



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0078034
(43) 공개일자 2011년07월07일

(51) Int. Cl.

B25J 3/00 (2006.01) *B25J 13/00* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0134746

(22) 출원일자 2009년12월30일

심사청구일자 2009년12월30일

(71) 출원인

한국기술교육대학교 산학협력단

충남 천안시 동남구 병천면 가전리 307 한국기술
교육대학교 내

(72) 발명자

조현찬

충청남도 천안시 동남구 병천면 탑원리 중앙아파
트 101동 912호

이선호

충청북도 음성군 음성읍 한벌리 274번지

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김인한, 김희곤, 박용순

전체 청구항 수 : 총 6 항

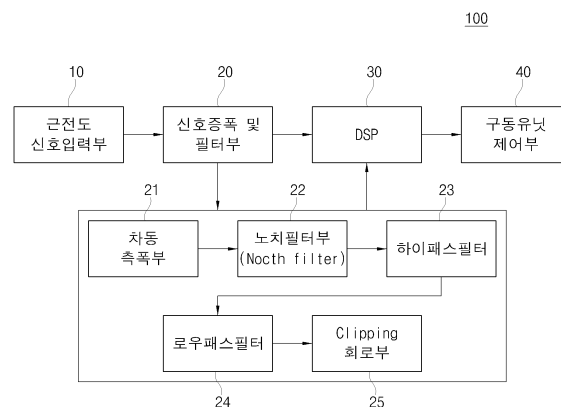
(54) 근전도 신호를 이용한 외골격로봇시스템

(57) 요약

근전도 신호를 이용한 외골격로봇시스템에 관한 것으로, 특히, 본 시스템은 근전도 신호를 추출하여 입력하는 근전도 신호 입력부와 상기 근전도 신호를 증폭 및 필터링하여 디지털신호로 변환하는 신호증폭 및 필터부, 상기 디지털신호를 입력받아 구동신호를 인가하는 디지털신호처리부 및 상기 구동신호를 입력받아 기구부의 구동을 제어하는 구동유닛제어부를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.

본 발명에 따르면, 사람의 팔로부터 측정되는 근전도 신호를 추출하여, 이 신호를 필터링하고 처리하여 구동부를 구동시킴으로써, 무거운 물체를 쉽게 들어올릴 수 있는 로봇 팔 기구 시스템을 제공하는 효과가 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

고광현

강원도 영월군 주천면 용석리 1351

하병인

경상남도 진주시 초전동 현대아파트 201동 1203호

신보람

충청북도 청주시 흥덕구 개신동 두산한솔아파트
101동 103호

특허청구의 범위

청구항 1

근전도 신호를 추출하여 입력하는 근전도 신호 입력부;
 상기 근전도 신호를 증폭 및 필터링하여 디지털신호로 변환하는 신호증폭 및 필터부;
 상기 디지털신호를 입력받아 구동신호를 인가하는 디지털신호처리부;
 상기 구동신호를 입력받아 기구부의 구동을 제어하는 구동유닛 제어부;
 를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 근전도신호를 이용한 외골격로봇시스템.

청구항 2

청구항 1에 있어서,
 상기 근전도 신호 입력부는,
 측정대상의 표면부착되는 적어도 1 이상의 활동전극 및 참조전극과 접지전극을 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 근전도 신호를 이용한 외골격로봇시스템.

청구항 3

청구항 2에 있어서,
 상기 근전도 신호 입력부는,
 인체의 상완이두근과 상완삼두근의 위치에 부착되어,
 상기 참조전극과 접지전극의 미세전압의 차이를 추출하여 입력신호로 이용하는 것을 특징으로 하는 근전도 신호를 이용한 외골격로봇시스템.

청구항 4

청구항 2 또는 3에 있어서,
 상기 신호증폭 및 필터부는,
 상기 활동전극과 참조전극 사이의 전압을 증폭하는 차동증폭부;
 상기 차동증폭부에서 증폭된 전압의 노이즈 주파수 대역을 제거하는 1 이상의 노치필터부;
 상기 노치필터부에서 필터링된 신호의 유효주파수 대역만을 필터링하는 하이패스필터부 및 로우패스필터부;
 상기 하이패스필터부 및 로우패스필터부를 통과한 신호의 과형을 필터링하는 클리핑(clipping)회로부;
 를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 근전도 신호를 이용한 외골격 로봇시스템.

