

МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ

Бараннік В. В., Шинкарев В. В., Ширяев А. В.

Харківський університет повітряних сил ім. Івана Кожедуба

kszi@ukr.net

Обґрунтовано актуальність підвищення оперативності та достовірності одержаної інформації на базі методів компактного представлення. Наведено один з ефективних підходів щодо скорочення надмірності в реалістичних зображеннях без втрати їх якості, який ґрунтується на побудові диференціального опису. Виявлено необхідність створення підходів щодо скорочення нових видів надлишковості в масивах диференціального подання. Викладено основні особливості комбінаторного підходу щодо оцінки інформативності зображень у диференціальному вигляді.

Actuality improves the timeliness and reliability of information delivered on the basis of methods of compact representation. One of the most effective approaches for reducing redundancy in realistic images without losing their quality, based on the construction of a differential description.

Вступ

Постановка проблеми та аналіз літератури.

Нині приділяється велика увага вирішенню проблем підвищення оперативності та достовірності доставки даних з використанням телекомунікаційних систем як наземного, так і космічного базування.

Також для зниження навантаження на ресурси телекомунікаційної системи скорочується обсяг даних [1—4]. Для цього використовуються методи компактного представлення даних [1—5]. Найбільш складну реалізацію процесів усунення надмірності мають методи обробки зображень.

© В. В. Бараннік, В. В. Шинкарев, А. В. Ширяев, 2009

Це обумовлено складністю зображень і наявністю в них великої кількості надмірності.

Отже, актуальним науково-прикладним завданням є підвищення ефективності процесів компактного представлення зображень.

Один з ефективних підходів зі скорочення надмірності в реалістичних зображеннях без втрати їх якості ґрунтується на побудові диференціального опису [2; 3].

Цей напрям має такі переваги:

1) відносну простоту формування диференціального уявлення, що не менш важливо для реалізації методів обробки на борту літального апарату;

2) можливість обліку інтегрованої кореляції в послідовностях елементів зображення на основі виконання одновимірного ортогонального перетворення;

3) забезпечення скорочення середньоквадратичної похибки за рахунок виконання тільки одного етапу ортогонального перетворення;

4) інтеграція як для різних форматів стиснення, так і для різних режимів стиснення. Отже, забезпечується інструмент для розширення можливостей форматів представлення зображень.

Водночас цей напрям характеризується недо-

ліками:

- залежність значення коефіцієнта стиснення від ступеня нерівномірності розподілу ймовірностей появи елементів масиву диференціального подання (МДП). Для насичених реалістичних зображень наявність цієї залежності приводить до різкого зниження коефіцієнта компресії;

- обмеженість потенційних можливостей для забезпечення ступеня стиснення даних моделлю формування ентропії джерел Бернуллі;

- підвищення ступеня стиснення потребує збільшення адекватності формування ймовірнісних моделей щодо розподілу елементів МДП, що призводить до збільшення часу на оброблення і до зростання кількості розрядів на подання службової інформації.

Отже, цей підхід найефективніший під час оброблення високонадлишкових зображень. І навпаки, його ефективність різко знижується при обробці насичених високоінформативних у статистичному сенсі зображень.

Для виходу з такої ситуації необхідно організувати оброблення масивів диференціального уявлення на основі виявлення закономірностей не тільки статистичної природи.

Мета статті — формування нових підходів щодо скорочення зображень, представлених у диференціальному вигляді.

Формування моделей диференціального опису зображень

Етапи обробки масивів оцифрованих зображень, пов'язані з представленням їх у диференціальному вигляді, використовуються в таких інформаційних технологіях, як стандарти JPEG-LS і JPEG2000.

Диференціальне представлення може бути отримано двома шляхами.

Перший шлях полягає в побудові диференційованої форми на основі формування масивів з величин h'_{kl} , що дорівнює різницям між сусідні-

ми елементами зображень. Цей підхід задається формулою

$$h'_{kl} = x_{kl} - x_{k,l+1},$$

де $k = \overline{1, m}$; $l = \overline{1, n}$, x_{kl} — $(k; l)$ -й елемент вихідного зображення; h'_{kl} — $(k; l)$ -й елемент диференціального представлення зображення; g_{kl} — $-(k; l)$ -й елемент масиву знаку різниці між сусідніми елементами зображення; m, n — розміри фрагмента зображення.

