

DSP보드를 이용한 뇌파의 외부잡음 제거용 적응필터 및 피드백 출력제어 알고리즘

The Adaptive Filter for EEG Artifact Cancellation and the Feedback
Output Control Algorithm on the DSP Board

안보섭*, 박정제**, 이경일**, 박일용*, 조진호***, 김명남***

*경북대학교 전자전기컴퓨터학부(전화:(053)950-5538, 팩스:(053)959-5538, E-mail:ahnbo2510@hotmail.com)

**경북대학교 의용생체공학과(전화:(053)420-5252, 팩스:(053)420-5264, E-mail:pjj9403@hanmail.net)

***경북대학교 의과대학 의공학교실(전화:(053)420-6842, 팩스:(053)420-5264, E-mail:kimmn@knu.ac.kr)

Abstract : The adaptive filter is proposed for removing EOG from measured EEG on the frontal lobe. The proposed adaptive filter has been implemented and the feedback output control algorithm has been employed to control the alpha wave ratio on the basis of TMS320C31 DSP board with the on-line and real time performance. The feedback algorithm controls the input voltage of stimulating devices on the portable bio-feedback system. The EEG data are acquired at the Fp₁ and Fp₂ localization and are processed by the proposed adaptive filter. We demonstrated that the proposed adaptive filter could effectively remove EOG from the measured EEG on the frontal lobe and the feedback algorithm is proper to control the output voltage of DSP board using the ratio of the alpha wave.

Keywords : adaptive filter, EEG, EOG, TMS320C31 DSP, bio-feedback system

I. 서론

최근 사회가 급속하게 산업화되면 될수록 스트레스 및 정신적 질환을 호소하는 사람들도 증가하고 있는 현실이며 이에 따라 뇌파(EEG)에 대한 여러 연구가 되어지고 있고 정신 진단과 치료를 위한 많은 장치들이 개발되고 있다[1],[2]. 휴대용 뇌파 바이오 피드백 장치는 뇌파를 신호처리해서 결과를 사용자에게 음향 및 진동 등으로 자극을 주어 안정된 상태로 만들어 주는 장치이다[3]. 이 장치에 피드백 출력제어 알고리즘을 탑재하여 음향 및 진동 등의 장치의 입력으로 사용되어지는 전압을 출력한다. 일반적으로 뇌파는 두피에 전극을 부착하여 획득하는데 전극의 부착 위치에 따라 외부 환경의 영향을 많이 받게 된다. 특히 전두엽에서 측정할 경우 피험자가 눈을 깜박거리거나 눈동자를 움직임에 의해서 뇌파는 안전도(EOG)에 의해 크게 왜곡되게 된다. 연구는 매우 큰 직류전위를 가지고 있기 때문에, 약간의 움직임만으로도 뇌파기록에 잡음으로 혼입되는 특성을 가지고 있다[4]. 따라서 피험자로부터 획득한 뇌파로부터 원하는 정보를 얻기 위해서는 먼저 순수 뇌파 신호를 추출해야 한다. 휴대용 바이오 피드백 시스템의 경우에도 피험자가 쉽게 사용할 수 있도록 전극의 탈 부착이 간편한 전두엽에서 신호를 획득하여야 하는데, 전두엽에 전극을 부착하게

되면 눈에서 가까운 거리이므로 안전도가 포함된 뇌파가 측정된다. 그러므로 전두엽에서 획득한 신호에서 안전도 제거는 필수적이다.

본 논문에서는 측정된 뇌파로부터 외부잡음을 제거하기 위해 실시간으로 신호처리가 가능하고 DSP 하드웨어에 적용하기가 용이한 적응필터를 제안하였으며 이를 Texas Instrument사의 TMS320C31 DSP칩이 장착된 DSP보드상에 탑재하여 수행하였다. 실험 결과, 제안한 적응필터가 뇌파의 외부잡음인 안전도를 효과적으로 제거할 수 있음을 확인하였다. 그리고 안전도가 제거된 순수한 뇌파 중에 알파파의 비를 계산하고 피험자에게 각기 다른 양의 자극을 주기 위해 주파수 분석을 통해 피드백 량을 결정하고 그 값을 피드백 시켜주는 시스템은 다른 하나의 TMS320C31 DSP보드를 사용하여 수행하였다.

