

Interpolation을 이용한 유발성 전위 뇌파의 3차원적 도해에 관한 연구

◎ 구 성훈*, 김 선일**, 이 두수*

* 한양 대학교 공과대학 전자 공학과, ** 한양 대학교 의과대학 계량의학교실

A Study for Three Dimensional Mapping in the Human Brain Using Interpolation

◎Seoung Hoon Goo*, Sun Il Kim**, Doo Soo Lee*

* Dept. of Electronic Eng., Hanyang University, ** College of Medicine, Hanyang University

1. Introduction

인간의 유발성 전위(evoked scalp potential)와 뇌 피질 속의 Source사이의 관계를 규명하는 일은 뇌 파 연구에 있어서 오랫동안 큰 과제였다. 이 문제에 대한 몇몇의 결과들은 여러 신경의학 부분에서 얻어지는 실험적인 결과와의 관계에 있어서 매우 중대한 영향을 미쳤다.

많은 학자들이 source localization문제에 여러가지 다른 방식으로 접근했다. 많은 접근 방식이 논의가 되었지만 실제 적용된 것은 몇몇에 불과하다. 여러 다양한 이유때문에 대부분의 노력들은 source의 dipole model에 초점이 맞추어졌다. 몇몇 학자들은 dipole이 어떤 특정 두피전위에 대해 적용하기 좋은 것이라고 여겼고, 실제 측정데이터와 dipole potential 간의 유사성에 기초를 둔 이런 modeling 연구에 많은 결과를 남겼다.

이 논문에서는 실제로 두피에서 Scalp Potential을 얻은 경우 이것의 dipole의 위치를 나타내기 위해 SP(Scalp Potential) Mapping과 SCD(Scalp Current Density) Mapping을 사용했으며, 두피에서 얻을 수 있는 한정된 데이터로부터 두피 전체의 데이터를 얻기 위해 Multi-Dimensional Interpolation을 사용했으며 이 Interpolation 해서 얻은 값과 실제 계산값을 비교, 분석해서 이 Interpolation 알고리즘이 임의의 경우에도 사용할 수 있음을 나타내었다.

2. 뇌파의 Voltage 및 Current의 3차원적 도해

구 내부 z축상에 위치한 Dipole에 의한 임의의 두피점에서의 표면 전압은 다음과 같이 나타난다.

$$V = \left(\sum_{n=1}^{\infty} C_n f^{n-1} (n m_z P_n(\cos \theta) + (m_x \cos \phi + m_y \sin \phi) P_n^1(\cos \theta)) \right) / (4\pi \sigma R^2)$$

여기서

P_n 과 P_n^1 은 Legendre polynomials와 관계된 Legendre functions이다.

$$* S = \sigma_s / \sigma, f_1 = r_1 / R, f_2 = r_2 / R$$

$$C_n = (2n+1)^3 S / (n(n+1) d_n)$$

$$d_n = ((n+1)S + n)(1+nS/(n+1)) + (1-S)(n+(n+1)S) f_1^{2n-1} - f_2^{2n-1} - n(1-S)^2 (f_1/f_2)$$

여기서 우리는 전류 밀도라는 개념을 도입하는데 이것은 전압의 전류 밀도 벡터의 방향 성분에 대한 2차 편미분 형태로 나타낼 수 있으며, 전압과 전류 밀도 데이터를 Mapping 시킨 경우 전류 밀도 데이터의 Mapping이 Source Dipole로부터의 측정 위치의 변화에 따라 아주 민감하게 잘 나타난다는 것이 밝혀졌다.

전류밀도 벡터는 전위 V로부터 다음식을 통해 얻을 수 있다.

$$J = -\sigma (\partial V / \partial e_1, \partial V / \partial e_2, \partial V / \partial e_3)$$

이것은 V에 대한 SCD의 표현식을 구할 수 있다.

$$I = -\sigma (\partial^2 V / \partial e_1^2 + \partial^2 V / \partial e_2^2)$$

이러므로 전위 데이터만 가지고 있으면 전류밀도 벡터를 구할 수 있다.

3. 실제 계산 값과 Interpolation해서 얻은 값의 비교.

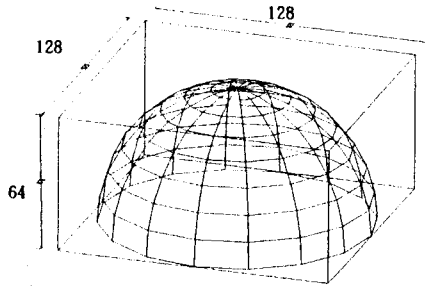


그림 1 : 두피의 3차원 homogenous 모델

머리를 하나의 구면으로 가정하고 다음과 같은 임의의 점을 주어서 그 점에서의 전위값을 초기값으로 주었다. 여기서 좌표는 구면을 위에서 바라본 평면으로 Projection 시킨 경우에 이 평면을 Integer 격자점으로 나누어서 그 격자점의 임의의 좌표를 나타낸 것이고, 그 격자점의 크기는 128x128로 잡았다.

