

МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ТРИВОЖНИХ ПОДІЙ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ

Розглядаються методи виявлення чотирьох типів тривожних подій: поява та перебування об'єкта в зоні спостереження, переміщення об'єкта в забороненому напрямку, залишення предмета і перекидання предмета. Для поліпшення основних характеристик інтелектуальних систем відеоспостереження застосовується синхронізація процесів управління параметрами відеокамер та процесів паралельної обробки зображень і сигналів від нерухомих і поворотних відеокамер, зони спостереження яких перетинаються.

Ключові слова: інтелектуальні системи відеоспостереження, відеоаналітика, цифрова обробка зображень, виявлення тривожних подій, виявлення об'єктів, відстеження об'єктів.

Вступ

Системи відеоспостереження є невід'ємною частиною нашого повсякденного життя. Першим, хто впровадив камери спостереження, став легендарний німецький електротехнік Вальтер Брух, який у 1942 році встановив CCTV-систему (Closed Circuit Television – система телебачення замкнутого контуру) для компанії Сіменс на випробувальному полігоні в Німеччині для моніторингу несправностей під час запуску ракет «V-2». При цьому оператор повинен був невідлучно сидіти перед монітором, тому що запис відеозображень не вівся. Так тривало до 1951 року, поки не з'явилися перші VTR (Video Tape Recorder) пристрої, що записують зображення на магнітну плівку.

Слід зазначити, що запис зображення не звільняє оператора від необхідності брати участь у процесі виявлення тривожних подій. Розпізнавання осіб, визначення місця розташування об'єктів і траєкторій їх переміщення – всі ці функції має виконувати людина, спостерігаючи за зображеннями на моніторі в режимі реального часу, або вивчаючи постфактум архів відео. Оператори систем відеоспостереження виконують монотонну роботу протягом тривалого часу, звідки виникає проблема стомленості і зниження концентрації уваги. Встановлено [1], що при безперервному спостереженні протягом 12 хвилин оператор починає пропускати 45% потенційно тривожних подій, а якщо час спостереження збільшити до 22 хвилин, то відсоток пропуску зростає до 95%. Тому важливою задачею є аналіз відеоінформації без прямої участі людини.

Сучасні системи відеоспостереження стають все більш точними, "розумними" і багатофункціональними. Можливості їх застосування розширюються з кожним роком, а темпи розвитку цифрових технологій обіцяють подальший прогрес у цій сфері.

Метою публікації є розгляд методів виявлення тривожних подій в інтелектуальних системах відеоспостереження.

Методи виявлення тривожних подій

Серед задач цифрової обробки зображень можна виділити дві, пов'язані з рухом об'єктів: розпізнавання рухомих об'єктів і побудова траєкторій їх руху. При вирішенні цих завдань виділяють два типи відеозображень: зняті нерухомою і рухомою камерою, для яких існують свої методи.

Традиційним методом *виявлення руху* на послідовності зображень є обчислення міжкадрової різниці – абсолютної різниці двох послідовних зображень з відеопотоку [2]. В результаті такого обчислення отримують зображення з виділеними областями руху. Найчастіше на такому зображенні складно виділити контури об'єкта, це вдається зробити, тільки якщо об'єкт однотонний і випуклий.

Завдання *відстеження об'єктів* полягає в тому, щоб на основі послідовності зображень побудувати траєкторії руху заданих об'єктів. При цьому послідовність зображень може бути доповнена різною інформацією: об'єктами, виявленими на попередніх кадрах, швидкістю і напрямом їх руху.

Алгоритми виявлення тривожних подій для систем інтелектуального відеоспостереження являють собою набір пов'язаних між собою модулів. В процесі функціонування модуль очікує появи вхідних даних, після чого виконує обчислення і формує дані, які в подальшому будуть передані іншим модулям. Набір модулів може бути конфігурований окремо для кожної з камер або групи камер в залежності від розв'язуваних завдань. Застосування зазначеного підходу дозволяє створити легко масштабовану і розподілену систему.

