

# 다중채널 AR 모델을 이용한 뇌파신호의 Coherence 추정

김 종 순<sup>o</sup>, 김 택 수<sup>\*</sup>, 허 재 만<sup>\*</sup>, 유 선 국<sup>\*\*</sup>, 박 상 회<sup>\*</sup>

\* 연세대학교 전기공학과

\*\* 순천향대학교 전기공학과

## Coherence Estimation of EEG using Multichannel AR Model

J. S. Kim<sup>o</sup>, T. S. Kim<sup>\*</sup>, J. M. Huh<sup>\*</sup>, S. K. Yoo<sup>\*\*</sup>, S. H. Park<sup>\*</sup>

\* Dept. of Electrical Eng., Yonsei Univ.

\*\* Dept. of Electrical Eng., Soonchunhyang Univ.

### ABSTRACT

In this study, the PSD and coherence spectra of electroencephalogram are estimated using multichannel AR model. This enables us to perform the topographic mapping of EEG by interpolation.

### 1. 서 론

Coherence는 주파수에 따른 두 채널 신호 사이의 correlation에 대한 척도이며, 뇌파신호의 coherence는 뇌의 기능적 구조의 연관성에 관한 연구에 많은 도움이 되며, 여러 형태의 정신질환 환자 집단의 구분에 주로 사용되어진다.

본 연구에서는 다중채널 AR 모델을 이용하여 뇌파신호의 coherence를 추정하고, 뇌파의 각 리듬별로 얻어진 전력밀도 스펙트럼 및 coherence 스펙트럼을 이용하여, topographic mapping을 수행한다.

### 2. 다중채널 AR 모델

스펙트럼 추정을 위한 시계열(time-series) 모델링의 가장 일반적인 방법은 AR 스펙트럼 추정자(autoregressive spectral estimator)를 통한 방법이다. ARMA 및 MA 모델과는 달리 AR 모델은 all-pole filter의 형태이며, AR 모델을 통한 스펙트럼 추정자는 바이어스(bias) 및 변이성(variability)에서 통상적인 FFT를 통한 스펙트럼 추정 방법보다 좋은 특성을 가진다. Maximum entropy spectral

estimator와 linear prediction spectral estimator 및 AR spectral estimator는 서로 다른 이론적 기초(foundations)를 가지고 있지만, 모두 동일한 접근방법을 취한다.

한편, 다중채널 AR 모델은 단채널 AR 모델과 동일한 형태를 지닌다. 그러나, 단채널의 경우 전향예측계수(forward prediction coefficient)와 후향예측계수(backward prediction coefficient)의 값이 동일한 반면, 다중채널의 경우에는 두 가지의 계수값에 차이가 발생하기 때문에 다중채널 AR 모델의 최적의 계수를 구하기 위해서는 좀더 복잡한 과정을 거쳐야 한다.

식 (2.1)은 WSS(Wide-Sense Stationary)의 다중채널 출력 프로세스  $x[n]$ 과 WSS의 다중채널 입력 프로세스  $u[n]$ 을 관계짓는 p차의 다중채널 AR 모델을 나타내는 차분방정식이다.

$$x[n] = - \sum_{i=1}^p A[i]x[n-i] + u[n] \quad (2.1)$$

여기에서  $A[i]$ 는  $L \times L$ 의 계수 행렬이며, 만약 입력신호  $u[n]$ 이 백색잡음이면,

$$R_{uu}[k] = \sigma^2 \delta[k] \quad (2.2)$$

가 되고, cross-spectral matrix  $P(f)$ 는,

$$P(f) = A^{-1}(f)\Sigma A^{-H}(f) \quad (2.3)$$

가 된다.

한편, autocorrelation function과 AR 모델의 파라미터를 관계짓는 Yule-Walker equation을 얻는 과정은 다음과 같다.

$$E(x^*[n]x^T[n+k]) = - \sum_{i=1}^p E(x^*[n]x^T[n+k-i])A^T[i] + E(x^*[n]u^T[n+k]) \quad (2.4)$$

에 의하여,

$$R_{xx}[k] = - \sum_{i=1}^p R_{xx}[k-i]A^T[i] + R_{uu}[k] \quad (2.5)$$

가 된다. 여기에서 AR 모델은 causal filter의 특성에 의해

여,

$$\begin{aligned}
 x[n] &= \sum_{i=0}^{\infty} H[i]u[n-i] \\
 R_{xx}[k] &= \sum_{i=0}^{\infty} H^*[i]E\{u^*[n-i]u^T[n+k]\} \\
 &= H^*[-k]\Sigma \\
 &= \begin{cases} \Sigma & \text{for } k=0 \\ 0 & \text{for } k>0 \end{cases}
 \end{aligned}$$

