

경험적 모드 재구성 방법을 이용한 성문파형 신호의 기저선 변동 제거

*장승진, *김효민, **박영철, ***최홍식, *윤영로
 *연세대학교, 보건과학대학 의공학과
 **연세대학교 과학기술대학 컴퓨터정보통신공학부
 ***연세대학교 의학대학 이비인후과

Cancelation of Baseline Wandering of Electroglottograph Signal using Empirical Mode Decomposition

*Seung-Jin Jang, *Hyo-Min Kim, **Young-Cheol Park, ***Hong-Shik Choi, *Young-Ro Yoon

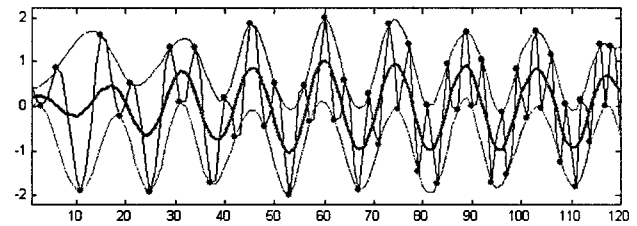
*Dept. of Biomedical Engineering, College of Health & Science, Yonsei University

**Dept. of Computer & Telecommunication Engineering, College of Sciences & Technology, Yonsei University

***Dept. of Otolaryngology, College of Medicine, Yonsei University

Abstract - Electroglottography (EGG) is a technique used to register laryngeal behavior indirectly by a measuring the change in electrical impedance across the throat during speaking. However, EGG waveform is affected by laryngeal muscles which fluctuate the vocal cords, and which result in baseline wander. It is required to reduce baseline wander in EGG waveform, because EGG waveform is used for input signal of nonlinear speech synthesizer in next chapter. In vocal cords, the abduction-adduction of glottis is mainly controlled by the posterior cricoarytenoid (abductor) and interarytenoid (adductor) muscles respectively. Empirical Mode Decomposition method was adopted in cancellation of EGG waveform baseline wandering, and showed better performance than that of high pass filter with 500 order.

를 구하는 과정이다. IMF는 각 주기에서 영 교차하고, 국부적으로 다른 복잡한 파형을 포함하지 않는 주파수 성분을 가지는 파형을 의미한다.



<그림 1> Cubic Spline에 의한 상/하단 포락선과 그에 따른 평균 포락선 생성

1. 서 론

Electroglottography (EGG) 검사의 기본원리는 전기적으로 사람의 조직이 조직 밀도의 변화에 의해 조직을 관통하는 전류가 변화하면서 전도된다는 것이다. 즉, 조직 구조 속에 공간이 열리거나 할 때 전류의 저항은 증가하게 된다. 그래서, 후두속의 성대가 열렸을 때는 목의 표면에 부착되어 있는 두 개의 표면 전극 사이의 전류 전도도가 감소되며, 반대로 닫혔을 때는 전도도가 증가하게 된다.

EGG 파형은 발생학적 또는 음성생리적인 연구 분야에서 중요한 파라미터로 사용된다. 이때 EGG 파형처럼 성문의 개폐의 정도에 따른 closed phase, closing phase, opening phase, open phase와 같은 정보를 제공하게 된다[1,2]. 하지만 목빛 거근이나 다른 후두를 둘러싼 목 근육의 움직임이 발생하게 되면 원하지 않는 EGG 파형에 그림 4와 같이 기저선 변동이 이루어지게 되며, 이는 Differentiated EGG (DEGG) 분석에는 별 영향을 주지 않지만 EGG 신호를 그대로 분석하여 사용할 경우에는 큰 노이즈로 작용하게 된다. 이를 해결하기 위한 기존의 방법으로는 주로 고정된 차단 주파수를 갖는 FIR 필터와 IIR 필터[3] 또는 주파수에 영향을 받지 않는 cubic spline 필터[4], 그리고 시변 시스템에서 신호조건에 변화에 따라 적응적으로 잡음을 제거할 수 있는 적응형 필터[5]가 일반적이다. 하지만, FIR 또는 IIR 필터는 차단 주파수 대역을 넘는 기저선 변동은 제거할 수 없으며, 차단 주파수를 크게할 경우 신호의 왜곡이 발생하게 되는 단점이 있다. cubic spline 필터의 경우 기저선 변동이 심하거나 샘플링 간격이 클 경우 오차가 크게 발생하며, 적응형 필터의 경우 신호처리시 발생하는 신호왜곡 때문에 저주파 신호와 같은 기저선 변동의 경우 문제점[6]이 발생한다고 보고되었다.

