

Монографія / А.Е. Алтунин, М.В. Семухин. – Тюмень: ТГУ, 2000.— 352 с. 3. Weiss G. *Multiagent Systems. A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence* / G. Weiss, editor. – Springer Verlag, Berlin, 1996. – 643 pp. 4. Wooldridge M. *An Introduction to Multiagent Systems* / M. Wooldridge. – John Wiley & Sons, 2002. – 366 p. 5. Zimmerman H. J. *Fuzzy Set Theory and Its Applications* / H.J. Zimmerman. – Kluwer, Dordrecht, 1991. – 315 p. 6. Shaw I. S. *Fuzzy Control of Industrial Systems : Theory and Applications* / Ian S. Shaw. – Kluwer, Academic Publishers, 1998. – 192 p. 7. Кравець П.О. Системи прийняття рішень з нечіткою логікою / П.О. Кравець, Р.В. Киркало // *Комп'ютерні науки та інформаційні технології: Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”*. – 2009. – № 650. – С. 115 – 124. 8. Кравець П.О. Прийняття оптимальних рішень методом навчання з нечіткою логікою / П.О. Кравець, О.М. Проданюк // *Інформаційні системи та мережі: Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”*. – 2009. – № 653. – С. 129 – 147.

УДК 004.925

М. Олексів

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних обчислювальних машин

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗОБРАЖЕНЬ СЦЕНИ, ЩО МІСТИТЬ ЛІТАКИ

© Олексів М., 2010

Розглянуто математичну модель зображень літаків на довільному фоні. Запропонована модель розглядає зображення як множину текстур. Враховуються як негативні природні впливи на зображення, так і особливості зображень літаків на сцені за різних умов. Модель придатна для розроблення віконних методів опрацювання згаданих зображень.

Ключові слова: літак, сцена, модель, моніторинг.

In the article the mathematical model of a scene that contains images with airplanes is considered. This model treats image of a scene as a set of textures. It takes into consideration negative natural influences and particularities of airplane representations on a scene in different conditions. The model is suitable for mentioned images digital image processing window methods development.

Keywords: airplane, scene, model, monitoring.

Вступ

Для розроблення систем візуального моніторингу прилегло до аеропорту простору необхідна наявність математичного апарату, який дасть змогу розв'язувати задачу візуального моніторингу прилегло до аеропорту простору, зокрема виявлення й ідентифікації літаків. Для розроблення такого математичного апарату, своєю чергою, необхідна наявність математичної моделі зображень сцени, що містить зображення літаків на довільному фоні за різних умов. Наявність цієї моделі дасть змогу розробляти нові та покращувати існуючі методи цифрового опрацювання зображень, що містять літаки. Це, своєю чергою, підвищить надійність систем візуального моніторингу прилегло до аеропорту простору та полегшить процес їх розроблення.

Огляд літературних джерел

До існуючих математичних моделей можна віднести моделі літаків МІГ-31 і F-16, описані у [1]. Моделі придатні для опису лише зображення літака, а не сцени загалом.

Постановка задачі

Для розроблення методів цифрового опрацювання зображень літаків на довільному фоні за різних умов, наприклад, сцени прилеглого простору аеропорту, необхідно розробити математичну модель цих зображень. Ціллю даної моделі є опис зображення сцени як набору текстур, які при подальшому опрацюванні можна буде звести до однотонних областей. Це дасть змогу розбити сцену на зв'язані однотонні області, що представляють окремі об'єкти, наприклад, літаки, або їх фрагменти, за якими їх можна ідентифікувати.

Математична модель зображень сцени, що містить літаки

Складність, опуклість форми корпусу літака, виконання її з листів металу, що візуально утворюють шви в місцях з'єднань, нерівномірність її освітлення призводить до того, що навіть однорідні елементи поверхні з однаковими відбиваючими властивостями відображаються на зображенні по-різному. Це дає можливість трактувати їх як текстури, а зображення літаків на будь-якому фоні незалежно від нанесеної фарби, надписів, візерунків можна представити у вигляді текстур. При цьому кожну з текстур, з яких складається зображення літака, можна описати амплітудно-модульованими сигналами з різною несучою частотою, що закладає підґрунтя для подальшого опрацювання зображень у частотній області. Для опису текстур корпусу літака доцільно вибрати саме амплітудно-модульовані сигнали, оскільки різні текстури можуть бути представлені однаковим частотним розподілом і при цьому характеризуватися різним розподілом інтенсивності (амплітуд) [2]. Амплітудно-модульований сигнал є добутком огинаючої і гармонічної складової [3]. Результати проведеного аналізу показують, що, як правило, огинаюча змінюється залежно від просторової складової набагато повільніше, ніж її високочастотні складові. В іншому випадку ми отримуємо сильноташумлене, не придатне для опрацювання зображення.

