

Analiza poprawki fotometrycznej w danych PI of the sky

Przemysław Bienias
opiekun: prof. dr hab. Aleksander Filip Żarnecki

27 czerwca 2011

Streszczenie

Celem doświadczenia było wprowadzenie dodatkowej poprawki fotometrycznej w analizie danych z projektu "Pi of the Sky". Poprawka ta uwzględnia typ spektralny gwiazd. W swojej pracy zmodyfikowałem algorytm wyliczania poprawki stosowany do pojedynczych obiektów przez grupę "Pi of the Sky" tak aby możliwe było wyliczanie poprawki dla całych klatek danych. Stwierdziłem, że uwzględnienie typu gwiazd poprawia średnią wartość odchylenia od wartości katalogowych o około 10% oraz przeanalizowałem jakość poprawki.

1 Wstęp teoretyczny

W pracy zajmowałem się pomiarami gwiazd z bazy "II of the Sky". Dane w czasie pomiarów są poddawane standardowej obróbce fotometrycznej (jasność z niej wynikającą oznaczam w pracy przez \mathbf{P}). Ponadto wylicza się dla nich poprawkę opartą na porównaniu z jasnościami gwiazd referencyjnych (\mathbf{M}), które znajdują się w otoczeniu interesującego nas obiektu. Szczegółowe informacje można znaleźć w pracy [1]. Zaobserwowano, że średnia zmierzona jasność gwiazd (\mathbf{M}) jest systematycznie przesunięta względem katalogowej jasności (\mathbf{V}) w zależności od różnicy: $\mathbf{J-K}$ (jasności katalogowe w różnych filtrach). Zauważono, że to przesunięcie jest w przybliżeniu liniowe i uwzględniając typ spektralny wprowadzamy bliższą rzeczywistości M_{corr} (jak pokażę w dalszej części pracy średnia różnicy między M_{corr} i \mathbf{V} wynosi praktycznie zero):

$$M_{corr} = M - 0.2725 + 0.5258 * (J - K) \quad (1)$$

Prof. dr. hab. Filip Żarnecki oraz mgr Rafał Opiela w swojej pracy pokazali, że po zastosowaniu kolejnej poprawki wynikającej z uwzględnienia typu widmowego gwiazd referencyjnych (korzystając z powyższej formuły) można uzyskać dane lepszej jakości. Zastosowali oni algorytm do pojedynczej gwiazdy, której jasności była mierzona przez pewien okres czasu (korzystali z danych dla jednego obiektu z wielu tzw. "klatek"). W swoich badaniach, korzystając z ich doświadczeń oraz metod rozszerzyłem stosowalność metody na całą "klatkę". Ponadto badałem jak dużą poprawę uzyskuje się dla takiego zbioru danych. Na początku po krótko przedstawię kolejne kroki w algorytmie generowania poprawek. Następnie przejdę do wyników i ich analizy.

Cały algorytm składa się z następujących kroków:

1. selekcji gwiazd użytych do analizy (wynikająca z jakości i ilości pomiarów oraz jasności obiektów)
2. obliczenie poprawki widmowej dla całej klatki
3. zastosowanie tej poprawki oraz wyliczenia parametrów oceniających jakość wyników

1.1 Selekcja gwiazd użytych do analizy

- Jako referencyjne uwzględniałem tylko gwiazdy, które miały dane w filtrach J i K oraz były dobrej jakości. Ponadto choć wyliczona poprawka może być stosowana do każdej gwiazdy to jednak ze względów numerycznych stosowałem ją tylko do gwiazd referencyjnych. I na ich podstawie dokonywałem analizy.
- Tylko gwiazdy spełniające $6 < \mathbf{V} < 10$ były używane jako referencyjne. Gwiazdy słabsze często obarczone są większym błędem oraz mylnie interpretowane.
- Z podobnych powodów uwzględniamy jako referencyjne tylko gwiazdy, których jasność M_{corr} nie odbiega zbyt bardzo od jasności katalogowej V . W tym celu używałem tylko gwiazd które spełniały: $| < M_{corr} > - V | < 0.2$, gdzie M_{corr} jest uśredniane po klatkach.
- Ponadto na podstawie analizy FŻ & RO zastosowałem warunek na to by $RMS(< M_{corr} >) < 0.07$ dla danej gwiazdy. Gdzie $RMS(< M_{corr} >) = \sqrt{< M_{corr}^2 > - < M_{corr} >^2}$ gdzie uśrednianie jest po klatkach dla danej gwiazdy.
- Ponadto aby warunki na obcięcie uwzględniające uśrednianie po klatkach były statystycznie godne zaufania uwzględniałem tylko gwiazdy które pojawiały się na ponad 80% klatek.

