

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВІДЕОАНАЛІТИЧНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ОБ'ЄКТАМИ

Стрімке підвищення попиту на інтелектуальні системи відеоспостереження призвело до того, що в даний час практично всі виробники систем безпеки пропонують системи відеоспостереження з відеоаналітикою. Дана стаття допоможе зрозуміти, що ж на сьогоднішній день називають відеоаналітикою, основні її функції і які системи необхідні споживачам, коли ті говорять про бажання встановити відеоаналітичну систему на об'єкті. У статті розглядається модель типової апаратної структури реально автоматизованої відеоінформаційної системи.

Ключові слова: Відеоспостереження, відеоаналітика, оптична система, цифрова обробка сигналів, моделювання, комп'ютерна модель.

Масовий процес переходу на цифрові рішення відбувається у всіх галузях, пов'язаних із обробкою і передачею інформації. В області охоронних систем також йде перехід від аналогового відеоспостереження до IP-систем. В обладнанні систем IP-відеоспостереження застосовуються відкриті стандарти, завдяки чому спрощується установка і модернізація обладнання, з'являється можливість використовувати продукцію різних виробників в одній системі відеоспостереження.

Однією із основних переваг IP-відеокамер є наявність вбудованих детекторів руху. Детектор руху являє собою модуль, основним завданням якого є виявлення руху об'єктів в полі зору камери. Детекція руху - це проста форма відеоаналітики, яка має ряд значних обмежень. Наприклад, різка зміна умов освітлення, випадання опадів, коливання камери, поява птахів і комах в полі зору камери приводять до помилкових спрацьовувань. З цих причин системи з детекцією руху використовуються, як правило, усередині приміщень. Більшість постачальників систем відеоспостереження називають відеоаналітикою саме детектори руху, вбудовані в камеру.

Деякі виробники розуміють під відеоаналітикою значно більше, ніж виявлення руху за допомогою IP-відеокамер. В даний час на ринку систем безпеки представлені системи відеоспостереження з комп'ютерним зором. Крім спостереження та архівування подій такі системи в реальному часі розпізнають небезпечні ситуації і в автоматичному режимі видають інформацію про них оператору. Йому залишається лише прийняти рішення. За рахунок цього службі охорони навіть дуже великого об'єкта, оснащеного сотнями відеокамер, не потрібно великого штату операторів. Дані системи дозволяють виключити вплив людського фактора і працюють за принципом «один об'єкт - один оператор». (Рис.1)

Системи відеоспостереження з комп'ютерним зором по зображенню нерухомих відеокамер в реальному часі розпізнають об'єкти (людей, автомобілі) і ситуації, такі як загоряння, задимлення, залишений предмет, предмети, що перекидають і в автоматичному режимі наводять на них поворотні відеокамери для отримання детального зображення. Всі події відображаються на карті об'єкта. Відеоаналітична карта і деталізоване відеозображення можуть виводитися на монітор, відеостіну, термінали, що підтримують технологію Touch Screen, і на КПК.

Пошук в архіві проводиться за часом, класом мети, номером камери, подією, коментарем оператора. В системах відеоспостереження з комп'ютерним зором можуть використовуватися аналогові і IP-камери, а також тепловізори, що дозволяють здійснити модернізацію раніше встановлених на об'єкті відеосистем і перейти на нові можливості відеоаналітики.

