심음 포락선의 3차 모멘트를 이용한 심음의 주성분 검출

전성일¹ · 배건성^{2*}

Detection of Main Components of Heart Sound Using Third Moment Characteristics of PCG Envelope

Xing-Ri Quan¹ · Keun-Sung Bae^{2*}

¹Department of School of Electronics Engineering, Kyunpook National University, Daegu, 702-701, Korea

²Department of School of Electronics Engineering, Kyunpook National University, Daegu, 702-701, Korea

요 약

심음도(PCG, Phonocardiogram) 분석을 이용하여 심장의 판막과 관련된 질환을 진단하기 위해서는 먼저 심음 분할을 위해 심음의 주성분인 S1과 S2를 정확하게 찾아야 한다. 본 논문에서는 심음포락선의 모멘트 특성을 분석하고 이를 심음 분할에 적용하였다. 기존의 2차 모멘트를 이용한 심음 분할의 문제점을 분석하고, 심잡음이 있더라도 심음 주성분의 검출이 용이한 3차 모멘트에 기반한 방법을 제안하였다. 심음포락선은 심음 신호의 단기간 에너지를 이용하였으며, 3차 모멘트 궤적의 기울기 정보를 이용하여 심음 주성분을 검출하고 지속시간을 게이팅(gating) 하였다. 다양한 심잡음이 포함된 심음 신호에 대한 실험을 통해 제안한 방법이 기존의 2차 모멘트 기법보다 심잡음의 영향을 적게 받고 심음 주성분의 구간을 정확하게 검출 할 수 있음을 보였다.

ABSTRACT

To diagnose the cardiac valve abnormalities using analysis of phonocardiogram, first of all, accurate detection of S1, S2 components is needed for heart sound segmentation. In this paper, a new method that uses the third moment characteristics of an envelope of the PCG is proposed for accurate detection of S1 and S2 components of the heart sound with cardiac murmurs. The envelope of the PCG is obtained from the short-time energy profile, and its third moment profile with slope information is used for accurate time gating of the S1, S2 components. Experimental results have shown that the proposed method is superior to the conventional second moment method for detection of S1 and S2 regions from the heart sound signals with cardiac murmurs.

키워드 : 심음 분할, 심잡음, 모멘트 특성

Key word : heart sound segmentation, cardiac murmur, moment characteristics

접수일자 : 2013. 08. 05 심사완료일자 : 2013. 08. 30 게재확정일자 : 2013. 09. 12

* **Corresponding Author** Keun-Sung Bae (E-mail: ksbae@ee.knu.ac.kr, Tel: +82-53-950-5527)

Department of School of Electronics Engineering, Kyunpook National University, Daegu, 702-701, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.12.3001>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

청진기를 이용한 심음의 청취는 심장질환을 진단하는 1차적이고 기본적인 수단으로서 임상에서 많이 활용되고 있으며 심전도(ECG, Electrocardiogram)에서 발견하기 힘든 심장 판막과 관련된 질병 진단에 용이하다. 최근에 근전도(EMG, Electromyogram), 컴퓨터 단층촬영(CT, Computed Tomography), 심초음파 검사 등의 정밀한 검사방법도 사용되고 있지만 초기진단으로 사용하기에는 높은 비용이 요구된다. 반면에 의사가 심음의 청취를 통한 심장질환 진단을 수행하기 위해서는 수련 과정에서의 심음 판별 훈련과 오랜 기간의 숙련된 경험이 요구되므로 현실적으로 어려움이 많다. 따라서 컴퓨터를 이용한 심음의 분석 또는 판별 기술은 심음을 이용한 심장질환의 진단에 많은 도움을 줄 수 있다. 이러한 자동심음분석시스템의 개발을 위해서는 우선 심음의 주기에 따른 정확한 분할이 필요하며, 이를 위해서는 심음의 주성분인 제1심음 및 제2심음, 즉, S1과 S2를 정확하게 검출할 수 있어야 한다.

정상 심음은 일반적으로 심실이 수축할 때 이첨판과 삼첨판이 닫히는 소리 S1과 심실이 이완하고 심방이 수축할 때 두 반월판이 닫히는 소리 S2로 구성된다. 심장 판막이 완전히 닫히지 못함으로 인한 혈류 역류, 판막 협착증, 혈관협착증 등의 증상이 있는 경우에는 다양한 형태의 심잡음이 발생하게 되어 심음의 주성분을 정확하게 검출하는 것이 어려워지게 된다. 그림 1은 대동맥판 역류에 의해 발생하는 심잡음이 포함되어 있는 심음 신호의 예를 보인 것으로, 심음의 주성분 구간을 정확하게 찾는 것이 복잡해짐을 짐작할 수 있다.

