

## Chống rung ảnh stereo bằng curvelet Antivibration Stereo Image by Curvelet

Nguyễn Thúy Anh<sup>1\*</sup>, Đặng Phan Thu Hương<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Bách khoa Hà Nội - Số 1, Đại Cồ Việt Hai Bà Trưng, Hà Nội

<sup>2</sup> Đại Học Lao Động Xã Hội Cơ Sở Sơn Tây - Đường Hữu Nghị, Xuân Khanh, Sơn Tây, Hà Nội

Đến Tòa soạn: 20-10-2016; chấp nhận đăng: 28-02-2017

### Tóm tắt

Trong bài báo này, chúng tôi trình bày vấn đề chống rung và khử nhiễu ảnh bằng phương pháp Curvelet. Đối với ảnh stereo nói riêng và tín hiệu 1D, 2D, 3D, MD (nhiều chiều) nói chung, các điểm đột biến chứa đựng thông tin quan trọng cần bảo toàn. Bằng việc dùng biến đổi Curvelet có thể tận dụng các ưu điểm và hạn chế các nhược điểm của phương pháp. Đặc biệt, tăng cường tính bền vững trên cơ sở biến đổi Curvelet và tăng cường hiệu quả chống rung loại trừ nhiễu. Kết quả mô phỏng chỉ rõ hiệu quả chống rung của phương pháp này khi dùng tác động của giá trị PSF (Point-spread function) lên các mảng giá trị RMSE (Root Mean Square Error) và PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) để khôi phục lại ảnh bị rung hiệu quả hơn so với các phương pháp truyền thống khác.

Từ khóa: Chống rung, Biến đổi Curvelet, Xử lý ảnh stereo, Khử nhiễu ảnh.

### Abstracts

In this paper, we present image of noise reduction and vibration problems by curvelet method. For particular stereo image and 1D, 2D, 3D, MD (multidimensional) signals in general, the mutation points contain important information that need preservation. By using curvelet transform can make use of the advantages and limit disadvantages of the method. Specialy, enhancing the sustainability base on curvelet transformation and enhance effectiveness of vibration and denoise. The simulation results show the vibration effectiveness of the method when using the impact of PSF to the value of arrays of RMSE values and PSNR to restore the shaken image more efficient than the other tradition methods.

Keyword: Antivibration, Curvelet transformation, Stereo image processing, Image Denoising.

### 1. Giới thiệu

Chống rung loại trừ nhiễu và tăng cường ảnh là các nhiệm vụ quan trọng trong xử lý ảnh nhằm khôi phục tín cậy ảnh quan sát được dưới tác động của các loại nhiễu. Đã có nhiều phương pháp, nhiều thuật toán tối ưu đề xuất xử lý tín hiệu trong miền tần số (lọc Wiener), miền Wavelet, làm trơn Gauss,... loại trừ nhiễu, chống rung mà vẫn bảo toàn các thuộc tính quan trọng của ảnh đầu vào.

Biến đổi Curvelet, kế thừa từ biến đổi Wavelet, hiệu quả trong việc biểu diễn các đột biến dọc theo các biên sườn trong ảnh. Đã có nhiều nghiên cứu ứng dụng biến đổi Curvelet loại trừ nhiễu ảnh thông thường, ảnh cộng hưởng từ (MR), ảnh CT mang lại kết quả tốt.

Cùng với biến đổi Curvelet, còn có các công cụ xử lý ảnh được xây dựng từ phương trình vi phân từng phần (PDE). Phần lớn các nghiên cứu áp dụng

phương trình vi phân từng phần để loại trừ nhiễu tín hiệu (1D, 2D, 3D, MD) đều nhằm vào việc bảo vệ các thuộc tính đột biến của tín hiệu – các điểm kỳ dị (singularities). Đối với ảnh 2D, đó là các biên sườn (edges). Theo cách tiếp cận tiên đề, xuất hiện tập các tiên đề riêng dẫn đến nghiệm của phương trình vi phân từng phần ứng dụng trong loại trừ nhiễu tín hiệu. Các tiên đề có cấu trúc và hình thái nhằm đảm bảo quá trình trở thành semigroup đủ mềm mại [1,2].

