

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ЗОБРАЖЕНЬ В СИСТЕМАХ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ

В статті узагальнено основні підходи математичної обробки зображень. Запропоновано загальний підхід до формування моделей електронних зображень. Приведено методику формування математичних моделей дискретних електронних зображень систем спостереження. Запропоновано ряд моделей електронних зображень для конкретних умов спостереження. Показано, що їх застосування дає змогу формалізувати процес виявлення і супроводження окремих об'єктів в різних умовах спостереження. Запропоновано метод параметричної ідентифікації елементів зображення.

Ключові слова: електронне зображення, об'єкт спостереження, супроводження, виявлення, модель, параметрична ідентифікація.

O.M SHYNKARUK, M.O. LANTVOYT, O.D. KRUTS

Khmelnitsky National University

MATHEMATICAL SIMULATION OF ELECTRONIC IMAGES IN CCTV

Abstract – This paper summarizes the main approaches of mathematical image processing. A general approach to develop models of electronic images. Estimation procedure of forming mathematical models of discrete electronic imaging surveillance systems. A number of models of electronic images for specific conditions of observation. Shown that their use allows one to formalize the process of identification and support of individual objects in different conditions of observation. The method of parametric identification of image elements. Shown that the application of the method makes it possible to increase the relative pikfaktor. The results of simulations that allow to evaluate the effectiveness of the algorithms follow objects in monochromatic electron image.

Keywords: electronic image, object surveillance, tracking, detection, model, parametric identification.

Сучасні тенденції в розвитку охоронних систем та комплексів свідчать про інтенсивне застосування різних підсистем автоматизованого дистанційного контролю. Невід'ємною частиною цих систем, є засоби відео спостереження, що виконують роль джерел первинної інформації в зоні, що контролюється. Проте, як показує аналіз, ефективність підсистем спостереження в значній мірі залежить від рівня автоматизації процесів виявлення порушників (або ознак порушення), оскільки візуальний моніторинг великої кількості інформації виключно оператором, або фізично не можливий, або має низьку ефективність [1]. Таким чином, не маючи достатньо ефективних елементів автоматизації пошуку та виявлення порушників охоронний комплекс в цілому характеризується низькою ефективністю застосування. При цьому, не зважаючи на те, що в радіотехнічній теорії питання автоматизації процесів виявлення цілей вирішуються достатньо ефективно, в умовах застосування оптичних систем спостереження вони потребують певного удосконалення. Це обумовлено тим, що задачу виявлення сторонніх об'єктів на зображенні необхідно розв'язувати зі значним підвищенням вимог до достовірності, як за показником ймовірності хибної тривоги так і за показником ймовірності пропуску сигналу, оскільки їх ціна однаково висока, при цьому вимоги до правильного виявлення так само підвищені як і до правильного не виявлення [2, 3].

В даній статті розроблено ряд математичних моделей дискретних зображень в різних умовах спостереження, що дають змогу більш ефективно формалізувати електронні зображення в процесі супроводження і запропоновано метод параметричної ідентифікації елементів зображення що дає змогу підвищити ефективність алгоритмів супроводження об'єктів саме в умовах монохроматичного електронного зображення.

В реальних системах спостереження об'єкти, що представляють інтерес з точки зору виявлення, ідентифікації та супроводження, в більшості випадків, мають відносно малу площу на загальному зображенні, яке представляє собою неоднорідний розподіл інтенсивності. Вирішення задачі автоматичного виявлення і супроводження ускладнюється ще й тим, що в засобах оптикоелектронного спостереження (за винятком звичайних відеокамер в денних умовах) зображення містить тільки яркісну компоненту, а отже вихідною інформацією про об'єкт спостереження в ході його виявлення та супроводження може бути його контур або або яркісний розподіл в певній зоні [2]. Це вимагає застосування певних алгоритмів «портретування» і селекції за комплексними ознаками. Для прикладу, в деякому загальному випадку, розподіл інтенсивності на зображенні може мати вигляд, що показаний на рис. 1, на якому множина, що позначена E_n є множиною точок зображення, яка відповідає всьому полю зору ОПЗ. Це зображення може піддаватись обробці на етапі первинного виявлення об'єктів, оскільки на етапі вимірювання їх координат (з метою подальшого спостереження) необхідно сканувати деяку область зображення, що містить об'єкт. Ця область може виступати в якості множини точок зображення, що спостерігається L_n . В зоні спостереження присутня множина точок фону G_n і множина точок об'єкту спостереження H_n . Будемо вважати, що центр зображення розташовується в точці, що відповідає прогнозованим координатам об'єкта спостереження

$(\bar{\lambda}_{hy}(n), \bar{\lambda}_{hx}(n))$. Таким чином, на різних етапах розв'язання задачі виявлення та супроводження об'єктів, в якості електронного зображення може виступати як велике зображення, так і його ділянки.