Існує кілька підходів до аналізу, опису і синтезу текстур. Серед них можна виділити статистичний і спектральний. У статистичній текстурі відсутня інформація про форму і розміри непохідних елементів. Під непохідними елементами слід розуміти зв'язані множини пікселів зображення з певними значеннями інтенсивності. Просторова організація непохідних елементів статистичної текстури описується теорією ймовірності [4]. Цей спосіб опису текстури найкраще підходить для опису шерехатості поверхонь, зон незначного облущення фарби.

Спектральна текстура частково містить інформацію про непохідні елементи, зокрема, про їх розміри, і інтерпретується в термінах просторової частоти [4].

При отриманні за допомогою фото- або відеокамери зображення літаків на деякому фоні, крім набору текстур і фону також додаються різного роду завади. До них належать мультиплікативні завади турбулентного спотворення атмосфери та розмиття зображення літака у результаті рівномірного чи прискореного руху за умов завищеної експозиції [5]. Турбулентні завади описуються в частотній області формулою [5]:

$$T(u, v) = e^{-k(u^2 + v^2)^{5/6}}, \quad (1)$$

де параметр k описує турбулентні властивості атмосфери, $u = 1, \dots, U$; $v = 1, \dots, V$. Оскільки на двовимірній сцені літак може рухатися в просторі відносно камери як по осі x , так і по осі y , то представлення функції руху в частотній області можна описати так:

$$M(u, v) = \frac{T}{\pi(ua + vb)} \sin(\pi(ua + vb)) e^{-i\pi(ua + vb)}, \quad (2)$$

де T – час експозиції, $u = 1, \dots, U$; $v = 1, \dots, V$, a і b – відповідно вертикальне і горизонтальне зміщення, що здійснив об'єкт відносно камери за час T [5]. Прийmemo, що літак – це інертне габаритне тіло, яке не може змінити свою швидкість руху так, щоб візуально на одному чи двох послідовних кадрах була помітна різниця між його прискореним і рівномірним рухом. Тоді для спрощення моделі вважатимемо швидкість руху літака рівномірною або такою, що дорівнює 0, коли літак не змінює свого розташування відносно камери.

Також необхідно врахувати адитивні складові: модель періодичного шуму, яка має випадковий характер і може бути описана білим шумом Гаусса; моделі туману, сутінок, ночі і дощу.

Один з способів опису моделі туману має вигляд [6]:

$$C(x,y) = S(x,y) \cdot F(x,y) + (O(x,y) - S(x,y)) \cdot P(x,y), \quad (3)$$

де $x=1, \dots, U$; $y=1, \dots, V$ – просторові координати; $C(x,y)$ – функція розподілу результуючої інтенсивності пікселів; $S(x,y)$ – функція насиченості туману; $F(x,y)$ – функція напівтонової інтенсивності туману; $P(x,y)$ – функція напівтонової інтенсивності зображення; $O(x,y)$ – функція, область значень якої дорівнює одиниці; \cdot – операція множення. Слід зауважити, що ця модель туману є універсальною в тому сенсі, що вона може коректно моделювати зображення сцен, які отримуються за допомогою камери в умовах сутінок, ночі і дощу.

