

초음파 진단영상 대조도 개선을 위한 확률 경계 맵을 이용한 연구

최우혁¹⁾ · 박원환²⁾ · 박성윤^{2)*}

¹⁾동국대학교 의료융합연구소, ²⁾동국대학교 한의과대학 진단학교실

Abstract

A method for ultrasound image edge enhancement by using Probabilistic edge map

Woo-hyuk Choi, Won-hwan Park, Sungyun Park

¹⁾*Biomedical engineering Lab, Dongguk University*

²⁾*Department of Diagnostic, College of Korean Medicine, Dongguk University*

Ultrasonic imaging is the most widely modality among modern imaging device for medical diagnosis. Nevertheless, medical ultrasound images suffer from speckle noise and low contrast. In this paper, we propose probabilistic edge map for ultrasound image edge enhancement using automatic alien algorithm. The proposed method used applied speckle reduced ultrasound imaging for edge improvement using sequentially acquired ultrasound imaging. To evaluate the performance of method, the similarity between the reference and edge enhanced image was measured by quantity analysis. The experimental results show that the proposed method considerably improves the image quality with region edge enhancement.

Key words

ultrasound image, speckle noise reduction, edge enhancement, probabilistic edge map, affine registration

* 교신저자 : 박성윤 / 소속 : 동국대학교 한의과대학 진단학교실

Tel : 031-961-5838 E-mail : bmePark@gmail.com

투고일 : 2016년 05월 31일 / 수정일 : 2016년 06월 28일 / 게재확정일 : 2016년 06월 30일

I. 서론

소리는 진동에 의해 발생되며 이 진동을 발생시키는 것을 진동체 또는 음원 (Acoustic source)라 하고, 이 진동체에서 발생하는 에너지는 일정한 주파수 (Frequency)를 가지는 파동 형태로 전달된다. 사람이 귀를 통해 인식 가능한 주파수의 범위를 가청주파수 (20-20,000 Hz)라 하며 가청주파수를 넘어서는 영역의 음파를 초음파(Ultrasound)라 한다¹⁾. 초음파를 이용하여 의료용 초음파 영상장치가 개발되었고, 의료용 초음파 영상장치는 초음파 변환자 (Transducer)를 통해 전기적 신호를 초음파 신호로 변환하여 진단하고자 하는 영역에 송신한 뒤 되돌아오는 신호를 처리하여 영상화 시키는 장치를 말한다²⁾. 의료용 초음파 영상기기는 인체의 내부 조직 및 혈류를 진단하기 위해 매우 중요하게 이용되고 있으며 전세계 의료영상 진단검진 방법 중에서 25% 이상을 차지하고 있는 상당히 유용한 검진 도구이다. 초음파 영상장치 이외에도 X-ray, 컴퓨터 단층 촬영장치 (Computed tomography, CT), 자기 공명 영상 촬영장치 (Magnetic resonance imaging, MRI)등이 있지만 초음파 영상 장치는 인체에 진단을 위한 방사선 조사나 방사선 동위원소 같은 물질의 삽입 없이 촬영이 가능하며, 실시간으로 체내의 조직에 대한 진단이 가능하다³⁾. 이러한 장점들로 인해 영상의학과, 산부인과, 심장내과에서 주로 이용되고 있다. 더불어 최근 한의계에서도 의료기기 사용을 위한 법안이 추진되고 있으며, 한의 진료에서도 의료용 초음파 영상 장치를 이용하여 근육의 움직임을 관찰하거나 혈관의 위치와 혈류를 관찰하여 침 시술과 각종 근골격계 치료에서 환자의 만족도를 높여줄 진단 보조 장치로 활용할 수 있다.

예전부터 초음파 진단영상 장치는 진단보조 기구로서 이용되어 왔으며, 초음파 영상은 다른 영상 진

단장치와 비교하여 실시간이라는 큰 장점을 가지고 있지만 해상도가 떨어지고 초음파를 통한 영상을 획득하는 과정에서 발생하는 스펙클 잡음 (Speckle noise)으로 인해 영상의 화질이 다소 떨어지는 측면이 있어 이를 개선하기 위한 스펙클 잡음 감소를 주제로 다양한 연구방법들이 제시되고 있다^{4,6)}. 최근 초음파 영상을 개선하는 연구들의 추세도 영상의 스펙클 잡음 감소를 위한 연구가 주를 이루고 있다⁷⁾. 하지만 스펙클 잡음 감소를 위한 기본적인 알고리즘들은 진단 영상의 경계의 흐려짐을 동반하였고, 이를 극복하기 위해 적응성 필터를 이용한 알고리즘들이 연구되고 현재도 많은 연구들이 진행되고 있다. 그러나 경계를 개선하여 진단영역의 구조적 판단을 위한 연구들은 많이 이루어지지 않고 있다.

