

X-Ray 영상에서 고주파 성분 기반 동적 가우시안 필터를 이용한 피부와 뼈 영역 분할 기법

남윤만¹ · 박태연¹ · 김주완¹ · 송두현² · 김광백¹

¹신라대학교, ²용인송담대

Skin and Bone Segmentation Technique Using Dynamic Gaussian Filter Based on High Frequency Components in X-Ray Images

Youn-man Nam¹ · Tae-eun Park¹ · Ju-wan Kim¹ · Doo Heon Song² · Kwang-baek Kim¹

¹Silla University, ²SongDam College

E-mail : kedin13579@gmail.com / ase6733@naver.com / wndhks00000@naver.com /
dsong@ysc.ac.kr / gbkim@silla.ac.kr

요 약

본 논문에서는 X-Ray 영상에서 발 뼈의 골절 영역을 분석 및 진단하기 위한 전단계로서 X-Ray 영상에서 뼈와 피부 영역을 분할하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 X-Ray 영상의 피부 영역과 발 뼈 영역을 분할하기 위해 가우시안 필터를 적용하여 DOG 영상을 생성한다. 그러나 기존의 가우시안 필터는 정적으로 적용되기 때문에 영상을 촬영하는 부위와 각도에 따라 영상의 특성이 달라지는 X-Ray 영상에 적용하기에 부적합하다. 따라서 부위와 각도에 따라 영상의 특성 변화에 민감하지 않는 동적 가우시안 필터를 제안한다. 실험 결과에서는 제안하는 동적 가우시안 필터와 기존의 정적인 가우시안 필터를 각각 적용하여 생성된 DOG 영상에 대해서 발 뼈 영역과 피부 영역을 분할하고, 효율성을 TPR과 특이도로 분석한 결과, 제안된 동적 가우시안 필터를 적용한 방법이 정적 가우시안 필터보다 평균적으로 TPR는 0.12%와 특이도는 평균적으로 0.36%가 개선된 것을 확인하였다.

키워드

X-Ray image, image preprocess, gaussian filter, difference of gaussian

1. 서 론

골절은 신체의 특정부위에 한정되지 않고 무거운 하중을 지탱하는 부위, 자주 사용되는 부위 등 어느 곳에서든 발생 할 수 있으며, 작은 충격에도 쉽게 발생할 수 있는 질환이다. 이러한 골절을 진단하는 가장 효율적이고 빠른 방법은 X-Ray이며, 신체의 골절을 진단하는데 가장 널리 사용되고 있다[1]. 하지만 X-Ray 영상에서 육안으로 확인하기 힘든 골절의 경우 멍, 붓기, 출혈 등 외관적인 특징이 보이지 않기 때문에 가벼운 타박상 혹은 근육통 정도로 생각하여 적절한 치료시기를 놓칠 수 있다. 이러한 X-Ray 영상에서의 진단 오류는 일반적으로 전문의의 전문적 지식 또는 경험의 부재에

서 오게 된다[2]. 특히 발 주변 외상 환자 중 40%가 골절 환자이며 그중 30%정도가 진단 오류 환자이다[3]. 이러한 문제를 개선하기 위한 디지털 X-Ray 영상 분할을 통한 골절감지 시스템은 최근 수십 년 동안 연구되어져왔다[2].

디지털 X-Ray 영상 분할을 통한 골절감지 시스템에서 영상 분할은 전체 영상을 여러 영역으로 분할한 후, 영상의 배경에서 원하는 영역을 분리하는 것이다[4]. 하지만 X-Ray와 같은 의료 영상에서의 영상 분할은 낮은 영상 품질과 제한된 정보로 인하여 정확한 분할이 어렵다[2]. 따라서 영상 분할의 정확도를 향상시키기 위해 일반적으로 전처리 과정이 필요하다[5].

