



Förord

Detta examensarbete avslutar mina studier på Teknisk Fysik programmet på Uppsala Universitet. Arbetet motsvarar 20 poäng och har ägt rum mellan juni 2004 och november 2004.

Arbetet har ägt rum på Astronomiska Institutionen på Uppsala Universitet. Jag vill passa på att tacka alla på institutionen för den här tiden. Särskilt tack vill jag rikta till följande personer: min handledare Nikolai Piskunov, Johan Warell som har hjälpt till med ideer och synpunkter vid det dagliga arbetet och Zahm Ottosson som hjälpt till med den praktiska monteringen.



Innehållsförteckning

1. INLEDNING.....	4
1.1 INSTITUTIONEN.....	4
1.2 BAKGRUND OCH PROBLEM.....	4
1.3 PROJEKTETS MÅL.....	4
2. UTRUSTNING.....	5
2.1 FLATFIELD SKÄRMEN.....	5
2.2 BELYSNING.....	5
2.3 MJUKVARA.....	7
2.4 CCD KAMERAN.....	7
2.5 WESTERLUNDETELESKOPE.....	8
3. CCD SENSORN.....	9
3.1 FRÅN FOTONER TILL ELEKTRONER.....	9
3.2 AVLÄSNING AV PIXLARNA.....	11
3.3 KVANTEFFEKTIVITET (QE).....	12
4. BRUSKÄLLOR I EN CCD.....	13
4.1 BIAS NIVÅ BRUS.....	13
4.2 MÖRKERSTRÖM.....	14
4.3 AVLÄSNINGSBRUS.....	15
4.4 CHARGE TRANSFER EFFICIENCY (CTE).....	15
4.5 HETA OCH DÖDA PIXLAR.....	15
4.6 SATURERADE PIXLAR.....	15
5. FLATFIELD KALIBRERING.....	17
5.1 VARFÖR GÖR MAN EN FLAT FIELD?.....	17
5.2 HUR GÖR MAN EN FLATFIELD?.....	17
5.3 KALIBRERING PÅ OLIKA FILTER.....	18
6. KALIBRERING AV EN BILD.....	20
7. KVALITETSKONTROLL AV FLATFIELDSYSTEMET.....	23
7.1 BIAS- OCH MÖRKSTRÖMSNIVÅ.....	23
7.2 SIGNAL-TILL-BRUS FÖRHÅLLANDE(S/N).....	26
7.3 SIGNALNIVÅERNAS FÖRÄNDRING PÅ EN MASTERFLAT.....	26
7.4 DIGITAL FILTRERING.....	28
8. PROGRAMMET.....	29
8.1 ALGORITM.....	29
8.2 PROGRAMMETS DELAR.....	29
8.2.1 <i>Settings</i>	29
8.2.2 <i>MoveTeleskope</i>	29
8.2.3 <i>MakeMasterBias</i> , <i>MakeMasterDark</i> och <i>MakeMasterFlat</i>	29
8.2.4 <i>TakeBias</i> , <i>TakeDark</i> och <i>TakeFlat</i>	30
8.2.5 <i>CreateFlatFrame</i>	30
8.2.6 <i>Smooth</i>	30
8.2.7 <i>CalcDate</i>	30
8.2.8 <i>CalcTime</i>	30
8.2.9 <i>CalcLST</i>	30
8.2.10 <i>CalcAverage</i>	30
9. SLUTSATSER OCH DISKUSSION.....	31



10. KÄLLOR.....	32
10.1 BÖCKER.....	32
10.2 KÄLLOR PÅ INTERNET.....	32
BILAGA A TEKNISKA SPECIFIKATIONER FÖR SBIG CCD KAMERA.....	33
BILAGA B EXAMENSARBETETS PROJEKTPLAN.....	34
BILAGA C INSTRUKTIONER TILL FLATFIELDSYSTEMET.....	35
BILAGA D CREATEFLATFIELD.VBS.....	36



1. Inledning

1.1 Institutionen

Institutionen för Astronomi och Rymdfysik ligger i Ångströmlaboratoriet. Den är uppdelad i två del institutioner, den ena är Astronomi där det här examensarbetet har ägt rum och den andra är Rymd och Plasma Fysik. Astronomiska institutionen har förutom Ångströmlaboratoriet lokaler i Observatorieparken och Kvistabergs Observatorium.

1.2 Bakgrund och problem

I Oktober 2003 installerades ett 90 cm teleskop på Ångströmlaboratoriet. Syftet med teleskopet är att användas i undervisning samt till olika forskningsprojekt. För att kunna ta digitala bilder används en digital CCD kamera med en Kodak 1001E sensor. Ett elektriskt system uppbyggt med en CCD kamera är inte ett helt perfekt system. Störningar uppstår som måste reduceras bort. I ett elektriskt system uppstår brus i signalerna som skickas och i en CCD sensor uppstår också termiskt brus. När man tillverkar en CCD sensor går det aldrig att få samma respons för alla pixlar i sensorn. Dessutom ger hela det optiska systemet, teleskopet, filter och täckglas över CCD sensorn, variationer i ljusstyrka på ytan av CCD: n. För att få bort alla dessa störningar måste kameran kalibreras mot något som man vet har homogen ljusstyrka, en flatfield. En flatfield återger responsen på hela systemet. En flatfield innehåller både systematiskt och slumpmässigt brus. För att reducera det slumpmässiga bruset, skapar man en MasterFlat av flera flatfields. Eftersom dessa störningar alltid finns och om man känner till dom, kan man reducera störningarna på en bild.

En flatfield kan skapas genom att observera himlen vid skymningen och ta s.k. SkyFlats, problemet är att man bara kan göra detta under en begränsad tid på dygnet. Så om man måste ta många exponeringar, kan det ta flera dygn innan man har tillräckligt många för att kalibrera en bild. Genom att installera en plattfältskärm, kan man göra dessa kalibrerings exponeringar när man vill. Skärmen måste ha en vit, diffus yta och måste vara belyst på rätt sätt för att kunna användas för flatfielding.

1.3 Projektets mål

Målet med projektet är att skapa ett flatfield system. I systemet ingår att konstruera och installera en plattfältskärm som ska vara placerad på insidan av kupolen. Plattfältskärmen ska vara utformad så att fotometriskt helt platta bilder ska kunna tas. För att plattfältskärmen ska ha jämn belysning gäller det att välja lampor och dess placering noga. I systemet ingår också att skriva ett program som automatiskt tar alla exponeringar som behövs, samt utför all bildhantering som krävs för att skapa ett bibliotek med kalibreringsbilder. Programmet ska även automatiskt styra teleskopet till plattfältskärmens läge. När systemet är klart, ingår det även i projektet att kvalitets testa systemet genom att undersöka vissa egenskaper.

2. Utrustning

2.1 Flatfield skärmen

När man väljer material till en flatfield skärm måste man vara noga med att ha en vit, matt och diffus yta. Den måste vara ostrukturerad men inte blank. Man är ute efter att skapa en perfekt diffus yta, en s.k. Lambert yta. Lambert yta är en yta som verkar vara lika ljusstark oberoende från vilket håll man tittar. Den reflekterar det inkommande ljuset så att ingångsvinkeln är lika med utgångsvinkeln. Detta är självklart svårt att uppnå i praktiken.



Figur 2.1 Flatfieldskärm

I det här projektet användes en skiva av vit, formskummad PVC hårdplast, som har måtten 1x1 m. Denna har bra egenskaper för flatfielding. Skärmen är inköpt hos Screen Reklam Uppsala.

För att sätta upp flatfieldskärmen tillverkades en aluminiumram, där skärmen fästes. Ramen fästes på insidan av kupolen med gångjärn på specialtillverkade fästen. Fästena bestod av aluminiumrundstång, 40 mm i diameter och 50 mm långa där hål har svarvats så att man dra en bult rakt igenom.

2.2 Belysning

Till belysning användes två rektangulära halogen lampor, eller tungstenlampor som ger ett uniformt ljus.



Figur 2.2 Rektangulär Halogenstrålkastare

Dessa belyser inte skärmen direkt, utan via en reflektor skärm i samma material som flatfield skärmen. Detta gör att ljuset på flatfield skärmen sprids jämnare än vid direkt belysning.



Figur 2.3 Flatfieldskärm som belyses via en reflektor skärm

Lamporna sitter monterade på rörliga armar så att man kan justera hur de ska belysa flatfieldskärmen men de sitter symmetriskt kring skärmen. Det gäller att få ett lika starkt ljus på hela flatfieldskärmen. Eftersom lamporna sitter riktade mot teleskopet är det viktigt att skärma av ljuset, man vill ju inte ha ljus som går direkt in i kameran. Till skärmar användes aluminiumplåt som bockades till en viss passform. För vissa ljuskänsliga filter, behövdes en bländare för att inte saturera CCD:n.



Figur 2.4 Halogenlampa med aluminium skärmar och bländare nerfälld

2.3 Mjukvara

Programmet som används för astronomiska observationer är MaxIm DL. Programmet kan användas för att ta bilder, styra teleskopet och bildhantering. I programmet kan man skriva script (program). Språket som användes för programmeringen i det här projektet är VBScript, vilket är ett förenklat alternativ till Visual Basic. Fördelen är att man skriver sina script i Notepad, så man behöver inget ytterligare program att skriva programmen i. Mjukvaran som styr teleskopet är Autoslew och det går att skicka kommandon i MaxIm till Autoslew och därmed styra teleskopet.

2.4 CCD kameran

CCD kameran som används på teleskopet är en SBIG STL-1001E.



Figur 2.5 Bild på SBIG STL-1001E

Kameran har en Kodak KAF-1001E CCD sensor. Vanliga användningsområden är inom



vetenskap, industri och medicin. Den ingår i Kodaks Blue Plus sensorer som har väldigt bra kvantum effektivitet i hela det synliga spektrat.



Figur 2.6 Kodak KAF-1001E CCD sensor

2.5 Westerlundteleskopet

Teleskopet är ett 90 cm stort teleskop tillverkat av AstroOptik i Regensburg. Det står i en 6 m kupol på 5: e våningen på Ångströmlaboratoriet. Det har en 90 cm Cassegrain reflektor och två fokus så att olika typer av mätutrustning kan installeras. Huvudsyftet för teleskopet är att användas för undervisning, men det kan även användas för avancerade forskningsprojekt.