본 연구에서는 스펙클 잡음을 줄이기 위해 적용되는 알고리즘을 적용한 후에 진단 영상의 경계가 흐려진 영상들을 대상으로 하며 경계를 개선시키기 위한 방법을 고안하였다. 실제 초음파 영상은 실시간으로 촬영되는 영상으로 1초에 10 프레임 (Frame) 이상의 영상이 촬영된다. 이를 이용하여 누적 확률 경계 맵을 계산하여 적용시켜 경계가 흐려진 영상의 경계 개선 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안하는 방법은 초음파 영상에 이용되고 있는 스펙클 잡음 감소 알고리즘들이 적용된 후의 결과를 이용해서 해당 방법을 통한 경계 영역의 개선은 스펙클 잡음 감소 알고리즘들의 효율성을 높여 이전에 연구된 알고리즘들에도 적용할 수 있을 것이라 보이며 향후 다양한 진단영역의 초음파 영상 진단장치에 적용이 되면 보다 환자의 초음파 영상 진단에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료되어 보고하는 바이다.

II. 연구방법

1. 연구대상과 영상획득 방법

연구대상은 인체의 흉부 및 복부를 모델링 한 팬텀을 이용하여 간 영역을 촬영하였다. 촬영방법으로는 해부학 지식을 기반으로 한 초음파 영상을 획득 전문가를 통해 획득된 영상이며 영상획득은 초음파 영상 진단기기 (Siemens, X300PE)로 모든 초음파 영상이 획득되었다.

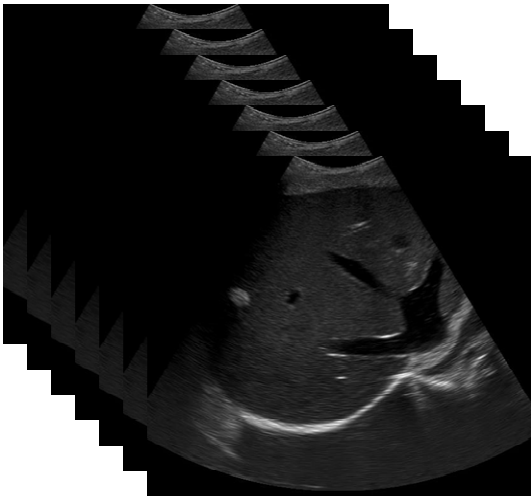


Figure 1. Ultrasound image acquisition

2. 연속된 초음파 영상획득

연구에 사용된 초음파 영상 진단장치를 통한 영상획득은 1초에 15 프레임을 획득하며 이는 1초에 15개의 영상이 획득 됨을 의미한다. 이를 통해 연속적인 데이터를 획득을 통해 영상을 획득하였으며, 획득된 영상은 간 영역의 영상이다. 데이터 획득하는 동안은 동일영역 진단이라는 가정하에 데이터를 획득하였다.

3. 초음파 영상처리

초음파 영상처리 방법은 연속적으로 획득된 초음파 영상의 Raw 데이터들에 스펙클 잡음 감소를 위한 알고리즘을 적용하여 스펙클 잡음을 감소시킨다. 스펙클 잡음이 감소된 Raw 데이터들은 실제 초음파 진단 영상으로 영상변환을 통해 부채꼴 형태의 진단 영상으로 변환한다⁸⁾. 다음으로 처음 획득된 영상과 다음으로 획득된 영상간의 진단영역의 동일성을 확인하기 위해 구조유사도 (Structure similarity measure)를 계산하여 값이 0.75 이상의 값을 가지면 동일한 영역을 진단하고 있다고 판단하여 다음 단계를 진행하고 그 이하의 값이 계산되면 그 시점부터 알고리즘을 다시 시작한다⁹⁾. 구조유사도 계산을 통해 두 프레임이 동일영역의 진단을 하고 있는 것이 확인된 데이터들은 두 번째 획득된 데이터를 기준으로 바로 이전에 획득한 데이터를 선형 정합시킨다. 정합된 영상 데이터는 Canny edge detection 알고리즘을 이용하여 문턱 값 (Threshold value) 0.15로 경계를 추출한다¹⁰⁾. 이와 같은 방식으로 연속된 데이터들에 모두 그 결과를 계산하게 되면 각 영상들 간의 경계 추출 맵을 얻을 수 있으며, 이를 이용하여 현재 영상을 기준으로 최근에 획득한 경계 맵에 큰 가중치를 부가하고, 상대적으로 이전에 획득한 경계 맵에 적은 가중치를 부가하는 방법을 통해 영상의 확률 경계 맵을 계산할 수 있다. 계산된 확률 경계 맵을 현재 영상에 적용시켜 진단 영역의 경계 개선을 실시하였다