Алгоритм відстеження рухомих об'єктів складається з двох модулів: детектора рухомих об'єктів і модуля відстеження об'єктів. Окремий модуль аналізує переміщення об'єктів і генерує повідомлення про тривожну подію, яке пересилається оператору системи відеоспостереження.

Детектор рухомих об'єктів послідовно приймає на вхід по одному кадру, який представляє собою матрицю $F=(f_{x,y})$ розміром $W \times H$, і базується на методі вирахування фону. Елемент матриці – значення інтенсивності зображення в точці (x, y) . На виході детектор видає список виявлених об'єктів – структуру, яка містить координати об'єкта на зображенні, його розмір і набір ознак, необхідних для ідентифікації об'єкта на наступних кадрах.

Модуль відстеження об'єктів приймає виявлені об'єкти, а на виході видає інформацію про їх переміщення: час початку і закінчення відстеження, розмір об'єкта, місце розташування й напрямок руху. Модуль працює зі структурою, що носить назву трек. Трек t – це список об'єктів (o_1, \dots, o_n) , виявлених на послідовних кадрах, що містить одну і ту ж множину фізичних об'єктів.

Розглядаються методи виявлення чотирьох типів тривожних подій: поява та перебування об'єкта в зоні спостереження, переміщення об'єкта в забороненому напрямку, залишення предмета і перекидання предмета.

Перші три події розпізнаються за допомогою модуля відстеження рухомих об'єктів, який використовує метод вирахування фону для виявлення об'єктів і аналіз відстаней і гістограм зображень для зіставлення об'єктів, виявлених на різних кадрах.

Для розпізнавання події «перекидання предмета» використовується окремий модуль з спеціальним алгоритмом, який спирається на наступні властивості: об'єкт має невеликий розмір; об'єкт компактний, тобто об'єкт за формою наближений до кола; траєкторія руху – параболічна, до того ж вона залишається параболічною навіть при перспективних перетвореннях зображення.

Перший етап алгоритму визначає області інтенсивного руху, для чого обчислюється міжкадрова різниця. Зображення кинутого об'єкту через високу швидкість руху не перекриваються на сусідніх кадрах, тому на міжкадровій різниці такі об'єкти добре виділені.

Виходячи з малого розміру кинутого об'єкту і його компактності на міжкадровій різниці фільтруються області, що не задовольняють цим властивостям. Після чого на бінарному зображенні шукаються центроїди зв'язаних областей.

На другому етапі відбувається пошук параболічної траєкторії. Для цього використовується алгоритм RANSAC (RANdom SAMple Consensus), представлений Фішлером і Боллесом в 1981 році [3]. Алгоритм є ітеративним методом оцінки параметрів математичної моделі на основі набору даних, що містить велику кількість викидів. У задачі виявлення кинутого предмета математичною моделлю є параболічна траєкторія. Вхідними даними алгоритму є виявлені центроїди. Завдання алгоритму – розділити їх на дві множини: правдиві точки (не викиди), що задовольняють моделі, і неправдиві точки (викиди), шуми – випадкові включення у вхідні дані [4].

Перспективним напрямком вдосконалення розглянутих методів є розробка алгоритмів відстеження об'єктів за допомогою поворотних камер, що спостерігають за однією сценою з різних ракурсів.

Щоб формалізувати поняття «алгоритм виділення рухомих об'єктів», визначимо відеосигнал як послідовність кадрів $\{F_i\}_{i=1}^{\infty}$, у якій кожний кадр F_i можна розглядати як вектор-функцію:

$$F_i: (x, y) \rightarrow (F_i^R(x, y), F_i^G(x, y), F_i^B(x, y)) = (R, G, B),$$

$$x, y, R, G, B \in Z$$

$$1 \leq x \leq W, 1 \leq y \leq H, W \times H - \text{роздільна здатність кадру,} \quad (1)$$

$$0 \leq R \leq 255, 0 \leq G \leq 255, 0 \leq B \leq 255,$$

тобто кожній парі (x, y) координат точки зображення співставляються три числа R, G, B (червоний, синій і зелений кольори відповідно). Таким чином, кадр представляється трьома одновимірними функціями F_i^R, F_i^G, F_i^B . Зазначене подання відповідає формату кадру, який прийнято називати «RGB24».

