtoa varten. Parhaassa tapauksessa kameraan on kiinnitettynä niin verkkovirta kuin akku, jottei mahdollinen sähkökatkos aiheuta datan välitöntä katoamista.

3.2 Suurnopeuskuvaus tuotekehityksen apuna

Yritysten keskinäisessä kilpailussa tuotekehityksen tehokkuudella on suuri merkitys. Usein ensimmäisenä markkinoille tuotteensa tuonut yritys johtaa markkinoita, ja tästä syystä tuotekehitykseen panostetaan. [32.] Suunnittelijat yrittävät jatkuvasti joko parantaa jo markkinoilla olevaa tuotetta tai luoda vanhan pohjalta kokonaan uuden tuotteen. Yritysten välisessä kilpailussa on tärkeää, että tuotekehitys on mahdollisimman tehokasta. Filmiaikana koko tuotanto on saattanut seistä viikkoja vikaa haettaessa, sillä filmikameralle kuvattu materiaali on pitänyt ensin lähettää kehitykseen ja saada takaisin analysoitavaksi. [2.] Teknologian siirryttyä digitaaliseen aikaan on onneksi tällaisilta aikaa vieviltä prosesseilta säästytty.

Suurnopeuskamerat ovat tuoneet tuotekehitykseen paljon helpotusta suunnittelijoille ja tehostaneet koko prosessia. Ennen suurnopeuskuvausta on voitu muodostaa vain ennustavia teorioita tuotteen käyttäytymisestä ja vian syystä. Nykyään suurnopeuskameralla on mahdollista tallentaa tuotteen komponenttien liikkeet ja kerätä ”tosi elämän” tietoa tuotteen ominaisuuksista ja liikkeestä. Tämän tiedon avulla suunnittelijat pystyvät joko vahvistamaan teoriansa tai diagnosoimaan toimimattoman tuotteen ongelman. [32.]

Käyttämällä suurnopeuskameraa tuotekehityksessä vältytään testattavaan tuotteeseen liitettäviltä lisälaitemittareilta, jotka pahimmassa tapauksessa saattavat antaa virheellistä tietoa estämällä tuotetta käyttäytymästä sen luonnollisella tavalla. Kun suurnopeuskameran tuottama video yhdistetään kuva-analyysityökaluun, pystyvät tuotekehittäjät mittamaan muun muassa tuotteen nopeuden, siirtymän ja kiihtyvyyden ilman erillisiä fyysisiä mittareita. Tästä syystä vika-analysointi ei perustu ainoastaan pohdintaan, vaan tulokset voidaan havaita kuvista.

Tärkeintä tuotekehitykselle on varmistaa, vastaako tuotteen käyttäytyminen teoriaa. Kameralla kerätään testattavasta tuotteesta tärkeää tietoa sen fyysisistä ja mekaanisista toiminnoista. Monesti suurnopeuskameran avulla voidaan tuotteen mahdolliseen vikaan reagoida jo paikan päällä, esimerkiksi tehtaan koneessa ilmenneisiin poikkeavuuksiin tai puutteisiin.

Kuvattavan tapahtuman toistettavuus on tärkeä huomioon otettava asia, eritoten kuvausta suunniteltaessa ja kuvaustilannetta pystytettäessä. Suurnopeuskuvaaminen tarkoittaa aina automaattisesti erikoiskuvaustilanteita. Jos kuvattavasta kohteesta ei ole tärkeää saada paljon kuvia lyhyessä ajassa, käytettäisiin tilanteeseen tavallista video- tai järjestelmäkameraa. Suurnopeuskuvauksen kohteet ovat usein joko itse suurella nopeudella liikkuvia komponentteja, kuten tehtaan massatuotantolaitteet, tai ihmissilmälle liian nopeasti tapahtuvia muodonmuutoksia objekteissa. Myös kemian alalla on suurnopeuskameran avulla mahdollista tutkia nopeita reaktioita kahden tai useamman aineen välillä.

