

단일채널 산모 복부 심전도로부터 새로운 태아 심전도 검출 방법

송미혜¹, 조성필¹, 김이웅¹, 최호선², 이경중^{1,3}
¹연세대학교 의공학과
²대원과학대학
³응급의료정보시스템개발센터

A New Method for the Fetal ECG Extraction from a Single Channel Maternal ECG

M. H. Song¹, S. P. Cho¹, Y. W. Kim¹, H. S. Choi², K. J. Lee^{1,3}
¹Department of Biomedical Engineering, Yonsei University
²Daewon Science College
³Center for Emergency Medical Informatics

Abstract - In this paper, we have proposed a new method to extract the fetal ECG from a pregnant woman's abdominal signal using least square acceleration (LSA) filter and adaptive impulse correlation (AIC) filter. To evaluate the performance, the proposed method and other fetal ECG extraction techniques were processed using the real ECG data and then the results were compared. According to comparative results, the proposed method is powerful and successful for extracting the fetal ECG. It was able to separate perfectly even though the fetal beats overlap with the QRS wave of the maternal beats and to extract fetal ECG using any single-channel abdominal signal measured from pregnant woman's abdominal surface. Also, it could be implemented easily by fast computation time and simple structure. It is sure that our method could be useful for portable fetal monitoring system.

이용하였다. 그림 2는 LSA 필터를 이용한 R-peak를 검출하는 과정과 결과를 보여주고 있다. 그림 2의 (a)는 태아 심전도를 포함하고 있는 산모의 복부 심전도이고, (b)와 (c)는 20차, 30차 LSA 필터의 출력, (d)는 20차와 30차 필터의 출력을 곱한 신호이다. 이 신호를 이용하여 산모의 R-peak를 검출하게 된다. (e)에서는 (d)를 이용하여 검출한 결과이며, R-peak를 *로 표시하여 나타냈다.

1. 서 론

심전도(electrocardiogram, ECG)는 다양한 심장 질환을 진단하기 위한 가장 간편한 방법으로 널리 사용되어지고 있다. 그 중에서도 태아 심전도(fetal electrocardiogram, fECG)는 태아 심장의 전기적인 활동을 잘 반영하여 태아의 건강 상태 이상 유무에 대한 중요한 정보를 제공한다[1][2]. 지금까지 adaptive filters [3], wavelet transform [4], neural networks [5], polynomial networks [6], independent component analysis (ICA) [7], blind source separation (BSS) [8]과 같은 다양한 신호처리 기법들을 기반으로 한 태아 심전도 추출에 관한 연구가 활발히 진행되어져 왔다. 그중에서도 특히, ICA와 같은 방법들은 태아 심전도 추출에서 매우 우수한 성능을 보여주고 있다. 하지만 여러 채널의 산모 심전도 신호를 필요로 하고, 연산 구조가 복잡하다는 점과 산모 심전도의 QRS와 완전히 겹쳐지는 태아 비트의 경우 잘 검출되지 않는 단점이 있다[1].

본 논문에서는 최소 제곱 가속 (least square acceleration, LSA) 필터와 적응 임펄스 상관 (adaptive impulse correlation, AIC) 필터를 이용하여 단일채널 산모 복부 심전도로부터 태아 심전도를 검출 할 수 있는 새로운 방법을 제안하였다.

2. 본 론

제안한 단일채널 산모 복부 심전도로부터 태아 심전도를 추출하는 방법은 크게 3단계로 구성되어 있다. 먼저, 산모 복부에서 측정된 심전도에 LSA 필터를 적용하여 산모의 R-peak를 검출한다. 다음으로 검출된 R-peak에 동기화된 임펄스 신호를 레퍼런스 신호로 사용하는 AIC 필터가 산모 심전도를 추정·제거하게 된다. 마지막으로 추정된 산모 심전도로부터 태아 심전도 신호를 검출한다. 그림 1은 제안한 방법의 블록도이다.

