

ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ ДАНИХ ДЗЗ

Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара

Запропоновано алгоритм підвищення інформативності видових даних дистанційного зондування Землі на основі вейвлетного перетворення цифрових сигналів. Алгоритм випробувано за допомогою багатоспектральних знімків КА Terra (прилад Aster). Одержані в результаті обробки на основі запропонованої методики штучні зображення дозволяють підвищити якість розпізнавання об'єктів на супутникових знімках.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, вейвлетне перетворення, інформативність, ентропія, індекс структурної схожості

Д. К. Мозговой, В. М. Корчинский, О. В. Кравець

Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара

ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ДАННЫХ ДЗЗ

Предложен алгоритм повышения информативности видовых данных дистанционного зондирования Земли на основе вейвлетного преобразования цифровых сигналов. Алгоритм был проверен при помощи многоспектральных снимков КА Terra (прибор Aster). Полученные в результате обработки на основе предложенной методики искусственные изображения позволяют повысить качество распознавания объектов на спутниковых снимках.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, вейвлетное преобразование, информативность, энтропия, индекс структурного сходства

D. K. Mozgovoy, V. M. Korchinskiy, O. V. Kravets

O. Gonchar Dnipropetrovsk national university

REMOTE SENSING DATA INFORMATIVITY INCREASE

The remote sensing data informativity increase algorithm on the base of digital signal Wavelet Transform is offered. The algorithm was tested with the use of Terra multispectral snap-shots (Aster device). Artificial images received after the processing by means of suggested method allow improving the objects' classification quality of the satellite snap-shots.

Key words: remote sensing, wavelet transform, informativity, entropy, structural similarity index.

Більшість діючих супутників ДДЗ виконують зйомку одночасно у декількох спектральних діапазонах із різним просторовим розрізненням. Тому актуальною є обробка даних декількох каналів з метою одержання одноединого штучного зображення із покращеними показниками інформативності у порівнянні із первинними знімками, а саме радіометричного та просторового розрізнення.

У останні роки швидко розвивається та поширюється новий напрямок в обробці сигналів та зображень – вейвлетний аналіз, який має суттєві переваги перед класичними методами обробки. У порівнянні із рядами Фур'є вейвлети переважають у представленні локальних особливостей функцій, хоч у певному ступені вейвлети складніші для розуміння.

Пряме вейвлетне перетворення означає розкладання довільного вхідного сигналу на принципово новий базис у вигляді сукупності пакетів – вейвлетів, які можна характеризувати наступними властивостями:

- мають вид коротких, локалізованих у часі хвильових пакетів з нульовим значенням інтегралу;
- мають можливість здвигу у часі;
- здатні до масштабування (стиснення/розтягування);
- мають обмежений (локальний) частотний спектр.

Цей базис дає можливість реконструкції сигналів та дозволяє реалізувати алгоритми швидких вейвлетних перетворень.

У роботі запропонована методика обробки цифрових сигналів на основі вейвлет-технологій, що призначена для підвищення інформативності видових даних ДЗЗ, у якості яких можуть бути будь-які багатоспектральні знімки. Одержані в результаті обробки штучні зображення дозволяють підвищити якість розпізнавання і класифікації об'єктів на супутникових знімках при використанні їх у області землеустрою, в ході планування і створення кадастру нерухомості, в сільському господарстві і для моніторингу навколишнього середовища.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Індекс структурної схожості.

SSIM – індекс (Structural SIMilarity) – це кількісний параметр структурної схожості двох зображень: вихідного та обробленого. Чим більше значення індексу структурної схожості, тим більше схожі геометричні структури двох зображень. У випадку повної тотожності двох зображень їхній SSIM – індекс дорівнює одиниці (Wang, 2004).

Розрахунок SSIM – індексу виконується за виразом:

$$SSIM = corr(A_I, B_I), \quad (1)$$

де $A_I = \frac{A - \bar{A}}{\sigma(A)}$, $B_I = \frac{B - \bar{B}}{\sigma(B)}$. У виразах ряскою зверху позначена операція усереднення, $\sigma(A)$, $\sigma(B)$ – середньоквадратичні відхилення матриць А, В, які подають растрові розподіли яскравості двох зображень; $corr(A_I, B_I)$ – коефіцієнт кореляції (матриці А, В повинні мати однакову розмірність).

