Journal of Korea Multimedia Society Vol. 19, No. 5, May 2016(pp. 818-825)
http://dx.doi.org/10.9717/kmms.2016.19.5.818

다중 원시신호 기반 심전도 신호의 R-Peak 검출 알고리즘

차원준[†], 류강수[††], 이종학[†††], 조웅호[††††], 정유수[†††††], 박길흠[††††††]

R-Peak Detection Algorithm in ECG Signal Based on Multi-Scaled Primitive Signal

Won-Jun Cha[†], Gang-Soo Ryu[††], Jong-Hak Lee[†††], Woong-Ho Cho[††††], YouSoo Jung[†††††], Kil-Houm Park[††††††]

ABSTRACT

The existing R-peak detection research suggests improving the distortion of the signal such as baseline variations in ECG signals by using preprocessing techniques such as a bandpass filtering. However, preprocessing can introduce another distortion, as it can generate a false detection in the R-wave detection. In this paper, we propose an R-peak detection algorithm in ECG signal, based on primitive signal in order to detect reliably an R-peak in baseline variation. First, the proposed algorithm decides the primitive signal to represent the QRS complex in ECG signal, and by scaling the time axis and voltage axis, extracts multiple primitive signals. Second, the algorithm detects the candidates of the R-peak using the value of the voltage. Third, the algorithm measures the similarity between multiple primitive signals and the R-peak candidates. Finally, the algorithm detects the R-peak using the mean and the standard deviation of similarity. Throughout the experiment, we confirmed that the algorithm detected reliably a QRS group similar to multiple primitive signals. Specifically, the algorithm can achieve an R-peak detection rate greater than an average rate of 99.9%, based on eight records of MIT-BIH ADB used in this experiment.

Key words: ECG, Primitive Signal, R-peak Detection

1. 서 론

심전도신호(Electro-cardiograph: ECG)는 심장의 활동으로 생기는 전기적 신호로 신호 측정의 용이성과 임상적 중요성 때문에 심장 질환을 진단하는데 있어 중요한 역할을 한다[1-2]. 심장 질환은 예측하기 어려워 심장 질환에 따라 장시간 심전도 신호를 관찰해야 하므로 많은 시간과 비용이 요구된다. 따라

※ Corresponding Author : Kil-Houm Park, Address: (700-842) 703, IT1, Kyungpook National University, Dae-Hakro 80, Buk-gu, Daegu, Korea, TEL : +82-53-940-8849, FAX : +82-53-950-0555, E-mail : khpark@ee.knu.ac.kr
Receipt date : Jan. 29, 2016, Revision date : Mar. 15, 2016
Approval date : Mar. 28, 2016
[†] Dept. of Electronic Eng., Kyungpook National University
(E-mail : dnjs12wns18@ee.knu.ac.kr)
[††] Dept. of Information & Communications Eng., Graduate School, Gu-mi University
(E-mail : jhlee11@cu.ac.kr)
[†††] Dept. of Information Technology Eng., Graduate School, Catholic University of Daegu
(E-mail : jhlee11@cu.ac.kr)
[††††] Dept. of Electronic & Information., Graduate School, Daegu-Technical University
(E-mail : whcho@ttc.ac.kr)
[†††††] Dept. of Electronic Eng., Kyungpook National University
(E-mail : ysjung@ee.knu.ac.kr)
[††††††] Dept. of Electronic Eng., Kyungpook National University
※ This work was supported by Institute for Information & communications Technology Promotion(IITP) grant funded by the Korea government(MSIP). [No. 10041145, Self-Organized Software platform(SoSp) for Welfare Devices]

서 심전도 신호의 자동 분석에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[3-10]. 심전도 신호는 Fig. 1과 같은 QRS군, P파, 그리고 T파 등으로 구성되어 있고, 이들은 심장 질환에 따라 진폭, 위치, 간격 등에서 변형이 일어난다.

즉, 이들 구성요소의 변형 정보가 심장 질환 판단의 중요한 정보로 이용된다. 따라서 심장 질환을 자동으로 진단하기 위해서는 심전도 신호의 구성요소를 확실하게 검출하는 것이 매우 중요하다. 특히, R파는 여러 구성 요소들의 기준이 되는 요소이므로 매우 정확하게 검출하여야 한다.