Bài báo này đề cập đến ảnh 3D dựa trên biến đổi Curvelet đảm bảo cho ảnh không bị rung (mò) mà vẫn bảo toàn các thuộc tính đầu vào của ảnh đồng thời tận dụng các ưu điểm và hạn chế các nhược điểm của phương pháp khi sử dụng nhiễu tự nhiên. Đặc biệt, tăng cường tính bền vững trên cơ sở biến đổi Curvelet.

Bố cục của bài báo như sau. Sau phần giới thiệu, phần II trình bày cơ sở lý thuyết về ảnh stereo và bộ lọc wiener cùng với biến đổi Curvelet. Phần III trình bày các kết quả mô phỏng thuật toán. Phần IV là kết luận và hướng phát triển.

\* Địa chỉ liên hệ: Tel: (+84) 912612826  
Email: anh.nguyenthuy@hust.edu.vn

**2. Cơ sở lý thuyết**

**2.1. Anhstereo**

Ảnh stereo (hay ảnh 3D) là một kỹ thuật để tạo ra hoặc tăng cường ảo giác về chiều sâu một hình ảnh bằng thị giác lập thể cho hai mắt. Ban đầu, ảnh lập thể đề cập đến một cặp ảnh stereo có thể xem được bằng cách sử dụng kính nhìn. Trong bài báo này sẽ đề cập cụ thể đến ảnh 3D đôi \*jps được tạo bởi 2 ảnh \*.jpg.

Hầu hết các phương pháp tạo ảnh 3D được tạo từ hai hình ảnh riêng biệt của mắt trái và mắt phải người xem. Những hình ảnh hai chiều này sau đó được kết hợp trong não để cung cấp cho các nhận thức về chiều sâu 3D.

Trong ảnh stereo, sử dụng hai máy ảnh được tách trong không gian từ hình ảnh một đối tượng 3 chiều, trong trường hợp đơn giản trực quang học của hai máy ảnh song song với nhau bị ngăn cách bởi một khoảng cách S

**2.2. Bộ lọc Wiener và vấn đề khôi phục ảnh**

Lọc Wiener là kỹ thuật lọc tuyến tính để khôi phục ảnh gốc từ ảnh đã xuống cấp do bị nhiễu phá hủy.

Ảnh sau khi qua một đáp ứng nào đó thì bị nhiễu và khác với ban đầu, theo lý thuyết ta xây dựng một đáp ứng ngược lại để khôi phục ảnh dựa vào đáp ứng ban đầu. Tuy nhiên các phương pháp như lọc ngược và lọc giả ngược có một yếu điểm là nhạy cảm với nhiễu vì vậy khi áp dụng các phương pháp này phải giả định là hệ thống lý tưởng không có nhiễu. Song trên thực tế thì không thể có điều này, vì vậy người ta sử dụng kỹ thuật lọc wiener cho các hệ thống có nhiễu.

Bộ lọc Wiener thường là bộ lọc thông thấp, năng lượng của ảnh thường tập trung ở vùng tần số thấp[1].

**2.3. Biến đổi Curvelet**

Biến đổi Curvelet là hướng tiếp cận mới trong xử lý tín hiệu. Biến đổi Curvelet được xây dựng từ ý tưởng biểu diễn một đường cong bằng tổ hợp các hàm có độ dài khác nhau tuân theo luật Curvelet, tức là độ rộng xấp xỉ bình phương độ dài [6]. Trong miền ảnh hai chiều, một cặp các cửa sổ  $W(r)$  và  $V(t)$  được định nghĩa là các cửa sổ radial và angular. Các cửa sổ này là các hàm trơn, không âm và giá trị thực. Như vậy,  $V$  nhận các giá trị dương trên đoạn  $t \in [-1,1]$  và  $W$  trên đoạn  $r \in [\frac{1}{2}, 2]$ . Các cửa sổ thỏa mãn các điều kiện chấp nhận[3,4,5].

