

УДК 629.735.072.8.08:681.3:519.718(045)

Н. В. Апенько, вик.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИНТЕЗУ ЗОБРАЖЕННЯ СВІТЛОВИХ ЕФЕКТІВ ДЛЯ СИСТЕМ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТРЕНАЖЕРНИХ КОМПЛЕКСІВ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Коледж інформаційних технологій та землевпорядкування НАУ, e-mail: natysik19@mail.ru

Показано необхідність відображення світлових ефектів при створенні авіатренажерів, які максимально достовірно відображатимуть навколишнє середовище. Однією зі складових світових ефектів є розроблення математичної моделі синтезу зображення. У системі візуалізації часто виникає задача синтезу джерел світла – вогні міста, аеродрому і т. ін. Розроблено математичну модель синтезу зображення світлових ефектів для систем візуалізації тренажерних комплексів літальних апаратів яка сприятиме вирішенню льотних завдань та допоможе тим, хто має проходити підготовку на тренажері для набуття стійких навичок пілотування літальної техніки.

Ключові слова: авіатренажер, система візуалізації, світловий ефект.

Постановка проблеми. Успішне і безпечне керування літальним апаратом можливе тільки за наявності певного рівня підготовки льотного екіпажу. Тренування екіпажу в умовах обмеженого фінансування проводять на тренажерних комплексах, де однією з найважливіших складових є система візуалізації сцен, яка синтезує зображення. Система візуалізації часто потребує синтезувати джерела світла, наприклад вогні міста, аеродрому і т. ін. Для формування таких ефектів недостатньо відпрацювати тільки геометрію джерел світла, необхідно також урахувати атмосферні умови. Атмосферні умови впливають на дальність видимості джерела світла, виникнення навколо нього ореолів або пучків променів. Крім цього, якщо у поле зору потрапляють яскраві джерела світла, виникає ефект засліплення, коли в очних середовищах розсіюється світловий потік і об'єкти сцени стають менш чіткими.

Для синтезу зображень таких світлових ефектів необхідно враховувати фізіологічні характеристики зору людини, оскільки тільки в цьому випадку можна оптимізувати видимість об'єктів сцени. У зв'язку з цим під час моделювання потрібно оперувати істинними значеннями фізичних величин, які характеризують «поведінку світла в сцені», тобто оперувати фізичними характеристиками: джерела світла задавати їх дійсною силою світла в канделах; атмосферу розглядати у вигляді сукупності частинок, які зумовлюють розсіяння і дозволяють кількісно визначити розсіяне світло; поверхні характеризувати їх коефіцієнтами віддзеркалення, поглинання і пропускання. Виконання цих вимог дозволяє одержати зображення світлових ефектів і, як наслідок, підвищити реалістичність зображення. Такий напрям досліджень є актуальним для розроблення систем візуалізації тренажерних комплексів літальних апаратів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Усебічний огляд актуальних питань світлотехніки, що стосуються побудови тренажерних комплексів, розгорнуто подано в працях [1 – 3]. Особливості застосування та функціонування систем візуалізації висвітлюються у працях [4 – 6]. Теоретичні і практичні аспекти розроблення математичної моделі синтезу зображення світлових ефектів для систем візуалізації тренажерних комплексів літальних апаратів розглядаються в працях [7 – 9].

Мета роботи – розроблення математичної моделі синтезу зображення світлових ефектів для систем візуалізації тренажерних комплексів літальних апаратів, що сприятиме збільшенню можливостей існуючих систем візуалізації вітчизняних авіаційних тренажерів щодо підвищення як достовірності та реалістичності відображення навколишнього середовища, так і якості підготовки фахівців з керування літальними апаратами взагалі.

Виклад основного матеріалу досліджень. Створення тренажерів, які якомога більше були б наближені до реальних установок для навчання космонавтів, пілотів, операторів складних систем, дозволяє економити значні грошові ресурси держави на підготовку відповідних фахівців [1; 2]. Одним з найважливіших компонентів тренажерних комплексів є системи візуалізації, до яких ставляться особливі вимоги [3; 4].

Однією з основних вимог до систем візуалізації тренажерів транспортних засобів є реалістичність зображення, що синтезується. Виконання цієї вимоги можна забезпечити, якщо математична модель сцени і система візуалізації точно передають умови освітлення.

