

1. *Артемьев В. И., Строганов В. Ю.* Организация диалога в САПР – М.: Высш. шк., 1990. – 157 с.
2. *Нестеров Ю. Г., Пашиев И. С.* Выбор состава программно-технического комплекса САПР. – М: Высшая школа, 1990. – 159 с.
3. *Венда В. Ф.* Системы гибридного интеллекта: Эволюция, психология, информатика. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
4. *Зверев В. И., Кетков Ю. П., Максимов В. С.* Алфавитно-цифровые дисплеи в диалоговых системах – М.: Наука, 1986. – 240 с.
5. *Месарович М., Мако Д., Такахара М.* Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
6. *Сікора Л.С.* Системологія прийняття рішень на управління в складних технологічних структурах. – Львів: Каменяр, 1998. – 453 с.

Поступила 24.9.2013р.

УДК 004.9

О.В.Тимченко^{1 2}, Б.М.Гавриш²

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВІДСКАНОВАНОГО ЗОБРАЖЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМ ПОЕЛЕМЕНТНОГО ОПРАЦЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ

Анотація. Розглядається математична модель відсканованого зображення для систем поелементного опрацювання інформації та визначаються фактори які впливають на процес обробки для підвищення різкості та зменшення шуму. Показано, що нерізде аналогове маскування може бути замінено ефективними цифровими алгоритмами.

Ключові слова: математична модель зображення, різкість, лінійна спотворююча система.

Annotation. A mathematical model of the scanned image for the systems-element processing information and identifies the factors that affect the processing for sharpening and noise reduction. It is shown that unsharp masking analog can be replaced by effective digital algorithms.

Keywords: mathematical model of image sharpness, distorting the linear system.

Вступ

В для системах поелементного опрацювання інформації під час аналізу оригіналу слід звертати увагу на наступні параметри зображення: градацію, колір, параметри різкості (відтворення дрібних деталей). Потрібно також оцінити наявність шумів в зображенні і тип цих шумів. Оскільки сканування

¹ Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

² Українська академія друкарства

оригіналів проводиться з високою роздільною здатністю, то стає помітною і растрова структура зображення. Таким чином, отримані шляхом сканування зображення мають недоліки, що пов'язані з втратою різкості та наявністю різного роду шумів.

Мета роботи: проаналізувати математичну модель відсканованого зображення та визначити фактори, які впливають на процес відновлення (поліпшення якості) зображень.

Математична модель відсканованого зображення

Більшість систем отримання цифрового зображення в першому наближенні можна розглядати як лінійні і інваріантні до зсуву [1-4]. Зображення, сформовані такими системами, зазнають лінійних просторово-інваріантних спотворень, які характеризуються тим, що механізм їх виникнення один для всіх точок (x,y) . Лінійні спотворення проявляються в ослабленні верхніх частот вихідного зображення. Візуально це призводить до погіршення його різкості. У процесі запису зображення спотворюються також шумами, присутніми в будь-якому реальному фізичному пристрої. У ряді практично важливих випадків шум можна вважати адитивним і незалежним від початкового зображення.

З урахуванням цього спостережуване нерізде зображення $s(x,y)$, спотворене шумом, можна представити як вихід лінійної системи (рис.1).

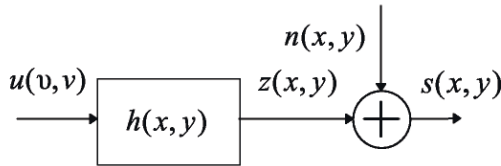


Рис. 1. Лінійна модель формування зображення

Математична модель процесу формування зображення має вигляд:

$$s(x,y) = z(x,y) + n(x,y)$$

де $n(x,y)$ – адитивний двовимірний шум. Зображення $z(x,y)$, отримане шляхом лінійного спотворення вихідного зображення при відсутності шуму, визначається інтегралом згортки:

$$\begin{aligned} z(x,y) &= h(x,y) \otimes \otimes u(x,y) = \\ &= \iint_{(v,v) \in \Theta^{(v)}} h(x-v, y-v) u(v,v) dv dv = \\ &= \iint_{(v,v) \in \Theta^{(h)}} h(x-v, y-v) dv dv, \quad (x,y) \in \Theta^{(s)}, \end{aligned} \tag{1}$$

де $\otimes \otimes$ – символ двовимірної згортки;

$h(x,y)$ – двовимірна імпульсна характеристика лінійної спотворюючої системи (або ФРТ - функція розсіювання точки).

