



DOI:10.36023/ujrs.2020.25.171

УДК 528.06

Новий підхід до застосування правила перерозподілу конфліктів при класифікуванні супутникових зображень

С. І. Альперт *

ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України”, вул. Олеся Гончара 55-Б, Київ, 01054, Україна

На даний час розв’язання різноманітних наукових задач із використанням супутникових зображень, як правило, включає процедуру класифікування. Класифікування є однією із найважливіших процедур, що застосовуються при дистанційному зондуванні, оскільки включає в себе багато математичних операцій та попередню обробку даних. Обробка інформації та об’єднання суперечливих даних є дуже складною проблемою в задачах класифікування. На даний час у дистанційному зондуванні Землі застосовується багато методів класифікування. Класифікування суперечливих даних є основною проблемою як з теоретичної, так і з практичної точки зору. Але багато відомих методів класифікування не можуть працювати із досить суперечливими даними та невизначеністю. Головна мета даної статті — застосування правила перерозподілу конфліктів (PRC5) для класифікування супутникових зображень в умовах невизначеності, коли суперечливі експертні свідчення дають неповну та неточну інформацію. Дане правило може обробляти суперечливі дані та поєднувати суперечливі експертні свідчення (спектральні канали). Правило перерозподілу конфліктів може пропорційно перерозподілити часткову конфліктну базову масу на непусті множини, що залучені у конфлікт. Було зазначено, що дане правило дозволяє отримати узагальнену експертну оцінку в умовах конфліктної експертної інформації. При цьому усі базові маси, залучені у часткові конфлікти, обчислюються окремо. Також було показано, що правило перерозподілу конфліктів дає найбільш точний перерозподіл конфліктної базової маси на непусті множини з математичної точки зору. Але дане правило включає в себе складні обчислювальні процедури. Чим більше гіпотез та чим більше базових мас об’єднуються, тим складніше застосовувати правило перерозподілу конфліктів, ось чому виникає потреба у використанні спеціального комп’ютерного програмного забезпечення. Було розглянуто приклад практичного застосування запропонованого правила перерозподілу конфліктів. Зазначалося, що розглянутий новий підхід до застосування правила перерозподілу конфліктів при класифікуванні супутникових зображень може використовуватися для аналізу супутникових знімків, вирішення практичних та екологічних завдань, оцінки стану сільськогосподарських угідь, класифікуванні лісів, при пошуку нафти та газу.

Ключові слова: класифікування супутникових зображень, правила комбінування, правило перерозподілу конфліктів, суперечливі свідчення

© С. І. Альперт. 2020

1. Вступ

Однією із найбільш важливих та складних процедур при обробці супутникових зображень є процедура класифікування. На даний час існує багато методів як контрольованого, так і неконтрольованого класифікування. При цьому найбільш точні результати надають методи контрольованого класифікування, засновані на теорії свідчень та враховують інформацію, що надходить із різних джерел, тобто об’єднують дані, отримані із різних спектральних каналів (Beynon, 2002; Barnett, 1991; Gong, 1996).

Досить часто вхідна інформація, яка надходить від різних джерел, є неповною, неточною та суперечливою. Тому актуальною задачею є розробка методів комбінування даних, отриманих від різних експертів. Саме правила комбінування дозволяють отримувати узагальнені експертні оцінки. Експертні свідчення, які комбінуються, можуть бути узгодженими, об’єднуватися, перетинатися довільним чином, але також можуть бути суперечливими, взагалі не перетинатися, тобто в перетині давати пусту множину. Найбільш складною

є задача комбінування експертних оцінок у конфліктній ситуації, тобто коли експертні свідчення є суперечливими. При конфлікті окремі вихідні групи експертних свідчень не перетинаються. Основною причиною конфліктної ситуації є неузгодженість окремих груп експертних свідчень.

