

Ocena błędów systematycznych związanych ze strukturą CCD danych astrometrycznych prototypu „Pi of the Sky”

Maciej Zielenkiewicz

5 marca 2010

1 Wstęp

1.1 Projekt Pi of the Sky

Celem projektu jest poszukiwanie krótkotrwałych zjawisk na niebie, takich jak błyski γ , wybuchy nowych czy zmiany jasności gwiazd zmiennych. Niebo jest obserwowane za pomocą komercyjnych obiektywów skupiających światło na sensorach CCD. Na podstawie zebranych obrazów identyfikowane są pozycje i jasności świecących obiektów; na podstawie analizy tych danych znajdowane są interesujące zjawiska.

1.2 Cel ćwiczenia

Ćwiczenie miało na celu ocenę błędów systematycznych związanych ze strukturą pikseli na chipie CCD występujących przy pomiarze jasności gwiazd w projekcie Pi of the Sky. Ocena i korekcja tych błędów pozwoli na zmniejszenie niepewności pomiarowych jasności obserwowanych obiektów i lepsze oszacowanie tychże niepewności.

2 Wykorzystane dane

Do wykonania ćwiczenia posłużyły dane doświadczalne z lat 2006-2009 dostępne na komputerze heplx61. Z danych wybrano losowo 4000 gwiazd które mają po co najmniej 1000 pomiarów, a spośród nich te pomiary, których pozycje były nie dalej niż 400 pikseli od środka chipa w kierunkach poziomym i pionowym aby deformacje obrazu przy brzegach pola widzenia nie wpływały na wyniki. Tak wybrane dane analizowano w programie ROOT. Badanym parametrem określającym „błąd” pomiaru była różnica między zmierzonym w danym pomiarze wartością magnitudo a średnią wartością ze wszystkich pomiarów dla danego obiektu.

Ze względu na odkryte w czasie ćwiczenia nieprawidłowe dodawanie ułamkowych poprawek do pozycji na osiach x i y dane korygowano zgodnie ze wzorem:

$$ccdx_{+} = ccdx_{-} - \text{int}(ccdx_{+} + 0.5) \quad (1)$$

$$ccdy + = ccdy - int(ccdy + 0.5) \quad (2)$$

2.1 Sposób wyboru danych z bazy

W celu ułatwienia ewentualnej powtórnej analizy poniżej zamieszczono widok SQL pozwalający na bezpośrednie pobieranie wybranych i skorygowanych danych z bazy:

```
CREATE TEMP VIEW gwiazdki AS
SELECT star,
2*ccdx - trunc(ccdx+0.5) - floor(2*ccdx - trunc(ccdx+0.5)) AS ulamek_ccdx,
2*ccdy - trunc(ccdy+0.5) - floor(2*ccdy - trunc(ccdy+0.5)) AS ulamek_ccdy,
ccdx,
ccdy,
magnitude - (SELECT mag FROM dobresrednie WHERE star = m.star) AS dmag,
magnitude
FROM MEASUREMENTS m WHERE
ccdx > 600 AND
ccdx < 1400 AND
ccdy > 600 AND
ccdy < 1400
```

Analizowane dane pochodziły z obrazów sumowanych po 20 klatek, co powoduje, iż wyznaczone poprawki będzie można bezpośrednio stosować jedynie do danych obrabianych w podobny sposób.

