

УДК 528.88-551

Доц. В.Г. Вершигора, канд. фіз.-мат. наук;
аспір. О.М. Гусак – ПВНЗ "Буковинський університет", м. Чернівці

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИКИ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗУ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ

Оцінено можливість застосування вейвлет-технологій оброблення цифрових сигналів. Розглянуто алгоритм підвищення інформативності видових даних дистанційного зондування Землі на основі вейвлет-технологій оброблення цифрових сигналів. Застосування описаної методики сприяє підвищенню ефективності операторської діяльності з розпізнання об'єктів на космічних знімках, зокрема епіцентрів лісових пожеж.

Ключові слова: вейвлет-технології, алгоритм вейвлетного перетворення, розпізнання образів, індекс структурної схожості, інформаційна ентропія зображень, супутникові знімки.

Актуальність. Розпізнання образів є невід'ємною складовою операторської діяльності. Від швидкості та якості розпізнання об'єктів залежить адекватність прийняття рішення. Процес вивчення та аналізу зображень людиною-оператором потребує високої концентрації уваги, оскільки її результатом є розпізнання і класифікація малорозмірних деталей, зокрема джерел лісових пожеж і димових шлейфів на супутникових знімках. Істотною особливістю таких знімків є те, що вже на момент фіксації вони мають растрову структуру. Актуальним є оброблення декількох одночасних знімків, коли зйомка ведеться на різних хвилях випромінювання та з різним просторовим розрізненням, з метою одержання єдиного штучного зображення з покращеними інформаційними показниками порівняно з первинними знімками. Результатом такого оброблення є підвищена інформативність синтезованого зображення з позиції подальшого тематичного аналізу.

Виклад основного матеріалу. Останнім часом роки швидко розвивається та поширюється новий напрямок в обробці сигналів та зображень – вейвлетний аналіз, який має істотні переваги перед класичними методами оброблення [1]. Порівняно з рядами Фур'є вейвлети переважають у представленні локальних особливостей функцій.

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

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

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

Кількісним параметром структурної схожості двох зображень – вихідного та обробленого – є індекс структурної схожості (Structural SIMilarity). Чим більше значення індексу структурної схожості, тим більше схожі геометричні структури двох зображень. У випадку повної тотожності двох зображень їхній SSIM-індекс дорівнює одиниці [1, 8].

Розрахунок SSIM-індексу виконується за виразом:

$$SSIM = corr(A, B_1), \quad (1)$$

де: $A_1 = \frac{A - \bar{A}}{\sigma(A)}$, $B_1 = \frac{B - \bar{B}}{\sigma(B)}$; $\sigma(A)$, $\sigma(B)$ – середньоквадратичні відхилення матриць A, B, які подають растрові розподіли яскравості двох зображень; $corr(A, B_1)$ – коефіцієнт кореляції (матриці A, B повинні мати однакову розмірність). У розгорнутому вигляді вираз (1) набуває форми:

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

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

Відношення кількості інформації, яка припадає на один цифровий сигнал, характеризує дискретне джерело повідомлень у цілому. Інше джерело з іншим ансамблем цифрових сигналів матиме іншу питому кількість інформації [2]. Ця загальна характеристика джерела цифрових сигналів кількісно подається його інформаційною ентропією H (A), яка визначається наступним виразом:

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

де підсумовування здійснюється за множиною.

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

Перетворення Фур'є з його нескінченно довгим тригонометричним базисом добре підходить для аналізу регулярних сигналів [3]. Для нерегулярних сигналів є важливим визначити значення аргументу, коли та чи інша частотна характеристика раптово змінилась. Тому базисні функції повинні мати скінчену область визначення. Такими функціями є вейвлети. З їх допомогою можливо покрити весь простір, використовуючи зміщення по-різному стиснених варіантів одноєдиної 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 за декілька етапів [4].

Етап 1. Попередня обробка початкового знімка. Отримання синтезованого зображення. На цьому етапі початкові знімки розкладаються за каналами. Здійснюється перемішування каналів. Відповідним чином компоненті R відповідає зображення четвертого спектрального каналу, компоненті G – третього, компоненті B – другого. 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 компоненти яскравості 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 оброблення.

Етап 2. Пошук аргументів, які мають бути отримані за максимізації функції інформаційної якості синтезованого зображення. В якості такої функції може бути інформаційна ентропія та індекс структурної схожості. На цьому етапі використовуються штучне RGB-зображення, яке надійшло після попереднього оброблення, та допоміжне зображення, що представляє собою чи панхроматичний знімок, чи перший канал відповідного RGB-зображення. Дані зображення піддаються вейвлет-декомпозиції першого рівня, внаслідок чого для кожного з зображень отримують матриці апроксимуючих та деталізуючих коефіцієнтів. Далі здійснюється перетворення отриманих деталізуючих коефіцієнтів обох зображень, в якому створюються лінійні комбінації (табл. 1).