청구항 5

청구항 4에 있어서,
 상기 유효주파수 대역은,
 20~450Hz의 범위인 것을 특징으로 하는 근전도 신호를 이용한 외골격 로봇시스템.

청구항 6

청구항 4에 있어서,

상기 기구부는,

상기 구동유닛제어부의 제어에 따라 액추에이터를 구동하여 물체를 기증하는 암(arm)부;

상기 암부와 일체로 연결되어 인체에 밀착지지하는 지지부;

를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 근전도 신호를 이용한 외골격 로봇시스템.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 인체의 팔에서 인가되는 신호를 바탕으로 한 로봇팔의 구동시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 로봇의 활용분야는 무인 자동화설비가 필요한 기술분야에서 폭 넓게 응용이 되고 있다.

[0003] 특히, 일정한 물체를 들어올리거나 이송하는 로봇시스템은 디스플레이 분야나 반도체 분야에서 특정 장비나 부속의 자동조립 및 이송에 주요하게 사용하고 있다. 이러한 시스템은 기본적으로 세팅된 프로그램에 따라 일정한 동작을 반복하도록 하고 있으며, 물체의 인지시스템(적외선센서, 초음파 센서) 등과 결합하여 일정한 위치로 이동하여, 물체를 그림 한 후, 다시 특정 개소로 이동하는 구동 로봇 시스템으로까지 발전하고 있다.

[0004] 그러나 종래의 이러한 로봇시스템은 정해진 동작을 수행하도록 하는 특정 프로그램에 의해 반복적인 동작을 수행하거나 물체의 이송이나 조립 등에 사용되는 경우에도 정해진 프로세스를 구현하는 정도의 수동적인 적용의 범주를 벗어나지 못하고 있으며, 특히 무거운 물체를 사람의 의지에 따라 실시간으로 기증(lift)할 수 있는 등의 시스템은 아직 구현되지 못하고 있는 실정이다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0005] 본 발명은 상술한 문제를 해결하기 위하여 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 사람의 팔로부터 측정되는 근전도 신호를 추출하여, 이 신호를 필터링하고 처리하여 구동부를 구동시킴으로써, 실시간으로 인간의 의지(근전도 신호의 변화)를 감지하여, 무거운 물체를 쉽게 들어올릴 수 있는 로봇 팔 기구 시스템을 제공하는 데 있다.

과제 해결수단

[0006] 상술한 과제를 해결하기 위한 수단으로서, 본 발명의 구성은 근전도 신호를 추출하여 입력하는 근전도 신호 입력부; 상기 근전도 신호를 증폭 및 필터링하여 디지털신호로 변환하는 신호증폭 및 필터부; 상기 디지털신호를 입력받아 구동신호를 인가하는 디지털신호처리부; 상기 구동신호를 입력받아 기구부의 구동을 제어하는 구동유닛제어부; 를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 근전도 신호를 이용한 외골격로봇시스템을 제공할 수 있도록 한다.

[0007] 상술한 시스템에 있어서, 상기 근전도 신호 입력부는, 측정대상의 표면부착되는 적어도 1 이상의 활동전극 및 참조전극과 접지전극을 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0008] 특히, 상기 근전도 신호 입력부는, 인체의 상완이두근과 상완삼두근의 위치에 부착되어, 상기 참조전극과 접지전극의 미세전압의 차이를 추출하여 입력신호로 이용할 수 있도록 한다.

[0009] 상술한 본 발명에 따른 시스템에서의 상기 신호증폭 및 필터부는, 상기 활동전극과 참조전극 사이의 전압을 증폭하는 차동증폭부; 상기 차동증폭부에서 증폭된 전압의 노이즈 주파수 대역을 제거하는 1 이상의 노치필터부; 상기 노치필터부에서 필터링된 신호의 유효주파수 대역만을 필터링하는 하이패스필터부 및 로우패스필터부; 상

기 하이패스필터부 및 로우패스필터부를 통과한 신호의 파형을 필터링하는 클리핑(clipping)회로부; 를 포함하여 이루어지는 것이 바람직하다.

[0010] 또한, 상술한 하이 및 로우 패스 필터에의 상기 유효주파수 대역은, 20~450Hz의 범위임이 바람직하다.

[0011] 또한, 전체적인 시스템에서 물체를 기증하는 상기 기구부는, 상기 구동유닛제어부의 제어에 따라 액추에이터를 구동하여 물체를 기증하는 암(arm)부; 상기 암부와 일체로 연결되어 인체에 밀착지지하는 견인부; 를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 근전도 신호를 이용한 외골격 로봇시스템을 제공할 수 있도록 함이 바람직하다.