이를 해결하기 위하여 본 연구에서는 경험적 모드 재구성이라는 차단 주파수 대역을 설정하지도 않고 신호왜곡 또한 발생하지 않는 새로운 방식의 기저선 변동 제거 알고리즘을 사용하여, 주파수 차단 대역이 넓고 원 신호와 중복되어 기존의 방식으로는 신호의 왜곡이 잦은 기저선 변동이 있는 EGG 신호에 적용하여 우수성을 입증하는 것을 목적으로 한다.

2. 본 론

2.1 Empirical Mode Decomposition (EMD) 원리 소개

EMD는 시간 도메인 상에서 신호를 분해하여 신호를 분석해 내는 방법이며, 기존의 FFT 또는 Wavelet이 잘 분석해내지 못하는 비선형(non-linear), 비정상적(non-stationary) 방법에도 신호의 분석이 가능하다. NASA Goddard Space Flight Center의 Dr. Norden E. Huang[7]에 의해서 고안된 EMD는 다중 주파수 성분으로 구성된 신호를 단일 주파수 성분으로 구성된 IMF들로 분리함으로써 각각의 주파수 성분들을 분석해낸다. 이러한 방식은 기존의 FFT 또는 Wavelet과 달리 원리 자체가 수학적 공식을 기반으로 하는 것이 아니라 몇 가지 가정을 바탕으로 하기 때문에 이름에서 의미하듯이 경험적 모드 재구성(EMD)으로 불리운다. EMD 기술은 신호를 각각의 단일 주파수 성분을 갖는 알 수 없는 숫자의 Intrinsic Mode Functions (IMFs)으로 분해하는 과정이다. 즉, 이 과정에 있어 종료조건까지 반복적으로 수행하는 작업은 IMF 함수

2.1.1 Approximation of Curve Fitting

먼저, 신호의 모든 local maxima와 minima를 검출한 후에, 각각의 local maxima와 minima를 연결하는 상/하단 포락선들을 curve fitting에 의해 생성한다. 계산량에 있어 점진적으로 부하를 많이 발생시키는 많은 복잡한 curve fitting 방법들에 대해서 실험을 해 본 결과 계산량의 증가에 비해 개선되는 정도가 제한적인 정도로만 향상되는 것을 알 수 있었다. 그러므로 일반적으로 좋은 성능을 보이는 Cubic Spline 방법을 가지고 curve fitting을 사용하여 본 연구를 진행하였다. 우선 그림 1과 같이 상단 포락선과 하단 포락선의 평균값 $m_{11}(t)$ 는 $x_{maxima}(t)$ 와 $x_{minima}(t)$ 가 각각 신호의 상단 포락선과 하단 포락선의 평균으로, 즉 식 (1)과 같이 계산한다.

$$m_{11}(t) = (x_{maxima}(t) + x_{minima}(t)) / 2 \quad \text{식(1)}$$

이후 원 신호 $x(t)$ 와 $m_{11}(t)$ 신호의 포락선에 대한 차를 가지고 새로운 IMF, $h_{11}(t)$ 를 구해내게 되며 식(2)와 같이 구할 수 있다.

$$h_{11}(t) = x(t) - m_{11}(t) \quad \text{식(2)}$$

2.1.2 Intrinsic Mode Functions (IMF) Iterative Conditions

IMF 함수를 반복적으로 검출해나가는 과정에 있어 필요한 2가지 조건이 필요하며 다음과 같다 (그림 2 참조).

- 1) 데이터의 극값(extrema)의 수와 영 교차의 수는 같거나 최대 1만큼 차이가 나야 한다.
- 2) 모든 포인트에서 상/하단 값에 의해 정의된 포락선(envelope)의 평균값은 0이 되어야 한다.

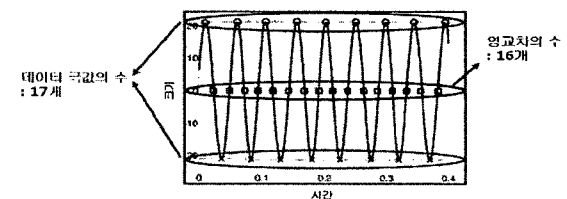


그림 2. IMF가 되기 위한 조건들

2.1.3 IMFs 산출 과정 및 EMD 전체 알고리즘

IMFs 산출을 위해서 포락선에 대한 모든 포인트 수만큼 반복 과정을 수행한다. 신호와 상/하단 포락선 값의 평균의 차이를 $h_{ij}(t)$ 라고 가정할

때, 다음의 식 $h_{1j}(t) = h_{1(j-1)}(t) - m_{1j}(t)$ 으로 구할 수 있다. 이 때, $m_{1j}(t)$ 은 i 번째 과정에서 평균 포락선 값을 나타내며, $h_{1(j-1)}(t)$ 은 신호와 $(j-1)$ 번째 과정의 평균 포락선 값의 차이가 된다. 함수 $h_{1j}(t)$ 은 첫 번째 IMF 구성요소로서 정의 될 수 있고, 아래와 같이 정의 할 수 있다.

