

СИСТЕМА СТИСКУ ДАКТИЛОСКОПІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ВЕЙВЛЕТНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

Олег Капшій¹, Богдан Русин²

¹ФМІ НАН України, Львів 79601, вул.Наукова 5а, т.(0322)65-45-30, dep32@ipm.lviv.ua

²ФМІ НАН України, Львів 79601, вул.Наукова 5а, т./ф.(0322)63-41-09, rusyn@ipm.lviv.ua

Анотація В даній статті розглянуто метод втратного стиску зображень відбитків пальців людини, що базується на вейвлет перетворенні зображення. Описано структуру пристроїв стиску та реконструкції зображення, структуру даних, які потрібно зберігати. Представлено досягнуті результати та проаналізовано шляхи підвищення рівня стиску за рахунок покращення кодера, врахування структури даних, які стискаються. В системі стиску використовується перемислювальний кодер.

Ключові слова: відбитки пальців, стиск, вейвлет перетворення, безвтратне кодування.

ВСТУП

Відбитки пальців кожної людини є унікальними, тому вони дозволяють однозначно ідентифікувати особистість. Але при великій кількості людей, масиви дактилоскопічних зображень також стають дуже великими, а їхня ручна обробка ускладненою. Тому у всіх дактилоскопічних експертних підрозділах вводяться системи автоматичного розпізнавання відбитків. Всі системи такого типу використовують для порівняння не самі зображення, а певні набори ознак отриманих після обробки цих зображень. Кількість і розміри ознак є відносно невеликими, що дає можливість проводити пошук по дактилоскопічних базах у відносно короткі терміни. Але, враховуючи те, що такі системи не дають 100% імовірності розпізнавання, вони використовуються як системи підтримки прийняття рішень, які значно полегшують роботу із великими масивами даних. Такі системи вимагають операторів, тобто необхідності відображення зображень відбитків. З другого боку, кожна із таких систем містить лише набір відбитків певної кількості людей, при цьому, кожна з них має свої власні набори ознак, за якими проводиться ідентифікація, тому виникає задача передачі зображень відбитків між системами. Якщо зберігати повні зображення відбитків в базі, це буде займати величезні об'єми пам'яті. Так, для бази дактилокарт на 100 тис. осіб, при розмірах зображень 512x512 точок, 256 рівнях градації яскравості, зображення будуть займати близько 260 Гб простору. Тому постає задача стиску зображень. Безвтратний стиск дозволяє зменшити необхідний об'єм максимум в 2 рази. Цього є недостатньо, тому використовують втратні методи компресії [2].

1. СТРУКТУРА СИСТЕМИ

Найбільш вживана структурна схема втратної компресії представлена на рис.1. Схема містить блок перетворення зображення, який вносить втрати, (блок 1) та безвтратний кодер (блок 2). Відповідно пристрій реконструкції містить декодер (блок 3) та пристрій реконструкції зображення по отриманих даних (блок 4).

