

*Д.Д. Пелешко, д-р техн. наук, професор, Ю.С. Іванов
(Національний університет «Львівська політехніка»)*

СУПРОВІД РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ У ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ МІСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Розглядається задача розроблення методу для побудови комп'ютеризованих систем автоматизованого відслідковування рухомих об'єктів у відеопотоках у реальному часі. Для розв'язання задачі загалом розроблено методику генерування моделі фону та передньопланових об'єктів і супроводу рухомих об'єктів. Методика генерування моделі фону базується на використанні суміші Гаусових розподілів та морфологічних операцій. А методика супроводу – на моделі руху.

Результати практичних експериментів засвідчили ефективність розробленої системи. Визначення траєкторії та параметрів руху є високим і у практичній реалізації задовольняє умови реального часу.

Ключові слова: обробка зображень, рух об'єктів, траєкторія, розпізнавання, відеоряд, модель фону, сегментація, морфологічні операції.

Вступ

Аналіз рухомих об'єктів в сучасних системах відеоспостереження є однією із актуальних задач від успішного вирішення якої залежить якісне функціонування системи відеонагляду загалом. Однією із найважливіших підзадач аналізу є визначення траєкторії рухомого об'єкта. У системах реального часу на практиці задача визначення траєкторії зводиться до задачі супроводу рухомого об'єкта, яка, водночас, у випадку її успішного вирішення повинна у реальному часі надавати користувачі усю інформацію про рух об'єкта, наприклад його координати, швидкість та вектор руху і ін.

Підтримка відеопотоків у комп'ютеризованих системах породжує операції з великими за розмірністю інформаційними наборами даних, які збільшують обчислювальні витрати, що позначається на вартості самої системи. Тому зменшення даних у відеопотоках є, фактично, засобом здешевлення вартості систем відеонагляду. Основним способом зниження розмірності даних є використання методів компресії. За компресією відео- та аудіосигналів розрізняють системи, що базуються на програмній та апаратній реалізації.

Основним недоліком систем з програмною компресією є завантаження центрального процесора ПК (ЦП). Це означає, що окрім виконання інших завдань, значна кількість процесорного часу відводиться на обробку кадрів. Навіть у випадку коли, не усі кадри мають однаковий розмір, наприклад коли частота кадрів відеопотоку з одних камер становить 12 кадрів/с, а з інших 25, завантаження ЦП буде змінюватись у часі залежно від використання програмного декодера. Також, під час кодування процесорний час зазвичай використовується для таких завдань як оновлення графічного інтерфейсу користувача, функцій відтворення відеопотоків, передача їх мережею і збереження на жорсткі диски, детектування руху.

У системах з програмною компресією значне завантаження ЦП, призводить до втрати кадрів, спотворення інформації записаної у файли тощо. У системах з апаратною компресією усі ці ефекти відсутні.

1. Мета, об'єкт і засоби дослідження

Основною метою роботи є розроблення методу і програмна реалізація супроводу та визначення траєкторії руху об'єктів у відеопотоках, що надходять з цифрових камер відеоспостереження у режимі реального часу. Об'єктом дослідження виступає процес руху об'єктів у відеорядах. Основними засобами дослідження є: методи теорії обробки цифрових зображень та машинного зору, теорії алгоритмів, комп'ютерного моделювання.

2. Вибір цифрової камери апаратної декомпресії відеосигналу з детектуванням руху

Характеристики і параметри будь-якої системи відеоспостереження значною мірою залежать від відеокамер, які у ній використовуються. Наскільки це можливо, їх встановлюють у таких місцях, де забезпечена найкраща видимість зони або об'єкта відеоспостереження, а також враховуючи вимоги до чіткості відеозображення. Залежно від кута огляду розрізняють камери з фіксованим і змінним кутом спостереження. Камери зі змінним кутом огляду – обертові камери із зближувальним об'єктивом використовуються для перекриття якомога більших зон, і тому відпадає потреба у інших додаткових камерах для охоплення інших зон огляду.

Нині все більшим попитом користуються мегапіксельні IP-камери відеоспостереження, у яких використовуються давачі зображення із роздільною здатністю понад 1280x1024 пікселі. Якість зображення, що отримують від таких камер у 3-5 разів більша за зображення що отримують від аналогових камер. Мегапіксельні камери широко використовуються для відеоспостереження за вулицями, торговими територіями, для встановлення у громадських та житлових приміщеннях тощо.

Для вирішення поставленого завдання використано IP-камеру із фіксованим кутом огляду моделі IPC-HFW2100P (рис. 1) виробництва «Dahua Technology», яка призначена як для зовнішнього так і для внутрішнього встановлення. Камера побудована на базі CMOS-матриці із системою прогресивного сканування і роздільною здатністю відеокадру 1280x960 (1.3 Мп) із частотою 15 кадрів/с або 1280x720 із 30 кадрів/с. Камера забезпечує підтримку формування подвійного відеопотоку для мереж із низькою пропускну здатністю, а також для перегляду відеопотоків на екранах портативних пристроїв. Кодування відеосигналу відбувається за допомогою H.264 або MJPEG. Параметри світлочутливості знаходяться у межах 0 – 0.1 лк, що достатньо для отримання відеосигналу за недостатньої освітленості.