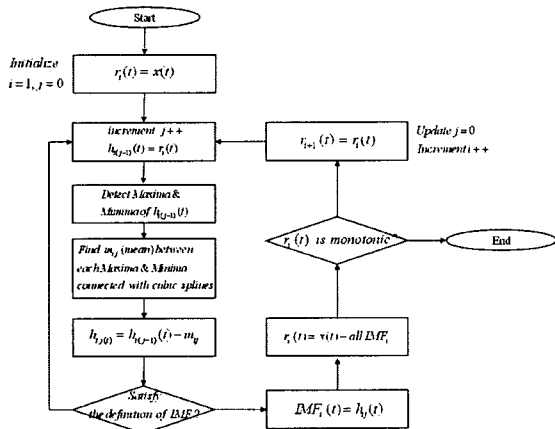
$$IMF_1(t) = h_{1j}(t) \quad \text{식 (3)}$$

원 신호에서부터 $IMF_1(t)$ 을 산출 해 낸 후의 나머지 신호는 다음의 신호를 $r_1(t) = x(t) - IMF_1(t)$ 포함 하고 있다. 이어서 나머지 신호 $r_1(t)$ 는 새로운 신호로 취급 될 수 있고, 그림 3에 나타난 EMD 전체 프로세서의 반복 과정을 통해서 원 신호 $x(t)$ 에 대한 나머지 고유 IMF의 산출은 아래와 같이 일반화된 식으로 구할 수 있게 된다.

$$r_1(t) - IMF_2(t) = r_2(t) \quad \text{식 (4)}$$

$$\dots$$

$$r_{n-1}(t) - IMF_n(t) = r_n(t)$$

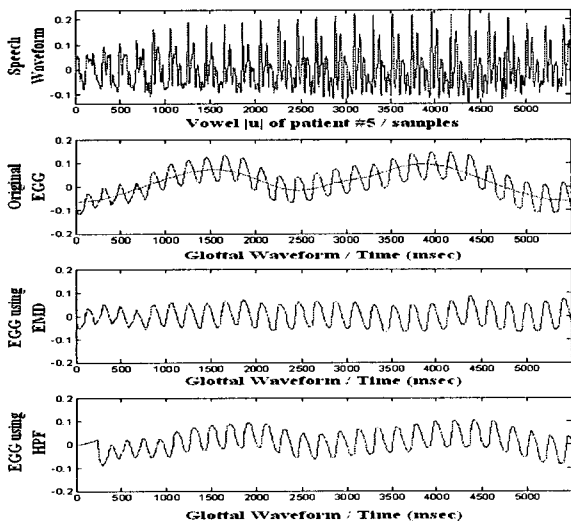


〈그림 3〉 EMD 전체 프로세서 다이어그램

원 신호의 분석 과정은 $r_n(t)$ 가 더 이상 IMF를 산출 해 낼 수 없는 단순 함수로 되었을 때 종료하게 된다. 식 (3)를 식 (4)로 대체하면, 원 신호 $x(t)$ 는 신호를 이루는 많은 구성성분의 IMF로 분해 될 수 있다. 결과적으로 원 신호 $x(t)$ 는 $IMF_i(t)$ 가 i 번째 IMF이고 $r_n(t)$ 가 신호 분석의 나머지가 될 때 아래와 같이 $x(t) = \sum_{i=1}^n c_i(t) + r_n(t)$ 으로 표현 할 수 있다.

$$r_i = \frac{1}{N} [N - 2i + (N - i)w_i + \sum_{k=1}^i w_k], \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad \text{식 (5)}$$

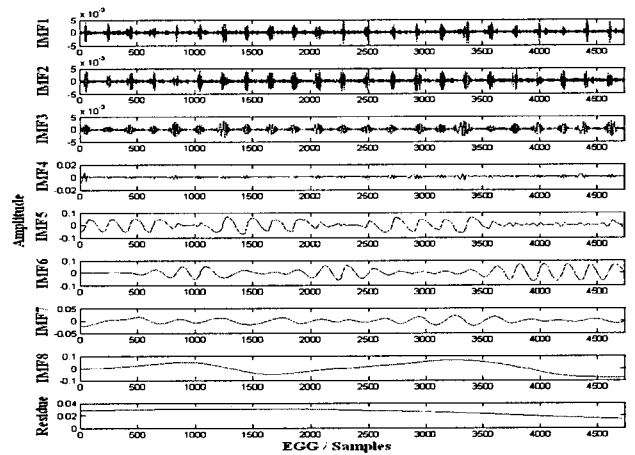
은 경험적 모드 재구성성의 완전한 표현을 제공한다. 이 방법은 원 신호와 재구성된 신호사이의 amplitude error 검사를 통해 평가 될 수 있다. 그림 5를 통하여, IMF와 여러 단계의 나머지 신호를 확인 할 수 있다.



