
신경망을 이용한 적응 다중 대역 필터 설계

이건기* · 이주원* · 김광열** · 방만식*** · 이병로**** · 김영일*

A Study on Adaptive Filter Bank using Neural Networks in Time Domain

G.K Lee* · J.W Lee* · G.Y Kim** · M.S Pang*** · B.R Lee**** · Y.I Kim*

요 약

본 연구에서는 적응 필터 뱅크와 유사한 신경망을 이용한 시간영역에서의 새로운 필터뱅크(뉴럴 필터 뱅크)와 필터 창 함수를 가진 새로운 필터 뉴런을 제안하였다. 제안된 뉴럴 필터 뱅크의 성능을 검증하기 위해 두 가지의 예를 들어 실험하였다. 실험에서 제안된 기법은 기존의 방법인 주파수 영역에서의 필터 뱅크 보다 간단한 구조와 고속처리가 가능한 특성을 보였다. 따라서 제안된 방법은 시간 영역에서의 신호의 특징 검출에 있어 높은 성능을 제공할 것으로 사료된다.

ABSTRACT

In this study, we propose the new filter bank that is adaptive filter bank using neural networks in time domain. Also, we proposed a new filter neuron as neuron with filter window, the structure and algorithm for filter banks. The performance of neural filter banks is shown from two examples. It show characteristics the simple structure and higher speed processing than traditional methods (filter banks in frequency domain, etc.). In many applications, the proposed method will provide the high performance to features detection of signals in time domain.

키워드

Adaptive Neural Filter Bank, Filter Neuron, Hamming Window

*경상대학교 전자공학과

***진주국제대학교 전자통신공학과

접수일자 : 2003. 3. 21

**마산대학 자동차학과

****진주산업대학교 전자공학과

1. 서 론

모든 신호에는 원치 않는 잡음들이 포함되어 있으므로 이러한 잡음들은 반드시 제거되어야 하기 때문에 이를 위한 연구는 현재에 이르기까지도 지속적으로 연구되고 있다. 이들의 연구 결과로 설계되어진 필터들은 좋은 성능을 가지고 있으나 대부분의 필터뱅크는 주파수 영역에서 신호처리 및 분석이 이루어지고 있는 실정이다. 하지만 모든 신호들은 시간영역에서 존재하기 때문에 일반적인 신호를 주파수영역에서 처리하기 위해서는 주파수영역으로 변환을 하여 처리하여야 한다. 이는 시간영역에서 처리하는 경우보다 두 단계를 더 거쳐야 하는데, 먼저 시간영역에 존재하는 데이터를 주파수 영역으로 변환하여야 하고 신호처리 과정을 거친 후 다시 주파수 영역에서 시간영역으로의 역 변환이 필요하다. 이러한 변환과정은 전체적인 신호처리 구조를 복잡하게 하고, 변환과정에서 발생하는 에러가 신호처리과정이나 출력신호에 영향을 미치기 때문에 상당한 주의해야 할 뿐 만 아니라 실제로 상당한 에러를 발생시키고 있는 실정이다 [1,3,4]. 또한 시간영역에서 주파수영역으로 변환되어지면 대부분이 복소수 형태로 주어지기 때문에 처리량이 증가하여 신호처리 시간이 증가되고 허수부분 처리에 곤란하다는 문제점을 내포하고 있다 [1,3,4]. 이러한 단점을 보완하기 위하여 본 연구에서는 기존의 필터뱅크 단점인 신호처리의 구조적인 복잡성과 처리속도의 저하를 개선하기 위하여 시간영역에서 신경회로망[6]을 이용한 적응필터뱅크의 구조 및 새로운 필터 뉴런을 설계하였고, 그 성능을 분석하기 위해 60[Hz] 신호 필터링과 생체신호인 심전도신호[7]의 전원 잡음 필터링을 한 결과를 제시하였다.

II. 본 론

1. 필터뉴런(Filter Neuron)

본 연구에서는 신경망을 이용하여 시간영역에서의 적응필터뱅크(Adaptive Filter Bank Neural Network)를 위한 필터 뉴런을 제안하고, 그 구조는 그림 1에 나타내어 정의하였다. 필터 뉴런은 FIR 필터[8]의 해

밍 창 함수(Hamming Window Function)을 가지는 BPF(Band Pass Filter)이며, 뉴런의 가중치는 해밍 창으로부터 얻은 필터 계수이다. 뉴런의 연산은 뉴런의 가중치와 입력과의 Product 연산을 하며, 뉴런 내부의 소마(soma)는 가중치와 입력의 적산 결과를 모두 합하여 활성화(activation function) 함수에 의해 출력된다.