$$\begin{cases} \sum_{l=-\infty}^{\infty} V^2(t-l) = 1, & t \in \mathbb{R} \\ \sum_{j=-\infty}^{\infty} W^2(2^{-j}r) = 1, & r > 0 \end{cases} \quad (1)$$

Ưu điểm của curvelet là khả năng khôi phục biên và tăng cường biên rất tốt. Để xây dựng các hàm Curvelet, ta phải sử dụng các hàm cửa sổ đặc biệt. Xét các hàm cửa sổ Meyer có tỷ lệ thỏa mãn điều kiện trên như sau

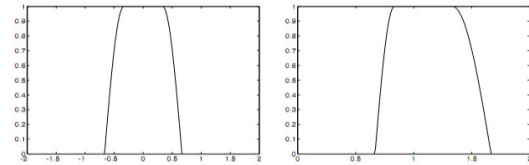
$$V(t) = \begin{cases} 1 & |t| \leq 1/3 \\ \cos\left[\frac{\pi}{2}v(3|t|-1)\right] & 1/3 \leq |t| \leq 2/3 \\ 0 & \text{Còn lại} \end{cases} \quad (2)$$

$$W(r) = \begin{cases} 1 & 5/6 \leq r \leq 4/3 \\ \cos\left[\frac{\pi}{2}v(5-6r)\right] & 2/3 \leq r \leq 5/6 \\ \cos\left[\frac{\pi}{2}v(3r-4)\right] & 4/3 \leq r \leq 5/3 \\ 0 & \text{Còn lại} \end{cases} \quad (3)$$

trong đó  $v$  là một hàm trơn thỏa mãn

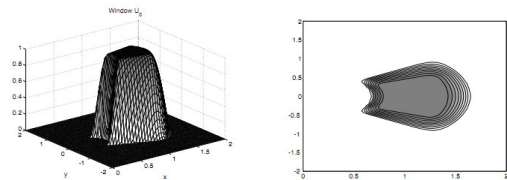
$$v(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ 1 & x \geq 1 \end{cases}, v(x) + v(1-x) = 1, x \in \mathbb{R} \quad (4)$$

Đối với trường hợp đơn giản  $v(t) = t$  các hàm cửa sổ  $V(t)$  và  $W(r)$  được biểu diễn trong hình sau :



**Hình 2.1.** Cửa sổ  $V(t)$  (a) và  $W(r)$  (b)

Các cửa sổ  $W$  và  $V$  được sử dụng để xây dựng họ hàm phức có ba thông số: Tỷ lệ  $a \in (0,1]$ ; Vị trí  $b \in \mathbb{R}^2$  và hướng  $\theta \in [0,2\pi)$ .



**Hình 2.2.** Cửa sổ  $U_0(\xi)$  (bên trái) và hình chiếu đứng (bên phải)

Curvelet ở tỉ lệ mức thô để phân tích tần số thấp

$$\varphi_{-1,0,k}(x) \triangleq \varphi_{-1}(x-k), \quad \hat{\varphi}_{-1}(\xi) \triangleq W_0(|\xi|) \quad (5)$$

Để đơn giản, cho  $\mu = (j, l, k)$  là tập hợp của ba tham số. Hệ Curvelet ( $\varphi_\mu$ ) biểu diễn *khung chặt* trong  $L^2(\mathbb{R}^2)$ , mỗi hàm  $f \in L^2(\mathbb{R}^2)$  có thể được biểu diễn

$$f = \sum_{\mu} c_{\mu}(f)\varphi_{\mu} \quad (6)$$

Các hệ số *Curvelet rời rạc* được xác định như sau :

$$\begin{aligned} c_{\mu}(f) &\triangleq \int_{\mathbb{R}^2} \hat{f}(\xi) \overline{\hat{\varphi}_{\mu}(\xi)} d\xi \\ &= \int_{\mathbb{R}^2} \hat{f}(\xi) U_j(\mathbf{R}_{\theta_j}, \xi) e^{ix^{(j)}, \xi} d\xi \end{aligned} \quad (7)$$

**Thuật toán chống rung ảnh Stereo bằng Curvelet**

Ý tưởng chính của phương pháp này về mặt lập trình là sử dụng hàm “deconvwnr” để khôi phục lại bức ảnh bị rung (mờ).

