



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Kuvaan perustuva mittaus

ASE-2130 Anturifysiikka ja signaalit

Heimo Ihalainen 27.10.2015

Sisältö

- Valo
- Kameran valoanturi
- Kamera
- Kuva
- Kuva-analyysi
- Konenäkö
- Kuvaan perustuva mittaus



Valo: Fotonit

$$E = h\nu = hc/\lambda$$

- Valo muodostuu fotoneista, joita kiittää ilmassa likimain valon nopeudella $c = 299792458$ m/s lähes joka suuntaan
- Fotonit vaikuttavat melkein pelkästään varattuihin hiukkasiin
- Kunkin fotonin energia on $E = h\nu = hc/\lambda$,
 $h = 6.62606957(29) \times 10^{-34}$ Js on Planckin vakio,
 ν on taajuus, λ on aallonpituus



- Valovirran yksikkö lumen on määritelty (candelan kautta) taajuudella 540×10^{12} Hz (n. 555.17 nm), $1 \text{ lm} = 1/683 \text{ W}$
- Tämä tarkoittaa 555 nm fotoneja
 $1 \text{ lm} = 4.092 \times 10^{15}$ fotonia/s
- Toisaalta muilla kuin 555 nm silmän herkkyys on pienempi
- Valaistuksen ollessa 1 lx (luksi) osuu neliömetrille yhden lumenin valovirta

Tilanne	Valaistus	Fotonia/s/m ²
kesäpäivä	100 000 lx	n. 4.1×10^{20}
toimisto	800 lx	n. 33×10^{17}
olohuone	100 lx	n. 4.1×10^{17}
täysikuu	0.25 lx	n. 1.0×10^{15}

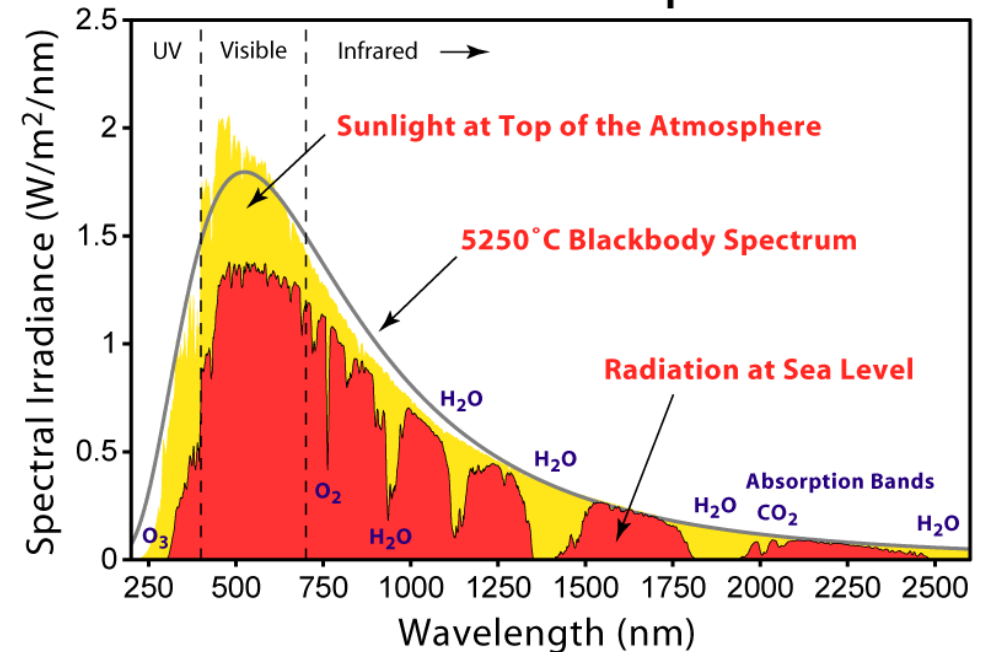
- Fotoneja on siis yleensä läsnä runsaasti – muitakin aallonpituuksia.



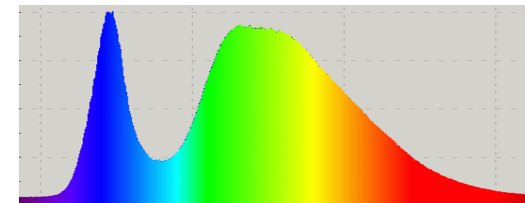
Valo: Spektri

- Näkyvä valo on sähkömagneettista säteilyä, jonka aallonpituus on välillä n. 400-700 nm (taajuus n. 400-700 PHz, aaltoluku 1400-2500 1/mm, energia 1.8-3.1 eV)
- Se pystyy aiheuttamaan monia kemiallisia reaktioita
- Pidemmät aaltopituudet (IR) vaikuttavat yleensä lämmittämällä kohteitaan
- Lyhemmät aallonpituudet (UV) ovat voimakkaasti ionisoivia – ja siksi esimerkiksi iholle vaarallisia

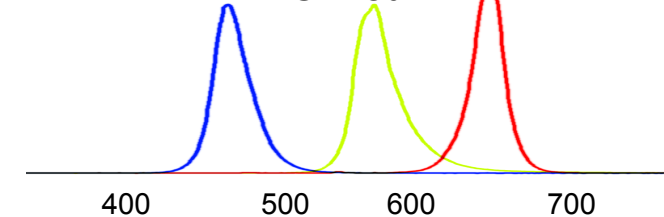
Solar Radiation Spectrum



Valkoinen fosfori-ledi

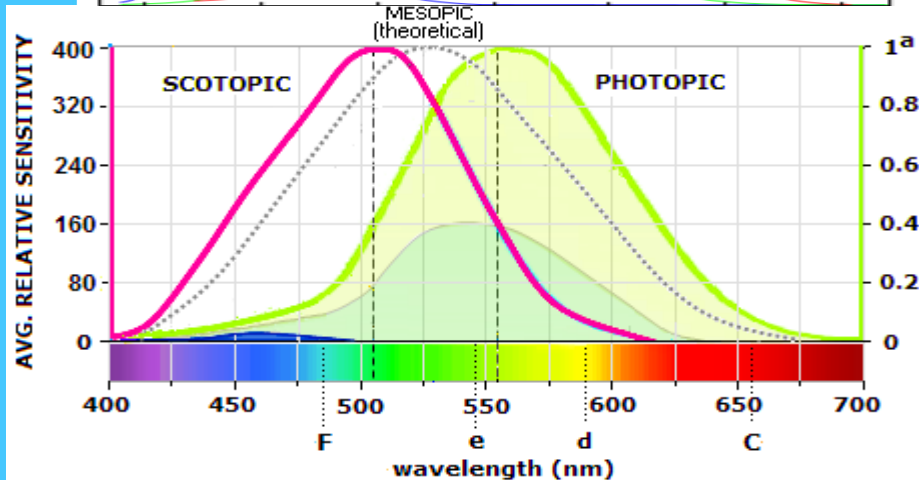
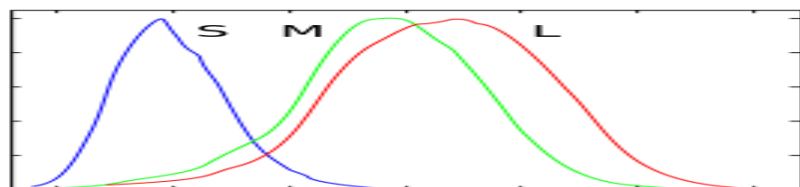


