

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ КІЛЬКОСТІ Й ОЦІНКИ РЕЖИМУ РУХУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА КОНТРОЛЬНО-ПЕРЕПУСКНИХ ПУНКТАХ

Запропоновано програмну систему, що дає змогу в режимі реального часу аналізувати відеопотоки камер спостереження, розташованих на контрольно-перепускних пунктах промислових об'єктів, ідентифікувати й обчислювати кількість автотранспортних засобів.

Ключові слова: *аналіз, програмна система, автоматизація, відеопотоки.*

Предложено программную систему, что позволяет в режиме реального времени анализировать видеопотоки камер наблюдения расположенных на контрольно пропускных пунктах промышленных объектов, идентифицировать и вычислять количество автотранспортных средств.

Ключевые слова: *анализ, программная система, автоматизация, видеопотоки.*

We purpose an algorithm and software system that enables real-time analysis of videostreams from cameras at security checkpoints industrial facilities, to identify and compute the number of vehicles.

Key words: *analysis, software system, automation, videostreams.*

Вступ та постановка задачі. Автоматизація процесу аналізу кількості й оцінки режиму руху автотранспортних засобів на контрольно-перепускних пунктах є одним із важливих завдань, що ставляться до сучасних систем безпеки на основі відеоспостереження з використанням програмних засобів машинного зору. Одними з основних характеристик таких систем є правильність ідентифікації транспортного засобу (що є об'єктом інтересу), а також визначення його положення в кадрі в режимі реального часу. Незважаючи на те, що станом на сьогодні опубліковано багато наукових праць, присвячених розробці алгоритмів обчислення кількості та аналізу напрямку руху автотранспортних засобів, переважна більшість із них призначені для використання в умовах шосейних автошляхів, на яких у полі зору камери відеоспостереження практично відсутні зміни швидкості й тимчасові зупинки рухомих об'єктів. Враховуючи це, такі алгоритми не можуть бути застосовані для правильності ідентифікації транспортних засобів на контрольно-перепускних пунктах.

Метою роботи є розробка алгоритму та програмної системи, що дає змогу в режимі реального часу аналізувати відео потоки, отримані з камер відеоспостереження, розміщених на контрольно-перепускних пунктах промислових об'єктів, виявляти, здійснювати супровід та

обчислювати кількість автотранспортних засобів. Основною технічною вимогою до алгоритму є здатність враховувати зміну швидкості й часткові зупинки автотранспортних засобів у режимі реального часу.

У процесі роботи система аналізує кадри зображення на наявність руху, створює бінарну маску кожного кадру, на якому виявлено рух, і аналізує положення та розміри кожного об'єкта. Створення бінарної маски виконано на основі адаптивного алгоритму виділення фону та застосування морфологічного фільтра для згладжування кадру зі структурним елементом розміром 3. Це використовується для того, щоб отримати інформацію про наявність автотранспортних засобів. Далі для кожного сегментованого об'єкта, що є транспортним засобом, відбувається побудова траєкторії руху й аналіз послідовності перетину траєкторією умовних ліній при в'їзді на територію або при виїзді.

Для отримання вхідного відеопотоку необхідно застосовувати плату апаратної компресії відеосигналу або IP-камеру, що мають вбудований апаратний детектор руху. Для реалізації системи використано плату компресії відео- та аудіосигналів моделі «DS-4004 HCl» виробництва «Hangzhou Hikvision Digital Technology Co., Ltd». Цей пристрій має апаратний компресор відеосигналів стандарту H.264 та алгоритм