Переваги такого підходу полягають у простоті технічної реалізації формування диференціального представлення (ДП). Найбільше скорочення динамічного діапазону елементів ДП забезпечується у разі обробки слабонасичених реалістичних зображень, для яких характерна слабка зміна значень сусідніх елементів (високорельоване зображення). Для таких зображень елементи, що мають значення поблизу нульового рівня, будуть характеризуватися найбільшою ймовірністю появи. При цьому закони розподілу ймовірностей появи значень елементів ДП будуть зберігати стаціонарні для декількох суміжних фрагментів кадру зображення.

Водночас недолік такого підходу формування диференціального представлення проявляється у випадку обробки насичених реалістичних зображень. У цьому випадку на вхід надходять зображення, що містять велику кількість перепадів та імпульсних сплесків, що призводить до різкого збільшення величини динамічного діапазону елементів диференціального представлення. Проявляється мультимодальності розподілу і нестаціонарність статистичних властивостей.

Другий напрям. Виходом з такої ситуації є здійснення інтегрованої апроксимації між одновимірними блоками зображення. З одного боку, це дасть змогу враховувати укрупнені кореляційні залежності між декількома елементами зображення. З іншого боку технічна реалізація такого підходу буде мати меншу складність порівняно з реалізацією двовимірних ортогональних перетворень. При цьому виконання тільки одного проходу перетворення дозволяє скоротити не тільки кількість операцій на обробку, але і знизити середньоквадратичну похибку внаслідок зменшення кількості виконуваних етапів округлення. Цей напрямок полягає у використанні одновимірних ортогональних перетворень. У цьому випадку здійснюється апроксимація стовпців масивів вихідних відеоданих на основі базисів ортогональних перетворень. Виконання одновимірних ортогональних перетворень стовпців масиву відеоданих реалізовується на основі такого виразу:

$$H(k, \ell) = F(k) X(i, j)_{k, \ell},$$

де $X(i, j)_{k, \ell}$ — масив відеоданих, утворений на базі однієї з площин кольорорізнисної моделі зображення; $H(k, \ell)$ — масив компонентів одновимірного перетворення розмірністю $q_\ell \times q_c$; k, ℓ — відповідно індекс рядка та стовпця елемента масиву $X(i, j)_{k, \ell}$, $k = \overline{1, q_c}$; $\ell = \overline{1, q_c}$; $F(k)$ — вектор дискретних значень базисних функцій.

Після отримання стовпців компонентів одновимірного перетворення проводиться побудова диференціального представлення на основі формування величин різниць між відповідними компонентами в рядках. Тут враховується наявність кореляційних залежностей між компонентами рядків одновимірних трансформантів дискретного косинусного перетворення (оскільки ступінь декореляції скорочується тільки між елементами стовпців). Вираз для отримання диференціального опису одновимірних трансформантів має вигляд

$$h'_{kl} = h_{kl} - h_{k+1, l},$$

де $k = \overline{1, m}$; $l = \overline{1, n}$, $h_{kl}, h_{k+1, l}$ — компоненти трансформантів на позиціях $k, k + 1$.

Формується масив H' елементів диференціального представлення. Після чого здійснюється процес кодування. Компактне подання диференціального опису відеоданих пов'язано з побудовою методів кодування, що забезпечують скорочення надлишковості в масивах (МДП).

Особливістю процесу усунення надлишковості в МДП зображень полягає в обліку нерівномірності законів розподілу ймовірностей появи значень величин різниць. Ця особливість враховує наявність декореляції між елементами МДП. Це дозволяє організувати обробку в режимі стиснення без втрат на основі усунення статистичної надмірності.

