

CẢI TIẾN THUẬT TOÁN BIẾN ĐỔI ẢNH FIBONACCI-HAAR BẰNG PHƯƠNG PHÁP XÁC SUẤT KẾT HỢP BIẾN ĐỔI LIFTING

Th.S Trương Hoàng Vinh¹

TÓM TẮT

Thuật toán biến đổi Fibonacci – Haar do F. Battisti và các cộng sự công bố vào năm 2008 [5]. Thuật toán này là một phương pháp biến đổi hình ảnh mới dựa trên sự kết hợp của chuỗi số Fibonacci và phép biến đổi Haar cổ điển. Chúng tôi nhận thấy có hai vấn đề hạn chế phát sinh khi sử dụng chuỗi Fibonacci của thuật toán này. Và dựa trên ý tưởng sự kết hợp của chuỗi Fibonacci và phép biến đổi Haar, chúng tôi đã đề xuất một thuật toán mới bằng sự kết hợp phương pháp xác suất và kỹ thuật Lifting.

ABSTRACT

Algorithm Fibonacci – Haar for transforming image has been published in 2008 by F. Battisti et al [5]. This algorithm based on the combination of the suite Fibonacci and Haar transform. We see that there are two inconvenients by using this transform. Based on this idea, we propose a new algorithm by the combination of probabilistic method and Lifting technique.

Keywords: fibonacci, lifting technique, haar transform,

I. GIỚI THIỆU

Trong ngành xử lý tín hiệu, việc biến đổi một tín hiệu thành các tín hiệu thứ cấp, xấp xỉ là một nhu cầu cần thiết. Khởi đầu là phép biến đổi Fourier [6] giúp chia tín hiệu thành những hàm số Sin, thế hệ tiếp theo sau là biến đổi hàm DCT Cosine rời rạc [7], phép biến đổi Wavelet [8], và thế hệ sau của Wavelet là họ những phép biến đổi Curvelet như Ridgelet, Contourlet, Bandelet [9,10,11]. Từ năm 2008, F.Battisti và các cộng sự công bố công trình đầu tiên về phương pháp biến đổi Fibonacci-Haar [5]. Sau đó đã có nhiều công trình ứng dụng phương pháp biến đổi này vào các lĩnh vực watermarking [12,13]. Phép biến đổi này có một số trở ngại vì chỉ áp dụng được cho ảnh ma trận vuông và việc dự đoán ra dãy số Fibonacci

khá dễ dàng làm cho thuật toán có độ bảo mật không cao. Bài báo này chúng tôi đề xuất ý tưởng cải tiến thuật toán Fibonacci-Haar bằng phương pháp xác suất kết hợp với kỹ thuật Lifting.

Phần II trình bày về phương pháp biến đổi Fibonacci-Haar. Phần III sẽ giới thiệu về kỹ thuật Lifting. Phần IV trình bày về kỹ thuật phân đoạn bằng phương pháp xác suất kết hợp kỹ thuật Lifting. Cuối cùng là phần kết luận và triển vọng trong tương lai của công trình.

II. PHÉP BIẾN ĐỔI FIBONACCI-HAAR

Phép biến đổi Fibonacci-Haar được dựa trên phép biến đổi Haar với việc phân đoạn phụ thuộc vào chuỗi Fibonacci $F_p(n)$:

$$F_p(n) = \begin{cases} 0 & \text{nếu } n < 0 \\ 1 & \text{nếu } n = 0 \\ F_p(n-1) + F_p(n-p-1) & \text{nếu } n > 0 \end{cases}$$

¹Giảng viên Khoa Công Nghệ Thông Tin, Trường Đại học Mở TP HCM. Email: vinh.th@ou.edu.vn

Với giá trị $p=0$, ta có chuỗi Fibonacci: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55...
0, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128...