본 논문에서는 X-Ray 영상에서 발 뼈의 골절을

분석하기 위한 전처리 과정으로 피부 영역과 발 뼈 영역을 분할하는 방법을 제안한다.

II. 본 론

2.1 DOG(Difference of Gaussian)

엣지 정보와 코너 정보를 도출하기 위해 다음과 같은 과정을 적용하여 DOG 영상을 생성한다.[6]

DOG영상 생성 과정	
$I(x, y)$:	원본 영상
σ_j :	표준편차
G_j :	σ_j 값에 따라 크기가 다른 가우시안 필터
g_i :	가우시안 필터를 적용한 영상
d_j :	DOG 영상
i :	가우시안 피라미드의 영상의 수
j :	적용된 가우시안 필터의 수
Step 1.	i 와 j 를 각각 0으로 초기화 한다.
Step 2.	원본 영상 $I(x, y)$ 을 g_0 로 정의한다.
Step 3.	g_i 에 G_j 를 적용하여 g_{i+1} 을 구한다.
	$g_{i+1}(x, y) = g_i(x, y) * G_j(x, y, \sigma_j)$ (1)
	$G_j(x, y, \sigma_j) = \frac{1}{2\pi\sigma_j^2} \times e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_j^2}}$ (2)
Step 4.	g_i 와 g_{i+1} 의 차를 이용하여 DOG 영상 d_j 를 구한다.
	$d_j(x, y) = g_i(x, y) - g_{i+1}(x, y)$ $= g_i(x, y) - g_i(x, y) * G_j(x, y, \sigma_j)$ (3)
Step 5.	가우시안 필터의 수(j) 만큼 Step 3과 Step 4를 반복한다.

2.2 동적 가우시안 필터

X-Ray 영상은 촬영하는 전문의와 촬영 부위의 각도에 따라 영상의 특징이 달라진다. 피부 영역을 제거하고 발 뼈 영역을 추출하기 위해 정적인 가우시안 필터를 적용할 경우에는 뼈 주변 피부 영역이 남아 있어 목적에 맞는 효과를 내지 못한다.

따라서 고역 통과 필터를 적용하여 고주파 성분의 분포를 파악한다. 그리고 촬영 부위의 각도에 따라 필터의 크기와 위치가 동적으로 설정되는 제안된 가우시안 필터는 다음과 같다.

동적 가우시안 필터 적용 과정

Step 1. X-Ray 영상에 고역 통과 필터를 적용하여 고주파 성분의 영상을 생성한다. 고역 통과 필터는 식(4)와 같다.

$$HPF = \frac{1}{9} \times \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Step 2. 고주파 성분의 영상을 크기가 9×9 로 설정된 마스크로 탐색하여 마스크 내의 고주파 성분이 영상 전체에서의 발 영역 비율보다 높을 경우에는 마스크의 중심을 흰색으로, 낮을 경우에는 검은색으로 이진화 한다.

Step 3. Step 2에서 이진화된 영상을 크기가 45×45 로 설정된 마스크로 탐색하여 마스크 내의 흰색 영역과 검은색 영역이 모두 존재할 경우에는 무게중심을 구하여 가우시안 포인트로 설정한다.

Step 4. 가우시안 포인트 쌍의 유클리드 거리를 이용하여 가우시안 필터의 표준편차를 다음과 같이 계산한다.

$$\sigma = \frac{(Filter\ Width - 1)/4}{1 + e^{-2(d - Search\ Filter\ Width/2)}} \quad (5)$$

Step 5. Step 4에서 구한 표준편차를 이용하여 가우시안 필터를 생성하고 Step 3에서 구한 검은색 가우시안 포인트에 적용한다.

식 (5)에서 d 는 흰색 픽셀들과 검은색 픽셀들의 무게중심간의 거리이고, σ 는 가우시안 필터의 표준편차, $Filter\ Width$ 는 가우시안 필터의 가로 또는 세로의 크기, $Search\ Filter\ Width$ 는 세 번째 단계에서 적용한 45×45 마스크의 가로 또는 세로 크기이다.

