

ІНВАРІАНТНА МОДЕЛЬ ОБРОБЛЕННЯ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ІЗОПЛАНАТИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

В. В. Гнатушенко

Дніпропетровський національний університет

49050, Дніпропетровськ, пров. Науковий, корпус 12

E-mail: vvgnat@ukr.net

Тел. (0562) 43-36-30. Факс (0562) 46-55-23

АНОТАЦІЯ

Робота присвячена побудові інформаційно-геометричної моделі форм ізопланатичних зображень.

1. ВСТУП

Як відомо [1], дифракційні явища відіграють важливу роль при роботі оптичних приладів, призначених для одержання зображень об'єктів. Зображення, отримані за допомогою фокусувальних пристроїв (лінз), ніколи не відтворюють об'єкт з ідеальною точністю. Вони бувають спотворені унаслідок усякого роду недосконалостей оптичних систем (аберацій). Але навіть ідеальна лінза, вільна від аберацій, не може дати ідеального зображення через хвильову природу світла. Унаслідок дифракційних явищ порушуються закони геометричної оптики та відображення точок об'єкта в точки зображення перестає бути проєктивним. В термінах теорії хвильових процесів це означає, що зображення перестає бути стигматичним. Таким чином, виникає важлива задача відновлення й ідентифікації нестигматичних зображень, які не охоплюються розвинутою в [2, 3] інформаційно-геометричною моделлю.

2. ІНВАРІАНТНА ГЕОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ ПОДАННЯ ІЗОПЛАНАТИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

2.1. ОСНОВНІ СПІВВІДНОШЕННЯ ФОРМУВАННЯ ІЗОПЛАНАТИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Розглядається некогерентне джерело з інтенсивністю випромінювання $I_0(\mathbf{x})$, яке

розташоване у предметній площині (некогерентність означає відсутність статистичного зв'язку між випромінюваннями різних точок джерела). Випромінювання від елемента поверхні об'єкта, розташованого у точці \mathbf{x} , поширюється через середовище і падає на лінзу діаметра D , центр якої розташовано у точці \mathbf{q} фотограмметричної системи координат XYZ . Зображення з інтенсивністю $I(\mathbf{r})$ спостерігається в площині зображення, паралельній площині лінзи на відстані d за нею (рис. 1), причому \mathbf{r} відлічується від головної точки зображення A — основи перпендикуляра з точки \mathbf{q} на площину зображення. Через ρ позначено радіус-вектор точки в площині лінзи.

Як відомо з теорії хвильових процесів, у загальному випадку інтегральний зв'язок між інтенсивністю зображення $I(\mathbf{r})$ та інтенсивністю випромінювання точок об'єкта $I_0(\mathbf{x})$ має вигляд [3]:

$$I(\mathbf{r}) = \int_{(\Omega)} I_0(\mathbf{x}) P(\mathbf{r}, \mathbf{x}) d\mathbf{x}, \quad (1)$$

де $P(\mathbf{r}, \mathbf{x})$ — функція розмиття точки (ФРТ). Інтегрування ведеться по області розташування джерела (поверхні об'єкта).

У загальному випадку $P(\mathbf{r}, \mathbf{x})$ є функцією двох змінних (\mathbf{r}, \mathbf{x}) , але, якщо довжина хвилі випромінювання λ суттєво менша за характерні розміри іконічної системи та відстані, з якої формується зображення, ФРТ з високою точністю може бути подана у вигляді $P(\mathbf{r}, \mathbf{x}) = P(\mathbf{r} - \mathbf{x}')$ (ізопланатичне наближення [4]), де $\mathbf{x}' = -\frac{d}{q}\mathbf{x}$. З

урахуванням цього функція яскравості ізопланатичного зображення має вигляд:

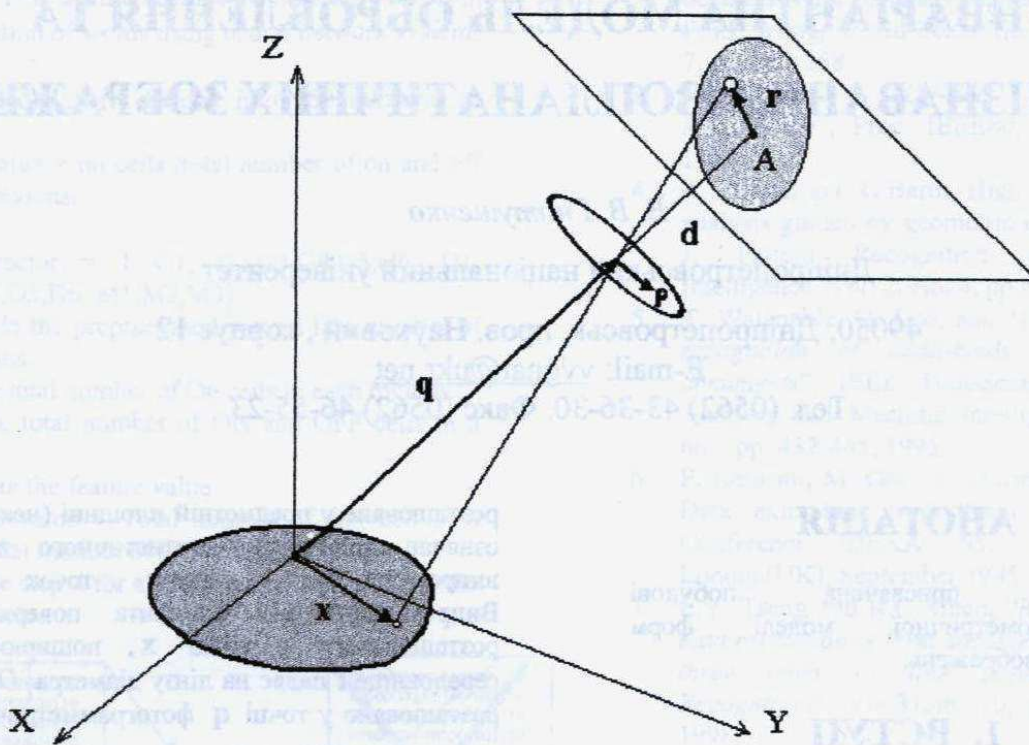


Рис. 1 Формування зображення в дальній фотограмметрії

$$I(\mathbf{r}) = \frac{1}{\lambda^4 q d^3} \int_{(\Omega)} I_0\left(-\frac{q}{d} \mathbf{x}'\right) P(\mathbf{r} - \mathbf{x}') d\mathbf{x}', \quad (2)$$

де ФРТ для круглої лінзи з апертурою діаметра D

$$P(\mathbf{r} - \mathbf{x}') = \frac{\pi D^2}{4} \int \exp\left[\frac{jk\rho d}{d}(\mathbf{r} - \mathbf{x}')\right] \times \exp\left[\frac{-jkq\rho d}{q}\right] K\left(\frac{\rho d}{D}\right) d\rho d \quad (3)$$

Через $K\left(\frac{\rho d}{D}\right)$ у виразі (3) позначено функцію

$$K\left(\frac{\rho d}{D}\right) = \begin{cases} \frac{2}{\pi} \left[\arccos\left(\frac{\rho d}{D}\right) - \left(\frac{\rho d}{D}\right) \times \sqrt{1 - \left(\frac{\rho d}{D}\right)^2} \right], & \rho d \leq D \\ 0, & \rho d > D, \end{cases} \quad (4)$$

яка дорівнює площі перетину двох кругів діаметра D з відстанню між центрами ρd .

Зазначимо, що у випадку $D \rightarrow 0$, $K\left(\frac{\rho d}{D}\right) \rightarrow \delta(\rho d)$ і відповідність точок об'єкта й зображення описується виразом $\mathbf{r} = -\frac{d}{H} \mathbf{x}$, (H — висота центра проєціювання над предметною площиною), що збігається із загальним виразом для стигматичних зображень [2, 4].

