

УДК 621.396.98

О.І. Вотяков, О.В. Дремлюга, Г.Г. Писарьонов

РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ЗА ДАНИМИ КОСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Розглядається метод розпізнавання об'єктів за даними дистанційного зондування Землі з використанням теорії нечітких множин.

Постановка проблеми

За останні 30 років можна спостерігати успішний розвиток методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) і всезростаючу ефективність їх застосування в різних галузях науки, практичному вирішенні проблем управління раціональним використанням природних ресурсів та їх охорони, розвідці корисних копалин, управлінні сільськогосподарським виробництвом, метеорології, геології, гідрології, океанології, містобудуванні. Космічні держави, у тому числі й Україна, безупинно удосконалюють апаратуру ДЗЗ, представляють на ринку все більш сучасні технічні й програмні засоби тематичної обробки космічних знімків. Однак найбільш розповсюдженими і дешевими є знімки низького розділення, що мають порівняно велике миттєве поле зору при спостереженні в надір (наприклад, сканер AVHRR має поле зору $1,1 \times 1,1 \text{ км}^2$). Розпізнавання об'єктів (рослинність, водойми, сніжні покрови і т.д.) здійснюється, як правило, за яскравими портретами в обраних відповідним чином спектральних каналів.

Формування яскравих портретів на практиці залежить від безлічі факторів, таких як характеристики системи обробки, умови спостереження і багато інших. Тому одержати чіткий поділ ознаки (у нашому випадку це яркість або відношення яркостей обраних спектральних каналів) за відповідними класами важко або взагалі неможливо. У зв'язку з цим можна говорити про розмитість формованих ознак і, як наслідок, класів розпізнавання. За цих умов доцільно для розв'язання задачі розпізнавання використовувати математичний апарат теорії нечітких множин [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанням космічного моніторингу для різних цілей присвячено багато літератури [2, 3]. Однак питання прийняття рішень в умовах невизначеності в них не розглядалися. Найбільш близькими до поставленої проблеми є роботи [4, 5], у яких вона розв'язується в додатку до радіолокаційного розпізнавання об'єктів.

Мета статті – розробка методу розпізнавання об'єктів космічного моніторингу в умовах невизначеності, тобто коли невідомо, яку частину розділюваного об'єму займає об'єкт.

Виклад основного матеріалу

Припустимо, що проведено попередню обробку інформації, і для обробки надана ділянка, на якій необхідно виділити об'єкт. У загальному випадку ця ділянка містить деяку сукупність пікселів (розділюваних елементів) зображення, які послідовно піддаються обробці, тому надалі розглядаються питання обробки окремого пікселя. При невеликій площі досліджуваного об'єкта відбитий сигнал попадає як від ділянок об'єкта, який займає частку p пікселя ($0 \leq p \leq 1$), так і від ділянок, що вільні від нього.

Нехай X – значення досліджуваної ознаки сигналу, який відповідає обраному пікселю. При наявності малорозмірного об'єкта будемо вважати, що

$$X = pX_{\Pi} + (1-p)X_c, \quad (1)$$

де X_{Π} – значення досліджуваної ознаки сигналу у випадку, якби об'єкт займав весь піксель;

X_c – значення досліджуваної ознаки сигналу від ділянки, вільної від об'єкта.

Необхідно розв'язати задачу віднесення кожного пікселя, що характеризується оцінкою ознаки X до того або іншого класу $K = \{K_j, j = 1, \dots, J\}$. Формовані ознаки X не дозволяють забезпечити чіткий поділ пікселів на класи K_j . Потрібно, спираючись на заданий алфавіт класів K і наявні оцінки ознак X , розв'язати задачу розпізнавання за нечітких умов.

Спочатку для простоти будемо вважати, що вся сукупність пікселів повинна бути розбита на два класи $K = \{K_j, j = 0, 1\}$. Тоді імовірності помилок першого і другого родів у випадку, коли клас K_1 є основним (гіпотеза H_1), а клас K_0 – альтернативним (гіпотеза H_0), відповідно можна записати як $P(B_1/H_0)$ і $P(B_0/H_1)$. Якщо проводити оптимізацію

сформульованої задачі за критерієм мінімуму середнього ризику, то вираз для середнього ризику з урахуванням зроблених припущень можна записати в такому вигляді:

$$R_{cp} = C_{10}P(H_1)P(B_1/H_0) + C_{01}P(H_0)P(B_0/H_1), \quad (2)$$

де C_{10}, C_{01} – коефіцієнти штрафів за помилкові розв'язання (передбачалося, що коефіцієнти $C_{11} = C_{00} = 0$);

$P(H_1), P(H_0)$ – апіорні імовірності істинності гіпотез H_1, H_0 відповідно.