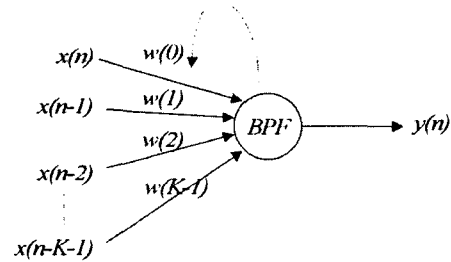


그림 1. 제안된 필터 뉴런
Fig. 1. Filter Neuron

즉, 그림1에서 $X(i)$ 는 뉴런의 i 번째 입력, W_i 는 뉴런의 가중치(weight)인 필터 계수, 활성화 함수 f 는 기울기가 1인 선형함수로 정의하였다. 정의된 필터 뉴런의 출력은 다음의 식으로 표현된다.

$$W(n) = [0.54 - 0.46 \cos(\frac{2\pi n}{N-1})] \cdot \frac{\sin(f_H(n-M)) - \sin(f_L(n-M))}{\pi(n-M)} \quad (1)$$

$$net = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W(n) \quad (2)$$

$$y = f(net) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W(n) \quad (3)$$

여기서 $W(n)$ 은 n 번째 필터 차수이고, M 은 필터 차수 N 의 $(N-1)/2$ 인 값이다. 그리고 f_L 과 f_H 는 BPF 차단주파수의 저역과 고역부분인 각주파수이다. 필터 뉴런의 출력 y 는 시간영역에서 입력과 필터 창과의 컨볼루션(convolution)한 결과를 제공하며, 필터 뉴런의 학습으로부터 f_L 과 f_H 를 적용시킨다.

2. 다중-대역 뉴럴 필터뱅크

(Multi-Band Neural Filter Bank)

필터뉴런을 이용하여 3층 구조를 가진 필터뱅크를 제안하고, 그 구조는 그림 2에 나타내었다.

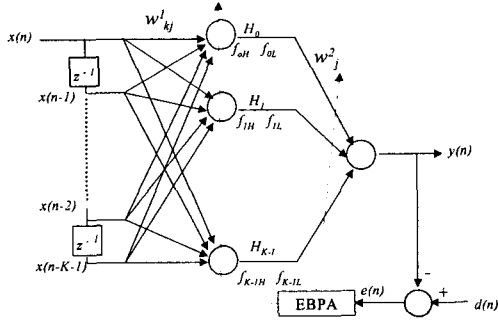


그림 2. 제안된 적응 다중 대역 뉴럴 필터뱅크의 구조
Fig. 2 The structure of the proposed Adaptive Multi-Band(Multi-Layer) Neural Filter Bank.

입력뉴런은 입력 신호 벡터 x 를 은닉층으로 전달하는 기능의 더미(dummy) 뉴런이다. 입력뉴런의 출력 $I(n)$ 은 다음의 식으로 표현된다.

$$x = [x(n), x(n-1), \dots, x(n-N+1)] \quad (4)$$

$$I(i) = x(n-i) \quad i=0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (5)$$

여기서 $x(n)$ 은 n 번째 샘플링한 값이며, N 은 필터의 차수이다. 은닉층 뉴런은 필터뉴런들이며, 출력은 식(6)으로 표현된다.

$$H_k = \sum_{i=0}^{N-1} [0.54 - 0.46 \cos(\frac{2\pi i}{N-1})] \cdot [\sin(f_{kH}(i-M)) - \sin(f_{kL}(i-M))] / \pi(i-M) \cdot I(i) \quad (6)$$

$$k=0, 1, 2, \dots, K-1$$

여기서 K 는 필터 뱅크의 수, N 은 필터의 차수이다. 뉴럴 필터 뱅크의 출력인 신경망의 출력층은 선형 활성화 함수를 가지며, 출력층 가중치 W_k 는 필터뱅크의 출력인 H_k 를 합성하여야 하므로 1로 설정한 층(layer)이다. 필터뱅크의 최종출력은 식(7)로 나타낼 수 있다.

$$y = f(net) = \sum_{k=0}^{K-1} H_k W_k \quad (7)$$

출력 y 로부터 바라는 필터뱅크의 응답 $d(n)$ 과의 오차 E 로부터 f_{kL} 과 f_{kH} 를 적응시키기 위해

LMS(Least Mean Square) 알고리즘 이용하여 f_{kL} 과 f_{kH} 의 변화량 Δf_{kL} 과 Δf_{kH} 는 다음의 식으로 표현된다.

