

УДК 528.851:004.9

МЕТОД ПЕРВИННОЇ ОБРОБКИ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ВБУДОВАНОЇ СИСТЕМИ НАНОСУПУТНИКА

Демчишин А.А., к.т.н.,

a.demchyshyn@iit.kpi.ua, ORCID: 0000-0002-5643-708X

Аушева Н.М., д.т.н.,

nataauscheva@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0816-2971

Рассамакін Б.М., к.т.н.,

bm rass@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8097-3678

*Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

На даний час супутники CubeSat дають можливість університетам, державним та приватним компаніям проводити наукові дослідження в умовах невагомості на висотах низької навколоземної орбіти. Наносупутник, який розглядається в даній роботі, в якості корисного навантаження несе камеру спостереження за використанням Земних ресурсів, яка займає один модуль (1U).

Метою даної роботи є створення моделі шуму матриці Sony IMX304LQR та розробка методу первинної обробки мультиспектральних зображень перед пересилкою на наземний інформаційний комплекс.

Вимірювання шуму матриці проводилось фіксуванням різниці між максимальним та мінімальним значенням відтінку у вибірці 40x30 кожного з спектральних каналів. Для цього об'єкти камери спрямовувалися на аркуш паперу з відсотком білизни не менше 92%, який було підсвічено світлом кольору безхмарного неба. Результати вимірювання балансу білого показали, що кожний з каналів має власний рівень чутливості: 141, 236, 136 з 255 відтінків. Показано, що при переході від аналогового до цифрового підсилення спостерігається стрибок рівня шуму сумарного панхроматичного зображення. Отримано залежність кількості відтінків шуму матриці Sony IMX304LQR від коефіцієнту підсилення, що надало можливість оцінити перспективи стиснення мультиспектрального зображення за рахунок зменшення ентропії за Шенноном. Рівень шуму каналів для коефіцієнту підсилення 0db складає не більше ± 5 відтінків.

Розроблено метод обробки даних баєровської матриці, що забезпечує прогресивне поліпшення зображення по мірі пересилки його складових блоків, та надає можливість отримувати корисне зображення навіть при перериванні надходження даних з супутника.

Ключові слова: мультиспектральні зображення, модель шуму, кольорний простір YUV, супутникові зображення.

Постановка проблеми. На даний час супутники CubeSat дають можливість університетам, державним та приватним компаніям проводити наукові дослідження в умовах невагомості на висотах низької навколосезної орбіти. Запуск кількох малих за розміром супутників знижує ризики, пов'язані з відпрацюванням перспективних технологій, тестування яких навряд чи виправдає вартість більшого супутника. Згідно із Специфікацією дизайну CubeSat [1] наносупутник складається з модульних одиниць розміром $10 \times 10 \times 11,35$ см (1U), розроблених для забезпечення одного літра корисного об'єму при вазі не більше 1,33 кг на одиницю. Розмір наносупутника може бути масштабованим уздовж однієї осі, щоб відповідати форм факторам 1U, 1.5U, 2U, 3U, або 6U. Як і більші супутники [2], CubeSat оснащуються кількома комп'ютерними системами, які паралельно виконують різні завдання, включаючи: контроль за орієнтацією, управління живленням, роботу корисного навантаження та первинні завдання управління.

Наносупутник, що розглядається в даній роботі, в якості корисного навантаження несе камеру спостереження за використанням Земних ресурсів, яка займає один модуль. Супутникові знімки є джерелом інформації для моніторингу аграрного сектору, своєчасного реагування на стихійні лиха, здійснення контролю за використанням земель та вирубкою лісів. Розмірні вимоги до модулю 1U є суттєвим викликом не тільки для апаратної частини камери, але і до програмної системи, яка займається обробкою зображень підвищеної роздільної здатності в умовах обмежених ресурсів в режимі реального часу.

Наносупутники CubeSat розгортаються на низькій навколосезній орбіті, тому період їх обертання вимірюється десятками хвилин (~94 хвилин для висоти 500км). При швидкості обертання ~7.6км/с період прямої видимості наземного інформаційного комплексу для передачі даних складає від п'яти до десяти хвилин. Для передачі зображень за такою обмеженою проміжком часу повстає задача ефективного стиснення зображення.

