

인공팔의 제어를 위한 근전도 신호의 패턴분류

이규진 · 안상면 · 권영철 · 이명호

=Abstract=

Pattern Classification of EMG Signal for Artificial Arm Control

Kyu-Jin Lee, Young-Chul Kwon, Sang-Myun An, Myoung-Ho Lee

This paper deals with the processing of statistical pattern classification of unifunctional EMG signal. The signal was detected from bicep and tricep of a simulated amputees instead of below the humerus amputees or paralyzed persons.

1. 서 론

제 2 차 세계대전 이래 외부의 동력을 사용하여 인공 사지(artificial limb)를 동작시키려는 연구가 시작되었으며 반도체를 이용한 다양한 접적회로의 출현으로 그 실현 가능성이 더욱 높아졌다. 더우기, 마이크로 프로세서를 이용한, 보다 전문적이고 정확하게 생체신호를 해석할 수 있게 되었으며 나아가서는 이의 보철기구에의 응용과 실용화가 가능해졌다. 인체의 손상되지 않은 근육에서 추출한 근전도 신호는 많은 학자들에 의해 전기적으로 구동되는 보철기구의 제어원으로 제안되었다. Graupe¹⁾는 어깨 근육에서 근전도 신호로부터 제어 정보를 얻기 위하여 time series identification 방법을 사용하였다. Wirta²⁾는 실험대상자의 손상되지 않은 근육으로부터 공동적으로 발생한 근전도 신호를 identify하기 위한 패턴 인식 방법을 제안하였으나 설계과정이 분명하지 않다. 본 논문에서는 특별히 환자가 의식적인 노력을 하지 않고 인공팔을 움직이도록 하기 위하여 이두박근과 삼두박근에서 공동 근전도 신호를 추출하고 이 신호를 A/D 변환한 후 이 신호가 어떤 기능을 수행할 때 발생한 신호인가를 분류할 수 있는 방법에 관하여 연구하였다.

2. 근전도 신호해석

근전도 신호는 근육이 수축하거나 이완할 때 세포막 표면에 탈분극(depolarization)과 재분극(repolarization) 현상이 일어날 때 발생하는 신호로서 본 연구에서

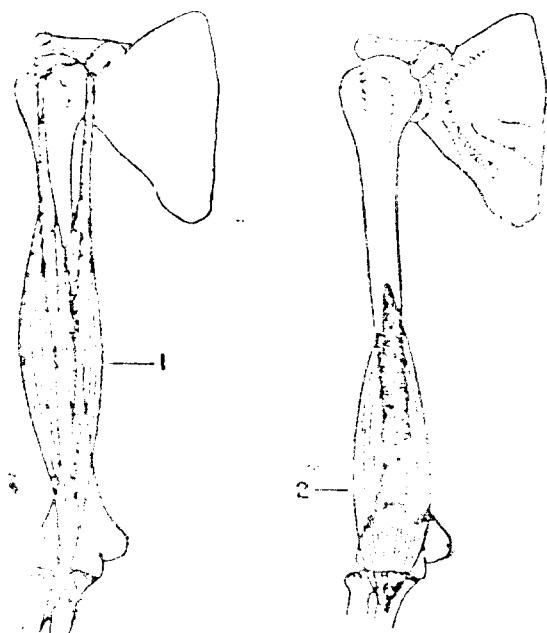


그림 2-1. 팔꿈치의 신전운동
Fig. 2-1. Elbow extention

<1983. 12. 1. 접수>

연세대학교 전기공학과 Dept. of Electrical Eng., Yonsei University

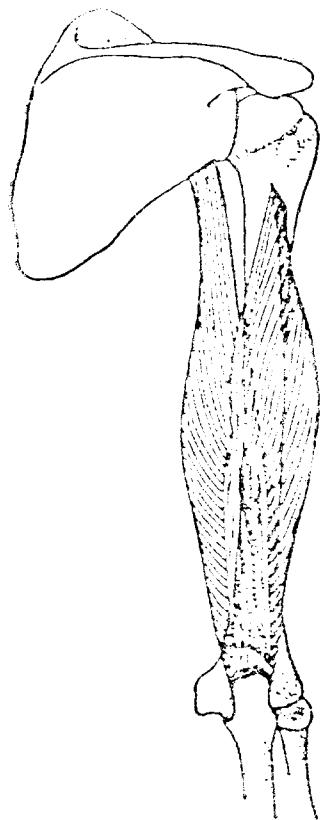


그림 2-2. 팔꿈치의 굴곡운동
Fig. 2-2. Elbow flexion

는 다음의 4가지 기능에 대해서만 운동 패턴을 분류하였다.

