

UOT 524.3

XIDIR MİKAYİLOV¹, RUSLAN MƏMMƏDOV²

ASTRONOMİK CCD TƏSVİRLƏRİN KOSMİK ŞÜALARDAN VƏ İSTİ PİKSELLƏRDƏN TƏMİZLƏNMƏSİ

Təqdim olunan işdə girişdə müasir dövrdə astronomiyada əsas işıqəbuledici olan Yükləli Cihazlar (YÜC) və astronomik CCD təsvirlərin istə piksəllərdən təmizlənməsi haqqında qısa məlumat verilir. CCD matrislər müşahidə vaxtına qənaət etməyə və həm də alınan təsvirlərin müasir metodlarla sürətli emalına imkan verir. Ona görə də CCD matrislər astronomik müşahidələrdə çox geniş tətbiq olunur. Qeyd olunur ki, CCD matrislərin çox geniş tətbiq olunmağına baxmayaraq CCD işıq qəbuledicilərinin bir sıra nöqsanları da vardır. Biz bu məqalədə yalnız iki nöqsanın – alınan astronomik təsvirlərin kosmik şüalardan və “isti-qaynar” piksəllərdən təmizlənməsi yolları haqqında məlumat veririk.

Açar sözlər: CCD, istə piksel, astronomik təsvir.

Giriş. 1970-ci illərin əvvəllərində CCD-lər (Charge–Coupled–Devices) bərk cisim yaddaş qurğusu məqsədilə hazırlanmışdır [1, 2]. Lakin dərhal başa düşüldü ki, fotoelektrik effekti ilə işığa həssaslığının yüksək və yükləri saxlama qabiliyyəti olduğundan bu tip cihazlar 2 ölçülü işıq qəbuledicisi kimi geniş tətbiq oluna bilər. Bu haqda ətraflı məlumat [3]-də verilmişdir. Astronomlar bu sahədə birincilərdən oldular və astronomik təsvirlərin qeydiyyatı üçün CCD-dən geniş istifadə etməyə başladılar.

1980-ci ilin sonları və 1990-cı ilin əvvəllərində işıq qəbuledicisi kimi CCD matrislərdən [4, 5, 6] spektroskopiya da daxil olmaqla, astronomiyanın bütün sahələrində daha geniş istifadə olunmağa başladı. Nəticədə spektroskopiya və fotometriya sahəsində yeni imkanlar açıldı. Bu onunla əlaqədardır ki, CCD fotolövhələrlə müqayisədə yüksək həssaslığa və böyük sabilliyə malikdir. CCD-nin istifadə olunması nəinki klassik metodikanın dəqiqliyini, həm də alınan astronomik materialların işlənmə sürətini artırdı. Eyni zamanda tədqiqat sahəsində daha dərinə getməyə, o cümlədən spektral xətlərin profilərini təhlili və şüa sürətini yüksək dəqiqliklə təyin etməyə imkan yaratdı. Fotometriyada isə tədqiq olunan obyekt və standart ulduzlar eyni bir kadrda alındığından ölçmələrin dəqiqliyi və etibarlılığı yüksəldi. Spektroskopiyada və fotometriyada CCD-nin tətbiqi nəticəsində əldə olunan yüksək dəqiqlik yeni kəşflərə məsələn ekzoplanetlərin kəşfinə təkan verdi.

YÜC (Yükləli Cihazlar) çox yüksək kvant çıxışına malikdir. Yada salaq ki, fotoqrafiyada fotoemulsiya dənələrində (təbəqəsində) şəkil yaratmaq üçün 100-200 kvant tələb olunur. Fotokatodda bir fotoelektronun azad olması üçün 10 kvant gərəkdir. Onları həm də toplamaq və qeydə almaq lazımdır. Vaxtilə geniş istifadə olunmuş tipik sovet foto-elektron gücləndiricilərində (FEG) – “ФЭУ-79”-un kvant effektivliyi 6%-i aşmırdı. CCD matrislər isə öz sələfləri ilə müqayisədə kvant effektivliyi 10-20 dəfə yüksək olur. Müasir dövrdə bu parametrlər spektrin müəyyən oblastlarında 80-90%-ə çatır.

