P300 speller using row-column and diagonal paradigm

Jin-sup Eom[1], Ji-Eun Park[1], Mi-Sook Park[1], Hye-Ryeon Yang[1], Jin-Hun Sohn[1]

[1]Department of Psychology/Brain Research Institute, Chungnam National University

ABSTRACT

Objective: 행렬 패러다임을 이용한 P300 문잡입력기의 단점을 극복하기 위하여 행과 열, 대각선 단위로 자극을 제시하는 행렬대각선 패러다임의 효과를 검증하였다. **Background:** P300 문자입력기는 행렬 패러다임을 사용하여 사용자에게 문자자극을 제시한다. 그러나 행렬 패러다임은 목표문자의 주변에 있는 문자들로 잘못 입력되는 경우가 많다는 단점을 가진다. 목표문자와 같은 행이나 열에 포함된 문자들이 목표문자가 제시되는 횟수의 1/2만큼 함께 제시되기 때문이다. 목표문자와 주변의 문제들이 함께 제시되는 비율을 감소시키면 입력 오류율이 줄어들 것이다. 본 연구에서는 행과 열 단위로 자극을 제시하는 것에 더하여 주대각선과 반대각선 단위로 자극을 제시하는 행렬대각선 패러다임을 개발하였다. **Method:** 다섯 명의 참가자에게 행렬패러다임으로 구성된 P300 문자입력기와 행렬대각선 패러다임으로 구성된 P300 문자입력기를 사용하여 문자를 입력하도록 하였다. 훈련단계에서 기록한 뇌파에 대해 단계적 선형판별분석을 실시하여 판별함수를 산출하였으며, 이 함수를 이용하여 검사단계에서 기록한 뇌파를 분류하여 목표문자를 파악하였다. **Results:** 행렬 패러다임을 사용한 P300 문자입력기의 입력정확률은 71.2%였으며, 행렬대각선 패러다임을 사용한 P300 문자입력기의 입력정확률은 80.0%였다. **Conclusion:** 행렬 패러다임보다 행렬대각선 패러다임에서 입력 오류가 줄었다. 행렬 패러다임에서의 오류는 주로 목표문자와 같은 행 또는 열에 발생한 반면, 행렬대각선 패러다임에서는 오류가 행과 열, 대각선에 분포하였다. **Application:** 본 연구결과는 행렬 패러다임보다 행렬대각선 패러다임의 오류가 적으므로, 적은 수의 시행으로 높은 정확도를 보이는 P300 문자입력기의 개발에 도움을 줄 수 있을 것이다.

Keywords: P300 speller, brain-computer interface, brain-machine interface, ERP

1. Introduction

전신마비 환자들은 타인과의 의사소통이 거의 불가능하며, 가전제품 등의 기계를 조작할 수 없다. 1988년 Farwell과 Donchin(1988)은 이러한 환자들이 뇌파를 이용하여 타인과 의사소통할 수 있는 획기적인 발명을 하였다.

Farwell과 Donchin(1988)이 고안한 발명품은 사건관련전위(event- related potential: ERP)를 이용하여 컴퓨터에 문자를 입력하는 것이었다. 이들은 컴퓨터 화면에 Figure 1의 (A)와 같은 6x6 문자행렬을 제시하고, 6개의 행과 6개의 열을 한번에 하나씩 무선적으로 짧은 시간 동안 반짝이게 하였으며, 6개의 행과 6개의 열이 모두 반짝이는 것을 20회 반복하였다. 사용자에게는 입력하고 싶은 문자가 반짝이는 횟수를 마음속으로 세도록 하였다.

사용자가 어떤 자극에 주의를 집중하면, ERP의 한 성분인 P300의 진폭이 크게 산출되기 때문에, 컴퓨터는 각각의 문자가 반짝였을 때 사용자의 P300 진폭을 계산하여 P300 진폭이 가장 큰 자극을 컴퓨터 화면에 입력해 준다.

뇌파를 이용한 문자입력기는 입력 오류가 발생한다. ERP는 잡음 대 신호의 비율이 낮기 때문에 자극을 여러 번 반복 제시한 후, 뇌파를 평균하여야 한다. 만약 반복 제시 횟수가 작을 경우 ERP에 잡음이 많이 섞여 있게 되고 입력오류가 나타난다. 사용자가 제시된 자극에 적절한 주의를 기울이지 않았을 때에도 입력오류는 발생한다.