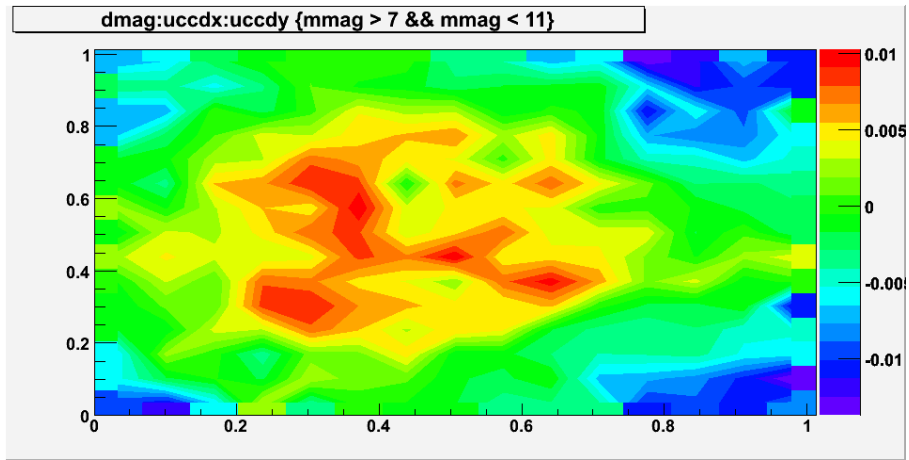
3 Analiza

3.1 Przegląd danych

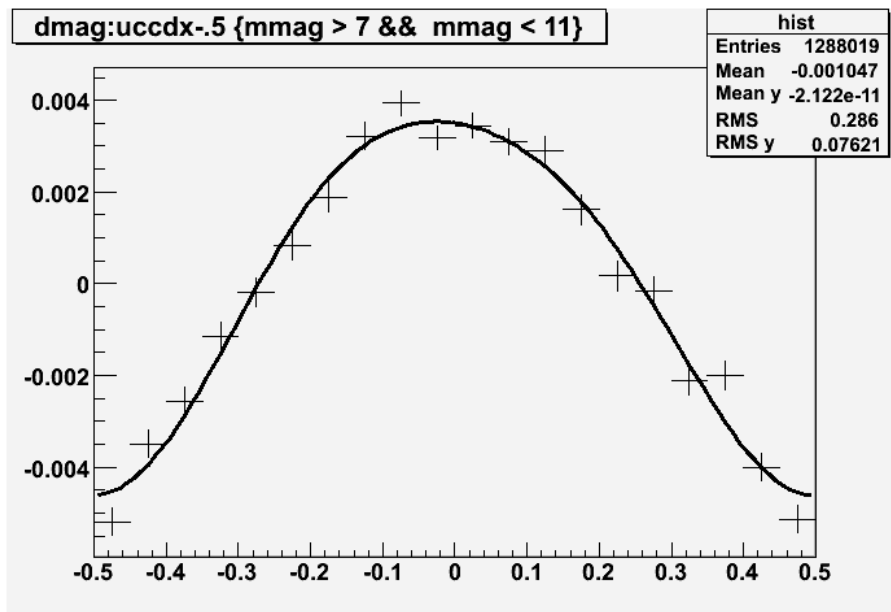
Przeanalizowano zależność różnicy między średnim magnitudo a magnitudo dla danej wartości ułamkowej pozycji obrazu na chipie CCD. W tym celu stworzona została mapa pokazująca średnią wartość odchylenia magnitudo od średniej w zależności od „zhistogramowanych” zmiennych $uccdx$ — wartości ułamkowej położenia na osi X i $uccdy$ — odpowiednio dla osi Y. Uzyskany wyniki przedstawia Rysunek 1.

