

# RAW Mode met een zwartwit astronomische webcam

Etienne Bonduelle - Philippe Bernascolle  
Nederlandse vertaling: T. Alderweireldt

oktober 2004

## 1 Inleiding

Webcams worden op grote schaal gebruikt door amateurastronomen, meer in het bijzonder om hoge resolutie planeetopnamen te maken, maar ook voor deepsky opnamen. Recent is heel wat ontwikkeling gestart door gebruikers om de RAW-mode beter te benutten, d.w.z. een beeld uitsturen zonder enige bewerking (of toch bijna).

## 2 ToUcam pro

De ToUcam pro (PCVC740K) is een webcam van het merk Philips die met de computer communiceert via een USB poort. Hij gebruikt een kleuren CCD chip van 1/4" van Sony, de ICX098BQ. Het signaal is over 10-bit gedigitaliseerd (1024 grijswaarden), waarna een microprocessor op de print het signaal bewerkt om RGB beelden buiten te sturen op de drie 8-bit kanalen (16 miljoen kleuren). De microprocessor (SAA8116HL en zijn eeprom 24C04) zorgt voor een aantal bewerkingen op de videostroom:

- aftrekken van een darkframe
- berekening van de drie RGB kleurkanalen
- verhoging van het contrast
- compressie van de videostroom
- ...

Deze processor werkt dankzij «instructies» opgeslagen op de eeprom (24C04), waarvan alle parameters nu gekend zijn. Deze camera kan «gemodificeerd» worden door handige knutselaars (denk aan de verschillende long exposure modificaties), maar hier willen we het eerder hebben over de modificatie ontwikkeld door Etienne Bonduelle die bestaat uit vervangen van de originele chip door een zwart-wit CCD chip.

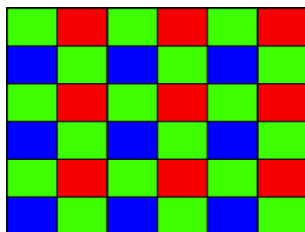
Men moet weten dat als Sony of andere fabrikant een CCD matrix produceren, dit een zwart-wit CCD is waar pas aan het einde van het productieproces de kleurenfilters op de pixels geplaatst worden. Daarom hebben deze fabrikanten van CCD-matrixen steeds twee identieke matrixen in hun catalogi: een kleur en een zwart-wit. De kleurenchip wordt gemonteerd in een camera voor breed publiek, terwijl de zwart-wit chip eerder gebruikt wordt in «professionele» kleurencameras met 3 CCD's bijvoorbeeld. De equivalente zwart-wit chip voor

de ToUcam is de ICX098BL. Het belang van het vervangen van de sensor is dat de zwart-wit chip driemaal lichtgevoeliger is dan de kleurenchip. Dit is normaal, de kleurfilters op de kleurenmatrix, absorberen ongeveer een derde van de invallende lichtflux. *[opm TA: hoe kan dat ? 1/3 absorberen is toch 2/3 doorlaten]* Er bestaan dus twee types ToUcam pro's bruikbaar voor planeetopnamen:

- deze met originele kleurenchip
- deze gemodificeerd met een zwartwit chip (genoteerd TUC ZW 1/4")

### 3 RGB versus Z/W

Een kleurencamera zoals de ToUcam gebruikt een CCD matrix met Bayerfilters, waarbij elke pixel bedekt is met een gekleurd plaatje, rood, groen of blauw volgens volgende configuratie:



Om een kleurenbeeld te bekomen (RGB in 640x480 mode) met deze matrix, moet het intern programma van de camera een aantal berekeningen uitvoeren. De RGB waarden van het kleurenbeeld worden gegeven door het gemiddelde van de waarden van de naburige pixels:



voor een groen beeldpunt van de CCD:

R = gemiddelde van de signalen van de 2 naburige rode pixels

G = signaal van de groene pixel

B = gemiddelde van de signalen van de 2 naburige blauwe pixels

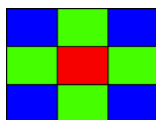


voor een blauw beeldpunt van de CCD:

R = gemiddelde van de signalen van de 4 naburige rode pixels

G = gemiddelde van de signalen van de 4 naburige groene pixels

B = signaal van de blauwe pixel



voor een rood beeldpunt van de CCD:

R = signaal van de rode pixel

G = gemiddelde van de signalen van de 4 naburige groene pixels

B = gemiddelde van de signalen van de 4 naburige blauwe pixels

Deze organisatie van kleurfilters op de CCD matrix werkt erg goed en geeft zelfs het minste artefacten bij reconstructie van de kleur. Sommige fabrikanten van digitale camera's maken nu kleurfilter mozaïeken met vier kleuren: rood, groen, blauw en cyaan, wat een nog betere weergave toelaat van groene en huidtinten.

In de zwartwit opnamemodus van de kleurencamera, is de waarde van elke pixel in het zwartwit beeld gelijk aan het gemiddelde van de drie RGB waarden, dus het gemiddelde van 5 of 9 naburige pixels!

Al deze uitmiddelingberekeningen met naburige pixels reduceren evident het scheidend vermogen van de CCD-chip en veroorzaken een echt resolutie«verlies».

