

KỸ THUẬT THỦY VÂN THUẬN NGHỊCH VÀ ỨNG DỤNG BẢO VỆ BẢN QUYỀN CHO ẢNH 3D

Nguyễn Cao Hoài Phương⁽¹⁾

(1) Trường Đại học Thủ Dầu Một

Ngày nhận bài 02/12/2021; Ngày gửi phản biện 05/12/2021; Chấp nhận đăng 10/01/2022

Liên hệ Email: phuongnch@tdmu.edu.vn

<https://doi.org/10.37550/tdmu.VJS/2022.01.274>

Tóm tắt

Hiện nay, công nghệ 3D (three-dimensional) phát triển mạnh mẽ đáp ứng tốt nhu cầu giải trí của con người ví dụ như ảnh 3D, phim ảnh trên kính thực tế ảo, tivi 3D, ... Các tác giả của các tác phẩm này cũng cần được bảo vệ bản quyền khi được mang ra thị trường. Do đó, thủy vân số được xem là một công cụ hữu hiệu để bảo vệ cơ sở dữ liệu trên các môi trường trao đổi không an toàn. Từ thực tế đó, bài báo trình bày kỹ thuật xử lý ảnh 3D (three-dimensional) gồm: kỹ thuật tái hiện lại ảnh 3D và kỹ thuật thủy vân thuận nghịch dựa trên phương pháp biến đổi cosin rời rạc được kết hợp với mã hóa mẫu tin thủy vân giúp cho khả năng nhúng và tách mẫu tin thủy vân đạt chất lượng. Theo (Lei Chen, 2020) tấn công thường gặp là tấn công nén JPEG (Joint Photographic Experts Group) để đánh giá hiệu quả của việc giấu thông tin. Kết quả đánh giá cho thấy chất lượng ảnh vẫn còn tốt thể hiện ở giá trị tỉ lệ tín hiệu cực đại trên nhiễu trên 35dB và việc tách ẩn thủy vân vẫn đảm bảo ở chỗ tỉ lệ bit lỗi dưới 1,5% mặc dù tấn công nén JPEG được giảm xuống với tỉ lệ thấp nhất là 65%.

Từ khóa: ảnh 3D, ẩn thông tin, bảo vệ bản quyền, nén ảnh, thủy vân thuận nghịch

Abstract

A REVERSIBLE WATERMARKING TECHNIQUES AND APPLYING COPYRIGHT PROTECT OF 3D IMAGES

Currently, 3D (three-dimensional) technology has developed strongly to meet people's entertainment needs, such as 3D images, movies on virtual reality glasses, 3D televisions, etc. Author of these works also needs to be protected by copyright when it is brought to the market. Therefore, digital watermarking is considered an effective tool to protect databases on insecure exchange environments. From that fact, the paper presents 3D image processing techniques (three-dimensional) including: 3D image reconstruction technique and reversible watermarking technique based on discrete cosine transform method combined with code Watermarking patternization helps to embed and separate quality watermark records. According to (Lei Chen, 2020), a common attack is a JPEG (Joint Photographic Experts Group) compression attack to

evaluate the effectiveness of information hiding. The evaluation results show that the image quality is still good, reflected in the maximum signal-to-noise ratio value of over 35dB and the watermark separation is still guaranteed in that the bit error rate is less than 1.5% despite the attack. JPEG compression is reduced to as low as 65%.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, nhu cầu chuyển đổi số tại Việt Nam là cấp thiết hơn bao giờ hết, cùng với sự gia tăng theo từng giây các hình ảnh số được lan truyền trên mạng internet. Hơn thế nữa, dựa vào công nghệ ngày càng nhiều hình ảnh hoặc đoạn phim 3D (three-dimensional) được tạo ra để phục vụ nhu cầu giải trí hoặc tái hiện thực nội dung cho ngành kiến trúc. Đặc biệt, kỹ thuật tái hiện hình ảnh 3D DIBR (depth-image-based rendering) được xem xét (Lei Chen, 2020; Fehn, 2004; Lin and Wu., 2011; Mao và cs., 2013) với một ảnh số trung tâm và một bản đồ độ sâu do nhà cung cấp nội dung tạo ra, chúng ta có thể tổng hợp nên góc nhìn bên trái và góc nhìn bên phải của bức ảnh 3D.

