

УДК 681.7.013.8

Б. В. Киричук, студент гр. ПО-82мп, к.т.н., доц. Кучеренко О. К.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЧИСЛОВІ КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ

Анотація. В наведеній статті розглянуто числові критерії, за допомогою яких характеризується якість оптичного зображення. Авторами проаналізовано всі відомі типи критеріїв, які можуть використовуватись для оцінки якості зображення та надані рекомендації що до їх застосування.

Ключові слова: якість зображення, критерій, оптичне зображення.

ВСТУП

Практика оцінок оптичних систем в умовах їх серійного виробництва показує, що характеризувати якість зображення функціональними залежностями недостатньо інформативно. Потрібно охарактеризувати якість зображення чисельно. Такі числа, називаються числовим критерієм якості зображення, і отримують їх при аналізі обраної функціональної характеристики якості зображення, або безпосередньо з самого зображення обраного тест-об'єкта [1].

ГОЛОВНІ ЧИСЛОВІ КРИТЕРІЇ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ СТВОРЕНОГО ОПТИЧНОЮ СИСТЕМОЮ

Один із перших критеріїв в історії – це критерій Релея. Він був розроблений з появою перших телескопів і мікроскопів. Лінійна роздільна здатність вимірюється як мінімальна відстань між двома точками об'єкта, при якій їх видно окремо через оптичний прилад [1]. Цей критерій показує здатність приладу зображувати два близько розташованих точкових предмета і дорівнює мінімальній відстані між ними, при якій зображення двох точок відрізняється від зображення однієї точки.

Правило Релея потребує, щоб центральний максимум в зображенні однієї точки припадав на перший мінімум в зображенні іншої, що для без абераційних оптичних систем (ОС) це відповідає лінійній відстані між зображеннями сусідніх точок

$$R = \frac{1,22\lambda f'}{D}, \quad (1)$$

де λ – довжина хвилі, f' і D – відповідно фокусна відстань і діаметр вхідної зіниці об'єктива [1].

Роздільна здатність по Релею задовільно характеризує якість зображення астрономічних телескопів, спектральних приладів, для яких предметами є близько розташовані точки або лінії.

Роздільна здатність по Фуко застосовується для оцінки якості зображення фото-, теле-, і кінооб'єктивів, що передають об'єкти складної структури. Роздільна здатність R знаходиться як максимальна просторова частота періодичного тест-об'єкту, що складається з чорно-білих штрихів (міри Фуко), в зображенні якого ще видні штрихи, і виражається в лініях на міліметр або кутових хвилинах, в залежності від типу предмету і зображення.

При відсутності аберацій для некогерентного випромінювача роздільна здатність R дорівнює [2] [2]:

$$R_0 = \frac{2A}{\lambda}, \quad (2)$$

де λ – довжина хвилі, A – числова апертура світлового пучка.

Недоліком цього критерію є мала коректність, тобто мала стійкість до дій невеликих змін впливових факторів і не висока кореляція з істинною якістю зображення, що визначається по тій задачі, для якої будується зображення.

Більш інформативним критерієм якості зображення для вказаних об'єктів є граничний градієнт G_{\max} – тангенс кута α_{\max} нахилу дотичної в центральній точці граничної кривої до осі абсцис, що характеризує різкість зображення [3]:

$$G_{\max} = \operatorname{tg} \alpha_{\max} = \frac{\Delta E}{\Delta x'}, \quad (3)$$

де ΔE – приріст освітленості оптичного зображення граничного тесту, $\Delta x'$ – інтервали на осі абсцис.

Критерій перепаду p , що враховує перепад максимальної і мінімальної освітленості, характеризує різкість і контраст зображення [3]:

$$p = (E_{\max} - E_{\min}) G_{\max}, \quad (4)$$

де E_{\max} і E_{\min} – максимальна і відповідно мінімальна освітленості.

Число Штреля S (визначальна яскравість або чіткість по Штрелю) може бути отримано при аналізі функції розсіювання крапки (ФРК) досліджуваного об'єктива. Відношення значень ФРК в її максимуму для даного і ідеального (безабераційного) об'єктива дає значення числа Штреля [2]:

$$S = \frac{A(w \neq 0)}{A(w = 0)}, \quad (5)$$

де A – освітленість, w – параметр, що характеризує значення хвильової аберації.

Встановлено, що оптична система є високоякісною, якщо $S \geq 0,8$.

Число Штреля на основі оптичної передавальної функції (ОПФ) може бути отримано з виразу :

$$S = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{A}(v'_x, v'_y) dv'_x dv'_y}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{A}_0(v'_x, v'_y) dv'_x dv'_y}, \quad (6)$$

Де $\tilde{A}_0(vx', vy')$ – ОПФ безабераційної оптичної системи; $\tilde{A}(vx', vy')$ – ОПФ реальної оптичної системи.

