

실시간 초음파 영상의 웨이블릿 패턴 변화를 이용한 노이즈 제거

조영복* · 우성희**

*대전대학교, **한국교통대학교

Noise Using Wavelet Pattern Change of Real-time Ultrasound Image

Young-bok Cho* · Sung-hee Woo**

*Dept of Information Security, Daejeon University

E-mail : ybcho@dju.kr

요 약

제안 논문은 초음파 진단에서 발생하는 영상에서 잡음을 제거하기 위해 웨이블릿 변화를 이용한 노이즈 제거를 통해 영상의 해상도를 높여준다. 초음파 영상의 주된 화질저하 요인인 speckle 잡음의 감소와 에지의 강화를 위한 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 주파수와 공간 정보를 모두 사용할 수 있는 웨이블릿 변환을 이용하여, 다양한 크기의 에지를 강화할 수 있다. 초음파 영상이 노이즈 제거를 위한 알고리즘의 수행 속도는 520x440 영상에 대해 약 0.45ms로 빠르게 수행됨을 실험을 통해 확인하였다.

ABSTRACT

The proposed method enhances the resolution of images by removing noise using wavelet transform to remove noise from images generated by ultrasound diagnosis. We propose an algorithm to reduce the speckle noise and enhance the edge of the ultrasound image. The proposed algorithm can enhance edges of various sizes by using wavelet transform which can use both frequency and spatial information. Experimental results show that the performance of the algorithm for noise reduction of ultrasound images is about 0.45ms for 520x440 images.

키워드

이미지 프로세싱, 의료초음파, ROI, 의료영상처리, 웨이블릿 변환

1. 서 론

컴퓨터를 활용한 영상처리 기술이 발전하면서 이를 이용한 의료분야의 다양한 발전이 이루어지고 있다. 특히나 초음파는 휴대가 간편하고 안전할 뿐만 아니라 실시간 영상을 얻을 수 있고 값이 저렴하기 때문에 최근에 많은 활용이 되고 있다. 의료 초음파의 경우 획득한 영상에는 많은 노이즈가 포함되어 있어 탐측자에 따라 판독 및 병변을 놓쳐 오진율이 높아지는 문제가 발생하고 있어 컴퓨터를 사용해 의료초음파 영상의 특징을 자동으로 분석하는 기법을 활용해 진단과정에서 의료전문의의 판단을 보조하는 유용한 도구로 활용되고 있다.

초음파의 특성상 영상의 패턴 특성을 진단 및 병변 특성을 분석해 동적인 변화 과정을 빠른 속도로 육안으로 판별하는 것이 어렵기 때문에 본 논문에서는 초음파 영상의 패턴 분석에 노이즈를

제거함으로써 영상에서 해상도를 높여 관심영역을 잘 판별할 수 있도록 제안하였다.

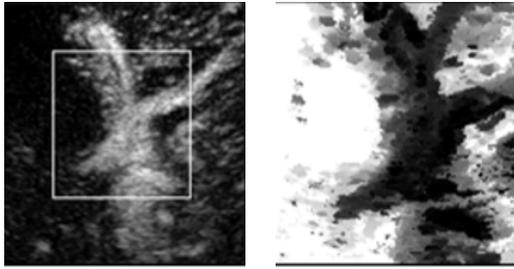
2. 초음파 영상의 웨이블릿 패턴변화를 이용한 노이즈 제거

제안 알고리즘은 초음파 영상의 특징을 고려해 영상의 다양한 크기의 에지를 추출하고 웨이블릿 변환을 수행한다. 에지정보의 추출을 위해 구조행렬로부터 고유 벡터를 추출하고 고유벡터의 크기와 방향성을 고려한 스무딩(smoothing)과 샤프닝(sharpening)으로 에지의 방향성을 향상시켜 영상에서 경계를 뚜렷하게 표시될 수 있도록 한다. 또한 에지정보를 기반으로 웨이블릿 계수를 줄여줌으로써 저주파대역 통과 필터를 이용해 빠른 속도로 이루어지기 전이 상태를 육안으로 판별하기 위해 전이 패턴에 대한 동적 정보를 단일 영상으