Наносупутник обладнано камерою зі світлочутливою матрицею *Sony IMX304LQR* [3]. Матриця вкрита мозаїкою кольорових світлофільтрів (*Color Filter Array*) за шаблоном Баєра (рис.1), що дає можливість отримувати зображення в трьох діапазонах спектру: від 420 до 500 нм, від 480 до 580 нм та від 580 до 760 нм. Для попередження реакції сенсору на хвилі менш високої частоти між матрицею та об'єктивом встановлено інфрачервоний фільтр. Ефективна роздільна здатність матриці складає 4096×3000 , що в комбінації з об'єктивом із фокусною відстанню 75мм забезпечує довжину кроку пікселів у надирі 22 метри. Для порівняння довжина кроку пікселів супутника Січ-2 складає 8.2 метра [4].

G	R	G	R	G	R	G	R
B	G	B	G	B	G	B	G
G	R	G	R	G	R	G	R
B	G	B	G	B	G	B	G
G	R	G	R	G	R	G	R
B	G	B	G	B	G	B	G
G	R	G	R	G	R	G	R
B	G	B	G	B	G	B	G

Рис.1. Масив кольорових світлофільтрів за шаблоном Баєра

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день переважна кількість кольорових відеокамер виготовляється на основі баєровською матриці. Для переходу від баєрівського шаблону до кольорового простору RGB використовуються алгоритми дебаєризації [5,6]. Суть алгоритмів полягає в реконструкції відсутніх компонентів кольору у певній точці за допомогою інтерполяції сусідніх пікселів.

Формулювання цілей статті.

Дана робота має на меті розробку методу представлення мультиспектральних зображень для пересилки на наземний інформаційний комплекс.

Задля досягнення мети роботи сформовано наступні задачі:

- створити модель шуму матриці;
- розробити метод обробки даних, які отримано від баєровської матриці, який забезпечує можливість прогресивного поліпшення зображення по мірі пересилки блоків зображення.

Основна частина. Вимірювання шуму матриці проводилось фіксуванням різниці між максимальним та мінімальним значенням відтінку у вибірці 40x30 кожного з спектральних каналів. Для цього об'єкти камери спрямовувався на аркуш паперу з відсотком білизни не менше 92%, який було підсвічено кольором безхмарного неба. Рівень кореляції похибки між каналами перевірявся вимірюванням шуму панхроматичного зображення, отриманого замішуванням компонент за рівняннями [7].

Результати вимірювання балансу білого показали (рис.2), що кожний з каналів має власний рівень чутливості: 141, 236, 136 з 255 відтінків. При переході від аналогового до цифрового підсилення спостерігається стрибок рівня шуму сумарного панхроматичного зображення. Те, що графік Y знаходиться нижче графіків R , G та B , свідчить про малий коефіцієнт кореляції рівня сигналу між каналами, оскільки шум кожного з каналів компенсується за рахунок інших. Рівень шуму каналів для коефіцієнту підсилення 0db складає не більше ± 5 відтінків.

Метод обробки даних баєровської матриці виглядає наступним чином (рис.3) - кожний з компонентів баєрівського шаблону виокремлюється вбудованою системою, та зберігається окремо. В такий спосіб формується кортеж, що складається з чотирьох зображень: R , G , $G2$, B з роздільною здатністю 2048x1500 кожне.