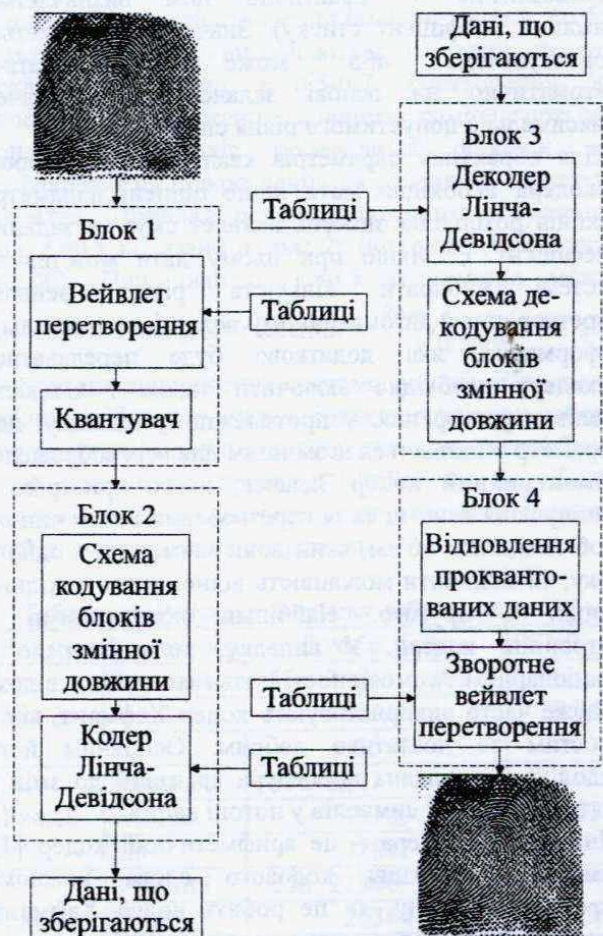


Рис.1. Структурна схема системи компресії

Робота блоку 1 полягає у перетворенні зображення у дані, спотворення яких менше впливає на саме зображення, ніж спотворення самого зображення напряму. При цьому такі дані після перетворення і контрольованого спотворення мають мати надлишковість, яка пізніше може бути усунена в блоці 2. Дуже популярним перетворювачем такого виду є пара вейвлет перетворювач – квантувач.

Вейвлет перетворення [1] переводить зображення у набір слабкорельованих частотно-просторових смуг, які дозволяють однозначно відновити зображення. У нашому алгоритмі використовується біортогональна пара фільтрів. Для роботи перетворювача як при стиску, так і при відновленні, відбувається синтез фільтрів на основі їхніх збережених імпульсних характеристик. Ці фільтри є незмінними при роботі зі всіма зображеннями.

Квантувач – це пристрій, який вносить втрати у дані за рахунок відображення неперервної множини можливих значень на обмежену кількість підінтервалів. У роботі використано нерівномірний квантувач із мертвою зоною. Параметри квантувача розраховуються для кожної смуги вейвлет перетворення окремо, на основі параметрів законів розподілів даних смуг після вейвлет перетворення та на основі бажаної швидкості створення повідомлення r (фактично цим визначається бажаний коефіцієнт стиску). Значення r задається користувачем, або може обраховуватися автоматично на основі заданого користувачем максимально допустимого рівня спотворень.

Для обрахунку параметрів квантувача на стороні декодера необхідно мати лише оцінені параметри законів розподілів значень вейвлет смуг та заданий коефіцієнт r . Якщо при цьому дати можливість системі вибирати кількість рівнів вейвлет перетворення в автоматичному режимі, то в загальну інформацію, яка додатково буде передаватися декодеру необхідно включити також і кількість рівнів перетворення, у протилежному випадку, цей параметр залишається незмінним для всіх зображень.

Безвратний кодер Задачею цього пристрою є маніпуляція даними та їх перетворення таким чином, щоб зменшити об'єм, який вони займають, з одного боку, та залишити можливість відновлення вихідних даних, з другого. Найбільш популярними є ентропійні кодери. У випадку, коли джерело є стаціонарним та імовірності появи символів є відомі – дуже часто використовують кодер Хафмана, він є простим та достатньо добрим. Основним його недоліком є складна процедура адаптації до змін у статистиці появи символів у потоці даних.

Інший вид кодера – це арифметичний кодер [4]. Замість присвоєння кодового слова кожному окремому символу, як це робить кодер Хафмана, арифметичний кодер кодує послідовності символів. Він оперує з кумулятивною складеною імовірністю, обрахованою по послідовності символів, і виводить її з точністю, достатньою для відновлення послідовності. Цей кодер може досягнути теоретичної границі Шенона при компресії даних. Основними недоліками методу є його обчислювальна складність та складність реалізації, а також те, що метод на даний момент закритий для використання патентами.

Зів-Лемпел кодування. Це дуже популярна методика, яка має велику кількість варіантів. Дана методика при компресії використовує динамічні

словники, які формуються на основі вхідних даних. Цим досягається висока степінь адаптації кодера до потоку вхідних даних. Серед кодерів цього сімейства є LZ77, LZ78, LZW та багато їхніх модифікацій. Кодери цього типу можуть бути дуже ефективними для кодування довгих стаціонарних сигналів з невідомою статистикою, але вони мають обмежену ефективність для нестационарних сигналів.

