

СИНТЕЗ ЗОБРАЖЕННЯ ЗОРЯНОГО НЕБА ДЛЯ НАЛАШТУВАННЯ ДЕТЕКТОРА ЗІРОК

Іванов С.В., Олійник П.Б.

*Навчально-науковий інститут телекомунікацій
Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Україна
E-mail: ivanov.sergiyvik@gmail.com*

STARRY SKY IMAGE SYNTHESIS FOR STAR DETECTOR SETUP

An algorithm for image synthesis for a starry sky simulator suitable for use in debugging and simulation tests of J, H and K-band IR star detector is considered. In the algorithm proposed, image is synthesized while taking temperature, radiation spectrum and magnitude of stars, light dispersion, and image blurring into account. Algorithm also allows one to take star detector resolution and spectral sensitivity into account. Modeling of the algorithm operation is done and starry sky images are formed using MATLAB.

Важливим елементом сучасних навігаційних систем є астрівізор, який стабілізується системою на основі волоконно-оптичних гіроскопів. Для налагодження та випробування астрівізорів, телескопів та ін. використовують імітатори зоряного неба – пристрої, які створюють зображення неба з урахуванням фізичних законів випромінювання, поглинання та розсіювання світла. З точки зору всепогодної навігації важливим є створення імітаторів для інфрачервоного (ІЧ) діапазону, оскільки атмосфера прозора для ІЧ випромінювання в певних діапазонах частот (J, H, K -band).

Класичний підхід до формування імітатора зоряного неба – створення моделей зірок на сфері за допомогою світлодіодів, і встановлення астрівізора всередині сфери на механічному поворотному столі [1]. Такий імітатор не дозволяє імітувати шуми в зображенні та вплив атмосфери, тому в сучасних імітаторах зоряного неба застосовують комп'ютерний синтез зображень на основі використання зоряних каталогів, наприклад 2MASS (Two Micron All-Sky Survey) [2] та Gaia (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics) [3].

В роботі [4] проведено симуляцію зображення зоряного неба, оцінено відношення сигнал-шум та вплив на зображення руху та вібрації об'єкту. Недоліком дослідження [4] є те, що в ньому використано лише діапазон J-band.

Автори [5] використали при моделюванні зображення зоряного неба індекс кольору зірки і теорію випромінювання чорного тіла; згідно [5] точність моделювання інтенсивності випромінювання підвищилася на 5..15%, однак модель не враховує вплив руху платформи астрівізора і вібрації.

У роботі [6] представлено симулятор зоряного неба та платформу для верифікації астрівізорів, які дозволяють моделювати зоряне небо; недолік – вплив вібрації та температурні ефекти в [6] не проаналізовано.

В [7] запропоновано алгоритм симуляції зоряного неба, котрий враховує моделі деградації точок, що представляють зірки, модель шуму зображення, і модель нерівномірного освітлення та збурень положення астрівізора. Моделювання показало подібність з реальними зображеннями, однак модель не

враховує накладання зображень зірок; також необхідно провести детальний аналіз шумів зображення.

В роботі [8] проведено аналіз впливу на зображення зоряного неба високотемпературних та високошвидкісних полів при гіперзвуковому польоті (швидкості від 6 до 16 Махів). Похибка проведеної симуляції порівняно з експериментом склала 30%, що є недостатнім для практичного використання.

Таким чином, завдання створення імітатора зоряного неба актуальною задачею; ключовим елементом такого імітатора є алгоритм синтезу зображення.

Метою дослідження є створення алгоритму синтезу зображень для імітатора зоряного неба в ІЧ діапазоні, а також перевірка можливості застосування синтезованого зображення для налаштування астрівізора.

Для синтезу зображення зоряного неба, придатного для налаштування астрівізора, запропоновано алгоритм, що складається з таких кроків:

- визначення ділянки неба, покритого полем зору астрівізора, на основі координат місця спостереження (широти і довготи), висоти над рівнем моря, часу спостереження (UTC), азимуту і куту піднесення (що визначають орієнтацію астрівізора), а також куту зору астрівізора;
- виділення з каталогу даних зірок, що попадають в поле зору (при цьому для забезпечення коректної ідентифікації та калібрування треба не менше 5 зірок);
- формування зображень зірок, з урахуванням їх температури та спектру випромінювання, а також зоряної величини (визначають діапазон випромінювання та яскравість зірки);
- формування засвітки зоряного неба та фонових шумів;
- врахування атмосферних ефектів – в першу чергу, послаблення світла і розмивання зображення – для підвищення реалістичності зображень;
- врахування роздільної здатності астрівізора (визначає деталізацію зображень) і його спектральної чутливості кожному діапазоні.