RGB-ledi

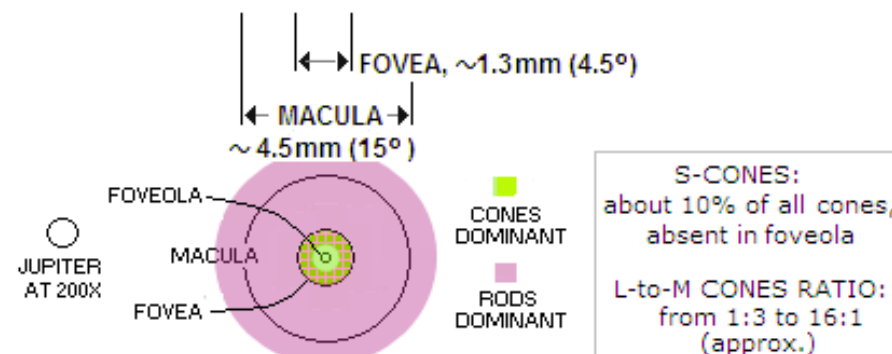
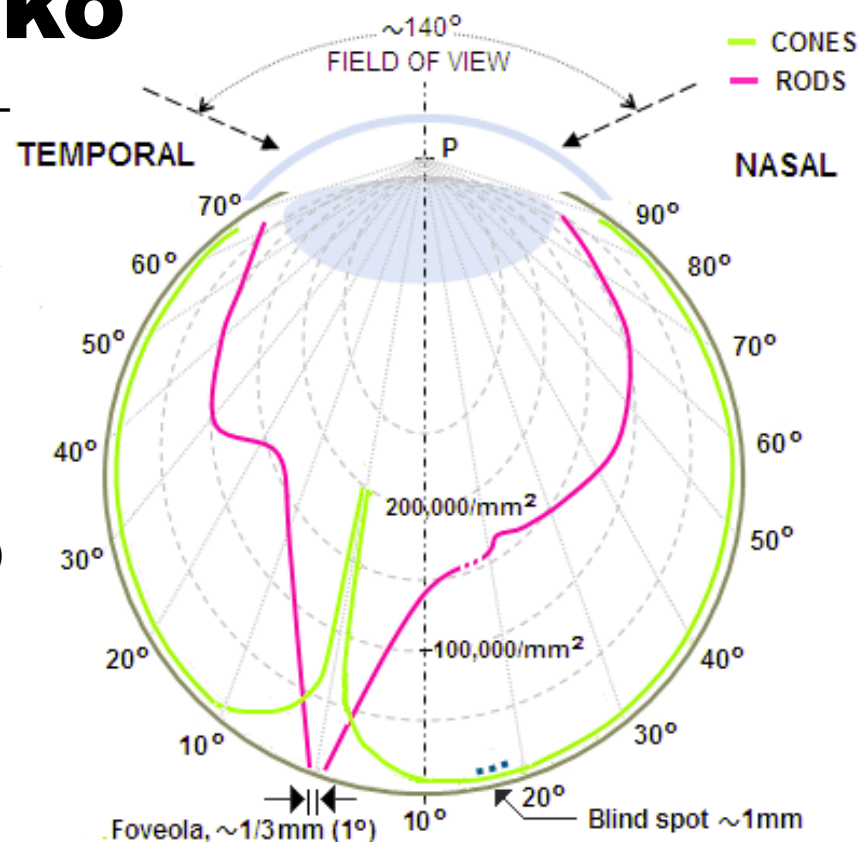


Valo: Silmä ja näkö

- Näkeminen on silmien ja aivojen yhteistyötä – terävä näkö halkaisijaltaan vain n. 1% avaruuskulmaan
- Varsinainen kuva syntyy mieleemme aivoissa
- Ihmisellä (ja muilla kädellisillä) – toisin kuin nisäkkäillä yleensä – on kyky nähdä myös punainen väri
- Värinäkö (tappisolut, cone, n. 5×10^6) on keskittynyt terävän näön alueelle (foveon), muulla alueella (sauvasolut, rod, n. 100×10^6) ovat nopeampia ja valoherkempiä



DISTRIBUTION OF RETINAL PHOTORECEPTORS



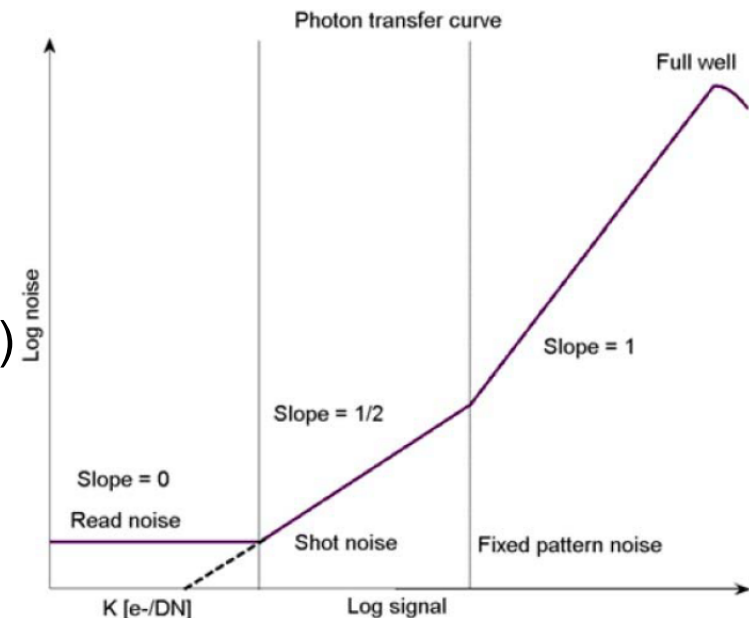
vaan perustuva mittaus

5-marras-15

5

Kameran valoanturi: Puolijohdeanturi

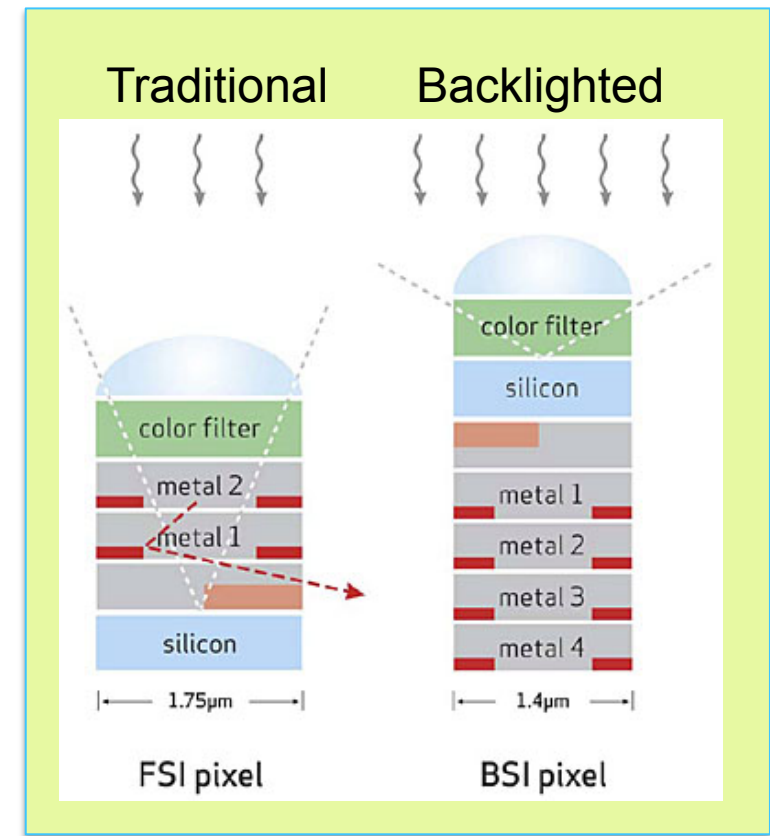
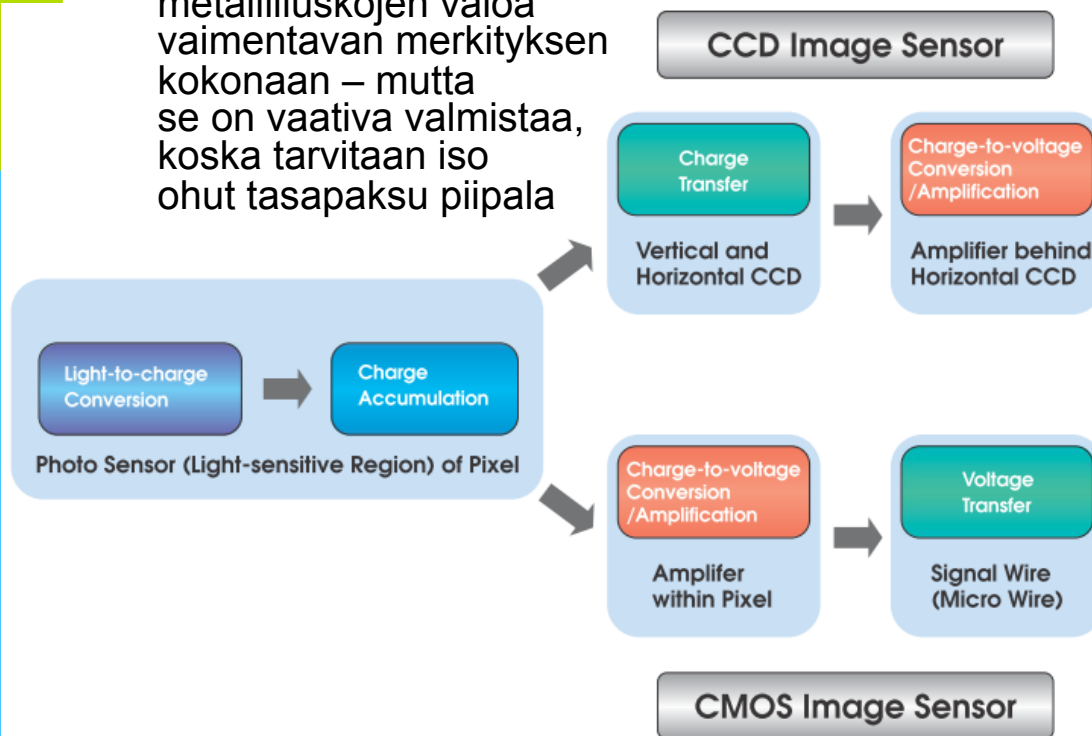
- Kyseessä on matriisianturi, jossa on valoherkkiä pikseleitä – näistä kerätään talteen fotonien aiheuttama varaus
- Anturin herkkyys riippuu pikselien pinta-alasta
 - Pikselimäärä = anturin ala / pikselin ala
 - Varauskaivon koko riippuu pikselin pinta-alasta
 - Suuripinta-alaiseen pikseliin on helpompi saada aikaan suurempi varauskaivo -> suurempi maksimisignaali ja S/N-suhde
- Kamera-anturin kohina
 - Suurilla signaaliarvoilla vallitseva kohina on signaaliin verrannollista
 - Keskialueella merkittävin kohina tulee valosta itsestään (fotonimäärä on Poisson jakautunut satunnaissuure)
 - Pienillä signaalitasoilla elektroniikan aiheuttama kohina on merkittävin