Перечислювальний кодер (enumerative coder) [3]

В алгоритмі стиску зображень відбитків пальців використано кодер, який робить перенумерацію стрічок. Базовий принцип роботи кодера полягає у наступному: Нехай дано стрічку символів довжиною n , яка містить рівно w одиниць, а решта символів – нулі. Нехай w є відомим, тоді існує

$$C(n, w) = \frac{n!}{w!(n-w)!}$$

таких стрічок і номер цієї стрічки у впорядкованому наборі таких стрічок унікально її визначає. При цьому номер стрічки можна передавати за допомогою лише $\log_2(C(n, w))$ біт. Існує багато швидких алгоритмів для генерації і декодування номера, особливо для малих n .

На даному етапі розробки методу компресії використовується схема кодування Лінча-Девідсона. Алгоритм роботи кодера виглядає наступним чином – побітно проглядається вхідна стрічка, що містить n символів, з яких w – одиниці. Якщо текучий символ рівний одиниці – до лічильника додається число стрічок, які мають такі самі символи у всіх попередніх позиціях, що й стрічка, яка проглядається, і нуль в текучій позиції.

Декодер, знаючи n та w , зчитує номер запису, який має довжину $\log_2(C(n, w))$, після чого працює за наступним алгоритмом: присвоює кожному наступному символу вихідної послідовності 0, якщо текучий номер стрічки є меншим за $C(n-i-1, left_1s)$, де i – текуче положення вихідної стрічки, $left_1s$ – кількість одиниць, які ще не було записано у вихідний потік. Якщо текучий номер стрічки не є меншим за $C(n-i-1, left_1s)$, тоді у вихідний потік записується 1, зменшується текучий номер на $C(n-i-1, left_1s)$.

Але для такого кодера необхідно для кожної послідовності з n символів передавати при кодуванні у вихідний потік кількість одиниць, присутніх в блоці. Для усунення цієї проблеми, вхідні для кодування дані попередньо обробляються за допомогою схеми кодування блоків змінної довжини у блоки однакової довжини. Принцип роботи кодера такої схеми полягає в наступному: задається n та w . При цьому кількість нульових символів у вхідних стрічках буде рівною $z = n - w$. Вхідний потік побітно зчитується і передається на вихід до тих пір, поки кількість переданих одиниць чи нулів не стане рівною w чи відповідно. Послідовність на виході доповнюється нулями у першому випадку, чи одиницями у другому, щоб її

довжина була рівною n . Таким чином, у всіх стрічок на виході буде довжину n та кількість одиниць w . Тобто на сторону декодера необхідно лише раз передати n та w . Далі використовується алгоритм Лінча-Девідсона, що був описаний вище.

Декодер для схеми кодування блоків змінної довжини працює наступним чином: з вхідного потоку читають символи до тих пір, поки кількість прочитаних одиниць чи нулів не буде рівна w чи z відповідно. Цю частину стрічки пересилають у вихідний потік, а решту символів із входу, що доповнюють стрічку до довжини n опускають.

2. РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КОМПРЕСІЇ

Для реалізації вейвлет перетворення на стороні компресії та на стороні відновлення зображення зберігаються імпульсні характеристики для біортогональних фільтрів. Також, для пришвидшення процедур безтратного кодування та декодування зберігаються таблиці значень $C(n, w)$, для всіх можливих значень n та w . Вхідне зображення передається на вейвлет перетворювач, після чого для кожної смуги розраховуються параметри закону розподілу значень смуги. В якості апроксимуючого закону розподілу використано узагальнений гаусівський розподіл. Його параметр β передається в якості додаткової інформації на сторону відновлення для кожної смуги. Також в якості додаткової інформації передається дисперсія та розміри кожної смуги. На основі розрахованих параметрів, для кожної смуги розраховується свій квантувач. Після квантувача на вихід блоку 1 передаються не проквантовані значення, а номери рівнів квантування, які відповідають значенням в кожній точці смуги. Це дозволяє в подальшому уникнути операцій з числами з плаваючою комою, що збільшує швидкість системи. Після цього для кожної смуги складається бінарна матриця ненульових елементів, бінарна матриця знаків ненульових елементів, та матриця модулів ненульових елементів. Для кожної з матриць визначається імовірність появи одиниць в бінарному представленні матриці. На основі цієї інформації визначається n та w , виходячи з максимально можливого числа $C(n, w)$, яке можна порахувати без округлень. Кожна з отриманих матриць обробляється за допомогою описаної вище схеми кодування блоків змінної довжини, а результат – за допомогою перечислювального кодера. Отримані дані потоком передаються на систему збереження. Також, в якості додаткової інформації, передається кількість одиниць у бінарному представленні матриці та кількість блоків даних отриманих для кожної матриці після схеми кодування блоків змінної довжини. Для зменшення кількості біт, які необхідно кодувати для матриць модулів ненульових елементів, для кожної такої матриці визначається максимальне значення модуля i , відповідно, кількість біт, яку

вимагається для кодування такого числа. Кількість біт передається в якості додаткової інформації.