У розгорнутому вигляді вираз (1) набуває форму:

$$SSIM = \frac{\sum_c \sum_r (A(c,r) - A_m) \cdot (B(c,r) - B_m)}{\sqrt{\left(\sum_c \sum_r (A(c,r) - A_m)^2 \right) \cdot \left(\sum_c \sum_r (B(c,r) - B_m)^2 \right)}} \quad (2)$$

Інформаційна ентропія та її властивості.

Отримання інформації від джерела знімає певною мірою невизначеність стану спостережуваного об'єкта.

Можна довести, що відношення кількості інформації, яка припадає на один цифровий сигнал, характеризує дискретне джерело повідомлень у цілому. Інше джерело з іншим ансамблем цифрових сигналів матиме зовсім іншу питому кількість інформації. Ця загальна характеристика джерела цифрових сигналів кількісно подається його інформаційною ентропією $H(A)$, яка визначається виразом (Шеннон, 1963; Цымбал, 1977):

$$H(A) = -\sum_i p(a_i) \log_2 p(a_i), \text{ біт}, \quad (3)$$

де підсумовування здійснюється за множиною.

У виразі (3) усереднення (як обчислення математичного сподівання) виконується за всім ансамблем цифрових сигналів. З цього виразу випливає, що чим вища ентропія, тим більша кількість інформації в середньому закладена в кожний цифровий сигнал даного джерела, тим важче запам'ятати (записати) або передати такий цифровий сигнал по каналу зв'язку.

Технологія вейвлетів

Перетворення Фур'є з його нескінченно довгим тригонометричним базисом добре підходить для аналізу регулярних сигналів (Кравець, 2009). Для нерегулярних сигналів є важливим визначити значення аргументу, коли та чи інша частотна характеристика раптово змінилась. Тому базисні функції повинні мати скінчену

область визначення. Як раз такими функціями і є вейвлети. За їх допомогою можливо покрити весь простір, використовуючи зміщення по-різному стиснених варіантів одно-єдиної функції. Завдяки цьому можна кожен сигнал розкласти у вейвлет-ряд (або інтеграл).

Алгоритм підвищення інформативності видових даних дистанційного зондування Землі на основі вейвлет-технологій оброблення цифрових сигналів виконується у декілька етапів.

Етап 1. Попередня обробка початкового знімка. Отримання синтезованого зображення.

На даному етапі початкові знімки розкладаються по каналах. Здійснюється перемішування каналів відповідним чином – компоненті R відповідає зображення четвертого спектрального каналу, компоненті G – зображення третього спектрального каналу, компоненті B – зображення другого спектрального каналу. Отримане штучне зображення із кольоровою моделлю RGB переводиться до кольорової моделі HSV. Також до HSV переводиться допоміжне зображення високого просторового розрізнення: чи панхроматичний знімок чи перший канал для кольорових RGB-зображень. Далі за допомогою допоміжного зображення здійснюється зміна яскравісної компоненти V штучного зображення, і результат переводиться з кольорової моделі HSV до кольорової моделі RGB. На виході цього етапу маємо синтезоване штучне RGB-зображення, яке поступає на вхід наступного етапу обробки.

Етап 2. Пошук аргументів, які мають бути отримані за максимізації функції інформаційної якості синтезованого зображення. У якості такої функції може бути інформаційна ентропія та індекс структурної схожості.

На даному етапі використовуються штучне RGB-зображення, яке надійшло після попередньої обробки, та допоміжне зображення, що представляє собою чи панхроматичний знімок, чи перший канал відповідного RGB-зображення. Дані зображення піддаються вейвлет-декомпозиції першого рівня, в результаті чого для кожного з зображень отримуються матриці апроксимуючих та деталізуючих коефіцієнтів. Далі здійснюється перетворення отриманих деталізуючих коефіцієнтів обох зображень, у якому створюються лінійні комбінації (табл. 1). На вхід вейвлет-реконструкції першого рівня поступають у якості деталізуючих коефіцієнтів утворені лінійні форми суміщення різномасштабних компонент знімків, а у якості апроксимуючих коефіцієнтів – апроксимуючі коефіцієнти, отримані після вейвлет-декомпозиції RGB-зображення. Таким чином, утворюється нове зображення, синтезоване за допомогою вейвлетів, для якого обчислюється функція ентропії чи індекс структурної схожості. Далі відбувається пошук аргументів, які представляють собою коефіцієнти лінійних форм суміщення, при яких ентропія чи індекс структурної схожості для синтезованого зображення досягає максимальних значень. Т.ч., результатом даного етапу є коефіцієнти лінійних комбінацій, отримані за максимізації характеристик інформативності, за допомогою яких на наступному етапі буде здійснюватися подальший аналіз оброблюваного зображення.

