

УДК 528.7:681.3

Цифрове синтезування зональних аерокосмічних зображень, яке забезпечує заданий колір об'єктів

В. М. Фроленко

Надійшла до редакції 10.06.98

Розглянуто методику синтезування монохроматичних зональних аерокосмічних знімків, яка забезпечує заданий колір об'єкта дистанційного спостереження на синтезованому цифровому зображенні. Викладені необхідні розрахункові моделі, виконано їх оптимізацію в розумінні досягнення максимальної колірної відмінності між об'єктом та фоном на синтезованому зображенні в межах колірно-метаморфного простору. Приведені результати кількісного моделювання синтезування зображень ряду типових об'єктів аерокосмічного моніторингу в задані кольори стандартної палітри. Виконано порівняльну оцінку синтезування в заданий колір та оптимального цифрового синтезування.

ВСТУП

Цифрова обробка аерокосмічних знімків в теперішній час є широко розповсюдженим, практично стандартним засобом обробки матеріалів аерокосмічного моніторингу. Значні апаратні можливості сучасних цифрових робочих станцій (Silicon Graphics Octane, Sun Ultra, Hewlett Packard J282, Intergraph Studio) та відповідних графічних програмних пакетів (ERDAS Imagine, LIECA Rectifine) дозволяють реалізувати багато досить складних та ефективних алгоритмів підвищення якості, трансформування, сполучення, сегментації цифрових зображень тощо. Однак стан справ в науковій галузі автоматизації розпізнавання простих об'єктів та автоматичного дешифрування знімків не дозволяє виключити людину-оператора з контуру обробки видової інформації. Тим не менше, застосування спеціальних процедур обробки може суттєво полегшити та прискорити процес дешифрування.

Однією з найскладніших задач, які розв'язує оператор, є комплексна інтерпретація матеріалів багатозонального аерокосмічного моніторингу [1]. Вона потребує одночасного утримання в пам'яті декількох зображень та формування на їх основі єдиного образу сприйняття. Така операція важко

виконується навіть з двома зображеннями, але сучасна багатозональна апаратура дистанційного спостереження часто має 4—6 спектральних діапазонів реєстрації [2]. Вихід полягає в поєднанні окремих зональних аерознімків у спільному синтезованому зображенні згідно з деякими теоретичними моделями. Одним з важливих комплексів моделей такого роду являються моделі, що забезпечують оптимальне колірне синтезування зональних аерокосмічних знімків. Оптимальність синтезування полягає в забезпеченні максимально можливої колірної відмінності між об'єктом та фоном на синтезованому зображенні, що значно полегшує та прискорює процес виявлення об'єктів дистанційного спостереження. Порядок застосування моделей оптимального колірного синтезування зональних аерокосмічних знімків пояснюється рис. 1. Недоліком такої схеми дешифрування слід вважати пасивну роль оператора, який не має можливості обирати колір об'єкта на синтезованому зображенні, що, в свою чергу, перешкоджає повному урахуванню його (оператора) психофізіологічних особливостей. Крім того, питання про ефективність виявлення при забарвленні об'єкта пошуку в надзвичайний колір, хоч би й меншого колірного контрасту, залишається відкритим.