심음의 주성분 검출 및 분할을 위한 방법으로는 부대역(subband) 에너지에 기반한 포락선 추출[1], Shannon 에너지에 기반한 포락선 추출[2], Hilbert 변환에 기반한 포락선 추출[2], 포락선의 2차 모멘트에 기반한 방법[3], 웨이브렛(wavelet)을 이용한 시간-주파수 분석 방법[4,5], simplicity에 기반한 방법[6] 등이 있다. 심음 에너지의 포락선 추출에 기반한 방법은 S1, S2의 에너지가 상대적으로 크다는 특성을 이용하므로 S2의 에너지가 상대적으로 작거나 심잡음의 에너지가 심음의 주성분보다 큰 경우에는 정확한 검출이 어려워진다. 이러한 단점을 보완하기 위해 심음 에너지 포락선의 2차 모멘트를 이용하여 각 심음 주성분이 존재하는 구간을 먼저

그림 1. 심잡음이 포함된 심음 신호의 예 (대동맥판 역류)
Fig. 1 An example of a heart sound signal having cardiac murmur (aortic regurgitation)

분리한 다음, 각 구간에서 심음 주성분을 찾는 방식이 제안되었지만[3], 다양한 형태의 심잡음에서 심음의 주성분 구간을 바르게 분리하지 못하는 경우가 빈번하게 발생하면서 심음의 주성분을 정확하게 찾기가 어렵다. 본 논문에서는 [3]에서 제안한 포락선의 2차 모멘트에 기반한 방법의 문제점을 해결하기 위해 심음포락선의 3차 모멘트의 특성을 이용하는 방법을 제안하고, 실험을 통해 심잡음이 있는 경우에도 심음 주성분의 분리 및 지속구간을 찾아내어 보다 향상된 심음 주성분의 검출이 가능함을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 2차 및 3차 모멘트 필터의 특성을 분석하고 이를 이용하여 심음 주성분을 검출하는 방법을 제안하며, 3장에서는 실험을 통하여 제안한 방법의 타당성을 검증하고, 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

II. 모멘트 필터를 이용한 심음 분석

2.1. 모멘트 필터

기하학적 모멘트는 신호의 대체적인 특성을 표현하는 척도로서 $\int_{-\infty}^{\infty} \tau^p f(\tau) d\tau$ 로 정의 되는데, 프레임 단위로 분석하기 위하여 창함수를 사용하면 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$M_p(t) = \int_{-\infty}^{\infty} (\tau-t)^p w(\tau-t) f(\tau) d\tau \quad (1)$$

여기서 $f(t)$ 는 신호이고 $w(t)$ 는 일반적으로 $(-l, l)$ 구간에서 대칭되는 구형 창함수(rectangular window function)를 사용하며 p 는 모멘트 차수를 나타낸다. $p=2$ 이면 2차 모멘트, 즉, 신호의 분산(variance)이 되고 $p=3$ 이면 3차 모멘트, 즉, 뒤틀림(skewness) 값을 나타내게 된다. $w_p(\tau) = \tau^p w(\tau)$ 로 표시하면 식 (1)은 식 (2)와 같이 신호 $f(t)$ 와 $w_p(-t)$ 와의 컨볼루션 형태로 표현된다. 여기서 $w_p(-t)$ 는 $(2l+1)$ 탭을 가지는 FIR 필터로 볼 수 있다. 즉 기하학적 모멘트는 신호와 $w_p(-t)$ 의 가중치 합으로 볼 수 있다.

$$M_p(t) = \int_{-\infty}^{\infty} w_p(\tau-t)f(\tau)d\tau \quad (2)$$

$$= f(t)*w_p(-t)$$

신호가 주기적이면 대칭성을 갖는 임의의 창함수에 대한 모멘트도 주기적이 되며, $M_p(t)$ 의 주기는 원 신호의 주기와 같게 된다. 즉, $f(t)$ 의 주기를 T 라고 하면 식 (3)과 같다.

