

4 방향 윤곽선 추적과 K-Means 알고리즘을 이용한 색조 도플러 초음파 영상에서 상완 동맥의 혈류 영역 추출

박준성¹ · 김광백^{2*}

Extraction of Blood Flow of Brachial Artery on Color Doppler Ultrasonography by Using 4-Directional Contour Tracking and K-Means Algorithm

Joonsung Park¹ · Kwang Baek Kim^{2*}

¹Assistant Professor, Division of Kinesiology, Silla University, Busan, 46958, Korea

^{2*}Professor, Division of Computer Software Engineering, Silla University, Busan, 46958, Korea

요 약

본 논문에서는 색조 도플러 초음파 영상에서 K-Means 알고리즘을 적용하여 혈류 영역을 추출하는 방법을 제안한다. 제안된 방법에서는 ROI 영역을 추출하고, 추출된 ROI 영역에서 최대 명암도를 임계치로 설정한 이진화 기법을 적용하여 ROI 영역을 이진화한다. 이진화된 ROI 영역에서 4 방향 윤곽선 추적 기법을 적용하여 상완 동맥의 혈류 영역이 존재하는 사다리꼴 형태의 영역을 추출한다. 추출된 사다리꼴 형태의 영역에서 상완동맥의 혈류영역을 정확히 추출하기 위하여 K-Means 기반 양자화 기법을 적용한다. 실험에서 제안된 방법은 현장 전문가의 검증을 거쳐 30건 중 28건 (93.3%)에서 혈류 영역을 성공적으로 추출하였다. 그리고 제안된 K-Means 기반 혈류 영역 추출 방법을 30개의 색조 도플러 초음파 영상에 적용하여 전문가가 제공한 상완동맥 혈류 영역과 제안된 방법을 비교 분석한 결과, 정확도가 평균적으로 94.27%로 나타났다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a method of extraction analysis of blood flow area on color doppler ultrasonography by using 4-directional contour tracking and K-Means algorithm. In the proposed method, ROI is extracted and a binarization method with maximum contrast as a threshold is applied to the extracted ROI. 4-directional contour algorithm is applied to extract the trapezoid shaped region which has blood flow area of brachial artery from the binarized ROI. K-Means based quantization is then applied to accurately extract the blood flow area of brachial artery from the trapezoid shaped region.

In experiment, the proposed method successfully extracts the target area in 28 out of 30 cases (93.3%) with field expert's verification. And comparison analysis of proposed K-Means based blood flow area extraction on 30 color doppler ultrasonography and brachial artery blood flow ultrasonography provided by a specialist yielded a result of 94.27% accuracy on average.

키워드 : 도플러 초음파 영상, 혈류, K-Means, 정확도

Keywords : Color doppler ultrasonography, Blood flow, K-Means, Accuracy

Received 31 August 2020, Revised 2 September 2020, Accepted 8 September 2020

* Corresponding Author Kwang Baek Kim(E-mail:gbkim@silla.ac.kr, Tel:+82-51-999-5052)

Professor, Division of Computer Software Engineering, Silla University, Busan, 46958 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2020.24.11.1411>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

운동에 대한 심혈관 반응(혈압, 심박수, 심박출량)의 증가는 부분적으로 골격근에서 발생하는 반사에 의해서 유발된다[1]. 중앙명령(central command)과 운동성압반사(total peripheral resistance: TPR)는 운동 시 심혈관 반응을 조절한다[2]. 심혈관 반응을 보기 위해 여러 가지 부위 중에서 겨드랑이 부위는 중간 크기의 동맥인 상완 동맥에서 상지의 주요 동맥 공급원이다[3].

색조 도플러(Color Doppler)에서는 Probe에 가까이 다가오는 혈류는 붉은색, 멀어지는 혈류는 푸른색으로 나타난다. 따라서 색조 도플러는 혈류의 방향성을 알 수 있다. 그러나 혈류의 연속성을 파악하는 데는 실제 혈류가 흐르는데도 불연속적인 것으로 잘못 인식할 수 있다. 이와 같은 단점을 보완한 것이 Power Doppler로 이는 혈류의 방향성과는 무관하게 혈류가 있는 부분 전부를 표시하여 동일 화면상에 나타나는 혈류의 연속성을 파악할 수 있다. 색조 도플러가 가능한 최근의 초음파 기계는 대부분 스위치 하나로 Power Doppler 기능으로 전환이 가능하다[4].

