

УДК 004.932

В.Г. Худов¹, І.А. Хижняк²¹ Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків² Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, Харків

ВИБІР КОЛЬОРОВОГО ПРОСТОРУ ДЛЯ СЕГМЕНТУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ, ЩО ОТРИМАНІ З БОРТОВИХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Проаналізовані атмосферні фактори, що впливають на формування зображення в космічній системі оптико-електронного спостереження. Встановлюється, що сегментування кольорового зображення, що отримується оптико-електронною системою спостереження, потребує вибору моделі кольорового простору. Встановлено, що сегментування зображення залежить від яскравості зображення та в меншому ступеню від кольоровості та насиченості. У зв'язку з цим, основна увага повинна бути приділена каналу яскравості зображення. Тому, для сегментування кольорових зображень найбільш підходять кольорові простори з явно вираженим каналом яскравості. Сформульовано методика сегментування кольорових зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження.

Ключові слова: оптико-електронне зображення, сегментування, кольоровий простір, яскравість, кольоровість, насиченість.

Вступ

Постановка проблеми. В умовах ведення сучасних локальних військових конфліктів та «гібридних» війн засоби космічних систем оптико-електронного спостереження та матеріали космічного спостереження (МКС) мають істотні переваги над іншими видами спостереження, а саме [1–3]:

- за напрямом спостереження і контролю ситуації в районі військового конфлікту та навколо нього;
- при виявленні об'єктів і їх розпізнавання;
- в інформаційні складовій «гібридної війни» для дезінформації та для викриття дезінформації тощо.

Одночасно зберігається загальне призначення використання МКС для розвідувального, інформаційного і картографічного забезпечення органів військового управління [4–6]. Тобто системи видового космічного спостереження взагалі та оптико-електронного спостереження, зокрема, є однією із компонент космічної інформаційної підтримки, яка істотно підвищує бойові можливості збройних формувань.

Результат обробки та дешифрування оптико-електронних зображень, що отримані з космічних систем оптико-електронного спостереження, залежить від якості методу сегментування зображення [7–9], що, в свою чергу залежить від вибору спектральних каналів оптико-електронної знімальної апаратури та використання основних комбінацій даних, що отримані в різних спектральних каналах супутникової оптико-електронної апаратури.

Мета статті: проаналізувати вибір кольорового простору для сегментування зображень, що отримані з

бортових систем оптико-електронного спостереження.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. При формуванні оптико-електронного зображення космічної системи спостереження атмосферні фактори, що впливають на формування зображення, представлені на рис. 1 [10–11].

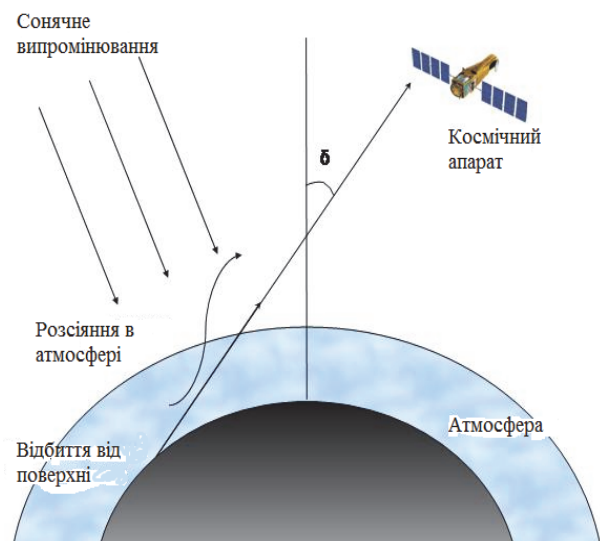


Рис. 1. Атмосферні фактори, що впливають на формування зображення в космічній системі оптико-електронного спостереження [10–11]

Оптична товщина атмосфери $\tau(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)$ на шляху між точками з координатами \mathbf{r}_1 та \mathbf{r}_2 визначається виразом (1) [10]:

$$\tau(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2) = \int_{\mathbf{r}_1}^{\mathbf{r}_2} [\beta(\mathbf{r}) + \sigma_{\text{розс.}}(\mathbf{r})] d\mathbf{r}, \quad (1)$$

де $\beta(\mathbf{r})$ – коефіцієнт поглинання на відстані \mathbf{r} ;

$\sigma_{\text{розс.}}$ – об’ємний коефіцієнт розсіяння.

