

УДК 528.852:681.325

Ковзні рангові перетворення аерокосмічних зображень з класифікацією елементів за характеристиками об'єктів

Р. А. Воробель

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

Надійшла до редакції 13.04.98.

Проаналізовано методи підвищення локальних контрастів зображень з використанням ковзних рангових перетворень. Показано, що зважені ковзні рангові перетворення вимагають точного визначення контрастності елементів. Запропоновано узагальнену лінійну t -еквівалізацію, основою якої є зважені рангові перетворення з класифікацією елементів за характеристиками об'єктів. Вона забезпечує ефективне керування підсиленням локальних контрастів зображень.

Одним з способів обробки аерокосмічних знімків земної поверхні з метою покращання можливостей їх аналізу та інтерпретації є підвищення локальних контрастів, текстури та дрібних тонкоструктурних деталей зображення [2, 11, 13]. Значну роль тут відіграють методи, які використовують ковзні рангові перетворення [1, 3, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 16]. Метою такої обробки є підвищення локальних контрастів, тому для кожного елемента зображення вимірюють його відмінності з оточуючими елементами і підсилюють їх. При цьому розглядають дискретизовані монохромні напівтонові зображення, що представляються у цифровому виді матрицею з $N \times M$ елементів X_{ij} , де $i = 1, \dots, N$, $j = 1, \dots, M$. Значення елемента X_{ij} зображення (i – номер рядка, j – номер стовпчика) є квантованим на K рівнів значенням оптичної густини чи яскравості, що обмежене діапазоном $0 \leq X_{ij} \leq K - 1$. Найпростішим з методів обробки в просторовій області тут є згадані вже ковзні рангові перетворення (КРП), які полягають в ковзному вирівнюванні гістограми елементів вхідного зображення [14, 15] шляхом заміни значення X_{ij} центрального елемента околу W_{ij} заданої наперед форми (найчастіше – квадрат чи прямокутник) на його нормований локальний ранг

$$Y_{ij} = \alpha \cdot \text{rank}(X_{ij}) = \alpha \sum_{k=0}^{X_{ij}} H^{(ij)}(k) = \alpha \sum_{Z \in W_{ij}} \sigma(Z, X_{ij}) = \alpha \sum_{\gamma=-[m/2]}^{m-[m/2]-1} \sum_{\beta=-[n/2]}^{n-[n/2]-1} \sigma(X_{i+\beta, j+\gamma}), \quad (1)$$

де α – нормуючий коефіцієнт

$$\alpha = \frac{K-1}{\text{mes}(W_{ij})} = \frac{K-1}{nm},$$

де K – кількість рівнів квантування елементів зображення, n, m – розміри ковзної області W_{ij} , $\text{mes}(W_{ij}) = nm$ – кількість елементів в околі W_{ij} центральної точки (i, j) , $H^u(k)$ – значення k -го відліку гістограми розподілу за величиною елементів околу W_{ij} , $\sigma(Z, X_{ij})$ – функція належності

$$\sigma(Z, X_{ij}) = \begin{cases} 1 & \text{при } Z \leq X_{ij}, \\ 0 & \text{при } Z > X_{ij}. \end{cases} \quad (2)$$

Як випливає з виразів (1) і (2), результат Y_{ij} операції КРП визначається відношенням кількості елементів в околі W_{ij} , значення яких не більші за X_{ij} , до загальної кількості елементів околу W_{ij} .

Фактично вираз (1) є дискретним аналогом ви-

значення ковзного нормованого значення функції розподілу імовірності величини елементів неперервного локального зображення [17], реалізованого шляхом застосування для інтегрування формули прямокутників.

Операція КРП дозволяє здійснити нелінійне підсилення високочастотної складової зображення. Це приводить до підвищення детальності зображень, однак супроводжується зменшенням контрастності слабоконтрастних тонкоструктурних об'єктів і до погіршення зорового сприйняття зображень. Одним з варіантів усунення цього недоліку є використання класифікації елементів зображень за характеристиками об'єктів, яким вони належать. Однією з таких характеристик є контраст. Такий підхід дозволяє формувати зображення, в яких більш якісно відображаються дрібні деталі, що належать слабоконтрастним тонкоструктурним об'єктам. Елементи зображення, що належать висококонтрастним об'єктам, залишаються без змін. Для цієї мети використовують зважені КРП [1]. Цей метод враховує класифікацію елементів зображення за контрастністю об'єктів, яким вони належать, і здійснює переважне підсилення тих елементів, котрі належать слабоконтрастним об'єктам. Фактично він базується на двоетапній роботі, де одним з етапів є виявлення елементів, що належать об'єкту, а іншим — класифікація цих елементів за контрастністю і корекція величини цих елементів залежно від контрасту.