혈관내피세포(Endothelium)는 혈관 내막에 존재하며 혈관장력 조절, 혈관내막 세포성장 및 세포의 기질 침착 조절, 혈액 내 유해결과를 초래하는 물질과 세포로부터 혈관보호 그리고 혈관의 항상성을 유지하는 대사적 활성인 기관체계이다. 혈관내피세포의 항상성을 유지하는 인자 중 산화질소(nitric oxide: NO)는 가장 강력한 인자이며, 혈중 NO의 증가는 혈관내피세포에서 생산된다[5]. 상완동맥의 FMD 측정에는 대상자가 누운 상태에서 10분간 충분히 안정을 취한 후 초음파 탐촉자(10.0 MHz linear-array transducer)를 이용하여 우측 상완동맥의 Antecubital Fossa에서 안정 시 영상을 얻는다.

FMD(Flow Mediated Vasodilation)검사는 동맥 경화의 정도를 예측하는 데 유용한 검사법이다. 상완동맥 초음파 검사를 이용한 혈류 매개 확장능력 변화의 관찰은 실제 임상에서 관상동맥 질환이 진행된 환자에서 뿐만 아니라 임상적으로 증상이 나타나지 않은 초기 동맥경화증 환자에서도 동맥경화증의 진행을 조기에 발견하여 그 진행을 예방하는데 많은 도움을 제공할 수 있으며 동맥 경화증의 진행을 예방하거나 치료할 수 있는 여러 약제들과 기능성식품의 효과를 보기 위한 반복 검사로 유용하게 사용된다[6]. FMD 검사의 제한점은 검사자의

기술 능력이 결과에 상당한 영향을 미칠 수 있기 때문에 검사자는 적어도 6개월 정도의 수련 기간이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 혈류 속도를 분석하기 위한 전 단계로 색조 도플러 초음파 영상에서 K-Means 알고리즘을 적용하여 혈류 영역을 추출하는 방법을 제안한다.

II. 제안된 PCM 기반 혈류 영역 추출

색조 도플러 초음파 영상은 환자의 개인 정보가 있는 영역과 상완동맥 혈류의 정보를 가진 영역이 존재한다. 상완동맥 혈류의 정보를 가진 영역은 서로 다른 영상에서도 정적인 좌표의 위치를 가진다. 따라서 정적인 좌표를 이용하여 환자의 개인 정보가 있는 영역을 제거하고 ROI 영역을 설정하고 설정된 ROI 영역에 최대 명암도를 임계치로 적용하여 ROI 영역을 이진화한다. 그림 1(a)는 추출된 ROI 영역이며 그림 1(b)는 최대 명암도를 임계치로 적용하여 이진화된 결과이다.

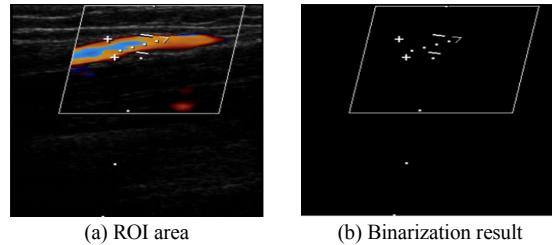


Fig. 1 Binaryizing ROI area

이진화된 ROI 영역에서 상완 동맥 영역이 존재하는 사다리꼴 형태의 영역을 추출하기 위해 4 방향 윤곽선 추적 기법을 적용하여 사다리꼴 영역의 윤곽선을 추출한다. 4 방향 윤곽선 추적 기법에서 윤곽선 추적 진행 규칙은 그림 2와 같다[7].