Система *RGB* має недоліки при формуванні нових аддитивних кольорів і тому, на наш погляд, більш перспективною є система *XYZ*. Розглянемо математичні моделі синтезу зображення світлових ефектів у цій системі. Параметри пікселя в апаратно-незалежній системі X, Y, Z обумовлені значенням освітленості $E = \{E^{[X]}, E^{[Y]}, E^{[Z]}\}$. Освітленість E визначимо з урахуванням таких чинників: $E_1^{[X,Y,Z]}$ – освітленість, створювана поверхнею елемента сцени на око спостерігача; $E_2^{[X,Y,Z]}$ – освітленість, створювана розсіюванням світлового потоку від джерела світла в очному середовищі, унаслідок чого виникає вуалювальна світлова пелена [1]; $E_3^{[X,Y,Z]}$ – освітленість, створювана розсіюванням на склі; $E_4^{[X,Y,Z]}$ – освітленість, створювана розсіюванням в атмосфері [2; 3]. Таким чином, маємо співвідношення:

$$E^{[X,Y,Z]} = E_1^{[X,Y,Z]} + E_2^{[X,Y,Z]} + E_3^{[X,Y,Z]} + E_4^{[X,Y,Z]}.$$

Для розрахунку освітленості від елементів сцени скористаємося математичною моделлю геометричних перетворень [4], елементи якої показано на рис. 1.

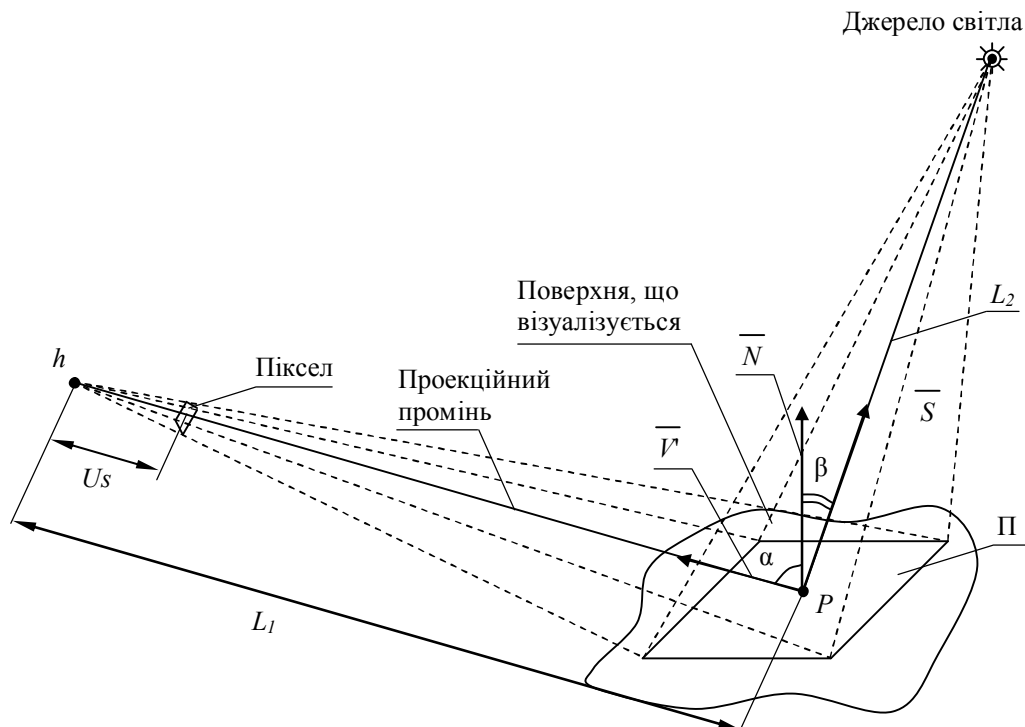


Рис. 1. Геометричні елементи моделі

Показані: центр проєкції h ; візуалізована поверхня; проєкційний промінь, що перетинає поверхню, в точці P ; джерело світла; піксель екрана, через який проходить проєкційний

промінь; вектор $\bar{V}'$ – напрям на спостерігача; вектор $\bar{N}$ – нормаль поверхні в точці P ; вектор $\bar{S}$ – напрям на джерело світла. Проекція пікселя на поверхню, що візуалізується – Π . Вважаємо, що проекція пікселя є площиною, нормаль якої збігається з нормаллю $\bar{N}$.