декодування аудіосигналів «OggVorbis Audio» у реальному режимі часу (4CIF 25 кадрів/с PAL або 30 кадрів/с NTSC). Окрім того, перевагою у використанні пристрою є такі функції, як: динамічне налаштування бітрейту, контроль частоти кадрів, контроль режиму передачі кадрів, динамічний контроль якості зображення, контроль втрати сигналу, а також можливість задавати індивідуальні параметри для налаштування кожного з каналів декодування. Апаратний детектор руху пристрою «DS-4004 HCI» є незалежним від компресії відеопотоку. Його можна використовувати як за частоти 25 кадрів/с так і за інших нижчих частот кадрів, які підтримує пристрій. При апаратному детектуванні руху кожен кадр поділяється на блоки розміром 32×32 пікселі. Завдяки використанню пристрою апаратної компресії відеосигналу й апаратного детектора руху програмна система дасть змогу значно знизити використання системних ресурсів завдяки розвантаженню ЦП і тому, що стає відсутньою потреба аналізу кожного кадру відеопослідовності на наявність руху.

Важливим питанням є також розташування камери відеоспостереження. У цьому випадку камера повинна бути розташована безпосередньо зверху від рухомих об'єктів. Висота розташування камери залежить від об'єктиву камери і від ширини в'їзду. При цьому розмір автотранспортних засобів повинен становити не менше 20-25 % від розміру кадру. Зображення кадру вхідного відеопотоку наведено на рис. 1(а).

Аналіз досліджень та публікацій. До методів супроводу рухомих об'єктів належать: методи, що базуються на моделі об'єктів; методи, що базуються на представленні об'єктів; методи, що використовують інформацію про контур; методи, що базуються на особливостях зображення.

Методи, що базуються на моделі об'єктів [1], використовують апріорну інформацію про форму типових об'єктів, які зустрічаються в кадрах відеопотоку. Визначення параметризованих моделей об'єктів дає змогу відслідковувати об'єкти, що частково перекриваються. Цей метод має високу обчислювальну складність і не дозволяє відслідковувати об'єкти, що не містяться в базі даних. Методи, що базуються на представленні об'єктів, відслідковують зв'язані області, які приблизно відповідають зображенням об'єктів [2], [3]. Стратегія відслідковування оперує інформацією, що отримана для області загалом. Наприклад, такою інформацією може бути рух, колір або текстура. Методи, що використовують інформацію про контур, переносять положення контуру об'єкта на наступні кадри й адаптують його відповідно до положення об'єкта в кадрі [4]. Такий підхід має високу обчислювальну складність, а перенесення, пов'язані з деформаціями об'єкта, не можуть бути коректно оброблені. Одним із покращень такого методу є використання моделі деформованого об'єкта, як, наприклад, моделі

активних контурів або сітки [5], [6]. Представлення об'єкта на основі контуру може зменшити обчислювальну складність алгоритму. Воно дає можливість відслідковувати жорсткі та деформовані об'єкти, але не має можливості відслідковувати об'єкти, що перекриваються. Щоб вирішити проблему часткового перекривання об'єктів, можна застосовувати фільтр Калмана і вимірювання оптичного потоку [7]. Сітки також використовують для відслідковування об'єктів. Це представлення руху і форми об'єкта базується на припущенні, що початковий вигляд об'єкта можна визначити, і рух об'єкта можна описати за допомогою кускового афінного перетворення.

До четвертої групи методів супроводу належать методи, що використовують особливості зображення об'єкта для відслідковування переміщення частин об'єкта. Таких методів розроблено декілька. Наприклад, у методі, що наведений у [8], відслідковуються кути об'єктів.

Сегментація рухомих об'єктів. Побудова бінарної маски. Для виділення фону й рухомих об'єктів використовується метод біжучого середнього. Належність пікселя до фону або до рухомого об'єкта визначається на основі відхилення значення (яскравості) пікселя в поточному кадрі від його статистичної оцінки в моделі фону. При застосуванні методу біжучого середнього аналізується кожен піксель кадру відеопотоку. Модель фону складається з імовірнісних моделей кожного пікселя кадру на основі нормального розподілу, що характеризується математичним очікуванням і дисперсією випадкової величини. Для кожного кадру відеопотоку виконується оновлення цих величин за виразами:

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

де I_t – значення яскравості пікселя, що аналізується; μ , σ^2 – значення математичного очікування і дисперсії Гаусового розподілу; ρ – ваговий коефіцієнт, що визначає швидкість оновлення (переважно приймається рівним 0,01); d – Евклідова відстань.

