

IoT 환경에서 최적 R파 검출 및 최소 특징점 추출을 통한 향상된 PVC 분류방법

조익성*·우동식**

Optimal R Wave Detection and Advanced PVC Classification Method through Extracting Minimal Feature in IoT Environments

Cho Iksung · Woo Dongsik

〈Abstract〉

Previous works for detecting arrhythmia have mostly used nonlinear method such as artificial neural network, fuzzy theory, support vector machine to increase classification accuracy. Most methods require higher computational cost and larger processing time. Therefore it is necessary to design efficient algorithm that classifies PVC (premature ventricular contraction) and decreases computational cost by accurately detecting minimal feature point based on only R peak through optimal R wave. We propose an optimal R wave detection and PVC classification method through extracting minimal feature point in IoT environment. For this purpose, we detected R wave through optimal threshold value and extracted RR interval and R peak pattern from noise-free ECG signal through the preprocessing method. Also, we classified PVC in realtime through RR interval and R peak pattern. The performance of R wave detection and PVC classification is evaluated by using record of MIT-BIH arrhythmia database. The achieved scores indicate the average of 99.758% in R wave detection and the rate of 93.94% in PVC classification.

Key Words : R Wave, Sampling Frequency, R Peak Pattern, RR Interval, PVC

I. 서론

심장질환 중에서 부정맥은 심장의 리듬이 불규칙하거나 심박동수가 비정상적인 상태를 의미한다. 부정맥의 형태는 정상인에게서 얻을 수 있는 가벼운 리듬

의 장애에서부터 생명을 위협하는 위험한 장애까지 다양하며 이는 심장질환은 발생부위에 따라 심방성과 심실성 부정맥으로 나뉘며 동빈맥, 심방빈맥, 심방조동, 심방세동, 방실접합부 부정맥, 심실조기박동, 심실빈맥, 심실세동 등 20여 가지로 분류할 수 있다. 심장질환의 종류에 따라 다양한 형태의 특이 심박이 존재하게 되며 파형의 형태나 리듬을 기반으

* 경운대학교 항공정보통신과 조교수

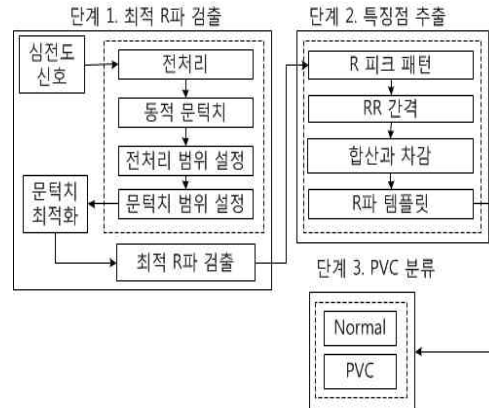
** 경운대학교 항공정보통신과 조교수(교신저자)

로 심장질환을 진단하게 된다.