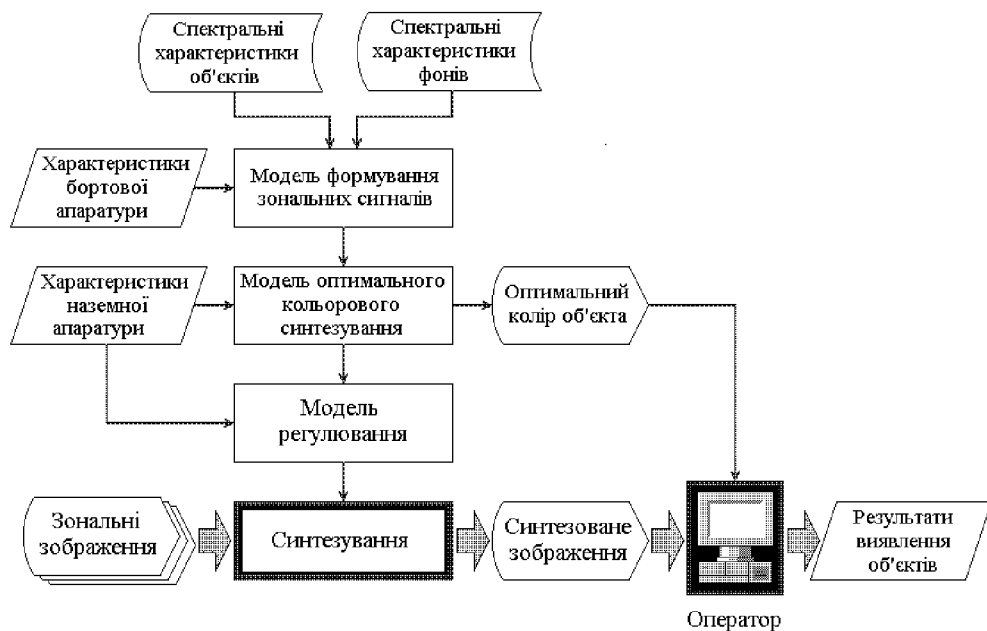


Рис. 1. Порядок застосування моделей оптимального кольорного синтезування зональних аерокосмічних знімків

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Нехай є комплект з m монохромних зональних аерокосмічних зображень. Необхідно сформувати з них три теж монохромних складових для кожного з кольорних каналів R , G , B синтезованого повнокольорного цифрового зображення таким чином, що: а) об'єкт пошуку на синтезованому зображенні був забарвлений в попередньо заданий колір та б) кольорний контраст між об'єктом та фоном на синтезованому зображенні був максимально високим серед усіх можливих комбінацій синтезування, які забезпечують виконання умови а). Механізм синтезування передбачає включення до кожного кольорного каналу власного коректора. При розробці відповідних моделей впроваджуються такі обмеження та припущення: 1) множина заданих кольорів є зліченою; 2) функція кольорної відмінності в кольорно-метаморфному просторі параметрів регулювання неперервна; 3) регулювання кольору при синтезуванні є лінійним, тобто коректор в кожному з кольорних каналів являє собою передавальну ланку з постійним коефіцієнтом підсилення. Вихідні дані для синтезування містять характеристики реєструючої та відтворюючої апаратури, спектральні та статистичні характеристики об'єктів та фонів дистанційного спостереження, параметри зональних цифрових зображень, колориметричний опис заданих кольорів синтезування. Порядок синтезування

зональних аерокосмічних зображень об'єкта в заданий колір пояснюється рис. 2. Оператор може обирати цей колір із стандартної кольорної палітри з урахуванням власних психофізіологічних потреб та особливостей конкретного аероландшафту.

МОДЕЛЬ СИНТЕЗУВАННЯ

Якщо відібрані три цифрових зображення для кожного з кольорних каналів R , G , B синтезованого цифрового зображення, та об'єкт дешифрування на них описується відповідними цифровими кодами D_R , D_G , D_B , то кольорні координати X , Y , Z , синтезованого зображення об'єкта в колориметричній системі $CIE\ XYZ\ 1931$ згідно з [3] складуть

