

# A Study on the Development of Ultrasonography Guide using Motion Tracking System

Jung Young-Jin<sup>1</sup>, Kim Eun-Hye<sup>2</sup>, Choi Hye-Rin<sup>3</sup>, Lee Chae-Jeong<sup>3</sup>, Kim Seo-Hyeon<sup>3</sup>, Choi Yu-Jin<sup>3</sup>, Hong Dong-Hee<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>Healthcare and Biomedical Engineering, Chonnam University

<sup>2</sup>Health Science Research Center, Korea University

<sup>3</sup>Department of Radiological Science, Shinhan University

Received: December 01, 2023. Revised: December 27, 2023. Accepted: December 31, 2023.

## ABSTRACT

Breast cancer is one of the top three most common cancers in modern women, and the incidence rate is increasing rapidly. Breast cancer has a high family history and a mortality rate of about 15%, making it a high-risk group. Therefore, breast cancer needs constant management after an early examination. Among the various equipment that can diagnose cancer, ultrasound has the advantage of low risk and being able to diagnose in real time. In addition, breast ultrasound will be more useful because Asian women's breasts are denser and less sensitive. However, the results of ultrasound examinations vary greatly depending on the technology of the examiner. To compensate for this, we intend to incorporate motion tracking technology. Motion tracking is a technology that specifies and analyzes a location according to the movement of an object in a three-dimensional space. Therefore, real-time control is possible, and complex and fast movements can be recorded in real time. We would like to present the production of an ultrasound examination guide using these advantages.

Keywords: Breast Cancer, Ultrasound, Probe, Motion Tracking, Guide

## I. INTRODUCTION

초음파는 다른 영상 진단 장비들보다 방사선 피폭의 위험이 적고 비침습적으로 실시간 검사가 가능하다는 장점이 있어 고위험군 검진 영역에서의 유용성이 더욱 증가하고 있다<sup>[1]</sup>. 이러한 초음파 장비의 기계적인 특성과 더불어 초음파 스캔을 통해 얻은 영상은 적절한 진단과 시술에 도움을 준다<sup>[2]</sup>. 최근 5년간 초음파 검사자 수가 다른 영상 검사 건수에 비해 증가하여 연평균 64% 증가하고 있다<sup>[3]</sup>. 여성들에게 가장 많이 발생하는 3대 암인 유방암, 위암, 그리고 자궁경부암 중 유방암 환자는 전체 여성 암 발생의 20.6%를 차지하며 갑상선암을 제

외하고 제일 많이 발생하는 암이다<sup>[4]</sup>. 유방암은 전 세계적으로 발생률이 급격하게 증가하는 질환으로 2012년에 비해 2020년에 24.3%나 증가하였고, 가장 흔하게 발생하는 여성 암으로서 세계 여성 암 발생률의 전체 24.5%를 차지하며, 또한 사망률도 15.5%로 가장 높은 편에 속한다<sup>[5]</sup>. 가족력이 높은 것으로 잘 알려진 유방암은 조기 검진이 중요하며 40-69세의 여성은 2년에 한 번씩 유방 검진을 권고하고 있다.

하지만 국내를 비롯한 아시아 여성들은 유방의 밀도가 높아 유방촬영만으로 민감도가 떨어져 정확한 진단을 내리기에 어려움이 따른다<sup>[6]</sup>. 이처럼 유방의 밀도가 높아 유방 촬영술로는 병변을 관찰하기 어려울 때 사용하는 유용한 진단 방법으로 유

\* Corresponding Author: Dong-Hee Hong

E-mail: hansound2@hanmail.net

Tel: +82-31-870-3415

Address: 95 Hoam-ro, Uijeongbu, Geonggi 11644 Republic of Korea

방 초음파 검사가 있다<sup>17)</sup>. 유방 초음파 검사는 낭종, 섬유선종, 악성종양 등 종괴의 특성을 정확하게 평가하여 병변의 조기 진단이 가능하게 한다<sup>18)</sup>. 초음파 사용은 진단 및 치료에 중요한 역할을 하지만, 초음파를 스캔할 때 환자의 자세와 체형을 고려하여 스캔 면을 이동하면서 관찰해야 하기 때문에 초음파 검사자의 기술에 따라 결과에 많은 차이가 날 수 있다. 따라서 영상의 객관성 및 표준화를 위해 모션트래킹 기술을 이용한 가이드를 만들고자 한다.