Запропонований алгоритм дасть змогу перевірити роботу приладу в умовах, максимально наближених до реальних. Сформоване зображення ділянки зоряного неба буде реалізоване в проекторі, який може бути оптичним, інфрачервоним або комбінованим пристроєм.

Як приклад, розглянемо формування зображення зоряного неба, яке буде відображено на датчику з матрицею 512×512 пікселів і розміром пікселя 10мкм. Алгоритм формування зображення створено в MATLAB, і він полягає у виборі з каталогу зірок із зоряною величиною $m \leq 2$, врахування фонового шуму та впливу атмосфери. Вплив атмосфери змодельовано шляхом застосування гаусівського розмиття з $\sigma = 2$. Змодельоване зображення зоряного неба показано на рис. 1. Як видно з рис. 1, зорі на зображенні через застосування розмиття представлено не як яскраві точки, а в формі розмитих кругів. Відповідно, для ідентифікації зірок і визначення їх координат доведеться застосовувати визначення центрів характерних (найбільш яскравих) зірок.

На рис. 2 показано результати обробки в MATLAB зображення зоряного неба, і ідентифіковані за методом найближчого сусіда характерні зірки.

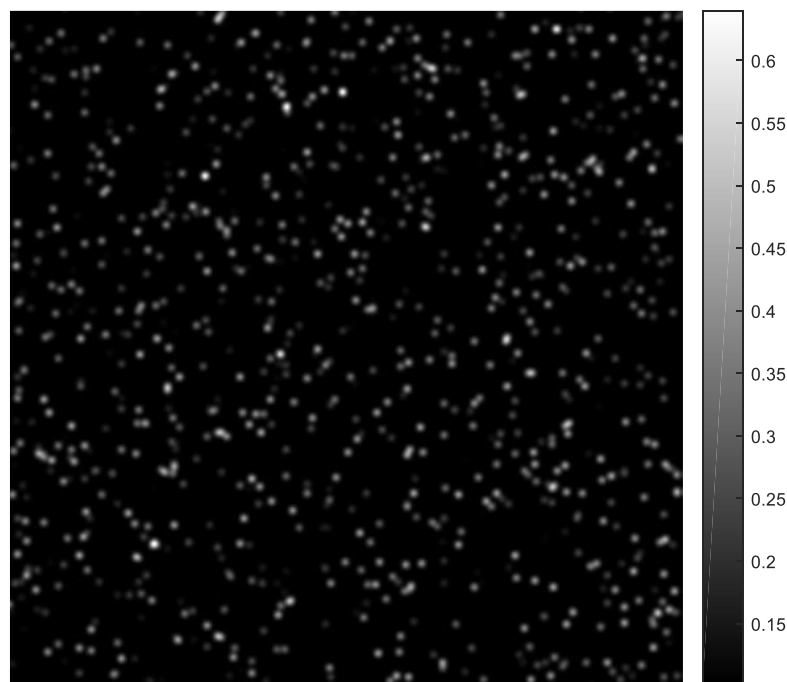


Рис.1. Змодельоване зображення зоряного неба з атмосферними ефектами (розмиття і послаблення). Праворуч шкала інтенсивності.

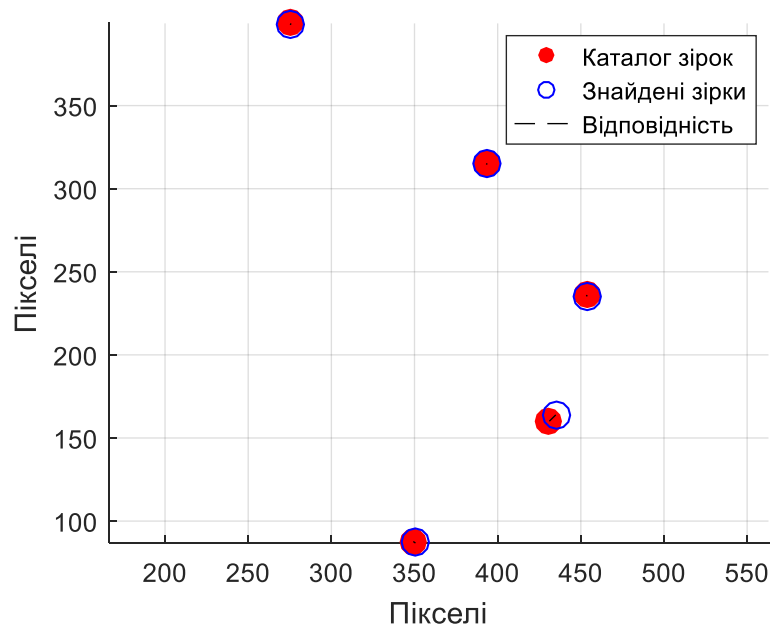


Рис.2. Оброблене зображення неба з виділенням характерних зірок, оброблене за методом найближчого сусіда.

