

## **МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ І ХАРАКТЕРИСТИК ЗОБРАЖЕННЯ МАЛОРОЗМІРНОГО БПЛА В ФОКАЛЬНІЙ ПЛОЩИНІ ВІДЕОКАМЕРИ**

*Герасименко А. О., аспірант; Крот Ю. Ю., Жук С. Я., д.т.н., професор  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна*

Важливим класом засобів моніторингу за БПЛА на сьогодні виступають системи відеоспостереження [1].

Оцінка ефективності алгоритмів виявлення і супроводження БПЛА, як правило, проводиться шляхом статистичного імітаційного моделювання. Для цього використовуються двовимірні зображення БПЛА, що рухаються в області кадрів. Для строгого формування двовимірного зображення БПЛА необхідно мати його тривимірну модель. Але ж моделювання тривимірної моделі БПЛА і формування її двовимірних проєкцій на кожному кроці вимагає значних обчислювальних витрат. Тому для аналізу алгоритмів часто достатньо виконувати моделювання руху БПЛА без його обертання в просторі, що дозволяє використовувати одне вихідне зображення БПЛА. Але ж масштаб (розмір) цього зображення на відеокадрах залежить від дальності до БПЛА, що також вимагає відповідного розрахунку.

Також адекватне формування траєкторії руху БПЛА на послідовності кадрів може бути здійснено шляхом моделювання руху його геометричного центру в тривимірному просторі з подальшим проєктуванням просторових координат в площину відеокадрів.

Таким чином, об'єкт спостереження в кадрі представляється у вигляді прямокутної області, в яку вписується БПЛА. Координати центра прямокутника розглядаються як геометричний центр об'єкта. Траєкторія руху БПЛА визначається координатами центра прямокутної області.

Як правило, відстань між відеокамерою та БПЛА значно перевищує фокусну відстань  $f$  оптичної системи. Тому будемо використовувати проєктивну модель відеокамери [2], в якій проєктування зображення тривимірного об'єкта у фокальну площину (площину зображення) виконується через оптичний центр.

На рис.1 задана точка  $P$ , яка характеризує геометричний центр БПЛА в тривимірному просторі, а також координати пікселя її проєкції на кадр. Використовуються три системи координат:

1. місцева система координат  $(x_w, y_w, z_w)$ ;
2. система координат камери  $(x_c, y_c, z_c)$ ;
3. система координат матриці камери  $(u, v)$ .

Проєкція точки  $P$  на площину зображення системи координат камери визначається зовнішніми і внутрішніми параметрами [2]. Зовнішні параметри представляють положення камери в тривимірній сцені та визначають

перетворення від місцевої системи координат до системи координат камери. Внутрішні параметри представляють собою оптичний центр і фокусну відстань камери, завдяки яким виконується проєктивне перетворення від координат в просторі до зображення в піксельному уявленні.