1.2 Obliczenie poprawki

Po wyselekcjonowaniu obiektów następnie wyliczałem poprawki dla klatek. Zwykle w celu określenia poprawki fotometrycznej oblicza się uśrednioną po gwiazdach referencyjnych różnicę między zmierzoną i prawdziwą jasnością: $\Delta = \langle M_{corr} - V \rangle$. Jak zauważył jednak FŻ uzyskuje się znaczną poprawę jakości poprawki jeżeli wyliczy się ją z kwadratowej zależności od położenia gwiazd referencyjnych. W tym celu dla każdej klatki zgodnie z założoną postacią zależności dopasowuje się powierzchnie: $\Delta(ccdx, ccdy) = A\Delta(ccdx - ccdxstar)^2 + B\Delta(ccdx - ccdxstar)\Delta(ccdy - ccdystar) + C\Delta(ccdy - ccdystar)^2 + D\Delta(ccdx - ccdxstar) + E\Delta(ccdy - ccdystar) + F$ gdzie $ccdxstar, ccdystar, ccdx, ccdy$ oznaczają pozycję interesującej gwiazdy oraz gwiazdy referencyjnej na CCD. Wykorzystując metody analitycznie wyznaczane jest 6 parametrów opisujących dopasowywaną powierzchnię. Następnie FŻ oraz RO obliczali korzystając ze współczynnika F poprawioną jasność analizowanej gwiazdy: $M_{new} = M_{star} - \Delta(ccdxstar - ccdystar) = M_{star} - F$ gdzie M_{star} jest jasnością zmierzoną w eksperymencie "Pi of the Sky" poddaną standardowej poprawce. Powyższe kroki powtarzałem w swojej analizie.

Co więcej w celu osiągnięcia lepszej dokładności poprawkę wyliczałem tylko na podstawie gwiazd w odległości mniejszej niż $0.15 \cdot D$ (gdzie D to zarazem długość jak i szerokość klatki). Ponadto przy wyliczaniu współczynników uwzględniono wagi na odległość gwiazdy referencyjnej od interesującego nas punktu (oznaczona przez: r): $w_r = \exp(-\frac{r^2}{2\sigma^2})$, w moim przypadku użyłem $\sigma = 0.05D$.

Ponadto zastosowano kolejną wagę, tym razem uwzględniającą fakt, że gwiazdy o jasności 7-8 mag są mierzone dokładniej niż te blisko 6 albo 10 mag. FŻ oraz RO stwierdzili, że zależność średniego błędu $\sigma_{ref} = RMS(M_{corr})$ w zależności od V dana jest przybliżonym wzorem: $\sigma_{ref}(V) = 0.251578 - 0.0581631V + 0.00372346V^2$ W związku z tym waga związana jasnością obiektów jest brana jako: $w_{mag} = \frac{1}{\sigma_{ref}^2}$

Cała waga używana do obliczenia poprawek jest iloczynem omówionych poprawek: $w = w_{mag} * w_r$

W celu obliczenia poprawek dla całej mapy zmodyfikowałem powyższą metodę. W celu obliczenia poprawki nie jest potrzebne aby w danym punkcie znajdowała się gwiazda. Z dopasowanej powierzchni można wyliczyć poprawkę również dla gwiazd nie znajdujących się w "środku" dopasowywanej powierzchni. A więc w pierwszym kroku policzyłem poprawki w węzłach ortogonalnej siatki odległych od siebie $1/128$ szerokości klatki. Odpowiednie poprawki były "wycelowane" w odpowiednich węzłach. Aby obliczyć poprawkę pomiędzy węzłami skorzystałem z wag opartych na metryce miasta, skonstruowane tak aby większe znaczenie miały poprawki od bliższych węzłów a ponadto wagi sumowały się do jedynki.