Kameran valoanturi: CCD, CMOS

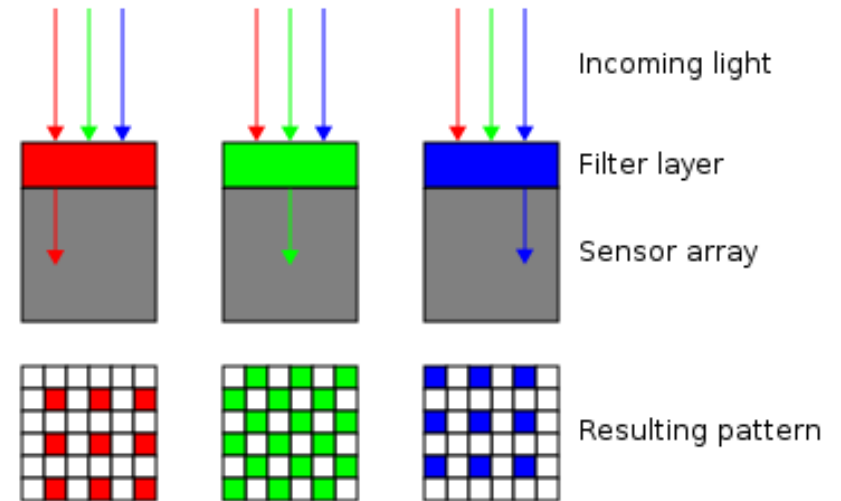
Kun antureiden viivaleveys on pieni, ei näillä anturityypeillä tule enää merkittävää eroa kuvan laatuun – molemmat ovat vielä käytössä, mutta CMOS yleistymässä CMOS tekniikka vie vähemmän virtaa ja antaa mahdollisuuden sijoittaa piipalalle pikselikohtaisia lisätoimintoja

Takavalaistu rakenne poistaa piillä olevien metalliliuskojen valoa vaimentavan merkityksen kokonaan – mutta se on vaativa valmistaa, koska tarvitaan iso ohut tasapaksu piipala

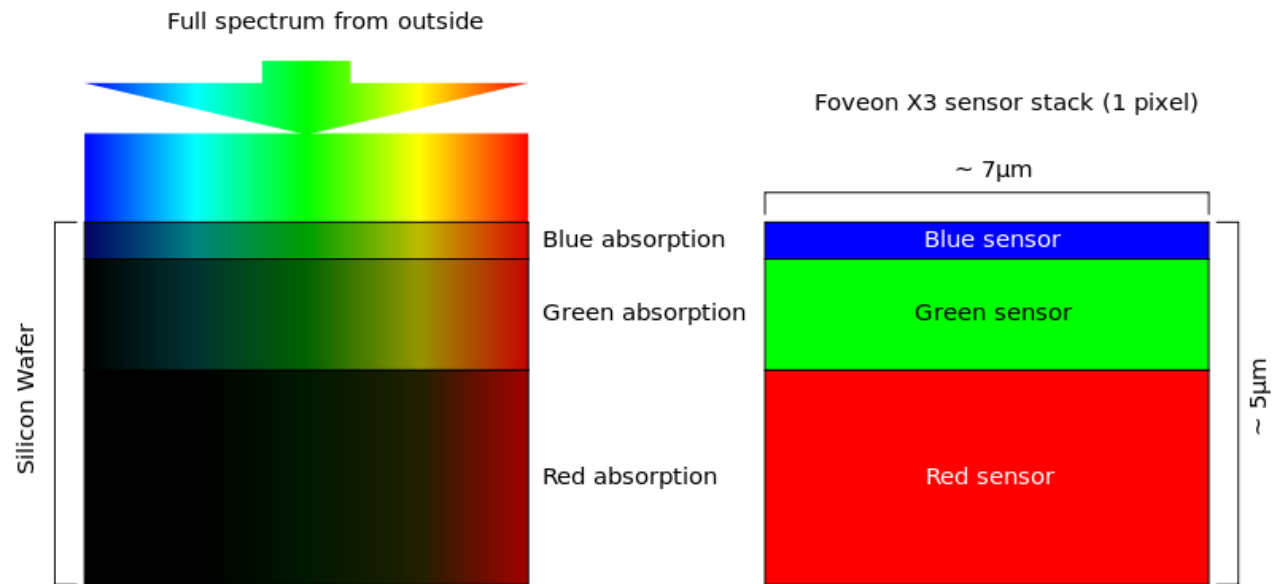


Värianturi: Bayer-Matriisi tai Foveon

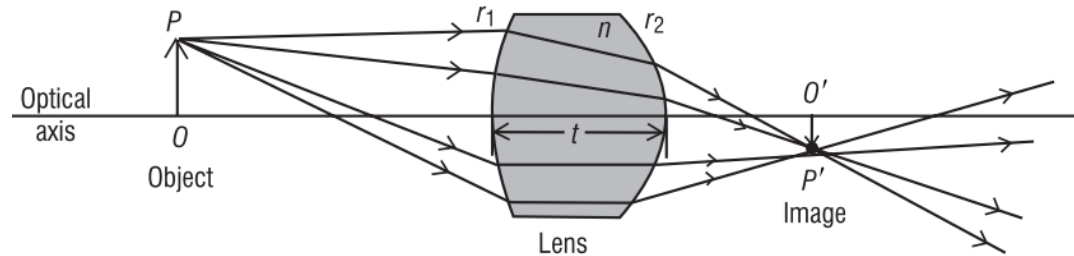
- Bayer-matriisi (Kodak) on patentoitu tapa järjestää RGB-päävärien mukaiset suotimet piikennon pinnalle
- Vihreitä on kaksinkertainen määrä kuin punaisia tai sinisiä – näin saadaan ainakin yhdellä värikanavalla hyvä resoluutio
- Muitakin suotimien sijoitteluita on esitetty (esim. suotimettomat pikselit), mutta ne eivät ole toistaiseksi yleistyneet