하지만 실제 측정된 심전도 신호는 전원 잡음, 불규칙적인 호흡, 근잡음에 기인한 기저선 변동 등의 신호 왜곡이 발생하여 R파 검출을 어렵게 한다. 이 문제를 해결하기 위하여 신호왜곡을 감소시키고 견실한 R파 검출을 위한 연구가 활발히 진행 중이다. R파 검출의 대표적인 연구로는 Pan and Tompkins 기법[9]과 적응적 불응기에 기반한 기법[11] 등이 있다. 해당 연구들은 기저선 변동 등의 신호 왜곡을 개선하기 위해 저대역 필터링과 같은 전처리 과정을 거친다. 이들의 전처리는 측정된 신호의 왜곡이 심할수록 또 다른 신호 왜곡을 가져와 R파 검출에 있어 미검출과 과검출을 발생시키는 한계가 있다. Pan and Tompkins 기법의 경우 정상 파형에 대해서는 우수한 성능을 나타내지만 기저선 변동이 심한 부정맥 파형에서는 현저히 낮은 R파 검출률을 보인다. 그리고 적응적 불응기에 기반한 기법의 경우 전위와 첨도에 따른 불응기(Refractory Period)를 이용하여 R파를 검출하나 기저선 변동이 심한 구간에서 전처리의 왜곡으로 인한 오검출을 보인다.

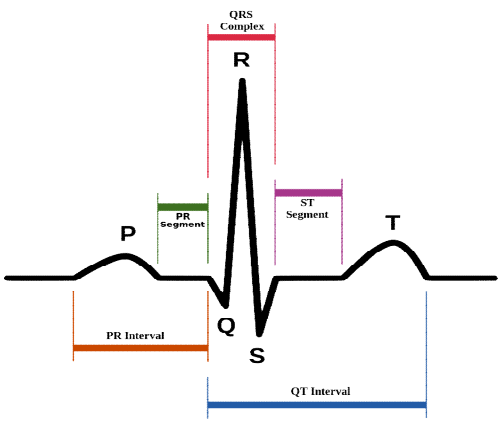


Fig. 1. Example of P wave, QRS-complex, and T wave.

본 논문에서는 기저선 변동에 강인한 R파 검출을 위해 원시신호(Primitive signal)와의 유사도 분석을 이용한 R파 검출 알고리즘을 제안한다. 먼저 QRS군의 원시신호를 정의하고, 시간 축과 전위 축으로 스케일링하여 다중 원시신호를 추출한다. 다음으로 전위 값을 이용하여 R파들의 후보점들을 검출한다. 그리고 R파 후보점들에 대하여 다중 원시신호와의 유사도를 측정한다. 평균과 표준편차를 이용하여 R파를 검출한다. 실험을 통하여 제안한 알고리즘은 다중 원시신호와 형태가 유사한 QRS군은 확실하게 검출할 수 있음을 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 원시신호를 이용한 R파 검출 기법을 기술하고, 3장에서는 실험결과와 고찰을 통해 제안한 알고리즘의 성능을 평가하고, 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

2. Primitive 신호를 이용한 R파 검출 기법

실제 측정된 심전도 신호는 기저선 변동 등의 신호 왜곡이 존재하고, 이는 R파 오검출의 원인이 될 수 있다. 기존의 R파 검출 기법들은 전처리를 통하여 기저선 변동을 제거한다. 하지만 전처리 과정에서 발생하는 다양한 왜곡은 R파의 오검출의 원인이 된다. 이 문제를 개선하기 위하여 본 논문에서는 기저선 변동에 강인한 R파 검출기법을 제안함으로써 R파 검출에 있어 기존 연구들의 전처리로 인한 원신호 왜곡에 기인한 오검출을 방지한다. 그리고 기저선 변동에 강인한 R파 검출을 위해 원시신호와의 유사도 분석을 이용하여 심전도 신호를 분석하는 기법을 제안한다.

먼저 심전도 신호에서 임의의 QRS군을 원시신호로 정의한다. Fig. 2는 MIT-BIH ADB의 103레코드의 QRS군들과 원시신호를 나타낸다.

원시신호를 이용하여 심전도 신호의 QRS군을 검출하기 위해 두 신호의 유사도를 측정한다. 본 논문에서는 신호의 형태학적 특징을 이용하여 두 신호의 유사도를 측정한다.

