

**М.М. Проценко, к.т.н., пров.н.с.**  
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова  
Національного авіаційного університету

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ АПАРАТУРОЮ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА

*У статті розглянуто методи цифрової обробки відеозображень апаратурою безпілотного літального апарата (БПЛА). Здійснено огляд, систематизацію та аналіз існуючих методів і алгоритмів цифрової обробки зображень, досліджено практичні та теоретичні проблеми їх використання. Зроблено висновки та запропоновано рекомендації стосовно застосування методів для вирішення конкретних завдань, розглянуто перспективи розвитку напрямку.*

**Постановка проблеми.** Оптико-електронні системи знаходять широке застосування в різних галузях науки і техніки. Сучасний етап їх розвитку характеризується швидким удосконаленням елементної бази, в тому числі розвитком оптико-електронних нано- та мікротехнологій, створенням матричних приймачів випромінювання (МПВ), які дозволяють здійснити режим візуалізації, аналогічній роботі зорового апарата людини [1] та використовуються в перспективній апаратурі БПЛА з метою здійснення моніторингу місцевості.

Створюються інтегровані конструкції, в яких МПВ поєднані з системами обробки електронних зображень. Це дозволяє перейти до розв'язання важливих практичних задач, в тому числі і задач відокремлення корисних оптичних сигналів і образів на фоні перешкод. У той же час у багатьох публікаціях не враховано проблему, пов'язану зі збільшенням об'єму інформації, яку потрібно обробляти в реальному масштабі часу.

Зберігання і передача зображень при цифровому, що представлені у вигляді матриці пікселів, потребує обробки великих об'ємів даних. Проте безпосереднє представлення зображення у нестиснутому вигляді є неефективним унаслідок значної корельованості елементів матриці, а варіант незалежного кодування пікселів породжує надмірні коди. На сучасному етапі для стиснення зображень при передачі їх по каналам зв'язку найбільш широке використання знайшли стандарти JPEG та MPEG. В основі їх роботи, зокрема, використовується дискретно-косинусне перетворення. Недоліком даних стандартів є те, що при підвищенні ступеня стиснення, погіршується якість відновленого зображення. Тому особливу актуальність серед проблем цифрової обробки зображень є вирішення протиріччя між отриманням необхідної якості зображень та забезпеченням максимально можливого стиснення даних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На даний час багато публікацій присвячено проблемним питанням застосування цифрової обробки відеозображень в апаратурі БПЛА, основні з яких досліджуються в таких публікаціях: у [1] розглядаються методи і алгоритми цифрової обробки в оптико-електронних приладах; у [2] наведено напрямки забезпечення моніторингу місцевості перспективною апаратурою БПЛА; у [3] розглядаються вимоги до каналів зв'язку з БПЛА та визначені найбільш перспективні шляхи їх реалізації; у [4] – радіолінії зв'язку з БПЛА, наведено приклади їх реалізації.

**Формулювання цілей дослідження.** Цифрова обробка зображень отриманих з БПЛА набуває особливого поширення. Різноманітність методів і алгоритмів пов'язана з широким колом проблем, які виникають під час обробки та передачі цифрових даних в апаратурі БПЛА, а особливо проблеми обробки в реальному масштабі часу. На підставі проведеного аналізу тенденцій розвитку використання МПВ та алгоритмів цифрової обробки для отримання інформації з БПЛА та напрямків їх подальшого розвитку [1–5], можливо зробити висновок, що на сьогодні є актуальним завданням проведення аналізу та встановлення особливостей функціонування і застосування алгоритмів цифрової обробки апаратурою БПЛА.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** У літературі [5] пропонується розрізняти обробку зображень, призначених для зорового сприйняття та обробку в пристроях автоматичного аналізу. В останньому випадку на перший план виходять задачі виділення ознак, формування даних про кількісні характеристики. Обробка зображення, що здійснюється з метою покращання зорового сприйняття [6], показана на рисунку 1.