Мета даної статті полягає в аналізі застосування правила перерозподілу конфліктів (proportional conflict redistribution rule (PRC5)) для вибору рішень в умовах наявності невизначеностей, які, в свою чергу, породжуються суперечливими експертними свідченнями. При цьому дане правило перерозподілу конфліктів, на відміну від інших правил комбінування, враховує ступінь перетину вихідних фокальних елементів (груп експертних свідчень) та найбільш точно перерозподіляє часткові конфліктні базові маси. Також у даній статті буде описаний числовий приклад застосування даного правила комбінування (McCoy, 2005; Smets et al., 1990).

2. Основні положення теорії свідчень

“Маса” є мірою довіри до пов’язаної з нею гіпотези.

Сукупність вихідних гіпотез відносно стану об’єкта та всі можливі їх сполучення утворюють множину Ω , яка називається “основою аналізу”. Якщо число базових гіпотез рівно Q

* E-mail: sonyasonet87@gmail.com. ORCID.ORG/0000-0002-7284-6502. Тел.: + 380 95 901 57 37; + 380 44 239 74 12 (S. Alpert)

то загальна кількість підмножин у Ω складає величину 2^{ϱ} (Alpert et al., 2019; Yager, 1987; Smets, 1993).

Нехай A_{Ω} — обмежена множина, а A_i ($i = 1, 2, \dots$) — її підмножини, тоді базова маса визначається через функцію m :

$$\begin{cases} m(\emptyset) = 0, \\ \sum_{A_i \in A_{\Omega}} m(A_i) = 1, \quad (i = 0, 1, 2, \dots). \end{cases} \quad (1)$$

Будь-яка підмножина A , для якої $m(A) > 0$, називається фокальним елементом (focal set) (Mertikas et al., 2001; Popov et al., 2015; Ferson et al., 2002).

3. Правило перерозподілу конфліктів (PRC5)

Правило перерозподілу конфліктів (PRC5) застосовується для вибору рішень за наявності невизначеностей, які виникають із-за суперечливих експертних оцінок. Дане правило передбачає виконання наступного алгоритму (Renyi, 1970; Smarandache, 2006; Smets, 1993):

- 1) спочатку знаходяться комбіновані базові маси для непустих перетинів вихідних фокальних елементів;
- 2) розраховуються комбіновані базові маси для фокальних елементів, які не перетинаються, тобто які в перетині дають пусту множину та виражають часткові конфлікти;
- 3) пропорційно перерозподіляються загальна або часткові конфліктні базові маси (базова маса для пустих перетинів) на фокальні елементи, які є результатом непустих перетинів вихідних фокальних елементів.

Нехай маємо множину Ω — “основа аналізу”, на якій виділені наступні підмножини: X та Y та два джерела свідчень (спектральні канали), які надають наступні базові маси даним підмножинам: $m_1(X)$, $m_2(X)$, $m_1(Y)$, $m_2(Y)$. При цьому підмножини X та Y не перетинаються, тобто залучені в частковий конфлікт. Перетином підмножин X та Y буде пуста множина: $X \cap Y = \emptyset$.

Конфліктна базова маса розраховується за наступною формулою:

$$m(X \cap Y) = m_1(X) \cdot m_2(Y) + m_2(X) \cdot m_1(Y). \quad (2)$$

При цьому частки конфліктної базової маси $m(X \cap Y)$ перерозподіляються.

$$k_1 = m_1(X) \cdot m_2(Y), \quad k_2 = m_2(X) \cdot m_1(Y). \quad (3)$$

Частка k_1 перерозподіляється на підмножинах X та Y пропорційно значенням основних базових мас $m_1(X)$ та $m_2(Y)$.

Частка k_2 перерозподіляється на підмножинах X та Y пропорційно значенням основних базових мас $m_2(X)$ та $m_1(Y)$.

Якщо маємо два джерела свідчення (два спектральні канали), то комбінована базова маса за правилом перерозподілу конфліктів (PRC5) розраховується за наступною формулою:

$$m_{PRC5}(X) = m(X) + \sum \left[\frac{m_1^2(X) \cdot m_2(Y)}{m_1(X) + m_2(Y)} + \frac{m_2^2(X) \cdot m_1(Y)}{m_2(X) + m_1(Y)} \right] \quad (4)$$

де $m(X)$ — комбінована базова маса для підмножини X .

