

codes. – Lodz: Wyższa szkoła informatyki, 2005. – P. 161–163. 3. Hrytsyk V.V. (junior), Dudykevych A.T., Levytska S.M. *Parallel algorithms for processing of information*. – Lodz: Wyższa szkoła informatyki, 2005. – P. 99–108. 4. Форсайт Д.А., Понс Ж. *Компьютерное зрение*. – М.: Вильямс, 2004. – 928 с. 5. Медведев Н.Н. *Метод Вороного-Делоне в исследовании структуры некристаллических систем*. – Новосибирск: Изд-во СОРАН, 2000. 6. Медведев Н. *Компьютерное моделирование и анализ тонких деталей структуры периодических и непериодических супрамолекулярных систем на основе построения многогранников Вороного и симплексов Делоне*. – Новосибирск: Изд-во СОРАН. 7. Okabe A., Boots B., Sugihara K. and Chirins S.N. *Spatial Tessellations: Concepts and applications of Voronoi diagrams*. – Chichester, John Wiley, 2000. 8. Делоне Б.Н. *Петербургская школа теорий чисел*. – М.-Л.: Изд. АН СССР, 1947. – С. 196–136 9. Вороной Г.Ф. *Исследования о примитивных параллелоэдрах: Собр. сочинений. Т. 2*. – К.: Изд. АН УССР, 1952.

УДК 004.932

Ю. Рашкевич, Д. Пелешко, А. Ковальчук, Н. Кустра
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автоматизованих систем управління

ЗБІЛЬШЕННЯ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ МЕТОДАМИ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН

©Рашкевич Ю., Пелешко Д., Ковальчук А., Кустра Н., 2006

Розроблено алгоритм збільшення роздільної здатності зображень методами теорії нечітких множин. За основу взято метод прогнозування на основі нечітких множин.

In the paper described the algorithm increase the resolution of images based on the method of fuzzy sets.

Вступ

Ефективність цифрового оброблення зображення значною мірою підвищується завдяки розробленню швидкодіючих алгоритмів цифрових перетворень для розв’язання багатьох прикладних задач.

Одним з інформативних класів зображення, проаналізованих у статті, є напівтонові зображення, тобто такі, в яких елементами матриці є числа з достатньо вузького діапазону кольорів. Практика показує, що найбільш оптимальними є зображення з 256 рівнями яскравості [1, 2].

Мета роботи

Сенс задачі збільшення роздільної здатності (ЗПРЗ) полягає у перетворенні окремого рисунка в новий, але з іншою роздільною здатністю. Оскільки як вхідний задано набір рисунків, то завдання полягає в побудові тієї ж кількості рисунків, кожен з яких вже має нову роздільну здатність. При цьому для отримання нового рисунка необхідно задіяти усі рисунки з вхідного набору.

Основною ідеєю цього підходу є те, що попередньо відцентровані в межах одного пікселя [1] точки різних рисунків з однаковими координатами, маючи різні значення кольорів, володіють водночас надлишковою інформативністю. Цю надлишковість можна використати для істотного підвищення роздільної здатності із збереженням якісних характеристик вихідного рисунка (чи рисунків).

Отже, метою статті є розв’язання задачі збільшення роздільної здатності зображень на основі методів теорії нечітких множин [3].

Постановка задачі

Нехай задано набір рисунків P

$$P = \{P_\theta \mid \theta = \overline{0, n_\theta}\}; \quad (1)$$

де P_θ – θ -й рисунок; n_θ – кількість рисунків набору; θ – індекс рисунка в наборі.