Нехай $x=1, \dots, U$; $y=1, \dots, V$ – просторові координати. Взявши за основу текстурної моделі зображень сцени прилеглого простору аеропорту модель, запропоновану у [7] і врахувавши вплив факторів навколишнього середовища, отримуємо множину значень інтенсивності m -го рядка текстурного зображення в вигляді розбиття на послідовні сегменти, що не перетинаються:

$$I(x, y_m) = \bigcup_{i=1}^k \{S_i(x, y_m) \cdot F_i(x, y_m) + (O_i(x, y_m) - S_i(x, y_m)) \cdot (f_i(x, y_m) + N_i(x, y_m)) + \sum_{j=1}^n A_{ij}(x, y_m) \cdot \cos(\omega_m^j x + \phi_m^j)\}, x \in [q_{i-1}, q_i] \} * T(x, y_m) * M(x, y_m) + W(x, y_m), \quad (4)$$

де $f_i(x, y_m)$ – функція фону на i -му сегменті m -го рядка зображення; $T(x, y_m)$ – функція турбулентності (1) m -го рядка зображення в просторовій області; $M(x, y_m)$ – функція спотворення при русі літака по осях x та y за умов завищеної експозиції (2) m -го рядка зображення в просторовій області; $*$ – операція згортання; $A_{ij}(x, y_m)$, ω_m^j , ϕ_m^j – відповідно амплітуда, частота і фаза j -го амплітудно-модульованого колювання на i -му сегменті m -ого рядка зображення; $N_i(x, y_m)$ – білий шум Гаусса з нульовим середнім і дисперсією σ_i^2 , $q = (q_0, \dots, q_{k+1})$ – вектор границь текстурних областей m -го рядка зображення, причому $q_0=1$, $q_{k+1}=U+1$; U – кількість пікселів в рядку зображення; $W(x, y_m)$ – білий шум Гаусса з нульовим середнім і дисперсією σ_i^2 , $S_i(x, y_m)$ – функція насиченості туману на i -му сегменті m -го рядка зображення; $F_i(x, y_m)$ – функція напівтонової інтенсивності туману (колір) на i -му сегменті m -го рядка зображення; $O_i(x, y_m)$ – функція, область значень якої дорівнює одиниці; \cdot – операція множення.

Вважатимемо, що $A_{ij}(x, y_m)$ є функцією, що повільно змінюється залежно від просторової координати x відносно несучої частоти ω_m^j . Повільна зміна $A_{ij}(x, y_m)$ при зміні просторової координати перетворює гармонічні колювання значень інтенсивності зображень сцени прилеглого простору аеропорту на амплітудно-модульовані сигнали. Складова $N_i(x, y_m)$, що відповідає білому шуму Гаусса з дисперсією і потужністю, що змінюються, представляє статистичну текстуру зображення [7]. Складова $W_i(x, y_m)$, що також відповідає білому шуму Гаусса з дисперсією і потужністю, що можуть змінюватися в межах зображення, представляє шум, отриманий в результаті аналогово-цифрового перетворення та передачі зображення сцени лініями зв'язку. Спектральна текстура відображена присутністю суми амплітудно-модульованих колювань в описі функції $I(x, y)$ значень інтенсивності зображення сцени прилеглого простору аеропорту.

За текстурно однорідні області можна прийняти області окремих елементів літака, наприклад, фюзеляж, крила, хвіст. А за ознаку початку і кінця певної області можна прийняти різкі перепади амплітуди в амплітудно-модульованих сигналах, хоча це твердження не завжди справедливе, а отже, може розглядатися як частковий випадок.

Отже, розроблена математична модель дає змогу представляти зображення сцени, що містить літаки, наприклад, прилеглого простору аеропорту, у вигляді гібридної спектрально-статистичної моделі текстурного зображення з амплітудно-модульованими колюваннями значень інтенсивності.

Ця модель дає можливість:

- відслідковувати контури об'єктів, що мають однакову текстуру;
- враховувати як амплітудно-модульовані, так і локальні особливості напівтонових зображень літаків та інших об'єктів, що зумовлені факторами навколишнього середовища і фізичними особливостями апаратури;
- розробляти методи компенсації негативного впливу завад;
- розробляти віконні алгоритми порядкового опрацювання сцени в режимі реального часу.

Початкові умови експериментального підтвердження запропонованої моделі

Для експериментального підтвердження запропонованої моделі необхідно проаналізувати зображення сцени, що містить літаки, наприклад, прилеглого простору аеропорту, отриманих за допомогою відео- і фотокамер, і змодельованих за допомогою запропонованої моделі.