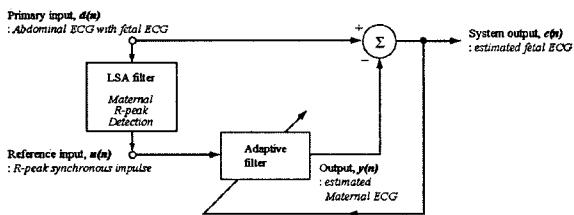


그림 1. 제안한 알고리즘의 블록도

LSA 필터는 생체 신호의 특정한 형태, 특히 가파른 형태를 두드러지게 나타내는데 우수한 성능을 보인다. 본 논문에서는 산모의 R-peak를 검출하기 위해 20(p=20)과 30(p=30)의 차수를 갖는 LSA 필터 출력을 곱한 신호를

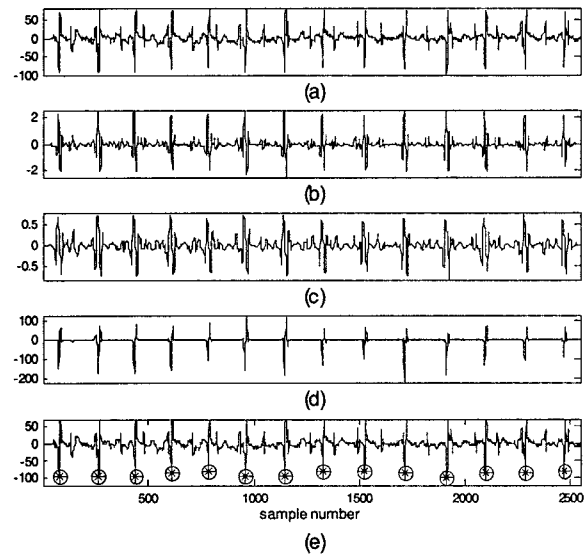


그림 2. 산모의 R-peak 검출 과정 및 결과
 (a) 복부 심전도 (b) 20차 LSA 필터 출력 (c) 30차 LSA 필터 출력
 (d) (b)와 (c)를 곱한 신호 (e) 산모의 R-peak 검출 결과

본 논문에서는 산모의 복부에서 측정된 심전도에서 산모의 심전도를 제거하기 위해 AIC 필터를 사용하였고, 적응 과정에서의 가중치를 조절하기 위해 normalized least mean square (NLMS) 알고리즘을 이용했다. AIC 필터의 주입력(primary input) 신호는 단일채널 복부 심전도, 기준입력(reference input) 신호는 산모의 R-peak에 동기화된 임펄스 신호를 사용했다.

3. 결 과

제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 다양한 태아 심전도 검출 방법들(ICA, NLMS와 RLS기반의 적응필터)과 제안한 방법을 실제 임상부에 가서 측정되어진 신호[9]에 적용하여 검출 성능을 비교해 보았다. 그리고 제안한 방법의 가중치 조절도 NLMS 기반과 RLS 기반의 알고리즘을 사용하여 성능을 평가해 보았다. 본 논문에서 사용되어진 산모 심전도는 산모의 복부에서 측정된 5개의 신호와 흉부에서 측정된 3개의 신호로 구성되어 있다. 그림 3은 사용한 심전도 신호를 나타낸 것이다. 그림 3의 (a), (b), (c), (d), (e)는 복부에서 측정된 심전도들이고, (f), (g), (h)는 흉부에서 측정된 심전도이다.

