

## 심박변동신호의 시변파워스펙트럼 추정을 위한 Time-Frequency 알고리즘에 관한연구

°박찬석, 이정환, 이준영, †김준수, 이명호.

연세대학교 공과대학 전기공학과

†삼성의료원 심혈관센터 순환기내과

### "A study on the Time-Frequency Algorithm to estimate time-varying Power Spectrum of Heart Rate Variability Signals"

° C.S. Park, J. W. Lee, J. Y. Lee, †J. S. Kim, M. H. Lee

Department of Electrical Engineering, College of Engineering, Yonsei University

†Division of Cardiology, Cardiovascular Institute, Samsung Medical Center, Seoul, Korea

#### Abstracts

The discrete Wigner-distribution(DWD) was implemented for the time-frequency analysis of heart rate variability signals. The smoothed cross-DWD was used to estimate time-varying power spectrum. Spurious cross-terms were suppressed using a smoothing data window and a Gauss frequency window. The DWD is very easy to implement using the FFT algorithm. Experiment show that the DWD follows well the instantaneous changes of spectral content of heart rate variability signals, which characterize the dynamics of autonomic nervous system response.

#### 서 론

안정시의 심장의 활동(심박)은 규칙적인 리듬을 유지하지만 생리적 동성부정맥이라고 하는 말이 존재하는 바와 같이, 동조율로 심박의 유동이 존재한다. 생리적 부정맥의 대표는 호흡성 동성부정맥이지만, 심박 변동에는 수면 각성에 반심박수의 변화부터 1 박마다의 동요에 이르기 까지 여러가지 메카니즘에 기인하는 변동이 혼재하고 있으나 주로 심주기의 동요는, 동결절의 발화주기를 조절하는 자율신경 활동에 의해 매개된다[1]. 따라서 심주기의 동요는, 그것을 지배하고 있는 자율신경 활동 변화에 기인 하는 것에 있으며, 자율신경에 의한 심주기의 다이내믹한 조절 활동을 반영하는 거울이기도 하다. 이러한 자율신경계의 활동은 FFT 변환을 사용하는 AR 모델에 근거한 스펙트럼추정방법이 주로 이용되어 왔다. 그러나 이러한 방법은 낮은 주파수 분해능, 데이터 윈도우의 광역적인 특성 때문에 많은 사용에 많은 제약을 받는다. 또한 장시간의 윈도우(5-10 분 정도)에 의한 분석에도 시간에 따라 변하는 스펙트럼의 변화를 확인하기는 힘들며, 심박변동신호의 순시적인 주파수의 변화는 주된 주파수성분에 묻혀버리거나 광대역의 잡음으로 해석되어지게 된다. 따라서 일반적으로 해석되어지는 심박변동신호의 구간을 안정된 상태(Stationary)라고 가정을 하게 되고, 이의 스펙트럼분석은 선정된 구간에 의존하게 되며 해석에 많은 제한을 받게된다.

비안정(nonstationary) 시계열 데이터를 위한 이

의 해결방법이 '스펙트로그램'이라 불리는 시주파수 분석법(Time-Frequency Analysis : TFA)이다. 이 분석법은 Wigner distribution(WD)에 근거를 두고 있으며, 심전도 신호[2], 혈류량 신호[3], 초음파 도플러 신호[4], 청각신경신호[5] 등에서 많은 응용이 되어왔다.

따라서, 본 논문에서는 자율신경계의 활동을 나타내는 심박변동신호(RR 변동)에 WD 분석방법을 적용하여 시간에 따라 변화하는 시변파워스펙트럼을 추정해 보고자 한다.

#### Time-Frequency 분석

Wigner distribution(WD)의 개념은 1932년 Wigner에 의하여 소개되었으며, 1948년 Ville에 의하여 신호해석에 적용되었다[6]. 일반적으로, 복소함수  $f$ 에 대한 연속WD는 다음과 같이 정의된다 [6].

$$W(t, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f\left(\frac{t+\tau}{2}\right) f^*\left(\frac{t-\tau}{2}\right) e^{-i\omega\tau} d\tau \quad (1)$$

여기서, \*는 켈레복소수를 나타낸다. 이 WD 함수는 함수  $f$ 가 실수함수인 경우에는 "Wigner 분포함수", 함수  $f$ 가 복소수인 경우 "Wigner-Ville 분포함수"라고 한다. WD 함수는 시간과 주파수에 대한 2차원의 함수로, 시간영역에 대한 일차원의 함수를 시간과 주파수에 대한 2차원의 함수로 맵핑을 한다. WD에 대한 많은 특성들[6]은 여기서는 생략하기로 한다.

이산신호  $Z(n)$ 에 대한 윈도우된 이산 WD(DWD)은 다음과 같이 정의된다[6].

$$W(n, m) = \frac{1}{2} N \sum_{k=-N+1}^{N+1} |h(k)|^2 z(n+k) \times z^*(n-k) e^{-2imk/N} \quad (2)$$

여기서,  $2N-1$ 은 데이터의 길이,  $h(k)$ 는 주파수에 대한 윈도우함수이다. 식(2)의 DWD는 주파수간섭에 의한 상관항(cross-term)들로 인하여 제한적인 스펙트럼을 추정하게 된다[6]. 이러한 상관항들의 영향을 최소화 시키기 위하여 평활화된(smoothed) DWD[7]를 사용하며 다음과 같이 정의된다.

$$W(n, m) = \frac{1}{2} N \sum_{k=-N+1}^{N+1} |h(k)|^2 \left[ \sum_{p=-M+1}^{M-1} g(p) z(n+p+k) \times z^*(n+p-k) \right] e^{-2inkm/N} \quad (3)$$

여기서  $g(p)$ 는 시간에 대한 평활화 윈도우함수이며 그 길이는  $2M-1$ 이다. 여기서 DWD의 중요한 특징은 시간과 주파수에 대한 평활화가 서로 독립적이라는 점이다[7].

