

조영증강 초음파 동영상에서 병변 탐색을 위한 ROI 추출기법

곽성훈*, 강지현**, 이혜민**, 김호준**
 *한동대학교 정보통신공학과
 **한동대학교 전산전자공학부
 e-mail : trt67@lycos.co.kr

ROI Extraction Method for Lesion Detection in Contrast-Enhanced Ultrasonography

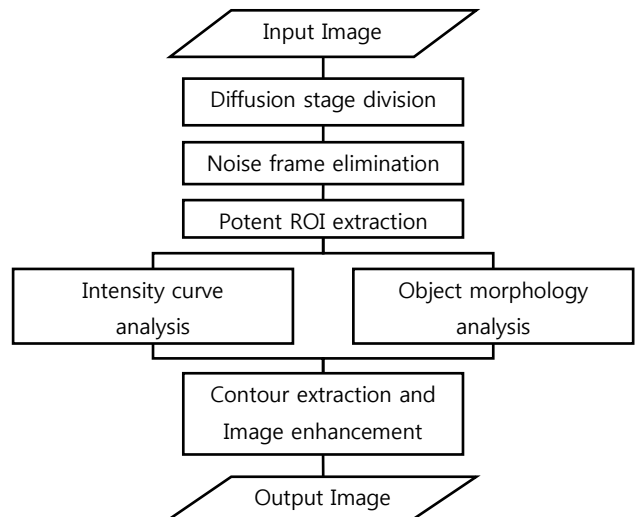
Seong-Hoon Gwak*, Ji-Hyeon Kang**, Hye-Min Lee**, Ho-Joon Kim**
 *Dept. of Information and Communication, Handong University
 **Dept. of Computer Science and Electrical Engineering, Handong University

요 약

본 연구에서는 조영증강 의료 초음파 영상에서 효과적인 병변 탐색을 위한 방법론을 고찰한다. 병변 영상을 포함하는 ROI 추출을 위하여 조영효과의 전이 형태에 대한 단계 분할 기법과 동적 프로젝션 데이터의 분석 기법을 제안한다. 프레임간 유사도 척도의 분석을 통하여 비정상 프레임을 제거한 후 조영제의 도달시간(AT: Arrival Time)과 확산구간을 추출하여 탐색 대상 데이터의 양을 감소시킨다. 대상구간에서 초음파 영상의 수평방향 및 수직방향 프로젝션 데이터에 대한 동적 특성을 분석함으로써 후보영역을 추출하며 마이크로 버블의 추출, 조영효과의 증가속도 및 비율 등의 요소를 고려하여 ROI를 선별하고 그 형태를 재조정한다. 부수적으로, 대상영역에서의 각 픽셀정보에 대하여 명도변화곡선(TIC) 특성분석을 통하여 영상을 재구성하고 병변영상의 형태와 윤곽선을 추출하게 된다.

1. 서론

초음파 영상을 통한 진단은 비침습성과 더불어 상대적으로 경제성, 대중적인 보급성이 큰 특징이다. 신독성이 없는 조영제의 개발 이후 조영증강 초음파 영상에서 조영제의 전이시간을 이용한 진단 방법들이 연구되고 있다[1]. 그러나 조영증강 초음파 동영상에서 조영효과의 짧은 확산시간과 미세기포 형태의 노이즈, 그리고 환자의 호흡 등으로 인한 영상의 흔들림은 초음파 영상에서 병변진단을 어렵게 하는 원인이 된다. 이에 본 연구에서는 조영증강 초음파 영상에서 병변 진단의 어려움을 개선하기 위한 (그림 1)과 같은 형태의 병변 탐색 기법을 제안한다. 그림에 보인 바와 같이 조영증강 초음파 동영상에서 병변 영역 윤곽선에 대한 선명도가 가장 증가하는 조영제 확산 단계를 추출하게 된다. 그 후 측정과정에서 나타나는 비정상적 프레임을 제거하고 잠재적인 ROI를 추출하게 된다. 추출된 ROI에서 조영제의 TIC 형태 분석결과와 영상내의 대상물에 대한 형태 분석을 통하여 병변 영상을 추출하며 윤곽선 추출 및 노이즈 제거 기법을 적용하여 영상을 개선하게 된다. 본 연구에서는 이 과정에서 프로젝션 데이터에 의한 영역 추출 기법과 노이즈 프레임의 제거 기법 및 병변 영상의 윤곽선 추출 및 개선을 위한 방법론을 소개한다.