$$e(n) = \frac{1}{2} [d(n) - y(n)]^2 \quad (8)$$

$$\Delta f_{kL} = -\eta_1 \frac{\partial e(n)}{\partial f_{kL}} \quad (9)$$

$$= -\eta_1 \frac{\partial E}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial H_k} \frac{\partial H_k}{\partial f_{kL}}$$

$$= \eta_1 \sum_{k=0}^{N-1} W_k \cdot \frac{0.54 - 0.46 \cos(2\pi i / (N-1))}{\pi} \cdot \frac{\cos(f_{kL}(i-M))}{\pi} I(i)$$

$$\Delta f_{kH} = -\eta_2 \frac{\partial e(n)}{\partial f_{kH}} \quad (10)$$

$$= -\eta_2 \frac{\partial E}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial H_k} \frac{\partial H_k}{\partial f_{kH}}$$

$$= -\eta_2 \sum_{k=0}^{N-1} W_k \cdot \frac{0.54 - 0.46 \cos(2\pi i / (N-1))}{\pi} \cdot \frac{\cos(f_{kH}(i-M))}{\pi} I(i)$$

식(9),(10)에서 사용된 η_1, η_2 는 학습상수이다.

3. 필터 뱅크 추출

뉴럴 필터 뱅크의 학습이 종료되었을 경우, 불필요한 필터 뱅크의 제거가 필요하다. 따라서 제거 알고리즘은 다음과 같다.

- ① $f_{kL} \geq f_{kH}$ 이면, $W_k = 0$
- ② $f_{kL} < 0$ 이면, $f_{kL} = 0$
- ③ $f_{kH} > \pi$ 이면, $f_{kH} = \pi$

III. 실험 및 결과

본 연구에서 제안한 방법으로 두 가지의 신호를 실험을 대상으로 제안된 필터뱅크의 수렴 특성과 필터링 특성과 알고리즘의 성능을 검증하였다. 먼저 첫 번째 실험에서 입력 신호가 식(11)과 같을 때 뉴럴 필터뱅크의 출력을 그림 3에 나타내었다. 여기서 $S(n)$ 은

입력신호, $d(n)$ 바라는 필터응답 신호이다. 그리고 샘플링 주파수 f_s 는 1[KHz], 학습상수는 각각 0.0001, 필터 차수는 80, 필터 뱅크 수는 3개로 설정하여 실험하였다.

$$S(n) = \sin(2\pi 60[Hz]t) + 0.5 \cos(2\pi 200[Hz]t) + 0.3 \sin(2\pi 20[Hz]t) \quad (11)$$

$$d(n) = \sin(2\pi 60[Hz]t)$$

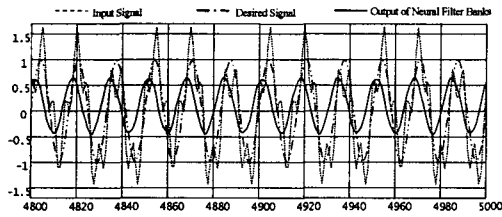


그림 3. 제안된 뉴럴 필터 뱅크의 출력
Fig. 3. Output of the proposed Neural Filter Bank

그림 3의 출력에서 필터 뱅크의 출력 $y(n)$ 은 바라는 필터 응답신호보다 진폭이 작게 나타났고, 필터 차수와 필터뱅크 수가 많을수록 수렴속도가 늦다는 것을 실험으로 알 수 있었다. 두 번째 예로 생체 신호인 심전도 신호에 60[Hz] 전원 잡음을 첨가한 그림 4의 신호(식(12))를 뉴럴 필터뱅크에 인가하여 필터링한 특성을 관측하였다. 특히 심전도 신호는 20~300Hz 대역 내에 모든 정보가 포함되고 있고, Q파와 P파의 주파수 대역과 전력선 잡음 주파수(60[Hz])가 동일하기 때문에 필터링시 그 왜곡을 최소화하여야 한다[7]. 이러한 심전도 신호의 필터링 조건을 따른 본 연구에서 제안한 필터 뱅크의 출력을 관측하였다.

$$S(n) = ECG(n) + 0.5 \sin(2\pi 60[Hz]t) \quad (12)$$

$$d(n) = ECG(n)$$

실험에서 필터의 각 파라미터는 필터 차수 10차, 샘플링 주파수는 200[Hz], 필터뱅크의 수는 5개, 학습상수는 각각 0.01로 설정하였으며, 실험 결과를 그림 5에 나타내었다.