먼저 QRS군에서 R파 꼭지점(R-peak)은 전위 값이 가장 큰 특징이 있다. 이를 이용하여 R-peak들의 후보점들을 검출한다. 구체적으로 Morphology-pair 연산[12]을 사용하여 기저선 변동이 있는 심전도 신

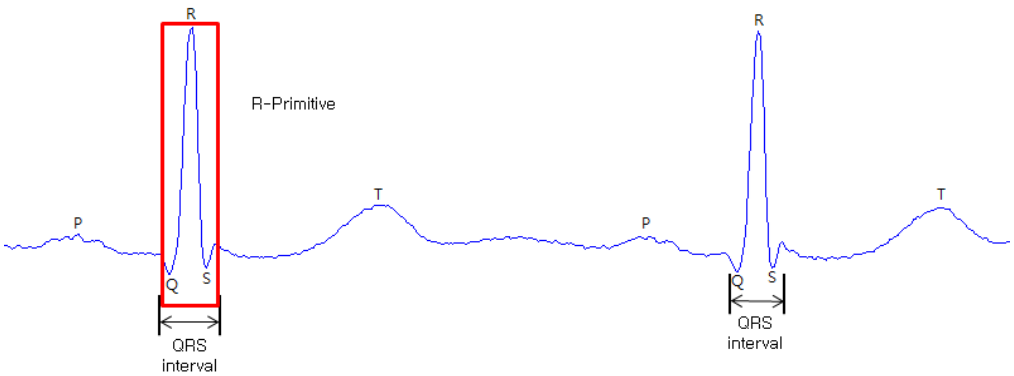


Fig. 2. Primitive signal and QRS complex of MIT-BIH ADB 103 record.

호의 전위 차를 구하고, 문턱 값을 사용하여 R-peak의 후보점들을 검출한다. Fig. 3은 MIT-BIH ADB의 103m레코드에 대해 전위 차에 따른 R-peak의 후보(o 표시)들을 나타낸다.

다음으로 원시신호의 R-peak와 R-peak 후보점을 일치시켜 유사도를 측정한다. 유사도는 R-peak 후보점을 중심으로 원시신호와 시간 축으로 같은 길이를 갖는 심전도 신호에 대해 원시신호와 겹치는 샘플의 개수가 된다. 해당 유사도 측정 방식을 이용하여 원시신호와 R-peak 후보점들 중 유사도를 비교하여 높은 유사도 값을 가지는 후보점은 True R-peak로, 낮은 유사도 값을 가지는 후보점은 False R-peak로 정의한다. Fig. 4에 MIT-BIH ADB의 103m 레코드의 원시신호의 R-peak와 R-peak 후보점을 True R-peak 및 False R-peak로 정의 하는 과정을 나타내었다.

한편 심전도 신호의 QRS군들은 전위와 간격에서 다양한 변화가 존재한다. Fig. 5는 MIT-BIH ADB의

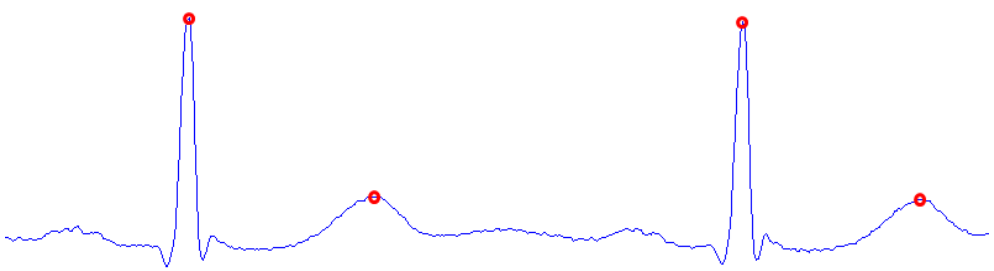


Fig. 3. Candidates of R-peak of MIT-BIH ADB 103m record.