Với giá trị $p=1$, ta có chuỗi Fibonacci: xây dựng như sau :

$$H(p, n) = \begin{bmatrix} \bar{H}(p, n-p-1) & 0F(p, n-p-2) \times F(p, n-p-2) \\ 0[F(p, n-p-1) - F(p, n-p-1)] \times F(p, n-p-1) & \hat{H}(p, n-p-2) \\ \hat{H}(p, n-p-1) & 0[F(p, n-p-1) - F(p, n-p-2)] \times F(p, n-p-2) \\ 0[F(p, n-p-2) - F(p, n-p-3)] \times F(p, n-p-1) & \tilde{H}(p, n-p-2) \end{bmatrix}$$

$$\text{với } n \leq p, H^{(p, n)} = [1], H^{(p, n+1)} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix},$$

$\bar{H}^{(p, n-p-1)}$ là một ma trận chữ nhật thu được bằng cách lấy $F(n, n-p-2)$ dòng của ma trận $H^{(p, n-p-1)}$, tức là :

$$\bar{H}_{i,j}^{(p, n-p-1)} = H_{i,j}^{(p, n-p-1)}$$

với $i=1, \dots, F(p, n-p-2), j=1, \dots, N$, và $\hat{H}^{(p, n-p-1)}$ là ma trận chữ nhật thu được bằng cách lấy $F(p, n-p-1) - F(p, n-p-2)$ dòng của ma trận $H^{(p, n-p-1)}$. Ma trận :

$$\hat{H}_{i,j}^{(p, n-p-2)} = H_{i,j}^{(p, n-p-2)}$$

với $i=1, \dots, F(p, n-p-1) - F(p, n-p-2), j=1, \dots, N$ và

$$\tilde{H}_{i,j}^{(p, n-p-1)} = H_{i,j}^{(p, n-p-1)}$$

với $i=N-F(p, n-p-1) - F(p, n-p-2)+1, \dots, N; j=1, \dots, N$

Và $\tilde{H}_{i,j}^{(p, n-p-1)} = H_{i,j}^{(p, n-p-2)}$ với $i = N - F(p, n-p-2) - F(p, n-p-3) + 1, \dots, N; j=1, \dots, N$ và $0_{q \times r}$ là một ma trận zero có cấp là $(q \times r)$. Cho vector cột x có kích thước là N , ma trận chuyển đổi Fibonacci-Haar của là: $t = H^{(p, n)}x$. Chuỗi p được dùng để nhúng watermark là một khóa an toàn cho phương pháp này. Ví dụ, với phần tử có

giá trị là 256, thì nó chính là phần tử có vị trí thứ 46 của chuỗi 24, và là phần tử ở vị trí thứ 66 của chuỗi $p=45$ và là phần tử thứ 9 của chuỗi $p=0$. Với ảnh có kích thước là $N \times N$, với N là số Fibonacci thì ta có các subband như sau :

LL : $N_{n-1} \times N_{n-1}$ pixels

LH : $N_{n-1} \times N_{n-p-1}$ pixels

HL : $N_{n-p-1} \times N_{n-1}$ pixels

HH : $N_{n-p-1} \times N_{n-p-1}$ pixels

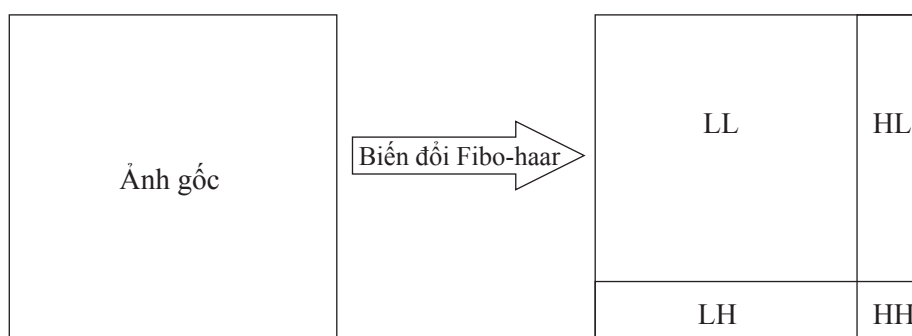
với N_{n-1} là số đứng trước N trong chuỗi số p và N_{n-p-1} là số có vị trí $p-1$ trước N trong chuỗi

Với ảnh có kích thước 256×256 pixels được phân đoạn bằng chuỗi $p=24$, ta có kích thước của 4 subbands như sau: LL: 235×235 , LH: 235×21 , HL: 21×235 , và HH : 21×21

1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15, 16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,28,31, 35,40,46,53,61,70,80, 91,103,116,130,145, 161,178,196,215,235,256,..