Tuy nhiên, việc chia sẻ mạnh mẽ thông tin trên không gian mạng thì những bức ảnh số càng dễ bị đánh cắp, hoặc thay đổi nội dung bởi các phần mềm khi người dùng truy cập vào các kênh không an toàn. Chính vì thế, việc bảo vệ bản quyền sở hữu cho tác giả được đặt ra, mà thủy vân thuận nghịch là một kỹ thuật đáp ứng được nhu cầu trên.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Kỹ thuật giấu tin thuận nghịch

Ẩn hay giấu thông tin (hay ẩn dữ liệu) (Cox và cs., 2008) là một kỹ thuật che giấu hoặc giữ bí mật cho sự tồn tại của thông tin đã được quan tâm từ rất lâu. Trong đó, thủy vân thuận nghịch cũng là kỹ thuật ẩn thông tin đang được quan tâm nhiều hiện nay vì tính ẩn và tính bền vững là hai đặc trưng quan trọng trong các ứng dụng giấu tin trên ảnh số hay đánh dấu bản quyền ảnh số mà vẫn đảm bảo chất lượng ảnh.

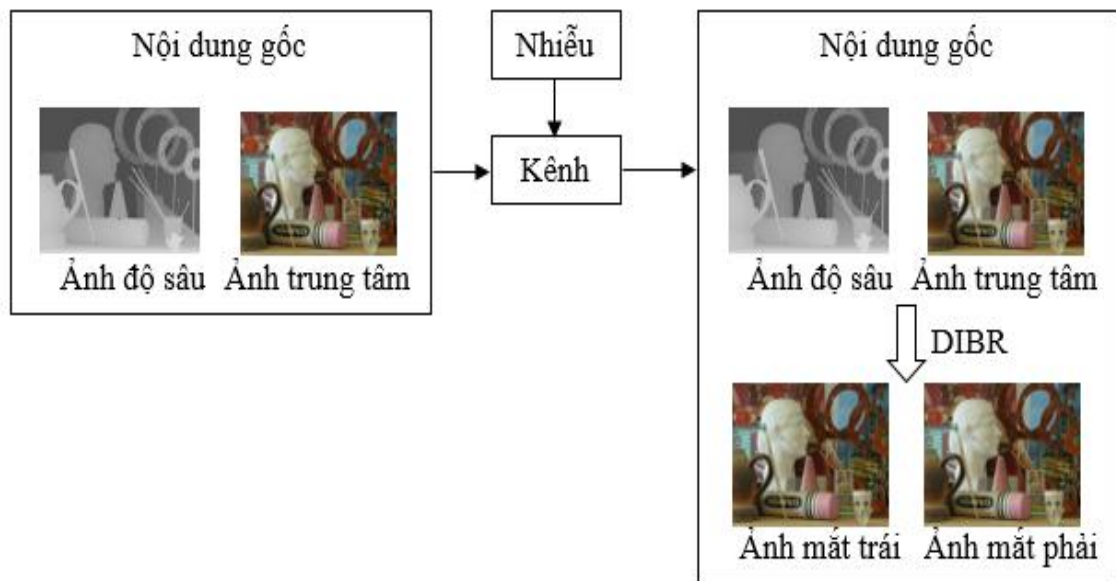
Từ thực tế trên, kỹ thuật thủy vân thuận nghịch trên ảnh 3D BIDR (Lin and Wu., 2011; Kim và cs., 2018; Lei Chen, 2020) được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm. Cụ thể, theo nghiên cứu của Lin and Wu (2011) đề xuất một sơ đồ thủy vân mù (blind watermarking) để giải quyết vấn đề bảo vệ quyền sở hữu cho ảnh 3D BIDR, tác giả coi trọng việc xác định vị trí nhúng thủy vân và sử dụng kỹ thuật trải phổ cải tiến để tiến hành nhúng thủy vân trên các khối DCT (Discrete cosine Transform) lượng tử. Với mô hình này, việc bảo vệ ẩn thủy vân tốt với tấn công nén JPEG và cộng nhiễu, tuy nhiên với tấn công hình học cục bộ thì còn hạn chế.