조기심실수축(PVC : Premature Ventricular Contraction)은 임상에서 발견될 수 있는 가장 흔한 부정맥으로 과거에 심장질환이 있었던 환자에서 PVC의 발생은 심실빈맥, 심실세동과 같은 위험을 조기에 줄일 수 있는 예측 인자중 하나로 이의 검출은 추후 발생여부에 대한 기초조사로써 매우 중요하다[1-3]. 지금까지 PVC분류의 정확도를 높이기 위해 미분을 이용한 방법, 심전도(Electrocardiogram: ECG)의 형태적 연관성을 이용한 방법, 이산 푸리에 변환을 이용한 방법, 힐버트 변환 방법, 웨이블릿 변환방법, 다양한 비선형 분석법이 사용되어 왔다. 이러한 대부분의 방법들은 ECG 신호의 정확한 측정을 필요로 하며, 데이터의 가공 및 연산이 복잡하다. 심전도 신호의 QRS 영역은 심장의 질환을 판단하는 중요한 자료로 쓰이는데, 여러 종류의 잡음으로 인해 이를 분석하는데 어려움을 준다. 또한 일반인들의 건강상태를 지속적으로 모니터링 하는 사물인터넷 기반의 헬스케어 시스템에서는 신호의 실시간 처리가 필요하다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 최적의 R파를 검출하고 이를 통해 R피크 기반의 특징점만을 정확하게 검출함으로써 최소한의 연산량으로 실시간으로 PVC를 분류할 수 있는 알고리즘이 필요하다[4-8]. 따라서 본 연구에서는 최적 문턱치의 R파 검출 기반의 RR간격과 R피크 패턴을 통한 PVC분류 방법을 제안한다. 이를 위해 전처리를 통해 잡음이 제거된 심전도 신호에서 최적 문턱치에 따른 R파를 검출하고, RR간격, R피크 패턴을 찾아내어 그 에 따라 PVC를 분류하였다. 제안한 방법의 우수성을 입증하기 위해 MIT-BIH 9개의 부정맥 데이터베이스를 대상으로 PVC의 검출율을 비교하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안한 기법에 대하여 논하고, 3장에서는 실험결과에 대하여 논하고 4장에서 결론으로 마무리한다.

II. 제안한 기법

최적 R파 검출 및 최소 특징점 추출을 이용한 PVC분류 방법의 전체 구성도는 그림 1과 같은 단계로 나누어진다. 먼저 ECG신호로부터 전처리 과정을 통해 잡음을 제거한 후 전처리와 문턱치의 최적화를 통해 R파를 검출하는 단계, RR간격과 R피크 패턴, R피크 합산 및 차감, R 피크 템플릿을 통해 PVC 특징점을 검출하는 단계, 각 특징점의 변화에 따라 정상(Normal)과 PVC를 분류하는 단계로 나누어진다.



<그림 1> 전체 시스템 구성

2.1 전처리 및 R파 추출

정확한 진단을 위해서는 심전도 신호에 포함되어 있는 다양한 잡음을 제거하여 R파를 정확히 검출하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 샘플링 주파수에 따른 전처리 기법과 적응형 문턱치에 의한 최적치를 통해 R파를 검출하였다[9-10]. 이는 단순성을 고려하여 검출의 정확도를 향상시키기 위한 방법이다. 먼저 전처리 기법의 향상을 위해 샘플링 주파수(F_s), 미분 구간(N_d), 윈도우 사이즈(M)의 최적 범

위와, 피크 문턱치를 설정하는 문턱 계수(p_{th})의 최적치를 설정하였다. R과 검출의 최적 성능을 위한 파라미터는 수식 (1)과 같이 4개의 벡터 값으로 표현된다.

$$R_{th} = [Fs, N_d, N, p_{th}] \quad (1)$$

샘플링 주파수에 따른 성능은 처리 시간과 직결되는 부분이므로 이는 분류성능에 영향을 끼치지 않는 최적의 샘플율을 정하기 위함이다. 일반적으로 MIT-BIH데이터베이스의 경우 기준 샘플링 주파수가 360Hz이므로 샘플링 주파수(Fs)는 360Hz, 이동 평균의 범위(M)는 8, 미분 파라미터의 범위(N_d)는 7, 피크 문턱치(p_{th})는 6.6이라는 것을 확인할 수 있다.

이는 실험을 통해 얻은 수치이며, 최적의 R과 검출을 위해서는 프로세서의 성능에 맞는 샘플율의 선택이 중요하다는 것을 확인할 수 있었다.