2.2. ІНВАРІАНТНІ БАГАТОВИДИ ПОДАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ФОРМ ІЗОПЛАНАТИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Інформаційно-геометрична модель подання зображень проєкційної природи, розвинена в [5], будується у просторі інформаційних характеристик — безрозмірних семіінваріантів, які визначаються на основі інтегрального перетворення Фур'є відповідних функцій яскравості. З метою узагальнення моделі на випадок ізопланатичних зображень, виконаємо перетворення Фур'є від виразу (2), який пов'язує функцію яскравості зображення та власну яскравість точок об'єкта. Врахуємо при цьому, що цей вираз має вигляд згортки власної яскравості точок об'єкта $I_0(\mathbf{x})$ й функції розмиття точки $P(\mathbf{r})$. Зі спектрального аналізу відома теорема, у відповідності з якою перетворення Фур'є від згортки двох функцій

дорівнює добутку перетворень Фур'є від них [6]. З урахуванням цього одержуємо:

$$F(\mathbf{u}) = \frac{\pi D^2}{q^2 d^2} F_0 \left(-\frac{d}{q} \mathbf{u} \right) \mathcal{P}(\mathbf{u}), \quad (5)$$

де $F(\mathbf{u}), F_0(\mathbf{u})$ — відповідно перетворення Фур'є від функції яскравості зображення та власної яскравості об'єкта. Через $\mathcal{P}(\mathbf{u})$ позначено перетворення Фур'є від ФРТ (3):

$$\mathcal{P}(\mathbf{u}) = \frac{\pi D^2}{4} \left(\frac{\lambda d}{2\pi} \right)^2 K \left[\frac{\lambda d}{2\pi D} \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \right]. \quad (6)$$

На підставі цього зв'язок між семіінваріантами зображення S_{nm} , скалярної яскравості об'єкта $S_{nm}^{(0)}$ та функції розмиття точки \mathbf{S}_{nm} має вигляд:

$$S_{nm} = (-1)^{n+m} \left(\frac{f}{q-f} \right)^{n+m} S_{nm}^{(0)} + \mathbf{S}_{nm}. \quad (7)$$

де f — фокусна відстань лінзи.

У відповідності з принципом формування інформаційних характеристик зображень, які описуються семіінваріантами парного порядку $N = n + m$ [2, 5], маємо:

$$Z_i = \frac{S_{i-1, N+1-i}}{F^{N/2}(\mathbf{0})}, \quad i = \overline{1, N+1}. \quad (8)$$

З урахуванням співвідношення (7) зв'язок між векторами подання двох зображень $\mathbf{Z}^{(1)}, \mathbf{Z}^{(2)}$, отриманих при різних позиційних умовах їхньої фіксації, набуває вигляду:

$$Z_i^{(2)} = \left(\frac{q_1 - f}{q_2 - f} \right)^{n+m} \left(\frac{M_{00}^{(1)}}{M_{00}^{(2)}} \right)^{\frac{n+m}{2}} Z_i^{(1)} + \frac{\mathbf{S}_{i-1, N+1-i}^{(2)} - \left(\frac{q_1 - f}{q_2 - f} \right)^{n+m} \mathbf{S}_{i-1, N+1-i}^{(1)}}{\left(M_{00}^{(2)} \right)^{\frac{n+m}{2}}}, \quad (9)$$

де $M_{00}^{(1)}, M_{00}^{(2)}$ — декартові моменти нульового порядку від функцій яскравості відповідних зображень:

$$M_{00}^{(1)} = \frac{I_0(\mathbf{0})}{(\lambda^2 q_1 d_1)^2} \mathcal{P}_1(\mathbf{0}) = \frac{D_1^2 I_0(\mathbf{0})}{16\pi \lambda^2 q_1^2},$$

$$M_{00}^{(2)} = \frac{I_0(\mathbf{0})}{(\lambda^2 q_2 d_2)^2} \mathcal{P}_1(\mathbf{0}) = \frac{D_2^2 I_0(\mathbf{0})}{16\pi \lambda^2 q_2^2}. \quad (10)$$

