

# Usefulness of Median Modified Wiener Filter Algorithm for Noise Reduction in Liver Cirrhosis Ultrasound Image

Seung-Yeon Kim, Soo-Min Kang, Youngjin Lee\*

Department of Radiological Science, Gachon University

Received: September 26, 2023. Revised: November 06, 2023. Accepted: November 30, 2023.

## ABSTRACT

The method of observing nodular changes on the liver surface using clinical ultrasonography is useful for diagnosing cirrhosis. However, the speckle noise that inevitably occurs in ultrasound images makes it difficult to identify changes in the liver surface and echo patterns, which has a negative impact on the diagnosis of cirrhosis. The purpose of this study is to model the median modified Wiener filter (MMWF), which can efficiently reduce noise in cirrhotic ultrasound images, and confirm its applicability. Ultrasound images were acquired using an ACR phantom and an actual cirrhotic patient, and the proposed MMWF algorithm and conventional noise reduction algorithm were applied to each image. Coefficient of variation (COV) and edge rise distance (ERD) were used as quantitative image quality evaluation factors for the acquired ultrasound images. We confirmed that the MMWF algorithm improved both COV and ERD values compared to the conventional noise reduction algorithm in both ACR phantom and real ultrasound images of cirrhotic patients. In conclusion, the proposed MMWF algorithm is expected to contribute to improving the diagnosis rate of cirrhosis patients by reducing the noise level and improving spatial resolution at the same time.

Keywords: Ultrasound Images, Liver Cirrhosis, Median Modified Wiener Filter, Noise Reduction Algorithm

## I. INTRODUCTION

간경변 질환의 최종 진단은 간생검을 통해 이루어지고 있으나 이는 침습적이고 합병증 같은 부작용을 일으킬 수 있다. 이러한 간생검의 문제점 때문에 비침습적인 영상 의학적 검사를 통한 간경변 진단하는 것은 중요하다<sup>[1]</sup>. 대표적인 비침습적 검사 중 하나인 초음파 검사는 비교적 저렴하고 단시간에 반복 가능하다는 장점이 있다. 특히 초음파로 확인할 수 있는 간 표면의 결절성 변화는 간경변 진단에 유용하게 사용되고 있다<sup>[2]</sup>.

하지만 초음파의 speckle 노이즈는 간경변 상태의 독특한 표면 echo texture 패턴 변화의 식별을 어렵게 하여 간 검사 시 과립구조 및 표면의 형태학적 평가에 제한점이 발생할 수 있다<sup>[3]</sup>. 따라서 이러

한 단점을 극복하기 위해 초음파 영상의 speckle 노이즈를 감소시켜 영상 의학적 진단 가치가 높은 영상을 만드는 일은 중요하다.

대표적인 노이즈 감소 방법으로는 소프트웨어 알고리즘을 사용하는 것이 있다. 기존에 널리 사용되고 있는 노이즈 감소 소프트웨어 기술로는 median filter와 Wiener filter가 있다<sup>[4]</sup>. 하지만, 언급한 filter들을 적용한 의료영상들에서는 과도한 평활화로 인해 edge 영역에서 blurring effect를 발생시켜 영상의 정확성이 떨어지는 문제가 발생한다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 Wiener filter를 기반으로 관심 영역(region of interest, ROI)으로부터 중간값을 측정해 노이즈를 감소시키는 변형된 중간값 위너 필터(median modified Wiener filter, MMWF) 알고리즘이 개발되었다<sup>[5]</sup>. 이 알고리즘은

\* Corresponding Author: Youngjin Lee E-mail: yj20@gachon.ac.kr Address: 191 Hambangmea-ro, Yeonsu-gu, Incheon, Republic of Korea

median filter와 Wiener filter를 결합한 비선형 적응 공간 필터의 일종으로 우수한 노이즈 감소 효율성을 보이면서도 다루기 쉽고 하나의 파라미터만 사용한다는 장점이 있다<sup>[6]</sup>. 복부 초음파 영상에서 MMWF 알고리즘을 적용한 연구에 따르면 MMWF 알고리즘 적용 시 최대신호대잡음비(peak signal-to-noise ratio, PSNR)가 Noisy 영상과 비교하면 약 1.15배 향상된 것을 확인할 수 있었다<sup>[7]</sup>.