При малості ефектів багатократного розсіяння (в умовах справедливості закону Бугера), маємо [10]:

$$I_1 = I_0 \exp(-\tau), \quad (2)$$

де I_0 та I_1 – інтенсивності випромінювання у початковій (на поверхні Землі) та в кінцевій (на орбіті супутника) точка відповідно.

Ефектами багатократного розсіяння можна нехтувати для зеленого (G) та для більш довгохвильових ділянок спектру, але не для синьої (B) ділянки [10–11]. Наведений вираз (2) справедливий для спостереження в надир. Якщо спостереження проводиться під кутом δ до надиру (рис. 1), то для однорідної атмосфери інтенсивність випромінювання в кінцевій (на орбіті супутника) точці (рис. 1) дорівнює:

$$I_2 = I_0 \exp(-\tau / \sin \delta). \quad (3)$$

Вираз (3) не враховує кривизну Землі, однак, існують методики [10–13], що дозволяють врахувати цей факт. У виразі (3) не враховується також вплив можливих горизонтальних локальних неоднорідностей (наявність туману, димки, хмар пилу тощо), тобто розрахунок є наближеним [12–13].

Сегментування кольорового зображення, що отримується оптико-електронною системою спостереження (рис. 1), потребує вибору моделі кольорового простору.

На рис. 2 наведено відносне сприйняття інтенсивності світла людиною, на рис. 3 – відносна чутливість сприйняття світла людиною [14]. На рис. 3 піки на кривих чутливості відповідають червоному, зеленому та синьому кольору. З рис. 3 видно, що чутливість сприйняття синього кольору значно нижче, ніж червоного та зеленого.

Виклад основного матеріалу

З аналізу рис. 2–3 витікає, що достатньо обґрунтованою для проведення сегментування зображення є кольорова модель RGB (Red, Green, Blue), в якій спектральна функція залежить представляється як сума кривих чутливості з позитивними ваговими коефіцієнтами (звичайно їх нормують від 0 до 1), які позначаються R, G та B (рис. 4) [15]. Модель RGB характеризується адитивністю (кольори додаються для отримання нових).

Для кольорової моделі HSV (Hue, Saturation, Value – тон, насиченість, величина) розглянемо циліндричні координати в трьохмірному евклідовому просторі (рис. 5) [16]. H – кут в горизонтальній площині від осі Ox, S – радіус в горизонтальній площині (відстань до осі Oz), V – висота (по осі Oz). Весь кольоровий простір представляє собою перевернуту шестигранну піраміду (рис. 5).

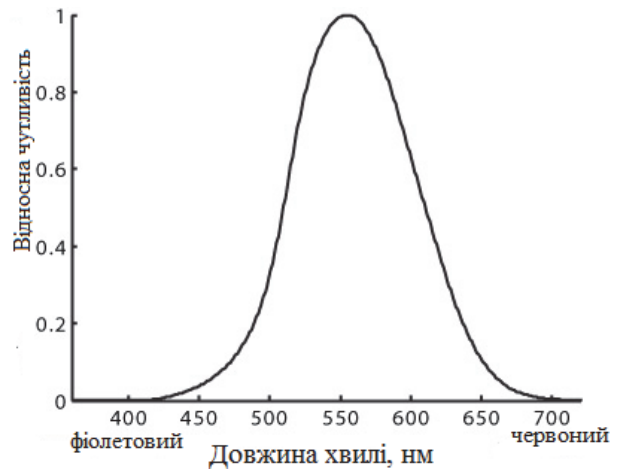


Рис. 2. Відносне сприйняття інтенсивності світла людиною [14]

