

УДК 681.383.8

Є. В. Прокопенко

РОЗРОБЛЕННЯ УДОСКОНАЛЕНИХ АЛГОРИТМІВ ОПТИМАЛЬНОГО ВИЯВЛЕННЯ В ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМАХ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ОХОРОНИ КОРДОНУ

Проведено дослідження ефективності оптичних засобів спостереження в підсистемі відеоспостереження інформаційно-телекомунікаційної системи “Гарт-1” та розроблено удосконалений алгоритм оптимального виявлення об’єктів у оптико-електронних системах спостереження охорони державного кордону.

К л ю ч о в і с л о в а: інформаційно-телекомунікаційна система, оптико-електронне спостереження, метод виявлення, відношення правдоподібності, метод послідовного аналізу.

Постановка проблеми. Запровадження нової моделі охорони кордону вимагає створення в Держприкордонслужбі України єдиного інформаційного простору – сукупності баз та банків даних, технологій їх ведення та використання, інформаційних систем та телекомунікаційних мереж, що функціонують на основі єдиних принципів і за загальними правилами [1]. З цією метою в Держприкордонслужбі створено інтегровану інформаційно-телекомунікаційну систему (ІТС) “Гарт” та сучасну корпоративну високошвидкісну телекомунікаційну мережу Інтранет. Дана ІТС охоплює всі напрямки оперативної-службової діяльності служби, однією з основних її складових є інформаційно-телекомунікаційна система (ІТС) “Гарт-1”. До основних задач ІТС “Гарт-1” у прикордонному підрозділі можна віднести: здійснення прикордонного контролю, пропуску через державний кордон осіб, транспортних засобів, вантажів та іншого майна, а також цілодобове відеоспостереження за територією та об’єктами в пунктах пропуску [2].

Приймання та оброблення сигналів у системах відеоспостереження, як правило, здійснюються на фоні значного рівня завад, що маскують інформативні ознаки сигналів і в цілому спотворюють їхні параметри. При цьому в більшості умов оптико-електронного спостереження (в режимі сканування, наявності динамічного фону, статичних сторонніх об’єктів) виявлення сигналів від об’єктів, що не належать фону, можливо виконати тільки на відносно короткому етапі їх появи, а не на етапі їх присутності, як у радіолокації, що значно відрізняє алгоритми оптимального оброблення в даних системах. Таким чином, у процесі приймання та оброблення сигналів необхідно виконувати два основні завдання: виявити сигнал і вимірювати параметри корисних інформаційних складових у ньому, не припиняючи супроводження [3].

Метою статті є розроблення удосконалених алгоритмів оптимального виявлення в оптико-електронних системах спостереження охорони кордону.

Виклад основного матеріалу. У системах відеоспостереження, що використовуються на державному кордоні, застосовувати класичні методи побудови оптимальних виявлячів недоцільно, насамперед, через те, що у обробленні сигналів з виходу відеореєстратора є певні особливості в співвідношенні часових інтервалів огляду і наявності об’єктів. Основним індикатором цих особливостей є висока залежність ймовірності виявлення об’єкта від середнього часу невиявлення при знаходженні його в зоні спостереження. Отже, за таких умов метод виявлення об’єкта, що з’являється в невизначений момент часу \bar{t}_1 і при якому для заданого розподілу ймовірностей $P(t_0)$ середній час невиявленого існування об’єкта найменший, полягає у такому: для кожного значення $n = 1, 2, 3, \dots$ обчислюється величина відношення правдоподібності $\Lambda(Z_n)$ що визначається з виразу:

$$\Lambda(Z_n) = \sum_{k=1}^n \prod_{i=k}^n \lambda(Z_{ik}), \quad (1)$$

де $\lambda(Z_{ik})$ – відношення правдоподібності для множини Z_{ik} відліків сигналу за наявності об’єкта в зоні спостереження.

Рішення про появу об’єкта приймається, якщо для деякого n ця величина перевищує поріг C_n .