모션트래킹(motion tracking)이란 3D 공간상에서 대상의 움직임에 대한 위치와 방향을 측정하고, 컴퓨터가 사용할 수 있는 형태의 정보로 기록하여 분석하고 이것을 응용하는 기술이다<sup>9,10)</sup>. 모션트래킹의 장점은 실시간으로 제어가 가능하고, 매우 복잡하거나 빠른 움직임도 실시간으로 기록할 수 있다는 장점이 있다<sup>11)</sup>. 이러한 모션트래킹의 장점과 의료 교육 서비스 기술을 융합하여 유방 영상을 획득을 교육/실습할 때 놓친 부분이 없이 세밀한 스캔을 진행할 수 있도록 유방 팬텀의 스캔 좌표를 획득한 후, 그 활용 가능성을 평가하고자 한다.

본 연구는 앞서 언급한 목표를 수행하기 위한 예비적 연구(preliminary study)로, 이미지 가이드 시스템 기반 초음파 검사 교육 기법 개발의 가능성을 확인하고자 한다.

## II. MATERIAL AND METHODS

### 1. 실험환경 세팅

본연구에서는 모션 측정 실험을 위해서 OptiTrack Prime<sup>x</sup> 41 카메라를 총 4대 사용하였다. 카메라의 배치는 모션의 측정을 용이하게 할 수 있는 관계로 45° 간격으로 180° 반구의 면을 커버할 수 있는 영역으로 설정하였으며, 카메라 1번과 카메라 4번의 사이의 거리(반구의 지름길이)는 약 4 m로 설정하였다. 카메라의 프레임속도(frame rate)는 120 Hz로 설정하였다. Fig. 1과 같다.

### 2. 초음파 프로브 위치 확인용 완드(wand)제작

초음파스캐너의 위치 추정을 위해서 총 3개의 마

커(NIR reflected ball)를 Fig. 2의 구조와 같은 형태로 3D 디자인을 하여 3D 프린터를 이용하여 제작하였다. 여기서 각각의 마커는 각각 10 cm의 거리를 두고 총 3개를 사용하였으며, 제작된 wand는 3차원 초음파 프로브(ultrasound probe)에 부착하여 초음파 프로브의 위치를 추정할 수 있도록 세팅하였다. Fig. 3과 같다.

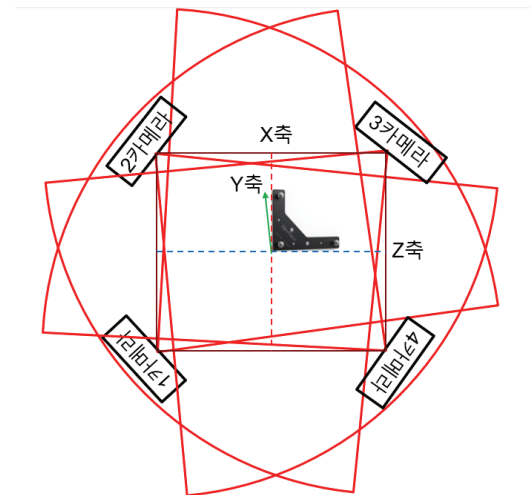


Fig. 1. Camera Position and direction for 3D position tracking.

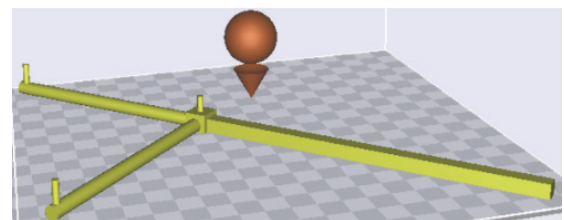


Fig. 2. 3D-designed wand for real-world position tracking.