| | | | | | | |
|---|---|---------|------|---|---|---|
| A | B | | A | B | X | Y |
| | | Forward | 1 | 0 | A | B |
| X | Y | | 0 | 1 | B | Y |
| | | Right | 1 | 1 | A | X |
| | | | 0 | 0 | X | A |
| | | | Left | | | |

(a) 2*2 Mask (b) 4-directional contour tracking

Fig. 2 4-directional contour tracking Process

최대 명암도를 임계치로 적용하여 이진화된 ROI 영역에서 컬러 값이 흰색인 픽셀을 탐색하여 객체화 한다. 객체화된 픽셀에 그림 2(a)와 같은 2×2 마스크를 이용하여 그림 2(b)와 같은 4방향 윤곽선 진행 방향에 따라 객체를 탐색하며, 탐색된 픽셀의 위치와 시작 픽셀의 위치가 같은 경우에는 탐색을 종료한다. 이와 같은 과정으로 추출된 ROI 영역에 4 방향 윤곽선 추적 기법을 적용하여 객체들을 추출한다. 사다리꼴 형태의 영역은 다른 객체의 영역보다 큰 면적을 가진다는 형태학적 정보를 이용하여 이진화된 ROI 영역에서 4 방향 윤곽선 추적 기법으로 추출되는 객체의 면적이 가장 큰 객체를 제외한 영역은 잡음으로 간주하여 제거한다. 4 방향 윤곽선 추적선 기법으로 추출된 사다리꼴 형태의 영역에 K-Means 기반 양자화 기법을 적용하여 혈류 영역을 추출한다.

대부분의 영상 인식이나 기계 학습 문제는 훈련 데이터를 이용하여 분류 함수를 미리 학습하고 분류에 사용하는 지도 학습에 기반을 두고 있다. 그러나 군집화는 비지도 학습으로 입력된 훈련 데이터에 대해서 비슷한 특성을 갖는 특성들을 클러스터로 생성하여 분류한다. 대표적인 군집화 방법으로는 K-Means 군집화, 계층적 군집화, Fuzzy C-Means 군집화 등이 있다. K-Means 알고리즘[8,9]는 기계 학습에서 비지도 학습의 일종으로 데이터마이닝, 패턴 인식 및 패턴 분류에 주로 적용된다. 임의로 설정된 초기 중심점을 기준으로 각 데이터에 레이블을 설정하여 데이터를 분류하는 알고리즘이만 초기 클러스터의 수는 경험적으로 설정한다. K-Means 알고리즘은 사전에 주어진 K개의 선택하면 각 학습 데이터의 클래스를 레이블 해주는 대신 초기 클러스터의 수에 따라 비슷한 특성을 갖는 데이터끼리 모여서 K개의 군집화를 이루는 클러스터링 기법이다.

따라서 본 논문에서 혈류 영역을 추출하는데 적용한 K-Means 알고리즘의 처리 과정은 그림 3과 같다. K-Means 클러스터링은 클러스터에 포함되어 있는 영상들의 특징을 의미하는 클러스터 중심은 입력 데이터와 가중치의 쌍으로 이루어진 벡터로 표현된다. K-Means 알고리즘은 특징을 분류하기 위하여 생성된 클러스터의 중심에 따라 클러스터의 결과가 달라지고 초기 센트로이드 설정에 따라 최적으로 특징을 분류하는 경우와 그렇지 않은 경우가 발생한다.

각각 임의로 정해진 클러스터 중심 값을 가진 c와 각

픽셀이 가지는 값을 이용하여 중심 값과 픽셀간 거리를 구한다. 픽셀을 클러스터의 중심 값 중에서 가장 가까운 중심 값의 클러스터로 분류한다. 각 클러스터의 중심 값은 식 (1)과 같이 계산한다.

$$J(V) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^{c_i} \|x_i - \mu_j\|^2 \quad (1)$$

식 (1)에서 c_i 는 i 번째에 클러스터에 해당하는 데이터의 개수이고 c는 클러스터의 중심점의 개수이며 $\|x_i - \mu_j\|$ 는 x_i 와 μ_j 사이의 거리이다.