Таблиця 1

Алгоритм формування лінійних комбінацій

$H_R^* = a \cdot H_p + b \cdot H_R$	$H_G^* = a \cdot H_p + b \cdot H_G$	$H_B^* = a \cdot H_p + b \cdot H_B$
$V_R^* = a \cdot V_p + b \cdot V_R$	$V_G^* = a \cdot V_p + b \cdot V_G$	$V_B^* = a \cdot V_p + b \cdot V_B$
$D_R^* = a \cdot D_p + b \cdot D_R$	$D_G^* = a \cdot D_p + b \cdot D_G$	$D_B^* = a \cdot D_p + b \cdot D_B$

Етап 3. Використання одержаних аргументів для підвищення інформативності оброблюваного зображення. Отримання шуканого зображення з підвищеною інформативністю.

На даному етапі аналіз здійснюється на основі штучного RGB-зображення, одержаного після попередньої обробки, та коефіцієнтів лінійних комбінацій, отриманих на попередньому етапі. Спочатку здійснюється вейвлет-декомпозиція першого рівня синтезованого та допоміжного зображень, в результаті чого для кожного з зображень отримуються матриці апроксимуючих та деталізуючих коефіцієнтів. Отримані деталізуючі коефіцієнти обох зображень утворюють лінійні комбінації (табл. 1) з урахуванням чисельних значень коефіцієнтів лінійних форм суміщення. Далі виконується вейвлет-реконструкція першого рівня. Вхідними даними для здійснення вейвлет-реконструкції є апроксимуючі коефіцієнти, отримані після вейвлет-декомпозиції синтезованого кольорового зображення, які беруться без змін, та у якості деталізуючих коефіцієнтів використовуються утворені лінійні комбінації. Т.ч., в результаті вейвлет-реконструкції має бути отримане зображення, синтезоване за допомогою вейвлетів, що представляє собою шукане зображення з підвищеною інформативністю.

Слід зазначити, що вейвлетному перетворенню, яке здійснюється над поточним кольоровим зображенням, піддаються всі канали цього зображення окремо один від одного.

Під час вейвлет-декомпозиції зображення, яке представляє собою двовимірний масив чисел розміром $N \times M$, розкладається на один двовимірний масив апроксимуючих $A_{i,j}$ та три двовимірних масиви деталізуючих коефіцієнтів розміром $N/4 \times M/4$. Деталізуючі коефіцієнти підрозділяються на горизонтальні $H_{i,j}$, вертикальні $V_{i,j}$ та діагональні $D_{i,j}$. Якщо розглядати зображення як двовимірний масив чисел, як показано на рис. 1, то алгоритм вейвлетного перетворення матиме вигляд:

$$\begin{aligned}
 A_{i,j} &= 1/4 \cdot (f_{2i,2j} + f_{2i+1,2j} + f_{2i,2j+1} + f_{2i+1,2j+1}) \\
 H_{i,j} &= 1/4 \cdot (f_{2i,2j} + f_{2i+1,2j} - f_{2i,2j+1} - f_{2i+1,2j+1}) \\
 V_{i,j} &= 1/4 \cdot (f_{2i,2j} - f_{2i+1,2j} + f_{2i,2j+1} - f_{2i+1,2j+1}) \\
 D_{i,j} &= 1/4 \cdot (f_{2i,2j} - f_{2i+1,2j} - f_{2i,2j+1} + f_{2i+1,2j+1})
 \end{aligned}$$

$f_{2i,2j}$	$f_{2i+1,2j}$
$f_{2i,2j+1}$	$f_{2i+1,2j+1}$

Рис. 1. Двовимірний масив чисел

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Запропонована методика підвищення інформативності видових даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) на основі вейвлет-технологій оброблення цифрових сигналів була реалізована на первинних багатоспектральних видових даних, які були отримані сканером ASTER (КА Terra), який фіксує видові дані у видимому (підсистема VNIR-321), ближньому та середньому інфрачервоному (відповідно підсистеми SWIR-654 та SWIR-987) і тепловому (TIR) діапазонах. У роботі використані первинні видові дані, отримані у видимому та ближньому інфрачервоному діапазонах.