2.2 R피크 형태 및 RR간격

심실은 동맥을 통하여 혈액을 내보냄으로써 인체의 혈액순환에 가장 중요한 역할을 하며, 이 때 심실에서 발생하는 전기적 신호는 심전도 신호에서 R파의 형태로 표현된다. 정상신호는 그 형태가 일정한 것에 비해 PVC는 모두 RR간격의 변화량이 크고 R피크의 형태는 각각 다른 패턴을 가지는 것을 확인할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 합산, 차감, 결합 세가지의 PVC의 R피크 형태를 정의하였다. PVC 발생시에

는 이와 같은 RR간격의 변화, R피크의 패턴 등의 차이뿐만 아니라, P파의 유무 등 다양한 문제가 발생하지만 본 논문에서는 R파를 기반으로 특징값들을 검출해낸 후 이를 통해 PVC 검출을 진행하였다.

2.2.1 RR 간격

RR간격이 PVC분류에 적합한지를 확인하기 위해 PVC가 다수 포함된 MIT-BIH 부정맥 데이터베이스를 통해 그 형태를 확인하였다. 각 레코드에 대한 RR간격은 그림 2(a), (b), (c)와 같다. 그림 2(a)는 116번 레코드의 PVC에 대한 파형을 나타낸다. 그림과 같이 PVC의 경우 이전 RR간격은 약 500ms, 이후는 약 1000ms로 정상에 비해 매우 작아졌다가 2배 정도 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있다.

그림 2(b)와 2(c)는 119번 레코드의 2개 PVC, 114번 레코드의 1개 PVC에 대한 파형을 각각 나타낸다. 그림 2(a)와 마찬가지로 매우 작아졌다가 약 2배 이상 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 PVC는 RR 간격의 변화율이 규칙적으로 증가하는 것을 특징을 가지고 있기 때문에 RR간격의 평균과 이전, 이후의 변화량을 이용한다면 PVC를 분류하는 것이 가능하다.

PVC분류를 위한 RR간격의 평균 가중치와 변화율에 대한 값은 수식 (2)과 같다. PVC의 RR간격이 전체 기준치에 비해 80%보다 작게 나타나며, 부정맥과 정상신호가 연속되는 신호의 RR간격 변화율은 120%이상 나타났다. 따라서 그 패턴을 분류하기 위한 범위는 현재의 RR간격(RR_i)이 전체기준치(RR_{cvi})보다 작을 경우이거나 연속하는 변화량(RR_v)인 1.2보다 클 경우에 해당한다.

$$RR_{cri} = 0.8 * \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (R_{i+1} - R_i) \quad (2)$$