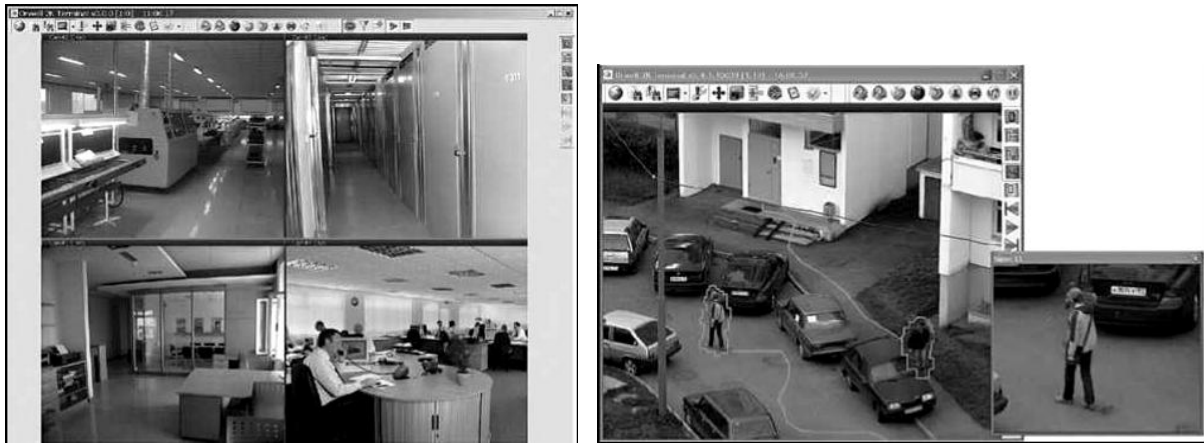


Рис. 1, 2. Системи відео спостереження з комп'ютерним зором

Системи відеоспостереження з комп'ютерним зором здатні працювати спільно з датчиковими засобами охорони периметра, автоматично видаючи відеозображення з дільниці, на якому спрацював датчик. В цьому випадку на екран оператора виводиться зображення відповідної нерухомої камери, автоматично наводиться поворотна камера, можливий режим спостереження за метою. На відеоаналітичній мапі відображається інформація про виникнення цієї події (Рис.2).

Важливою особливістю систем відеоспостереження з комп'ютерним зором є не тільки розпізнавання об'єктів і тривожних ситуацій, але і можливість автоматично відгороджуватись від помилкових спрацювань при виникненні тіней хмар, коливань кущів і дерев, появи комах в полі камери, розгойдування і тремтіння відеокамери, засвічення автомобільних фар. Системи відеоспостереження з комп'ютерним зором здатні адаптуватися до зовнішніх умов без участі оператора.

Відеоаналітика - апаратно-програмне забезпечення або технологія, що використовує методи комп'ютерного зору для автоматизованого збору даних на підставі аналізу потокового відео (відеоаналізу). Відеоаналітика спирається на алгоритми обробки зображення і розпізнавання образів, що дозволяють аналізувати відео без прямої участі людини. Відеоаналітика використовується в складі інтелектуальних систем відеоспостереження (CCTV, охоронного телебачення), управлінні бізнесом (business intelligence, BI) і відеопошуку.

Залежно від цілей, відеоаналітика може реалізувати як одну, так і декілька базових функцій:

1. *Виявлення об'єктів* (object detection). Як правило, виявлення об'єктів в полі зору камери проводиться за допомогою відеодетектора руху. Основна відмінність відеоаналітики від ПК-датчиків руху полягає в можливості локалізації (виділенні) і незалежного аналізу відразу декількох об'єктів.

2. *Стеження за об'єктами* (object tracking). Алгоритми стеження (супроводу) дозволяють отримати приватну траєкторію руху об'єкта як в полі зору однієї камери, так і в загальну траєкторію за даними відразу декількох камер. Стеження необхідно, щоб проаналізувати поведінку об'єкта за його траєкторії, наприклад, визначити рух людини проти потоку або рух з підвищеною швидкістю.

3. *Класифікація об'єктів* (object classification). Деякі системи відеоаналітики класифікують об'єкти для фільтрації оперативних повідомлень або результатів пошуку. Наприклад, типовий класифікатор, використовуючи ознаки форми і абсолютні розміри, розподіляє об'єкти на групи: людина, група людей, транспортний засіб. Складніші класифікатори в системах відеоаналітики можуть визначити стать або поворотну групу людини.

4. *Ідентифікація об'єктів* (object identification). Ідентифікація об'єктів є найбільш складним компонентом систем відеоаналітики. Сучасні системи дозволяють ідентифікувати людей за біометричними ознаками особи, або транспортний засіб - за номерними знаками. Ідентифікація може бути реалізована за допомогою додаткових коштів за рамками відеоаналітики: на основі відбитків пальців, банківської карти, квитка, пропуску або ідентифікатора мобільного пристрою.