Приклад

Тепер розглянемо на прикладі застосування правила перерозподілу конфліктів (PRC5). Нехай в нас є два джерела свідчень, тобто ми маємо два спектральних канали та дві гіпотези $\Omega = \{a, b\}$.

Гіпотеза a означає, що полігон належить до класу “Листяний ліс”; гіпотеза b означає, що полігон належить до класу “Хвойний ліс”.

В даному прикладі основа аналізу (фрейм розрізнення) містить два елементи $\Omega = \{a, b\}$. На основі першого джерела свідчень (першого спектрального каналу) призначені наступні базові маси підмножинам Ω :

$$m_1(\{a\}) = 0.3; \quad m_1(\{b\}) = 0.3; \quad m_1(\{a \cup b\}) = 0.4.$$

На основі другого джерела свідчень (другого спектрального каналу) призначені такі базові маси підмножинам Ω :

$$m_2(\{a\}) = 0.2; \quad m_2(\{b\}) = 0.4; \quad m_2(\{a \cup b\}) = 0.4.$$

Далі всі можливі перетини фокальних елементів, отриманих із двох незалежних джерел, відобразимо у вигляді таблиці, враховуючи, що:

$$\begin{aligned} a \cap b &= \emptyset; \quad b \cap a = \emptyset; \\ a \cap (a \cup b) &= a; \quad b \cap (a \cup b) = b; \\ (a \cup b) \cap (a \cup b) &= a \cup b. \end{aligned}$$

Комбінування за правилом перерозподілу конфліктів (PRC5)

Базові маси	$m_2(\{a\})$	$m_2(\{b\})$	$m_2(\{a \cup b\})$
m_1 та m_2	0.2	0.4	0.4
$m_1(\{a\})$	$\{a\}$	\emptyset	$\{a\}$
0.3	0.06	0.12	0.12
$m_1(\{b\})$	\emptyset	$\{b\}$	$\{b\}$
0.3	0.06	0.12	0.12
$m_1(\{a \cup b\})$	$\{a\}$	$\{b\}$	$\{a \cup b\}$
0.4	0.08	0.16	0.16

Розрахуємо за правилом перерозподілу конфліктів (PRC5) комбіновані значення базових мас для перетинів фокальних елементів основи аналізу Ω :

$m(\{a\}) = 0.3 \cdot 0.2 + 0.3 \cdot 0.4 + 0.4 \cdot 0.2 = 0.26$ — базова ймовірність того, що полігон належить класу “Листяний ліс”;

$m(\{b\}) = 0.3 \cdot 0.4 + 0.3 \cdot 0.4 + 0.4 \cdot 0.4 = 0.4$ — базова ймовірність того, що полігон належить класу “Хвойний ліс”;

$m(\{a \cup b\}) = 0.4 \cdot 0.4 = 0.16$ — базова ймовірність того, що полігон належить до класу “Листяний ліс”, або “Хвойний ліс”;

$$m(\{\emptyset\}) = m(\{a \cap b\}) = 0.3 \cdot 0.2 + 0.3 \cdot 0.4 = 0.06 + 0.12 = 0.18$$

Введемо наступні позначення:

$$k_1 = m'(\{a \cap b\}) = m_1(a) \cdot m_2(b) = 0.3 \cdot 0.2 = 0.06; \quad (5)$$

$$k_2 = m''(\{a \cap b\}) = m_1(b) \cdot m_2(a) = 0.3 \cdot 0.4 = 0.12; \quad (6)$$

$$k_1 + k_2 = m(\{\emptyset\}) = m(\{a \cap b\}) = m'(\{a \cap b\}) + m''(\{a \cap b\}). \quad (7)$$