- Foveon-kenno on 2000-luvulla käyttöön otettu uusi teknologia, jossa värisuodatus tapahtuu piissä (S/N-suhde ei hyvä)
- Toistaiseksi piianturit ovat ylivoimaisesti yleisimpiä (Nano-partikkelit mahdollisia korvaajia)



Kamera: Optiikka

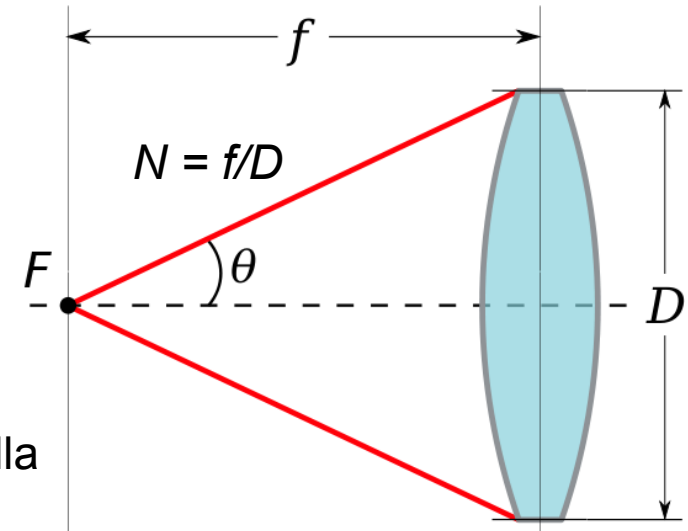


- Kamerassa tarvitaan optinen järjestelmä kokoamaan valoa (fotoneja) ja muodostamaan kohteesta kuva anturille
 - Yleensä käytetään linsskejä – joskus peiliobjektiiveja
 - Nykyisin optiset järjestelmät suunnitellaan käyttäen simulointiohjelmistoja, joissa geometrisen optiikan keinoin valonsäteitä linssirajapintojen läpi kuljettaen suunnitellaan linssiyhdistelmä ja arvioidaan sen suorituskyky (Tavoitteena on: terävä kuva, runsas valovoima, vähän kuvausvirheitä, ym.)
 - Koska pallomainen hionta on huomattavasti halvempaa kuin ei-pallomainen (asfäärinen), pallopintoja käytetään runsaasti – tästä seuraa epäideaalisuutta (spherical aberrations)
 - Osa aberratioista on luonteeltaan geometrisia – koordinaatteja vääristäviä
 - Geometriset vääristymät ovat pääosin säteen suuntaisia (radial aberration). Poikkisuuntaista vääristymää esiintyy, jos linssit siirtyvät sivuun keskilinjasta
 - Koska eri värinen valo taittuu lasissa eri lailla tulee väritaittovirheitä (chromatic aberrations). Tätä voidaan korjata eri taittokertoimisista laseista tehdyillä kerroslinssillä.
 - Linssivirheiden ja äärellisen syväterävyysalueen tähden, kuvan terävyys eri kohdissa anturia on erilainen – esiintyy sumenemista (blurring)
- Optisessa järjestelmässä tarvitaan mekaanisia siirtymiä tai linssimuodon muutoksia, jotta voidaan suorittaa tarkennus (focusing) tai kuvakoon (avauskulman) muutos (zooming)
 - Uusissa linssissä on lukuisia sähkömoottoreita suorittamassa näitä toimintoja – siksi niihin ei saada helposti entisenlaista käsiohjausta (pumpuzoomi)
 - Useimmissa nykylinssissä on myös optinen kuvanvakausta (optical image stabilization, vibration reduction), joka samalla siirtelee kuvan optista keskipistettä



Kamera:

Kuvausjärjestelmä



- Numeerinen aukko (numeric aperture) N
 - Jaetaan polttoväli linssin tai aukon halkaisijalla
 - Suuri aukkoluku = pieni aukkosuhde
 - Pienellä aukolla suuri syväterävyysalue – suurella aukolla runsaammin valoa
 - Tämä on yleensä kameroissa säädettävissä
- Kuvaushetki t_0 ja valotusaika T
 - Kameralla anturille päästetään valoa tietyllä hetkellä (suljin, shutter)
 - Anturille päästetään valoa tietty aika – valotusaika
 - Lyhyt suljinaika pysäyttää liikkeen – pitkä päästää anturille enemmän valoa
- Herkkyys ja kohina
 - Elektronisten kameroiden herkkyys ei yleensä ole säädettävä, mutta kennon vahvistus on => samalla, kun ISO-arvoa kasvatetaan, kohina lisääntyy
- Kuvan tallennus tiedostoon
 - Kamera pakkaa tallennettavan kuvan yleensä häviöllisellä tavalla (.jpg, .mov) säästääkseen tilaa muistikortilla.
 - Mittaustarkoituksiin halutaan dataa anturilta alkuperäisessä muodossa (.raw), jolloin esiintyvien virheiden analyysi on mahdollista.