$$RR_v = \frac{RR_{i+1}}{RR_i},$$

if $RR_i < RR_{cri}$ and $RR_v > 1.2$
then $RR_i = PVC$

$$\text{합산} = \sum_{n=35}^{85} A[R(i)+n] \quad (3)$$

$R(i)$: PVC인 현재 R피크의 위치
 A : i 번째 R피크의 진폭
 n : 샘플 개수

2.2.2 합산과 차감

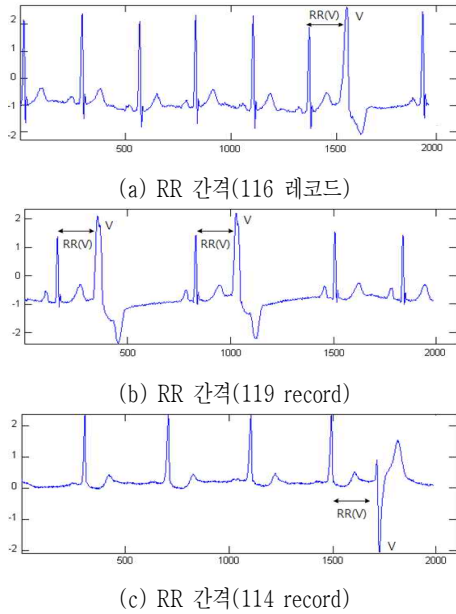
RR간격과 더불어 R피크패턴의 합산과 차감기법을 통해 PVC를 검출한다. 합산과 차감기법은 현재 신호를 기준으로 특정 샘플값들의 진폭값의 합과 차이만을 계산함으로써 연산량을 줄일 수 있는 방법이다. 본 연구에서는 합산과 차감기법이 PVC분류에 적합한지를 확인하기 위해 앞서 MIT-BIH 레코드를 통해 그 패턴을 확인하였다. 그림 3(a)의 경우 정상 R피크보다 작은 R과('V'로 표기)를 기준으로 오른쪽 특정 샘플구간의 진폭이 음의 값으로 넓게 분포된 형태를 가지고 있다. 즉, 특정 음의 샘플 구간 진폭을 합산하여 PVC 여부를 판단할 수 있다. 그림 3(b)의 경우 'V'로 표기된 음의 R피크 진폭을 가지는 경우로 이전 R피크와 비교했을 때 그 절대값이 상대적으로 큰 형태를 나타낸다. 이러한 경우는 현재와 이전 R피크의 진폭 차이를 이용하여 PVC여부를 판단할 수 있다. 그림 3(c)는 그림 3(a)와(b) 경우를 모두 포함하고 있다. 이러한 3가지 형태의 PVC의 특성을 이용하여 이에 대한 특정 문턱치를 설정, 그 범위 만족 여부에 따라 PVC를 검출하였다. 합산 기법은 현재 $R(i)$ 가 PVC가 나타나는 위치라고 가정했을 때 $R(i)$ 과를 기준으로 오른쪽 특정 구간이 음의 값이 분포되어 있는 것을 확인할 수 있다. 이를 수식으로 나타내면 (3)과 같다.

분석결과 $R(i)$ 의 오른쪽 35(k)번째 샘플부터 85(l)번째 샘플까지 샘플값을 합산하여 특정 문턱치(S_{th})

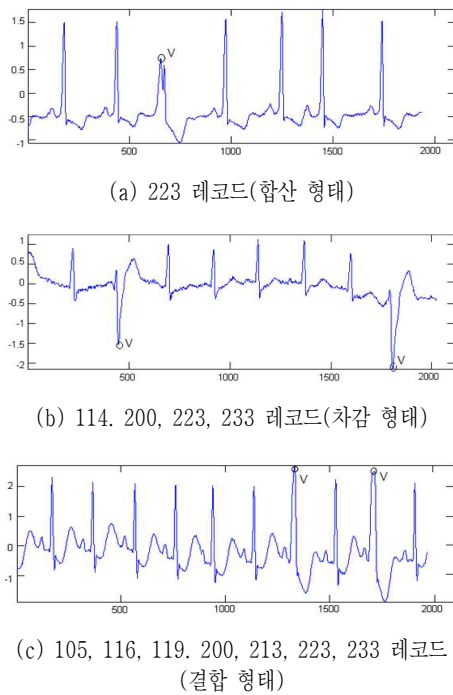
보다 클 경우를 PVC라고 판단한다. 여기서 S_{th} 는 MIT-BIH 레코드를 통해 실험 분석한 값으로 선정하였다.

차감 기법은 PVC인 $R(i)$ 의 음의 진폭이 매우 큰 것을 확인할 수 있었으며, 이를 수식으로 나타내면 (4)과 같다. 즉 수식과 같이 현재 R과의 진폭 절대치가 이전 R과의 진폭 절대치보다 클 경우, 즉 두 값의 차가 0보다 클 경우를 PVC로 판단한다. 이는 RR간격이 PVC조건을 만족하고 음의 R피크를 합산으로 구할 수 없을 때 유용한 방법이 된다.