Tapahtuman ainutlaatuisuus asettaa kuvaajalle paljon paineita. Kohteen liikkeitä on toisinaan mahdotonta ennustaa, eikä voida tietää varmaksi, saadaanko tapahtumasta yhtäkään kuvaa. Tapahtuman kaappaamista voidaan kuitenkin edesauttaa, kun puitteet valoineen ja kameran asetuksineen ovat kunnossa. Tärkeissä ja uniikeissa tapahtumissa olisi kameroita hyvä olla useampia kuvaamassa samaa tilannetta. Paitsi että tapahtumien kaappaaminen talteen olisi todennäköisempää, myös samasta tilanteesta olevat eri kuvakulmat ovat tärkeää materiaalia tutkijoille. [33.]

Digitaalisen kuvaamisen etuuksiin vanhaan filmiin verrattuna kuuluu kuvan monitorointimahdollisuus. Kuvausta pystytettäessä on mahdollista monitoroinnin avulla

testata muun muassa, onko kohteessa tarpeeksi valoa, esiintyykö valojen välkyntää ja onko tarkennus kohdistettu oikein. Näin saavutetaan paras mahdollinen otos. [26.]

Sähköinen ohjaaminen

Suurnopeuskuvauksessa kuvausajat ovat lyhyitä, minkä vuoksi on tärkeää saada talteen ”se oikea sekunti”. Suurnopeuskuvaaminen poikkeaakin suuresti tavallisesta kuvaamisesta tallennustekniikan osalta. Tavallisella videokameralla kuvattaessa kameran tallennus käynnistetään ennen tapahtumaa ja lopetetaan, kun tapahtuman katsotaan olevan ohitse. Koska suurnopeuskamera kuitenkin toimii rengasmuistilla, on halutun tapahtuman jälkeen pysäytyksen tapahduttava nopeammin.

Phantom-kameroissa kuvataan jatkuvasti, ja muistin täyttyessä karsiutuvat vanhimmat kuvat sitä mukaa pois, kun uutta kuvaa tulee tilalle. Tätä kutsutaan rengasmuistiksi. Jatkuvasti kuvattaessa pitääkin kuva osata pysäyttää oikealla hetkellä, kun haluttu tapahtuma on tallentunut kokonaisuudessaan kameraan. Arkipäiväisissä kuvauksissa kuvaajalla on useita sekunteja aikaa reagoida tapahtuman loppumiseen ja pysäyttää kuvaaminen. Tällaisesta arkipäiväisestä kuvaamisesta on hyvänä esimerkkinä vesihanan aukaisun ja veden valumisen kuvaaminen. Kuvaajan on helppoa todeta kuvaus loppuneeksi, kun hanan avauksen jälkeen vesi on ehtinyt koskettaa lavuaarin pohjaa.

Valitettavasti ihmisen reagointi on silmänräpäystekniikassa toisinaan aivan liian hidasta, kun kyseessä ovat erikoisemmat kuvattavat tapahtumat. Aina kuvaajan ei ole mahdollista olla kuvaushetkellä kameran luona tai kuvaajan on mahdotonta nähdä, milloin haluttu tapahtuma on jo ehtinyt loppua. Näiden oikeiden sekuntien muistiin nappaamiseksi onkin kuvauksen helpottamiseksi kehitelty auttavia toimintoja, kuten liipaisu- ja tahdistuskuvaaminen.

Esimerkkitapaus liipaisukuvaamisesta on tykin ammuksen kuvaaminen. Aseiden tuotekehityskuvaamisessa on luonnollisesti ihmisen vaarallista olla yhtä lähellä kuvattavaa tapahtumaa, kuin mitä kameran tulee olla. Jotta ammuksen koko matka saataisiin kuvaan sen tykistä ulostulemisesta aina maaliin asti, on tärkeää ajoittaa kuvaaminen oikein. Tällaisessa tilanteessa on usein apuna ammuksen liikkeen mukana liikkuva peili, jonka heijastusta suurnopeuskamera kuvaa ja saa täten talteen koko

ammuksen kulkeman liikeradan. Kauempana tapahtumista olevalla kuvaajalla on kameraan yhdistetty painonappi, jolla kameran kuvaus pysäytetään hallitusti, kun ammus on saavuttanut maalinsa. Kameralle siis välitetään sähköisesti signaali lopettaa kuvaaminen. [4; 9.]

