

Flat-field frames

Καμενίδης Ιφικράτης
11/11/2009

Τι είναι τα Flat-field frames

Τα Flat-field frames είναι ένα από τα τρία είδη εικόνων calibration (ισοστάθμισης) που χρησιμοποιούμε στην επεξεργασία αστρονομικών εικόνων, είτε πρόκειται για φωτομετρικές παρατηρήσεις είτε απλά για φωτογραφίες μέσω ενός τηλεσκοπίου και ενός αισθητήρα ccd.

Αρχικά, ποιος ο λόγος να πάρει κανείς flat field frames? Ο τρόπος που πέφτει το φως στον αισθητήρα δεν είναι ιδανικός. Δηλαδή, ιδανικά θα έπρεπε σε κάθε pixel να προσπίτει ακτινοβολία με την ίδια ροή. Ακόμα θα έπρεπε και οι δέκτες (pixels) να μετράνε την πληροφορία με τον ίδιο τρόπο. Αυτά δεν συμβαίνουν σε κανένα οπτικό σύστημα για τους εξής λόγους :

A) Η γεωμετρία των οπτικών δημιουργεί το φαινόμενο vignetting. Δηλαδή φως κρύβεται από τα πλαίσια των στοιχείων που συγκρατούν φακούς και άλλα κατασκευαστικά μέρη με αποτέλεσμα να σκιάζεται το περιφερειακό τμήμα της φωτογραφίας.

B) Τα οπτικά, ειδικά των μέσων ερασιτεχνικών αστρονόμων δεν είναι Richey Cretien. Το εστιακό επίπεδο δεν είναι σταθερό αλλά έχει μια παραβολοειδή μορφή. Ο αισθητήρας από την άλλη είναι επίπεδος, άρα η εστίαση των φωτονίων στο επίπεδο φωτογράφισης δεν είναι η ίδια. Ακόμα και ένας focal reducer ελαττώνει το πρόβλημα αλλά δεν το εξαλείφει εντελώς.

Γ) Σκόνη που επικάθεται σε κάτοπτρα, φακούς, φίλτρα και το παράθυρο του ccd, και γενικότερα ατέλειες των οπτικών αυτών επιφανειών δημιουργούν ένα “ μωσαϊκό παραμόρφωσης “ του σήματος. Αλλού εμφανίζονται κόκκοι σκιάς (πχ. τα donuts της σκόνης στα καταδιοπτρικά), αλλού λωρίδες και άλλα.

Δ) Τα pixels του αισθητήρα δεν είναι ιδανικά φτιαγμένα (κατασκευαστικά), δηλαδή δεν ανταποκρίνονται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο στα φωτόνια που προσπίπτουν σε αυτά. Επίσης δεν ανταποκρίνονται το ίδιο και σε κάθε συχνότητα (δηλαδή σε κάθε φίλτρο). Ακόμα δηλαδή και αν όλοι οι παραπάνω παράγοντες δεν υπήρχαν τα ίδια τα pixels θα δημιουργούσαν μικροανωμαλίες στην εικόνα.

Αυτοί είναι οι λόγοι που αλλοιώνουν το σήμα που παίρνουμε, γι αυτό είναι σημαντικό να τους εξαλείφουμε.

Η εικόνα flat (flat frame) είναι μια εικόνα που μας δείχνει την «ιδιαιτερότητα» του κάθε pixel ξεχωριστά. Η τελική flat εικόνα (Master Flat) θα έχει μέση τιμή counts τη μονάδα και κάθε uncalibrated frame θα διαιρεθεί με το Master Flat. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να μεταβάλλει την τιμή του κάθε pixel της φωτογραφίας τόσο όσο υπαγορεύει το Master

Flat. Έτσι γίνεται εξισορρόπηση και η εικόνα ανταποκρίνεται στο πραγματικό σήμα ανεπηρέαστο από τις ιδιαιτερότητες του οπτικού συστήματος.

Με μια πρώτη ανάγνωση ή την εμπειρία μιας φωτογραφίας που δεν έχει ισοσταθμιστεί με flats μπορεί κάποιος να θεωρήσει ότι μικρή επίπτωση έχουν οι παραπάνω παράγοντες σε αυτό που βλέπουμε. Αυτό είναι λάθος. Αν πάρει κανείς εκθέσεις για παράδειγμα 5 λεπτών και φτιάξει την τελική εικόνα αφήνοντας να φανεί όση πληροφορία τον αφήνει ο θόρυβος -με άλλα λόγια να φαίνονται και τα πιο αμυδρά αστέρια που κατέγραψε- και βάλει με τον ίδιο τρόπο την ίδια εικόνα χωρίς να είναι ισοσταθμισμένη -με και χωρίς flats-, η διαφορά θα γίνει εμφανής.