Деяким узагальненням числа Штреля можна вважати критерій Саянагі, що враховує модуляційну передавальну функцію (МПФ) оптичної системи $|D(v')|$ і приймача зображення $|DR(v')|$ [3] [2]:

$$S = \frac{\iint |D(v') D_R(v')| dv'}{\iint D_R(v') dv'}, \quad (7)$$

де $|D(v')|$ – МПФ оптичної системи, $|DR(v')|$ – МПФ приймача зображення

Якщо прилад використовується як канал зв'язку, то можливо застосувати для оцінки якості зображення питому інформаційну пропускну спроможність,

що показує максимальну кількість інформації в бітах, яку може мати одиниця площі зображення. Ця величина знаходиться за формулою [2]:

$$H_0 = \int_{-\infty}^{\infty} \int \log 9 \left[1 + \frac{D(v')}{\Delta k'(v')} \right] dv', \quad (8)$$

де $\Delta k'(v')$ – поріг відмінності контрасту приймачем зображення, $D(v')$ – МПФ оптичної системи.

Лінфут запропонував оцінювати якість зображення з врахуванням властивостей предмета за допомогою трьох критеріїв: структурним вмістом T , степенем **кореляції** Q і правильністю F , які дорівнюють [2]:

$$T = \frac{\overline{I'^2(x')}}{\overline{I^2(x)}} = \frac{\iint |D(v)|^2 \Phi(v) dv}{\iint \Phi(v) dv}; \quad (9)$$

$$Q = \frac{\overline{I'(x)I(x)}}{\overline{I^2(x)}} = \frac{\iint D(v)\Phi(v) dv}{\iint \Phi(v) dv}; \quad (10)$$

$$F = 2Q - 1, \quad (11)$$

де риска зверху позначає усереднення по площі предмету або по ансамблю предметів, $I(x)$ – комплексна амплітуда поля на поверхні предмета, $\Gamma(x)$ – комплексна амплітуда поля на зображенні, $\Phi(v)$ – спектр Вінера предмета, $D(v)$ – МПФ оптичної системи.

Лінфут запропонував також відносні критерії $t = T/T_0$, $q = Q/Q_0$, $f = F/F_0$ $f = F / F_0$, де T_0 , Q_0 , F_0 відповідають деякому «еталонному» **приладу**. [2]

Статистичні критерії отримують на основі дослідження якості вирішення задачі, для якої формується зображення, з урахуванням похибок аналізу зображення, що визвано шумами приймача. В статичній теорії шум вважають адитивним, гауссовим і білим. Таким чином, зображення, яке спостерігається, представляється в вигляді [2]:

$$I'(x') = \int_{-\infty}^{\infty} \int I(x) h(x' - x) dx + n(x'), \quad (12)$$

де $n(x')$ – випадкова функція, що описує шум, $h(x' - x)$ – функція розсіювання крапки.

Передбачається, що відомі характеристики приладу, ФРК $h(x')$ або ОПФ $D(v)$, а також деякі апіорні відомості про об'єкт. В так званих параметричних задачах або задачах матеріальних приладів вважають, що вхідний сигнал відомий з точністю до одного або декількох параметрів $I = I(x, a)$, де a – невідомий параметр. В цьому випадку якість зображення оцінюється по дисперсії оцінки a вимірюваного параметра, отриманій із аналізу зашумленого зображення. В задачах розрізнення гіпотез вважається, що вхідний сигнал відомий з точністю до вибору із двох альтернативних функцій $I_0(x)$ і $I_1(x)$.

Якість зображення оцінюється по випадковості помилки в розрізненні цих сигналів по зашумленому зображенню. В обох випадках якість зображення оцінюють статичною роздільною здатністю [2]:

$$R_s = \int_{-\infty}^{\infty} \int T(v) |D(v)|^2 dv, \quad (13)$$

де $T(v)$ – функція задачі, $D(v)$ – МПФ оптичної системи.

Для параметричних задач та задач з гіпотезою :

$$\Phi(v) = \begin{cases} S^{-1}(v) \left| \frac{\partial I(v)}{\partial a} \right|^2 \\ S^{-1}(v) |I_0(v) - I_1(v)|^2 \end{cases}, \quad (14)$$

де $S(v)$ – спектр шуму Вінера, $I_0(v)$, $I_1(v)$, $I_2(v)$ – деякі альтернативні функції.

ВИСНОВКИ

Підвищення якості зображення є основною вимогою при проектуванні оптичних систем. Для порівняльної оцінки якості зображення недостатньо визначити ФРК, ГК, ОПФ, МПФ оптичної системи. Для цієї мети слід скористатися числовими критеріями отриманими на основі знань зазначених функціональних залежностей. Вибір тих чи інших числових критеріїв розглянутих в статті залежить від призначення досліджуваної оптичної системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Кирилловский В.К. Методы исследования и контроля качества оптических систем: учебное пособие / В.К. Кирилловский, Т.В. Точилина. — СПб: НИУ ИТМО, 2012. — 125 с.
- [2] Вычислительная оптика: справочник / под ред. М.М. Русинова., А.П. Грамматина — 2-е изд. — Л.: Машиностроение, 2008 — 423 с.
- [3] Креопалова Г.В. Оптические измерения: учебник для вузов / Г.В. Креопалова, Н.Л. Лазарева, Д.Т. Пуряев. — М.: Машиностроение, 1987 — 264 с.
- [4] Максудов Д.Д. Изготовление и исследование астрономической оптики : учебное пособие / Д.Д. Максудов — 2-е изд. — М.: Наука, 1984 — 272 с.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Кучеренко О. К.