

Вовк В.Ю.,
Коляденко О.А.,
Гончарук О.М.,
Семенов О.О., д.т.н.

ВИКОРИСТАННЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ ХАФА ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ЗАБОРОНЕНИХ ДО ПЕРЕВЕЗЕННЯ ПРЕДМЕТІВ

Інститут аеронавігації
Національний авіаційний університет

Розглянуто класичний та узагальнений алгоритми перетворення Хафа та можливість їхнього використання у задачах виявлення заборонених до перевезення предметів. Розглянуто параметри, які впливають на якість роботи алгоритму та можливості покращення якісних показників роботи алгоритму

Вступ

Більшість сучасних системи контролю пасажирів та багажу обов'язково включають в себе людину-оператора. Оператор виконує функцію вторинної обробки отриманої інформації та прийняття рішення про наявність або відсутність небезпечних та заборонених до перевезення предметів. Майже на всіх сучасних пунктах перевірки та контролю багажу одним з основних технічних засобів є інтроскоп. В інтроскопах для формування зображення внутрішньої структури об'єкта контролю (ОК) використовують метод прямої візуалізації, що складається з наступних основних операцій: опромінення ОК первинним випромінюванням (у випадку активного метода), прийом вторинного (розсіяного чи того, яке пройшло крізь об'єкт) випромінювання, перетворення його в електричний сигнал, обробка та перетворення електричного сигналу в оптичний [1].

Більшість інтроскопів перед етапом формування оптичного зображення надають можливість провести первинну обробку інформації (виділення границь, зміна контрасту, яскравості, масштабу, виділення органіки/неорганіки). Вся подальшу робота з визначення наявності небезпечних та заборонених до перевезення предметів покладається на людину-оператора. У відповідності до сучасних тенденцій автоматизації обробки інфор-

мації, актуальною є задача розроблення та впровадження автоматизованих систем із мінімальним втручанням людини до процесу контролю багажу та пасажирів. Мета цієї статті – розглянути можливість використання алгоритму перетворення Хафа як одного із методів подальшої автоматизації процесу виявлення заборонених до перевезення предметів.

Основна частина

Перетворення Хафа було вперше запропоноване Паулем Хафом для виявлення ліній на бінарних зображеннях [2]. Перетворення Хафа у вигляді, в якому воно використовується зараз, було запропоноване Дудою та Хартон [3] і призначене для виявлення класу об'єктів, які можуть бути описані рівнянням виду

$$f(x, v) = 0, \quad (1)$$

де: x – вектор координат, v – вектор параметрів.

Однією з основних особливостей роботи алгоритму є використання процедури “голосування”, коли для кожної значущої точки вхідного зображення з координатами x рівняння (1) обраховуються всі можливі значення параметрів v_i і збільшується відповідне значення $A(v_i)$, де $A(v)$ – акумуляторний масив, кількість вимірів якого дорівнює кількості шуканих параметрів. Локальним максимумам в акумуляторному масиві відповідають

найбільш імовірні параметри шуканих об'єктів. У випадку, коли вектор v містить m параметрів, кожен з яких може приймати M значень, кількість обчислень пропорційна M^{m-1} .

У роботі [4] Д.Баллард було запропоновано використовувати інформацію про напрямок градієнту яскравості вхідного зображення для обчислення вектора параметрів. Це дало змогу зменшити необхідну кількість обчислень до значення, пропорційного M^{m-2} і, крім того, значно підвищити точність визначення цих параметрів.

Крім того, у цій самій роботі запропоновано алгоритм перетворення Хафа для довільних об'єктів. Основною ідеєю алгоритму є побудова так названих R-таблиць з еталонного зображення та наступне їх використання на досліджуваному зображенні для пошуку відповідних об'єктів.

Ідея методу стає зрозумілою з рис. 1. На еталонному зображенні певним чином обирається точка відліку r_c . Далі, для кожної точки M_i , в якій модуль градієнта яскравості має невід'ємне значення, обраховується відстань r_i до точки відліку r_c та кут θ_i між віссю Ox та $\overline{M_i r_c}$ вектором. Відповідна пара (r_i, θ_i) заноситься до рядка R-таблиці, якому відповідає значення ϕ напрямку градієнта яскравості в точці M_i .

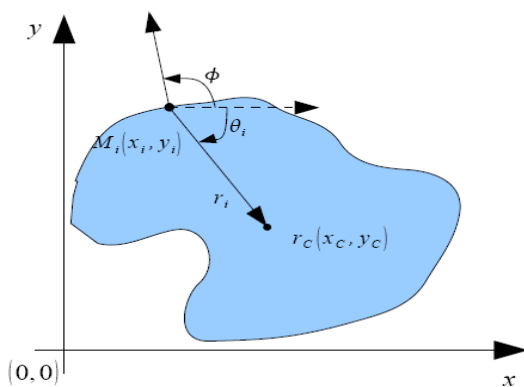


Рис. 1. Геометричні побудови для формування R-таблиць

Відповідні значення (r_i, θ_i) визначаються за формулами

$$r_i = \sqrt{(x_c - x_i)^2 + (y_c - y_i)^2}, \quad (2)$$

$$\theta_i = a \tan \frac{(y_c - y_i)}{(x_c - x_i)}. \quad (3)$$

У результаті формується R-таблиця, що описує межу еталонного об'єкта. Кожен рядок цієї таблиці містить набір пар, що відповідають відповідному значенню напрямку градієнта яскравості ϕ .