Величину $\Lambda(Z_n)$ у даному випадку можна записати у вигляді [4]:

$$\Lambda(Z_n) = \left[1 + \sum_{k=1}^{n-1} \prod_{i=k}^{n-1} \lambda(Z_i) \right] \lambda(Z_n), \quad (2)$$

де

$$\lambda(Z_i) = \frac{P_1(Z_i)}{P_0(Z_i)}, \quad \lambda(Z_n) = \frac{P_1(Z_n)}{P_0(Z_n)}.$$

Оскільки

$$\sum_{k=1}^{n-1} \prod_{i=k}^{n-1} \lambda(Z_i) = \lambda(Z_{n-1}), \quad (3)$$

то з формули (2) отримуємо

$$\Lambda(Z_n) = \frac{[1 + \lambda(Z_{n-1})]}{\lambda(Z_n)}. \quad (4)$$

Відповідно до цього рекурентного співвідношення у оптимальний пристрій виявлення об'єкта при реалізації системи відеоспостереження входять перемножувач, суматор, запам'ятовуючий пристрій і пороговий пристрій (рис. 1).

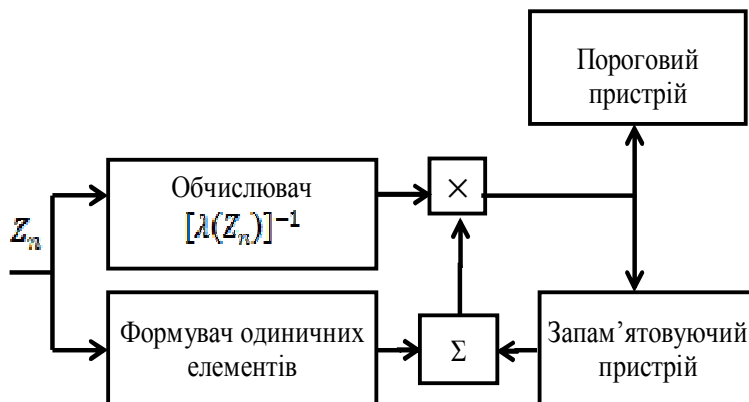


Рис. 1. Структура пристрою виявлення сторонніх об'єктів на відеозображенні

об'єкта обмежений і дорівнює r періодам огляду (кадрам), то нижню межу суми по k слід прийняти рівною $n - r + 1$. При цьому у виявлячі для кожного значення n обчислюється і порівнюється з порогом C_n величина

$$\Lambda_r(Z_n) = \sum_{k=n-r+1}^n \prod_{i=k}^n \lambda(Z_i). \quad (5)$$

Останній вираз можна записати у вигляді:

$$\Lambda_r(Z_n) = \Lambda(Z_n) - \Lambda(Z_{n-r}), \quad (6)$$

де

$$\Lambda(Z_{n-r}) = \sum_{k=1}^{n-1} \prod_{i=k}^{n-1} \lambda(Z_i). \quad (7)$$

Пристрій виявлення цілі для розглянутих умов відрізняється від попереднього наявністю додаткового запам'ятовуючого пристрою і схеми віднімання (див. рис. 2).

Запам'ятовуючий пристрій призначений для зберігання величини $\Lambda(Z_{n-r})$ протягом r періодів огляду. Цей блок повинен мати $r - 1$ комірок пам'яті для зберігання величин $\Lambda(Z_{n-r+1})$, $\Lambda(Z_{n-r+2})$, ..., $\Lambda(Z_{n-1})$. Схема віднімання формує різницю $\Lambda_r(Z_n)$ величин $\Lambda(Z_n)$ і $\Lambda(Z_{n-r})$, перша з яких надходить із виходу перемножувача, а друга – із запам'ятовуючого пристрою.

Запропонований оптимальний метод виявлення об'єктів передбачає необхідність включення в обчислення при кожному значенні n величини $\Lambda(Z_n)$ усіх відліків спостережуваної послідовності Z_n , починаючи з $n = 1$. Якщо об'єкт з моменту появи і до виявлення може перебувати в різних елементах

У даній структурі запам'ятовуючий пристрій зберігає вихідну величину перемножувача протягом періоду проходження відліків послідовності Z_n , реалізуючи рекурентність оброблення, а пороговий пристрій виробляє сигнал наявності цілі, якщо вихідна величина $\Lambda(Z_n)$ перевищує поріг C_n .