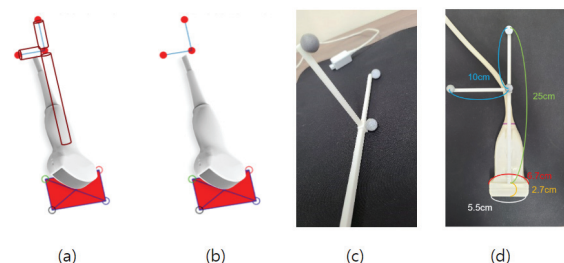


Fig. 3 Probe position estimation. (a) Representation of the sensor position calculation for the ultrasound probe, (b) Representation of the relative position between the marker and the captured video image, (c) Real-life photograph of the 3D-designed wand, (d) Real-life photograph of the ultrasound probe and the defective wand.

### 3. 마커와 영상 위치 계산 기법

본 연구에서는 3개의 마커와 실제 초음파 프로브를 통해 촬영된 영상을 동일한 좌표계에 결합시켜야 하는 점이 존재한다. 이를 위해서는, 3개의 마커 위치로부터 촬영 영상의 위치를 추정해내는 연산을 동일한 좌표계 나타내야 하며, 이를 위해서 촬영 영상을 마커의 real-world 좌표계로 변환하는 처리 과정을 아래와 같이 수행하였다.

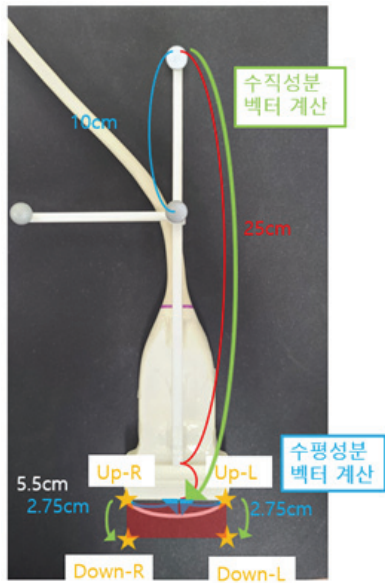


Fig. 4. Calculate the vector of the probe and the horizontal component of the vertical component among the three markers.

- ① 3개의 마커 중 프로브와 수직성분의 벡터를 계산함
- ② 수직성분의 벡터를 기반으로, 영상의 위치가 위치한 방향으로 25 cm (wand의 길이)와 2.7 cm (초음파 프로브 센서의 길이)만큼 이동함
- ③ 3개의 마커 중 프로브와 수평성분의 벡터를 계산함
- ④ Up-R과 Up-L의 위치를 계산함 [②에서 구해진 위치에서 ③벡터의 +, -방향으로 2.75 cm씩 이동]
- ⑤ 다시 ②에서 구해진 벡터 방향으로 ④에서 구해진 Up-R과 Up-L을 기점으로 Down-R과 Down-L의 위치를 계산함

- ⑥ Up-R, UP-L, Down-R, Down-L의 위치를 기점으로 촬영된 영상을 텍스처 매핑(texture mapping)을 진행함

### 4. 실시간 tracking을 통한 촬영 영상의 위치 평가

앞서 언급된 초음파 프로브의 위치를 추정하기 위한 wand의 사용을 통해서, 실제 초음파에서 촬영되는 위치를 추정하는 방법은 총 2가지가 존재한다. 첫 번째로는 초음파 영상장치에서 실시간으로 영상을 얻어서 표시하는 방법이 존재하며, 두 번째로는 단순히 초음파 프로브로 영상을 촬영한다고 가정하고 타겟(Target)이 되는 팬텀(phantom) 등의 영상을 미리 확보한 후, 이를 기반으로 위치에 따른 영상을 표시하는 방법이 존재한다. 마지막 세 번째로는 영상과는 무관하게 학습자가 스캔을 한 영역이 실제 스캔을 진행해야 하는 영역을 적절히 촬영하였는가를 평가하는 방법이다. 본 연구에서는 실제 학습자의 교육용으로 고가의 초음파 장비를 활용하기보다는 세 번째 방법으로, 저렴하고 손쉽게 촬영 영역을 적절히 잘 촬영하였는가를 확인하는 방법을 선택하였으며, 이를 위해서 실제로 스캔한 영역을 임의의 이미지로 입힌 3차원 영상을 복원하고자 하였다.