Các bước thuật toán thực hiện như sau:

- Bước 1: Đọc ảnh đầu vào
- Bước 2: Mô phỏng chuyển động mờ (motion blur)
- Bước 3: Mô phỏng tác động mờ lên ảnh
- Bước 4: Khôi phục giả lập không nhiễu sử dụng NSR (noise-power-to-signal-power ratio) = 0
- Bước 5: Khôi phục sử dụng một ước lượng tốt hơn về NSR

(NSR có thể là một vô hướng hoặc một mảng quang phổ trong miền có cùng kích thước như ảnh. Khởi tạo NSR = 0 là tương đương với việc tạo ra một bộ lọc nghịch đảo lý tưởng).

**2.4 Các tham số đánh giá chất lượng ảnh**

RMSE (Root Mean Square Error)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [I(i, j) - K(i, j)]^2} \quad (8)$$

Trong đó,  $m \times n$  là kích thước ảnh,  $I$  và  $K$  lần lượt là ảnh gốc và ảnh được khôi phục, với kích thước  $m \times n$  pixels. RMSE càng nhỏ chất lượng ảnh càng tốt.

PSNR (tính theo dB) được định nghĩa như sau:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{255^2}{MSE} \right) \quad (9)$$

Trong đó,

$$MSE = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [I(i, j) - K(i, j)]^2 \quad (10)$$

Giá trị PSNR càng lớn cho thấy chất lượng ảnh càng tốt.

**3. Kết quả mô phỏng**

**3.1. Tách ảnh Stereo thành các ảnh 2D**

Ảnh Stereo có đuôi \*.jps là các file ảnh được ghép bởi 2 ảnh \*.jpeg được chụp bởi camera trái và camera phải. 2 ảnh \*.jpeg này được phân biệt với nhau bởi 2 kênh màu khác nhau, cụ thể là ảnh trái thuộc kênh đỏ (red channel) và ảnh phải thuộc kênh xanh cyan (cyan channel). Vì vậy dựa vào 2 kênh ảnh này ta có thể tách 1 ảnh Stereo có đuôi \*.jps thành 2 ảnh \*.jpg.

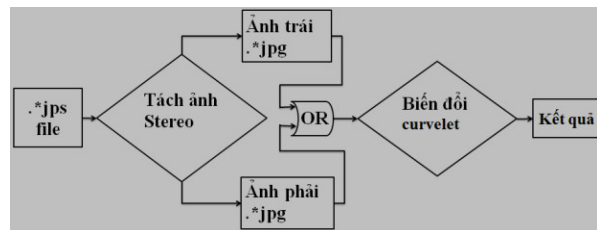


Ảnh 3D đầu vào. (a) Hình chụp được từ camera trái (b) Hình chụp được từ camera phải

**Hình 3.1** Hình chụp từ camera trái và phải

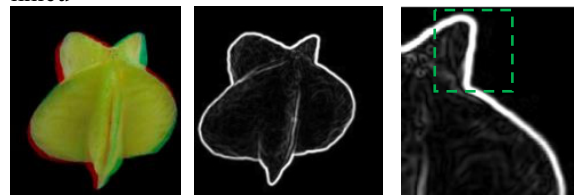
**3.2. Tách biên từ ảnh Stereo và khôi phục biên lý tưởng bằng Curvelet**