효 과

[0012] 본 발명에 따르면, 사람의 팔로부터 측정되는 근전도신호를 추출하여, 이 신호를 필터링하고 처리하여 구동부를 구동시킴으로써, 무거운 물체를 쉽게 들어올릴 수 있는 로봇 팔 기구 시스템을 제공하는 효과가 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0013] 이하에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명에 따른 구성 및 작용을 구체적으로 설명한다. 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성요소는 동일한 참조부여를 부여하고, 이에 대한 중복설명은 생략하기로 한다. 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.

[0014] 본 발명은 사람의 팔에서 발생하는 근전도 신호를 추출하여 무거운 물체를 쉽게 들어올리는 기능을 수행하는 근전도신호를 이용한 외골격로봇시스템(이하, '로봇시스템'이라 한다.)을 제공하는 것을 그 요지로 한다.

[0015] 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 로봇시스템은 다음과 같은 구성으로 구현될 수 있다.

[0016] 본 발명에 따른 로봇시스템은, 근전도 신호를 추출하여 입력하는 근전도 신호 입력부(10), 상기 근전도 신호를 증폭 및 필터링하여 디지털신호로 변환하는 신호증폭 및 필터부(20), 그리고 상기 디지털신호를 입력받아 구동신호를 인가하는 디지털신호처리부(30), 상기 구동신호를 입력받아 기구부의 구동을 제어하는 구동유닛 제어부(40)를 포함하여 이루어질 수 있다.

[0017] 구체적으로, 상기 근전도 신호 입력부(10)은 사람의 팔이 움직일 때 발생하는 근전도신호를 추출하여 이를 입력신호로 활용하는 기능을 수행하는 것으로, 추출된 신호는 다양한 증폭 및 필터링 과정을 거쳐 최종적으로 물체를 기증하는 기능을 구현할 수 있도록 한다. 근전도 신호(EMG; Electromyogram)는 사람의 근육 활동을 직접적으로 반영하여 나타낼 수 있는 중요한 생물학적 신호이다. 즉, 신체의 움직임에 따라 근육 표면으로부터 근섬유를 따라 일어나는 전기적 신호이다. 근전도 신호의 크기는 대부분 10mV 이하이며 주파수 범위는 500Hz 미만으로 바늘을 근육에 직접 꽂아 측정하거나, 근육 근처의 피부 표면에 전극을 붙여 측정할 수도 있다. 본 발명에 따른 바람직한 일실시예로서의 근전도 신호의 측정은, 인체의 표면에서 근전도 신호를 측정하며, 구체적으로는 피부에 직접 부착되어 근육이 활동할 때 나오는 전기적 신호를 추출하도록 함이 바람직하다. 따라서 사용자의 피부 표면의 EMG 신호를 체크하면 정확하게 인체의 근육의 이동동작을 감지할 수 있게 되며, 이에 따라 로봇의 움직임을 미리 예측하여 구동할 수 있게 된다. 일례로, 본 발명에 따른 근전도 신호의 추출은 피부 표면에 부착되어 근전도 신호를 추출하는 센서는 Ag/Cl 패치와 바이폴라 스냅전극을 이용하여 추출할 수 있도록 한다.

[0018] 도 2a를 참조하면, 이는 상술한 근전도 신호 입력부를 실제로 구현하는 구성례를 도시한 것으로, (a)는 인체표면에 부착하는 패치로, Ag/Cl 패치를 사용할 수 있으며, (b)는 근전도 신호의 변화를 감지하는 바이폴라 스냅전극을 도시한 것이다. (c)는 이러한 전극을 인체에 부착하는 일례를 도시한 것으로, 도시된 것처럼, 본 발명에 따른 근전도 신호입력부는 인체의 팔을 고려할 때, 상완 이두근과 상완 삼두근 부위에 부착하여 측정함이 바람직하다. (물론 부착의 위치는 사용자에 따라 다소 차이가 나는 것도 본 발명의 요지에 포함되는 자명하다.) 상기 상완 이두근은 팔의 굽힘 동작에 관여를 하는 근육이고 상완 삼두근은 팔의 펴는 동작에 관여를 하는 근육이다. 상완 이두근과 상완 삼두근에 각각 활동전극(11a, 12a)과 참조전극(11b, 12b)을 부착하여 그 두 전극의 미세 전압 차이를 측정하여 로봇의 입력 신호로 이용한다. 활동 전극과 참조전극은 5mm정도 떨어진 위치에 부착함이 바람직하다. 접지전극(13)의 부착위치는 특별히 정해진 것은 아니지만 활동 전극과 참조전극과 떨어진 수록 좋다. 따라서 팔목에 접지전극을 부착한 례를 도시하였다.