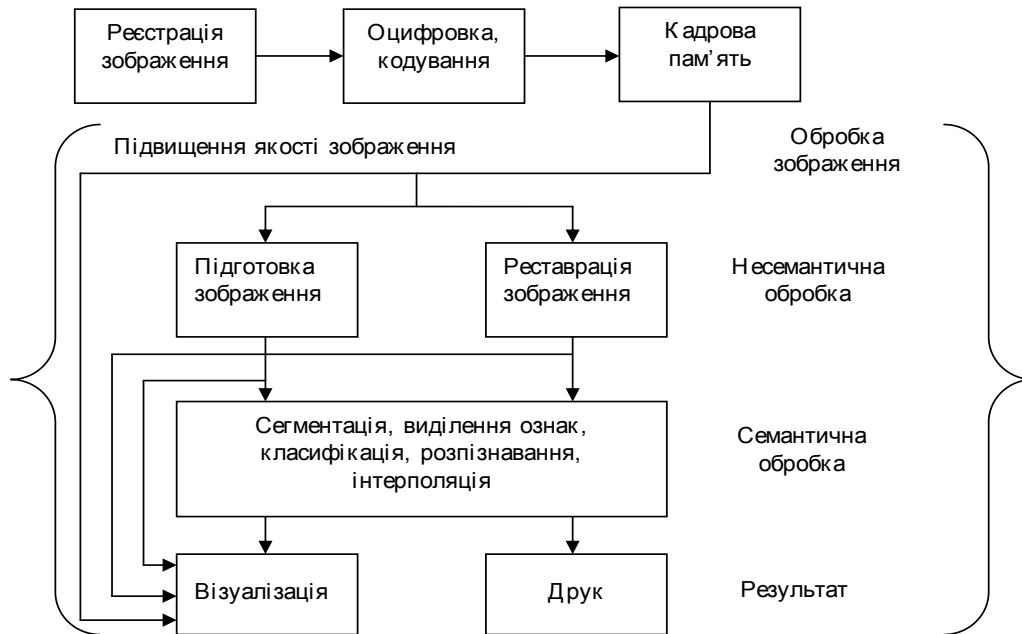


Рис. 1. Класифікація технічних засобів обробки зображень

Головна задача обробки в цьому випадку у підвищенні його якості, яка оцінюється візуально. Обробка зображення містить етап попередньої (первинної обробки), яка проводиться:

- в координатній чи частотній областях;
- з врахуванням або без врахування змісту зображення;
- з використанням лінійних або нелінійних алгоритмів обробки;
- з використанням поелементних (діють в межах елемента зображення), локальних (в межах окремих вікон у площині зображення) або глобальних операторів (в межах всього зображення).

Обробка зображення завершується виділенням тих ознак, які несуть найбільше інформативне навантаження. В процесі обробки зображення здійснюється, по суті, семантичний його аналіз. Дуже ефективні операції з використанням пам'яті, при цьому можливі такі операції:

- корекція геометричних спотворень;
- перетворення системи координат (ортогональна, полярна та ін.);
- масштабування зображення;
- відеоінтерполяція та ін.

Попередня обробка зображення, як етап процедури поліпшення зображення, є надзвичайно важливою та містить великий набір елементарних алгоритмів. Найбільш поширеними з них є:

- нелінійні перетворення сигналів зображення з метою узгодження амплітудних характеристик окремих пристроїв;
- корекція сигналу по полю зображення (для вирівнювання неоднорідностей, викликаних дефектами освітлення і чутливістю перетворювача зображення);
- операція згортки в просторовій області з локальними операторами вікон (операторами згладжування, усереднювання та ін.);
- фільтрація в просторово-частотній області;
- інтерполяція в полі зображення;
- часове підсумовування зображень;
- сегментація зображення та ін.