$$M_p(t) = M_p(t+T) \quad (3)$$

그림 2에 심음의 포락선에서 주성분 구간을 단순히 하여 펄스 형태의 신호라고 가정하고, 주기 T 인 신호와 2차 및 3차 모멘트 가중치 및 모멘트 함수의 곡선을 나타내었다. 그림 2(a)에서 보면 2차 모멘트의 최대/최소 값은 신호가 없는 묵음구간에서 발생하는 것을 볼 수 있으며, 이 특성을 이용하여 신호가 존재하는 구간을 분리할 수 있다. 그림 2(b)에서의 3차 모멘트는 펄스 형태의 신호가 있는 구간에서는 단조 증가하면서 신호의 크기가 클수록 기울기가 크며, 신호가 없는 구간에서는 단조 감소하는 특성을 보임을 볼 수 있다. 이때 3차 모멘트의 국부 극대/극소 값을 갖는 구간이 대체적으로 펄스 형태 신호의 폭에 해당함을 알 수 있다. 이러한 특성은 3차 모멘트의 기울기 함수를 분석하면 설명이 가능하다. 3차 모멘트의 기울기는 $(-l, l)$ 구간에서 식 (4)와 같이 주어진다. [부록 참조]

$$\frac{dM_3(t)}{dt} = f(t)*[-3t^2w(t)+2l^3\delta(t)] \quad (4)$$

(a)

(b)

그림 2. 펄스형태 주기신호의 모멘트 궤적 (a) 2차 모멘트 ($l = T/2$) (b) 3차 모멘트($l = T$)

Fig. 2 Moment contour of a pulse shape periodic signal (a) second moment ($l = T/2$) (b) third moment ($l = T$)

신호 $f(t)$ 가 존재하는 펄스 구간에서는 식 (4) 우변 중괄호 안의 둘째 항이 큰 값을 가지므로 기울기가 양의 값을 가지게 되고, 묵음구간에서는 우변 중괄호 안의 첫째 항의 영향으로 기울기가 음의 값을 가지게 된다. 따라서 주기적인 특성을 갖는 심음포락선의 3차 모멘트에서 이러한 특성을 이용하면 심음의 주성분과 그 지속시간을 찾는 게 가능해진다.

2.2. 심음 포락선 추출

모멘트 필터를 이용하여 심음 주성분을 찾기 위해서는 먼저 심음포락선을 추출하여야 하는데, 본 논문에서는 [3]에서와 마찬가지로 식 (5)로 주어지는 짧은 영역 $(-\Delta, \Delta)$ 구간에서 bias를 제거한 신호의 단구간 에너지를 이용하였다.

$$f(t) = \int_{t-\Delta}^{t+\Delta} [s(\tau) - \bar{s}(\tau)]^2 d\tau. \quad (5)$$

여기서 $s(\tau)$ 는 심음 신호이고, $\bar{s}(\tau)$ 는 식 (6)과 같이 정의되는 $(-\Delta, \Delta)$ 구간에서의 평균값이다.

$$\bar{s}(\tau) = \frac{1}{2\Delta} \int_{t-\Delta}^{t+\Delta} s(\tau) d\tau \quad (6)$$

식 (5)에서 Δ 값이 크면 포락선 형태가 평활화되어 포락선의 변화가 완만해지지만, Δ 값이 너무 작으면 포락선 값의 변화가 심하게 된다. 심음 주성분의 지속시간이 대략 0.06초 정도 되므로 본 논문에서는 Δ 값을 0.03초로 사용하였다. 정상 심음 및 심잡음을 포함하고 있는 비정상 심음에 대해 심음 신호, 추출된 심음 신호의 포락선, 모멘트 궤적을 그림 3에 나타내었다. 그림에서 굵은 선으로 표시한 부분이 심음의 포락선이며, 점선으로 표시한 부분은 모멘트 궤적이다.