5. *Виявлення (розпізнавання) ситуацій*. Відеоаналітика дозволяє не тільки виділяти об'єкти з поточного відео, а й розпізнавати тривожні ситуації на основі аналізу поведінки даного об'єкту, що не дає зробити звичайна система відеоспостереження. Також ситуаційна відеоаналітика може автоматично детектувати перетин сигнальної лінії, падіння людей, заборону парковки і виникнення пожежі.

Вітчизняні та зарубіжні розробники пропонують системи відеоспостереження, побудовані за модульним принципом. Їх базовий функціонал може бути доповнений інтелектуальними модулями, які дозволяють забезпечувати розпізнавання номерів автотранспортних засобів, управління поворотними камерами в ручному або автоматичному режимі, супроводі виявлених цілей поворотними камерами, трекінгом об'єктів, розпізнавання осіб, оповіщення про появу об'єкта в заданій зоні, детектування перекинутих предметів і т. д. Тобто на сьогоднішній день на ринку технічних засобів безпеки (ТСБ) з'явилися універсальні системи охоронного ІР-відеоспостереження та автоматизованого бізнес-моніторингу.

Які плюси подібних рішень? По-перше, з'явилася можливість обладнати об'єкт будь-яким устаткуванням відеоспостереження за допомогою єдиної універсальної платформи. По-друге, такі системи дозволяють сформувати необхідну кількість відеоканалів і функціонал системи відеоспостереження під конкретний об'єкт або задачу. Наприклад, канал з функціями відеореєстрації, канал з функціями відеоаналітики (детекція руху), канал з функціями просунутої відеоаналітики (комп'ютерний зір) і т. д.

Користувач сам вибирає те, що йому потрібно, не переплачуючи за «зайві» відеоканали та незатребуваний функціонал. Вибираючи канали з функціями відеореєстрації, користувач отримує повнофункціональну систему відеоспостереження з можливістю перегляду «живого» відео, записом і відтворенням архіву, можливістю підключення поворотних камер і управління ними в ручному режимі. Канали з функціями відеоаналітики (детекція руху) дозволяють створити систему відеоспостереження з можливістю виявлення рухомих об'єктів, відображення траєкторії їхнього руху і передачі інформації про проникнення на територію, що охороняється оператору в автоматичному режимі. Подібні системи відеоспостереження можуть інтегруватися з системами розпізнавання автомобільних номерів, радіолокаційними станціями охорони периметра, відеодетектора перекинутих предметів, системами контролю і управління доступом, будь-якими датчиками. Це дозволяє отримати універсальну платформу комплексної безпеки в одній системі.

Результатами роботи відеоаналітики є події, які можуть бути передані оператору системи відеоспостереження або записані у відеоархів для подальшого пошуку. Крім цього, відеоаналітика формує метадані, тобто структури даних, які описують зміст кожного кадру відеопослідовності. Метадані містять таку інформацію як місце розташування і ідентифікатори об'єктів (як правило, у вигляді тривожної рамки), траєкторію і швидкість руху об'єктів, дані про розділення або злитті об'єктів, дані про виникнення і закінчення тривожної ситуації. Метадані записуються в відеоархів і відтворюються разом з відео.

Відеоаналітика може мати розширені функції, такі як:

- Прогнозування поведінки об'єкта або виникнення ситуацій (наприклад, утворення черги на касі через 15 хвилин з урахуванням числа покупців, які зайшли і числа працюючих кас);
- Інтелектуальне стиснення відеоконтенту з урахуванням інтересу споживача (наприклад, система передає тільки відео, що містять тривожні ситуації);
- Ранжування (визначення пріоритету) подій відеоаналітики;

- Формування похідних відеоданих (розширений кадр, таймплапс);
- Видалення персональних даних з відеоряду, наприклад, за допомогою детектора осіб та номерних знаків.

На початкових етапах розробки автоматизованих відеоінформаційних систем (АВС) найдоступнішим, дешевим, але разом з тим досить гнучким і ефективним засобом видається комп'ютерне моделювання. В якості безпосереднього об'єкта дослідження воно припускає використання деякої програми, що представляє собою віртуальну модель реальної системи. Ця модель зазвичай включає в себе моделі основних ланок системи здійснення перетворень сигналу.