$$\text{차감} = |AR(i)| - |AR(i-1)| \quad (4)$$



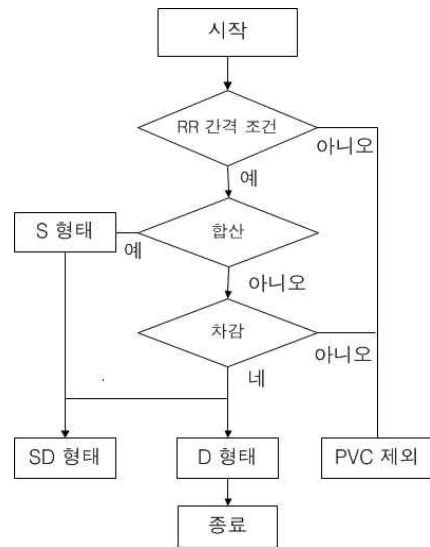
<그림 2> RR 간격의 변화율



<그림 3> PVC의 R 피크 형태

2.2.3 PVC 검출 알고리즘

PVC 검출 알고리즘의 전체 구성도는 그림 4와 같은 과정으로 구성된다. 이는 RR간격의 평균, 변화율, R피크형태에 따른 합산과 차감기법을 이용하여 각 특징점들의 문턱치(threshold)을 통해 PVC를 분류하는 방법이다. 각 특징점의 문턱값을 결정하기 위해 정상 신호 100번 레코드와 PVC가 다수 포함된 9개의 레코드를 분석하였다. 1차적으로 PVC를 분류하기 위한 범위는 현재의 $RR(RR_i)$ 간격이 전체 RR 간격의 평균 가중치 RR_{crit} 보다 작을 경우이거나 연속하는 변화량인 RR_v 가 1.2보다 클 경우에 해당하고, 그렇지 않을 경우 정상이라고 판단한다. 하지만 정상과 PVC가 반복적으로 변화하는 특정 PVC의 경우 RR간격에 대한 조건을 만족하지 못하였다. 이를 위하여 합산과 차감기법을 이용하여 PVC를 분류하였다.



<그림 4> PVC 검출 알고리즘

III. 실험 결과 및 고찰

3.1 R과 검출율

MIT-BIH 부정맥 데이터베이스를 통하여 R과 검출에 대한 성능 평가가 수행되었다. MIT-BIH 부정맥 데이터베이스를 통하여 R과 검출에 대한 성능 평가가 수행되었다. 검출률 계산을 위한 수식은 (5)와 같다. 아래 식에서 FP(False Positive)는 검출알고리즘이 R과를 검출하였으나, MIT-BIH부정맥 데이터베이스에는 존재하지 않을 경우이고, FN(False Negative)은 MIT-BIH부정맥 데이터베이스에는 있으나 알고리즘이 이를 검출하지 못한 경우이다. 전체 비트는 MIT-BIH에 존재하는 R과의 총 개수이다. MIT-BIH 데이터베이스를 대상으로 한 평균 R과 검출율은 99.758%의 우수한 성능을 나타내었다.

$$Detectionrate = (5)$$

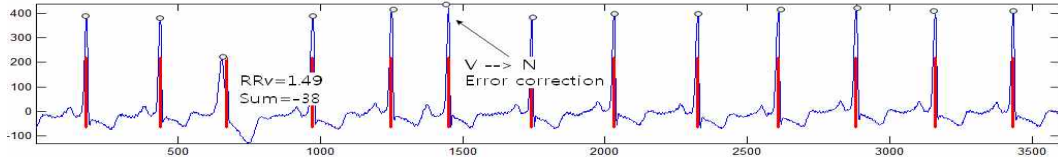
3.2 PVC 검출 성능 비교

제안된 RR간격과 R피크 패턴에 따른 PVC 분류 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 MIT-BIH 부정맥 데이터베이스를 대상으로 그 효용성을 실험하였다. 검출율의 계산은 식 (5)와 같으며, 성능평가에 사용된 레코드는 105, 106, 114, 116, 119, 200, 213, 223, 233번 9개의 레코드를 대상으로 실험하였다. 분류의 신뢰성을 위해서 PVC가 30개 이상 포함된 데이터만을 사용하였다. 제안한 방법으로 PVC를 분류한 결과를 표 1에 나타내었다. 성능평가 결과 평균 검출율은 93.94%의 우수한 성능을 나타내었다. 그림 5는 MIT-BIH 10개의 레코드를 대상으로 한 RR간격과 R피크 패턴을 분석한 것이다. 그림 5(a)는 105, 116번, 223번 레코드로서 2개의 PVC를 나타내