$$\begin{aligned} X &= \int_{\lambda} \left[\left(\frac{D_R}{D_W} \right)^{\gamma} \Phi_R(\lambda) + \left(\frac{D_G}{D_W} \right)^{\gamma} \Phi_G(\lambda) + \left(\frac{D_B}{D_W} \right)^{\gamma} \Phi_B(\lambda) \right] x(\lambda) d\lambda, \\ Y &= \int_{\lambda} \left[\left(\frac{D_R}{D_W} \right)^{\gamma} \Phi_R(\lambda) + \left(\frac{D_G}{D_W} \right)^{\gamma} \Phi_G(\lambda) + \left(\frac{D_B}{D_W} \right)^{\gamma} \Phi_B(\lambda) \right] y(\lambda) d\lambda, \\ Z &= \int_{\lambda} \left[\left(\frac{D_R}{D_W} \right)^{\gamma} \Phi_R(\lambda) + \left(\frac{D_G}{D_W} \right)^{\gamma} \Phi_G(\lambda) + \left(\frac{D_B}{D_W} \right)^{\gamma} \Phi_B(\lambda) \right] z(\lambda) d\lambda, \end{aligned} \quad (1)$$

де $\Phi(\lambda)$ — спектральний розподіл оптичного потоку в кольорному каналі, D_W — максимально можливий

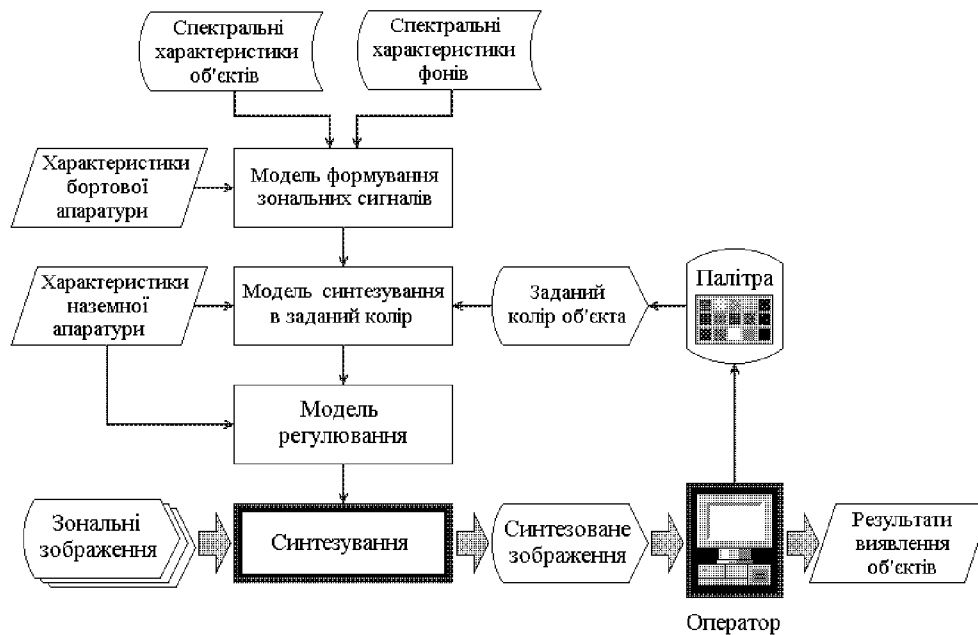


Рис. 2. Порядок синтезування зональних аерокосмічних зображень об'єкта в заданий колір

цифровий код інтенсивності (рівень білого) монохромного зображення, γ — показник передавання цифрового сигналу монітором, $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$ — криві додавання колориметричної системи CIE XYZ 1931. Подаючи інтеграл суми в (1) сумою інтегралів та впроваджуючи для констант монітора позначення x_R , x_G , x_B , y_R , y_G , y_B , z_R , z_G , z_B , після винесення спектрально-незалежних з-під знаку інтеграла одержимо наступну систему рівнянь:

$$\begin{aligned} x_R \left(\frac{D_R}{D_W} \right)^\gamma + x_G \left(\frac{D_G}{D_W} \right)^\gamma + x_B \left(\frac{D_B}{D_W} \right)^\gamma &= X / \Phi_0, \\ y_R \left(\frac{D_R}{D_W} \right)^\gamma + y_G \left(\frac{D_G}{D_W} \right)^\gamma + y_B \left(\frac{D_B}{D_W} \right)^\gamma &= Y / \Phi_0, \\ z_R \left(\frac{D_R}{D_W} \right)^\gamma + z_G \left(\frac{D_G}{D_W} \right)^\gamma + z_B \left(\frac{D_B}{D_W} \right)^\gamma &= Z / \Phi_0. \end{aligned} \quad (2)$$