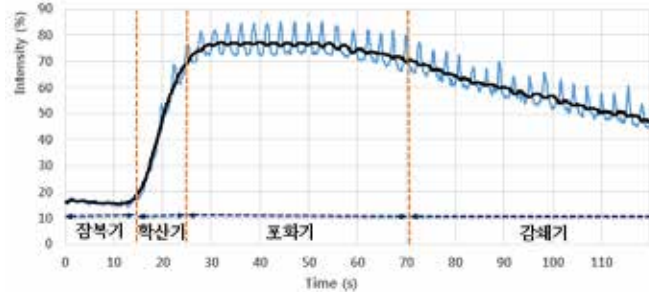


(그림 1) 병변 탐색을 위한 ROI 추출 흐름도

2. 조영제 확산단계 구분 및 노이즈프레임 제거

조영제의 투입 시점을 기준으로 조영증강 초음파 영상의 TIC 그래프는 일반적으로 (그림 2)와 같은 형태로 나타난다. 그림에 보인 바와 같이 조영효과의 변화에 따라 잠복기, 확산기, 포화기, 감쇄기로 구분

이 가능하며 기존의 연구에서 일반적으로 확산기에 측정되는 각종 파라미터가 병변 추출 및 특성 분석에 중요한 요소가 됨이 보고된 바 있다[1,2]. 또한 간 질환 초음파 동영상에서 병변의 형태와 윤곽선은 확산기를 중심으로 일정량의 시간 범위에서 그 선명도가 증가한다.



(그림 2) 조영증강 초음파 영상의 TIC 그래프

본 연구에서는 일차적으로 병변탐색을 위해 후보영역을 추출하게 되는데, 이는 다음과 같은 과정으로 이루어 진다.

$$S(X^t) = \frac{1}{2} \frac{\sum_i f_1(x_i^t) + \sum_i f_2(x_i^t)}{N}$$

$$f_1(x_i^t) = \begin{cases} 1 & \text{if } (x_i^t - x_i^{t_0}) > T_1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$f_2(x_i^t) = \begin{cases} 1 & \text{if } |x_i^{t_1} - x_i^t| > T_2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

식에서 $s(X^t)$ 는 t 번째 프레임 영상에서 조영증강 효과에 대한 측정치로서 최초 영상과 비교한 픽셀 값의 변화 f_1 과 인접 프레임 영상에서의 변화 f_2 에 대한 합으로서 결정된다. t_0 은 조영제 주사시점을 의미하며, T_1 및 T_2 는 픽셀값의 변화여부를 결정하는 임계치이다. TIC의 변화의 각 단계는 다음과 같이 각각의 시작 시점과 종료 시점으로 정의할 수 있다.

- $(t_0 \sim t_1)$: 잠복기(latent stage)
- $(t_1 \sim t_2)$: 확산기(diffusion stage)
- $(t_2 \sim t_3)$: 포화기(saturation stage)
- $(t_3 \sim t_4)$: 감쇄기(decay stage)

이들 각각의 시점은 위 식의 $s(X^t)$ 를 활용하여 다음과 같이 결정 할 수 있다

t_i : t_{i-1} 이후에 $s(X^t) = \alpha_i$ 를 만족하는 최초시점

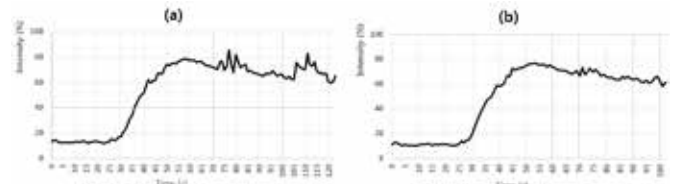
초음파 영상의 경우 시전자의 습관과 경험, 환자의 상태에 따라 영상의 왜곡이 생기게 되는데, 이러한 현상으로 인한 병변탐색의 오류를 줄이기 위해 TIC의 형태에 영향을 주는 비정상적인 노이즈 프레임들을 제거한다. 이는 다음과 같이 연속 프레임간의 불일치 정도를 기준으로 제거여부를 결정하게 된다.