하지만, 현재 간경변 환자의 초음파 영상에서의 MMWF 알고리즘의 적용 가능성을 분석한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 ACR 팬텀과 실제 간경변 환자를 통해 획득된 초음파 영상에 MMWF 알고리즘을 적용하여 제안하는 방법들의 유용성을 평가하고자 한다. 본 연구의 목적을 위하여 비교군으로 median filter와 Wiener filter를 추가로 모델링하였다.

## II. MATERIAL AND METHODS

본 연구는 헬싱키 선언에 따라 가천대학교 기관 생명윤리위원회(Institutional Review Board, IRB) 심의 면제를 사전 승인받아 수행되었다(IRB No.: 1044396-202204-HR-075-01).

### 1. 초음파 영상 획득

ACR 팬텀과 실제 간경변 환자의 초음파 영상은 3.5 MHz 주파수의 convex 프로브를 사용하여 획득하였다. 획득된 초음파 영상에 기존의 노이즈 제거 방법들인 median 및 Wiener filter와 제안하는 MMWF 알고리즘을 적용하였다.

### 2. Median modified Wiener filter 모델링

Median 및 Wiener filter 들은 상대적으로 간단한 원리로 사용할 수 있지만, 영상의 노이즈 제거 효율이 낮거나 경계 부분을 모호하게 만드는 단점이 존재한다. 이러한 단점들을 보완하기 위하여 MMWF 알고리즘이 제안되었다<sup>[8]</sup>. 이는 Wiener filter를 기반으로 mask 내 평균값을 median 값으로 대체하는 원리를 사용한다. Wiener filter ( $f_{wiener}$ )와 MMWF 알고리즘( $f_{MMWF}$ )의 수식들은 아래의 Eq. (1)과 (2)와 같다.

$$f_{wiener}(x, y) = \mu + \frac{\sigma^2 - \nu^2}{\sigma^2} \cdot (p(x, y) - \mu) \quad (1)$$

$$f_{MMWF}(x, y) = \tilde{\mu} + \frac{\sigma^2 - \nu^2}{\sigma^2} \cdot (p(x, y) - \tilde{\mu}) \quad (2)$$

$\mu$  : 설정된 mask 내 평균값

$\sigma^2$  : 영상에서의 Gaussian 노이즈 분산값

$\nu^2$  : 설정된 mask 내 노이즈 분산값

$\tilde{\mu}$  : 설정된 mask 내 중간값

### 3. 영상 화질의 정량적 평가

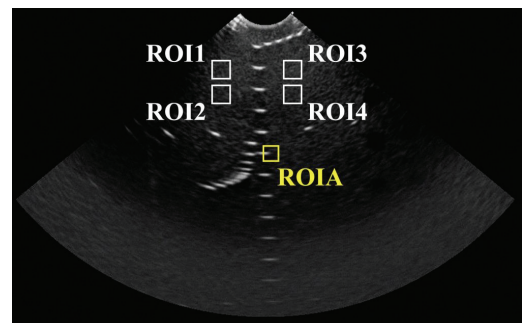
획득된 영상의 노이즈 레벨 평가를 위해 변동 계수(coefficient of variation, COV)를 사용하였고, 경계 부분의 선예도를 종합적으로 나타내는 가장자리 상승 거리(edge rise distance, ERD)를 사용하여 정량적인 평가를 수행하였다. ERD는 가장자리 신호 값이 10%에서 90%로 상승하는 데 필요한 거리로 정의되는데 값이 작을수록 결과 영상의 선명도가 더 높다는 것을 나타내며<sup>[9]</sup>, COV의 계산 수식은 Eq. (3)과 같다.