Табл. 1. Результат перетворення деталізуючих коефіцієнтів

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

На вхід вейвлет-реконструкції першого рівня знаходять в якості деталізуючих коефіцієнтів утворені лінійні форми суміщення різномасштабних компонент знімків, а в 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. Таким чином, результатом даного етапу є коефіцієнти лінійних комбінацій, отримані за максимізації характеристик інформативності, з допомогою яких на наступному етапі буде здійснюватися подальший аналіз оброблюваного зображення.

Етап 3. Використання одержаних аргументів для підвищення інформативності оброблюваного зображення. Отримання шуканого зображення з підвищеною інформативністю. На цьому етапі аналіз здійснюється на основі штучного RGB-зображення, одержаного після попереднього оброблення, та коефіцієнтів лінійних комбінацій, отриманих на попередньому етапі. Спочатку здійснюється вейвлет-декомпозиція першого рівня синтезованого та допоміжного зображень, унаслідок чого для кожного із зображень отримують матриці апроксимуючих та деталізуючих коефіцієнтів. Отримані деталізуючі

коефіцієнти обох зображень утворюють лінійні комбінації (табл.) 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. Як деталізуючі коефіцієнти використовуються утворені лінійні комбінації. Таким чином, внаслідок вейвлет-реконструкції має бути отримане зображення, синтезоване за допомогою вейвлетів, що є шуканим зображенням з підвищеною інформативністю.

Вейвлетному перетворенню, яке здійснюється над поточним кольоровим зображенням, піддаються усі 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 $\frac{N}{4} \times \frac{M}{4}$. Деталізуючі коефіцієнти підрозділяються на горизонтальні $H_{i,j}$, вертикальні $V_{i,j}$ та діагональні $D_{i,j}$. Якщо розглядати зображення як двовимірний масив чисел (табл. 2), то алгоритм вейвлетного перетворення має наступний вигляд:

$$A_{i,j} = \frac{1}{4} \cdot (f_{2i,2j} + f_{2i+1,2j} + f_{2i,2j+1} + f_{2i+1,2j+1})$$

$$H_{i,j} = \frac{1}{4} \cdot (f_{2i,2j} + f_{2i+1,2j} - f_{2i,2j+1} - f_{2i+1,2j+1})$$

$$V_{i,j} = \frac{1}{4} \cdot (f_{2i,2j} - f_{2i+1,2j} + f_{2i,2j+1} - f_{2i+1,2j+1})$$

$$D_{i,j} = \frac{1}{4} \cdot (f_{2i,2j} - f_{2i+1,2j} - f_{2i,2j+1} + f_{2i+1,2j+1})$$

Табл. 2. Двовірний масив чисел

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

Описана методика підвищення інформативності видових даних дистанційного зондування Землі на основі вейвлет-технологій оброблення цифрових сигналів була реалізована на первинних багатоспектральних видових даних, отриманих з КА Ikonos з істотно різним просторовим розрізненням [4].

Для даних КА Ikonos інформативність знімків із просторовим розрізненням 4 м в оптичному діапазоні збільшується за рахунок використання панхроматичних знімків із просторовим розрізненням 1 м.

Висновки. Унаслідок виконаної оцінки якості синтезованих зображень та обчислення числових характеристик їх інформативності отримано дані, які свідчать про те, що внаслідок оброблення багатоспектральних знімків за допомогою методики підвищення інформативності видових даних дис-

танційного зондування Землі на основі вейвлет-технологій оброблення цифрових сигналів синтезовані зображення мають більш високу якість та збільшену інформативність порівняно з первинними знімками.

Під час вейвлет-оброблення зображень варто враховувати, що попередня обробка підвищує ступінь схожості первинних та синтезованих зображень, а для підвищення інформативності зображень слід використовувати вейвлети Добеші високих порядків, наприклад, четвертого порядку, бо порівняно з вейвлетами Добеші першого порядку їх використання забезпечує найкращі показники інформативності синтезованих зображень.

Результати можуть бути застосовані для оброблення видової інформації дистанційного зондування Землі з аерокосмічних носіїв, зокрема і в процесі попереднього оброблення супутникових космічних знімків лісових пожеж, що прискорює і робить більш якісним процес розпізнання джерела лісової пожежі людиною-оператором.