До безперечних достоїнств методу комп'ютерного моделювання слід віднести можливість отримання за короткий час і без істотних матеріальних витрат великого обсягу даних, що характеризують поведінку майбутньої системи, оцінити її метрологічні характеристики (характеристики виявлення, розпізнавання об'єктів) в залежності від кожного окремого параметра, що цікавить.

Комп'ютерна модель звичайно являє собою комплексну програму, що включає головну керуючу програму і ряд взаємопов'язаних підпрограм, що дозволяють імітувати в ЕОМ процедури, адекватні фізичним процесам, що відбуваються в окремих ланках реальної системи. Перетворення сигналу в АВС представлені на Рис.3.

У разі моделювання роботи АВС до таких процесів відносяться:

- вхідні оптичні впливи від спостережуваних об'єктів і фонових перешкод;
- формування зображення оптичною системою;
- процеси, пов'язані з формуванням зарядового рельєфу в фотоприймальному пристрої з урахуванням внутрішніх, у загальному випадку, нестационарних шумів;
- спотворення, що виникають в результаті перетворення та квантування сигналів в блоці АЦП при обмеженій розрядності;
- можливі алгоритми цифрової обробки, включаючи попередню фільтрацію вихідних масивів цифрового зображення, процедури виявлення, розпізнавання та оцінки параметрів об'єктів спостереження.

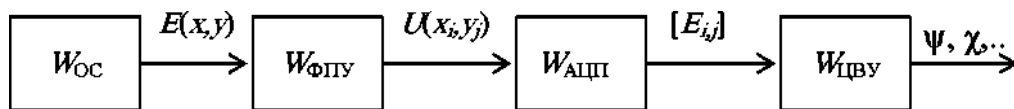


Рис.3 - Перетворення сигналу в АВС

Сукупність випромінювачів, що перебувають в просторі об'єктів, а також середовище розповсюдження оптичних сигналів, створених цими випромінювачами, утворюють так звану фоновоцільову обстановку (ФЦО). Оптичну систему (ОС) і фотоприймальний пристрій (ФПП) в першому наближенні можна розглядати як лінійні ланки з функціями перетворення W_{OC} і $W_{ФПУ}$, аналого-цифровий перетворювач (АЦП) і цифровий обчислювальний пристрій (ЦВУ), що реалізує досліджуваний алгоритм обробки сигналу, - нелінійні ланки з функціями перетворення $W_{АЦП}$ і $W_{ЦВУ}$.

Розглянемо типову апаратну структуру реальної автоматизованої відеоінформаційної системи, покладеної в основу розроблюваної моделі (Рис.4).

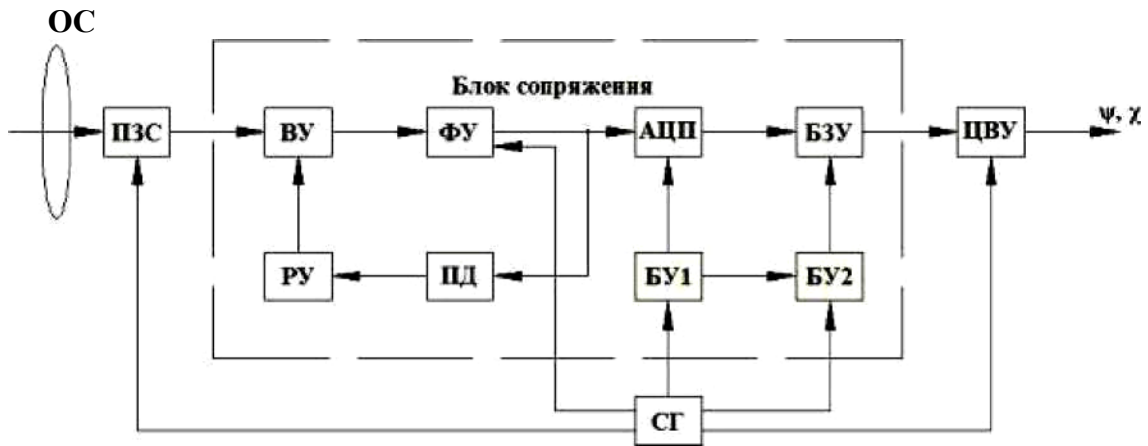


Рис.4 Структурна схема автоматизованої відеоінформаційної системи спостереження за об'єктами