Алгоритм виділення рухомих об'єктів, який ми позначимо A , є процедурою, яка приймає на вхід один за другим кадри послідовності F_i . Результатом процедури є деяка інформація I_i про рухомі об'єкти. Таким чином, за допомогою алгоритму A для будь-якого натурального N можна побудувати відповідність

$$\{F_i\}_{i=1}^N A \rightarrow I_n \quad (2)$$

Структура інформації I_n залежить від мети, для якої призначений алгоритм A . Наприклад, у відеореєстраторах алгоритми визначення руху виділяють лише факт присутності або відсутності рухомих об'єктів у кадрі, тому $I_n = \{\delta_i\}_{i=1}^N$, де $\delta_i = 1$ $i=1$, якщо алгоритм A виявив рух на i -му кадрі, і $\delta_i = 0$ в іншому випадку. В [5–7] описуються алгоритми виділення руху з більш складними вихідними даними I_n , що містять в собі інформацію про стан об'єктів, які рухаються на поточному та попередніх кадрах. Формально це можна представити у вигляді

$$I_n = \{\Omega_j\}_{j=1}^{M_N}, \Omega_j = \{\omega_i\}_{i=1}^N, \omega_i = (r_i, X_i), \quad (3)$$

де Ω_j - інформація про j -му об'єкті з M_N об'єктів, виявлених алгоритмом A на кадрі N (якщо $M_N = 0$, то $I_n = \emptyset$).

Інформація Ω_j складається з набору даних про об'єкт ω_i на кожному i -му кадрі: r_i - положення об'єкта, а X_i - його властивості. Наприклад, в якості r_i можуть бути координати центру мас зображення об'єкта, або множина всіх координат точок об'єкта (силует), або прямокутна рамка, що обмежує цю множину. В якості X_i може бути клас об'єкта, отриманий в процесі розпізнавання. Якщо об'єкт відсутній на i -му кадрі, то $r_i = \varepsilon$ і $X_i = \varepsilon$, ε - «порожня» характеристика, спеціальне значення, що показує відсутність об'єкта на кадрі або відмову алгоритму A .

Маючи дані I_n в формулі (3), порівняно легко будувати гіпотези про ті чи інші події: аналіз траєкторій об'єктів і їх класифікація дозволяють з деякою вірогідністю автоматично виділяти в зоні спостереження аналітичної відеосистеми події таких типів:

– присутність людини в забороненій зоні

$$\exists N \exists \Omega_j \in I_n \exists \omega_i = (r_i, X_i) \in \Omega_j: \quad (r_i \text{ потрапляє в заборонену зону}),$$

– перехід людини з кроку на біг

$$\exists N \exists \Omega_j \in I_n \exists \omega_i = (r_i, \text{«людина»}) \in \Omega_j \exists K < N: \quad (\text{швидкість уздовж траєкторії } \{r_i\} \text{ до кадру } K; \text{ в кілька разів менше})$$

швидкості після кадру K),

– наявність руху в i -му кадрі

$$\exists \Omega_j \in I_N \exists \omega_i \in \Omega_j: (r_i \neq \varepsilon),$$

– зупинка об'єкта

$\exists N \exists \Omega_j = \{(r_i, X_i)\} \in I_N:$ (цифровий сигнал модуля швидкості уздовж траєкторії $\{r_i\}$ менше шуму цифрового сигналу положення $\{X_i\}$).