З іншого боку, нехай потрібний колір об'єкта дистанційного спостереження задано його колірними координатами u^* , v^* рівноконтрастного колориметричного простору CIE UVW 1960. Вибір цієї системи координат [4] диктується відносною простотою оцінювання якості репродукування колірності (без урахування світлоти). На рис. 3 позначені кружки розсіяння колірності тринадцяти можливих заданих кольорів, щонайближчих до чисто

спектральних, тобто розташованих вдовж периметра області кольорного відтворювання монітора [3], які характеризують неточність кольоропередавання цифрових зображень. За координатами u^* , v^* заданого кольору легко розрахувати його відносні координати x^* , y^* , z^* в колориметричній системі CIE XYZ 1931 [5]. Лінійно незалежні величини x^* , y^* визначають простір реальних кольорів, вектор яких $\{X^*, Y^*, Z^*\}^T$ з точністю до деякого постійного коефіцієнта k :

$$\{X^*, Y^*, Z^*\}^T = k \{x^*, y^*, z^*\}^T, \quad (3)$$

причому, як випливає з (1) з урахуванням (2), $k = 1, \dots, 3\Phi_0$. Прирівнювання векторів $\{X, Y, Z\}^T = \{X^*, Y^*, Z^*\}^T$ з метою забезпечення заданого кольору синтезування дозволяє одержати із (3) систему рівнянь, яка легко розв'язується відносно невідомих D_R^* , D_G^* , D_B^* .

Наявність невизначеного постійного множника k дає можливість оптимізувати синтезоване зображення відносно кольорного контрасту не змінюючи колірності об'єкта на ньому. Оптимізація може проводитися, наприклад, добре відомим [3] методом градієнтного пошуку в кольорному просторі $\{X^*, Y^*, Z^*\}$ за умовою

$$\Delta C^* = \max_k \sqrt{(\Delta u)^2 + (\Delta v)^2}, \quad (4)$$

де рівноконтрастні кольорні координати фону розра-

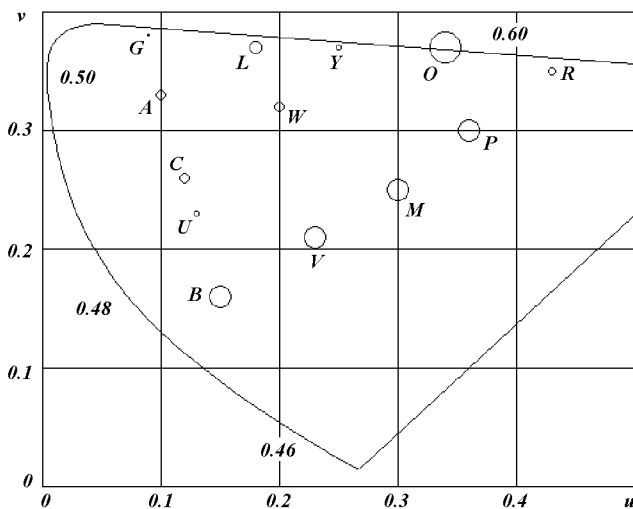


Рис. 3. Похибки кольоропередавання цифрового зображення об'єкта, синтезованого в заданий колір

ховуються за стандартними колориметричними формулами [4].

Оптимізація також повинна виконуватися не тільки в колірно-метаморфному просторі, а й серед усіх 3^m можливих комбінацій монохроматичних зональних зображень, які використовуються в якості кольорних складових синтезованого зображення. Така оптимізація легко здійснюється шляхом повного перебору при наявності достатньої обчислювальної потужності.

