

뇌전기파 분석용 FFT 프로세서 설계

김은숙* · 김해주* · 나영현* · 신경욱*

*금오공과대학교 전자공학과

A design of FFT processor for EEG signal analysis

Eun-suk Kim* · Hae-ju Kim* · Young-heon Na* · Kyung-wook Shin*

*School of Electronic Eng., Kumoh National Institute of Technology

E-mail : k_es@kumoh.ac.kr

요 약

본 논문에서는 의료 서비스를 위한 뇌전기파(EEG : electroencephalogram) 신호 분석용 FFT(Fast Fourier Transform) 프로세서를 구현하였다. 실시간으로 발생하는 긴 신호를 short-time FFT 처리하기 위해 Hamming 창 함수를 사용하였으며, 이로 인해 감소되는 양끝의 값은 1/2 오버랩 시켜주어 보완하였다. 0~100[Hz] 사이의 주파수 특성을 가지는 뇌전기파의 효율적인 대역 분석을 위해 256-point FFT 프로세서를 radix-4 알고리즘을 적용하여 구현하였고, 단일 메모리 뱅크 구조를 사용하여 집적도를 높였다. 설계된 FFT 프로세서는 연산오차가 3% 이내로 높은 연산 정밀도를 갖는다.

ABSTRACT

This paper describes a design of fast Fourier transform(FFT) processor for EEG(electroencephalogram) signal analysis for health care services. Hamming window function with 1/2 overlapping is adopted to perform short-time FFT(ST-FFT) of a long period EEG signal occurred in real-time. In order to analyze efficiently EEG signals which have frequency characteristics in the range of 0 Hz to 100 Hz, a 256-point FFT processor based on single-memory bank architecture and radix-4 algorithm is designed. The designed FFT processor has high accuracy with arithmetic error less than 3%.

키워드

EEG signal analysis, FFT, Short-Time FFT, Spectral analysis, Hamming Window

1. 서 론

뇌전기파(EEG : electroencephalogram)는 인간의 뇌에서 발생하는 전기적 신호로서 0.1~ 100Hz 범위의 주파수와 수십 μ V의 크기를 갖는다. 이는 대뇌 피질의 전기적 활동을 측정하여 뇌의 기능적 결함을 관찰할 수 있도록 해주는 것으로 1929년 Hans Berger가 처음으로 사람을 대상으로 뇌전기파를 측정된 이후 현재까지 임상에서 널리 사용되고 있다.^[1]

뇌전기파는 그림 1과 같은 국제 10-20 방식으로 총 21개의 도금된 전극에서 얻어진다.^[2] 정량화된 뇌전기파는 각 전극에서 얻어진 아날로그

신호를 디지털 신호로 바꾸어 기록되며, 한 채널에서 최고 초당 100회 이상의 표본을 추출하여 디지털 신호로 변환시켜 저장된 후 각종 분석방법을 통하여 처리된다. 처리 방법으로는 스펙트럼 분석, 비선형 동적 분석, 프랙탈 분석 등이 있으며, 현재까지 스펙트럼 분석이 가장 전통적인 분석 방법이다. 스펙트럼 분석은 푸리에 변환을 통하여 처리하는 것으로 뇌전기파의 빠른 분석을 위해 FFT 프로세서에 대한 연구 및 개발이 필요하다. 상용화된 뇌전기파 분석 장비들은 대부분 소프트웨어기반의 스펙트럼 분석방법을 사용하고 있으며, FFT 프로세서를 이용한 하드웨어 기반의 분석 장비는 거의 미미한 실정이다.

2.2 Matlab을 이용한 FFT 모델링

설계된 FFT 프로세서의 연산정밀도 분석을 위해 Matlab을 이용한 FFT 모델링과 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 3-(a)는 뇌전기와 검출기로 측정된 EEG 신호(2초 분량)이며, 1/2 오버랩을 갖는 Hamming 창 함수 적용결과는 그림 3-(b)와 같다. 그림 3-(c)는 windowing을 거친 신호에 대한 FFT 연산결과를 보이고 있으며, 뇌전기와 주파수 대역인 0~100[Hz]에서 신호가 검출되었고, 0~50[Hz] 사이에서 큰 성분이 검출됨을 보이고 있다.