Саме достовірне визначення подій по відеосигналу розширює можливості практичного застосування аналітичних відеосистем у різних додатках в порівнянні з відеореєстраторами: оператор таких систем може менше приділяти увагу безпосередньому контролю зображення з відеокамер, орієнтуючись на автоматичні підказки про ситуацію в зоні спостереження.

Інша особливість аналітичних відеосистем, розглянутих в [5, 6], полягає у взаємодії камер поворотних і нерухомих для отримання більш детальних зображень подій на спостережуваній території. Сама ідея використання керовано збільшуваних зображень надзвичайно важлива при використанні аналітичних відеосистем.

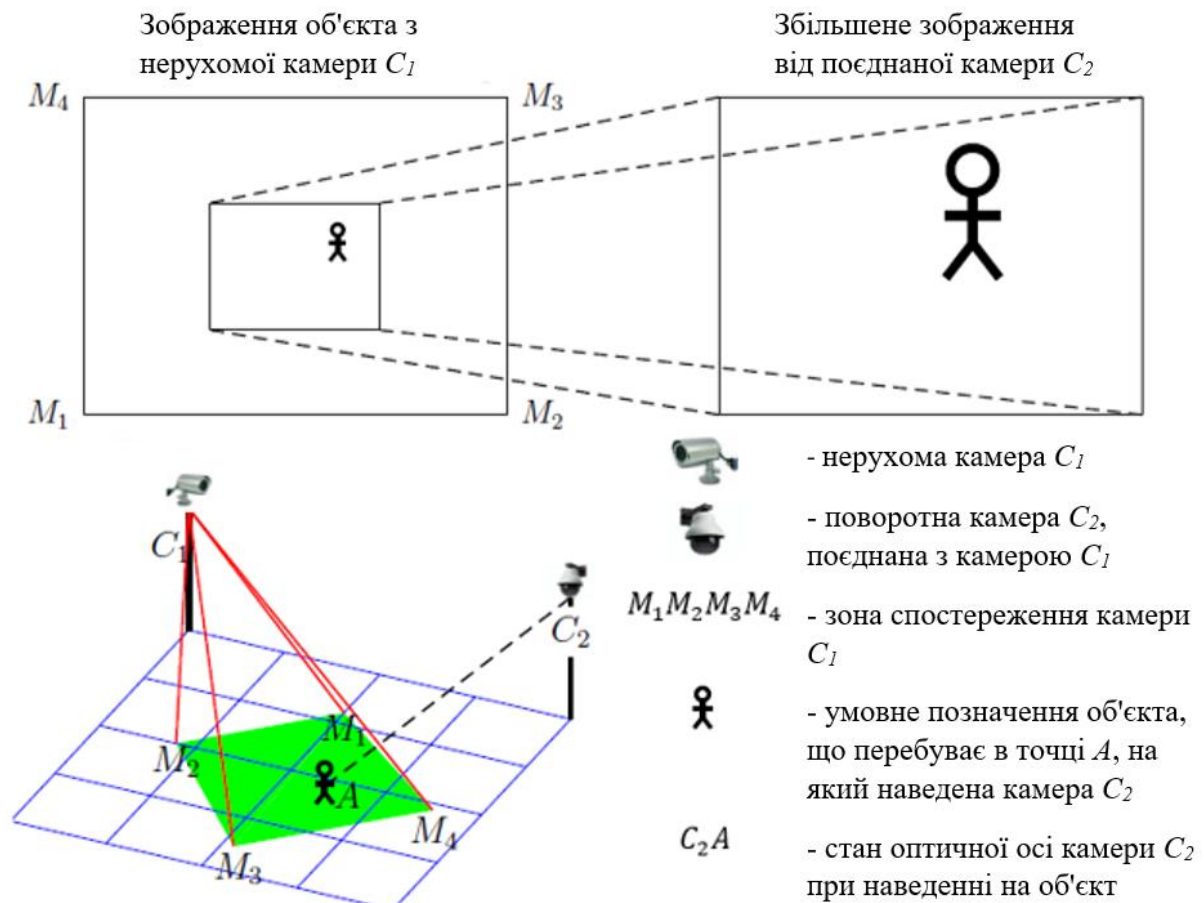


Рисунок 1. Схема поєднання нерухомої і поворотної відеокамер.