제안된 동적 가우시안 필터를 X-Ray 영상에 적용하여 처리되는 과정은 그림 1과 같다.

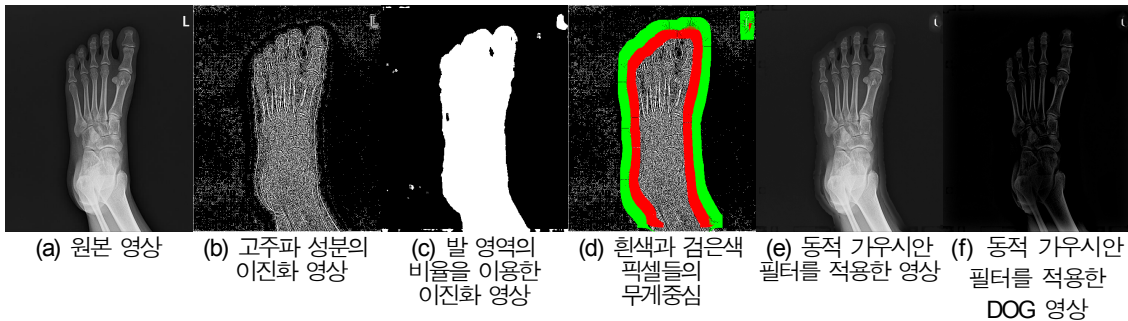


그림 1. 동적으로 변하는 가우시안 필터 과정 영상

그림 1(a)는 원본 영상이며, 그림 1(b)는 고역 통과 필터 이후 이진화를 적용시킨 영상, 그림 1(c)는 발 영역의 비율을 이용한 이진화 영상, 그림 1(d)에서의 초록색은 검은색 픽셀의 무게중심 중심, 빨간색은 흰색 픽셀의 무게중심이며, 그림 1(e)는 동적 가우시안 필터를 적용한 영상, 그림 1(f)는 동적 가우시안 필터를 적용하여 생성된 DOG영상이 다.

2.3 DOG영상 생성

동적 가우시안 필터를 적용한 영상과 크기가 91×91 이고 표준 편차(σ)가 22.5로 설정된 가우시안 필터가 적용된 영상 간의 차이는 식 (6)과 같이 구한다.

$$D(x, y) = g_0(x, y) * G'(x', y', \sigma') - g_1(x, y) \quad (6)$$

식 (6)에서 D 는 생성된 DOG 영상이고, g_0 는 원본 영상, $G'(x', y', \sigma')$ 는 동적 가우시안 필터, $g_1(x, y)$ 는 원본 영상에 크기가 91×91 이고 표준 편차(σ)가 22.5로 설정된 가우시안 필터가 적용된 영상이다. 여기서 x, y 는 원본 영상의 x 축, y 축 좌표이고, x', y' 는 동적으로 움직이는 가우시안 필터 중심 값의 x 축과 y 축 좌표이다.

III. 실험 및 결과분석

본 논문에서 제안된 동적 가우시안 필터와 기존의 정적인 가우시안 필터를 각각 발 X-Ray 영상에 적용하여 DOG 영상을 생성하였다. 그리고 생성된 DOG 영상과 원본 영상을 비교하여 피부 영역 제거 정도와 뼈 영역 추출 정도를 분석하여 제안된 방법의 효율성을 보인다. 본 논문에서는 500×600 해상도의 영상 18개를 대상으로 실험하였다.

실험은 X-Ray 영상에 기존의 가우시안 필터와 제안된 동적 가우시안 필터를 각각 적용하여 생성된 DOG 영상을 비교하여 TPR과 특이도를 분석한 결과를 표 1로 나타내었다.