Для реалізації такого двоетапного підходу значенню $X_{\gamma\beta}$ елемента (γ, β) присвоюється вага $\vartheta_{\gamma\beta}$, що характеризує вклад даного елемента в операцію КРП. Вона вибирається більшою, якщо елемент (γ, β) належить до слабоконтрастного об'єкта, і малою — якщо він належить до висококонтрастного об'єкта. Далі за аналогією з (1) визначається сума ваг $\vartheta_{\gamma\beta}$ тих елементів $X_{\gamma\beta}$ околу W_{ij} , для яких значення $X_{\gamma\beta}$ не більше X_{ij} в центральній точці (i, j) околу W_{ij} . Поділивши одержану суму на загальну суму ваг $\vartheta_{\gamma\beta}$ для всіх елементів околу W_{ij} та помноживши результат на нормуючий коефіцієнт α , отримуємо значення $Y_{ij}^{(2)}$ зваженого КРП.

Вхідне зображення обробляється прямокутною апертурою W_{ij} зі сторонами $n \times m$ елементів ковзним способом, тобто елемент за елементом $i = 1, \dots, N$ в межах рядка вхідного зображення та рядком $j = 1, \dots, M$ в межах всього зображення. При цьому визначаються нові значення центрального елемента ковзного вікна з координатами (i, j) при визначенні його належності до слабоконтрастного чи висококонтрастного об'єкта.

Для класифікації елементів за контрастністю використовується оцінка динамічного діапазону h зміни їх величини. Вона визначається як різниця між максимальним і мінімальним значеннями елементів у деякій області R . Для діапазону h характерним є те, що найбільш інформативним є його зміна від значень h_{\min} до значень h_{\max} . Саме в цьому випадку при $h_{\min} < h < h_{\max}$ здійснюється суттєва зміна величини елементів вхідного зображення. Значення $h < h_{\min}$ характерні для тих ділянок зображення, які належать фону або ж елементи зображення відрізняються один від одного за рахунок шуму. Значення $h > h_{\max}$ характерні для тих ділянок зображення, на яких елементи належать об'єктам і відображаються з достатнім для сприйняття людиною-оператором контрастом.

Можливий варіант узагальненої вагової функції $f(h)$ для підсилення локальних контрастів тонкоструктурних об'єктів товщиною в один елемент, показаний на рис. 1. В цілому вираз для визначення h як оцінки контрасту елемента з координатами (γ, β) об'єкта в околі R має вид

$$h_{\gamma\beta} = \frac{\max_{-\left[\frac{q}{2}\right] \leq r \leq \left[\frac{q}{2}\right]-1} X_{\gamma, \beta+r}}{\min_{-\left[\frac{q}{2}\right] \leq r \leq \left[\frac{q}{2}\right]-1} X_{\gamma, \beta+r}}, \quad (3)$$

де q — розмір сторони прямокутного вікна в кількостях елементів для визначення діапазону h в області R (в даному випадку область R задається вікном розміром $1 \times q$ елементів); $X_{\gamma, \beta+r}$ — значення елементів вхідного зображення, що попадають в ковзну область R , r — поточний номер елемента вхідного зображення, що попадає в область R ($r = 1, \dots, q$); $\gamma\beta$ — поточні координати елемента вхідного зображення в ковзній апертурі W_{ij} .

Ваговий коефіцієнт $\vartheta_{\gamma\beta}$ визначається за формулою

$$\vartheta_{\gamma\beta} = 1 + \tau f(h_{\gamma\beta}),$$

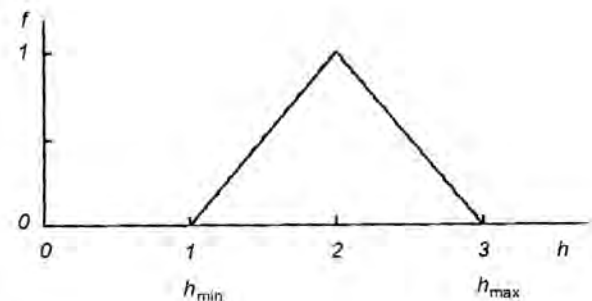


Рис. 1. Вагова функція підсилення локальних контрастів тонкоструктурних об'єктів товщиною в один елемент

де τ — коефіцієнт підсилення локальних контрастів деталей слабоконтрастних тонкоструктурних об'єктів.

