

심전도를 사용한 맥파전달시간차 예측¹

정창길, 유재천*

*성균관대학교 정보통신대학

cg_jeong@naver.com, yoojc@skku.edu

Prediction pulse transit time using electrocardiogram

ChangGil Jeong, JaeChern Yoo*

*College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

요약

본 연구는 심혈관계 질환 진단에 주고 사용되는 PTT를 계산할 때 필요한 PPG 신호가 없을 경우 ECG 신호만을 사용하여 PTT 값을 예측하는 방법을 제안한다. MIMIC-I 데이터셋에서 2 채널 심전도 데이터와 광전용적맥파 데이터를 확보하여 제안하는 방법을 적용하였을 때, RMSE 0.07116으로 예측하였다. 본 연구는 향후 단일 생체신호만 측정할 수 있는 제한된 상황에서 대안으로 활용될 수 있을 것이다.

1. 서론

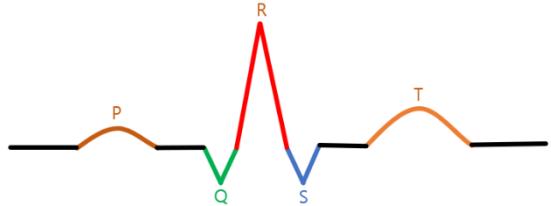
고혈압환자의 심혈관질환 진단에 주요 지표로 활용되는 맥파전달속도(Pulse Wave Velocity)를 구하는데에 맥파전달시간차(Pulse Transit Time:PTT)가 필요하다. 맥파전달시간차는 심장에서 출발한 혈류가 손끝, 발끝등의 신체 말단에 도달하는데 걸리는 시간이다. 정의에 따라 기본적으로 심전도(Electrocardiogram:ECG)의 R 파의 최고점을 시작점으로 두는 것이 일반적이며, 광전용적맥파(Photoplethysmogram:PPG)의 최저점, 최고점 도함수의 최고점 그리고 2 차도함수의 최고점으로 정의하고 있다. 하지만, 모든 상황에서 모든 생체신호를 수집할 수 있는 것이 아니므로, 정보가 제한된 상황에서 PTT를 예측함으로써 심혈관질환의 진단에 도움을 줄 수 있다.

따라서 본 연구에서는 PPG 측정기의 부재일 경우를 가정하여 ECG 신호만으로 PTT 값을 예측하는 방법을 제안한다. Matlab과 Physionet MIMIC-I database을 사용하여 예측값과 실측값을 계산하였으며, 예측값의 정확도를 확인하기 위해 평균제곱근오차(Root Mean Square Error:RMSE)를 사용하였다.

2. 관련 연구

1) 심전도(Electrocardiogram)

심장은 혈액을 전신에 순환시키는 펌프로, 수축과 이완을 규칙적으로 반복한다. 심장이 박동할 때마다 미약한 전기가 생기며, 그것으로 인해 신체내에 미세 전류가 흐르고 이에 의하여 피부에 전위차가 생긴다. 심전도는 신체표면의 적당한 부위에서 일정한 방법으



(그림 1) 심전도(ECG)의 과형

로 유도하고, 증폭하여 기록한 것이다.

심장의 전기적 활성화 단계를 반영하는 심전도는 P, Q, R, S, T 파로 구성되어 있다. (그림 1)에서 각 과형과 순서를 알 수 있다. QRS는 QRS-complex 와 같이 묶어서 표현하며, 심실의 수축기에 나타난다.

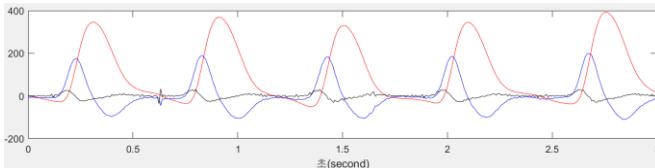
심혈관 질환이 없는 일반인의 ECG에서는 각 과형이 뚜렷하게 나타나고, 과형의 모양도 일정하지만, 심혈관 질환이 있는 경우 과형이 불규칙하게 나타나고, 질환에 따라 다양한 모양이 관찰된다.

본 연구에서 사용된 database에서는 P 파의 구분이 어려웠고, 비교적 노이즈에서 자유로운 R-peak 와 T-peak 를 활용하였다. 또한 비정상 과형을 제외하고, 나머지를 실험에 활용하였다.