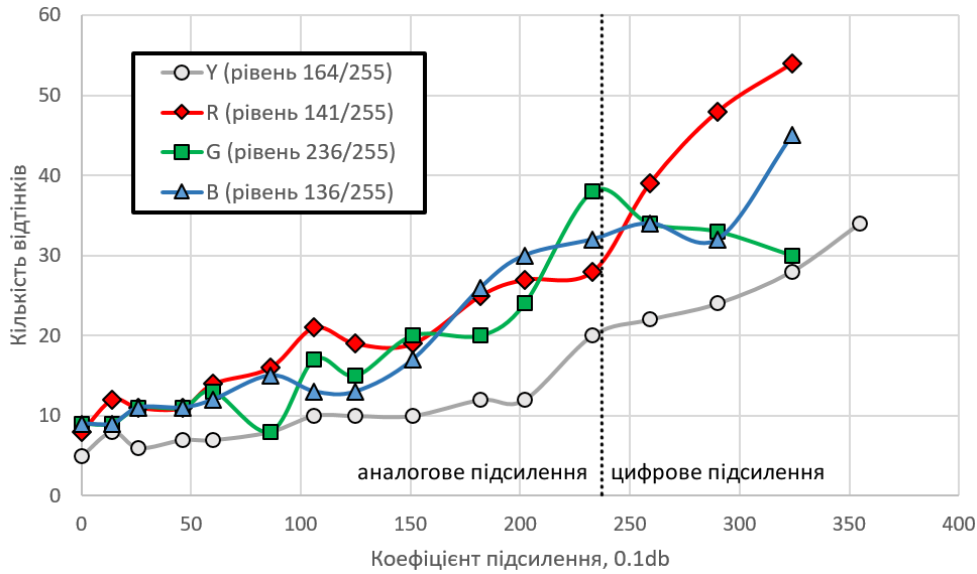


Рис.2. Графік залежності кількості відтінків шуму матриці *Sony IMX304LQR* від коефіцієнту підсилення

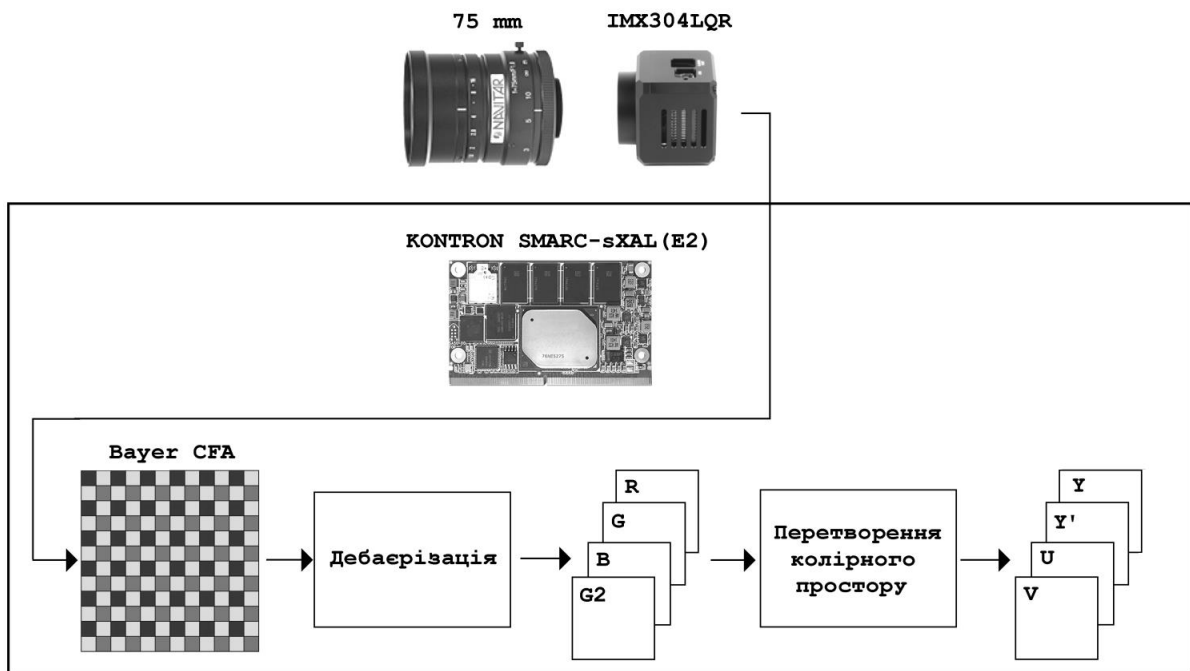


Рис.3. Графічна модель первинної обробки даних вбудованої системи супутника CubeSat