Farwell과 Donchin(1988)이 개발한 방법은 문자행렬의 행과 열을 반짝이게 하므로, 행렬패러다임 (row-column paradigm: RCP)이라고 부른다. 행렬 패러다임은 한가지 큰 단점을 가진다(Eom, Yang, Park, & Sohn, 2013; Fazel-Rezai, 2007;

Townsend et al., 2010). 사용자가 입력하려고 했던 목표문자와 같은 행 또는 열에 있는 문자들로 잘못 입력되는 오류가 많이 나타난다는 것이다. 이러한 오류가 나타나는 원인은 목표문자와 인접해 있는 행이나 열이 반짝일 때 사용자의 주의를 끌어 P300반응을 유발하기 때문이다(Townsend et al., 2010). 이러한 오류를 근접-혼란 오류(adjacency-distraction errors)라고 한다. RCP에서 근접-혼란 오류가 나타나는 또 다른 원인이 있다. 목표문자와 같은 행 또는 열에 있는 문자들은 목표문자가 반짝이는 시행의 1/2에서 함께 반짝이게 되므로, 이 문자들에서도 P300 반응이 나타나게 된다.

본 연구에서는 목표문자 이외의 문자들이 목표문자와 함께 반짝이는 시행을 줄여 근접-혼란 오류를 감소시키는 새로운 자극제시 패러다임을 개발하였다. 새로운 패러다임 행렬대각선 패러다임(row-column and diagonal paradigm: RCDP)으로, Figure 1의 (B)와 같이 행과 열 단위로 문자가 반짝이는 것에 더하여 주대각선과 반대각선 단위로도 문자를 반짝이게 하였다. 즉, RCP에서는 6개의 행과 6개의 열이 반짝이는 것을 1시행으로 정의하여 수회 반복 제시하지만, RCDP에서는 6개의 행과 6개의 열, 6개의 주대각선, 6개의 반대각선이 반짝이는 것을 1시행으로 정의하여 수회 반복 제시하게 된다.

RCP에서 목표자극과 같은 행과 열에 있는 문자들은 목표자극이 반짝이는 경우의 1/2에서 함께 반짝이게 되지만, RCDP에서 목표자극과 같은 행과 열, 주대각선, 부대각선에 있는 문자들은 목표자극이 반짝이는 경우의 1/4에서 함께 반짝이게 된다. 결과적으로 RCDP에서는 근접혼란오류가 감소할 것이라고 예측할 수 있다.

2. Method

3.1 Participants

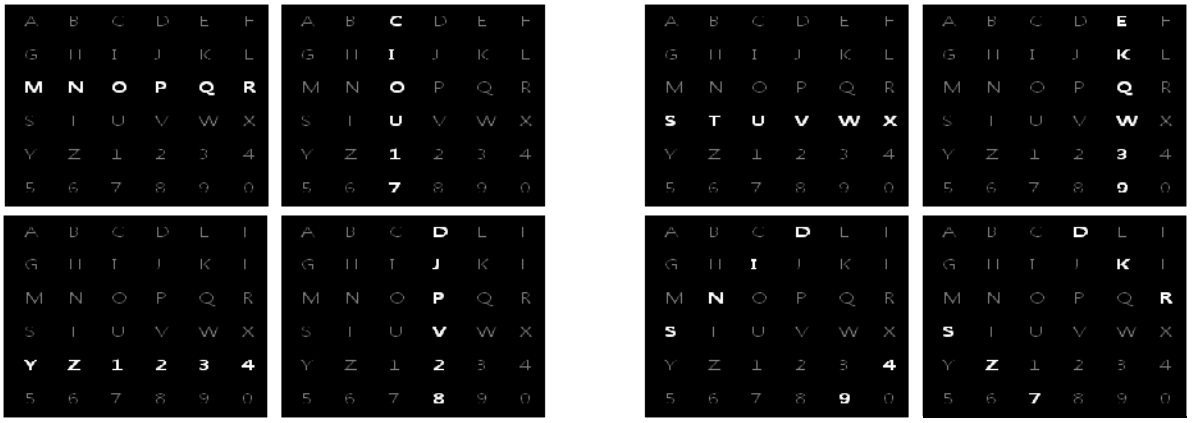
5명의 대학생이 실험에 참가하였다. 남자는 3명 여자는 2명이었으며, 평균연령은 23세였다.