Тепер нам треба перерозподілити частку $k_1 = (\{a \cap b\})$ конфліктної базової маси $m(\{a \cap b\})$, застосовуючи правило перерозподілу конфліктів (PRC5). Згідно якого, деяка частина цієї частки $k_1 = m'(\{a \cap b\})$ надається підмножині a і позначається — α' . При цьому інша частина цієї ж частки $k_1 = m'(\{a \cap b\})$ надається підмножині b і позначається — β' . Конфліктна базова маса $m'(\{a \cap b\})$ перерозподіляється на множини a та b пропорційно основним базовим масам $m_1(\{a\})$ та $m_2(\{b\})$ тобто:

$$\frac{\alpha'}{m_1(a)} = \frac{\beta'}{m_2(b)} = \frac{m'(\{a \cap b\})}{m_1(a) + m_2(b)}. \quad (8)$$

З виразу (5) отримуємо два рівняння:

$$\frac{\alpha'}{m_1(a)} = \frac{m'(\{a \cap b\})}{m_1(a) + m_2(b)}; \quad (9)$$

$$\frac{\beta'}{m_2(b)} = \frac{m'(\{a \cap b\})}{m_1(a) + m_2(b)}. \quad (10)$$

З рівняння (6) маємо: $\alpha' = \frac{m_1(a) \cdot m'(\{a \cap b\})}{(m_1(a) + m_2(b))}$;

Враховуючи, згідно виразу (5), що $k_1 = m'(\{a \cap b\}) = m_1(a) \cdot m_2(b)$, маємо:

$$\alpha' = \frac{m_1(a) \cdot m_1(a) \cdot m_2(b)}{(m_1(a) + m_2(b))} = \frac{m_1^2(a) \cdot m_2(b)}{(m_1(a) + m_2(b))}, \quad (11)$$

де отриманий вираз (11) для α' співпадає із другим доданком формули (4), що виражає правило перерозподілу конфліктів (PRC5).

Аналогічним чином із виразу (10), враховуючи вираз (5), дістаємо:

$$\beta' = \frac{m_2(b) \cdot m_1(a) \cdot m_2(b)}{(m_1(a) + m_2(b))} = \frac{m_1(a) \cdot m_2^2(b)}{(m_1(a) + m_2(b))}. \quad (12)$$

Далі підставляємо в отримані вирази для α' та β' числові значення, маємо:

$$\frac{\alpha'}{0.3} = \frac{\beta'}{0.4} = \frac{0.3 \cdot 0.4}{0.3 + 0.4}. \quad (13)$$

З виразу (13) отримуємо рівняння для α' :

$$\frac{\alpha'}{0.3} = \frac{0.12}{0.7}. \quad (14)$$

Звідси, маємо: $\alpha' = 0.0514285 \approx 0.0514$.

Аналогічним чином із виразу (13) отримуємо рівняння для β' :

$$\frac{\beta'}{0.4} = \frac{0.12}{0.7}. \quad (15)$$

З виразу (15) маємо: $\beta' = 0.0685714 \approx 0.0686$.

Тепер перерозподілимо частку $k_2 = m''(\{a \cap b\})$ конфліктної базової маси $m(\{a \cap b\})$. Згідно правила перерозподілу конфліктів (PRC5), деяка частина частки $k_2 = m''(\{a \cap b\})$ надається підмножині a і позначається — α'' . При цьому інша частина частки $k_2 = m''(\{a \cap b\})$ надається підмножині b і позначається — β'' . Конфліктна базова маса $m''(\{a \cap b\})$ перерозподіляється на множини a та b пропорційно основним базовим масам $m_2(\{a\})$ та $m_1(\{b\})$ тобто:

$$\frac{\alpha''}{m_2(a)} = \frac{\beta''}{m_1(b)} = \frac{m''(\{a \cap b\})}{m_1(b) + m_2(a)}. \quad (16)$$

Враховуючи, згідно виразу (6), що $k_2 = m''(\{a \cap b\}) = m_1(b) \cdot m_2(a)$ та підставляючи числові значення у вираз (16) маємо:

$$\frac{\alpha''}{0.2} = \frac{\beta''}{0.3} = \frac{0.3 \cdot 0.2}{0.3 + 0.2}. \quad (17)$$

З виразу (17) отримуємо рівняння для α'' :

$$\frac{\alpha''}{0.2} = \frac{0.06}{0.5}. \quad (18)$$

Звідси, маємо: $\alpha'' = 0.024$.

