

物體色 刺戟에 의한 誘發腦波의 推定

양 호 언* · 최 갑 석

Estimation of Evoked Potentials by Object Color Stimulation

Ho Eon Yang*, and Kap Seok Choi

- Abstract -

The phenomenon of color sensory has been mainly studied on the relation with the stimulus source of light source color according to dispersed energy of light.

However, it has not been definitely found that the phenomenon of color sensory be concerned with evoked potentials stimulated by object color.

This paper proposes the method that evoked potentials stimulated by object colors are analyzed and examined on the phenomemon of color sensory. The model of evoked potentials is assumed that it is consisted of an additive noise and a transient signal caused by stimulus. The method which is used to estimate the signal is time-varying filtering.

1. 序 論

視覺刺戟에 의하여 발생하는 誘發電位는 모든 시각정보가 뇌의 視覺皮質(occipital cortex)에 전달되었을 때 여러 세포들의 진동자 작용에 의해서 나타나는 電位이다. 근래까지 시각자극에 의한 誘發電位에 관한 연구는 光刺戟 또는 문자, 도형을 이용하는 패턴刺戟에 의한 방법이 대부분이었다. 그러나 산업

의 다양화에 따라 시각 디자인, 색채구성에 대한 관심이 증대되면서 色覺現象에 관련된 誘發電位에 관한 연구가 S.Zeki, 岩本雅史와 内山明彦, 笑野雅文 등에 의하여 진행되어 왔다.^{1,2)}

지금까지 色覺現象에 대한 誘發電位에 관한 연구는 빛의 방사에너지를 측정된 빛의 파장의 크기로 색의 성분이 구분되는 光源色 중심으로 해석되어 왔다.^{3,4)}

光源色에 의한 자극방법은 색의 응용범위를 고려하면 제한적이라고 할 수 있다. 그러므로 臨床的으로나 시각 디자인의 분야에서 응용범위가 넓다고 할 수 있는 物體色에 대한 色覺現象을 규명하는 것이 필요하다.

따라서 色覺現象에 의한 誘發腦波를 추정함에 의해서 刺戟源을 物體色으로 하고, 物體色 刺戟에 따른 誘發腦波의 모델은 刺戟에 의한 過度信號와 加法性雜音의 집합으로 가정하였다. 誘發腦波는 背景腦波

〈접수 : 1990년 4월 30일〉

* 수원 전문대학 전자과
명지대학교 전자공학과

*Dept. of Electronic Engineering, Suwon Industrial College

Dept. of Electronic Engineering, Myong Ji University

속에 분해 있으므로 일시적인 관측만으로는 그 특징을 고찰하기가 어려우며 誘發腦波의 推定方法으로 앙상블 평균이나 평균 Wiener 필터링 방법 등이 제안되어 왔다. 앙상블 평균은 그 수행과정이 간단하고 평균 Wiener 필터링 방법은 誘發腦波와 그 推定量과의 평균자승오차가 최소가 되도록 하여 전달함수를 설계하는 방법으로 많이 이용되어 왔다.^{3,4,5)}

그러나 반복되는 자극에 의하여 나타나는 腦波는 시간적으로 변동하는 信號成分이므로 정확한 誘發腦波의 추정이 곤란하다.

본 연구에서는 物體色 刺戟에 의한 誘發腦波를 추정하는 방법으로 時變 필터링 이론을 導入하여 수행하였다.

物體色 刺戟原으로서 red(magenta)를 사용하였으며 실험 결과들로부터 이들 物體色 刺戟에 의한 誘發腦波를 추정하여 色感覺시간의 범위를 구하는 방법을 제안하였다.

2. 時變 필터링에 의한 誘發腦波의 推定

과도적으로 시간변화를 하는 誘發腦波의 해석방법으로 Wiener 필터링 이론으로 부터 확장한 時變 필터링 이론을 物體色 刺戟에 의한 誘發腦波의 추정방법으로 도입하여 誘發腦波의 시간변화에 따른 특성을 검토하였다.

일반적으로 Wiener 필터링의 傳達函數는 다음과 같이 나타낸다.

$$G(f) = \frac{\Phi_{ss}(f)}{\Phi_{nn}(f) + \Phi_{ss}(f)} \quad (1)$$

여기서 $G(f)$ 는 線型傳達函數 $g(t)$ 의 푸리에 변환이며 $\Phi_{ss}(f)$, $\Phi_{nn}(f)$ 는 각각 誘發腦波와 背景雜音의 周波數 전력 스펙트럼 밀도이다.