У загальному випадку рисунок P_θ можна розглядати як функціональну залежність з області координат D в область кольорів Pal , тобто для кожного P_θ справедливе

$$P_\theta : D \rightarrow Pal_\theta, \quad \theta = \overline{1, n_\theta}. \quad (2)$$

З іншого боку, область D будь-якого P_θ можна, своєю чергою, розглядати як набір відрізків за координатами x чи y залежно від напрямку збільшення роздільної здатності. Візьмемо до уваги координату x (тобто збільшуватимемо роздільну здатність у напрямку ширини рисунка P_θ) і розглядатимемо відрізок (рис. 1)



Рис. 1. Збільшення роздільної здатності у напрямку ширини рисунка P_θ

й позначення

$$I_x^{\text{заг}} = [a_x; b_x] \quad (3)$$

– в загальному випадку;

$$I_x^{\text{заг}} = [0; m_x] \quad (4)$$

– у випадку приведення меж відрізка до нуля як до початку.

У дискретному наведенні можна записати

$$I_x^{\text{д, заг}} = \{x_i \mid x_i = i \wedge i = \overline{a_x, b_x}\}; \quad (5)$$

$$I_x^{\text{д}} = \{x_i \mid x_i = i \wedge i = \overline{0, m_x}\}. \quad (6)$$

З урахуванням (4) і (5), D можна записати як

$$D = \bigcup_{y=0}^{m_y} I_{x,y}^{\text{д}}, \quad (7)$$

де m_y – границя за y ; j – індекс, який визначає поточне дискретне значення за y ; $I_{x,y}^{\text{д}}$ – дискретний відрізок (6), який відповідає фіксованому дискретному значенню за координатою y .

У загальному випадку отримуємо

$$D^{\text{заг}} = \bigcup_{y=a_y}^{b_y} I_{x,y}^{\text{д, заг}}, \quad (8)$$

де a_y, b_y – границі дискретних значень за координатою y .

Окрім дискретних координатних відрізків, які утворюють зображення, розглядатимемо дискретний набір кольорів. Межі цього набору визначаються палітрами, в яких існують рисунки (рис. 2):



Рис. 2. Дискретний набір кольорів

$$Pal^{зар} = [0; b_{clr}] \quad (9)$$

– загальний дискретний набір кольорів;

$$Pal^{gray} = [0; 255] \quad (10)$$

– дискретний набір кольорів, який відповідає палітрі у градаціях сірого.

Отримуємо

$$clr_j \in Pal^{gray} \wedge \in Pal^{зар} \quad (11)$$

значення кольору з палітр Pal^{gray} чи $Pal^{зар}$ в точці з координатами j .

З врахуванням (7), (8), (9), (10) можна записати

$$P_\theta : \bigcup_{y=0}^{m_y} I_{x,y}^d \rightarrow Pal_\theta^{зар}, \quad \text{або} \quad P_\theta : \bigcup_{y=0}^{m_y} I_{x,y}^d \rightarrow Pal_\theta^{gray}; \quad (12)$$

$$P_\theta^{зар} : \bigcup_{y=a_y}^{b_y} I_{x,y}^{д,зар} \rightarrow Pal_\theta^{зар}, \quad \text{або} \quad P_\theta^{зар} : \bigcup_{y=a_y}^{b_y} I_{x,y}^{д,зар} \rightarrow Pal_\theta^{gray}. \quad (13)$$

На основі (3) для розв'язання ЗПРЗ *виникає перше завдання* – це реалізація перетворення

$$\forall y \in [0; m_y]: I_{x,y}^d = [0; m_x] \rightarrow [0; m_x^h] = I_{x,y}^{h,d}, \quad (16)$$

$$\forall y \in [a_y; b_y]: I_{x,y}^{д,зар} = [a_x; b_x] \rightarrow [a_x; b_x^h] = I_{x,y}^{h,d,зар}; \quad (15)$$

причому існує

$$l_x = b_x^h - b_x = m_x^h - m_x - \text{кількість доданих за віссю } x \text{ точок}. \quad (17)$$

Очевидно, що подібно до (7) і (8) повинна існувати область

$$D^h = \bigcup_{y=0}^{m_y^h} I_{x,y}^{h,d}; \quad (18)$$

$$D^{h,зар} = \bigcup_{y=a_y}^{b_y^h} I_{x,y}^{h,d,зар}, \quad (19)$$

де m_y^h, b_y^h – нові межі дискретного набору за y , стосовно яких можна записати

$$l_y = b_y^h - b_y = m_y^h - m_y \quad (20)$$

– кількість доданих точок за віссю y .