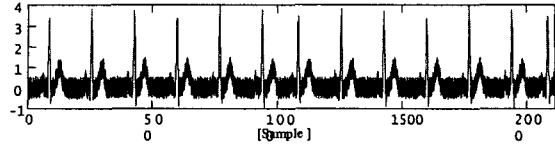


그림 4. 적응 필터 뱅크의 입력인 60Hz 전력선 잡음을 포함한 심전도 신호
Fig. 4 Input Signal of the Neural Filter Bank (ECG signal + Power Source Noise)

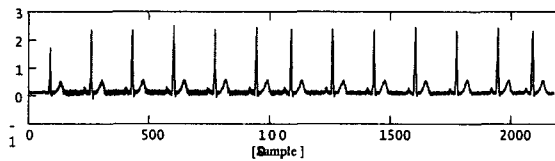


그림 5. 심전도 신호 입력에 대한 제안된 적응 필터뱅크의 출력
Fig. 5 Output of the proposed Neural Filter Bank to the ECG Signal

그림 5에서 심전도 신호의 필터링한 결과를 P파와 Q파의 특징점에 대한 평균 오차가 0.013V로 나타나 심전도의 전력선 잡음 제거에 우수한 성능을 보였다.

IV. 결론

본 연구에서는 인공지능 기법중의 하나인 신경망을 이용하여 시간영역에서의 필터 뱅크(Filter Bank)설계를 위한 필터 뉴런과 다층 필터뱅크의 구조 및 알고리즘을 제안하였다. 알고리즘의 성능분석을 위해 두 가지의 예제를 통하여 그 성능을 입증하였다. 실험 결과에서 필터차수와 필터 뱅크의 수가 증가할수록 수렴 속도가 다소 늦어지는 특성이 나타났으며, 일반적인 디지털 필터의 차수보다 적은 차수를 가져도 복잡한 신호의 필터링은 우수한 성능을 보였다. 그리고 기존의 필터뱅크의 단점인 구조의 복잡성 및 처리 속도를 향상을 새로운 구조를 제안하였다. 그리고 본 연구의 알고리즘은 시간영역에서 관측하고자하는 신호의 특징점 검출에 있어 우수한 성능을 제공할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] S. Sandeep Pradhan, V. U. Reddy, "A New Approach to Subband Adaptive Filtering", IEEE Trans. on Signal Processing, Vol. 47, No. 3, 1999.
- [2] Ozer Gifcioglu, "From Neural to Wavelet Networks", NAFIPS, p894-p898, 1999.
- [3] Yoshito Higa, Hiroshi Ochi, "A Subband Adaptive Filter With the Statistically Optimum Analysis Filter Bank", IEEE Trans. on Circuit and Systems, Vol. 45, No. 8, 1998.
- [4] Bryan E. Usevith, "Adaptive Filtering Using Filter Banks", IEEE Trans. on Circuit and Systems Vol. 43, No. 3, 1996.
- [5] Jun Liao, Meng Joo Er. "A non-iterative structure learning algorithm for fuzzy neural networks", ICARCV '98, p1132-p1235, 1998.
- [6] Jacek M. Zurada, Introduction to Artificial Neural Systems, West Publishing Company, 1992.
- [7] Metin Akey, Biomedical Signal Processing, Academic Press, 1994.
- [8] Sophocles J. Orfanidis, Introduction to Signal Processing, Prentice-Hall, 1996.

저자소개

이건기(Gun-Ki Lee)

1985년 ~ 현재 : 경상대학교 전자공학과 교수/경상대학교 공학연구원 소장
 기타약력 : 학회논문 Vol. 3, No. 1 참조
 ※관심분야 : 디지털신호처리, 생체신호처리

이주원 (Ju-Won Lee)

2003년 2월 : 경상대학교 전자공학과 공학박사
 기타약력 : 학회논문 Vol. 3, No. 1 참조
 ※관심분야 : 지능형 신호처리 알고리즘, 생체신호처리, 인공지능

김광열(Gwang-Yull Kim)

1999.3 ~ 현재 : 경상대학교 전자공학과 박사과정/마산대학 자동차과 교수
 기타약력 : 학회논문 Vol 5, No. 5 참조
 ※관심분야 : 자동차 소음분석 및 신호처리, 현가장치 제어

방만식(Man-Sik Pang)

현재 : 진주국제대학교 컴퓨터 전자공학과 조교수
 기타약력 : 학회논문 Vol 6, No. 8 참조
 ※관심분야 : 음성 신호처리, 지능형 음성 신호 클러스터링

이병로(Byung-Ro Lee)

현재 : 진주국제대학교 컴퓨터 전자공학과 조교수
 기타약력 : 학회논문 Vol 6, No. 8 참조
 ※관심분야 : 무선통신, 멀티미디어 이동통신, 적응 변조, 멀티캐리어 시스템

김영일 (Young-Il Kim)

1987년 ~ 현재 : 경상대학교 전자공학과 교수/경상대학교 공학연구원 연구원
 기타약력 : 학회논문 Vol. 3, No. 3 참조
 ※관심분야 : 디지털신호처리, 음성신호처리