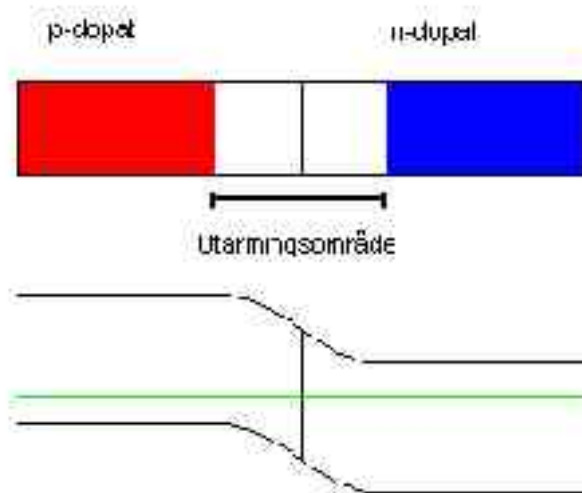
3. CCD Sensorn

Sensorn som används i astronomiska instrument är en CCD som står för Charge Coupled Device. I princip är en CCD en sensor som konverterar inkommande ljus till elektrisk laddning som kan användas för att skapa en bild.

3.1 Från fotoner till elektroner

En CCD består av en matris av individuella bild element (pixlar) som kan absorbera fotoner. Fotonerna detekteras av en fotodiod och varje pixel har ett fysiskt område där den detekterar fotoner. Materialet som används till fotodioden är halvledare material, vanligtvis Kisel.

En vanlig pn-övergång består av ett n-dopat och ett p-dopat material. När man sammanför dessa områden bildas en pn-övergång med ett utarmningsområde mellan materialen. Om man har en inkommande foton med rätt våglängd i en fotodiod, absorberas detta ljus av kiset. Dessa fotoner bildar elektron-hål par i pn-övergången. Elektronerna exiteras till ledningsbandet av den inkommande energin som fotonerna ger. Där kan de röra sig ganska fritt pga. att det finns få elektroner att krocka med och dras till den sida i pn-övergången som har högst potential. Hålen rör sig lätt i valensbandet av samma anledning som elektronerna, det finns få hål och de dras åt motsatt håll i förhållande till elektronerna.



Figur 3.1 Pn-övergång med banddiagram

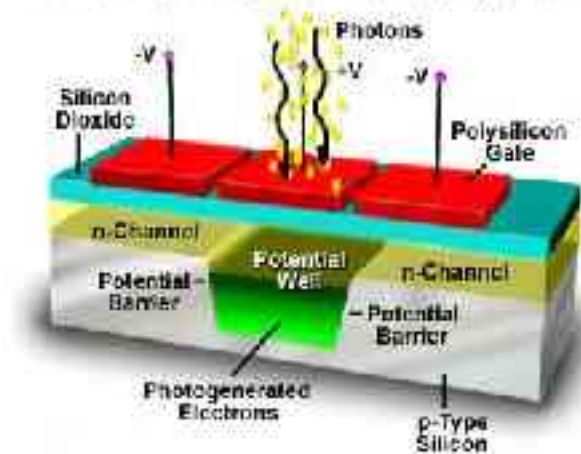
I en CCD med många pixlar, vill man lagra elektronerna i en pixel tills man läser av pixelvärdet. Elektronerna som lagrats i en viss pixel ska stanna vid just den pixeln. Därför använder man sig av MOS strukturer. MOS betyder Metall-Oxid-Halvledare. Dessa tillverkas av ett halvledare material (p- eller n-dopat) som man lägger ett tunt lager oxid på och sedan ett metall lager (Gate). Vanligast är att man har material som är p-dopat. Genom att lägga en positiv spänning (Bias) på metallen, kommer hålen att repelleras och elektronerna attraheras och man får ett utarmningsområde i halvledaren. Ett elektriskt fält

skapas i utarmningsområdet i halvledaren. Sedan tidigare finns det ett elektriskt fält över oxiden mellan metallen och halvledaren. MOS kapacitansen fungerar som två parallella plattkondensatorer. Spänningen som läggs på Gaten bestämmer storleken på utarmningsområdet och därmed kapacitansen. De inkommande fotonerna skapar ett större utarmningsområde i halvledaren, vilket gör att kapacitansen minskar. I en plattkondensator minskar kapacitansen med avståndet mellan plattorna. Här har man dessutom två parallella kondensatorer och den totala kapacitansen blir:

$$C_{tot} = \frac{C_{oxid} * C_{utarm}}{C_{oxid} + C_{utarm}} \quad (3.1)$$

En kondensator lagrar ju energi och man kan då lagra sina energinivåer för alla pixlar i dess motsvarande MOS struktur.

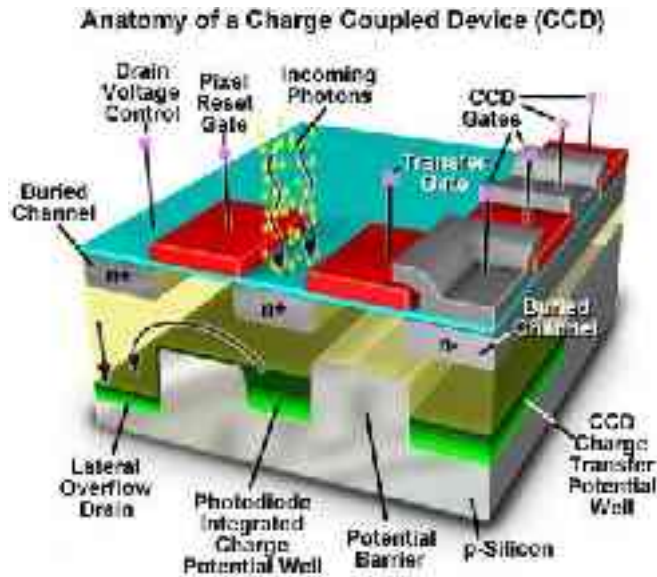
Metal Oxide Semiconductor (MOS) Capacitor



Figur 3.2 MOS kapacitansens uppbyggnad

Alla dagens sensorer använder sig av en teknik som kallas Burried-channel. Det innebär att man odlar ett n-dopat område på sitt p-dopade substrat. Då fås ett utarmningsområde som har ett potential minimum, detta område kallas även collection layer. Man får då en s.k. burried-channel som ligger i Kislet. Laddningarna lagras nu i denna kanal. Burried-channel används p g a om laddningarna ligger vid ytan i Kislet, kan oregelbundigheter i kislet göra att laddningar fastnar när pixeln ska läsas av.

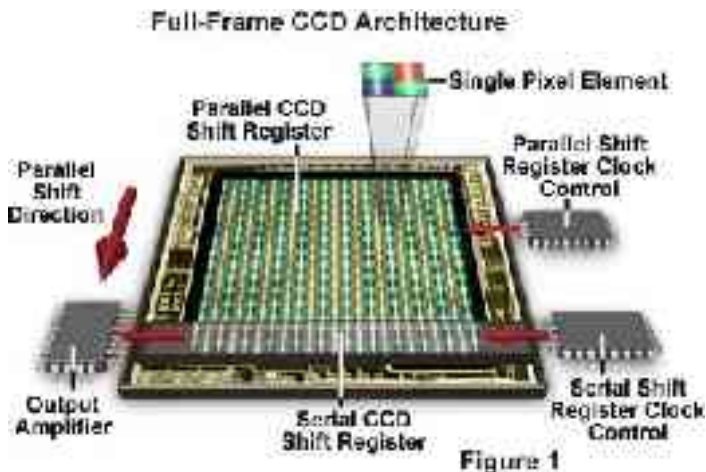
Man kan kontrollera var kanalen ska vara genom att ändra spänningen på n-dopade området. I denna kanal fastnar betydligt färre elektroner och den har betydligt mindre brus.



Figur 3.3 Uppbyggnad av CCD med Burried-Channel

3.2 Avläsning av pixlarna

I CCD:n har man en speciell rad med pixlar, s.k. output register eller serie register. Serie registret innehåller pixelvärden för en rad och skickas till utgångs förstärkaren. Huvud ytan på CCD:n kallas Parallell register. När man läser av pixelvärdena, har man två klockpulser, vertikal klockning för parallell registret och horisontal klockning för serie registret. Avläsning sker genom att parallell registret läses av radvis med vertikal klockan och skickar pixelvärdena till serie registret. När alla pixlar i en rad är avlästa skickas serie registret till utgångs förstärkaren. Då sker ett rad skifte som klockas med vertikal klockan och nästa rad skickas till serie registret. Det här upprepas tills hela bilden har blivit avläst.



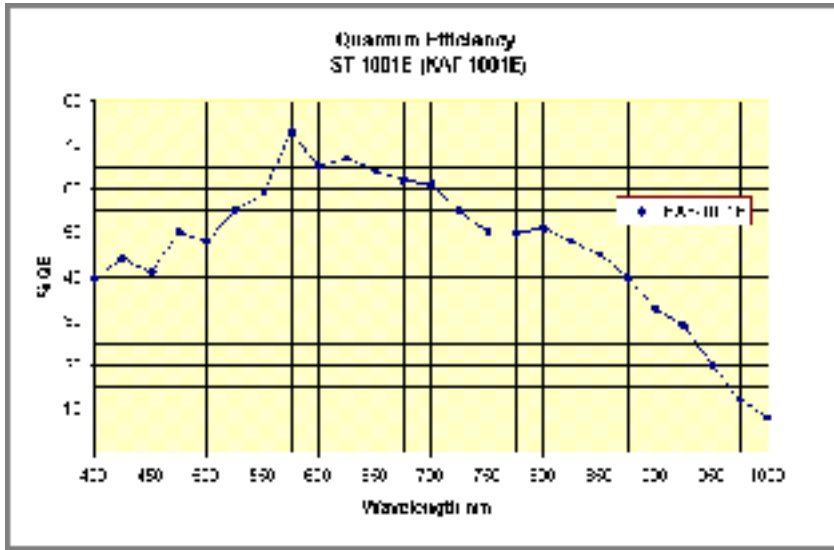
Figur 3.4 Parallell och serieregister hos en CCD

I utgångs förstärkaren lagras pixel värdena i kondensatorn C som ger upphov till en direkt spänningsförändring på utgångs transistorns ingång, vilket i sin tur gör att spänningen på utgången ändras. Kondensatorn blir sedan återställd innan den tar emot nästa pixel. Det kan

ge upphov till brus om inte kondensatorn hinner bli helt återställd.