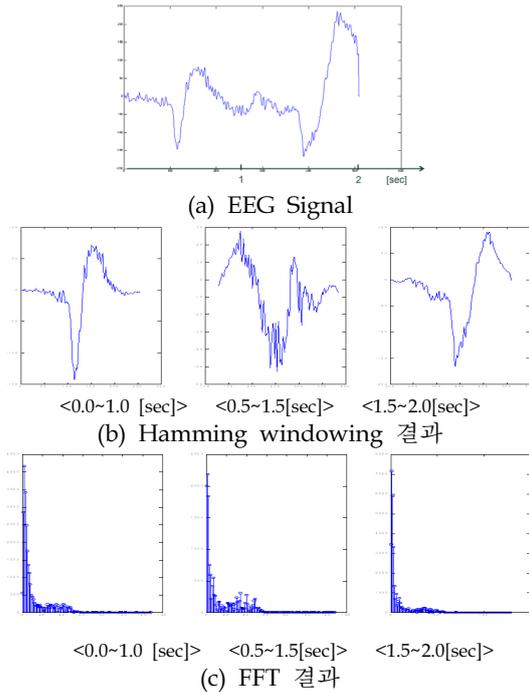


그림 3. Matlab 모델링을 이용한 EEG 신호의 FFT 분석 결과

III. 뇌전기파 분석용 FFT 프로세서 설계

설계된 FFT 프로세서의 구조는 그림 4와 같다. 단일 메모리 구조를 기반으로 하며, 데이터 입력 타이밍을 위한 입력버퍼(IN_BUF), Hamming 창 함수 값이 저장된 HW_Rom, 창 함수 오버래핑을 위한 버퍼(Win_BUF), 오버랩된 데이터에 창 함수를 곱하는 곱셈기(MUL), FFT 연산을 위한 입력 버퍼(INB), radix-4 나비연산기(BFU), 복소수 승산기(CMUL), 격자계수 생성기(TF_Gen), 2단계 조건적 scaling을 위한 CSB_1st와 CSB_2nd, dual-port 메모리 뱅크, 그리고 이들 블록의 동작을 제어하는 제어블록(CLU) 등으로 구성된다.

HW_Rom은 256개의 Hamming 창 함수 값을 10비트로 저장하는 320bytes 크기의 ROM이며, Win_BUF에 저장된 EEG 데이터와 곱셈기로 곱해진다. Windowing 과정에서 작아지는 양끝 신호

를 보완하기 위해 256개 데이터 중 뒤의 128개 데이터를 Win_BUF에 저장하여 오버랩 시킨다.

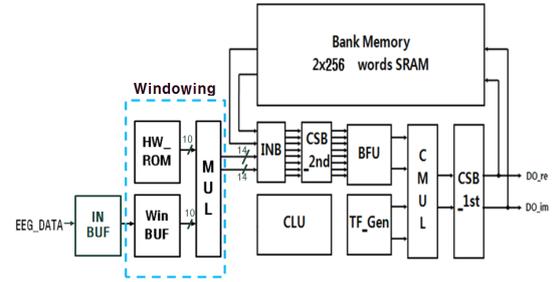


그림 4. 뇌전기파분석용 FFT 프로세서 구조

FFT 프로세서는 저면적 구현을 위하여 하나의 나비 연산기와 하나의 복소수 승산기만 사용하며, 중간결과 값을 단일 메모리에 저장하기 위하여 in-place 방식의 메모리 주소를 사용한다. 복소수 승산기는 RB(Redundant Binary) 수 체계를 기반으로 radix-4 Booth 인코딩과 RB 부분곱 변환을 사용하여 구현함으로써 고속 동작이 가능하도록 하였다. 또한 2단계 조건적 스케일링(TS_CS) 방법을 적용하여 연산정밀도를 향상시켰다.^[4]

Radix-4 나비 연산기는 그림 5와 같이 3개의 가산/감산기와 실수부-허수부를 교환하는 swap 블록 2개로 구성된다. 저면적 구현을 위해 하나의 복소수 승산기만 사용되므로 radix-4 나비연산이 4 클럭 사이클에 연산되도록 설계되었다. 설계된 radix-4 나비 연산기의 시뮬레이션 결과는 그림 6과 같으며, 논리기능이 정상 동작함을 확인하였다.

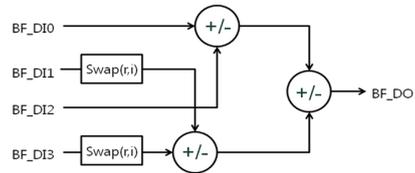


그림 5. Radix-4 나비연산기

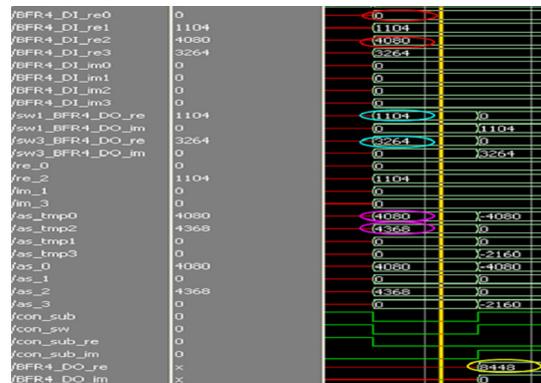


그림 6. Radix-4 연산 블록의 시뮬레이션 결과

그림 7은 설계된 FFT 프로세서의 기능검증 결과이다. 256개의 데이터 입력이 완료된 시점부터 FFT 연산이 완료되어 첫 번째 데이터가 출력되기 까지 2054 클럭 사이클이 소요되었다.