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

$$|I_t - \mu_t| > k \sigma_t, \quad (2)$$

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

Якщо нерівність (2) виконується, то піксель кадру з інтенсивністю I_t сегментується як передньоплановий, інакше – як піксель фону.

Також процес оновлення значення μ_t можна виконувати тільки для тих пік селів, які класифікуються як фонові, скориставшись замість нерівності (2) виразом:

$$B_{t+1} = B_t + (\alpha_1 \cdot (1 - M_t) + \alpha_2 \cdot M_t) \cdot D_t, \quad (3)$$

де B_t – модель фону у момент часу t ; D_t – різниця між поточним кадром і моделлю фону; M_t – бінарна маска; α_1, α_2 – коефіцієнти, що залежать від швидкості зміни фону.

На етапі сегментації окремі пікселі бінарної маски M_t , які були класифіковані як передньо-планові, необхідно об'єднати в регіони за допомогою морфологічної операції умовного нарощування. Структурним елементом S при цьому є вікно розміром 3. 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 по відношенню до M_t^* є операція:

$$M_t^* \oplus_{M_t^*} S = M_{t,m}^*, \quad (4)$$

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

Результати побудови бінарної маски та її обробки шляхом застосування операції умовного нарощування наведено на рис. 1(б) та рис. 1(в).

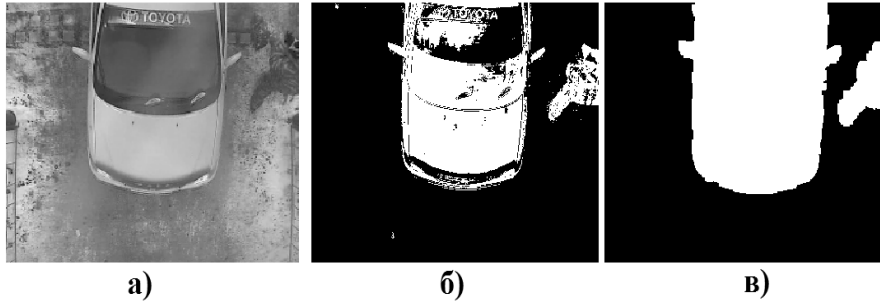


Рис. 1. Результат побудови бінарної маски: (а) – кадр відео потоку; (б) – бінарна маска; (в) – застосування морфологічної операції умовного нарощування

Супровід рухомих об'єктів. Виділення сегментованих рухомих об'єктів, що представляють транспортні засоби, виконано на основі обчислення зміни відношення площі кожного об'єкта на попередньому та поточному кадрах. Для обчислення площі рухомого об'єкта використано метод, що базується на ланцюгових кодах [9]:

$$A = \sum_{i=1}^n c_{ix} (y_{i-1} + \frac{1}{2} c_{iy}), \quad (5)$$

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



Рис. 2. Результат обчислення кількості і визначення напрямку руху автомобілів: (а) – кадр відеопотоку; (б) – результат роботи алгоритму

Для супроводу рухомих об'єктів на основі принципу найближчого сусіда, тобто коли кожній точці траєкторії на наступних кадрах ставиться у відповідність найближча точка траєкторії на попередньому кадрі. Для будь-яких точок траєкторії можна визначити вектор різниці:

$$V_{i,t} = x_{i,t+1} - x_{i,t}, \quad (6)$$

де t – момент часу коли спостерігається i -та точка траєкторії ($x_{i,t}$).