На наступному етапі кольорний простір *RGBG2* перетворюється до простору *YY'UV* на основі рівнянь:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Y' \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0 & 0.114 \\ 0 & 0.587 & -0.587 & 0 \\ -0.169 & -0.331 & 0 & 0.500 \\ 0.500 & -0.419 & 0 & -0.081 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ G2 \\ B \end{bmatrix}.$$

Прогресивне поліпшення якості зображення при його пересиланні у вигляді трьох блоків реалізується за рахунок передачі: у першу чергу панхроматичного зображення половинної роздільної здатності Y , другого блоку- Y' , який підвищує роздільну здатність панхроматичного зображення до повної роздільної здатності, та третього блоку, що містить дані U та V , необхідні для відновлення панхроматичного зображення у мультиспектральне. Компонента Y' розраховується як різниця між двома панхромними зображеннями, які відрізняються лише значенням G . Такий спосіб представлення Y' дає можливість використовувати меншу кількість бітів для представлення інформації.

Висновки. Отримано залежність кількості відтінків шуму матриці *Sony IMX304LQR* від коефіцієнту підсилення, що надало можливість оцінити перспективи стиснення мультиспектрального зображення за рахунок зменшення ентропії за Шенноном. Рівень шуму каналів для коефіцієнту підсилення 0db складає не більше ± 5 відтінків.

Розроблено метод обробки даних, які було отримано від баєровської матриці, що забезпечив прогресивне поліпшення зображення по мірі пересилки блоків зображення, та надав можливість отримувати корисне зображення навіть при перериванні надходження даних з супутника.

Література

1. CubeSat Design Specification Rev. 13. California Polytechnic State University. 2014. 16p. with 3 Appendices. URL: https://www.cubesat.org/s/cds_rev13_final2.pdf
2. Fortescue P., Swinerd G., Stark J. Spacecraft Systems Engineering. Wiley, 2011. 724p.
3. SONY [Product Information] IMX304LQR Ver 1.1 P. 3-4. URL: https://www.sony-semicon.co.jp/products/common/pdf/IMX304LLR_LQR_Flyer.pdf
4. Система пошуку та обробки супутникових даних Січ-2. Сервіс Інституту космічних досліджень НАНУ-НКАУ. 2012. С.1. URL: <http://sich2.ikd.kiev.ua/about.php>
5. Yang W.J., Chung K.L., Yang W.N., Lin L.C. Universal Chroma Subsampling Strategy for Compressing Mosaic Video Sequences with Arbitrary RGB Color Filter Arrays in H.264/AVC. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. IEEE. 2013. Volume: 23, Issue:4. P. 591 – 606. DOI: 10.1109/TCSVT.2012.2210805
6. Hirakawa K., Parks T.W. Joint Demosaicing and Denoising. IEEE Transactions on Image Processing. IEEE. 2006. Volume: 15, Issue: 8. P.2146 – 2157. DOI: 10.1109/TIP.2006.875241
7. Седов С.А. Индивидуальные видео-средства. К.:Наукова Думка, 1990. С.34.

МЕТОД ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВСТРАИВАЕМОЙ СИСТЕМЫ НАНОСПУТНИКА

Демчишин А.А., Аушева Н.М., Рассамакин Б.М.

В настоящее время спутники CubeSat дают возможность университетам, государственным и частным компаниям проводить научные исследования в условиях невесомости на высоте низкой околоземной орбиты. Наноспутник, который рассматривается в данной работе, в качестве полезной нагрузки несет камеру наблюдения за использованием Земных ресурсов, занимающую один модуль (1U).

Целью данной работы является создание модели шума матрицы Sony IMX304LQR и разработка метода первичной обработки мультиспектральных изображений перед пересылкой на наземный информационный комплекс.