CCD matrislərdə hesabat ADU – (Analog Digital Unit) vahidləri ilə ifadə olunur. CCD –

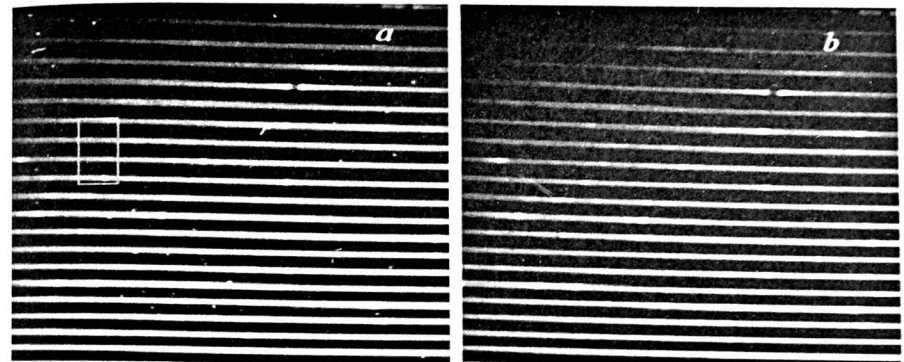
kadrlar isə FITS və ya FIT (Flexible Image Transport System) – təsvirlərin ötürülməsinin çevik sistemi- formatda yazılır. CCD matrislərin öz sələfləri ilə müqayisədə yüksək kvant effektivliyi və siqnalın rəqəmli şəkildə verilməsi kimi üstünlüyü müşahidə vaxtına qənaət etməyə və həm də alınan təsvirlərin müasir metodlarla sürətli emalına imkan verir. Ona görə də CCD matrislər astronomik müşahidələrdə çox geniş dalğa uzunluğu oblastında – görünən, ultrabənövşəyi və infraqırmızı oblastlarda həm spectral, həm də fotometrik astronomik müşahidələr üçün əvəz edilməz işıq qəbulediciləridir. Lakin CCD işıq qəbuledicilərinin bir sıra nöqsanları vardır. Bunlar aşağıdakılardır:

1. Alınan astronomik təsvirlərin kosmik hissəciklərin şüalanması ilə çirklənməsi.
2. Elektron soyudulan CCD-lərdə astronomik təsvirlərin isti və qaynar piksellərlə çirklənməsi.
3. Geniş dalğa uzunluğu oblastına həssas olan CCD-lərlə alınan təsvirlərdə qırmızı oblastlarda saçaqların (fringe) əmələ gəlməsi.
4. Qonşu piksellərdə (tək və qrup şəklində) həssaslığın fərqli paylanması.
5. Doyma halının izləri.

Yuxarıda sadalanan bu nöqsanları astronomik təsvirlərin “emalı” üçün yazılmış proqramlarda kalibrləmə kadrlarının köməyi ilə nəzərdə tutulmuş müxtəlif metodlarla aradan qaldırmaq mümkündür. Bu məqalədə biz yalnız astronomik CCD təsvirlərin kosmik şualardan və isti piksellərdən təmizlənməsi metodları haqqında məlumat veririk.