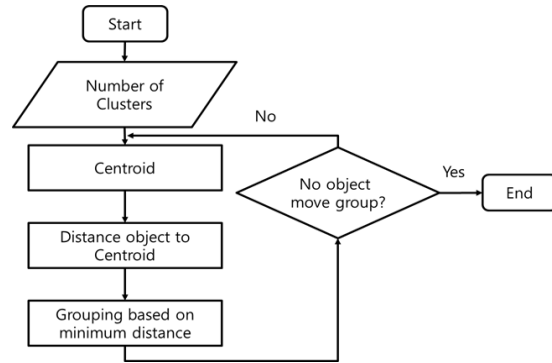


Fig. 3 K-Means algorithm

식 (1)을 이용하여 각 픽셀에 대해 새로운 중심값을 구하여 픽셀들을 분류한다. K-Means 클러스터 기법의 종료 조건은 이전 클러스터의 무게중심 값과 현재 클러스터의 무게 중심값 간의 차이가 없으면 모든 특징을 분류한 것으로 판단하여 종료한다.

본 논문에서 혈류의 정확한 추출 정도를 분석하기 위하여 Confusion Matrix를 이용하여 Accuracy와 Precision을 적용한다. Accuracy와 Precision을 계산하기 위한 Confusion Matrix는 표 1과 같다.

Table. 1 Confusion matrix

| | | Specialist's extraction | |
|--|----------|-------------------------|--------------------|
| | | Positive | Negative |
| Extraction result of the proposed method | Positive | TP(True Positive) | FN(False Negative) |
| | Negative | FP(False Positive) | TN(True Negative) |

TP(True Positive)는 육안으로 분석한 결과에서도 True이고 제안된 방법으로 분석한 결과에서도 True이면 TP로 판단된다. TN(True Negative)는 육안으로 분석한 결과에서도 False이고 제안된 방법으로 분석한 결과에서도 False이면 TN로 처리된다. FP(False Positive)는 육안으로 분석한 결과에서는 False이고 제안된 방법으로 분석한 결과에서도 True이면 FP로 처리된다. FN(False Negative)는 육안으로 분석한 결과에서는 True이고 제시된 방법으로 분석한 결과에서는 False이면 FN로 처리된다. Accuracy는 분석가가 추출한 영역과 제안된 방법으로 추출한 영역을 비교하였을 때 TP값과 TN값을 정확히 도출한 것을 의미한다. 즉 혈류 영역을 정확히 추출한 평가의 척도이다. Precision은 전문의가 추출한 혈류 영역 내에서 제안된 방법으로 추출한 영역이 포함되는 영역을 평가의 척도이다. 이 수치들은 백분율로 표시하였을 때 100%에 가까워질수록 추출의 정확성이 높다고 판단한다.

표 1을 적용하여 Accuracy 수치는 식 (2)와 같이 계산하고 Precision은 식 (3)과 같이 계산한다.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100 \quad (2)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \times 100 \quad (3)$$

III. 실험 및 결과 분석

본 논문에서 혈류 영역을 추출하기 위해 Intel(R) Core(TM) i5 CPU @ 2.80GHz 와 8.00GB RAM이 장착된 PC상에서 Visual Studio 2017 C#으로 구현하여 실험하였다. 색조 도플러 초음파 영상 30장을 대상으로 실험한 결과를 표 2로 나타내었다.

Table. 2 Extraction result of blood flow area

| Number of experimental images | Number of extractions | Number of failures |
|-------------------------------|-----------------------|--------------------|
| 30 | 28 | 2 |

제안된 방법으로 색조 도플러 초음파 영상에서 혈류 영역을 추출한 결과는 그림 4와 같다.

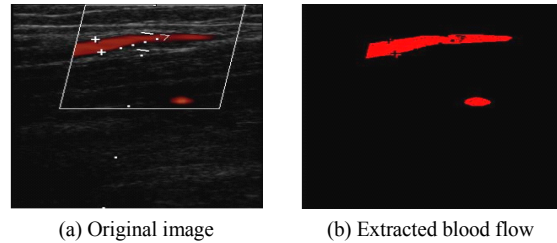


Fig. 4 Extraction result of blood flow area

색조 도플러 초음파 영상에서 제안된 방법으로 혈류 영역을 추출하는데 실패한 경우는 그림 5와 같다.