Аналогічним чином із виразу (17) отримуємо рівняння для β'' :

$$\frac{\beta''}{0.3} = \frac{0.06}{0.5}. \quad (19)$$

З виразу (19) маємо: $\beta'' = 0.036$.

Далі, враховуючи перерозподіл конфліктної базової маси, розраховуємо комбіновані базові маси для підмножин a та b :

$m_{PRC5}(\{a\}) = m(a) + \alpha' + \alpha'' = 0.26 + 0.0514 + 0.024 = 0.3354$ — комбінована базова маса (ймовірність) того, що полігон належить класу “Листяний ліс”;

$m_{PRC5}(\{b\}) = m(b) + \beta' + \beta'' = 0.4 + 0.0686 + 0.036 = 0.5046$ — комбінована базова маса (ймовірність) того, що полігон належить класу “Хвойний ліс”;

$m_{PRC5}(\{a \cup b\}) = m(a \cup b) = 0.16$ — комбінована базова маса (ймовірність) того, що полігон належить до класу “Листяний ліс” або “Хвойний ліс”.

Слід зауважити, що співвідношення базових мас, отриманих шляхом комбінування стандартним чином ($m(\{a\}) = 0.26 < m(\{b\}) = 0.4$ після застосування правила перерозподілу конфліктів (PRC5) зберігається, тобто: $m_{PRC5}(\{a\}) = 0.3354 < m_{PRC5}(\{b\}) = 0.5046$. Тобто комбінування базових мас стандартним чином, отриманих із двох джерел свідчень, так і правило перерозподілу конфліктів (PRC5) показали, базова ймовірність (маса) того, що полігон належить до класу “Хвойний ліс” є більшою, тобто ми можемо зробити висновок, що найбільш вірогідним є те, що полігон належить до класу “Хвойний ліс” (Zhang et al., 1994).

4. Висновки

На даний час класифікування супутникових зображень із використанням даних, які отримані за допомогою методів

дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) є однією із найбільш важливих процедур для отримання інформації про стан та основні характеристики об'єктів, що досліджуються. При вирішенні задач класифікування часто виникає ситуація, коли вхідна інформація, яка надходить від різних джерел, є неповною, невизначеною та суперечливою. Тому актуальною задачею при класифікуванні супутникових зображень є застосування та розробка методів комбінування даних, отриманих від різних джерел інформації (спектральних каналів). Саме правила комбінування дозволяють отримувати узагальнені експертні оцінки. Слід зауважити, що найбільш складною є задача комбінування даних у конфліктній ситуації, тобто коли експертні свідчення є суперечливими (Bongasser, 2008; Chang, 2013, Lein, 2003).

В даній статті було проаналізовано правило перерозподілу конфліктів (PRC5), розглянуто новий підхід до практичного застосування даного правила при класифікуванні супутникових зображень та наведено числовий приклад із застосуванням даного правила. Було зауважено, що правило перерозподілу конфліктів (PRC5) дозволяє отримувати узагальнені експертні оцінки в умовах суперечливої експертної інформації. Дане правило перерозподіляє основні базові маси (ймовірності), що віднесені до пустої множини, на підмножини, які залучені у конфлікт, пропорційно основним базовим ймовірностям даних підмножин. Правило перерозподілу конфліктів (PRC5) може застосовуватися при обробці експертних свідчень, коли конфліктна базова маса дорівнює "1". Дане правило дозволяє розраховувати комбіновані базові маси для усіх підмножин, які виділені експертами.

