

KỸ THUẬT ẨN THÔNG TIN TRÊN ẢNH DỰA TRÊN ĐIỀU BIẾN LƯỢNG TỬ VÀ BIẾN ĐỔI CONTOURLET

Dương Minh Đức, Dương Anh Đức

Trường ĐH Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

TÓM TẮT: Trong bài viết này, chúng tôi sử dụng phương pháp điều biến lượng tử để ẩn thông tin trên miền hệ số Contourlet. Contourlet là miền biến đổi mới, có khả năng thu nhận đặc trưng cao, nhưng các kỹ thuật ẩn thông tin dựa trên miền biến đổi này cần ảnh gốc khi trích xuất thông tin (non-blind). Bằng cách nhúng hai giai đoạn, kỹ thuật chúng tôi đề xuất cho phép trích “mù” thông tin và bền vững cao trước một số dạng tấn công.

Từ khóa: ẩn thông tin, biến đổi contourlet, điều biến lượng tử.

1. GIỚI THIỆU

Ngày nay, đồng hành với sự phát triển của Internet, máy tính và các thiết bị kỹ thuật số là yêu cầu ngày càng cao đối với các ứng dụng bảo vệ bản quyền, truyền thông điệp mật, chống sao chép... sử dụng kỹ thuật ẩn thông tin.

Dù có yêu cầu tùy thuộc vào mục tiêu, nhưng hầu hết các ứng dụng dựa trên kỹ thuật này đều phải đảm bảo một số đặc tính: vô hình với người sử dụng; dung lượng ẩn thông tin đủ để chuyển tải nội dung và đảm bảo thực hiện các ràng buộc khác; bền vững trước các biến đổi vô tình hoặc cố ý (tấn công) dữ liệu; bảo mật cao để tránh bị phát hiện...

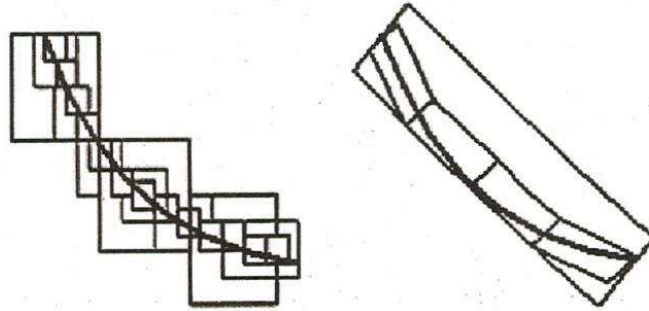
Kỹ thuật ẩn thông tin chia làm hai hướng: ẩn trực tiếp (trên miền không gian – thời gian) và ẩn trên miền biến đổi. Có nhiều miền đặc trưng thường được lựa chọn làm miền ẩn thông tin như: biến đổi rời rạc Cosin (DCT), Fourier (DFT), Wavelet (DWT) [8] ... Trong số đó, các thuật toán trên miền wavelet cho kết quả khá tốt. Nhưng khi biểu diễn ở số chiều cao hơn, có nhiều loại dị biệt mà wavelet biểu diễn không hiệu quả.

Gần đây, dựa trên phân tích đặc trưng thị giác, có một lớp các biến đổi hai chiều mới được đề xuất, và Contourlet là một trong số đó. Điểm khác biệt giữa contourlet và các phép biến đổi tương tự là nó cho phép linh hoạt chọn số hướng ở mỗi mức, với chi phí tính toán thấp.

Đa số các nghiên cứu nhằm ứng dụng Contourlet trong ẩn thông tin đều cần sử dụng ảnh gốc để đối chiếu trong quá trình rút trích thông tin (non-blind watermark). Trong bài viết này, thuật toán đề xuất cho miền Contourlet được vận dụng phối hợp với kỹ thuật QIM (Quantization Index Modulation) nhằm thỏa mãn các ràng buộc về độ bền vững trước tấn công, dung lượng nhúng ... đồng thời đạt được yêu cầu trích “mù” thông tin.

