

<u>עיבוד תמונה אסטרונומי</u>

כתיבה: אלכסנדר דשבסקי עריכה: אמיר ברנט

גרסה זמנית, בעיבוד. 08/03/2011

לאחר שצילמנו תמונות צריך לעבד אותן, למה? מכיוון שאנו רוצים לקבל נתונים מספריים מהם ניתן ליצור גרפים ולבצע מדידות, נרצה להפוך תמונות שחור-לבן לתמונות צבע ונרצה להיפטר מגורמים שפוגעים באיכות התמונות שלנו: אבק ושריטות באופטיקה של הטלסקופ, "רעש" דיגיטלי במצלמה, תנודות באטמוספירה שמעוותות את התמונה וכו'.

בחוברת זו נתייחס לארבעה שלבי עיבוד:

2	כיול
_	
5	מיזוג
7	מיזוג צבעים
9	מדידות פוטומטריות

את העיבוד והניתוח נבצע בשתי תוכנות: MaxIM DL, גרסה 5, שניתן להוריד גרסת נסיון שלה ל-30 יום מהאתר <u>http://www.cyanogen.com</u>

תוכנת עיבוד תמונה סובארו-מקאליל, שניתן להוריד מהקישור הבא: <u>http://makalii.mtk.nao.ac.jp/diff_13cd.html.en</u> בשלב הזה ניפטר מרוב ההפרעות בתמונות שלנו. נעשה זאת בעזרת תמונות Dark, Flat, בשם תמונות כיול: Bias. כל סוג תמונות אחראי על תיקון פגם אחר.

תמונות ה-Flat נועדו כדי להיפטר מהאבק והשריטות באופטיקה של הטלסקופ והמצלמה. מייצרים תמונות פלאט ע"י צילום של עצם מואר חד-גוני: למשל, שמים בהירים. אילו באופטיקה של הטלסקופ לא היו פגמים, היינו מקבלים תמונה שטוחה לגמרי, אבל בגלל הפגמים נקבל תמונה כזאת:



קל להבין מהתמונה הזאת, כמה "זבל" נוסף לכל תמונה שמצלמים! בתהליך הכיול הפגמים האלה, שמבודדת תמונת הפלאט, "מחוסרים" מהתמונות האמיתיות, מה שמסלק את השפעתם.

<u>חשוב:</u> מכיוון שתמונות הפלאט מטפלות בפגמים של <u>כל</u> המערכת האופטית, נצטרך לצלם סט נפרד של פלאטים לכל מסנן שנשתמש בו.

נעבור עתה לתמונות הדארק. תמונות דארק עוזרות לנו לסלק את הרעש התרמי של חיישן המצלמה. לייצר אותן פשוט מאוד: נכסה לגמרי את המצלמה ונצלם תמונות בזמן החשיפה שנשתמש בו לצילום אמיתי. מכיוון שכמות הרעש התרמי תלויה בזמן החשיפה, נצלם סט נפרד של דארקים לכל זמן חשיפה שנרצה להשתמש בו.



כך נראית תמונת דארק טיפוסית

הסוג האחרון של תמונות הכיול, תמונות ביאס, מתקנות את סוגי הרעש האלקטרוני האחרים במערכת המצלמה. לצלם תמונות ביאס עוד יותר קל: פשוט מצלמים תמונות בזמן חשיפה 0 שניות.



טוב, עתה נניח, כי יש לנו סטים של תמונות כיול, ואפילו נניח שכולם צולמו ביום שצילמנו את הצילומים האמיתיים. נוסיף את תמונות הכיול ל-MaxIM DL.

נפתח את התוכנה ונלחץ על הכפתור Set Calibration.

ייפתח התפריט הבא:



Set Calibration							?×
Automatically Generate	Groups						ОК
, Include Subfoldere	Auto-f	Senerate	Beplace w/ Mas	ters			
V Include Subfolders						Advanced	
Calibration Groups							
Name	Туре	Filter	Duration	Image Size	Binning	Setpoint	Count
<auto> 💌</auto>	Add	Group	Remove Grou	p Clear All G	iroups		
Group Properties							
File Name						Dark Frame	Scaling
							~
						Scale Facto	0.0000
						Combine Typ	De
							~
						Se	ttings
						Add	Remove
Show File Names O	nly	E Aş	oply Boxcar Filter (o	ne-shot color flats)		💌 Apply To	All Groups

כאן נגדיר את תמונות הכיול, ומה כל קבוצת תמונות מכיילת.