2.3. 심음 포락선의 모멘트를 이용한 심음 분할

모멘트 궤적을 이용하여 심음 주성분이 있는 구간을 찾기 위해서는 창함수 길이를 $l = T/2$ 또는 T 로 하여야 하는데 신호의 주기 T 는 포락선의 자기상관함수를 이용하여 쉽게 구할 수 있다. 그림 3(a)는 $l = T/2$ 일 때 정상 심음 포락선의 2차 모멘트 궤적을, 그림 3(b)는 $l = T$ 일 때 정상 심음 포락선의 3차 모멘트 궤적을 보인 것이다. 그림 3(c) 및 3(d)는 비정상 심음에 대한 포락선의 2차 모멘트와 3차 모멘트를 보인 것이다. 그림 3(a)에서와 같이 정상 심음의 경우에는 [3]에서 제안한 2차 모멘트의 최대/최소 값을 이용하여 심음의 주성분이 포함된 구간을 먼저 나눈 다음 각 구간에서 심음 주성분을 찾는 것이 용이하지만, 그림 3(c)에서처럼 심잡음이 있는 경우에는 최대/최소 값을 이용하여 심음의 주성분이 포함된 구간을 나누는 과정에서 오류가 발생할 수 있음을 볼 수 있다. 하지만 3차 모멘트를 이용하면 그림 3(b) 및 3(d)에서 볼 수 있듯이 심잡음이 있더라도 기울기 정보를 이용하여 심음 주성분 구간을 정확하게 찾아내는 것이 가능함을 볼 수 있다.

2.4. 심음포락선의 3차 모멘트 궤적을 이용한 심음 주성분 검출

3차 모멘트를 이용한 심음 주성분의 검출 과정을 요약하면 다음과 같다.

- (1) $\Delta = 0.03s$ 인 값으로 식 (5), (6)에서 단구간 에너지의 포락선을 구하고, 자기상관함수를 이용하여 포락선의 주기 T 를 계산한다.
- (2) 윈도우 길이를 $l = T$ 로 설정하고 식 (2)를 이용하여 심음 포락선의 3차 모멘트를 구한다.
- (3) 3차 모멘트 궤적을 미분하여 기울기 정보를 이용하여 심음 주성분 구간을 검출한다.

그림 3. 심음의 2차 및 3차 모멘트 궤적 (a) 정상 심음의 2차 모멘트 (b) 정상 심음의 3차 모멘트 (c) 비정상 심음 2차 모멘트 (d) 비정상 심음 3차 모멘트

Fig. 3 2nd and 3rd moment contours of heart sounds (a) 2nd moment contour of a normal heart sound (b) 3rd moment contour of a normal heart sound (c) 2nd moment contour of a pathological heart sound (d) 3rd moment contour of a pathological heart sound

3차 모멘트 궤적의 기울기 정보를 이용한 심음 주성분의 게이팅(gating) 과정은 다음과 같다.

① 3차 모멘트 궤적을 1차 미분 필터를 통과시킨다. 필터로는 미분된 신호의 평활화를 고려하여 식 (7)과 같은 가우시안 1차 미분필터를 사용하였으며, $\sigma = 100$ 으로 하였다.

$$G_{\sigma}'(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \left(-\frac{t}{\sigma^2} \right) \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2} \right) \quad (7)$$

② 평활화 된 1차 미분 곡선에 최저 값의 0.3배와 0을 두 문턱값으로 하여 Schmidt 트리거 방식으로 1차적 게이팅을 수행한다. 그림 4 (a)에 3차모멘트의 1차 미분 및 1차적 게이팅 결과를 나타내었다. 굵은 선은 3차 모멘트 곡선이고 점선은 1차 미분 결과이며 펄스 신호는 게이팅 한 결과를 표시한 것이다.

그림 4. 3차 모멘트 궤적의 게이팅 과정 (a) 1차 미분 가우시안 필터링과 1차 게이팅 (b) 2차 미분 가우시안 필터링과 2차 게이팅

Fig. 4 Gating process of 3rd moment contour (a) 1st Gaussian derivative filtering and 1st gating (b) 2nd Gaussian derivative filtering and 2nd gating.

③ 3차 모멘트 곡선을 2차 미분하여 모멘트 곡선의 convex 구간과 concave 구간을 찾는다. 2차 미분 필터는 식 (8)과 같은 가우시안 2차 미분필터를 사용하였으

며 평활화하기 위하여 $\sigma = 100$ 을 사용하였다.

$$G_{\sigma}''(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \left[\left(-\frac{t}{\sigma^2} \right)^2 - \frac{1}{\sigma^2} \right] \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2} \right) \quad (8)$$

④ 1차적 게이팅의 각 구간에서 2차 미분곡선의 최대/최저 값을 찾아서 2차 게이팅 하여 심음 주성분 구간을 검출한다. 그림 4(b)에 3차 모멘트곡선의 2차 미분, 2차 게이팅 결과를 보였다. 굵은 선은 3차 모멘트 곡선이고 점선은 2차 미분의 결과이며 펄스는 추출된 심음 주성분에 해당된다.