Liipaisukuvaamisessa määrätään etukäteen ”muistettava” aika. Kun kamera on saanut sähköisen lopettamissignaalin, se jatkaa kuvaamista vielä etukäteen säädetyn ajan verran ja muistaa kameran muistin koosta riippuen viimeiset edeltäneet sekunnit. Usein tutkijoita kiinnostavat vielä tapahtuman loppumisen jälkeiset hetket. [4.]

Linjatuotannoissa on usein viantunnistusohjelma, joka esimerkiksi pysäyttää tuotannon, kun ohjelma havaitsee poikkeaman linjaston toiminnassa. Tätä valmista sovellusta hyväksikäyttämällä ja kamera siihen kytkemällä voidaan linjaston ongelmatilanteista saada tärkeää tietoa heti vian ilmettyä. Laitteiston lähettäessä vikasignaalin kulkeutuu sen tieto samalla kertaa tapahtumia kuvaavalle suurnopeuskameralle, joka pysäyttää kuvaamisen ja toivottu tieto viasta on saatu hyvin todennäköisesti tallennetuksi. [34.]

Tahdistetussa kuvaamisessa taas on kyseessä yksittäisten kuvien ottaminen tietyn tapahtuman hetkellä tai tietyn tapahtuma-ajan verran. Virvotusjuomatehtaalla tällainen esimerkkitapaus voisi olla korkin asentaminen pulloon -tapahtuman tallennus. Kamera on tahdistettu ”korkinasentajarobotin” kanssa yhteen. Kameraan on etukäteen määrätty, paljonko kuvia otetaan, kun robotilta on saatu pulssi sen aloittamasta ja lopettamasta tehtävästä. Näitä kuvia analysoimalla voidaan nähdä, liittyykö tapahtumaketjuun kenties jokin häiriö. [4; 1.]

4 Suurnopeuskuvauksen opastaulukoe

4.1 Opastaulukokeen lähtökohdat

Insinöörityön osana tehdyssä opastaulukokeessa oli tarkoitus selvittää suurnopeuskameroita hyödyntäen opastaulun käyttäytyminen auton törmätessä tauluun 100 ja 35 kilometrin tuntivauhdilla. Testattavan taulun tarkoitus on törmäyksissä hidastaa auton nopeutta ilman ihmisvahinkoja. Koetta varten testialueelle

pystytettiin ensin testattava opastaulu ja valmisteltiin törmäysauton pinta mattamaalilla auringon heijastavuuden estämiseksi metallipinnasta. Auton sisälle asennettiin tarvittavat mittarit ja anturit.

Projektissa olivat käytössä Citius Imagingin kameroista mallit C100 Centurio ja C10. Taulukossa 5 on esitettynä C100 Centurio -kameran eri kuvausaikoja.

Taulukko 5. C100 Centurio- kameran kuvausaikoja [31].

Resoluutio	Nopeus kuvaa/Sekunti	Kuvausaika sekunti 512 Mt	Kuvausaika sekunti 4 Gt
1280 x 1024	424	0,9	7,4
1024 x 1024	513	1,0	8,0
512 x 512	1 760	1,2	9,3
256 x 256	5 430	1,5	12,1
256 x 128	10 570	16	12,4
128 x 128	14 490	2,3	18,1
128 x 64	27 027	4,0	32,1
64 x 16	87 719	6,0	47,8
64 x 10	111 111	7,5	60,4

Taulukossa 6 on koottuna C100 Centurio -kameran ominaisuuksia.

Taulukko 6. C100 Centurio -kameran ominaisuudet [31].