II. 외부잡음 제거용 적응필터

적용필터는 입력신호를 받아서 원하는 신호로 처리해 가는 과정에서 적응학습법을 이용해서 원하는 신호와 일치하는 출력을 만들어 내는 필터이며 적응 알고리즘에는 LMS 알고리즘과 RLS 알고리즘을 비롯하여 많은 적응 알고리즘이 있다[5]. 이러한 알고리즘을 이용하여 adaptive noise canceller(ANC)와 adaptive line enhancer(ALE)를 만들 수 있다. ANC

는 하나의 입력신호와 별도의 기준신호를 이용하여 입력신호의 잡음성분을 없애는 방식을 사용하고, ALE는 하나의 입력신호와 시간의 지연을 둔 입력신호를 기준신호로 사용해서 신호대 잡음비를 향상시키는 방식이다[6],[7].

휴대용 바이오피드백 시스템의 특성을 고려하여 제안한 적응필터의 구조를 그림 1에서 보였으며 이 적응필터는 LMS 알고리즘을 기반으로 하는 ALE를 사용하였기 때문에 하나의 입력신호로서 그 입력신호를 처리 후 출력할 수 있으며 일반적인 적응필터와는 다르게 기준신호가 불필요하기 때문에 더 많은 채널을 구현할 수 있는 장점이 있다.

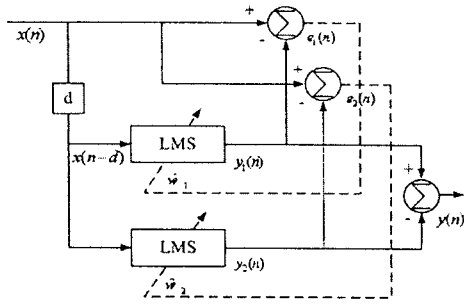


그림 1. 제안한 적응필터 블록도
Fig. 1. Block diagram of the adaptive filter.

DSP보드를 이용한 디지털 필터구조이므로 전처리부에서 통과한 입력신호에 대해서도 적응필터의 전단부에 추가적인 디지털 필터를 연결할 수 있으므로 60Hz잡음과 같은 외부잡음에 의한 영향도 효과적으로 제거할 수 있다[8]. low pass filter(LPF)를 사용하지 않은 이유는 ALE가 LPF의 특성을 가지고 있고, DSP부에 입력되어지는 신호는 아날로그 전처리부에서 일차적으로 필터링된 신호이기 때문이다. 그림 1에서 적응필터의 알고리즘에 사용된 수식들은 다음과 같다[5].

$$y_1(n) = \hat{w}_1^H(n)x(n) \quad (1)$$

$$e_1(n) = x(n) - y_1(n) \quad (2)$$

$$\hat{w}_1(n+1) = \hat{w}_1(n) + \mu_1 x(n) * e_1(n) \quad (3)$$

식 (1), (2) 및 (3)은 그림 1의 적응필터 상단의 LMS 알고리즘을 위한 식들이며 μ_1 는 수렴 상수 값이다.

$$y_2(n) = \hat{w}_2^H(n)x(n) \quad (4)$$

$$e_2(n) = x(n) - y_2(n) \quad (5)$$

$$\hat{w}_2(n+1) = \hat{w}_2(n) + \mu_2 x(n) * e_2(n) \quad (6)$$

$$y(n) = y_1(n) - y_2(n) \quad (7)$$

식 (4), (5) 및 (6)은 하단의 LMS 알고리즘을 요약한 것들이며, 식 (7)은 적응필터의 최종 출력을 위한 수식이다.