로 가시화한다. 각 픽셀별로 픽셀 값을 산출하고 픽셀 값에 대한 전이 시간을 측정하여 판별 한다.

$$A_k = \frac{T_k - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \quad (1)$$

(1)의 픽셀 값 A_k 에서 T_k 는 k 번째 픽셀에 대한 전이 시간을 의미하고 T_{\min}, T_{\max} 는 각각 측정된 최솟값 및 최댓값을 의미한다. 즉 전체 데이터의 최솟값과 최댓값의 범위 내에 T_k 값에 대해 선형 변화된 픽셀 값을 산출하여 영상을 생성함으로써 각 위치별로 전이 시간의 선후를 판별할 수 있다. 그림 1은 방향성을 향상시켜 경계를 뚜렷이 나타낸 필터를 통과시킨 이미지 결과이다



(a) input data and ROI (b) Parametric Image
Fig.1 An Illustration of parameter visualization

공간영역에서는 에지에 선택적인 필터링이 가능하지만 다양한 크기의 에지를 잘 구분하기는 어렵다. 그러므로 제안하는 알고리즘에서는 주파수 정보와 공간 정보를 모두 포함하는 웨이블릿 변환을 이용하여, 다양한 크기의 에지에 선택적으로 잡음을 감소한다. 웨이블릿 변환은 영상을 여러 주파수 채널의 영상으로 분해하는 과정이다. 각각의 주파수 채널은 웨이블릿이라는 함수를 통해서 표현된다. 영상데이터 S 가 평면에 $n_1 \times n_2$ 배열로 각 화소를 $i, (i \in S, i = 1, 2, 3, \dots, n, n = n_1 \times n_2)$ 화소의 색상을 $c = 1, 2, \dots, k$ 로 나타낼 때 분포된 화소들은 k_1 개의 색도 가운데 하나의 색도를 갖는 임의의 변수(랜덤변수)로 취급할 수 있다. 관측을 통해 수집된 영상 $x = \{x_i\}$ 의 랜덤벡터 X , 분할 또는 복원 및 변형 시키려는 영상 $y = \{y_1\}$ 의 랜덤벡터를 Y 라 할 때 노이즈로 인해 오염된 영상 X 에 대해 영상 Y 는 원시영상이거나 패턴인식이나 정보 및 특징 추출을 목적으로 변형시킨 영상이다. 영상 X 에 대해 영상 Y 를 구하는 문제는 대상영상에 대한 정확한 분석 결과에 의존한다.

저주파수 영역 레벨 L 에서의 에지 정보의 추출 방법으로 영상의 구조적 특성을 이용한다. 각각의 픽셀에 대해 기울기(gradient)를 이용한 구조행렬로부터 얻어진 두 고유값의 차이로 각 픽셀이 에지 영역에 포함되는지를 판별한다.

$$J_p(I) = K_p \times \begin{bmatrix} I_x \\ I_y \end{bmatrix} (I_x, I_y) = \begin{bmatrix} K_p \times I_x^2 & K_p \times I_x I_y \\ K_p \times I_x I_y & K_p \times I_y^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$J_p(I) = (w_1, w_2) \begin{pmatrix} \mu_1 & 0 \\ 0 & \mu_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mu_1^T \\ \mu_2^T \end{pmatrix}$$

(2)는 구조행렬로 I_x 는 x 축 방향의 기울기, I_y 는 y 축 방향의 기울기, \times 는 합성곱(convolution)을 의미하고, 컨볼루션 커널 K_p 는 다음과 같은 가우시안 함수이다. $J_p(I)$ 에 대해 고유값 분해를 하면 (2)와 같이 표현된다. 고유벡터 (w_1, w_2) 와 고유값 (μ_1, μ_2) 은 각각 최대 혹은 최소의 변화에 해당하는 방향이고 그 크기를 나타낸다. 2차원 영상에서 에지는 한쪽 방향으로의 방향성만이 존재한다고 볼 수 있다. 어떤 픽셀이 에지 위에 있다면 에지 방향으로의 고유벡터와 그에 수직방향의 고유벡터에 대하여 그 크기가 서로 차이가 많이 난다는 것이다.