2. BIẾN ĐỔI CONTOURLET

Gần đây, có một lớp các miền biến đổi mới – gọi chung là X-let, được xây dựng dựa trên phân tích đặc trưng thị giác: khoanh vùng (localized), đa mức (multiscale), có định hướng (directional/oriented). Contourlet do nhóm tác giả Martin Vetterli, Minh N. Do [1] đề xuất là một phép biến đổi hai chiều trong số đó. Điểm khác biệt giữa contourlet và các biến đổi tương tự là nó cho phép linh hoạt chọn số hướng ở mỗi mức, với chi phí tính toán thấp ($O(N)$ cho ảnh N -pixels). Biến đổi contourlet đã đạt kết quả khá tốt với ứng dụng khử nhiễu, rút trích đặc trưng ảnh...

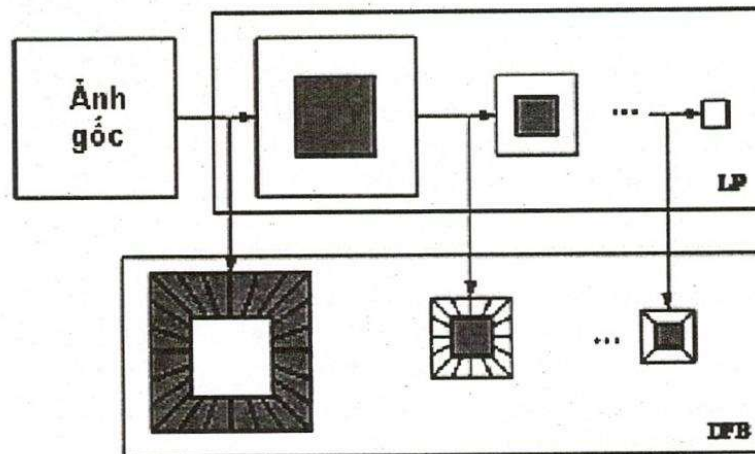


Hình 1. Biểu diễn bằng wavelet (trái) và contourlet (phải) [1]

Biến đổi contourlet dùng một dàn lọc hai chiều, phân tích ảnh thành các subband có hướng tại nhiều mức. Tại mỗi mức là sự kết hợp giữa một tháp Laplacian và một dàn lọc có hướng. Nhờ cấu trúc lọc ngói này mà các bước phân tích độc lập với nhau, mỗi mức sẽ có một số hướng khác nhau (là lũy thừa của 2). Đặc trưng này khiến cho contourlet là biến đổi có thể đạt được độ linh hoạt cao với một chi phí tính toán chấp nhận được.

Quá trình được mô tả cụ thể như sau:

Biến đổi contourlet gồm hai phân tích: phân tích đa mức (multi-scale) và phân tích có hướng (directional).



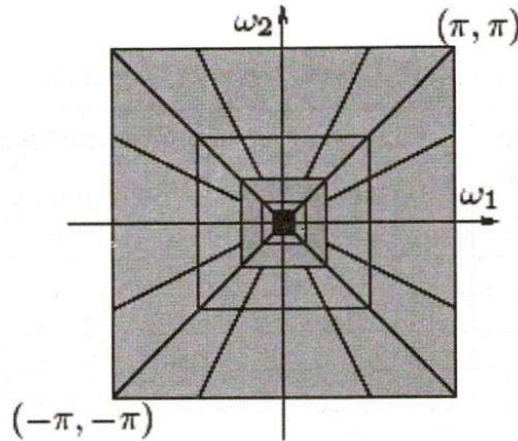
Hình 2. Dàn lọc Contourlet [1]

Ở mức (scale) đầu tiên, ảnh đầu vào được phân tích qua hai bước.

- *Bước 1:* tháp Laplacian LP được dùng để thu giữ những điểm rời rạc. LP phân tích ảnh đầu vào thành 1 ảnh con “thô” (coarse sub-image L) và một tập các ảnh band-pass.

- *Bước 2:* dàn lọc có hướng DFB (directional filter bank) được dùng để nối các điểm rời rạc thành các cấu trúc dạng đường thẳng (linear structure) theo nhiều hướng. DFB phân tích các ảnh band-pass ở bước 1 thành các ảnh con, “chồng” lên nhau.