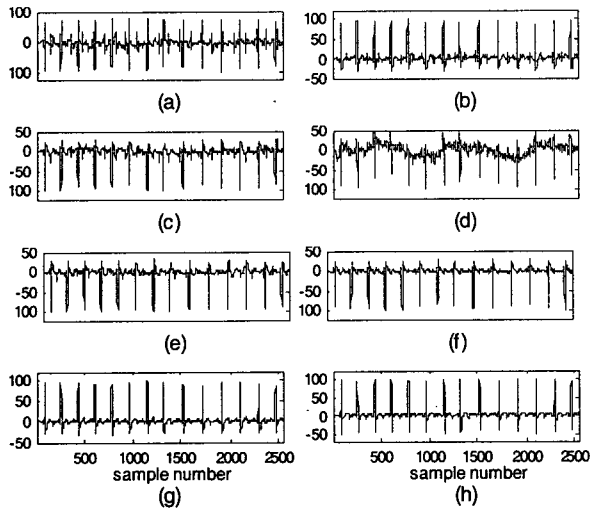


그림 3. 실제 산모로부터 측정된 심전도 신호
(a)-(e) 복부 심전도 (f)-(h) 흉부 심전도

그림 4는 산모의 복부 심전도로부터 5가지 방법, 즉 ICA, NLMS 기반의 적응필터, RLS 기반의 적응필터, NLMS 기반의 제안한 방법, RLS 기반의 제안한 방법에 의해 검출된 태아 심전도를 그림으로 나타낸 것이다. (a)는 태아 심전도가 포함된 산모의 복부 심전도 신호이고 (b), (c), (d)는 각각 ICA, NLMS와 RLS 기반의 적응필터의 결과이고, (e)는 NLMS 기반의 제안한 방법, (f)는 RLS 기반의 제안한 방법의 결과이다. 적용한 5가지 방법들은 거의 대부분 태아 심전도 검출에 우수한 성능을 보였으나 ICA 방법의 경우, 8개의 산모 심전도 신호를 모두 사용하였고, 다른 방법들 또한 2개 이상의 신호를 필요로 하였다. 그러나 제안한 방법은 하나의 산모 복부 심전도 신호만을 사용하여 다른 방법들과 비슷하거나 우수한 성능을 보였다.

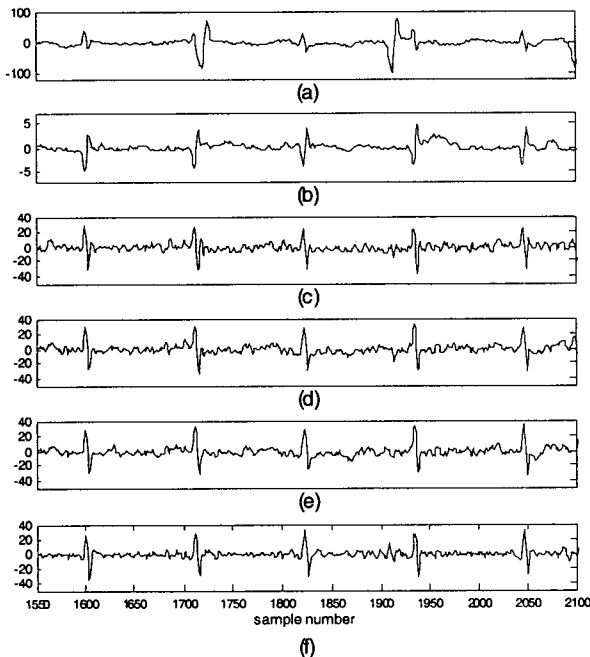


그림 4. 태아 심전도 검출 결과
(a) 산모 복부 심전도 (b) ICA 결과 (c) 적응필터(NLMS)
(d) 적응필터(RLS) (e) 제안한 방법(NLMS) (f) 제안한 방법(RLS)

그림 5는 제안한 방법(NLMS 기반)을 각각 다른 복부에서 측정된 5개의 심전도 신호에 적용하여 추출된 결과를 그림으로 나타낸 것이다. 제안한 알고리즘은 산모 복부에서 측정된 어떠한 신호에서도 우수한 검출 성능을 보였다. 그림 5의 (d)와 (e)의 경우, 산모 심전도 신호에 비해 매우 작은 태아 심전도 신호가 포함되어 있지만, 제안한 방법을 적용한 결과 태아 심전도 신호를 비교적 잘 검출하는 것을 볼 수 있다. 그리고 그림 4와 5에서 보는 바와 같이 제안한 알고리즘은 산모 QRS와 완벽하게 겹쳐진 태아 심전도의 경우도 잘 분리하는 것을 볼 수 있다.