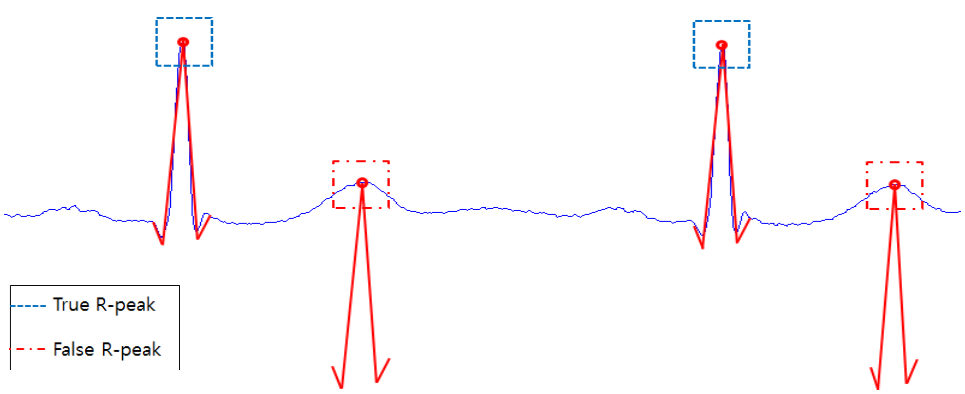


Fig. 4. Similarity calculation for MIT-BIH ADB 103m record.

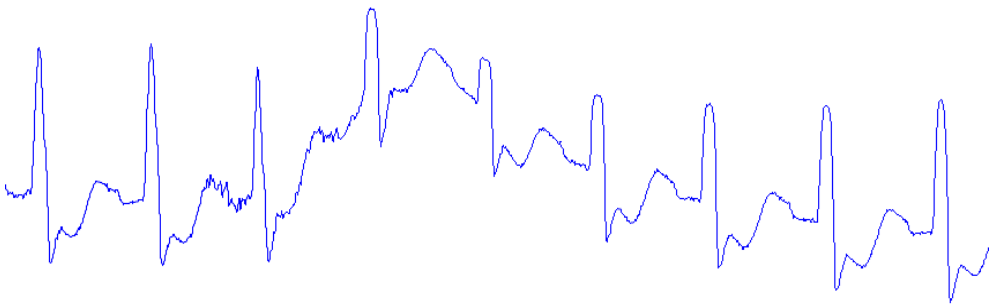


Fig. 5. QRS complex of MIT-BIH ADB 109 record.

109레코드의 전위와 간격에서 다양한 변화가 존재하는 QRS군들을 나타낸다.

유사도의 정확도를 높이기 위해 원시신호는 전위와 간격의 변화가 있는 QRS군들을 대응할 수 있도록 개선되어야 한다. 본 연구에서는 다중해상도 분석기법(Multi Resolution Analysis; MRA)을 적용하여 시간 축과 전위 축의 다양한 스케일 변화가 존재하는 QRS군을 검출하고자 한다[13].

Fig. 6(a)는 MIT-BIH ADB 109 record의 QRS군에 대해 MRA분석을 위해 원시신호를 시간 축과 전위 축 각각에 대해 임의로 스케일링을 한 9개의 다중 원시신호들을 나타낸다. 구체적으로 스케일링 된 각각의 다중 원시신호들의 R-peak들과 R-peak 후보점을 일치시켜 유사도를 측정하고, 최댓값을 R-peak 후보점의 유사도로 결정한다. Fig. 6(b)는 MIT-BIH ADB의 109m 레코드에 대해서, 원시신호의 R-peak와 R-peak 후보점을 일치시켜 유사도를 측정하는 과정과 유사도 값이 최대로 측정된 다중 프리미티브의 번호를 표시 하였다.

측정된 유사도(S)에 따라 R-peak를 검출한다. 장시간 측정된 심전도 신호의 QRS군과 다중 원시신호와의 유사도는 정규 분포를 따른다는 전제하에 식 (1)을 사용하여 R-peak를 검출한다. R-peak 후보점의 S가 식 (1)을 만족하면 True R-peak로 검출한다.

$$m-k\sigma < S < m+k\sigma \tag{1}$$

여기서 m과 σ는 R-peak 후보들의 유사도 평균과 표준편차이고, k는 문턱 값이다.

Fig. 7는 Primitive 신호를 이용한 R파 검출 기법의 흐름도를 나타낸다. 먼저 측정된 심전도 신호에 대해 원시신호와 스케일링된 원시신호를 구한다. 다음으로 전위 값을 이용하여 R-peak들의 후보점들을 검출한다. 다음으로 R-peak 후보점들에 대하여 다중 원시신호와의 유사도를 측정한다. 문턱 값을 이용하여 R-peak를 검출한다.

3. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 원시신호를 이용한 R파 검출 기법의 성능을 평가하기 위해 공인된 심전도 신호의 데이터베이스인 MIT-BIH ADB를 이용하여 실험하였다. 실험에 사용된 PC는 intel i7 4790 CPU, 8G DDR3 RAM이며, 알고리즘은 MATLAB 7.8버전을 사용하여 구현하였다.

3.1 기저선 변동에 강인한 R파 검출

Fig. 8은 MIT-BIH ADB의 101번 레코드의 일부분에 대해 J. Pan and W. Tompkins의 알고리즘과 제안한 알고리즘을 적용한 R파 검출 결과이다. (a)에서 붉은색 점선의 세로줄은 MIT/BIT ADB에서 제공한 R파의 위치이고, (b)와 (c)에서 붉은색 원은 각 알고리즘에 의해 검출된 R파의 위치를 나타낸다.

Fig. 8(b)로부터 Pan and Tompkins의 알고리즘[9]은 필터를 사용하여 기저선 변동을 제거한 신호로부터 R파를 검출하여 붉은색 실선으로 표시된 미검출과 검은색 점선으로 표시된 과검출이 발생하였음을 알 수 있다. Fig. 8(c)로부터 제안 알고리즘은 기저선 변동을 제거하지 않고 원신호 그대로 사용하여 R파를 검출하여 필터링 등의 전처리에 의한 오검출이 발생하지 않음을 확인 할 수 있다. Fig. 9은 MIT-BIH ADB 122번 데이터에 대해 실험한 결과이다. Fig. 9로부터 Fig. 8과 같은 결과가 나타남을 확인할 수 있다.

