

구문론적 해석에 의한 근전도 신호의 패턴 분류

○ 왕문성, 박상희, 최운호, 정태운, 변윤식
연세대학교 전기공학과 * 인천대학교 전자공학과

Pattern Classification of EMG Signals by the Syntactic Analysis

○ M.S. Wang, S.H. Park, T.Y. Chung, Y.H. Choi, Y.S. Byun
Yonsei Univ. * Incheon Univ.

ABSTRACT

This paper deals with the EMG signal processing to apply the EMG signal to the prosthetic arm. The EMG signals are generated by the voluntary contractions of the subject's musculature and is coded into binary words by the pulse width modulation. Command strings or sentences are constructed by concatenating several words, and are syntactically described by a context free grammar in Chomsky normal form and is tried to classify the movement pattern by the CYK algorithm.

1. 서 론

과학과 기술의 발전은 의학의 주요한 3부분 즉 진단, 치료, 보조 장치에 적용되어 왔다. 그중에서 보조 장치는 약화되거나 마비된 수족과 상실된 수족을 대신하는 보철 장치를 포함한다. 제 2 차 세계 대전 이후 의용 생체 공학의 한 분야인 재활 공학(rehabilitation engineering)의 발전과 최근에 활발히 진전되고 있는 로봇 공학의 발전으로 전기들이 이용하여 구동되는 휠체어 및 전자의수 등의 출현이 가능해졌으며 디지털 컴퓨터의 발달로 이들 보조 기구에 상당히 많은 지능적인 기능을 부여할 수 있게 되었다. 또한 마이크로프로세서의 급속한 발전으로 현재의 8 비트 또는 16 비트의 길이의 마이크로프로세서 내에서 보다 더 긴 단어 길이(word length)가 가능해졌고 이에 따라 판별 속도들 더 빠르고 정확하게 할 수 있게 되었다.

이러한 보철 장치(인공 수족)에 관한 연구중에서 가장 핵심이 되는 것은 보철 장치에 가해주는 신호를 인공이 아닌 생체에서 나오는 신호로 직접 적용하여 제어하는 것이다. 특히 사람 팔의 근육에서 나오는 근전도(electromyogram; EMG)신호를 해석하여 적용하는 방법은 일반화된 것 중의 하나이다.

본 연구에서는 피검자의 입의 수축(voluntary contraction)에 의하여 팔 근육에서 검출된 근전도 신호를 펄스 폭 변조에 의하여 2진 단어로 코드화한다. 각 기능에 대한 정보를 포함한 2진 단어는 연쇄적으로 조립되어 구성되어 Chomsky 규정 형식으로 표시할 수 있으며, 이러한 기능의 구문적인 명확성을 알아내기 위하여 비교적 간단한 Cocke-Younger-Kasami 알고리즘을 적용하려 한다. 즉, 이 단계에서는 두가지 논리 알고리즘을 포함하는데, 하나는 코드화된 명령 기호열의 분해를 포함하고 다른 하나는 분해 결과의 해석을 하는 것이다. 본 연구의 최종 목적은 근전도 신호를 구문론적 패턴 인식 방법으로 분류하여 각 기능에 대응하는 제어 신호를 만들어 줌으로써 실제의 보철 제어를 하는 알고리즘을 개발하는데 있으며, 이에 따라 보철의 공학 분야에 있어서 마이크로프로세서의 응용과 이에 따른 패턴 인식, 확률적인 식별, 필터링 및 신호 해석들을 현대 시스템 이론과 연결할 수 있게 해 주는 데 의의가

있을 것이다.

II. 본 론

1. 전극과 커플러

근전도 신호를 임피던스 매치 추출하는 경우는 접점극을 많이 사용하지만, 피검자에게 많은 고통을 주기 때문에 본 실험에서는 Ag-AgCl 표면 전극(Beckman, Model 650418, 직경 17mm)을 사용하였다. 또한 전극은 실험 시작 1시간 전에 1% 식염수에 넣어 안정화시키고 보철 전극의 반전지 전위(half-cell potential)를 제거하였으며, 피부의 불순물 제거를 위하여 90%의 소독용 에탄올로 세정하고 또한 피부와 전극의 밀착을 유착을 위하여 전도용 젤(EGTB9111, MDC 00-300-25, PI, INC)을 사용하였다. 또한 전극을 통과한 근전도 신호는 입력 케이블(Beckman, No. 215268)을 통하여 EMG averaging coupler(Beckman, Model 9852A)에 전달된다.

