

ПРОБЛЕМИ ОБРОБКИ АСТРОНОМІЧНИХ ВІЗУАЛЬНИХ ДАНИХ

В статті описується проблеми використання матриць на базі приладів зі зарядовим зв'язком стосовно астрономічних оптичних засобів спостереження. Розглянуто характерні завади для зображень, отриманих з телескопів, обладнаних ПЗЗ матрицями, та складові процесу спостереження, включаючи калібрування. Досліджено застосування методів фільтрації сформованих зображень, що використовуються для збільшення рівня сигнал-шум на вихідному зображенні. Наведено варіанти для покращення якості інформаційних елементів на зображенні та можливі шляхи їх реалізації.

Ключові слова: ПЗЗ матриця, аналіз методів фільтрації, низькочастотні фільтри, адаптивна фільтрація.

Вступ

Постановка проблеми. Україна є загально-визнаною державою з вагомим внеском у світову космічну галузь. Набір телескопів, що використовуються в державі, дозволяє проводити в тому числі візуальне дослідження космічного простору. Телескопи, як системи отримання інформації, мають певний набір проблем при взаємодії між вузлами, а покращення результату роботи такої системи приводить до більш точної роботи астрономів та дозволяє розширити горизонти навіть на існуючій апаратурі.

Проблема, що розв'язується – покращення результатів спостережень засобами цифрової обробки зображень із широким застосуванням придушення шумів та удосконалення існуючих методів відстеження об'єктів спостереження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні десятиліття масований запуск космічних апаратів (КА), а також космічне сміття створили навколо Землі досить велике нашарування космічних тіл, що заново актуалізує задачу фотометричного спостереження та контролю за станом небесних тіл. Деякі автори відмічають, що візуальний тип спостереження може застосовуватись проти координатного при визначенні класу КА, а також часто для визначення передислокації геосинхронних супутників (ГСС). [1].

На поточний момент значна кількість українських телескопів оснащена камерами-приймачами із матрицями ПЗЗ (англ. CCD) [2].

Оглядаючи перспективи розвитку сегменту спостережень за космічними об'єктами модернізація систем оптичного спостереження до надсучасних матриць з напівпровідниковим сенсором, побудованих на основі комплементарної структури метал-оксид-напівпровідників (КМОП) проводить-

ся дуже повільно, та у більшості випадків проводиться силами університетів та лабораторій зі встановлення ПЗЗ матриць для фото та відеофіксації [7].

Проблеми, притаманні для такого роду зчитувачів, є давно відомими [6], а індивідуальні конструктивні підходи до створення/модернізації кожного телескопа [7] визначають напрямки розробки програмного забезпечення, що допомагає забезпечити збір даних, а також обробляти отримані результати у відповідності до умов спостереження та прив'язки [8].

Основна частина

Телескопічна система складається з оптичної системи, кріплення та приймача сигналу. Як було зазначено українські телескопи використовують ПЗЗ матриці у якості приймача сигналу.

Основна конструктивна особливість ПЗЗ матриць полягає у формі сигналу, що представлена зарядом, який створюється та зберігається під дією зовнішнього електростатичного поля у напівпровідниках.

Прибор зазвичай є набором світлочутливих елементів, що звуться пікселями. Кожен піксель заповнюється електронами пропорційно до кількості світла, яке попадає у момент фіксації. Набір таких елементів формує матрицю.

Астрономічні ПЗЗ матриці характеризуються високою інтегральною чутливістю, а спектральний діапазон лежить в межах від 0,4 до 0,9 мікрон. Чутливість матриці залежить від розміру самих пікселів і від квантової ефективності. Розмір пікселя для сучасних матриць варіюється від 6 до 27 мкм. Що більший розмір пікселя, тим ширший діапазон яскравостей можна отримати, але менш чітким виходить зображення. Пікселі малого розміру дають більш чітке зображення за рахунок

зменшення чутливості. Таким чином, потрібно вибирати компромісні розміри підтримання відношення корисного сигналу до шуму [3]. Роздільна здатність типових матриць коливається в межах від 512×512 до 8176×6132 пікселів. При необхідності матриці компонується у великі об'єднання матриць по певних схемах сегментів.

Загалом, в залежності від фокусної відстані телескопу поле зору може складати від декількох хвилин до половини кутового градуса.