Зазначимо, що вектори $\mathbf{Z}^{(1)}, \mathbf{Z}^{(2)}$ залежать від позиційних умов фіксації відповідних зображень і геометричних параметрів іконічної системи: в розглядуваному випадку — q, D . Далі розглядаємо випадок, коли $D_1 = D_2 = D$.

Приймаючи $\mathbf{Z}^{(1)}$ за подання еталонного зображення (далі \mathbf{Z}), для якого зазначені параметри формування вважаються відомими, покладемо співвідношення (9) в основу узагальнення інформаційно-геометричної моделі на випадок ізопланатичних зображень. Далі ризкою позначаємо величини, що пов'язані з аналізованим зображенням.

В загальному випадку довільної вимірності простору моделі зв'язок між векторами $\mathbf{Z}^{(1)}$ та $\mathbf{Z}^{(2)}$ є досить громіздким і тут не наводиться. В окремому випадку тривимірного простору моделі ($N = 2$), маємо:

$$\left. \begin{aligned} \bar{Z}_1 &= \left(\frac{\bar{q}(q-f)}{q(q-f)} \right)^2 Z_1 + \frac{16\pi \lambda^2 \bar{q}^{-2}}{D^2 I_0(\mathbf{0})} \times \\ &\quad \times \left[\bar{\mathbf{S}}_{02} - \left(\frac{q-f}{q-f} \right)^2 \mathbf{S}_{02} \right], \\ \bar{Z}_2 &= \left(\frac{\bar{q}(q-f)}{q(q-f)} \right)^2 Z_2, \\ \bar{Z}_3 &= \left(\frac{\bar{q}(q-f)}{q(q-f)} \right)^2 Z_3 + \frac{16\pi \lambda^2 \bar{q}^{-2}}{D^2 I_0(\mathbf{0})} \times \\ &\quad \times \left[\bar{\mathbf{S}}_{20} - \left(\frac{q-f}{q-f} \right)^2 \mathbf{S}_{20} \right], \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Виходячи з вигляду функції розмиття точки (3) можна показати, що її семіінваріанти симетричні за першим та другим індексами, $\mathbf{S}_{02} = \mathbf{S}_{20}$. Здійснимо лінійну заміну координат у просторі моделі

$$Y_1 = \frac{1}{2}(Z_1 + Z_3); \quad Y_2 = Z_2;$$

$Y_3 = \frac{1}{2}(Z_1 - Z_3)$. Врахуємо також поворот на кут γ картинної системи координат, в якій задане

зображення, що аналізується, стосовно координатної системи еталонного зображення. Виходячи з означення семіінваріантів [7] та виразу для перетворень координат картинної площини при повороті на кут γ :

$$\bar{x} = x \cos \gamma - y \sin \gamma, \quad \bar{y} = x \sin \gamma + y \cos \gamma,$$

можна показати, що зв'язок між інформаційними характеристиками зображення, підданого такому перетворенню, має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \bar{y}_1 &= y_1; \\ \bar{y}_2 &= y_2 \cos(2\gamma) + y_3 \sin(2\gamma); \\ \bar{y}_3 &= -y_2 \sin(2\gamma) + y_3 \cos(2\gamma) \end{aligned} \right\}. \quad (12)$$