2. A/D 변환기와 마이크로컴퓨터 시스템

커플러의 전차 증폭기와 전력 증폭기를 통과한 근전도 신호는 1V phone jack을 통하여 10비트 A/D 변환기를 통과하면서 1KHz의 샘플링 주파수에 의하여 디지털 신호로 바뀌어지며, 디지털 스토리지 오실로스코프(Tektronix Model 163)와 연결하여 실제 파형과 비교해 볼 수 있게 되었다.

본 실험에서 사용한 A/D 변환기는 HD46508을 이용하여 제작하였으며 샘플링 주파수는 1, 1.5, 2, 10KHz로 변화시킬 수 있다. A/D 변환기를 거친 신호는 IRM-PCNT 마이크로 컴퓨터(CPU:8088, Coprocessor:8087, 640K byte)를 이용하여 5 1/4" 미니 플로피 디스크에 저장할 다음 처리한다. 전체 시스템의 블록 선도는 다음과 같다.

3. 실험 방법

본 연구에서는 1인의 피검자를 대상으로 실험을 수행하였다. 실험 장치는 모두 완전히 검기하였고, Dynograph는 실험 1시간 전에 가동시켜 안정화 하였다. 피검자의 오른쪽 팔에는 3개의 전극을 부착하여 근전도 신호를 검출한다. 1개는 상완 이두박근에 힘을 가할 때 가장 볼록한 부위, 1개는 상완 삼두박근에 힘을 가할 때 가장 볼록한 부위, 또 나머지 1개는 상완근과 연화내근 사이의 볼록하게 튀어나온 뼈 부위에 부착하여 사지의 볼록하게 사용하였다. A/D 변환을 할 때는 힘을 주지 않을 때의 전위가 0이 되도록 조절한다. 피검자는 오실로스코프에 나타난 근전도 신호를 보면서 72초 동안 같은 동작을 60회 정도 반복한다. 그 다음 A/D 변환기에 저장된 데이터중 비슷한 것을 10개씩 선택하여 화일에 저장한 후 분석한다.

각 기능에 관한 동작은 굴곡(Flexion)운동, 신전(extension)운동, 회외(Inspiration)운동, 회내(pronation)운동과 어깨를 앞,뒤로 움직이는 것과

어깨를 밖, 안으로 움직이는 운동, 팔꿈치를 고정시킨 채 팔을 안, 밖으로 돌리는 운동의 10가지에 관한 것이다.

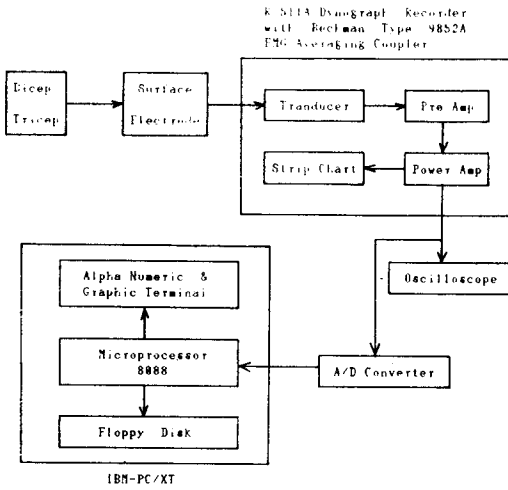


그림 1 전체 시스템의 블럭 선도

III. 실험 결과 및 고찰

1. 근전도 신호의 파형

그림 2는 1KHz로 A/D 변환한 굴곡 운동에 대한 근전도 신호의 예이다. 각 기능의 근전도 신호는 육안으로 구별하기가 힘들기 때문에 이러한 신호들을 정량적으로 비교하기 위하여는 각 신호의 평균이나 편차, 영교차(zero crossing)수, 또는 기준 모델의 매개 변수나 주파수 특성등을 고려해야만 한다.