다시 말해서 다음 조건을 만족하면 해당 프레임을 비정상 프레임으로 판정하는데, 여기서 D 는 두 영상 프레임에 대한 비유사도 척도이며 X^t 은 기준 프레임 영상을 의미한다.

$$D(X^t, X^{t'}) > \theta$$

$$D(X^t, X^{t'}) = \frac{\sum_i |x_i^t - x_i^{t'}|}{N}$$

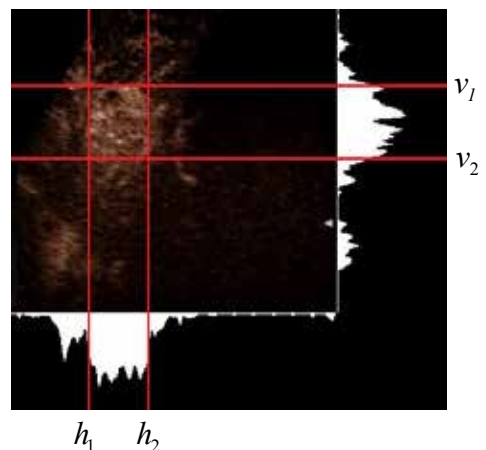
(그림 3)은 이러한 과정을 적용한 동영상에서 비정상 프레임의 제거 효과를 시각적으로 보인 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 측정과정에서 포함되는 비정상 프레임은 TIC 형태를 분석하는 과정에서 심각한 왜곡을 야기시키며, 이를 개선함으로써 각종 파라미터의 신뢰도를 향상시킬 수 있다.



(그림 3) 비정상 프레임의 제거 효과 실험:
(a)원 영상, (b)비정상 프레임 제거 후 영상

3. ROI 후보영역 추출 및 분석

비정상 프레임이 제거 된 확산기의 조영증강 초음파 동영상에서 잠재적인 ROI 후보영역을 추출한다. (그림 4)에서 보인 바와 같이 각 영상에 대하여 x 축, y 축으로 프로젝션 데이터를 생성하고 (t_1, t_2) 의 시간 동안 일정 임계값 이상으로 변화하는 영역 (h_1, h_2) , (v_1, v_2) 을 추출하게 된다[3].



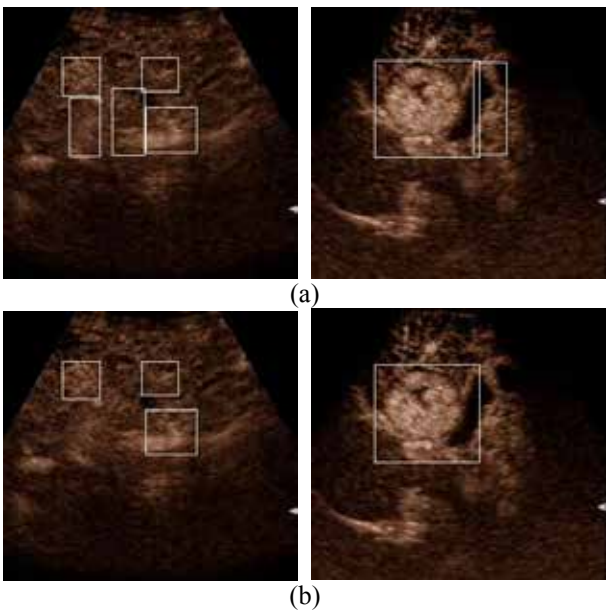
(그림 4) 프로젝션 프로파일을 이용한 영역 분할

동영상에서 추출된 ROI 영역은 연속성과 유사성을 고려한 영역간의 병합을 통해 3 차원 영역의 집합 B_k 로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_k = (h_1^k, h_2^k, v_1^k, v_2^k, t_1^k, t_2^k)$$

4. 병변 영상의 추출 및 영상 개선

프로젝션 프로파일을 통해 생성된 B_k 로부터 1 차 후보 영역을 선별할 수 있는데 이는 (그림 5)의 (a)와 같이 병변이 아닌 영역을 포함하게 된다. 이에 탐색 영역의 범위 축소를 위해 B_k 로 정의된 영역의 각 프레임에 대해서 형태분석을 시행한다. B_k 영역의 이진화 영상에서 중심점을 기준으로 x 축, y 축에 대한 분산을 계산한 후 평균화를 통해 형태분석의 기준으로 삼는다. x 축 또는 y 축 어느 한쪽에 대하여 일정 값 이상의 분산을 가지고 있는 경우 혈관영역 혹은 프로젝션 프로파일 과정 중에 생성되는 허상영역으로 판단하여 탐색 고려대상에서 제외시킨다. (그림 5)의 (b)는 형태분석을 통해 축소된 병변탐색 영역을 보여주고 있다