Βέβαια μπορούμε μειώνοντας την φωτεινότητα του υποβάθρου να έχουμε και κρύψιμο αυτών των ατελειών και μια αξιοπρεπή στο μάτι εικόνα. Εδώ έρχεται το θέμα της καταγραφικής πιστότητας και το πόσο ενδιαφέρει τον παρατηρητή. Αν θέλουμε η φωτογραφία μας να είναι μια πιστή παρουσίαση της πραγματικότητας, δηλαδή κάθε pixel να μετράει αυτό που επρεπε να μετράει, και όχι την ιδιομέτρηση του προσωπικού μας συστήματος τότε η διαίρεση με flats (και γενικά το calibration) είναι απαραίτητη.

Σε περιπτώσεις δε φωτομετρίας, μια uncalibrated εικόνα είναι παντελώς άχρηστη, καθώς εκεί η ακρίβεια και η αντικειμενικότητα είναι το μόνο ζητούμενο στη μέτρηση.

Αν δεν διαιρούμε με flat τότε θα έχουμε όχι μια πιστή καταγραφή αλλά μια προσέγγιση -κοντινή ή μακρινή, αλλά προσέγγιση- .

Εξάλλου μια φωτογραφία ακόμα και αισθητικά, μόνο να οφεληθεί μπορεί από την διαίρεση με flat και αυτό το διαπιστώνουν όσοι το εφαρμόζουν.

Σε μια εικόνα διαιρεμένη με flat, όσο και να μεταβάλλουμε το ιστόγραμμα, απλά φωτίζουμε το αντικείμενο χωρίς να αλλοιώνεται το background. Από ένα σημείο και μετά φωτίζουμε και το background με τη διαφορά ότι γίνεται ομοιόμορφα, σε όλο το πεδίο και σε όλα τα pixels ομοιογενώς. Σε μια μη διαιρεμένη με flat φωτογραφία αυτό δεν γίνεται ομοιογενώς αλλά κάθε pixel αλλάζει τιμή με βάση την «ιδιαιτερότητα» που αναφέραμε.

Τώρα πέρα από την θεωρία και τους λόγους που π ρ ε π ε ι να διαιρεθεί μια φωτογραφία με flats, το πως θα γίνει προγραμματικά είναι εύκολο απλά επιλέγετε τα flat όπως και τα dark και τα bias στο μενού calibration του προγράμματος επεξεργασίας. Κάθε flat frame πρέπει το ίδιο γίνει calibrated με bias/darks Masters. Τα flats αθροίζονται με Average για να βγει το Master Flat που θα χρησιμοποιηθεί στην επεξεργασία όλων των light frames. Αν τα flats ληφθούν από τον ουρανό τότε είναι καλό να γίνει μια αφαίρεση pixels (data rejection, Sigma/Poisson) ώστε να αφαιρεθούν τυχόν άστρα που εμφανιστούν.

Υπολογισμός χρόνου έκθεσης flat frame

Μπορούμε να φανταστούμε το κάθε pixel σαν ένα πηγάδι που μαζεύει φωτοηλεκτρόνια.

Φωτόνια πέφτουν στο κάθε pixel. Τα φωτόνια δημιουργούν ροή ηλεκτρονίων τα οποία καταγράφονται. Συγκεκριμένη ποσότητα ηλεκτρονίων μεταφράζεται ως σήμα από τον μετατροπέα Analog to Digital Converter.

Σε μια 16bit ccd, κάθε pixel μπορεί να πάρει μέχρι 65535 τιμές ή να αποδώσει μέχρι τόσες αποχρώσεις του γκρι. Πχ. 0-μαύρο, 65535-άσπρο.

Αντιμετωπίζουμε τρεις έννοιες.

- full well capacity ,

- pixel value ή count ή ADU

- Gain.

Full well capacity : μας δείχνει πόσα ηλεκτρόνια μπορεί να κρατήσει το κάθε pixel μέχρι να γεμίσει.

Pixel value (ADU): μας δείχνει πόσες τιμές μπορεί να πάρει κάθε pixel, εν προκειμένω πόσες αποχρώσεις του γκρι. Για 16bit analog to digital converters (στις συνηθισμένες ccd) αυτό είναι 65535.

Gain : μας δείχνει πόσα ηλεκτρόνια (ή φωτοηλεκτρόνια –ηλεκτρόνια που παράχθηκαν απο φωτόνια-) θα χρειαστούν για να μετρηθεί 1 ADU, ή μία μονάδα στην κλίμακα των 65535 επιπέδων.

Σε τι μας χρειάζονται αυτά; Αυτό που θέλουμε για ένα καλό flat είναι να περιέχει σήμα περίπου στο $\sim 1/3 - 1/2$ της Full well capacity. Άρα χρειζόμαστε πρώτα να βρούμε την Full well capacity της ccd μας. Αυτή πρέπει αναγκαστικά να την βρούμε απ τα στοιχεία του κατασκευαστή.