- (1) 팔꿈치의 신전운동(elbow extension).
- (2) 팔꿈치의 굴곡운동(elbow flexion).
- (3) 전박의 회내운동(forearm pronation).
- (4) 전박의 회외운동(elbow supination).

그림 2-1은 팔꿈치의 신전운동을 일으키는 이두박근과 상완근(brachialis), 그림 2-2는 팔꿈치의 굴곡운동을 일으키는 삼두박근, 그림 2-3은 전박의 회외운동을 일으키는 이두박근과 회외근(supinator), 그림 2-4는 전박의 회내운동을 일으키는 원방내근(Pronator teres), 과 방회내근(pronator quadratus)을 각각 나타낸다.

근전도 신호는 모의 절단환자(simulated amputee)의 이두박근과 삼두박근에서 추출되는데 여기서, 모의 절단환자란 전박부를 움직이지 못하도록 고정하고 지정된 기능만 수행하는 힘만을 가하도록 한 실험대상인을

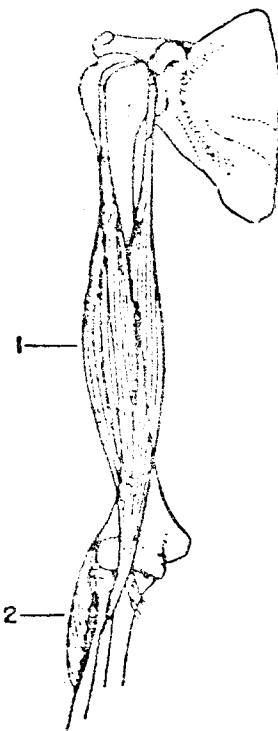


그림 2-3. 전박의 회내운동
Fig. 2-3. Forearm pronation

말한다.

근전도 신호는 이두박근과 삼두박근으로부터 표면전극(surface electrode)을 이용하여 동시에 추출한다. 이 신호는 종폭기와 여파기를 거친 후 A/D 변환되어 마이크로 프로세서의 기억장소에 기억된다. 이 기억된 데이터를 다시 디스크(diskette)에 저장한다. 이 저장된 데이터를 사용하여 (1) 평균(average), (2) 분산(variance), (3) 3차 모멘트(3rd moment), (4) 영위교차(zero-crossing) 등의 4가지 매개변수를 구하였다. 위에서 언급한 4개의 단일기능에 대하여 이두박근과 삼두박근에서 추출한 위의 4가지의 매개변수에 대한 각각의 값을 구하였다. 여기서 구한 각각의 매개변수에 대해 2 차원 평면에 플로팅하여 각 단일 기능이 어떤 군(cluster)을 형성하는 가를 확인하였으며 이 군을 형성하는 매개변수를 이용하여 판정함수(decision function)을 구하여 임의의 근전도 신호가 어떤 기능에 대한 신호인 가를 판정하였다.

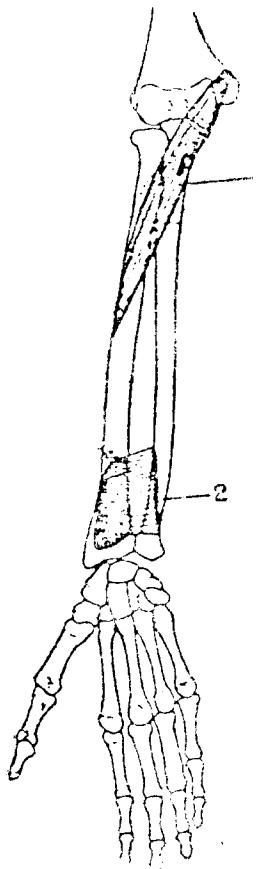


그림 2-4. 전박의 회외운동
Fig. 2-4. Forearm supination

3. 실험

근전도 신호는 Ag-AgCl조성으로 된 표면전극을 사용하여 추출하였다. 전극의 위치는 이두박근의 경우 팔에 힘을 주어 굽힐때 가장 두드러지게 튀어 나오는 부분에 주 전극(main electrode), 안쪽으로 3cm 정도 떨어진 부분에 기준 전극(reference electrode), 바깥쪽으로 3cm 정도 떨어진 부분에 접지전극(ground electrode)을 놓는다. 삼두박근의 경우에도 팔에 힘을 주어 절때 가장 두드러지게 튀어 나오는 부분에 주 전극, 안쪽 3cm 정도에 기준전극, 바깥쪽 3cm 부위에 접지전극을 놓아 측정하였다. 이렇게 이두박근과 삼두박근에서 추출한 근전도 신호는 그림 3-1과 같은 블럭 시스템을 통하여 마이크로 프로세서의 기억장소에 기억시켰다.