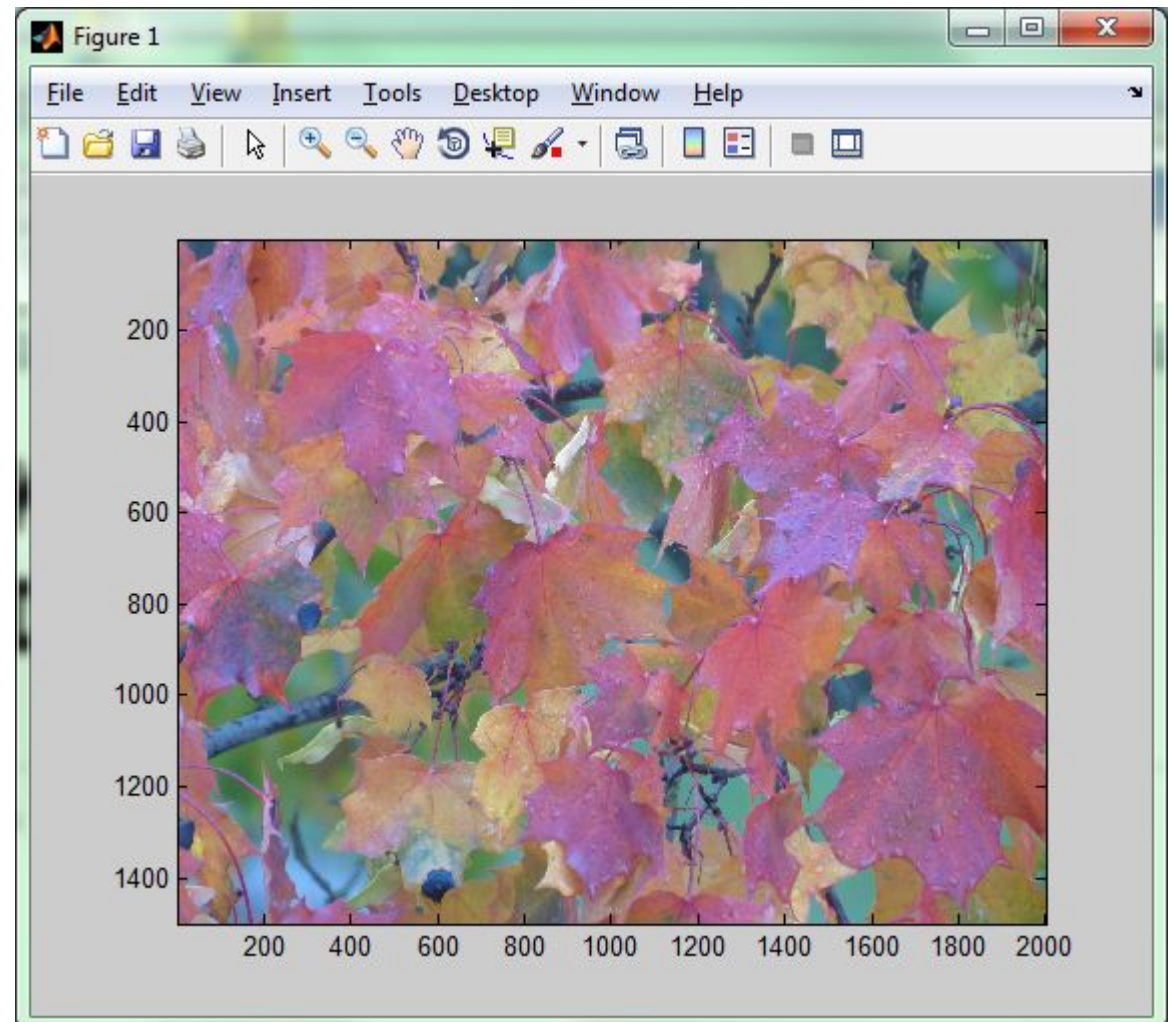
Kuva: Kuvatiedostot

- Tietokoneen levyille kuvat talletetaan kuvatiedostoina
- Tavallisten kameralla otettujen kuvien katseluun ja paranteluun on saatavana monia eri tarkoituksiin sopivia ohjelmia (katselu, värien asettelu, kohinan poisto, terävöitys ym.)
- Kuvankäsittelyyn ja kuva-analyysiin halutaan yleensä pakkaamattomana tallennettu kuva (tässä .dng ja .rw2), koska siinä on kaikki kamerasen saama informaatio tallella
- Nämä vievät kuitenkin huomattavasti enemmän levytilaa – katseluun ja tulostettaviksi sopivia kuvia saa kyllä pakatuistakin
- Herkät värimuunnokset ja vaativammat kuvankäsittelyn tai kuva-analyysin tavoitteet edellyttävät kuitenkin mahdollisimman täydellistä informaatiota (esim. 12bit tai 14bit datatyyppejä)



Kuva: Digitaalinen kuva

- Tietokoneen sisällä digitaalinen kuva on taulukkomuotoista dataa, jota voi käsitellä kuin muitakin numeroita tai signaaleja
- Tässä esimerkkinä kuva syksyn lehdistä
- Kuvasta on poimittu pieni pala vasemmasta ylänurkasta (MATLAB)
 - Siitä punainen kanava on esitetty numeroina
 - Tietokoneet käsittelevät tällaisia datamääriä jo varsin nopeasti
 - Kuvankäsittelyn avulla tästä voitaisiin esim. poistaa kohinaa tai vahvistaa värejä
 - Tässä käytettiin .jpg-kuvaa



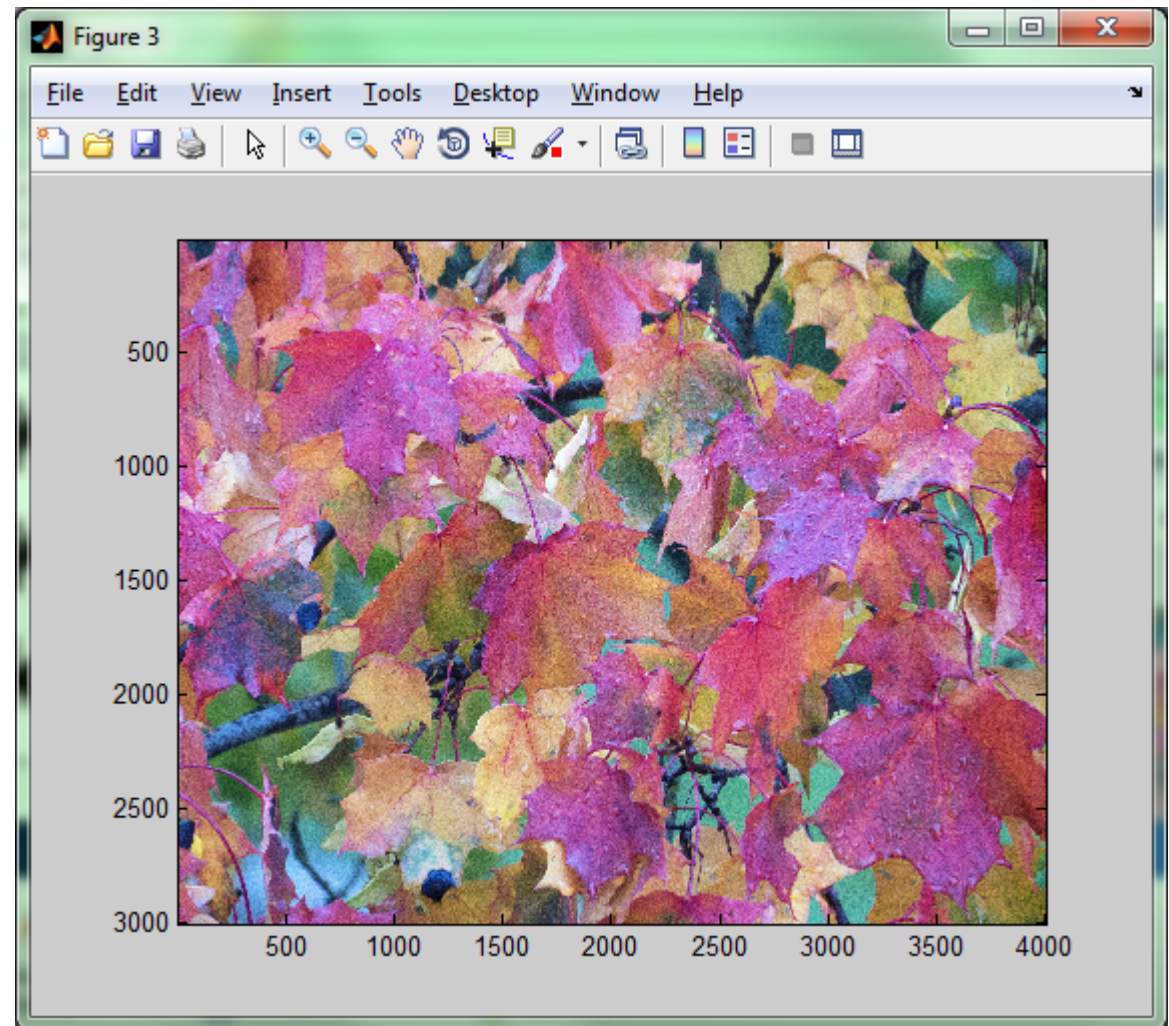
165	166	165	165	164	163	161	160	164	162
167	167	167	167	166	165	164	164	165	163
170	170	170	170	169	169	169	168	168	166
174	171	173	171	172	171	173	171	171	167
175	174	174	172	173	173	174	174	173	170
179	176	176	173	175	173	176	175	175	172
182	180	179	176	176	176	177	177	176	174
184	182	180	178	177	177	178	179	175	174



Digitaalinen Kuvankäsittely

kuva → kuva

- Kuvankäsittelyllä on syvennetty edellisen sivun kuvan värejä ja poistettu siitä kamerakohinaa
- Tässä on käytetty Photoshop:ia, kuva on luettu sinne raakatyypinä (.dng) ja tallennettu 16-bitin tiffinä (.tif), joka on sitten luettu MATLAB:iin
- Tällaiset toimenpiteet voi tietysti tehdä MATLAB:illakin, mutta Photoshop:issa on tähän varsin kehittyneet työkalut valmiina