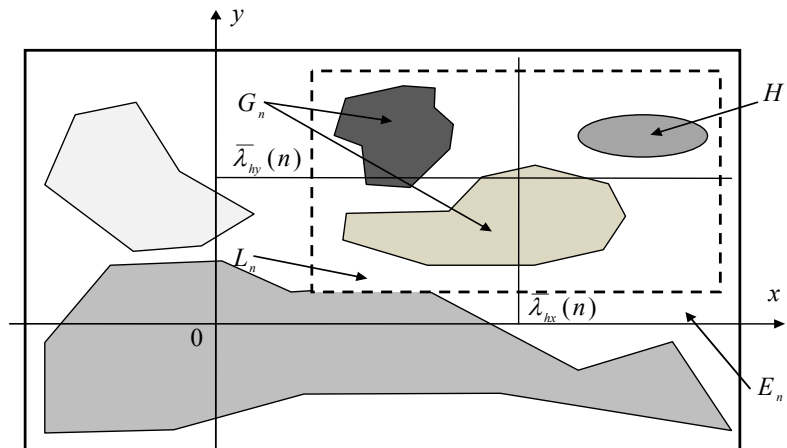


Рис. 1. Представлення відеозображення, як сукупності множин окремих точок

При побудові узагальнених моделей дискретного електронного зображення розглянемо три випадки, що найбільш притаманні умовам відеоспостереження: статична система спостереження – рухомий об'єкт; динамічна система спостереження – нерухомий об'єкт; динамічна система спостереження – рухомий об'єкт.

В першому випадку модель електронного зображення може бути представлена у вигляді [1]:

$$L(n) = R(n)H(n) + (I + R(n))G(n) + \Xi(n), \quad (1)$$

де $L(n)$ – зображення, що спостерігається L_n , яке представлено у формі вектора; $H(n)$ – вектор, що відповідає зображенню H_n ; $G(n)$ – вектор, що відповідає зображенню фону G_n ; $\Xi(n)$ – вектор шуму; $R(n)$ – квадратна діагональна матриця, елементи якої $r_{i,i} = \{0, 1\}$; I – одинична матриця.

Для кожної точки $(i, j) \in L_n$, вираз (21) можна переписати як [1]

$$l(i, j, n) = r(i, j, n)h(i, j, n) + (1 - r(i, j, n))g(i, j, n) + \xi(i, j, n) = s(i, j, n) + \xi(i, j, n),$$

де $l(i, j, n)$ – елементи зображення, що спостерігається в поточному кадрі; $h(i, j, n)$ – елементи зображення об'єкта; $g(i, j, n)$ – елементи зображення фону; $\xi(i, j, n)$ – нормальний, некорельований між кадрами і в просторі флуктуаційний шум з нульовим середнім і дисперсією D ; $s(i, j, n)$ – елементи зображення, що не спотворюються адитивним шумом;

$$r(i, j, n) = \begin{cases} 1, & (i, j) \in H; \\ 0, & (i, j) \notin H. \end{cases}$$

Модель прийме більш простий вигляд, якщо прийняти, що фон рівномірний і при цьому відняти постійну складову:

$$l(i, j, n) = r(i, j, n)h(i, j, n) + \xi(i, j, n) \quad (2)$$

Якщо вирішується задача для декількох об'єктів спостереження, тоді при припущенні, що об'єкти не перекриваються на зображенні і представляють собою групи пов'язаних точок, модель (2) також може бути використана, але в цьому випадку необхідно її трансформувати до вигляду:

$$l(i, j, n) = \sum_{k=1}^m r_k(i, j, n)h_k(i, j, n) + (1 - \sum_{k=1}^m r_k(i, j, n))g(i, j, n) + \xi(i, j, n), \quad (3)$$

де $h_k(i, j, n)$ – яскравість k -го об'єкту в точці (i, j) , що йому належить; m – загальна кількість об'єктів;

$$r_k(i, j, n) = \begin{cases} 1, & (i, j) \in H_k; \\ 0, & (i, j) \notin H_k. \end{cases}$$

В другому випадку елементами вектора $G(n)$ є яскравості $g(i, j, n)$ у точках (i, j) в n -му кадрі. Якщо фон на зображенні є нерухомим і незмінним, нехтуючи ефектами дискретизації, можна записати

$$G(n) = G(n-1) \quad \text{або} \quad g(i, j, n) = g(i, j, n-1), \quad (i, j) \in G_n, \quad (4)$$

тобто, фон в кожній точці постійний в часі і визначається деяким початковим станом. Якщо вважати початковий стан $G(0)$ випадковим гаусівським вектором, то необхідно задати математичне очікування mG і коваріаційну матрицю K_G цього вектора. Враховуючи, що вектор $G(n)$ містить N^2 елементів, матриця