За аналогією з КРП визначається сума вагових коефіцієнтів $\vartheta_{\gamma\beta}$ тих елементів вхідного зображення, котрі попадають в ковзну апертуру W_{ij} і значення яких не перевершують значення центрального елемента X_{ij} . В такий спосіб реалізується зважене рангове перетворення величин елементів вхідного зображення. Безпосереднє обчислення результату перетворення здійснюється за формулою

$$Y_{ij}^{(2)} = (K - 1) \times$$

$$\times \frac{\sum_{\gamma=-|n/2|}^{n-|n/2|-1} \sum_{\beta=-|m/2|}^{m-|m/2|-1} \vartheta_{i+\gamma, j+\beta} \sigma(X_{i+\gamma, j+\beta}, X_{ij})}{\sum_{\gamma=-|n/2|}^{n-|n/2|-1} \sum_{\beta=-|m/2|}^{m-|m/2|-1} \vartheta_{i+\gamma, j+\beta}}, \quad (4)$$

де $\sigma(X_{i+\gamma, j+\beta}, X_{ij})$ — функція належності, що визначається як

$$\sigma(X_{i+\gamma, j+\beta}, X_{ij}) = \begin{cases} 1 & \text{при } X_{i+\gamma, j+\beta} \leq X_{ij}, \\ 0 & \text{при } X_{i+\gamma, j+\beta} > X_{ij}. \end{cases} \quad (5)$$

Зважене КРП дозволяє підсилити детальність і локальний контраст тонкоструктурних об'єктів за рахунок збільшення розмірів їх елементів. Однак це має місце тільки у тому випадку, коли об'єкт «опуклий» (елемент об'єкта більший за елемент фону). Коли ж об'єкт «вгнутий» (елемент об'єкта менший за елемент фону), то контраст цих об'єктів зменшується. Це проілюстровано на рис. 2, де вибрано відеосигнал одного рядка зображення (крива 1), який містить елемент тонкого структурного «опуклого» слабоконтрастного об'єкта (при $i = 9$) і об'єкта з достатнім контрастом (при $i = 13$). Крива 2 представляє оброблений відеосигнал з використанням КРП за алгоритмом (1) з апертурою W розміром 1×5 елементів. Крива 3 реалізує оброблений відеосигнал з використанням зваженого КРП за алгоритмом (4) з тією ж апертурою W , апертурою R розміром 1×2 і ваговою функцією $f(h_{\gamma\beta})$, що на рис. 1, яка збільшує величину елементів тонкоструктурних об'єктів товщиною в один елемент з коефіцієнтом підсилення локальних контрастів $\tau = 4$. Вона підтверджує підсилення тонкоструктурного «опуклого» об'єкта товщиною в 1 елемент з перепадом амплітуди $h_{\gamma\beta} = 2$ при $i = 9$ в порівнянні з застосуванням звичайного КРП (крива 2). Однак величини елементів навколо нього при цьому змінені несиметрично. Це обумовлено тим, що область R складається тільки з двох елементів ($q =$

$= 2$), а виділення об'єкта і оцінка його контрасту здійснюється за допомогою виразу (3). Цей вираз добрий для зображень, що представляються кусково-постійною моделлю. Якщо ж зображення представляються кусково-лінійною моделлю, то використання виразу (3) приводить до неточностей через помилкове фіксування певного контрасту об'єкта, який фактично відсутній. Збільшення ж області R до $q = 3$ приводить до зменшення ефекту підсилення контрасту тонкоструктурного об'єкта. Щоб усунути цей недолік, можна використати для оцінки локального контрасту (для об'єкта шириною в один елемент) різнищевий фільтр з ваговими коефіцієнтами 1, -2, 1 [18]

$$h_{\gamma\beta}^* = 0.5 |X_{\gamma, \beta-1} - 2X_{\gamma, \beta} + X_{\gamma, \beta+1}|. \quad (6)$$

Такий фільтр симетричний і стійкий як до кусково-постійної, так і лінійної зміни фону. Завдяки цьому можна точніше оцінювати локальний контраст тонкоструктурних об'єктів. Приклад застосування цього фільтра показаний на рис. 2 (крива 4), де його використання привело до симетричної зміни величини елементів навколо об'єкта при $i = 9$.