Ngoài ra, theo Kim và cs (2018) đề xuất phương pháp sử dụng hai thuộc tính: điểm ảnh di chuyển ngang và khối không bị biến dạng khi thực hiện DIBR. Một mẫu tin được nhúng vào miền curvelet để chống lại tấn công hình học khi thực hiện DIBR và ẩn thủy vân được nhúng vào miền biến đổi cosin một chiều (1D-DCT).

2.2. Kỹ thuật biểu diễn ảnh 3D

Ảnh 3D (Toriwaki và cs., 2009) là ảnh mà bản thân nó có chứa nội dung về chiều sâu. Trong đó, các điểm ảnh ngoài các giá trị về màu sắc, tọa độ theo hai trục cơ bản còn có giá trị về chiều sâu. Trong nghiên cứu, phương pháp để hiện thực hóa nội dung ảnh 3D có thể kể đến của (Lin và cs., 2011; Kim và cs., 2012; Lei Chen, 2020; Kim và cs., 2018; Guan và cs., 2019) dựa trên ảnh chiều sâu (depth image) của ảnh 2D màu chính (center image).

Hình 1 biểu diễn sơ đồ thực hiện kỹ thuật biểu diễn ảnh 3D, trong đó kết quả cuối cùng nhận được sẽ là một hình ảnh cho mắt trái và một hình ảnh cho mắt phải. Trong suốt quá trình truyền tải ảnh độ sâu và ảnh trung tâm sẽ bị thêm vào bởi kênh nhiễu.



Hình 1. Sơ đồ biểu diễn ảnh 3D bằng kỹ thuật DIBR

2.3. Phương pháp đánh giá kết quả thực nghiệm

Ảnh được thêm ẩn thủy vân được hiểu là nhiễu sẽ được thêm vào, do đó sẽ ảnh hưởng đến chất lượng ảnh. Chính vì thế, bài báo này sẽ đánh giá kết quả dựa trên hai phương pháp sau:

- Phương pháp PSNR (peak signal-to-noise ratio) tính tỉ lệ tín hiệu cực đại trên nhiễu ảnh hưởng đến.

- Phương pháp tỉ số bit lỗi BER (Bit error rate). Để tìm ra tỷ lệ sai số giữa thủy vân được nhúng và thủy vân tách, tỷ lệ lỗi bit được sử dụng. BER được xác định bởi công thức:

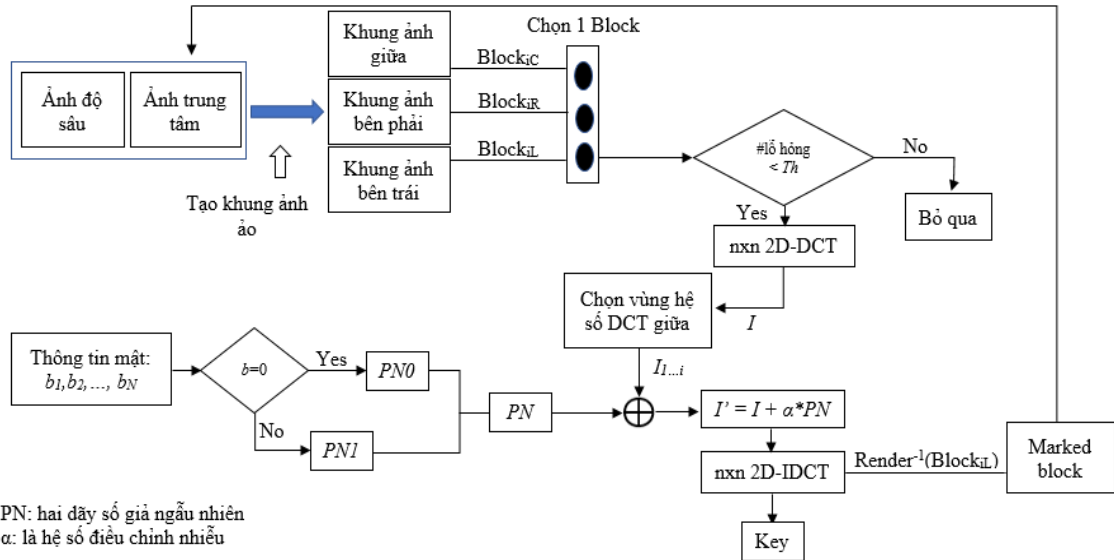
$$BER = \frac{100 * \sum_{n=1}^K \begin{cases} 0, w(n) = w'(n) \\ 1, w(n) \neq w'(n) \end{cases}}{K}$$

Với K là số bit của bản tin thủy vân. $w(n)$, $w'(n)$ lần lượt là bit của bản tin thủy vân gốc W và bản tin thủy vân W'.

3. Đề xuất phương pháp thủy vân bằng kỹ thuật thủy vân thuận nghịch trên ảnh 3D

Ý tưởng của phương pháp đề xuất là bản tin thủy vân được nhúng vào ảnh gốc trung tâm sau khi thực hiện bước tạo các khung ảnh ảo của phương pháp biểu diễn lại ảnh 3D. Sau khi nhúng, bản tin thủy vân vẫn có thể khôi phục lại trên khung ảnh trung tâm, khung ảnh bên trái, hoặc khung ảnh bên phải mà không cần đến dữ liệu gốc.

3.1. Quá trình nhúng thủy vân



Hình 2. Sơ đồ mô tả quá trình chèn bản tin thủy vân được đề xuất

Từ hình 2, cho thấy:

Dữ liệu vào:

+ Ảnh gốc trung tâm C (center image) đa cấp xám kích thước $M \times N$, một bức ảnh độ sâu (depth image) 8 bit kích thước $M \times N$.

+ Bản tin mật (Secret Message) gồm N bit, được kí hiệu như sau: $b_1, b_2, b_3, \dots, b_N$. Giá trị của bit b_i là 1 hoặc 0.

Dữ liệu ra: ảnh trung tâm C chứa thủy vân

Các bước thực hiện:

– Bước 1: Thực hiện bước tạo các khung ảnh bên trái, bên phải, và trung tâm của phương pháp biểu diễn lại ảnh 3D từ ảnh gốc và ảnh độ sâu.

– Bước 2: Chia các khung ảnh bên trái, bên phải, và trung tâm thành các khối nxn tương ứng nhau.

– Bước 3: Từ 3 khối nxn lấy từ khung ảnh bên trái, bên phải, và trung tâm ta chọn một khối để nhúng bit thủy vân với điều kiện số các điểm hỏng của khối được chọn phải nhỏ hơn 10% kích cỡ của khối

– Bước 4: Dùng phép biến đổi cosine để biến đổi khối được chọn thành ma trận các hệ số DCT I .

– Bước 5: Chuyển bản tin thủy vân thành ma trận W , với các phần tử w_{ij} là bit 0 hoặc 1 và số phần tử của ma trận này phải nhỏ hơn hoặc bằng số khối của một khung ảnh được chia.