식 (1)을 시간과 주파수를 포함하는 2차원 식으로 확장하여 나타내면⁶⁾

$$\hat{G}(t, f) = \frac{\Phi_{ss}(t, f)}{\Phi_{ss}(t, f) + \frac{1}{N} \Phi_{nn}(t, f)} \quad (2)$$

이 되며 여기서 $\hat{G}(t, f)$ 는 시간과 주파수평면에서의 荷重函數이다.

또한 腦波에서 交互平均(alternate average)을 산출한다. 여기서 N 개의 데이터群에서 subensemble을 R 개로 하고, 관측 데이터의 중첩이 없다고 했을 때 $L=N/R$ 으로 나타낼 수 있는 L 개의 데이터에 있어서 交互平均을 $\bar{x}_L(t, f)$ 로 하고 수식으로 나타내면

$$\bar{x}_L(t, f) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (-1)^{i-1} x_i(t, f) \quad (3)$$

가 된다. 여기서 $i=1, 2, 3, \dots, L$ 이다.

또한 $\bar{x}_L(t, f)$ 의 파워스펙트럼을 $\Phi_{\bar{x}\bar{x}_L}(t, f)$ 라 하고, 雜音成分만 나타낼 수 있는 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\overline{\Phi_{\bar{x}\bar{x}_L}}(t, f) = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \Phi_{\bar{x}\bar{x}_L}^{(r)}(t, f) = \frac{1}{L} \Phi_{nn}(t, f) \quad (4)$$

식 (4)가 갖는 의미는 信號成分이 $1/L$ 개로 축소되고 雜音成分만 남게 된다는 것이다. 여기서 식(2)와 관련하여 하중함수 $\hat{G}(t, f)$ 를 구하면

$$\hat{G}(t, f) = 1 - \frac{1}{R} \frac{\overline{\Phi_{\bar{x}\bar{x}_L}}(t, f)}{\Phi_{xx}(t, f)} \quad (5)$$

가 된다. $\Phi_{xx}(t, f)$ 는 앙상블 평균 $x(t)$ 의 파워스펙트럼이다.

그러나 식 (5)는 時變 荷重函數의 산출에 직접 적용하기가 곤란하므로 $\Phi_{\bar{x}\bar{x}_L}(t, f)$, $\Phi_{xx}(t, f)$ 대신에 대역통과필터의 각 채널로부터 출력된 信號 $\bar{x}_q(t)$ 와 $x_q(t)$ ($q=1, 2, 3, \dots, Q$)의 complex envelope의 전력을 구하여 時變 荷重函數를 산출한다. $\Phi_{\bar{x}\bar{x}_L}(t, f)$ 와 $\Phi_{xx}(t, f)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \Phi_{\bar{x}\bar{x}_L}(t, f_q) &= I\{\bar{x}_q(t)\} \\ \Phi_{xx}(t, f_q) &= I\{x_q(t)\} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 f_q 는 q 차 대역통과필터의 중심주파수이고, $I\{\cdot\}$ 는 순시전력을 의미한다. q 차 대역통과필터 출력의 complex envelope의 전력으로 표현되는 時變 荷重函數를 $g_q(t)$ 라 하면 $G(t, f)$ 를 다음과 같이 나타낸다.

$$\hat{G}(t, f) = g_q(t), \quad q=1, 2, \dots, Q \quad (7)$$

또한 식 (7)을 식 (2)와 관련하여 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$g_q(t) = \frac{I\{s_q(t)\}}{I\{s_q(t)\} + \frac{1}{N} I\{n_q(t)\}} \quad (8)$$

여기서 $I\{s_q(t)\}$ 와 $I\{n_q(t)\}$ 는 q 차 대역통과 필터의 신호와 잡음의 순시전력을 의미하며 $g_q(t)$ 는 0에서 1까지의 값을 갖는다.

따라서, 交互平均 $\bar{x}_q(t)$, 앙상블平均 $x_q(t)$ 의 complex envelope를 $\hat{a}_q(t)$, $a_q(t)$ 라 하면 $g_q(t)$ 는 다음과 같이 변형된다.

$$g_q(t) = 1 - \frac{1}{R} \frac{|a_q(t)|^2}{|a_q(t)|^2} \quad (9)$$

그림 1은 대역통과 필터뱅크의 각 채널에 대한 주파수 응답곡선이다. 식(9)를 이용하여 앙상블 평균 $x(t) = \sum_{q=1}^N x_q(t)$ 를 q 차 대역통과 필터의 입력으로 했을때 구해지는 推定信號 $s(t)$ 는 다음과 같다.