Зображення літаків аналізують шляхом нанесення реального високоякісного 8-бітного напівтонового зображення літака АН-12, отриманого цифровою камерою, на штучний напівтоновий монотонний фон з інтенсивністю 102. Цей фон відповідає середній інтенсивності фону, реального зображення, з якого береться літак. Розмір кадру 640*480 пікселів. Розмір області з літаком, яка використовуватиметься в дослідженнях 424*424 піксели. Це зображення далі іменуються експериментальним (рис. 1). Зображення літака, отримане за допомогою камери, подано на рис. 2.



Рис. 1. Експериментальне зображення літака на монотонному фоні



Рис. 2. Зображення літака отримане за допомогою камери

Для моделювання використовується середовище MatLab і універсальний комп'ютер на базі процесора AMD Athlon 64 X2, що працює на тактовій частоті 2,9 ГГц.

Експериментальне підтвердження запропонованої моделі

При експериментальному підтвердженні запропонованої моделі насамперед необхідно переконатися, що реальне і експериментальне зображення літака, отримані за допомогою відеоапаратури, містять текстури. Експериментальне зображення літака АН-12 зі збільшеним у 4 рази рядочком 198, на якому присутні всі елементи сцени: фон, хвіст, крило, двигун, пропелер, фюзеляж, зображено на рис. 3. На рисунку можна помітити однорідні текстури хвоста, крила, двигуна, пропелера, що характеризуються різкими перепадами на своїх границях та неоднорідну текстуру фюзеляжу. Проте якщо розглядати, що фюзеляж складається з обшивки і ліхтаря, то отримаємо амплітудно однорідні текстури з чіткими границями переходів.

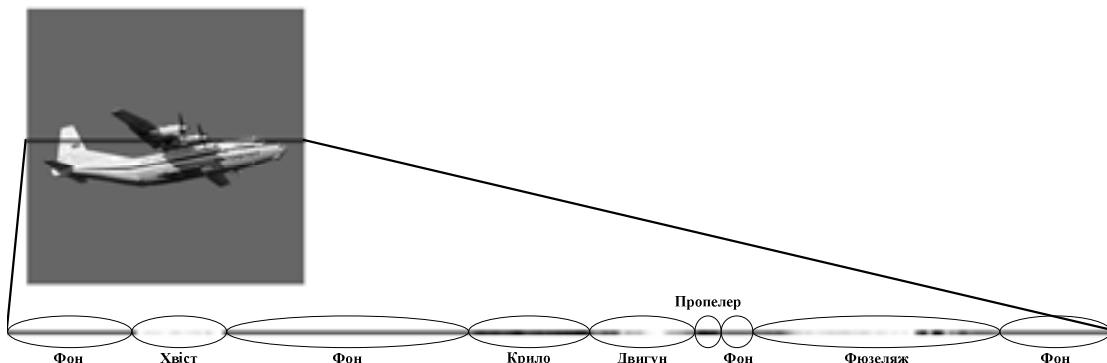


Рис. 3. Експериментальне зображення літака з виділеним 198-м рядком, що розбитий на області текстур окремих компонентів

Амплітудно-частотні характеристики текстур хвоста, крила, двигуна, пропелера, фюзеляжу і рядка загалом зображені на рис. 4. Для наочності значення амплітуди постійної складової видалене, а спектри – центровані.