**Обробка зображень, призначених для автоматичного аналізу.** Об'єм інформації, що підлягає аналізу, настільки великий, що візуальні методи вивчення та оцінки не можуть задовольнити не лише дослідників, але і потреби практичних завдань. Дослідження безлічі  $W(x_1, \dots, x_n; y_1, \dots, y_z)$  спектральних характеристик  $W_{i,j} = f(x_i, y_j)$ ,  $i=0..n$ ;  $j=0..z$ , де  $i, j$  – координати елементів зображення, при обробці даних представляє складну вимірну операцію та обчислювальну процедуру. У таких випадках використовують багатозональну реєстрацію просторово-поєднаних зображень. Багатозональні телевізійні системи давно застосовують в астрофізиці, метеорології при аналізі аерокосмічних знімків.

Перетворення зображень, призначених для автоматичного аналізу, як правило, містить процедури запису його в пам'ять, обробку із затримкою у часі і визначення значущих параметрів (знаковий опис). В

процесі автоматичної обробки зображення досліджуваного об'єкта формується список параметрів, часто в матричній формі або у вигляді стилізованого зображення (напівавтоматичний аналіз). Список значущих параметрів формується залежно від конкретних завдань.

Аналіз численних джерел дозволяє виділити найчастіше використовувані процедури обробки: операцію згортки в просторовій області; фільтрацію в просторово-частотній області; шейдинг-корекцію (вирівнювання яскравості по полю зображення); нелінійне амплітудне перетворення сигналу зображення; операцію зіставлення з порогом; бінаризацію зображення; рангову фільтрацію; локальні процедури усереднювання; градієнтні перетворення; інтерполяцію зображень у просторовій області; інверсію зображення; аналіз логічних зв'язків у зображенні; підсумовування і віднімання зображень; пошук екстремумів у зображенні.

У окрему групу можна виділити геометричні перетворення зображень: масштабні перетворення (збільшення, зменшення), обертання.

Процедури функціональних перетворень: Фур'є-перетворення; косинусне; синусне; перетворення Адамара та ін.

Викладені вище особливості обробки в основному стосуються статичних зображень.

**Компресія динамічних зображень у форматі MPEG, формати стиснення.** Формати MPEG (Moving Picture Experts Group), описані в документах ISO/IEC 11172, 13818 і 14812, розроблялися як для цілей цифрового телевізійного мовлення (MPEG-2), так і для застосування в мультимедійних системах (MPEG-1, MPEG-4 і MPEG-7) з метою зберігання і передачі динамічних зображень. Дані формати належать до найбільш перспективних напрямів розвитку техніки передачі повідомлень. Формати встановлюють алгоритми стискування відео, звуку, службових і системних даних, а також даних синхронізації. Сигнали від джерел повідомлень, що піддаються стискуванню, мультиплекуються в загальний цифровий потік (званий системним у MPEG-1, програмним або транспортним в MPEG-2 [20]). Синтаксис цих потоків встановлений форматом MPEG. Цифровий потік піддається завадостійкому кодуванню (наприклад, код Ріда-Соломона, згортальний код), вигляд якого залежить від каналу зв'язку, що використовується. Отриманий цифровий потік тим або іншим способом модулюється: для супутникового каналу використовують QPSK-модуляцію, для кабельного – QAM, для передачі по ефіру – COFDM.

Формат MPEG-1 був розроблений для застосування в комп'ютерних мультимедійних системах, а також для банків рухливих зображень із стандартним для компакт-дисків (CD) потоком даних в 1,15 Мбіт/с і спеціальним форматом прогресивного зображення (SIF- формат). Для отримання прийнятної якості максимальне число елементів зображення було обмежене до 352 x 288 елементів, частота кадрів до 30 Гц. Верхня межа системного потоку даних складала 1,5 Мбіт/с. Такі суттєві обмеження стандарту не дозволили використовувати його для цілей телевізійного мовлення. Не передбачалася також можливість роботи з різними форматами субдискретизації сигналів кольоровості, окрім 4:2:0.