На основі різниці векторів, що входять і виходять із точки траєкторії $x_{i,t}$, можна визначити гладкість напрямку в цій точці, обчисливши скалярний добуток цих векторів, а також гладкість швидкості на основі порівняння середньо-арифметичної та середньогометричної довжин цих векторів.

$$S_{i,k} = w \left(\frac{V_{i,t-1} \circ V_{i,t}}{|V_{i,t-1}| |V_{i,t}|} \right) + (1-w) \left(\frac{2\sqrt{|V_{i,t-1}| |V_{i,t}|}}{|V_{i,t-1}| + |V_{i,t}|} \right), \quad (7)$$

де w – ваговий коефіцієнт, що приймається в межах від 0 до 1.

Результати експериментальних досліджень. Випробування програмної системи проводились на стенді, що максимально відтворює реальні умови відеоспостереження. Вхідний відеопотік складається з фрагментів, що були записані з чотирьох камер відеоспостереження, розміщених на контрольно-перепускних пунктах промислового об'єкта в різний час доби і за різних погодних умов. Сумарна тривалість відеопотоку –

10 годин. Джерело відеосигналу – стандартна камера відеоспостереження з аналоговим виходом PAL (704 x 576 x 12 кадрів/с). Налаштування алгоритму для всіх фрагментів тестової послідовності не змінювались. За заданих для обліку напрямів руху автотранспортних засобів робота алгоритму в реальному часі була безпомилковою. Розроблена програмна реалізація не містить жодних оптимізаційних процедур, що свідчить про певний запас швидкості в її фінальній реалізації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Koller D. Model-based object tracking in monocular image sequences of road traffic scenes / D. Koller, K. Danilidis, H. Nagel // International Journal of Computer Vision. 10-3. – 1993. – P. 257–281.
2. Meier T. Automatic segmentation of moving objects for video object plane generation / T. Meier, K. Ngan // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. – Vol. 8. Issue: 5. – 1998. – P. 525–538.
3. Wang D. Unsupervised video segmentation based on watersheds and temporal tracking / D. Wang // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. – Vol. 8. Issue: 5. – 1998. – P. 539–546.
4. Gu C. Semiautomatic segmentation and tracking of semantic video objects / C. Gu, M.-C. Lee // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. – Vol. 8. Issue: 5. – 1998. – P. 572–584.
5. Gnsel B. Content-based access to video objects: Temporal segmentation, visual summarization, and feature extraction / B. Gnsel, A. M. Tekalp, P. J. van Beek // Signal Processing. – Vol. 66. – Issue 2, 1998. – P. 261–280.
6. Zhao J. W. An object tracking algorithm based on occlusion mesh model / J. W. Zhao, P. Wang, C. Q. Liu // In Proceedings of International Conference on Machine Learning and Cybernetics, November 4-5, 2002, Beijing, China. – Vol. 4. – P. 0_1-0_23.
7. Peterfreund N. Robust tracking of position and velocity with Kalman snakes / N. Peterfreund // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.: 21, Issue: 6. – 1998. – P. 564–569.
8. Beymer D. A real-time computer vision system for measuring traffic parameters / D. Beymer, P. McLauchlan, B. Coifman, J. Malik // In Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 17-19 Jun 1997. San Juan, Puerto Rico. – P. 495–501.
9. Luren Yang, Fritz Albregtsen. Methods to estimate areas and perimeters of blob-like objects: a comparison. IAPR Workshop on Machine Vision Applications, Dec. 13-15, 1994. – Kawasaki. – P. 272–276.

© Пелешко Д. Д., Іванов Ю. С., 2013

Дата надходження статті до редколегії 25.03.2014 р.

ПЕЛЕШКО Дмитро Дмитрович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних технологій видавничої справи Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів.

Коло наукових інтересів: системи розпізнавання образів, системи штучного інтелекту.

ІВАНОВ Юрій Сергійович – аспірант кафедри інформаційних технологій видавничої справи Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів.

Коло наукових інтересів: системи розпізнавання образів, системи штучного інтелекту.