4. 초음파 영상개선 평가

초음파 영상처리 후 영상의 경계개선의 정도를 평가하기 위한 방법으로는 초음파 영상을 진단하는 전문가의 시각적인 평가와 더불어 초음파 영상의 정량적인 평가를 위한 여러 평가 방법을 통해 평가되었다. 정량적인 평가 방법에는 스펙클 잡음의 감

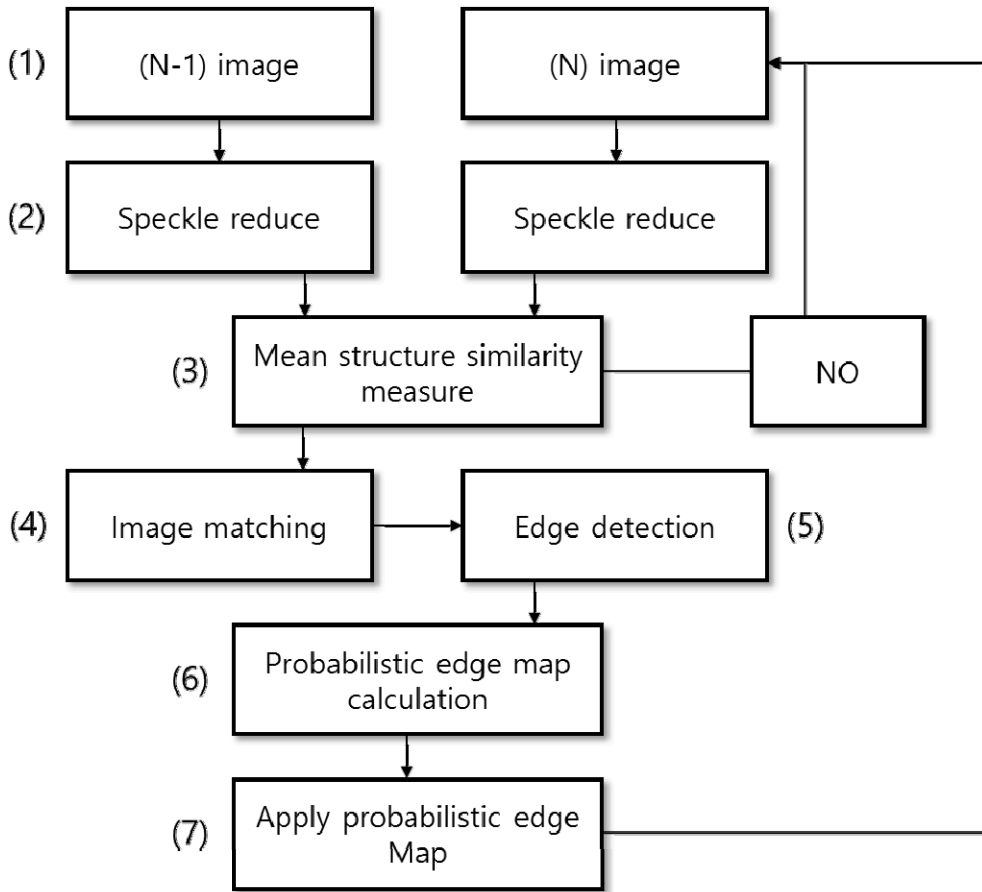


Figure 2. Block diagram of probabilistic edge map for edge enhancement.

소의 정도를 평가하는 스펙클 지수 (Speckle index, SI), 평균제곱오차 (Mean square error), 최대 신호 대 잡음 비 (Peak signal-to-noise ratio), 영상 개선 전후의 구조의 동일성을 평가하는 구조유사도 (Structure similarity measure) 평가, 경계 부분의 변화를 정량적으로 나타내는 Pratt's figure of merit (FOM) 평가방법이 있으며, 본 연구에서는 진단 영역의 경계부분의 개선의 평가목적으로 스펙클 지수, 구조유사도, 평균제곱오차, 최대 신호 대 잡음 비, FOM을 통한 정량적인 평가를 실시하였다¹¹⁾.