Рис 1. Загальний вигляд IP-камери «IPC-HFW2100P»

Камера має стандартний мережевий інтерфейс 10/100 Ethernet і підтримує роботу з такими протоколами: IPv4/IPv6, HTTP, HTTPS, SSL, TCP/IP, UDP, UPnP, ICMP, IGMP тощо.

Апаратний детектор руху камери є незалежним від компресії відеопотоку. Його можна використовувати при усіх підтримуваних частотах кадрів. Кадр отриманий з камери розподіляється на 18 рядів по 22 блоки у кожному. Для кожного блока у кожному ряді можна задати індивідуальну чутливість спрацювання апаратного детектора, при спрацюванні якого отримується масив, що містить 18 значень з типом DWORD (по одному значенню DWORD - 32 біти для кожного ряду). У біти з нульового по 21-й записується значення 1 якщо блок містить рух, інакше - записується значення 0.

На відміну від систем із програмною компресією кадрів де мають місце такі явища, як втрата кадрів, спотворення записаної у файл інформації, завантаження ЦП, застосування апаратної декомпресії та детектування руху дає змогу знизити використання системних ресурсів, оскільки відкидається потреба аналізу кожного кадру відеопослідовності на наявність руху.

3. Метод генерування моделі фону та передньопланових об'єктів

Для виділення фону і рухомих об'єктів використовується розширена версія адаптивної суміші Гаусової моделі фону [1]. Зміна значення інтенсивності кожного пікселя у кожному кадрі розглядається як піксельний процес:

$$\{X_1, \dots, X_t\} = \{I(x_0, y_0, i) : 1 \leq i \leq t\}, \quad (1)$$

де I – послідовність кадрів відеопотоку, t – поточний момент часу, X_t – значення пікселя з координатами (x_0, y_0) .

Для моделювання густини розподілу значення пікселя використовуємо суміш K розподілів:

$$P(X_t) = \sum_{i=1}^K \omega_{i,t} \eta(X_t, \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}), \quad t = \overline{1, T}, \quad (2)$$

де K – кількість Гаусових розподілів, $\omega_{i,t}$ – ваговий коефіцієнт, η – Гаусовий розподіл, що містить такі параметри: $\mu_{i,t}$ – значення математичного очікування, $\Sigma_{i,t}$ – коваріаційна матриця у момент часу $t \in T$.

Нове значення пікселя ставиться у відповідність одній із компонент суміші, для якої ймовірність отримання даного значення є найвищою і використовується для оновлення моделі. Якщо значення пікселя збігається з одним із Гаусових розподілів, то оновлюються значення математичного очікування і дисперсії Гаусового розподілу:

$$\begin{aligned} \mu_t &= \rho I_t + (1 - \rho) \mu_{t-1}; \\ \sigma_t^2 &= \rho d^2 + (1 - \rho) \sigma_{t-1}^2; \\ d &= (I_t - \mu_t)^2, \end{aligned} \quad (3)$$

де I_t – значення яскравості пікселя, у момент часу t , що аналізується, μ_t – значення математичного очікування і дисперсії Гаусового розподілу, у момент часу t , ρ – ваговий коефіцієнт, що визначає швидкість оновлення (переважно приймається рівним 0,01), d_t – Евклідова відстань.

Значення інтенсивності кожного пікселя кадру оцінюється на належність до рухомого об'єкта за нерівністю:

$$|I_t - \mu_t| > k \sigma_t, \quad t = \overline{1, T}, \quad (4)$$

де k – порогове значення (переважно приймається 2,5).

Якщо нерівність (4) виконується то піксель кадру з інтенсивністю I_t сегментується як передньоплановий, інакше – як піксель фону.

На етапі сегментації окремі пікселі бінарної маски M_t які були класифіковані як передньопланові необхідно об'єднати в регіони за допомогою морфологічної операції умовного нарощування. Структурним елементом S при цьому є вікно розміром три пікселі. Позначимо через M_t^* - результуюче зображення бінарної маски. Нехай $M_{t,0}^* = M_t^*$ і $M_{t,n}^* = (M_{t,n-1}^* \oplus S) \cap M_t$. Умовним нарощуванням M_t^* зображення структурним елементом S за відношенням до M_t є операція:

$$M_t^* \oplus_{M_t} S = M_{t,m}^*, \quad (5)$$

де індекс m рівний найменшому значенню, при якому $M_{t,m}^* = M_{t,m-1}^*$.