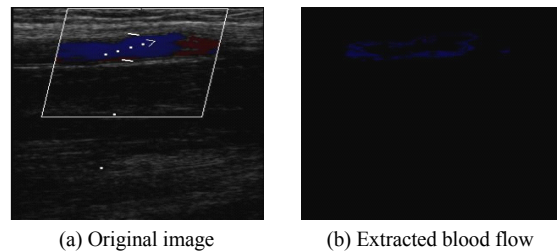


Fig. 5 Result of failure to extract the blood flow area

그림 5와 같이 혈류 영역을 추출하는데 실패한 경우는 히스토그램 분석에서 봉우리 지점과 그 외의 지점 간의 차이가 적은 상태에서 K-Means 알고리즘을 적용된 경우이다. 본 논문에서 혈류의 추출률을 분석하기 위하여 Confusion Matrix를 이용하여 Accuracy(정확도)와 Precision(정밀도)을 분석하였다.

제안된 방법으로 추출된 28장의 색조 도플러 초음파 영상을 대상으로 Accuracy와 Precision을 분석한 결과는 표 3과 같다.

Table. 3 Analysis result of accuracy and precision

| | Average Accuracy | Average Precision |
|-----------------|------------------|-------------------|
| Analysis result | 94.27% | 94.79% |

표 3에서와 같이 제안된 방법으로 색조 도플러 초음파 영상에서 상완 동맥의 혈류 영역을 추출한 경우에는 혈류 경계 영역의 픽셀들의 전형도가 낮아서 일부 혈류 영역이 다른 영역으로 군집화 되는 경우가 발생하였으나 Accuracy와 Precision의 수치가 평균적으로 94% 정도로 나타났다.

IV. 결 론

본 논문에서는 색조 도플러 초음파 영상에서 환자 정보 영역을 제거하여 ROI 영역을 추출하였다. 추출된 ROI 영역에서 최대 명암도를 임계값으로 설정하여 이진화하고 이진화된 ROI에서 4 방향 윤곽선 추적 알고리즘을 적용하여 상완 동맥이 존재하는 사다리꼴 형태의 영역을 추출하였다. 추출된 사다리꼴 영역에서 상완 동맥의 혈류 영역을 추출하기 위해 K-Means 기반 양자화 기법을 적용하였다.

제안된 방법의 혈류 추출 성능을 분석하기 위해 다양한 형태를 가지는 30개의 색조 도플러 초음파 영상을 대상으로 실험한 결과, 30개 중에서 28개가 정확히 추출되었고 Accuracy가 평균적으로 94.27%로 나타났다. 그러나 2개 영상에서 혈류 영역이 부정확하게 추출되거나 추출되지 않은 경우가 발생하였다. 그 이유는 히스토그램 분석에서 봉우리 지점이 명확히 나타나지 않아서 명암 대비가 매우 낮았다. 이러한 영상을 K-Means 기반 양자화를 적용할 경우에는 군집화하는 과정에서 상완 동맥 영역의 특징들이 다른 영역으로 분류되어 추출되지 않는 경우이다.

따라서 향후 연구 방향은 도플러 영상에서 부정확하게 추출되거나 추출되지 않는 2개의 경우에 대해서도 K-Means 기반 양자화 기법으로 정확히 추출될 수 있도록 하기 위해 명암 대비를 효과적으로 높일 수 있는 퍼지 스트레칭 기법에 대한 연구와 추출된 혈류 영역의 속도를 계산할 수 있는 퍼지 의사 결정 트리 기법에 대해서 연구할 것이다. 나아가 대사적 수용기 자극은 운동 중 혈관 내 대사산물의 축적량을 정확하게 추출 할 수 있도록 연구할 것이다.