3.2 Dopasowanie poprawek

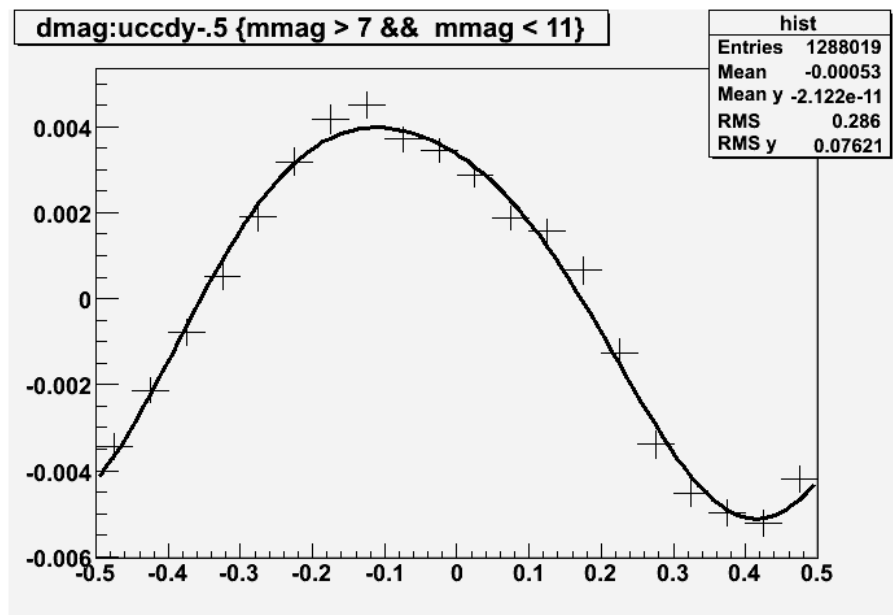
Rozpoczęto poszukiwanie poprawek od znalezienia ich oddzielnie dla odchylenia w zależności od $uccdx$ i odchylenia w zależności od $uccdy$. W tym celu przygotowano wykresy z opcją *profile* odpowiednich odchyżeń. Korzystając z sugestii, iż poprawki mogłyby być postaci sum składników typu $\sin(2\pi n \cdot uccdx)$ lub $\cos(2\pi n \cdot uccdx)$ przetestowano różne wartości n od 1 do 3. Rysunki 2 i 3 ukazują wykresy wraz z dopasowanymi poprawkami optymalnych rzędów (odpowiednio 1 i 3). Podczas dalszej analizy okazało się, iż potrzebne jest dokładniejsze skorygowanie wyników i obliczono poprawki czwartego rzędu. Porównanie poprawek różnych rzędów ukazuje Rysunek 4.



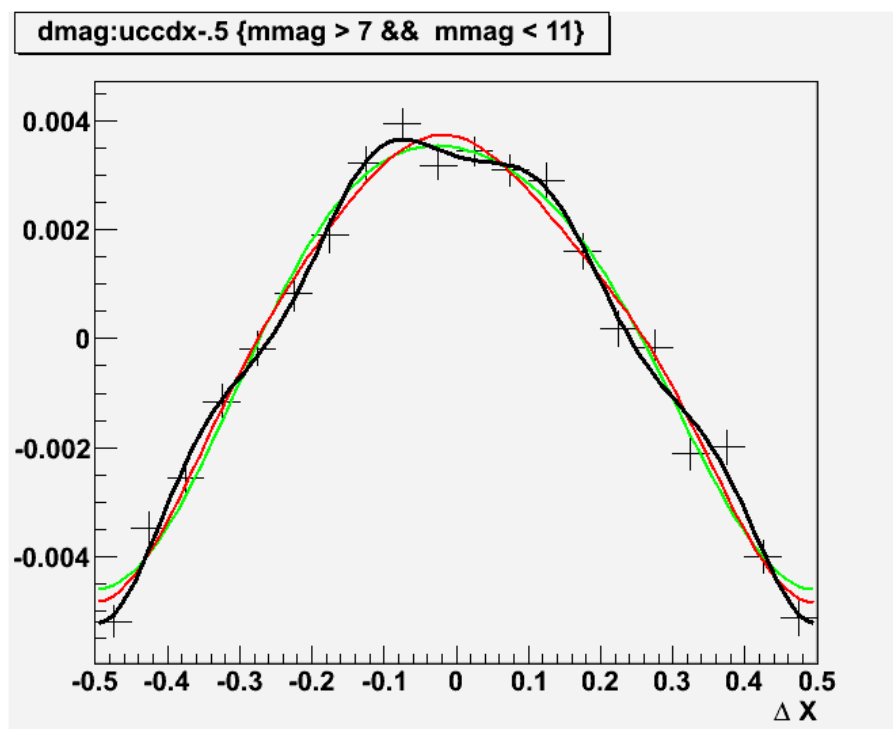
Rysunek 1: Zhistogramowana mapa zależności odchylenia magnitudo w zależności od wartości ułamkowych pozycji (skala kolorów mapy w jednostkach magnitudo, pozostałe - w pikselach).