Resoluutio	1280 x 1024...64 x 10 kuvapistettä, säädettävissä.
Kuvausnopeus	Nopeus ja kuvausaika riippuvat valitusta erottelukyvystä.
Tallennusmoodit	Säädettävä nopeus, liipaistavissa, ulkoisesti tahdistettu, sekvenssitallennus.
Herkkyys	Säädettävissä, vastaa ASA-lukemaa 50–2000.
Valotusaika	Säädettävissä: lyhimmillään 4 µs kaikilla kuvausnopeuksilla, pisimmillään 520 ms hitailla kuvausnopeuksilla.
Harmaasävyt	256 harmaatasoa.
Kuvapiiri	17,9 x 14,3 mm.

Kuvamuisti	Kuvat tallennetaan kameran sisäiseen RAM-muistiin. Kameralta ne voi siirtää PC:n levylle. Muistin koko valittavissa 512 Mt–4 Gt.
Teholähde	Erillinen verkkovirtalähde (AC) tai 8–18 V:n akku, 15 W.
Liipaisusignaali (trigger)	0–100 % ennakko- tai jälkitriggaus.
Sync/Trigger input	Isoloitu 2–48 V tai kontaktitieto (polariteetti valittavissa). Isoloitu 12 V itse rakennettavia kytkentöjä varten.
Sync/Stroboscope output	TTL-taso, isoloimaton. Voidaan käyttää kameraryhmien (enint. 8 kameraa) tahdistamiseen.
Merkkivalot	4 lediä.
PC-liitäntä	USB 2.0, kaapeli 4,5 m. USB-toistimien avulla 24,5 m.
Optiikka	F-sovite (Nikon, Sigma). Optiona K-sovite (Pentax).
Jalustakiinnitys	1/4" kierre
Mitat	250 x 141 x 70 mm (ilman optiikkaa). Paino 1 kg.
Ohjelmisto	Citius-ohjelma, Windows-käyttöjärjestelmä 2000, XP, Vista

Koko suurnopeuskameratyöskentely aloitetaan selvittämällä kuvaustapahtuman standardimääräykset. Opastaulutörmäyskokeen standardi sisältää videokuvalle määräykset, joissa törmäyksestä on oltava vähintään kaksi kuvakulmaa, törmäyksestä tulee olla nähtävissä vähintään 12 metriä törmäyksen jälkeistä tapahtumaa ja kuvausnopeuden on oltava vähintään 200 kuvaa sekunnissa. C10 ja C100 Centurio vastaavat videokuvalle asetettuja määräyksiä.

Standardimääräyksissä on määritelty tarkat kriteerit siihen, miten opastaulun on suoriuduttava törmäystestistä. Opastaulun on läpäistävä molemmat testit saadakseen hyväksytyn testituloksen.

4.2 Kuvauksen kulku

Opastaulukoe suoritettiin ulkona paksun ja tumman pilvipeitteen vallitessa koko kuvauksen ajan taivaalla. Sateen ja kovan tuulen vuoksi kamerat sijoitettiin katosten alle.

Tavallisesti kamerat sijoitellaan kohteeseen nähden 90 asteen kulmaan, jolloin tapahtumasta saadaan kuvaa kohtisuoraan sivusta ja suoraan kohti lähestyvää autoa. Autotörmäystestissä tämä ei ole mahdollista ihmisten turvallisuuden ja kaluston ehjänä säilymisen takia. Tässä testissä kamerat olivat opastauluun nähden noin 75 asteen kulmassa. Kuvassa 8 on havainnollistava kuva kameran sijoittelusta, jossa oikeanpuoleinen C10-kamera kuvaa törmäystä kohtisuoraan sivusta.

Kuva 8. Kohtisuoraa sivusta kohdetta kuvaava suurnopeuskamera.

Kamerat kytkettiin aggregaatilla tehtyyn verkkovirtaan, eikä lisäakkuja käytetty. Datan siirtämiseksi kamera yhdistettiin USB-johdolla kannettavaan tietokoneeseen. Näin johtojen määrä pidettiin mahdollisimman vähäisenä. Kuvassa 9 nähdään kameroiden ja kannettavan tietokoneen sijoituspaikat. Kamerassa käytettiin 4 Gt:n muistia.

