

ВИБІР ВЕЙВЛЕТУ ТА АНАЛІЗ ВПЛИВУ СТЕПЕНІ РЕГУЛЯРНОСТІ БІОРТОГОНАЛЬНИХ ФІЛЬТРІВ, ПОБУДОВАНИХ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ПОЛЮСІВ, ДЛЯ СТИСКУ ЗОБРАЖЕНЬ

Олексій Коваль, Богдан Русин

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

2906016 м. Львів, вул. Наукова 5, тел. (0322) 65-45-30, e-mail: dep32@ah.ipm.lviv.ua

Обґрунтовується вибір типу вейвлета, пропонується метод оцінки його ефективності для задач компресії зображень та аналізується вплив степені регулярності вейвлетоутворюючих фільтрів на якість стиску.

1. ВСТУП

Проблема ефективного зберігання візуальної інформації існує в багатьох галузях науки і техніки, починаючи від неруйнівного контролю, баз даних охоронних систем, матеріалознавства і закінчуючи медичною томографією.

Розв'язок цієї проблеми шукався у наступних напрямках:

- побудові алгоритмів та систем за безвартим принципом, для яких характерна відсутність втрат якості відтвореного зображення у порівнянні з оригіналом;

- розробці алгоритмів та системи компресії із втратами, яким притаманне внесення спотворень в процесі відновлення стиснутого зображення.

- комбінованому підході, який використовує моделювання зображення та врахування втрат, внесених моделлю у порівнянні з вхідними даними.

Останній є найбільш перспективним, оскільки не тільки дозволяє досягати підвищеної степені якості відтвореного зображення, але й передбачає можливість стиску без втрат її з ефективністю, яка є для такого типу компресії найвищою [7].

2. ВИБІР ВЕЙВЛЕТА

Очевидно, що ефективність всього процесу стиску при таких методах в значній мірі визначається вибором моделі опису зображення.

Якщо припустити, що воно представляється у вигляді кусково-гладкої функції, то, існує можливість застосування кусково-поліноміальної моделі. Вейвлетне перетворення є реалізацією такого підходу, причому при апроксимації використовується мала кількість базисних елементів.

Вибір вейвлета для застосування в задачах стиску зображень є актуальною на сьогодні проблемою [1].

Перш за все варто відмітити, що з точки зору специфіки задачі, що розглядається, бажаною є наявність у вейвлета наступних властивостей [4]:

- ортогональність, яка забезпечує найкращу апроксимацію даних, які перетворюються в сенсі L_2 ;

- наявність осі симетрії базисної функції, що забезпечить відсутність фазових спотворень, внесених при перетворенні;

- обмежена область визначення вейвлета, що зробить скінченним границі сумування при реалізації дискретної версії вейвлетного перетворення;

- наявність в імпульсній характеристиці фільтрів, що генерує вейвлет, цілочисельних коефіцієнтів, що спрощує реалізацію перетворення.

Оскільки всі властивості, крім першої, можуть бути отримані у випадку біортогонального вейвлетного перетворення, то, переважно, саме цей тип вейвлетів на сьогодні є таким, що найбільш широко застосовується в області стиску зображень.

Виходячи з того, що існує достатньо велика кількість вейвлетів такого типу, причому постійно зростаюча (зокрема, розроблені згідно [8,9] пари біортогональних фільтрів), то проблема оцінки ефективності застосування того чи іншого з них до стиску зображень є достатньо складною.

В роботі [6] пропонується визначати ефективність застосування біортогональних вейвлетів для компресії зображень на основі аналізу імпульсної та перехідної характеристики лінійної, неінваріантної до зсуву системи, якою моделюється процес дискретного біортогонального вейвлетного перетворення, відновлення вхідних даних при невеликій кількості кроків аналізу-синтезу та неврахуванні детальної інформації.

В якості характеристики використовується мінімальне співвідношення між центральним та першим боковим пелостком імпульсної характеристики системи та середнє значення другого піка перехідної характеристики. Мала величина першого парметра та велике значення другого приводить до появи артефактів при відновленні.

Для перевірки адекватності розробленого критерію пропонується використати алгоритм стиску, який включає трирівневе вейвлетне перетво-

рення, адаптивне квантування отриманих коефіцієнтів та кодування результатів квантування методами RLC та методом Хафмана.

На основі розробленої методики та цього алгоритму стиску авторами [6] вибрано шість найкращих з їхньої точки зору пар біортогональних фільтрів.

Як відзначається в [1], використана в [6] методика квантування є неефективною для випадку біортогонального вейвлетного перетворення.