$$COV = \frac{\sigma}{\mu} \quad (3)$$

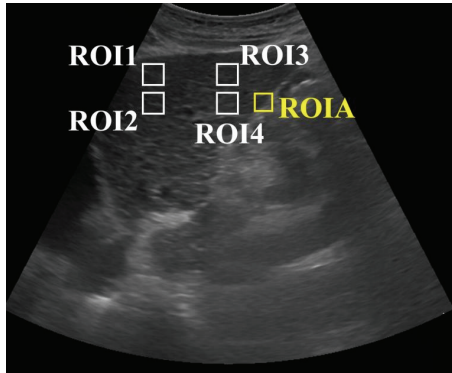
$\mu$  : 관심영역의 평균값

$\sigma$  : 관심영역의 표준편차값

Fig. 1은 획득된 ACR 팬텀 및 실제 간경변 환자의 초음파 영상의 COV 및 ERD 측정을 위해 설정한 ROI를 표시한 샘플 영상이다. ROI 1부터 4까지는 COV 평가를 위해 설정하였고 ROIA는 ERD를 계산하기 위해 설정하였다.



(a) ACR phantom ultrasound image



(b) Ultrasound image for liver cirrhosis

Fig. 1. Sample ultrasound images on setting ROI for COV and ERD evaluations.

### III. RESULT & DISCUSSION

초음파에서 노이즈는 고유한 특성으로 낮은 영상 품질을 만들고 영상 해석과 진단에 있어서 부정적인 영향을 준다<sup>[10]</sup>. 초음파 영상의 품질에 크게 의존하는 간질환 진단에서 낮은 수준의 임상 영상은 세부적인 간질환 판별을 어렵게 한다. 따라서 본 연구에서는 영상 화질 개선에 효율적이라 증명된 MMWF 알고리즘을 사용하여 간경변 영상에서의 노이즈 감소 효율성을 입증하고자 한다.

Fig. 2는 ACR 팬텀을 사용하여 얻은 초음파 영상에 median filter, Wiener filter, 그리고 MMWF 알고리즘을 적용한 영상이다. ACR 팬텀을 통해 얻은 초음파 영상을 눈으로 평가했을 때, 노이즈 감소가 가장 효과적으로 이루어진 영상은 MMWF 알고리즘을 적용한 영상이다. Fig. 3 (a)와 (b)는 각각 ACR 팬텀 영상들에서 측정된 COV와 ERD 값을 나타낸 그래프이다. Fig. 3 (a)에서 볼 수 있듯이 Noisy, median filter, Wiener filter, 그리고 MMWF 알고리즘의 평균 COV 값은 각각 1.006, 0.619, 0.490, 그리고 0.426으로 도출되었다. 또한, MMWF 알고리즘은 Noisy, median filter, 그리고 Wiener filter 적용 영상과 비교하면 평균 COV 값이 각각 2.36배, 1.45배, 그리고 1.15배 향상됨을 우리는 확인할 수 있었다. ACR 팬텀을 사용하여 얻은 초음파 영상의 ROI A에서 측정된 Noisy, median filter, Wiener filter, 그리고 MMWF 알고리즘의 ERD 값은 각각 0.570,

1.176, 1.087, 그리고 0.812로 계산되었다. 결과적으로 MMWF 알고리즘의 ERD 값은 median filter 및 Wiener filter 적용 영상과 비교하면 각각 30.95% 및 25.30% 향상됨이 증명되었다.