Другим завданням ЗПРЗ є побудова нового P_θ^h (аналога (12) та (13)) для кожного θ

$$P_\theta^h : \bigcup_{y=0}^{m_y^h} I_{x,y}^{h,d} \rightarrow Pal_\theta^{зар}, \quad \text{або} \quad P_\theta^h : \bigcup_{y=0}^{m_y^h} I_{x,y}^{h,d} \rightarrow Pal_\theta^{gray}; \quad (21)$$

$$P_\theta^{h,зар} : \bigcup_{y=a_y}^{b_y^h} I_{x,y}^{h,d,зар} \rightarrow Pal_\theta^{зар}, \quad \text{або} \quad P_\theta^{h,зар} : \bigcup_{y=a_y}^{b_y^h} I_{x,y}^{h,d,зар} \rightarrow Pal_\theta^{gray}. \quad (22)$$

Подібно можна сформулювати завдання розширення координат по осі y , при цьому в алгоритмі можна задіяти як вхідні точки, так і нові. Очевидно, що задіяння в розрахунок нових точок вносить додаткову похибку в кінцевий результат, проте дає можливість відразу додати значну кількість точок і тим самим дуже швидко підвищити роздільну здатність.

Алгоритм розв'язання задачі

Як вже зазначалося в меті цієї статті ЗПРЗ, яка визначається (15)–(16), (21)–(22), є завдання перетворення окремого рисунка P_θ на новий P_θ^h . Оскільки задано набір рисунків (1), то завдання полягає у формуванні n_p рисунків нової роздільної здатності, причому для отримання P_θ^h необхідно задіяти усі рисунки з набору P . Оскільки усі рисунки з P попередньо мають бути відцентровані в

межах одного пікселя, це породжує надлишкову інформативність в точках з однаковими координатами, але різних рисунків.

З метою спрощення подальшого викладу обмежимося завданням розширення рисунка лише вздовж осі x .

Розглядатимемо набори точок з різних P_θ , але з однаковими координатами по осях x та y

$$\forall x \in [0; m_x]: \Pi_{x,y}^d = \{\underbrace{x \dots x}_{n_\theta} \mid x \in I_{x,y}^d \wedge y \in [0; m_y]\}; \quad (23)$$

$$\forall x \in [a_x; b_x]: \Pi_{x,y}^{\text{заг}} = \{\underbrace{x \dots x}_{n_\theta} \mid x \in I_{x,y}^{d,\text{заг}} \wedge y \in [a_y; b_y]\}. \quad (24)$$

З врахуванням (23)–(24) розглядаємо область

$$R = \{\Pi_{x,y} \mid x = \overline{0, m_x} \wedge y = \overline{0, m_y}\}; \quad (25)$$

$$R^{\text{заг}} = \{\Pi_{x,y}^{\text{заг}} \mid x = \overline{a_x, b_x} \wedge y = \overline{a_y, b_y}\}. \quad (26)$$

Кожному $\Pi_{x,y}$ чи $\Pi_{x,y}^{\text{заг}}$ у відповідність ставить набір значень кольорів з Pal чи $Pal^{\text{заг}}$

$$\Lambda_{x,y} = \{clr_{x,y} \mid x \in \Pi_{x,y} \wedge y \in [0; m_y]\}; \quad (27)$$

$$\Lambda_{x,y}^{\text{заг}} = \{clr_{x,y} \mid x \in \Pi_{x,y}^{\text{заг}} \wedge y \in [0; m_y]\}. \quad (28)$$

Зазначимо, що на відміну від $\Pi_{x,y}^d$ та $\Pi_{x,y}^{\text{заг}}$, які є наборами розмірністю n_θ однакових за значенням точок, $\Lambda_{x,y}$ та $\Lambda_{x,y}^{\text{заг}}$ є наборами неоднакових значень кольорів в точках з однаковими координатами, але з різних P_θ . Очевидно, що розмірності $\Lambda_{x,y}$ та $\Lambda_{x,y}^{\text{заг}}$ відповідають розмірностям $\Pi_{x,y}^d$ та $\Pi_{x,y}^{\text{заг}}$ і рівні n_θ .