За допомогою оптичної системи (ОС) зображення об'єкта будується на фоточутливій поверхні телевізійного перетворювача на ПЗС (КМОП і ін.). Відеопідсилювач (ВУ) служить для посилення відеосигналу до заданого рівня, що визначається робочим діапазоном аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Основне призначення ВУ - масштабування, тобто забезпечення розмаху відеосигналу (від мінімального рівня «чорного» до максимального рівня «білого») приблизно рівного динамічному діапазону допустимих вхідних сигналів АЦП.

При цьому управління ВУ забезпечується блоком регулювання посилення (РУ). В свою чергу РУ управляється від пікового детектора (ПД), на який надходить сигнал з виходу фіксатора рівня. ПД вимірює максимальну (пікову) напруга сигналу на вході АЦП і встановлює таке значення коефіцієнта посилення, при якому максимальний рівень напруги відеосигналу в кадрі майже збігається з верхнім допустимим рівнем напруги на вході АЦП. ФУ необхідний для «прив'язки» рівня відеосигналу, відповідного фоновому заряду, до нижнього рівня робочого діапазону АЦП. Максимальне пікове значення сигналу на виході ФУ має відповідати верхньому рівню робочого діапазону АЦП. При виконанні цієї умови забезпечується повне використання робочого діапазону АЦП.

З виходу АЦП сигнал у вигляді паралельного двійкового коду надходить на вхід буферного пристрою, що запам'ятовує (БЗУ), яке служить для забезпечення умов незалежної роботи датчика і ЦВУ, функціонуючих в асинхронному режимі. Блоки управління БУ-1 і БУ-2 управляють роботою АЦП і БЗУ відповідно. Синхрогенератор (СГ) забезпечує синхронну роботу всіх ланок.

Зауважимо, що з точки зору реалізації віртуальної комп'ютерної моделі АСН такі функціональні вузли як БЗУ, БУ-1, БУ-2 і СГ не мають практичного інтересу. Вони виконують допоміжні функції, і їх робота безпосередньо не пов'язана з процесом перетворення сигналів і появою додаткових перешкод.

Однією з поширених завдань, що вирішуються на попередньому етапі в АВС, є процедура виділення слабких оптичних сигналів від малорозмірних (в граничному випадку точкових) цілей, які спостерігаються в присутності істотно більш контрастних деталей фону, що заважають і які в автоматизованих системах відеоспостереження можна розглядати як оптичні перешкоди. Фізична природа таких перешкод може бути різною: всілякі відблиски, присутність в полі зору систем яскравих випромінюючих або відображають випромінювання об'єктів і ін.

В якості робочих ознак відокремлюваних цілей в загальному випадку можуть бути використані спектральні, динамічні і просторові параметри, що відрізняють виділювані об'єкти від маскуючи елементів фону. Очевидно, що спектральні методи селекції пов'язані з

використанням всіляких оптичних фільтрів, в той час як динамічні і просторові (просторово-частотні) відмінні ознаки можуть бути задіяні в електронному тракту системи на основі алгоритмів цифрової обробки зображень.

На Рис.5 змальований приклад зображення, що містить малорозмірні об'єкти $O_1 \dots O_{10}$, а також більші і, в загальному випадку, значно більш контрастні деталі фону, що заважають.

Відповідна цьому прикладу осцилограма відеосигналу виділеного рядка показаного на Рис.6.