Sơ đồ thực nghiệm đơn giản



**Hình 3.2** Sơ đồ thực nghiệm

Kết quả thực nghiệm tách biên với ảnh không nhiễu



(a) Ảnh ban đầu (b) Ảnh tách biên (c) Chi tiết ảnh tách biên

**Hình 3.3** Kết quả tách biên ảnh không nhiễu bằng Curvelet

Kết quả thực nghiệm khôi phục biên lý tưởng

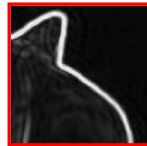


(a)Ảnh ban đầu

(b)Ảnh khôi phục



(c)Chi tiết ảnh ban đầu



(d)Chi tiết ảnh khôi phục

**Hình 3.4** Kết quả khôi phục biên lý tưởng bằng Curvelet

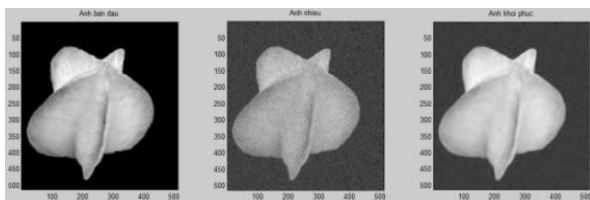
Nhận xét: Từ kết quả trên, ta dễ dàng nhận ra ảnh khôi phục cho kết quả biên mịn hơn, mềm mại hơn ảnh biên ban đầu.

### 3.3. Tác động nhiễu và khôi phục ảnh Stereo

Phần này chúng ta sẽ thực hiện tác động nhiễu lên ảnh Stereo ( ảnh \*.jpg tách từ ảnh \*.jps ) và khôi phục lại ảnh. Chương trình sẽ nạp file ảnh \*.jps, sau đó tách thành 2 file ảnh \*.jpg, tiếp theo là tác động nhiễu với 3 loại nhiễu (nhiễu ngẫu nhiên, nhiễu cộng Gauss, và nhiễu nhân Gauss), và cuối cùng là thực hiện khử nhiễu, khôi phục lại ảnh.

#### 3.3.1. Khử nhiễu ngẫu nhiên và khôi phục bằng Curvelet

Phần này chúng ta tác động nhiễu ngẫu nhiên và khôi phục lại ảnh. Dưới đây là kết quả của chương trình:



(a)Ảnh ban đầu

(b)Ảnh nhiễu ngẫu nhiên

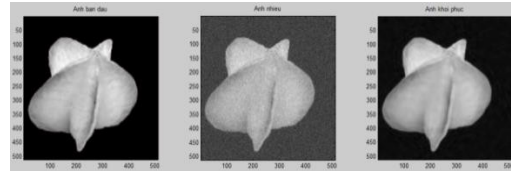
(c)Ảnh khôi phục

**Hình 3.5** Kết quả khôi phục ảnh Stereo với nhiễu ngẫu nhiên bằng Curvelet

Nhìn vào kết quả trên chúng ta dễ dàng thấy rằng ảnh được khôi phục không bị đứt gãy tại biên và không xù xì như bức ảnh ban đầu mà mịn hơn, mềm mại hơn.

#### 3.3.2. Khử nhiễu cộng Gauss và khôi phục bằng Curvelet

Phần này chúng ta tác động nhiễu cộng Gauss 10% và khôi phục lại ảnh. Dưới đây là kết quả của chương trình:



(a)Ảnh ban đầu

(b)Ảnh nhiễu cộng Gauss

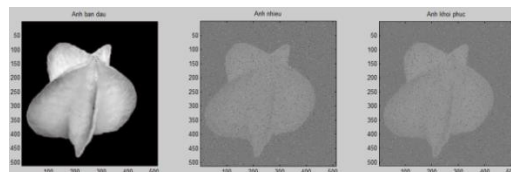
(c)Ảnh khôi phục

**Hình 3.6** Kết quả khôi phục ảnh Stereo với nhiễu cộng Gauss bằng Curvelet

Nhìn vào kết quả trên, chúng ta vẫn thấy rằng ảnh khôi phục là tốt hơn, biên mịn hơn, ảnh mềm mại hơn. Tuy nhiên trên ảnh vẫn tồn tại các vết đốm hạt muối, điều này chứng tỏ với nhiễu cộng Gauss biến đổi Curvelet vẫn chưa hoàn toàn làm tốt nhất khả năng chống rung (khử nhiễu).