Подібно до (25) та (26), стосовно (27) та (28) введемо до розгляду області відносно кольорів

$$\Psi = \{\Lambda_{x,y} \mid x = \overline{0, m_x} \wedge y = \overline{0, m_y}\}; \quad (29)$$

$$\Psi^{\text{заг}} = \{\Lambda_{x,y}^{\text{заг}} \mid x = \overline{a_x, b_x} \wedge y = \overline{a_y, b_y}\}. \quad (30)$$

З урахуванням (23)–(30) ЗПРЗ зводиться до задач побудови перетворень:

– координатне перетворення за віссю x

$$\Upsilon_x : R \rightarrow R^H \text{ або } \Upsilon_x^{\text{заг}} : R^{\text{заг}} \rightarrow R^{\text{заг},H}; \quad (31)$$

– функціональна залежність кольорів на області R^H чи $R^{\text{заг},H}$

$$\Omega : R^H \rightarrow \Psi^H \text{ або } \Omega^{\text{заг}} : R^{\text{заг},H} \rightarrow \Psi^{\text{заг},H}, \quad (32)$$

де R^H , $R^{\text{заг},H}$ і Ψ^H , $\Psi^{\text{заг},H}$ визначається як

$$R^H = \{\Pi_{x,y}^H \mid x = \overline{0, m_x + l_x} \wedge y = \overline{0, m_y}\}; \quad (33)$$

$$R^{\text{заг},H} = \{\Pi_{x,y}^{\text{заг},H} \mid x = \overline{a_x, b_x + l_x} \wedge y = \overline{a_y, b_y}\}; \quad (34)$$

$$\Psi^H = \{\Lambda_{x,y}^H \mid x = \overline{0, m_x + l_x} \wedge y = \overline{0, m_y}\}; \quad (35)$$

$$\Psi^{\text{заг},H} = \{\Lambda_{x,y}^{\text{заг},H} \mid x = \overline{a_x, b_x + l_x} \wedge y = \overline{a_y, b_y}\}. \quad (36)$$

Тут l_x, l_y – визначаються згідно (17) і (20).

Набори $\Pi_{x,y}^H$ і $\Pi_{x,y}^{\text{заг},H}$ або належать R чи $R^{\text{заг}}$ відповідно, або новознайденими. Іншими словами, R^H та $R^{\text{заг},H}$ є відсортованими об'єднанням R чи $R^{\text{заг}}$ з новими наборами точок.

Набори $\Lambda_{x,y}^H$ і $\Lambda_{x,y}^{\text{заг},H}$ аналогічно (27) та (28) є множинами кольорів, які належать Ψ^H та $\Psi^{\text{заг},H}$. При цьому подібно до $\Pi_{x,y}^H$ і $\Pi_{x,y}^{\text{заг},H}$, до складу Ψ^H та $\Psi^{\text{заг},H}$ переходять усі набори $\Lambda_{x,y}$ чи $\Lambda_{x,y}^{\text{заг}}$ і додаються новознайдени відповідно до сортування R^H та $R^{\text{заг},H}$.

Для розв'язання цієї проблеми було адаптовано алгоритм [3] прогнозування на основі теорії нечітких множин. В основі методу лежить алгоритм, який на основі трьох наборів (27) чи (28) дає можливість знайти новий.