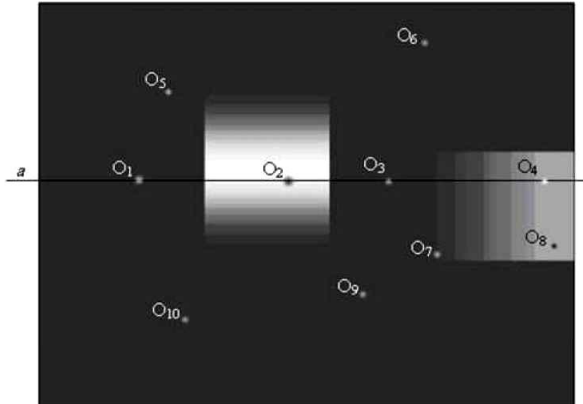


Рис.5 Приклад зображення, що містить малорозмірні об'єкти $O_1 \dots O_{10}$ і заважаючі деталі фону

У наведеному прикладі сигнали від малорозмірних цілей можуть володіти як позитивним (наприклад, O_3) так і негативним (наприклад, O_8) контрастом по відношенню до елементів навколишнього фону. Очевидно, що для успішного вирішення задач виявлення та селекції необхідно, щоб величина сигналу від спостережуваних об'єктів (U_c) перевищувала рівень шумової складової ($\sigma_{ш}$), оцінюваної в околицях відповідних прилеглих локальних областей.

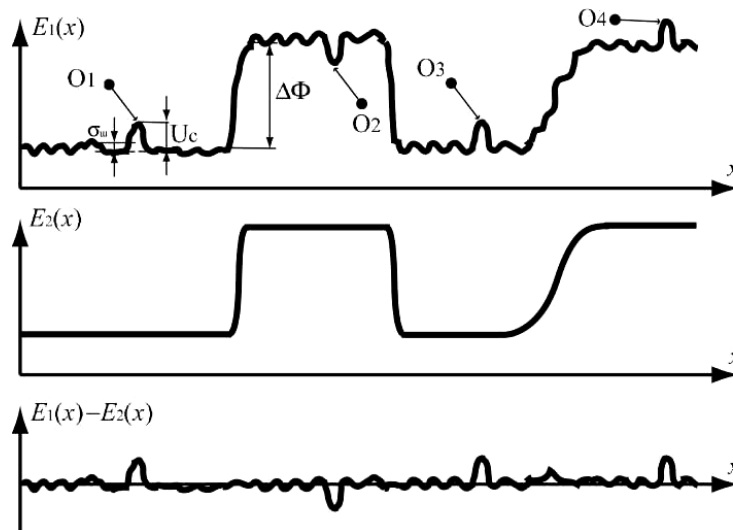


Рис.6 Осцилограма виділеного рядка ab зображення, показаного на малюнку 3 (а); фонові складова, отримана після фільтрації відеосигналу виділеного рядка (б); різнісний сигнал, отриманий після вирахування фонові складові (в)

Після квантування відеоімпульсів у вузлі АЦП елементи зображення можна представити у вигляді матриці цілих чисел $[E_{i,j}]$, де i та j відповідно номери стовпців і

рядків. Виділення слабких оптичних сигналів від малорозмірних об'єктів (цілей), які спостерігаються в присутності деталей фону, що заважають в автоматизованій системі відеоспостереження можна здійснювати шляхом реалізації вирішального правила, що включає наступні процедури.

Для кожного елемента $E_{i,j}$ вихідного масиву формується відповідне нове значення значення $E_{i,j}^*$:

$$E_{i,j}^* = F \begin{bmatrix} E_{(i-1),(j-k)} & \cdots & E_{i,(j-k)} & \cdots & E_{(i+1),(j-k)} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ E_{(i-1),j} & \cdots & E_{i,j} & \cdots & E_{(i+1),j} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ E_{(i-1),(j+k)} & \cdots & E_{i,(j+k)} & \cdots & E_{(i+1),(j+k)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Отриманий таким чином масив $[E_{i,j}^*]$ в подальшому використовується для компенсації фонові складові. Зауважимо, що в якості фільтра згладжування принципово можуть застосовуватися різні лінійні або нелінійні анізотропні оператори. Однак, як показав аналіз, при наявності різких перепадів рівня фонові складові в поле зору системи найкращий ефект дає процедура нелінійної фільтрації на основі двовимірного медіанного фільтра. Специфічною властивістю медіанного фільтра (на відміну від анізотропного лінійного фільтра) є здатність ефективно пригнічувати немонотонні (в межах апертури) складові послідовності чисел і не перекручено передавати монотонні складові. Використання лінійних процедур фільтрації, не дозволяє здійснювати надійну селекцію малорозмірних цілей при великих відношеннях $\Delta\Phi/U_C$.