Minh họa tỷ lệ phân đoạn ở mức một của thuật toán Fibonacci-Haar (Hình 2.1)

Hình 2.1 : Minh họa phân đoạn Fibonacci –Haar



III. KỸ THUẬT LIFTING

Kỹ thuật Lifting được giới thiệu lần đầu tiên vào năm 1994 bởi Swelden [1]. Phương pháp này dựa trên nền tảng của biến đổi Wavelet nhưng không sử dụng các khái niệm giãn nở (dilatation) và dịch chuyển (translation). Lifting được sử dụng trong thuật toán nén ảnh JPEG2000 [2]. Theo Sweldens, kỹ thuật Lifting hoạt động như sau: từ một tín hiệu có chiều dài $2n$, ta có thể thu về được một tín hiệu xấp xỉ và một tín hiệu chi tiết, cả hai với chiều dài n . Dưới đây là quá trình phân đoạn tín hiệu và quá trình dựng lại tín hiệu từ quá trình phân đoạn :

Quá trình phân đoạn: bao gồm 3 bước

1. Ta chia tín hiệu s_j thành hai tín hiệu, một phần tín hiệu $even_{j-1}$ chứa đựng các mẫu tín hiệu lẻ và một phần tín hiệu odd_{j-1} chứa đựng các mẫu tín hiệu chẵn. Ta có:

$$(odd_{j-1}, even_{j-1}) := Split(s_j)$$

2. Ta định nghĩa một toán tử dự đoán, ký hiệu P cho phép dự đoán các mẫu lẻ từ các mẫu chẵn:

$$d_{j-1} = odd_{j-1} - P(even_{j-1})$$

3. Ta định nghĩa một toán tử cập nhật U cho phép bảo toàn trên một phần tín hiệu trung bình của tập hợp. Bắt đầu các bước lặp trên các tín hiệu ban đầu, S_{j-1} là một tín hiệu xấp xỉ từ S_j với tỷ lệ $j-1$ và d_{j-1} là một tín hiệu chi tiết với tỷ lệ $j-1$:

$$S_{j-1} = even_{j-1} + U(odd_{j-1})$$

Quá trình dựng lại : quá trình lifting là thuận nghịch, quá trình ngược bao gồm 3 bước

1. Ta thu lại tín hiệu chẵn ban đầu bằng cách nghịch đảo toán tử cập nhật:

$$even_{j-1} = S_{j-1} - U(odd_{j-1})$$

2. Ta đã biết các mẫu tín hiệu chẵn và toán tử dự đoán P , ta chỉ cần nghịch đảo toán tử trong quá trình xây dựng:

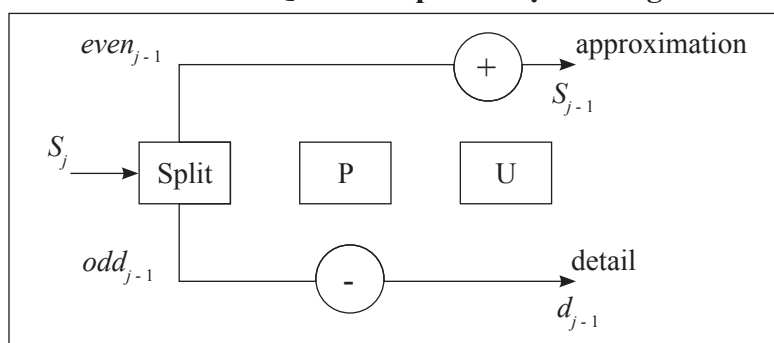
$$odd_{j-1} = odd_{j-1} - P(even_{j-1})$$