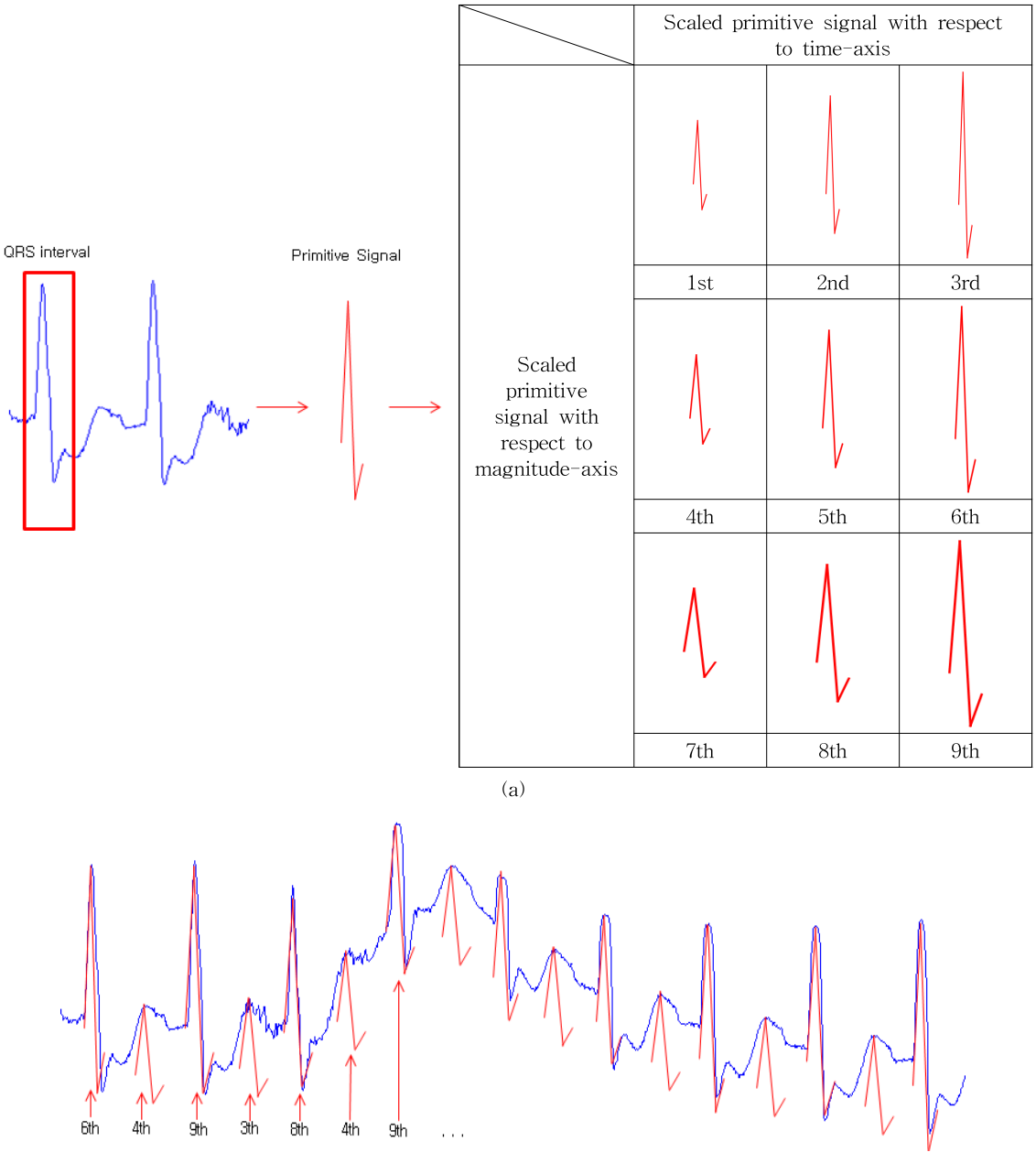


Fig. 6. MRA for R-peak Detection. (a) Scaled primitive signals of MIT-BIH ADB 109 record, (b) Similarity calculation for MIT-BIH ADB 109m record.

제안한 알고리즘의 R파 검출률을 평가하기 위해 식(2)의 검출 비를 사용하였다.

$$Detection\ Rate = \frac{Total\ beats - (FP + FN)}{Total\ beats} \times 100 \qquad (2)$$

여기서 TB(Total Beat)는 총 R파의 수, FP(False Positive)는 과검출 된 R파의 수, FN(False Negative)는 미검출 된 R파의 수를 나타낸다. Table 1은 MIT-BIH ADB에 대한 제안 알고리즘의 적용 결과를 나타낸다.

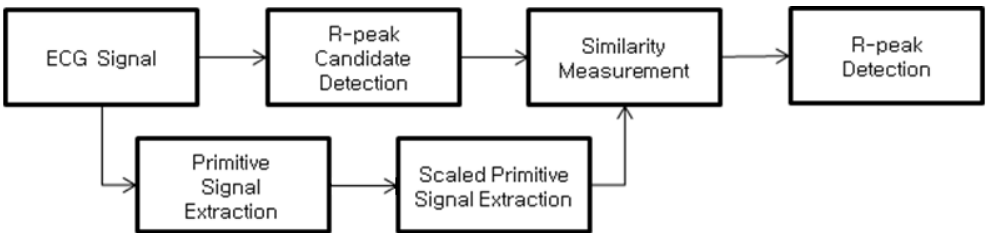


Fig. 7. Flowchart of R-wave detection algorithm.

Table 1. Experimental result of each record in MIT-BIH ADB

Record	TB	FP	FN	Detection Rate of Proposed Algorithm	Detection Rateof Pan & Tompkins Algorithm
100	2273	0	1	99.95	100
101	1865	0	3	99.83	99.57
103	2080	0	1	99.95	100
109	2532	0	3	99.88	99.96
112	2539	0	1	99.96	99.96
115	1953	0	2	99.89	100
122	2476	0	0	100.00	99.92
123	1518	0	1	99.93	100

Table 1로부터 제안한 알고리즘에 의해 신뢰 있게 R파를 검출할 수 있음을 확인할 수 있다. 한편 MIT-BIH ADB에는 48개의 레코드가 있다. 여기서 제시하지 않은 레코드들은 형태가 완전히 다른 QRS 군을 다수 포함하고 있어 신뢰 있게 R파를 검출할 수 없었다. 이는 여러 형태의 원시신호를 사용하여