K_G буде містити N^4 елементів. Очевидно, що при значних розмірах зображень (а вони можуть перевищувати 1000x1000 елементів) виникають труднощі вже на етапі зберігання таких матриць. Крім того, далеко не очевидним є вибір коефіцієнтів кореляції між елементами зображення, тому що реальні зображення по цьому параметру можуть суттєво відрізнятися. Будемо вважати, що матриця K_G є діагональною з дисперсіями D_G на головній діагоналі. Враховуючи різноманіття можливих законів зміни яскравості (температури) в часі, що обумовлюється різними факторами і при цьому невелику швидкість змін у порівнянні з темпом формування кадрів, модель зображення може бути представлена у вигляді:

$$g(i, j, n) = g(i, j, n-1) + \omega(i, j, n-1), \quad (5)$$

де $\omega(i, j, n) - N(0, D_\omega)$ – процес, некорельований в часі, що протікає незалежно в кожній точці зображення, $\sqrt{D_\omega} \ll m_g(i, j, 0)$.

Початковий стан $g(i, j, 0)$ – це гаусівська випадкова величина з відомими додатними середнім і дисперсією. Слід зазначити, що зображення об'єкта H_n представляє собою множину пов'язаних точок з відповідними яркостями, що мають певні координати. При цьому дві точки об'єкта вважаються пов'язаними, якщо вони відстоять один від одного не більше ніж на $\sqrt{2}\Delta$, де Δ – інтервал просторової дискретизації.

В третьому випадку для розв'язку задачі синтезу алгоритмів виявлення, виділення і оцінки параметрів об'єктів поряд з моделями стану яркостей, необхідно задатися моделями руху. Вважаючи фон нерухомим, розглянемо модель руху зображення об'єкта. Вважаючи, що об'єкт на зображенні представлений пов'язаною сукупністю точок, що переміщується уздовж осей координат від кадру до кадру, запишемо рівняння стану у вигляді

$$\Lambda_h(n) = C\Lambda_h(n-1) + \theta(n-1), \quad (6)$$

де $\Lambda_h(n) = [\lambda_{hx}(n) \ \lambda_{hy}(n)]^T$ – вектор, що складається із координат центру об'єкту і їх похідних; C – матриця динаміки; $\theta = [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4]^T - N(0, K_\theta)$ – векторний білий шум.

При відсутності другого доданка в (20) буде моделюватися прямолінійний рух, обумовлений початковим станом $\Lambda_h(0)$.

Опираючись на запропоновані моделі, можна стверджувати, що ефективність селектування і супроводження елементу зображення H в першу чергу залежить від того яким чином і в якому об'ємі сформована інформація про нього. Одним із варіантів представлення, є параметрична ідентифікація, що знаходить широке застосування в радіолокації.

Оптичні, локальні зображення елементів зображень об'єктів, отримані з використанням ПЗЗ-матриць так само можуть бути використані для ідентифікації і розпізнавання об'єктів на відеозображенні, при чому в режимі реального часу.

Комплексне електронне зображення в площині декількох елементів, є залежністю від дальності і кута (відносно центральної точки) значень комплексної обвідної прийнятого сигналу, розсіяного і-ми елементами об'єкту в площині зв'язаних точок

$$\dot{x}(r, \varphi) = \sum_{i=1}^N \dot{u}_i \dot{s}(r - r_i) G_{oc}(\varphi - \varphi_i) + \dot{\eta}(r, \varphi), \quad (7)$$

де \dot{u}_i – комплексна амплітуда; φ_i – кутова координата i -го елемента; r_i – координата дальності; $s(r)$ – обвідна сигналу; G_{oc} – характеристика направленості оптичної системи; $\dot{\eta}(r, \varphi)$ – комплексна обвідна білого гаусівського шуму в смугі довжин хвиль.

Математична модель електронного зображення об'єкту в межах інтервалу по відстані $[r_{\min}, r_{\max}]$ і інтервалу по куту $[\varphi_{\min}, \varphi_{\max}]$ може бути представлена в наступному вигляді:

$$\dot{x}[n, m] = \sum_{i=1}^N \dot{u}_i \dot{s}(\rho_n - r_i) G_{oc}(\theta_m - \varphi_i) + \dot{\eta}[n, m], \quad (8)$$

де ρ_n, θ_m - дискретні значення відстані і кута.

Для дискретного комплексного електронного зображення об'єкту може бути розраховане його двовимірне дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) за формулами:

$$X[v, \mu] = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} \dot{x}[n, m] e^{-j2\pi \left(\frac{v}{N}n + \frac{\mu}{M}m \right)}. \quad (9)$$

Для отримання характеристики розсіяння об'єкту в спектральній області $\dot{Y}[v, \mu]$ дискретного електронного зображення необхідно компенсувати певну вагову функцію $\dot{D}[v, \mu]$ для двовимірного ДПФ.