– Bước 6: Sinh 2 dãy số giả ngẫu nhiên với một bộ sinh bí mật: dãy $PN0$ được sử dụng để nhúng bit 0 và dãy $PN1$ được sử dụng để nhúng bit 1. Số phần tử của mỗi dãy số này phải bằng số phần tử ở miền hệ số giữa của khối được sử dụng để nhúng bit thủy vân.

– Bước 7: Cộng bit thủy vân vào miền hệ số các hệ số DCT giữa I được thực hiện như sau:

* Nếu $w_{ij} = 0$ thì $I' = I + \alpha * PN0$ và gán $key_i = PN0$

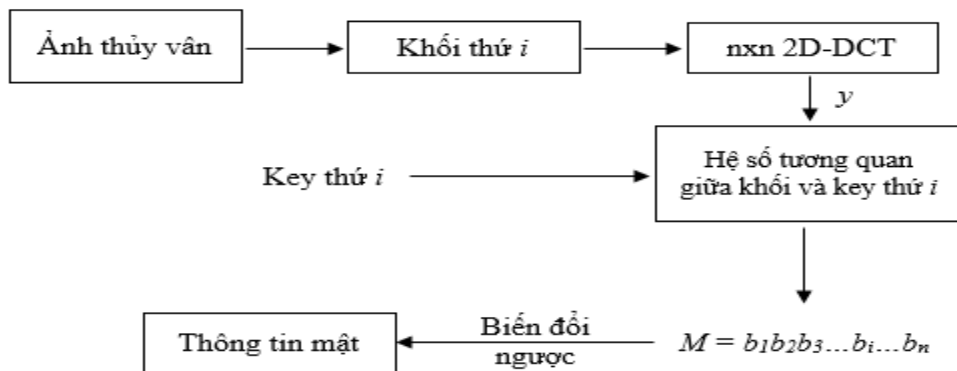
* Ngược lại $w_{ij} = 1$ thì $I' = I + \alpha * PN1$ và gán $key_i = PN1$

Với I' là ma trận hệ số DCT chứa bit thủy vân, α là hệ số điều chỉnh mức ảnh hưởng của nhiễu.

– Bước 8: Biến đổi ngược DCT khối I' tìm được và đặt khối này vào lại ảnh gốc trong trung tâm.

Sau khi hoàn thành bước 8, thì một quá trình biến đổi ngược được thực hiện để ta nhận được bức ảnh trung tâm đã được thêm vào một ẩn thủy vân ẩn.

3.2. Quá trình tách thủy vân



Hình 3. Sơ đồ mô tả quá trình tách bản tin thủy vân được đề xuất

Từ hình 3, cho thấy:

Dữ liệu vào:

- Khung ảnh chứa thủy vân kích thước $M \times N$
- Ma trận khóa bảo mật K

Dữ liệu ra: Bản tin mật (Secret Message) gồm N bit

Các bước thực hiện:

- Bước 1: Chia khung ảnh chứa thủy vân thành các khối $n \times n$ y
- Bước 2: Dùng phép biến đổi cosine để chuyển khối y sang miền tần số.

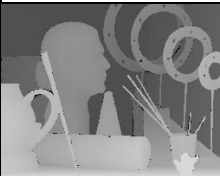
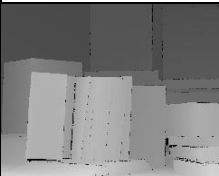
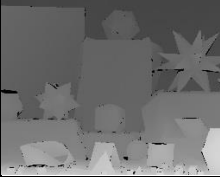
- Bước 3: Tính hệ số tương quan ω giữ khóa key_i và khối y
- Bước 4: Tìm bit thủy vân b' như sau:
 - * Nếu $\omega < 0$ thì $b' = 0$
 - * Ngược lại $\omega > 0$ thì $b' = 1$
- Bước 5: Tập hợp các bit tìm được và phục hồi lại bản tin thủy vân

4. Dữ liệu thực nghiệm và kết quả

4.1. Bộ dữ liệu dùng thử nghiệm

Các bộ ảnh trung tâm và ảnh độ sâu được lấy từ thư viện HHI và Middlebury Stereo Datasets có kích cỡ từ 720×576 đến 1800×1500 pixels, riêng ảnh độ sâu là ảnh mức xám 8 bit.