Замість пар (r_i, θ_i) у R-таблиці можна зберігати будь який набір значень, що встановлює однозначне співвідношення між точками M_i та r_i , наприклад пари (dx_i, dy_i) , де $dx_i = (x_c - x_i)$ та $dy_i = (y_c - y_i)$.

Алгоритм пошуку еталонного об'єкта на робочих зображеннях виглядає наступним чином. Для кожної точки $M(x, y)$ зображення обраховується вектор градієнту яскравості. Для тих точок, що мають ненульовий модуль градієнта, з R-таблиці обираються всі пари (r_i, θ_i) (або інших значень, в залежності від способу побудови таблиці). Далі для кожної пари обраховується координати кандидата точки відліку $r_c^*(x_c^*, y_c^*)$ за формулами

$$x_c^* = x + r_i \cos \theta_i, \quad (4)$$

$$y_c^* = y + r_i \sin \theta_i. \quad (5)$$

У випадку, коли у R-таблиці використовуються пари значень (dx_i, dy_i) , формули (4) та (5) набувають простого вигляду

$$x_c^* = x + dx_i, \quad (6)$$

$$y_c^* = y + dy_i. \quad (7)$$

Після визначення координат імовірної точки відліку (x_c^*, y_c^*) збільшується значення відповідної комірки акумулятивного масиву $A(x_c^*, y_c^*)$. Коли всі точки робочого зображення будуть оброблені, відповідні локальні максимуми у акуму-

ляторному масиві визначатимуть імовірне положення точок відліку шуканого об'єкту.

Для врахування операцій масштабування та повороту у загальному випадку акумуляторний масив має вигляд $A(x, s, \gamma)$, де $x = (x, y)$ – просторові координати точки відліку, $s = (s_x, s_y)$ – коефіцієнти масштабування у відповідних напрямках, γ – кут повороту. У такому випадку формули (4), (5) набувають вигляду

$$x_c^* = x + s_x r_i \cos(\theta_i + \gamma), \quad (8)$$

$$y_c^* = y + s_y r_i \sin(\theta_i + \gamma). \quad (9)$$

а формули (6), (7), відповідно, виглядають як

$$x_c^* = x + s_x (dx_i \cos \gamma + dy_i \sin \gamma), \quad (10)$$

$$y_c^* = y + s_y (dy_i \cos \gamma - dx_i \sin \gamma). \quad (11)$$

У формулах (8-11) пари значень (r_i, θ_i) або, відповідно, (dx_i, dy_i) обираються з рядка R-таблиці, що відповідає не дійсному значенню напрямку градієнта яскравості ϕ в точці (x, y) , з рядка, який відповідає куту $\phi - \gamma$.

На рис. 2 наведено приклад роботи алгоритму на зображенні з інструкції з експлуатації інтроскопа *Linescan®* фірми *EG&G Astrophysics*.

У цьому прикладі використовувалось 20 кроків по масштабу та 60 кроків по куту повороту. Крім того, для масштабування вздовж обох осей використовувались однакові значення, тобто $s_x = s_y = s$. У реальних системах розміри шуканих об'єктів зазвичай є відомими, тому існує реальна можливість пришвидшити роботу алгоритму через зменшення кількості кроків зміни масштабу. На рис. 4, в зображено проекцію найбільших значень акумуляторного масиву на площину координат просторових координат Ox, Oy .

