

LPC cepstrum 계수를 이용한 근전도 신호의 동작판별

◦ 정태운, 박삼희, 김용래, 왕문성, 최윤호, 변윤식

◦ 연세대학교 전기공학과 * 인천대학교 전자공학과

EMG signal identification using LPC cepstrum coefficients

T.Y.Chung, S.H.Park, H.R.Kim, H.S.Wang, Y.H.Choi, Y.S.Byun
 ◦ Yonsei Univ. * Incheon Univ.

Abstract

In this paper, we deal with the movements identification of EMG signals by LPC cepstrum coefficients. Movements were identified by extration of characteristics of similar patterns in Euclid distance measurement method for EMG signals generated by voluntary contractions of subject's musculature. As number of coefficients is larger, we obtain the better rate of movements identification. By exact extration of signals and decision of optimal coefficient, it is expected that these results will apply to prosthesis control in real-time.

1. 서론

최근 로보트 공학과 이에 대한 마이크로 프로세서의 응용이 급속히 발달함에 따라, 인간-기계 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 인간-기계 시스템에 대한 연구의 궁극적 목적은 인간의 행동시에 발생하는 생체 신호를 기계의 제어원으로 사용하여 기계가 인간의 의지 대로 움직일 수 있도록 하는 데 있다. 그 중에서도 EMG 신호는 인간이 근육을 수축시킬 때 발생하는 전기적인 신호이며, 따라서 인간의 의사를 직접적으로 표현하는 신호원으로 생각할 수 있으므로 2차 대전 이후, 사지가 절단되거나 마비된 전상관자들을 대상으로한 재활공학(rehabilitation engineering)의 일환으로 EMG 신호처리를 이용한 인공보조장치, 즉 보철(prothesis)에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. EMG 신호를 보철 제어에 적용하기 위하여 선행되어야 할 문제는 EMG 신호로부터 잡음을 제거하고 필요한 신호 정보를 추출하여 각 기능에 대응하는 EMG 신호를 분리하는 것이다.

현재까지 진행된 보철 제어를 위한 EMG 신호처리에 관한 연구는 Graupe 등의 시계열분석을 이용한 기능분리¹⁾, Saridis 등의 패턴인식을 이용한 기능분리²⁾, Doerschuk 등의 자기상관 함수와 상호상관 함수를 이용한 기능분리³⁾, Kwatny 등의 전력 spectrum 밀도와 상관관계를 이용한 방법⁴⁾ 등이 있으나 위 방법들에는 각각 여러가지 문제점이 있어 새로운 이론과 알고리즘이 계속 연구되고 있다⁵⁾.

따라서 본 연구는 신호처리의 여러 분야에 응용되어 왔던 homomorphic signal processing의 LPC cepstrum 계수를 이용한 EMG 신호의 기능분류 및 동작판별에 관한 알고리즘을 제시하여 EMG 신호의 기능을 좀 더 빠르고 정확하게 분류, 동작을 판별하고자 한다.

II. LPC cepstrum 계수

homomorphic 신호처리는 영상 개선 및 음성 인식등 여러분야에 응용되어 왔다⁶⁾ 특히 cepstrum은 중복된 신호의 분리를 위하여 1963년부터 연구되어 왔다. 본 연구에서는 EMG 신호의 데이터 압축과 충분한 spectrum 정보의 반영이라는 면에서 LPC cepstrum 계수를 이용하여 EMG 신호의 기능을 분리, 동작을 판별하였다.

EMG 신호를 해석하는데 있어서의 시스템 모델링 으로서는 AR 모델(Autoregressive Model)이 타당한 것으로 알려져 있다. 즉 Nyquist 등간격으로 샘플된 EMG 신호사이에는 상관관계가 있으므로 현재의 근전도 신호를 예측할 때 과거 샘플값의 선형조합으로 추정할 수 있게 된다. 선형예측법에는 자기상관 또는 Yule-Walker 방법, 공분산 방법, Burg 방법등이 있으며, 본 연구에서는 신호의 안정성과 실시간적인 면을 고려하여 Yule-Walker 방법을 이용하여 선형예측 계수를 구하였다. LPC cepstrum은 선형예측계수를 통하여 다음과 같이 얻어진다.