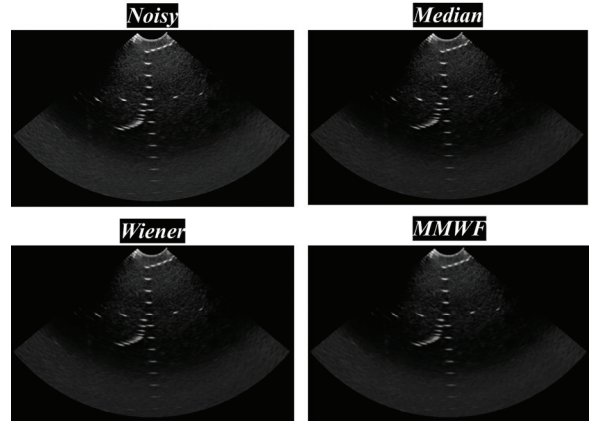
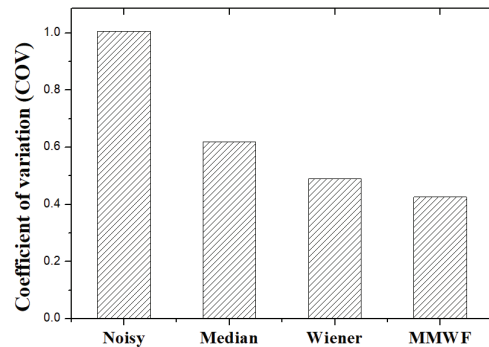
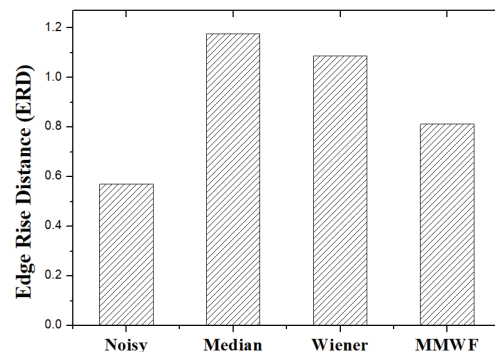


Fig. 2. ACR phantom image applying MMWF and conventional filtering methods.



(a) COV results



(b) ERD results

Fig. 3. Result graphs for COV and ERD calculations with respect to algorithm in ACR phantom ultrasound image.

Fig. 4는 실제 간경변 환자를 통해 얻은 초음파 영상에 median filter, Wiener filter, 그리고 MMWF 알고리즘을 적용한 영상이다. 간경변 환자를 통해 얻은 초음파 영상을 육안적으로 평가했을 때, 노이즈 감소가 가장 효과적으로 이루어진 영상은 MMWF 알고리즘을 적용한 영상이다.

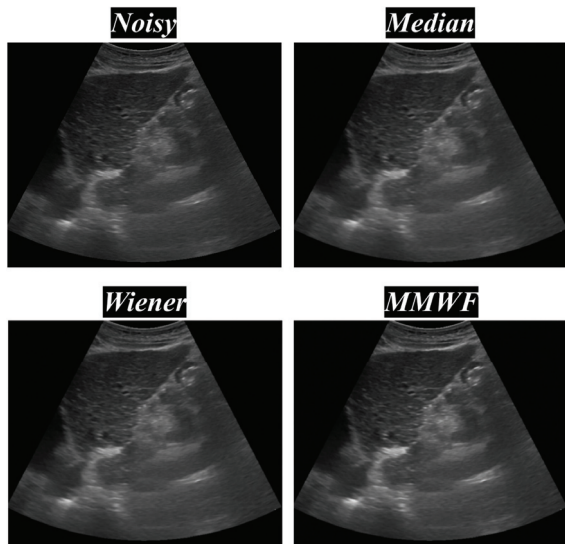
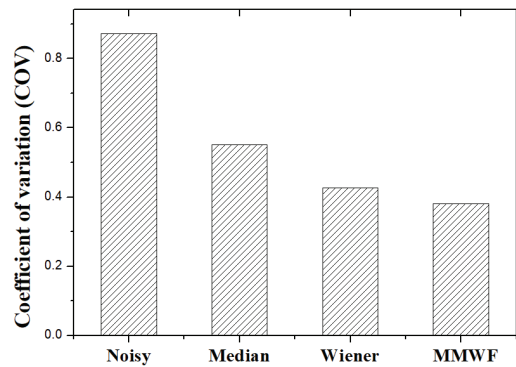


Fig. 4. Ultrasound image for liver cirrhosis applying MMWF and conventional filtering methods.