3. Ta nhóm lại tập hợp các tín hiệu chẵn và lẻ :

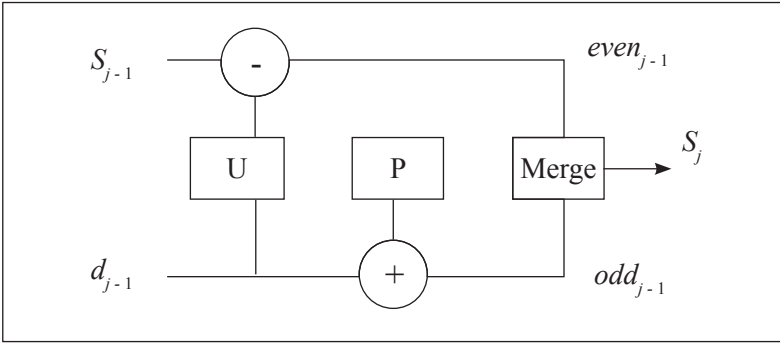
$$S_j = Merge(odd_{j-1}, even_{j-1})$$

Thuật toán phân đoạn và dựng lại tín hiệu được miêu tả qua hình 3.1 và 3.2 :

Hình 3.1 : Quá trình phân đoạn Lifting



Hình 3.2 : Quá trình xây dựng lại Lifting



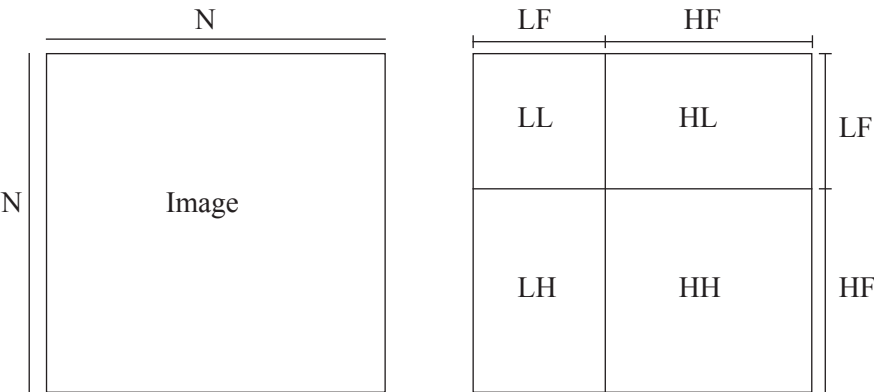
IV. PHÂN ĐOẠN ẢNH BẰNG PHƯƠNG PHÁP XÁC SUẤT KẾT HỢP KỸ THUẬT LIFTING

Hạn chế của phương pháp Fibonacci – Haar trong việc lựa chọn một khóa p phù hợp với kích thước ảnh và chuỗi số Fibonacci. Một hạn chế nữa là thuật toán này chỉ có thể áp dụng cho ảnh vuông kích thước $N \times N$ pixels. Với ảnh có kích thước 256×256 , ta không thể chọn khóa $p=1$ hay $p=2$ vì số 256 không nằm trong dãy số Fibonacci tương ứng. Hơn nữa với thuật toán đã trình bày, hacker hoàn toàn có thể tính toán và dự đoán chính xác tỷ lệ phân đoạn ảnh ở các mức dựa vào dãy số Fibonacci. Cho nên về độ an toàn và bảo

mật thông tin, chúng tôi không đánh giá cao thuật toán này.

Hoàn toàn dựa vào ý tưởng của thuật toán Fibonacci-Haar, chúng tôi đề xuất một thuật toán phân đoạn ảnh theo tỷ lệ khác với phân đoạn wavelet (50% tín hiệu). Với ảnh có kích thước $N \times M$. Ta sử dụng một biến xác suất ngẫu nhiên p để chia tỷ lệ phân đoạn ảnh với điều kiện ràng buộc $p \in [0.2; 0.8]$, để đảm bảo ảnh sẽ không bị quá lệch khi phân đoạn. Ta có các mẫu của LF là từ $0 \dots p$, các mẫu HF là từ $p \dots N$. Hình 4.1 minh họa quá trình phân đoạn ảnh với 4 subbands ở mức 1 với xác suất $p=0.4$