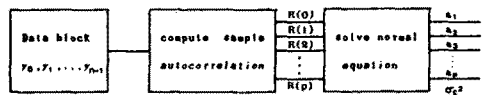


그림 1 Yule-Walker 알고리즘

AR model을 취하였을 때 EMG 신호의 추정값과 현재값 사이의 전달함수는

$$H(z) = \sum_{i=1}^p a_i z^{-i} \quad (1)$$

이다. 이때 $\ln |H(1/z)|$ 는 단위원 안에서 해석적이다. 또 식 (1)을 Laurent expansion으로 유도하여 Taylor 급수로 전개하면 다음과 같다.

$$\ln(\sqrt{\alpha}/H(z)) = \ln(\sqrt{\alpha}) - \ln |H(z)| \\ = \ln(\sqrt{\alpha}) + \sum_{i=1}^M c_i z^{-i} \quad (2)$$

여기서 $\alpha = \epsilon_{\min}$

식 (2)를 z^{-1} 에 대하여 미분하고 z^{-1} 를 곱하면

$$-\sum_{i=1}^p a_i z^{-i} = \sum_{i=0}^p a_i z^{-i} \sum_{i=1}^M kc_i z^{-i} \quad (3)$$

가 된다. 따라서 LPC cepstrum 계수는 다음과 같다.

$$c_0 = \ln E_{min}$$

$$c_i = -a_i - \frac{1}{i} \sum_{k=1}^{i-1} kc_k a_{i-k} \quad i < i < p \quad (4)$$

$$c_i = -\frac{1}{i} \sum_{k=1}^p [(i-k)c_{i-k}] a_k \quad i > p$$

III. ENG 신호의 기능 분리 및 인식 방법

1. 실험 방법

ENG 신호를 추출하여 각 기능에 대한 신호를 식별하는 전체 시스템 블록선도는 그림 2와 같다. ENG 신호는 이두 박근과 삼두박근으로부터 표면전극을 이용하여 검출하였고 이표면전극을 Beckman사의 R-511A Dynograph 기록기에 연결한 후 본 연구실에서 제작한 10 bit HD46508 A/D 변환기를 거쳐 IBM-PC/XT 마이크로 컴퓨터 (CPU:8088, Coprocessor:8087, 640K byte)에 연결하였다. 대부분의 ENG 신호는 10 ~ 230² Hz사이에서 분포해 있으므로 샘플링 주파수는 1Kz로 하였다.

본 연구에서는 충분히 잘 훈련된 1인의 피검자를 대상으로 실험을 시행하였다. 피검자는 오실로스코프에 나타난 파형을 보면서 각 기능의 동작을 반복한다. 각 기능에 대한 동작은 굽곡(flexion)운동, 신전(extension)운동, 회외(abupination)운동, 회내(pro-nation)운동과 어깨를 안과 밖으로 움직이는 운동과 어깨를 앞,뒤로 움직이는 8가지 운동에 대하여 시행하였다.

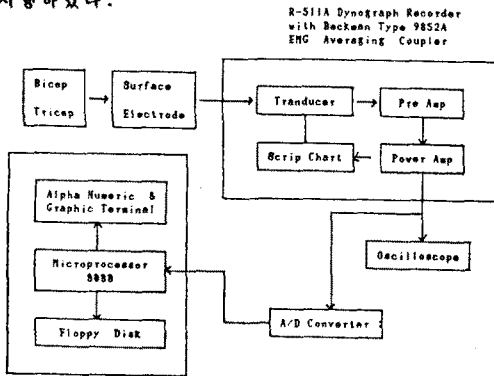


그림 2 전체 시스템의 블록선도

2. LPC cepstrum 계수의 추정

그림 3은 LPC cepstrum 계수의 추정 블록선도이다. ENG 신호의 안정성을 고려하여 데이터를 L샘플(120ms)의 세그먼트로 나누고 각 세그먼트는 D샘플(60ms)씩 이동해 나간다.