Rysunek 2: Poprawki pierwszego rzędu dla odchylenia magnitudo w zależności od *uccdx*.

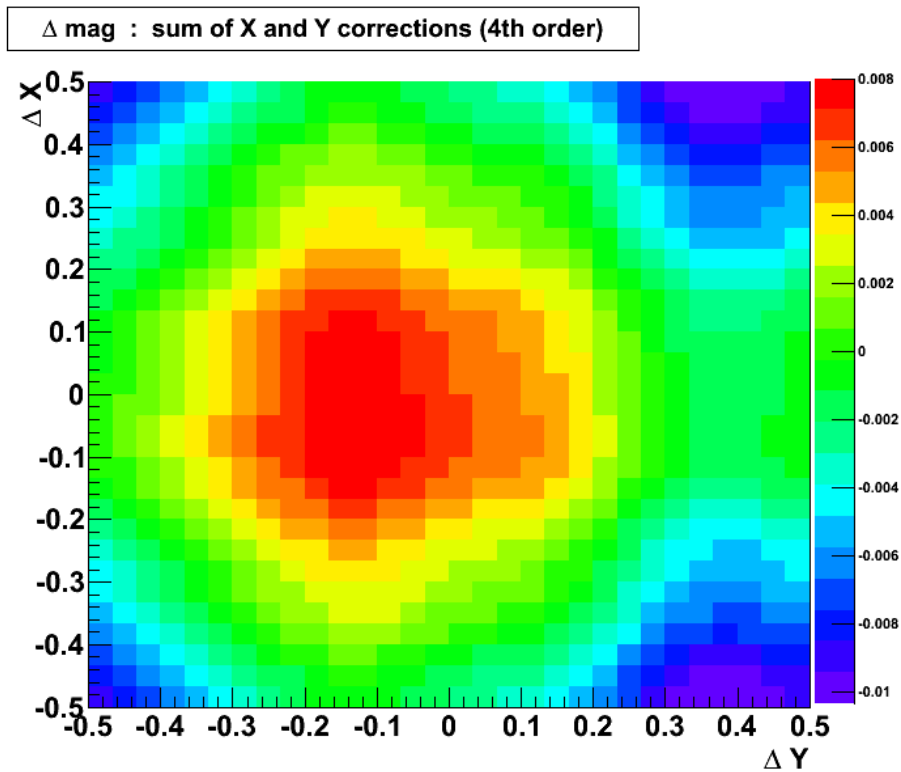


Rysunek 3: Poprawki trzeciego rzędu dla odchylenia magnitudo w zależności od *ucddy*.



Rysunek 4: Porównanie poprawek rzędów od 2 do 4 dla odchylenia magnitudo w zależności od *ucdx*.

Aby przetestować obliczone poprawki przygotowano wykres, analogiczny do przedstawionego na Rysunku 1 wspomnianego w poprzednim punkcie, ukazujący sumę wcześniej opisanych poprawek (Rysunek 5). Porównanie tych dwóch wykresów ujawnia ich widoczne podobieństwo, co wskazuje na to, iż suma wyznaczonych poprawek stanowi dobrą poprawkę do końcowego zastosowania.