Для кожного елемента зображення обчислюється різницевий сигнал шляхом порівняння значень відліків згладженого і вихідного масивів

$$ZE_{i,j} = ZE_{i,j} - E_{i,j}^* \quad (2)$$

Описані вище процедури проілюстровані також на Рис.6.

В умовах апріорної невизначеності факту наявності об'єктів, які цікавлять в зоні спостереження наступний етап - виявлення об'єктів і усунення «порожніх» елементів масиву $[ZE_{i,j}]$, і, що не містять сигнальної складові

$$ZE_{i,j}^* = \begin{cases} ZE_{i,j}, & |ZE_{i,j}| \geq P_0 \\ 0, & |ZE_{i,j}| < P_0 \end{cases} \quad (3)$$

Величина вирішального порога P_0 визначається за заданим критерієм оптимальності з урахуванням допустимих значень ймовірностей помилок першого або другого роду. Якщо ж точно відомо, що в зоні спостереження присутній один або декілька об'єктів (і при цьому відомо їх число), то після процедури 2 здійснюється безпосередній перехід до процедури 4.

В отриманому на попередньому етапі масиві $ZE_{i,j}$ (або $ZE_{i,j}^*$) здійснюється пошук локальних максимумів. При виявленні кожного локального максимуму у відведеній області пам'яті фіксується невеликий сегмент, взятий з вихідного масиву в околицях елемента, відповідного локального максимуму. Зазначена процедура виконується для всіх локальних максимумів, відповідних виявленим об'єктам (або для всіх локальних максимумів, відповідних відомому числу об'єктів, що знаходяться в зоні спостереження).

Таким чином, вирішальне правило являє собою послідовність досить простих лінійних і нелінійних процедур.

Проте практична реалізація описаного вище алгоритму пов'язана з необхідністю уточнення окремих параметрів вирішального правила, обґрунтування вимог до окремих ланках апаратної структури автоматизованої системи відеоспостереження (енергетичні

параметри оптичної системи, динамічний діапазон фотоприймального пристрою, достатня розрядність АЦП ін.). Очевидно, що оптимізація параметрів вирішального правила і вимог до окремих ланок апаратної структури, повинна проводитись з урахуванням безлічі взаємопов'язаних факторів, включаючи умови функціонування системи (параметри та характеристики сигнально-фонові ситуації).

Ефективним методом вирішення такого завдання є комп'ютерне моделювання. На рис.7 показана блок-схема, яка пояснює логічну структуру моделі.