⑤ 심음 주성분이 검출 된 다음, 심장의 수축기가 확장기보다 짧다는 심음 특성에 의하여 최종적으로 S1과 S2를 확정한다.

III. 실험 및 검토

제안한 방법의 심음 주성분 검출 성능을 평가하기 위하여 인터넷[7]에 공개된 44.1kHz 샘플링주파수의 심음 파일 22개를 수집하여 8kHz 샘플링주파수로 변환하여 사용하였다.

그림 5에 다양한 형태의 심잡음을 내포한 심음신호의 2차 모멘트 및 3차 모멘트 필터를 거친 곡선 및 게이팅 결과의 예를 나타내었다. 그림 5(a)에서 2차 모멘트 필터링 곡선을 보면 최대/최저 값으로 나뉘어진 각 구간에서 S1 성분은 피크 값으로 쉽게 찾을 수 있지만 S2를 찾을 때에는 피크가 심잡음 포락선 부분에 나타나는 경우가 종종 발생하며, 이때 S2를 찾지 못하게 된다. 하지만 3차 모멘트 필터링의 경우에는 모멘트 곡선의 기울기 정보를 이용하여 S1, S2 구간을 정확하게 찾을 수 있다. 그림 5(b)의 2차 모멘트 곡선에서 피크 값은 모두 S1, S2에 나타나지만 S1, S2의 지속구간은 찾을 수 없으나, 3차 모멘트 필터링을 사용하면 지속구간도 정확하게 찾아짐을 볼 수 있다. 그림 5(c)에서도 2차 모멘트 곡선은 변동이 심하며 심음 주성분을 찾기가 힘들지만 3차 모멘트 곡선은 심음 주성분 및 지속구간을 찾는 게 용이함을 알 수 있다.

표 1은 실험에 사용한 22개의 심잡음을 포함하고 있는 심음 신호를 이용하여, 기존의 2차 모멘트 방법으로 심음 주성분을 추출한 경우와 제안한 3차 모멘트 방법

으로 심음 주성분인 S1 및 S2 구간을 추출한 경우의 검출율을 보인 것이다. 저주파 프리필터를 이용하여 심잡음의 일부를 제거하고 제안한 방법을 적용할 경우 S1 및 S2의 정확한 게이팅과 함께 검출율이 급격히 향상됨을 볼 수 있었다.

그림 5. 2차 모멘트 필터링과 3차 모멘트 필터링 예 (a) AS (b) MP (c) MS

Fig. 5 examples of heart sound signal 2nd and 3rd moment filtering (a) AS (b) MP (c) MS

표 1. 심음 주성분인 S1, S2 검출율

Table. 1 Detection rate of S1, S2 components

검출 방법	검출율
2차 모멘트	55%
3차 모멘트	64%
프리필터+3차모멘트	91%

IV. 결 론

본 논문에서는 모멘트 함수의 특성을 FIR 필터의 관점에서 분석하고 3차 모멘트 필터를 이용하여 다양한 심잡음이 포함된 심음 신호에서 주성분을 정확하게 찾을 수 있는 방법을 제안하였다. 다양한 심잡음이 포함된 심음 신호의 분석을 통해서 기존의 2차 모멘트를 이용하는 기법이 심잡음의 영향을 많이 받는 데 비해 3차 모멘트의 기울기 정보를 이용하는 제안한 방법에서는 심음 주성분인 S1 및 S2의 구간을 정확하게 검출할 수 있음을 보였다. 특히 저주파 프리필터를 이용하여 계략

적으로 심잡음의 일부를 제거하고 3차 모멘트를 적용할 경우 보다 안정적으로 심음의 주성분인 S1, S2의 정확한 구간을 검출할 수 있었다.