Bảng 1. Bộ ảnh gốc trung tâm và ảnh độ sâu của thư viện HHI và Middlebury Stereo datasets

Tên ảnh	Ảnh màu	Ảnh xám	Tên ảnh	Ảnh màu	Ảnh xám
Art (1390 × 1110)			Books (1390 × 1110)		
Dolls (1390 × 1110)			Laundry (1342 × 1110)		
Moebius (1390 × 1110)					

Bản tin thủy vân là ảnh xám 8 bit với kích cỡ là 64×64 pixels như sau:



Hình 4. Bản tin thủy vân kích cỡ 64×64 pixel

4.2. Kết quả

a) Đánh giá kết quả khi ảnh trung tâm chưa bị tấn công

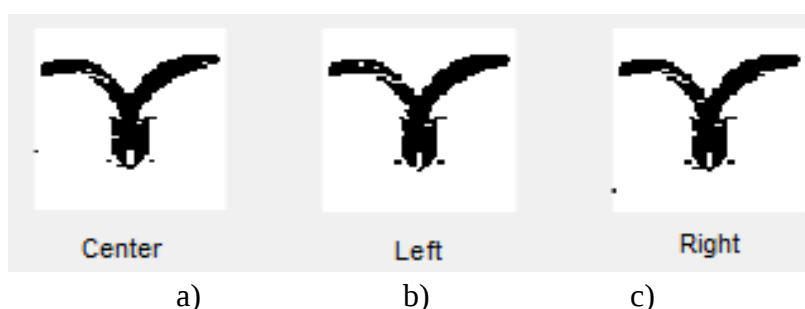
Sau khi hoàn thành các bước của quá trình thủy vân thì các bức ảnh được đánh giá như sau:

Bảng 2. Đánh giá bức ảnh sau khi được thủy vân bằng phương pháp PSNR (dB)

STT	Ảnh thử nghiệm	Đề xuất (8×8)	Đề xuất (16×16)
1	Art	51.81	51.23
2	Books	53.97	52.34
3	Dolls	49.53	52.03
4	Laundry	54.14	55.96
5	Moebius	55.84	55.03

Theo bảng 2, kết quả tất cả các giá trị PSNR đều lớn hơn 35dB cho thấy chất lượng ảnh trung tâm vẫn còn tốt sau khi được nhúng nhiều thủy vân bởi vì mắt người gần như không phân biệt được sự khác biệt giữa tín hiệu gốc và tín hiệu bị biến đổi để giấu tin.

Sau khi thực hiện việc đánh giá các bức ảnh được thủy vân là quá trình tách thủy vân kết quả được thể hiện ở hình 5.



Hình 5. Bản tin thủy vân được tách ra từ các ảnh:

a) Ảnh trung tâm, b) Ảnh mắt trái, c) Ảnh mắt phải

Bảng 3. Bảng dữ liệu tỉ số bit lỗi BER (%) của bản tin thủy vân được tách ra từ ảnh thủy vân (Dùng khối 8×8)

STT	Ảnh thử nghiệm	Đề xuất (BER(I _L ,α))	Đề xuất (BER(I _R ,α))
1	Art	0.4	0.54
2	Books	0.04	0.27
3	Dolls	5.27	3.71
4	Laundry	0.31	1.07
5	Moebius	0	0

Từ dữ liệu bảng 3, đa số các bản tin thủy vân được trích ra từ các ảnh thử nghiệm đều có tỉ lệ bit lỗi rất thấp dưới 6%, có thể chấp nhận được do vẫn có thể lấy lại được bản tin.