Література

1. Дремін І.М. Вейвлеты и их использование / И.М. Дремін, О.В. Иванов, В.А. Нечитайло // Успехи физических наук. – 2001. – Т. , 171, № 5–С. 465-501.
2. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике : пер. с англ. / К. Шеннон. – М. : Изд-во "Наука", 1963. – 830 с.
3. Кравец О.В. Вейвлет – технологии преобразования цифровых сигналов в обработке данных ДЗЗ / О.В. Кравец, В.М. Корчинский, Д.К. Мозговой // Передовые космические технологии на благо человечества : матер. 2-ой Междунар. конф., апрель, 2009 г. – Днепропетровск : ГП "КБ "Южное", Национальное космическое агентство Украины. – 2009. – С. 23-24, 103.
4. Кравец О.В. Підвищення інформативності даних ДЗЗ / О.В. Кравец, В.М. Корчинський, Д.К. Мозговой // Людина і космос : матер. XI-ої Міжнар. наук.-практ. конф. квітень, 2009 р. – Дніпропетровськ : Національний центр аерокосмічної освіти молоді ім. О.М. Макарова. – 2009. – С. 483.
5. Гречищев А.В. Космические системы дистанционного зондирования Земли / А.В. Гречищев, Ю.А. Лихачев // Ежегодный обзор. – М. : ГИС-Ассоциация, 1999. – Вып. 4 (1998). – С. 83-92.
6. Цымбал В.П. Теория информации и кодирование / В.П. Цымбал. – К. : Вид-во "Либідь", 1977. – 288 с.
7. Kravets O.V. Wavelet Transform in remote sensing data processing / O.V. Kravets, D.K. Mozgovoy // The VII I Students' Scientific Conference "Engineer of the 3rd Millennium". May, 2009, Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Acad. V. Lazaryan: Abstracts – 2009. – Pp. 49-50.
8. 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. – Pp. 600-612.

Вершигора В.Г., Гусак Е.М. Применение методики вейвлет-анализа для обработки спутниковых снимков лесных пожаров

Оценена возможность применения вейвлет-технологий обработки цифровых сигналов. Рассмотрен алгоритм повышения информативности видовых данных дистанционного зондирования Земли на основании вейвлет-технологий обработки цифровых сигналов. Применение описанной методики способствует повышению эффективности операторской деятельности по распознаванию объектов на космических снимках, в частности эпицентров лесных пожаров.

Ключевые слова: вейвлет-технологии, алгоритм вейвлетного преобразования, распознавание образов, индекс структурного сходства, информационная энтропия изображений, спутниковые снимки.

Vershygora V.G., Husak H.M. Application methods wavelet analysis for processing satellite shots forest fires

The paper evaluated the possibility of using wavelet technology processing digital signals. The algorithm more informative generic remote sensing data based on wavelet technology processing digital signals. The described technique improves the efficiency of operator activity in discerning the objects in satellite images, including epicentres of forest fires.

Keywords: wavelet technology, algorithm of wavelet transform, pattern recognition, index structural similarity, information entropy images, satellite images.

УДК 622.67:534.11

Викл. Л.В. Семчук, канд. техн. наук –
ДНВЗ "Червоноградський гірничо-економічний коледж"

ВПЛИВ ПРУЖНО-ІНЕРЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КАНАТА НА ДИНАМІКУ ШАХТНИХ ПІДЙІМАЛЬНИХ УСТАНОВОК

Запропоновано математичну модель режимів пуску шахтної підйімальної установи з урахуванням пружно-інерційних властивостей каната. Рівняння руху системи записано на основі застосування дискретної розрахункової моделі зі змінними пружно-інерційними параметрами. Враховано електромагнітні явища в асинхронному двигуні. Наведено результати числової реалізації побудованої моделі залежно від глибини шахти і числа ланок.

Ключові слова: математична модель, рівняння руху, шахтна підймальна установка, підймальний канат, пружно-інерційні властивості.

Загальна характеристика проблеми і постановка задач дослідження. Аналіз основних тенденцій розвитку шахтних підйімальних установок показує, що перспективними напрямками їх вдосконалення є: збільшення висоти піднімання, зростання швидкості руху підйімальних посудин, збільшення вантажності. Існує необхідність зменшення періоду циклу піднімання, який складається з часових інтервалів пуску, усталеного руху, гальмування і пауз [3].

Багато шахт працює на глибинах понад 1000 м. Маса віток канатів таких установок є цілком сумірною з масами підйімальних посудин і становить понад 10 т. Це свідчить про істотний вплив інерційних сил, викликаних рухом каната, на загальну характеристику динамічних процесів. У математичній моделі підйімальної установки необхідно врахувати також несталість довжин робочих віток каната.

Аналіз відомих досліджень. Основи динаміки шахтних підйімальних установок заклав академік М.М. Федоров [10] і досліджували у працях акад. Г.Н. Савін [2] і професора Ф.В. Флоринський [11].

Одним з основних етапів дослідження є складання розрахункових схем. Реальні гірничі машини відрізняються складністю розподілу мас. Маси шківів, барабанів, кліток можна розглядати як зосереджені (дискретні), а масу підйімального каната прийнято розглядати як розподілену. Це призводить до застосування складних континуально-дискретних розрахункових моделей, які одночасно включають як розподілені, так і дискретні маси. Складність відомих методів розрахунку вимушених коливань [1, 6] утруднює широке застосування континуально-дискретних розрахункових моделей в інженерній