#### 3.3.3. Khử nhiễu nhân Gauss và khôi phục bằng Curvelet

Phần này chúng ta tác động nhiễu nhân Gauss 10% và khôi phục lại ảnh. Dưới đây là kết quả của chương trình:



(a)Ảnh ban đầu

(b)Ảnh nhiễu nhân Gauss

(c)Ảnh khôi phục

**Hình 3.7** Kết quả khôi phục ảnh Stereo với nhiễu nhân Gauss bằng Curvelet

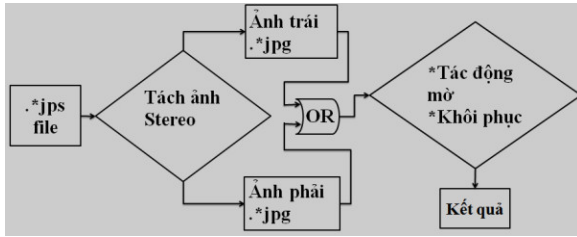
Nhìn vào kết quả của phần này, chúng ta dễ dàng thấy rằng với nhiễu nhân Gauss, biến đổi Curvelet không thể hoàn thành nhiệm vụ khử nhiễu để khôi phục lại ảnh. Kết quả khôi phục thậm chí còn rất kém so với ảnh ban đầu.

Kết luận: Biến đổi Curvelet thực hiện khả năng khử nhiễu ảnh Stereo tốt nhất với nhiễu ngẫu nhiên.

### 3.4. Xử lý ảnh Stereo mờ bằng Curvelet

Phần này chúng ta sẽ thực hiện giả lập mờ ( tác động rung ) trên ảnh đầu vào và thực hiện khôi phục lại ảnh ( chống rung ảnh ) bằng các phương pháp Wiener filter, và Curvelet để đi đến kết luận.

Chúng ta có sơ đồ thực nghiệm đơn giản như sau:

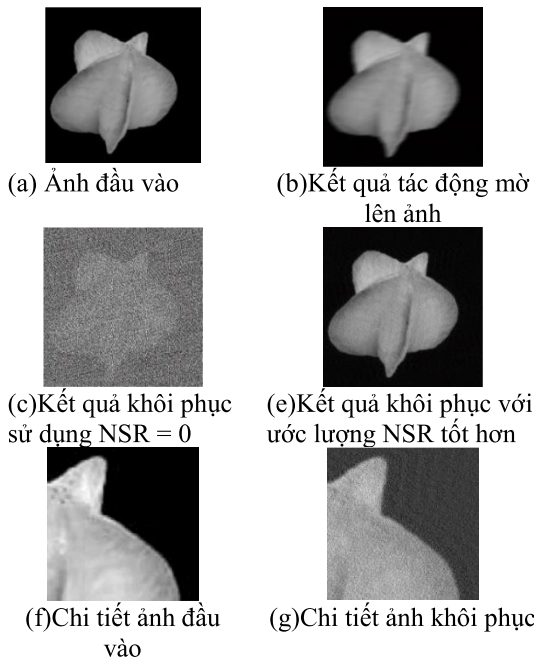


**Hình 3.8** Sơ đồ chống rung ảnh Stereo (ảnh đầu vào bị rung)

3.4.1. Chống rung ảnh sử dụng Wiener filter

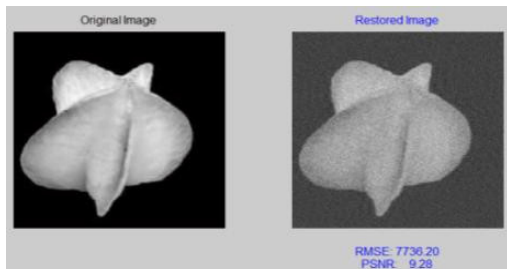
Ý tưởng chính của phương pháp này về mặt lập trình là sử dụng hàm “deconvwnr” để khôi phục lại bức ảnh bị rung (mờ).