(그림 5) (a)조영증강 초음파 영상의 B_k 추출결과
(b)형태분석을 통해 축소된 탐색영역

최종적으로 탐색된 ROI 영역의 병변 영상 개선을 위하여 다음과 같은 과정을 거친다.

$$P(R'_c) = \frac{\sum_i f(r'_i, r'_c)}{\sum_i \sqrt{\theta - \|v(r'_c) - v(r'_i)\|}}$$

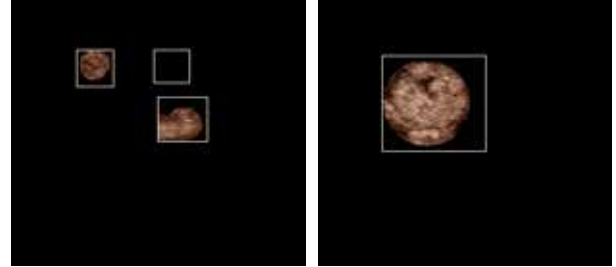
$$R'_c = \{x'_i \in X' : \|v(x'_c) - v(x'_i)\| < \theta\}$$

$$f(x'_i, x'_c) = \begin{cases} \sqrt{\theta - \|v(x'_c) - v(x'_i)\|} & \text{if } x'_i > \alpha \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

위의 식에서 R'_c 는 ROI 내에서 x'_c 에 해당하는 픽셀을 원점으로 하는 반지름이 θ 인 원 영역을 의미한다. R'_c 내에 속하는 픽셀 중 픽셀값이 α 이상인 픽셀에 대하여 원 영역의 중심 좌표인 $v(r'_c)$ 로부터의 거리가 가까울수록 높은 가중치를 둔다.

R'_c 영역의 모든 픽셀에 대한 가중치를 합산한 값과

영역 내의 모든 픽셀값이 α 보다 높다고 가정했을 때의 가중치의 합의 비율인 P 를 통해 R'_c 영역의 중앙영역 여부를 판단한다. 이러한 과정을 거쳐서 추출된 병변의 형태는 (그림 6)과 같다.



(그림 6) 병변 탐색영역에 대한 이미지 개선결과

5. 결론

조영증강 초음파 동영상에 이용한 병변 진단은 조영제의 짧은 전이시간과 호흡 및 환자의 움직임으로 인한 영상의 흔들림, 마이크로버블 노이즈 등으로 인해 어려움이 발생한다. 이에 본 연구에서는 효과적인 병변 진단을 위하여 조영증강 초음파 동영상에서의 ROI 추출 방법론과 병변 추출의 각 단계별 과정을 제시하였다. 병변진단의 단서가 되는 확산기 구간의 영상을 추출하고 유사도를 기반으로 한 비정상 프레임의 제거를 통해 병변 분석을 위한 파라미터의 신뢰도를 개선하였다. 또한 동적 프로젝션 프로파일을 이용해 병변 탐색을 위한 잠정적인 ROI를 추출하였으며, 추출된 조영증강 초음파 영상의 ROI 내부 형태분석을 통해 병변탐색의 범위를 축소하였다. 선별된 영상 ROI에 대한 영상개선을 통해 병변 탐색이 가능하도록 하였다. 향후 연구에서는 혈류의 방향과 속도를 고려하여 병변 탐색의 신뢰성을 높일 수 있는 방법을 연구할 예정이다.

◆ 본 연구는 교육부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임
(No. 2012H1B8A2025800)

참고문헌

[1] Na Li, Hong Ding, Peili Fan, Xiuan Lin, Chen Xu, Wenping Wang, Zhizhang Xu, and Jiyao Wang, "Intrahepatic Transit Time Predicts Liver Fibrosis in patients with Chronic Hepatitis B : Quantitative Assessment with Contrast-Enhanced Ultrasonography", *Ultrasound in Med. & Biol.* Vol.36, No.7, pp.1066-1075, 2010.

[2] A K P Lim, S D Taylor-Robinson, N Patel, R J Eckersley, R D Goldin, G Hamilton, G R Foster, H C Thomas, D O Cosgrove, M J K Blomley, "Hepatic Vein Transit Time using a Microbubble Agent Can Predict Disease Severity Non-invasively in Patients with Hepatitis C", *Liver*, Vol.54, pp.128-133, 2005.

[3] Junichi Tokuda, Shigehiro Morikawa, Takeyoshi Dohi, Nobuhiko Hata, "Motion tracking in MR-guided liver therapy by using navigator echoes and projection profile matching," *Academic Radiology*, Vol.11, No.1, pp.111-120, 2004.