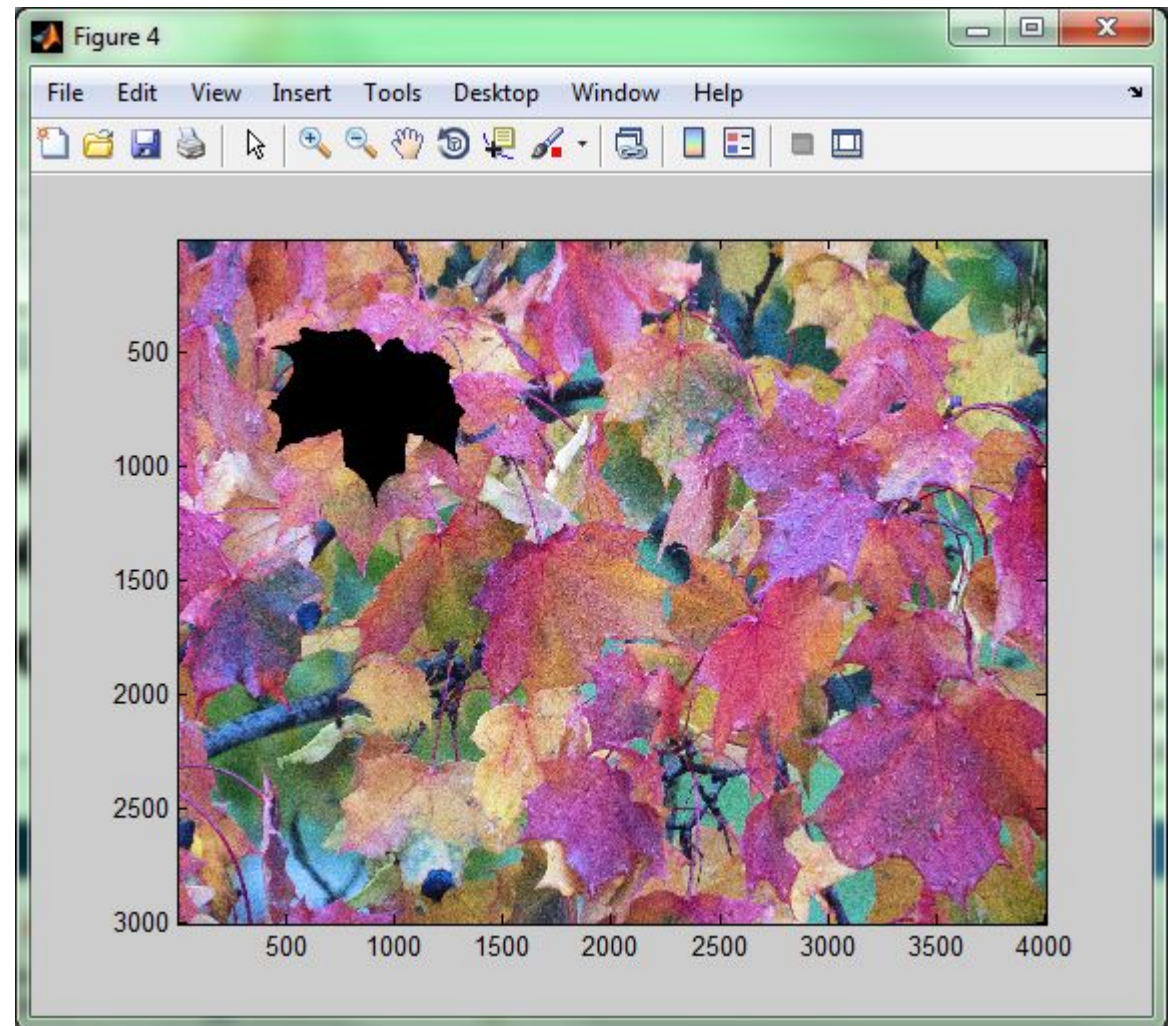


41245	46229	43509	39885	40487	42561	39175	38075	41691	40627
41261	41639	43281	44745	42769	45381	46921	40799	41295	50305
44497	45593	50241	50471	47121	44021	46839	49723	47825	48619
54473	45031	45221	48529	50241	48883	47037	48493	46273	43655
51659	48573	43785	46285	49565	46373	45011	47251	47103	45497
42551	50319	51251	45497	43239	44115	44517	45957	49523	51485
47355	43135	48473	51305	48633	49521	48959	44673	48519	49539
51595	51491	48873	50749	51535	50809	49655	48367	47759	49347

Kuva-analyysi

kuva → tulos

- Kuvasta on etsitty yksittäinen lehti
- Sitten on laskettu lehden pinta-ala ja reunaviivan pituus pikseleinä
- Lehden keskimääräinen väri ja lehden värikanavien keskihajonta ovat seuraavina tuloksina
- Kuva-analyysin avulla voidaan laskea hyvin monenlaisia tuloksia – paljon tässä esitettyä vaativampia menetelmiä käyttäen
- Kuva-analyysia on käytetty erityisesti tieteellisiin kuviin



Lehden pinta-ala 388320 pix

Reunaviivan pituus 4308 pix

Värin keskiarvo mr = 0.7435, mg = 0.3426, mb = 0.6416

Keskihajonta sr = 0.0732, sg = 0.0944, sb = 0.1489



Konenäkö

- Kuva-analyysin ja reaaliaikaisen data-analyysin yhdistelmää on totuttu kutsumaan konenäköksi
- Konenäköä alettiin tutkia ja kehittää 1980-luvulla, ja se on tuottanut paljon hyödyllisiä sovelluksia
- Koska laskennan täytyy tapahtua nopeasti, eivät sovellukset yleensä käytä kovin vaativia analyysimenetelmiä
- Alalla on kehitetty merkittävästi
 - Nopeita kuva-analyysimenetelmiä
 - Rinnakkaisprosessointia ja siihen kykeneviä prosessoreita
 - Vaativia ja tehokkaasti toimivia valaistusmenetelmiä ja – laitteistoja
- Nykyisillä prosessoreilla tällä alalla on paljon kehitysmahdollisuuksia
- Mobiililaitteisiin saa nykyisin monenlaisia konenäkösovelluksia



Kuvaan perustuva mittaus

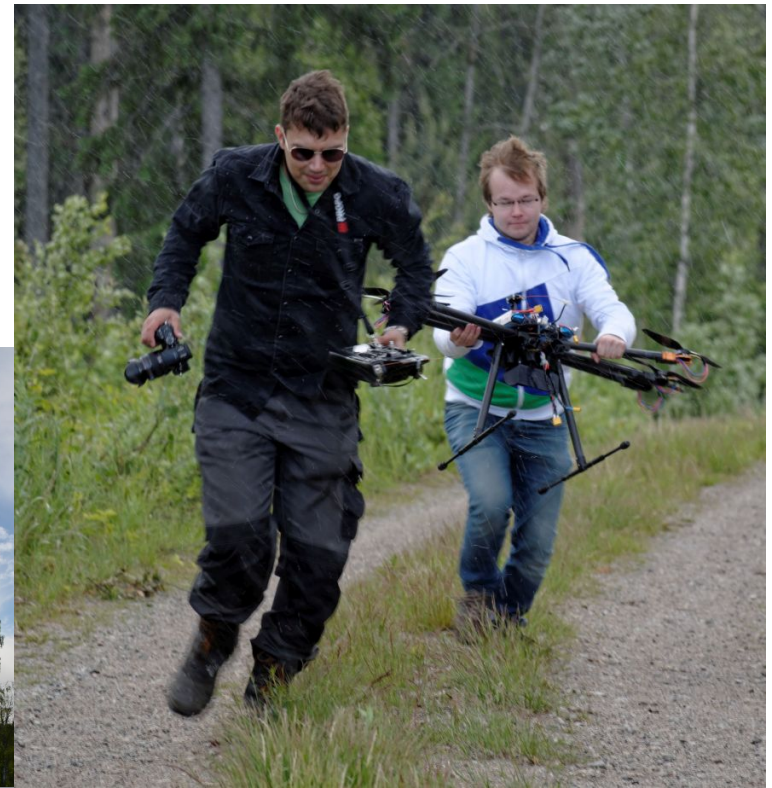
- Konenäön osa-alue, jolla
 - Keskitytään mittaukseen ja mittaustulosten käsittelyyn matemaattisin menetelmin
 - Mittaustuloksen sisältämän informaation määrä riippuu tulokseen sisältyvän satunnaisvirheen jakaumasta – erityisesti jakauman leveydestä, jota kuvataan keskihajonnalla (tai varianssilla)
- Kuvaan perustuvan mittauksen tulos voi olla
 - Yksittäinen luku
 - Useiden tunnuslukujen muodostama joukko (piirrevektori)
 - 2D-tulos – siis tulos voi olla myös uutta asiaa kuvaava kuva
 - 3D-tulos – esimerkiksi monikameramittauksessa tai fotometrisessä stereossa
- Kuvaan perustuva mittaus tuottaa näköaistin kaltaisia tuloksia, joita tarvitaan monenlaisissa järjestelmissä



Esimerkkejä: Hexacopter

Sähkökäyttöisen
kopterin avulla
kamera saadaan
kuvakulmaan, josta
on parempi näkyvyys
haluttuihin kohteisiin