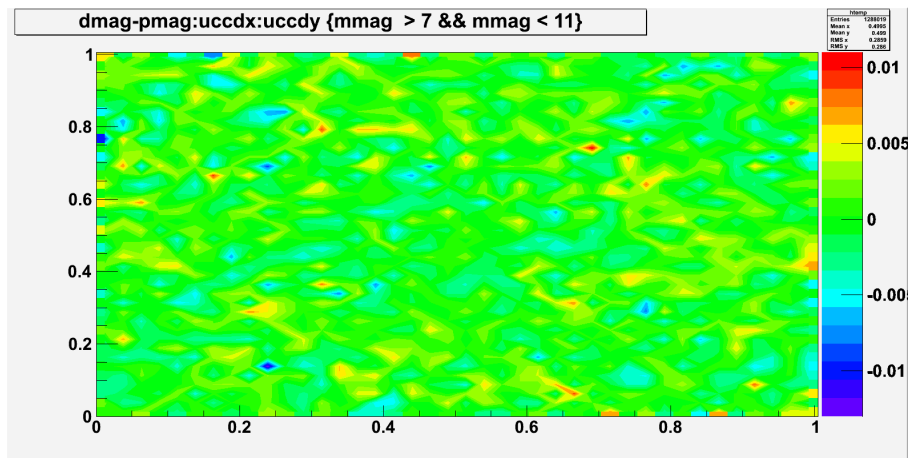


Rysunek 5: Mapa sumy wyznaczonych poprawek.

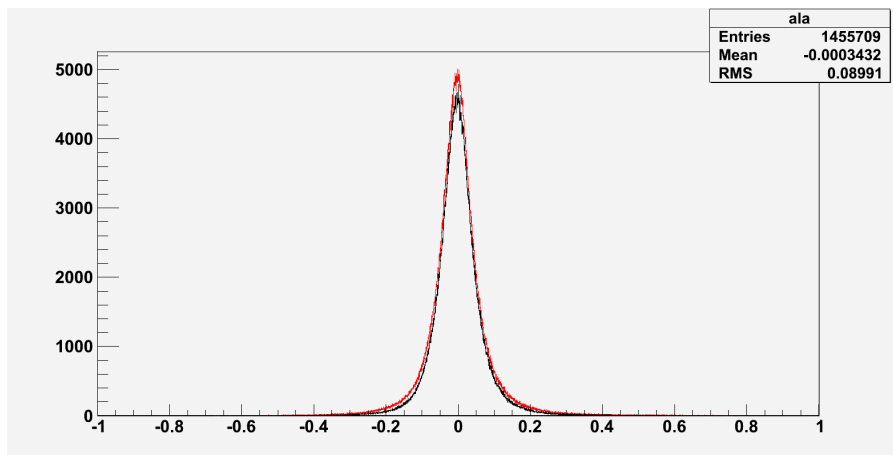
3.3 Sprawdzenie poprawek

W celu sprawdzenia jakości opracowanych poprawek narysowano wykres analogiczny do Rysunku 1, jednakże ukazujący różnicę między magnitudo z dodaną poprawką a średnim magnitudo. Uzyskany wynik przedstawia Rysunek 6. Mapa tych poprawek jest praktycznie płaska, co wskazuje na to, iż skutecznie skorygowano błędy skorelowane z wartościami ułamkowymi pozycji.

Aby dodatkowo zweryfikować jakość poprawionych danych narysowano histogramy odchyłeń wartości magnitudo od średniej (Rysunek 7) i średnich wartości odchyłeń magnitudo od średniej (Rysunek 8). Uzyskane wyniki wskazują na to, iż poprawka pozwoliła uzyskać węższy rozkład odchyłeń, a zatem bardziej dokładne dane. Jednakże widoczny jest wpływ innych zjawisk na wyniki pomiarów, który nie był analizowany w tym ćwiczeniu. Wartości RMS odczytane z ostatniego ze wspomnianych wykresów przed poprawką wynosiło 0,0052, a po poprawce 0,0028.



Rysunek 6: Zhistogramowana mapa zależności odchylenia poprawionego magnitudo w zależności od wartości ułamkowych pozycji (skala kolorów mapy w jednostkach magnitudo, pozostałe - w pikselach).



Rysunek 7: Histogram odchyłeń wartości magnitudo od średniej dla danej gwiazdy. Kolorem czerwonym zaznaczono histogram uzyskany bez stosowania poprawek, a czarnym — z ich zastosowaniem.