1. CCD təsvirlərin kosmik şualardan təmizlənməsi. Ekspozisiyanın gedişində yüksək həssaslığa malik CCD – matris faydalı informasiyadan əlavə yad siqnalları – kosmik hissəcikləri də fiksə edir (şəkil 1 a). Bu, astronomik (spektrlərin və fotometrik) kadrların keyfiyyətini aşağı salır və onların emalını çətinləşdirir. Kosmik şüalar çox intensivdirlər və astronomik təsvirlərdə güclü emissiyalar yaradırlar. Spektral müşahidələr zamanı kosmik şüaların tezliyi təsadüfən spektral xətlərin tezliyi ilə eyni olarsa bu spektral parametrlərin – spektral xətlərin ekvivalent enlərinin, yarım enlərinin, xətlərin intensivliyinin və dərinliyinin ölçülməsi zamanı yanlış nəticələrə gətirib çıxarır. Fotometrik müşahidələrdə isə CCD kadrda kosmik şüalar ulduzun şəklili ilə üst-üstə düşərsə bu ulduzdan alınan siqnalın yüksəlməsinə səbəb olar və nəticədə biz ulduz ölçüsünün yanlış qiymətini alırıq. Kosmik hissəciklərin təsirindən qaçmaq mümkün deyil və onlar hər yerdə var. CCD işıq qəbuledicilərinin kosmik hissəcikləri fiksə etmə tezliyi dəniz səviyyəsindən 5000 m hündürlükdə $\sim 1 \text{ saat}^{-1} \text{ mm}^{-2}$, dəniz səviyyəsində (0 metr hündürlükdə) $\sim 0,5 \text{ saat}^{-1} \text{ mm}^{-2}$ təşkil edir [4]. Bu kəmiyyət Şamaxı Astrofizika Rəsədxanası üçün $\sim 0,65 \text{ saat}^{-1} \text{ mm}^{-2}$, Batabat Astrofizika Rəsədxanası üçün isə $\sim 0,7 \text{ saat}^{-1} \text{ mm}^{-2}$ təşkil edir. Başqa sözlə $10 \times 10 \text{ mm}$ ölçüyə malik CCD işıq qəbuledicisi bir saatda 70 kosmik hissəcik fiksə edir. Ekspozisiya müddəti çox olduqca kosmik hissəciklərin qeydə alınma ehtimalı da artır.

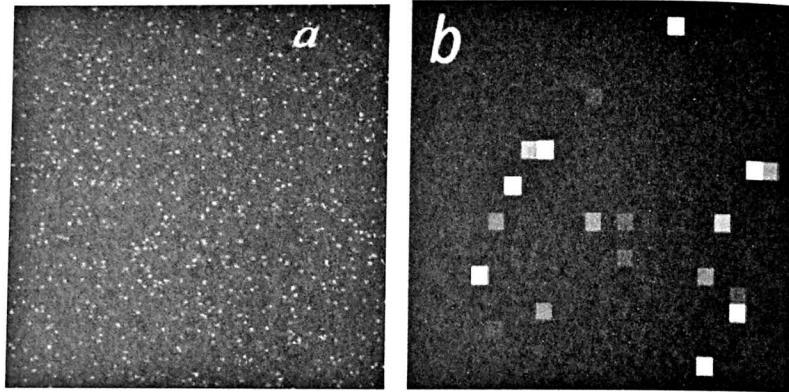
CCD təsvirlərin kosmik şualardan təmizlənməsi əsasən iki üsulla, matrislərin – CCD təsvirlərin ortalaşdırılması – “median image of group” (minimum 3 kadr) və vektorların ortalaşdırılması – “average vectors” (2 fayl) həyata keçirilir. Başqa sözlə hər bir 3 kadrda kosmik hissəciklərin eyni piksellərə düşməsi ehtimalı sıfırdır. Müxtəlif kadrlarda onlar müxtəlif piksellərə düşür. Kadrlar ortalaşdırılarkən proqram kosmik hissəcikləri yad qəbul edir və onları silir. Nəticədə tam təmizlənmiş CCD kadr alınır (şəkil 1b).



Şəkil 1. Spektral CCD təsvirlər, üfüqi ağ zolaqlar müxtəlif spektral diapazonlardır. a – kosmik hissəciklərdən təmizlənməmiş CCD kadr, kadr üzərində parlaq nöqtələr kosmik şüaların izləridir. b – kosmik hissəciklərdən təmizlənmiş CCD kadr.

