

УДК 621.38:004.93

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ З УРАХУВАННЯМ ВІДСТАНІ, РОЗМІРУ СЕНСОРА ТА ОПТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄКТИВА

Стаценко Д.В., кандидат технічних наук, доцент
Київський національний університет технологій та дизайну
Кузьменко В.В., PhD, асистент
Київський національний університет технологій та дизайну

Ключові слова: виявлення об'єктів, оптичний сенсор, фокусна відстань, кут поля зору, роздільна здатність, глибина різкості, IMX290.

Автоматизовані системи спостереження широко застосовуються у сферах безпеки, промислового контролю та дистанційного моніторингу. Ефективність таких систем визначається здатністю камери зафіксувати об'єкт із достатньою кількістю пікселів для його надійного виявлення та ідентифікації. Правильний вибір оптичної системи- матриця та об'єктив є головним чинником якості зображення.

Задача полягає у побудові аналітичного апарату для розрахунку кількості пікселів на об'єкт залежно від дистанції спостереження, геометричних параметрів сенсора, фокусної відстані об'єктива, а також визначення глибини різкості та гіперфокальної відстані[1]. Як приклад розглядається сенсор Sony IMX290 у форматі 1/2.8" з розміром пікселя 2,9 мкм та роздільною здатністю 1920×1080 пікселів.

Кут поля зору (FOV) визначає просторове охоплення сцени для заданої пари сенсор - об'єктив. Горизонтальний, вертикальний та діагональний кути поля зору розраховуються за формулою [2]:

$$\phi = 2 \cdot \arctan\left(\frac{d_s}{2 \cdot f}\right),$$

де ϕ - кут поля зору (рад або $^\circ$); d_s - лінійний розмір сенсора вздовж відповідної осі (мм); f – фокусна відстань об'єктива (мм).

Для сенсора IMX290 ($6,45 \times 3,63$ мм, діагональ 7,43 мм) при фокусній відстані $f=25$ мм: HFOV=14,7°, VFOV=8,3°, DFOV=16,7°.

Ключовим критерієм виявлення є кількість пікселів, що припадає на лінійний розмір об'єкта. Для камери з матричним сенсором та об'єктивом з фокусною відстанню f кількість пікселів N_p , що покриває об'єкт розміром h на дистанції D , визначається за формулою [2]:

$$N_p = \frac{f \cdot h}{D \cdot p_s},$$

де N_p - кількість пікселів вздовж розміру об'єкта; f - фокусна відстань (мм); h - лінійний розмір об'єкта (мм); D – відстань від об'єктива до об'єкта (мм); p_s - розмір пікселя сенсора (мм).

Мінімально допустима кількість пікселів для надійного виявлення об'єкта згідно зі критеріями Джонсона становить 2 пікселі - виявлення, 6-8 пікселів - розпізнавання, 12-16 пікселів - ідентифікація [3].

Наприклад, для відстані $D = 100$ м, об'єкта $h = 5,7$ мм (вхідний отвір від кулі $5,56 \times 45$ мм), $f = 100$ мм, $p_s = 0,0029$ мм:

$$N_p = \frac{25 \cdot 5,7}{100 \cdot 0,0029} \approx 1,96 \text{ пікс.},$$

Що не відповідає рівню виявлення.

Кутова роздільна здатність системи, тобто мінімальний кутовий розмір деталі, що може бути зареєстрована одним пікселем сенсора, визначається як [1]:

$$\alpha = 2 \cdot \arctan\left(\frac{p_s}{2 \cdot f}\right) \approx \frac{p_s}{f} \text{ (рад)},$$

де α - кутова роздільна здатність (рад або кутова хвилина). Для ІМХ290 при $f = 100$ мм: $\alpha \approx 0,029$ рад = 0,1 кут. хв/піксель.

Гіперфокальна відстань H – мінімальна відстань фокусування, при якій нескінченно віддалені об'єкти залишаються у межах допустимого кружка розсіювання [1]:

$$H = \frac{f^2}{F \cdot c} + f \approx \frac{f^2}{F \cdot c},$$

де F - діафрагмове число; c – допустиме коло розсіювання (мм).

Рекомендоване значення кола розсіювання для систем машинного зору: $c \approx 2p_s = 0,0058$ мм для ІМХ290.

Висновки.

Вищезгадана система аналітичних формул дозволяє виконати розрахунок оптичної системи спостереження. Визначення кута поля зору, кількості пікселів на об'єкт та гіперфокальної відстані. Для виявлення об'єктів розміром 5–6 мм (1,9 - 2,45 пікселів) на відстані 100 м із сенсором ІМХ290 необхідна фокусна відстань об'єктива не менше 100-125 мм, а формат сенсора повинен відповідати або перевищувати формат кола зображення обраного об'єктива, тобто не менше 1/2,8".

Список використаних джерел

1. Аркадій Шаповал. Гіперфокальна відстань та глибина різкості. Radojuva: фотоблог. URL: <https://radojuva.com/uk/2012/11/hyperfocallnoe-dof-main/> (дата звернення: 14.04.2026).

2. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Загальна фізика». Розділ «Оптика». Ч. 1 / упоряд. В. І. Кисленко, В. М. Стецюк, І. М. Халімонова, Н. П. Харченко. Київ : Видавничий центр «Київський університет», 2002. 80 с.

3. Johnson's Criteria for Thermal Imaging Detection Range. Soar: website. URL: <https://www.hzsoar.com/news/johnson-s-criteria-for-thermal-imaging-detection-range/> (дата звернення: 15.04.2026).

4. Depth of Field and Depth of Focus. Edmund Optics: Knowledge Center. URL: <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/imaging/depth-of-field-and-depth-of-focus/> (дата звернення: 17.04.2026).