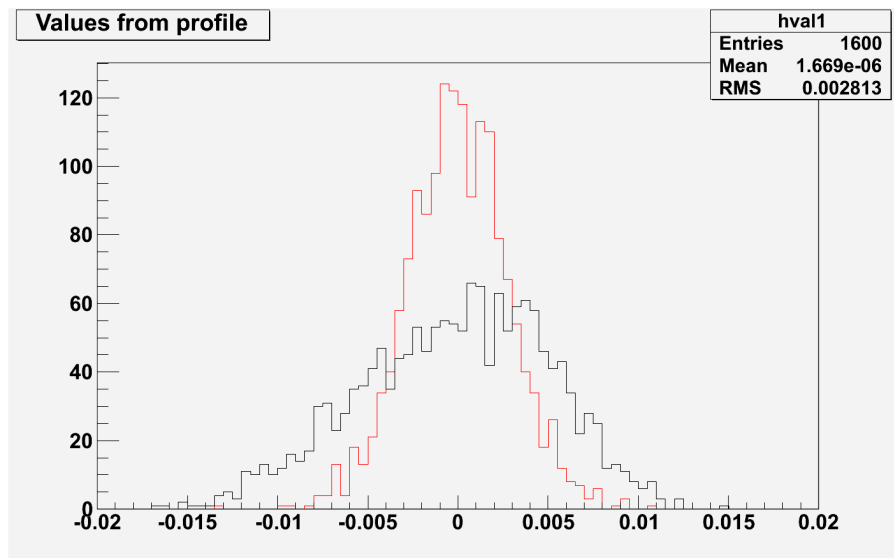
3.4 Inne spostrzeżenia

Przygotowano histogramy liczby zarejestrowanych gwiazd w zależności od odpowiednio *uccdx* i *uccdy*. Przewidujemy, iż powinny być one płaskie, jednakże uzyskane histogramy pokazane na Rysunkach 9 i 10 wyraźnie odbiegają od takiego kształtu. Korzystając z tych danych można dopasować metodą η -funkcji poprawki do położień, co zostało jednak pozostawione jako oddzielne ćwiczenie.