Таким чином, значення функції яскравості $u(v, v)$ вихідного зображення в точці з координатами (v, v) «розмазується» відповідно до виду ФРТ $h(x, y)$ і спотворюється адитивним шумом.

У виразі (1) враховано, що зображення, що зустрічаються в практичних застосуваннях, мають кінцеві розміри. Це означає, що яскравість зображення дорівнює нулю всюди, крім деякої кінцевої області (кадру), яку позначимо через $\Theta^{(c)}$. Верхній індекс в кадрі $\Theta^{(c)}$ відповідає символу зображення або ФРТ, для якого визначений цей кадр: кадром зображення $s(x, y)$ буде $\Theta^{(s)}$. Кадри є прямокутниками, сторони яких паралельні осям координат. Під розмірами кадру будемо розуміти сукупність довжин вертикальної $L_x^{(s)}$ і горизонтальної $L_y^{(s)}$ сторін кадру $\Theta^{(s)}$. Якщо поєднати центр кадру є початком координат на площині зображення, то:

$$s(x, y) = 0 \text{ при } |x| \geq L_x^{(s)} / 2, |y| \geq L_y^{(s)} / 2, \quad (2)$$

або коли координати $(x, y) \notin \Theta^{(s)}$.

Відносні розміри кадрів зображень і ФРТ в моделі формування (1) мають важливе значення. Скінченність їх розмірів значно ускладнює вирішення задачі відновлення. Розміри кадрів $\Theta^{(s)}$, $\Theta^{(z)}$ рівні між собою і зумовлені тим, що будь-яка формуюча система має обмежене поле зору (рис.2).

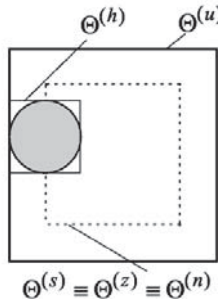


Рис. 2. Відносні розміри зображення і ФРТ

Кадр $\Theta^{(h)}$ ФРТ являє собою мінімальний прямокутник, що містить всі точки з координатами (x, y) , в яких величина абсолютного значення ФРТ помітно відмінна від нуля, наприклад, коли $|h(x, y)| \geq 10^{-10} \max(|h(x, y)|)$. Дія ФРТ зводиться до того, що кожна точка початкового зображення $s(v, v)$ «розмазується» в деяку область, обмежену кадром $\Theta^{(h)}$. Кадр вихідного зображення може бути побудований шляхом переміщення $\Theta^{(h)}$ і являє собою область усіх точок, які охоплюються кадром $\Theta^{(h)}$ при його переміщенні по

кадру $\Theta^{(s)}$ спостережуваного зображення. Тому навіть якщо оригінал має нескінченні розміри, спостережуване зображення формується лише тільки за рахунок деякої його частини. Причому, розміри кадру спостережуваного зображення завжди менші або дорівнюють розмірам початкового. Розміри кадрів вихідного і спостережуваного зображень рівні лише за відсутності лінійних спотворень, тобто коли імпульсна характеристика спотворюючої системи дорівнює дельта-функції. Таким чином, кадр отриманого зображення $\Theta^{(u)}$ є лише певним наближенням спостережуваного зображення $\Theta^{(s)}$.

Очевидно, що необхідно відновити (з певною точністю) зображення в межах кадру $\Theta^{(s)}$. Після сканування зображення представлені у цифровій формі, а двовимірні функції $u(\nu, \nu)$, $z(x, y)$, $s(x, y)$, $h(x, y)$, $n(x, y)$ з неперервними аргументами замінюються двовимірними масивами відліків, взятих на прямокутних решітках з однаковими відстанями $\Delta = \Delta x = \Delta y$ між вузлами. У цьому випадку співвідношення (1) приймає вигляд:

$$s(i_1, i_2) = z(i_1, i_2) + n(i_1, i_2), \quad i_1 = -\frac{L_1^{(s)}}{2}, \frac{L_1^{(s)}}{2}, \quad i_2 = -\frac{L_2^{(s)}}{2}, \frac{L_2^{(s)}}{2} \quad (3)$$