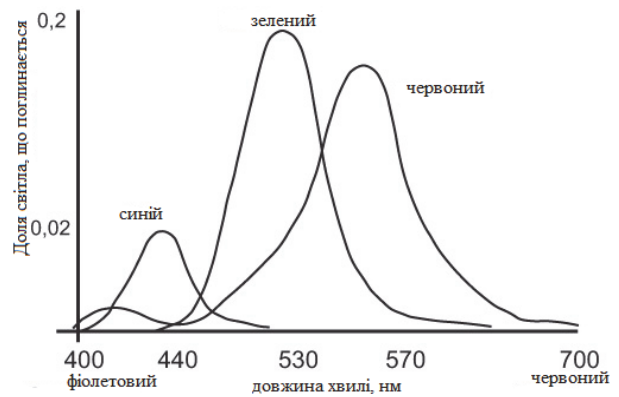


Рис. 3. Відносна чутливість сприйняття світла людиною [14]

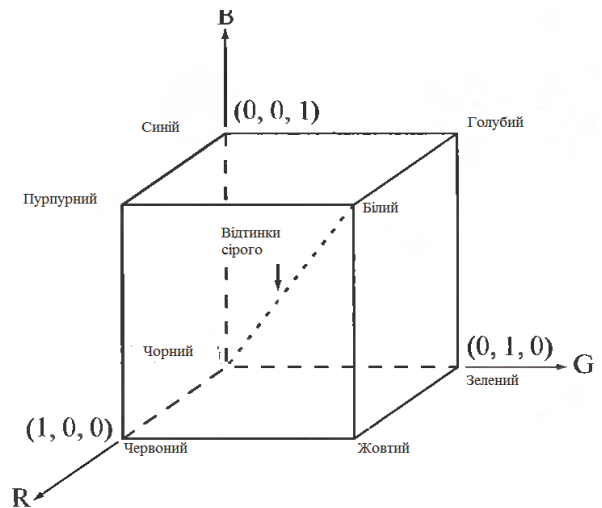


Рис. 4. Схематичне зображення кольорового куба RGB. Точки на головній діагоналі представляють відтінки сірого кольору: від чорного кольору на початку координат до білого кольору в точці (1, 1, 1)

Вершини піраміди відповідають чистим основним кольорам (червоному, жовтому, зеленому, кольору морської хвилі, синьому та фіолетовому). При

їх змішуванні в різних пропорціях (в просторі це будуть лінійні комбінації відповідних векторів) точка, що відповідає кольору, переміщується по підставі піраміди.

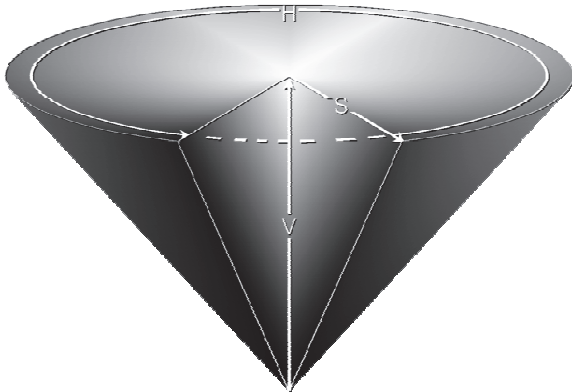


Рис. 5. Кольорова модель HSV

Змішуючи протилежні кольори (наприклад, жовтий та синій), можна отримати білий. Додаючи до якого-небудь чистому кольору чорний, відбувається спуск по піраміді, отримуючи різні відтінки, при цьому діапазон S буде зменшуватися до нуля. На осі $S = 0$ (відтінки сірого кольору) значення H не визначено. – радіус в горизонтальній площині (відстань до осі Oz),

Кольорова модель HLS (Hue, Lightness, Saturation, Value – тон, освітленість, насиченість) схожа з моделлю HSV. Розглянемо циліндричні координати в трьохмірному евклідовому просторі [16]: H – кут в горизонтальній площині від осі Ox , S – радіус в горизонтальній площині (відстань до осі Oz), L – висота (по осі Oz). Весь кольоровий простір представляє з'єднанні підставами шестигранні піраміди (рис. 6).