Описаний метод виявлення відповідає таким умовам, за яких об'єкт, з'явившись у зоні спостереження, залишається в ній до виявлення. Якщо час перебування

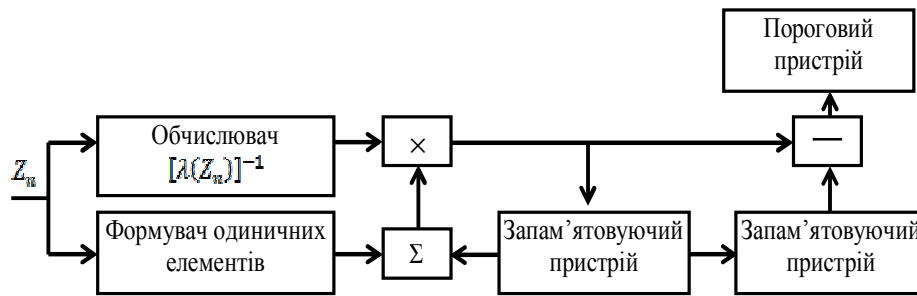


Рис. 2. Структура пристрою якнайшвидшого виявлення за умови обмеженого часу перебування об'єкта в зоні спостереження

розрізнення контрольованої зони, то кількість можливих траєкторій об'єкта, для кожної з яких у пристрої виявлення повинна обчислюватися величина відношення правдоподібності, може бути дуже великою, а пристрій виявлення занадто складним.

У зв'язку з цим замість рекурентного співвідношення (4) можна використати спрощений варіант:

$$\Lambda_{\max}(Z_n) = \begin{cases} \Lambda_{\max}(Z_{n-1})\lambda(Z_n), & \Lambda_{\max}(Z_{n-1}) \geq 1, \\ \lambda(Z_n), & \Lambda_{\max}(Z_{n-1}) < 1. \end{cases} \quad (8)$$

При цьому рішення про появу об'єкта видається в тому випадку, коли $\Lambda_{\max}(Z_n) \geq C$, де поріг C не залежить від n і вибирається, виходячи з необхідності забезпечення заданого значення \bar{t}_0 .

Перехід до даного співвідношення заснований на використанні "правила відбору більшого значення", сутність якого в тому, що $\Lambda(Z_n)$ приймається більшим із двох: $\lambda(Z_n)$ або $\Lambda(Z_{n-1})\lambda(Z_n)$. Перша із цих величин представляє коефіцієнт правдоподібності, що відповідає гіпотезі "об'єкт з'явився між $(n-1)$ -м і n -м періодами огляду". Друга – дорівнює найбільшому з $n-1$ коефіцієнтів правдоподібності, кожний з яких відповідає одній з гіпотез: "об'єкт з'явився перед першим оглядом", "об'єкт з'явився перед другим оглядом", ..., "об'єкт з'явився перед $(n-1)$ -м оглядом". Таким чином, вираз (8) визначає найбільший з n коефіцієнтів правдоподібності, кожний з яких відповідає або одній із зазначених гіпотез, або гіпотезі "об'єкт з'явився перед n -м оглядом".

Характер зміни величини $\Lambda_{\max}(Z_n)$ в області її значень, менших за одиницю, можна не фіксувати в процесі оброблення, тобто при $\Lambda_{\max}(Z_n) < 1$ вважається, що $\Lambda_{\max}(Z_n) = 1$.

Отже, "сигнальна" множина буде містити у собі всі послідовності Z_n , що задовольняють умову

$$\Lambda_{\max}(Z_n) \geq C, \quad (9)$$

де

$$\Lambda_{\max}(Z_n) = \begin{cases} \Lambda_{\max}(Z_{n-1})\lambda(Z_n), & \Lambda_{\max}(Z_{n-1}) \geq 1, \\ 1, & \Lambda_{\max}(Z_{n-1}) < 1. \end{cases} \quad (10)$$

Особливість розглянутого методу виявлення об'єкта полягає в тому, що величина $\Lambda_{\max}(Z_n)$ ухвалює значення, що дорівнює одиниці, якщо при деякому n виконується умова $\Lambda_{\max}(Z_n) < 1$. При цьому послідовність Z_n виключається з оброблення. Зазначена особливість істотно спрощує пристрій оброблення у разі виявлення рухомих об'єктів.

Замість величини $\Lambda_{\max}(Z_n)$ у пристрої простіше обчислювати її логарифм $L(Z_n)$ і порівнювати його з порогом $\lg C$.