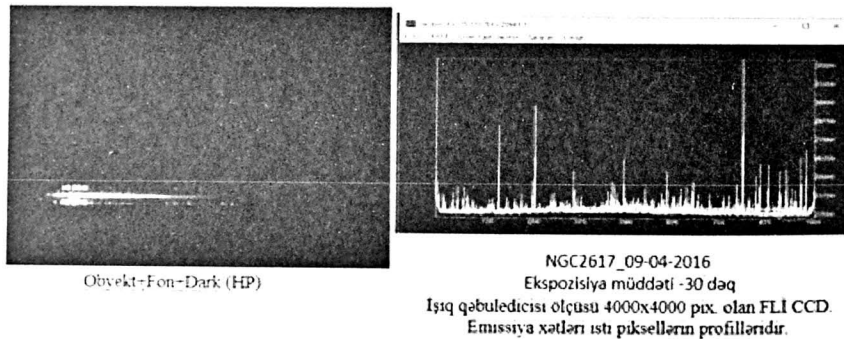
2. CCD təsvirlərdən isti və qaynar piksellərin təmizlənməsi. CCD matrislərin qaranlıq (Dark) siqnallarının səviyyəsini aşağı salmaq üçün CCD-nin çipi (matrisi) soyudulur. Soyutma iki cür elektron – peltie və maye azotla həyata keçirilir. İkinci halda CCD xüsusi kriostatın içərisində yerləşdirilir və kriostat daim maye azotla dolu saxlanılır. Bu halda çipin temperaturu -110°C , -140°C -yə qədər düşə bilər. Bu temperaturda qaranlıq siqnalın səviyyəsi 0-a yaxın olur və isti piksellər tam yoxa çıxır. Elektron soyutma CCD-lərdə çipin temperaturunu ətraf temperaturdan -50°C -yə qədər aşağı sala bilər. Başqa sözlə ətraf temperatur $+20^{\circ}\text{C}$ olarsa çip -30°C -yə qədər soyudula bilər. Bu halda qaranlıq siqnalın səviyyəsi maye azotla soyudulan CCD ilə müqayisədə 5-10 dəfə yüksək olur və ekspozisiya vaxtından asılı olaraq CCD kadrlarda kifayət qədər isti piksellər müşahidə olunur (şəkil 2). Bu isə astronomik təsvirlərin işlənməsini mümkünsüz edir. İsti piksellər elektron soyudulan CCD-lərdə müşahidə olunur.

İsti piksellər qaranlıq cərəyanları yüksək olan ayrı-ayrı fiksə olunmuş həmişə eyni piksellərdir və çip boyunca təsadüfi paylanmışdır. Ekspozisiya vaxtı artdıqca onların intensivliyi və sayı kəskin artır və alınan astronomik təsvirlərin emalını (işlənməsini) çətinləşdirir. İsti-qaynar piksellərin təmizlənməsi üçün müxtəlif metodlar tətbiq olunur. Məsələn Rusiyalı (Moskvalı) həmkarlarımız isti piksellərin təmizlənməsi üçün təsvirlərin emal proqramlarında nəzərdə tutulmuş “median filter” və “cut bad pixel” metodlarından istifadə edirdilər. Başqa isti pikseli onu əhatə edən piksellərlə əvəz etmək, hər bir CCD üçün isti piksellərin xəritəsini yaratmaq və s. Maksim DL proqramında “Kernel Filter” komandası da isti pikselləri silə bilər. Bu metodlar çox da uğurlu deyil.



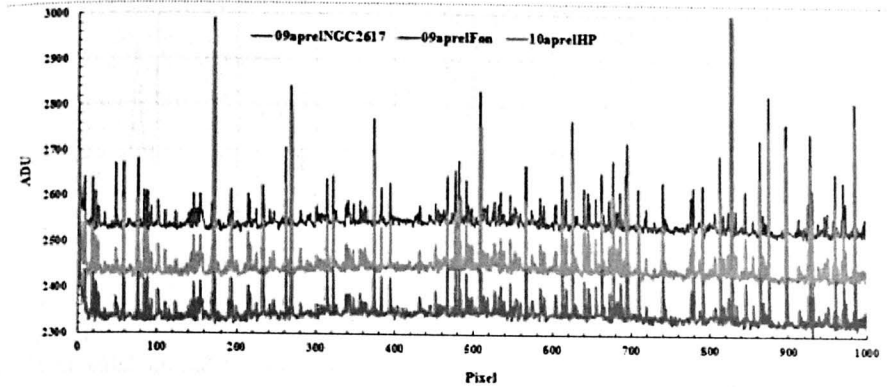
Şəkil 2. CCD-nin qaranlıq kadrlarında istiqamətlənmiş piksellərin nümayişi. Ekspozisiya müddəti 30 dəq. *a*- istiqamətlənmiş piksellərlə zəngin normal dark kadr, parlaq nöqtələr istiqamətlənmiş piksellərdir; *b*- istiqamətlənmiş piksellərin böyüdülmüş görüntüsü, parlaq kvadratlar istiqamətlənmiş piksellərdir.