Τελικά αυτό που θέλουμε για την έκθεση του flat είναι αυτή να πετυχαίνει μέγιστες τιμές ADU (ή counts) στο $1/2 - 1/3$ της Full well capacity του αισθητήρα, και παράλληλα αυτή η τιμή να μην είναι εκτός της γραμμικής περιοχής του. Συνήθως δεν είναι εκτός, ωστόσο για κάποιον που θέλει να είναι 100% σίγουρος μπορεί να κάνει το test γραμμικότητας του αισθητήρα. Ως εξής:

- 1) Χρησιμοποιείτε μια διάταξη λήψης flats (όχι Sky flats), με ελεγχόμενη ένταση φωτεινότητας. (Παράδειγμα, λευκή επιφάνεια φωτιζόμενη απο λαμπτήρα με ροοστατικό διακόπτη ή κουτί flat)
- 2) Αυξήστε τον χρόνο έκθεσης του flat ώστε να έχετε κορεσμό (saturation) τουλάχιστον στο 1 λεπτό.
- 3) Ύστερα χρησιμοποιώντας αυτόν τον χρόνο ως t πάρτε τις ακόλουθες εκθέσεις: 1.00t, 0.90t, 0.80t, 0.70t, 0.60t, 0.50t, 0.40t, 0.30t, 0.20t, 0.10t, 0.05t, 0.025t, 0.0125t, 0.00625t, 0.003125t, και 0.0015625t.
- 4) Μετρήστε την μέση τιμή των ADU σε κάθε frame (Average) και δημιουργείτε την γραφική παράσταση [Μέσο ADU(ADU)] – [Χρόνος έκθεσης (s)] { Y-X άξονες} για κάθε frame.
- 5) Το αποτέλεσμα είναι η απόκριση του αισθητήρα σε σχέση με την πλήρωσή του σε ηλεκτρόνια και τον χρόνο έκθεσης. Θα πρέπει να παρατηρείτε μια γραμμική περιοχή και μετά απο κάποιο σημείο μια αλλαγή της κλίσης. Εκεί η κάμερα παύει να συμπεριφέρεται με γραμμικό τρόπο.

Δηλαδή τώρα η τιμή που υπολογίσαμε στο $1/2 - 1/3$ της Full well capacity του αισθητήρα θα πρέπει να ελεγχθεί ότι αντιστοιχεί στο γραμμικό τμήμα της απόκρισης του ccd. Εφόσον και αυτό πληρείται έχουμε τελικά βρει τα counts που το flat θα μας δίνει επαρκή λόγο σήματος/θόρυβο.

Το πως θα επιλέξουμε τον χρόνο έκθεσης σε δευτερόλεπτα εξαρτάται από το εκάστοτε φίλτρο και τις συνθήκες φωτισμού του flat. Αυτό που ξέρουμε σίγουρα είναι η τιμή των counts που θέλουμε να πετύχουμε.

Έτσι ξεκινάμε να παίρνουμε εκθέσεις με ένα πρόγραμμα λήψης εικόνας που χρησιμοποιούμε και να αυξάνουμε-μειώνουμε τον χρόνο έκθεσης μέχρι η μέγιστη τιμή των counts (τα οποία μπορεί να μας μετρήσει το πρόγραμμα) να είναι όση βρήκαμε το $1/2 - 1/3$ της Full Well Capacity. (για MaximDL : Ctrl+I / mode: Area / Maximum)

Πρακτικά, αν μια ccd έχει Full Well Capacity 55000 e, (μέση τιμή $1/2 - 1/3 = 5/12$) $(5/12) * 55000 = 23000$ counts.

Η τιμή $5/12$ είναι απλά η μέση τιμή των $(1/2, 1/3)$ και χρησιμοποιήθηκε τυχαία, μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει μεγαλύτερη τιμή αρκεί να μην ξεπερνά την γραμμική περιοχή του αισθητήρα.

Λήψη των flat frames

Τέλος, αυτό που μένει αφού κατανοήσαμε όλα τα προηγούμενα είναι να λάβουμε τα flats. Υπάρχουν 2 τρόποι.

α) Sky Flats , β) Dome flats

α) Τα Sky Flats λαμβάνονται μετά την δύση ή πριν την ανατολή του Ήλιου (φυσικά σε μέρα χωρίς νέφωση) Αν στρέψουμε το τηλεσκόπιο προς το ζενίθ θα πάρουμε μια ομοιόμορφα φωτιζόμενη εικόνα. Στην πραγματικότητα, το σωστό σημείο είναι 20 μοίρες από το ζενίθ αντιδιαμετρικά της θέσης του Ήλιου (null point). Εκεί το sky gradient είναι ελάχιστο. Ρυθμίζουμε τον χρόνο έκθεσης ώστε να έχουμε όπως περιγράψαμε παραπάνω μέγιστη τιμή την τιμή των counts που βρήκαμε.

