

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ СУПУТНИКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ТЕПЛООВОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО ДІАПАЗОНУ

Лубський М.С.

*Науковий центр аерокосмічних досліджень
Землі Інституту геологічних наук НАН України
E-mail:nickolo1990@gmail.com*

Informativity enhancement of thermal infrared imagery

Methods and mathematic instruments of increasing of infrared satellite imagery quality and informativity are described. Adding of the radiative transfer model and knowledge of the physical properties of the Earth surface to satellite imagery processing provides enhancement of its reliability, and using of array of images with subpixel shifting enable increasing of the imagery spatial resolution.

Застосування супутникових оптико-електронних сенсорів теплового інфрачервоного діапазону дозволяє отримати цінну і принципово відмінну інформацію від даних, одержаних за допомогою сенсорів видимого діапазону інформацію, яка дозволяє розширити спектр застосування систем дистанційного зондування Землі: виявлення теплових аномалій в процесі розвідки корисних копалин, виявлення вогнищ лісових пожеж, дослідження джерел теплового забруднення, картування теплових островів урбанізованого середовища, тощо. Використання електромагнітних сенсорів теплового інфрачервоного діапазону пов'язане з рядом складностей, одна із головних полягає у порівняно низькій просторовій розрізненості зображень.

Принциповою відмінністю зображень теплового діапазону – це можливість визначення на їх основі фізичних характеристик поверхні Землі: температури та коефіцієнта теплового випромінювання, які знаходяться в нерозривному взаємозв'язку [1]. Саме ця можливість і лягає в основу підвищення інформативності зображення.

Підвищення інформативності зображень полягає у вирішенні двох задач:

1) точне визначення фізичних величин, необхідних для вирішення конкретних тематичних задач за даними аерокосмічного знімання, перш за все термодинамічної температури та коефіцієнта теплового випромінювання земної поверхні;

2) підвищення просторової розрізненості інфрачервоних зображень.

Визначення температури земної поверхні за допомогою зображень теплового інфрачервоного діапазону можливе завдяки застосуванню закону теплового випромінювання Планка:

$$L(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda)M(\lambda, T) = \frac{\varepsilon(\lambda) c_1 \lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1}, \quad (1)$$

де $L(\lambda, T)$ – спектральна щільність енергетичної яскравості земної поверхні, $\varepsilon(\lambda)$ – спектральний коефіцієнт теплового випромінювання, $M(\lambda, T)$ – спектральна щільність енергетичної яскравості абсолютно чорного тіла, c_1 і c_2 – перша і друга константи закону Планка, h – стала Планка, c – швидкість світла у вакуумі, k – стала Больцмана, λ – довжина хвилі електромагнітного випромінювання.

Для визначення достовірних значень спектральної щільності енергетичної яскравості L_i обов'язковою умовою є усунення впливу оптичної густини атмосфери, обумовленої наявністю в атмосфері газів, водяної пари, що поглинають, відбивають і розсіюють випромінювання. Для цього використовується інтегральне рівняння радіаційного переносу:

$$L_i = \varepsilon_i \tau_i \int M(\lambda, T) S_i(\lambda) + L_i^\uparrow + (1 - \varepsilon_i) \tau_i L_i^\downarrow, \quad (2)$$

де i – відповідний спектральний канал, ε_i – коефіцієнт теплового випромінювання, τ_i – коефіцієнт пропускання атмосфери, $S_i(\lambda)$ – нормована спектральна чутливість сенсора, L_i^\uparrow і L_i^\downarrow – спектральна щільність енергетичної яскравості висхідного та спадного випромінювання [2]. Принциповим є той факт, що всі показники можуть мати різні значення в залежності від спектрального діапазону.

