

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

V.P. Boyun, Y.A. Sabelnikov

CONTOUR FORM COMPARISON OF THE TWO-DIMENTIONAL IMAGES OF THE OBJECTS

The algorithm for contour form comparison of the two-dimentional images of the objects is proposed. The algorithm is used in the intelligent videocamera IVC-1, created in the V.M. Glushkov Institute of Cybernetics NAS of Ukraine.

Пропонується алгоритм порівняння двомірних зображень об'єктів за формою їх контурів. Алгоритм застосований в інтелектуальній відеокамері ІВК-1, створеній в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України.

© В.П. Боюн, Ю.А. Сабельніков,
2007

УДК 519.2(031)

В.П. БОЮН, Ю.А. САБЕЛЬНИКОВ

ПОРІВНЯННЯ ДВОМІРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ОБ'ЄКТІВ ЗА ФОРМОЮ ЇХ КОНТУРІВ

Одним з найбільш інформативних представлень зображень є їх контурне представлення [1, 2]. Тому для розпізнавання і вимірювання об'єктів на зображеннях актуальними є алгоритми аналізу форми контурів з довільною геометрією.

Пряме порівняння замкнених контурів об'єктів двомірних зображень з контурами еталонів методом геометричного суміщення ускладнюється тим, що на реальних зображеннях виділені контури, як аналізованих об'єктів так і еталонів спотворені випадковим шумом, а також можуть в деякій мірі геометрично відрізнятись. Тому визначення зсуву і орієнтації геометрично спотвореного контуру об'єкта для суміщення з контуром еталона для пошуку їх найбільшого збігу за характерними точками інваріантними до зсуву і повороту, наприклад, таким, як центри площі замкненої контуром, площі об'єкта, точки контуру максимально і мінімально віддалені від зазначених центрів, не дає бажаного результату.

Пропонується за базу для суміщень брати сегменти контуру еталона і відповідні їм сегменти контуру об'єкта, що не спотворені. Суть такого підходу полягає в наступному.

По-перше, з контурного зображення еталона формується шаблон, тобто з "однопиксельної" лінії контуру формується зона допустимих відхилень контурної кривої на величину шумової похибки, яка враховує випадкові шуми на зображеннях і може бути апріорі задана. На рис. 1 показано: ліворуч – еталон замкнений контурами, праворуч – сформований шаблон.



РИС. 1

По-друге, контур еталона розбивається на декілька сегментів, наприклад ділиться на чотири сегменти з однаковою кількістю точок. Робиться припущення, що хоча б один з сегментів контуру, аналізованого об'єкта, геометрично не спотворений і тотожний відповідному сегменту контуру еталона.

Для кожного з сегментів контуру еталона здійснюється така процедура.

Послідовно шукаються сегменти контуру аналізованого об'єкта відповідні черговому вибраному сегменту контуру еталона за такими ознаками:

- довжина вибраного сегмента;
- відстань між крайніми точками сегмента.

За однією крайньою точкою, яка береться за опорну, обчислюється положення, а за другою – вектор орієнтації аналізованого об'єкта щодо еталона. Для обчислення приблизного масштабу вибирається одне з співвідношень відповідних ознак: коренів площ, довжин периметрів або відстаней між центрами площин і мінімально чи максимально віддаленими від них точками контуру. Всі названі ознаки сегментів і об'єктів інваріантні до зсуву і повороту.

Далі отримане контурне зображення аналізованого об'єкта з урахуванням його положення, орієнтації і масштабу щодо еталона перетворюється і накладається на шаблон. Підраховується процент точок контуру об'єкта які вийшли за рамки шаблону.

Коли перебрані всі сегменти контуру еталона, змінюється з заданим шагом масштаб (плюс або мінус), у рамках припущеного можливого геометричного спотворення (геометрична похибка) і процедура порівняння повторюється.

Зо порівнянням з мінімальним процентом точок контуру об'єкта, які вийшли за рамки шаблону, робиться висновок, наскільки в цілому зрівнялись контур об'єкта з шаблоном еталона і в яких місцях відбулося не зрівняння. З урахуванням обчислених для цього порівняння характеристик за зсувом, поворотом і масштабом здійснюється подальший аналіз і необхідні вимірювання.