Для формування портрету, необхідно сформувати дві вибірки відліків двовимірної послідовності $\dot{Y}[v, \mu]$, при $v = 0$ і $\mu = 0$.

З вектору даних $\dot{y} = [\dot{y}_0, \dot{y}_1, \dot{y}_2, \dots, \dot{y}_{K-1}]^T$ отриманого для кожної послідовності спектральних відліків в наступному вигляді: $\dot{y}_k = \{\dot{y}_\theta[k], \dot{y}_\rho[k]\}$, необхідно сформувати матрицю даних, що має вигляд матриці Ханкеля. Оцінки положення i -го центру розсіяння можуть бути отримані по формулах:

$$\begin{pmatrix} r_i \\ \varphi_i \end{pmatrix} = -\frac{\arg \begin{pmatrix} \dot{z}_{\theta_i} \\ \dot{z}_{\rho_i} \end{pmatrix}}{2\pi} \left(\begin{pmatrix} r \\ \varphi \end{pmatrix}_{\max} - \begin{pmatrix} r \\ \varphi \end{pmatrix}_{\min} \right) + \begin{pmatrix} r \\ \varphi \end{pmatrix}_{\min}, \quad (10)$$

де \dot{z}_θ і \dot{z}_ρ – значення полюсів послідовностей спектральних відліків $\dot{y}_\theta[v]$ і $\dot{y}_\rho[\mu]$, відповідно, отримані з використанням методу матричних променів.

Для перевірки адекватності розроблених моделей, в роботі проведено імітаційне моделювання оцінки форми поверхні об'єкту, що було проведено в середовищі MathCAD шляхом синтезу моделі електронного зображення точкового об'єкту в растрі чотирьох елементів. Оцінка ефективності даного підходу була оцінена за відносними значеннями показника пік-фактору електронного зображення (рис. 2). Як видно з рисунку, навіть при не великій розрядності моделі, виграв сягає не менше 10%, що значно підвищує ефективність алгоритмів виявлення та супроводження. Крім того, спостереження поведінки розсіюючих властивостей об'єкту по обмеженому числу його «блискучих» точок може бути практично використано навіть для розпізнавання об'єктів спостереження.

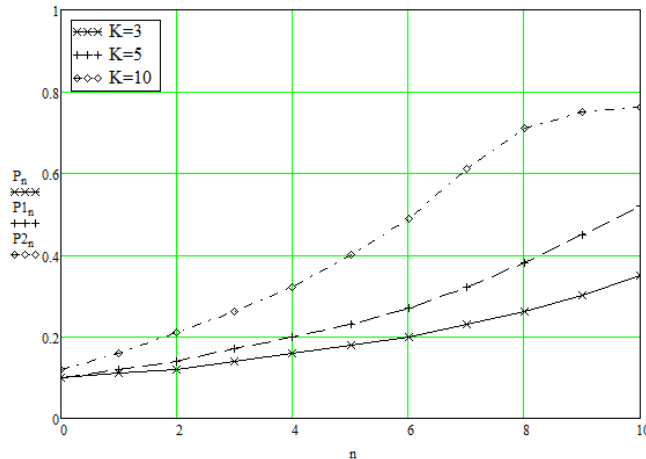


Рис. 2. Залежність значення пік-фактора елементу електронного зображення від його розміру при різних розрядності параметричної моделі

Література

1. Форсайт. Компьютерное зрение. Современный подход / Форсайт, А. Дэвид ; Пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2004. – 928 с..
2. Ширман Я.Д. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех / Я.Д. Ширман, В.Н. Манжос. – М. : Радио и связь, 1981. – 416 с.
3. Купер Дж. Вероятностные методы анализа сигналов и систем / Дж. Купер, К. Макгиллем ; Пер. с англ. – М. : Мир, 1989. – 376 с.

References

1. Forsythe, Devid A. Komp'yuternoe zrenie. Sovremennyj podhod. M. Izdatel'ckij dom "Wil'yams", 2004. 928 p.
2. Shirman Ya.D. Teoriya i texnika obrabotki radiolokatsionnoyu informacii na fone pomex. M. Radio i sbyaz', 1981. 416 p.
3. Kuper Dzh., K. Makhylllem Veroyatnosny'e metody' analiza signalov i sistem. Perevod s angl. M. Mir, 1989. 376p., il.

Рецензія/Peer review : 13.3.2013 р.

Надрукована/Printed : 7.4.2013 р.

Статтю представляє: д.т.н., проф. Шинкарук О.М.