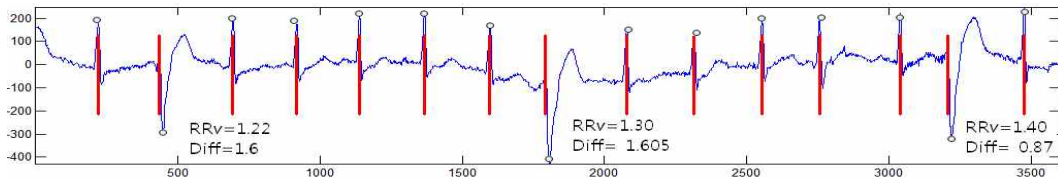
고 있으며, RR간격과 합산기법을 모두 만족하여 PVC로 검출되었다. 그림 5(b)는 106번, 114번, 200번 레코드로서 3개의 PVC를 나타내고 있으며, RR간격과 차감기법의 조건을 만족하여 PVC로 검출되었다. 5(c)는 119번, 213번 레코드로서 4개의 PVC를 나타내고 있으며, RR 간격과 합산, 차감 기법의 조건을 모두 만족하므로 결합 형태의 PVC로 검출되었다. 특히 분류한 심장질환 중 가장 큰 위험도를 가지고 있는 PVC에 대한 분류율을 기존 알고리즘과 비교해본 결과, 분류의 단순성 부분에서는 훨씬 우수하며, 나머지 분류 방법과 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 제안된 최적 R과 검출과 최소 특징점 추출을 통한 부정맥 분류 방법은 복잡도를 줄임과 동시에 우수한 분류율을 나타내었다.

<표 1> PVC 검출률

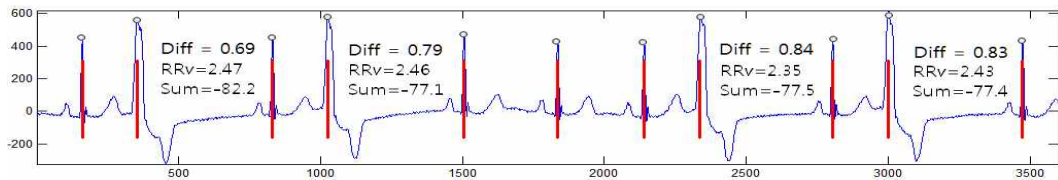
레코드	MIT-BIH	PVC 분류율(%)
	PVC 비트 개수	
105	39	91.13
106	520	96.24
114	43	95.48
116	109	98.49
119	435	100
200	809	98.56
213	220	86.24
223	472	80.42
233	813	98.90
전체 개수	1,955	평균 93.94



(a) 105, 116, 223 레코드(합산 형태)



(b) 106, 114, 200 레코드(차감 형태)



(c) 119, 213 레코드(결합 형태)

<그림 5> PVC 분류를 위한 R파 특징점 추출

IV. 결론

본 연구에서는 최적의 R파를 검출하고 이를 통해 최소한의 R피크 기반의 특징점만 추출함으로써 연산의 복잡도를 줄이고, 실시간으로 정확하게 PVC를 분류하기 위해 IoT 환경의 복잡도를 고려한 최적 R파 검출 및 특징점 추출을 통한 향상된 조기심실 수축 분류 방법을 제안하였다. 이를 위해 전처리를 통해 잡음이 제거된 심전도 신호에서 최적 문턱치에 따른 R파를 검출하고, RR간격과 R피크 형태를 검출하여 검출이 용이한 R파 특징점만으로 실시간 PVC를 분류하였다. 제안한 방법의 우수성을 입증하기 위해 MIT-BIH 데이터베이스 레코드를 대상으로 한 R파의 평균 검출율은 99.758%의 우수한 성능을 나타내었으며, PVC는 각각 93.94%의 평균 분류율

의 우수한 결과를 나타내었다. 따라서 본 연구에서 제안한 방법은 연산의 복잡도를 줄임과 동시에 실시간으로 정확한 부정맥을 진단하는 IoT 헬스케어 환경에 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] M. J. Rooijackers, Rabotti C, De Lau H, Oei SG, Bergmans JW, Mischi, "Feasibility Study of a New Method for Low-Complexity Fetal Movement Detection From Abdominal ECG Recordings," IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, Vol. 20, No. 5, Sept. 2016,

pp.1361-1368.