Mając na siatce współczynniki powierzchni dwuwymiarowej i chcąc policzyć poprawkę w danym punkcie:

- Znajdujemy 4 punkty najbliższe danemu punktowi.
- Liczymy na podstawie współczynników powierzchni dwuwymiarowej poprawki od każdego z tych 4-ech najbliższych punktów dla danego punktu.
- Sumujemy je ze zmodyfikowanymi wagami "wg metryki miasta", tzn:

Najbliższe punkty (i,j - indeksy oznaczające intuicyjnie numerowane węzły siatki): $(x_{i,j}, y_{i,j}); (x_{i+1,j}, y_{i+1,j}); (x_{i,j+1}, y_{i,j+1}); (x_{i+1,j+1}, y_{i+1,j+1})$

Oznaczając współrzędne badanego punktu: x,y dostajemy wagi na poprawki:

od i,j:

$$(x_{i+1,j+1} - x) + (y_{i+1,j+1} - y)$$

od i+1,j+1:

$$-(x_{i,j} - x) - (y_{i,j} - y)$$

od i+1,j:

$$-(x_{i,j+1} - x) + (y_{i,j+1} - y)$$

od i,j+1:

$$(x_{i+1,j} - x) - (y_{i+1,j} - y)$$

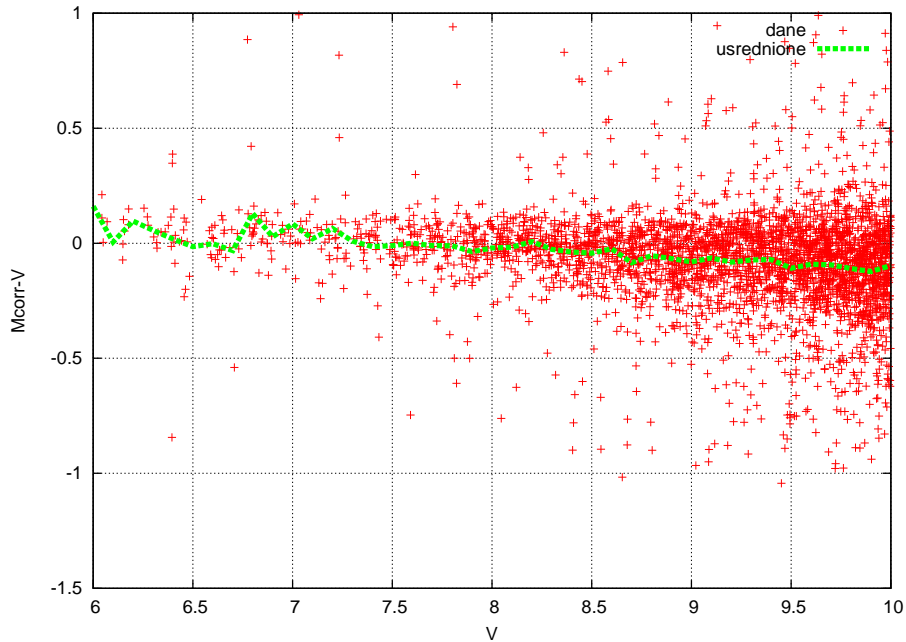
Wagi należy jeszcze unormować (sumują się do obwodu kwadratu wyznaczonego przez te cztery węzły).

2 Wyniki

Wszystkie wyniki są na podstawie analizy stu zdjęć tego samego obszaru nieba (S1100-60), zrobionych przez jedną kamerę. W idealnych warunkach te 100 klatek powinno być identyczne ale jednak z powodów różnych zanieczyszczeń i szumów tak nie jest.

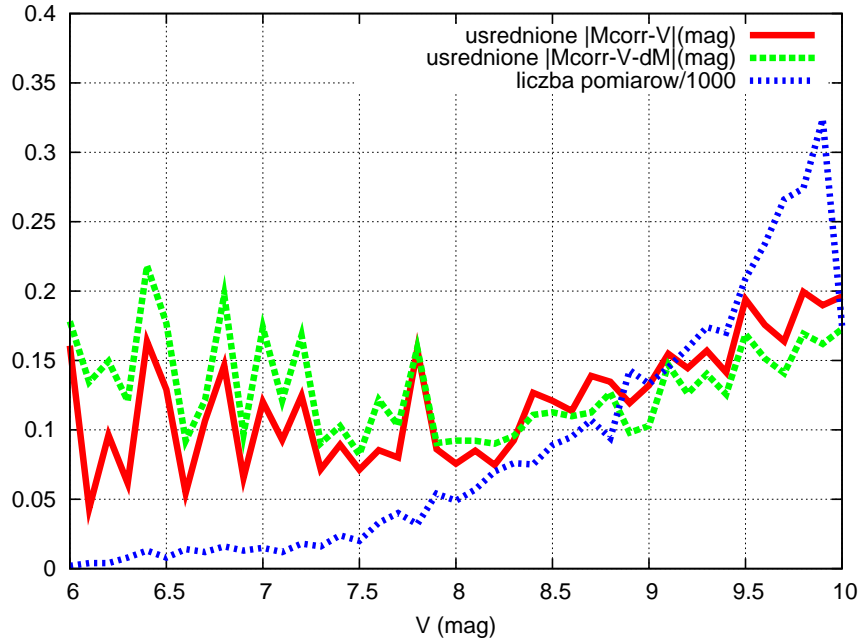
Dla każdej klatki w pliku zapisanych było ok. 50 tys. pomiarów. Z tych obiektów wykorzystywałem jako referencyjne ok. 3500 gwiazd. Z powodów numerycznych na tych obiektach również analizowałem wyniki.