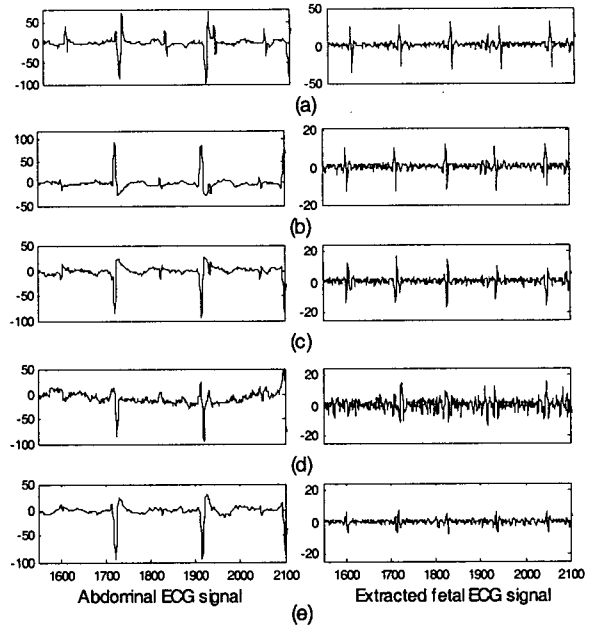


그림 5. 제안한 방법(NLMS)을 산모 복부에서 측정된 다양한 심전도(왼쪽)를 적용한 결과(오른쪽)

3. 결 론

본 논문에서는 LSA 필터와 AIC 필터를 이용한 새로운 태아 심전도 검출 알고리즘을 제안하였다. 제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 ICA, NLMS와 RLS기반의 적응필터와 검출 결과를 비교해 보았으며, 그 결과 태아 심전도 검출에 비슷하거나 다소 우수한 성능을 확인할 수 있었다. 그러나 제안한 알고리즘의 경우 단일채널 산모 심전도 신호만을 이용하여 태아 심전도를 검출할 수 있고, 산모의 복부 어디에서든지 측정된 신호라면 모두 적용이 가능하다는 장점이 있었다. 그리고 산모 비트와 완벽하게 겹쳐진 태아 심전도의 경우에도 매우 우수한 검출 성능을 보였다. 마지막으로 제안한 알고리즘은 수행시간이 빠르고 구조가 간단하여 실시간 적용에도 매우 유용하다.

감사의 글

본 논문은 2007년도 식품의약품안전청의 용역연구개발사업인 "의료기기 평가기술 개발 (07122의료기484)"의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] K. Assaleh, "Extraction of Fetal Electrocardiogram using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System," IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 54, no. 1, pp. 59-68, 2007.
- [2] M. Sato, Y. Kimura, S. Chida, T. Ito, N. Ktayama, K. Okamura, and M. Nakao, "A Novel Extraction Method of Fetal Electrocardiogram From the Composite Abdominal Signal," IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 54, no. 1, pp. 49-58, 2007.
- [3] E. R. Ferrara and B. Widrow, "Fetal electrocardiogram enhancement by time-sequenced adaptive filtering," IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. BME-29, pp. 458-460, 1982.
- [4] A. Khamene and S. Negahdaripour, "A new method for the extraction of fetal ECG from the composite abdominal signal," IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 47, pp. 507-516, 2000.
- [5] G. Camps, M. Martinez, and E. Soria, "Fetal ECG Extraction using an FIR Neural Network," in computers in cardiology, 2001, pp.249-252.
- [6] K. Assaleh and H. Al-Nashash, "A Novel Technique for the Extraction of Fetal ECG Using Polynomial Networks," IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 52, No. 6, pp. 1148-1152, 2005.
- [7] J. Lee, K. L. Park, and K. J. Lee, "Temporally constrained ICA-based foetal ECG separation," IEE Letters, vol. 41, No. 21, pp. 1158-1159, 2005.
- [8] V. Zarzoso, A. K. Nandi, and E. Bacharakis, "Maternal and fetal ECG separation using blind source separation methods," MA J. Math. App. Med. Biol., vol. 14, no. 3, 1997.
- [9] L. Lathauwer, Database for the Identification of System: FECC data EAST/SISTA K.U.Leuven, Belgium [Online]. Available: <http://www.esat.kuleuven.ac.be/sista/daisy>