3.3 Kvanteffektivitet (QE)

Kvanteffektiviteten hos en CCD sensor beskriver hur mycket av det inkommande ljuset som omvandlas till elektroner. När en CCD tillverkas blir aldrig kvanteffektiviteten samma för alla pixlar i arrayen. Lokala variationer på någon procent och över hela matrisen variationer på 10% kan uppstå, detta är en stor anledning till att man gör flatfields.



Figur 3.5 Kvantum effektiviteten hos KAF-1001E

KAF-1001E har bra kvantum effektiviteten över det synliga spektrat med en topp vid 575nm.

4. Bruskällor i en CCD

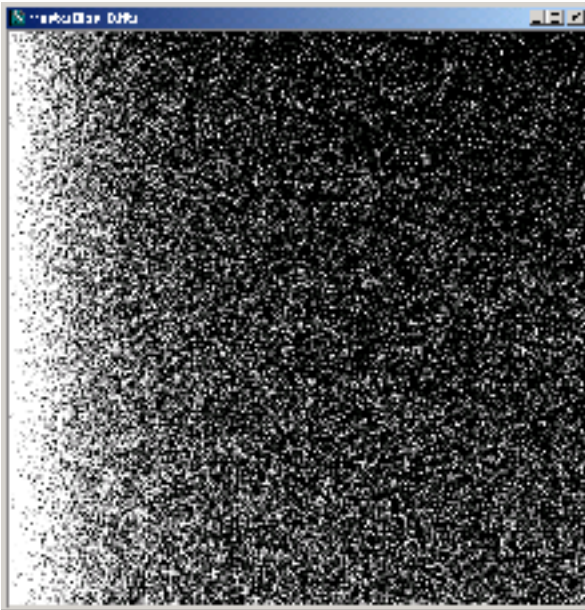
I alla system finns det störningar som ger upphov till brus. I ett teleskop med ett elektroniskt kamerasystem finns det både optiska störningar och elektroniska störningar. Exempel på optiska störningar är dammpartiklar som ligger på t ex. spegeln eller någon lins. För att få en bra bild vid en exponering gäller det att minimera dessa störningar. I vissa fall räcker det med att kyla ner kameran för att få bort störningen, i andra fall måste störningen reduceras m.h.a bildbehandling.

4.1 Bias nivå brus

För att signalen till A/D omvandlaren inte ska bli negativ, läggs en förspänning, en s.k. bias, på videosignalen så att man alltid har positiva spänningar på ingången till A/D omvandlaren. Denna förspänning ger upphov till ett brus i CCD:n som måste reduceras bort. Detta görs genom att ta en Bias Frame. Denna frame måste sen subtraheras från varje exponering man gör. Det sker med pixel-för-pixel subtrahering på bilden. För vissa applikationer räcker det med att ta ett medelvärde av alla pixlar i en Bias frame och subtrahera värdet på alla pixlar i en exponering. Det ger dock sämre resultat än vid pixel-för-pixel subtrahering.

En Bias frame tas antingen genom att man tar en bild som har noll exponeringstid och med slutaren stängd. Den andra metoden man kan göra är en så kallad overscan. Den görs genom att man skickar fler klockpulser än det behövs, t ex 1034x1034 klockpulser om man har 1024x1024 pixlar. De klockpulser som hamnar utanför det fysiska området kommer endast att innehålla Bias nivån.

Normalt vid en kalibrering så tar man många Bias frames, sedan jämför man alla Bias frames pixel för pixel och tar medianvärden på varje pixel, en s.k. MasterBias frame.



Figur 4.1 Exempel på en MasterBias

Figuren visar en typisk MasterBias där man tydligt ser att Bias nivån ökar med avståndet

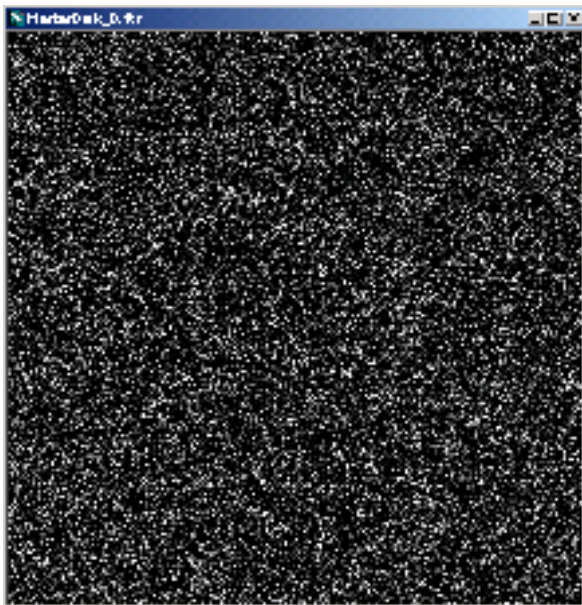
från A/D: n. I figuren är högra sidan närmast A/D: n. Eftersom pixlarna som är längst ifrån A/D: n får vänta lite längre vid avläsning av pixlarna, uppstår en ökande gradient av nivån. Ökningen beror på en liten mörkström som uppstår när pixlarna väntar på att bli avlästa.

4.2 Mörkerström

I alla CCD system finns det "läckström" eller dark current som beror på att lite ström "läcker" till A/D omvandlaren, detta kommer att märkas på exponeringen som en grå bakgrund. Styrkan på läckströmmen bestäms av temperaturen på halvledarmaterialet. Atomerna i t ex. kisel vibrerar och när de stöter ihop kan elektroner exiteras till ledningsbandet, trots att inget ljus inkommer. Läckströmmen för CCD sensorn som använts i det här projektet visas i figur #. Normalt vid en exponering kyls man ner kameran till -30°C under den omgivande temperaturen. Vid denna temperatur är nivån väldigt låg, men den kommer ändå att märkas på en exponering.

Dessa nivåer tas bort genom att ta en Darkframe som tas med slutaren stängd och med samma exponeringstid som den observation man gör. Helst ska exponeringarna tas på natten eller när det är tillräckligt mörkt. För ett bra resultat krävs att exponeringstiden och temperaturen är samma som på den bild man ska reducera.

I en Darkframe kommer en gradient att uppstå, pga. att de pixlar som är långt ifrån A/D-omvandlaren måste vänta lite längre än de som ligger nära A/D:n innan de läses av. Medan de väntar avger de termiska vibrationerna ytterligare några elektroner och läckströmmen blir högre. Även här tar man många frames och använder ett medianvärde av dessa. En s.k. Masterdark frame. Från MasterDark subtraherar man sin MasterBias och gradienten försvinner. Detta beror på att det tar lika lång tid att läsa av pixlarna, de har samma gradient. Även denna frame ska subtraheras från varje exponering.



Figur 4.2 Exempel på en MasterDark

Bilden visar en Bias subtraherad MasterDark. Bias reduceringen kan tyckas onödig eftersom man även subtraherar sina flatfields med Bias. Men om man inte reducerar sin MasterDark kan man inte skala om den till olika exponeringstider.

4.3 Avläsningsbrus

Avläsningsbrus uppstår i systemet och kan bestå av två olika saker. Det kan vara så att om samma pixel har samma laddning två gånger så ger det ändå inte samma resultat från A/D omvandlaren. Avläsningsbrus beror blä på att vid snabba dataöverföringar hinner utgångskondensatorn i utgångsförstärkaren inte helt ladda ur innan nästa puls kommer in och börjar ladda upp kondensatorn igen. Lite av den tidigare pulsen finns kvar i kondensatorn. En annan orsak är att oväntade signaler kan tillföras till signalen av sensorn och elektroniken. Avläsningsbrus finns alltid i alla system och om man har minimerat allt brus så har man bara avläsningsbrus kvar.

4.4 Charge Transfer Efficiency (CTE)

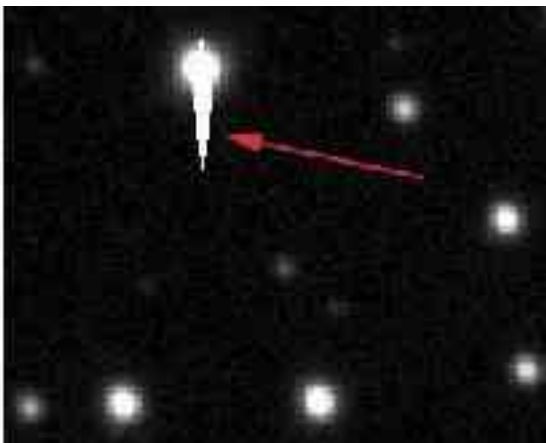
När man läser av en CCD förflyttar man varje pixel till ett horisontellt register och sedan till utgångsnoden. Eftersom varje pixel i en CCD motsvarar ett visst antal laddningar kan laddningar fastna på vägen när man förflyttar dom. Några elektroner kommer inte fram som dom ska. CTE är ett mått på hur många laddningar som förflyttas. Kodak KAF-1001E har ett CTE på 0,99997, den innebär att ca 2,5 elektroner av 85000 kommer att fastna. CTE beror bara på vad man har för sensor och dess egenskaper.

4.5 Heta och döda pixlar

I alla CCD-sensorer kan det finnas pixlar som inte fungerar som de ska. Antingen så ger de inga utslag alls, s.k. döda pixlar eller så ger de alldeles för stort utslag, s.k. heta pixlar. För att få bort dessa gör man en karta över de dåliga pixlarna. Sedan ersätter man dom med data från de närmast intilliggande pixlarna.