Слід зауважити, що правило перерозподілу конфліктів (PRC5) має певний недолік, який полягає у великому об'ємі та складності обчислень при наявності великої кількості експертних свідчень (спектральних каналів), що, в свою чергу, потребує використання спеціального програмного забезпечення та сучасних засобів обчислювальної техніки. Також у роботі було розглянуто приклад із застосуванням наведеного правила перерозподілу конфліктів при вирішенні задачі класифікування за наявності двох експертних свідчень (спектральних каналів). Зауважено, що при використанні даного правила досягається найбільш точний перерозподіл часткових конфліктних базових мас (ймовірностей).

Розглянуте правило перерозподілу конфліктів (PRC5) може бути застосоване при розв'язанні численних природо-ресурсних, сільськогосподарських та екологічних завдань, а саме: при класифікуванні та дослідженні стану лісів, урбанізованих територій, сільськогосподарських земель, при складанні карт, при пошуку корисних копалин, родовищ нафти та газу, тощо (Shafer, 1990; Uzga-Rebrovs, 2010).

Література

- Alpert M. I., Alpert S. I. A new approach to the application of Jaccard coefficient and Cosine similarity in Hyperspectral Image Classification. XVIII-th International Conference on Geoinformatics — Theoretical and Applied Aspects. Kiev, 13–16 May 2019. P. 1–5.
- Barnett J. A. Calculating Dempster-Shafer plausibility. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, June 1991. Vol. 13. P. 599–602.
- Beynon M. J. DS/AHP method; a mathematical analysis, including an understanding of uncertainty. *European Journal of Operational Research*. 2002. Vol. 140. P. 148–164.
- Bongasser M. *Hyperspectral Remote Sensing: Principles and Applications*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2008. 119 p.
- Chang C. I. *Hyperspectral Data Processing: Algorithm Design and Analysis*. Hoboken, NJ: John Willey & Sons, 2013. 1164 p.
- Constructing the pignistic probability function in a context of uncertainty / Smets P. et al. *Uncertainty in Artificial Intelligence*. North Holland, Amsterdam. 1990. Vol. 5. P. 29–40.
- Ferson S., Kreinovich V. Representation, Propagation, and Aggregation of Uncertainty. SAND Report, 2002.
- Gong P. Integrated Analysis of Spatial Data from Multiple Sources: Using Evidential Reasoning and Artificial Neural Network Techniques for Geological Mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1996. Vol. 62. № 5. P. 513–523.
- Lein J. K. Applying evidential reasoning methods to agricultural land cover classification. *Int. Journal of Remote Sensing*. 2003. Vol. 24. № 21. P. 4161–4180.
- McCoy R.M. *Fields Methods in Remote Sensing*. New York: Guilford Press. 2005. P. 150–160.
- Mertikas P., Zervakis M. E. Exemplifying the Theory of Evidence in Remote Sensing Image Classification. *Int. Journal of Remote Sensing*. 2001. Vol. 22. № 6. P. 1081–1095.
- Method of Hyperspectral Satellite Image Classification under Contaminated Training Samples Based on Dempster-Shafer's Paradigm / Popov M. et al. *Central European Researchers Journal*. 2015. Vol. 1. №1. P. 86–97.
- Renyi A. *Probability theory*. Amsterdam, North - Holland Pub. Co, 1970. 670 p.
- Shafer G. Perspectives in the theory and practice of belief functions. *Int. J. Approx. Reasoning*. 1990. № 4. P. 323–362.
- Smarandache F. Proportional conflict redistribution rules for information fusion. *American Research Press*. 2006. Vol. 2. P. 61–103.
- Smets P. Belief functions: the disjunctive rule of combination and the generalized Bayesian theorem. *Int. J. Approximate Reasoning*. 1993. № 9. P. 1–35.
- Yager R. On the Dempster-Shafer Framework and New Combination Rules. *Information Sciences*. 1987. № 41. P. 93–137.
- Uzga-Rebrovs O. Nenoteiktiby parvaldisana. *Resekne: RA Izdevnieciba*. 2010. Vol. 3. 560 p.
- Zhang L., Yager R. R., Kacprzyk J., Fedrizzi M. Representation, independence, and combination of evidence in the Dempster-Shafer theory. *Advances in the Dempster-Shafer Theory of Evidence*. New York: John Wiley and Sons. Inc., 1994. P. 51–69.