Erityisesti
maanpinnan,
liikkuvien koneiden
tai metsän
3D-mittauksiin



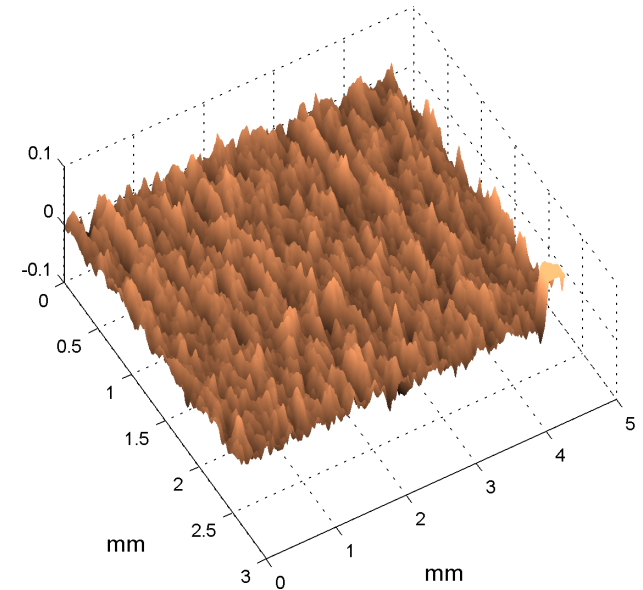
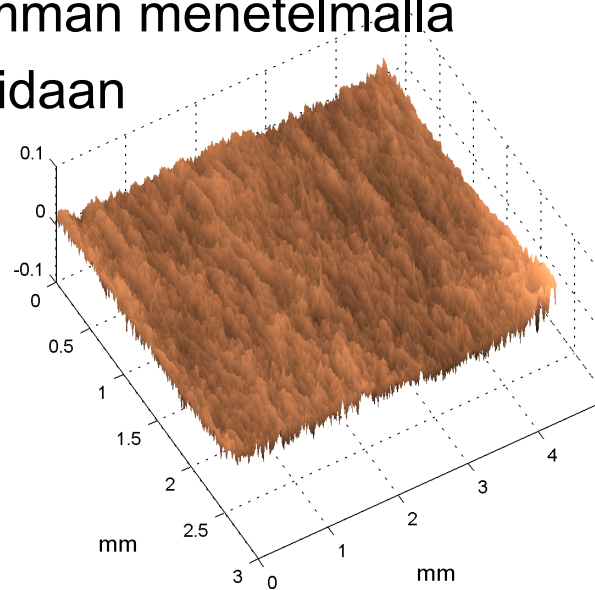
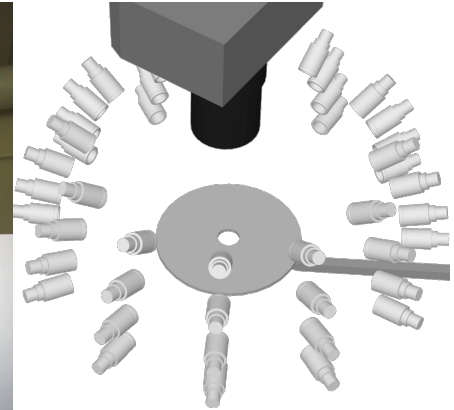
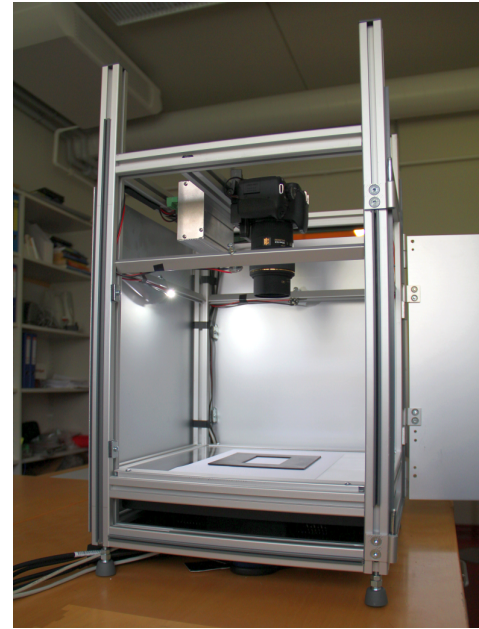
Esimerkkejä: Hexacopter

- Koneista pyritään tekemään autonomisia. Esimerkiksi itsenäisesti metsässä liikkumaan kykeneviä – tällöin eri kamerapositioneilla on runsaasti käyttöä
- Toiminto edellyttää, että autonomiset koneet pystyvät kommunikointiin ja yhteistoimintaan



Esimerkkejä: Viistovalomittaus

- Viistosta tuleva valo luo matalalle pinnalle valotiheyden, joka riippuu vain valon tulosuunnasta ja pinnan gradientista
- Gradientti ratkaistaan pisteittäin pienimmän neliösumman menetelmällä
- Gradientista integroidaan pinnan topografia
- Ohessa mitattuja paperin pinnan muotoja

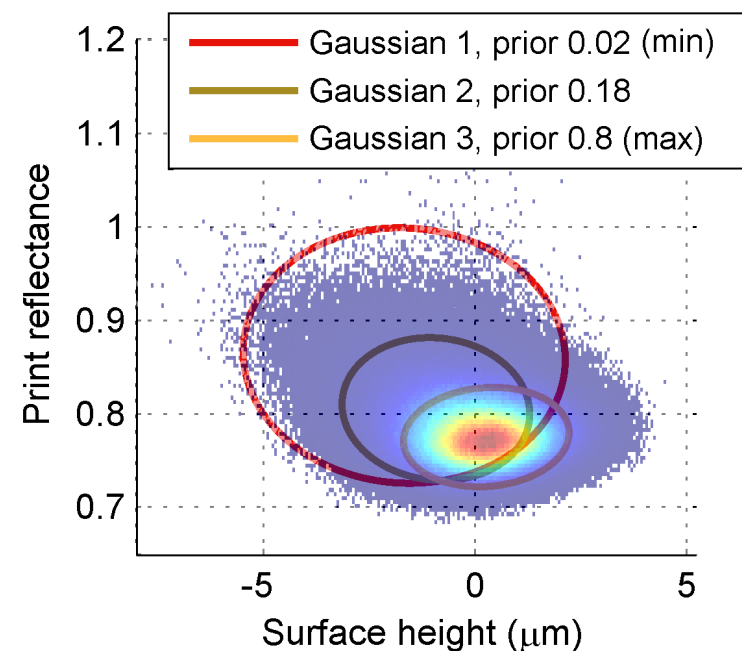
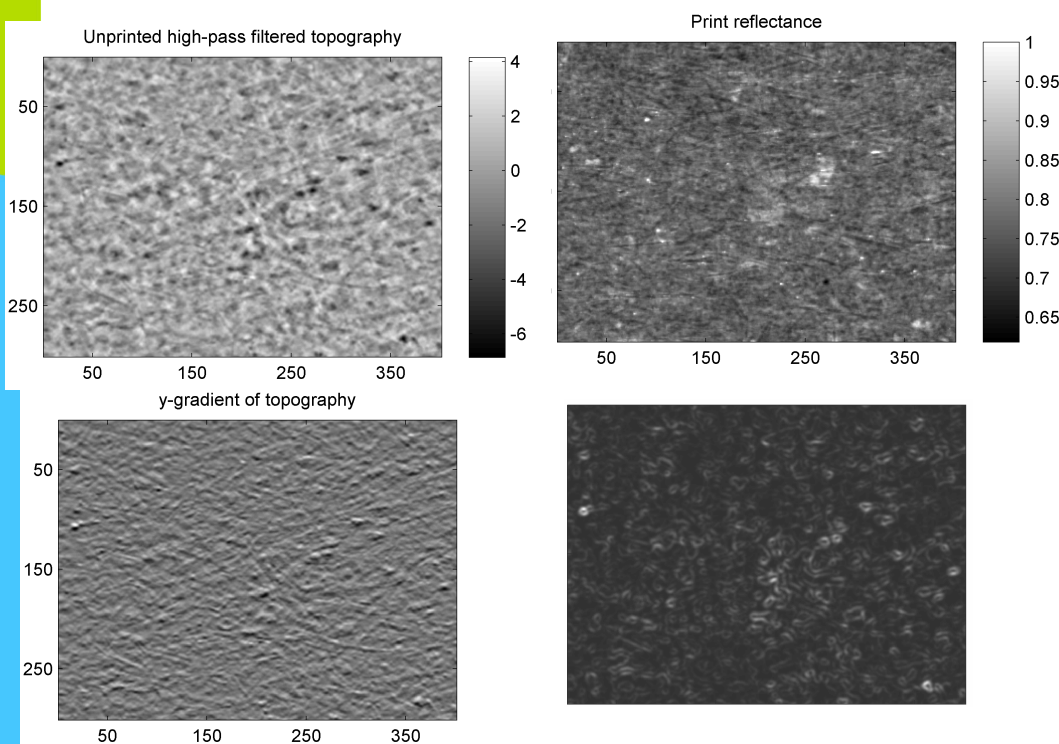