표 1. 피부 영역 제거 정도

영상 번호	TPR		특이도	
	기존 가우시안 필터	제안된 가우시안 필터	기존 가우시안 필터	제안된 가우시안 필터
1	88.88%	89.07%	80.69%	81.25%
2	83.48%	83.66%	83.89%	84.31%
3	90.90%	91.01%	92.21%	92.64%
4	91.52%	91.62%	91.62%	92.05%
5	85.07%	85.10%	85.14%	85.21%
6	88.98%	89.20%	80.24%	80.95%
7	92.71%	92.76%	84.80%	85.02%
8	85.24%	85.39%	86.89%	87.30%
9	90.14%	90.28%	78.82%	79.17%
10	92.25%	92.33%	86.24%	86.74%
11	88.50%	88.69%	88.68%	89.37%
12	87.42%	87.50%	87.57%	87.82%
13	89.28%	89.37%	89.88%	90.19%
14	89.06%	89.10%	85.90%	86.04%
15	83.66%	83.75%	85.76%	85.95%
16	79.82%	80.14%	81.47%	81.97%
17	82.81%	82.96%	82.57%	82.84%
18	86.16%	86.19%	84.19%	84.25%

표 1에서의 TPR(True Positive Rate)은 식(7)과 같고, 특이도는 식 (8)과 같다.

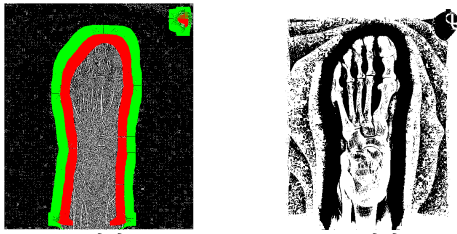
$$TPR(\%) = \frac{\text{제거된 피부영역}}{\text{제거된 피부영역} + \text{제거된 뼈영역}} \times 100 \quad (7)$$

$$\text{특이도}(\%) = \frac{\text{추출된 뼈영역}}{\text{뼈와 제거되지 않은 피부영역}} \times 100 \quad (8)$$

표 1과 같이 18개 모두 영상에서 제안된 방법과 기존 방법 간의 피부 영역을 제거한 것에 대한 TPR 값의 차이가 최대 0.32%에서 최소 0.03%로 나타났고 뼈 영역을 추출한 특이도의 차이는 최대 0.71%에서 최소 0.06%로 나타났다. 따라서 제안된 방법이 뼈 영역을 추출하는데 있어서 뼈 영역의 손실 없이 피부 영역을 더 효과적으로 제거할 수 있는 것을 확인하였다.

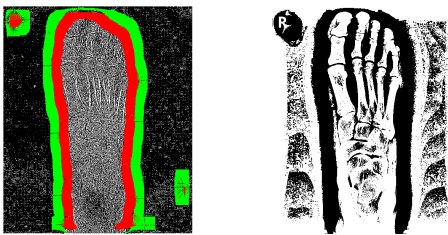
표 1에서 영상 6과 같이 뼈 영역 추출에 정확성이 높은 결과는 그림 2로, 영상 5와 같이 뼈 영역 추출에서 정확성이 낮은 결과는 그림 3으로 나타내었다.

그림 2(a)와 그림 3(a)는 고주파 성분의 분포를 이진화한 영상에 가우시안 포인트를 나타낸 결과이고, 그림 2(b)와 그림 3(b)는 제안된 방법과 이진화 기법을 수행한 결과이다.



(a) 영상 6
가우시안 포인트 영상
(b) 영상6
이진화한 DOG 영상
그림 2. 제안된 방법이 효과적인 대표 영상

그림 2와 같이 영상 6은 발 영역 외부에 고주파 성분이 적게 분포되어서 가우시안 포인트가 피부 영역 내부에 위치하여 피부 영역이 효과적으로 제거되었다.



