

Реконструкція просторових розподілів яскравості багатоспектральних растрових зображень на основі інформаційних критеріїв

В.М. Корчинський

Радіофізичний факультет
Дніпропетровський національний університет, Україна
korchins@ap1.net-rff.dsu.dp.ua

Анотація

Дано оптимізаційну постановку проблеми коригування геометричних та радіометричних завдань багатоспектральних цифрових зображень, спричинених просторовими нестабільностями іконічної системи фіксації відеоінформації у різних спектральних діапазонах. Запропоновано методику коригування таких зображень, що забезпечує реконструкцію розподілів яскравості за ідеальних позиційних умов формоутворення.

1. Вступ

Основним способом формування багатоспектральних цифрових зображень земної поверхні з космічних апаратів (КА) в оптичному та інфрачервоному діапазонах є сканування шляхом орбітального руху КА – носія сенсорних апаратних засобів. Власне фіксація випромінювання – носія відеоінформації у кожному спектральному каналі здійснюється сенсором, реалізованим у вигляді лінійного масиву прямокутних комірок із зарядовим зв'язком, розташованих у площині, з формуванням повноформатного зображення по окремих рядках у процесі сканування (кожна комірка відповідає окремому піку селу растрового подання зображення). Розподіл яскравості кожного рядка багатоспектрального цифрового зображення визначається миттєвою (на момент зйомки) орієнтацією площин розташування сенсорів окремих спектральних каналів відносно земної поверхні та стосовно один одного. При ідеальних просторовій стабілізації КА та юстируванні оптико-механічної системи сканера ці площини паралельні між собою. Неминучі в процесі реальної динаміки нестабільності зазначених параметрів зумовлюють порушення паралельності цих площин, що спричиняє специфічні геометричні та радіометричні спотворення цифрових зображень, призводячи до зменшення їхньої інформативності та достовірності розпізнавання. Метою даної роботи є розробка методики квазіоптимального (за інформаційним критерієм) відновлення просторових розподілів яскравості,

які відповідають ідеальним позиційним умовам фіксації відеоінформації.

2. Фізична модель формоутворення багатоспектральних цифрових зображень

З геометричних позицій кожний елемент сенсорного лінійного масиву являє собою центральну проекцію відповідного прямокутного фрагменту земної поверхні у межах миттєвого поля зору (МПЗ). Проекціювання здійснюється системою фокусування (збирною лінзою). МПЗ приймається плоским; просторовий розподіл його власного випромінювання, яке фіксується сенсором, описуємо в рамках феноменологічної моделі – за допомогою індикатриси розсіювання (випромінювання). Застосовуючи дифракційний метод Кірхгофа у наближенні Френеля [1], можна отримати наступний інтегральний зв'язок між яскравістю m -го пікселя лінійного сенсорного масиву (ЛСМ) i -го спектрального каналу $I_m^{(i)}$ та усередненою по спектральному діапазону, що фіксується, власною яскравістю $J_m^{(i)}(\mathbf{x})$ проективно відповідної йому ділянки МПЗ Ω_m :

$$I_m^{(i)} = C \widehat{\mathcal{L}} \left[\int_{(\Omega_m)} J_m^{(i)}(\mathbf{x}) F \left(\frac{\mathbf{x}}{H} \cos \alpha_i + \frac{\mathbf{M}_i \mathbf{r}}{d} \cos \beta_i \right) d\mathbf{x} \right] \quad (1)$$

де $C = H^{-2} d^{-2}$, H - висота зйомки, d - фокусна відстань; $F(\cdot)$ - апаратна функція (функція передачі яскравості) [2]; \mathbf{M}_i - матриця орієнтації площини ЛСМ стосовно земної поверхні; α_i, β_i - відповідно кути нахилу до нормалі до земної поверхні площини ЛСМ i -го спектрального каналу. Через $\widehat{\mathcal{L}}$ в (1) позначено оператор просторового усереднення по площині пікселю.

Як впливає з виразу (1), зміна орієнтації площини ЛСМ стосовно предметної площини спричиняє

перетворення зафіксованого розподілу яскравостей, яке належить до групи рухів (комбінація повороту та паралельного перенесення).

3. Кількісні показники інформативності

За основну інформаційну характеристику повноформатного зображення приймемо величину (далі – сигнальна ентропія)

$$E = - \int_{(Z)} p(z) \log_2 p(z) dz, \quad (2)$$

де

$$p(z) = \frac{z\mu(F_z)}{\int_{(Z)} z\mu(F_z) dz}. \quad (3)$$

У співвідношенні (3) через F_z позначено множину точок зображення які мають рівень яскравості z ; $\mu(F_z)$ - міра Лебега цієї множини. Інтегрування здійснюється по усьому інтервалу значень яскравості.

У випадку N -рівневого квантування значень яскравості співвідношення (2), (3) спрощуються:

$$E = - \sum_{k=0}^{N-1} p_k \log_2 p_k, \quad (4)$$

$$p_k = \frac{kN(k)}{\sum_{n=0}^{N-1} nN(n)}. \quad (5)$$

де $N(k)$ - кількість пікселів з рівнем яскравості k .