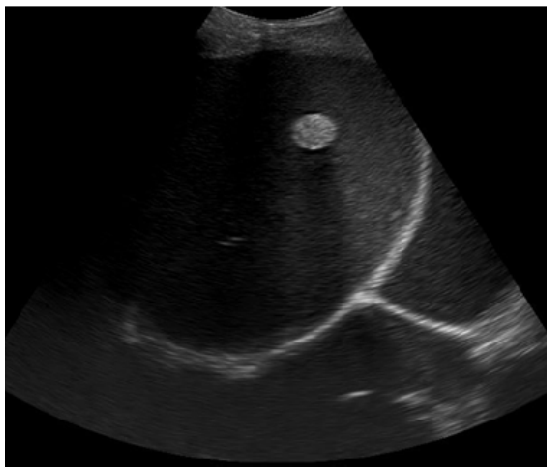
III. 결과

초음파 영상의 경계 개선을 위한 알고리즘을 적용하여 적용 전의 영상과 적용 후의 영상을 비교 분석하였다. 영상개선 결과를 정성적, 정량적으로 평가하였다. 우선 시각적인 영상개선의 결과로는 진단영역의 경계 및 구조적 선명도의 차이를 기준으로 평가를 실시하였으며, Figure 3에서 보이듯이 영상 개선 이전의 영상에 비해 진단 영역의 경계의 구조적 선명도가 명확해졌으며 영역의 구분을 위한 확률

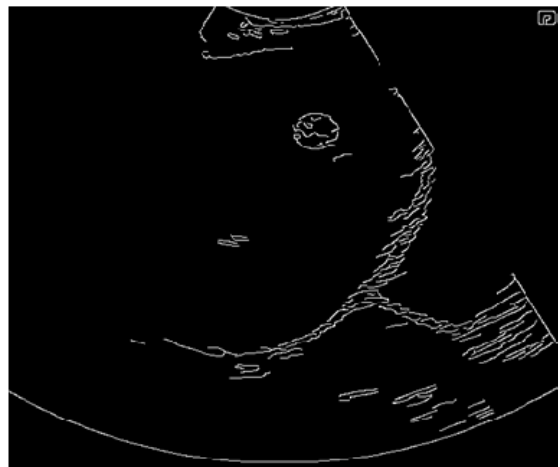
경계 맵을 적용하여 경계영역의 밝기 및 선명도의 개선을 통해 적용 전보다 진단에 유용한 영상으로 평가되었다.

정량적 평가는 Table. 1과 같은 결과를 나타내었으며, 경계 개선 알고리즘 적용에도 스펙클 지수는 알고리즘 적용 전 0.2154의 값을 나타내었고, 적용 후 0.2161의 값을 보였다. 두 영상의 구조의 동일성

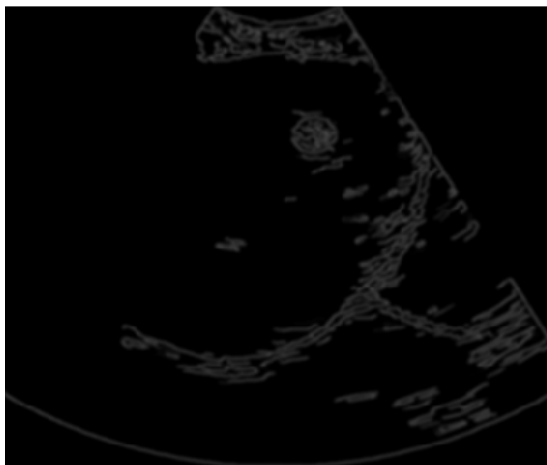
을 평가하는 구조유사도 평가 결과로 0.997의 거의 동일한 구조라고 판단되는 수치를 보였다. 경계의 변화의 정도를 정량적으로 나타내는 FOM의 결과에서도 경계의 큰 변화는 나타내지 않았다. 원본영상의 변화에 의한 값의 변화가 예측되는 평가 항목에서도 값의 큰 차이를 보이지 않고, 시각적인 경계의 개선의 효과를 나타내는 것을 확인할 수 있었다.