De resolutie van de camera in 640x480 mode zal dus helemaal niet het dubbele zijn van de 320x240 mode.

Wanneer we de kleurenchip van de webcam vervangen door de equivalente ZW chip, zonder meer (m.a.w. zonder de eeprom in de registers van de SSA8116 te wijzigen), dan blijven al deze uitmiddelingberekeningen actief!

We hebben gezien dat het belang van de modificatie van deze camera met een ZW chip is dat de gevoeligheid driemaal vergroot, maar niets verandert aan zijn oplossend vermogen voor kleine details, indien de interne berekeningen niet gewijzigd worden.

Zowel met de I2C bus als via USB bus kunnen we nu met een programma de instellingen wijzigen van de eeprom die de berekeningen parametreert van de outputprocessor van de camera, met als hoofddoel het uitschakelen van de interne berekeningen die de kwaliteit van onze beelden «degradeert».

## 4 Transfert functie

De Modulatie transfertfunctie of MTF is goed gekend in de optische wereld. Deze curve toont hoe een bepaald optisch geheel beeldcontrasten doorlaat in functie van ruimtelijke frequentie. Deze functie toont duidelijk de effecten van diffractie, aberratie, centrale obstructie, chromatische aberratie, ...

In dit geval willen we de transfertfunctie TF meten van de camera, niet de MTF van het geheel met objectief. Om dit doel te bereiken moet de optiek beter zijn dan de camera (dus beeldkwaliteit niet beperkt door optische gebreken), d.w.z. dat het diffractiebeeld kleiner is dan de pixels van de CCD matrix.

In dit geval is het beeld echt 'undersampled' en testen we wel degelijk het effect van de 'sampling' op de resolutie van fijne details.

## 5 Testmethode

De gebruikte methode om een camera te testen is «klassiek»<sup>1</sup>. Ze bestaat uit het nemen van een beeld met een goed objectief van een zwartwit testraster. De transfertfunctie van de camera wordt dan gegeven door de Fouriertransformatie van de afgeleide van het testraster.

Met deze werkwijze bekomt men de TF van het opnamegeheel:

- lens
- sensor
- behandeling van het beeld
- ...

Voor deze meting moet de lens uitstekend zijn, zodat diffractie en andere aberraties van de optiek de resolutie van het eindbeeld niet kunnen beïnvloeden. Het is enkel de camera die de resolutie van het bekomen beeld mag bepalen.

## 6 Proefopstelling

Een lens van een 24 x 36 reflexcamera werd gemonteerd op de webcam. Het betreft een 50 mm Canon FD lens met een opening van F/1.8. Ze werd gebruikt bij F/2.0, wat een theoretisch diffractiebeeld oplevert van  $2.2 \mu\text{m}$  (diameter van de eerste zwarte ring) in het blauw (460 nm), van  $2.6 \mu\text{m}$  in het groen (540 nm) en tenslotte  $3.0 \mu\text{m}$  in het rood (620 nm). Deze waarden zijn kleiner dan de grootte van de pixels van de CCD-chip op de camera ( $5.6 \mu\text{m}$ ). Een dergelijke lens is ontworpen om een beeldveld te geven van 43 mm diameter, terwijl de sensor van de ToUcam slechts 4.5 mm in diagonaal meet. We gebruiken dus enkel het centrale deel van de optiek, waardoor we kunnen veronderstellen dat alle aberraties verwaarloosbaar zijn, behalve de chromatische aberratie in het infrarood, maar daarover later meer.

Met deze lens testen we dus wel degelijk de camera en bovendien werden de testen uitgevoerd in een laboratoriumomgeving, waardoor atmosferische turbulentie minimaal was.

Het doelwit bestaande uit twee zwarte latten op witte achtergrond, werden goed vlak tegen een muur bevestigd op ongeveer 2 meter afstand van de lens. De orientatie van de camera werd zo geregeld dat de zwarte lat mooi verticaal stond.



<sup>1</sup>B.Tatian (1965) «Method for Obtaining the Transfer Function from the Edge Response Function», JOSA, Vol.55, pp.1014-1019.

De opnamen gebeurden met PRISM 5.0 aan 5 frames per seconde. Er werd telkens 1 beeld opgeslagen in BMP formaat. De instellingen van de camera waren als volgt: - contrast 100- gamma 0- saturation 100- brightness ongeveer 40- witbalans automatisch Bovendien werd met het programma Setwc de verhoging van verticaal contrast en de 'noise' op 0 gezet. *[opm: nagaan hoe we deze instellingen kunnen verzekeren; zowel RAWmod als WinsetWC nodig?]*

De hiernavolgende berekeningen werden uitgevoerd met het IDL 5.2 (beeldbewerkingsprogramma) en visualisering met behulp van Excel.

We moeten dus enkel nog de verschillende TF vergelijken om te zien welke de beste is. D.w.z. welke werkingsmode van de camera (320x240, 640x480 of RAW) het beste oplossend vermogen heeft in de hoge ruimtelijke frequenties.