W pierwszej kolejności sprawdziłem jak dla moich danych zachowuje się poprawka dana równaniem (1). Na wykresie 1 widzimy, że jasności gwiazd M_{corr} czyli po uwzględnieniu ich typu widmowego mają średnie odchylenie od wartości katalogowej V praktycznie równe zero co wskazuje na poprawność formuły (1) do opisu moich danych.



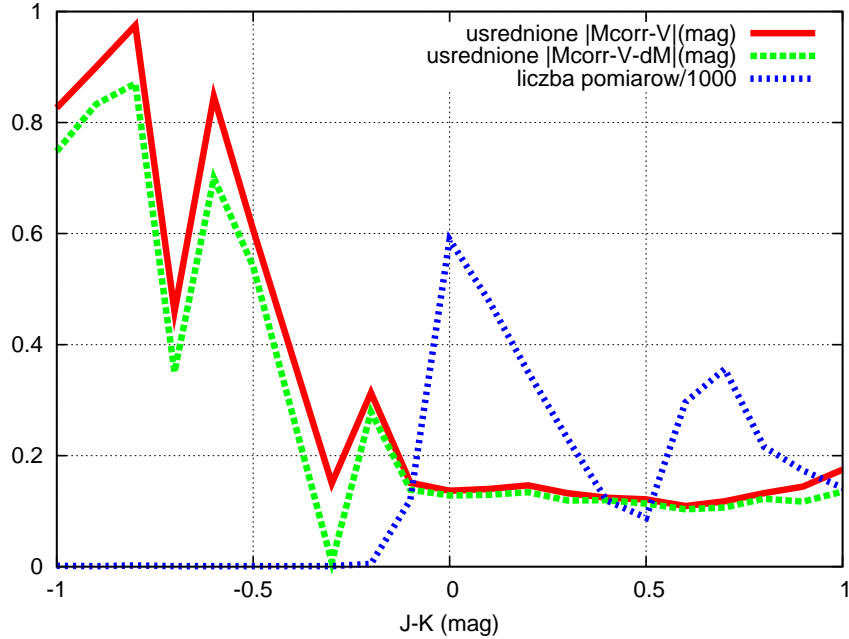
Rysunek 1: Wykres $M_{corr} - V$ dla gwiazd referencyjnych w zależności od V oraz średnia wartość rozpatrywanej różnicy

Poniższe wykresy przedstawiają ocenę jakości poprawki wyliczonej przy użyciu mojej metody. Wykres 2 przedstawia uśrednione wartości bezwzględne różnicy jasności katalogowej V i M_{corr} przed oraz po zastosowaniu poprawki w zależności od V . Niebieska krzywa przedstawia ile pomiarów przypada na pojedynczy przedział uśredniania. Widzimy, że wśród naszych danych jest więcej gwiazd słabych i dla nich poprawka delikatnie poprawia wyniki. Natomiast dla jaśniejszych gwiazd, których jest mniej, pogarsza wyniki. Średnie z całej próbki wynoszą: $\langle |M_{corr} - V - dM| \rangle = 0.136$ i $\langle |M_{corr} - V| \rangle = 0.150$. Widzimy więc, że zastosowanie poprawki zmniejsza o około 10% błędy pomiarów.



