평균 ECG 파형을 이용한 중첩 ECG 파형의 분리 방법

Duplicated ECG signal decomposition method using average ECG signals

김 두 연, 강 현 수
충북대학교

Kim Do-yeon, Kang Hyun-soo
Chungbuk National university

요약

본 논문은 두 사람의 중첩된 심전도 신호를 평균 심전도 파형을 이용하여 분리하는 방법을 제안한다. 사전에 등록한 두 사람의 평균 심전도 파형을 이용하여 중첩된 심전도 신호에서 각 개인의 R-peak 위치를 구별해내고 이를 바탕으로 각 두 사람의 심전도 신호를 분리한다. 분리된 심전도 신호를 바탕으로 두 사람의 신호를 분석함으로써 각자의 건강상태 확인이나 상호간의 호감도 측정 등의 오락적인 분야에 활용할 수 있다.

I. 서론

심전도 신호는 심장이 박동할 때 심근에 발생하는 미세한 전위 차이 신호이다. 심전도 신호는 심장 박동의 비율, 시간적 간격 같은 상태의 측정뿐만 아니라 심박을 조절하기 위한 보조 장치의 상태를 알기 위해서도 사용된다[1]. 심전도 신호의 활용법은 점점 더 다양해지고 있는데, 기존의 활용법 외에도 개인인식, 신체 상태 변화로 인한 심전도 신호의 변화 분석 등의 분야에도 활용되고 있다.

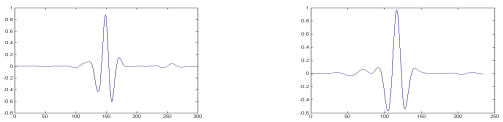
본 논문에서는 두 사람의 심전도 신호를 필터링을 이용하여 잡음을 제거한 후[2], R-peak를 기준으로 정렬하여 평균 심전도 신호를 생성한다. 그 후 두 사람의 중첩된 심전도 신호를 평균 심전도 신호를 이용하여 각자의 심전도 신호로 복원하여 분리하는 방법을 제안한다.

Ⅱ. 제안 방법

심전도 신호는 신체에 부착한 전극을 통하여 측정할 수 있다. 신체가 접촉되어 있는 두 사람의 신체에 측정기기의 전극을 각각 부착하게 되면 심전도 신호가 겹쳐서 나오게 된다. 이는 두 사람의 심장 박동 시 나타나는 전위 차이가 신체의 접촉된 부위로 전달되기 때문이다.

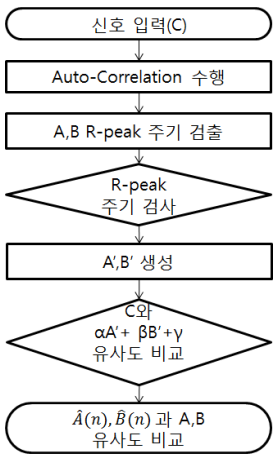
입력신호 C를 구성하고 있는 A, B 두 사람의 평소의 평균 심전도 신호를 이용하여 분리 알고리즘을 수행한다. 그림 1은 평균 심전도 신호의 사례이다.

신호분리를 위한 전체 알고리즘은 그림 2와 같다. 먼저, 두 사람이 함께 측정한 심전도 신호 C를 입력으로 받는다.

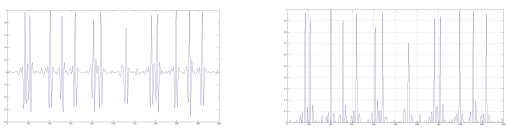


(a)평균 심전도 신호 A (b)평균 심전도 신호 B

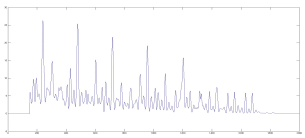
▶▶그림 1. 평균 심전도 신호 A B



▶▶그림 2. 전체 알고리즘



▶▶그림 3. C 신호 R-peak 검출 및 자기상관함수 계산을 위한 전처리

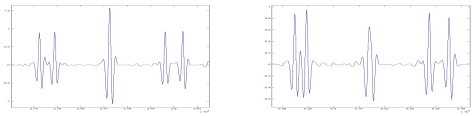


▶▶그림 4. 자기상관함수 수행 결과

다음 단계로서, R-peak 추출 및 A, B의 주기 추출을 위한 자기상관함수 계산을 위하여 그림 3과 같이 음수

값을 제거한다. 그림 4는 같이 얻어진 자기상관함수를 통해 A, B 각 사람의 R-peak의 간격을 검출한다. 이때 자기상관함수에서 0근처의 값을 제외한 뒤, 첫 번째와 두 번째 peak는 A, B의 R-peak 주기에 해당되므로 이를 검출한다.

신호 C의 R-peak는 두 사람 A, B 중 한명의 R-peak와 같은 위치에 존재한다. 따라서 신호 C의 R-peak를 순차적으로 A 또는 B의 R-peak의 위치와 같은 곳에 위치하는지의 검증 과정을 거치게 된다. 자기상관함수에서 나타난 A와 B의 평균적인 주기와 일치하는 주기의 R-peak 지점을 각각 A와 B의 R-peak와 일치하는 곳으로 가정하고, R-peak 위치에 따라서 각 지점에 A, B의 평균 파형을 배치하여 예상 신호 A′, B′를 만든다.