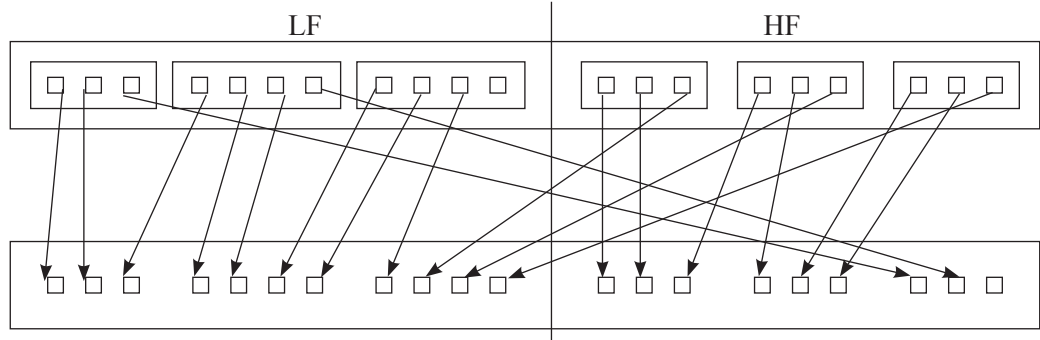
Hình 4.1: Phân đoạn ảnh bằng phương pháp xác suất với tỷ lệ



Để thực hiện biến đổi ảnh và trích xuất cá hệ số của subbands, chúng tôi sử dụng kỹ thuật Lifting như đã trình bày trong mục III. Với mỗi phân hoạch LF và HF,

ta chia nhỏ thành các khối. Số lượng các khối trong mỗi phân hoạch là bằng nhau. Ta tiến hành biến đổi các khối bằng hai phương pháp sau đây:

Hình 4.2 : Sơ đồ phân đoạn ảnh bằng khóa xác suất



Phương pháp 1: Cho một hệ số LF

Mỗi hệ số của khối sẽ được biến đổi để đạt được : một hệ số LF, phần còn lại sẽ là các hệ số HF. Hệ số LF là giá trị trung bình của tất cả các hệ số của khối. Hệ số của HF thu được bằng cách trừ hệ số trung bình với hệ số LF.

Để biến đổi một vector $(a,b,c) \rightarrow (a',b',c')$, ta có:

$$\begin{cases} a' = (a+b+c)/3 \\ b' = b - a' \\ c' = c - a' \end{cases}$$

với a' là hệ số của LF
 b' và c' là các hệ số của HF

Phương pháp 2: Cho một hệ số HF

Phương pháp biến đổi này cho một hệ số HF, phần còn lại là các hệ số LF. Hệ số HF được tạo ra bằng cách trừ đi hệ số cuối cùng của khối cho hệ số trung bình của khối. Mỗi hệ số LF thu được bằng

cách trừ đi hệ số HF cho mỗi hệ số của khối tương ứng.

Để biến đổi một vector $(a,b,c) \rightarrow (a',b',c')$, ta có:

$$\begin{cases} c' = c - (a+b+c)/3 \\ a' = a - c' \\ b' = b - c' \end{cases}$$

với a',b' là các hệ số của LF
 c' là các hệ số của HF

Hình 4.2 mô tả sơ đồ phân đoạn một vector bằng 1 khóa xác suất . Vector này sẽ được chia làm 2 phân hoạch LF và HF dựa vào . Mỗi phân hoạch sẽ được chia làm nhiều khối khác nhau. Ta áp dụng hai phương pháp để trích xuất các hệ số từ các khối để thu được một vector biến đổi.

Để làm rõ hơn quá trình biến đổi, chúng tôi đưa ra một tín hiệu gồm 12 mẫu và được sắp xếp trong một bảng như hình 4.3 và áp dụng phương pháp phân đoạn bằng xác suất.

Hình 4.3 : Một tín hiệu gồm 12 mẫu

5	7	9	12	4	8	22	15	18	12	9	1
---	---	---	----	---	---	----	----	----	----	---	---

Ta chọn một xác suất ngẫu nhiên với $p = 5/12$, vector được chia làm 2 phân hoạch. Mỗi phân hoạch được chia làm 2 khối như hình 4.4

Hình 4.4 : Phân đoạn tín hiệu bằng khóa $p = 5/12$

LF					HF						
5	7	9	12	4	8	22	15	18	12	9	1
Khối 1			Khối 2		Khối 3			Khối 4			

Ta thu được tín hiệu biến đổi (hình 4.5) bằng cách áp dụng hai phương pháp vừa đề xuất cho mỗi khối. Khối 1 và khối 2 cho ra 2 hệ số HF và 3 hệ số LF. Khối 3 cho 1 hệ LF và hai hệ số HF. Khối 4 cho một hệ số LF và 3 hệ số HF.