де

$$z(i_1, i_2) = h(i_1, i_2) \otimes u(i_1, i_2) = \sum_{(j_1, j_2) \in \Theta^{(h)}} h(j_1, j_2) u(i_1 - j_1, i_2 - j_2). \quad (4)$$

Аргументи з індексом 1 позначають номер рядка, а з індексом 2 - номер стовпця. У дискретному випадку розміри кадру (число відліків) $L_1^{(s)}$ і $L_2^{(s)}$ визначаються відношенням довжин відповідно вертикальної і горизонтальної сторін кадру аналогового зображення до величини інтервалу дискретизації Δ .

Операція згортки, яка присутня в формулах (1) і (4), еквівалентна добутку відповідних спектрів в частотній області. Це дозволяє виконати швидко імітацію лінійних спотворень за допомогою дискретного перетворення Фур'є (ДПФ), замінивши звичайну згортку циклічною. Як правило, розміри кадру ФРТ набагато менші розмірів кадру вихідного зображення, тому перед перетворенням масив $h(i_1, i_2)$ повинен бути доповнений нулями. Крім того, вважаємо, що оригінал і ФРТ є періодично продовженими. Спектр лінійно-спотвореного зображення $\bar{z}(i_1, i_2)$ дорівнює добутку спектра $\bar{U}(\omega_1, \omega_2)$ вихідного зображення $\bar{u}(i_1, i_2)$ і передавальної функції $H(\omega_1, \omega_2)$ спотворюючої системи:

$$\bar{Z}(\omega_1, \omega_2) = \bar{U}(\omega_1, \omega_2) \bar{H}(\omega_1, \omega_2), \quad (3.5)$$

де ω_1 і ω_2 – просторові частоти. Розміри кадру зображення $\bar{z}(i_1, i_2)$, отриманого після зворотного ДПФ від $\bar{Z}(i_1, i_2)$, рівні розмірам кадру $\Theta^{(u)}$ вихідного зображення. Для завершення процедури імітації необхідно

«обрізати» краї зображення $\bar{z}(i_1, i_2)$ до розмірів кадру $\Theta^{(s)}$ і додати адитивну заваду $n(i_1, i_2)$.

Розглянемо імпульсні і частотні характеристики формуючих систем при розфокуванні.

Різкість зображення характеризується відтворенням дрібних деталей і визначається роздільною здатністю формуючої системи. Роздільна здатність оптичної системи чисельно виражається кількістю пар чорно-білих ліній на 1 мм зображення, яке формується об'єктивом системи. Якщо площину формованого зображення знаходиться у фокусі об'єктива, то пучок променів, що виходить від точки на об'єкті, сходиться в точку на зображенні. При розфокуванні точка відтворюється у вигляді деякого плями (кола розмиття), і дві близько розташовані точки на вихідному зображенні зливаються в одну на спостережуваному. Величина кола розмиття залежить від фокусної відстані об'єктива, а також від відстаней від об'єктива до об'єкту і до площини формованого зображення. Дискретне зображення буде різким (сфокусованим), якщо діаметр кола розмиття не перевищує кроку дискретизації спостережуваного зображення. В іншому випадку лінійні спотворення стають помітними.

При розфокуванні розподіл інтенсивності на зображенні точкового джерела, сформованого тонкої лінзою з круговою апертурою, постійний в межах кола розмиття радіусом r і дорівнює нулю за його межами. Це відповідає циліндричній ФРТ:

$$h(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{\pi r^2}, & x^2 + y^2 \leq r^2; \\ 0 & \text{інакше.} \end{cases} \quad (8)$$

З (8) випливає, що розміри кадру $L_x^{(h)} = L_y^{(h)} = 2r$. Взявши двовимірне перетворення Фур'є від (8), отримаємо передавальну функцію оптичної системи:

$$H(\omega_x, \omega_y) = J_1(rp), \quad \rho^2 = \omega_x^2 + \omega_y^2, \quad (9)$$

де $J_1(\cdot)$ - функція Бесселя першого порядку. У дискретному випадку ФРТ (8) має вигляд:

$$h(i_1, i_2) = \begin{cases} \frac{1}{\pi r^2}, & i_1^2 + i_2^2 \leq r^2; \\ 0 & \text{інакше.} \end{cases} \quad (10)$$

На рис.3 і 4 показані ФРТ для тонкої лінзи (10) і модуль її передавальної функції при радіусі кола розмиття $r = 10$ і розмірах кадру зображення 170×200 елементів.