$$y_1(n) = y(n), \quad 0 < n < L-1$$

$$y_2(n) = y(n+D), \quad 0 < n < L-1$$

$$\vdots$$

$$y_k(n) = y(n+(k-1)D), \quad 0 < n < L-1$$

여기서 $y(n)$ 은 시간적 변화에 따른 ENG 신호이다. 이 120ms의 블록에 대하여 Hamming window를 사용함으로써 스펙트럼의 왜곡을 제거시킨다. Hamming window의 함수는 다음과 같다.

$$W(n) = 0.56 - 0.46\cos(2\pi n/L), \quad 0 < n < L-1$$

이때 window를 overlap 시키는 이유는 각 window 사이의 null에 있는 데이터 샘플을 잃어버리는 것을 방지하기 위해서이다. 따라서 각 세그먼트에 대하여

Hamming window를 의문 ENG 신호는

$$\tilde{y}_i(n) = y(n+(i-1)D) \times W(n), \quad i=0,1,2,\dots,K-1$$

$$n=0,1,2,\dots,L-1 \quad (6)$$

이다. 따라서 Hamming window를 의문 각 세그먼트에 대한 선형예측계수를 구하여 식(4)를 통해 LPC cepstrum 계수를 추정할 수 있다.

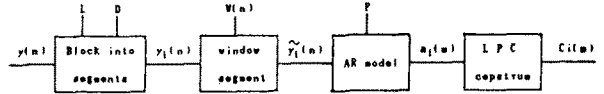


그림 3 LPC cepstrum 계수의 추정블록선도

3. 기능 분리 및 인식 방법

그림 4은 LPC cepstrum 계수를 이용한 ENG 신호의 기능 분류 및 동작관정에 관한 블록선도이다. LPC cepstrum에 의한 거리 계산은 대수(log) spectrum 상에서의 거리 계산과 같은 의미를 주며 ENG신호의 spectrum 정보를 충분히 반영하고 있다.

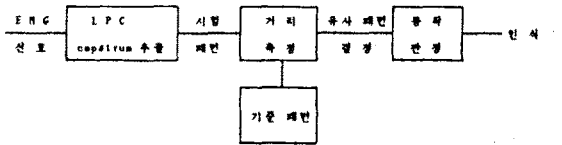


그림 4 ENG 신호의 기능분리 및 동작관정 블록도

1) 기준 패턴 (template pattern)

실험을 통하여 저장된 8개의 운동 데이터 중 각각의 운동을 세그먼트 vector 단위로 하여 이에 대한 LPC cepstrum 계수를 추정하고 각 cepstrum 계수에 평균을 취하여 이를 기준 패턴으로 한다.

2) 거리 측정

메모리에 저장되어 있는 기준패턴을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$R_j = \begin{bmatrix} r_0 \\ r_1 \\ \vdots \\ r_i \end{bmatrix} \quad (7)$$

여기서 $0 < i < p, 0 < j < q$ 이며, p 는 LPC cepstrum 계수의 수이고 q 는 세그먼트 수이다. 또한 현재 입력되고 있는 ENG 신호의 시험패턴(Test Pattern)은

$$\pi_j = \begin{bmatrix} t_0 \\ t_1 \\ \vdots \\ t_i \end{bmatrix} \quad (8)$$

이며 여기서 $0 < i < p, 0 < j < q$ 이다.

기준패턴과 시험패턴의 거리는 Euclidean 거리 측정법을 사용한다. 즉 기준패턴과 시험패턴의 거리는

$$d = \sqrt{\sum_{i=0}^q \|R_j - \pi_j\|^2} \quad (9)$$

으로 정의할 수 있으며 여기서 $\|R_j - \pi_j\|^2 = \sum_{i=0}^p |r_i - t_i|^2$ 이다. 따라서 각각의 운동에 대한 기준패턴과 현재 입력되고 있는 시험패턴과의 거리는 식 (9)에서 계산되어진다.

3) 동작 판별

식 (9)을 이용하여 기준패턴과 시험패턴의 거리값이 최소인 운동은 대수 스케르럼상 가장 유사한 특징 정보를 가지고 있다고 할 수 있으므로 이 이론을 근거로 동작을 판별하게 된다.