נוסיף, לדוגמא, קבוצה של תמונות דארק. ברשימה הנפתחת ליד הכפתור Add Group נבחר את האפשרות DARK ונלחץ על הכפתור. בחלון האמצעי תתווסף קבוצת כיול של דארק. היא בינתיים ריקה, אז נוסיף אליה את התמונות שייצרנו. נסמן את הקבוצה (היא אמורה להיות כבר מסומנת), ונלחץ על הכפתור ADD בפינה הימנית-תחתונה של החלון. נבחר את כל קבצי הדארק שלנו (אם צילמנו כמה קבוצות דארק – עבור זמני חשיפה שונים, למשל – נבחר רק קבוצה אחת מהן). באותה הדרך נוסיף את שאר קבוצות הכיול: ביאסים ופלאטים. נלחץ OK כדי לשמור את הקבוצות.

נשים לב, שליד כל קבוצה ברשימה יש תיבת סימון. תיבה זאת פשוט אומרת לתוכנה האם אפשר לנסות לכייל תמונות בעזרת קבוצה זו. במצב שיהיו לנו הרבה קבוצות כיול, טבעי שנרצה להשתמש רק בחלקן, ואז פשוט נסלק את הסימון מהתיבות של הקבוצות הלא נחוצות, במקום למחוק אותן.

עתה כשהגדרנו את קבוצות הכיול, נעבוד לשלב הבא: מיזוג.

ישנם עוד גורמים שפוגעים באיכות התמונות המצולמות, שמהם כבר אי-אפשר להיפטר בעזרת תמונות מיוחדות. כדי לתקן את הפגמים הללו ניקח הרבה תמונות שצילמנו (כמה שיותר – יותר טוב), ונעשה "ממוצע" שלהן. כך כל "רעש" חיצוני – תנודות אוויר, אבק, רעידות קטנות של הטלסקופ – ייעלם (כי דברים אלה משתנים מתמונה לתמונה), ומה שיישאר זה רק הפרטים האמיתיים של מה שצילמנו. כמובן, שלפני המיזוג נכייל כל תמונה ותמונה בעזרת קבוצות הכיול שהגדרנו קודם.

<u>חשוב:</u> תמונה שכבר מוזגה אין טעם או צורך לכייל!

	ר המיזוג: 🗿 🏼 🖌 🛨 🕯	נלחץ על כפתוו
	Stack images	ייפתח החלון:
Stack	<u>? ×</u>	
	Select Quality Align Color Combine Add Files Classify by Classify by Classify by Classify by Classify by Classify by Classify by Classify by Classify by Classify by FILTER Mark added items as Auto Calibrate Auto Color Convert Description of Selected Item Close	

קודם כל נסמן את תיבת הסימון Auto Calibrate. מעכשיו כל התמונות שנוסיף יעברו כיול בעזרת הקבוצות שסימנו קודם.

<u>חשוב:</u> אם קודם נטען את התמונות, ורק **אחר-כך** נסמן את תיבת הסימון, לא יקרה דבר. במקרה כזה נצטרך לתת קליק ימני על שם קבוצת התמונות שהוספנו ולסמן Auto Calibrate בתפריט שייפתח.

נוסיף את התמונות: נלחץ על ...Add Files ונבחר קבוצה אחת מהתמונות שצילמנו (למשל, התמונות שצולמו בחשיפה של 0.1 שניות דרך מסנן ירוק).

נעבור עתה ללשונית Quality בחלון. כאן נוכל להגדיר לתוכנה קריטריונים שונים של "איכות", שעל פיהם היא תבחר שמיזוג רק את התמונות הטובות ביותר מהקיימות. נסמן את תיבת הסימון העליונה ונלחץ Measure All. ברשימה משמאל נראה, אילו מהתמונות התוכנה פסלה. נעבור ללשונית Align. במהלך הצילום העצם המצולם נע במקצת בשדה הראיה של הטלסקופ. לכן, אם פשוט "נניח" את כל התמונות זו על זו, נקבל תמונה עם כוכבים מרוחים. בלשונית הזאת נורה לתוכנה ליישר את כל התמונות זו עם זו, כדי שכל הפרטים יתלכדו בצורה מושלמת. נבחר את צורת היישור ברשימה הנפתחת לפי סוג העצם שצילמנו. אם צילמנו כוכבים, נבחר היישור ברשימה הנפתחת לפי סוג העצם שצילמנו. אם צילמנו כוכבים, נבחר היישור ברשימה הנפתחת לפי סוג העצם שצילמנו. אם צילמנו כוכבים, נבחר מסוימים המצבים האוטומטיים לא יעזרו, ואז נצטרך לעזור לתוכנה: נבחר מסוימים המצבים האוטומטיים לא יעזרו, ואז נצטרך לעזור לתוכנה: נבחר במצב Manual 2 stars אות כל התמונות, תוך כדי סימון אותו כוכב בכל אחת מהן. לאחר-מכן נעשה אותן הדבר, אבל עם כוכב אחר. אחרי שנסמן את שני הכוכבים בכל התמונות, התוכנה תדע כבר איך להזיז, לסובב ואפילו להגדיל\להקטין את התמונות כדי שהכוכבים יתלכדו בכל התמונות.

<u>חשוב:</u> אחת התמונות נבחרת כתמונת ייחוס, שלפיה מיישרים את שאר התמונות. כמובן, אם תמונה זאת היא מרוחה או פגומה בכל דרך אחרת, היישור לא יצליח. כדי להגדיר תמונה אחרת כתמונת יישור יש לתת על התמונה המבוקשת קליק ימני ולבחור בתפריט Reference Image.

נדלג על הלשונית Color, ונעבור ישירות ללשונית האחרונה, Combine, בה מתבצע המיזוג עצמו. חשוב מאוד בשלב הזה לבחור ברשימה הנפתחת את מצב המיזוג Median במקום Average: מצב זה הוא הטוב ביותר בסילוק רעש ו"פיקסלים חמים". לאחר שבחרנו את המצב, נלחץ GO ונחכה. קיבלנו צילום ממוזג והרבה יותר איכותי.

מיזוג צבעים

מצלמת המצפה מצלמת בשחור-לבן, זהו התקן המקובל בצילום אסטרונומי בין השאר בזכות זאת ניתן להגדיל את יכולת הרגישות של המצלמה. כדי להפיק תמונות צבע נצלם את העצם המבוקש מבעד למספר מסננים: R (אדום), G (ירוק), B (כחול), C (שקוף) או מסננים צרי פס המתאימים לתחומי אורכי גל (ירוק), B (כחול), C (שקוף) או מסננים צרי פס המתאימים לתחומי אורכי גל צרים S-II (Ha (O-III), נניח עתה, שצילמנו את ארבעת הסטים של מסנני צרים RGBC, ושמיזגנו כל סט בנפרד. אם כן, יש לנו 4 תמונות ממוזגות: B (G (R), C). כ לתמונות האלה נקרא *ערוצים*. נמזג אותן לכדי תמונה צבעונית אחת.

נפתח את הערוצים בתוכנה – לא באמצעות התפריט Stack, אלא פשוט בפקודה Open הרגילה. (כמו שנאמר קודם: תמונות אלה כבר מוזגו, ולכן אין לנסות לכייל אותן!)

> לפני שנמזג אותם, נצטרך כמובן ליישר אותם. נפתח את התפריט נעביר את ארבעת הערוצים לרשימה הימנית של התפריט . Align בעזרת הכפתור Add All, ונלחץ OK. בחלון שייפתח נבחר, כמו

Align

בשלב המיזוג, מצב יישור מתאים ונלחץ OK. כל התמונות (חוץ מזאת שנקבעה כתמונת ייחוס) עתה שונו כדי להתיישר עם תמונת הייחוס.