이를 위해서, Fig. 5과 같이 Real-world 좌표계에 타겟(Target)이 되는 모델과 또한 스캐너의 위치정보, 그리고 촬영되는 영상의 정보를 함께 표시하고 관련 정보를 저장하여야 한다.

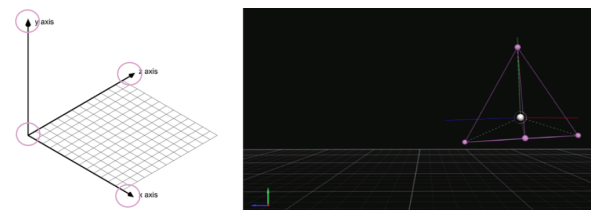


Fig. 5 Real World Coordinate system.

본 연구에서는 촬영된 초음파 영상의 위치를 연속적으로 수집된 초음파 프로브의 데이터에 기반하여 Fig. 5의 좌표계에 표시하는 방식으로 연구를 진행하였다.

### III. RESULT

#### 1. 3차원 초음파 프로브 위치로부터 계산된 초음파 영상의 위치

초음파 프로브에 부착된 3개의 마커를 기반으로 벡터 연산 알고리즘을 통하여 결과를 도출하였다. 3개의 마커의 벡터를 기반으로 초음파영상의 x축과 y축의 적절히 나타나는 것을 붉은색 사각형 박스 모양으로 확인할 수 있다. 붉은색 점은 마커를 나타내며, 붉은색 면적은 초음파 영상의 3차원 공간에서의 위치를 나타낸다. 또한 붉은색 면적의 꼭짓점들은 각각 Top-left, Top-right, Bottom-left, Bottom-right로 영상의 위치를 추정하기 위해 벡터 연산으로 계산되어진 3차원 좌표를 의미한다. Fig. 6과 같다.

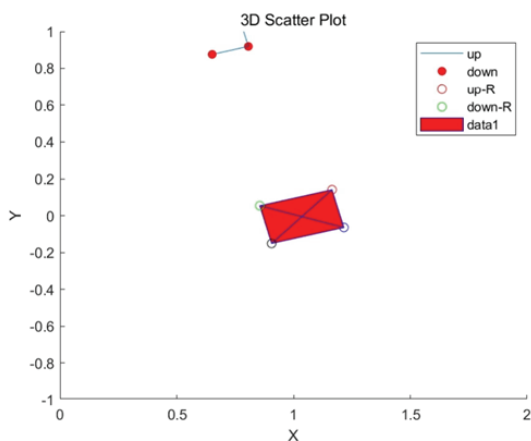


Fig. 6. Calculated US image area (red color) with prove makers.

#### 2. 촬영된 초음파 영상의 3차원 볼륨 영상화 결과

시간에 따라 움직이는 스캐너의 위치를 자체 개발한 wand를 통하여 측정한 후, 이를 기반으로 3차원 공간에서 변화되는 초음파 영상을 이용하여 3차원 볼륨 영상의 결과를 도출하였다. Fig. 7는 Real-world 좌표계에서 초음파 프로브를 일정한 박스(box)에 수직으로 스캔한 결과를 나타내는 것으로, 3차원 공간에서 초음파 영상의 위치를 볼륨으로 나타낼 수 있는 기술을 개발하였다.

#### 3. 촬영 위치의 정확도

Table 1은 실제 촬영된 마커의 위치와 이미지 위치가 상대적으로 가질 수 있는 오차의 범위를 나타낸 것으로, 수치적으로 그 오차를 시뮬레이션하여 계산한 결과를 보였다. Table 1의 결과를 바탕으로 볼 때, 상대적으로 높은 정확도를 가지는 것을 확인할 수 있었다. 여기서 wand의 위치 오차를 기준으로, 영상영역(Image Area)이 가질 수 있는 오차를 벡터의 비를 기반으로 추정하였다. 오차의 측정은 가로세로 1 m 길이의 정육면체 영역을 50 cm 간격으로 9곳의 오차값을 계산하였다. 오차의 기준이 되는 값은 wand의 중심점으로 하였으며, 총 10번의 반복촬영을 통해 그 평균과 표준편차를 계산하였다.