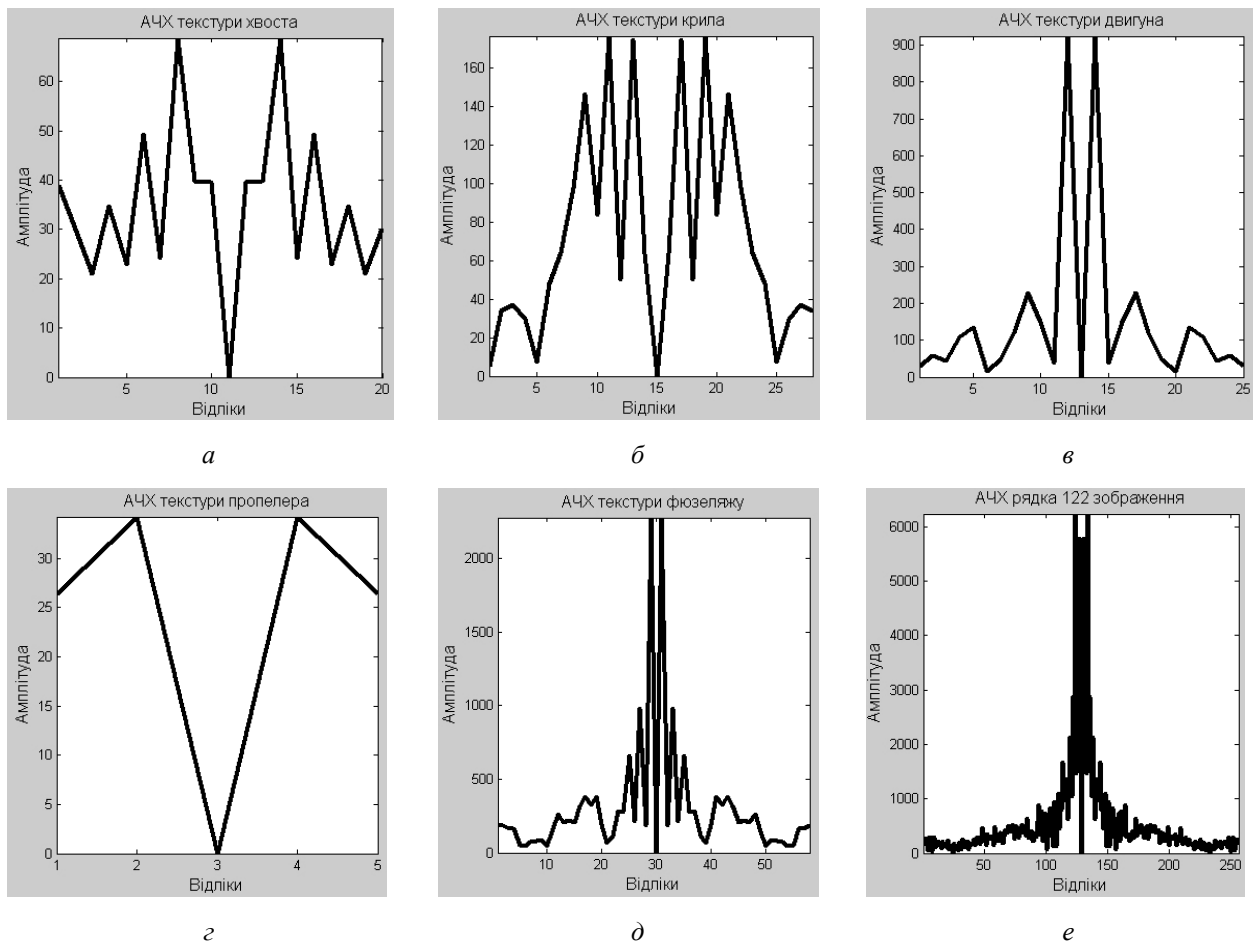


Рис. 4. Амплітудно-частотні характеристики текстур: а – хвоста; б – крила; в – двигуна; г – пропелера; д – фюзеляжу; е – рядка 198 загалом

Для дослідження параметрів текстур у частотній області рекомендується обробляти області зображення розміром 30–50 пікселів по обох координатах x і y [8]. Оскільки в моделі пропонується опрацьовувати області порядково, то розмір досліджуваної області по осі y становить 1 піксель. Тобто всі АЧХ текстур можна вважати інформативними, за винятком АЧХ текстури пропелера.

Як видно з рис. 4, АЧХ областей не завжди відрізняються за частотним складом і доволі сильно відрізняються за амплітудою спектральних складових окремих сегментів, що підтверджується і дисперсією, значення якої подано в таблиці. Це підтверджує правильність вибору амплітудної модуляції для опису сигналів текстур.

Середньоквадратичні відхилення амплітуди сегментів рядка 198

Сегмент	Значення дисперсії амплітуди сигналу
Хвіст	8,8
Крило	17,5
Двигун	57,2
Пропелер	13,6
Фюзеляж	68,3
Рядок 198 загалом	64

На рис. 4. присутні області, що відображають частотні характеристики, притаманні білому шуму з різною потужністю (переважно високою) і шириною спектра. Це підтверджує справедливність використання білого шуму зі змінною дисперсією і потужністю для опису статистичної текстури. У всіх АЧХ текстур присутні складові фону.