Прийнятий нещодавно формат MPEG-4 також призначений для компресії відеоданих в мультимедійних системах, зокрема для їх передачі через мережу Інтернет. Стратегія кодування цього формату є у відмові від розгляду початкового зображення як єдиного інформаційного поля і його представлення як сукупності деякого числа семантичних одиниць. При цьому окремі відеооб'єкти кодуються незалежно один від одного відповідно до алгоритмів, що забезпечують найбільшу міру стискування. Наприклад, текст, що міститься в зображенні, немає сенсу передавати у вигляді графічного зображення, а значно ефективніше – як послідовність друкарських знаків і набору атрибутів (шрифт, колір тощо). Слід зазначити, що під відео-об'єктом можуть розумітися не обов'язково реальні об'єкти, але й їх фрагменти, звук тощо. Важливо також зазначити, що стандарт не визначає спосіб "отримання" окремих відеооб'єктів. У багатьох мультимедійних застосуваннях вони можуть бути в наявності спочатку (так званий режим KBC – Knowledge Based Coding); при роботі з реальними зображеннями вони можуть бути отримані в результаті його сегментування (режим OBASC – Object Based Analysis Synthesis and Coding). В обох випадках кожного сегментованого фрагмента ставиться у відповідність деяка модель і обирається оптимальний для неї спосіб кодування. У найпростішому випадку все динамічне зображення цілком може розглядатися як єдиний відеооб'єкт і бути закодованим з використанням тих же алгоритмів, які використовуються в MPEG-1 і MPEG-2. Тим самим досягається сумісність MPEG-4 з попередніми стандартами.

Відео за MPEG-2 враховує через строковість відеосигналу і має ряд рівнів якості, зазвичай, які представляються [5] у вигляді таблиці "рівень/профіль" (табл. 1).

Таблиця 1

Рівень/ профіль	Простий профіль	Основний профіль	Масштабований профіль	Просторовий масштабований профіль	Високий профіль
--------------------	--------------------	---------------------	--------------------------	---	-----------------

Високий рівень	–	1920x1152 або 1920x1080 80 Mbit/s	–	–	1920x1152 (1080) 960x576 100 (80, 25) Mbit/s
Високий рівень – 1440	–	1440x1152 60 Mbit/s	–	1440x1152 (720x576) 60 (40, 15) Mbit/s	1440x1152 (720x576) 80 (60, 20) Mbit/s
Основний рівень	720x576 15 Mbit/s	720x576 15 Mbit/s	720x576 15 (10) Mbit/s	–	720x576 (352x288) 20 (15, 4) Mbit/s
Низький рівень	–	352x288 4 Mbit/s	352x288 4 (3) Mbit/s	–	–

Профіль визначає параметри стискування (тобто синтаксис), а рівень – розмір зображення. Цим забезпечується покриття різних рівнів застосувань, що вимагають стискування відеоданих (від 352 x 288 елементів при 3 Мбіт/с до 1920 x 1152 при 100 Мбіт/с). Для передачі сигналу стандартної якості використовується “Основний профіль основного рівня” (Main Profile at Main Level-MP@ML). Він передбачає цифровий потік до 15 Мбіт/с. Слід зазначити, що MPEG встановлює тільки синтаксис потоку даних. Це допускає велику свободу дій при побудові кодера, по-перше, залежно від вимог конкретного одержувача (шляхом установки відповідного профілю), по-друге, шляхом оптимізації і доповнень, тією або іншою мірою тих, що впливають на якість. Основні вимоги, які висувалися до MPEG-2 при його розробці, такі: забезпечувати кращу якість зображення, ніж PAL, SECAM або NTSC; забезпечувати можливість початку декодування з будь-якого місця цифрового потоку (довільний доступ); давати можливість редагування.

До відкритих стандартів НАТО, що регламентують передачу даних з безпілотних авіаційних платформ, належить й стандарт STANAG 4607 / AEDP-7 [3, 4].