$$s(t) = \sum_{q=1}^Q g_q(t) x_q(t) \quad (10)$$

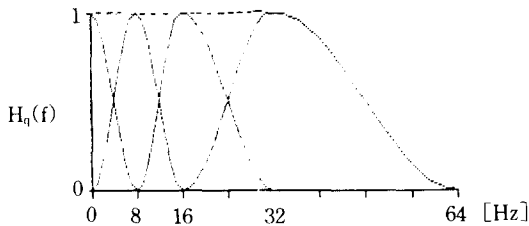


그림 1 필터뱅크의 주파수 응답
Fig. 1 Frequency response of filter bank

3. 實驗 및 考察

3.1 실험 방법

物體色刺戟에 의하여 나타나는 유발뇌파의 데이터를 얻기 위하여 본 실험에 사용된 색샘플의 표색계는 실용적인 표색계인 PANTONE GUIDE(미국)의 규

격에 따라서 red(magenta; PANTONE Roubine RED-A, RO32C)를 매스효과(mass effect)의 視角條件에 의하여 피검자에게 刺戟을 주었으며 색샘플은 46.5×46.5 [cm]², 색샘플과 피검자의 관찰 거리는 177.6 [cm]로 하였다.⁷⁾

피검자는 22~27세의 색각정상인 남자 4명(A, B, C, D)으로 하고 피검자가 실내의 자연광(natural light)조건에 충분한 시간동안 적응하게 한 후, 색순응(chromatic adaption)을 고려하여 안정된 분위기에서 실험을 수행하였다. 또한 피검자에게 刺戟을 주는 방법으로 눈에 띄기 쉽고, 색감각이 쉽다고 하는 표면색 측정방법을 이용하였다.^{7,8)}

또한 본 실험은 物體色 중에서도 表面色의 色覺現象에 대한 것이므로 明度を 고려해야 하는 標準光(specified achromatic lights)조건은 배제하였으며, 색샘플의 배경색으로는 同時對比(simultaneous contrast)현상을 최소화하는 中位色 중에 black으로 하였으며 실험수행 동안 피검자의 피로를 충분히 고려하였다.

뇌파의 도출은 전기적으로 불활성인 귀불(A1, A2)과 활성인 後頭部(O1, O2)에 전극을 부착하고 뇌파를 단극도출법으로 검출하였다.⁹⁾

이상과 같은 방법으로 刺戟후 2[sec]동안의 뇌파 데이터[4(피검자) × 색샘플(red) × 20(회) = 80(개)]를 IBM PC/AT의 하드 디스크에 저장하였으며 A/D변환기의 샘플링 주파수는 64 [Hz]로 하였다.

3.2 時變 필터링 過程

物體色 刺戟에 의한 誘發腦波를 추정하는 時變 필터링에서 주파수 대역별의 時變荷重函數를 구하기 위해 먼저 대역통과 필터 뱅크를 구성해야 하며 이 필터뱅크에 앙상블 평균과 交互平均을 각각 입력하여 각 주파수 대역별로 출력을 얻고 complex envelope 과정을 거쳐 이들의 瞬時電力을 구한다. 이와 같은 과정을 거쳐 얻은 순시전력을 식(9)에 대입하고 時變荷重函數를 식(10)을 이용하여 추정신호를 얻는다. 그림2에 時變 필터링의 구성도를 나타내었다.

3.3 結果考察

그림 3(a)~(d)는 피검자 A의 경우, 색샘플 red

에 대한 가산회수 n 의 함수로 나타낸 평균 Wiener 필터링 결과를 역푸리에 변환하여 구한 추정신호에 대해서 가산회수($N=5, 10, 15, 20$)별로 나타낸 것이다.

또한 그림 4(a)~(d)는 피검자 A의 경우 색샘플 red에 대해서 그림2의 과정과 식(10)에 의해서 구해진 시변 필터링의 추정신호 결과를 나타낸 것이다.