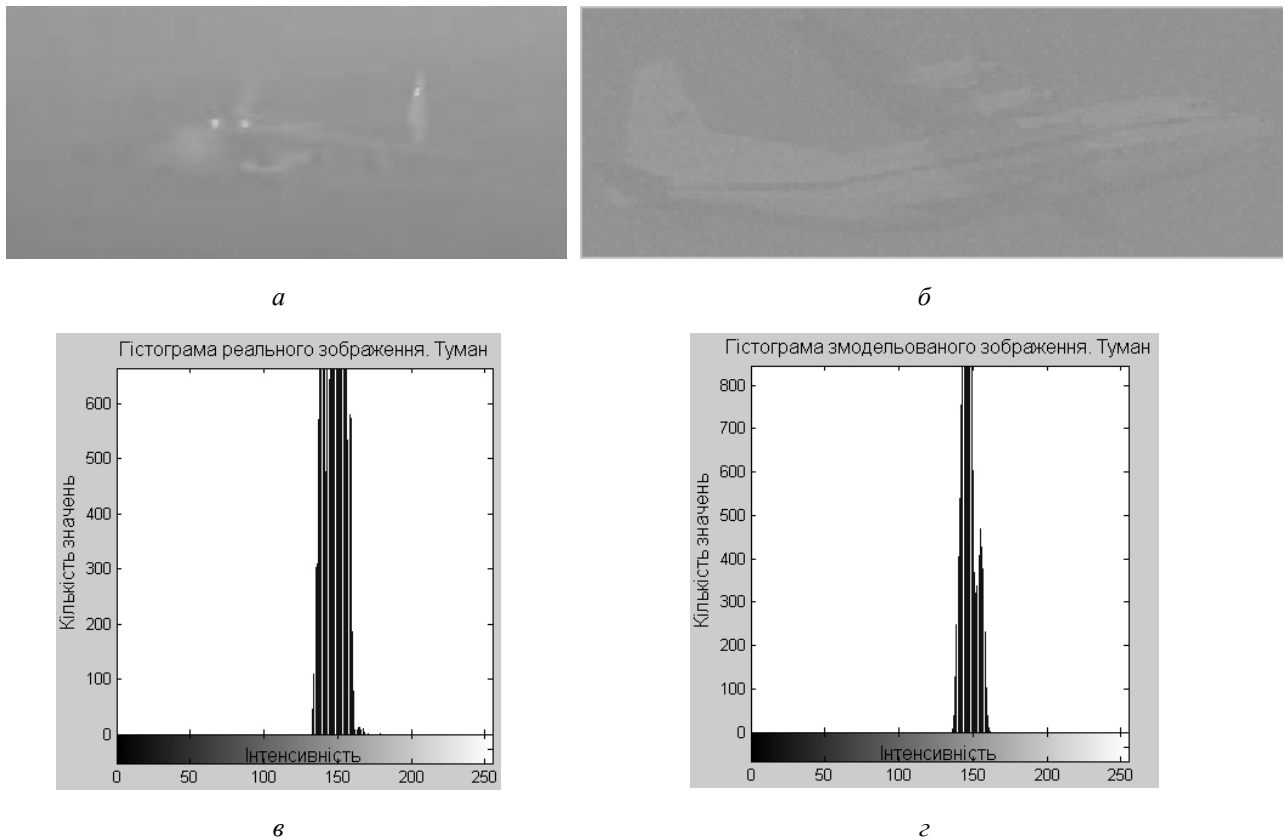


Рис. 5. Дослідження характеристик зображень в сильному тумані: а – реальне зображення; б – змодельоване зображення; в – гістограма реального зображення за умов туману; г – гістограма змодельованого зображення за умов туману

Для підтвердження універсальності моделі туману при моделюванні зображення сцени, що отримується камерою за умов туману, ночі і дощу, розглянемо гістограми експериментального зображення і зображень реальної обстановки у відповідних умовах. При моделюванні туману застосовано модель (4) з параметрами $S(x,y)=0.93$, $F(x,y)=150$. Параметр k моделі (1) підібраний експериментально і становить 0.0005 . Параметри T , a , b моделі (2) підібрані експериментально і становлять 0.1 , 0.00019 , 0.00019 відповідно. Рівень шуму $W(x,y)$ підібраний експериментально і становить 5 Дб. Параметри моделей (1), (2) залишаються сталими впродовж дослідження моделі туману на можливість моделювати зображення в умовах ночі і дощу.