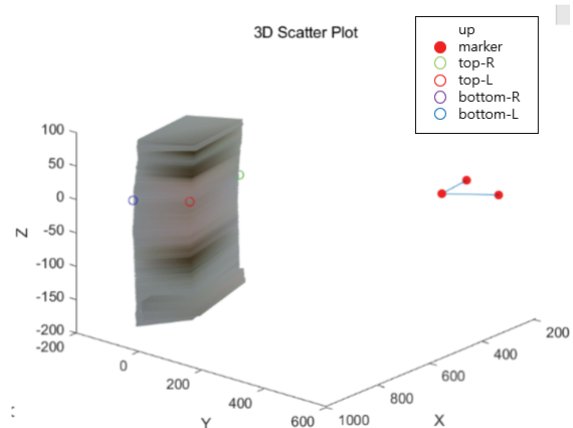


Fig. 7. Real World Coordinate system.

Table 1. Specifications of the computer in this study the values are supplied by manufacture (mm)

		x-axis	y-axis	z-axis
Wand	Mean	3.0	3.4	5.7
	Std	3.7	4.3	7.0
Image	Mean*	5.3	6.1	10.2
	Std*	6.7	7.7	12.7

### IV. DISCUSSION

유럽에서는 10명 중에 한 명이, 미국에서는 8명 중에 한 명이 평생 동안 유방암에 영향을 받을 수 있는 만큼, 여성의 주요 사망 원인 중 하나이다<sup>[12]</sup>.



유방암의 치료를 위해서는 초기에 발견하여 적절한 치료를 진행하는 것이 필요하다<sup>[12]</sup>. 여러 가지 암 진단 기법 중 초음파 촬영은 수십 년 동안 임상 진단에 사용되어 온 방사선에 노출되지 않고, 비침습적인 안전하고 효율적인 영상 기법이다<sup>[13]</sup>. 특히 유방 초음파(BUS; Breast Ultrasound) 영상은 유방암 조기 발견을 위한 가장 보편적이고, 많이 사용되어 오고 있는 검사 방법 중 하나이다<sup>[12]</sup>. 초음파 영상의 품질은 검사를 진행하는 작업자의 능력도에 따라 결과가 크게 달라지기 때문에 타 진단 방사선 검사들과 결과가 다를 수 있다. 따라서 숙련된 초음파 검사자는 완전한 초음파 진단 기능을 완전히 실현하는 데 매우 중요하다<sup>[13]</sup>.

본 연구의 목적은 초음파 학습자의 올바른 초음파 검사 진행 방식을 실시간으로 보며 교육받기 위해 모션트래킹 기능과 접목시켜 유방 스캔이 용이할 수 있도록 가능성을 보고자 하였다. 초음파 프로브에 모션트래킹이 가능한 장치인 Optitrack 장치를 부착하여 프로브의 움직임에 대한 모션트래킹 좌표를 획득하였다.

Richard Droste의 연구에 따르면 프로브에 부착된 측정장치의 움직임 신호를 수신하고, 안내 신호를 예측하는 시스템을 개발하여 검사자가 수행할 다음 움직임을 예측하도록 하였고, 이러한 실시간 프로브 이동 좌표를 획득하여 산부인과 초음파 스캐닝을 교육받는 학습자의 기술을 향상하는 데 기여했다<sup>[9]</sup>. 본 연구에서는 Optitrack 사의 카메라로 초음파 프로브에 부착된 3개의 마커 위치를 추적하였다. 획득한 데이터를 벡터 연산 알고리즘을 통하여 3차원 공간에서의 프로브 위치를 나타내는 기법을 개발하여 결과를 확인하였다. 이를 통해 이미지 가이드 시스템을 제작하여 초음파 검사 학습자의 숙련도 향상에 많은 기여할 것으로 사료된다.

연구를 진행하는 과정에서 프로브에 부착된 마커의 움직임 문제를 보완하기 위해 추가 마커를 수직으로 부착하였고, 또한 신체가 마커를 가리지 않은 촬영 위치를 찾아 세팅하고, 프로그램에서 FOV intensity 조절 및 카메라 조리개, 초점 조절 등을 통해 마커의 민감도를 높여 결과의 정확도를 높이고자 하였다.