4. Методика супроводу рухомих об'єктів

Виділення сегментованих рухомих об'єктів виконане на основі обчислення зміни відношення площ кожного об'єкта на попередньому і поточному кадрах. Для обчислення площі рухомого об'єкта використано метод, що базується на ланцюгових кодах [2]:

$$A = \sum_{i=1}^n c_{ix} \left(y_{i-1} + \frac{1}{2} c_{iy} \right), \quad (6)$$

де n – довжина ланцюга; c_{ix} , c_{iy} – x та y -компоненти i -го елемента ланцюга c_i (c_{ix} , $c_{iy} \in \{1, 0, -1\}$), що вказують на зміну координат x та y ; y_{i-1} – y -координата початкової точки елемента ланцюга c_i у заданій системі координат.

Сегментований рухомий об'єкт вважається виділеним, якщо відношення площі рухомого об'єкта на поточному кадрі до площі на попередньому не перевищує заданого порогового значення.



Рис 2. Приклад обробки відеопотоку: а) вхідний кадр, що містить рухомі об'єкти, б) результат побудови бінарної маски з виділенням рухомих об'єктів, в) результат побудови траєкторій руху

Для супроводу виділеного рухомого об'єкта приймаємо, що переміщення його центра мас та модуль його швидкості змінюються незначно, тому застосовуємо модель однорідного руху [3]. Коефіцієнти відхилення траєкторії руху центра мас виділеного об'єкта від оптимальної його траєкторії обчислюємо за виразом:

$$C_{ij}^k = \frac{\left\| (x_i^k - x_{\alpha_i^k}^{k-1}) - (x_j^{k+1} - x_i^k) \right\|}{\sum_{p=1}^M \sum_{q=1}^{m_{k+1}} \left\| (x_p^k - x_{\alpha_p^k}^{k-1}) - (x_q^{k+1} - x_p^k) \right\|} + \frac{\left\| (x_j^{k+1} - x_i^k) \right\|}{\sum_{p=1}^M \sum_{q=1}^{m_{k+1}} \left\| (x_j^{k+1} - x_i^k) \right\|}, \quad (7)$$

де x_i^k – координати проекції i -ї точки на k -му кадрі; M, m – кількість рядків та кількість стовпців матриці відхилень, α – коефіцієнт значення якого визначаються з виразу: $\alpha_j^k = i \Leftrightarrow \alpha_{ij}^k = 1$.

Висновки

У практичній реалізації запропонованого методу побудовано програмне рішення супроводу рухомих об'єктів, приклади функціонування якого наведено на рис.2.

За результатами використання цього програмного рішення можна стверджувати що:

- динамічне визначення траєкторії є безпомилковим при типових параметрах освітленості;
- метод визначення траєкторії рухомих об'єктів дає можливість розробляти системи реального часу навіть без апаратної реалізації його складових частин. Для розробленого програмного рішення не проводилось жодних оптимізаційних процедур пришвидшення виконання коду, проте отримана система, без суттєвих затримок працює у режимі наближеному до реального часу на платформі Windows;
- розроблена програма вирішує завдання упроводу об'єкта у повністю автоматизованому режимі, а від користувача не вимагається введення жодних додаткових параметрів.

Список літератури:

1. **C. Stauffer** and W. E. L. Grimson. Adaptive background mixture models for real-time tracking. Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE Conference on, 1999.
2. **Luren Yang**, Fritz Albrechtsen. Methods to estimate areas and perimeters of blob-like objects: a comparison. IAPR Workshop on Machine Vision Applications Dec. 13-15, 1994, Kawasaki
3. **К. Rangarajan**, M. Shah. Establishing Motion Correspondence.: Computer Vision, Graphics and Image Processing, v. 54, p. 56-73, 2001.

СОПРОВОЖДЕНИЕ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ В ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ГОРОДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Рассматривается задача разработки метода для построения компьютеризированных систем автоматизированного отслеживания движущихся объектов в видеопотоках в реальном времени. Для решения задачи в целом, разработаны методики генерирования модели фона и переднеплановых объектов и сопровождение движущихся объектов. Методика генерирования модели фона базируется на использовании смеси Гауссовых распределений и морфологических операций. А методика сопровождения – на модели движения.

Результаты практических экспериментов свидетельствуют об эффективности разработанной системы. Определение траекторий и параметров движения в достаточной степени точно и реализовано для режима реального времени.

Ключевые слова: обработка изображений, движение объектов, траектория, распознавание, видеоряд, модель фона, сегментация, морфологические операции.

D.D. Peleshko, Y.S. Ivanov

TRACKING OF MOVING OBJECTS IN VIDEO SURVEILLANCE LOCAL SYSTEMS OF URBAN INFRASTRUCTURE

The tasks of method development for construction of computing systems of moving objects automatized tracking in videostreams in real time are shown. The methods of background and foreground objects generation and tracking of moving objects have been developed to complete the task. The methodology of foreground model generation is based on using the mixture of Gaussian distributions and morphological operations. And methodology of moving objects tracking is based on model of motion.

The results of practical experiments showed efficiency of developed system. Trajectories and trajectory parameters estimation are quite precise and in practical realization meet the realtime criteria.

Keywords: image processing, object motion, trajectory, recognition, videostream, background model, segmentation, morphological operations.