그림 2에서는 DSP 적응필터의 기본이 되는 LMS 알고리즘의 흐름도를 나타내고 있다.

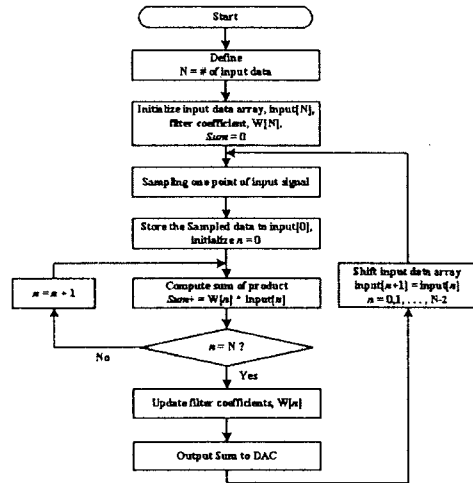


그림 2. 적응필터 알고리즘의 흐름도
Fig. 2. Flowchart of the adaptive filter algorithm.

III. DSP상에서의 제안한 적응필터의 수행 및 피드백 출력제어 알고리즘

제안한 적응필터의 TMS320C31 DSP상에서의 동작을 실현하기 위하여 알고리즘을 개발하였으며 이에 따른 프로그램을 코딩하였다. DSP수행에 관한 간단한 블록도를 그림 3에서 보였다. 먼저 전두엽 전극으로부터 측정된 뇌파는 적절한 전치증폭단을 통과하여 DSP보드상의 12bit A/D변환기에 입력된다. 입력된 신호는 디지털로 변환되어 DSP 코어에 입력되고 제안한 적응필터 알고리즘이 수행한 다음, 12bit D/A변환기를 통하여 아날로그 결과 신호를 출력한다. 전단의 제안한 적응필터에 의해 EOG성분을 제거시킨 순수한 EEG성분을 후단의 TMS320C31 DSP의 12bit A/D변환기에 입력한다. 순수한 EEG 성분에서 주파수 분석을 통해 알파파의 양을 계산하게 되고 그 양에 따라 시각, 청각, 촉각 자극기에 입력할 12bit D/A변환기의 출력을 쿼트를 하게 된다. 사용자는 전단의 DSP보드로부터 안전도가 제거된 뇌파를 관찰할 수 있을 뿐 아니라 후단의 DSP

보드로부터 뇌파의 알파파 비율 LCD를 통해 실시간으로 확인할 수 있으며 PC로 전송되어 뇌파의 주파수 특성을 관찰할 수도 있다.

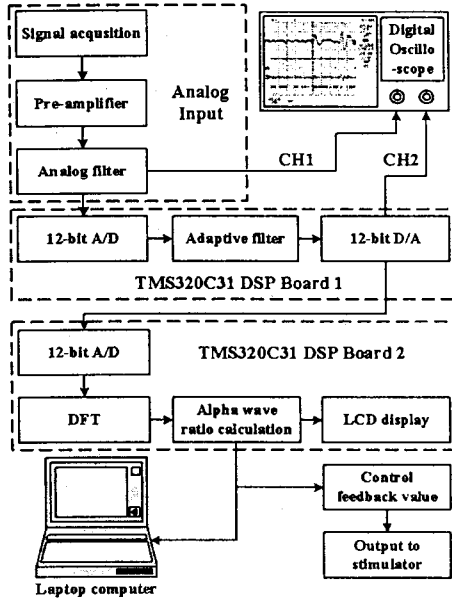


그림 3. DSP보드상에서의 수행 블록도
Fig. 3. Block diagram of implementation on DSP board.