Як відзначалося вище, зміна умов спостереження відбувається поза залежністю стану приймальної апаратури і тому кількісне значення (2) буде мінатися, а отже, буде змінюватися й ефективність розпізнавання. А оскільки стан ділянок, що спостерігаються, може змінюватися відповідно до (1) дуже невизначено, то розв'язки B_i ($i = 0, 1$), у цьому зв'язку можна інтерпретувати як нечіткі. З урахуванням сказаного надалі розв'язок результату розпізнавання будемо позначати через \tilde{B}_i ($i = 0, 1$) – нечітка подія, яка визначається через сукупність упорядкованих пар:

$$\tilde{B}_i = \{ \langle \mu_{\tilde{B}_i}(y), y \rangle \},$$

де $\mu_{\tilde{B}_i} : Y \Rightarrow [0, 1]$ – відображення множини прийняття рішень в одиничний відрізок $[0, 1]$, яке називається функцією приналежності нечіткої множини $B_i \subset Y, i = 0, 1$.

Це означає, що функція $\mu_{\tilde{B}_i}$ визначає ступінь належності елемента y до \tilde{B}_i . Наприклад, елементами нечіткої події \tilde{B}_1 можуть бути: B_{11} – весь піксель зайнятий об'єктом ($p = 1, \mu_{\tilde{B}_1} = 1$); B_{12} – можна стверджувати, що велика частина розглядуваного пікселя зайнята об'єктом (p і $\mu_{\tilde{B}_1}$ близькі до одиниці); B_{13} – можна більш-менш стверджувати, що об'єкт у даному пікселі присутній (p і $\mu_{\tilde{B}_1}$ близькі до 0,5); B_{14} – можна стверджувати про наявність об'єкта в невеликій мірі (p і $\mu_{\tilde{B}_1}$ близькі до 0); B_{15} – об'єкта в даному пікселі немає ($p = 0, \mu_{\tilde{B}_1} = 0$). Аналогічні судження можна винести і щодо рішення про відсутність об'єкта, тобто події \tilde{B}_0 .

Величини $\mu_{\tilde{B}_0}$ і $\mu_{\tilde{B}_1}$ можуть бути результатом інтелектуальної обробки фахівцем – експертом у цій галузі знань про можливі умови спостереження. У цьому випадку знання можуть бути результатом

спільної обробки даних наземних і космічних спостережень, отриманих у ході попереднього досвіду роботи за різних умов спостереження.

З огляду на сказане і можливість представлення умовної імовірності для нечітких подій [3], запишемо критерій (2) у вигляді

$$R_{cp} = C_{10}P(H_1)P(\tilde{B}_1/H_0) + C_{01}P(H_0)P(\tilde{B}_0/H_1), \quad (3)$$

де $P(\tilde{B}_1/H_0)$ і $P(\tilde{B}_0/H_1)$ – імовірності помилок першого і другого родів за умов нечітких розв'язків \tilde{B}_1 і \tilde{B}_0 .

З іншого боку, використовуючи властивість декомпозиції нечіткої множини, нечіткі події \tilde{B}_i ($i = 0, 1$) можна виразити через події рівня α . Спираючись на відзначену властивість [3], можна записати

$$\tilde{B}_{i\alpha} \bigcup_{\alpha} \alpha B_{i\alpha}, \quad (4)$$

де $B_{i\alpha} = \{y/y \in Y, \mu_{\tilde{B}_i}(y) \geq \alpha\}$ – множина рівня α нечіткої множини \tilde{B}_i ;

$$\mu_{B_{i\alpha}}(y) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \mu_{\tilde{B}_i}(y) \geq \alpha; \\ 0, & \text{якщо } \mu_{\tilde{B}_i}(y) < \alpha; \end{cases}$$

$$\mu_{\alpha B_{i\alpha}} = \alpha \mu_{B_{i\alpha}}.$$

Присвоїмо кожному $\alpha \in [0, 1]$ числовий індекс $m \in M = \{1, 2, \dots, M\}$. Тоді імовірності $P(\tilde{B}_i/H_j)$ ($i, j = 0, 1$), можна представити у вигляді

$$P(\tilde{B}_1/H_0) = \sum_{m_1=1}^M m_1 P(B_{1m_1}/H_0); \quad (5)$$

$$P(\tilde{B}_0/H_1) = \sum_{m_0=1}^M m_0 P(B_{0m_0}/H_1); \quad (6)$$

де $P(\tilde{B}_1/H_0)$ і $P(\tilde{B}_0/H_1)$ – умовні імовірності подій B_{1m_1} і B_{0m_0} при гіпотезах H_0 і H_1 , що відповідають m_1 і m_0 рівням ($m_1, m_0 \in M$).

Підставляючи (4) – (6) у (3), одержимо

$$R_{cp} = C_{10}P(H_1) \sum_{m_1=1}^M m_1 P(B_{1m_1}/H_0) + C_{01}P(H_0) \times \sum_{m_0=1}^M m_0 P(B_{0m_0}/H_1). \quad (7)$$

При цьому враховувався зв'язок між рівнями представлення m_1 і m_0 у вигляді $m_0 = m, m_1 = M - m$.