На рис. 2 наведено RGB-зображення, зафіксоване підсистемою VNIR-321. Найбільшу лінійну розрізненість зображення має у першому каналі, оскільки він відповідає найкоротшій довжині хвилі випромінення.

На основі зображень другого та третього каналів підсистеми VNIR-321 та четвертого каналу підсистеми SWIR-654 було утворене штучне RGB-зображення. Компоненті R відповідає зображення четвертого спектрального каналу, компоненті G – зображення третього спектрального каналу, компоненті B – зображення другого спектрального каналу.

Після здійснення вейвлет-синтезу було отримане зображення, подане на рис. 4.

Для порівняння було виконано вейвлет-синтез зображення на основі зазначених вище первинних видових даних, але без попередньої обробки.



Рис. 2. Зображення підсистеми VNIR-321

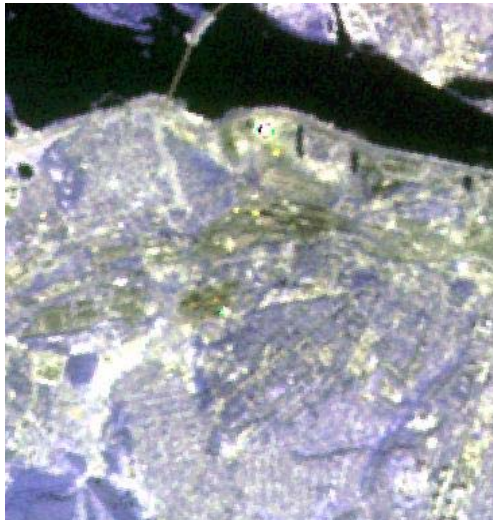


Рис. 3. Зображення підсистеми SWIR-654

Дані стосовно інформаційних характеристик первинних та синтезованих зображень приведені у табл. 2.



Рис. 4. Зображення, отримане після вейвлет-синтезу

Таблиця 2

Інформаційні характеристики синтезованих зображень

	a	b	E	a	b	SSIM
Знімки Aster, без попередньої обробки	1.5206	1.5143	7.5572	1.5299	1.5049	0.9997
Знімки Aster, із попередньою обробкою	0.5367	1.1237	7.0591	0.5367	1.1237	0.9999

У другому та третьому стовпцях табл. 2 наведені значення коефіцієнтів лінійних форм суміщення різномасштабних компонент знімків (див. вирази у табл. 1), отримані за максимізації інформаційної ентропії, значення якої представлені у четвертому стовпці. У п'ятому та шостому стовпцях наведені значення цих коефіцієнтів, отриманих за максимізації індексу структурної схожості.

Значення інформаційної ентропії обчислювались стосовно компоненти В одержаних синтезованих зображень, а значення індексу структурної схожості – стосовно каналів В первинного та синтезованого зображень (табл. 2). Значення інформаційної ентропії також обчислювались стосовно компоненти R та G одержаних синтезованих зображень, а значення індексу структурної схожості – стосовно каналів R та G первинного та синтезованого зображень.

Слід зазначити, що значення інформаційної ентропії для кольорових компонент первинного зображення дорівнює 5.2234, а для кольорових компонент знімку SWIR-654 – 4.8083.

Представлені шукані синтезовані зображення та таблиці їх числових характеристик інформативності були отримані в результаті вейвлет-синтезу, якому були піддані первинні знімки та зображення, із допомогою вейвлетів Добеші четвертого порядку.

Оцінка синтезованих із використанням вейвлет-технологій зображень здійснювалась на основі показників, що є об'єктивними оцінками якості зображень: контраст (contrast), повнота використання елементами зображення градацій яскравостей (LQ), середня різниця (AD), нормована кореляція (NC), якість кореляції (CQ), максимальна різниця (MD), середньоквадратична лапласіанова погрішність (LMSE), середньоквадратична погрішність (MSE), максимальна середньоквадратична погрішність (PMSE), нормована абсолютна погрішність (NAE), нормована середньоквадратична погрішність (NMSE), норма Мінковського (Lp), відношення сигнал/шум (SNR), максимум відношення сигнал/шум (PSNR). У табл. 3 наведені значення показників, що були обчислені для зображення, отриманого із використанням вейвлету Добеші четвертого порядку та каналу, що відповідає синьому кольору.