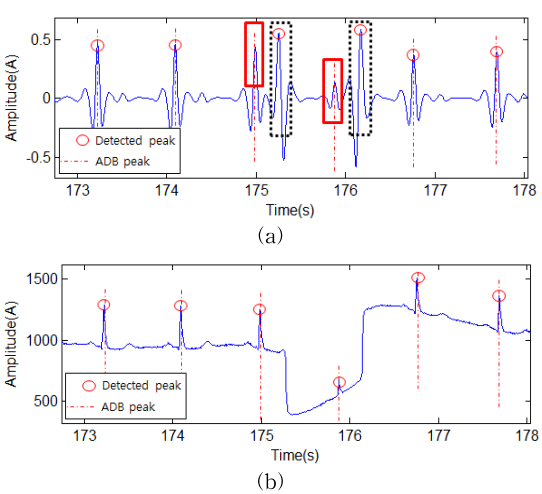


Fig. 8. Experimental result for 101 record in MIT-BIH ADB. (a) R-peak detection result using Pan & Tompkins's algorithm, (b) R-peak detection result of proposed algorithm.

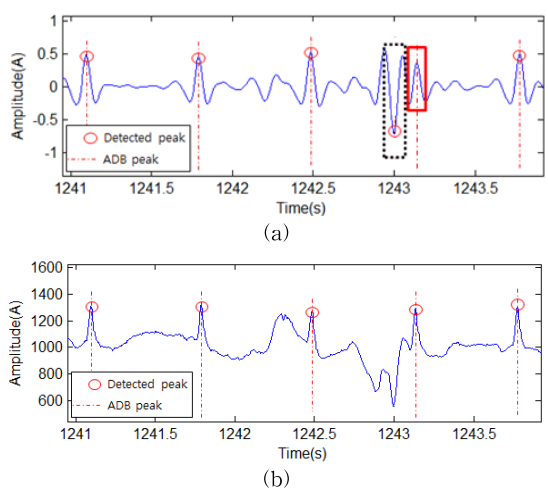


Fig. 9. Experiment results for 122 record in MIT-BIH ADB. (a) R-peak detection result using Pan & Tompkins's algorithm, (b) R-peak detection result of proposed algorithm.

개선하여야 하며, 앞으로 원시신호에 대한 추후 연구가 필요하다.

4. 결 론

기존의 R-peak 검출 연구에서는 심전도 신호의 기저선 변동 등의 신호 왜곡을 개선하기 위해 저대역 필터링과 같은 전처리 과정을 거친다. 이의 전처리는 측정된 신호의 왜곡이 심할수록 또 다른 신호 왜곡을 가져와 R파 검출에 있어 오검출을 발생시킬 수 있다. 본 논문에서는 전처리 과정을 거치지 않고 원신호에서 R-peak를 검출하는 기법을 제안하였다. 제안 기법에서는 QRS군이 전위와 간격에 약간의 변동이 발생하지만 그 형태는 유사한 특징에 기반하여 원시신호와의 유사도를 사용하여 R-peak를 검출한다. 먼저 QRS군의 원시신호를 정의하고, 시간 축과 전위 축으로 스케일링하여 다중 원시신호를 추출한다. 다음으로 전위 값을 이용하여 R-peak들의 후보점들을 검출한다. 그리고 R-peak 후보점들에 대하여 다중 원시신호와의 유사도를 측정한다. 평균과 표준편차를 이용하여 R-peak를 검출한다. 실험을 통하여 제안한 알고리즘은 다중 원시신호와 형태가 유사한 QRS군은 확실하게 검출할 수 있음을 확인하였다. 구체적으로 실험에 사용한 MIT-BIH ADB의 8개 레코드에 대해 평균 99.9% 이상의 R-peak 검출률을 얻을 수 있었다. 그러나 다중 원시신호와 형태가 유사하지 않은 QRS군의 검출에는 한계가 있었다. 이 경우에도 보다 확실하게 R-peak를 검출할 수 있는 연구가 지속되어야 한다.

REFERENCE

[1] B. Kohler, C. Henning, and R. Orglmeister, "The Principles of Software QRS Detection," *IEEE Engineering in Medicine and Biology*, Vol. 21, pp. 42-57, 2002.

[2] H.J. Jong and J.S. Lim, "Detection of Premature Ventricular Contraction Using Discrete Wavelet Transform and Fuzzy Neural Network," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 12, No. 3, pp. 451-459, 2009.

[3] J.S. Sahambi, S.N. Tandon, and R.K.P. Bhatt, "Wavelet Based ST-Segment Analysis," *Journal of Medical & Biological Engineering & Computing*, Vol. 36, No. 5, pp. 568-572, 1998.