Коефіцієнти корекції c_R, c_G, c_B вихідних зональних цифрових зображень для забезпечення (4) складуть

$$c_R = D_R^*/D_R, \quad c_G = D_G^*/D_G, \quad c_B = D_B^*/D_B. \quad (5)$$

Коректування обраних зональних аерокосмічних знімків в кольорних каналах з коефіцієнтами c_R, c_G, c_B приводить до формування синтезованого зображення, на якому об'єкти зі спектральним розподілом коефіцієнта оптичного відбиття $\rho(\lambda)$ будуть забарвлені в заданий колір $\{u^*, v^*\}$. Поставлена задача розв'язана.

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВИСНОВКИ

Перевірка розроблених моделей здійснювалася на раніше відомому матеріалі [3] різноманітних комбінацій сполучень «об'єкт—фон» ряду типових природних та штучних елементів аероландшафту. Виконувалися розрахунки, по-перше, оптимальної комбінації вихідних зональних цифрових зображень для синтезування та, по-друге, значення ко-

рекуючих коефіцієнтів (5), які забезпечують максимізацію колірної відмінності (4) між об'єктом та фоном на синтезованому зображенні при синтезуванні в заданий колір. Розглядався набір з усіх тринадцяти можливих кольорів синтезування рис. 3 послідовно. До таблиці зведені результати визначення оптимальних параметрів синтезування зональних аерознімків шестиспектральної аерофотографічної апаратури МКФ-6М для комбінацій сполучень «об'єкт—фон», що оцінювалися. Використалися розроблені раніше [3] моделі формування зональних цифрових сигналів та сигналів в кольорних каналах синтезованого цифрового зображення при значеннях $\gamma = 2.18, D_w = 255, x_R = 4.632103, x_G = 1.449759, x_B = 1.035836, y_R = 2.471063, y_G = 4.560380, y_B = 0.599360, z_R = 0.002238, z_G = 0.515429, z_B = 5.467372$. Враховувалася також похибка кольоропередавання цифрових зображень, яка обумовлена статистичним характером спектральних характеристик об'єктів та фонів, реєструючої апаратури, шумами оцифровування тощо [4]. Максимально досягнений колірний контраст на синтезованому зображенні залежить не тільки від спектральних характеристик об'єкта та фону, а й від обраного кольору синтезування. На гістограмі рис. 4 показано розподіл середнього числа порогів Мак-Адама колірної відмінності $n_C = \Delta C/0.0038$ [6] за заданими кольорами синтезування.

Можливості синтезування ілюструються набором повнокольорних цифрових зображень водо-нафтової плівки з оранжевим (O), фіолетовим (V), рожевим (P) та ультрамариновим (U) обраними кольорами об'єкта. Поліграфічні обмеження не дозволяють привести ці знімки в рамках статті, але автор може передати їх спеціалістам для ознайомлення в цифровому вигляді. Об'єкт спостереження достатньо легко виявляється за синтезованими зображеннями. Ця теза підтверджується також результатами розрахунків, згідно з якими колірна відмінність на синтезованому в заданий колір зображенні тільки в 1.15 рази зменшується порівняно з оптимально синтезованим цифровим зображенням [3], яке, в свою чергу, забезпечує підвищення колірної відмінності в 7.5 — 15.1 рази відносно синтезованого оптичними методами [2].

Цифрове синтезування зональних аерокосмічних знімків, яке забезпечує заданий колір об'єкта на синтезованому зображенні, може використовуватися для прискорення виявлення об'єктів багатоспектрального аерокосмічного моніторингу, що здається можливим в ряді випадків — при обробці значного обсягу видових матеріалів, оперативному дистанційному спостереженні в разі надзвичайних подій та стихійних лих, військовому дешифруванні тощо.