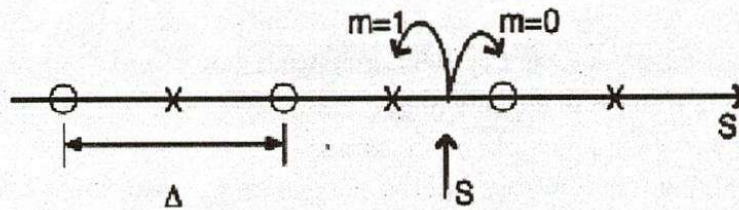
Ở các mức tiếp theo, quá trình phân tích như bước 1 và 2 sẽ được lặp lại với đầu vào của mức này là đầu ra của mức trước đó. Kết quả sau cùng là các phân tích LP và DFB.



Hình 3. Một phân hoạch thường dùng của biến đổi contourlet [1]

3. THUẬT TOÁN AN THÔNG TIN ĐIỀU BIẾN LƯỢNG TỬ - QIM

Nhóm nghiên cứu Brian Chen, G.W. Wornell [2] đã giới thiệu một kỹ thuật mới trên lớp hệ số được gọi là dither modulation code hay QIM (Quantization Index Modulation) code, được mô tả như trong hình 4.



Hình 4. Nhúng 1 bit/mẫu bằng QIM

Ý tưởng chính của kỹ thuật này là nhúng 1 bit trên 1 mẫu tín hiệu theo một bộ lượng tử (dither-quantizer). Giá trị max và min của hệ số, bảng lượng tử, số tập con ... được xác lập tùy thuộc vào tính chất của loại hệ số thực hiện QIM.

Ví dụ: với giá trị các hệ số thuộc $[0..300]$ và bước nhảy Δ là 60, số tập con: $300/60 = 5$. Ta có:

Bảng 1. Lượng tử hóa các hệ số

| Tập con | Giá trị | Giá trị hệ số điều chỉnh khi | |
|---------|---------------|------------------------------|-------------|
| | | Nhúng bit 1 | Nhúng bit 0 |
| 1 | 0 60 | 15 | 45 |
| 2 | 61 120 | 75 | 105 |
| 3 | 121 180 | 135 | 165 |
| 4 | 181 240 | 195 | 225 |
| 5 | 241 300 | 255 | 285 |

Bảng lượng tử này cũng sẽ được sinh tại đầu trích thông tin, khi được cung cấp giá trị bước nhảy Δ và phạm vi dao động các hệ số.

Bảng 2. Bảng lượng tử để giải mã

| Tập con | Giá trị các hệ số nằm trong khoản | |
|---------|-----------------------------------|--------------|
| | Trích bit 1 | Trích bit 0 |
| 1 | 0..... 30 | 30..... 60 |
| 2 | 60..... 90 | 90..... 120 |
| 3 | 120..... 150 | 150..... 180 |
| 4 | 180..... 210 | 210..... 240 |
| 5 | 240..... 270 | 270..... 300 |

4. MÔ HÌNH ẢNH THÔNG TIN

4.1. Quá trình nhúng thông tin

Để tăng khả năng chống tấn công, chúng tôi tiến hành nhúng thông tin làm hai giai đoạn. Trong cả hai giai đoạn, thuật toán nhúng được dùng đều là QIM.

- *Giai đoạn 1:* thực hiện biến đổi Contourlet, chọn ra subband có năng lượng lớn nhất (theo [7], đây là các hệ số dùng cho watermark tốt nhất). Với các hệ số trong subband này, thuật toán tiến hành chọn các hệ số nhúng nhằm đảm bảo các ràng buộc về:

- (i) “*tính láng giềng*” của các hệ số Contourlet (theo [1])
- (ii) khả năng phục hồi trong quá trình trích thông tin
- (iii) tính trong suốt của ảnh nhúng ,..

Gọi hệ số chọn nhúng là hệ số “*khả thi*”.

- *Giai đoạn 2:* nhúng trên low-pass của ảnh kết quả từ giai đoạn 1.

Trong hai giai đoạn này, giá trị Δ của QIM khác nhau, tùy thuộc vào đặc trưng của hệ số nhúng.