Поєднання нерухомої та поворотної відеокамер є операцією пошуку функції, яка кожній області зображення нерухомої камери зіставляє такі параметри управління поворотного пристрою і такі значення збільшення і фокусування об'єктива відеокамери, що при застосуванні даних параметрів зображення поворотної відеокамери є сфокусованим зображенням даної області з оптимальним збільшенням.

Рисунок 1 ілюструє поєднання нерухомої та поворотної відеокамер. В зоні спостереження нерухомої відеокамери C_1 виділена область із зображенням людини, яка перебуває в межах спостереження $M_1M_2M_3M_4$. Поворотна камера C_2 наведена на виділену область, і показує зображення з великим збільшенням і більш високою роздільною

здатністю. Орієнтація осі C_2A визначається кутами повороту, а збільшення – значеннями параметрів управління об'єктиву відеокамери C_2 . Необхідні значення параметрів управління поворотної камери, які задають наведення на потрібну область, визначаються в результаті спеціальної процедури поєднання відеокамер.

Крім поєднання нерухомих і поворотних камер, можуть бути пов'язані дві і більше нерухомих камери, зони спостереження яких перетинаються. Поєднання пари нерухомих камер – це пошук перетворення, що переводить координати точки зображення однієї відеокамери в координати відповідного зображення іншої відеокамери у випадку, коли зони огляду відеокамер перетинаються.



Рис. 2. Поєднання нерухомих відеокамер

Приклад поєднання відеокамер представлений на рис. 2. На зображеннях камер із спільною зоною огляду відзначені дві четвірки точок, що відповідають зображенню одних і тих же об'єктів. За допомогою перетворення координат повинні переводитися, наприклад, визначені точки зображення лівої камери у визначені точки зображення правої камери. Спосіб обчислення перетворення координат визначається в процесі поєднання пари нерухомих камер.

Основна мета поєднання полягає в співставленні інформації, одержуваної при обробці відеосигналів від різних камер. Припустимо, що дві відеокамери поставляють синхронізовані за часом потоки кадрів $\{F_i^1\}_{i=1}^{\infty}$ і $\{F_i^2\}_{i=1}^{\infty}$, відповідно. Після застосування алгоритму виділення і класифікації рухомих об'єктів A в перших N кадрах послідовностей одержимо інформацію $I_N^1 = \{\Omega_j^1\}$ і $I_N^2 = \{\Omega_j^2\}$ про об'єкти від першої і другої камер у формулі (3).

Поєднання двох відеокамер із спільною зоною огляду дозволяє виявити для деяких об'єктів з I_N^1 і I_N^2 відповідність, тобто визначити, що обидва об'єкти є зображенням одного фізичного об'єкта. Якщо встановлено відповідність $\Omega_k^1 \leftrightarrow \Omega_m^2$ то можна говорити про «узагальнений об'єкт» $\{\Omega_k^1, \Omega_m^2\}$, який є сукупною інформацією про переміщення одного фізичного об'єкта в зоні спостереження поєднаних відеокамер системи.

Узагальнені об'єкти дозволяють більш гнучко аналізувати події, що відбуваються в зоні огляду, наприклад, якщо об'єкти Ω_k^1 і Ω_m^2 ($\Omega_k^1 \leftrightarrow \Omega_m^2$) задіяні в ситуації, що проаналізована як тривожна, то повідомлення оператору має бути видано одне, а не два. Крім того, можна виділяти складніші події, ніж було вказано раніше, наприклад, можна виділити узагальнені об'єкти, що побували в полі зору різних відеокамер в спеціально зазначеній послідовності.