[2] Oster J, Behar J, Sayadi O, Nemati S, Johnson AE, Cliffore GD, "Semi-supervised ECG ventricular beat classification with novelty detection based on switching Kalman filters," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol.62, No.9, September. 2015, pp.2125-2134.

[3] 조익성, 윤정오, "헬스케어 환경에서 복잡도를 고려한 R파 검출과 이진 부호화 기반의 부정맥 분류방법," 디지털산업정보학회 논문지, 제12권, 4호, 2016년 12월, pp.33-40.

[4] S. Pal and M. Mitra, "Empirical mode decomposition based ECG enhancement and QRS detection," Computers in Biology and Medicine, Vol. 42, No. 1, Jan. 2012, pp. 83-92.

[5] Y.-L. Zheng et al., "Unobtrusive sensing and wearable devices for health informatics," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 61, No. 5, May. 2014, pp. 1538-1554.

[6] P. Li, Y. Wang et al., "High-Performance Personalized Heartbeat Classification Model for Long-Term ECG Signal," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 64, No. 1, Jan. 2017, pp. 78-86.

[7] H. Xia, I. Asif, and X. Zhao, "Cloud-ECG for real time ECG monitoring and analysis," Journal of Computer Methods and Programs in Biomedicine, Vol. 110, No. 3, Jun. 2013, pp. 253-259.

[8] C. J. Deepu, X. Zhang, C. H. Heng, Y. Lian, "A 3-Lead ECG-on-Chip with QRS Detection and Lossless Compression for Wireless Sensors," IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, Vol. 63, No. 12, Dec. 2016, pp. 1151-1155.

[9] I. S. Cho, H. S.Kwon, J.O. Yun, "Detection of QRS Feature Based on Phase Transition Tracking for

Premature Ventricular Contraction Classification," Journal of Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 20, No. 2, February. 2016, pp. 427-436.

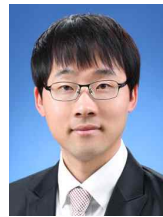
[10] I. S. Cho, H. S.Kwon, "Optimal Threshold Setting Method for R Wave Detection According to The Sampling Frequency of ECG Signals," Journal of Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 21, No. 7, July. 2017, pp. 1420-1428.

■ 저자소개 ■



조익성
(Cho Iksung)

2014.03 - 현재 : 경운대학교
항공정보통신공학과 조교수
2014.02 : 부산대학교
바이오정보전자공학과 공학박사
2003.02 : 한국해양대학교 공학박사
관심분야 : ECG Preprocessing,
부정맥분류알고리즘
E-mail : ischo@ikw.ac.kr



우동식
(Woo Dongsik)

2016년 9월~현재 경운대학교 항공정보통신공학과
조교수
2016년 경북테크노파크 무선전력전송기술센터
선임연구원
2009년~2013년 이엠패이저통신(주) 선임연구원
2013년 2월 경북대학교 전자공학과(공학박사)
2004년 2월 경북대학교 전자공학과(공학석사)
2002년 2월 경북대학교 전자공학과(공학사)
관심분야 : 무선통신 시스템, 광대역 안테나, 레이다,
무선전력전송
E-mail : dswoo@ikw.ac.kr

논문접수일 : 2017년 11월 21일
수정일 : 2017년 12월 12일
게재확정일 : 2017년 12월 20일