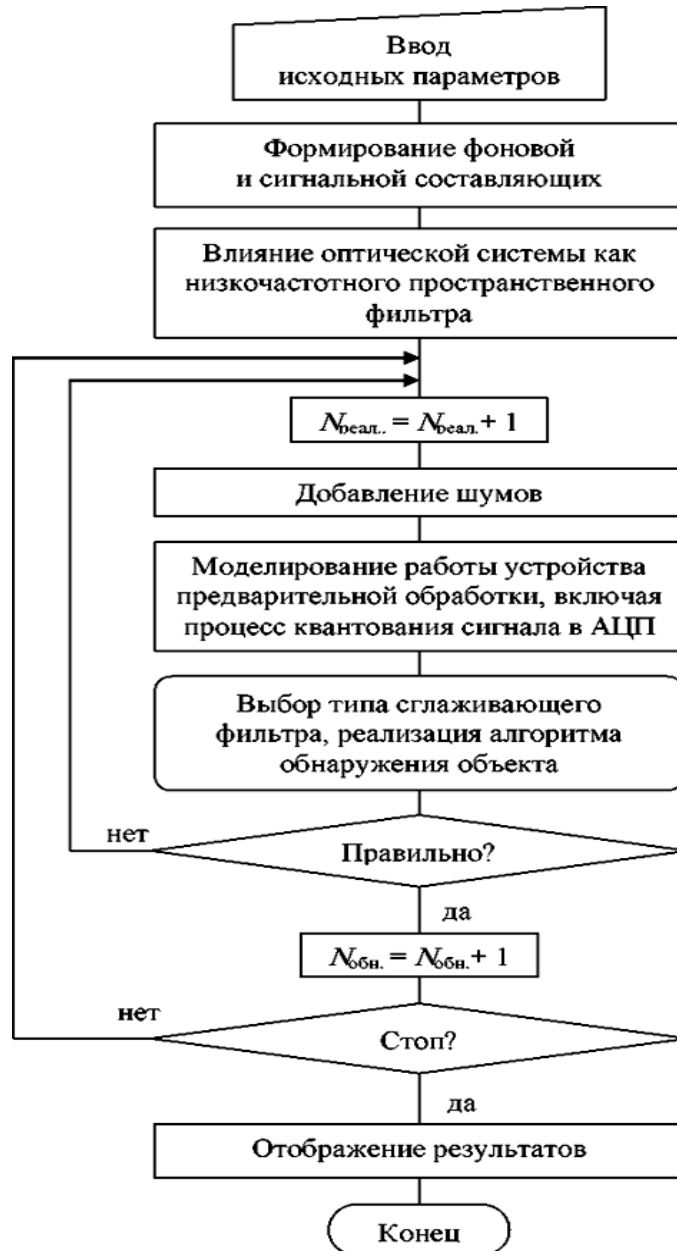


Рис 7. Блок-схема структуры моделі.

Розглянута вище послідовність процедур перетворення сигналу була покладена в основу комп'ютерної моделі, виконаної у вигляді віртуальної установки. За допомогою подібної моделі методом статистичних випробувань ще на ранніх стадіях проектування можна отримувати необхідні залежності, що дозволяють прогнозувати поведінку систем в різних умовах спостереження і при різних значеннях окремих параметрів.

Література

1. Андреев А.Л. Автоматизированные видеoinформационные системы. – СПб.: НИУ ИТМО, 2011. – 120 с.
2. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. – 2-е изд., – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. – 696 с.
3. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение)/А.Н.Писаревский, А.Ф.Чернявский, Г.К.Афанасьев и др.;Под общ. ред.А.Н.Писаревского, А.Ф.-Чернявского.– Л.: Машиностроение, 2007. – 424 с.
4. Быстрые алгоритмы цифровой обработки изображений/Т.С.Хуанг, Дж.-О.Эклунд, Г.Дж.Нуссбаумер и др.; Под ред. Т.С.Хуанга: Пер.с англ.–М.: Радио и связь, 1994. –224 с.
5. Источники и приёмники излучения: Учебное пособие для студентов оптических специальностей вузов/Г.Г. Ишанин, Э.Д. Панков, А.Л. Андреев, Г.В. Польщиков. – СПб: Политехника, 1991, – 240 с.
6. Евдокимов Ю. К., Линдваль В, Р., Щербаков Г. И. LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW. -ДМК Пресс, 2007, – 400 с.
7. A Guide to Standard and High-Definition Digital Video Measurements. Tektronix, 2009. <http://www.tek.com/applications/video/hd2.html>
8. Яне Б. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2007.
9. Д. Сэломон. Сжатие данные, изображений и звука - М.: Техносфера, 2006
10. Лукьяница А.А., Шишкин А.Г. Цифровая обработка изображений. М.: Ай-Эс-Эс Пресс, 2009. – 518 с.
11. Ричардсон Я. Стандарты сжатия MPEG-4 и H.264 – М.:Техносфера, 2006.
12. Сергиенко В.С., Баринов В.В. Сжатие данных, речи, звука и изображений в телекоммуникационных системах: Учебное пособие. – М.: ИП «РадиоСофт», 2009.
13. Кругль Г. Профессиональное видеонаблюдение. Практика и технологии аналогового и цифрового CCTV, 2-е издание – М.: Секьюрити Фокус, 2010.

Надійшла 02.07.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Дивізінюк М.М.