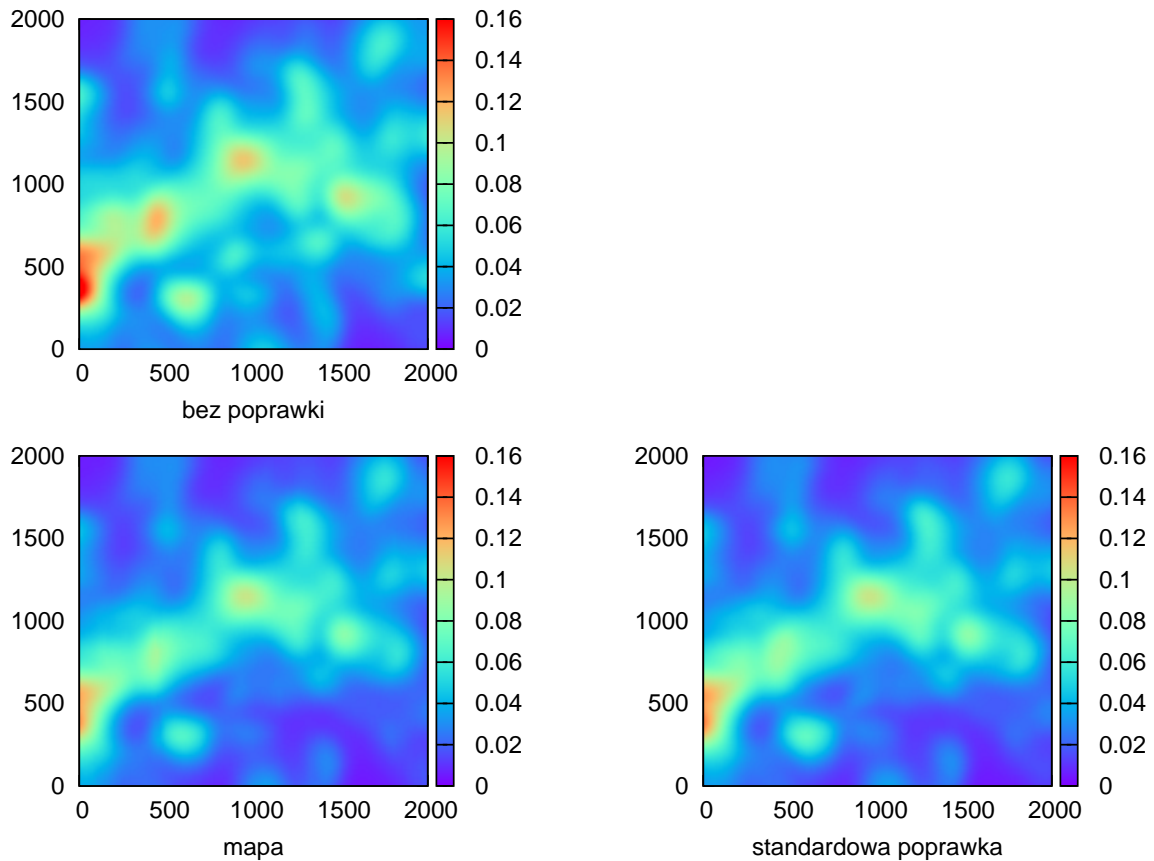
Rysunek 2: Wykres przedstawia uśrednione wartości bezwzględne różnicy jasności katalogowej V i M_{corr} przed oraz po zastosowaniu poprawki w zależności od V . Niebieska krzywa przedstawia ile pomiarów przypada na pojedynczy przedział uśredniania.

Poniższy wykres jest dalszą analizą jakości poprawki, tym razem w zależności od różnicy $J-K$. Widzimy, że w całym przedziale $J-K$ poprawka polepsza wyniki, jednak w obszarze gdzie jest mało pomiarów ta poprawa jest mniejsza niż tam gdzie pomiarów jest więcej (ujemne wartości $J-K$). Najprawdopodobniej, ta obserwacja jest mało ważna ze względu na to że dla ujemnych wartości $J-K$ mamy do czynienia z bardzo małą ilością pomiarów a ponadto względna poprawa wyników wydaje się być podobna w całym przedziale $J-K$.