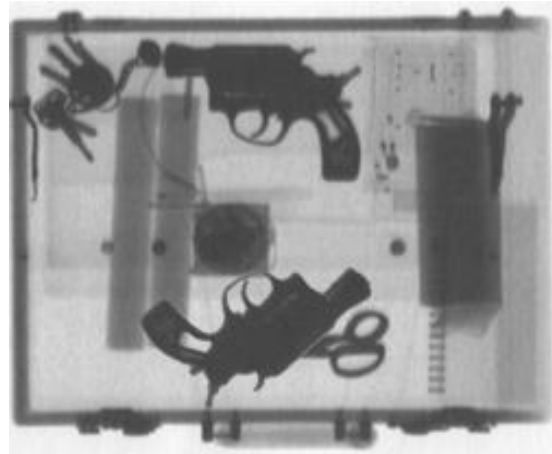


Рис. 2. Вихідне зображення



Рис. 3. Еталонне зображення шуканого об'єкта

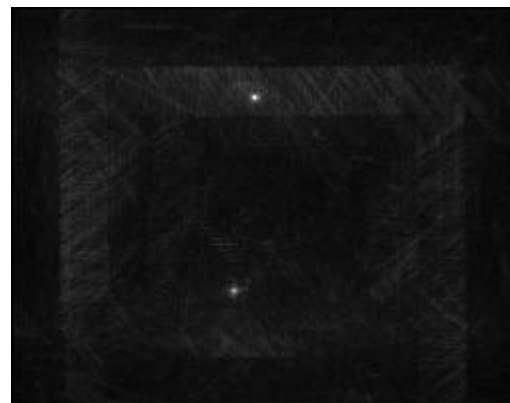


Рис. 4. Простір параметрів (проекція найбільших значень на площину координат)

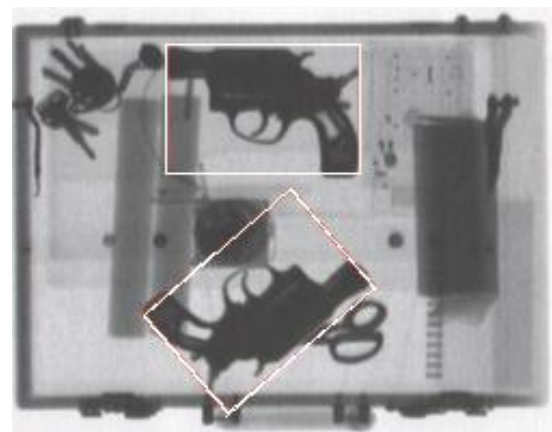


Рис. 5. Виділення шуканих об'єктів

Як видно з наведених прикладів, алгоритм дозволяє досить точно визначити наявність шуканого об'єкта та його параметри (положення, кут повороту, розмір). Проте, якість роботи алгоритму певною мірою залежить від деяких параметрів, таких як кроки дискретизації масштабу та кута повороту. Наприклад, за неправильно вибраного кроку дискретизації масштабу, замість максимуму у вигляді піка, що відповідає дійсній точці відліку, навколо неї може утворитися розмите "гало", що не дасть можливості правильно визначити шукані параметри. Іншим джерелом помилок може стати невірною обра- на точка відліку при формуванні R- таблиці. Така помилка виникає внаслідок дискретизації кроку напрямку градієнта яскравості, який визначає стовпчики в таблиці [4].

До основних недоліків алгоритму можна віднести досить велику кількість обчислень та значний обсяг пам'яті, необхідний для зберігання акумуляторного масиву.

Оскільки алгоритм виконує однакові дії для всіх точок робочого зображення, то перший з наведених недоліків можна виправити, використовуючи технології паралельних обчислень, наприклад *nVidia CUDA* та *ATI Stream*. Приклад використання паралельних обчислень для алгоритму перетворення Хафа наведено у роботі [5].

Другий недолік, зважаючи на темпи зростання обсягів пам'яті у сучасних обчислювальних системах також є досить суперечливим.

Висновки

Розглянутий алгоритм є дієвим методом виявлення небезпечних та заборонених до перевезення предметів. Перевагою алгоритму є стійкість до спотворень зображення типу імпульсних шумів та відсутності або викривленні деякої частини зображення. Також до переваг можна віднести досить точне визначення положення та розміру шуканого об'єкта. Серед недоліків – велика кількість обчислень та обсяг пам'яті, необхідний для зберігання

акумуляторного масиву. Крім того, необхідно з обережністю ставитись до вибору параметрів алгоритму, таких як координати точки відліку при формуванні R- таблиці та кроки дискретизації шуканих на етапі роботи алгоритму параметрів. Важливим також є питання пошуку локальних максимумів у акумуляторному масиві. Для вирішення наведених вище питань, алгоритм цілком можна використовувати у системах контролю багажу та пасажирів як основний або допоміжний критерій пошуку заборонених предметів.

Список літератури

1. Семенов А.А. Теоретичні основи та принципи побудови технічних засобів САБ: Навч. посібник. – Київ: Вид-во НАУ, 2001. – 214 с.
2. P. V. C. Hough: Method and means for recognizing complex patterns, U.S. Patent 3069654, – 1962.
3. R. O. Duda and P. E. Hart: Use of the Hough transform to detect lines and curves in pictures, *Communs Ass. comput. Mach.* 15, 1975. – P. 11-15.
4. D.H. Ballard: Generalizing the Hough Transform to Detect Arbitrary Shapes, *Pattern Recognition*, Vol.13, No.2, 1981. – P. 111-122.
5. W. Conen, F. Klefenz, R. Mnner, R. Zoz: Implementation of a Parallel Hough Transform Processor, *The Pennsylvania State University CiteSeer Archives*, 1999.

Подано до редакції 22.12.2010