Необхідно визначити освітленість $E_1^{[X,Y,Z]}$, що створюється поверхнею об'єкта сцени на зіниці спостерігача. Для визначення $E_1^{[X,Y,Z]}$ виділимо візуалізовану на поверхні проекцію пікселя Π , яка освітлюється джерелом світла силою I . Вихідні дані: I – сила світла джерела; світловий потік з урахуванням трикомпонентної колірної моделі: $I_{\text{дс}} = \{I_{\text{дс}}^X, I_{\text{дс}}^Y, I_{\text{дс}}^Z\}$; $I_{\text{дс}}^X$ – відстань від поверхні Π до центра проекції h ; $I_{\text{дс}}^Y$ – відстань від поверхні Π до джерела світла; U_s – відстань від центра проекції h до пікселя; k – коефіцієнт віддзеркалення поверхні Π , який, як і джерело світла, має частотні характеристики; $k = \{k^{[X]}, k^{[Y]}, k^{[Z]}\}$ [5].

Видимість поверхні Π спостерігач визначає величиною освітленості $E = \{E^{[X]}, E^{[Y]}, E^{[Z]}\}$, створюваною цією поверхнею на зіниці спостерігача. Освітленість від поверхні Π на зіниці спостерігача визначається з виразу:

$$E_1^{[X,Y,Z]} = \frac{I'^{[X,Y,Z]}}{L_1^2} e^{-\alpha L_1},$$

де $I'^{[X,Y,Z]}$ – сила світла, відображеного поверхнею Π ; $e^{-\alpha L_1}$ – показник ослаблення світлового потоку на шляху від поверхні Π до спостерігача.

Для спрощення розрахунку замість $e^{-\alpha L_1}$ використовуватимемо τ_1 , що розраховується згідно з працею [6].

Для нескінченно віддаленого джерела світла (наприклад, Сонця):

$$E_1^{[X,Y,Z]} = C_1 \cos \beta k^{[X,Y,Z]} \tau_1 \tau_2;$$

$$C_1 = \frac{I^{[X,Y,Z]} S_{\text{пикс}}}{2\pi L_2^2 U_s^2}.$$

Попередній розрахунок цих величин (до моменту синтезу кадру зображення) дозволяє зменшити часові витрати.

Освітленість $E_2^{[X,Y,Z]}$, створювану розсіюванням світлового потоку в очному середовищі за наявності в полі зору яскравих джерел світла, необхідно розраховувати один раз на кадр зображення. Величину $E_2^{[X,Y,Z]}$ визначимо зі співвідношення [1]:

$$E_2^{[X,Y,Z]} = \sum_{i=1}^n \frac{I_i^{[X,Y,Z]}}{L_i^2 \theta_i^2} \tau_i (1 - \tau_{\text{р.о}}), \quad (1)$$

де n – кількість джерел світла, що потрапили у поле зору спостерігача; $I_i^{[X,Y,Z]}$ – сила світла i -го джерела світла; L_i – відстань від центра проекції h до i -го джерела світла; τ_i – показник ослаблення світлового потоку на шляху від i -го джерела світла до спостерігача [6]; $\tau_{\text{р.о}}$ – коефіцієнт розсіювання очного середовища [1]; θ_i – кут між напрямом джерела світла і проекційним променем.

Освітленість $E_3^{[X,Y,Z]}$, зумовлену розсіюванням світлового потоку на склі, за аналогією із співвідношенням (1), визначимо з такого співвідношення:

$$E_3^{[X,Y,Z]} = \sum_{i=1}^n \frac{I_i^{[X,Y,Z]}}{L_c^2} \tau_{ci} \tau_h k_{\text{погл}},$$

де n – кількість джерел світла, світловий потік яких потрапляє на скло; L_c – відстань від центра проекції h до скла; τ_{ci} – показник ослаблення світлового потоку на шляху від i -го джерела світла до скла; $k_{\text{погл}}$ – коефіцієнт поглинання світлового потоку склом; τ_h – показник ослаблення світлового потоку на шляху від скла до центра проекції h .