Оскільки імовірності правильного розпізнавання $P_{пр0} = P(\tilde{B}_0/H_0)$, $P_{пр1} = P(\tilde{B}_1/H_1)$ та імовірності помилок першого $P(\tilde{B}_1/H_0)$ і другого $P(\tilde{B}_0/H_1)$

родів пов'язані між собою, то при однаковій кількості рівнів подій \tilde{B}_i ($i = 0, 1$) (7) можна переписати у вигляді

$$R_{cp} = (A_0 + A_1) \sum_{m=1}^M m - \left(A_0 \sum_{m=1}^M [M - (m - 1)] P_{pp0m} + A_1 \sum_{m=1}^M m P_{pp1m} \right), \quad (8)$$

де $A_0 = C_{10}P(H_1)$, $A_1 = C_{01}P(H_0)$ – коефіцієнти, що залежать від апріорних знань і коефіцієнтів штрафів.

При написанні (8) також враховано, що суми $\sum_{m=1}^M m$ і $\sum_{m=1}^M [M - (m - 1)]$ рівні.

Оскільки перший доданок у (8) є позитивною константою, то мінімум середнього ризику буде досягатися при позитивних значеннях другого доданка, тобто

$$A_0 \sum_{m=1}^M [M - (m - 1)] P_{pp0m} + A_1 \sum_{m=1}^M m P_{pp1m} \geq 0.$$

Це означає, що для ухвалення рішення про віднесення пред'явлюваного пікселя до відповідних класів K_0 і K_1 необхідно застосовувати таке правило:

$$\text{якщо } \frac{\sum_{m=1}^M [M - (m - 1)] P_{pp0m}}{\sum_{m=1}^M m P_{pp1m}} > \frac{A_1}{A_0}, \text{ то прийма-}$$

ється гіпотеза H_0 ;

$$\text{якщо } \frac{\sum_{m=1}^M [M - (m - 1)] P_{pp0m}}{\sum_{m=1}^M m P_{pp1m}} < \frac{A_1}{A_0}, \text{ то прийма-}$$

ється гіпотеза H_1 .

З цього правила випливає, що для ухвалення рішення необхідно обчислити імовірності правильного розпізнавання на кожному m -му рівні представлення нечітких множин \tilde{B}_1 і \tilde{B}_0 , зформувані їх зважені суми, а потім відношення отриманих сум порівняти з порогом A_1/A_0 , який вибирається за наявними апріорними зведеннями і заданими значеннями коефіцієнтів штрафів. Наведена схема прийняття рішень в умовах невизначеності вимагає знання апріорних імовірностей $P(H_1)$, $P(H_0)$ і коефіцієнтів штрафів C_{10} , C_{01} . Однак ця схема легко трансформується на випадки повної або часткової відсутності відзначених відомостей (критерії ідеального спо-

стерігача і Неймана-Пірсона). Розходження буде полягати тільки в процедурі вибору порога.

При необхідності розрізнення більше двох класів ($K = \{K_j, j = 1, \dots, J\}$) правило розрізнення в нечітких умовах буде мати такий вигляд [5]:

$$\text{якщо } \frac{\sum_{m=1}^M [M - (m - 1)] P_{pp0mj}}{\sum_{m=1}^M m P_{pp1mj}} > h_{ji}, \text{ то прийма-}$$

ється гіпотеза H_j , $j \neq i$;

$$\text{якщо } \frac{\sum_{m=1}^M [M - (m - 1)] P_{pp0mj}}{\sum_{m=1}^M m P_{pp1mj}} < h_{ji}, \text{ то прийма-}$$

ється гіпотеза H_i , $j \neq i$,

де h_{ji} – поріг ухвалення рішення при домінуванні об'єктів j -го класу, який вибирається відповідно до обраного критерію якості.

Варто зауважити, що незалежно від обраного критерію якості α – рівні представлення нечітких множин \tilde{B}_1 , \tilde{B}_0 прийняття рішень – повинні бути узгоджені з порогом h_{ji} . Один з можливих підходів такого узгодження запропонований у [5].

Висновок

Розглянутий метод розпізнавання дозволяє приймати рішення у випадку, якщо розміри об'єкта менше розділюваного елемента, що відповідає реальним умовам спостереження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Прикладные нечеткие системы / К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др. – М.: Мир, 1993. – 368 с.
2. Красовский Г.Я., Петросов В.А. Информационные технологии космичного моніторингу водних екосистем прогнозу водопостачання міст. – К.: Наукова думка, 2003. – 223 с.
3. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений. – М.: Логос, 2001. – 264 с.
4. Татарский Б.Г. Радиолокационное распознавание объектов в условиях неопределенности // Радиотехника (Москва). – 2002. – № 6. – С. 15 – 17.
5. Татарский Б.Г., Дыморев Р.З. Синтез алгоритмов принятия решения для многопорогового обнаружителя // Радиотехника (Москва). – 1999. – № 2. – С. 58 – 62.

Надійшла 30.01.2006

Рецензент: д-р техн. наук професор В.І. Карпенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба.