

УДК 621.396.965.8

Апроксимація контурів образів для їх класифікації при дистанційному зондуванні Землі

Р. Я. Косаревич

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

Надійшла до редакції 22.01.98

Розроблено спосіб опису контурів зображень, отриманих в результаті дистанційного зондування Землі. Показано інваріантні властивості такого опису до афінних перетворень та перетворення подібності ознакового простору. Побудовано алгоритм класифікації контурів на основі цього опису.

ВСТУП

З початку 1970-х років нашого століття дистанційне зондування Землі стало швидко розвиватися як єдиний багатодисциплінарний напрямок досліджень в науці і практиці. Засноване більш ніж на піввіковому досвіді аерофотозйомки і тематичному використанні її результатів, воно застосовується сьогодні при розв'язку багатьох задач геології, в тому числі при пошуках в розвідці родовищ корисних копалин і підземних вод, в географії, в лісовому і сільському господарстві, океанології і океанографії, при плануванні місцевості під будівництво. Неперервно збільшується його роль при розв'язку екологічних проблем [1].

Результати дистанційного зондування земної поверхні у вигляді зображень можуть аналізуватися як людиною, так і за допомогою ЕОМ. Перевага людини в тому, що часто навіть за неповною інформацією вона може зробити правильний висновок. Перевага ЕОМ в швидкодії, можливості використання в різних середовищах, використанні протягом довільного проміжку часу, тобто в економічності. Все більше створюються автоматичні системи розпізнавання, де не використовується експер-

том людина. Але для ЕОМ потрібні численні алгоритми, завдяки яким вона зможе аналізувати зображення, тобто математична модель розпізнаючої системи. Образи природних і штучних об'єктів суттєво відрізняються. Очевидно, що для їх опису потрібно використовувати різні методи, як аналітичні, так і структурно-синтаксичні. Крім того, не завжди відомо, який з методів дасть кращі результати. Основною відмінністю структурно-синтаксичного розпізнавання є безпосереднє використання структури об'єктів як в процесі дослідження і формування ознак, так і класифікації [3]. В загальному випадку в результаті синтаксичного аналізу повинні бути визначені елементарні компоненти (непохідні елементи), з яких будується об'єкт, образ якого задається як деяке зображення. Аналітичні методи в загальному випадку відрізняються строго кількісним підходом до об'єктів, тобто об'єкт описується вектором чисел. При цьому майже повністю ігноруються взаємозв'язки між компонентами об'єкта.

В роботі пропонується метод формування ієрархічної структури ознак об'єкта, які описують як структуру об'єкта, так і кількісно виражають його характеристики.

ФОРМУВАННЯ ОПИСУ КОНТУРА ОБЛАСТІ

Пропонований метод формування опису полягає у поєднанні характеристик форми частини контура області з їх кількісною оцінкою. Аналіз форми області являє собою одну з основних задач розпізнавання образів. Можна виділити два підходи до розпізнавання форми області. При використанні першого людина розглядає область в цілому і приймає рішення, виходячи з її загальної структури. При другому підході досліджується контур області: шукаються кути, виступи, впадини та інші точки з високим значенням кривизни в них [2]. Оскільки існує взаємно однозначна відповідність між контуром області та самою областю, то скористаємось другим підходом.

Проаналізуємо контур C області $A \in \mathbb{R}^2$ і спробуємо представити контур як конкатенацію зручних для кількісного опису елементів, а саме відрізків прямих, дуг кіл та дуг еліпсів. Розпочнемо з визначення точок контура з високим значенням кривизни в них (назвемо їх екстремальними). До таких будуть належати точки, координати яких задовольняють одну з умов:

$$\begin{aligned} &x_{i-k} < x_i > x_{i+k} \vee y_{i-k} < y_i > y_{i+k}, \\ &x_{i-k} \leq x_i > x_{i+k} \vee y_{i-k} \leq y_i > y_{i+k}, \\ &x_{i-k} < x_i \geq x_{i+k} \vee y_{i-k} < y_i \geq y_{i+k}, \\ &x_{i-k} > x_i < x_{i+k} \vee y_{i-k} > y_i < y_{i+k}, \\ &x_{i-k} \geq x_i < x_{i+k} \vee y_{i-k} \geq y_i < y_{i+k}, \\ &x_{i-k} > x_i \leq x_{i+k} \vee y_{i-k} > y_i \leq y_{i+k}, \end{aligned} \quad (1)$$

де величина k визначає окіл екстремальної точки.

В результаті виділення екстремальних точок контура можемо вважати його розбитим на частини, які містяться між цими точками (рис. 1). Ці частини становитимуть непохідні елементи контура.

Припущення. Контур C довільної області A можна інтерполювати відрізками прямих, дугами кола, дугами еліпса.

На основі цього припущення кожену частину контура C будемо інтерполювати відрізком прямої або дугою кола чи еліпса. Розглянемо довільну частину контура C , вона обмежена екстремальними точками і має вигляд дуги або відрізка прямої. Визначимо рівняння дотичних, що проходять через екстремальні точки частини контура. Для побудови рівняння використаємо сусідні з екстремальними точки. Якщо рівняння однакові, то частина контура – відрізок прямої. Якщо рівняння різні, то до кожної дотичної будемо перпендикуляр і знаходимо точку перетину цих перпендикулярів. Якщо

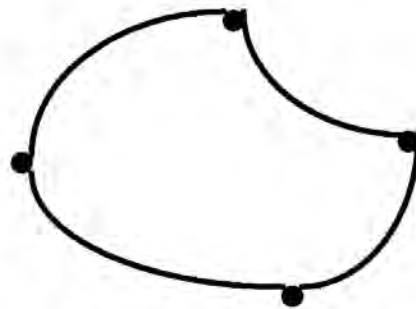


Рис. 1. Результат виділення екстремальних точок контура

відстані від точки перетину до екстремальних точок однакові, то вважаємо, що частина контура – дуга кола, а відстань від точки перетину до екстремальної точки є радіусом (рис. 2, а). Якщо відстані від точки перетину до екстремальних точок різні, тоді визначимо величину кута між перпендикулярами. Якщо кут прямий, то вважаємо, що частина контура – дуга еліпса, а відстані від точки перетину перпендикулярів до екстремальних точок – мала та велика півосі еліпса (рис. 2, б). Якщо кут між перпендикулярами не прямий, то за його величиною, можна визначити малу та велику півосі еліпса із його параметричного рівняння.

Якщо позначити відрізок прямої через l , дугу кола через c , дугу еліпса через e , тоді контур області можна поставити у відповідність деяку послідовність символів l, c, e .

Розглянемо випадок афінного перетворення контура C області A . При паралельному переносі області A координати всіх контурних точок змінюються на деяку константу g_1 для координати x та деяку константу g_2 для координати y (g_1 та g_2 – величини переносу). Геометрична форма контура при цьому не змінюється, положення на контурі екстремальних точок контура не змінюється теж, тому послідовність із символів l, c, e не змінюється та-

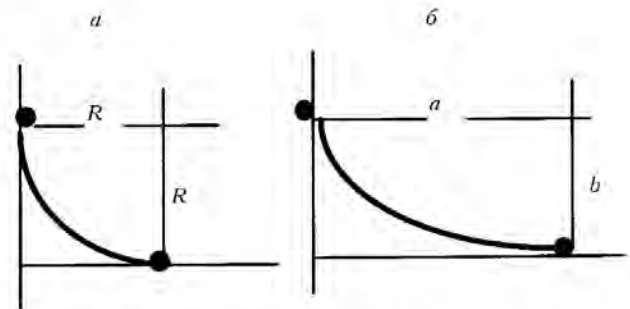


Рис. 2. Частина контура: а – дуга кола, б – дуга еліпса

кож. При повороті на деякий кут α координати контура \mathbf{C} області \mathbf{A} зміняться відносно старих за формулами

$$\begin{aligned}x' &= x \cos \alpha + y \sin \alpha, \\y' &= -x \sin \alpha + y \cos \alpha,\end{aligned}\quad (2)$$

де x, y — старі координати. Якщо у вираз (2) підставити параметричне рівняння дуги кола радіуса R :

$$\begin{aligned}x &= R \cos \varphi, \\y &= R \sin \varphi, \\t_1 &\leq \varphi \leq t_2,\end{aligned}\quad (3)$$

то отримаємо параметричне рівняння

$$\begin{aligned}x &= R \cos(\varphi + \alpha), \\y &= R \sin(\varphi + \alpha), \\t_1 + \alpha &\leq \varphi + \alpha \leq t_2 + \alpha,\end{aligned}$$

яке є рівнянням дуги кола радіуса R , повернутої на кут α .

Для рівняння прямої

$$Ax + By + C = 0 \quad (4)$$

підстановка формул (2) дає рівняння

$$(A \cos \alpha - B \sin \alpha)x + (A \sin \alpha + B \cos \alpha)y + C = 0,$$

яке теж є рівнянням прямої. Оскільки при ортогональних перетвореннях кути між векторами зберігаються, то дуга еліпса не зміниться при цьому перетворенні. Отже, поворот на кут α контура \mathbf{C} не змінить послідовність із символів l, c, e .

При перетворенні подібності координати контура \mathbf{C} області \mathbf{A} зміняться відносно старих за формулами:

$$\begin{cases}x' = e_1 x, \\y' = e_2 y,\end{cases}$$

де e_1, e_2 — масштабні множники. При такому перетворенні рівняння (3) запишеться у вигляді

$$\begin{aligned}x &= e_1 R \cos \varphi, \\y &= e_2 R \sin \varphi, \\t_1 &\leq \varphi \leq t_2,\end{aligned}$$

яке є рівнянням кола, а рівняння прямої (4) набере вигляду

$$Ae_1 x + Be_2 y + C = 0.$$

Рівняння еліпса зведеться до

$$\frac{e_1^2 x^2}{a^2} + \frac{e_2^2 y^2}{b^2} = 1.$$

Видно, що за такого перетворення змінюється лише довжина сегмента прямої, радіус дуги кола і величини півосей еліпса.

Отже, можемо вважати, що послідовність із символів l, c, e описує контур \mathbf{C} деякої області \mathbf{A} . Для однозначної відповідності потрібно враховувати величини відрізків прямих та дуг кіл і еліпсів.

Для того щоб можна було однозначно поставити у відповідність контуру \mathbf{C} області \mathbf{A} деяку послідовність символів l, c, e і щоб з цієї послідовності можна було відтворити область \mathbf{A} , необхідно для кожного елемента послідовності визначити величини, достатні для його відтворення. Для відрізка прямої такими величинами будуть координати крайніх точок. Для дуги кола необхідно визначити координати центра, радіус дуги, початковий та кінцевий кути. Для дуги еліпса достатньо визначити координати центра, початковий та кінцевий кути, величини великої та малих півосей еліпса. Всі ці величини легко визначаються на етапі інтерполявання частин контура \mathbf{C} області \mathbf{A} .

КЛАСИФІКАЦІЯ

Задача класифікації по суті являє собою задачу розбиття простору ознак на області, по одній для кожного класу. Розбиття це потрібно проводити так, щоб було якомога менше помилкових рішень.

Нехай маємо об'єкти, які належать до різних класів. Для кожного класу сформовано вектор ознак \mathbf{X} , і вхідний об'єкт також представлений вектором ознак. Потрібно визначити до якого класу віднести вхідний об'єкт порівнюючи вектори ознак. Вектор ознак \mathbf{X} складається із послідовності символів l, c, e та величин, що їх описують. Процес класифікації в такому випадку складатиметься з двох етапів. Нехай маємо деяку вхідну послідовність $lccellcel$ та M класів об'єктів. Класи формуватимемо за кількістю елементів послідовності, що описує контур області. Наприклад, клас-5 об'єднує об'єкти, опис контура яких складається з п'яти елементів. За таким поділом в класі- n можна виділити n^3 комбінацій з символів l, c, e . На першому етапі порівнюємо вхідну послідовність, її довжину, порядок символів, частоту кожного символу із послідовністю класу, що описує деякий об'єкт. Перший етап послідовно проводимо зі всіма послідовностями, що описують відомі об'єкти. На цьому етапі вхідну послідовність однозначно можна вва-

жати невідповідною до послідовності, що описує відомий об'єкт лише у випадку невідповідності довжин послідовностей. Для того щоб процес порівняння послідовностей проходив швидше, можна вибрати із послідовності символ деякого типу, наприклад l , за головний і порівнювати послідовності після того, коли вони перетворені так, що в обох символ l стоїть на першому місці.

Якщо на першому етапі отримуємо збіг послідовностей, то переходимо до другого етапу, на якому перевіряємо величини, що описують елементи послідовності. Можливі наступні випадки:

- величини збігаються, тоді вхідна послідовність описує відомий об'єкт;
- величини відрізняються на деякий множник, тоді вхідна послідовність описує відомий об'єкт у зміненому масштабі.

ВИСНОВКИ

Задачі дистанційного зондування Землі вимагають ефективних алгоритмів обробки даних, результатом якої має бути отримання достовірної інформації конкретним споживачем. Потрібні такі системи ознак образу, одержання яких не вимагало б значних затрат апаратних ресурсів і часу.

Саме така система ознак наведена в даній роботі. Всі дії щодо визначення точок з високим значенням кривизни в них та наступні дії щодо форму-

вання частин контура проводяться з масивами даних, не використовуючи зображення, що суттєво економить час роботи. Запропонована система ознак є інваріантною до афінних перетворень простору зображень, однозначна відповідність між об'єктом і ознаковим простором дозволяє класифікувати об'єкти з високою достовірністю. Запропонований підхід дає можливість формувати ознаки для об'єктів, що мають складну геометрію контура.

1. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли. — М.: Мир, 1988. — 350 с.
2. Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений. — М.: Радио и связь, 1986. — 400 с.
3. Русын Б. П. Структурно-лингвистические методы распознавания изображений в реальном времени. — Киев: Наук. думка, 1986. — 128 с.

APPROXIMATION OF IMAGE BOUNDARIES FOR THEIR CLASSIFICATION IN THE REMOTE SENSING OF THE EARTH

R. Ya. Kosarevych

Boundaries of two-dimensional objects are divided into segments, each being a straight line or an arc. Characteristics of each segment which can be used for the recognition of the object are specified. An algorithm is proposed for a formal description and classification of connected areas. A criterion is suggested for the of recognition objects it is based on the boundary structure analysis.