נמזג אותן: בתפריט Color נבחר באפשרות Combine נמזג אותן: בתפריט Color נכחר באפשרות Combine





באפשרויות למעלה נסמן את מצב LRGB. אם חסר לנו הערוץ V, נבחר פשוט ב-RGB. בתפריטים Luminance, Red, Green, Blue נבחר את הערוצים המתאימים (התוכנה תנסה לבחור את הערוצים בעצמה, אבל זה לא תמיד מצליח לה). כדי לראות תצוגה מקדימה של התוצאה, נלחץ על Full Screen בפינה הימנית-תחתונה. אם התמונה אדומה\ירוקה\כחולה מדי, אפשר לנסות להקטין את חוזק הערוץ המתאים בחלק התחתון של החלון ולהסתכל שוב.

בסוף נלחץ OK ונקבל את התמונה הצבעונית.

עכשיו כשלמדנו איך לקבל תמונות יפות וצבעוניות, נלמד לעשות משהו קצת יותר "מדעי": מדידות פוטומטריות, שזה בעצם מדידת בהירויות של כוכבים. מדידות פוטומטריות נדרשות כדי לחקור את עוצמת האור של הכוכבים, לדגמא שינוי הבהירות של כוכבים משתנים, שנקראים כך כי בהירותם משתנה. אם נצלם כוכב כזה במרווחי זמן מסוימים, ונמדוד את בהירותו בכל אחת מן התמונות, נוכל לדעת כמה מהר וכמה חזק בהירותו משתנה. אפשר למדוד את התמונות, נוכל משתנה ע"י השוואתו לכוכבים אחרים, שבהירותם קבועה וידועה. נראה, איך אפשר לעשות זאת ב- Maxim DL.

נניח, שיש לנו כמה תמונות מכוילות וממוזגות של אותו כוכב, שקיבלנו מסטים שצולמו בזמנים שונים (נניח, כל עשר דקות). נפתח את כולן בתוכנה.

<u>חשוב</u>: כשמיזגנו את התמונות, זמן הצילום המקורי עדיין נשמר בקובץ הממוזג, כך שלרוב אין צורך לזכור איזו מהתמונות צולמה מתי; התוכנה תדע זאת לבד.

. Photometry באפשרות Analyze נבחר בתפריט



ייפתח התפריט:



לפני שנסמן את הכוכב המשתנה, נצטרך לסמן את הכוכב ההשוואה הקבוע והידוע, אליו נשווה את המשתנה, ניתן וכדאי לבחור בכמה כוכבי השוואה. כדי לבחור אותו, קודם כל נפתח את הרשימה הנפתחת בחלק הימני של התפריט ונבחר New Reference Star. עתה, נתבונן בסמן העכבר שנראה כך: כשמסמנים כוכב, אנו צריכים לדאוג לכך שהכוכב עצמו ייכנס כולו בתוך הטבעת הפנימית ביותר, בטבעת הבאה מבפנים לא יהיה כלום, ובטבעת הטבעת יהיה כמה שפחות רעש או כוכבים נוספים. כדי לשנות את גדלי החיצונית יהיה כמה שפחות רעש או כוכבים נוספים. כדי לשנות את גדלי החיצונית יש ללחוץ על ה"קליק הימני" של העכבר, ובתפריט נבחר לשנות את הטבעות, יש ללחוץ על ה"קליק הימני" של העכבר, ובתפריט נבחר לשנות את הסבעות, חיצונית) או Gap Width (טבעת אמצעית) או



יש לקבוע את גודל הטבעות פעם אחת עבור הכוכב שחשוב לנו ביותר ולהשתמש באותה התאמה על שאר הכוכבים!

כשנקבל את הגדלים הנדרשים, נלחץ על כוכב ההתייחסות. עתה, נרשום בתיבה Ref Mag את הבהירות של הכוכב הזה (שידועה לנו מראש, והיא קבועה בכל הצילומים), על שלב זה כדאי לחזור על כמה שיותר כוכבי השוואה.

עכשיו הגיע הזמן למדוד את הכוכב המשתנה. נבחר ברשימה מימין באפשרות New Object ונקליק על הכוכב המשתנה, אם יש כמה כוכבים משתנים, נקליק על כולם.