Флуктуації щільності повітря спричиняють розсіювання світлової хвилі. Частина світла продовжує поширюватися в колишньому напрямі, а частина розподіляється з різною інтенсивністю під усіма кутами до цього первинного напрямку (причому частина світла розсіюється назад). Функція залежності інтенсивності розсіяного світла від кута розсіювання (тобто від кута між напрямом розсіювання і первинним напрямом) називається індикатрисою розсіювання [7].

Унаслідок розсіювання світла від вогнів на зважених частинках в атмосфері [8; 9] утворюються яскраві ореоли або пучки променів, добре помітні на фоні неба або земної поверхні. Таке явище зазвичай спостерігається в умовах туману або опадів. Деякі кількісні дані про тумани і опади наведено в таблиці [8].

Кількісні дані про тумани і опади

Тип утворення	Діаметр крапель, мм	Середня відстань між краплями, мм
Туман	0,01	4,6
Густий туман	0,10	21
Дрібний дощ	0,20	36
Легкий дощ	0,45	70
Помірний дощ	1,00	123
Сильний дощ	1,50	130
Дуже сильний дощ	2,10	138
Злива	3–5	137

Задача, що розв'язується є просторово симетричною (рис. 2). Симетричність задачі полягає в тому, що для всіх проекційних променів, розміщених під кутом ξ відносно напрямку на джерела світла, освітленість, що створюється на екрані, буде однаковою.

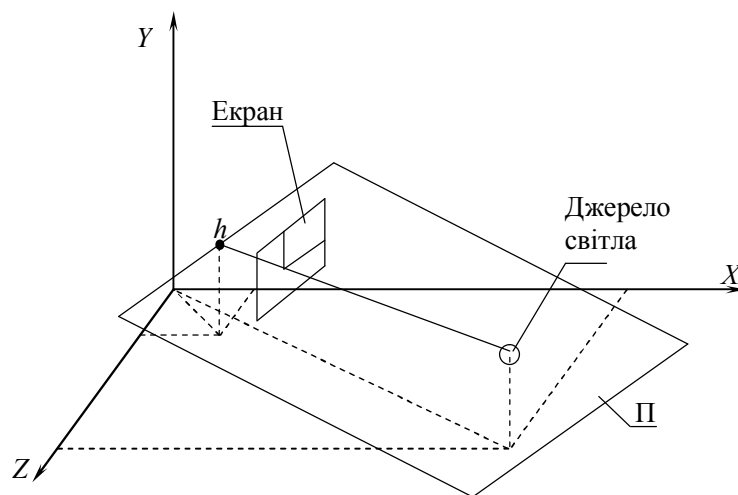


Рис. 2. Геометричні елементи

Для синтезу всього зображення досить знайти залежність освітленості від кута між проекційних променів і напрямом на джерело світла, тобто величина $E_4^{[X,Y,Z]}$ є функцією від кута ξ :

$$E_4^{[X,Y,Z]} = f(\xi).$$

Проте для спрощення розрахунків варто обмежити проекційні промені колом радіусом L – відстанню до джерела світла з центром у точці h . Частинки за межами кола розсіюють у бік центра проекції менше 3,6 % світлового потоку, що впав на них [8; 9]. Така частка потоку хоч і впливає на величину $E_4^{[X,Y,Z]}$, але є незначною, тому враховуватимемо тільки ті частинки, які містяться у внутрішній частині кола.

Таким чином, величину $E_4^{[X,Y,Z]}$ визначимо згідно із співвідношенням

$$E_4^{[X,Y,Z]} = \sum_{i=0}^n E_i^{[X,Y,Z]},$$

де $n = \left\lfloor (L - |\vec{V}|) / d \right\rfloor$ – кількість частинок проекційного променя; $\lfloor \cdot \rfloor$ – функція виділення цілої частини числа з округленням у бік меншого; $|\vec{V}|$ – модуль вектора спостереження.