4.6 Saturerade pixlar

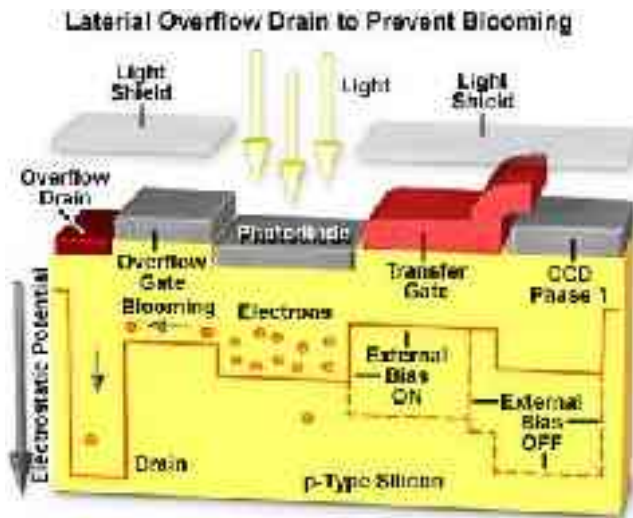
När en pixel blir saturerad innebär det att den är full och inte kan lagra några fler elektroner. Om ljus fortsätter att komma in på pixeln, kan man se det som att elektronerna rinner över till intilliggande pixlar. På bilden ser det ut som om pixeln blöder. Detta kan ske om man observerar ett väldigt ljusstarkt objekt. Man måste då minska exponeringstiden.



Figur 4.3 En saturerad pixel rinner över till de intilliggande pixlarna

Vissa CCD sensorer har en anti-blooming funktion som hindrar pixlarna från att rinna över.

Tyvär så ger anti-blooming upp till 30% minskad känslighet.



Figur 4.4 Anti-blooming funktion i en pixel

De elektroner som annars skulle rinna över till en intilliggande pixel hamnar istället i den elektrostatiske potentialen. Kodak KAF-1001E har ej anti-blooming funktion



5. Flatfield kalibrering

5.1 Varför gör man en Flat field?

I ett optiskt system finns det olika faktorer som gör att responsen på en CCD är varierar över arrayen. Teleskopets optiska och mekaniska konstruktion, filter och CCD-täckglas kan förvränga ljusets väg till CCD sensorn. Även när man tillverkar en CCD sensor, kommer aldrig alla pixlar att vara lika känsliga. Kvanteffektiviteten (QE) för de olika pixlarna varierar och dom kan t ex ha olika optiska egenskaper eller så finns det mikroskopiskt damm som stör ljuset. Därför kommer alla CCD kameror ha en variation i känslighet. Även om det bara rör sig om några få procent måste variationerna reduceras. Det kan man göra genom att observera ett känt objekt som man vet har ett uniformt ljus mäta upp dessa variationer. En Flatfield motsvarar responsen på hela systemet.

Säg att det finns en CCD med bara två pixlar. Denna CCD riktas sedan mot en vit skiva med uniform ljusstyrka så att båda pixlarna får samma ljus. Om man sedan exponerar i en viss tid borde båda pixlarna visa samma värde. Men säg att den ena t ex är 5 % mindre känslig, då kommer den visa 5 % lägre ljusstyrka. Detta blir ett problem om man observerar två olika stjärnor med samma ljusstyrka. Säg att den ena stjärnan infaller på den mindre känsliga pixeln och den andra stjärnan på den mer känsliga pixeln. Då kommer det att se ut som att dom inte har samma ljusstyrka och ett fel uppstår i observationerna. Det kan verka som att det är ett dåligt system med många störnings-källor, men eftersom man mäter upp störningarna med flatfields, kan man reducera störningarna. Om inga inställningar ändras i systemet är störningarna alltid de samma.

5.2 Hur gör man en Flatfield?

Det finns flera olika sätt att utföra en flatfield. Generellt sett kan man säga att man observerar ett objekt med ett uniformt ljus och tar en flatfield frame. Då bör alla pixlar ha samma värde. Man tar ett medelvärde av alla pixlar, sedan dividerar man alla pixlar med medelvärdet. Då får man alla pixlarnas relativa känslighet, dvs hur mycket de avviker från medelvärdet. Denna metod normaliserar alla pixlar till medelvärdet.

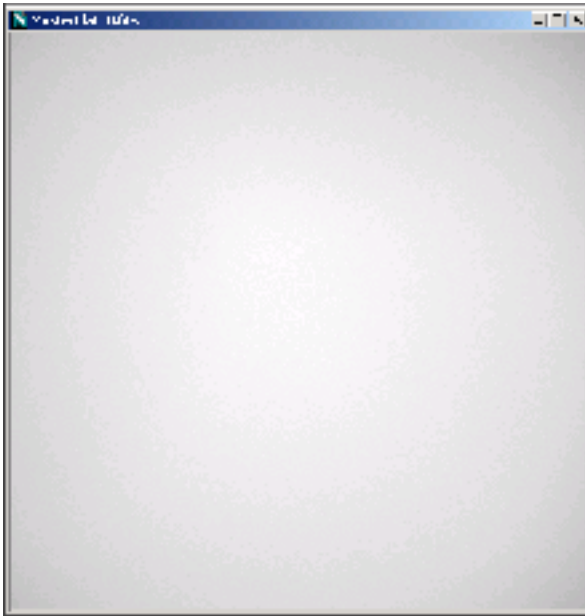
Men det räcker inte att bara ha en frame. Normalt så tar man flera frames och skapar en masterflat av dessa. Det kan göras på två olika sätt:

1) Om alla flatfield frames har samma exponeringstid kan man addera ihop alla frames, ta ett medelvärde av alla pixlar och sedan normalisera pixlarna mot medelvärdet, dvs dividera med medelvärdet.

2) Om man har olika exponeringstid för sina frames måste man normalisera varje frame för sig. Av alla normaliserade frames tar man ett medianvärde för varje pixel.

Gemensamt för båda metoderna är att för varje flatframe man tar måste man subtrahera med Bias- och darkframe innan man kan lägga ihop eller jämföra dem. I metod 2, som har använts i det här projektet, måste man skala om darkramen till de olika exponeringstiderna. Dvs man skapar en masterdark till den längsta av flat-exponeringarna som man sedan skalar till de övriga tiderna. Alternativet är att man skapar en masterdark till alla tiderna, vilket kräver många dark exponeringar och tar lång tid. MasterDark ramen måste vara biasreducerad för att kunna skalas om, annars får man ett fel i sina skalade MasterDarks som är proportionellt mot bias nivån. Över bias nivån ökar läckströmmen linjärt med

exponeringstiden, så subtraherar man bias nivån har man en linjär kurva som är lätt att skala till olika tider.



Figur 5.1 Exempel på en MasterFlat

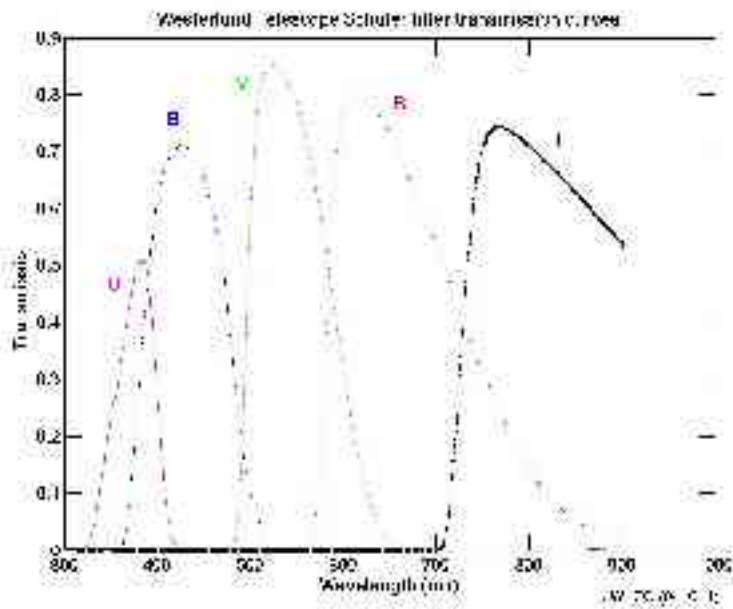
Bilden visar en Bias och Dark reducerad MasterFlat som ska återge pixlarnas känslighet för CCD: n

När man gör en flatfieldexponering vill man att pixlarna på CCD: n ska vara mellan 20-70 % mättade. Inom detta område vet man att CCD-sensorn har linjär respons.

5.3 Kalibrering på olika filter

Vid observationer används olika filter som släpper igenom olika våglängder. Alla dessa filter har en skillnad i ljustransmission. Exponeringstiden för en flatfield beror på olika faktorer, bl a beroende på vilket filter på CCD: n man använder. En annan orsak till olika exponeringstider för flatfields är att ljuset som strålar från skärmen har olika intensitet för olika våglängder, detta beror på halogenlampornas egenskaper.

De filter som idag används i Westerlundteleskopet är: UV, B, V, R, I. Figuren nedan visar deras ljustransmission.