עכשיו רק נותר להקליק על View Plot. התוכנה אוטומטית תמצא את כוכב הייחוס והכוכבים המשתנים בכל התמונות, תחשב את בהירות הכוכב המשתנה בכל תמונה, תמיין את התמונות לפי זמן צילום ותציג גרף כזה:



כפי שניתן לראות, בהירות הכוכב שבדוגמא גדלה תוך 0.4 שעות ושוב קטנה תוך אותו הזמן. אם סימנו כמה אובייקטים, כולם יוצגו בגרף.

את המידע שהתקבל ניתן לשמור ע"י לחיצה על Save. השמירה תתבצע בפורמט CSV, שניתן לפותחו בכל תוכנת גליון אלקטרוני (EXCEL וכו'), וקל גם להתמצא בו ידנית: הנתונים מוצגים כמו שהם, מופרדים בפסיקים.

מדידות פוטומטריות מדויקות

קל מאוד לבצע מדידות פוטומטריות באמצעות Maxim DL, אך יש לומר שהדיוק של התוכנה במדידות הללו הוא לא מאוד טוב. מדידות הרבה יותר מדויקות אפשר לבצע בתוכנה Subaru, שאותה אפשר להוריד לגמרי בחינם מהאתר http://makalii.mtk.nao.ac.jp/diff_13cd.html.en.

נפתח את התוכנה.



נפתח בה תמונה ממוזגת, כמו שעשינו ב-Maxim DL.

<u>חשוב</u>: SUBARU איננה תומכת במציאת אותו כוכב בכמה תמונות ולא עושה גרפים, ולכן כאן צריך לטפל בכל תמונה בנפרד.

נלחץ על הכפתור Photometry, ובתיבה שתיפתח נלחץ על Aperture. עתה, נקליק על הכוכב שאת בהירותו נרצה למדוד, ועל עוד <u>שני</u> כוכבי התייחסות, שאת בהירותם אנו צריכים לדעת. הכוכבים יופיעו בתיבת הדו-שיח הגדולה:

1	L	STAR (222.3, 374.1)	6.9	137	112299.0	819.7	7.9
1	L	SKY (222.3, 374.1) 12.3	14.3	176	143020.0	812.6	1.6
1	L	Count = 970, Method = AUTO					
- 1	2	STAR (409.3, 435.2)	7.2	177	145879.0	824.2	16.1
- 1	2	SKY (409.3, 435.2) 12.8	14.8	176	142963.0	812.3	1.7
- 1	2	Count = 2103, Method = AUTO					
1	3	STAR (252.6, 429.0)	7.2	177	145911.0	824.4	16.8
4	3	SKY (252.6, 429.0) 12.9	14.9	176	143019.0	812.6	1.8
1	3	Count = 2079, Method = AUTO					

נניח בשביל הדוגמא, שהכוכב שרוצים למדוד הוא הכוכב השלישי ברשימה, ושהשניים האחרים הם כוכבי התייחסות, שבהירויותיהם — 12.2 ו-11.3 בהתאמה. מה שמעניין אותנו בנתונים הם מספרי ה-Count (עד כמה בהיר הכוכב בתמונה). כמו שרואים, הספירה של הכוכב הראשון (שבהירותו 12.2) היא 970, הספירה של השני היא 2103, והספירה של הכוכב שרוצים למדוד היא 2079. עכשיו נפתור את המשוואה:

 $-\log_{2.5}(970) + C = 12.2$

נקבל את ערכו של C להיות 19.7056. כדי לוודא את ערכו, נפתור משוואה דומה עבור הכוכב השני:

 $-\log_{2.5}(2103) + C = 11.3$

מכאן נקבל ש-*C* שווה ל- 19.6501. נעשה ממוצע ונקבל C = 19.6779. נציב אותו במשוואה עבור הכוכב הנמדד:

 $-\log_{2.5}(2079) + 19,6779 = 11,3403$

קיבלנו, שהבהירות של הכוכב שלנו בתמונה היא 11.3403 . טכניקה זו היא לא נוחה כמו השימוש ב-Maxim DL, אך מניסיוננו מדויקת יותר.