На рис. 2 показано: ліворуч – об'єкт виділений контуром, праворуч – цей же контур (білі точки) зсунутий, повернутий і накладений на шаблон (сіра зона). В даному випадку масштаби об'єкта і еталона збіглися. Як видно, зовнішні контури об'єкта і еталона збіглися, а внутрішні отвори на об'єкті і еталоні знаходяться в різних місцях.

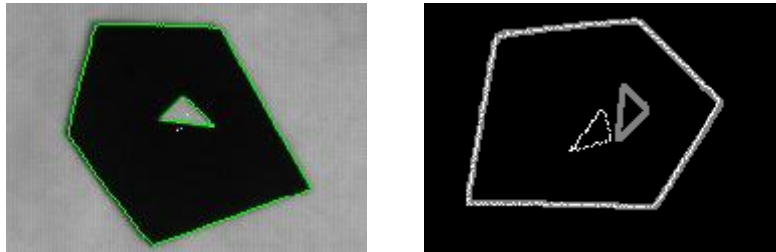


РИС. 2

Виділення контурів об'єктів і формування бази даних еталонів. Процедурі порівняння передують процедура виділення контурів об'єктів, які представляються у вигляді послідовності координат його точок.

Найбільш простим є розділення за порогом, оскільки легко реалізується і має високу швидкодію. У даному випадку елементи зображення, що мають яскравість нижчу від деякого порога, вважаються частиною об'єкта, а ті, що мають яскравість вищу від даного порога – фоном. Межами об'єкта вважаються лінії розділу між двома областями.

У тих випадках, коли мова йде про зображення, в яких різниця між об'єктом і фоном не є чітко визначеною, для їх розділення використовується більш складний метод граничного детектування. Цей метод базується на пошуку неоднорідностей або великих змін в яскравості зображення. Для пошуку неоднорідностей використовуються маски, які дозволяють проводити одночасне обстеження невеликої групи елементів зображення. Найбільш розповсюдженим підходом є використання масок, сформованих так званими градієнтними операторами, які можуть виявляти певні типи неоднорідностей у зображенні. Перевага градієнтних операторів теж у простоті їх реалізації. Проте існують і інші способи виділення границь областей і контурних ліній. У роботі [3] проведено загальний огляд градієнтних операторів, а також виявлені їх особливості.

Далі обчислюються деякі первинні параметри і координати характерних точок, що не залежать від положення, орієнтації і масштабу об'єкта такі як:

- довжина контуру L ;
- площа замкнена контуром S_k ;
- площа об'єкта S_o , яка не збігається з S_k , якщо в об'єкті є місця, що йому не належать (наприклад, отвори різної форми);
- координати центрів площі замкненої контуром, площі об'єкта та безпосередньо контуру;
- координати точок контуру, максимально і мінімально віддалених від центру площі замкненої контуром.

Для проведення порівнянь спочатку, безумовно, слід сформувати базу еталонних об'єктів. З цією метою для еталонних об'єктів здійснюється процедура виділення контурів і збереження їх разом з обчисленими первинними пара-

метрами і координатами характерних точок у базі даних еталонів. Далі всі характеристики еталонів будемо позначати з приставкою *em*.

Реалізація алгоритму порівняння за формою. Алгоритм порівняння за формою аналізованого об'єкта з еталонами складається з 9 етапів.

Етап 1. Виділення контурів аналізованого об'єкта з обчисленням його первинних характеристик.

Етап 2. Вибір з еталонів можливого кандидата для порівняння з аналізованим об'єктом.

Щоб зменшити кількість обчислень, які є достатньо трудомісткими, для порівняння за формою аналізованого об'єкта з еталонами спочатку роблять початкову перевірку за первинними характеристиками, що не залежать від положення і повороту об'єктів. За цією перевіркою визначається найбільш близький кандидат з еталонів для наступного аналізу. Початкова перевірка робиться за відносною похибкою з заданим порогом Δ . При рівних масштабах відношення параметрів L , S_k , S_o і відстаней між характерними точками до відповідних характеристик еталонів мають бути в рамках $1 - \Delta \leq 1 + \Delta$. Лінійні величини порівнюються безпосередньо наприклад, $1 - \Delta \leq \frac{L}{L_{em}} \leq 1 + \Delta$; для квадратич-

них величин порівнюються їх корені наприклад, $1 - \Delta \leq \frac{\sqrt{S_k}}{\sqrt{S_{k_{em}}}} \leq 1 + \Delta$.