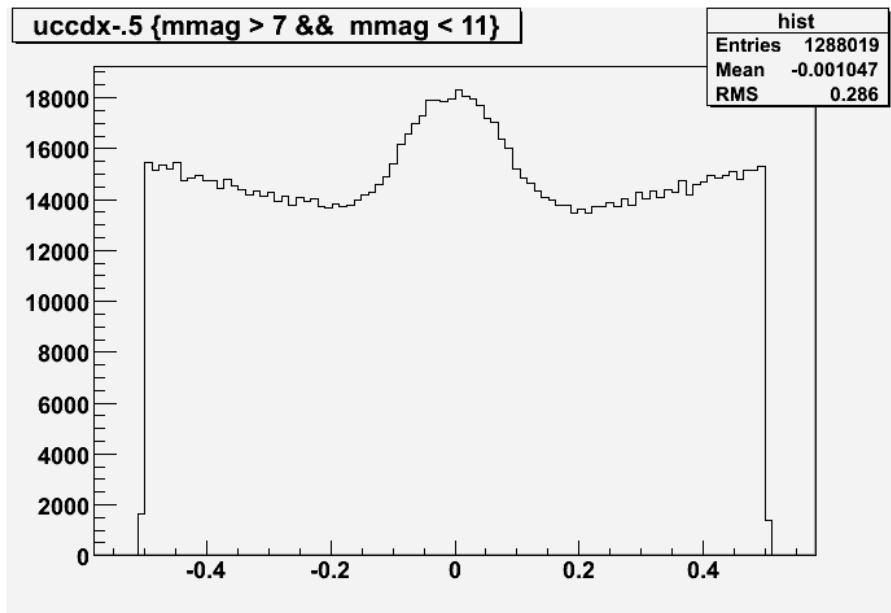
4 Wnioski

Obliczone poprawki pozwalają na dokładniejsze wyznaczanie jasności rejestrowanych obiektów, gdyż pozwalają zarówno na oszacowanie niepewności zmierzonych danych, jak i jej zmniejszenie. Ma to szczególne znaczenie w przypadku zjawisk krótkotrwałych, dla których nie można wykonać dużej liczby pomiarów, a takich właśnie poszukuje projekt Pi of the Sky. Poprawki będą istotne zarówno przy obserwacjach małych zmian jasności gwiazd zmiennych, jak również obserwacji zjawisk występujących jednokrotnie, takich jak błyski gamma. Jednakże w tym drugim przypadku konieczna będzie dalsza analiza w celu rozszerzenia wyników na odczyty z pojedynczych klatek, a nie tylko z ich sum. Sposób obliczenia poprawek wskazuje na to, iż poprawki dla osi X i Y są w dobrym przybliżeniu niezależne. Weryfikacja wyznaczonych poprawek pokazała (jakościowo), iż zostały one dopasowane poprawnie i skutecznie korygują wpływ pozycji pomiarów na wyniki, chociaż prawdopodobnie występują także zauważalne niepewności spowodowane innymi czynnikami.

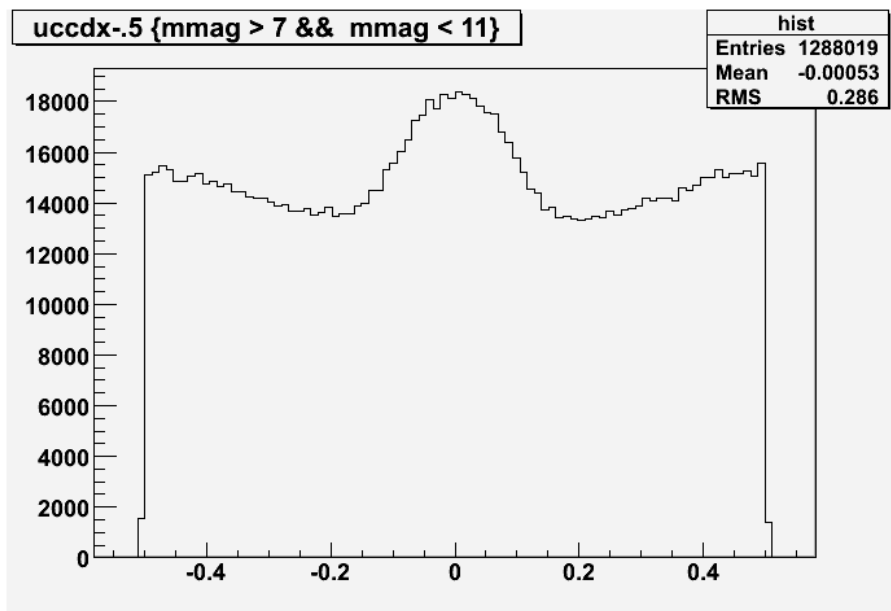
Porównanie danych doświadczalnych z rzeczywistych obserwacji z danymi uszy-