Візуально туман на рис. 5, а схожий на туман на рис. 5, б. Ширина областей гістограми на рис. 5, в, внесок яких у зображення – 5% і більше, становить 28 градацій сірого, а на рис. 5, г – 24 градації сірого. Це свідчить про достовірність моделі.

Інші показники не досліджуються, оскільки на рис. 5, а і рис. 5, б зображено 2 різні сцени з двома різними літаками (АН-225 і АН-12), знятими під різними кутами, зображення яких володіють різними характеристиками, що не мають відношення до туману.

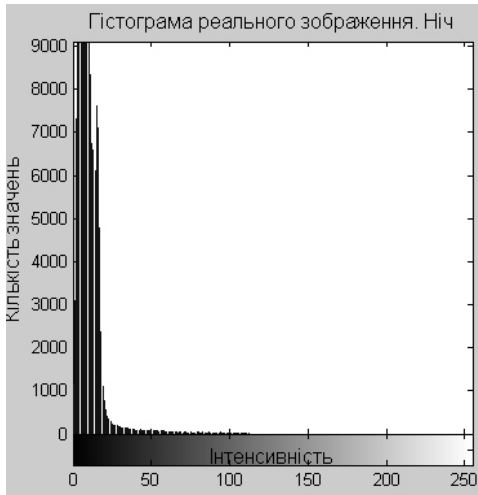
Для моделювання ночі розглянемо гістограми експериментального зображення, до якого застосовано модель (4) з параметрами $S(x,y)=0.93$, $F(x,y)=2$, і зображень реальної обстановки у відповідних умовах.



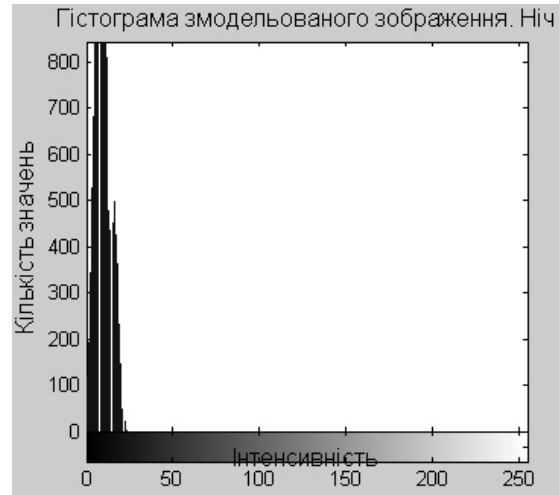
a



б



в



г

*Рис. 6. Дослідження характеристик зображень в ночі:
а – реальне зображення; б – змодельоване зображення;
в – гістограма реального зображення за умов ночі;
г – гістограма змодельованого зображення за умов ночі*

Візуально сцена на рис. 6, а схожа на сцену на рис. 6, б. Ширина областей гістограми на рис. 6, в, внесок яких у зображення – 5% і більше, становить 22 градації сірого, а на рис. 6, г – 20 градацій сірого. Плавний спад гістограми з рис. 6, в відповідає світлим областям, отриманим за допомогою освітлювальної техніки літака з рис. 6, а, якої немає у літака з рис. 6, б, оскільки зображення зроблене штучно. Результати дослідження свідчать про достовірність моделі.

Інші показники не досліджуються з тих самих міркувань, що і при дослідженні туману.

Для моделювання дощу розглянемо гістограми експериментального зображення, до якого застосовано модель (4) з параметрами $S(x,y)=0.52$, $F(x,y)=153$, і зображень реальної обстановки у відповідних умовах.

Візуально сцена на зображенні на рис. 7, а схожа на змодельовану сцену на рис. 7, б. Ширина областей гістограми на рис. 7, в, внесок яких у зображення – 5% і більше, становить 109 градацій сірого, а на рис. 7, г – 114 градацій сірого. Перші 2 локальні максимуми на початку гістограми реального зображення і перший локальний максимум гістограми змодельованого зображення відповідають фону, області з глобальним максимумом і останнім локальним максимумом – відповідають зображенню літака. Як видно дві гістограми схожі за формою і розподілом, проте різняться за значеннями, що можна пояснити різними інтенсивностями фону і зображення корпусу літака. Результати дослідження свідчать про коректність моделювання дощу на сцені.