Kuva 9. Suurnopeuskamerat kiinnitettyinä kannettavaan tietokoneeseen USB-johdolla.

Objektiiviksi valittiin Nikonin 50 mm:n kiinteäpolttovälinen optiikka, sillä sen kuvakoko täytti standardimääräyksen, jossa vaaditaan törmäyksen jälkeisistä tapahtumista vähintään 12 metrin pituinen kuva-ala. Lisäksi tällä optiikalla saatiin kuvan vasemman reunan alkuun testiauton mittainen väli ennen opastekylttiä. Tämä väli oli oltava, sillä auton akselien väli oli mitattu, jotta suurnopeuskameran kuvasta voidaan myöhemmin varmistaa laskennallisesti auton nopeus ennen törmäystä.

Kameran ISO-arvo oli 300, ja aukoksi säädettiin 2.8 tumman ja paksun pilvipeitteen vuoksi, joka ei sallinut toivottavaa pienemmän aukon käyttöä. Valotusaika jäi näin ollen 1,48 millisekuntiin, vaikka toivottu arvo olisi ollut puolet pienempi.

Resoluutio pidettiin suurimmillaan (1280 x 1024), ja kuvausnopeudeksi määräytyi 423 kuvaa sekunnissa, joka oli hyvin riittävä suhteessa standardin määräykseen. Taulukosta 6 nähdään kameran tekniset arvot.

Taulukko 7. C100 Centurio -kameran asetukset kuvauspaikalla.

Objektiivi	Nikonin 50 mm kiinteäpolttovälinen
ISO-arvo	300
Aukko	2.8
Valotusaika	1,48 millisekuntia
Resoluutio	1280 x 1024
Kuvausnopeus	423 fps
Kuvausaika	7 s

Aukkoluvun olisi ollut hyvä olla 1.4, vaikka kuvan syväterävyys olisikin kärsinyt. Kuvattava kohde liikkui viistossa kameraan päin ja olisi poistunut joka tapauksessa syväterävyysalueelta. Jos aukkoa olisi pienennetty puolet, olisi valotusaika saatu asetettua 7,40 millisekuntiin ja kuvasta olisi saatu staattisempi.

Kuvausaika oli 7 sekuntia. Kuvauksen aloitus säädettiin liipaisutekniikan avulla alkavaksi 1 sekunti ennen nauhoituskäskyn alkua, jolloin loput 6 sekuntia tallentuvat nauhoituskäskystä eteenpäin. Näin kuvaaja saattoi antaa tallennuskäskyn hyvissä ajoin ennen törmäystä eikä hänen tarvinnut kiinnittää huomiota kameran käyttämiseen.

Nauhoituksen toiminnan ja kuvan oikeiden asetusten varmistamiseksi tehdään testausnauhoitus hyvissä ajoin ennen kuvattavan tapahtuman alkua, jotta mahdolliset virheet löydetään ja saadaan korjatuksi. Nauhoituksiin liittyvien testauksien lisäksi on PC:lle nauhoitettaessa tärkeää huomioida, että näytönsäästäjä on pois päältä. Näytönsäästäjä estää pahimmassa tapauksessa koko nauhoituksen alun oikealla hetkellä. Testausvaiheessa tehdään myös työtä, joka on valmistelevaa nauhoituksia varten, kuten videotiedostojen hakemiston luonti valmiiksi haluttuun tallennuskohteeseen tietokoneella.

Testausvaiheessa on tärkeää varmistaa myös kuvaajan turvallisuus. Törmäyskokeita tehdään, sillä auton käyttäytymisestä törmäystilanteessa on ennen testausta olemassa vain teorioita, eikä sen todellista käyttäytymistä voida aina tarkasti ennustaa. Tästä syystä kuvaajan on huomioitava oma turvallisuutensa ja tarvittaessa asennettava kameraan ulkoinen liipaisukuvaus.