[4] S. Kadambe, R. Murray, and G. Boudreaux-Bartels, "Wavelet Transform Based QRS Complex Detector," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 46, No. 7, pp. 838-848, 1999.

[5] E. Zellmer, F. Shang, and H. Zhang "Highly Accurate ECG Beat Classification Based on Continuous Wavelet Transformation and Multiple Support Vector Machine Classifiers," *Proceeding of Biomedical Engineering and Informatics Conference MMEI,* pp. 1-5, 2009.

[6] T. Ince, S. Kiranyaz, and M. Gabbouj, "Automated Patient-Specific Classification of Premature Ventricular Contractions," *Proceeding of 30th Annual International IEEE EMBS Conference,* pp. 5474-5477, 2008.

[7] L. Shyu, Y. Wu, and W. Hu, "Using Wavelet Transform and Fuzzy Neural Network for VPC Detection from the Holter ECG," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering,* Vol. 51, No. 7, pp. 1269-1273, 2004.

[8] F. Melgani and Y. Bazi, "Detecting Premature Ventricular Contractions in ECG Signals with Gaussian Process," *Computers in Cardiology*, Vol. 35, pp. 237-240, 2008.

[9] J. Pan and W. Tompkins, "A Real-Time QRS Detection Algorithm," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 32, No. 3, pp. 230-236, 1985.

[10] W.J. Brady and J. Skiles "Wide QRS Complex Tachycardia: ECG Differential Diagnosis," *The American Journal of Emergency Medicine*, Vol. 17, No. 4, pp. 376-381, 1999.

[11] J.J. Kim, J.S. Kim, and K.H. Park, "R-wave Detection Algorithm in ECG Signal Using Adaptive Refractory Period," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea,* Vol. 50, No. 5, pp. 242-250, 2013.

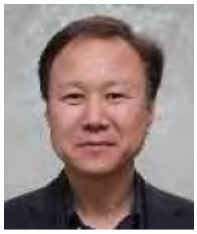
[12] S.W. Kim, T.H. Kim, B.J. Choi, and K.H. Park, "Mining Algorithm of Baseline Wander for

ECG Signal Using Morphology-Pair," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems,* Vol. 20, No. 45, pp. 574-579, 2010.

[13] A. Gautam and M. Kaur, "ECG Analysis Using Continuous Wavelet Transform (CWT)," *IOSR Journal of Engineering*, Vol. 2, No. 4, pp. 632-635, 2012.

차 원 준

2015년 금오공과대학교 전자공학부 공학사
2015년~현재 경북대학교 전자공학부 석사과정
관심분야 : 생체신호처리, 영상처리



류 강 수

1982년 경북대학교 전자공학과 공학사
1984년 경북대학교 전자공학과 석사
1997년 경북대학교 전자공학과 박사

1984년~1992년 한국전자통신연구원 선임 연구원
1992년~현재 구미대학교 전자통신과 교수
관심분야 : 컴퓨터네트워크, 패턴인식

이 종 학

1982년 경북대학교 전자공학과 공학사
1984년 한국과학기술원 전산학과 석사
1997년 한국과학기술원 전산학과 박사

1984년~1987년 금성통신(주) 부설연구소
1987년~1998년 한국통신 연구개발본부
1998년~현재 대구가톨릭대학교 IT공학 부교수
관심분야 : 다차원 화일구조, 데이터베이스, 보안

조 웅 호

1982년 경북대학교 전자공학과 공학사
1984년 영남대학교 전자공학과 석사
1993년 경북대학교 전자공학과 박사

1985년~현재 대구공업대학 디지털전자정보계열 부교수
관심분야 : 광컴퓨팅, 광 신호처리 및 영상처리

정 유 수

2013년 경북대학교 수학과 학사
2015년 경북대학교 전자공학부 석사
2015년~현재 경북대학교 전자공학부 박사과정
관심분야 : 패턴인식, 영상신호처리

박 길 흠

1982년 경북대학교 전자공학과 공학사
1984년 한국과학기술원 전기전자공학과 석사
1990년 한국과학기술원 전기전자공학과 박사

1990년~현재 경북대학교 전자공학부 교수
관심분야 : 영상신호처리, 패턴인식, 영상압축