Нечіткими відношеннями типу “вхід – вихід” при фіксованому y вибрано пари

$$\left\{ \Lambda_{x,y} \rightarrow \Lambda_{x+1,y} \mid \overline{x = 0, m_x - 1} \right\}; \quad (37)$$

$$\left\{ \Lambda_{x,y}^{\text{заг}} \rightarrow \Lambda_{x+1,y}^{\text{заг}} \mid \overline{x = a_x, b_x - 1} \right\}. \quad (38)$$

Якщо нечіткі відношення задано, то модель системи описується матрицею відношення Δ – представленням системи. Тоді системне рівняння визначається виразом

$$\Lambda_{x+1,y} = \Delta \otimes \Lambda_{x,y}, \quad \overline{x = 0, m_x - 1} \quad (39)$$

$$\Lambda_{x+1,y}^{\text{заг}} = \Delta \otimes \Lambda_{x,y}^{\text{заг}}, \quad \overline{x = a_x, b_x - 1}. \quad (40)$$

де $\Lambda_{x,y}$, $\Lambda_{x,y}^{\text{заг}}$ – нечітка вхідна множина, $\Lambda_{x+1,y}$, $\Lambda_{x+1,y}^{\text{заг}}$ – нечітка вихідна множини, \otimes – деякий оператор.

Пари вхід–вихід задаються нечіткими висловленнями типу “якщо $\Lambda_{x,y}$, то $\Lambda_{x+1,y}$ ” або “якщо $\Lambda_{x,y}^{\text{заг}}$, то $\Lambda_{x+1,y}^{\text{заг}}$ ”, де $\Lambda_{x,y}$, $\Lambda_{x,y}^{\text{заг}}$ і $\Lambda_{x+1,y}$, $\Lambda_{x+1,y}^{\text{заг}}$ – нечіткі підмножини вхідного універсуму U і вихідного універсуму V відповідно. Сукупність таких висловлень можна розглядати як вербальне задання нечіткої системи. Маючи справу з нечітким умовним висловленням типу “якщо $\Lambda_{x,y}$, то $\Lambda_{x+1,y}$ ”, яке в нечіткій логіці записується у вигляді $\Lambda_{x,y} \rightarrow \Lambda_{x+1,y}$, або $\Lambda_{x,y}^{\text{заг}} \rightarrow \Lambda_{x+1,y}^{\text{заг}}$ вважатимемо множини $\Lambda_{x,y}$, $\Lambda_{x,y}^{\text{заг}}$ нечіткими входами, множини $\Lambda_{x+1,y}$, $\Lambda_{x+1,y}^{\text{заг}}$ – нечіткими виходами.

Модель такої системи має такий вигляд:

$$\mu_Y = \inf_{u' \in \{u: \mu_X(u) > \mu_\Delta(u, v)\}} \mu_\Delta(u', v), \quad (41)$$

де $\inf \{ \mu_\Delta(u', v) \} = 1$, якщо множина $\{u: \mu_X(u) > \mu_\Delta(u, v)\} = \emptyset$.

Замість (41) розглянемо

$$\mu_Y = \sup_{u' \in \{u: \mu_X(u) > \mu_\Delta(u, v)\}} \mu_\Delta(u', v), \quad (42)$$

де $\sup \{ \mu_\Delta(u', v) \} = 1$, якщо множина $\{u: \mu_X(u) > \mu_\Delta(u, v)\} = \emptyset$.

Припустимо, що на основі пар вхід–вихід вже побудовано відношення Δ_0^\otimes та $\Delta_0^{\otimes, \text{заг}}$ і тепер надається додаткова інформація $\Lambda_{x,y} \rightarrow \Lambda_{x+1,y}$ та $\Lambda_{x,y}^{\text{заг}} \rightarrow \Lambda_{x+1,y}^{\text{заг}}$. Оскільки в цій моделі відношення вхід–вихід пов'язані за допомогою «або», тобто існує

$$\Lambda_{0,y} \rightarrow \Lambda_{1,y} \text{ або } \Lambda_{1,y} \rightarrow \Lambda_{2,y} \text{ або } \dots \text{ або } \Lambda_{m_x-1,y} \rightarrow \Lambda_{m_x,y}; \quad (43)$$

$$\Lambda_{a_x,y}^{\text{заг}} \rightarrow \Lambda_{a_x+1,y}^{\text{заг}} \text{ або } \Lambda_{a_x+1,y}^{\text{заг}} \rightarrow \Lambda_{a_x+2,y}^{\text{заг}} \text{ або } \dots \text{ або } \Lambda_{b_x-1,y}^{\text{заг}} \rightarrow \Lambda_{b_x,y}^{\text{заг}}; \quad (44)$$