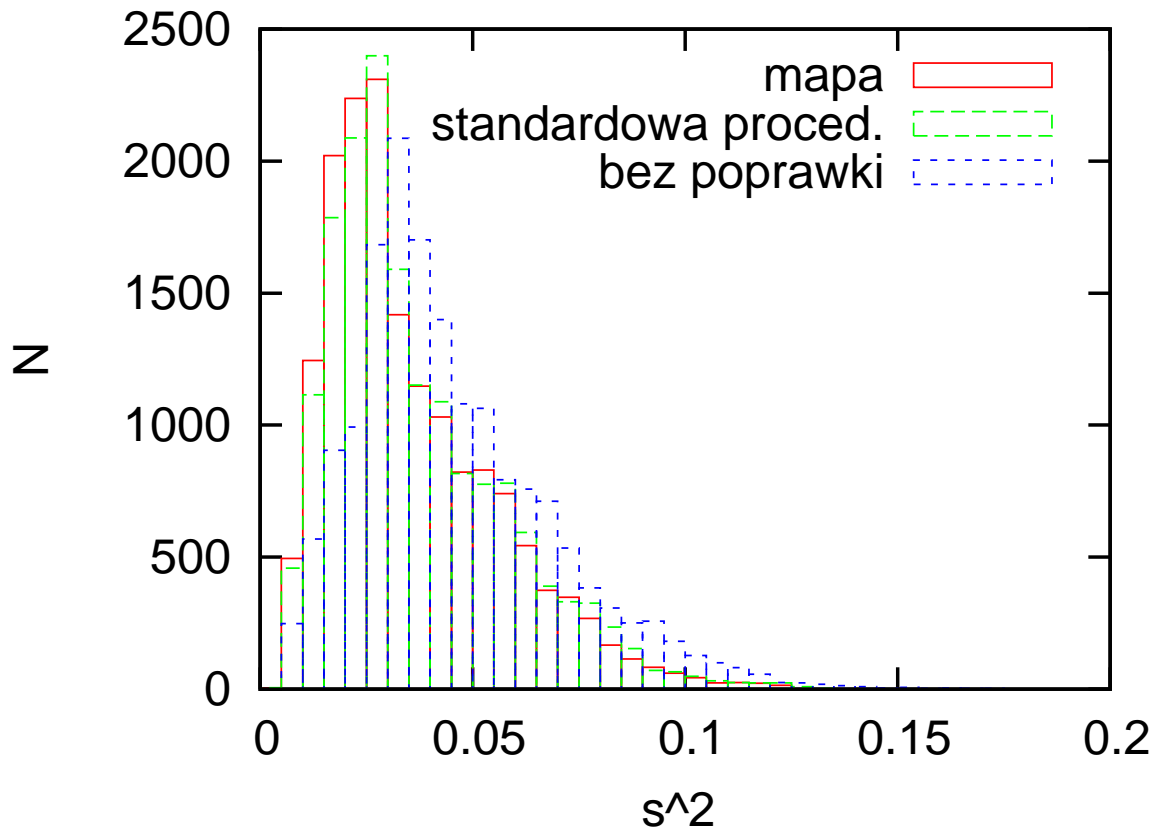
Rysunek 3: Wykres przedstawia uśrednione wartości bezwzględne różnicy jasności katalogowej V i M_{corr} z pomiarów przed (czerwona krzywa) oraz po (zielona) zastosowaniu poprawki w zależności od $J-K$. Niebieska krzywa przedstawia liczbę pomiarów podzieloną przez 1000 przypadającą na stały przedział uśredniania

Do oceny poprawki zdefiniowałem wielkość s^2 (w analogii do s^2 w pracy RO): $s^2 = \langle |M_{corr} - V - dM|^2 \rangle$, gdzie uśrednianie zachodziło z wagami takimi jak przy obliczaniu poprawek (czyli wagi uwzględniały odległość od punktu w centrum w którym liczyłem s^2 oraz uwzględniały jasność gwiazd). Do obliczenia średniej modułów brałem obiekty w takim samym kole jak przy liczeniu poprawki. Na poniższym wykresie 4 widzimy wartości s^2 obliczone w węzłach siatki (w odległości $1/128$ szerokości klatki). Przedstawiłem wykresy dla s^2 bez poprawek (czyli $dM = 0$), przy użyciu standardowej poprawki (czyli do liczenia dM dla danego punktu w którym licze s^2 korzystałem ze współczynników dopasowania powierzchni 2D tylko dla tego punktu). Wykres zatytułowany 'mapa' odnosi się do mojej modyfikacji algorytmu, czyli dM jest liczone od 4 najbliższych węzłów z uwzględnieniem wagi na odległość od nich. Widzimy, że zastosowanie poprawek polepsza wyniki (im większe s^2 tym wyniki mają gorszą jakość, są bardziej odległe od tych katalogowych), natomiast praktycznie nie zauważalna jest różnica jakości między standardową poprawką a jej modyfikacją.