На стороні відновлення на основі інформації про кількість одиниць у кожній бінарній матриці визначається n та w . Після цього дані проходять через декодер перечислювального кодера та декодер схеми кодування блоків змінної довжини (блок 3). При цьому використовуються передані значення кількості блоків даних для кожної матриці. В результаті отримують відновлені номери рівнів квантування для кожної точки всіх смуг.

Знаючи параметри законів розподілу значень кожної смуги формуються квантувачі для кожної смуги, що дозволяє перейти від номерів рівнів квантування до дійсних значень. Ці дані передаються на блок зворотного вейвлет перетворення, на виході якого отримують реконструйоване зображення.

Експериментальні дослідження системи Перевірка візуальної якості відновленого зображення для різних швидкостей створення повідомлення r (тобто кількості біт, які витрачаються на один символ) показало, що при $r=0.5-0.7$, спотворення, які вносяться в зображення, повністю компенсуються з допомогою методів попередньої обробки, що розраховані на підкреслення на зображенні структури відбитка. Приклад реконструйованого зображення при $r=0.5$ показано на рис.2г (вихідне зображення - рис.2б). При значенні $r=0.5$ теоретично можна досягнути стиску зображення в $\frac{8bps}{0.5bps} = 16$ раз.

Результати дослідження системи компресії подано у таблиці 1. Для порівняння приведені розміри наборів даних отриманих після стиску даних на виході блоку 1 за допомогою програм WinRar та zip. Також подано значення пікового співвідношення сигнал – шум для відновлених зображень

Таблиця 1. Результати стиску зображень ($r=0.5$)

Рисунок	Компресор	Розмір, байт	PSNR, дБ
Рис.2а	Власний	556+34061=34617	28.04
	WinRar	29258	
	Zip	31546	
Рис.2б	Власний	556+24131=24687	28.93
	WinRar	29369	
	Zip	32882	
Рис.2в	Власний	556+22346=22902	35.22
	WinRar	26364	
	Zip	28967	

Цікавим може бути використання результату вейвлет перетворення, а саме найбільш низькочастотної смуги. За рахунок зменшення роздільної здатності зображення, відображення папілярних ліній згладжуються і на місці власне відбитка залишається практично однорідна пляма, яка по інтенсивності відрізняється від навколишнього фону. Це можна використати для відділення власне відбитка від фону. Можна навіть використати звичайну операцію порогового

розділення, обробивши після цього отримане бінарне зображення медіанним фільтром.

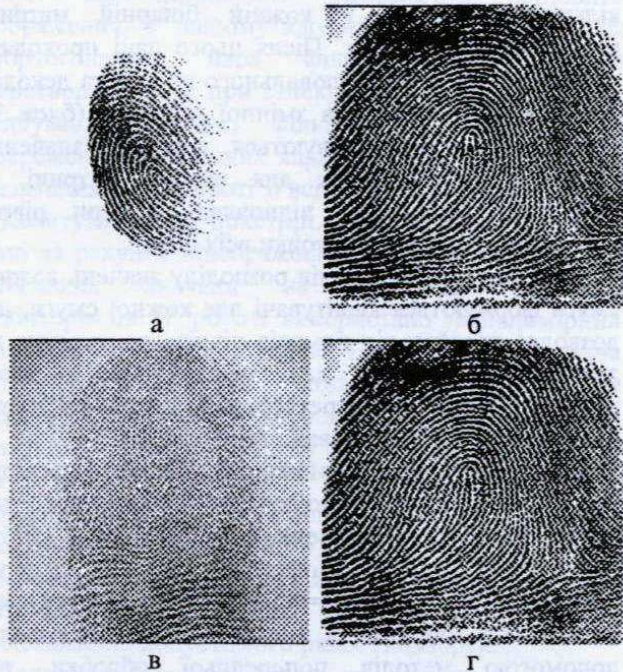


Рис.2 Приклади зображень відбитків (а,б,в) та відновленого після компресії зображення (г) при $r=0.5$