(a) (b)

▶▶그림 5. R-peak의 중첩사례 (a)주변 R-peak보다 큰 경우 (b)주변 R-peak보다 작은 경우

두 사람의 심전도 신호 A, B의 R-peak의 위치가 근접한 지점에 위치한 경우에는 그림 5와 같다. 그림 5와 같이 두 사람의 R-peak가 근접한 지점에 위치하는 경우에는 검출 알고리즘에서는 한번의 R-peak로 검출된다. 이러한 경우에는 A, B 두 사람 중 한명의 R-peak는 누락된다. 따라서 이에 대한 해결책으로 A, B신호의 R-peak 간격 평균으로 각 A, B신호의 R-peak 위치를 추정한 후 결정한다.

위의 과정을 통해 생성된 예상 신호 A′, B′를 최적화과정을 통해 원 신호 A, B에 가깝게 복원한다.

$$\vec{Px} = Q, where\ \vec{x} = \begin{pmatrix}\alpha\\ \beta\\ \gamma\end{pmatrix}, \tag{1}$$

$$P = \begin{bmatrix} A(0) & B(0) & 1 \\ A(1) & B(1) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ A(N-1) & B(N-1) & 1 \end{bmatrix},\quad Q = \begin{bmatrix} C(0) \\ C(1) \\ \vdots \\ C(N-1) \end{bmatrix}$$

$$\vec{x} = (P^T P)^{-1} \cdot P^T \cdot Q \tag{2}$$

$$e(n) = C(n) - (\alpha A(n) + \beta B(n) + \gamma) \tag{3}$$

여기서, $A(n)$, $B(n)$, $C(n)$은 A, B, C의 신호이며, α, β, γ는 구하고자하는 상수로서 신호 분리 및 복원에 사용된다. R-peak의 A와 B의 가능한 조합에 대해 식(3)의 오차가 가장 작은 조합을 최종적인 복원 신호로 결정한다.

복원 신호의 추가적인 보정하기 위해 에러 신호와 γ를 각각 더해줌으로써 최종적으로 분리된 신호 $\hat{A}(n)$와 $\hat{B}(n)$를 아래와 같이 얻는다.

$$\hat{A}(n) = \alpha A(n) + \frac{\gamma}{2} + \frac{e(n)}{2} \tag{4}$$

$$\hat{B}(n) = \beta B(n) + \frac{\gamma}{2} + \frac{e(n)}{2} \tag{5}$$

Ⅲ. 실험 결과

본 논문에서는 MIT-DB의 220번 데이터와 234번 데이터의 일정 부분을 추출하여 실험하였다. 각 신호를 필터링을 통하여 잡음을 제거한 후 전체 길이에 대하여 평균 심박신호를 추출하였다. 또한 신체가 접촉된 두 사람의 신호를 얻기 위하여 두 신호를 합쳐 신호 C를 생성하였다. 이 신호에 대해 심전도 신호 분리 알고리즘을 수행하였다.

표 1. 구간별 원 신호와 복원 신호간의 상관 계수

신호	$A,\ \hat{A}$	$B,\ \hat{B}$
상관계수	0.9579	0.9689

표 1에 나타난 바와 같이, 각 복원 신호와 원 신호간의 상관계수는 0.95 이상의 상관성이 매우 높은 신호를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이는 복원한 신호와 원 신호의 R-peak의 위치가 근접하고, 파형의 형태가 비슷하기 때문에 나타나는 결과이다.

표 2. 구간별로 추출된 α, β, γ

구간	α	β	γ
1~2000	0.9158	0.9796	-2.018e-05
2001~4000	0.9034	1.0206	-1.307e-04
4001~6000	0.9820	0.8597	-4.084e-05
6001~8000	0.9035	0.9009	-5.729e-05
8001~10000	1.0640	0.8254	-6.776e-05

표 2는 각 구간별 α, β, γ를 보여준다. 제안 방법은 구간별로 α, β, γ를 구함으로써 복원신호가 보다 원 신호와 비슷하도록 하였다.

Ⅳ. 결론

본 논문에서는 두 사람의 중첩된 심전도 신호를 서로 분리하여 개인의 심전도 신호로 복원하는 알고리즘을 제안하였다. 실험 결과를 통하여 각 개인의 평균 심전도 신호를 이용, 구간별로 각 개인의 가중합으로써 중첩신호를 표현하고 이때의 가중치를 추출하여 개인의 분리된 심전도 신호를 얻을 수 있다. 이를 통해 신체 접촉을 통해 변화하는 심전도 신호의 분석을 토대로 오락적인 요소에 활용 가능하다. 추가적인 연구를 통해 임산부의 태아 심전도 신호를 분리하는데도 활용 가능할 것으로 판단된다.

▌ACKNOWLEDGMENT▐

이 논문은 2014년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 한국연구재단에서 부여한 과제번호 : No 2012R1A1A4A01012994)

▌참 고 문 헌▐

[1] L S Green, R L Lux, C W Haws, R R Williams, S C Hunt and M J Burgess, "Effects of age, sex, and body habitus on QRS and ST-T potential maps of 1100 normal subjects," Proceeding of Circulation, vol. 71, No 2, pp.244-253, Mar. 1985.

[2] J. Pan and W. J. Tompkins, "A Real-Time QRS Detection Algorithm," IEEE Trans. Biomedical Engineering, vol. 32, No 3, pp.230-236, Mar. 1985.