이러한 연구 결과를 통해 초음파 검사와 모션트래킹 두 기술의 접목으로 초음파 진단 교육의 효율성을 높일 가능성을 확인할 수 있었다.

## V. CONCLUSION

초음파 검진은 유방암에 노출되기 쉬운 40~60대 여성에게 필수 검진이다. 그러나 초음파는 검사자에 따라 영상의 질이 크게 차이가 난다. 이러한 한계를 극복하기 위해 본 논문에서는 모션트래킹 기술을 이용한 가이드 제작을 제시하였다. 본 연구에서는 Optitrack 사의 카메라로 초음파 프로브에 부착된 모션 마커 위치를 특정해 스캔 과정을 추적하였다. 마커로부터 스캔 된 영상의 위치를 추정할 수 있는 것을 결과로 확인하였다. 또한, 초음파스캐너를 시간에 따라 스캔하는 과정에서 만들어질 수 있는 3차원 공간에서의 볼륨 영상을 나타내는 기법을 개발하여 그 결과를 확인할 수 있었다.

비록, 본 연구에서는 실제의 초음파 영상 기기를 활용하여 팬텀 또는 인체에 대해서 적용하지는 못하였으나, 적용을 위한 필수적인 영상화 기법의 개발을 완료하였으며, 이를 통하여 이미지 가이드 시스템 기반 초음파 교육 기법의 개발이 가능할 것으로 판단할 수 있다.

본 연구의 결과를 바탕으로, 향후 후속 연구에서는 팬텀의 3차원 영상을 real-world 좌표계에 추가로 삽입하고, 여기에 Target(필수 촬영 영역)으로 하는 영역을 얼마나 잘 스캔하였는지를 비교하는 기법의 개발이 필요하다. 또한, 이러한 기법의 개발이 완료된 후에는 실시간(real-time)으로 이를 추정하는 기술의 개발이 진행되어야 한다. 이어서, 이러한 기술을 학생의 초음파 영상 촬영 교육에 접속하는 방안 관련 연구가 지속된다면, 이를 기반으로 가성비(cost-effective) 높은 교육용 기법으로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

## Reference

- [1] S. H. Chung, H. J. Lee, H. S. Kim, J. Y. Oh, "Health Insurance Benefit Criteria and Quality Assurance Policies of Diagnostic Ultrasound Services in Other Countries", Health Policy and Management,

- Vol. 24, No. 2, pp. 109-119, 2014.  
<http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.4332/KJHPA.2014.24.2.109>
- [2] Manual of diagnostic ultrasound, World Health Organization, 2011.
- [3] Ultrasound examination statistics, Health Insurance Review & Assessment Service, 2020.
- [4] The results of national cancer registry statistics in 2020, Ministry of Health and Welfare, 2020.
- [5] 2022 White paper on breast cancer, Korean Breast Cancer Society, 2022.
- [6] H. S. Kim, B. J. Kang, J. H. Lee, H. W. Yim, S. E. Jung, B. G. Choi, H. S. Kim, E. S. Cha, S. H. Kim, N. Y. Jung, Ch. S. Park, I. Y. Whang, "Sensitivity and Specificity of Screening Mammographies and Ultrasonographies Performed in Women at Seven Health Promotion Centers for One year", *Journal of the Korean Society of Medical Ultrasound*, Vol. 29, pp. 1-5, 2010.
- [7] N. Cho, Y. K. Moon, "Clinical role of breast ultrasound", *Journal of the Korean Medical Association*, Vol. 51, No. 6, pp. 545-552, 2008.  
<https://doi.org/10.5124/jkma.2008.51.6.545>
- [8] Preparation of ultrasound appropriateness evaluation plan, Health Insurance Review & Assessment Service, 2018.
- [9] R. Droste, L. Drukker, A. T. Papageorghiou, J. Alison Noble, "Automatic Probe Movement Guidance for Freehand Obstetric Ultrasound", *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*, Vol. 12263, pp. 583-592, 2020.  
[https://doi.org/10.1007%2F978-3-030-59716-0\\_56](https://doi.org/10.1007%2F978-3-030-59716-0_56)
- [10] Z. Wang, H. Dai, Y. Zeng, T. C. Lueth, "A Robust 6-D Pose Tracking Approach by Fusing a Multi-Camera Tracking Device and an AHRS Module", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 71, pp. 1-11, 2022.  
<http://dx.doi.org/10.1109/TIM.2021.3139655>
- [11] A. E. Kaffas, R. H. Gong, S. Sridharan, R. Sigrist, I. Durot, J. K. Willmann, D. H. Hristov, "Clinical Evaluation of Real-Time Optical-Tracking Navigation and Live Time-Intensity Curves to Provide Feedback During Blinded 4D Contrast-Enhanced Ultrasound Imaging", *Image and Video Processing*, 2020.  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2011.00744>
- [12] B. Liu, H. D. Cheng, J. Huang, J. Tian, X. Tang, J. Liu, "Fully automatic and segmentation-robust classification of breast tumors based on local texture analysis of ultrasound images", *Pattern Recognition*, Vol. 43, No. 1, pp. 280-298, 2010.  
<https://doi.org/10.1016/j.patcog.2009.06.002>
- [13] J. Marharjan, B. R. Mitchell, V. W. S. Chan, E. Kim, "Guided Ultrasound Imaging using a Deep Regression Network", *Ultrasonic Imaging and Tomography*, Vol. 11319, pp. 1131907, 2020.  
<https://doi.org/10.1117/12.2549428>