Figur 5.2 Transmissionskurvor för Westerlundteleskopets filter



6. Kalibrering av en bild

När man har tagit sin bild och vill kalibrera den gör man följande steg:

1. Subtraherar en MasterBias
2. Subtraherar en MasterDark
3. Dividerar med MasterFlat

Matematiskt ser det ut så här:

Först skapas en MasterBias av medianvärdet på varje pixel av 10 biasexponeringar. Sedan skapas en MasterDark genom:

$$MasterDark = MedianDark - MasterBias \quad (6.1)$$

Där MedianDark är medianvärdet på varje pixel av 10 darkexponeringar. Efter detta skapas en MasterFlat av 10 st flatframes, där varje flatframe fås av:

$$flatframe = \frac{flatbild - MasterDark}{Medelvärde} \quad (6.2)$$

MasterFlat skapas sedan av:

$$MasterFlat = MedianFlat - MasterBias \quad (6.3)$$

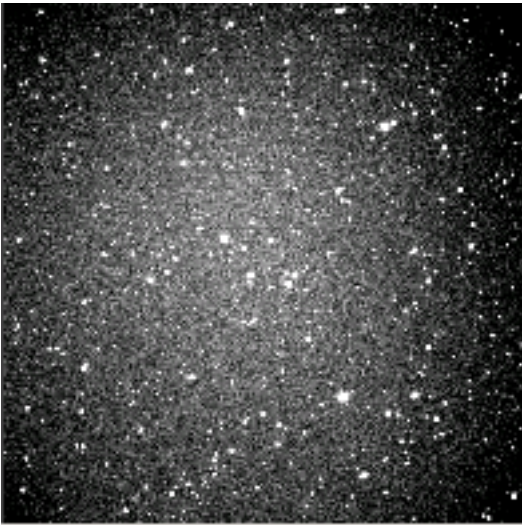
där MedianFlat är medianvärdet på varje pixel av de 10 flatframes. Slutligen får man en kalibrerad bild genom:

$$Slutligbild = \frac{Exponering - MasterDark - MasterBias}{MasterFlat} \quad (6.4)$$

Där de matematiska operationerna sker pixel för pixel.

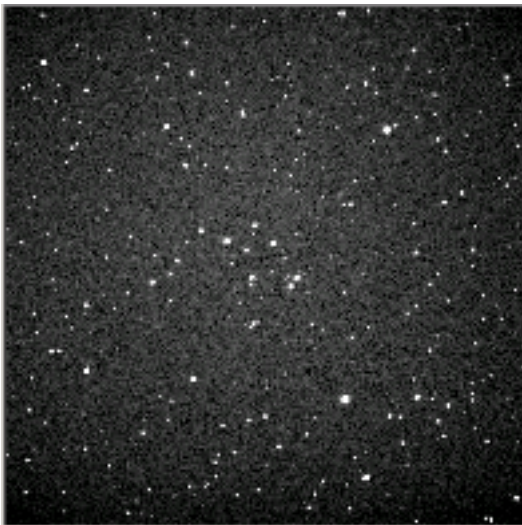
Efter dessa steg har en brusig bild förhoppningsvis blivit betydligt bättre. Nedan visas ett exempel på kalibrering av en bild.

Först har man en exponering:



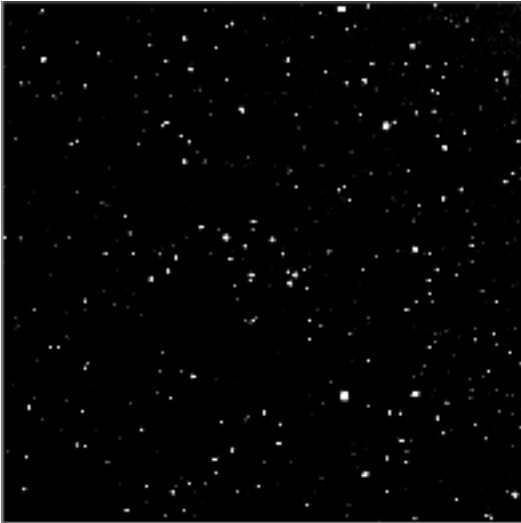
Figur 6.1 En okalibrerad bild

Efter Bias och Dark reducering fås denna bild:



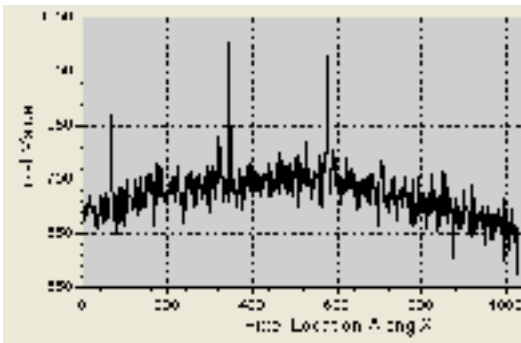
Figur 6.2 Bias och Dark reducerad bild

Slutligen så dividerar man med en MasterFlat och resultatet blir:

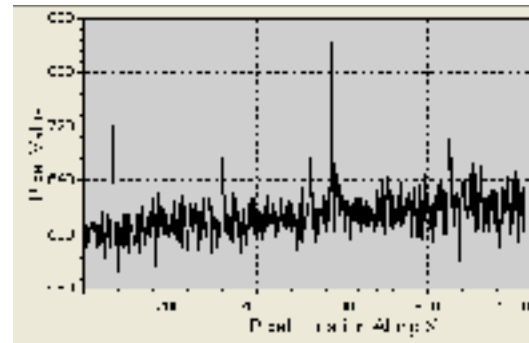


Figur 6.3 Flatfield kalibrerad bild

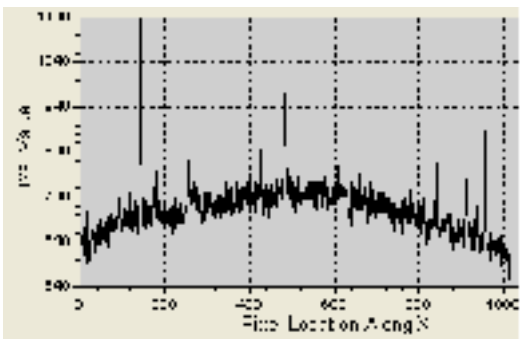
Efter kalibrering har man i detta fall en betydligt plattare bild. Nivå skillnaderna i bakgrunden är mindre, det visar genomskärnings bilderna.



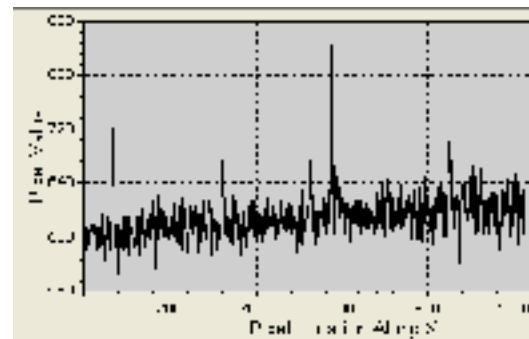
Figur 6.4 Vertikal genomskärningsprofil på en exponering



Figur 6.5 Vertikal genomskärningsprofil på en kalibrerad bild



Figur 6.6 Diagonal genomskärningsprofil på en exponering



Figur 6.7 Diagonal genomskärningsprofil på en kalibrerad bild

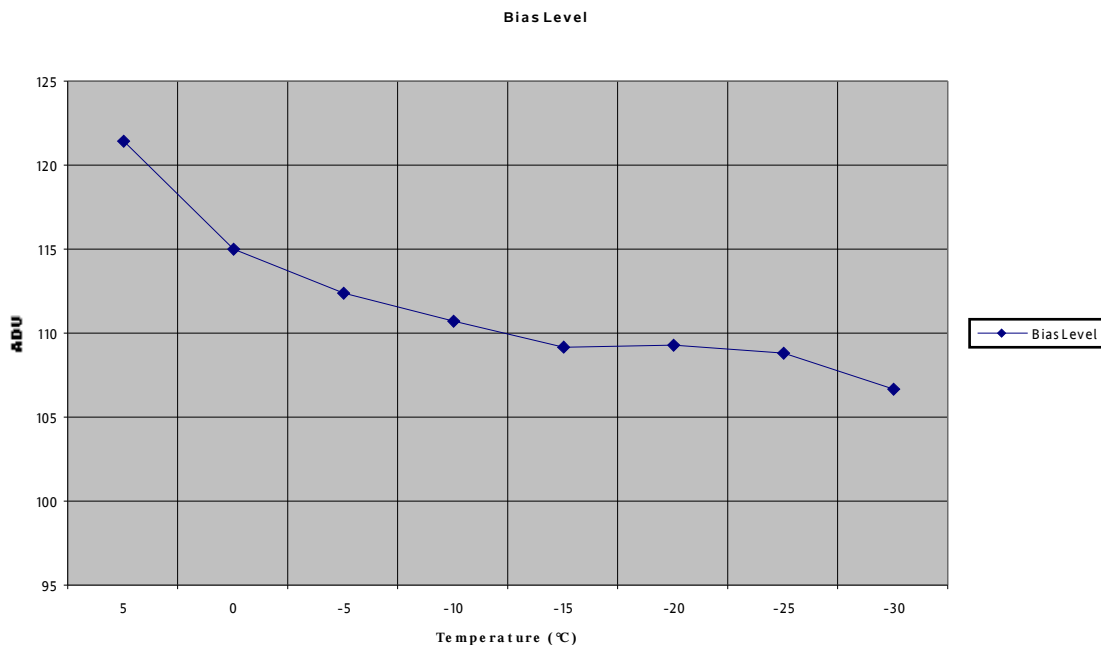
Bilderna visar att den kalibrerade bilden har en plattare profil med lägre bakgrunds nivå.

7. Kvalitetskontroll av flatfieldsystemet

För att kontrollera kvaliteten på flatfieldsystemet, har egenskaper i systemet som bias- och mörkströmsnivå, signal-till-brus förhållande, intensitetsprofiler och konturer på en MasterFlat uppmätts.