3-1. 전치증폭기

전치 증폭기는 그림 3-2에서 보는 바와 같이 차동증폭기, 저역통과여파기, 고역통과여파기, 증폭기 그리고 놋치여파기(notch-filter)로 구성되어 있다. 팔에서 추출한 근전도 신호는 수 백 μ V의 작은 신호와 잡음이 섞여 있으므로 차동증폭기를 통하여 증폭시켜야 한다. 차동증폭기의 $25K\Omega$ 가변저항으로 이득과 레벨을 조정할 수 있다. 이 차동증폭기의 이득식은 다음과 같다.

$$A = \left(\frac{20k}{R} + 1 \right) \left(\frac{10k}{1k} \right) \quad (3-1)$$

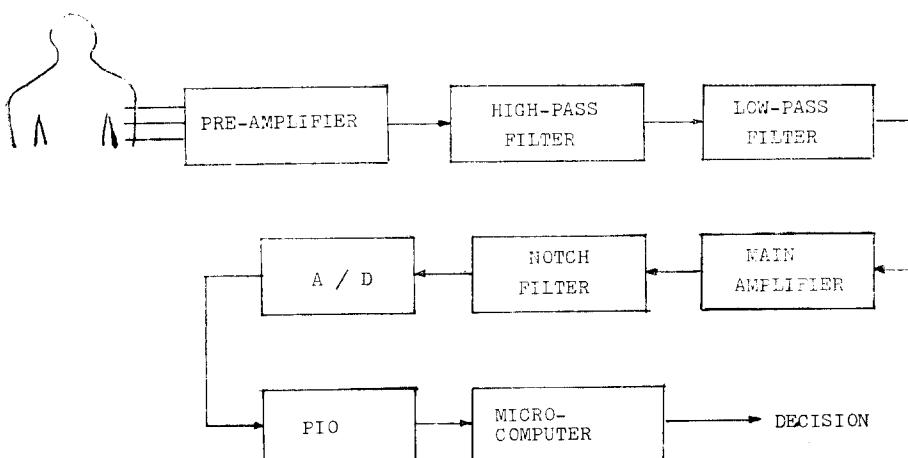


그림 3-1. 시스템 블럭선도
Fig. 3-1. System block diagram

차동증폭기 후단의 고역통과여파기는 5Hz 이하의 잡음을 제거하기 위한 것이며 그 후단의 저역통과여파기는 1200Hz 이상의 잡음을 제거하기 위한 것으로 결론적으로 이 두 여파기는 5~1200의 신호를 통과시키는 대역통과 여파기의 역할을 한다. 이 여파기들을 사용하는 이유는 5Hz 이하 1200Hz 이상의 신호는 본 연구에서 필요로 하는 정보를 거의 포함하지 않으므로 제거하기 위해서였다.²² 고역통과 여파기의 50KΩ 가변저항은 신호의 균형을 맞추기 위하여 사용되었다. 이 고역통과여파기의 롤-오프(roll-off)는 -40dB/decade이며 저역통과여파기의 롤-오프는 -60dB/decade이다. 저역통과여파기 후단의 증폭기는 A/D 변환기의 입력신호 벨트를 맞추기 위하여 사용되었으며 그 후단의 높치여파

6502를 CPU로 사용한 APPLE-II 시스템을 사용하였다. A/D 변환된 신호는 PIA를 통하여 마이크로프로세서의 기억장소에 기억되는데 이 메이타를 다시 사용할 수 있도록 디스크에 저장하였다. 이 저장된 메이타로부터 평균, 분산, 3차 모멘트 및 영위교차를 계산하였다. 이 두 박근과 삼두박근에서 추출하여 변환한 신호로 위의 매개변수를 구하여 2차 평면에 플로팅하여 보면 어떤 기능은 군(cluster)을 형성하나 어떤 기능은 군을 형성하지 않는다. 이 때 군을 형성하는 기능에 대해 판정함수를 구하여 미지의 신호가 입력될 때 그 신호가 어떤 기능의 신호인가를 판정하도록 하였다. 실험 결과에 의하면 그림 3-3과 그림 3-4에서 같이 평균과 3차 모멘트에 대해서는 군을 형성하지 않으나 그림 3-