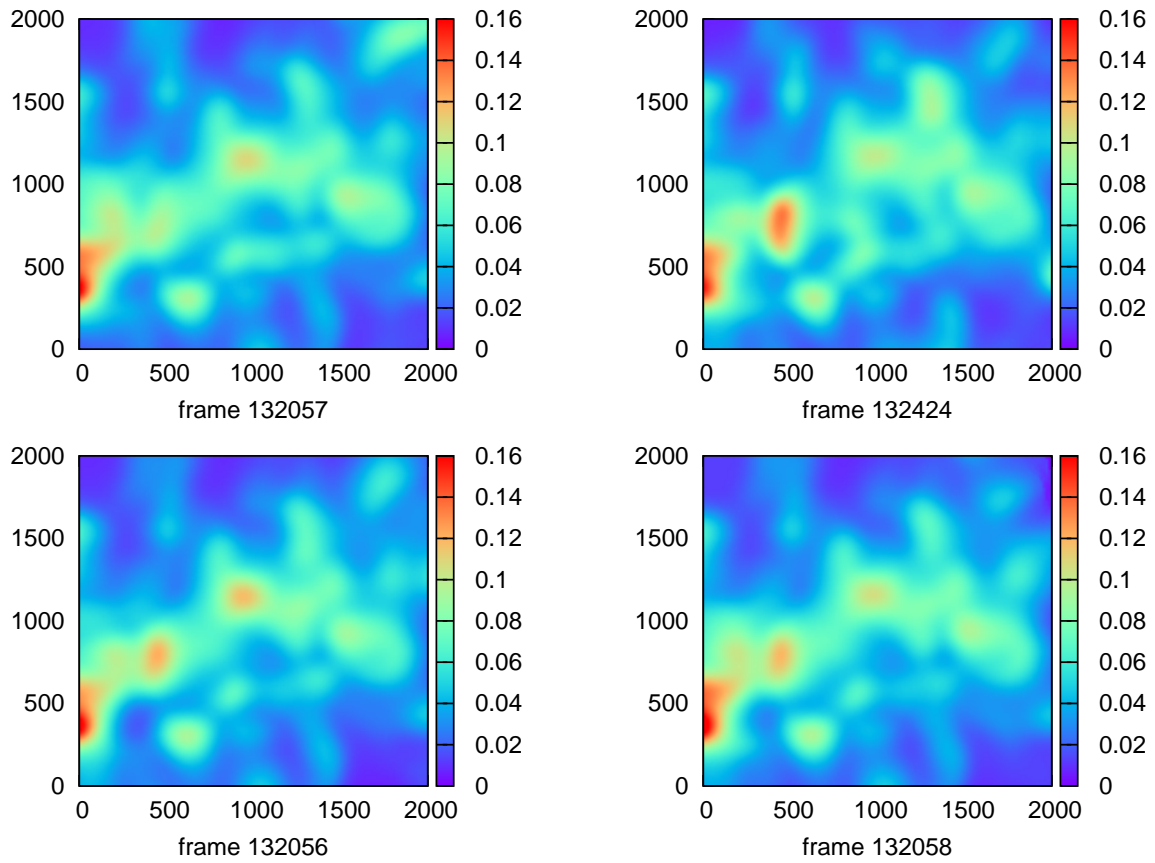
Rysunek 4: Wykresy przedstawiają wielkość s^2 w węzłach klatki 132055. Trzy wykresy odpowiadają s^2 : policzonemu bez zastosowania poprawki, po zastosowaniu poprawki metodą FŻ&RP, oraz przy użyciu mapy czyli mojej modyfikacji algorytmu

Na wykresie 5 przedstawiam porównanie histogramów s^2 dla: pomiarów bez poprawki uwzględniającej typ spektralny, poprawki przy użyciu standardowej metody FŻ&RO oraz mojej modyfikacji. Widzimy ponownie poprawę jakości wyników po zastosowaniu poprawki o ok. 10% oraz bardzo małą różnicę między wynikami bez i z moją modyfikacją (wyniki przy użyciu mojej modyfikacji wydają się dawać lepsze wyniki niż standardowa poprawka).