Şəkil 3-də spektr təsvirlərində istiqamətlənmiş piksellərin nümayişi verilmişdir. Ağ parlaq nöqtələr istiqamətlənmiş piksellər, parlaq üfüqi zolaq isə NGC 2617 qalaktikasının görünən oblastda spektridir [8].



Şəkil 3. Spektr təsvirlərində istiqamətlənmiş piksellərin nümayişi. Sol panel – CCD kadr, sağ panel üfüqi istiqamətdə istiqamətlənmiş piksellərin qrafik təsviri.

CCD kadrlar üzərində aparılan tədqiqatlar göstərmişdir ki, müxtəlif vaxtlarda CCD-nin eyni temperatur rejimində eyni ekspozisiya ilə çəkilmiş müxtəlif kadrlarda (dark, obyekt, fon) istiqamətlənmiş piksellər həm koordinatlara, həm də intensivliklərinə görə tamamilə üst-üstə düşürlər (şəkil 4).



Şəkil 4. Müxtəlif CCD kadrlarda eyni sətirdə piksellərin qrafik təsviri.

Ona görə də astronomik CCD təsvirləri istiqamətlənmiş piksellərdən təmizləmək üçün biz təklif edirik ki, obyektin spektrindən fonun spektrini çıxaraq. Hər iki spektrin ekspozisiya vaxtları eyni olmalıdır. Bu halda biz spektri həm istiqamətlənmiş piksellərdən həm də fonun spektrindən təmizləyirik. Nəticədə obyektin təmiz spektrini alırıq. Mahiyyətə görə ondan ibarətdir ki, obyektin spektri alındıqdan sonra obyekt spektroqrafın yanından kənara çıxarılır və teleskop obyekt yaxınlığında səmanın boş yerinə istiqamətlənir və fonun spektri alınır. Dech 95 proqramın tələbinə uyğun olaraq [7] tədqiq olunan obyektin və fonun hər birindən minimum üç kadr alınmalıdır. Bu CCD təsvirlərdən kosmik hissəciklərin təmizlənməsi və küyün azaldılması üçün lazımdır.

Lakin təcrübə göstərir ki, CCD kadrların daha yaxşı təmizlənməsi üçün obyekt və fon spektrlərinin hər birindən dark kadrlarının çıxılması daha məqsədə uyğundur. Ardıcılıq aşağıdakı kimi yerinə yetirilməlidir:

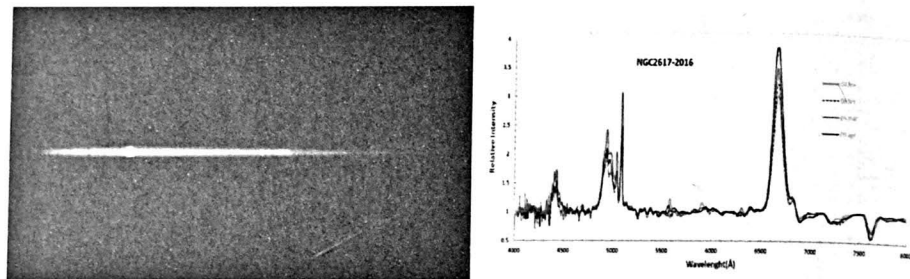
1. Obyekt – dark.
2. Fon – dark.
3. Obyekt – Fon.