Chúng ta cùng xem kết quả thực nghiệm với bộ lọc Wiener



**Hình 3.9** Các kết quả xử lý ảnh mờ sử dụng bộ lọc Wiener

Dưới đây đưa ra kết quả tính toán RMSE và PSNR để thấy rõ khả năng xử lý của phương pháp:

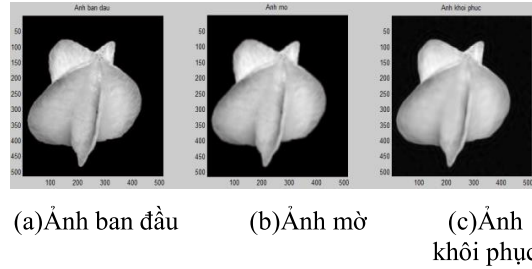


**Hình 3.10** Kết quả RMSE và PSNR đối với bộ lọc Wiener

3.4.2. Chống rung ảnh sử dụng Curvelet

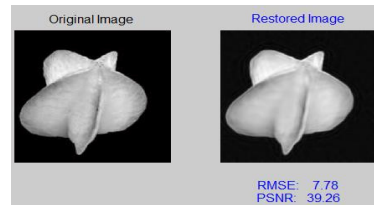
Phần này chúng ta sẽ sử dụng Curvelet theo đúng ý đồ mà bài toán đặt ra và được biểu trên sơ đồ thực nghiệm Hình 3.8.

Chúng ta cùng xem kết quả thực nghiệm



**Hình 3.11** Kết quả khôi phục với Curvelet

Tiếp theo, là kết quả tính toán RMSE và PSNR đối với phương pháp biến đổi Curvelet



**Hình 3.12** Kết quả RMSE và PSNR đối với biến đổi Curvelet

**Kết luận:** từ hai phần thực nghiệm chống rung ảnh Stereo với hai phương pháp sử dụng bộ lọc Wiener và biến đổi Curvelet, chúng ta dễ dàng thấy rằng biến đổi Curvelet vượt trội cả về RMSE lẫn PSNR. Chúng ta xem bảng so sánh sau:

**Bảng 3.1** Kết quả chống rung ảnh Stereo với Wiener filter và Curvelet

Phương pháp	RMSE	PSNR
Wiener filter	7736.20	9.28
Curvelet	7.78	39.26

Nhận xét: chúng ta thấy rằng RMSE của phương pháp curvelet là nhỏ hơn hẳn so với Wiener filter (7.78 << 7736.20), và PSNR cũng lớn hơn hẳn (39.26 >> 9.28). Điều này đã chứng minh rằng chất lượng xử lý ảnh mờ và khử nhiễu của phương pháp curvelet vượt trội so với phương pháp truyền thống.

4. Kết luận và hướng phát triển

Trong bài báo này, chúng tôi đã trình bày phương pháp Curvelet để chống rung ảnh stereo và triển khai thực nghiệm để chứng minh sự hiệu quả của phương pháp. Những kết quả thực nghiệm trong bài báo đã cho thấy tính hiệu quả cao trong xử lý ảnh của Curvelet (kết quả so sánh bảng 3.1). Vì vậy, đề

xuất hướng nghiên cứu tiếp theo là phát triển khả năng mở rộng chiều, nghiên cứu mô hình lai kết hợp giữa phương pháp curvelet với một số phương pháp khác nhằm cải tiến các phương pháp và nâng cao chất lượng xử lý ảnh, làm tiền đề mở rộng cho các lĩnh vực khác liên quan trong tương lai.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. Simon Haykin, Adaptive Filter Theory Fifth Edition, page108, International Edition.
- [2]. Sendur, L., Selesnick, I. W. - Bivariate shrinkage functions for Wavelet-based denoising exploiting interscale dependency, IEEE on Trans. Signal Processing., 50(2002)2744-2756.
- [3]. François G. Meyer - Wavelet-Based Estimation of a Semiparametric Generalized Linear Model of FMRI Time-Series, IEEE Trans. on Medical Imaging 22(2003)3.
- [4]. Christopher B. Smith, Sos Agaian, and David Akopian - A Wavelet-Denoising Approach Using Polynomial Threshold Operators, IEEE Trans. Signal Processing Lets., 15(2008).
- [5]. E.Candès, L. Demanet, D.Donoho, L. Ying, Fast discrete curvelettransforms, Multiscale Model. Simul., 5(2006)3)861-899.
- [6]. E.Candès, D. Donoho, Continuous curvelet transform: I. Resolution of the wavefront set, Appl. Comput. Harmon. Anal., 19(2003)162-197.