Cách tính năng lượng của subband như sau :

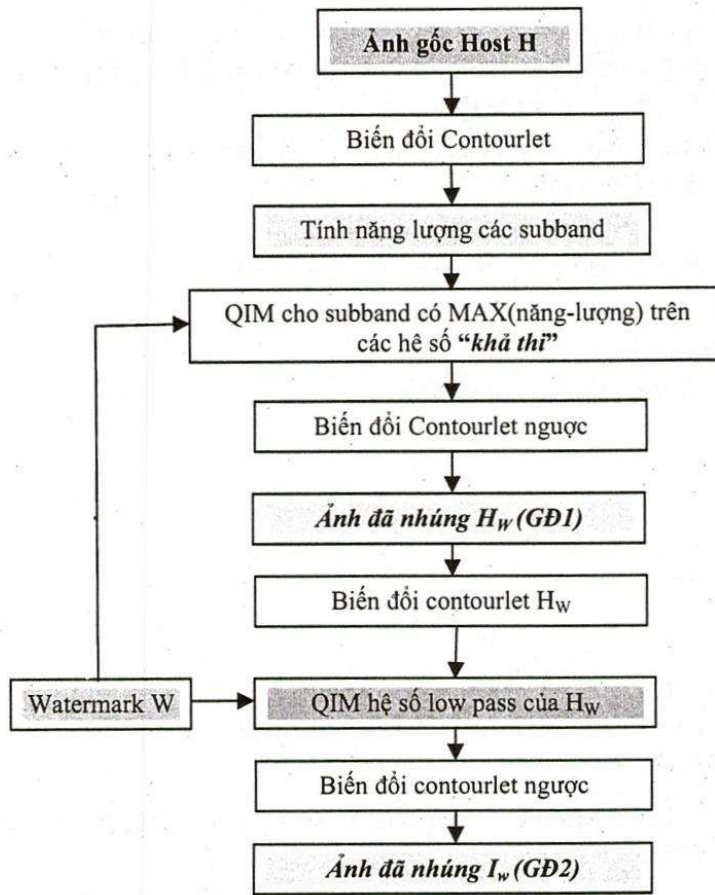
- o Gọi J là số mức phân tích ở bước 1 ($j=1, 2, \dots, J$), và $k=0, 1, \dots, 2^{h_j} - 1$ (h_j là số hướng tại mức j). Gọi $d_{j,k}$ là subband thứ k tại mức j .
- o Năng lượng của subband: $E_{j,k}$:

$$E_{j,k} = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \left| d_{j,k}^{(l)_j}(m, n) \right|^2 \quad (1)$$

với M, N là kích thước của $d_{j,k}$

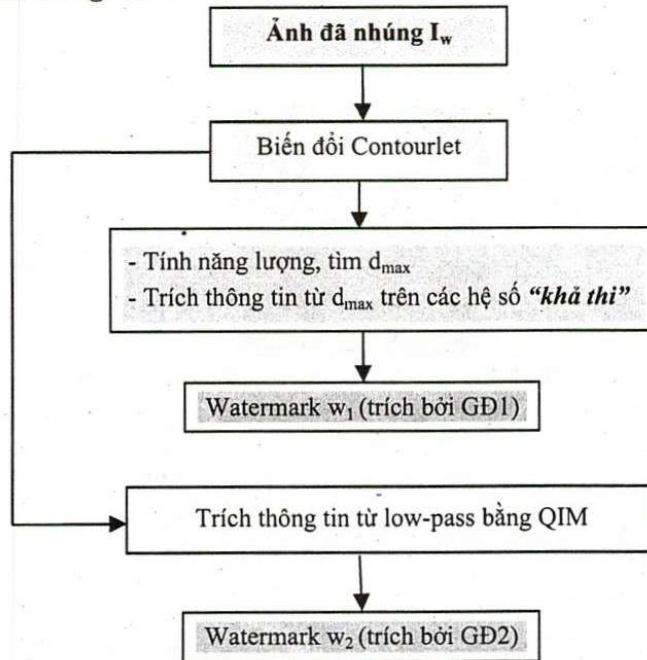
d_{\max} là subband có năng lượng lớn nhất: $\rightarrow d_{\max} = \max(E_{j,k})$ sẽ được chọn để nhúng.