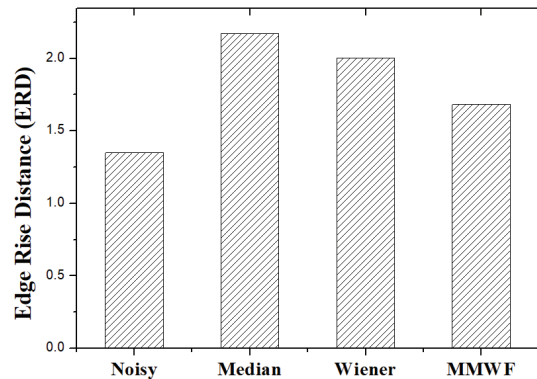
Fig. 5 (a)와 (b)는 Fig. 4에서 나타낸 결과 영상들에서의 COV와 ERD 값을 정량적으로 분석한 결과 그래프이다. Noisy, median filter, Wiener filter, 그리고 MMWF 알고리즘의 평균 COV 값은 각각 0.872, 0.551, 0.427, 그리고 0.381로 도출되었다. 또한, MMWF 알고리즘은 Noisy, median filter, 그리고 Wiener filter 적용 영상과 비교하면 평균 COV 값이 각각 2.29배, 1.45배, 그리고 1.12배 향상됨을 우리는 확인할 수 있었다. 실제 간경변 환자를 통해 얻은 초음파 영상의 설정한 ROI A에서 측정된 Noisy, median filter, Wiener filter, 그리고 MMWF 알고리즘의 ERD 값은 각각 1.350, 2.172, 2.005, 그리고 1.682로 계산되었다. 결과적으로 MMWF 알고리즘은 median filter 및 Wiener filter 적용 영상과 비교하면 각각 22.56% 및 16.11% 향상됨이 증명되었다.

초음파 영상의 화질을 개선하는 데 사용할 수 있는 방법에는 알고리즘을 이용한 소프트웨어적 방법 말고도 하드웨어적 방법도 있다. 하지만, 높은

비용적 요구 때문에 하드웨어적 방법보다는 소프트웨어적 방법이 주로 사용되는 추세이다. 소프트웨어적 방법은 유연성, 내장형, 가용성에 있어서 이 점을 나타내고, 하드웨어의 추가 없이 빠르게 새로운 소프트웨어의 구현이 가능하다.



(a) COV results



(b) ERD results

Fig. 5. Result graphs for COV and ERD calculations with respect to algorithm in ultrasound image for liver cirrhosis.

소프트웨어적 방법 중 하나인 비지역적 평균 (non-local means, NLM) 기반 알고리즘 또한 다양한 진단 및 의료 분야 영상에서 널리 쓰이는 효과적인 알고리즘이다. Kim의 실험에 따르면, 초음파 영상에서 NLM 알고리즘의 사용은 기존 conventional 필터링 방법보다 영상 화질 개선 효율성이 뛰어났다는 연구 결과가 있다<sup>[11]</sup>. 비록 NLM 알고리즘은 앞에 언급된 연구에서 나타난 것처럼 local 알고리즘보다 PSNR이나 영상 품질 면에서 우위를 보인다. 하지만, 창 크기에 따라 영상 품질이 좌우되는데, 작은 윈도우 창을 사용하면 저주파 노이즈



를 제거하기 힘들고 큰 윈도우 창을 사용하면 저주파 노이즈를 효과적으로 제거할 수 있지만 작은 부분까지 섬세하게 표현되기 힘들다는 단점이 있다<sup>[12]</sup>. 또한, 픽셀 단위의 창을 매칭하는데 시간이 오래 걸리기 때문에 보편적인 사용이 제한된다. 반면 NLM에 비해 MMWF 알고리즘은 불안정한 신호에서도 잘 사용할 수 있고, 알고리즘 적용이 쉽고 빠르다는 장점이 있다<sup>[13]</sup>. 이러한 점을 토대로 실제 임상에서는 NLM 기반 알고리즘보다 MMWF의 적용이 더 효과적일 것이라고 생각된다.