Bảng 4. Bảng dữ liệu tỉ số bit lỗi của bản tin thủy vân sau khi điều chỉnh t_x bằng 10% độ rộng của ảnh (dùng khối 8×8)

STT	Ảnh thử nghiệm	Đề xuất (BER(I _L ,α))	Đề xuất (BER(I _R ,α))
1	Art	0.54%	0.49%
2	Books	0.04%	0.18%
3	Dolls	5.31%	4.24%
4	Laundry	0.63%	0.63%
5	Moebius	0%	0%

Từ bảng 4, có thể nhận thấy dù có sự thay đổi về vị trí giữa hai khung ảnh nhưng vẫn không ảnh hưởng đến việc trích hoàn toàn bản tin thủy vân.

b) Sự bền vững của thủy vân khi ảnh trung tâm bị tấn công

Theo Lei Chen (2020) hai tấn công nén JPEG vào ảnh trung tâm đã được thủy vân thì phổ biến. Do đó, bài báo này thực hiện nén JPEG thì chất lượng ảnh được giảm xuống với tỉ lệ thấp nhất là 50%. Sau khi có được dữ liệu từ việc nén ảnh đánh giá như sau:

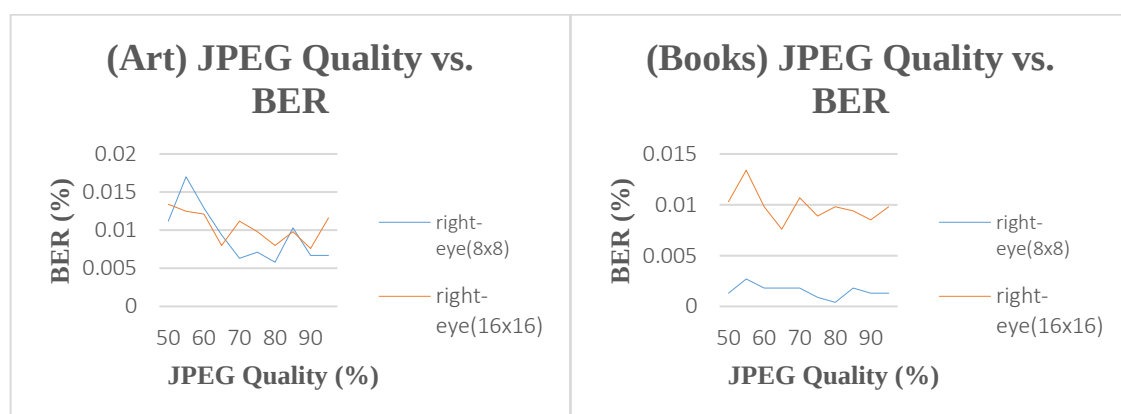
Bảng 5. Bảng dữ liệu tỉ số đỉnh tín hiệu – PSNR (dB)
khi ảnh trung tâm được thủy vân bị tấn công nén JPEG

	Quality (%)	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
STT	Ảnh thử nghiệm										
1	Art	33.75	34.41	35.33	36.11	36.91	37.81	37.75	37.27	37.61	37.77
2	Books	32.58	33.29	34.22	35.06	35.96	36.84	36.79	36.26	36.59	36.82
3	Dolls	32.66	33.31	34.18	34.95	35.71	36.53	36.47	36.01	36.34	36.50
4	Laundry	34.04	34.77	35.70	36.50	37.32	38.29	38.20	37.73	38.07	38.27
5	Moebius	33.62	34.24	35.13	35.90	36.70	37.58	37.53	37.04	37.40	37.56