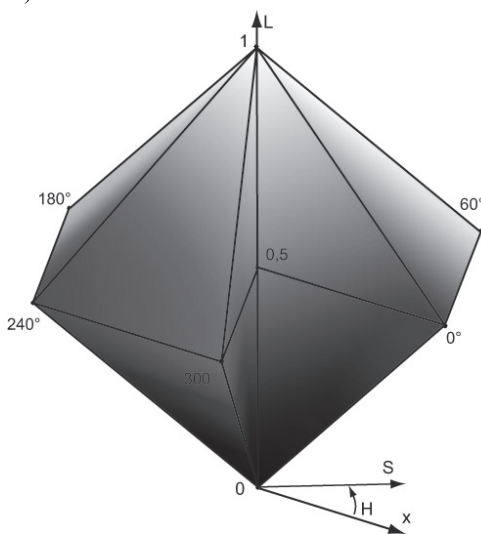


Рис. 6. Кольорова модель HSL (для наочності вирізано один з шести секторів піраміди)

Як видно з рис. 6, модель HSL отримана з мо-

делі HSV витягуванням вздовж вертикальної осі. Поняття H та S залишилися незмінними, тільки по вертикальній осі L замість V . Концептуально різниця полягає в тому, що в цій моделі рух від чистих кольорів (у яких $L = 0,5$; $S = 1$) як у напрямку білого, так і чорного (а не тільки чорного, як в моделі HSV) однаково приводить до зменшення інформації в H (аж до того, що у вершинах H не визначено, як і на усій вертикальній осі $S = 0$) та звуженню діапазону S .

У кольоровій моделі YUV компоненти U та V відповідають за кольорову інформацію та визначаються через перетворення з кольорового простору RGB (рис. 7) за виразами (4–6).

$$Y = 0,299R + 0,587G + 0,114B; \quad (4)$$

$$U = 0,492(B - Y) = -0,147R - 0,289G + 0,463B; \quad (5)$$

$$V = 0,877(R - Y) = 0,615R - 0,515G + 0,1B. \quad (6)$$

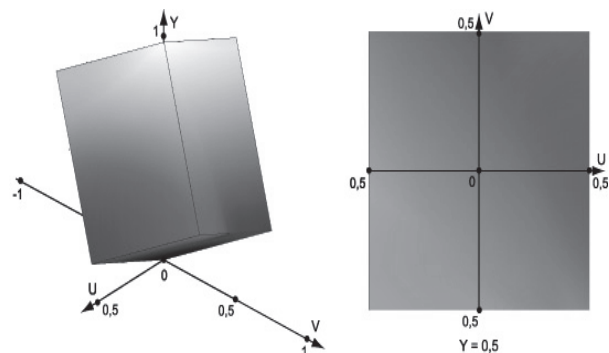


Рис. 7. RGB куб в просторі YUV, діаграма UV при $Y = 0,5$

Кольорові моделі YCbCr та YPbPr є варіаціями YUV з іншими вагами для U та V (ім відповідають Cb/Cr та Cr/Pr). YPbPr використовується для аналогових сигналів, YCbCr – для цифрових. Для їх визначення використовують два коефіцієнта: Kb та Kr . Перетворення з RGB до YPbPr визначається відповідно виразами (7–9).

$$Y = Kr \cdot R + (1 - Kr - Kb) \cdot G + Kb \cdot B; \quad (7)$$

$$Pb = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1 - Kb} \cdot (B - Y); \quad (8)$$

$$Pr = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1 - Kr} \cdot (B - R). \quad (9)$$

Вибір Kb та Kr залежить від того, яка RGB модель використовується. Звичайно $Kb = 0,114$, $Kr = 0,299$.

Також використовують значення $Kb = 0,0722$, $Kr = 0,299$, що краще відображає характеристики сучасних засобів відображення [16].