В якості наближеної моделі ФРТ такої системи можна також використовувати двовимірний гаусівський імпульс:

$$h(x, y) = K \exp[-\alpha(x^2 + y^2)], \quad (11)$$

який в дискретному випадку має вигляд:

$$h(i_1, i_2) = K \exp[-\alpha(i_1^2 + i_2^2)], \quad (12)$$

де K – нормуючий коефіцієнт, α – коефіцієнт просторової нерізкості. Передавальна функція, що відповідає ФРТ (11), визначається виразом:

$$H(\omega_x, \omega_y) = \exp[-(\omega_x^2 + \omega_y^2) / 4\alpha]. \quad (13)$$

Очевидно, що точки, для яких виконується умова (12), утворюють коло радіусом:

$$r = \sqrt{-\frac{\ln(10^{-10})}{\alpha}}. \quad (14)$$

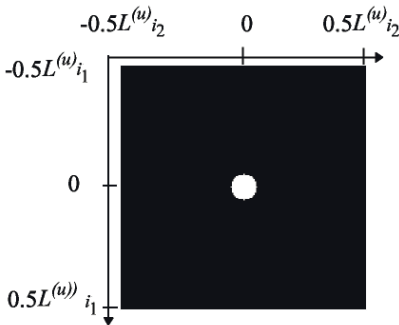


Рис.3. ФРТ тонкої лінзи

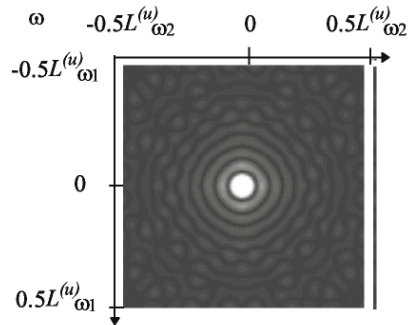


Рис.4. Зображення модуля частотної характеристики тонкої лінзи

Отже, чим більше α , тим менше розфокусування спостережуваного зображення. ФРТ і відповідна їй передавальна функція при $\alpha=0.1$ наведені на рис.5 і 6. Радіус кола розмиття приблизно дорівнює 15. Розміри плями ФРТ на рис.6 візуально здаються менше ніж розміри плями для тонкої лінзи (рис.3), тому що гаусівський імпульс є швидко спадною функцією.

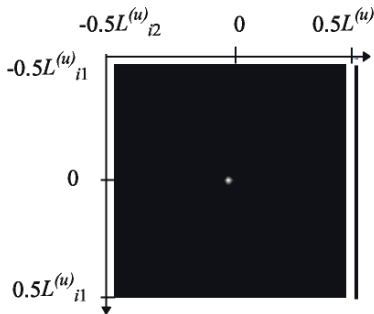


Рис.5. ФРТ у вигляді двовимірного гаусівського імпульсу

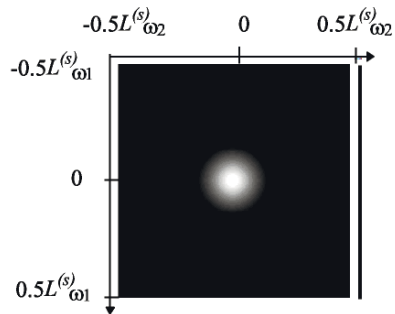


Рис.6. Зображення модуля частотної характеристики

Співвідношення між різними кадрами зображень при розфокуванні відповідають тим, що наведені на рис.3, оскільки кадр ФРТ симетричний щодо центру координат.

Корекція різкості зображення

Таким чином, корекція різкості зображення в системі поелементного опрацювання може здійснюватися апертурним і програмним методами. Апертурний метод полягає в апертурній корекції різкості зображення за методом нерізкого маскуванню, при цьому корекція проводиться безпосередньо під час сканування зображення.

Програмно метод реалізується застосуванням цифрового фільтру нерізкого маскуванню. При цьому формується сигнал нерізкого зображення шляхом низькочастотної фільтрації декількох пікселів в межах опрацьовуваних пікселів.