최근 딥러닝을 초음파에 적용하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 노이즈로 인한 초음파 영상 진단의 어려움을 극복하고 의사의 정확한 진단을 돕기 위해 딥러닝을 이용한 많은 컴퓨터 보조 진단 시스템이 개발되었다<sup>[14]</sup>. 이러한 컴퓨터 보조 진단 시스템 중 인공지능 분류는 초음파 영상을 통해 간 질환을 구분하는 데 사용되고 있다. 간 질환을 구분하는 것에는 주로 질감 정보가 이용되는데, 영상에서 지방간은 질감이 흐릿하지만 간경변은 질감이 거칠게 나타난다<sup>[15]</sup>. 질감 정보를 이용하여 인공지능이 간 질환을 구분하기 위해서는 막대한 트레이닝 데이터가 필요하다. 트레이닝 데이터는 간의 질감을 잘 표현해야 하지만 노이즈 때문에 잘 나타나지 않을 수 있다<sup>[16]</sup>. MMWF 알고리즘은 본 연구에서 입증된 것처럼 간 초음파 노이즈 제거에 있어서 효과적이기 때문에 이를 이용하여 노이즈 제거하면 딥러닝 트레이닝 데이터로 적합한 영상을 얻을 수 있을 것이다.

#### IV. CONCLUSION

본 연구에서는 간경변 초음파 영상에서 MMWF 알고리즘 적용 시 speckle 노이즈 감소를 정량적인 평가를 통해 유의미한 결과 값을 볼 수 있었다. 이러한 결과를 토대로 MMWF 알고리즘의 사용은 간경변 표면 결절성 변화의 식별을 어렵게 하는 speckle 노이즈를 제거함으로써 더 정확한 간경변의 진단으로 이어질 것이라 기대된다.

#### Reference

- [1] R. J. Fontana, A. S. F. Lok, "Noninvasive monitoring of patients with chronic hepatitis C", *Hepatology*, Vol. 36, No. S1, pp. S57-S64, 2002. <https://doi.org/10.1053/jhep.2002.36800>
- [2] V. Simonovský, "The diagnosis of cirrhosis by high resolution ultrasound of the liver surface", *The British Journal of Radiology*, Vol. 72, No. 853, pp. 29-34, 1999. <https://doi.org/10.1259/bjr.72.853.10341686>
- [3] K. Kalyan, B. Jakhia, R. D. Lele, M. Joshi, A. Chowdhary, "Artificial neural network application in the diagnosis of disease conditions with liver ultrasound images", *Advances in Bioinformatics*, Vol. 2014, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/708279>
- [4] C. Park, "Fabrication and application of customized breast phantom for MMWF noise reduction algorithm in digital mammography: An experimental study", *Optik*, Vol. 266, pp. 169571, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.169571>
- [5] S. Ju, S. H. Kang, Y. Lee, "Optimization of mask size for median-modified Wiener filter according to matrix size of computed tomography images", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, Vol. 1010, pp. 165508, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2021.165508>
- [6] S. Lee, Y. Lee, "Performance evaluation of median-modified Wiener filter algorithm in high-resolution complementary metal-oxide-semiconductor radio-magnetic X-ray imaging system: An experimental study", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, Vol. 1010, pp. 165509, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2021.165509>
- [7] D. Bhonsle, T. Rizvi, S. Mishra, G. R. Sinha, A. Kumar, V. K. Jain, "Reduction of Ultrasound Images using Combined Bilateral Filter & Median Modified Wiener Filter", 2022 Second International Conference on Advances in Electrical, Computing, Communication and Sustainable Technologies (ICAECT), 2022. <https://doi.org/10.1109/ICAECT54875.2022.9807906>