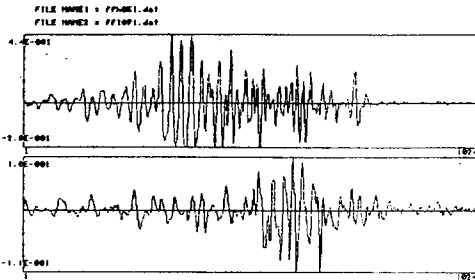


그림 2 굴곡운동 (상) 빠르게 큰 부하 (하) 빠르게 작은 부하

그림 2에서 무거운 부하는 10Kg의 중량, 가벼운 부하는 3Kg의 중량을 움직일 때이며, 빠른 또는 느린 운동은 피검자 자신의 판단에 의한 것이다. 근전도 신호의 정보는 대부분 200 ~ 400Hz 이내에 포함되어 있다고 알려졌기 때문에 본 실험에서는 1Kz의 샘플링 주파수를 사용하여 A/D 변환하였다. 그림 2에서처럼 무거운 부하를 빠르게 움직일 때 파형의 진폭은 크고 단기간으로 나타나며, 무거운 부하를 느리게 움직일 때는 비교적 큰 진폭의 파형이 오랫동안 나타나게 된다. 또 가벼운 부하를 빠르게 움직일 때는 상대적으로 작은 진폭의 파형이 순간적으로 나타나며, 가벼운 부하를 느리게 움직일 때는 작은 진폭의 파형이 비교적 드문 드문 오랫동안 나타나지만 육안으로 어떠한 특징을 찾을 수 없는 경우도 많았다. 이처럼 복잡한 파형을 이용하여 직접 각 기능에 대한 분류를 하는 것은 거의 불가능하며 이같은 파형중에서 원시(primitive) 신호를 추출하여 패턴 분류하는 것은 거의 불가능하다고 생각된다.

2. 영교차와 평균에 의한 분류

일반적으로 전극을 부착하여 근전도 신호를 추출하는 방법은 이두박근 - 이두박근, 이두박근 - 삼두박근과 삼두박근 - 삼두박근의 3가지 방법이 있고, 이두박근 - 이두박근 부착 방법은 잡아당기는 운동에 관한 신호 추출에, 삼두박근 - 삼두박근 부착 방법은 펴는 운동에 관한 신호 추출에 유리하지만, 본 실험에서는 이두박근 - 삼두박근 부착 방법을 사용한다. 각 신호 E(t)에 대한 영교차 회수를 구하고 $E_i(t)$, $|E_i(t)|$, $(E_i(t))^2$, $(E_i(t))^3$, $(E_i(t))^4$, $(E_i(t))^5$, $(E_i(t))^6$, $|E_i(t)|^6$ 의 평균값을 구하여 분류를 시도했으며, 다시 같은 신호 $E_i(t)$ 에 대한 각각의 최소치를 구하여 $E_i(t)$ 에 그 절대값을 더하여 전체 $E_i(t)$ 가 0 이상의 값을 갖도록 하여 위와 같은 방법으로 시도하였다.

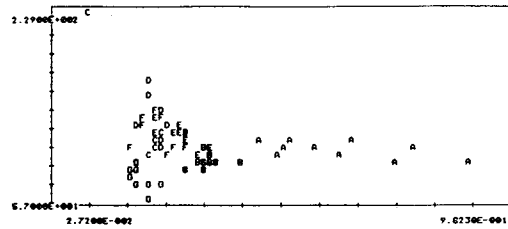


그림 3 절대치**1의 평균 (A=FFH.DAT, B=EFH.DAT, C=IFH.DAT, D=OFH.DAT, E=SOFH.DAT, F=SFFH.DAT, G=WIFH.DAT)

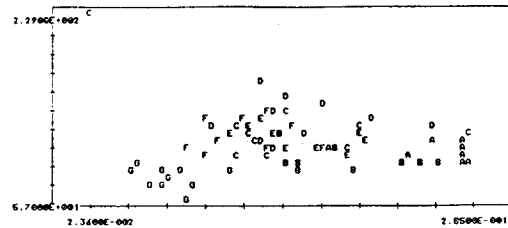


그림 4 Shift**1의 평균 (A=FFH.DAT, B=EFH.DAT, C=IFH.DAT, D=OFH.DAT, E=SOFH.DAT, F=SFFH.DAT, G=WIFH.DAT)

영교차 회수나 각 평균값 자체로는 특별한 구분을 할 수 없는 경우가 많았지만, 세로축을 영교차 회수, 가로축을 평균값으로 하면 그림 3과 그림 4에서처럼 분류가 가능하다. 그러나 원신호의 평균치는 거의 0이 되어 분류에 사용하기는 부적합하며 3차 이상의 곱도 최대값의 영향이 너무 커져서 분류에 사용하기는 부적절하다. 피검자에 대해 충분한 교육과 훈련을 시키면 위의 방법으로도 매우 밀접된 기능군끼리의 모임을 만들 수 있을 것으로 생각되며 기존의 판별함수를 이용하면 기능 분류가 가능할 것이다. 그러나 그림 3과 그림 4에서처럼 구분 가능한 동작이 다양하지는 못하다.