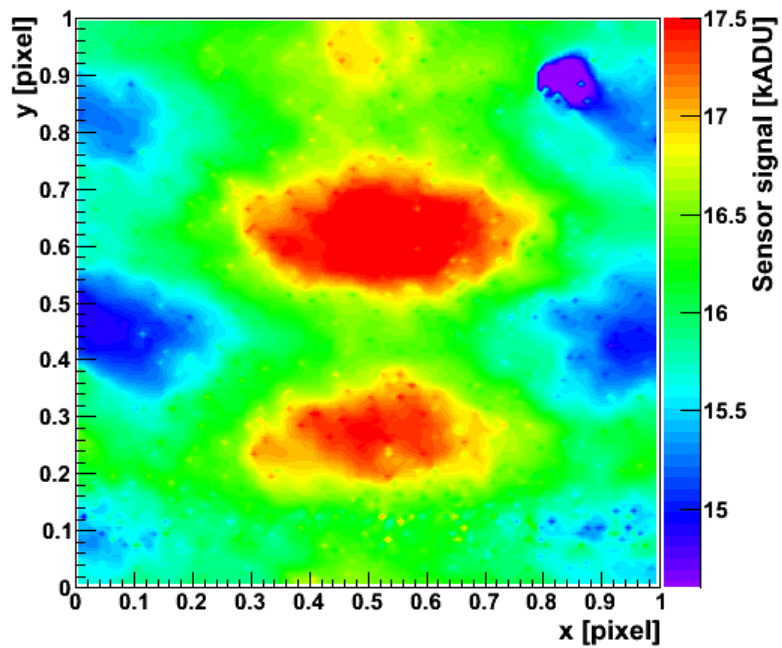
Rysunek 8: Histogram średniego odchylenia wartości magnitudo od średniej dla danej gwiazdy. Kolorem czerwonym zaznaczono histogram uzyskany bez stosowania poprawek, a czarnym — z ich zastosowaniem.



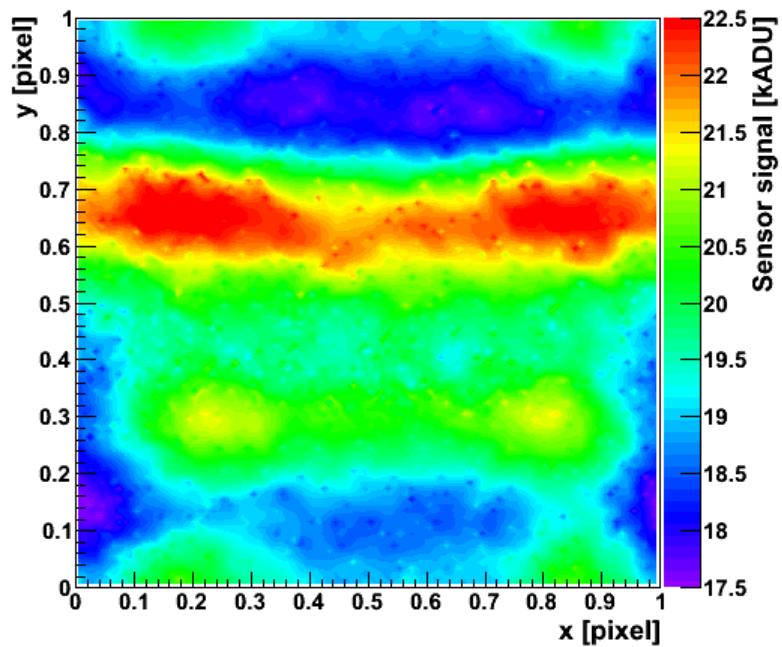
Rysunek 9: Histogram liczby zarejestrowanych gwiazd w zależności od *uccdx*.



Rysunek 10: Histogram liczby zarejestrowanych gwiazd w zależności od *uccdy*.



Rysunek 11: Zależność odpowiedzi detektora od położenia wewnątrz piksela dla czerwonej diody LED imitującej gwiazdę.



Rysunek 12: Zależność odpowiedzi detektora od położenia wewnątrz piksela dla niebieskiej diody LED imitującej gwiazdę.

kanymi poprzez symulację gwiazdy za pomocy diody LED z przesłoną¹ pokazuje, że dioda powoduje jakościowo inną odpowiedź detektora (Rysunki 11 i 12), zatem same badania z wykorzystaniem diody nie pozwalają na poprawne wyznaczenie poprawek.

Podczas wykonywania ćwiczenia spostrzeżono także niewłaściwy współczynnik z którym były uwzględniane poprawki do pozycji, jak również odkryto niezaplanowaną możliwość dostępu studentów do jednego z komputerów obsługującego stronę WWW.

¹por. A.F. Żarnecki *Pi of the Sky*, http://hep.fuw.edu.pl/u/zarnecki/talks/afz_pi2009.pdf