З виразів (7–9) витікає, що при $R, G, B \in [0; 1]$ маємо наступні діапазони змін $Y \in [0; 1]$,

$$Pb, Pr \in \left[-\frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right].$$

Перетворення з RGB до YCbCr визначається відповідно виразам (10–13).

$$K_g = 1 - K_r - K_b; \quad (10)$$

$$Y = Y_{\min} + (Y_{\max} - Y_{\min})(K_r \cdot R + K_g \cdot G + K_b \cdot B); \quad (11)$$

$$Cb = \frac{C_{\max} + C_{\min}}{2} + \frac{C_{\max} - C_{\min}}{2} \cdot \frac{1}{1 - K_b} x; \quad (12)$$

$$x [-K_r \cdot R - K_g \cdot G + (1 - K_b) \cdot B]$$

$$Cr = \frac{C_{\max} + C_{\min}}{2} + \frac{C_{\max} - C_{\min}}{2} \cdot \frac{1}{1 - K_r} x; \quad (13)$$

$$x [(1 - K_r) \cdot R - K_g \cdot G - K_b \cdot B]$$

В телебаченні звичайно беруть $Y_{\min} = 16$, $Y_{\max} = 235$, $C_{\min} = 16$, $C_{\max} = 240$, в стандарті стиснення зображень JPEG використовують повний 8-бітний діапазон: $Y_{\min} = 0$; $Y_{\max} = 255$; $C_{\min} = 0$; $C_{\max} = 255$.

Зворотні перетворення для усіх моделей проводяться в результаті застосування зворотної матриці перетворення [15–16].

Для обґрунтування вибору кольорового простору при сегментуванні оптико-електронного зображення будемо враховувати той факт, що сегментування в кольоровому просторі RGB може привести до появи кольорових артефактів, так як необхідно провести сегментування кожного каналу зображення. Сегментування зображення більше всього залежить від яскравості зображення та в меншому ступеню від кольоровості та насиченості. У зв'язку з цим для подальшого сегментування зображення доцільно приділити увагу каналу яскравості зображення. Додатковим доводом проти використання кольорового простору RGB є потрібна обчислювальна ємність розрахунків.

Тому, для сегментування кольорових зображень найбільш підходять кольорові простори з явно вираженим каналом яскравості, наприклад кольорові моделі HSV та Y**. Враховуючи, що компонента яскравості у всіх моделях Y** задається однаково, то допустимо використання для сегментування зображення любий кольоровий простір Y**.

Висновки

Таким чином, для сегментування кольорових зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження, запропонована наступна методика:

– перехід до кольорової моделі з явно вираженим каналом яскравості;

– сегментування компоненти яскравості. Цей етап проводиться з використанням відомих методів

сегментування;

– зворотний перехід до кольорової моделі RGB, при цьому компонента яскравості використовує сегментоване значення.

Напрямок подальших досліджень є практичне проведення сегментування кольорового зображення.