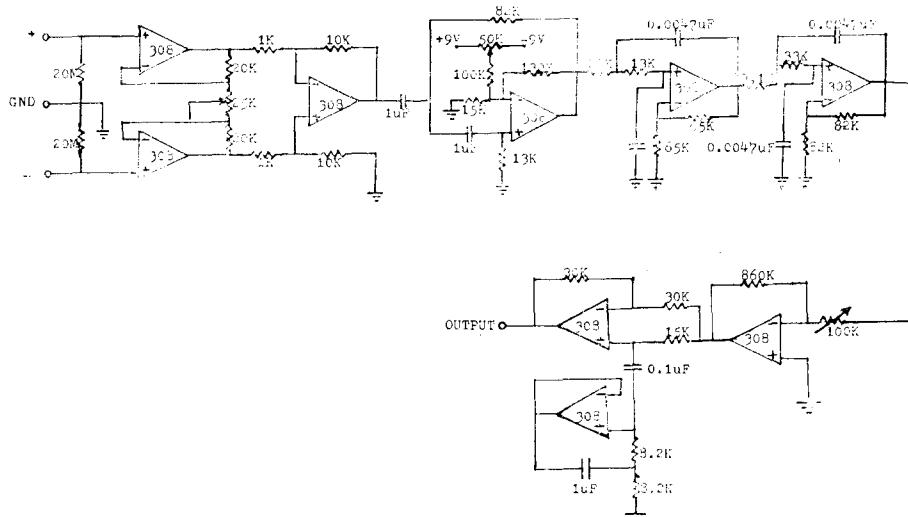


그림 3-2. 전자증폭기
Fig. 3-2. Preamplifier

기는 직류전원에서 발생하는 60Hz 잡음을 제거하기 위하여 사용하였다.

3-2. A/D 변환기와 PIA

A/D 변환기와 PIA는 전자증폭기에서 증폭 및 여파된 균전도 신호를 디지털 신호로 변환하여 마이크로프로세서의 기억장소 신호를 저장하기 위하여 사용하였다. A/D 변환기로는 0809를 사용하였으며 클럭(clock) 신호는 힘수발생기를 사용하여 샘플링 주기를 조정하였다. PIA(peripheral interface adapter)는 6821을 사용하였다. 이 PIA는 변환된 균전도신호를 마이크로프로세서에 공급하는 인터페이스를 하기 위한 장치이다.

3-3. 마이크로프로세서

근전도신호를 처리하기 위한 마이크로프로세서로는

-5와 그림 3-6에서와 같이 분산과 영위교차의 경우는 약간의 중첩이 있기는 하나 군을 형성하고 있음을 알 수 있다. 그러나 영위교차 보다는 분산의 경우가 보다 확실한 군을 형성하므로 그림 3-5에서 표시한 것과 같은 판정함수를 결정하였다. 이 때 판정함수를 결정하기 위하여 각 기능에 대하여 20개 쪽의 메이타로 매개변수 값을 구하여 그림 3-3, 그림 3-4, 그림 3-5 및 그림 3-6를 구하였다. 또한 A/D 변환기의 변화 주파수는 초당 1,000 측 1,000Hz로 하였으며 이 중 512개 측 약 0.5초 동안 추출한 신호로 매개변수들을 구하였다. 그림 3-7은 이 판정함수에 의해 판정하는 프로그램의 플로우챠트이다.