3. 펄스 폭 변조

근전도 신호를 해석하는 또 다른 방법으로 동신이론에서 널리 알려진 펄스 폭 변조(pulse width modulation)방식을 이용한다.

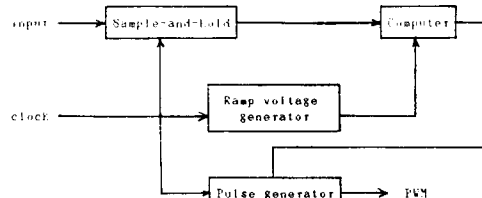


그림 5 펄스 폭 변조 방식의 블럭선도

그림 5는 개략적인 펄스 폭 변조 방식의 블록선도이다. 변환 방법은 A/D 변환된 근전도 신호와 톱니파를 비교하여 톱니파가 클 때는 "1", 작을 때는 "0"이 되도록 한다.

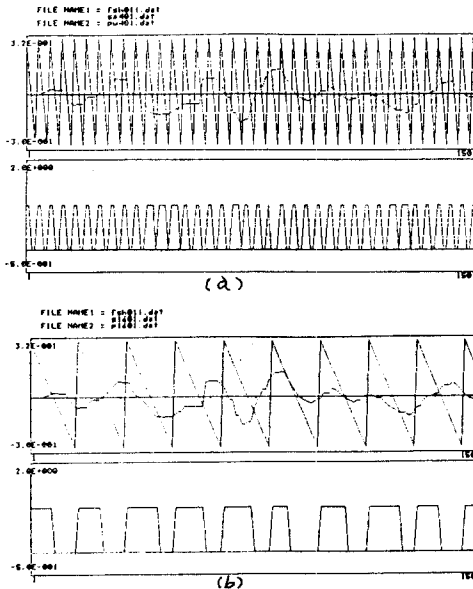


그림 6 톱니파 주기 T의 변화에 따른 근전도 신호의 펄스 폭 변조 (a) T=4 (b) T=16

근전도 신호를 펄스 폭 변조하면 그림 6처럼 파형이 매우 간단해진다. 톱니파의 진폭은 각 근전도 파형의 진폭보다 약간 크게 잡으며 주기는 근전도 신호의 영위 교차수와 비교하여 선택하도록 한다. 현재 주기의 폭을 어떻게 정하는 것이 정보의 손실이 가장 적은가에 대한 문제, 각 동작 기능에 대한 원시파형을 정하는 문제 그리고 그것들을 조합하여 하나의 문장처럼 서술하는 문법(grammar) 구성에 전력을 기울이고 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 퇴갑자의 이두박근과 삼두박근에서 검출된 근전도 신호에 대한 통계적 패턴 분류 방법과 펄스 폭 변조 방식에 의한 구분론적인 근전도 신호의 처리방법을 제시하였다. 정확한 신호의 추출과 구분론적 구성 방법이 얻어지면 근전도 신호를 실제의 구보철 장치에 적용하여 실시간내의 제어도 가능할 것으로 기대된다.

V. 참 고 문 헌

- [1] D.Graupe et al, "Functional separation of EMG signals via ARMA identification", IEEE Trans. Syst., Man and Cybern., vol. SMC-5, pp. 252-259, 1975.
- [2] M.H.Sherif et al, "Effects of load on myoelectric signals: The ARIMA representation", IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. BME-28, pp. 411-416, May, 1981.
- [3] P.C.Doerschuk et al, "Upper extremity limb function discrimination using EMG signal analysis", IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. BME-30, pp. 18-38, January, 1983.
- [4] W.B.Davenport and W.L.Koot, "An introduction to the theory of random signals and noise", M Graw Hill, New York, 1958.
- [5] IEEE EMB Society, "Rehabilitation engineering", IEEE Engineering in Medicine and Biology 1140, 1982.
- [6] C.J.Luca, "Physiology and mathematics of myoelectric signals", IEEE Trans. BME, 26(6), 1979.
- [7] R.C.Gonzalez and M.G.Thomason, "Syntactic pattern recognition: An introduction", Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1978.
- [8] Arnon Cohen, "Biomedical signal processing: Volume 11", CRC Press Inc., 1986.
- [9] 왕문성, 변운식, 박상희, "표면 근전도 신호 해석에 의한 내부 근육 근전도 신호의 추정", '86 한국 자동제어 학술회의 논문집 Vol.1, 1986.

* 본 연구는 한국 과학 재단의 지원으로 진행중임.