Dưới đây là sơ đồ nhúng thông điệp W vào ảnh gốc H :



Hình 5. Quá trình nhúng thông tin [5,6]

4.2. Quá trình trích thông tin



Hình 6. Quá trình trích thông tin [5,6]

Trong quá trình nhúng thông tin, chúng tôi tiến hành làm hai giai đoạn, theo hai cách khác nhau, nhằm đảm bảo: nếu không trích được thông tin tại giai đoạn 1 (w_1), thì lượng thông tin tồn tại trong giai đoạn 2 vẫn cho phép rút được thông tin (w_2).

Chúng tôi đánh giá thuật toán bằng hệ số PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) và hệ số tương quan chuẩn NC (Normalise Correlation).

$$PSNR = 10 \log \frac{NxNx255^2}{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (I_0(i, j) - I_w(i, j))^2} \quad (2)$$

với I_0 là ảnh gốc ($N \times N$) và I_w là ảnh sau khi nhúng.

và

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q [W(i, j)W'(i, j)]}{\sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q [W(i, j)]^2} \quad (3)$$

với W là thông điệp gốc và W' là thông điệp trích bằng thuật toán.

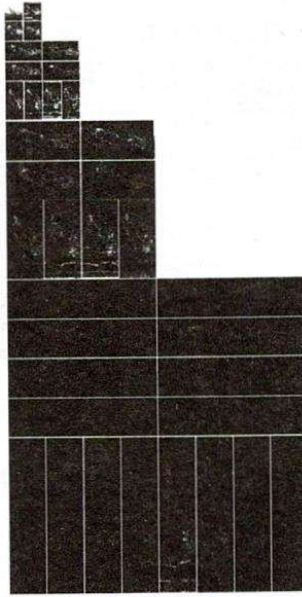
5. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Chúng tôi sử dụng toolbox bằng Matlab để thực hiện phân tích và tái tạo contourlet. Hệ thống cài đặt thử nghiệm trên ảnh mức xám.

Cụ thể, một ảnh 512×512 pixel sẽ dùng để ảnh nhị phân 32×32 . Ảnh gốc được phân tích bằng Pyramidal Directional Filter Bank theo 4 mức, số hướng tại mỗi mức lần lượt là: **0, 3, 3** và **4** (từ thô đến mịn dần), với dàn lọc 'pkva'. Khi đó, tập các hệ số contourlet có được như sau:



Hình 7a. Ảnh gốc Barbara (512x512)



Hình 7b. Biểu diễn phân tích Contourlet Barbara



Hình 8. Thông tin ẩn W - Ảnh nhị phân (32x32)



- $C\{1\}$: lowpass subband (1 ma trận số thực 32×32)
- $C\{2\}\{1\}, C\{2\}\{2\}, C\{2\}\{3\}$: 3 highpass subband ($[32 \times 32] \times 3$)
- $C\{3\}\{1\}, \dots, C\{3\}\{8\}$: 8 directional subband tại mức mịn hơn ($[32 \times 64] \times 4$ và $[64 \times 32] \times 4$)
- $C\{4\}\{1\}, \dots, C\{4\}\{8\}$: 8 directional subband tại mức mịn hơn ($[64 \times 128] \times 4$ và $[128 \times 64] \times 4$)
- $C\{5\}\{1\}, \dots, C\{5\}\{16\}$: 16 directional subband tại mức mịn hơn ($[64 \times 256] \times 8$ và $[256 \times 64] \times 8$) Phương pháp ẩn được dùng để so sánh với thuật toán là biến đổi DCT của Wang [4].

Các tấn công sử dụng để kiểm chứng: nén JPEG, nhiễu và một số biến đổi hình học. Kết quả như sau:

















Bảng 3. Sai số PSNR so sánh 2 phương pháp ẩn







| Contourlet | | Wang |
|-------------|-------------|-------|
| Giai đoạn 1 | Giai đoạn 2 | |
| 60.9 | 49.78 | 39.21 |