Kuvaan perustuva mittaus



Esimerkkejä: Viistovalomittaus

- Paperin pinnanmuoto kuvaa monipuolisesti paperin laatua mm. painettavuutta (painojälkeä) ja pinnan kuitujen orientaatiota (arkkien taipumista ja kulkemista)



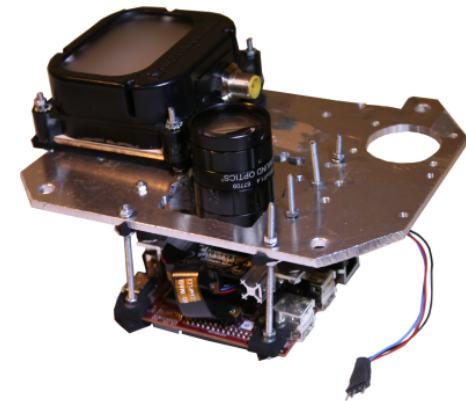
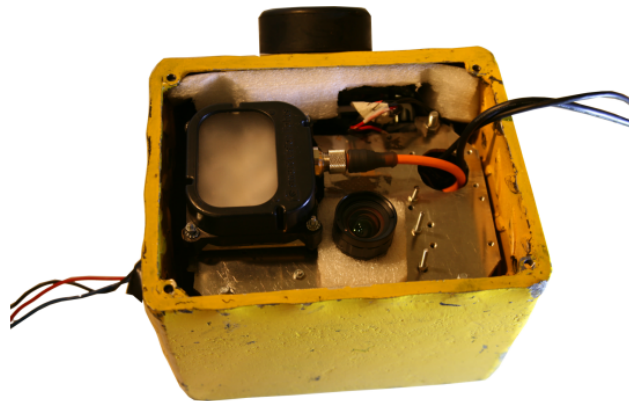
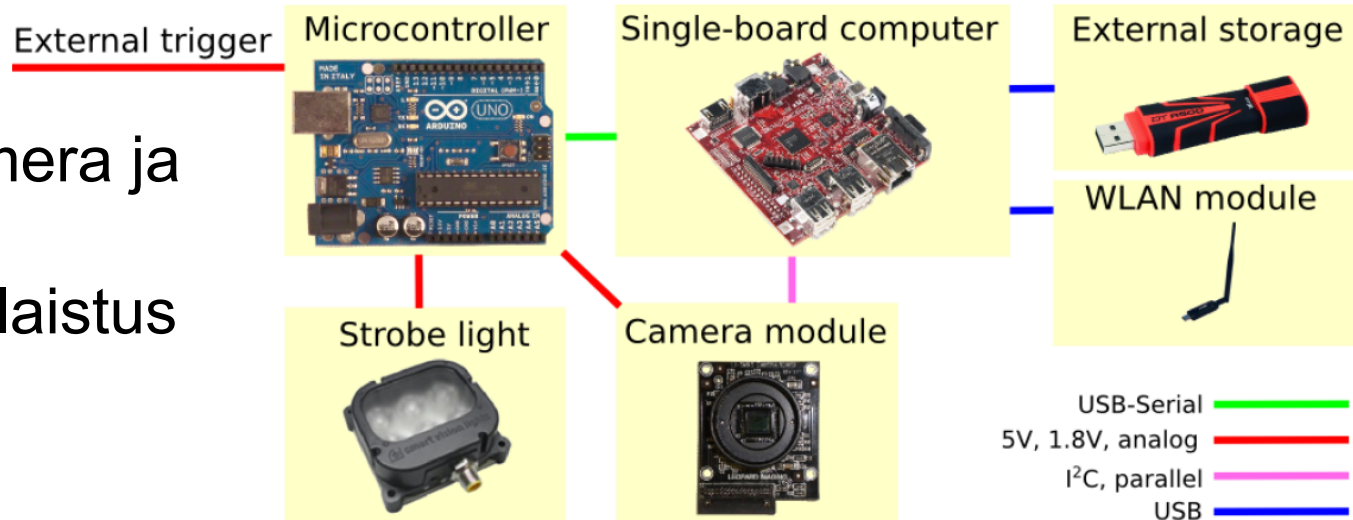
Esimerkkejä: Kamera metsäkoneen kourassa



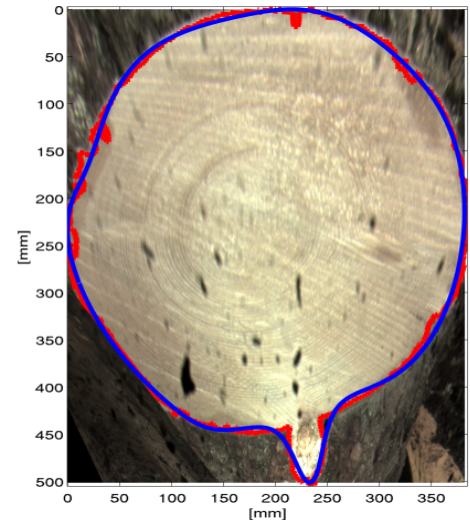
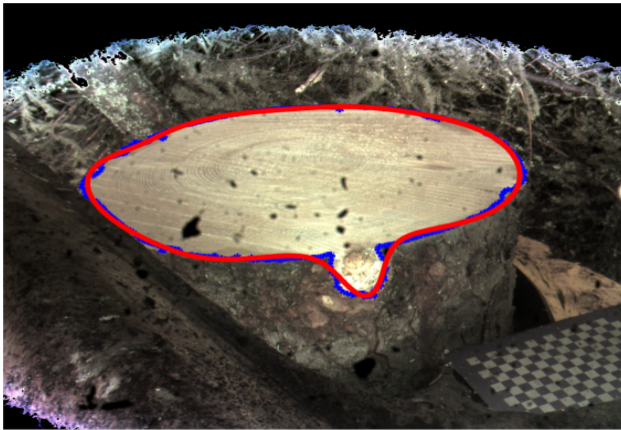
Esimerkkejä: Kamera metsäkoneen kourassa

- Moduulikamera ja LED-välähdysvalaistus

- Asennettu vahvaan koteloon



-



Yhteenveto

- Kuvaan perustuva mittaus on nopeasti yleistynä koskettamaton menetelmä, joka sopii moniin kohteisiin
- TTY:n kärkialoilla – älykkäät koneet ja lääketieteellinen- ja energiatekniikka – on käynnissä mielenkiintoisia ja haastavia sovellushankkeita
- Tarvitaan osaamista kuvantamistekniikoista (esim. kamerat, röntgen, MRI) sekä kuvankäsittelystä, kuva-analyysistä ja konenäöstä – ja aina myös fysiikasta, matematiikasta ja systeemitekniikasta



Kiitos kuuntelemisesta!



Heimo Ihalainen

Tavataan laboratoriotyön yhteydessä
http://www.ase.tut.fi/studies/ASE-2130/Syksyn_lehdet.html



Kuvamittaustyö

- Kuvaan perustuvan mittauksen aiheesta kurssiin kuuluu kuvalaboratoriossa Sd303 ja mikroluokassa Sd205 tehtävä kuvamittaustyö
- Aikataulut ja ilmoittautumiset ilmestyvät POP:iin tällä viikolla työt tehdään ensi ja seuraavalla viikolla 3.11. – 12.11.