(a) Reference image



(b) Reference edge image



(c) Probabilistic edge map



(d) Edge enhancement image

Figure 3. (a) Reference image (b) Reference edge image (c) Probabilistic edge map (d) Edge enhancement image

Table 1. Assessment metrics of the enhanced liver image using probabilistic edge map

Parameter	Reference image vs. Edge enhancement image
SI	(0.2154) / (0.2161)
MSE	11.08
PSNR	37.71
MSSIM	0.997
FOM	0.895

SI = speckle index; MSE = mean square error; PSNR = peck signal-to-noise ratio; MSSIM = mean structure similarity measure; FOM = Pratt's figure of merit.

IV. 고찰

초음파 영상은 X-ray나 컴퓨터 단층 영상촬영장치, 자기 공명영상 장치와 같은 영상진단 기기에 비교하여 선명도가 낮은 단점에도 불구하고 실시간으로 영상을 획득하여 볼 수 있다는 장점을 가지고 있어 진단기기 중에서도 높은 사용률을 보이고 있다. 그러나 초음파 영상은 스펙클 잡음에 의한 영상의 화질이 낮아지는 경향을 보이고 있어 이전의 많은 연구들에서 스펙클 잡음을 감소시키기 위한 다양한 연구들이 진행되어 왔다. 현재 초음파 영상은 하드웨어의 발달과 스펙클 잡음 감소 알고리즘의 개발로 스펙클 잡음에 의한 영향이 현저하게 감소된 영상으로 진단을 할 수 있게 되었다. 하지만 스펙클 잡음을 위한 알고리즘 연구에 비해 진단 영역의 경계를 개선하는 연구에 대해서는 상대적으로 많은 연구가 이루어 지지 않고 있다.

본 연구에서는 스펙클 잡음의 감소를 위한 알고리즘들이 많이 연구된 시점에서 스펙클 잡음 감소 후에 초음파 영상에서는 진단영역의 경계 추출이 보다 정밀하게 이루어진다는 점과 초음파 영상은 짧은 시간 내 여러 프레임의 영상을 획득 한다는

점에 착안하여 확률 경계 맵을 계산할 수 있게 되었다. 확률 경계 맵은 단순히 하나의 프레임의 경계 추출을 통한 정보가 아닌 동일 영역의 진단에서 연속적으로 획득되는 프레임을 이용하여 계산된 값으로 확률 경계 맵을 계산하여 적용하게 되면 영상의 왜곡을 거의 보이지 않으며, 경계의 개선의 효과를 볼 수 있었다. 다른 영상과 달리 의료에 이용되는 진단영상의 경우에는 환자의 생체정보를 확인하기 위한 수단으로 원본의 왜곡으로 인해 의료진의 영상 판독에 혼동을 일으켜 오진이라는 큰 문제를 초래할 수 있다. 그렇기 때문에 의료영상의 경우 환자의 정보를 유지하면서 영상의 개선이 이루어져야 한다는 점이 가장 중요하므로 영상 개선을 위한 알고리즘 연구에도 절대적으로 유의해야 한다. 해당 연구는 그러한 점에서 원본 영상의 정보를 유지하면서 진단 영역의 경계 개선을 위한 알고리즘을 연구하였으며, 여러 개의 연속적인 데이터를 활용하여 정합이 이루어지기 때문에 거기에서 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위해 확률 경계 맵이 적용되는 시점을 기준으로 최근에 획득된 데이터에 큰 가중치를 부여하고 보다 전에 획득된 영상에는 상대적으로 작은 가중치를 부여하는 방법으로 다중 가중치 할당을 하여 정합에 의해 발생할 수 있는 오차를 줄여준 확률 경계 맵을 계산하였다. 이를 통해 시각적, 정량적 평가 결과로 영상의 큰 왜곡 없이 진단영상의 경계가 개선되는 결과를 확인 할 수 있었다. 해당 방법에서 확률 경계 맵의 현재 가중치와 영상에 적용 시에 설정되는 값의 조절을 통해 보다 경계 영역의 특성을 강조할 수 있지만 그렇게 될 경우 영상을 진단하는데 있어 원영상과 다르게 영상 판독에 이질감을 느낄 수 있기에 적절한 수치의 설정 값이 중요하게 작용된다.

확률 경계 맵을 이용한 연구는 차후 실제 인체를 대상으로 한 초음파 영상에서 실험하여 분석하는 과정과 더욱 완성도 높은 시스템을 만들기 위해 확

를 경계 맵 적용 전 가중치 조율이 필요할 것으로 보인다. 또한 현재 연구는 컴퓨터를 활용한 연구로서 정확한 정합을 위해서는 일정 시간의 영상 처리 시간이 소요되지만 전문 초음파 영상 진단기기의 하드웨어의 발전과 정합 알고리즘의 연구를 통해 소프트웨어적인 개선이 이루어진다면 확률 경계 맵을 이용하는 데 보다 효율적이며 완성도 높은 시스템을 구축할 수 있을 것으로 보인다.