References

- Alpert, M. I., Alpert, S. I. (2019). A new approach to the application of Jaccard coefficient and Cosine similarity in Hyperspectral Image Classification. XVIII-th International Conference on Geoinformatics — Theoretical and Applied Aspects- Kiev, 13–16 May 2019. 1–5.
- Barnett, J. A. (1991). Calculating Dempster-Shafer plausibility. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, 13. 599–602. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/34.87345>
- Beynon, M. J. (2002). DS/AHP method; a mathematical analysis, including an understanding of uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 140. 148–164.
- Bongasser, M. (2008). *Hyperspectral Remote Sensing: Principles and Applications*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Chang, C. I. (2013). *Hyperspectral Data Processing: Algorithm Design and Analysis*. Hoboken, NJ: John Willey & Sons.
- Ferson, S., Kreinovich, V. (2002). Representation, Propagation, and Aggregation of Uncertainty. SAND Report.
- Gong, P. (1996). Integrated Analysis of Spatial Data from Multiple Sources: Using Evidential Reasoning and Artificial Neural Network Techniques for Geological Mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 62 (5). 513–523.
- Lein, J. K. Applying evidential reasoning methods to agricultural land cover classification. *Int. Journal of Remote Sensing*, 24 (21). 4161–4180. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/0143116031000095916>.

- McCoy, R. M. (2005). *Fields Methods in Remote Sensing*. New York: Guilford Press. 150–160.
- Mertikas, P., Zervakis, M. E. (2001). Exemplifying the Theory of Evidence in Remote Sensing Image Classification. *Int. Journal of Remote Sensing*, 22 (6). 1081–1095. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/01431160118597>.
- Popov, M., Alpert, S., Podorvan, V., Topolnytskyi, M., Mieshkov, S. (2015). Method of Hyperspectral Satellite Image Classification under Contaminated Training Samples Based on Dempster-Shafer's Paradigm. *Central European Researchers Journal*, 1 (1). 86–97.
- Renyi, A. *Probability theory* (1970). Amsterdam, North - Holland Pub. Co.
- Shafer, G. (1990). Perspectives in the theory and practice of belief functions. *Int. J. Approx. Reasoning*, 4. 323–362.
- Smarandache, F. (2006). Proportional conflict redistribution rules for information fusion. *American Research Press*, 2. 61–103. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/0888-613x\(93\)90005-x](https://doi.org/10.1016/0888-613x(93)90005-x).
- Smets, P. (1993). Belief functions: the disjunctive rule of combination and the generalized Bayesian theorem. *Int. J. Approximate Reasoning*, 9. 1–35. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-88738-2.50010-5>.
- Smets, P., Henrion, M., Shachter, R. D., Kanal, L. N., Lemmer, J. F. (1990). Constructing the pignistic probability function in a context of uncertainty. *Uncertainty in Artificial Intelligence*. North Holland, Amsterdam, 5. 29–40.
- Yager, R. (1987). On the Dempster-Shafer Framework and New Combination Rules. *Information Sciences*, 41. 93–137. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(87\)90007-7](https://doi.org/10.1016/0020-0255(87)90007-7).
- Uzga-Rebrovs, O. (2010). Nenoteiktiby parvaldisana. *Resekne: RA Izdevnieciba*, 3.
- Zhang, L., Yager, R. R., Kacprzyk, J., Fedrizzi, M. (1994). Representation, independence, and combination of evidence in the Dempster-Shafer theory. *Advances in the Dempster-Shafer Theory of Evidence*. New York: John Wiley and Sons. Inc. 51–69. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat01573>.

НОВЫЙ ПОДХОД К ПРИМЕНЕНИЮ ПРАВИЛА ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНФЛИКТОВ ПРИ КЛАССИФИКАЦИИ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

С. И. Альперт

ГУ“Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины”. 01054, г. Киев, ул. О. Гончара, 55-б, Украина.