Tallennuksessa kameran sijoittelun, asetusten säädön ja testauksen jälkeen jää jäljelle vain oikea-aikainen kuvauksen aloittaminen, joka opastaulutestissä perustui käytännön kokemukseen. Tärkeää tallennuksessa on kuitenkin selvittää, tallennetaanko video

omalle vai asiakkaan tietokoneelle. Tämä tehdään tietoturvasyistä. Opastaulutestissä tallennettiin omalle kannettavalle tietokoneelle ja siirrettiin tiedostot asiakkaan ulkoiselle kiintolevylle. Videoista otettiin myös varmuuskopio omalle ulkoiselle kiintolevylle. Otetun kuvan pituudeksi tuli 994 millisekuntia, ja tiedostokoko oli 554 megatavua.

Kuvauksen lopputulos

Suurnopeuskameran videon perusteella tehtiin matemaattisia ja fysiikaalisia laskuja, joiden tuloksia verrattiin opastetaululle asetettuihin kriteereihin. Videon perusteella tehdyt laskut osoittivat, ettei opastetaulu läpäissyt ensimmäisessä törmäystestissä kriteereitä. Näin ollen myöskään toisella nopeudella suoritettavaa törmäystestiä ei suoritettu. Suurnopeuskamerasta matemattisesti laskettuja tuloksia tullaan vertaamaan autoon asennettujen mittareiden lukemiin, millä on laadunhallinnallinen merkitys. Mittareiden lukemien tulee vastata suurnopeuskameran antamia lukemia ja toisinpäin.

5 Pohdinta ja johtopäätökset

Insinöörityössä kerättiin käytännön kokemusta suurnopeuskuvausprosessista, ja kokemusten pohjalta voidaan todeta, että suurnopeuskuvauksella vapaudutaan teoriapohjaisesta vika-analysoinnista ja saadaan visuaalista pohjaa vian tunnistamista ja korjausta varten.

Raportissa kuvattua suurnopeuskameroiden työprosessia voidaan soveltaa ja syventää eri aloilla yhä enemmän. Mielestäni monet tieteen ja taiteen alat hyötyisivät suurnopeuskameroiden tuomasta avusta muun muassa virhe- ja liikeanalyysitutkimuksissa. Insinöörityön pohjalta pohdin tutkimusesimerkkejä eri aloille. Metropolia Ammattikorkeakoulun koulutusaloilla suurnopeuskameraa voitaisiin käyttää hyödyksi esimerkiksi hyvinvoinnin ja toimintakyvyn koulutuksessa apuvälineiden kehitystutkimukseen. Kulttuurin ja luovan alan koulutuksessa suurnopeuskuvaus voisi toimia osana musiikkivideota. Rakennus- ja kiinteistöala hyötyisi rakennusmateriaalin kestävyystutkimuksissa suurnopeuskameroista. Teollisen laitteen liikeanalyysitutkimuksesta olisi hyötyä teollisen tuotannon koulutusalalle. Terveys- ja

hyvinvointialalla voitaisiin suurnopeuskameraa käyttää laadunhallinnalliseen tarkkailuun. Tieto- ja viestintäteknologiassa puolestaan suurnopeustekniikkaa voitaisiin hyödyntää osana suoraa televisiolähetystä.

Työni keskittyi teknisen suurnopeuskuvaamisen käytännön työhön, ja työssä nostettiin esiin erityisesti Citius Imagingin ja jonkin verran Phantomin kameramalleja. Kiinnostava ja työstäni puuttuva asia olisi eri alojen tarpeisiin tarkoitettujen kameroiden vertailu teknisten ominaisuuksien osalta, esimerkiksi resoluution, kuvanopeuden ja kuvapiirin pikselien koot ja niiden soveltuvuus eri hankkeisiin. Voitaisiin pohtia, miksi elokuvien kuvauksessa ja tutkimuskehityksessä käytetään eri kameramalleja.