—이규진 외 : 인공팔의 제어를 위한 균전도 신호의 패턴분류—

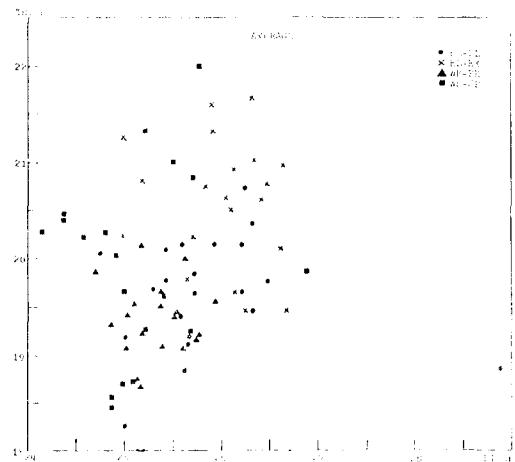


그림 3-3. 평균의 분포

Fig. 3-3. Distribution of Auerage

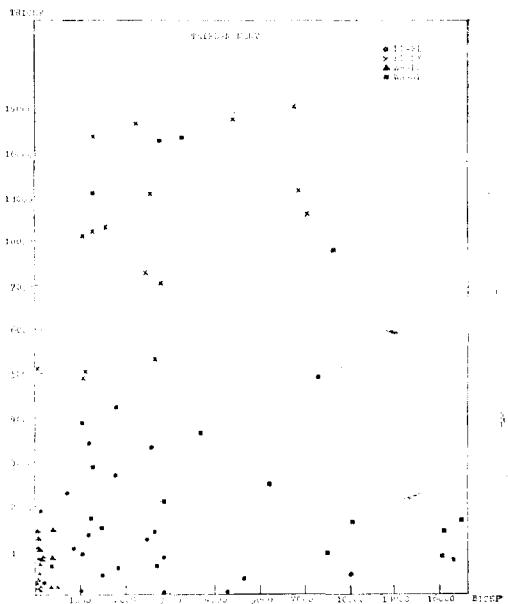


그림 3-4. 3차 모멘트의 분포

Fig. 3-4. Distribution of Third Moment

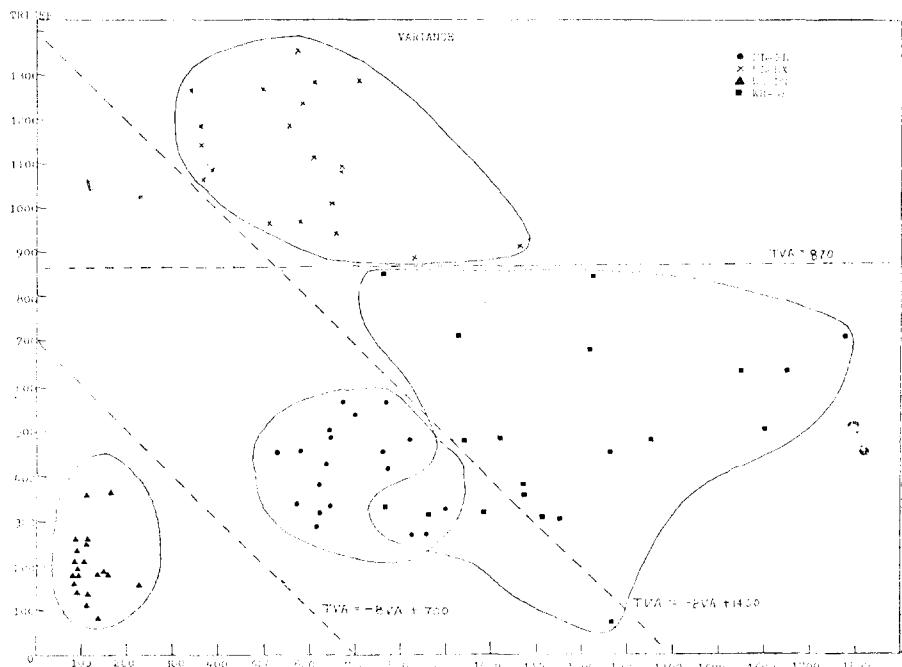


그림 3-5. 분산의 분포 및 결정함수

Fig. 3-5. Distribution of varience and decision function

4. 결과 고찰

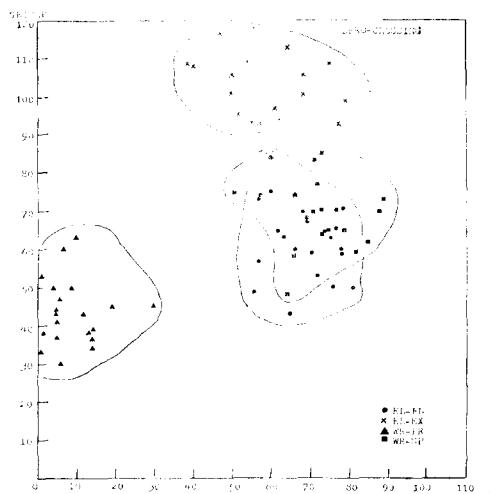


그림 3-6. 영위교차의 분포

Fig. 3-6. Distribution of Zero crossing

본 연구에서 실험을 통하여 얻은 그림 3-3에서 그림 3-6에서 볼 수 있는 바와 같이 분산과 영위교차에 대한 얻어진 결과는 비교적 정확한 근전도 신호의 분류를 가능케 하는 판정함수를 결정할 수 있는 매개변수임을 확인하였으며, 분산에 대하여 판정함수를 그림 3-5와 같이 결정하고 마이크로프로세서를 사용하여 판정하여 본 결과 각 기능에 대한 데이터를 각각 20개씩 적용하였을 때 팔꿈치의 신전운동, 굴곡운동, 전박의 회외운동의 경우 100%의 판정을 하였으나 전박의 회외운동의 경우 판정도가 85%로 판정율이 다소 떨어진다 전박의 회외운동의 경우 판정도가 다른기능보다 낮은 것은 이 운동을 주도하는 회외근이 이두박근과 삼두박근으로부터 이두박근과 삼두박근으로부터 멀리 떨어져 있기 때문인 것으로 추정된다. 또한 근전도 신호의 크기가 부하의 크기에 따라 변화하는 것을 볼 수 있었는데 이 현상을 이용하면 부하의 변화에 따른 근전도 신호의 분류가 가능하리라 생각된다.

5. 결 롬

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 분산과 영위교차는 근전도신호를 이용한 기능의 패턴 분류에 매우 효과적인 매개변수로 사용될 수 있다.
2. 분산을 이용하여 판정함수를 유도하여 근전도 신호를 판정하여 본 결과 96.7%의 비교적 정확한 판정을 할 수 있었다.
3. 전박의 회외운동의 보다 정확한 판정을 하기 위해서는 새로운 특정 위치나 매개변수를 구해야 한다.