Nəticədə çox təmiz təsvirlər alınır (şəkil 5).

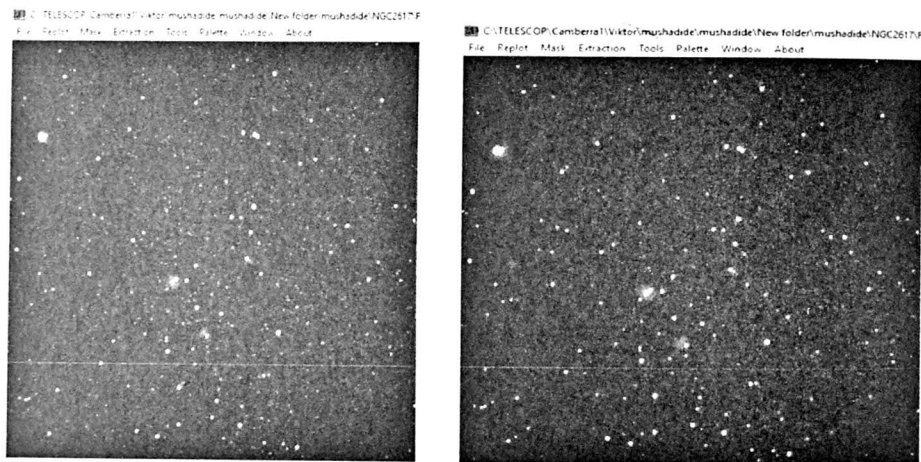
Fotometrik təsvirlərin istiqamətlənmiş piksellərdən təmizlənməsi prosesi isə aşağıdakı kimidir:

1. Tədqiq olunan obyekt ən az 3 ədəd CCD kadr alınmalıdır.
2. Dark ən az 3 ədəd və obyektə verilən ekspozisiya ilə eyni olmalıdır.
3. Obyekt və dark təsvirləri kosmik hissəciklərdən təmizlənmə və küyün azaldılması üçün ortalaşdırılmalıdır.
4. Obyektə darkın (HP) çıxılması.

Nəticədə istiqamətlənmiş piksellərdən təmizlənmiş CCD kadr alınır (şəkil 6).



Şəkil 5. NGC 2617 qalaktikasının spektri. Sol panel-NGC 2617 qalaktikasının kosmik şualardan və isti piksellərdən təmizlənmiş CCD spektri. Sağ panel – NGC 2617 qalaktikasının 2016-cı ildə ŞAR 2-metrik teleskopunda alınmış təmizlənmiş spektrlərinin dalğa uzunluğu şkalasında qrafik təsviri.



Şəkil 6. Fotometrik təsvirlərin isti piksellərdən təmizlənməsi. Sol panel təmizlənməmiş kadr, sağ panel isti piksellərdən təmizlənmiş kadr.

Nəticə. Elektron soyudulan CCD-ləri işıq qəbuledicisi kimi spektral və fotometrik müşahidələrə tətbiq etmək və uzun ekspozisiyalar vermək olar. Obyektlərin, xüsusilə ölçülü (qalaktika, dumanlıq) obyektlərin spektrini alarkən aşağıda sadalanan şərtlər yerinə yetirilməlidir:

1. Obyekt, fon və dark təsvirlərinin hər birindən 3 ədəd, eyni ekspozisiya ilə alınmalı (kosmik şüalanmadan təmizləmək və həm də küyü azaltmaq üçün). Xüsusi ilə ölçülü obyektlərin spektri alınarkən Fonun spektrinin alınması vacibdir.

2. Müşahidə vaxtının itirilməməsi üçün dark təsvirlər müşahidədən sonra (CCD-nin eyni xarakteristikaları ilə) alına bilər.

3. İsti piksellərdən təmizləmək üçün: Obyektdən fon çıxılır (Obyekt-fon) və ya daha yaxşı təmizləmək üçün əvvəlcə obyektədən və fonda dark çıxılır (Obyekt-dark, Fon-dark) və sonra isə Obyektdən fon çıxılır (Obyekt-fon).