Логарифмуючи обидві частини виразу, одержуємо

$$L(Z_n) = \begin{cases} L(Z_{n-1}) + l(Z_n), & L(Z_{n-1}) + l(Z_n) \geq 0, \\ 0, & L(Z_{n-1}) + l(Z_n) < 0. \end{cases} \quad (11)$$

де

$$l(Z_n) = \lg \lambda(Z_n) = \lg \left[\frac{P_1(Z_n)}{P_0(Z_n)} \right]. \quad (12)$$

Описаний метод виявлення тотожний з методом послідовного спостерігача у випадку, коли нижній поріг дорівнює одиниці.

Пристрій виявлення об'єкта у випадку використання даного методу містить блок формування величини $l(Z_n)$, суматор, запам'ятовуючий пристрій і пороговий пристрій (рис. 3).

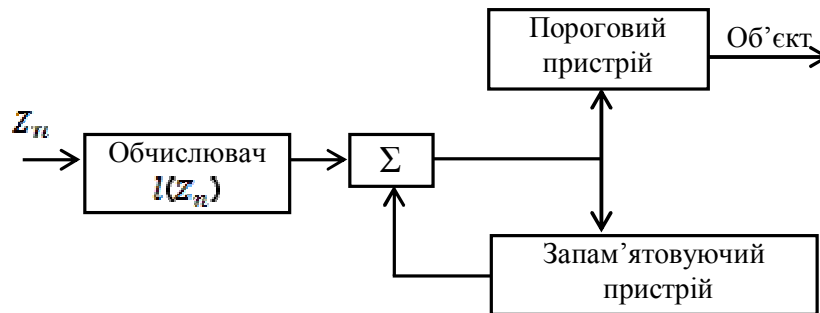


Рис. 3. Структура пристрою виявлення об'єкта методом послідовного аналізу

Відповідно до даної схеми, в суматорі виконується додавання величин $l(Z_n)$ і $l(Z_{n-1})$. Якщо сума цих величин $L(Z_n)$ від'ємна, то її значення приймається нульовим. Пороговий пристрій видає сигнал про наявність об'єкта, якщо $L(Z_n) > \lg C$.

Підсумовуючи викладене, слід зазначити, що при виявленні стороннього об'єкта на електронному зображенні, поряд з розглянутими оптимальними методами можуть використовуватися серійні критерії виявлення. В останньому випадку рішення про появу об'єкта, що видається після надходження у виявляч відліку Z_n визначається k відліками послідовності $Z_n = z_{n-k+1}, z_{n-k+2}, \dots, z_n$, де k – задане число. Порівняння запропонованого методу послідовного аналізу і серійних критеріїв показує, що запропонований метод забезпечує значно менший час \bar{t}_n виявлення слабких сигналів.

Висновки

Основною задачею оброблення сигналів у системах оптико-електронного спостереження є виявлення корисного сигналу і вимірювання його параметрів на фоні шуму. При цьому особливе значення мають методи, що задовольняють деяку істотну вимогу спостереження, яка представляє собою критерій оптимальності.

За умови відомих апріорних характеристик сигналу і суміші сигналу з шумом, оптимальна процедура виявлення сигналу зводиться до обчислення і порівняння з прийнятим порогом відношення правдоподібності, який на відміну від відомих, передбачає розрахунок його значення в інтервалі часу (кількості кадрів), що задовольняє умову мінімального часу невиявленого існування об'єкта в площині електронного зображення.

Список використаних джерел

1. Концепція розвитку Державної прикордонної служби України на період з 2006 по 2015 рр. [Текст]. – К. : АДПСУ, 2006.
2. Наказ Адміністрації Державної прикордонної служби України “Про затвердження Положення про інформаційно-телекомунікаційну систему прикордонної служби “Гарт-1” Державної прикордонної служби України“ від 30.09.2008 № 810 [Копія] / ДПС України. – К.
3. Прокопенко, Є. В. Оптимізація процесів виявлення та супроводження об'єктів в оптико-електронних системах спостереження охорони кордону на основі сигнальних ознак [Текст] : дис. ... канд. тех. наук: 20.02.14 / Є. В. Прокопенко. – К., 2013. – 186 с.
4. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление [Текст] / Б. А. Алпатов, П. В. Бабаян, О. Е. Балашов, А. И. Степашкин. – М. : Радиотехника, 2008. – 176 с.

Стаття надійшла до редакції 18.02.2014 р.