$$M_{edge}(x, y) = \begin{cases} 1 & ||\mu_1| - |\mu_2|| > TS \\ 0 & elsewhere \end{cases} \quad (3)$$

(3)의 $M_{edge}(x, y)$ 는 x, y 위치에서 에지 맵(map)을 나타낸다. 이 값이 1이면 에지로 선택된 것이다. 레벨 L 영상에 대해 에지 영역으로 선택된 픽셀에 대하여 고유벡터를 이용하여 에지의 연속성을 키우고, 에지의 경계를 좀 더 뚜렷하게 표현하기 위한 필터링을 수행한다.

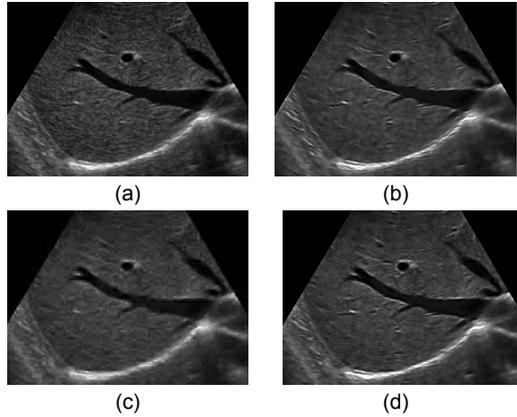
3. 실험 결과

제안 논문에서는 알고리즘을 평가하기 위해 초음파 입력영상을 wavelet shrinkage and contrast enhancement (WSCE) [7] 방법과 NCD와 제안 알고리즘을 이용해 비교 실험하였다. 그림 2는 간 초음파 영상에 대하여 각 방법에 대한 실험 결과 영상으로 (a)는 원본 영상, (b)는 NCD를 적용한 결과, (c)는 WSCE를 적용한 결과이며 마지막으로 (d)는 제안된 알고리즘을 적용한 결과 영상이다. 제안 논문에서는 입력영상의 노이즈를 제거한 해상도를 높이는 것을 목적으로 임상 전문가에 의한 평가와 비임상 전문가이지만 영상처리 전문가에 의한 평가로 구성하였다. 평가 결과는 임상 전문가는 2명, 영상처리 전문가는 10명의 평균이며 좋은 영상일수록 점수가 높도록 하여 순위를 매겼다.

표 1. 결과 영상의 주관적 평가 결과

영상	임상전문가	영상처리전문가
NCD	2	1.5
WSCE	1	1.7
Proposed	3	2.8

표 1로부터 제안된 알고리즘의 결과 영상이 주관적인 화질의 관점에서 임상전문가와 영상처리 전문가가 모두에게 가장 높은 점수를 받았다.



(a) Original (b) NCD (c) WSCE (d) Proposed

Fig. 2. Liver image simulation result

실험 결과 NCD 방법의 경우 에지 영역의 선택 및 강화가 잘 되었고, 고주파 성분의 스펙클 (speckle)도 잘 감소되었다. 그러나 평탄한 영역의 스펙클이 얼룩얼룩해 보이며 인공적인 느낌이 난다. WSCE의 경우 스펙클은 좀 더 자연스럽게 처리되었으나 에지의 경우 뭉개지는 경우가 많이 발생했다. 또한 웨이블릿 계수의 변경이 적절하지 못해서 웨이블릿 역 변환에서 아티팩트(artifact)가 발생했다. 제안된 알고리즘을 적용한 결과, 스펙클이 효과적으로 감소되었고, 에지의 강화도 잘 되었다. 뿐만 아니라 상세한 부분의 손실이나 눈에 띄는 아티팩트가 없으며, 전체적으로 인공적인 느낌이 덜 하여 초음파 영상이 주관적 화질의 관점에서 많이 향상되었음을 알 수 있다. 알고리즘의 수행 속도는 520×440영상에 대해 약 0.45ms 이다.