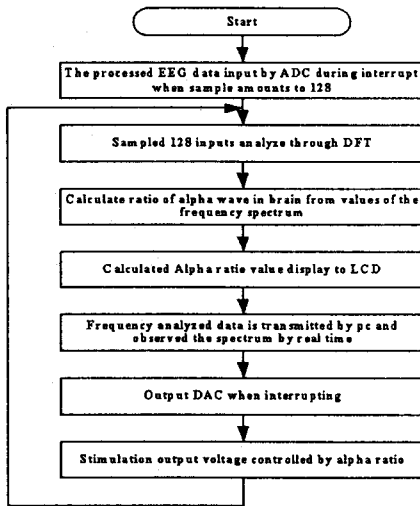


그림 4. 피드백 출력전압 제어 알고리즘
Fig. 4. The control algorithm for the feedback output voltage.

그림 4는 피드백 출력전압 제어 알고리즘 블록도를 보여주고 있다. 이는 제안한 적응필터 수행 후 출력되어지는 순수 뇌파에 대해서 후단의 TMS320C31 DSP를 이용하여 discrete fourier transform(DFT)로 주파수 특성을 계산해서 전체 뇌파에서 알파파의 비율을 계산한다. 그리고 후단의 DSP에서는 그 계산된 알파파의 비율을 이용하여 사용자가 안정된 상태로 만들어주기 위해 알파파를 증가시킬 수 있는 방향으로 자극을 주게 된다. 이때 피드백 되는 양을 3 채널 출력으로 제어하게 되며, 알파파 양에 따라 피드백 되는 전압의 크기를 DSP보드 안의 프로그램으로 제어하였다.

IV. 실험 결과

제안한 적응필터가 입력되어진 신호에 대해서 어떻게 처리되어지는지에 대해서 먼저 실험을 통해 알아보았다.

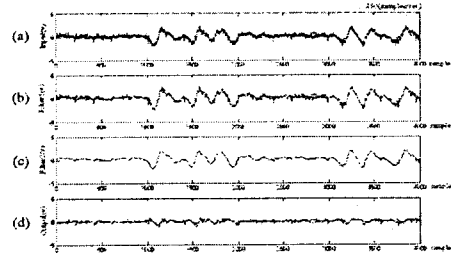


그림 5. 안정상태 전두엽에서의 신호처리: (a) 입력, (b) 적응필터 상단의 출력, (c) 적응필터 하단의 출력 및 (d) 제안한 모델의 최종출력
Fig. 5. Signal processing of the frontal lobe at the initial of stable state: (a) input, (b) output of the upper adaptive filter, (c) output of the lower adaptive filter, and (d) final output of the proposed model.

그림 5에서의 (a)는 안정상태에서의 피험자의 전두엽에서 16초 동안 눈을 자유롭게 깜박이게 해서 뇌파 및 안전도가 충분히 생성되게 한 후 획득되어진 신호이며, (b)는 LMS알고리즘의 적절한 수렴상수를 이용하여 전력선 잡음 및 외부잡음을 제거하고 안전도 및 뇌파성분만을 얻은 신호이다. (c)는 안전도만을 얻을 수 있게 신호처리 후 얻은 신호이며, 최종적으로 (d)에서는 (b)과 (c)의 차로부터 순수한 뇌파성분만을 얻게 된다.

그림 5와 같은 신호처리 과정을 가지는 제안한 적응필터를 이용하여 실시간으로 외부잡음을 효과적으로 제거할 수 있는지를 알아보기 위해 DSP보드에 탑재한 후 실험하여 그림 6과 같은 결과파형을 얻었다.

V. 결론

실험을 통해 제안한 적응필터의 성능을 평가해 보았으며 휴대용 바이오피드백 시스템에 필요한 피드백 출력제어 알고리즘과 제안한 적응필터를 TMS320C31 DSP보드에 탑재할 수 있게 되었다.

DSP보드를 이용함으로써 실시간 신호처리가 가능하고 피드백 출력제어 알고리즘으로 알파파의 비에 따른 피드백 출력량을 실시간으로 제어할 수 있으며 자극기의 입력전압으로 사용할 수 있게 되었다. 앞으로 바이오피드백 장치를 이용하여 사용자를 안정된 상태로 만들어질 수 있는 자극량을 찾아내어 더욱 정밀한 피드백 출력제어 알고리즘 개발이 필요하며, 뇌파에서 외부잡음을 완전히 제거하고 순수 뇌파만을 필터링할 수 있는 알고리즘 연구도 기대된다.