Η δυσκολία των Sky Flats έγκειται στο ότι απαιτείται υπομονή μέχρι το ξημέρωμα αν πρόκειται για flats αυγής και στο ότι καθώς ο ήλιος δύει ή ανατέλλει η φωτεινότητα του πεδίου μειώνεται ή αυξάνεται αντίστοιχα, συνεπώς πρέπει διαρκώς να αλλάζουμε την έκθεση των frames ώστε να μένουν σταθερά τα counts που έχουμε στόχο. Ο αστροστάτης θα πρέπει να απενεργοποιηθεί ώστε πιθανά αστέρια που εμφανιστούν να κάνουν γραμμές και να εξαλειφθούν ευκολότερα στην επεξεργασία. Θα πρέπει να αποφεύγουμε πεδίο που θα περιέχει κάποιον αστέρα στα flats.

β) Dome flats, ονομάζονται αυτά που χρησιμοποιούμε μια τεχνητή πηγή φωτισμού για να πάρουμε τα flats. Πρέπει να στρέψουμε το τηλεσκόπιο προς μια περιοχή ομοιογενώς φωτισμένη με φάσμα λευκού φωτός (να περιέχει όλα τα μήκη κύματος που περιέχει ο ουρανός). Στη συνέχεια παίρνουμε τα flat πάλι ρυθμίζοντας τον χρόνο έκθεσης για να πετύχουμε τον στόχο των counts που έχουμε ορίσει.

Ο αριθμός των flat frames που θα πάρουμε θα πρέπει να ξεπερνά τις 16 για ένα καλό λόγο σήματος/θόρυβο. Ο συνολικός χρόνος λήψης τους θα είναι εξάλλου μικρός.

Σημείωση 1: Στην περίπτωση Dome flats πρέπει ο χρόνος έκθεσης να είναι μεγαλύτερος 1-2 δευτερολέπτων. Ο λόγος είναι ότι σε μικρότερο χρόνο η λήψη της εικόνας δεν γίνεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο για εκθέσεις μεγαλύτερες που θα είναι τα lights. Επίσης το ηλεκτρονικό κλείστρο ενδέχεται να προκαλεί σκίαση για χρόνους πολύ μικρούς.

Σημείωση 2: Τα flat frames πρέπει να έχουν την ίδια εστίαση με τον στόχο φωτογράφισης. Συνεπώς τα Sky Flats μετά την δύση του Ήλιου δεν ενδείκνυνται αν δεν έχουμε ηλεκτρονικό βηματικό σύστημα εστίασης. (Αν και πάλι θα υπάρχουν διαφορές θερμοκρασίας).

Σημείωση 3 : Το καλύτερο είναι τα flat να λαμβάνονται αμέσως μετά την λήψη των lights με κουτί flat ή λευκή ομοιογενώς φωτισμένη επιφάνεια, γιατί τότε είμαστε όσο δυνατόν εγγύτερα στο σύστημα που πήρε τις μετρήσεις, τόσο σε επίπεδο εστίασης όσο και σε επίπεδο σκόνης.

Σημείωση 4 : Flats λαμβάνουμε σε κάθε φίλτρο και προσέχουμε να αλλάζουμε την έκθεση σε κάθε φίλτρο καθώς η ροή αλλάζει με την απόκριση της ccd σε διαφορετικές φασματικές περιοχές.

Σημείωση 5 : Η λήψη των flat δεν είναι η πιο εύκολη υπόθεση. Το να επιτευχθεί η ομοιογενώς φωτισμένη επιφάνεια απαιτεί κάποια προσπάθεια. Αν δεν έχουμε σωστό flat το calibration θα είναι εσφαλμένο και το αποτέλεσμα όχι το επιθυμητό.

Προτάσεις:

Για dome flats, υπάρχουν διάφορες ιδέες οι δυο επικρατέστερες είναι το flat box και το flat foil. Ωστόσο ο καθένας μπορεί να πειραματιστεί με διάφορες τεχνικές ομοιογενούς φωτισμού.

Δύο αντιπροσωπευτικά παραδείγματα:

<http://www.astrohandy.com/flatmaster/index.html>

http://www.gerdneumann.net/v2/english/eng_flatfield_foil.html

Βιβλιογραφία:

- The Handbook of astronomical image processing (Richard Berry & James Burnell)
- Observational Astronomy (D.Scott Birney, Guillermo Gonzalez, David Oesper)
- The New ccd Astronomy (Ron Wodaski)