Для усунення надмірності у масивах диференціального представлення на основі використання такої їх особливості пропонується здійснювати нерівномірне кодування елементів $h'_{k\ell}$. На представлення елементів, що мають найбільші значення і відповідно низькі ймовірності появи, відводиться найбільша кількість розрядів $q_{bp}^{(\ell)}$. Навпаки на представлення елементів масивів ДП, які мають менші значення і відповідно найбільші ймовірності появи, витрачається найменша кількість двійкових розрядів $q_{bp}^{(h)}$. Зрозуміло, що за рахунок нерівномірних витрат кількості розрядів на елементи МДП забезпечується скорочення початкового цифрового обсягу масиву диференціального представлення. Основний недолік полягає в тому, що при обробці середньо- і сильнасичених реалістичних зображень підвищуються значення елементів у правій об-

ласті МДП. Це призводить до зменшення ступеня нерівномірності розподілу ймовірностей, аж до появи мультимодальності і рівномірності розподілу. Тому можна зробити висновок, що цей підхід найефективніший при обробці слабонасичених (високонадлишкових) зображень. Для виходу з такої ситуації необхідно організувати обробку масивів диференціального представлення на основі виявлення закономірностей не тільки статистичної природи.

Основний матеріал

Диференціальне представлення на основі використання одновимірного дискретного косинусного перетворення має такі особливості [3; 5]:

1) значення крайніх елементів МДП, розташованих у лівій частині стовпців, залежать від середньої яскравості вихідного фрагмента зображення;

2) елементи лівої області МДП характеризують ступінь насиченості блоку зображення низькочастотними перепадами;

3) значення елементів МДП у правій області залежать від ступеня насиченості блоку зображення дрібних деталей та імпульсними сплесками. Це призводить до того, що в даній області МДП міститься менша кількість енергії вихідного сигналу, а відповідно елементи мають найменші значення динамічного діапазону.

Тому важливими характеристиками елементів масивів ДП є:

— величина d_k динамічного діапазону рядка масиву ДП дорівнює різниці між максимальним $h'_{k,\max}$ і $h'_{k,\min}$ мінімальним значеннями елементів у k -му рядку $(h'_{k,\max} - h'_{k,\min}) + 1 = d_k$;

— величина d_ℓ динамічного діапазону ℓ -го стовпця масиву ДП дорівнює різниці між максимальним $h'_{\ell,\max}$ і $h'_{\ell,\min}$ мінімальним значеннями компонентів ℓ -го стовпця $(h'_{\ell,\max} - h'_{\ell,\min}) + 1 = d_\ell$.

У загальному випадку, з огляду на двоспрямованість динамічних діапазонів МДП, буде виконуватися нерівність $d_k \neq d_\ell$. Для підвищення точності визначення динамічного діапазону елемента $h'_{k\ell}$ необхідно враховувати нерівномірність діапазонів за двома напрямками масиву ДП. Динамічний діапазон буде дорівнює величині $d_{k\ell}$, $d_{k\ell} = \min(d_k; d_\ell)$. Зрозуміло, що $h'_{k\ell} < d_{k\ell}$, $d_{k\ell} < d_k$ і $d_{k\ell} < d_\ell$ [5].

Отже, для динамічних діапазонів елементів масивів диференціального представлення характерна нерівномірність їх розподілу та обмеженість їх значень у різних частинах МДП. Це дає змогу розглядати масив ДП як перестановку з

повтореннями, на елементи $h'_{k\ell}$ якого накладені обмеження на динамічний діапазон.

Якщо розглядати тільки абсолютні значення елементів МДП (знак не враховується), то їх значення будуть знаходитися в такому діапазоні:

$$h'_{k\ell} = \overline{0, d_{k\ell} - 1}. \quad (1)$$

Тоді кількість різних масивів ДП, складених з $n \times m$ -ої кількості елементів $h'_{k\ell}$, які задовольняють співвідношенню (1), дорівнюватиме:

$$V_{n \times m}^{(2)} = \prod_{k=1}^n \prod_{\ell=1}^m d_{k\ell}, \quad (2)$$

де $V_{n \times m}^{(2)}$ — кількість масивів ДП, елементи яких задовольняють обмеження (1).