Về nén ảnh, từ bảng 5 cho thấy chất lượng ảnh sau khi bị nén JPEG từ 50% đến 65% đã giảm giá trị PSNR ≤ 35 và mắt thường có thể cảm nhận được tuy nhiên không đáng kể ẩn thủy vân vẫn có thể khôi phục. Trong khi nếu bị nén JPEG trên 65% thì giá trị PSNR > 35 chất lượng ảnh đạt được tốt ẩn thủy vân có thể khôi phục hoàn toàn.

c) Đánh giá tỉ số bit thủy vân lỗi khi ảnh trung tâm bị tấn công

Khi bức ảnh bị tấn công thì việc tách ẩn thủy vân trở nên khó khăn hơn và cần kiểm tra tỉ lệ bit thủy vân được tách ra so với thủy vân gốc để thấy được sự hiệu quả của giải thuật nhúng.



Hình 6. Biểu đồ đường thể hiện tỉ số bit lỗi BER của bản tin thủy vân được tách ra từ khung ảnh bên phải khi ảnh trung tâm bị nén JPEG

Căn cứ vào hình 6, cho thấy ảnh trung tâm của bộ ảnh thử nghiệm Art và Books sau bị các tấn công nén JPEG từ 50% đến 90% mặc dù đã làm giảm đi chất lượng ảnh rất nhiều nhưng bản tin thủy vân được tách ra vẫn được đảm bảo do tỉ lệ bit lỗi dưới 2%.

5. Kết luận

Kết quả nghiên cứu đạt được là sau khi thực hiện kỹ thuật thủy vân thuận nghịch nếu quan sát bằng mắt thường thì không phân biệt được giữa ảnh gốc và ảnh đã giấu tin. Đồng thời, kết quả cho thấy tỉ lệ tín hiệu nhiễu giữa ảnh được thủy vân và ảnh gốc ở trong ngưỡng chấp nhận được và sau khi thực hiện thủy vân trên ảnh gốc trung tâm thì khôi phục lại bản tin thủy vân hoàn toàn từ một trong các khung ảnh: khung ảnh trung tâm, khung ảnh bên trái, khung ảnh bên phải. Những kết quả này cho thấy khả năng đáp ứng nhu cầu bảo vệ bản quyền tác giả trên ảnh 3D của mô hình thủy vân thuận nghịch đề xuất.

TÀI LIỆU KHAM THẢO

- [1] C. Fehn (2004). Depth-image-based rendering (DIBR), compression and transmission for a new approach on 3D-TV. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, vol. 5291, 93-104.
- [2] H.-D. Kim, J.-W. Lee, T.-W. Oh and H.-K. Lee (2012). Robust DT-CWT Watermarking for DIBR 3D Images. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 58(4), 533-543.
- [3] J. Cox, M. L. Miller, J. A. Bloom, J. Fridrich and T. Kalker (2008). *Digital Watermarking and Steganography*, San Francisco: Morgan Kaufmann.
- [4] J. Toriwaki and H. Yoshida (2009). *Fundamentals of Three – Dimensional Digital Image Processing*, London: Springer.
- [5] J. Z. Lei Chen (2020). A robust blind watermarking algorithm for depth-image-based rendering 3D images. *Signal Processing: Image Communication*, vol. 87, 1-33.
- [6] W.-H. Kim, J.-U. Hou, H.-U. Jang and H.-K. Lee (2018). Robust Template-Based Watermarking for DIBR 3D Images. *Appl. Sci.* 2018, 8, 911, 1-21.
- [7] Y. Guan, X. Sang, S. Xing, Y. Li and B. Yan (2019). Real-Time Rendering Method of Depth-Image-Based Multiple Reference Views for Integral Imaging Display. *IEEE Access*, 170545-170552.
- [8] Y. Mao, G. Cheung, A. Ortega and Y. Ji (2013). Expansion hole filling in depth-image-based rendering using graph-based interpolation. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 1-4.
- [9] Y.-H. Lin and J.-L. Wu (2011). A Digital Blind Watermarking for Depth-Image-Based Rendering 3d Images. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 57(2), 602-611.