양상불平均이론에 의하면 가산회수를 증가시킴에 따라 잡음이 감소되어 SNR이 향상된다고 알려져 있

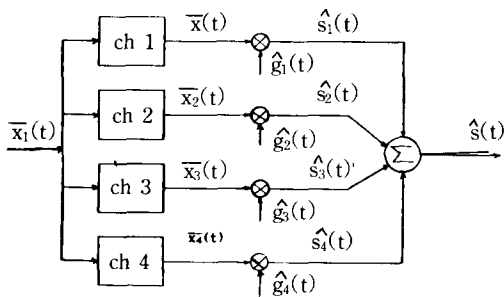


그림 2 時變 필터링의 구성도

Fig. 2 Block diagram of time-varying filtering

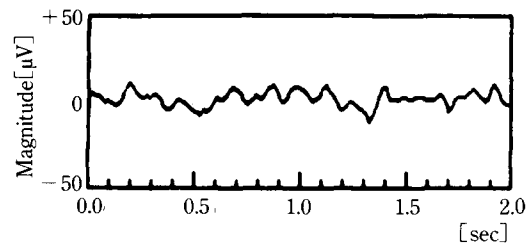
다. 그러나 그림3의 경우, 평균 Wiener 필터링에 대한 추정신호를 보면 가산회수가 적은 5회, 10회에서는 시간축상의 피크점들이 관측되고 있으나 가산회수가 15회, 20회에서는 진폭이 크게 감소되어 시간축상의 특징점들을 구분하기가 어렵다.

그림 4에서 推定信號의 피크점을 중심으로 특징점을 관측했을 때 가산회수에 따라 약간의 차이는 있으나 공통적으로 각 대역통과 필터를 거친 推定信號 진폭의 변화로 부터 시간특성이 평균 Wiener 필터링에 비해서 뚜렷하게 나타나고 있다.

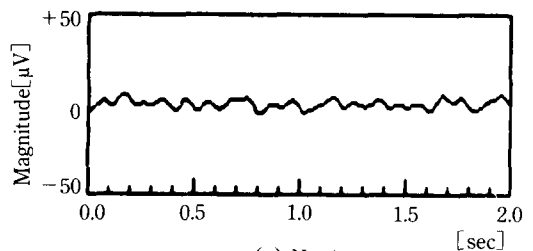
평균 Wiener 필터링의 결과에서는 가산회수 15회, 20회에서는 진폭이 크게 감소되어, 시간축상의 피크로 나타나는 특징점들이 구분하기가 어렵지만 시변 필터링에 의한 결과에서는 15회, 20회에서도 진폭의 변화로 나타나는 특징점들을 관측할 수 있었다.

표 1은 red의 경우 피검자 4명(A, B, C, D)에 대해 시변필터링에 의한 추정신호의 결과로부터 색 자극의 첫번째 반응으로 사료되는 crest time이 처음 나타나는 시간을 샘플 갯수 $n(n=1, 2, \dots, 128)$ 에 대한 시간 $n/64$ [sec]를 이용해서 구한 결과이다.

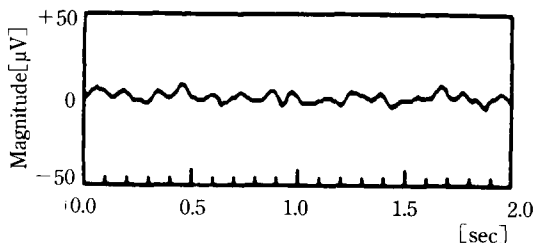
본 실험에서 사용한 물체색 샘플(red)에 대해 추



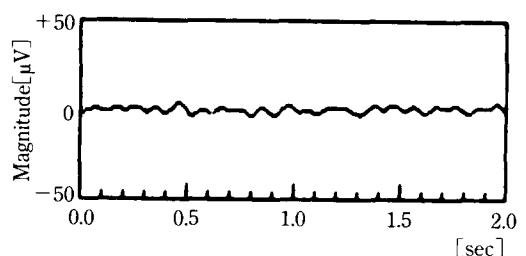
(a) N=5



(c) N=15



(b) N=10



(b) N=20

그림 3 평균 Wiener 필터링에 의한 추정신호(피검자 A, red).

Fig. 3 Estimated signal by average Wiener filtering (Subject A, red)