то представлення системи Δ_0^\otimes визначимо так:

$$\Delta^\otimes = (\Lambda_{0,y} \times \Lambda_{1,y}) \cup \Delta_0^\otimes = \Xi_1 \cup \Delta_0^\otimes, \quad (45)$$

де

$$\Xi_1 = (\Lambda_{0,y} \times \Lambda_{1,y}). \quad (46)$$

А представлення $\Delta_0^{\otimes, \text{заг}}$ як

$$\Delta^{\otimes, \text{заг}} = (\Lambda_{a_x,y}^{\text{заг}} \times \Lambda_{a_x+1,y}^{\text{заг}}) \cup \Delta_0^{\otimes, \text{заг}} = \Xi_{a_x} \cup \Delta_0^{\otimes, \text{заг}}, \quad (47)$$

де

$$\Xi_{a_x} = (\Lambda_{a_x,y}^{\text{заг}} \times \Lambda_{a_x+1,y}^{\text{заг}}). \quad (48)$$

Вважаючи, що Δ_0^{\otimes} та $\Delta_0^{\otimes,\text{заг}}$ не несуть інформації щодо $\Lambda_{0,y}$ та $\Lambda_{a_x,y}^{\text{заг}}$ відповідно, то системи Δ_0^{\otimes} та $\Delta_0^{\otimes,\text{заг}}$ на виході, що відповідають відповідно $\Lambda_{0,y}$ та $\Lambda_{a_x,y}^{\text{заг}}$, можна розглядати як “елемент, невідомий в \mathbf{V} ”, тобто

$$\Lambda_{0,y} \Delta_0^{\otimes} = \emptyset; \quad (49)$$

$$\Lambda_{a_x,y}^{\text{заг}} \Delta_0^{\otimes,\text{заг}} = \emptyset. \quad (50)$$

Розглянемо дві пари вхід–вихід $\Lambda_{0,y} \rightarrow \Lambda_{1,y}$ і $\Lambda_{1,y} \rightarrow \Lambda_{2,y}$. Запишемо умову несуперечності

$$\Lambda_{0,y} \delta(\Lambda_{1,y} \times \Lambda_{2,y}) = \emptyset; \quad \Lambda_{1,y} \delta(\Lambda_{0,y} \times \Lambda_{1,y}) = \emptyset, \quad (51)$$

де δ означає дію системи Δ_0^{\otimes} на відповідну нечітку множину.

Очевидно, що

$$\Lambda_{2,y} = (\Lambda_{0,y} \cap \Lambda_{1,y}) \delta \Delta_0^{\otimes} \supseteq (\Lambda_{1,y} \cap \Lambda_{2,y}); \quad (52)$$

Отже, отримаємо

$$\Lambda_{0,y} \rightarrow \Lambda_{1,y}, \quad \Lambda_{1,y} \rightarrow \Lambda_{2,y}, \quad \Lambda_{0,y} \cap \Lambda_{1,y} \rightarrow \Lambda_{2,y} \supseteq \Lambda_{1,y} \cup \Lambda_{2,y}. \quad (53)$$

Якщо існують умови несуперечності на $m_x - 1$ парах, то (\cap) , можна в циклі застосувати стосовно усіх пар набору (29).

Приклад використання алгоритму

Нехай задано набір P попередньо відцентрованих рисунків, який наведено на рис. 3, розмірністю 5 (тобто $n_\theta = 5$).