На рис. 3 показаний відеосигнал 1, що є доповненням до відеосигналу 1 на рис. 2. Крива 2 тут теж відображає застосування процедури КРП, а 3 — зваженого КРП за алгоритмом (4) і $h_{\gamma\beta} = h_{\gamma\beta}^*$. Інверсія зображення привела до зміни характеру кривизни тонкоструктурних об'єктів (при $i = 5, 9, 13$). З «опуклих» вони перетворилися у «вгнуті».

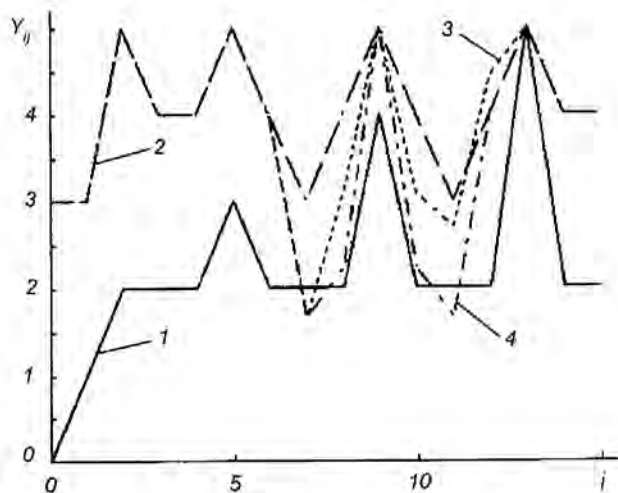


Рис. 2. Відеосигнал зображення з «опуклими» об'єктами (1) і його зважені КРП: 2 — за алгоритмом (1), 3 — за алгоритмом (4), 4 — після застосування фільтра (6)

Як видно з кривої 3 тут величина елемента тонко-структурного «вгнутого» об'єкта товщиною в один елемент з перепадом $h_{\gamma\beta} = 2$ при $i = 9$ збільшується, що приводить до гіршого результату, ніж у звичайній процедурі КРП, де (крива 2) локальний контраст елемента «опуклого» об'єкта збільшується за рахунок збільшення елементів фону. В даному випадку процедура описаного зваженого КРП за алгоритмом (4) не приводить до підсилення локального контрасту (крива 3) в порівнянні з методом КРП (крива 2), бо величина елемента «вгнутого» об'єкта при $i = 9$ збільшена. Для збільшення локального контрасту даного елемента необхідне не збільшення, а зменшення його величини. Для усунення цього недоліку була запропонована [4, 5] модифікація зваженого КРП, яка поряд з класифікацією елементів за контрастністю об'єктів використовувала ще й класифікацію за додатковою характеристикою об'єктів — їх типом: «внутрі» вони чи «опуклі». Для цього використовувалася найпростіша оцінка — порівняння елемента зображення з рівнем фону. Реалізовувалася вона шляхом обчислень ковзного середнього з центром в елементі (i, j)

$$\bar{X}_{ij} = \frac{1}{nm} \sum_{\gamma=-|n/2|}^{n-|n/2|-1} \sum_{\beta=-|m/2|}^{m-|m/2|-1} X_{i+\gamma, j+\beta} \quad (7)$$

При цьому тип θ об'єкта, якому належить цей елемент, визначається формулою

$$\theta = \begin{cases} 0 & \text{при } X_{ij} > \bar{X}_{ij}, \\ 1 & \text{при } X_{ij} \leq \bar{X}_{ij}. \end{cases} \quad (8)$$

Отже, якщо величина елемента X_{ij} більша за рівень фону \bar{X}_{ij} , то елемент належить «опуклому» об'єкту ($\theta = 0$), якщо ж ні — то «вгнутому» ($\theta = 1$).