Hình 4.5 : Tín hiệu sau khi biến đổi

LF					HF						
3	5	16	15	10	7	0	2	-1	-9	2	-1

Để biến đổi một ảnh, ta áp dụng phương pháp biến đổi theo dòng và theo cột theo từng phân hoạch đã có dựa theo khóa . Sau đó ta áp dụng phương pháp biến đổi ngược theo cột và theo dòng bằng 2 phương pháp trích xuất hệ số.

V. KẾT LUẬN - THẢO LUẬN

Chúng tôi vừa trình bày một phương pháp biến đổi ảnh bằng phương pháp xác suất kết hợp với kỹ thuật Lifting dựa trên ý tưởng thuật toán Fibonacci-Haar. Về mặt lý thuyết thuật toán này đã khắc phục được những hạn chế của thuật toán Fibonacci-Haar. Chúng tôi đang hiện thực phương pháp biến đổi này trên MatLab. Triển vọng tương lai chúng tôi mong muốn kiểm tra khả năng nhúng và thay đổi thông tin của phép biến đổi này trên miền không gian và so sánh độ bảo mật với phép biến đổi thuộc họ X-let (Ridgelet, Bandelet, Wavelet...).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. W. Sweldens, “The lifting scheme: A new philosophy in biorthogonal wavelet construction”, In A. F.Laine and M. Unser, editors, Wavelet Applications in Signal and Image Processing III, page 68-79. Proc. SPIE 2569, 1995.

2. David Taubman, Michael Marcellin, “JPEG2000 Image Compression Fundamentals, Standards and Practice”, Series : The International Series in Engineering and Computer Science, 800 p, ISBN 079237519X, 2002.

3. K. Egiazarian and J. Astola, “Tree-structured haar transform”, Journal

of Mathematical Imaging and Vision, Kluwer Academic Pulishers, vol. 16, no. 3, May 2002.

4. F. Battisti, M. Cancellaro, and M. Carli, “Watermarking and encryption of color images in the Fibonacci domain”, Proc. SPIE, Vol. 6812, 68121C, 2008.

5. F. Battisti, S. Maranò, A. Vaccari, G. Boato, and M. Carli, ”Perceptual data hiding exploiting between-coefficient contrast masking”, Proc. SPIE International Conference on Electronic Imaging 2008, Security, Forensics, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents X, 27-31 January 2008, San Jose, California, USA.

6. Bochner S., Chandrasekharan K. (1949), Fourier Transforms, Princeton University Press

7. N. Ahmed, T. Natarajan, and K. R. Rao, “Discrete Cosine Transform”, IEEE Trans. Computers, 90-93, Jan 1974.

8. Paul S. Addison, The Illustrated Wavelet Transform Handbook, Institute of Physics, 2002, ISBN 0-7503-0692-0

9. E.J. Candès and D.L. Donoho, “Ridgelets : the key to high dimensional intermittency”, Philosophical Transactions of the Royal Society of London A, 357 :2495-2509, 1999.

10. E. J. Candès and D. L. Donoho, “Curvelets - a surprisingly effective nonadaptive representation for

- objects with edges”, In A. Cohen, C. Rabut, and L.L. Schumaker, editors, *Curve and Surface Fitting* : Saint-Malo 1999, Nashville, TN. Vanderbilt University Press , 1999.
11. M. N. Do and M. Vetterli. “Contourlets”, In J. Stoeckler and G. V. Welland, editors, *Beyond Wavelets*. Academic Press, 2003.
12. E. Mammi, **F. Battisti**, M. Carli, A. Neri, and K. Egiazarian, “A spatial data hiding scheme based on generalized Fibonacci sequences”, *Proc. SPIE Defense and Security* 2008, *Mobile Multimedia/ Image Processing, Security, and Applications 2008* , 16 - 20 March 2008 Orlando, Florida USA .
13. **F. Battisti**, M. Cancellaro, M. Carli, G. Boato, and A. Neri, “Watermarking and encryption of color images in the Fibonacci domain”, *Proc. SPIE International Conference on Electronic Imaging 2008, Image Processing: Algorithms and Systems VII*, 27-31 January 2008, San Jose, California, USA.