Інші показники не досліджуються з тих самих міркувань, що і при дослідженні туману.

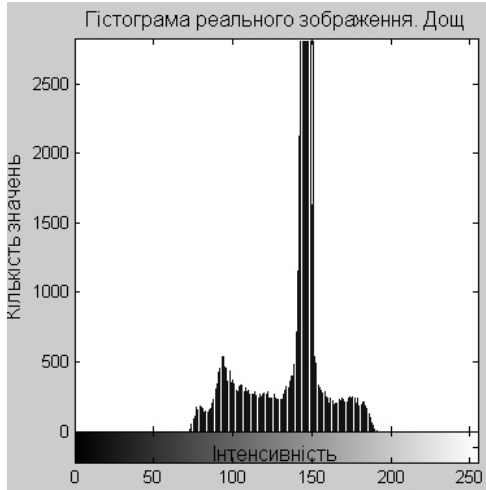
Моделі (1), (2) не верифікуються, а сприймаються як коректні, оскільки модель (4), в склад якої вони входять, працює коректно.



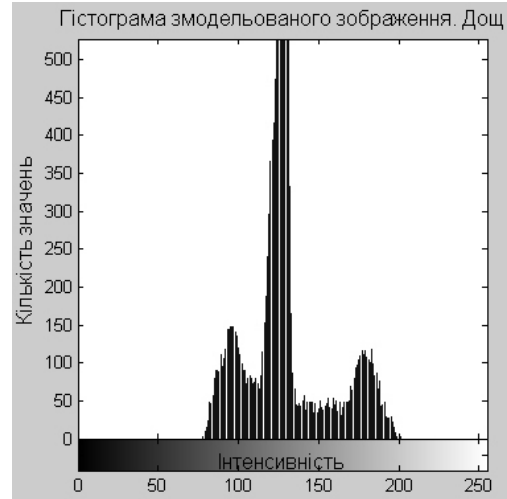
а



б



в



г

Рис.7. Дослідження характеристик зображень в умовах дощу:
 а – реальне зображення; б – змодельоване зображення;
 в – гістограма реального зображення за умов дощу;
 г – гістограма змодельованого зображення за умов дощу

У результаті дослідження властивостей моделі туману і експериментального зображення літака з виділеним 198-м рядком, що розбитий на області текстур окремих компонентів, можна зробити висновок про коректність моделі (4) і можливість її застосування для опису напівтонових зображень сцени, що містить літаки, наприклад, прилеглого простору аеропорту.

Висновок

Розроблено математичну модель напівтонових зображень сцени, що містить літаки. Модель описує зображення сцени як набір текстур. Враховує вплив природних факторів на зображення сцени та особливості зображення літаків за різних умов. Модель придатна для розробки віконних методів опрацювання згаданих зображень.

1. Исследование характеристик распознавания тестовых объектов в оптическом диапазоне. Отчет о НИР/НИИ Радиоэлектроники и лазерной техники Моск. гос. техн. ун-та им. Н.Э. Баумана; Руководитель Е.В. Бурый. – Л210201. – Инв. №РЛМ-64/02. – М., 2002, 29 с.
2. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение: Пер. з англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 756 с.
3. И.С. Гоноровский. Радиотехнические цепи и сигналы. – М., 1986. – С. 512.
4. Р. Харалик. Статистический и структурный подходы к описанию текстур. ТИИЭР 67(5) (1979). – С. 98–120.
5. Р. Гонсалес, Р. Вудс. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072с.
6. Thierry Tremblay. Туман – Volumetric Fog – 2002. – Режим доступа <http://algotlist.ncstu.ru/graphics/effect/fog.php> – заголовок з екрана.
7. Крылов В.Н., Полякова М.В., Волкова Н.П. Метод текстурной сегментации изображений с применением детектирования // Вестник ХНТУ (2006). – С. 226–270.
8. У. Претт. Цифровая обработка изображений. В 2-х кн.: Пер. с англ. – М.: МИР, 1982. – С. 530.