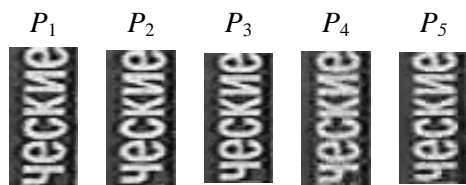


Рис. 3. Вхідний набір зображень

Збільшення роздільної здатності відбувається по осі x , тому розглядаємо набір точок за рядком – з фіксованою координатою y (нехай $y = 0$).

Рішення опишемо лише на трьох точках, за якими побудуємо четверту. Аналогічно, пересуваючись по точках в ітераційному циклі, можна побудувати решту наборів з (35).

При $x = 1$ маємо такі вхідні три точки

$$\Lambda_{1,0} = \begin{pmatrix} 25 \\ 35 \\ 30 \\ 45 \\ 42 \end{pmatrix}; \quad \Lambda_{2,0} = \begin{pmatrix} 15 \\ 25 \\ 32 \\ 10 \\ 30 \end{pmatrix}; \quad \Lambda_{3,0} = \begin{pmatrix} 22 \\ 34 \\ 23 \\ 32 \\ 25 \end{pmatrix}$$

1. З наборів $\Lambda_{1,0}$ і $\Lambda_{2,0}$ формуємо декартовий добуток Ξ_1

$$\Xi_1 = \begin{bmatrix} (25,15) & (25,25) & (25,32) & (25,10) & (25,30) \\ (35,15) & (35,25) & (35,32) & (35,10) & (35,30) \\ (30,15) & (30,25) & (30,32) & (30,10) & (30,30) \\ (45,15) & (45,25) & (45,32) & (45,10) & (45,30) \\ (42,15) & (42,25) & (42,32) & (42,10) & (42,30) \end{bmatrix}$$

2. З наборів $\Lambda_{2,0}$ і $\Lambda_{3,0}$ формуємо декартовий добуток Ξ_2

$$\Xi_2 = \begin{bmatrix} (15,22) & (15,34) & (15,23) & (15,32) & (15,25) \\ (25,22) & (25,34) & (25,23) & (25,32) & (25,25) \\ (32,22) & (32,34) & (32,23) & (32,32) & (32,25) \\ (10,22) & (10,34) & (10,23) & (10,32) & (10,25) \\ (30,22) & (30,34) & (30,23) & (30,32) & (30,25) \end{bmatrix}$$

3. Будуємо матрицю Δ так, що з кожної пари декартових добутоків Ξ_1 і Ξ_2 вибирається мінімальне значення, а далі з цих мінімальних – максимальне, яке і записується у матрицю Δ

$$\Delta = \begin{bmatrix} 15 & 25 & 25 & 15 & 25 \\ 25 & 25 & 32 & 25 & 30 \\ 22 & 32 & 30 & 32 & 30 \\ 15 & 25 & 32 & 10 & 30 \\ 22 & 30 & 32 & 30 & 30 \end{bmatrix}$$

4. На вхід матриці Δ подаємо дію, описану нечіткою множиною $\Lambda_{3,0}$ і отримуємо прогнозоване значення

$$\Lambda_{2,0}^{\text{прог}} = [22, 34, 23, 32, 25] \delta \begin{bmatrix} 15 & 25 & 25 & 15 & 25 \\ 25 & 25 & 32 & 25 & 30 \\ 22 & 32 & 30 & 32 & 30 \\ 15 & 25 & 32 & 10 & 30 \\ 22 & 30 & 32 & 30 & 30 \end{bmatrix} = [15, 25, 32, 10, 30]$$

У результаті цього для Ψ^h вже отримано чотири набори $\Lambda_{1,0}$, $\Lambda_{2,0}$, $\Lambda_{3,0}$ і прогнозований $\Lambda_{2,0}^{\text{прог}}$, який має невідомий індекс по осі x .