При різних масштабах одне з відношень береться за масштаб M наприклад, $M = \frac{\sqrt{S_k}}{\sqrt{S_{k_{em}}}}$; потім аналогічним чином порівнюються другі відношення по-

ділені на цей масштаб наприклад, $1 - \Delta \leq \frac{L}{L_{em}} / M \leq 1 + \Delta$.

Етап 3. Формування шаблону для контурного зображення еталона.

На чистому полі кадра всі значення яскравості "пікселів" якого дорівнюють 0 (чорний колір) для вибраного еталона формується шаблон. Для цього поле кадру заповнюється значеннями відмінними від 0 (наприклад, 128 – сірий колір) в точках, які мають координати точок контуру, а також в прилеглих до них, що знаходяться на відстані не більше допустимого відхилення. Таким чином замість "однопіксельної" кривої контуру формується крива завтовшки в два рази більше ніж вибране відхилення.

Етап 4. Розбиття контуру еталона на сегменти.

Контур еталону ділиться на декілька сегментів з таким розрахунком, що хоча б один з відповідних сегментів на аналізованому об'єкті буде не спотворений. Для експерименту еталон ділився на чотири сегменти з приблизно рівною кількістю точок у кожному. Умова розбиття може бути й іншою. Як черговий береться перший сегмент, перебір буде здійснюватись за годинниковою стрілкою. Присвоюється початкове значення черговому масштабу $M^* = M$.

Етап 5. Початок процедури пошуку сегментів контуру аналізованого об'єкта відповідних черговому сегменту еталона.

Задається початкова точка на контурі аналізованого об'єкта, яка береться за чергову початкову та чергову кінцеву точку сегменту.

Етап 6. Пошук сегменту на контурі аналізованого об'єкта відповідного черговому сегменту контуру еталона за ознаками рівності їх довжин і відстаней між кінцевими точками.

Пошук здійснюється послідовним зсувом за годинниковою стрілкою на один "піксел" позиції чергової кінцевої точки, до тих пір поки довжина сегменту контуру, замкнена цими точками, буде рівною або більшою ніж довжина чергового сегменту еталона. Поруч зі знайденою кінцевою точкою, у межах допустимої геометричної похибки, шукається точка відстань до якої, від початкової точки, дорівнює відстані між кінцевими точками чергового сегменту еталона. Якщо така точка знайдена, вона береться як кінцева і переходять до наступного етапу, в протилежному випадку переходять до етапу 8. Обчислення проводяться з урахуванням масштабу.

Етап 7. Перетворення координат точок контуру аналізованого об'єкта і суміщення їх з шаблоном еталону.

На попередньому етапі знайдено можливі тотожні сегменти аналізованого об'єкта і еталона. Нехай координати їх початкових точок будуть відповідно (x_n, y_n) , (x_{n_em}, y_{n_em}) , а кінцевих (x_k, y_k) , (x_{k_em}, y_{k_em}) . Початкова точка буде опорною для суміщення і повороту об'єкта навкруги неї, а кінцева потрібна для визначення взаємної орієнтації об'єкта і еталона. Маючи по дві однотипні точки на еталоні й об'єкті і знаючи їх координати обчислюються потрібні функції $\sin \Omega$ і $\cos \Omega$ кута повороту Ω . Для цього слід провести нескладні перетворення, які ми опустимо і надамо кінцевий результат:

$$\sin \Omega = \frac{(y_{k_em} - y_{n_em})(x_k - x_n) - (x_{k_em} - x_{n_em})(y_k - y_n)}{\sqrt{(y_{k_em} - y_{n_em})^2 + (x_{k_em} - x_{n_em})^2} \sqrt{(y_k - y_n)^2 + (x_k - x_n)^2}};$$

$$\cos \Omega = \frac{(x_{k_em} - x_{n_em})(x_k - x_n) - (y_{k_em} - y_{n_em})(y_k - y_n)}{\sqrt{(y_{k_em} - y_{n_em})^2 + (x_{k_em} - x_{n_em})^2} \sqrt{(y_k - y_n)^2 + (x_k - x_n)^2}}.$$