4. 근전도 신호의 크기에 따라 변화한다.

참 고 문 헌

- 1) George N. Saridis, Thomas P. Gootee, "EMG Pattern Analysis and Classification for a prosthetic Arm", *IEEE Trans. on BME*, Vol. BME-29, No. 6 June 1982, pp. 403-412
- 2) Danniell Graupe, William K. Cline, "Functional Separation of EMG Signals via ARMA Identification Methods for Prostheses Control Purpose", *IEEE Trans. on SMC*, Vol SMC-5, No. 2, March 1975, pp. 252-259.

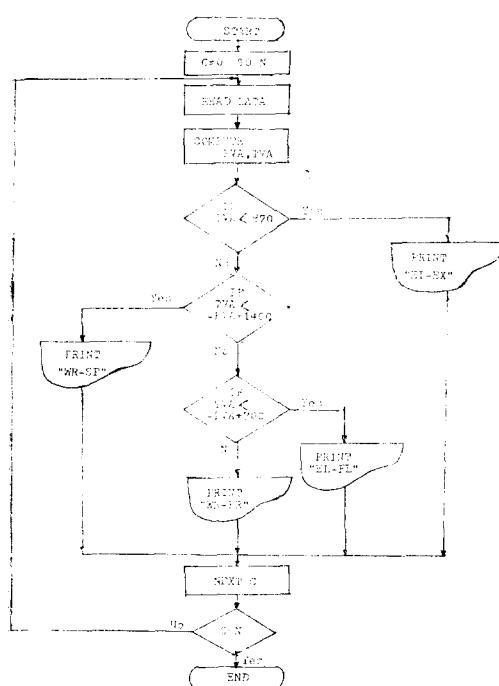


그림 3-7. 결정함수의 플로우차트

Fig. 3-7. Flow chart of decision function

- 3) John G. Kreifeldt, "Signal Versus Noise Characteristics of Filtered EMG Used as a Control Source", *IEEE Trans. on BME*, Vol.BME-18, No. 1, January 1971, pp. 16-22.
- 4) J.V. Basmajian, H.C. Clifford, W.D. McLeod, H.N. Nannally, "Computer in Electromyography", Butterworths, 1975.
- 5) Lowery Lee Thompson, "The Electromyographer's Handbook", Little, Brown and Company, 1981
- 6) J. T. Tou, R.C Gonzalez, "pattern Recognition Principles", Addisonwesley Publishing Company, Inc., 1974.
- 7) Rodnay Zaks, "Programing the 6502", SYBEX, 1980
- 8) Rodnay Zaks, "6502 Application Book", SYBEX, 1980.
- 9) H.P. Moore, "A Handbook of Active Filters", prentice-Hall, Inc., 1980.