Keskityin työssäni ainoastaan tekniseen kuvaamiseen, mutta selvittämättä jäi, miten suurnopeuskameroita voidaan hyödyntää media-alalla. Insinöörityön aikana järjestettiin Suomessa ensimmäinen suora lähetys Jyväskylästä mäkihypyn ja yhdistetyn SM-kilpailuista, jossa suurnopeuskuvaa käytettiin. Valitettavasti tapahtuman tekninen raportointi olisi vaatinut kokonaan uuden aiherajauksen. Tieto- ja viestintäteknologian osalta olisi kuitenkin hyödyllistä ja loogista jatkaa siitä, millaista suurnopeuskuvaus olisi teknisesti viihdepuolella.

Insinöörityön voidaan katsoa onnistuneen tavoitteissaan. Insinöörityöraportissa selvitetään kameran eri ominaisuuksien vaikutuksia ja raportoidaan suurnopeuskuvauksen työprosessi käytännön teknisessä suurnopeuskuvauksessa.

Lähteet

1 Granberg, Mikko. Vanhala, Harri. 2013. Citius Imaging. Keskustelu 25.2.2013.

2 Vanhala, Harri. 2013. Diplomi-insinööri, Citius Imaging. Sähköpostikeskustelut.

3 Vanhala, Harri. 2003. Suurnopeuskuvauksen historiaa. Julkaisematon katsaus.

4 Vanhala, Harri. 2003. Opastusta suurnopeuskuvaajille. Julkaisematon opas.

5 Skoglund, Gösta. 1959. Harrastajan valokuvauskurssi kuvina. Helsinki: WSOY.

6 Lensing for Digital High Speed Cameras. 2013. Verkkodokumentti. Vision Research. <http://www.visionresearch.com/Products/Accessories--Options/Lensing/>. Luettu 10.3.2013.

7 Leppänen, Petri. 2004. Objektiivit. Verkkodokumentti. <http://www.elisanet.fi/pw/pages/objektiivit.html>. Luettu 28.3.2013.

8 Rinne, Olli. 2004. Kuvaus hämärässä epäonnistuu. Mitä teen? Verkkodokumentti. <http://www.pikseli.fi/digifaq/5_hamara.html>. 11.4.2004. Luettu 15.4.2013.

9 UUTUUS-Phantom M- sarja. 2012. Verkkodokumentti. Citius Imaging. <http://www.citiusimaging.com/index.php?id=48>. Luettu 15.4.2013.

10 Niska, Risto. 2012. Miljoona kuvaa sekunnissa. Tekniikan Maailma 05/2012, s.112–115.

11 Ankeney, Jay. 2013. The Science of High-Speed Video. Verkkodokumentti. <http://www.tvtechnology.com/news/0086/the-science-of-high-speed-video/217255>. 1.15.2013. Luettu 26.3.2013.

12 Vickers, Jon. Sensor Technology Primers: CCD, CMOS. Verkkodokumentti. Stemmer Imaging. <ftp://ftp.imaging.de/websites/documents/tech-tips/en-Tech-Tip-Sensor-Primer-TTCAM5-201108.pdf>. Luettu 28.3.2013.

13 Rinne, Olli. 2003. Digikameroiden kennotyyppien eroja. Verkkodokumentti. <http://digifaq.info/digi_omat/kennot.html>. 10.9.2003. Luettu 10.3.2013.

14 CMOS. Verkkodokumentti. Stemmer Imaging. <http://www.stemmer-imaging.co.uk/en/glossary/2365-CMOS>. Nähty 28.3.2013.

15 Liang, Chia-Kai. Peng, Yu-Chun. Chang, Li-Wen. Chen, Homer H. Rolling Shutter Distortion Correction. Abstract. Verkkodokumentti. MPAC Lab. <http://mpac.ee.ntu.edu.tw/Exhibition/rolling-shutter.php>. Luettu 19.3.2013.

16 Coates, Colin. Fowler, Boyd. Holst, Gerhard. 2009. Scientific CMOS Technology, a High-Performance Imaging Breakthrough. Verkkodokumentti. <http://www.scmos.com/files/high/scmos_white_paper_8mb.pdf>. 16.6.2009. Luettu 10.3.2013.