Згідно з комбінаторною інтерпретацією МДП і співвідношенню (2) кількість інформації, в середньому міститься в одному елементі $h'_{k\ell}$, буда дорівнювати:

$$\overline{H}_2 = \log_2 V_{n \times m}^{(2)} = \log_2 \prod_{k=1}^n \prod_{\ell=1}^m d_{k\ell} = \sum_{k=1}^n \sum_{\ell=1}^m \log_2 d_{k\ell}, \quad (3)$$

де \overline{H}_2 — кількість інформації, що припадає в середньому на один елемент масиву ДП у разі його комбінаторного трактування для обмеження (1).

Сформулюємо таке визначення. Кількість комбінаторної надмірності в масиві ДП визначається різницею між кількістю інформації, що припадає в середньому на один елемент, до і після врахування обмежень на динамічний діапазон. Природа комбінаторної надмірності впливає з того, що різниця між кількістю інформації залежить від кількості перестановок з повтореннями, яке можна скласти для різних обмежень на динамічний діапазон.

Кількість інформації буде зменшуватися при зниженні значення динамічного діапазону. Тому роздільне подання елементів МДП у вигляді двох масивів: масиву H' абсолютних цілочислових значень елементів масивів ДП і двійкового масиву G з знаків (де $g_{k,\ell}$ ($k;\ell$)-й елемент масиву знаків) є виправданим.

Різна кількість перестановок, а значить і наявність комбінаторної надмірності у масивах ДП для різних варіантів обмежень на динамічний діапазон пояснюється:

- нерівномірними значеннями елементів у масиві диференціального представлення;
- залишковою взаємною кореляцією між елементами масиву ДП;
- взаємозалежністю елементів масиву ДП;
- нерівномірністю розподілу значень елементів МДП.

Наявність комбінаторної надмірності у масивах диференціального представлення має ймо-

вірнісно-статистичну обумовленість [4; 5]. Імовірно-статистична надмірність визначається різною ймовірністю появи деяких послідовностей елементів зображень. З погляду комбінаторики це можна трактувати як безповоротну вибірку з елементів з різними значеннями специфікацій (кількість елементів одного виду).

Проведемо оцінювання статистичної обумовленості комбінаторної надмірності у масивах ДП. Для цього розглянемо величину H_d — оцінка ступеня нерівномірності розподілу значень динамічних діапазонів $d_{k\ell}$.

Введемо величину $\bar{d}_{k\ell}$, яка дорівнює

$$\bar{d}_{k\ell} = d_{k\ell} / d_{\text{ДП}}, \quad (4)$$

де $d_{\text{ДП}}$ — константа в межах одного масиву ДП, що дорівнює динамічному діапазону його елементів.

Величина $\bar{d}_{k\ell}$ визначає:

— з одного боку згідно з виразом (4) нормований динамічний діапазон $(k; \ell)$ -го елемента для обмеження (1);

— з іншого боку, оскільки $h'_{k\ell} < d_{\text{ДП}}$ і $d_{k\ell} < d_{\text{ДП}}$, то $\bar{d}_{k\ell} \in [0; 1]$.

Відповідно сума величин $\bar{d}_{k\ell}$ для рівних значень $d_{k\ell}$ визначає ймовірність їх появи

$$P(d_{k\ell}) = \sum_{\substack{k=1, n; \ell=1, n; \\ d_{k\ell} = \text{const}}} \bar{d}_{k\ell}, \quad (5)$$