## 7 Resultaat van de metingen

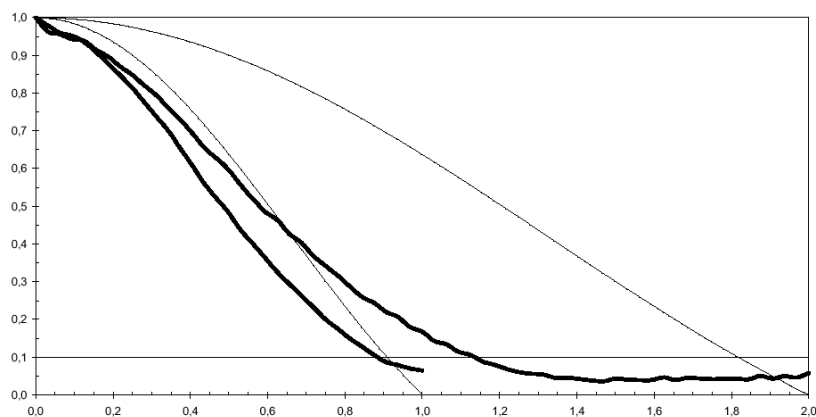
### 7.1 ToUcam met ZW sensor (TUC ZW 1/4") Normal mode

Helaas bleken met de ZW sensor de aberraties van de lens niet verwaarloosbaar (chromatische fout). Het nabije infrarood werd door de gebruikte lens onvoldoende gefocuseerd en het bekomen eindbeeld was niet voldoende scherp. Om dit effect te elimineren werden de opnamen voor de TUC ZW 1/4" gemaakt in het donker met een 'monochromatische' verlichting door 3 rode LED's van 6.5 Candelas bij 655 nm. Bij deze golflengte was het diffractiebeeld  $3.2 \mu\text{m}$ .

Op de volgende figuur stellen 4 curves de TF voor van de camera in 320x240 resolutie (links) en 640x480 (rechts), en met de twee fijne lijnen de theoretische curves voor een perfecte sensor.

In deze werkingsmode bereikt de resolutie van de camera niet de theoretische waarde, ondanks de ZW chip. De resolutie bij 640x480 is slechts 1.3X beter dan die bij 320x240 mode. Het enige, maar niet verwaarloosbare voordeel is de 3X hogere gevoeligheid.

TUC ZW 1/4", horizontale transfertfunctie:



## 7.2 ToUcam met ZW sensor (TUC ZW 1/4") RAW mode

Na RAW modificatie, wordt de berekening van de 3 kleurkanalen uitgeschakeld, evenals de verhoging van het contrast. Ook de compressie staat op minimum. In dit geval wordt de resolutie van de volledige matrix hersteld. *[opm: grafiek ontbreekt?]*

## 8 Conclusies

De metingen van de TF van de camera tonen duidelijk aan dat de **resolutie** van een originele ToUcam Pro in 640x480 **niet** 2X, maar slechts 1.3X beter is dan in 320x240 mode. Dit is logisch, gezien het uitmiddelingseffect (low pass filter) van de kleuren aan de hand van naburige pixels.

De compressiemethode (I420 of YUV) heeft geen invloed op de TF en dus op de resolutie van de camera.

In RAW mode daarentegen is de resolutie wel 2X beter dan in 320x240 mode. Dit is ook logisch omdat men na uitschakeling van de berekening van de drie kleurlagen in RGB terug de originele pixelgrootte van de CCD-matrix bekommt. Het interpolatie-effect van de kleuren aan de hand van de naastliggende pixels is uitgeschakeld.

Aangezien de F/D verhouding van het instrument voor hoge resolutie minstens 2X de pixelgrootte / de golflengte moet bedragen (criterium van Shannon) *[volgens mij equivalent met Nyquist]* en met de ervaring van voorgaande experimenten, kunnen we de volgende besluiten trekken:

- De pixelgrootte **equivalent** met de normale TUC in 640x480 bedraagt slechts 1.3X die van de 320x240 mode.
- In 320x240 mode bedraagt de minimaal vereiste F/D voor hoge resolutie:  $2 \times (2 \times 5.6 \mu\text{m} / 0.51 \mu\text{m})$  (golflengte van de hoogste gevoeligheid)t.t.z. ongeveer **44**.
- In 640x480 mode wordt de minimaal vereiste F/D voor hoge resolutie door 1.3 gedeeld, dus ongeveer **34**.
- Met een ToUcam Pro gemodificeerd met ZW chip in **RAW**mode, bedraagt de minimaal vereiste F/D voor hoge resolutie dus **22**.
- Al het voorgaande moet ook geldig zijn voor een Vesta pro.

Voor hoge resolutie opnamen, biedt de 1/4" ZW TUC in RAW mode twee additieve voordelen:

- een **3X** hogere gevoeligheid van de sensor
- een beduidend kleinere minimaal vereiste F/D verhouding

Bijkomend gevolg is dat kortere belichtingstijden mogelijk worden: ( $3 \times 2^2$ ) of 10 a 12 maal korter dan ongemodificeerd, wat opnieuw zal toelaten om onze eeuwige vijand beter te bestrijden: de atmosferische turbulentie *[opm: gehinderd door 5 fps ?]*