2) 광전용적맥파(Photoplethysmogram)

광전용적맥파 측정기는 적외선을 피부에 투사하여, 적외선이 적혈구에서 얼마나 흡수되었는지 측정하여 피부표면의 모세혈관의 혈류량을 측정한다. 주로 산소포화도(SpO2)의 측정에 사용하고 있다.

¹ "본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학 ICT 연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2021-2018-0-01798)



(그림 2) PPG(적), FDPPG(청), SDPPG(흑)

PPG의 순간 기울기를 통해 얻어낸 FDPPG(First Derivative PPG)와 SDPPG(Second Derivative PPG)는 (그림 2)와 같이 나타난다. 각 그래프의 최저점, 최고점이 나타나는 시간을 ECG 신호와 연계하여 혈관 질환 예측의 중요 지표로 사용한다.

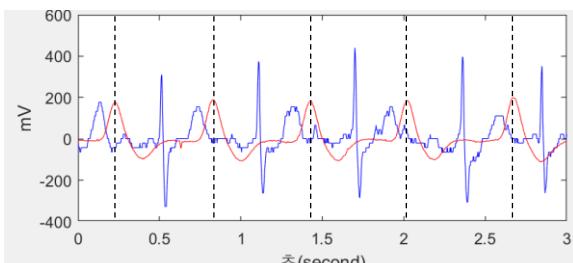
3) 맥파전달시간차(Pulse Transit Time)

PTT는 심장에서 시작된 혈류가 신체 손끝, 발끝과 같은 신체 말단에 도달하는데 소요된 시간이다. PTT는 ECG의 R-peak의 시점부터 PPG의 최저점, 최고점[1], FDPPG, SDPPG의 최고점[2]까지의 걸리는 시간으로 정의하고 있다[3].

본 연구에서는 심실 수축이 일어나는 시간으로 알려진 ECG의 R 파의 최고점(R-peak)을 시작점으로, 순간 혈류속도로 볼 수 있는 FDPPG의 최고점을 도달점으로 정의하여 사용하였다.

4) MIMIC-I database

MIMIC(Medical Information Mart for Intensive Care)-I Database[3]는 90여명의 중환자에게서 관측한 생체신호 및 측정 기록자료이다. 각 환자별 생체신호와 주기적인 의료 측정값을 포함하고 있으며, 환자당 최소 20시간, 대부분 약 40시간의 기록이다. 심전도, PPG, 호흡등의 신호와 맥박수, 산소포화도, 혈압 등의 주기적인 측정 기록값을 포함하고 있다. 심전도 신호는 500Hz로, 그 외 PPG 등의 신호들은 125Hz로 샘플링되어 있으며, 주기적인 측정값은 1.024초마다 기록되어 있다.



(그림 3) ECG(청색)와 FDPPG(적색)

3. 방법

1) 맥파전달시간차(PTT)

본 연구에서는 광전용적 맥파 도함수에서 peak의 시점($FDPPG_{peak}$)을 혈류도달점으로 정의한다.

$SDPPG_{peak}$ 와 심전도의 R-peak가 나타나는 시점(ECG_{Rpeak})의 시간차를 구한다(1).

$$(1) PTT = FDPPG_{peak} - ECG_{Rpeak}$$

2) 맥파전달시간차 예측($PTT_{predict}$)

FDPPG의 최고점은 ECG 신호에서 T파와 비슷한 시점에서 나타난다(그림 3). 따라서 T파의 종점(2)을 혈류가 도달한 시점으로 설정하였다.

$$(2) PTT_{pre} = ECG_{Tend} - ECG_{Rpeak}$$

3) 평균제곱근오차(Root Mean Square Error:RMSE)

실제 값과의 차이를 나타낼 수 있는 지표로 예측값의 정확도를 표시하는데 사용할 수 있다. 실제값과 예측값의 차를 제곱한 값의 평균의 제곱근이다. n개의 과정에 대하여 RMSE를 수식 (3)을 사용하여 각 예측값에 대하여 정확도를 측정하였다.