4. 실험 결과 및 고찰

일반적으로 전극을 부착하여 ENG 신호를 추출하는 방법은 이두박근-이두박근, 삼두박근-삼두박근과 이두박근-삼두박근의 3가지 방법이 있다. 본 연구에서는 피검자 팔의 이두박근-삼두박근에 표면전극을 부착하여 ENG 신호를 검출하였다. 또한 ENG 신호의 정량화를 위해 각각의 운동에 대하여는 같은 부하를 가하고 근육의 피로에 의한 영향을 최소화 하기 위해 충분한 휴식을 취한 다음 측정하였다. 그림 5는 굴곡 운동과 신전 운동에 대한 ENG 신호의 예이다.

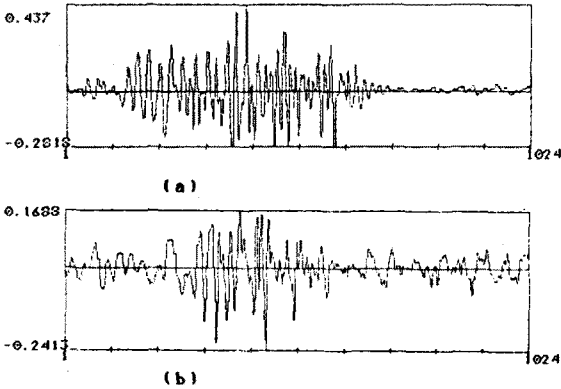


그림 5. ENG 신호의 예
(a) 굴곡운동
(b) 신전운동

또한 LPC cepstrum 계수의 수를 6, 8, 10, 12, 14 등으로 변화시켜가면서 ENG 신호의 동작 판별을 고찰해 보았다. 그림 6은 굴곡 운동에 대하여 Hamming window를 이용한 LPC spectrum 추정치(PSE)와 FFT spectrum을 나타낸 것이다. LPC cepstrum 계수가 10, 12 일때 LPC spectrum 이 FFT spectrum에 비교적 잘 접근함을 알 수 있다. 그림 7은 굴곡 운동에 대한 단위 세그먼트에서의 LPC cepstrum 계수를 구한 결과이다.

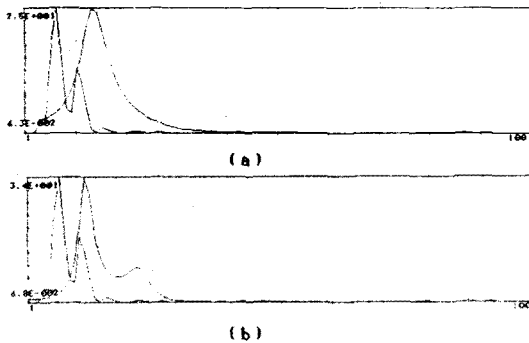


그림 6 LPC cepstrum 계수 변화에 따른 LPC spectrum과 FFT spectrum의 예
(a) LPC cepstrum 계수가 10 일때
(b) LPC cepstrum 계수가 12 일때

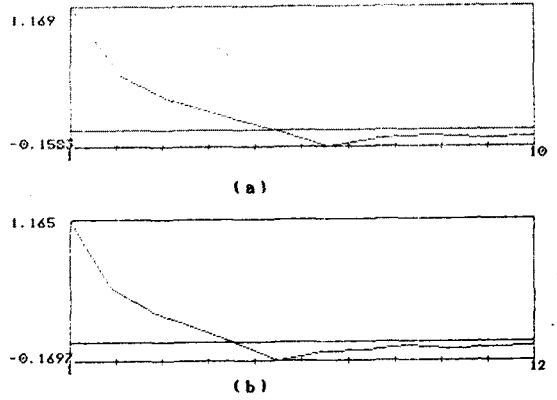


그림 7 굴곡 운동에서의 단위 세그먼트에서의 LPC cepstrum 계수의 예
(a) LPC cepstrum 계수가 10일때
(b) LPC cepstrum 계수가 12일때

표 1은 LPC cepstrum 계수의 변화에 따른 ENG 신호의 동작판별 결과를 나타낸 것이다. LPC cepstrum 계수의 수가 각각 6, 8, 10, 12, 14일때 88.75%, 92.5%, 95%, 96.25%, 96.25%의 동작판별의 결과를 보였다. 계수의 수가 증가함에 따라 동작판별율도 높게 나타났으나 계수의 수가 12이상일때는 더 이상의 변화가 없었다.