Измерение шума матрицы проводилось фиксированием разницы между максимальным и минимальным значением оттенка в выборке 40x30 каждого из спектральных каналов. Для этого объектив камеры направлялся на лист бумаги с процентом белизны не менее 92%, который был подсвечен светом цвета безоблачного неба. Результаты измерения баланса белого показали, что каждый из каналов имеет собственный уровень чувствительности: 141, 236, 136 из 255 оттенков. Показано, что при переходе от аналогового к цифровому усилению наблюдается скачок уровня шума суммарного панхроматические изображения. Получена зависимость количества оттенков шума матрицы Sony IMX304LQR от коэффициента усиления, что позволило оценить перспективы сжатия мультиспектрального изображения за счет уменьшения энтропии по Шеннону. Уровень шума каналов для коэффициента усиления 0db составляет не более ± 5 оттенков.

Разработан метод обработки данных байеровской матрицы, который обеспечивает прогрессивное улучшение изображения по мере пересылки его составляющих блоков, и предоставляет возможность получать полезное изображение даже при прерывании поступления данных со спутника.

Ключевые слова: мультиспектральные изображения, модель шума, цветовое пространство YUV, спутниковые изображения.

METHOD OF PRIMARY PROCESSING OF MULTISPECTRAL IMAGES OF THE EMBEDDED SYSTEM OF A NANOSATELLITE

Anatoliy Demchyshyn, Natalia Ausheva, Boris Rassamakin

Currently, CubeSat satellites enable universities, public and private companies to conduct scientific research in zero gravity at the altitude of low Earth orbit. The work considers a nanosatellite carrying a camera as a payload

that occupies one module (1U). The main purpose of the camera is monitoring the use of Earth's resources.

The goal of this work is a creation of the noise model of the Sony IMX304LQR image sensor and development of a method for primary processing of multispectral images before their sending to the ground information complex.

The sensor's noise measurement is fulfilled by recording the difference between the maximum and minimum shade values of the 40x30 sample taken from each of the spectral channels having the camera aimed at a sheet of paper with a whiteness percentage of at least 92% illuminated by the light of the color of a cloudless sky. The results of measuring the white balance showed that each of three channels has its own sensitivity level: 141, 236, 136 out of 255 shades. It is shown that a transition from analog to digital amplification is accompanied with a jump in the noise level of a panchromatic image. The relation of the number of noise shades of the Sony IMX304LQR sensor to the gain has been obtained. The yield made possible to assess the prospects for compressing a multispectral image by reducing the Shannon entropy. The noise level of the channels at the gain level of 0db is no more than ± 5 shades.

A method for processing the data obtained from the Bayer matrix has been developed. The method provides a progressive improvement in the image as its blocks are sent to Earth. The way of blocks organization makes it possible to obtain a usable image even in the event of an abrupt data receiving interruption.

Key words: multispectral images, noise model, YUV color space, satellite images.

References

1. (2014) CubeSat Design Specification Rev. 13. California Polytechnic State University. 16p. with 3 Appendices. Retrieved from: https://www.cubesat.org/s/cds_rev13_final2.pdf [in English]
2. Fortescue P., Swinerd G., Stark J. (2011) Spacecraft Systems Engineering. Wiley. 724p. [in English]
3. (2018) SONY [Product Information] IMX304LQR Ver 1.1. P. 3-4. Retrieved from: https://www.sony-semicon.co.jp/products/common/pdf/IMX304LLR_LQR_Flyer.pdf [in English]
4. (2012) The system for searching and processing of satellite data- Sich-2. Servis Institutu kosmichnyh doslidzhen NANU-NKAU. P.1. Retrieved from: <http://sich2.ikd.kiev.ua/about.php> [in Ukrainian]
5. Yang W.J., Chung K.L., Yang W.N., Lin L.C. (2013) Universal Chroma Subsampling Strategy for Compressing Mosaic Video Sequences with Arbitrary RGB Color Filter Arrays in H.264/AVC. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. IEEE. Volume: 23, Issue: 4. P. 591 – 606. DOI: 10.1109/TCSVT.2012.2210805 [in English]
6. Hirakawa K., Parks T.W. (2006) Joint Demosaicing and Denoising. IEEE Transactions on Image Processing. IEEE. Volume: 15, Issue: 8. P.2146 – 2157. DOI: 10.1109/TIP.2006.875241 [in English]
7. Sedov S. A. Personal video-devices. K.:Naukova Dumka, 1990. P.34. [in Russian]