На рис. 1 показано зображення, захоплене відеокамерою при спостереженні за рухом КА. На кадрі чітко видно ще два світліх об'єкти – це стаціонарні зорі, які за рахунок низької реакції матриці та параметрів витримки збереглися як продовговаті об'єкти. Таким чином, при визначенні їх розміру виникають певні проблеми [11].



Рис. 1. Кадр необроблених даних з камери

Як видно на зображенні є характерні адитивні та спеклові шуми, фонові засвітка кадру, права межа має шар незадіяних пікселів чорного кольору. Це лише невеликий перелік проблем цього зображення.

Процес спостереження на системі телескопу та прийому зображення на комп'ютер обов'язково повинно включати в себе процес калібрації та складається з взяття кадрів на двох етапах:

- темнові кадри (dark) – для вимірювання власного рівня шумів у матриці, артефактів у структурі матриці тощо;

- плоскі кадри або кадри плоского поля (flat field) – кадри, що враховують нерівномірність чутливості матриці по своїй структурі.

При тривалих спостереженнях рекомендується брати декілька темнових кадрів протягом сесії спостереження. Кожен темновий кадр компенсуватиме темновий сигнал матриці, що великою мірою залежить від температури. Це в подальшій обробці дозволяє отримати більш чіткі вихідні зображення.

З плоскими кадрами часова ситуація трохи гірша і їх слід брати при заході сонця або на світанку вибираючи рівномірно освітлену область неба, без джерел пікового випромінювання. Як альтернативу в [4] пропонується використовувати рівномірне освітлення.

Ці два типи кадрів містять шуми, притаманні окремій оптичній системі в цілому. Після закінчення сесії знімання даних, інформація з цих кадрів віднімається від основних кадрів, таким чином утворюючи фінальне зображення з мінімізацією зазначених типів шумів [5].

Також слід зазначити, що тип шумів, що є певна похибка зчитування (bias), що вноситься електронікою камери. Складається ця похибка з наступних компонентів: похибка попереднього заряду і власне виду структури цієї похибки. При правильному калібруванні можливо прибрати обидва ці компоненти. При використанні фільтрування за допомогою темнових кадрів похибка зчитування не враховується, оскільки темнові кадри вже містять цю компоненту в собі.

Для створення усередненого темного кадру використовується медіанне об'єднання. В подальшому такий кадр віднімається з отриманих даних. Аналогічні процедури виконуються з плоскими кадрами [9].

Після отримання всього набору кадрів можна покращити отримані зображення, застосувавши методи цифрової обробки зображень.

Варіанти такого покращення можуть бути такі:

1. Прибирання фонові заливки та градієнта.
2. Покращення форми яскравого об'єкта.
3. Прибирання косметичних дефектів та покращення композиції.
4. Прибирання шумів.
5. Покращення контрасту.

Найбільш складним є те, що для кожного набору даних вибирається свій набір операцій, які зазвичай визначаються візуально беручи до уваги власний досвід особи, яка спостерігає за небесними об'єктами.

Шум на зображеннях можна прибрати за допомогою морфологічних операцій [10], а також використовуючи низькочастотні фільтри. Суть полягає в тому, що навколишні пікселі усереднюються за допомогою маски з ваговими коефіцієнтами. На кожену точку накладається фільтруючий кадр, який впливає на навколишні точки також. Типовий фільтр задається такою формулою:

$$L = \begin{bmatrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Величина кожного з восьми пікселів навколо центру складається разом, попередньо помножившись на ваговий коефіцієнт, та стає новим значенням центрального пікселя. Для того, щоб картинка не розмивалась у всіх напрямках, а тільки вгору-вниз, можна визначити маску з нульовими вагами у крайніх кутових коефіцієнтах перерахувавши решта коефіцієнтів.

Перевага медіанної фільтрації полягає в тому, що «гарячий» піксель на темному фоні буде замінений темним, а не виявиться розмитим по околу сусідніх точок.

Медіанна фільтрація визначається таким чином:

$$V[x, y] = \text{med}\{M[x, y]\}. \quad (2)$$

Результатом фільтрації є середина діапазону значення навколишніх пікселів, причому форма околиці визначається маскою фільтра. Медіанна фільтрація здатна ефективно видаляти із зображення шуми, що незалежно впливають на окремі пікселі.