Висновки. Процес синтезу зображень для тренажерних комплексів літальних апаратів дає можливість врахувати основні фізичні явища, які супроводжують процес бачення людиною навколишніх предметів, що дозволяє, в свою чергу, максимально реалістично визначити колірні і яскравісні характеристики зображення з урахуванням фізіології зору людини і характеристик пристроїв відображення.

Основним недоліком існуючих алгоритмів синтезу зображень світлових ефектів в напрямі їх використання для тренажерних комплексів літальних апаратів є апіорна гіпотеза про невелику швидкість руху Сонця. Під час виконання льотчиком фігур пілотажу рух Сонця (інтенсивність освітлення, напрям променів) дуже значний, а ефект засліплення настає частіше, ніж, наприклад, під час керування транспортним засобом.

Система *RGB*, яку використовують програмні алгоритми синтезу зображень, має недоліки при формуванні нових адитивних кольорів, особливо під час синтезу світлових променів та тіні і тому, на наш погляд, більш перспективною є система *XYZ*.

Таким чином, запропонована у роботі математична модель синтезу зображення світлових ефектів для систем візуалізації тренажерних комплексів літальних апаратів буде сприяти підвищенню як реалістичності відображення навколишнього середовища, що моделюється системою візуалізації авіаційних тренажерів, так і якості підготовки фахівців з керування літальними апаратами.

Список літератури

1. Мешков В. В. Основы светотехники: учеб. пособие для вузов. Ч.2. Физиологическая оптика и колориметрия / В. В. Мешков, А. Б. Матвеев – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 432 с.
2. Атмосфера: справ. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 512 с.
3. Зуев В. Е. Перенос оптических сигналов в земной атмосфере (в условиях помех) / В. Е. Зуев, М. В. Кабанов. – М.: Сов. радио, 1977. – 368 с.
4. Гусятин В. М. Алгоритм геометрических преобразований изображения в системах визуализации тренажеров транспортных средств / В. М. Гусятин // Авиационно-космическая техника и технология. Труды ХАИ им. Н. Е. Жуковского за 1997 г. – С. 467–471.

5. Гусятин В. М. Подход к описанию отражающих свойств поверхности в задачах синтеза изображения методом обратного трассирования / В. М. Гусятин, А. П. Остроушко, А. Н. Бугрий // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – № 3 (7). – 2004. – С. 15–18.
6. Гусятин В. М. Математическая модель и алгоритм обработки метеоусловий для систем визуализации / В. М. Гусятин, А. П. Остроушко // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики: сб. науч. тр. – Х.: ХТУРЭ, 1999. – Вып. 111 – С. 25–29.
7. Миронов А. В. Прецизионная фотометрия / А. В. Миронов – М.: Энергия, 1997. – 208 с.
8. Шифрин К. С. Рассеяние света в мутной среде / К. С. Шифрин. – М.: Гостехиздат, 1951. – 187 с.
9. Мак-Картни Э. Оптика атмосферы / Э. Мак-Картни. – М.: Мир, 1979. – 421 с.

Н. В. Апенько

Математическая модель синтеза изображения световых эффектов для систем визуализации тренажерных комплексов летательных аппаратов

Показана необходимость отображения световых эффектов при создании авиатренажеров, которые максимально достоверно будут отображать окружающую среду. Одной из составляющих световых эффектов, есть разработка математической модели синтеза изображения. В системе визуализации часто возникает задача синтеза источников света - огни города, аэродрома и другое. Разработана математическая модель синтеза изображения световых эффектов для систем визуализации тренажерных комплексов летательных аппаратов, которая будет способствовать решению летных заданий и помочь тем, кто должен проходить подготовку на тренажере для приобретения стойких навыков летной техники.

N. V. Apenko

Image of high lights for systems of visualization of trainers complexes of aircraft

The necessity of reflection of high lights is rotined at creation of airtrainers which in a maximal degree for certain to represent an environment. To one of making high lights, there is development of mathematical model of synthesis of image. In the system of visualization often there is the task of synthesis of sources of light are fires of city, air field and other. The mathematical model of synthesis of image of high lights is developed for the systems of visualization of trainer complexes of aircrafts, which will be instrumental in the decision of flying tasks and help that, who must prokhoditi preparation on a trainer to acquire proof skills of piloting of flying technique.