Так як для слабоконтрастного «вгнутого» об'єкта необхідно зменшувати його величину, то вага в даному випадку визначалася виразом [5]

$$v_{\gamma\beta} = 1 - \frac{\tau f(h_{\gamma\beta})}{1 + \tau}, \quad (9)$$

або для узагальненого випадку —

$$v_{\gamma\beta} = 1 + (-1)^\theta \tau (1 + \tau)^{-u} f(h_{\gamma\beta}), \quad (10)$$

де

$$\theta = \begin{cases} 0, & \text{якщо об'єкт "опуклий",} \\ 1, & \text{якщо об'єкт "вгнутий".} \end{cases}$$

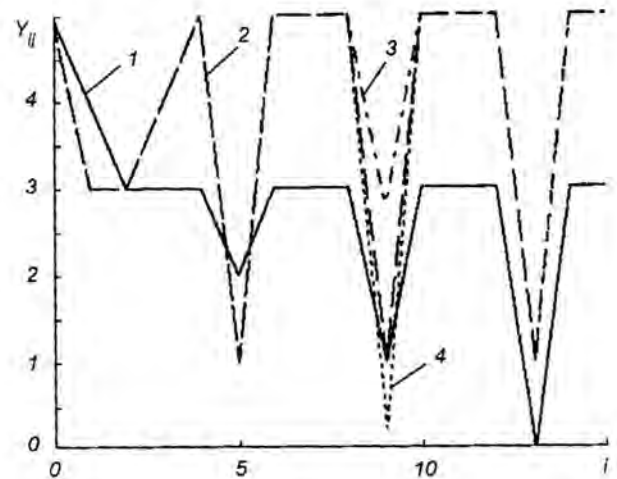


Рис. 3. Відеосигнал зображення з «внутірніми» об'єктами (1) і його зважені КРП 2 — за алгоритмом (1), 3 — за алгоритмом (4), 4 — за запропонованим методом

При цьому нормований контраст елементів зображення визначався за допомогою лінійного його опису [5, 7]

$$C_{\gamma\beta} = \frac{|X_{\gamma\beta} - \bar{X}_{\gamma\beta}|}{K - 1}, \quad (11)$$

де

$$\bar{X}_{\gamma\beta} = \frac{1}{ql} \sum_{t=-|q/2|}^{q-|q/2|-1} \sum_{s=-|l/2|}^{l-|l/2|-1} X_{\gamma+t, \beta+s}, \quad (12)$$

а контраст в абсолютних одиницях

$$h_{\gamma\beta} = (K - 1)C_{\gamma\beta} = |X_{\gamma\beta} - \bar{X}_{\gamma\beta}|. \quad (13)$$

В цілому узагальнений алгоритм реалізації симетричних зважених КРП з класифікацією елементів зображень як за контрастністю об'єктів, так і за їх типом полягає в наступному.

Крок 1. Задаємо розміри n і m ковзної області W_{ij} , розміри r і l ковзної області R , коефіцієнт τ підсилення локальних контрастів та функцію $f(h_{\gamma\beta})$.

Крок 2. Визначаємо ковзне середнє \bar{X}_{ij} за формулою (7).

Крок 3. Визначаємо тип об'єкта θ , якому належить елемент X_{ij} зображення області W_{ij} , за формулою (8).

Крок 4. Обчислюємо оцінку контрасту $h_{\gamma\beta}$, використовуючи формулу (13) та відповідне їм значення $f(h_{\gamma\beta})$.

Крок 5. Визначаємо вагу $v_{\gamma\beta}$ елемента $X_{\gamma\beta}$ області W_{ij} за формулою (10).

Крок 6. Визначаємо функцію залежності σ за формулою (5).

Крок 7. Повторюємо обчислення, починаючи з кроку 2, для кожного елемента зображення X_{ij} , що попадає в ковзну область W_{ij} .

Крок 8. Обчислюємо остаточне значення симетричного КРП $Y_{ij}^{(2)}$ за формулою (4).

Крок 9. Вибираємо наступний елемент X_{ij} зображення.

Крок 10. Повторюємо обчислення з кроку 2 для всіх елементів зображення.