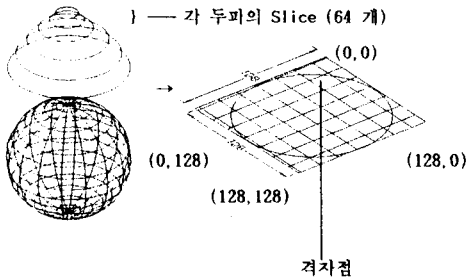


그림 2 : 두피 전극 위치의 결정

임의의 격자좌표(단, 원주상에 위치해야 함)
 : (25, 15) (25, 20) (25, 50) (25, 75) (25, 85)
 (50, 10) (50, 20) (50, 50) (50, 75) (50, 85)
 (70, 15) (70, 20) (70, 50) (70, 75) (70, 85)
 (90, 15) (90, 20) (90, 50) (90, 75) (90, 85)

위의 점들은 Interpolation의 검증용 위해 임의로 잡은 것이고 실제 Interpolation의 응용 때는 두피 전극의 좌표를 사용한다. 단, 이 점들은 위의 그림 2에서 처럼 각 두피 Slice들 중 하나의 원주에 대응이 된다. 이 대응되는 점들에 대한 값을 계산하고 이것을 전체 Slice의 원주에 대해 Interpolation한 값과 실제로 전체 Slice 원주를 계산한 값들을 비교해 보았다. 이때의 Interpolation은 전체 Slice 원주

를 다시 겹쳐서 3차원 상으로 나타내었을 때 이것의 Z축 상에 대한 Projection의 Interpolation이고 이 Interpolation한 값을 다시 반구에 Mapping 시키는 것이다.

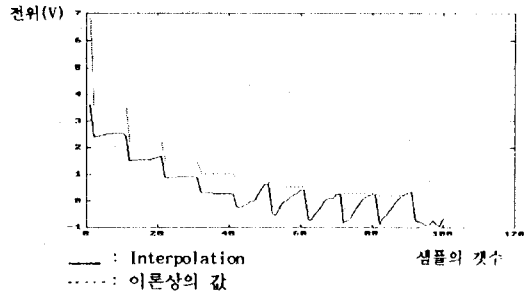


그림 3 : 계산된 전압과 Interpolated된 전압의 비교 곡선

좌표(x)	좌표(y)	계산된 전압	Interpolation	Interpolation error
64.00000	64.00000	6.801552	3.602803	0.343693
53.00000	60.00000	3.513446	2.378885	0.198335
53.00000	61.00000	3.513446	2.420328	0.202767
75.00000	68.00000	3.153446	2.924826	-0.388019
48.00000	61.00000	2.175572	1.503509	-0.163116
48.00000	62.00000	2.175572	1.522509	-0.166321
89.00000	67.00000	0.740043	0.642626	-0.195993
37.00000	59.00000	0.540690	-0.482508	-0.999225
37.00000	60.00000	0.540690	-0.501404	-1.024200

표 1 : 계산된 전압과 Interpolated된 전압의 관계

그림 3은 계산된 결과를 비교해서 나타내었다. 여기서 중요한 것은 두 그래프가 가지는 값이 아니라 두 그래프의 변환점이다. 궁극적으로 Mapping을 시키고자 하는 것은 SP가 아니라 SCD이기 때문에 전위의 변화가 중요한 것이 된다. 개별적인 전위값은 Gray-Level로 나타내기 위해 Normalize 시키기 때문에 큰 의미를 가지지는 못한다.

그래프와 표에서 보는 것처럼 이론상의 값이 변화할 때, Interpolation한 값도 뚜렷이 변한다. 이것을 편미분 알고리즘을 사용해서 SCD로 변환해서 두피상에 Mapping을 시키면 Source의 위치를 뚜렷이 보여준다.

4. 결론

우리는 지금까지 Interpolation을 이용해서 이것이 이론상의 계산 값과 가지는 관계에 대해 살펴보았다. 실제로 사용되는 것은 실험에서 얻어지는 한정된 전극의 전압 데이터이므로, 이것을 가지고 전 두피 영역의 데이터를 얻어낸다는 것은 매우 중요하며 실제적인 응용에도 큰 도움을 주게 된다.

여기서는 Homogenous한 모델을 사용해서 결과를 얻었지만

사람마다 두피의 형태가 다르므로 Inhomogenous한 모델의 경우에서 다루어지는 Interpolation이 앞으로의 과제이다.

5. 참고 문헌

- [1] PETER T. SNADER, "Generic Curvature Features from 3-D Images", IEEE TRANSACTIONS, MAN, AND CYBERTICS, VOL. 19, NO. 6, NOVEMBER/DECEMBER 1989.
- [2] JAN W.H. MEIJS AND MARIA J. PETERS, "The EEG and MEG, Using a model of Eccentric Spheres to Describe the Head", IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING, VOL. BME-34, NO. 12, DECEMBER
- [3] LOUIS LEMIEUX and ANDRE LEDUE. "Equivalent Source Estimation Based on the Calculation of the Electric Field from Depth EEG Data", IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING, VOL. 39, NO. 8, AUGUST 1992
- [4] WILLIAM H. PRESS, BRIAN P. FLANNERY, SAUL A. TEUKOSKY, WILLIAM T. VETTERLING, "NUMERICAL RECIPES in C, The Art of Scientific Computing", Cambridge University Press, 1990