Bảng 4. Hệ số tương quan chuẩn NC của watermark sau 2 giai đoạn trích:

| Giai đoạn 1 | Giai đoạn 2 |
|---|--|
|  0.997817 |  1.00 |

Bảng 5. Hệ số tương quan chuẩn NC sau một số dạng tấn công:

| Loại tấn công | NC của w1 | NC của w2 |
|--|---|---|
| Nén JPEG QF=80 |  0.38 |  1 |
| Nén JPEG QF=50 |  0.32 |  0.99 |
| Nhiều Gauss 0.5% |  0.95 |  1.0 |
| Nhiều Gauss 1% |  0.59 |  0.99 |
| Lọc thông cao (10 pixel) |  0.97 |  0.47 |
|  Crop 50% |  0.47 |  0.52 |
|  Remove ngẫu nhiên |  0.96 |  0.96 |

| | | |
|--|---|---|
|  Quay 1°, resize 512x512 |  0.40 |  0.51 |
|  Invert |  0.99 |  1.0 |

6. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, mô hình ẩn thông tin xây dựng dựa trên việc phối hợp QIM trên miền contourlet. Bằng cách này, kỹ thuật cho chất lượng ảnh nhúng khá tốt (PSNR > 37dB), đặc biệt cho phép trích “mùi” thông tin, đồng thời tăng bền vững cao hơn hẳn trước một số tấn công như: nén JPEG, nhiễu, lọc thông, remove,... khi so sánh với các kết quả nghiên cứu trước [4]. Đây là một điểm đáng ghi nhận và cũng là đóng góp của nhóm chúng tôi. So với [5], thuật toán đề xuất đạt được kết quả tốt hơn trong hầu hết các dạng tấn công. Tuy nhiên, còn nhiều vấn đề cần được tiếp tục nghiên cứu cải tiến, thuật toán còn chưa mạnh mẽ trước các tấn công bằng cách biến đổi hình học.

Hướng nghiên cứu tiếp theo của chúng tôi là tìm ra sự phối hợp các thuật toán nhúng khác nhau, trên các hệ số Contourlet có đặc trưng khác nhau... để cải thiện khả năng chống các tấn công còn lại.

A DATA HIDING METHOD BASED ON QIM AND CONTOURLET TRANSFORM

Duong Minh Duc, Duong Anh Duc
 University of Science, VNU-HCM

ABSTRACT: This paper proposes a scheme that combines QIM and contourlet in image watermarking. Contourlet is a new transform that able to capture the directional edges and contours superior, but it also requires host image when extracting watermark. Through

two embedding stages, our algorithm allows blind extraction, highly robust for different attacks on the watermarked image.

Keywords: data hiding, contourlet, QIM.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Martin Vetterli, Minh N. Do, *The Contourlet Transform An Efficient Directional Multiresolution Image Representation*, IEEE Transactions on image processing, 2003.
- [2]. Chen B and Wornell G.W. *Digital Watermarking and information embedding using dither modulation*, In IEEE Workshop on Multimedia Signal Processing, 1998.
- [3]. Chandramouli R, Graubard Benjamin and Richard Collin R., *A multiple description framework for oblivious watermarking*”, Proceedings of Security, Watermarking and Multimedia, 2001.
- [4]. Wang Y, Alan P., *Blind image data hiding based on self reference*, Pattern Recognition Letters 25(2004), 1681-1689
- [5]. Dương Minh Đức, Dương Anh Đức, *Kỹ thuật ẩn thông tin trên ảnh dựa trên phép biến đổi hai chiều*, Kỷ yếu Hội thảo khoa học quốc gia Lần III – Nghiên cứu cơ bản và ứng dụng CNTT, Nha Trang, Việt Nam, 2007 .
- [6]. B.Chandra Mohan, S.Srinivas Kumar, *Robust Digital Watermarking Scheme using Contourlet Transform*, International Journal of Computer Science and Network Security, vol.8 No.2, Feb 2008, pp 43-51.
- [7]. Cox I., Kilian J, Leighton F.T, *Secure Spread Spectrum watermarking for multimedia*, IEEE Transactions Image Processing 1997.
- [8]. Dương Minh Đức, Dương Anh Đức, *Một số kỹ thuật nâng cao hiệu quả ẩn thông tin trong ảnh số*, Kỷ yếu Hội thảo quốc gia Một số vấn đề chọn lọc của CNTT và Truyền thông Lần VIII, tr. 100-107, Đà Nẵng, Việt Nam, 2004.