# 이미지 가이드 시스템 기반 초음파 검사 교육 기법 개발: 예비 연구

정영진<sup>1</sup>, 김은혜<sup>2</sup>, 최혜린<sup>3</sup>, 이채정<sup>3</sup>, 김서현<sup>3</sup>, 최유진<sup>3</sup>, 홍동희<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>전남대학교 헬스케어메디컬공학부

<sup>2</sup>고려대학교 보건과학연구소

<sup>3</sup>신한대학교 방사선학과

## 요약

유방암은 현대 여성들에게 가장 많이 발생하는 3대 암 중 하나로, 발생률이 급격하게 증가하고 있다. 가족력이 높고, 15% 정도의 사망률이 있어 고위험군에 속하므로 조기 검진 후 꾸준한 관리가 필요하다. 암을 진단할 수 있는 여러 장비 중 초음파는 위험성이 적고, 실시간으로 진단할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 초음파 검사는 검사자의 기술에 따라 결과가 크게 달라진다. 이를 보완하기 위해 모션트래킹 기술을 접목하고자 한다. 모션트래킹은 삼차원의 공간에서 대상의 움직임에 따라 위치를 특정하고 분석하는 기술이다. 그렇기에 실시간 제어가 가능하고, 복잡하고 빠른 움직임도 실시간으로 기록할 수 있는 장점이 있다. 이러한 장점을 활용한 초음파 검사용 이미지 가이드 시스템 제작을 목표로 하였다. 이를 위해서 초음파스캐너의 위치를 3차원적으로 추정할 수 있는 자체 제작 완드(wand)를 설계하였고, 제작된 완드를 기반으로 초음파 영상의 위치를 추정하는 벡터 연산 알고리즘을 개발하였다. 이후, 연속 촬영을 통하여 3차원 공간에서 프로브의 위치와 초음파 영상의 위치를 나타내는 것까지 완료하였다. 이러한 실험은 Optitrack사의 Primex 41 카메라를 초당 120 frame (Hz)으로 영상을 획득하며, 성공적으로 초음파 영상의 3차원 위치를 추정할 수 있었다. 이 실험 과정을 통해 초음파 검사와 모션트래킹의 접목으로 가이드 제작의 가능성을 확인하였다. 차후 추가적인 연구를 통해 초음파 검사 가이드를 제작하여 검사자의 기술과 상관없이 질 좋은 영상을 획득할 수 있기를 바란다.

중심단어: 유방암, 초음파, 프로브, 모션트래킹, 가이드

## 연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	정영진	전남대학교 헬스케어메디컬공학부	교수
(공동저자)	김은혜	고려대학교 보건과학연구소	연구교수
	최혜린	신한대학교 방사선학과	학부생
	이채정	신한대학교 방사선학과	학부생
	김서현	신한대학교 방사선학과	학부생
	최유진	신한대학교 방사선학과	학부생
(교신저자)	홍동희	신한대학교 방사선학과	교수