Шляхи покращення рівня компресії Якщо розглянути гістограми розподілу номерів проквантованих рівнів в кожній смугі, то типова гістограма буде мати вигляд показаний на рис.4. Ця гістограма відповідає припущенню про те, що закон розподілу значень в межах смуги відповідає узагальненому гаусівському розподілу. Але всі номери рівнів при передачі на схему кодування



Рис.3 Зображення вейвлет смуг для відбитка рис.2в

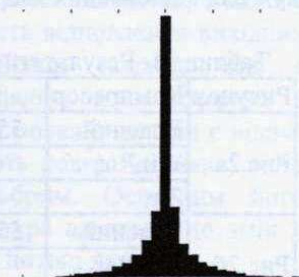


Рис.4 Типова гістограми розподілу значень вейвлетних смуг

блоків змінної довжини кодуються однаковою кількістю біт. Враховуючи те, що менші номери зустрічаються частіше, їх можна закодувати за допомогою меншої кількості біт, а ніж більші номери. Це додати ще один блок на початку безвартної частини, але дозволить збільшити рівень компресії. З другого боку, бінарне представлення номерів рівнів є різним по кількості та рівномірності розміщення одиниць (для прикладу 7 в бінарному представленні це 0111, а 8 – 1000). Тут виникає ще один шлях покращення кодування, а саме – кожному символу у відповідність ставиться нове бінарне

представлення так, щоб в межах смуги всі символи мали приблизно однакову рівномірно розміщену кількість одиниць у бінарному представленні. В цьому випадку покращиться робота схеми кодування блоків змінної довжини. Ще один шлях зменшення розміру необхідного об'єму полягає у використанні раніше згаданої особливості вейвлетного перетворення, яке дозволяє робити сегментацію власне відбитка. Тоді фон можна замінити довільними даними, які роблять зображення в цілому більш рівномірним, або взагалі відкидати фон і кодувати тільки область відбитка.

Також можна отримати зменшення більше ніж у два рази і для додаткових даних. Перш за все можна усунути інформацію про кількість блоків даних після схеми кодування блоків змінної довжини за рахунок додавання додаткових блоків обчислення. Оскільки розміри окремих смуг вейвлетного перетворення є відомими, то при декодуванні можна спочатку зчитати матрицю ненульових елементів, яка має розмір рівний кількості елементів смуги. З неї можна визначити розміри матриць від'ємних елементів та модулів елементів, вони рівні кількості одиниць в матриці ненульових елементів. Також на даному етапі розробки зберігається кількість одиниць для кожної матриці в бінарному представленні. Але особливістю процедури обрахунку параметрів квантувача є те, що паралельно обраховуються теоретичні імовірності попадання символів у інтервали квантувача. Знаючи ці імовірності та бітове представлення символів можна обрахувати і кількість одиниць у бінарних представленнях матриць.

ВИСНОВКИ

Розроблено систему стиску зображень відбитків пальців, забезпечує стиск зображень розміром 512x512 приблизно в 9.6 рази при збереженні якості зображення відбитка в межах, необхідних для збереження можливості подальшої роботи із відбитком. Показано шляхи покращення рівня стиску на основі аналізу гістограми розподілу значень проквантованих вейвлетних смуг. В подальшому планується досягнути ще більшого рівня стиску, за рахунок моделювання структури відбитка.

ЛІТЕРАТУРА

1. Antonini M., Barlaud M., Mathieu P., and Daubechies I. *Image coding using wavelet transform* // IEEE Trans. Im. Proc., vol. 1(2), pp. 205- 220, April 1992;
2. Brislawn Ch., Bradley J., Onyshczak R. and Hopper T. *The FBI compression standard for digitized fingerprint images* // Proc. SPIE, vol.2847, Denver, Aug. 1996;
3. Oktem L. *Hierarchical enumerative coding and its application in image compression* // Ph.D. dissertation, Tampere University, Finland, Oct. 1999;
4. Howard P. and Vitter J. *Practical implementations of arithmetic coding* // Image and Text Compression, James A. Storer, ed., Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, 1992, pages 85--112.