[0019] {표 1}

1CH	2CH	운동	Enable	Dir
ON	ON	펼	0	0
OFF	ON	펼	0	0
ON	OFF	굽힘	0	1
OFF	OFF	정지	1	

[0020]

[0021] 상기 1CH는 이두근에 부착된 전극들에서의 신호 여부를, 2CH는 삼두근에 부착된 전극들에서의 신호 여부를 감지한 결과를 나타낸 것이다. 상술한 표 1에서 나타낸 것과 같이, 이두근 신호와 삼두근 신호가 모두 나올 때는 굽힘 동작을 하도록, 이두근 신호만 나올 때는 굽힘 동작, 삼두근 신호만 나올 때는 펼 동작, 두 신호가 모두 나오지 않을 때에는 정지동작을 하도록 후술하는 기구부를 제어하게 된다. 특히, 위 근전도 신호의 검출동작은 일반적으로, 근전도 신호 기준레벨을 검출하는 과정을 거치게 된다. 이는 사용자마다 근전도 신호가 다르기 때문에 사용자의 고유 기준레벨을 검출할 필요가 있기 때문이다. 따라서 본 시스템의 사용과 동시에 정지 상태에 있는 사용자로부터, 근전도 신호를 약 3초간(ADC 횟수; 8,000,000번) 중 가장 높은 신호를 검출하여 그 신호를 기준레벨로 정한다. 이후, ADC된 근전도 신호를 100개 단위로 샘플링 한 다음, 샘플링된 값 중에서 가장 큰 값을 추출하고, 추출된 값이 기준레벨보다 높으면 동작은 "ON", 낮으면 "OFF", 추출된 두 값이 모두 기준레벨보다 낮으면 정지동작을 하도록 동작을 제어할 수 있도록 한다.

[0022] 도 2b 내지 도 2e는 상술한 근전도 신호를 추출하여 동작제어 상태를 DSP에서 확인한 이미지를 나타내는 것이다.

[0023] 도 2b는 기본 상태에서의 DSP를 확인한 값으로, 좌측 2개의 그래프(a, c)에서 중간에 있는 선이 기준레벨(x)에 해당한다. 그리고 좌측 상단의 그래프(a)는 상기 CH1인 이두박근에서 샘플링된 값을 나타내며, 좌측 하단의 그래프(b)는 CH2인 삼두박근에서 샘플링된 값을 나타낸다. 우측 상단의 그래프(b)는 CH1인 이두박근의 신호를 ADC한 값을 나타내며, 우측 하단의 그래프(d)는 CH2 삼두박근의 신호를 ADC한 값을 나타낸다.

[0024] 상술한 도 2b의 상태에서 동일한 그래프의 변화를 살펴보면, 도 2c에서는, 삼두박근만 운동하는 상태(내리는 상태)는 도시된 것과 같은 그래프의 변동이 형성되며, 도 2d는 이두박근만 운동하는 상태(잡는 상태)의 신호변화, 도 2e는 두 신호 모두 나오는 상태의 신호 변화를 도시한 것이다.

[0025] 상술한 활동전극과 참조전극의 미세한 전압차이를 통해 추출되는 입력신호(EMG 신호)는 본 발명에 따른 증폭 및 필터링 부를 거쳐서 변환되게 된다.

[0026] 도 1 및 도 3a 내지 도 3d를 참조하면, 이는 상술한 본 시스템에서 신호증폭 및 필터부(20)를 구성하는 구현 회로도를 도시한 것이다.

[0027] 본 발명에 따른 추출된 EMG신호는 수 μV 밖에 되지 않기 때문에 후술할 디지털 신호 처리기(DSP; 30)에서 바로 입력받아 처리하기가 어렵다. 따라서 아날로그 형태의 EMG신호를 디지털신호로 변환(ADC)하기 위해서는 신호처리가 필요하다. 따라서 차동증폭부(21), 노치필터부(Notch Filter; 22), 하이패스필터부(HPF; 23), 로우패스필터부(LPF; 24), 클리핑회로부(Clipping circuit)로 구성되어있는 회로부를 신호가 거치게 된다.