Як наведення поворотних камер на рухомі об'єкти, так і співставлення об'єктів, вимагає синхронної обробки даних в паралельних модулях аналізу відеосигналу. Наприклад, в попередньому прикладі для співставлення об'єктів повинні бути синхронізовані в часі послідовності кадрів з двох відеокамер, а модулі обробки відеосигналу нерухомих камер повинні обмінюватися інформацією про об'єкти в спільній зоні спостереження, тобто

синхронізувати дані про становище об'єктів між собою. Модулі управління поворотними відеокамерами також повинні синхронізувати дані з нерухомими відеокамерами про положення і швидкість об'єктів в зоні спостереження.

Синхронізація – це способи обміну даними між паралельними оброблювачами відеосигналів камер, поєднаних між собою, а також алгоритми взаємодії оброблювачів аналітичної відеосистеми, наприклад, для наведення поворотних відеокамер на об'єкти або для співставлення об'єктів з певних нерухомих відеокамер. Особливий вид поєднання, введений в [5, 6] для аналітичних відеосистем, – поєднання плану місцевості (топографічної карти) з нерухомими камерами для того, щоб підвищити ергономічні характеристики системи. Сенс поєднання полягає в тому, що поля зору камер системи, а також виділені за допомогою аналізу відеосигналу події, відображаються на зображенні карти місцевості, де ведеться спостереження. За допомогою представлення інформації на плані місцевості вдається полегшити сприйняття оператором системи інформації про події, що відбуваються в зоні спостереження.

Висновки

Розглянуті методи можуть використовуватись незалежно від типів відеокамер, задіяних в інтелектуальній системі спостереження. Однак слід враховувати, що збільшення кількості камер призводить до суттєвого збільшення трафіку через локальну обчислювальну мережу за рахунок передачі більшої кількості кадрів. Відповідно, зростуть потік інформації, що надходить на вхід алгоритму розпізнавання, та його складність.

Перспективними напрямками подальших досліджень є:

- удосконалення методів виявлення та відстеження об'єктів для підвищення чутливості і швидкості роботи розглянутих алгоритмів шляхом оптимізації та паралелізації обчислень, зокрема перенесення операцій обробки зображень на обчислювальні потужності графічних прискорювачів;
- розробка модулів класифікації об'єкта (людина, машина, тварина, предмет) і ідентифікації об'єкта (розпізнавання осіб для ідентифікації людей і автомобільних номерів для ідентифікації транспортних засобів) та їх інтеграція з існуючими модулями.

Перелік посилань

1. Ainsworth T. Buyer Beware // Security Oz. 2002. Vol. 19. P. 18–26.
2. Singla M. Motion Detection Based on Frame Difference Method International // Journal of Information & Computation Technology. 2014. Vol. 4. No. 15. P. 1559–1565.
3. Fischler M. A., Bolles R. C. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography // Communications of the ACM 24. 1981. P. 381–395.
4. Гордин М. С., Иванов С. А. Алгоритмы обнаружения тревожных событий для систем автоматизированного видеонаблюдения // Вестн. НГУ. Серия: Информационные технологии. 2017. Т. 15, № 3. С. 21–30.
5. Kanade T., Collins R., Lipton A., Anandan P., Burt P., Cooperative multisensor video surveillance. Proc. of the DARPA Image Understanding Workshop, May 1997, volume 1, pp. 3–10.
6. Kanade T., Collins R., Lipton A., Burt P., Wixson L. Advances in cooperative multisensor video surveillance. Proc. of the DARPA Image Understanding Workshop, November 1998, volume 1, pp. 3–24.
7. Haritaoglu I., Harwood D., Davis L. S. W4: real-time surveillance of people and their activities. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, №8, vol. 22, pp. 809–830.

Надійшла: 09.08.2019

Рецензент: д.т.н., професор Барабаш О.В.