〈그림 4〉 EMD를 이용한 기저선 변동 제거 방법(세번째)과 500차 FIR을 이용한 HPF(통과 대역은 40Hz이상) 방법(마지막)의 결과 비교: 22,050Hz 샘플링을 갖는 sustained / voiced sound에서의 목빛거근 움직임에 의해 기저선 변동이 발생한 음성신호(첫 번째)와 ECG신호(두번째)

2.2 EGG 신호의 기저선 변동 제거

결론적으로, EMD 방법을 통하여, 그림 4와 같이 기저선 변동 예측 포락선을 상단 두 번째 빨간색 포락선과 같이 구할 수 있었으며, 이 기저선 변동 예측 포락선은 그림 5의 마지막 IMF 함수, 즉 IMF_8 와 잔차 신호를 더하여 얻어낼 수 있다. 원신호에서 이 기저선 변동 예측 포락선 신호를 빼주게 되면 그림 4의 세 번째와 같은 기저선 변동이 제거된 신호를 구할 수 있게 된다. 성능 비교를 위하여 시간이 많이 소모되는 500차의 차단주파수 (50Hz; 인간의 성대가 대략적으로 50Hz이상으로 떨린다는 것으로 간주)를 갖는 고대역 통과 필터를 가지고 그림 4의 네 번째 결과를 얻을 수 있었다. FIR반식의 HPF 필터의 경우, EMD 방식과는 달리 완벽하게 기저선 변동이 이루어지지 않았으며, 신호의 처음과 끝부분은 많은 차수의 계산을 위한 구간으로 신호의 왜곡이 발생하였음을 알 수 있었다.



〈그림 5〉 그림 2.에서 얻어진 EGG 파형을 EMD에 의해 재구성된 IMF 함수들과 그에 따른 잔차 파형 분해한 결과

3. 결 론

본 연구에서는 고정된 주파수 차단이나 신호 왜곡 및 기저선 변동의 오차가 큰 기존의 방식의 단점을 갖지 않은 새로운 방식의 경험적 모드 재구성 방법을 사용하여 EGG 파형을 대상으로 기저선 변동 제거를 구현하였다. 결과적으로 많은 계산량을 요구하는 500차의 FIR반식의 HPF 필터와 비교했을 때에도 육안으로 보았을 때 더 우수하게 기저선 변동을 제거하는 것을 알 수 있었다. 단지 이 알고리즘은 계산량이 많기 때문에 실시간이 힘들다는 점만 있을 뿐 이점을 보완하기만 한다면 실용성과 성능면에서 다른 기존의 방식보다 월등히 우수하리라 생각된다.

Acknowledgment

This study was supported by a grant of the Korea Health 21 R&D Project, Ministry of Health & Welfare, Republic of Korea (A020602).

[참 고 문 헌]

- [1] Childers D.G., Smith A.M., and Moore G.P. "Relationships between Electroglottograph Speech and Vocal Cord Contact", *Folia phoniatr.* 36, 105-118, 1984.
- [2] Childers D.G. Hicks D.M. Moore G.P. and Alaska Y.A., "A model for vocal fold vibratory motion, contact area, and the electroglottogram", *J. Acoustics. Soc. Am.* 80(5), 1309-1320, 1986.
- [3] Willis J. Tomkins, "Biomedical Digital Signal Processing", Prentice Hall, 1993.
- [4] McManus C.D., Teppner U., and Neubert D., "Estimation and Removal of Baseline drift in the Electrocardiogram", *Computer and Biomedical Research*, 18, 1-9, 1985.
- [5] Jane R., Laguna P., Thakor N.V. and Caminal P., "Adaptive Baseline Wander Removal in the ECG: Comparative analysis with cubic spline technique", *Computers in cardiology*, 143-146, 1992.
- [6] Thakor N.V., Zhu Y., "Application of adaptive filtering to ECG analysis: noise cancellation and arrhythmia detection", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 38(8), 785-794, 1991.
- [7] N.E. Huang, Z. Shen, S.R. Long, M.L. Wu, H.H. Shih, Q. Zheng, N.C. Yen, C.C. Tung and H.H. Liu, "The empirical mode decomposition and Hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series analysis", *Proc. Roy. Soc. London A*, Vol. 454, pp. 903 - 95, 1998.