Список літератури

1. Воробьев И.Н. От современной тактике к тактике сетецентрических действий / И.Н. Воробьев, В.А. Киселев // Военная мысль. – М.: МО РФ, 2011. – № 8. – С. 19-27.
2. Савин Л.В. Сетецентрическая и сетевая война. Введение в концепцию / Л.В. Савин. – М.: Евразийское движение, 2011. – 130 с.
3. Hoffman F.G. Conflict in the 21-st century: the rise of hybrid wars / F.G. Hoffman. – Arlington, Virginia: Potomac Institute for Policy Studies, 2007. – 72 pp.
4. Гудима О.П. Проблеми використання інформації космічних систем та удосконалення геоінформаційного забезпечення при виконанні завдань АТО / О.П. Гудима, Г.В. Певцов, М.Ф. Пічугін // Новітні технології – для захисту повітряного простору: Тези допов. 13 наук. конф. Харк. нац. ун-ту Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба (Харків 12–13 квіт. 2017). – Х.: ХНУПС, 2017. – С. 452.
5. Соколов К.О. Питання космічної діяльності в секторі безпеки і оборони / К.О. Соколов, О.П. Гудима, О.Б. Шиятий // Новітні технології – для захисту повітряного простору: Тези допов. 13 наук. конф. Харк. нац. ун-ту Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба (Харків, 12–13 квіт. 2017). – Х.: ХНУПС, 2017. – С. 453.
6. Кухарський І.А. Використання супутникових даних в інтересах ведення антитерористичних операцій / І.А. Кухарський, Г.В. Худов, В.О. Павлії // Новітні технології – для захисту повітряного простору: Тези допов. 13 наук. конф. Харк. нац. ун-ту Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба (Харків 12–13 квіт. 2017). – Х.: ХНУПС, 2017. – С. 453-454.
7. Худов В.Г. Аналіз відомих методів сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження / В.Г. Худов, Г.А. Кучук, О.М. Маковейчук, А.В. Крижний // Системи обробки інформації, 2016. – Вип. 9 (146). – С. 77-80.
8. Худов В.Г. Генетичні алгоритми для сегментування зображень систем оптико-електронного спостереження / В.Г. Худов, О.М. Маковейчук // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – № 2. – С. 142-145.
9. Худов В.Г. Мультиагентний метод сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження / В.Г. Худов // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 3 (47). – С. 116-119.
10. Зуев В.Е. Распространение видимых и инфракрасных волн в атмосфере / В.Е. Зуев. – М.: Советское радио, 1970. – 496 с.
11. Зуев В.Е. Перенос оптических сигналов в земной атмосфере (в условиях помех) / В.Е. Зуев, М.В. Кабанов. – М.: Советское радио, 1977. – 368 с.
12. Маковейчук О.М. Алгоритми реставрації дефокусованих зображень / О.М. Маковейчук, В.О. Подліпаєв // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2005. – № 3-4. – С. 99-103.

13. Маковейчук А.Н. Теоретическое обоснование методики защиты видовых изображений от воздействия маскирующих помех / А.Н. Маковейчук, В.А. Подлипаев, Г.В. Худов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2005. – Вип. 6. – С. 62-71.

14. Dougal R.C. *Then and now: James Clerk Maxwell and colour* / Richard C. Dougal, Clive A. Greated and Alan E. Marson // Elsevier Ltd Optics & Laser Technology. – School of Physics, University of Edinburgh, Edinburgh EH9 3JZ, UK: 2005. – Т. 38. – № 4–6. – С. 210-218.

15. RGB – [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <http://ru.wikipedia.org/wiki/RGB>.

16. Color model – [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: http://en.wikipedia.org/wiki/Color_model.

Надійшла до редколегії 5.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. І.В. Рубан, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

ВЫБОР ЦВЕТОВОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С БОРТОВЫХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

В.Г. Худов, И.А. Хижняк

Проанализированы атмосферные факторы, которые влияют на формирование изображения в космической системе оптико-электронного наблюдения. Установлено, что сегментация цветного изображения, полученного космической системой оптико-электронного наблюдения, требует выбора модели цветового пространства. Установлено, что сегментация изображения зависит от яркости изображения и, в меньшей степени, от цветности и насыщенности. В связи с этим, основное внимание необходимо уделить каналу яркости изображения. Поэтому, для сегментации цветных изображений наиболее подходят цветовые пространства с явно выраженным каналом яркости. Сформулирована методика сегментации цветных изображений, полученных с бортовых систем оптико-электронного наблюдения.

Ключевые слова: оптико-электронное изображение, сегментация, цветовое пространство, яркость, цветность, насыщенность.

SELECTION OF COLOR SPACE FOR SEGMENTATION OF IMAGES RECEIVED FROM ON-BOARD OPTIC-ELECTRONIC OBSERVATION SYSTEMS

V. Khudov, I. Khizhnyak

The atmospheric factors that influence the formation of images in the cosmic system of optoelectronic observation are analyzed. It is established that the segmentation of the color image obtained by the cosmic optic-electronic surveillance system requires the choice of a color space model. It is established that the segmentation of the image depends on the brightness of the image and, to a lesser extent, on color saturation and saturation. In this regard, the main attention should be paid to the image brightness channel. Therefore, for color image segmentation, color spaces with a clearly defined luminance channel are most suitable. The technique of segmentation of color images obtained from on-board optic-electronic surveillance systems is formulated.

Keywords: optic-electronic image, segmentation, color space, brightness, chroma, saturation.