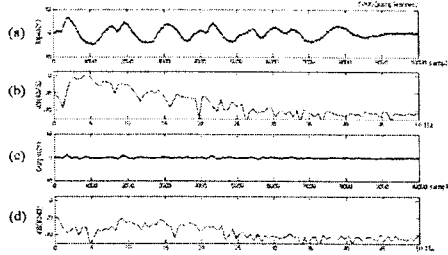


그림 6. DSP에서 실시간 처리 전후의 뇌파와 스펙트럼: (a) 입력, (b) 입력 스펙트럼, (c) 출력 및 (d) 출력 스펙트럼

Fig. 6. The EEG and spectrums on the DSP before and after real time processing: (a) input, (b) input spectrum, (c) output, and (d) output spectrum.

그림 6은 TMS320C31 DSP보드에 제안한 적응필터를 탑재하여 출력신호를 얻고 이를 디지털 오실로스코프로 측정된 결과를 보여주고 있다. 그림 6의 (a)는 전처리부를 통과하여 A/D변환기에 입력되는 뇌파이며, (c)는 DSP보드의 D/A변환기의 출력신호이다. 그리고 (b)와 (d)는 입력과 출력신호에 대한 각각의 스펙트럼이다.

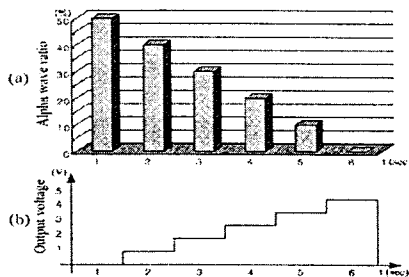


그림 7. 출력제어 알고리즘에 의한 피드백량: (a) 알파파의 비와 (b) 출력 전압

Fig. 7. The feedback value of the output control algorithm: (a) alpha wave ratio and (b) output voltage.

그림 7은 출력제어 알고리즘의 피드백량의 변화를 그래프화한 것인데, 그림 4에서 설명되었던 피드백 출력제어 알고리즘에 의해 (a)의 알파파의 비가 계산되어진다. DSP보드에서는 알파파의 비에 맞는 적절한 값을 생성하여 D/A를 통해 출력전압을 내보내게 된다. 그 출력전압이 (b)에서 보이는 값들이며 이는 휴대용 바이오피드백 장치의 자극기에 사용하게 될 입력전압이 되는 것이다.

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2001-00489)지원으로 수행되었음.

참고문헌

- [1] J. M. James, "Micro-computer in Biofeedback," *Computer Application in Medical Care Proceedings, the second annual symposium*, pp. 122-124, 1978.
- [2] J. J. Carr, J. M. Brown, *Introduction to Biomedical Equipment Technology*, Prentice Hall, 1998.
- [3] 성기웅, 조진호 외5인, "휴대용 EEG 바이오 피드백 시스템의 구현," *신호처리 합동 학술대회 논문집*, 제 12권, 제 1호, pp. 659-662, 1999년.
- [4] 김대식 외1인, *뇌파 검사학*, 고려화학, pp. 69-180, 2001년.
- [5] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, New Jersey : Prentice Hall, 3rd ed, pp. 338-587, 1996.
- [6] W. Philips, "Adaptive base line correction of EEG using warped polynomials," *IEEE-EMBC and CMBEC, Theme 4: Signal Processing*, vol. 2, pp. 853-854, Sep. 1995.
- [7] S. Selvan and R. Srinivasan, "Removal of ocular artifacts from EEG using an efficient neural network based adaptive filtering technique," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 6, no. 12, pp. 330-332, Dec. 1999.
- [8] W. J. Tompkins, *Biomedical Digital Signal Processing*, New Jersey: Prentice Hall, pp. 110-145, 1996.