Важливим чинником є вибір каналу, за яким проводиться нерізде маскуванню. Не рекомендується здійснювати маскуванню за усіма каналами одночасно. Якщо не дотриматись цього, то, як наслідок, одержимо структурний шум зображення.

При раціональній роботі в системі Lab нерізде маскуванню доцільно проводити за каналом L (за світлими ділянками). Якщо використовуватимемо нерізде маскуванню в СМУК, то для поліпшення різкості необхідно використовувати канал додатковий за кольором до основного кольору маскованого зображення.

Висновки

Таким чином, можна виділити три основні фактори, які суттєво впливають на процес відновлення зображень.

1. Спотворення типу зменшення різкості проявляються в ослабленні верхніх просторових частот зображення, оскільки формуючі системи являють собою фільтри нижніх частот. При цьому відношення сигнал/шум на верхніх частотах, що визначають чіткість зображення, буде значно гірша, ніж для зображення в цілому. Якщо система, що формує зображення, послаблює сигнал на якихось просторових частотах, то при відновленні він повинен бути відповідно посилений. Однак разом з сигналом будуть посилені шуми. Тому поліпшення якості зображення по різкості може привести до погіршення його якості за шумом.

2. Яскравість на краях кадру спотвореного зображення залежить від яскравості об'єктів, розташованих поза кадром, за рахунок згортки вихідного зображення з ФРТ. При відновленні зображень через неповну інформацію про сигнал поза кадром виникають крайові ефекти. Вплив крайових ефектів на якість відновлення в ряді випадків виявляється навіть більш істотним, ніж шуми зображення.

3. При спотвореннях, викликаних розфокуванням камери, передавальні функції (7) і (9) мають нулі, наявність яких зумовлена

осцилюючим характером передавальних функцій. Оскільки спектр спотвореного зображення дорівнює добутку спектра вихідного зображення і передавальної функції (згідно (5)), то наявність нулів призводить до повної втрати даних про вихідне зображення на відповідних частотах. З цієї причини не вдається абсолютно точно відновити вихідне зображення, навіть якщо відсутні шуми спостереження і розміри кадрів не обмежені.

Нерізде маскуваннн до теперішнього часу було найпоширенішим і звичним способом корекції різкості. Проте, існують і інші засоби корекції різкості, які здійснюються цифровими методами. При вирішенні завдань відновлення різкості використовуються різні алгоритми, такі, що мають суворе математичне обґрунтування, так і емпіричні. Для спотворень, описуваних рівняннями згортки, ці алгоритми умовно можна розділити на три основні групи: алгоритми розв'язання системи алгебраїчних рівнянь, алгоритми фільтрації зображень у частотній області та ітераційні алгоритми.

1. Бейтс Р., Мак-Доннелл М. Восстановление и реконструкция изображений. – М.: Мир, 1989.
2. Васильев К.К., Крашенинников В.Р. Методы фильтрации многомерных случайных полей – Саратов: ИСУ, 1990. – 126с.
3. СБИС для распознавания образов и обработки изображений: Пер. с англ. / Под ред. К.Фу. – М.: Мир, 1988. – 248 с., ил.
4. Шлезингер М.И. Математические средства обработки изображений. – К.: Наукова думка, 1989. – 200 с.

Поступила 18.9.2013р.

УДК 660:614.8

Р. Л. Ткачук , к.т.н., доцент кафедри цивільного захисту та комп'ютерного моделювання екогеофізичних процесів ЛДУ БЖД, м. Львів

ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА І ЗНАНЕВА СТРУКТУРА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕСТІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ЗДАТНОСТІ ОПЕРАТОРА ПРИЙМАТИ РІШЕННЯ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Анотація. На основі інформаційних технологій та когнітивної психології сформульовані задачі та описані моделі синтезу тестів для оцінки інтелектуального рівня особистості та її здатності приймати цілеспрямовані рішення в умовах цейтноту, невизначеності, неповноти інформації та під дією інших несприятливих факторів, які виникають в умовах надзвичайних ситуацій.

Аннотация. Базируясь на информационных технологиях и когнитивной психологии, сформулированы задачи и описаны модели синтеза тестов оценки интеллектуального уровня личности и ее способностей, принимать целенаправлен-