Задача фільтрації стає набагато складнішою, коли шуми перекриваються по спектру зі спектром корисного сигналу або коли полоса зайвих частот задалегідь невідома чи плаває.

В адаптивних фільтрах частотна характеристика автоматично регулюється відповідно до певного критерію, що дозволяє таку адаптацію до характеру вхідних даних.

У якості прикладу найпростішого адаптивного фільтра можна використати сигма-фільтр. В процесі роботи у вікні розміром N будуть усереднюватись лише величини, що відрізняються від центрального пікселя на величину допуску α :

$$x_j, \text{ де } j = \left[i - \frac{N-1}{2}, i + \frac{N+1}{2} \right]; \quad (3)$$

$$\delta_j = \begin{cases} 1, & x_j \in [x_i - \alpha\sigma_N; x_i + \alpha\sigma_N]; \\ 0, & x_j \notin [x_i - \alpha\sigma_N; x_i + \alpha\sigma_N]; \end{cases} \quad (4)$$

$$x_i = \sum_{j=i-\frac{N-1}{2}}^{i+\frac{N-1}{2}} \frac{x_j \delta_j}{N}. \quad (5)$$

У вищенаведених підрахунках вважають дисперсію адитивного гаусового шуму незмінною. Для двовимірного сигналу принцип ширини вікна зберігається і задається двовимірною маскою, що накладається поетапно на зображення.

Завдяки такому підходу добре зберігаються перепади рівня сигналу.

Недоліком такого фільтру є неможливість прибрати імпульсну заваду. Проте послідовне ви-

користання декількох фільтрів нівелює цей недолік. Другим суттєвим недоліком є низька швидкість і велика кількість необхідних операцій, яка розраховується за такою формулою:

$$OP = 4 \cdot W^2 \cdot K_{\text{пікселів}}. \quad (6)$$

Для значного прискорення обчислень використовується метод плаваючої локальної гистограми. Вона вираховується за допомогою коригування вихідної гистограми.

Вибирається вікно певною шириною. Ширина плаваючого вікна повинна бути не більша за перепади на елементах, що повинні залишитись після фільтрації.

На правій його границі яскравість використовується для підвищення, а на лівій – для зменшення значень гистограми.

Число операцій, що потрібно виконати для корекції визначається формулою:

$$OP = 2 \cdot W + 2(2 \cdot N_{\text{допуску}} + 1) \cdot N_{\text{пікселів}}. \quad (7)$$

Якщо ширина допуску кадру досить мала, то результати фільтрації будуть майже непомітними, оскільки кадр не захоплює багато значень для виконання операції. Саме тому для ефективної роботи ширина плаваючого вікна повинна бути досить великою, щоб врахувати мінімально корисні об'єкти.

Оптимальним розміром такого допуску вважається інтервал

$$\left[W^2/2; W^2 \right]. \quad (8)$$

Це означає, що результати фільтрації лежать в діапазоні (9)

$$D = \delta^2 \Rightarrow \left[W\sqrt{2}/2; W \right]. \quad (9)$$

Висновки

В статті проведений аналіз причин, що впливають на якість зображень, які отримані з телескопів з ПЗЗ матрицями, та проведено аналіз типових методів боротьби з характерними шумами на отриманому зображенні, враховуючи складові процесу спостереження, включаючи калібрування. Наведено спрощені формули наочної реалізації фільтрації.

Досліджено застосування методів фільтрації сформованих зображень, що використовуються для збільшення рівня сигнал-шум на вихідному зображенні.

Наведено варіанти для покращення якості інформаційних елементів на зображенні та можливі шляхи їх реалізації.

Метою подальших досліджень є аналіз та удосконалення методів покращення зображень притаманних для обробки фото та відео астрономічних даних, для апаратури розташованої на території України.