Також відомі спроби характеристики якості фільтрів для задач компресії, зокрема, на основі степені їх регулярності [2,3].

Існує думка, що однозначного зв'язку між степінню регулярності та якістю відновленого зображення на сьогодні ще не встановлено [5].

В даній роботі буде зроблено спробу проаналізувати вплив регулярності фільтрів, побудованих на основі методики, приведеної в [8,9], на якість відновленого зображення.

3. МЕТОДИКА ПОБУДОВИ ФІЛЬТРІВ

В [8,9] представлено методику та результати побудови біортогональних вейвлетів на основі теорії полюсів [10].

Вона полягає в наступному:

- побудові інтерполяційного виразу на основі теорії полюсів, вагові коефіцієнти якого з точки зору теорії сигналів можуть бути розглянуті як відліки імпульсної характеристики деякого фільтра нижніх частот;

- обрахунку імпульсної характеристики дуального низькочастотного фільтра з використанням відомого з теорії банків фільтрів ідеального відновлення обмеження [6]:

$$H_0(z)H_1(-z) - H_0(-z)H_1(z) = P(z) - P(-z) = c \cdot z^{-(2l-1)}$$

де $H_0(z), H_1(-z)$ - z -образи низькочастотних фільтрів аналізу та синтезу, $l \in Z$.

- аналізі границі збіжності імпульсної характеристики еквівалентного фільтра, який утворюється в результаті застосування каскадного алгоритму до одного з низькочастотних фільтрів.

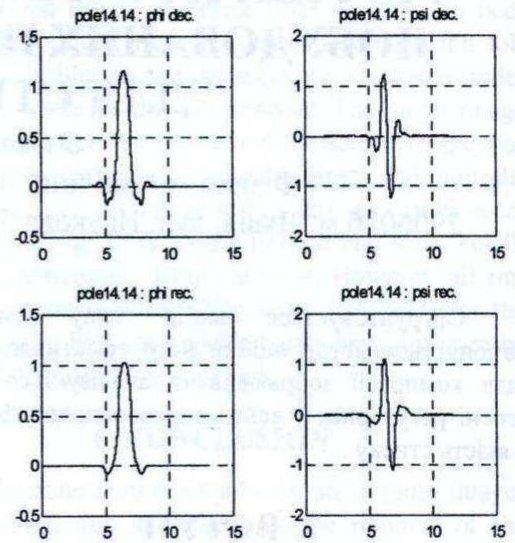
У випадку існування негладкої границі застосовується процедура підвищення регулярності, яка полягає у збільшенні в функції $H(z)$ (z -образ імпульсної характеристики того фільтра, який утворює еквівалентний фільтр без гладкої границі) кількості нулів в точці $z = -1$. В цьому випадку виникає повторна необхідність визначення імпульсної характеристики другого фільтра за згаданою вище методикою.

Оцінка степені гладкості отриманих граничних функцій проводилась згідно з розробленим в [2,3] підходом, що ґрунтується на визначенні регулярності Хелдера.

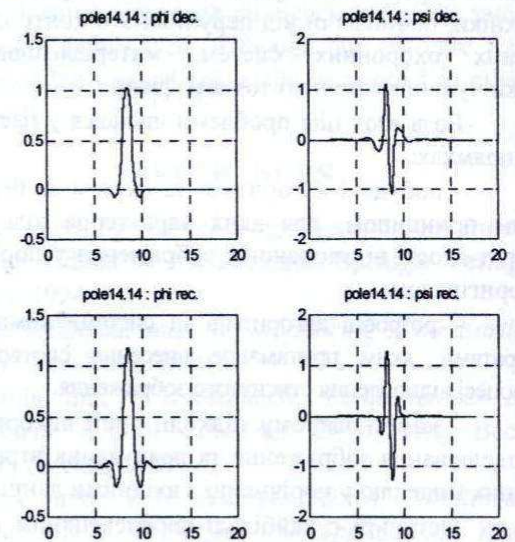
Тобто, дана методика дозволяє гнучко змінювати степінь регулярності в залежності від умов по-

ставленої задачі.

Результати застосування представленого підходу подані на рис. 1, а.



а)



б)

Рис. 1. Вигляд $\phi, \psi, \tilde{\phi}, \tilde{\psi}$ - функцій для отриманої в [9] та скоректованої пари фільтрів (позиції, відповідно, 7 та 8 в табл.1).