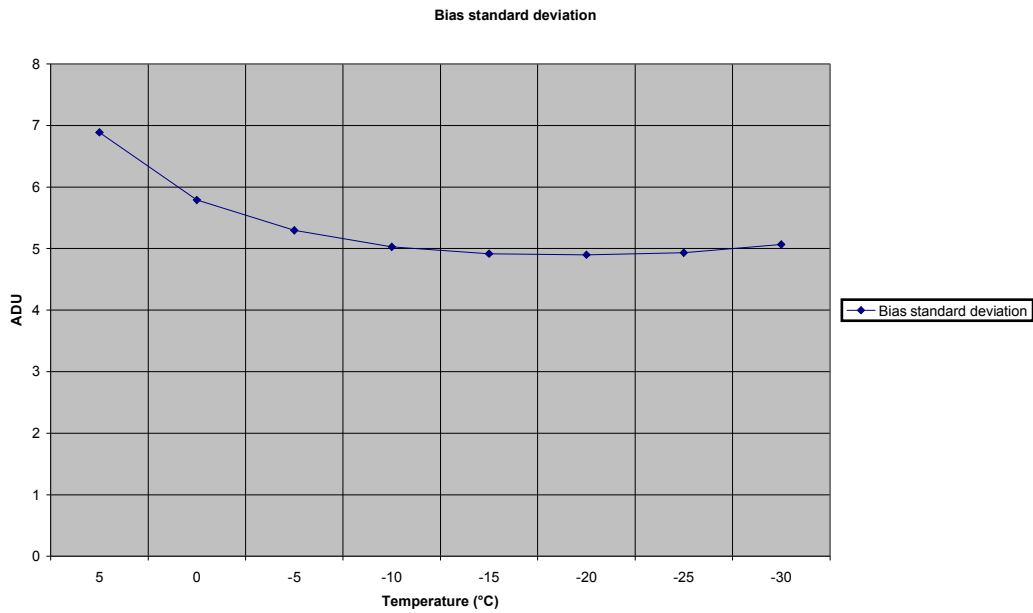
7.1 Bias- och Mörkströmsnivå

Bias- och mörkströmsnivån är temperaturberoende hos en CCD. Nivåerna är något som alltid finns i en exponering, skillnaden är att biasnivån är oberoende av tiden medan mörkströmmen är linjärt beroende med tiden. Gemensamt för de båda är att de är temperaturberoende.



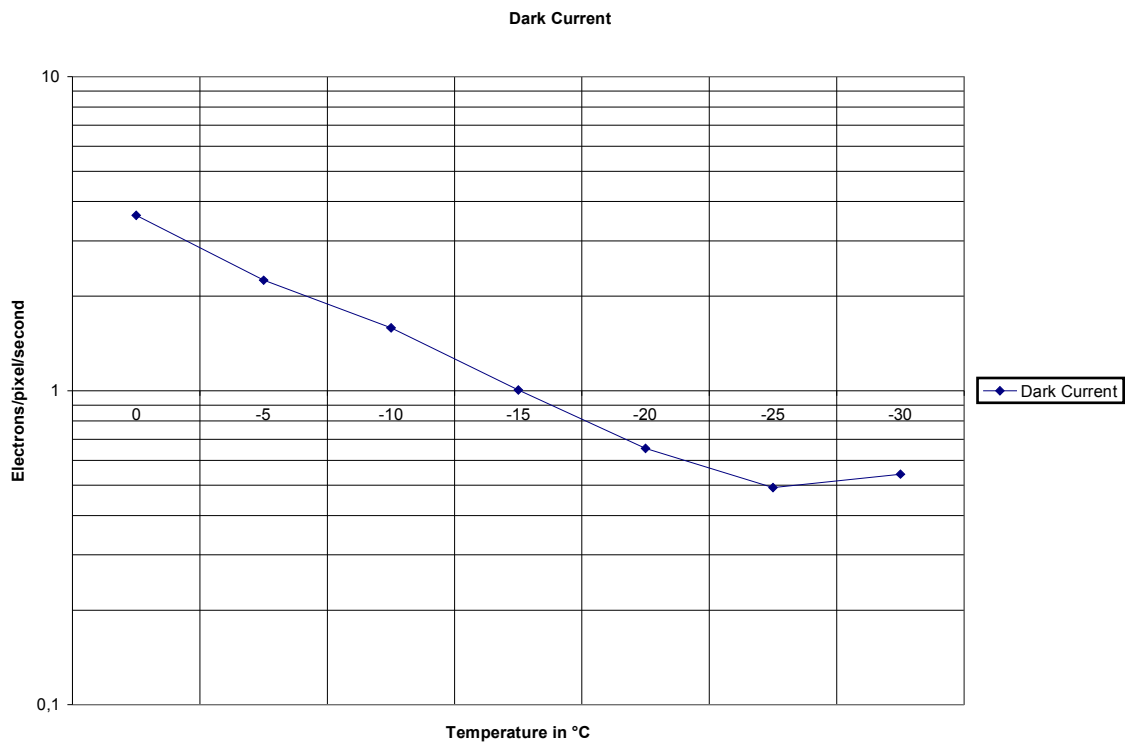
Figur 7.1 Diagram över biasnivån som funktion av temperaturen

Figuren visar hur biasnivån minskar med temperaturen på sensorn i en CCD kamera. Enheten är i ADU och är medianvärdet av 10 biasnivå mätningar på varje temperatur.



Figur 7.2 Standardavvikelsen för biasnivån

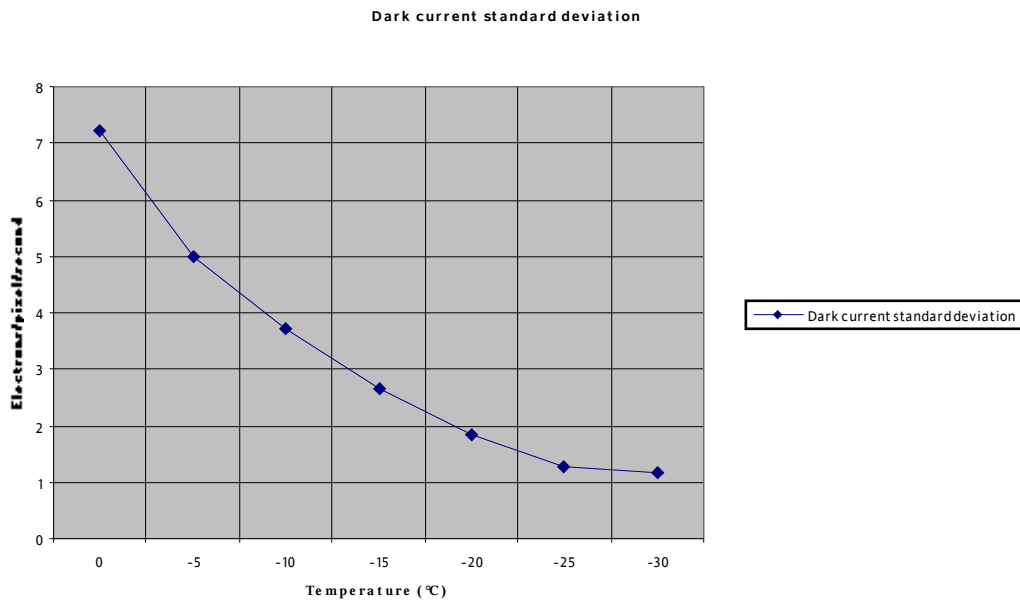
Standardavvikelsen för biasnivån visar att den också är temperaturberoende.



Figur 7.3 Diagram över mörkströmsnivån som funktion av temperaturen

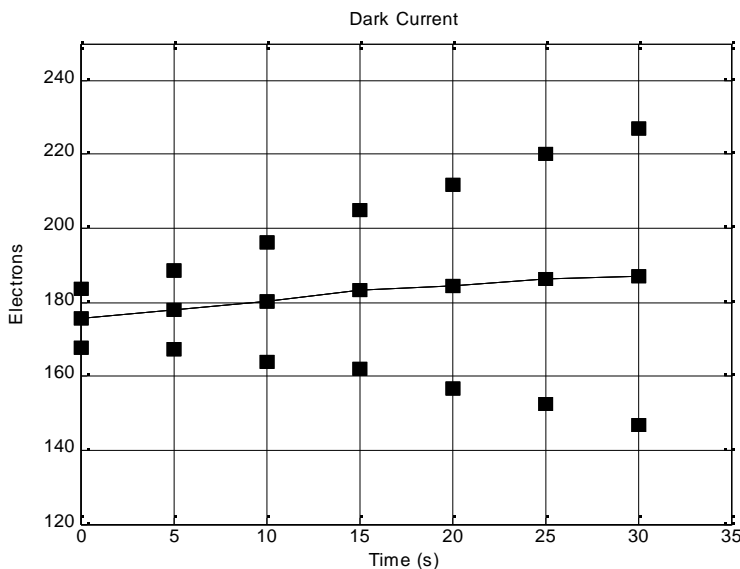
Figuren visar hur mörkströmsnivån minskar med temperaturen på sensorn i en CCD.

Enheten är i Elektroner/pixel/sekund och visar att mörkströmmen är temperaturberoende. CCD kameran har mycket låg mörkströmsnivå, vilket förstås är bra.



Figur 7.4 Standardavvikelse för mörkströmmen som funktion av temperaturen

Standardavvikelsen för mörkströmmen är högre än medelvärdet för en MasterDark. Detta tyder på väldigt slumpartat brus. Standardavvikelsen är också temperaturberoende. Mörkströmmen har även uppmätts som funktion av tiden vid, där mörkströmmen ska öka linjärt med tiden. Mätningen gjordes vid -25°C .



Figur 7.5 Diagram över bias- och mörkströmsnivån som funktion av tiden

I figur 7.5 visas medelvärdet av bias- och mörkströmmen som funktion av tiden samt standardavvikelsen för varje tid. Medelvärdet är en ganska linjär kurva, det är naturligtvis

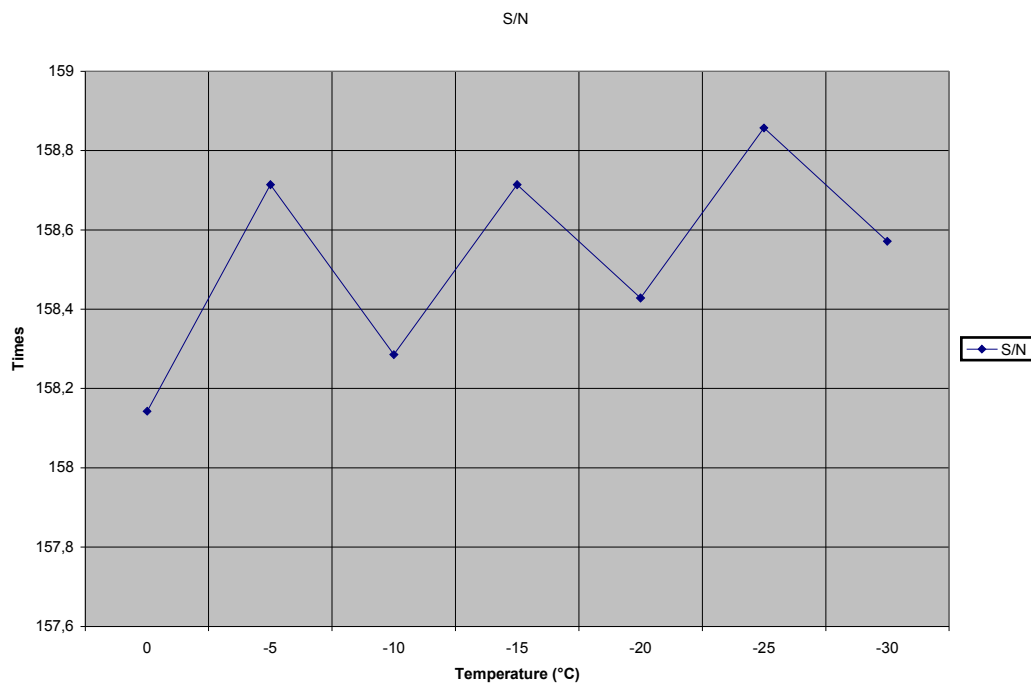


svårt att få en helt linjär kurva då slumpmässigt brus förekommer. Lutningen på kurvan är 0,3752 elektroner/pixel/sekund vid -25°C . Det är väldigt lågt. Det kan jämföras med tillverkarens specifikation på ~ 1 elektron/pixel/sekund vid 30°C .