В ньому визначено зміст і формат даних, одержуваних з радарів виявлення рухомих цілей на земній поверхні (GMTI-Ground Moving Target Indicator). Залежно від пропускної здатності каналів зв'язку, описаний в стандарті формат GMTI, дозволяє передати тільки інформацію про рухомі цілі або ще й супутні радіолокаційні зображення з високою роздільною здатністю (рис. 2).

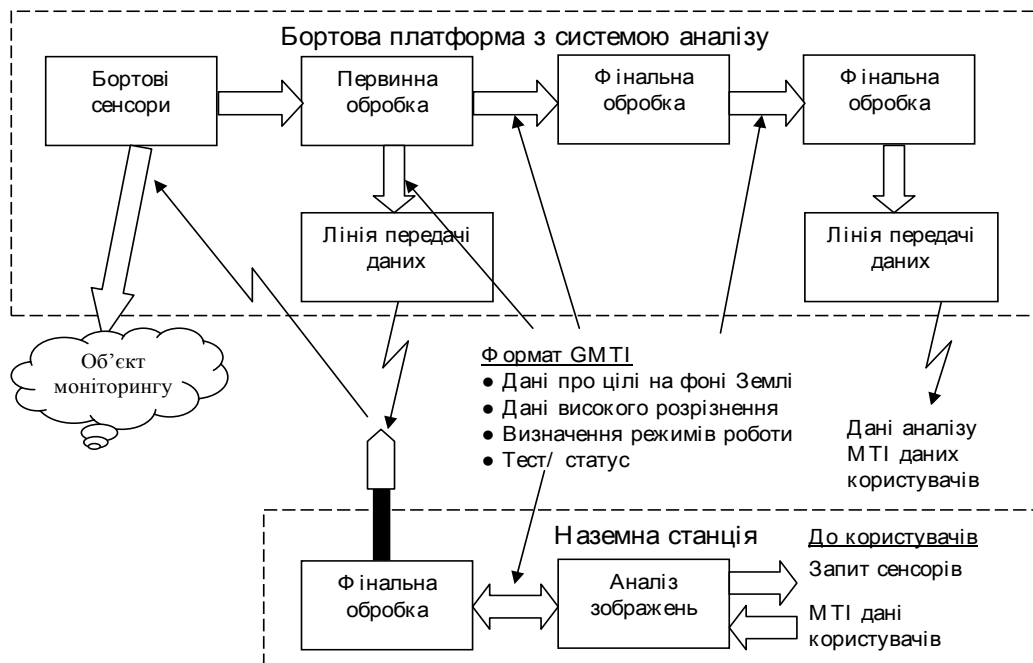


Рис. 2. Можливі варіанти передачі даних про об'єкти моніторингу

Дані транслюються пакетами розміром 65535 байт, що дозволяє передати інформацію про 80 відміток цілі та їх траєкторіях.

Основні вимоги за швидкістю передачі даних від бортових сенсорів БПЛА сформульовані в стандарті НАТО STANAG 4609 Edition 2 і в другій редакції “Керівництва по реалізації” цього стандарту

АЕДР-8 [3, 4]. Мета стандарту – підвищення здібності до взаємодії між системами контролю й управління НАТО в питаннях обміну цифровими мультимедійними зображеннями (телевізійними, радіолокаціями тощо), у тому числі сформованими на борту БПЛА. При цьому мається на увазі, що припиняється розвиток аналогових засобів передачі даних. STANAG 4609 базується на комерційних цифрових стандартах, що дозволяє використовувати для запису і передачі цифрових образів комерційне устаткування. Крім того, в ньому враховані також специфічні військові вимоги для метаданих, супроводжуючих відеоінформацію. Стандарт STANAG 4609 надає розробникам систем максимальну гнучкість, тому він не визначає фізичних інтерфейсів для можливості поєднання різних систем, ні їх конфігурації.