Приклад, що підтверджує ефективність запропонованого методу ковзного симетричного зваженого рангового перетворення наведений на рис. 3, крива 4. За вхідний вибрано той же відеосигнал (крива 1) з трьома «вгнутими» об'єктами товщиною в один елемент і різної контрастності при $i = 5, 9, 13$. Аналогічні також параметри ковзної області W_{ij} , коефіцієнт $\tau = 4$ підсилення локального контрасту і вагова функція $f(h_{ij})$ (рис. 1). Область R має розміри 1×3 елементи ($q = 3, l = 1$). На відміну від отриманого результату зваженого КРП за виразом (4) без класифікації за типом кривизни об'єкта (крива 3), запропонований підхід дозволяє підсилити локальний контраст «вгнутого» об'єкта (крива 4). При $i = 9$, у відповідності з заданою ваговою функцією, підсилений локальний контраст тошкоструктурного об'єкта товщиною в один елемент з $h_{ij} = 2$ шляхом зменшення його величини. У випадку ж застосування запропонованого методу перетворення до сигналу, що показаний на рис. 2 (крива 1) при вказаних вище параметрах W_{ij} , τ і

$f(h)$, результат перетворення збігається з кривою 4 на цьому ж рисунку.

Описаний підхід модифікованого КРП дозволяє в цілому ефективно підсилити високочастотні складові зображення. Однак вибором тільки розмірів n і m ковзної апертури W_{ij} не завжди вдається ефективно керувати підсиленням локальних контрастів всього зображення. Для здійснення такої керуваності пропонується поєднати метод КРП з фіксованим підсиленням локальних контрастів. Для цього представимо результуюче зображення Z_{ij} як суму вхідного X_{ij} та обробленого $Y_{ij}^{(2)}$ шляхом запропонованого симетричного зваженого КРП

$$Z_{ij} = X_{ij} + \alpha(Y_{ij}^{(2)} - X_{ij}), \quad (14)$$

де α – фіксований коефіцієнт підсилення, $0 < \alpha \leq 1$.

При $\alpha = 0$ $Z_{ij} = X_{ij}$, а при $\alpha = 1$ $Z_{ij} = Y_{ij}^{(2)}$. Тобто, шляхом зміни величини α можна змінювати підсилення локальних контрастів всього зображення. Представимо вираз (14) як

$$Z_{ij} = (1 - \alpha)X_{ij} + \alpha Y_{ij}^{(2)} = \beta X_{ij} + \alpha Y_{ij}^{(2)}. \quad (15)$$

Вираз (15) є узагальненням виразу для лінійної f -еквалізації [12], де перетворене зображення являє собою зважену суму еквалізованого і вхідного зображення для випадку ковзної реалізації. Однак в (15) зваженим є ще й саме еквалізоване зображення, що відображається складовою $Y_{ij}^{(2)}$. У випадку ж вибору $f(h_{ij}) = \text{const} = 0$ вираз (15) вироджується у вираз для згаданої вже лінійної f -еквалізації через відсутність зваження елементів.

На рис. 4 проілюстровано процес керуваності підсиленням локальних контрастів зображення на прикладі відеосигналу, що на рис. 2 (крива 1) через використання зважених рангових перетворень в узагальненій f -еквалізації при $\alpha = 0.3$ (крива 1) та $\alpha = 0.7$ (крива 2).

Підсумовуючи викладене, зазначимо, що описана модифікація ковзних зважених рангових перетворень зображення, що використовують класифікацію елементів за такими характеристиками, як контраст та тип кривизни об'єктів, а також можливість простого керування підсиленням локальних контрастів через використання узагальненої лінійної f -еквалізації дозволяють проводити ефективну обробку аерокосмічних зображень. При цьому забезпечуються її простота, висока швидкість та поліпшення візуального сприйняття перетворених зображень.

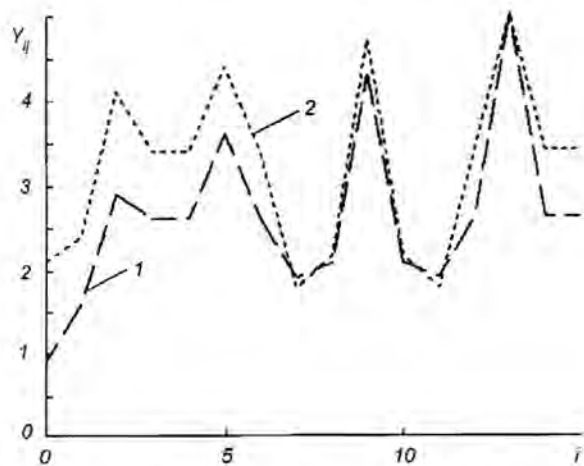


Рис. 4. Відеосигнали зображень з різним підсиленням локальних контрастів, отримані узагальненою f -еквалізацією на основі зважених КРП: 1 – $\alpha = 0.3$, 2 – $\alpha = 0.7$