3.2 Equipment

실험 참가자로부터 60cm 앞에 놓인 19inch LCD 모니터에서 6x6 문자행렬을 제시하였다. 각 문자의 폭은 1.1cm, 높이는 1.3cm였으며, 문자와 문자의 간격은 좌우로 5cm, 위아래로 3cm였다. 뇌파는 Krusienski 등(2008)의 연구결과에 따라 Fz, Cz, Pz, Oz, P3, P4, PO7, PO8에서 측정하였으며, 이마에 접지전극을, 양쪽 귓불에 참조전극을 부착하였다. 뇌파는 Grass Model 12 Neurodata Acquisition System(Grass Instruments, Quincy, MA, USA)을 사용하여 0.3~30Hz 대역여과한 후 20000배 증폭한 후, MP150(BioPac Systems Inc., Santa Barbara, CA, USA)을 사용하여 200Hz의 표본율로 저장하였다. 자극 제시와 뇌파 저장 프로그램은 Visual C++ v6를 이용하여 제작하였다.

3.3 Experimental procedure

실험은 두 번에 걸쳐서 진행하였다. 한 번은 RCP로 또 한 번은 RCDP로 실험하였다. 각 실험은 두 단계로 구성되어 있다. 첫 번째 단계는 훈련단계로 목표문자를 확인하는데 사용하는 판별함수를 만들기 위한 것이다. 두 번째 단계는 검



(A) (B)

Figure 1. (A) Row-column paradigm. (B) Row-column and diagonal paradigm.

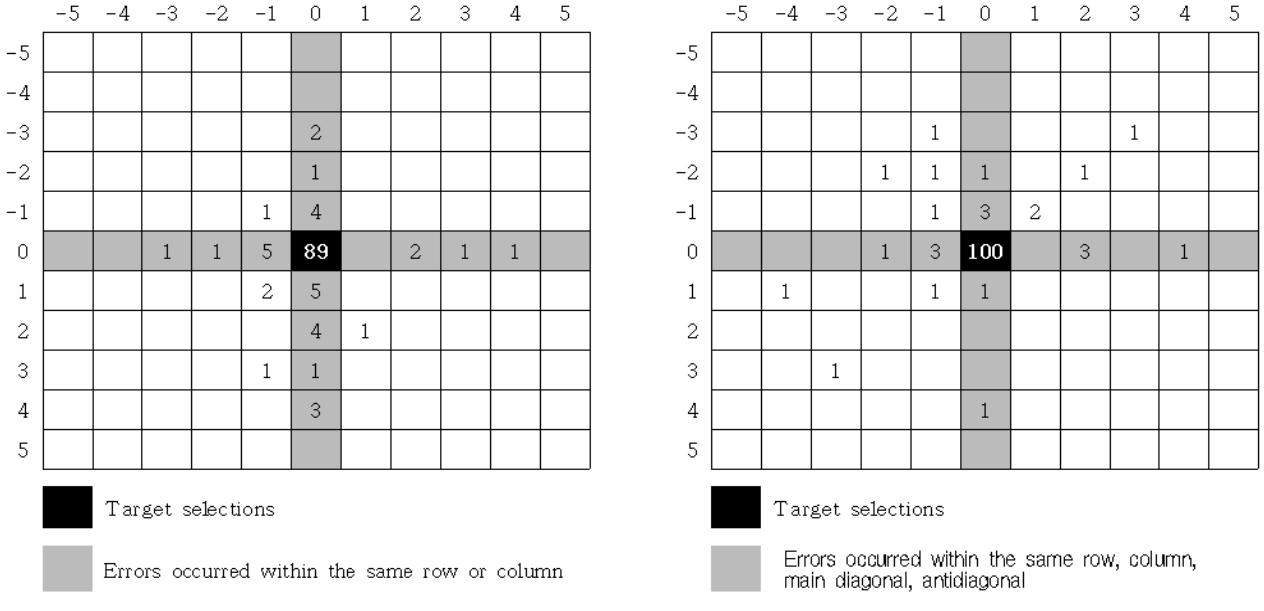
사단계로 판별함수를 이용하여 참가자가 입력하려고 한 문자를 판단하는 것이다. 훈련단계에서는 18개의 문자를 목표문자로 사용하였으며, 검사단계에는 단어와 숫자열을 구성하는 25개의 문자를 목표문자로 사용하였다.

RCP에서는 6개의 행과 6개의 열을 무선적인 순서로 한 번에 하나씩 100ms동안 강한 강도로 제시하고 25ms동안은 보통의 강도로 제시하였다. 결과적으로 125ms마다 6x6 문자행렬에 있는 행과 열 중 하나가 반짝이는 것처럼 보인다. 참자가자 할 일은 입력하고자 한 문자가 반짝이는 횟수를 세는 것이었다. 6개의 행과 6개의 열을 모두 한 번씩 반짝이는 것을 1시행으로 하여 총 6시행을 반복 제시하였다. RCDP에서는 6개의 행과 6개의 열, 6개의 주대각선, 6개의 반대각선을 무선적인 순서로 반짝이게 하였다. 6개의 행과 6개의 열, 6개의 주대각선, 6개의 반대각선을 모두 한 번씩 반짝이는 것을 1시행으로 하여 총 3시행을 반복 제시하였다.