**Висновки.** Таким чином, велика кількість існуючих методів і алгоритмів цифрової обробки та можливість комбінацій окремих операцій та методів дозволяє розв'язувати найрізноманітніші задачі, постійно вдосконалювати існуючі алгоритми та за рахунок цього підвищувати ефективність обробки зображень. Вивчені особливості застосування передового досвіду НАТО в формуванні вимог до каналів передачі даних, визначені шляхи спрощення розрахунків для обробки в масштабі реального часу, встановлено особливості функціонування і застосування деяких алгоритмів. У подальшому доцільно здійснити обґрунтування вимог до процесу обробки цифрових відеозображень, отриманих з безпілотного літального апарата.

#### Список використаної літератури:

1. Колобородов В.Г. Застосування методів і алгоритмів цифрової обробки зображень в оптико-електронних приладах / В.Г. Колобородов, К.В. Харитоненко // Вісник НТУУ “КПІ”. – К. : НТУУ “КПІ”, 2010. – Вип. 40. – С. 23–31.
2. Сальник Ю.П. Направление обеспечения мониторинга местности перспективной аппаратурой БПЛА / Ю.П. Сальник // Системи обробки інформації. – 2007. – № 3 (61). – С. 106–108.
3. Слюсар В.И. Передача данных с борта БПЛА: стандарты НАТО / В.И. Слюсар // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2010. – № 3. – С. 80–86.
4. Слюсар В.И. Радиолнии связи с БПЛА: примеры реализации / В.И. Слюсар // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2010. – № 5. – С. 56–60.
5. Цифровое преобразование изображений : учеб. пособие для вузов / Р.Е. Быков, П.Р. Фрайер, К.В. Иванов, А.А. Монцетов ; под ред. проф. Р.Е. Быкова. – М. : Горячая линия–Телеком, 2003. – 228 с.
6. Кузнецов В. Беспилотная одиссея в небе будущего / В.Кузнецов // Наука и техника – Харьков, 2011. – № 5 (60). – С. 21–26.
7. Общие виды и характеристики беспилотных летательных аппаратов : справ. пособие / А.Г. Гребеников, А.К. Мяслица, В.В. Парфенюк и др. – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 2008. – 377 с.
8. Безпілотна авіація в сучасній збройній боротьбі : монографія / В.Г. Радецький, І.С. Руснак, Ю.Г. Даник. – К. : НАОУ, 2008. – 224 с.
9. Куликов А. БЛА: невыполнимых задач нет / А.Куликов // Воздушно-космическая оборона. – М., 2008. – № 2 (39). – С. 54–60.
10. Теорія і техніка протидії безпілотним засобам повітряного нападу / Ю.Г. Даник, Г.А. Дробаха, В.І. Карпенко та ін. – Харків : ХВУ, 2002. – 260 с.

ПРОЦЕНКО Михайло Михайлович – кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник наукового центру Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

- обробка відеозображень з безпілотного літального апарата;
- цифрова обробка сигналів з використанням вейвлет-перетворень.

Стаття надійшла до редакції 11.06.2012

**Проценко М.М.** Аналіз методів цифрової обробки відеозображень апаратурою безпілотної літального апарату

**Проценко М.М.** Анализ методов цифровой обработки видеоизображений аппаратурой беспилотного летательного аппарата

**Protsenko M.M.** Analysis of digital video processing equipment unmanned aircrafts

УДК 621.396

**Анализ методов цифровой обработки видеоизображений аппаратурой беспилотного летательного аппарата / М.М. Проценко**

В статье рассмотрены методы цифровой обработки видеоизображений аппаратурой беспилотного летательного аппарата. Проведен анализ и систематизация существующих методов и алгоритмов цифровой обработки изображений, исследованы практические и теоретические проблемы их использования. Сделаны выводы и предложены рекомендации применения методов для решения конкретных задач, рассмотрены перспективы развития направления.

УДК 621.396

**Analysis of digital video processing equipment unmanned aircrafts / M.M. Protsenko**

The article deals with methods of digital video processing apparatus lethal unmanned vehicle. The analysis and systematization of existing methods and algorithms for digital image processing, investigated the practical and theoretical problems of their use. The conclusions and recommendations are offered the use of methods to solve specific problems, prospects of development areas.