4. 결 론

초음파 영상의 주관적인 화질 개선의 관점에서 초음파 영상의 주된 화질저하 요인인 스펙클 잡음의 감소와 에지의 강화를 위한 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 주파수와 공간 정보를 모두 사용할 수 있는 웨이블릿 변환을 이용하여, 다양한 크기의 에지를 강화할 수 있다. 초음파 영상에서는 스펙클의 에너지가 넓은 주파수 영역에 걸쳐 신호의 에너지와 비슷하여 웨이블릿 계수의 크기의 통계적인 특성을 이용한 임계값만으로는 둘 사이의 구분이 어렵다. 그러므로 제안된 알고리즘에서는 웨이블릿 변환된 영상에서 각 해상도 영상 별로 구조적인 특성을 이용한 구조 행렬의 고유값 변환 방법을 통해 스펙클과 에지 영역을 구분하고, 이를 바탕으로 영상에 대하여 에지의 방향에 선택적인 필터링과 스펙클이 감소하는 과정을 수행하였다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work (Grants No. C0541497) was supported by the Business for Cooperative R&D between Industry, Academy, and Research Institute funded Korea Small and Medium Business Administration in 2017

참고문헌

- [1] T. Loupas, W. N. McDicken, and P. L. Allan, "An Adaptive Weighted Median Filter for Speckle Suppression in Medical Ultrasonic Images," *IEEE Trans. Circuits Syst.*, vol. 36, pp. 129-135, Jan. 1989.
- [2] K. Z. Abd-Elmoniem, A. M. Youssef, and Y. M. Kadah, "Real-Time Speckle Reduction and Coherence Enhancement in Ultrasound Imaging via Nonlinear Anisotropic Diffusion," *IEEE Trans. Biomedical Engineering*, vol. 49, no. 9, pp. 997-1014, Sept. 2002.
- [3] J. C. Bamber and C. Daft, "Adaptive Filtering for Reduction of Speckle in Ultrasonic Pulse-Echo Images," *Ultrasonics*, pp. 41-44, Jan. 1986.
- [4] D. L. Donoho, "De-Noising by Soft-Thresholding," *IEEE trans. Information theory*, vol. 41, no. 3, pp. 613-627, May 1995.
- [5] Q. Zhou, L. Liu, D. Zhang, and Z. Bian, "Denoise and Contrast Enhancement of Ultrasound Speckle Image Based on Wavelet," in *Proc. ICSP*, 2002, pp. 1500-1503.
- [6] A. Achim, A. Bezerianos, and P. Tsakalides, "Novel Bayesian Multiscale Method for Speckle Removal in Medical Ultrasound Images," *IEEE Trans. Medical Imaging*, vol. 20, no. 8, pp. 772-783, Aug. 2001.
- [7] X. Zong, A. F. Laine, and E. A. Geiser, "Speckle Reduction and Contrast Enhancement of Echocardiogram via Multiscale Nonlinear Processing," *IEEE Trans. Med. Imag.*, vol. 17, Aug. 1998.
- [8] A. Laine, J. Fan, and W. Yang, "Wavelets for Contrast Enhancement of Digital Mammography," *IEEE Eng. Med. Biol.*, pp. 536-550, 1995.
- [9] P. Sakellaropoulos, L. Costaridou, and G. Panayiotakis, "A Wavelet-Based Spatially Adaptive Method for Mammographic Contrast Enhancement," *Phys. Med. Biol.*, vol. 48 (2003), pp. 787-803.
- [10] W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, and B. P. Flannery, *Numerical recipes in C - The art of scientific computing*, Cambridge university press, pp. 463-469.