3.4 Classification

훈련단계에서 기록한 뇌파에 대하여 단계적 선형판별분석을 실시하여 판별함수를 산출한 후, 이 판별함수를 이용하여 검사단계에서 기록한 뇌파를 분석하여 목표문자를 파악하였다. 단계적 선형판별분석은 다음과 같이 진행하였다. 한 문자를 입력하는 동안 행 또는 열(RCDP에서는 주대각선, 반대각선 포함)이 반짝이는 것이 72번 진행되며, 이 시간 동안 8곳의 두피에서 뇌파가 기록된다. 한 개의 행 또는 열이 제시된 후 750ms 동안의 뇌파를 잘라 분석단위를 만든다. 한 전극에서 기록된 1개의 분석단위는 150개(750ms x 200Hz)의 값들로 구성된다. 이 분석단위들은 목표문자를 포함하는 경우와 포함하지 않는 경우로 나뉘어진다. 결과적으로 72x18개의 행과 150x8개의 열로 구성된 행렬이 만들어지며, 이 행렬에 대해 단계적 판별분석을 수행하여 목표문자와 비목표문자를 구별하는 판별함수를 산출하였다.

검사단계에서는 36개 문자 각각에 대하여 각 문자가 반짝였을 때의 뇌파분석단위들을 평균하여 36개 문자 각각에 대한 ERP를 산출하였다(36x1200 행렬). 36개 행에 대하여 판별함수를 적용하여 각 행이 목표문자일 확률을 산출한 후, 확률이 가장 높은 문자를 목표문자로 판단하였다.



(A) (B)

Figure 2. (A) Error distributions for the RCP. (B) Error distributions for the RCDP. All target items have been centered in each matrix; the number in the black cell is the number of correct selections for each paradigm. Numbers in other cells represent the number of errors occurring in each cell relative to the target location.

3. Results

RCP의 입력정확도는 71.2%였으며, RCDP의 입력정확도는 80.0%였다. 세부적으로, 5명중 4명은 RCDP의 입력정확도가 더 높았으며, 한 명은 두 패러다임에서 동일한 입력정확도를 보였다.

Figure 2에 오류분포가 제시되어 있다. RCP의 경우에는 36개의 오류 중 31개가 목표자극과 동일한 행 또는 열에서 발생하였다. 근접-혼란 오류가 크게 작용하였음을 보여준다. RCDP의 경우에는 오류가 25개로 줄었으며, 22개가 목표자극과 동일한 행 또는 열, 주대각선, 반대각선에서 발생하였다.

4. Conclusion

RCDP가 RCP보다 입력오류가 적은 것으로 나타났다. 입력오류는 전체 문자행렬이 반짝이는 반복횟수와 밀접한 관련이 있다. 따라서, RCP에서 일정한 수준의 입력정확도를 확보하기 위해서는 많은 수의 반복시행을 해야 함을 의미하며, RCDP에서는 보다 적은 수의 반복시행을 통해서도 일정한 수준의 입력정확도를 보인다는 것을 의미한다. 따라서, RCDP를 사용하여 더 빠른 시간에 더 정확한 문자입력이 가능할 것이라 판단된다.

Acknowledgements

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 휴먼인지환경사업본부-신기술융합형 성장동력사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2013K000332)

References

Eom, J., Yang, H., Park, M., & Sohn, J., P300 speller using a new stimulus presentation paradigm, *Korean Journal of the Science of Emotion and Sensibility*, 16(1), 107-116, 2013.

Farwell, L. A., & Donchin, E., Talking off the top of your head: Toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials, *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 70, 510-523, 1988.

Fazel-Rezai, R., Human error in P300 speller paradigm for brain-computer interface, In *Engineering in Medicine and Biology Society, 2007. EMBS 2007. 29th Annual International Conference of the IEEE*, 2516-2519, 2007.

Krusienski, D. J., Sellers, E. W., McFarland, D. J., Vaughan, T. M., & Wolpaw, J. R., . Toward enhanced P300 speller performance, *Journal of Neuroscience Methods*, 167, 15-21, 2008.

Townsend, G., LaPallo, B. K., Boulay, V. B., Krusienski, D. J. Frye, G. E., Hauser, C. K., Schwartz, N. E., Voughan, T. M., Wolpaw, J. R., & Sellers, E. W. A novel P300-based brain-computer interface stimulus presentation paradigm: Moving beyond rows and columns, *Clinical Neurophysiology*, 131, 1109-1120, 2010.