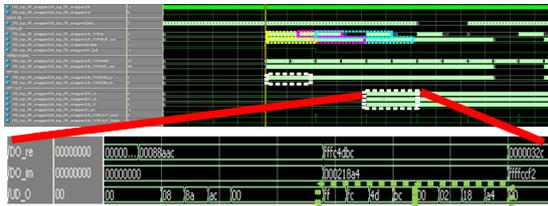


그림 7. 설계된 FFT 프로세서 시뮬레이션 결과

IV. 성능 분석

설계된 FFT 프로세서의 연산정밀도 분석은 Matlab 시뮬레이션에 의한 부동소수점 FFT 결과와 설계된 프로세서의 Modelsim 시뮬레이션 결과를 이용하여 그림 8의 과정으로 수행되었다. 성능분석에 사용된 신호 샘플에 대한 연산 오차는 그림 9와 같다. 샘플1과 샘플4에서 아주 작은 값에 대해 발생된 %Error가 크게 나타났으나, 이는 작은 값이 갖는 비율적 오차로써 스펙트럼에 미치는 영향은 매우 작다. FFT 연산결과의 스펙트럼에 대한 오차분석 결과는 그림 10과 같으며, 전체 스펙트럼 영역에 걸쳐 최대 오차가 3% 미만, 평균 오차 0.1668%로 높은 연산정밀도를 갖는다.

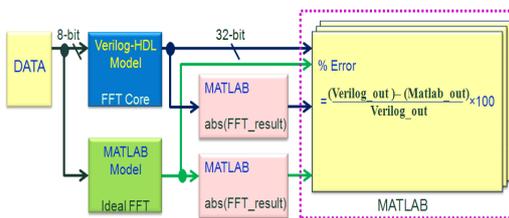


그림 8. 연산정밀도 분석 방법

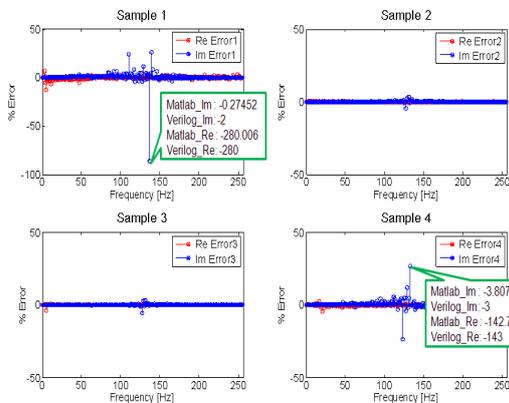


그림 9. 연산정밀도 분석 결과

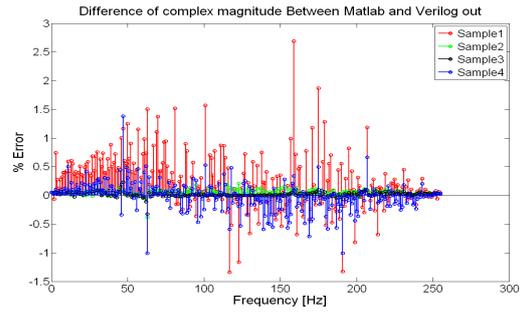


그림 10. 스펙트럼의 연산 오차 분석

V. 결론

의료 서비스를 위한 뇌전기파 분석용 FFT 프로세서를 설계하였다. 실시간으로 발생하는 긴 신호를 처리하기 위하여 Hamming 창 함수를 사용하였고, 이로 인해 감소되는 양 끝의 값을 1/2 오버랩 해줌으로써 보완하였다. 설계된 FFT 프로세서는 연산오차가 3% 이내로 높은 연산 정밀도를 가져 뇌전기파 신호분석에 적합한 것으로 평가되었으며, ADC와 필터 등이 포함된 단일 칩으로 개발될 예정이다.

참고문헌

- [1] E. Niedermeyer and F. Da Silva, *Electroencephalography: Basic Principle, Clinical Applications, and Related Fields*, 3rd, Williams & Wilkins, Baltimore, 1993.
- [2] P.F.H., T. Sannit, *A review of the international tentwenty system of electrode placement*, Grass Instrument Company, 1974.
- [3] B. M. Baas, "A low-power, high-performance, 1024-point FFT processor," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 24, no. 3, pp. 380-387, Mar. 1999.
- [4] 임창완, *다중 표준 OFDM 시스템용 가변길이 FFT/IFFT 프로세서 설계*, 금오공과대학교 대학원, 2009.

※ 본 논문은 2010년 IT SoC 공동 연구 프로젝트 지원에 의한 연구 결과의 일부임.