З рис. 2 видно, що отримане за описаним вище алгоритмом зображення дає змогу ідентифікувати характерні зірки і отримати їх координати з точністю до 3-5 пікселів, тобто синтезоване зображення придатне для налаштування астровізора.

Для врахування руху астровізора необхідно забезпечити генерацію зображень неба з частотою мінімум в два рази більшою, ніж швидкість

оновлення зображень з ПЗЗ-матриці астрівізора (це впливає з теореми Найквіста). Якщо синтез зображення зоряного неба з заданою якістю в реальному масштабі часу неможливий, то можна провести синтез зображень, а потім в процесі налаштування відтворювати відео.

Якщо налаштовується астрівізор, що має стабілізацію поля зору, за допомогою запропонованого алгоритму можливе моделювання залишкового дрейфу приладу. У випадку присутності вібрацій в кожному кадрі можна додати мікрозміщення зірок. Крім того, для того, щоб зменшити час створення кадру, можна інтерполювати проміжні положення зірок в проміжних кадрах.

Висновки. Результати моделювання показали, що запропонований алгоритм можна використовувати для моделювання зоряного неба в імітаторі зоряного неба інфрачервоного діапазону і синтезоване зображення придатне для налаштування астрівізора. Подальші дослідження можуть бути присвячені вдосконаленню алгоритму з метою поліпшення моделювання зоряного неба.

Література

1. Boone B. G. Optical simulator and testbed for spacecraft star tracker development / B. G. Boone, J. R. Bruzzi, W. F. Dellinger, B. E. Kluga, K. M. Strobehn // *Proceedings Volume 5867, Optical Modeling and Performance Predictions II*. – 2005. – Vol. 5867. – pp. 586711-1 – 586711-14. – <https://doi.org/10.1117/12.619133>
2. IRSA Viewer – Title form screen. – Accesible at: https://irsa.ipac.caltech.edu/irsaviewer/?__action=layout.showDropDown&view=IrsaCatalog
3. Gaia archive – Title form screen. – Accesible at: <https://gea.esac.esa.int/archive/>
4. Zheng, Xunjiang Star map simulation and platform influence of airborne star sensor based on J-band data of 2MASS catalog / Xunjiang Zheng, Jie Shen, Zheng Wei, Hongyuan Wang // *Infrared Physics & Technology*. – 2020. – Vol. 111, Issue 12. – 10 p. – <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2020.103541>
5. Wang, Hongyuan A new high-precision star map simulation model and experimental verification/ Hongyuan Wang, Zhiqiang Yan, Xiaonan Mao, Bingwen Wang, Xiang Liu & Wen Kang // *Journal of Modern Optics* – 2021. – Vol. 68, Issue 16. – pp. 856 – 867. – DOI: 10.1080/09500340.2021.1955165.
6. Schulz, V.H. Universal Verification Platform and Star Simulator for Fast Star Tracker Design / Schulz, V.H.; Marcelino, G.M.; Seman, L.O.; Santos Barros, J.; Kim, S.; Cho, M.; Villarrubia González, G.; Leithardt, V.R.Q.; Bezerra, E.A. // *Sensors*. – 2021. – Vol. 21, Issue 3. – pp. 907 – 930. – <https://doi.org/10.3390/s21030907>
7. Yang, H. Image Degradation Model for Dynamic Star Maps in Multiple Scenarios / Yang, H.; Jin, Y.; Hu, Y.; Zhang, D.; Yu, Y.; Liu, J.; Li, J.; Jiang, X.; Yu, X. // *Photonics*. – 2022. – Vol. 9, Issue 10. – pp. 673 – 686. - <https://doi.org/10.3390/photonics9100673>
8. Liu, Hao-Nan Development and validation of full-field simulation imaging technology for star / Hao-Nan Liu, Ting Sun, Si-Yao Wu, Kang Yang, Bao-Sen Yang, Guo-Teng Ren, Jia-Hui Song, and Guan-Wen Li // *Optics Express*. – 2025. – Vol. 33, Issue 3. – pp. 6526-6542. - <https://doi.org/10.1364/OE.550772>