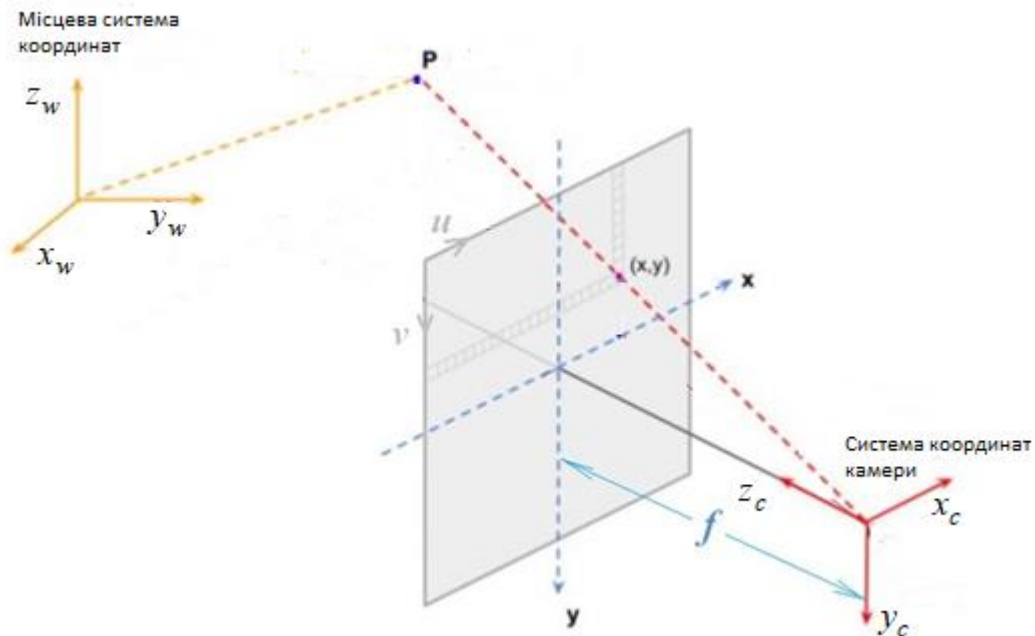


Рис. 1 – Проекція точки P на матрицю камери.

Зв'язок між координатами точки P в системі координат камери і місцевої системі координат може бути представлено у вигляді [2].

$$\mathbf{x}_c = \mathbf{V}\mathbf{x}_w, \quad (1)$$

де  $\mathbf{x}_c = (x_c, y_c, z_c, 1)^T$  – координати точки P в системі координат камери;  $\mathbf{x}_w = (x_w, y_w, z_w, 1)$  – координати точки P в місцевої системі координат;  $\mathbf{V}$  – матриця, яка описує поворот і зміщення системи координат камери відносно місцевої системі координат.

Після визначення координат точки P в системі координат камери, можуть бути розраховані її координати в системі координат матриці камери.

Положення точок знімка визначається в піксельній системі координат  $(u, v)$ , початок якої з'єднаний з верхнім лівим пікселем зображення рис.1. Координати центрального пікселя  $(c_x, c_y)$  (оптичний центр) знаходяться на перетині головної оптичної осі об'єктива з матрицею камери. Координати проєкції точки P в піксельних одиницях виміру розраховуються шляхом вирішення рівняння:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f/\Delta u & 0 & c_x \\ 0 & f/\Delta v & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де  $\Delta u$ ,  $\Delta v$  - розміри комірки матриці (масштаби) по осях  $u$  і  $v$  відповідно;

$x = x_c/z_c$ ,  $y = y_c/z_c$  - координати проекції точки  $P$  на фокальну площину

відеокамери.

Розглянемо камеру [3] з фокусною відстанню  $f=12$  мм і розмірами комірки матриці  $\Delta u = \Delta v = 2,5\mu\text{м}$ . БПЛА знаходиться на оптичній осі камери на відстані 100 м. Розміри прямокутної області, в яку вписується БПЛА, по осях  $x_c$  і  $y_c$  дорівнюють  $0,25\text{м}\times 0,15\text{м}$ . Розраховані розміри зображення БПЛА на фокальній площині дорівнюють  $29,7\mu\text{м}\times 17,8\mu\text{м}$  і  $12\times 7$  пікселів.

На основі отриманих в результаті моделювання проекцій траєкторій руху БПЛА в фокальній площині відеокамери можуть бути розраховані його прискорення по осях системи координат матриці камери, що дозволяє адекватно визначити параметри маневру цілі в алгоритмах супроводження.

#### **Перелік посилань**

1. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 1. Беспилотный летательный аппарат как объект обнаружения и поражения / Макаренко С. И., Тимошенко А. В., Васильченко А. С // Системы управления, связи и безопасности. №1, 2020

2. Цифровая обработка изображений в информационных системах : учеб. пособие / И.С. Грузман [и др.].-Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2002.-352 с.

3. Інформаційний портал «Характеристики відеокамер» [Електронний ресурс]. Доступ за посиланням. [http3.6s://lantorg.com/article/kak-vybrat-videokameru-ch2-harakteristiki-videokamer#razm\\_mat](http3.6s://lantorg.com/article/kak-vybrat-videokameru-ch2-harakteristiki-videokamer#razm_mat)

#### **Анотація**

На основі проєктивної моделі відеокамери розглянуто методику розрахунку траєкторії руху і характеристик зображення малорозмірного БПЛА на послідовності кадрів. Отримана методика може бути використана при імітаційному моделюванні для оцінки ефективності алгоритмів виявлення і супроводження БПЛА.

#### **Abstract**

Based on the projective model of the video camera calculation method of the trajectory of movement and characteristics of the image of small UAV on a sequence of frames is considered. The obtained technique can be used in simulation to assess the effectiveness of algorithms for detection and maintenance of UAVs.