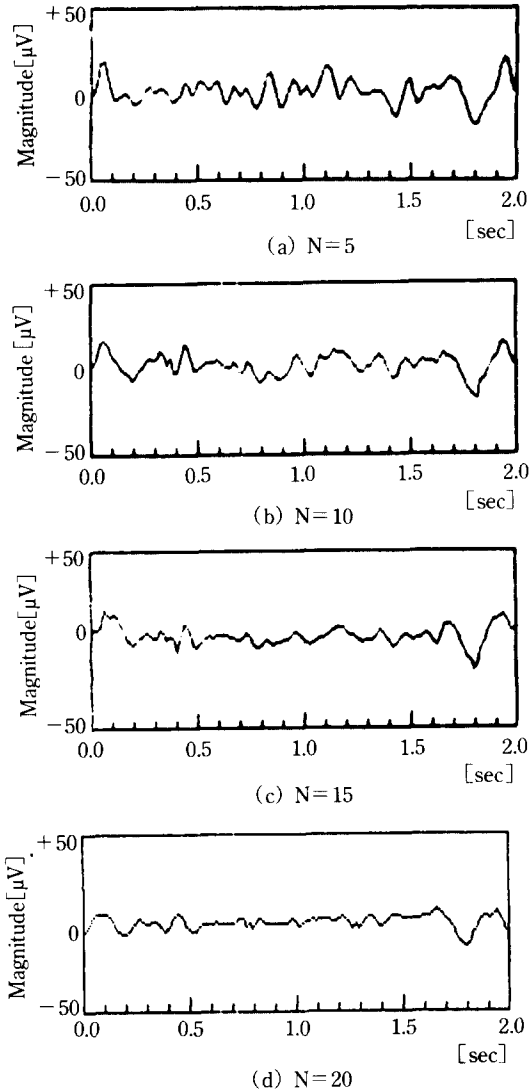


그림 4 時變 필터링에 의한 推定信號(피검자 A, red)
 Fig. 4 Estimated signal by TVF (Subject A, red)

표 1 피검자 4명에 대한 crest time(red)

Table 1 Crest time for 4 subjects(red)

Subject	A	B	C	D
5	0.078	0.391	0.047	0.171
10	0.078	0.234	0.078	0.171
15	0.078	0.234	0.078	0.171
20	0.094	0.234	0.078	0.171

정된 crest time의 범위는 피검자 C에서 최소 0.047 [sec], 피검자 B에서 최대 0.391[sec]이었으며, 파장의 크기로 구분되는 광원색의 red의 경우 0.02~0.50[sec]의 감각 시간 범위와 잘 부합되고 있음을 알 수 있다.

4. 結 論

본 연구에서는 物體色 刺戟에 의한 誘發腦波를 추정하는 방법으로 시변 필터링을 도입하여 수행한 결과, 誘發腦波의 신호추정에는 평균 Wiener 필터링에 비해서 時變 필터링이 효과적인 방법임을 알 수 있었다. 또한 검출된 추정 신호로부터 피크 시간을 측정하여 물체색의 감각시간을 고찰 할 수 있었다.

그러나 좀 더 많은 피검자에 대해서 그리고 여러 가지 색샘플의 자극에 의한 뇌파데이터를 수집하여 時變 필터링에 의한 추정신호를 분석한다면 物體色 刺戟에 의한 유발 뇌파 해석이 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) Masafumi Iwamoto, Akigiko Uchiyama, "Research on VEP by Color Display Switching Method." MBE, Vol. 98, PP. 58-64, 1987.
- 2) Masafumi Yano, Shigeo Suzuki, Hiroshi Shimizu, "The Model of Color Recognition." MBE, Vol. 148, PP. 347-354. 1987.
- 3) D. J. Doyle, "Some Comments on the use of Wiener Filtering for the Estimation of Evoked Potentials," Electroenceph. Clin. Neurophysiogy, 38, PP. 533-534, 1975.
- 4) Mortin Schetzen, "Nonlinear System Modeling Based on the Wiener Theory." IEEE, Vol. 69, No. 12, PP. 1557-1570, Dec. 1981.
- 5) D. J. Doyle, "A Proposed Methodology for Evaluation of the Wiener Filtering Method of Evoked Potential Estimation," Electroenceph. Clin. Neurophysiogy, 43, PP. 749-751, 1977.
- 6) J. P. C. de Weerd, "A Posteriori Time-Varying

- Filtering of Averaged Evoked potentials," Biol. Cybern, 41, PP. 2111-222, 1981.
- 7) S. Zeki, "The Representation of colours in the Cerebral cortex," Nature, Vol. 284, PP. 412-418, 1980.
- 8) William Charles Libby, "Color and the structural sense," New Jersey Prentice-Hall, 1974.
- 9) 崔甲石, "EEG計測 시스템과 信號處理," 電子工學會誌, 第13卷, 第3號, PP. 20-28, 1986.
- 10) 崔甲石, 梁虎彦, "A Study on Analysis of Evoked Potential by Stimulus in Object color," KOREA-JAPAN Joint conference on MBA. 1989.
- 11) 崔甲石, "AR 모델에 의한 視覺誘發腦波의 Bicoherence分析에 관한 研究," Journal of KOSOMBE, Vol. 8, No. 2, 1987.