REFERENCES

- [1] W. S. Calderón-Gerstein, A. López-Peña, R. Macha-Ramírez, A. Bruno-Huamán, R. Espejo-Ramos, S. Vilchez-Bravo, M. Ramírez-Breña, M. Damián-Mucha, and A. Matos-Mucha, "Endothelial dysfunction assessment by flow-mediated dilation in a high-altitude population," *Vascular health and risk management*, vol. 13, pp. 421-426, Nov. 2017.
- [2] K. M. Gundersen, C. Nyborg, Ø. H. Sundby, and J. Hisdal, "The effects of sympathetic activity induced by ice water on blood flow and brachial artery flow-mediated dilatation response in healthy volunteers," *PLoS one*, vol. 14, no. 9, p. e0219814, Sep. 2019.
- [3] J. S. Park, D. H. Song, H. Nho, H. -M. Cho, K. - A. Kim, H. J. Park, and K. B. Kim, "Automatic Segmentation of Brachial Artery based on Fuzzy C-Means Pixel Clustering from Ultrasound Images," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 8, issue. 2, pp. 638-643, Apr. 2018.
- [4] A. T. Robinson, N. C. Franklin, E. Norkeviciute, J. T. Bian, J. C. Babana, M. R. Szczurek, and S. A. Phillips, "Improved arterial flow-mediated dilation after exertion involves hydrogen peroxide in overweight and obese adults following aerobic exercise training," *Journal of Hypertension*, vol. 34, no. 7, pp. 1309-1316, Jul. 2016.
- [5] A. Dori, H. Abbasi, C. M. Zaidman, "Intramuscular blood flow quantification with power doppler ultrasonography," *Muscle Nerve*, vol. 54, pp. 872-878, Mar. 2016.
- [6] G. Sarais, A. Crisafulli, D. Concu, A. Fois, A. Raweh, and A. Concu, "Hydroxytyrosol but not resveratrol ingestion induced an acute increment of post exercise blood flow in brachial artery," *Health*, vol. 8, pp. 1766-1777, Dec. 2016.
- [7] A. R. A. Aziz, F. Y. Hagos, Y. T. Anbese, and M. R. Heikal, Firmansyah, "Application of The Chain Code and Fourier Analysis Techniques for The Investigation of Wrinkles and Distortions on Early Flames," *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, vol. 15, no. 4, pp. 5709-5728, Dec. 2018.
- [8] H. J. Lee, D. H. Song, and K. B. Kim, "Effective Computer-Assisted Automatic Cervical Vertebrae Extraction with Rehabilitative Ultrasound Imaging by using K-means Clustering," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 6, no. 6, pp. 2810-2817, Dec. 2017.
- [9] A. P. Windarto, "Penerapan Data Mining Pada Ekspor Buah-Buahan Menurut Negara Tujuan Menggunakan K-Means Clustering," *Techno.COM*, vol. 16, no. 4, pp. 48-357, Nov. 2017.



박준성(Joonsung Park)

2014년 경희대학교 체육학(체육학박사)
2019년~현재 : 신라대학교 웰빙체육학부 조교수
2019년~현재 : 한국운동재활학회 기획위원회 이사
※ 관심분야 : 노인체육, 스포츠공학, e스포츠



김광백(Kwang Baek Kim)

1999년 부산대학교 전자계산학과 졸업(이학박사)
1997년~현재 : 신라대학교 컴퓨터소프트웨어공학부 교수
2013년 : International Journal of Computational Vision and Robotics(SCOPUS), Guest Editor
2013년 : International Journal of Information and Communication Technology(SCOPUS), Guest Editor
2014년~현재 : Open Computer Science Journal, Editor.
2012년~현재 : 한국지능정보시스템학회 편집위원
2013년~현재 : International Journal of Intelligent Information Processing(SCOPUS), Editor
2015년 : Computational Intelligence and Neuroscience(SCIE), Lead Guest Editor
2016년~2017 : 한국정보통신학회 회장
2016년~현재 : The International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems(SCOPUS), Associate Editor
※ 관심분야 : 퍼지 클러스터링, 인공지능, 기계 학습, 영상 처리