Можна показати, що сигнальна ентропія (2), (3), на відміну від ентропії за Шенноном, мінімальна при однорідному просторовому розподілі яскравості по площині зображення і збільшується при збільшенні потужності множини рівнів яскравості.

Як відомо, міра Лебега точкової множини інваріантна стосовно перетворень групи рухів [3]. З цього, з урахуванням співвідношення (1), впливає, що сигнальна ентропія (2) (або (3)) набуває максимального значення за відсутності таких перетворень, що відповідає паралельності площин ЛСМ усіх спектральних каналів (кути Ейлера взаємної орієнтації цих площин дорівнюють нулю).

4. Методика коригування розподілів яскравості багатоспектральних растрових зображень

В конструктивному відношенні проблема коригування просторових та радіометричних спотворень багатоспектральних растрових зображень, спричинених непаралельністю миттєвої взаємної орієнтації площин ЛСМ окремих спектральних каналів, зводиться до реконструкції їхніх розподілів яскравості, що відповідають ідеальним просторовим умовам фіксації, за яких ці площини паралельні. Виходячи з

встановлених у п. 3 властивостей сигнальної ентропії дану проблему можна сформулювати як задачу максимізації сигнальної ентропії за керуючими параметрами – кутами Ейлера α, β, γ (відповідно кути крену, тангажу та нишпорення) взаємної орієнтації площин ЛСМ спектральних каналів:

$$E(\alpha, \beta, \gamma) \Rightarrow \max. \quad (6)$$

Пропонований алгоритм коригування зазначених спотворень включає наступні основні кроки.

1. Визначення зображення спектрального каналу з максимальною сигнальною ентропією.
2. Розв'язання оптимізаційної задачі (6) для кожного спектрального каналу, що коригується.
3. Синтез відкоригованого багатоспектрального зображення за результатами кроку 2.

На рис. 1-4 подані вихідне багатоспектральне зображення та відповідні зображення трьох його спектральних каналів. Значення сигнальних ентропій наведені у Таблиці 1, з якої випливає, що найбільш інформативним є канал $\lambda = 0.61-0.68$ мкм, який був прийнятий за базовий (стосовно нього здійснюється коригування розподілів яскравості решти спектральних каналів).

На рис. 5, 6 наведені відкориговані за пропонованою методикою зображення каналів першого та третього спектральних каналів. Відповідні значення сигнальних ентропій наведені у Табл.2.

На рис. 7 подане відкориговане багатоспектральне зображення у цілому.

Табл.1: Значення сигнальних ентропій спектральних каналів первинного зображення

№ каналу	Спектральний канал	Ентропія
1.	$\lambda = 0.79-0.89$ мкм.	$E_1 = 4.8425$
2.	$\lambda = 0.61-0.68$ мкм.	$E_2 = 5.0843$
3.	$\lambda = 0.50-0.59$ мкм.	$E_3 = 4.7902$

Табл.2: Значення сигнальних ентропій після коригування

№ каналу	Спектральний канал	Ентропія
1.	$\lambda = 0.79-0.89$ мкм.	$E_1 = 4.9839$
2.	$\lambda = 0.61-0.68$ мкм.	$E_2 = 5.0843$
3.	$\lambda = 0.50-0.59$ мкм.	$E_3 = 4.8297$



Рис. 1: Первинне багатоспектральне зображення



Рис. 3: Зображення спектрального каналу
 $\lambda = 0.50-0.59$ мкм.



Рис. 2: Зображення спектрального каналу
 $\lambda = 0.79-0.89$ мкм.



Рис. 4: Зображення спектрального каналу
 $\lambda = 0.61-0.68$ мкм.



Рис. 5: Відкориговане зображення каналу
 $\lambda = 0.79-0.89$ мкм.



Рис. 6: Відкориговане зображення каналу
 $\lambda = 0.50-0.59$ мкм.

Дані Таблиці 2 свідчать про збільшення інформативності відкоригованих зображень, що підтверджується також на рівні візуального сприйняття.

Зазначимо, що запропонована методика може бути використана для коригування геометричних та радіометричних спотворень, спричинених непаралельністю площини апертури фокуруючої системи сканера стосовно земної поверхні та оцінки параметрів взаємної орієнтації площин ЛСМ спектральних ка-

налів на момент фіксації окремих рядків растрового зображення.

5. Висновки

Показано, що геометричні спотворення розподілів яскравості багатоспектральних цифрових зображень, зумовлені порушеннями взаємної орієнтації площин розташування сенсорних елементів різних спектральних каналів описуються перетвореннями групи рухів. Запропоновано методику квазіоптимального (за інформаційним критерієм) коригування таких спотворень розподілів яскравості, яка забезпечує їхню реконструкцію, які відповідають паралельному розташуванню картинних площин окремих спектральних каналів.



Рис. 7: Відкориговане багатоспектральне зображення

6. Література

- [1] Борн М., Вольф Э. Основы оптики: Пер. с англ. – М.: Наука, 1973. – 720 с.
- [2] Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Том 2: Многократное рассеяние, турбулентность, шероховатые поверхности, дистанционное зондирование: Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – 318 с.
- [3] Сантало Л. Интегральная геометрия и геометрические вероятности: Пер. с англ. – М.: Наука, 1983. – 358 с.