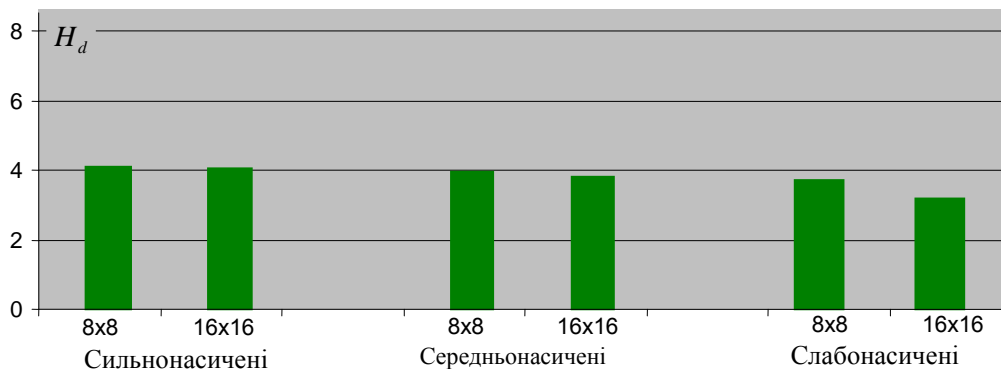


Рис. 1. Діаграма залежності величини H_d від класу зображень

Висновки

1. Побудовано модель оцінки інформативності фрагментів зображень з урахуванням нерівномірності розподілу та обмеженості значень динамічних діапазонів елементів масивів диференціального представлення. Обґрунтовано, що масив диференціального представлення має комбінаторну надмірність. Створена модель дозволяє оцінити кількість інформації в масиві ДП, а також кількість комбінаторної надмірності в МДП від значень динамічних діапазонів.

2. Виявлено, що значення ентропії розподілу елементів МДП з урахуванням нерівномір-

де $P(d_{k\ell})$ — імовірності розподілу величини $d_{k\ell}$.

Тоді величина H_d обчислюється на основі співвідношень:

$$H_d = - \sum_{d_{k;\ell}=0}^{d_{mp}} h(d_{k;\ell}), \quad (6)$$

$$h(d_{k;\ell}) = \begin{cases} P(d_{k;\ell}) \log_2 P(d_{k;\ell}), & \rightarrow P(d_{k;\ell}) > 0; \\ 0, & \rightarrow P(d_{k;\ell}) = 0, \end{cases} \quad (7)$$

$$H_{mp} = \log_2 d_{on}. \quad (8)$$

Діаграму залежності значень величини H_d від ступеня насиченості фрагментів зображено на рисунку (розрахунки проводилися за формулами (6)—(8)).

Аналіз діаграми на рис. 1 показує, що значення ентропії H_d розподілу з урахуванням нерівномірності діапазонів у середньому в 2,2 рази менше, ніж ентропія для постійного діапазону. Отже, розподіл динамічних діапазонів елементів масиву ДП має нерівномірний характер.

На основі викладеного випливає, що масиви диференціального представлення мають комбінаторну надмірність, обумовлену обмеженим значенням динамічних діапазонів. Це організовує підхід для стиску зображень без втрати їх якості на основі скорочення надмірності не тільки статистичної природи.

ності діапазонів у середньому в 2,2 рази менше, ніж ентропія для постійного діапазону.

Новизна наукових результатів полягає в тому, що отримала подальший розвиток модель оцінки інформативності оцифрованих зображень. Особливість запропонованої моделі полягає в тому, що кількість інформації оцінюється на основі визначення кількості двовимірних комбінаторних об'єктів, обмежена кількістю яких зумовлена неоднорідністю динамічних діапазонів елементів МДП.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ватолин В. И.* Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / В. И. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. — М. : ДИАЛОГ–МИФИ, 2002. — 384 с.

2. *Гонсалес Р.* Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. — М. : Техносфера, 2005. — 1073 с.

3. *Королев А. В.* Метод сокращения избыточности изображений / А. В. Королев, В. В. Баранник // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. — 2001. — № 2. — С.

85—88.

4. *Баранник В.В.* Структурно-комбинаторное представление данных в АСУ / В. В. Баранник, Ю. В. Стасев, Н. А. Королева. — Монография, Харьков : ХУПС, 2009. — 252 с.

5. *Баранник В. В.* Комбинаторная модель трансформант двумерного преобразования Уолша / В. В. Баранник, А. В. Яковенко // Системы обработки информации. — Х. : ХУПС. — 2008. — Вип. 5(72). — С. 143—147.

Стаття надійшла до редакції 18.12.09.