Якщо координати точок контуру об'єкта (x_i, y_i) , а їх координати після перетворень зсуву, повороту і зміни масштабу (x_i^*, y_i^*) , маємо такі співвідношення:

$$x_i^* = [(x_i - x_n) \cos \Omega - (y_i - y_n) \sin \Omega] M^* + x_{n_em};$$

$$y_i^* = [(y_i - y_n) \cos \Omega + (x_i - x_n) \sin \Omega] M^* + y_{n_em}.$$

Порівняння за формою аналізованого об'єкта і еталона полягає в наступному. Зчитуються і аналізуються точки сформованого кадру з шаблоном еталона, які мають перетворені координати точок контуру об'єкта. Якщо значення зчитаної точки дорівнює 128, то ця точка об'єкта сумістилась з шаблоном, а якщо 0,

то не сумістилась. Підраховується процентне відношення не співпадаючих з шаблоном точок контуру об'єкта до їх загальної кількості. Якщо це відношення є найменшим, то чергове порівняння зараховується як результуюче і здійснюється перехід до наступного етапу. У випадку коли воно дорівнює нулю робиться висновок, що об'єкт повністю збігається з еталоном за розмірами і формою, в рамках заданого діапазону відхилень, і процедура закінчується.

Етап 8. Перевірки на кінець циклів.

Перевірка закінчення сканування контуру аналізованого об'єкта.

Здійснюється зсув за годинниковою стрілкою на один "піксел" позиції чергової початкової точки і перевіряється рівність її координат координатам початкової точки контуру. Якщо "ні" – повертаються до етапу 6, інакше – йдуть далі.

Перевірка закінчення перебору всіх сегментів контуру еталона.

Перевіряється, чи перебрані всі сегменти контуру еталона. Якщо "ні" – вибирається наступний сегмент і повертаються до етапу 5, інакше – йдуть далі.

Перевірка закінчення перебору всіх можливих відхилень масштабу.

Перевіряється, чи перебрані всі можливі відхилення масштабу. Якщо "ні" – обчислюється наступний масштаб ($M^* = M(1 + \Delta M_j)$, $\Delta M_j = \pm \Delta M_1, \pm \Delta M_2, \dots$), як черговий береться перший сегмент контуру еталона і повертаються до етапу 5, інакше – йдуть далі.

Етап 9. Закінчення процедури.

За результат береться те порівняння, для якого отримано мінімум точок, що не збіглися з шаблоном. З урахуванням обчислених для нього характеристик за зсувом, поворотом і масштабом проводиться подальший аналіз і необхідні вимірювання або робиться остаточний висновок.

На рис. 3, відповідно ліворуч і праворуч, показано результати сумішень за первинними характерними точками (центр площі замкненої контуром і максимально віддалена від неї точка контуру) і за запропонованим методом за характерними сегментами, які заздалегідь не задавались, а аналіз проводився за чотирма сегментами, на які випадковим чином було розбито контур еталона.



РИС. 3

Для правого зображення кількість обчислень більше, але результат суміщення значно кращий. Суміщення за характерним сегментом добре спрацьовує і при значних спотвореннях контурів об'єктів.

Висновки. Кількість порівнянь контурів об'єкта і еталона дорівнює кількості знайдених на об'єкті сегментів контуру, які відповідають вибраному сегменту еталона. Для зменшення обчислень можна попередньо порівнювати самі сегменти і якщо вони збігаються, порівнювати контури в цілому.

Другою можливістю для зменшення кількості обчислень, є попереднє визначення зсуву і орієнтації об'єкта щодо еталона за первинними характерними точками. Тоді для знайдення сегмента контуру об'єкта, слід аналізувати не весь контур, а тільки ту його частку, взяту з допусками на можливу похибку, в якій вірогідніше всього може знаходитися сегмент відповідний заданому сегменту еталона.

У деяких задачах можливо задавати один сегмент контуру еталона, якщо апіорі відомо, що він не може бути спотворений.

Таким чином, запропонований метод порівняння об'єктів за формою їх контурів дозволяє при незначних часових затратах оцінити степінь зрівняння контурів об'єктів, виявити місця не зрівняння, та наочно представити ці результати.

Метод застосовано при розробці типових програм обробки відеоінформації для створеної в Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України інтелектуальної відеокамери ІВК-1.

1. *Абламейко С.В., Лагуновский Д.М.* Обработка изображений. – Минск: Амалгея, 2000. – 206 с.
2. *Фурман Я.А., Кревецкий А.В., Передреев А.К. и др.* Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов / Под ред. Я.А. Фурмана – М: Физматлит, 2003. – 592 с.
3. *Русин В.П.* Системи синтезу, обробки та розпізнавання складноструктурованих зображень. – Львів: Вертикаль, 1997. – 264 с.

Одержано 15.05.2007