이 성립되므로, 식 (2.6)과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$R_{xx}[k] = \begin{cases} -\sum_{i=1}^k R_{xx}^T[k-i]\mu[i] & \text{for } k \geq 1 \\ -\sum_{i=1}^k R_{xx}^T[k-i]\mu[i] & \text{for } k = 0 \end{cases} \quad (2.6)$$

따라서, Yule-Walker equation은,

$$\begin{pmatrix} R_{xx}[0] & R_{xx}[-1] & \cdots & R_{xx}[-(p-1)] \\ R_{xx}[1] & R_{xx}[0] & \cdots & R_{xx}[-(p-2)] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{xx}[p] & R_{xx}[p-1] & \cdots & R_{xx}[-(p-1)] \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A^T[1] \\ A^T[2] \\ \vdots \\ A^T[p] \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} R_{xx}[1] \\ R_{xx}[2] \\ \vdots \\ R_{xx}[p] \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

가 된다.

### 3. 실험 및 결과 고찰

본 연구에서 사용되어진 장치의 구성은 그림 1과 같다.

피검자의 상태는 폐안 휴식의 상태이며, 먼저 피검자에서 얻어진 뇌파신호를 Nohon Koden 사의 뇌파 측정기를 이용하여 증폭시키고, 12 bit의 해상도를 가지는 DT-2821 board를 사용하여 디지털로 변환한 후 퍼스널 컴퓨터에서 여러 가지 필요한 처리를 수행하게 된다. 여기에서 뇌파신호의 샘플링 주파수는 200 Hz이며, 256개의 데이터를 한 프레임으로 처리하였다.

그림 2는 두 채널의 뇌파신호의 전력밀도 스펙트럼과 coherence 스펙트럼을 나타낸 것이다.

그림 3은 각 채널에서 얻어진 전력밀도 스펙트럼과 coherence 스펙트럼 중에서 alpha 리듬에 해당하는 평균값들을 보간법(interpolation)을 사용하여 2차원 평면 상에 나타낸 것이다.

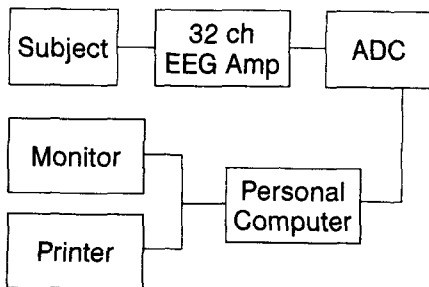


그림 1 실험 장치 구성의 블럭 다이어그램

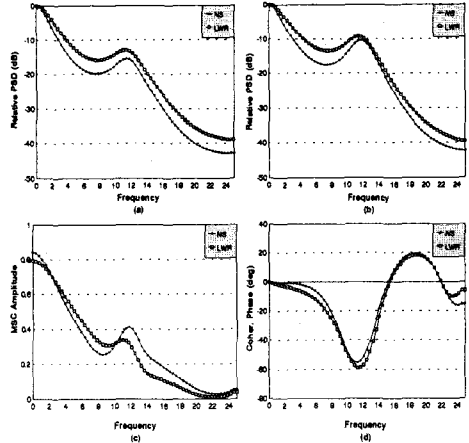


그림 2 뇌파신호의 autospectra 및 coherence

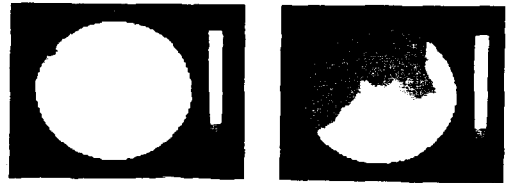


그림 3. Topographic mapping of PSD and coherence

### 4. 결론

본 연구에서는 다중채널 AR 모델을 이용하여 뇌파신호의 coherence를 추정하고, 뇌파의 각 리듬별로 얻어진 전력밀도 스펙트럼 및 coherence 스펙트럼을 이용하여, topographic mapping을 수행하였다.

특히 뇌파신호의 주파수별 전력 분포와 coherence의 주파수 분포를 함께 topographic mapping으로 나타냄으로써 뇌기능 장애 진단에 도움이 될 것으로 기대된다.

### 참고 문헌

- [1] E.L.Merrin, T.C.Floyd, and G.Fein : "EEG Coherence in Unmedicated Schizophrenic Patients", Biol. Psychiatry, Vol.25, pp.60-66, 1989.
- [2] R.E. Challis, and R.I.Kitney : "The power spectrum and coherence function", Med. and Biol. Eng. and Comput., Vol.29, pp.225-241, 1991.
- [3] S.L.Marple Jr. and A.H.Nuttall : "Experimental comparison of three multichannel linear prediction spectral estimators", IEE. Proc., Vol.130, pp.218-229, April 1983.