부 록

윈도우는 $(-l, l)$ 에서의 대칭되는 구형 윈도우라고 하면,

$$\begin{aligned} w(t) &= w(-t), \\ w(t) &= U(t+l) - U(t-l), \\ \frac{d}{dt}w(t) &= \delta(t+l) - \delta(t-l). \\ w_p(t) &= t^p w(t) \text{ 이므로,} \\ w_p(-t) &= (-t)^p w(-t) = (-t)^p w(t), \\ \frac{d}{dt}w_p(-t) &= -p(-t)^{p-1}w(t) + (-t)^p \frac{d}{dt}w(t) \\ &= -p(-t)^{p-1}w(-t) + (-t)^p [\delta(t+l) - \delta(t-l)] \\ &= -pw_{p-1}(t) + (-t)^p [\delta(t+l) - \delta(t-l)]. \end{aligned}$$

p 차 모멘트 기울기 함수는

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}M_p(t) &= \frac{d}{dt}[f(t)*w_p(-t)] = f(t)*\frac{d}{dt}w_p(-t) \\ &= -p[f(t)*w_{p-1}(t)] \\ &\quad + f(t)*\{(-t)^p[\delta(t+l) - \delta(t-l)]\} \\ &= -pM_{p-1}(t) \\ &\quad + \int_{-\infty}^{\infty} (-\tau)^p [\delta(\tau+l) - \delta(\tau-l)] f(t-\tau) d\tau \\ &= -pM_{p-1}(t) + l^p[f(t+l) - (-1)^p f(t-l)]. \end{aligned}$$

위 식에서 윈도우 길이 l 를 신호의 주기 T 로 취하면, 즉 $l = T$ 라고 하면, 주기함수에 대하여 $f(t \pm l) = f(t)$ 이므로

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}M_p(t) &= -pM_{p-1}(t) + [1 - (-1)^p]l^p f(t), \\ p=3 \text{ 이면, 3차 모멘트의 기울기는} \\ \frac{d}{dt}M_3(t) &= -3M_2(t) + 2l^3 f(t). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= -3f(t)*[(-t)^2 w(-t)] + 2l^3 f(t)*\delta(t) \\ &= f(t)*[-3t^2 w(t) + 2l^3 \delta(t)] \end{aligned}$$

주기신호에 대한 3차 모멘트의 기울기 $\frac{d}{dt}M_3(t)$ 는 신호 $f(t)$ 와 $(-l, l)$ 구간에서 정의 되는 함수 $-3t^2 w(t) + 2l^3 \delta(t)$ 의 가중치 합으로 볼 수 있다.

REFERENCES

- [1] E. H. Choi, H. S. Hwang, and C. S. Kim, "Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interfaces," *International Journal of Information and Communication Engineering*, vol. 9, no. 4, pp. 358-362, Aug. 2011.
- [2] A. Haghighi-Mood and J. N. Torry, "A sub-band energy tracking algorithm for heart sound segmentation," *Computers in Cardiology*, pp. 501 - 504, 1995.
- [3] S. Choi and Z. Jiang, "Comparison of envelope extraction algorithms for cardiac sound signal segmentation," *Expert Systems with Applications*, vol. 34, pp. 1056-1069, 2008.
- [4] Z. Yan, et al., "The moment segmentation analysis of heart sound pattern," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 98, pp. 140-150, 2010.
- [5] S.M. Debbal, F. Bereksi-Reguig, "Time-frequency analysis of the first and second heartbeat sounds," *Applied Mathematics and Communication*, pp. 1041-1052, 2007.
- [6] Burhan Ergen, Yetkin Tatar, Halil Ozcan Gulcur, "Time-frequency analysis of phonocardiogram signals using wavelet transform: a comparative study," *Computer Method in Biomechanics and biomedical Engineering*, Vol. 15, No. 4, pp. 371-381, 2012.
- [7] V. Nigam and R. Priemer, "Assessing heart dynamics to estimate durations of heart sounds," *Physiological Measurement*, vol. 26, 2005.
- [8] Cardiac Auscultation of Heart Murmurs. Available: <http://www.egeneralmedical.com/listohearmur.html>

전성일(Xing-Ri Quan)

2010년 8월: 경북대학교 IT 대학 공학석사

2010년 9월 ~ 현재: 경북대학교 IT 대학 박사과정

※관심분야: 음성신호처리, 생체신호처리, 마이크론 어레이 신호처리

배건성(Keun-Sung Bae)

1977년 2월: 서울대학교 전자공학과

1979년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

1989년 5월: University of Florida (공학박사)

1979년 3월 ~ 현재: 경북대학교 IT대학 전자공학부 교수

※관심분야: 음성신호처리, 디지털신호처리, 수중음향신호처리