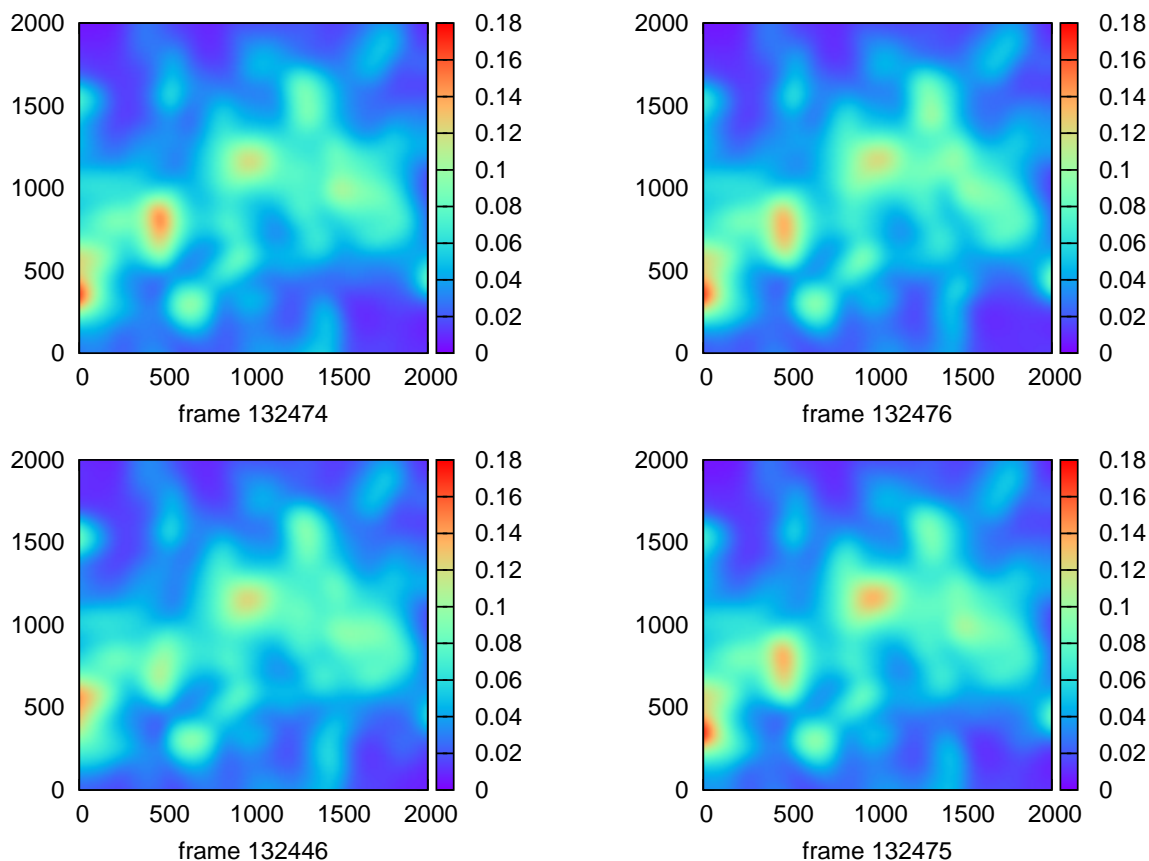


Rysunek 5: Wykres przedstawia porównanie histogramów parametru s^2 dla klatki 132055: bez poprawki, metodą standardową i przy użyciu mapy(moja modyfikacja)

Poniższe wykresy przedstawiają wykresy s^2 bez poprawek dla różnych klatek. Widzimy, że klatki te różnią się między sobą ale bardzo słabo.



Rysunek 6: Wykres s^2 bez zastosowania poprawki dla czterech różnych klatek.



Rysunek 7: Wykres s^2 bez zastosowania poprawki dla innych czterech różnych klatek.

3 Podsumowanie

W swojej pracy uwzględniłem typ spektralny gwiazd do obliczenia kolejnej poprawki fotometrycznej do danych z projektu “Pi of the Sky”. Moja metoda umożliwia obliczanie tej poprawki dla całych klatek. Na podstawie średniego odchylenia jasności po poprawkach od wartości katalogowych otrzymałem o około 10% lepsze dane. Zbadałem, że poprawka polepsza wyniki dla słabszych gwiazd oraz pogarsza dla jaśniejszych (jednak ten ostatni wniosek ze względu na małą próbkę statystyczną gwiazd słabszych jest mało wiarygodny). Ponadto względna poprawa wyników nie zależy praktycznie od typu spektralnego gwiazd.

Literatura

- [1] *Katarzyna Małek, Lech Mankiewicz, Rafał Opiela, Marcin Sokołowski, Aleksander Filip Żarnecki - „Improving photometry of the Pi of the Sky”*