17 Rhodes, Phil. 2013. The Rolling Shutter Effect Explained. Verkkodokumentti. Redsharknews. <http://www.redsharknews.com/technology/item/343-the-rolling-shutter-effect-explained>. 8.1.2013. Luettu 15.4.2013.

18 Green, Barry. Sensor artifacts an CMOS rolling shutter. Verkkodokumentti. DVXUser. <http://dvxuser.com/jason/CMOS-CCD/>. Luettu 15.4.2013.

19 CMOS rolling shutter distortion. Verkkodokumentti. <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:CMOS_rolling_shutter_distortion.jpg>. 15.6.2010. Nähty 15.4.2013.

20 Biddle, Sam. 2011. This is what it looks like you're your camera phone vibrates. Verkkodokumentti. <http://cache.gawkerassets.com/assets/images/4/2011/08/rollingshutteroffice.jpg>. 20.8.2011. Nähty 15.4.2013.

21 Global Computer Vision. Verkkodokumentti. Freie Universität Berlin. <http://www.inf.fu-berlin.de/lehre/WS02/robotik/Vorlesungen/Vorlesung2/ComputerVision-2.pdf>. Luettu 4.3.2013.

22 Digital camera sensors. 2013. Verkkodokumentti. Cambridge in colour. <http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/camera-sensors.htm>. Luettu 4.3.2013.

23 Nijhuis, Giesbert. Megapixels vs image sensor size. Verkkodokumentti. DigiCom. <http://www.laesieworks.com/digicom/digicom-images/BayerFilter.png>. Nähty 15.4.2013.

24 Burnett, Colin M.L. 2006. Bayer pattern on sensor profile. <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bayer_pattern_on_sensor_profile.svg>. 28.12.2006. Nähty 15.4.2013.

25 Lighting for Ultra High -Speed. Verkkodokumentti. Vision Research. <http://www.visionresearch.com/Products/Accessories--Options/Lighting/>. Luettu 15.4.2013.

26 Seger, Chris. 2006. Colloquium on ”Illumination for High Speed Imaging”. Verkkodokumentti. <http://www.aostechnologies.com/fileadmin/user_upload/PDFs/Process_Monitoring/Colloquium_Illumination.pdf>. 6/2006. Luettu 11.4.2013

27 Rosen, Jesse. 2012. Lightning for High-Speed Video. Verkkovideo. <http://www.creativeplanetnetwork.com/digital-cinematography/news/lighting-high-speed-video/58709>. 24.2.2012 Katsottu 12.4.2013

28 Grangberg, Mikko. 2013. Suurnopeuskuvaus. Luento. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

29 Stow, Matt. 2008. How to create circular arrows. Verkkodokumentti. <http://mattstow.com/articles/circular_arrows/circular_arrows.png>. 6.6.2008. Nähty 5.4.2013.

30 Phantom Miro M & LC320S Digital High-Speed Cameras. 2012. Verkkodokumentti. Vision Research. <http://www.visionresearch.com/uploads/Docs/Products/DS_WEB-MIRO_M-LC320S.pdf>. Luettu 26.3.2013.

31 C100 Centurio – luotiakin nopeampi. 2012. Verkkodokumentti. Citius Imaging. <http://www.citiusimaging.com/index.php?id=47>. Luettu 11.4.2013.

32 Product Development and Charaterization. Verkkodokumentti. Vision Research. <http://www.visionresearch.com/Solutions/Product-Development--Characterization/>. Luettu 25.3.2013.

33 Highly instrumented ballistic testing of high performance composite materials. 2012. Verkkodokumentti. Vision Research. <http://www.visionresearch.com/uploads/docs/casestudies/CS_WEB-DIC2.pdf>. 31.7.2012. Luettu 21.4.2013.

34 High-Speed Machinery Applications. Verkkodokumentti. Vision Research. <http://www.visionresearch.com/Solutions/High-Speed-Machinery/>. Luettu 25.3.2013.