Значення колірної відмінності між об'єктами та фонами на цифрових зображеннях, синтезованих у заданий колір. Приводиться кількість порогів рівноконтрастної колориметричної системи CIE UVW 1960, у дужках — заданий колір палітри синтезування та спектральні зони апаратури МКФ-6М в цифрових RGB-каналах синтезованого зображення

Фони, Об'єкти	Грунти чорноземні	Грунти опідзолені	Гірничі породи	Глина, вапняк	Водна поверхня	Такир	Хвойні рослини	Листяні рослини	Різотрав'я	Неспілі культури	Доспілі культури	Виноградник
Грунти чорноземні	51.1386 (R 1 5 1)	42.9158 (B 1 1 3)										
Грунти опідзолені		35.8955 (B 1 3 6)	42.9919 (B 1 2 5)			51.6644 (L 6 6 1)						
Гірничі породи						26.2214 (L 4 5 1)						
Глина, вапняк			31.5434 (Y 6 6 4)			45.1181 (L 6 6 1)						
Водна поверхня	78.8995 (R 1 5 1)	59.7410 (R 2 3 1)	59.7410 (R 2 3 1)			50.9480 (O 5 3 1)	81.7817 (U 1 1 5)	77.4243 (U 1 1 5)	91.2895 (B 1 1 6)	76.3634 (R 1 5 1)		41.7039 (P 2 4 1)
Нафта	53.2647 (P 5 6 1)	36.0596 (O 6 3 1)	59.7410 (R 5 6 1)		68.3359 (O 1 6 6)	42.1059 (L 1 1 6)	83.8185 (G 1 1 6)	77.5700 (A 1 1 6)	91.1914 (G 1 1 6)			
Хвойні рослини		25.2718 (U 6 1 6)	44.4358 (R 1 3 1)					15.5755 (C 1 2 1)	43.7931 (O 6 6 1)			
Листяні рослини		52.3315 (V 6 6 1)	54.0170 (O 6 1 6)						26.2400 (L 1 1 5)			
Різотрав'я	64.7014 (O 6 1 6)	47.3301 (B 6 1 6)	44.6401 (M 6 1 6)	32.9180 (U 1 6 1)		68.4474 (A 6 6 1)						
Неспілі культури	24.5758 (M 6 5 4)	15.4448 (U 2 4 2)					36.6962 (O 6 6 1)	34.8753 (P 5 6 1)	61.8469 (V 1 1 6)			
Доспілі культури	54.1705 (P 1 5 6)	45.6928 (L 6 6 1)					27.6954 (M 1 3 4)	37.0441 (P 6 6 4)	51.9289 (V 4 4 6)	32.4117 (A 1 6 4)		
Виноградник	42.1184 (L 4 4 6)	32.4727 (P 1 3 5)						64.7101 (O 4 6 4)	72.4539 (G 4 4 6)	50.9382 (L 4 4 6)	51.7130 (V 1 1 6)	

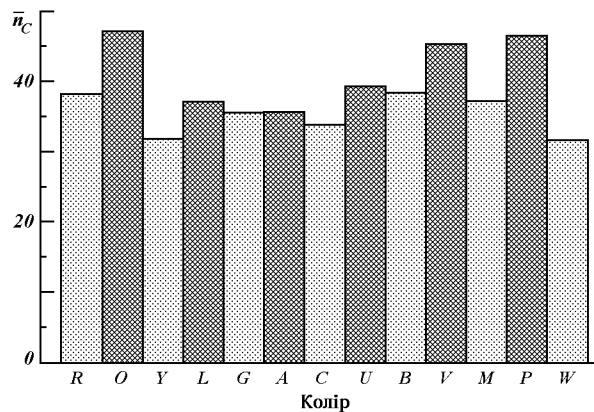


Рис. 4. Розподіл числа порогів колірної відмінності цифрових зображень за обраними кольорами синтезування