표 1 LPC cepstrum 계수 변화에 따른 ENG 신호의 동작판별 결과

	굴곡	신전	외내	외외	어깨잡	어깨안	어깨잡	어깨잡
운동수	10	10	10	10	10	10	10	10
동작판별	9	10	8	8	9	10	8	9
인식률%	90	100	80	80	90	100	80	90
총인식률	88.75%							

(a) LPC cepstrum 계수가 6일때

	굴곡	신전	외내	외외	어깨잡	어깨안	어깨잡	어깨잡
운동수	10	10	10	10	10	10	10	10
동작판별	9	10	8	8	9	10	9	9
인식률%	90	100	80	80	90	100	90	90
총인식률	92.5%							

(b) LPC cepstrum 계수가 8일때

	굴곡	신전	외내	외외	어깨잡	어깨안	어깨잡	어깨잡
운동수	10	10	10	10	10	10	10	10
동작판별	10	10	8	9	9	10	10	10
인식률%	100	100	80	90	90	100	100	100
총인식률	95%							

(c) LPC cepstrum 계수가 10일때

구분	신전	외내	외외	어깨밖	어깨안	어깨앞	어깨뒤
운동수	10	10	10	10	10	10	10
동작안정	10	10	8	10	9	10	10
인식률	100	100	80	100	90	100	100
총인식률 : 96.25%							

(d) LPC cepstrum 계수가 12일 때

구분	신전	외내	외외	어깨밖	어깨안	어깨앞	어깨뒤
운동수	10	10	10	10	10	10	10
동작안정	10	10	8	10	9	10	10
인식률	100	100	80	100	90	100	100
총인식률 : 96.25%							

(e) LPC cepstrum 계수가 14일 때

IV. 결론

본 연구에서는 LPC cepstrum 계수를 이용하여 피검자의 팔의 이두박근-삼두박근에서 검출된 ENG 신호에 대한 기능분류 및 동작관경을 시행하였다. 피검자의 반복적인 훈련과 보다 정량적인 ENG 신호의 검출 및 LPC cepstrum 계수의 최적계수 선택을 통하여 오식율을 감소시킬 수 있을 것이며, 따라서 여러가지 보철제어 및 인간-기계시스템 제어에 응용될 수 있을 것으로 기대한다.

V. 참고문헌

- [1] D.Graupe et al, "A microprocessor system for multifunctional control of upper limb prosthesis via myoelectric signal identification", IEEE,AC-23,1978
- [2] G.N.Saridis et al, "ENG pattern analysis and classification for prosthesis arm", IEEE, BME-29, 1982.
- [3] P.C. Doerschuk et al, "Upper extremity limb function discrimination using ENG signal analysis",IEEE,BME-30,1983.
- [4] E.Kwatny et al, "An application of signal processing technique to the study of myoelectric signal",IEEE,BME-17,1978.
- [5] 변윤식;다기능 보철제어를 위한 근전도 신호식별, 연세대학교 대학원 박사학위 논문,1985.
- [6] A.V.Oppenheim, Digital Signal Processing,Prentice-Hall,INC.,1975
- [7] G.H.Inbar et al, "On surface ENG spectral characterization and its application to diagnostic classification",IEEE,BME-31,1984
- [8] A.H. Gray et al, "Distance measures for speech processing",IEEE Trans.Acoustic.,Speech,Signal Processing,vol. ASSP-24,pp.388-391,oct.1976.
- [9] B.S.Atal, "Effectiveness of linear prediction characteristics of the speech wave for automatic speaker identification and verification", JASA.,vol.55,pp.1304-1312,June 1974.

* 본 연구는 한국과학재단의 지원으로 진행되고 있는 연구의 일부분임.