Список літератури

1. Сухов П.П. Фотометрическая база данных геостационарных спутников астрономической обсерватории ону им. И.И. Мечникова [Електронний ресурс] / П.П. Сухов // 15-та української конференції з космічних досліджень : тези доповідей. – Одеса, 24-28 серпня 2015. – С. 171. – Режим доступу до матеріалу: <http://space-conf.ikd.kiev.ua/archive>.
2. Українська мережа оптичних станцій (УМОС) для дослідження навколоземного комічного простору. Засоби спостереження мережі УМОС. Технічні параметри оптико-електронних систем телескопів, а також їх географічні координати представлені у наступній таблиці [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://imos.mao.kiev.ua/ukr/index.php?slab=slabid-9>.
3. Неуїмін О.С. ПЗС-матриці / О.С. Неуїмін, С.М. Дяченко // Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Серія – Радіотехніка. Радіоапаробудування. – 2010. – № 41. – С. 182-190.
4. Копацкая Е.Н. Фотометрические и поляриметрические наблюдения с ПЗС-камерой на телескопах LX200 и AZT-8 / Е.Н. Копацкая, В.М. Ларионов. – СПб.: СПбГУ, 2007. – 24 с.
5. Сизикова В.С. Предшествующая и последующая фильтрация шумов в алгоритмах восстановления изображений / В.С. Сизикова, Р.А. Экземпляр. // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2014. – №1 (89). – С. 112-122.
6. Hainaut O. Basic image processing [Електронний ресурс] / Olivier Hainaut // Режим доступу: <http://www.eso.org/~ohainaut/ccd/>.
7. Вовчик Є.Б. Модернізація існуючих інструментів для спостережень ШНТ / Я.Т. Благодир, А.І. Білінський, Є.Б. Вовчик, К.П. Мартинюк-Лотоцький, Н.В. Вірун // Тези доповідей 14-ої української конференції з космічних досліджень, – Київ, 2014. – С. 88.
8. Романюк Я.О. Celestron satellite telescope – інструмент мережі УМОС для дослідження низькоорбітальних космічних об'єктів [Електронний ресурс] / Є.С. Козирев, Я.О. Романюк, С.Г. Кравчук, О.В. Шульга, Є.С. Сибірякова // // 15-та української конференції з космічних досліджень : тези доповідей. – Одеса, 24-28 серпня 2015. – С. 169. – Режим доступу до матеріалу: <http://space-conf.ikd.kiev.ua/archive>.
9. Szymanek N. A Beginner's Guide to Astrophotography using CCD Systems [Електронний ресурс] / Nik Szymanek // Wex Photographic. – 2015. – Режим доступу до матеріалу статті: www.wexphotographic.com/blog/a-beginners-guide-to-astrophotography-using-ccd-systems.
10. Гриб Р.М. Морфологічна обробка цифрових зображень з телескопів. / Р.М. Гриб, С.В. Домнін, А.О. Подорожняк // Сучасна спеціальна техніка. – 2013. – № 1 (32). – С. 34-39.
11. Gryb R. Morphological method selecting objects predefined sizes on image / R. Gryb, A. Podorozhnyak // Proceedings of the 12th International Conference "The experience of designing and application CAD Systems in Microelectronics" (CADSM 2013) 19-23 February 2013. – Polyana-Svalyava (Zakarpattia), Ukraine: proc. – Lviv, 2013. – P. 293-294.

Надійшла до редколегії 17.05.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

ПРОБЛЕМЫ ОБРАБОТКИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ВИЗУАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Р.М. Грыб

В статье описываются проблемы использования матриц на базе приборов с зарядовой связью относительно астрономических оптических средств наблюдения. Рассмотрено характерные помехи на изображениях, полученных с телескопов, оборудованных ПЗС матрицами, и составляющие процесса наблюдения, включая калибровку. Исследовано применение методов фильтрации полученных изображений, что используются для увеличения уровня сигнал-шум на выходном изображении. Приводятся варианты для улучшения качества информационных элементов на изображении и возможные пути их реализации.

Ключевые слова: ПЗС матрица, анализ методов фильтрации, низкочастотные фильтры, адаптивная фильтрация.

HANDLING PROBLEMS OF VISUAL ASTRONOMIC DATA

R.M. Gryb

The article describes issues of using matrixes technologically based on charge-coupled devices related to optical tools of astronomic observations. Typical defects of stills from telescopes equipped by CCD matrixes are reviewed as well as stages of observation process, including a calibration. Filtering methods of retrieved images are researched applying to increasing ratio of signal-noise on destination. Options to increase quality of information elements on images are provided with possible ways of solving.

Keywords: CCD matrix, filtering methods analysis, low-pass filters, adaptive filtering.