В настоящее время решение различных научных задач с использованием спутниковых изображений, как правило, включает процедуру классификации. Классификация является одной из самых важных процедур, которые применяются в дистанционном зондировании Земли, поскольку включает в себя много математических операций и предварительную обработку данных. Обработка информации и объединение противоречивых данных — очень сложная проблема в задачах классификации. В настоящее время в дистанционном зондировании Земли применяется много методов классификации. Классификация при наличии противоречивых данных — главная проблема как с теоретической, так и практической точки зрения. Но многие известные методы классификации не могут работать с противоречивыми данными и неопределенностью. Главная цель данной статьи — это применение правила перераспределения конфликтов (PRC5) для классификации спутниковых изображений в условиях неопределенности, когда противоречивые экспертные свидетельства дают неполную и неточную информацию. Данное правило может обрабатывать противоречивые данные и объединять противоречивые экспертные свидетельства (спектральные каналы). Правило перераспределения конфликтов может пропорционально перераспределить частичную конфликтную базовую массу на непустые множества, вовлеченные в конфликт. Было отмечено, что данное правило позволяет получить обобщенную экспертную оценку в условиях конфликтной экспертной информации. При этом все базовые массы, вовлеченные в частичные конфликты, вычисляются отдельно. Также было показано, что правило перераспределения конфликтов дает наиболее точное перераспределение конфликтной базовой массы на непустые множества с математической точки зрения. Но данное правило включает в себя сложные вычислительные процедуры. Чем больше гипотез и чем больше базовых масс объединяются, тем сложнее применять правило перераспределения конфликтов, вот почему возникает потребность в использовании специального компьютерного программного обеспечения. Рассмотрен пример практического применения предложенного правила перераспределения конфликтов. Было отмечено, что рассматриваемый новый подход к применению правила перераспределения конфликтов при классификации спутниковых изображений может использоваться для анализа спутниковых снимков, решения практических и экологических задач, оценки состояния сельскохозяйственных угодий, классификации лесов, при поиске нефти и газа.

Ключевые слова: классификация спутниковых изображений, правила комбинирования, правило перераспределения конфликтов, противоречивые свидетельства

A NEW APPROACH TO THE APPLICATION OF CONFLICT REDISTRIBUTION RULE IN SATELLITE IMAGE CLASSIFICATION

S. I. Alpert

Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine. 55-B, O. Gonchar st., 01054 Kyiv, Ukraine.

Nowadays solution of different scientific problems using satellite images, generally includes a classification procedure. Classification is one of the most important procedures used in remote sensing, because it involves a lot of mathematical operations and data preprocessing. The processing of information and combining of conflicting data is a very difficult problem in classification tasks. Nowadays many classification methods are applied in remote sensing. Classification of conflicting data has been a key problem, both from a theoretical and practical point of view. But a lot of known classification methods can not deal with highly conflicted data and uncertainty. The main purpose of this article is to apply proportional conflict redistribution rule (PRC5) for satellite image classification in conditions of uncertainty, when conflicting sources of evidence give incomplete and vague information. This rule can process conflicting data and combine conflicting bodies of evidence (spectral bands). Proportional conflict redistribution rule can redistribute the partial conflicting mass proportionally on non-empty sets involved in the conflict. It was noticed, that this rule can provide a construction of aggregated estimate under conflict. It calculates all partial conflicting masses separately. It was also shown, that proportional conflict redistribution rule is the most mathematically exact redistribution of conflicting mass to non-empty set. But this rule consists of difficult calculation procedures. The more hypotheses and more masses are involved in the fusion, the more difficult is to implement proportional conflict redistribution rule, therefore special computer software should be used. It was considered an example of practical use of the proposed conflict redistribution rule. It also was noticed, that this new approach to the application of conflict redistribution rule in satellite image classification can be applied for analysis of satellite images, solving practical and ecological tasks, assessment of agricultural lands, classification of forests, in searching for oil and gas.

Keywords: satellite image classification, combination rules, proportional conflict redistribution rule, conflicting evidence

Рукопис статті отримано 07.04.2020