Jämför man biasnivån med mörkströmmen ser man att vid korta exponeringar dominerar biasnivån. Vid långa exponeringar kommer mörkströmmen att dominera då den ökar linjärt med tiden.

7.2 Signal-till-brus förhållande(S/N)

Signal-till-brus förhållandet i systemet visar hur mycket bruset i en bild påverkar signalen. Eftersom flatfieldsystemet som konstruerats utför bildbehandling och reducerar bort bruset, ska S/N vara oberoende av temperaturen vilket resultatet också visar.

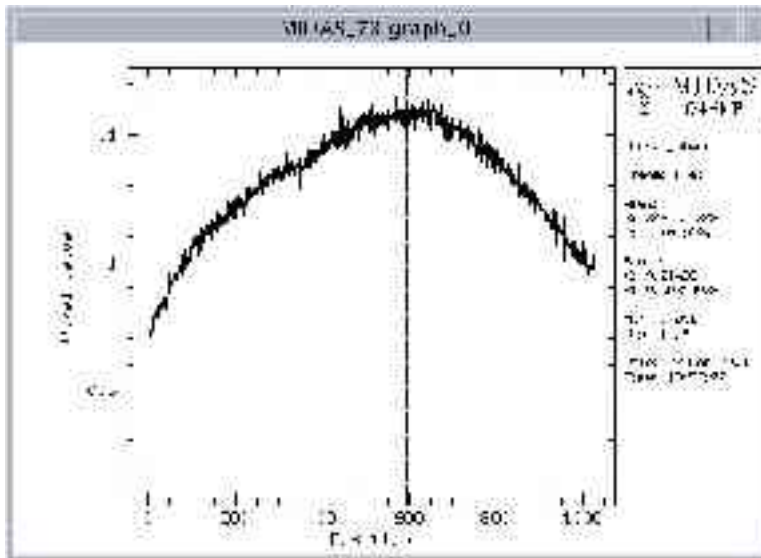


Figur 7.6 Diagram över signal-till-brus förhållandet.

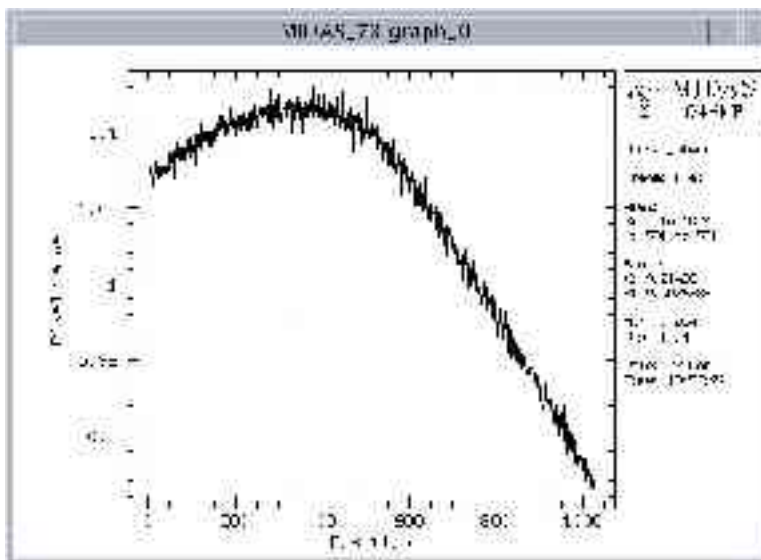
Signal till brusförhållandet är uppmätt på en MasterFlat för varje temperatur, som skapas av 10 st normaliserade, dark- och bias reducerade flatframes som man tar medianvärdet för varje pixel. Filtret som användes var B filtret. Diagrammet visar endast små variationer i S/N, som är oberoende av temperaturen. Variationerna beror snarare på slumpartade skillnader i signalnivå och brus. För att få ett högre S/N krävs att fler flatframes används för att skapa en MasterFlat.

7.3 Signalnivåernas förändring på en MasterFlat

Hur signalnivåerna varierar på en MasterFlat visas på en intensitetsprofil. Den visar hur platt responsen över matrisen verkligen är. Profilerna är gjord över det ljusaste området och är gjorda på en normaliserad MasterFlat.

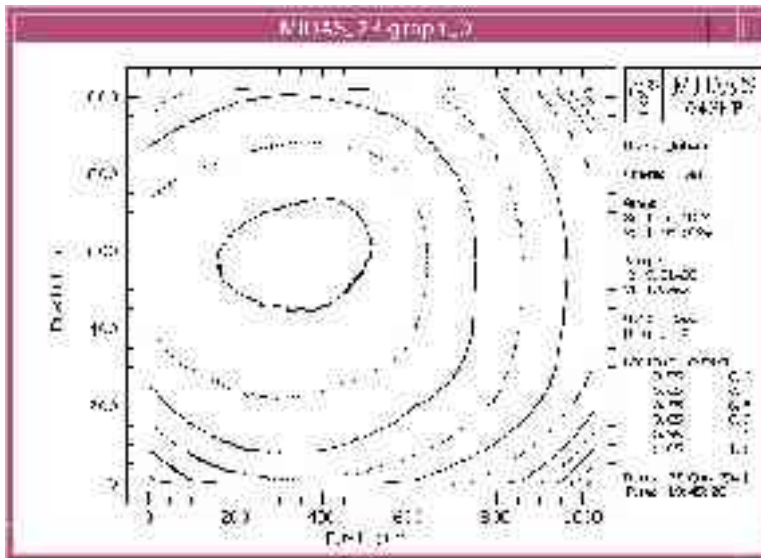


Figur 7.7 Genomsnitt av en flatfield i y-led



Figur 7.8 Genomsnitt av en flatfield i x-led

Figureerna visar att det är lite jämnare nivåer i x-led än i y-led. Profilen för en MasterFlat visar hur signalnivån ändras över hela bilden.

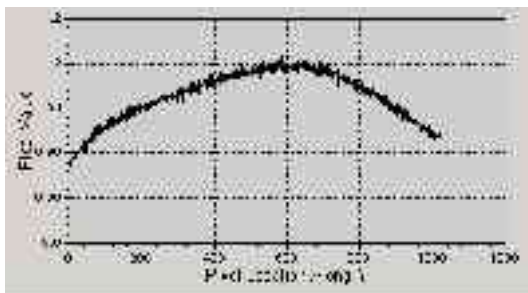


Figur 7.9 En bild på signalnivåernas konturer på en MasterFlat

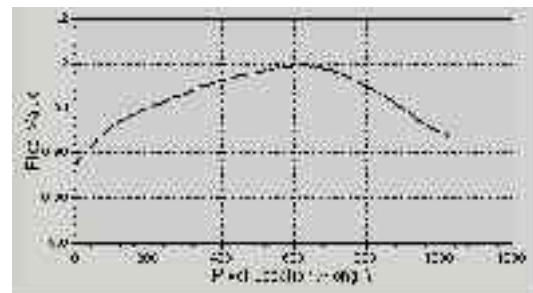
Medelvärden på den normaliserade bilden är 1. På figuren är den innersta ringen gränsen för en signalstyrka på 1,1. Varje kontur visar sedan en signalnivå minskning på 0,05. Bilden visar att en MasterFlat är platt över nästan hela ytan, men signalnivåerna minskar kraftigt i hörnen på högra sidan.

7.4 Digital filtrering

Ett kraftfullt sätt att minska bruset på en flatfield är att använda sig av digitala filter för att jämna ut signalnivåerna. Det finns flera olika sätt att göra detta på, i det här projektet har ett Kernelfilter använts. Filtreringen har gjorts i MaxIm DL och går till på följande sätt: Varje pixel byts ut mot medianvärdet av en kvadrat med intilliggande pixlar, i MaxIm DL kan man välja 3x3, 5x5 eller 7x7 pixlar där pixeln man utjämnar ligger i mitten av kvadraten.



Figur 7.10 Intensitetsprofil för en MasterFlat



Figur 7.11 Intensitetsprofil för en Kernelfiltrerad MasterFlat

I intensitetsprofilerna för en MasterFlat ser man tydligt att bruset har minskat efter filtreringen. Mäter man signal-till-brus förhållandet för bilderna, har det ökat från 185 till 557. Betydligt bättre alltså. Man måste dock vara försiktig när man gör digitalfiltrering så att ingen viktig information reduceras bort.



8. Programmet

8.1 Algoritm

Programmet som har skrivits heter CreateFlatField. Enligt projektets instruktioner ska programmet kunna utföra följande:

Ställa önskad temperatur på kameran.

Flytta teleskopet till Flatfieldskärmen

Användaren ska kunna välja vilket/vilka filter man ska ta flatfield med.