Для впорядкування $\Lambda_{2,0}^{\text{прог}}$ в системі наборів $\Lambda_{1,0}$, $\Lambda_{2,0}$, $\Lambda_{3,0}$ знаходимо мінімальну норму

$$\min_{x \in [1..3]} \|\Lambda_{x,0} - \Lambda_{2,0}^{\text{прог}}\| = \min_{x \in [1..3]} \sqrt{\sum_{i=0}^4 (clr_{x,0} - clr_{2,0}^{\text{прог}})^2}$$

З яким вектором є найменше значення норми, туди і вставляють спрогнозоване значення.

Точки отриманого прогнозованого вектора $\Lambda_{2,0}^{\text{прог}}$ розносимо по відповідних зображеннях.

Отже, пройшовши зі зсувом на одиницю по всіх точках зображень за віссю x , зображення розширюється за цією віссю.

Результати роботи алгоритму на рис. 4–5. Цей алгоритм дає можливість відразу додати значну кількість точок, отже, дуже швидко підвищити роздільну здатність при задовільному результаті.



Рис. 4. Початкове зображення

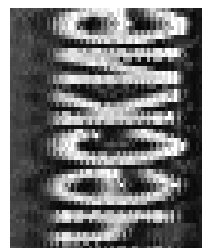


Рис. 5. Зображення розширене у два рази за віссю x

Наступним кроком проходять за цим алгоритмом по зображеннях і для прогнозування беруть точки по осі у. Після проходження по зображеннях таким алгоритмом, зображення збільшується у два рази.

Висновки

Запропонований алгоритм збільшення роздільної здатності зображень в градації сірого дає змогу використати надлишковість, яка міститься в наборі однотипних зображень. Ця надлишковість може бути використана для суттєвого підвищення роздільної здатності із збереженням якісних характеристик вихідного рисунка (чи рисунків). Алгоритм дає можливість відразу додати значну кількість точок, і тим самим дуже швидко підвищити роздільну здатність при задовільному результаті.

1. Прэтт У.К. *Цифровая обработка изображений / Пер. с англ.* – М.: Мир, 1982. – Кн. 1, 2. – 790 с. (William K. Pratt. *Digital Image Processing.* – A Willey – Interscience Publication. John Willey and Sons. 1978). 2. Янишин В.В. *Анализ и обработка изображений: принципы и алгоритмы.* – М.: Машиностроение, 1995. – 112 с. 3. *Нечеткие множества и теория возможностей: Последние достижения / Пер. с англ.; Под ред. Р.Р. Ягера.* – М.: Радио и связь, 1986. – 407 с.

УДК 681.3.06(075)

О. Кузьмін, В. Шиян

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра автоматизованих систем управління

ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ПРОДУКТИВНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

© Кузьмін О., Шиян В., 2006

Розглянуто підхід та програмні засоби імітаційного моделювання інформаційних мереж, а саме Intranet. За результатами моделювання оцінено час передавання запита та отримання відповіді від WEB-сервера для двох алгоритмів комутації каналів з фіксованою та адаптивною маршрутизацією.

In work the approach and software of simulation modelling of information networks, in particular, Intranet are described. Time of transfer of query and reception of the answer from a WEB-server are estimated at different algorithms of channels switching with the fixed and adaptive routing.

Вступ

Інформаційні мережі як засіб отримання, зберігання та передавання інформації стають необхідною складовою інформаційного розвитку сучасного суспільства. Зростання кількості користувачів призводить до проблем, пов'язаних з підвищенням швидкодії каналів зв'язку, розподіленням потоків інформації, створенням нових способів та алгоритмів передавання інформації, нових способів маршрутизації. Отже, зростає потреба в розробці методів та засобів моделювання таких систем з метою їхнього аналізу, оптимізації та прогнозування їх поведінки під час зміни трафіка передавання інформації. Метою роботи є створення системи імітаційного моделювання для дослідження різних конфігурацій інформаційних мереж, а саме Intranet.