(a) 영상 5
가우시안 포인트 영상
(b) 영상 5
이진화한 DOG 영상
그림 3. 제안된 방법이 비효과적인 대표 영상

그림 3과 같이 영상 5의 경우에는 그림 2와 반대로 발 영역 외부에 고주파 성분이 많이 분포되어 있기 때문에 발 영역과 배경의 경계를 탐색하는 과정에서 가우시안 포인트의 위치가 발 영역 외부로 편향되어서 피부 영역이 효과적으로 제거되지 못한 경우이다.

IV. 결 론

골절을 진단하는 가장 효율적이고 빠른 방법인 X-Ray는 골절 진단을 위해 널리 적용되고 있다. 그러나 전문의의 전문적 지식 또는 경험의 부재로 인한 진단 오류가 발생하며 이러한 문제를 개선하기 위해 디지털 X-Ray 영상 분할을 통한 골절감지 시스템이 연구되고 있다.

본 논문에서는 X-Ray 영상에서 발 뼈의 골절을 분석하기 위한 전단계로 영상의 고주파 성분의 분포에 따라 변하는 동적 가우시안 필터를 제시하고, X-Ray 발 영상에 적용하여 피부 영역과 발 뼈 영역을 분할하는 방법을 제안하였다.

제안된 방법의 성능을 분석하기 위하여 X-Ray 영상 18개를 대상으로 제안된 방법과 기존의 방법 간의 피부 영역 제거에 대한 TPR 차이를 분석한 결과, 제안된 방법이 평균적으로 0.12%가 개선되어 피부 영역을 더 정확히 예측하여 제거할 수 있는 것으로 확인되었다. 그리고 뼈 영역 추출에 대한

특이도 차이는 평균적으로 0.36%로 나타나서 기존의 방법보다 뼈 영역 추출에 효과적인 것을 실험에서 확인하였다.

향후 연구 과제는 X-Ray 영상에서 뼈 영역의 윤곽선 탐색 알고리즘과 영역 확장 알고리즘을 적용하여 뼈 영역의 손실 없이 영상 분할 정확도를 향상시키는 방법과 발 뼈 영역에서 골절 부위의 특징을 분류하고 탐색하기 위하여 계층적 클러스터링 기법을 연구하고 적용할 것이다.

References

- [1] C. Z. Basha, M. R. K. Reddy, K. H. S. Nikhil, P. S. M. Venkatesh, A. V. Asish, "Enhanced Computer Aided Bone Fracture Detection Employing X-Ray Images by Harris Corner Technique," *2020 Fourth International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, pp.991-995 Apr. 2020.
- [2] W. A. Mustafa, N. M. Salleh, S. Z. S. Idrus, M. A. Jamlos, "Overview of Segmentation X-Ray Medical Images Using Image Processing Technique," *Joint International Conference on Emerging Computing Technology and Sports (JICETS)*, vol.529, no 2, pp.25-27, Nov. 2019.
- [3] T. Schepers, E. M. van Schie-van der Weert, M. R. de Vries, M. van der Elst, "Foot and Ankle Fractures at the Supination Line," *The Foot (Edinb)*, Vol.21, No. 3, pp.124-128, Sep. 2011.
- [4] E. K. Wang, C. M. Chen, M. M. Hassan, A. Almogren, "A Review of Deep-Learning-Based Medical Image Segmentation Methods," *Sustainability (MDPI)*, vol. 13, issue 1224, Jan. 2021
- [5] C. Z. Basha, M. R. K. Reddy, K. H. S. Nikhil, P. S. M. Venkatesh, A. V. Asish, "Enhanced Segmentation Method for Bone Structure and Diaphysis Extraction from X-Ray Images," *International Journal of Computer Applications (IJCA)*, vol. 37, no. 3, pp. 30-36, Jan. 2012.
- [6] K. Mu, F. Hui, X. Zhao, C. Prehofer, "Multiscale edge fusion for vehicle detection based on difference of Gaussian," *Optik*, vol. 127, no. 11, pp.4794-4798, Jan. 2016.