**결과 및 고찰**

시변파워스펙트럼의 추정을 위하여 25세의 건강한 성인남자를 대상으로 head-up tilt 검사를 행하여 심박변

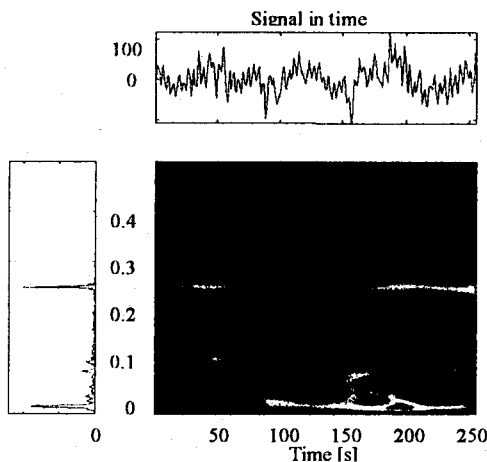


그림 1. 안정시 심박변동신호의 Wigner 분포함수

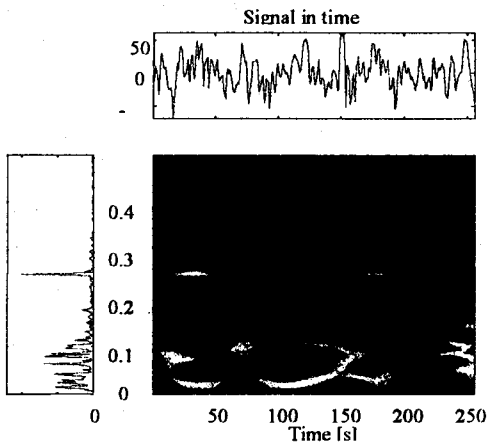


그림 2. 75도 직립부하시 심박변동신호의 Wigner 분포함수

동 신호를 얻었다. 그림 1은 처음 10분간의 안정상태에서 얻어진 심박변동신호에 DWD를 적용하여 얻은 time-frequency 분석의 결과이다. 부교감신경의 활동을 나타내는 HF(0.15Hz 이상) 영역에서 주파수성분이 분석구간에서 계속적으로 우세한 주파수성분으로 나타나는 것을 관찰할 수 있으며, 교감신경의 활동을 나타내는 LF(0.05~0.15Hz) 영역에서는 0.1Hz 부근의 피크성분보다는 상관항(Cross-term)에 의한 간섭이 나타나는 것을 볼 수 있다. 그림 2는, head-up tilt 테이블을 75도 경사를 주어 직립부하가 최대가 되도록 조정된 다음 10분동안 얻어진 심박변동신호에 대하여 time-frequency 분석을 수행한 결과이다. 교감신경의 활동을 나타내는 LF 영역에 대부분

의 파워가 몰려 있는 경향을 확인할 수 있으며, 0.1Hz 부근의 피크성분보다는 VLF(0.002~0.09Hz) 영역과 중간부분에 많은 에너지가 분포하는 것을 볼 수 있다. 그러나 두 경우 모두 FFT에 의한 전체 분석구간의 파워스펙트럼은 일반적으로 알려진 경향을 따르고 있는 것을 확인할 수 있다.

따라서, 이산 Wigner 분포함수에 존재하는 상관항에 의한 주파수 간섭을 보다 효과적으로 줄일수 있는 방법을 심박변동신호의 시변파워스펙트럼 추정에 적용한다면, FFT나 AR 모델링 방법을 통하여 분석구간의 전체적인 자율신경계의 활동에 대한 정보보다 시간대 따라 변동하는 다이내믹한 자율신경활동정보를 얻을수 있을 것으로 사료된다.

이 연구는 1996년도 보건복지부 G7 의료공학기술개발사업의 연구지원에 의해 수행 되었음(과제번호: HMP-96-G-1-14)

**참고 문헌**

- [1]Pomeranz B, Macaulay RJB, Caudill MA, Kutz I, Adam D, Gordon D, Kilborn KM, Barger AC, Shannon DC, Cohen RJ, Benson H, "Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis", Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol., Vol. 248, pp.151-153, 1985.
- [2]Abeysekera R, Bolton RJ, Westphal LC, and Boashash B, " Patterns in Hilbert transforms and Wigner-Ville distributions of electrocardiogram data", IEEE ICASSP, Tokyo, Vol. 34 No. 18, pp.1793-1796, 1986.
- [3]Kitney RI, Talhami H, "The zoom wigner transform and its application to the analysis of blood velocity waveforms", J. Theoret. Biol., Vol. 129, pp.395-409, 1987.
- [4]Kaluzynski K, "Selection of a spectral analysis method for the assessment of velocity distribution based on the spectral distribution of ultrasonic Doppler signals", Med. & Biol. Eng. & Compt., Vol. 27, pp.463-469, 1989.
- [5]Eggermont JJ, Smith GM, "Characterising auditory neurons using the Wigner and Rihacek distribution: a comparison", J. Acoust. Soc. Am., vol. 87 No. 1, pp.246-259, 1990.
- [6]Claasen TA, and Macklenbrauker WFG, "The Wigner distribution - a tool for time-frequency signal analysis. Part I: Continuous-time signals. Part II: Discrete-time signals", Philips J. Res., Vol. 35, pp.217-250;276-300, 1980.
- [7]Martin W, and Flandrin H, "Analysis of non-stationary processes: shot-time periodogram versus a pseudo-Wigner estimator", in EUSIPCO83 Schussler, H. (Ed.), North-Holland, Amsterdam, pp.455-458, 1983