На підставі виразів (11), (12), одержимо:

$$\left. \begin{aligned} \bar{Y}_1 &= kY_1 + V(\bar{q}, q), \\ \bar{Y}_2 &= kY_2 \cos(2\gamma) + kY_3 \sin(2\gamma), \\ \bar{Y}_3 &= -kY_2 \sin(2\gamma) + kY_3 \cos(2\gamma), \end{aligned} \right\}, \quad (13)$$

$$\text{де } k = \left(\frac{\bar{q}(q-f)}{q(q-f)} \right)^2,$$

$$V(\bar{q}, q) = \frac{32\pi\lambda^2 \bar{q}^2}{D^2 I_0(\mathbf{0})} \left[\mathbf{s}_{02} - \left(\frac{q-f}{q-f} \right)^2 \mathbf{s}_{02} \right].$$

Застосовуючи методику побудови афінно-інваріантних багатомірних другого степеня, розвинену в роботі [5], одержимо рівняння квадрики, інваріантної до перетворень (13) компонент вектора подання ізопланатичних зображень

$$F_2^2 = \frac{1}{k^2} \left\{ [Y_1 - V(\bar{q}, q)]^2 - Y_2^2 - Y_3^2 \right\}. \quad (14)$$

Порівнюючи вираз (14) з рівнянням афінно-інваріантної квадрики для стигматичних зображень (точкової відповідності об'єкта та зображення) [5, 8], легко бачити, що урахування ізопланатичності веде до зміщення центра квадрики вздовж осі OY_1 на величину $V(\bar{q}, q)$ та перетворення інваріантної інформаційної ознаки F_2^2 .

Зазначимо, що, як випливає з (13), (14), при збільшенні відстані, з якої одержано зображення, квадрика (14) стягується в точку $[V(\bar{q}, q); 0; 0]$.

3. ВИСНОВКИ

Встановлені закономірності геометричної моделі подання ізопланатичних зображень дозволяють здійснювати їх морфологічний (позиційно-інваріантний) аналіз на основі належності точки, яка подає розподіл яскравості зображення, інваріантному багатомірному другому степеня (14), що визначається еталонним зображенням, та розташування цього багатомірду у просторі інформаційних характеристик. Взаємне розташування точок подання еталонного зображення та зображення, що аналізується, на інваріантному багатомірді дає підстави для обчислення відмінностей цих зображень у випадку їх належності одному класу еквівалентності геометричних форм.

ЛІТЕРАТУРА

1. Борн М., Вольф Э. "Основы оптики": Пер. с англ. — М.: Наука, 1973. — 720 с.
2. Михайленко В.С., Корчинський В.М. "Багатомірні геометричні моделі в інваріантному розпізнаванні проєкційних зображень" // Proc. of the Third All-Ukrainian International Conf. "Signal/Image Processing and Pattern Recognition"(UkrOBRAZ'96). — Kiev (Ukraine). — 1996. — P.94-96.
3. Korchinsk'kyj V. "Informative features of multiplied plane images for their invariant recognition" // Proc. of the Third All-Ukrainian International Conf. "Signal/Image Processing and Pattern Recognition"(UkrOBRAZ'96). — Kiev (Ukraine). — 1996. — P.87-88.
4. Исимару А. "Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородной среде". Том 2: Пер с англ. — М.: Мир, 1981. — 318 с.
5. Михайленко В. С., Корчинський В. М. "Концепція геометричного об'єкту в морфологічному аналізі проєкційних зображень" // Прикладна геометрія та інженерна графіка: К.: КДТУБА, 1997. — Вип.61. — С. 59 – 63.
6. Васильев В. Н., Гуров И. П. "Компьютерная обработка сигналов в приложении к интерферометрическим сигналам." — СПб.: БХВ — Санкт-Петербург, 1998. — 240 с.
7. Гнатушенко В. В. "Багатомірні геометрична модель напівтонових зображень у вигляді центральних проєкцій". // Збірка праць міжнар. наук.-практ. конф. "Сучасні проблеми геометричного моделювання". — Харків, 2001. — С. 202-204.
8. Гнатушенко В. В. "Графічне подання перетворень проєкційних зображень у багатомірній інформаційно-геометричній моделі." // Прикладна геометрія та інженерна графіка. К.: КНУБА — 2001. — Вип. 69. — С. 217 – 219.