4. МЕТОД ОЦІНКИ

Оскільки результати квантування суттєво впливають на ефективність алгоритма в цілому, то пропонується ефективність застосування біортогонального базису для компресії зображень аналізувати на основі тривіневого вейвлетного перетворення зображення із подальшим його відновленням при умові рівності нулю всіх детальних коефіцієнтів.

Запропонований підхід дозволить вибрати таку пару біортогональних фільтрів, яка б дозволила зосереджувати максимальну частину інформації в коефіцієнтах апроксимації.



а) Lena б) Barbara в) Airport

Рис. 2. Використані тестові зображення .



а) б) в)

Рис.3. Фрагмент відновленого зображення при використанні для стиску пари фільтрів, відповідні біортогональні функція до яких зображені а) на рис. 1, а, б) на рис. 1, б та популярної пари фільтрів 9/7 (таблиця 1(1))

Таблиця 1. Значення коефіцієнтів фільтрів, показники степені регулярності та співвідношення сигнал/шум (С/Ш), dB, для фільтрів, розроблених в [9] та вибраних в [6] як найкращі для компресії зображень

ПП	Значення коефіцієнтів			$N+\alpha'_N$	С/Ш dB
	1	2	3		
1	$H_0(z)$	0.037828 -0.023849 -0.110624 0.377402 0.852699 0.377402 -0.110624 -0.023849 0.037828	1,068	21.434	20.646
	$i(-z)$	-0.064539 -0.040689 0.418092 0.788486 0.418092 -0.040689 -0.064539	1,701	17.489	
2	$H_0(z)$	-0.008473 0.003759 0.047282 -0.033475 -0.068878 0.383269 0.767245 0.383269 -0.068878 -0.033475 0.047282 0.003759 -0.008473	1,899	21.225	20.451
	$i(-z)$	0.014182 0.006292 -0.108737 -0.069163 0.448109 0.832848 0.448109 -0.069163 -0.108737 0.006292 0.014182	2,324	17.337	
3	$o(z)$	-0.129078 0.047699 0.788486 0.788486 0.047699 -0.129078	0,701	20.966	20.197
4	$i(-z)$	0.018914 0.006989 -0.067237 0.133389 0.615051 0.615051 0.133389 -0.067237 0.006989 0.018914	2,068	17.154	
	$o(z)$	-0.176777 0.353553 1.060660 0.353553 -0.176777	Розбір.	21.082	20.281
5	$i(-z)$	0.353553 0.707107 0.353553	1,000	17.249	
	$o(z)$	0.707107 0.707107	0,000	20.981	20.314
6	$i(-z)$	-0.088388 0.088388 0.707107 0.707107 0.088388 -0.088388	1,000	17.223	
	$o(z)$	0.033145 -0.066291 -0.176777 0.419845 0.994369 0.419845 -0.176777 -0.066291 0.033145	0,830	21.351	20.562
7	$i(-z)$	0.353553 0.707107 0.353553	1,000	17.447	
	$o(z)$	[-5 -3593 -40424 73760 523222 523222 73760 -40424 -3593 -5]/1105920	0,897	20.869	
8	$i(-z)$	[13262923825 -9530737060645 107244180473480 184089551926368 -1256481605445039 696252040235171 8589582861477144 8589582861477144 696252040235171 -1256481605445039 184089551926368 107244180473480 -9530737060645 13262923825]/16622339109060608	0,479	20.070	17.140
	$o(z)$	[-5 -3593 -40424 73760 523222 523222 73760 -40424 -3593 -5]/1105920	0,479	21.519	
8	$i(-z)$	[-788464479685 566590575101641 -6366634492961918 -17339362943626002 146734754275933991 29117448535333861 -756498104334163076 506725522884340388 4086421960139065824 4086421960139065824 506725522884340388 -756498104334163076 29117448535333861 146734754275933991 -17339362943626002 -6366634492961918 566590575101641 -788464479685]/ 8976063118892728320;	1.586	20.677	17.553

В його рамках буде проведено аналіз регулярності на якість відтвореного за цим критерієм зображення.

Оскільки в [8,9] побудова базисних функцій не була пов'язана із особливостями зорової системи людини, то існує можливість отримання непридатного з точки зору прикладного застосування результату.

В рамках перевірки, що проводилась, аналізувалася якість відтвореного зображення як з точки зору спостерігача, так і в термінах співвідношення С/Ш, при зміні степені регулярності фільтрів.

Дослідження проводились із однією з пар розроблених в [9] пар біортогональних фільтрів, значення імпульсної характеристики фільтрів для яких приведені в таблиці 1 (відповідно, 8 та 9) та вигляд $\phi, \psi, \tilde{\phi}, \tilde{\psi}$ - функцій - на рис. 1, а.