Ta Biasframes och skapa en MasterBias av dessa. MasterBias blir resultatet av median värdet pixel för pixel för alla Biasframes

Ta Darkframes och skapa en biassubtraherad MasterDark av dessa. MasterDark blir resultatet av medianvärdet pixel för pixel för alla Darkframes som sedan subtraheras med MasterBias

Ta flatfields och skapa en bias- och darkreducerad Masterflat för varje filter som användaren valt.

Låta användaren välja om digitalfiltrering av MasterBias och MasterFlat ska användas och ställa hur många pixlar som ska användas.

8.2 Programmets delar

Programmet är uppdelat i underprogram och funktioner. Huvudprogrammet anropar bara dessa i en viss ordning. I VBScript utför underprogram och funktioner vissa kommandon. Skillnaden är att underprogram inte kan returnera något, medans funktioner returnerar en sträng eller ett värde. Underprogrammen i den ordning de körs i programmet är: Settings, MoveTeleskope, MakeMasterBias, MakeMasterDark, MakeMasterFlat, TakeBias, TakeDark, TakeFlat, CreateFlatFrame och Smooth. Funktionerna är: CalcDate, CalcTime, CalcLST och Average.

8.2.1 Settings

I settings väljer användaren på vilka filter som flatfield exponeringarna ska göras. Programmet ser till att inga ogiltiga filter väljs. Här skapas den mapp där bilderna sparas i. Namnet på mappen bestäms av aktuellt datum och ska vara t ex. N041019. Datumet fås genom att anropa CalcDate.

8.2.2 MoveTeleskope

MoveTeleskope flyttar teleskopet till flatfieldskärmens läge. I de script som man kör i MaxIm DL kan man bara ge kommandon i Right Ascension, Ra och Declination, Dec. Problemet är att Ra ändras hela tiden eftersom Jorden snurrar, så om man skickar teleskopet till samma Ra, kommer den inte stå riktad mot skärmen förutom vid en viss tid varje dygn då Ra är i meridianen. Vad man då kan göra är att beräkna Local Sidereal Time, LST. Sen räknar man ut flatfield skärmens läge vid den tidpunkt man kör programmet genom att subtrahera LST med DeltaRaFlat. DeltaRaFlat är en konstant som är specifik för flatfield skärmen och anger timvinkeln från meridianen. LST beräknas genom att anropa CalcLST.

8.2.3 MakeMasterBias, MakeMasterDark och MakeMasterFlat

I de här underprogrammen skapas MasterBias, MasterDark och MasterFlat.



Underprogrammen anropar i sin tur TakeBias, TakeDark och TakeFlat som utför exponeringarna. Varje Master bild skapas på samma sätt av 10 st Bias-, Dark- och Flatframes. I alla tre underprogrammen har man 10 objekt som varje innehåller en frame.

Dessa 10 objekt läses in i ett dictionary objekt, här heter dom AllBias, AllDarks och AllFlats. Ett dictionary objekt är ett objekt i VBScript som kan lagra flera andra objekt, varje objekt lagras tillsammans med en referens. Ett dictionary objekt kan liknas med en matris. Av dessa 10 objekt skapas sedan ett Masterobjekt som är resultatet av medianvärdet pixel för pixel från de 10 objekten. Detta görs i MaxIm DL med kommandot: MasterBias.CombineImages 2,0,2,0,AllBias för MasterBias.

I MakeMasterDark subtraherar programmet MasterBias från bilden efter det att darkframes har kombinerats.

8.2.4 TakeBias, TakeDark och TakeFlat

I TakeBias och TakeDark tas Bias- och Dark exponeringarna och sparar bilderna så att de kan läsas in i MakeMasterBias och MakeMasterDark.

I TakeFlat tas Flat exponeringarna, men varje bild sparas temporärt och läses in i ett temporärt objekt. Sedan anropas CreateFlatFrame som utför bildbehandlingen som krävs för varje bild.

8.2.5 CreateFlatFrame

CreateFlatFrame tar emot det temporära objektet som skapats i TakeFlat. Sedan subtraheras bilden med MasterBias. Efter detta öppnar och skalar programmet MasterDark till flat exponeringens tid och subtraherar bilden med denna. Efter detta anropas funktionen Average som beräknar medelvärdet av alla pixlar på flatbilden. Medelvärdet divideras sedan från varje pixel och man har en normaliserad, bias- och darkreducerad flatframe som sedan sparas som Flat_filter_j.fits, där j är nr på flatexponeringen.

8.2.6 Smooth

I Smooth får användaren välja om programmet ska tillämpa ett digitalt Kernelfilter på MasterBias och MasterFlat. Användaren väljer också hur många pixlar som ska användas av filtret för att utjämna signalnivåerna.

8.2.7 CalcDate

CalcDate beräknar dagens datum på formen 041019 från datorns systemklocka. Dygnskift sker kl 12 på dagen för astronomiska observationer.

8.2.8 CalcTime

CalcTime anropas av Settings och beräknar den sammanlagda exponeringstiden och utläsningstiden för alla bias-, dark och flatfieldexponeringar.

8.2.9 CalcLST

Beräknar Local Sidereal Time för orten.

8.2.10 CalcAverage

Beräknar medelvärdet av alla pixlar i en flatframe.



9. Slutsatser och diskussion

Projektet gick ut på att skapa ett flatfield system för kalibrering av digitala bilder. Systemet som skapats består dels av hårdvara i form av en flatfieldskärm och belysning samt mjukvara i form av programmet CreateFlatField.

Att välja material till flatfield skärmen var ganska svårt och tog mycket tid. Till slut användes vit formskummad PVC, som är en hårdplast med en vit diffus yta. Just dessa egenskaper är viktiga när man gör en flatfieldskärm. Ett alternativt material är Soric screen, som är en vit plastduk framtagen för att användas inom forskning och som används vid andra observatorier till flatfielding. Nackdelen är att den är väldigt dyr.

För att belysa flatfieldskärmen rätt, användes två rektangulära halogenstrålkastare som via två reflektorskärmar belyser flatfieldskärmen. Detta har visat sig ge en förhållandevis jämn belysning över hela skärmen. Om man har fler lampor kanske det blir jämnare belysning, men två lampor ger tillräckligt bra ljus. Att sätta upp fler lampor på insidan av kupolen, genererar dessutom flera problem. Här har en enkel lösning som fungerar bra valts. Om man dessutom har fler lampor, blir det alldeles för mycket ljus vilket är ett problem när man använder sig av två lampor. Vissa filter släpper igenom mycket ljus och till dessa filter används en bländare som minskar ljuset från varje lampa med ca 2/3.

Programmet som skrivits utför de instruktioner som gavs i projektbeskrivningen. Programmeringen är det som tagit längst tid i projektet, då det även har inneburit att ställa in tiderna för flatfields på varje filter. Det gäller att signalnivåerna inte är för svaga eller för starka. Eftersom programmet skrevs i VBScript har inte användarinterfacet kunnat utvecklas.

Kvalitetskontrollen visar att mörkströmsnivån för kameran är väldigt låg. Biasnivån för kameran ligger strax över 100 ADU vid -30 °C vilket är normalt för CCD kameror. Mörkströmmen för kameran är väldigt låg, den varierar dock mycket. Signal-till-brus förhållandet för systemet ligger kring 158, vilket kan förbättras genom att kalibrera med fler flatfields. Det tar dock längre tid så det är en avvägning som måste göras. Man kan istället använda sig av ett Kernelfilter för att reducera bruset. Tittar man sedan på intensitetsprofilerna och konturen för en MasterFlat, ser man att större delen av bilden inte avviker mer än 10% från medelvärdet. De områden som gör det är längst ute i vissa hörn på bilden, det kan bero på vignettering i optiska systemet eller på att ljuset är svagare där, men eftersom lamporna sitter lika på båda sidorna av skärmen borde alla hörn visa upp dessa låga signalnivåer.

Förbättringar som kan göras på flatfield systemet är att ta fler flatfields till sina kalibreringar. Fler lampor för att få ännu jämnare belysning. Bättre material till skärmarna t.ex. Soric Screen.



10. Källor

10.1 Böcker

Sze, S. M. (2002), *Semiconductor devices*. 2:a upplagan. Wiley

Berry, Richard & Burnell, James (2000), *Astronomical image processing* Willmann-Bell

McLean, Ian (1997), *Electronic imaging in astronomy*. Wiley

10.2 Källor på internet

[URL] <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/digitalimaging/concepts/concepts.html>

[URL] <http://www.astrosurf.com/re/process.html>

[URL] http://www.sbig.com/sbwhtmls/large_format_cameras.htm

[URL] <http://www.ccd.com/>

[URL] <http://www.kodak.com/global/en/digital/ccd/products/fullframe/KAF-1001E/indexKAF-1001E.jhtml?id=0.1.4.6.4.9&lc=en>



Bilaga A Tekniska Specifikationer för SBIG CCD Kamera

Architecture	Full-Frame CCD
Pixel Count	1024x1024
Pixel Size	24 μm x 24 μm
Imager Size	24,6 mm x 24,6 mm
Chip Size	28,6 mm x 25,5 mm
Optical Fill-Factor	100%
Saturation Signal	240.000 electrons
Output Sensitivity	10 μV /electron
Readout Noise	(1 MHz) 15 electrons rms
Dark Current	<30 pA/cm ²
Dark Current Doubling Rate	5-6 °C
Dynamic Range (Sat Sig/Dark Noise)	72 dB
Quantum efficiency (450, 550, 650 nm)	40%, 55%, 65%
Maximum Data Rate	5 MHz
Charge Transfer Efficiency	>0,99997
Full-Frame download	2,5 seconds



Bilaga B Examensarbetets projektplan

- Study of the telescope and CCD camera operation principles. Week 1-3
- Study of the existing professional data analysis software packages. Week 4-5
- Build a flatfield light source. Week 6-9
- Collecting test calibration data and developing prototype software procedures for the analysis. Verifying the properties of calibration source and characterizing the SBIG CCD detector. Week 10-12
- Programming and debugging final calibration procedures. Week 13-15
- Testing and debugging the final setup. Week 16-17
- Writing documentation and final report. Week 18-20



Bilaga D CreateFlatField.vbs