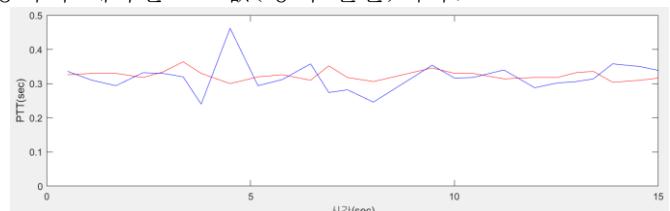
$$(3) RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (PTT - PTT_{pre})^2}{n}}$$

4) 실험환경

MIMIC-I database에서, 210 폴더의 2 번째 lead-II 신호와, PPG 신호를 20개 선정하였다. Microsoft Win10 환경에서 Matlab을 사용하여 실험하였다.

4. 결과

총 20개 데이터의 평균 RMSE는 0.07116이고, (그림 4)는 PTT 실제 값(적색 실선)과, ECG 신호만을 사용하여 예측한 PTT 값(청색 실선)이다.



(그림 4) PTT(적색), PTT 예측값(청색)

5. 고찰

ECG 신호만 사용해서 PTT를 예측하기 위해서 T파의 종점의 시점을 사용하였다. 이는 T파의 시작점, 최고점의 시점을 사용한 것보다 더 높은 정확도를 보였다. 또한 예측 지표로 사용할 수 있는 후보중, 다음 신호의 P파가 있다. 심혈관 질환이 없는 사람의 ECG에서 P파를 구분하는 것은 쉬우나, MIMIC-I database는 중환자실에서 관측한 데이터이기에 일정한 심장리듬이 나타나지 않고, 과정 또한 불규칙하여 상대적으로 크기가 작은 P파를 구분하기 어려웠으며 이를 컴퓨터로 구분하기에는 한계가 뚜렷했다. 하지만, R, T파는 비교적 진폭이 큰 과정이기 때문에, 명확히 추출해 낼 수 있었으며, 이를 활용한 PTT의 실측과 예측을 진행하였다.

PPG 또한 ECG와 같이 불규칙하였고, 신호의 잡음은 적었으나, PPG의 2차 도함수의 크기가 잡음보다 작아 이를 실험에 활용할 수 없었다. 하지만 PPG의 도

함수를 사용한 PTT 의 실측과 예측을 하였다.

추후 다른 지표들을 활용한 연구가 기대되며, 단일 신호만 사용하여 다른 단일신호의 예측이나, 복합신호의 지표를 예측할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 제한된 생체 신호 측정 상황에서 단일 신호만을 사용하는 예측법으로 활용을 기대할 수 있다.

6. 결론

심혈관계 질환 진단에 주고 사용되는 PTT 를 계산할 때 필요한 PPG 신호가 없을 경우 ECG 신호만을 사용하여 PTT 값을 예측할 수 있다. 이를 MIMIC-I 데이터베이스에 적용하였을 때, 예측 결과의 평균 RMSE 는 0.07116 으로 나타났다. 이 연구는 향후 단일신호를 사용한 복합신호 지표를 예측할 수 있는 기반이 될 수 있으며, 제한된 생체 신호 측정 상황에서 대안이 될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Marit H.N. van Velzen, Arjo J.Loeve, Sjoerd P.Niehof, Egbert G. Mik, “Increasing accuracy of pulse transit time measurements by automated elimination of distorted photoplethysmography wave”, Med Biol Eng Comput. 2017, 55(11) p1989-2000
- [2] Sobhan Salari Shahrabaki, Beena Ahmed, Tomas Penzel, Dean Cvetkovic, “Photoplethysmography derivatives and pulse transit time in overnight blood pressure monitoring”, Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc 2016 Aug, 2016, p2855-2858
- [3] 정석훈, 고국원, 이상준, “맥파속도 측정을 위한 PPG 기시점 검출알고리즘”, 한국정보처리학회 2015 년도 추계학술발표대회 2015 Oct 28, 2015, pp949-951’
- [4] George B. Moody, Roger G. Mark, “A Database to Support Development and Evaluation of Intelligent Intensive Care Monitoring”, Computers in Cardiology 23, 1996, 23:657-660
- [5] Xiaorong Ding, Bryan P.Yan, Yuan-Ting Zhang, Jing Liu, Ni Zhao & Hon Ki Tsang, “Pulse Transit Time based Continuous Cuffless Blood Pressure Estimation:A New Extension and A Comprehensive Evaluation”, SCIENTIFIC REPORTS, 7:11554, 2017
- [6] Mingwu Gao, N.Bari Oliver, and Ramakrishna Mukkamala, “Comparison of noninvasive pulse transit time estimates as markers of blood pressure using invasive pulse transit time measurements as a reference”, Physiological Report, e12768, 2016