본 연구의 제한사항으로 정합 알고리즘은 실시간으로 진단하는 초음파 영상에 적용되기에는 하드웨어적인 한계로 일정량의 처리시간이 요구되어 본 연구를 통한 방법을 적용하기 위해서는 진단영상 획득 후에 해당 방법을 통한 영상의 개선을 진행하여야 한다는 점이 있다. 그러나 향후 하드웨어의 발달에 따라 실시간 초음파 영상에도 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

따라서 향후 확률 경계 맵을 이용한 방법은 다양한 데이터에 적용할 수 있으며 간 영역뿐만 아니라 신장이나 담낭 또는 근육과 심장 초음파 영상에서도 적용이 가능할 것으로 사료되며, 이를 통해 초음파 영상의 전반적인 경계의 향상을 가져다 줄 것으로 보인다. 향후 한방 진단에서도 초음파 진단기기를 통해 인체 내 영산진단이 이루어진다면 보다 정밀한 진단과 진료가 가능할 것으로 보이며, 한방 진단의 관점에서 초음파를 활용한 연구를 진행하기 위해서도 초음파 영상개선에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다. 나아가 실제 인체의 영상으로의 연구를 차후에 진행하여 시스템이 구축된다면 보다 유용성을 높일 수 있을 것이다.

V. 결론

본 연구는 초음파 영상의 경계개선을 위한 알고리즘을 제안하였다. 연속적으로 획득된 데이터를 기

반으로 확률 경계 맵을 구축하였고, 확률 경계 맵을 영상에 적용한 결과로 적용 전에 비해 영상의 스펙클 잡음이나 구조의 큰 변화 없이 진단 영역의 경계를 개선시키는 결과를 나타내어 초음파 영상의 경계 개선의 가능성을 보였다. 향후 연구로 실제 인체를 통해 획득한 영상과 다른 진단영역을 이용한 확률 경계 맵을 계산하여 적용하는 연구를 통해 다양한 초음파 영상의 경계개선에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 보인다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단 신시장 창조 차세대 의료기기 개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2015M3D5A1066040).

參 考 文 獻

1. Kim YS, Ra JB. Improvement of ultrasound image based on wavelet transform: speckle reduction and edge enhancement. *Medical Imaging. International Society for Optics and Photonics*. 2005;1085-1092.
2. Hughes S. *Medical ultrasound imaging*. Physics Education. 2001;36:468.
3. Babu JJJ, Sudha GF. Adaptive speckle reduction in ultrasound images using fuzzy logic on Coefficient of Variation. *Biomedical Signal Processing and Control*. 2016;23:93-103.
4. Binaee K, Hasanzadeh RP. An ultrasound image enhancement method using local gradient based fuzzy similarity. *Biomedical Signal Processing and Control*. 2014;13:89-101.

5. Shao D, Liu P, Liu DC. Characteristic matching-based adaptive fast bilateral filter for ultrasound speckle reduction. *Pattern Recognition Letters*. 2013;34:463-469.
6. Khare A, Khare M, Jeong Y, Kim H, Jeon M. Despeckling of medical ultrasound images using Daubechies complex wavelet transform. *Signal Processing*. 2010;90:428-439.
7. Sudeep P, Palanisamy P, Rajan J, et al. Speckle reduction in medical ultrasound images using an unbiased non-local means method. *Biomedical Signal Processing and Control*. 2016;28:1-8.
8. Steelman WA. Comparison of Real-time Scan Conversion Methods With an OpenGL Assisted Method.
9. Penney GP, Weese J, Little JA, Desmedt P, Hill DL, Hawkes DJ. A comparison of similarity measures for use in 2-D-3-D medical image registration. *Medical Imaging, IEEE Transactions on*. 1998;17:586-595.
10. Du H, Ma R, Wang X, Zhang J, Fang J. Bas-Relief Map Using Texture Analysis with Application to Live Enhancement of Ultrasound Images. *Ultrasound in medicine & biology*. 2015;41:1446-1460.
11. Yang J, Fan J, Ai D, et al. Local statistics and non-local mean filter for speckle noise reduction in medical ultrasound image. *Neurocomputing*. 2016;195:88-95.