В процесі досліджень був використаний набір з трьох тестових 256 градаційних зображень розміром 256×256 елементів, які представлені на рис. 2.

5. ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

В ході експериментів контролювалася як візуальна якість відновленого зображення контролю, так і фіксувалося співвідношення С/Ш з метою порівняння пари фільтрів, що аналізувалася, із тими, що, згідно [6], є найбільш ефективними для застосування в задачах компресії зображень.

Було встановлено, що використання розроблених за запропонованою в [8,9] методикою пар фільтрів в задачах компресії може привести при великих коефіцієнтах стиску до появи артефактів, до яких є чутливим людське око (рис. 3, а, в середині еліпса), тоді як збільшення регулярності дозволяє практично позбутися цього небажаного ефекту (рис. 3, б) (Для порівняння на рис. 3, в приведена та сама ділянка на зображенні при застосуванні пари фільтрів 9/7).

Отримані числові результати наведені в таблиці 1. Першими представлені відзначені в [6] коефіцієнти 6 пар біортогональних фільтрів, ступінь їх регулярності [2,3] та оцінка якості відтворених зображень з тестового набору (в dB) на основі результатів запропонованого трирівневого вейвлетного перетворення. Нижче подані аналогічні характеристики для пари фільтрів із [9] та підвищеним ступенем регулярності.

Числові результати свідчать, що підвищення степені регулярності дозволило покращити не тільки візуальну якість відтворених зображень, але й на 0,4-0,6 дБ збільшити співвідношення С/Ш для відтворених зображень з використаного тестового набору.

Порівняльний аналіз (таблиця 1) засвідчує той факт, що пара фільтрів із збільшеною ступінню регулярності забезпечує практично однакову візуальну якість відновленого зображення та більше співвідношення С/Ш.

6. ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Встановлено необхідність проведення корекції степені регулярності фільтрів, розроблених в [9], з метою покращення візуальної якості та числових характеристик відновленого зображення.

2. В результаті проведеного порівняльного аналізу встановлено, що отримана пара фільтрів із підвищеною ступінню регулярності не поступається своїм аналогам за візуальними показниками та перевершує їх за числовими оцінками.

ЛІТЕРАТУРА

1. G.Davis and Aria Nosratinia, "Wavelet-Based Image Coding: An Overview", Applied and Computational Control, Signals, and Circuits, Vol. 1, No. 1, Spring 1998. (Доступна в електронному варіанті: <http://www.utdallas.edu/~aria/papers/dn383.ps.gz>.)
2. O.Rioul, "Simple regularity criteria for subdivision schemes", SIAM J. Math. Analysis, vol. 23, pp. 1544-1576, Nov.1992.
3. O.Rioul, "Regular wavelets: a discrete time approach", IEEE Trans. on Signal Proc., vol. 41, no 12, pp. 3572-3579, Dec. 1993.
4. O. Stroomme, "On the applicability of wavelet transforms to image and video compression", Ph.D. dissertation, Dep. of Computer Sc., University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, Febr. 1999.
5. M.Vetterli and C.Herley, "Wavelets and filter banks: Theory and design", IEEE Trans. on Signal Proc., vol. 40, no 9, pp. 2207-2232, Sept. 1992.
6. J.Villasenor, B.Belzer and J.Liao, "Wavelet filter evaluation for image compression", IEEE Trans. Image Proc., vol.2, pp. 1053-1060, Aug. 1995.
7. X.Wu, "An algorithmic study on lossless image compression". Доступна в електронному варіанті: ftp://ftp.csd.uwo.ca/pub/from_wu/papers/.
8. Коваль О.І. Вейвлетні базиси на основі інтерполаторів, побудованих з використанням теорії полюсів / Матеріали XV відкритої науково-технічної конференції молодих науковців і спеціалістів ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАН України "КМН - 2000", Львів, 2000. - С. 82-84.
9. Коваль О.І., Русин Б.П. Побудова біортогональних вейвлетних базисів на основі теорії полюсів / Матеріали шостої Міжнародної конференції "ТЕОРИЯ И ТЕХНИКА ПЕРЕДАЧИ, ПРИЁМА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ" (НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ), ХГТУРЭ "ТУАПСЕ - 2000". 17-19 вересня 2000 р.
10. Шенен П., Коснар М., Гардан И. и др. Математика и САПР: в 2-х кн. Кн. 1. Пер с франц.- Мир, 1988.-204 с., ил.