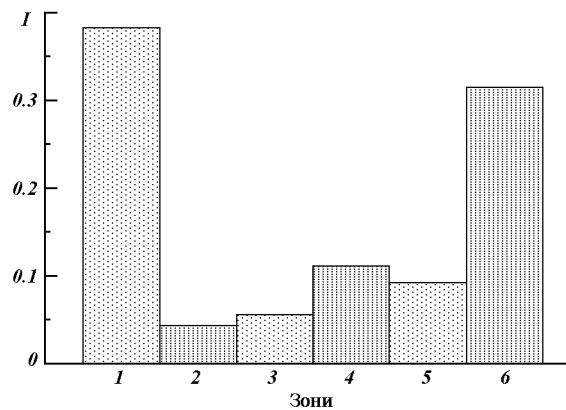


Рис. 5. Відносна інформативність спектральних діапазонів аерофотоапаратури МКФ-6М

Технічно синтезування в заданий колір є компромісним варіантом синтезування між неавтоматизованим оптичним синтезуванням [1], з одного боку, та повністю автоматичним оптимальним цифровим синтезуванням [3] — з іншого. Це

дозволяє деякою мірою врахувати психофізіологічні особливості оператора, жертвуючи незначним зниженням якості синтезування. Разом з тим синтезування в заданий колір (див. таблицю) потребує більшої різноманітності складу вихідних зональних

зображень, що пояснюється близькістю локусу заданих кольорів до чисто спектральних в межах колірної охоплення монітора [7]. Кількість випадків, коли для синтезування достатньо лише двох зональних зображень, стала меншою, ніж при оптимальному синтезуванні [3]. Тому роль цифрового колірної синтезування як засобу одночасного візуального аналізу комплексу зональних аерокосмічних знімків зростає. Рис. 5 ілюструє розподіл середньої відносної інформативності спектральних діапазонів багатозональної аерофотографічної апаратури МКФ-6М. Низька інформаційна цінність другої та третьої зон добре корелює з результатами попередніх досліджень [1—3].

Таким чином, цифрове синтезування зональних аерокосмічних зображень, яке забезпечує заданий колір об'єктів, є одним із шляхів підвищення загальної ефективності візуального дешифрування матеріалів багатоспектрального аерокосмічного моніторингу.

1. Фроленко В. М. Методика комплексного дешифрування зональних аерокосмічних знімків з використанням оптичного приладу синтезу // Космічна наука і технологія.—1997.—3, № 5/6.—С. 47—54.
2. Фроленко В. М. Оптимізація вибору спектрального діапазону дистанційного спостереження аероландшафту // Космічна наука і технологія.—1998.—4, № 1.—С. 3—8.

3. Фроленко В. М. Оптимальне цифрове синтезування зональних аерокосмічних зображень // Космічна наука і технологія.—1998.—4, № 2/3.—С. 51—57.
4. Фроленко В. Н. К оценке точности цветопередачи зашумленных цифровых изображений // Прикладные вопросы аэрокосмического мониторинга. — Киев: КИ ВВС, 1997.—С. 81—87.
5. Шашлов Б. А. Цвет и цветовоспроизведение. — М.: Книга, 1986.—280 с.
6. Певзнер Б. М. Качество цветных телевизионных изображений. — М.: Радио и связь, 1988.—224 с.
7. Шлихт Г. Ю. Цифровая обработка цветных изображений: Пер. с нем. — М.: ЭКОМ, 1997.—336 с.

THE DIGITAL SYNTHESIZING OF THE ZONAL AEROSPACE IMAGES, WHICH PROVIDES THE GIVEN COLOUR OF OBJECTS

V. N. Frolenko

The technique of synthesizing of monochromatic zonal aerospace snapshots, that provides the given color of object of remote sensing on the synthesized digital image, is considered. The necessary rated models are stated, their optimization in sense of achievement of the maximal color distinction between object and background on the synthesized image inside of borders of metamorphic color space is made. The results of numerical modeling of synthesizing of the images of a number of typical objects of aerospace monitoring to the given colors of a standard palette are given. The comparative estimation of synthesizing to the given color and optimal digital synthesizing is made.