Обернений закон Планка дозволяє визначити температуру поверхні Землі:

$$T = \frac{c_2}{\lambda \ln \left(\frac{\varepsilon(\lambda) c_1}{\lambda^5 L} + 1 \right)}, \quad (3)$$

Оскільки на протязі довгого часу більшість територій є не змінними, коефіцієнт теплового випромінювання для однієї території є постійним, можливе створення їх спектральних бібліотек, в які вносяться значення, отримані при виконанні польових вимірювань, результатом яких є класифікування території на характерні класи: рослинність, різні геологічні утворення, штучні та водні поверхні, для яких створюються спектри коефіцієнтів теплового випромінювання. Також існують методи розділення температури та коефіцієнту теплового випромінювання за даними космічного знімання. Це можливо у випадку роботи одночасно у кількох спектральних діапазонах: наприклад, Split Window Technique (SWT) застосовується при роботі в двох діапазонах [3], TES (Temperature and Emissivity Separation), у випадку наявності більше двох спектральних діапазонів [4].

Підвищення просторової розрізненості можливе при наявності двох або більше зображень однієї території і виконується при накладанні одного зображення на інше на частку піксела.

Субпіксельне зміщення можливе за рахунок наявності інваріантних фізичних величин для усіх зображень, для яких виконується підвищення розрізненості. У випадку, коли наявні декілька зображень, виконаних одночасно (наприклад, при скануванні сенсорною системою, що працює в декількох спектральних діапазонах) інваріантною величиною буде температура. Якщо у наявності є зображення, виконані у різний час – тоді інваріантною величиною виступає коефіцієнт теплового випромінювання.

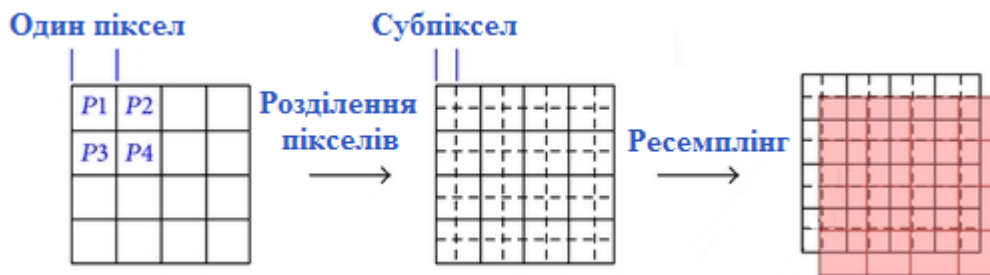


Рис. 1 Субпіксельне розділення зображень

Застосування статистичної оцінки різниці інваріантних для даних зображень величин отримується оцінка субпіксельного зміщення одного зображення відносно іншого (напрям зміщення та його величина). Це значення є головним і достатнім показником для подальшого відновлення зображення підвищеної просторової розрізненості одним із відомих способів [5].

Таким чином, запропонований підхід до підвищення інформативності даних супутникового теплового інфрачервоного знімання за допомогою розрахунку субпіксельного зміщення зображень одне відносно одного на основі статистичної оцінки різниці інваріантних фізичних величин для даних зображень.

Література

1. Станкевич С.А. Виявлення додаткових розпізнавальних ознак об'єктів за результатами багатозонального дистанційного спостереження в інфрачервоному спектральному діапазоні / С.А. Станкевич // Труды академії.– Вип.23.– Київ: НАО України, 1999.– С.92-99.
2. Tang H. Quantitative Remote Sensing in Thermal Infrared: Theory and Applications / H. Tang, Z.-L. Li.– Berlin: Springer-Verlag, 2014.– 281 p.
3. Ulivieri C. A split window algorithm for estimating land surface temperature from satellites / C. Ulivieri, M.M. Castronuovo, R. Francioni, A. Cardillo // Advances in Space Research.– 1992.– vol.14.– No.3.– P.59-65.
4. Gillespie A. A temperature and emissivity separation algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images / A. Gillespie, S. Rokugawa, T. Matsunaga, J.S. Cothorn, S. Hook, A.B. Kahle // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.– 1998.– Vol.36.– No.4.– P.1113-1126.
5. Vandewalle P. Subspace-based methods for image registration and super-resolution / P. Vandewalle, L. Baboulaz, P.L. Dragotti, M. Vetterli // Proceedings of 15th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP'2008).– San Diego: IEEE, 2008.– P.645-648.