Başqa sözlə biz CCD kadrından – spektrlərdən təmiz, təhrif olunmamış informasiya almaq istəyiriksə mütləq əlavə olaraq kalibrovka kadrını – **dark** (CCD qapağı açılarsa daha yaxşı olar), **flat field**, **fon** kadrını almalıyıq. Deməli nəticədə deyə bilərik ki, spektr təsvirlərindən isti piksellər təmizlənməzsə spektral xətlərdə onları yanlış emissiya komponentləri kimi qəbul edərik. Fotometrik təsvirlərdən isti piksellər təmizlənməzsə fotometrik ölçmələr şübhə doğurar.

ƏDƏBİYYAT

1. Amelio G., Tompsett, M., Smith, G. // 1970, Bell Systems Technical Journal, 49, p. 593.
2. Boyle W., Smith, G. // 1970, Bell Systems Technical Journal, 49, p. 587.
3. Mackay, C. // 1986, Annu. Rev. Astron. Astr., 24, p. 255.
4. Уокер Г. Астрономические наблюдения, М.: Мир, 1990, с. 302-317.
5. Steve B.H. Handbook of CCD astronomy // Cambridge University Press, 2000, ISBN 0521648343, 9780521648349 pp. 2-61.
6. White M.H., Lampe D.R., Blaha F.C., Mack I.A. Characterization of surface channel CCD image arrays at low light levels // IEEE J. Solid-State Circuits, 1974, SC-9, p. 1-5.
7. <http://www.gazinur.com/DECH-software.html>
8. Микайлов Х.М., Рустамов Б.Н., Алекберов И.А.; 2x2 - Призмный спектрограф с пзс-матрицей фокуса кассегрена 2-х метрового телескопа Шамахинской обсерватории, Azərbaycan Astronomiya Jurnalı, 2014, № 3, s. 23-33.

¹Şamaxı Astrofizika Rəsədxanası

E-mail: mikailov.kh@gmail.com

²AMEA Naxçıvan Bölməsi

E-mail: ruslan_rtm@yahoo.com

Xidir Mikailov, Ruslan Məmmədov

CLEANING OF ASTRONOMICAL CCD IMAGES FROM COSMIC RAYS AND HOT PIXELS

The present paper provides a brief overview of the hot pixels of modern connected light-emitting astronomical Freight-Related Devices and astronomical CCD images. CCD matches allow you to save time and observe fast processing of the captured images using modern methods. Therefore, CCD matrices are widely used in astronomical observations. It is noted that, despite the widespread use of CCD matrices, there are also some disadvantages of CCD light receivers. In this article, we present only two defects – ways to clean of astronomical images from cosmic rays and “hot” pixels.

Keywords: CCD, hot pixels, astronomical images.

Хыдыр Михайлов, Руслан Мамедов**ОЧИЩЕНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ПЗС-ИЗОБРАЖЕНИЙ ОТ
КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ И ГОРЯЧИХ ПИКСЕЛЕЙ**

В настоящей статье представлен краткий обзор очищения горячих пикселей современных подключенных светоизлучающих астрономических устройств, связанных с нагрузкой (ДА), и астрономических ПЗС-изображений. Матрицы ПЗС позволяют сэкономить время и наблюдать быструю обработку захваченных изображений с использованием современных методов. Вот почему ПЗС-матрицы широко используются в астрономических наблюдениях. Отмечается, что, несмотря на широкое использование матриц ПЗС, у приемников света ПЗС есть и некоторые недостатки. В этой статье мы представляем только два недостатка – как очистить астрономические изображения от космических лучей и «горячих» пикселей.

К.почтовые слова: ПЗС, горячие пиксели, астрономическое описание.

(AMEA-nın müxbir üzvü Namiq Cəlilov tərəfindən təqdim edilmişdir)

Daxilolma tarixi:**İlkin variant 15.10.2019****Son variant 11.12.2019**