Таблиця 3

Показники оцінки якості зображень

	Первинний знімок	Зображення після попередньої обробки	Зображення, отримане після вейвлет-синтезу на основі первинного знімку	Зображення, отримане після вейвлет-синтезу на основі зображення після попередньої обробки
	1.0e+004 *			
LQ	1.3281	2.4943	1.4321	2.5317
CQ	0.0102	0.0079	0.0100	0.0079
MD	0.0153	0.0176	0.0155	0.0176
MSE	0.4181	0.5006	0.5714	0.5461
Lp	0.0052	0.0057	0.0062	0.0060
SNR	0.0005	0.0004	0.0004	0.0003
PSNR	-0.0018	-0.0019	-0.0019	-0.0019
Contrast	0.0158		0.0132	

ВИСНОВКИ

Ефективність методу була підтверджена при обробці багатоспектральних знімків, одержаних з КА Terra (прилад ASTER). Для знімків КА Terra обробка дозволяє покращити якість знімків, зафіксованих в інфрачервоному діапазоні із просторовим розрізненням 30 м за рахунок знімків із просторовим розрізненням 15 м, отриманих в оптичному діапазоні.

Зображення, отримані в результаті обробки, дозволяють розрізняти малорозмірні об'єкти, які не можна було спостерігати на необроблених знімках, об'єкти з тепловими аномаліями та об'єкти, що несуттєво відрізняються за кольором у видимому діапазоні на необроблених знімках.

Була здійснена кількісна оцінка якості синтезованих зображень та обчислені числові характеристики інформативності синтезованих зображень. Також встановлено, що значення ентропії нижче для тих зображень, які перш ніж здійснювати вейвлет-синтез були піддані попередній обробці. Попередня обробка збільшує значення індексу структурної схожості.

Під час вейвлет обробки зображень для підвищення їх інформативності за запропонованою методикою контраст та кількість градацій яскравості, що використовується у зображенні, підвищуються, кореляція зменшується, що свідчить про зріст інформаційної ентропії зображень, максимальна різниця зростає, а погрешності знижуються. Значення SNR та PSNR змінюються незначно. Попередня обробка та використання вейвлетів Добеші високих порядків значно покращує перелічені зміни досліджуваних показників.

Отримані характеристики свідчать про те, що у результаті обробки багатоспектральних знімків за допомогою методики підвищення інформативності видових даних ДЗЗ на основі вейвлет-технологій оброблення цифрових сигналів синтезовані зображення мають більш високу якість та збільшену інформативність у порівнянні з первинними знімками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Астафьева Н. М. Вейвлет анализ: основы теории и примеры применения / Н. М. Астафьева // Успехи физических наук. – 1996. – Т. 166. – № 11. – С. 1145-1170.

Дремин И. М. Вейвлеты и их использование / И. М. Дремин, О. В. Иванов, В. А. Нечитайло // Успехи физических наук. – 2001. – Т. 171. – № 5. – С. 465-501.

Кравец О. В. Вейвлет-технологии преобразования цифровых сигналов в обработке данных ДЗЗ / О. В. Кравец, В. М. Корчинский, Д. К. Мозговой // 2-я международная конференция «Передовые космические технологии на благо человечества». – Апрель, 2009 р., Днепропетровск: ГП «КБ «Южное», Национальное космическое агентство Украины: Зб. тез. – Д. : ГП «КБ «Южное», 2009. – С. 23-24, 103.

Кравец О. В. Підвищення інформативності даних ДЗЗ / О. В. Кравец, В. М. Корчинський, Д. К. Мозговой // XI Міжнар. наук.-практ. конф. «Людина і космос». – Квітень, 2009 р., Дніпропетровськ: Національний центр аерокосмічної освіти молоді ім. О. М. Макарова: Зб. тез. – Д. : НЦАОМ, 2009. – С. 483

Цымбал В. П. Теория информации и кодирование / В. П. Цымбал. – К. : Вища школа, 1977. – 288 с.

Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. – М. : ИИЛ, 1963. – 830 с.

Kravets O. V. Wavelet Transform in remote sensing data processing / O. V. Kravets, D. K. Mozgovoy // The VIII Students' Scientific Conference «Engineer of the 3rd Millennium». May, 2009, Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Acad. V. Lazaryan: Abstracts – Dnepropetrovsk : Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Acad. V. Lazaryan, 2009. – P. 49-50.

Wang Z. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity / Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli // IEEE Trans. Image Processing. – 2004. – Vol. 13. – P. 600-612.

Надійшла до редколегії 19.07.11