- [8] C. Park, Y. Lee, "Application feasibility of median modified Wiener filter (MMWF) algorithm for customized breast ACR phantom images using 3D printing technology in mammography", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, Vol. 1031, pp. 166570, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2022.166570>
- [9] J. H. Hong, E. A. Park, W. Lee, C. Ahn, J. H. Kim, "Incremental Image Noise Reduction in Coronary CT Angiography Using a Deep Learning-Based Technique with Iterative Reconstruction", *Korean Journal of Radiology*, Vol. 21, No. 10, pp. 1165-1177, 2020. <https://doi.org/10.3348/kjr.2020.0020>
- [10] H. Rabbani, M. Vafadust, P. Abolmaesumi, S. Gazor, "Speckle Noise Reduction of Medical Ultrasound Images in Complex Wavelet Domain Using Mixture Priors", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 55, No. 9, pp. 2152-2160, 2008. <https://doi.org/10.1109/TBME.2008.923140>
- [11] K. Kim, N. Chon, H. W. Jeong, Y. Lee, "Improvement of Ultrasound Image Quality Using Non-Local Means Noise-Reduction Approach for Precise Quality Control and Accurate Diagnosis of Thyroid Nodules", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 19, No. 21, 2022. <https://doi.org/10.3390/ijerph192113743>
- [12] Y. Liu, J. Wang, X. Chen, Y. Guo, Q. Peng, "A Robust and Fast Non-Local Means Algorithm for Image Denoising", *IEEE International Conference on Computer-Aided Design and Computer Graphics*, 2007. <https://doi.org/10.1109/CADCG.2007.4407844>
- [13] C. V. Cannistraci, A. Abbas, X. Gao, "Median Modified Wiener Filter for nonlinear adaptive spatial denoising of protein NMR multidimensional spectra", *Scientific Reports*, Vol. 5, No. 1, 2015. <https://doi.org/10.1038/srep08017>
- [14] S. Liu, Y. Wang, X. Yang, B. Lei, L. Liu, S. X. Li, D. Ni, T. Wang, "Deep learning in medical ultrasound analysis: a review", *Engineering*, Vol. 5, No. 2, pp. 261-275, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.11.020>
- [15] L. Dandan, M. Huanhuan, L. Xiang, J. Yu, J. Jing, S. Yi, "Classification of diffuse liver diseases based on ultrasound images with multimodal features", *2019 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, 2019. <https://doi.org/10.1109/I2MTC.2019.8827174>
- [16] K. Kalyan, B. Jakhia, R. D. Lele, M. Joshi, A. Chowdhary, "Artificial neural network application in the diagnosis of disease conditions with liver ultrasound images", *Advances in Bioinformatics*, Vol. 2014, pp. 7082792014, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/708279>

# 간경변 초음파 영상에서의 노이즈 제거를 위한 Median Modified Wiener Filter 알고리즘의 유용성

김승연, 강수민, 이영진\*

가천대학교 방사선학과

## 요약

임상 초음파 검사를 사용한 간 표면의 결절성 변화를 관찰하는 방법은 간경변 진단에 유용하게 사용되고 있다. 하지만 초음파 영상에서 필연적으로 발생하는 speckle 노이즈는 간표면과 echo 패턴 변화의 식별을 어렵게 하므로 간경변 진단에 부정적인 영향을 끼친다. 본 연구의 목적은 간경변 초음파 영상의 노이즈를 효율적으로 줄일 수 있는 변형된 중간값 위너 필터(median modified Wiener filter, MMWF)를 모델링하여 적용 가능성을 확인하는 것이다. ACR 팬텀과 실제 간경변 환자를 통해 초음파 영상을 획득하였고, 각각의 영상마다 제안하는 MMWF 알고리즘과 conventional filter 들을 적용하였다. 획득된 초음파 영상들의 정량적 화질 평가인자로는 변동 계수(coefficient of variation, COV)와 가장자리 상승 거리(edge rise distance, ERD)를 사용하였다. ACR 팬텀과 실제 간경변 환자의 초음파 영상 모두에서 MMWF 알고리즘이 conventional filter 보다 COV와 ERD 값이 모두 향상되었음을 확인하였다. 결론적으로 제안하는 MMWF 알고리즘은 노이즈 레벨을 줄일 수 있음과 동시에 공간 분해능을 향상시킬 수 있어 간경변 환자의 진단률 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

중심단어: 초음파 영상, 간경변, 변형된 중간값 위너 필터, 노이즈 감소 알고리즘

## 연구자 정보 이력

|        | 성명  | 소속          | 직위  |
|--------|-----|-------------|-----|
| (제1저자) | 김승연 | 가천대학교 방사선학과 | 학부생 |
| (공동저자) | 강수민 | 가천대학교 방사선학과 | 학부생 |
| (교신저자) | 이영진 | 가천대학교 방사선학과 | 부교수 |