1. А. с. 1672490 СССР, МКИ ... Устройство для преобразования изображений объектов / Ю. А. Лысенко, С. А. Елманов. — Оpubл. 00.00.91, Бюл. № 31.
2. Беликова Т. П., Кронрод М. А., Чочиа П. А. и др. Цифровая обработка фотоснимков поверхности Марса, переданных АМС «Марс-4» и «Марс-5» // Космич. исследованя. — 1975. — 13, № 16. — С. 898—906.
3. Беликова Т. П., Ярославский Л. П. Использование адаптивных амплитудных преобразований для препарирования изображений // Вопр. радиоэлектроники. Сер. Общех. — 1974. — Вып. 14. — С. 88—98.
4. Воробель Р. А. Ковзне перетворення зображень з класифікацією елементів за контрастністю об'єктів / Автоматика-95: Друга Укр. конф. з автоматичного керування, 26—30 вересня 1995 р. Праці. — Львів: НТЦ ІТІС, 1995. — Т. 3. — С. 95—98.
5. Воробель Р. А. Скользящие взвешенные ранговые преобразования изображений // Пробл. упр. и информатики. — 1997. — № 2. — С. 65—74.
6. Воробель Р. А. Ядра визначення контрасту елементів зображення // Відбір і обробка інформації. — 1997. — Вып. 11(87). — С. 96—102.
7. Воробель Р. А. Лінійний опис визначення контрастності елементів зображення // Доповіді НАН України. — 1998. — № 1. — С. 127—131.
8. Воробель Р. А., Ошир Н. В., Попов Б. О. Деякі методи обробки зображень у задачах рентгенографічного контролю якості виробів // Фіз.-хім. мех. матеріалів. — 1997. — № 5. — С. 93—98.
9. Ким В., Ярославский Л. Ранговые алгоритмы обработки изображений. — М., 1985. — 40 с. — (Рукопись деп. в ВИНТИ 30.05.85 г., № 3793—85 Деп.)
10. Очин Е. Ф. Вычислительные системы обработки изображений — Л.: Энергоатомиздат, 1989. — 136 с.
11. Чочиа П. А. Методы улучшения аэрокосмических изображений, использующие гистограмму по фрагменту // Исслед. Земли из космоса. — 1985. — № 6. — С. 66—72.
12. Ярославский Л. П. Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии: Введение в цифровую оптику. — М.: Радио и связь, 1987. — 296 с.
13. Chochia P. A. Image enhancement using sliding histograms // Comput. vision, graphics and image processing. — 1988. — 44, N 2. — P. 211—229.
14. Hall E. L. Almost uniform distribution for computer image enhancement // IEEE Trans. Comput. — 1974. — C-23, N 2. — P. 207—208.
15. Ketcham D. J. Real time image enhancement technique // Pacif. Grove. — 1976. — 74, N 2. — P. 120—125. — (Proceeding SPIE/OSA conference on image processing).
16. Kim V., Yaroslavskii L. Rank algorithms for picture processing // Comput. vision, graphics and image processing. — 1986. — 35, N 2. — P. 234—258.
17. Pratt W. Digital image processing. — New York: Wiley, 1978. — 480 p.
18. Preston K. Jr., Duff M. J. B., Levaldi S., Norgen P. E., Toriwaki J.-I. Basic of cellular logic with some applications in medical image processing // Proc. IEEE. — 1979. — 67, N 5. — P. 826—856.

MOVING RANK TRANSFORMATIONS OF AIRSPACE IMAGES WITH PIXEL CLASSIFICATION BY OBJECT CHARACTERISTICS

R. A. Vorobel

We analyse the use of moving rank transformations for local contrast enhancement of images. Weighted moving rank transformation are shown to need an exactly determined contrast of pixels. We propose a generalized linear f -equalization based on the weighted moving rank transformations with pixel classification by object characteristics. The equalization provides an efficient control over the enhancement of local contrasts of images.