[0028] 도 3a를 참조하면, 이는 본 발명에 따른 차동증폭부(21)의 구현 실시예를 도시한 것으로, (a) 차동증폭회로와 (b) 본 발명에 적용한 고성능 차동증폭기에 적용하는 INA126 증폭기를 예시한 것이다. 즉 구체적으로는 상기 차동증폭부(21)은 활동전극과 참조전극 사이의 전압을 증폭하는 기능을 수행한다. 입력되는 이 신호는 0.01~10mV로 매우 작은 값이기 때문에 증폭이 필요하다. 이 IC의 데이터시트를 이용하여 증폭도를 계산해 보면 $G = 5 + (80K\Omega / 100) = 805$ 이다. 따라서 $V_{out} = [V_{in}(3pin) - V_{in}(2pin)] * G$ 이므로 약 805배 증폭된 출력신호를 얻을 수 있다.

[0029] 도 3b를 참조하면, 도시된 것은, 본 발명의 노치필터부(22)를 구현하는 일례를 도시한 것으로, 상기 노치필터부는 상기 차동증폭부에서 증폭된 신호를 특정 주파수 대역을 제거하는 기능을 수행한다. 구체적으로는, 상기 노치 필터부(Notch Filter)는 특정 주파수에서 급격한 감쇠성을 가지고 있는 필터부이다. 본 발명에서는 사용하는 전압에 존재하는 60Hz의 주파수 대역을 제거하기 위해 상기 노치필터부를 사용하였다. 하나의 필터를 사용하여 정확히 60Hz 주파수를 없애기에 어려움이 있기 때문에 2개의 노치 필터를 이용해 60Hz 근처의 주파수를 제거

하도록 구성하였다.

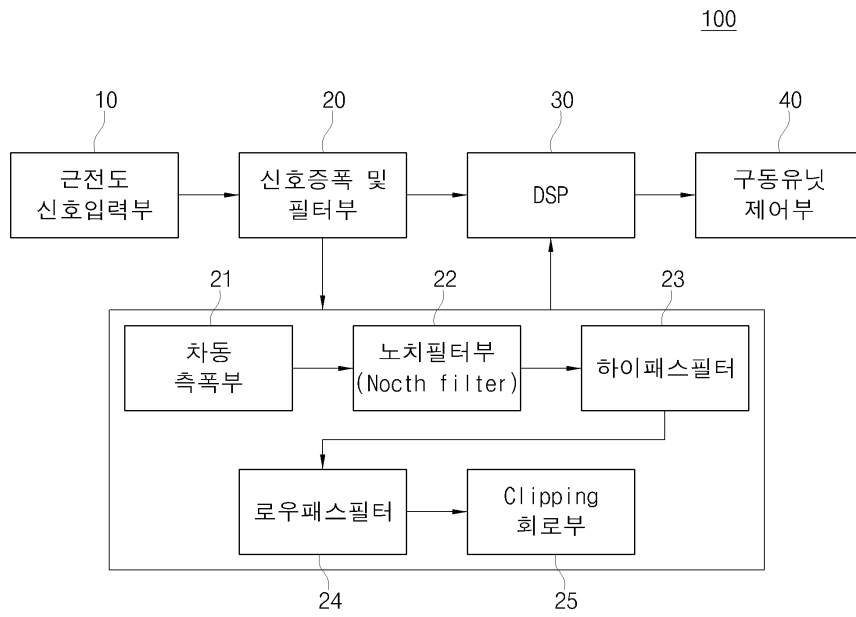
- [0030] 도 3c는 본 발명에 따른 (a) 하이패스필터(HPF)와 (b)로우패스필터(LPF)를 구현한 예를 도시한 것이다.
- [0031] 구체적으로는, 근육에서 나오는 신호의 범위는 최소 10Hz, 최대 2,000Hz의 범위이다. 하지만, 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정한 결과 일반적으로 근육에서 사용되는 신호의 주파수 범위는 20~450Hz에 해당하므로, 본 발명에서는 20~450Hz 이외의 주파수는 노이즈로 처리하여, HPF와 LPF를 사용하여 나머지 범위의 신호를 차단하였다. HPF를 사용하여 20Hz 이상의 주파수만을 통과, LPF를 사용하여 450Hz 이하의 주파수만을 통과하도록 구성하였다.
- [0032] 도 3d는 본 발명에 따른 클리핑회로부(25)의 구현례를 도시한 것이다. (a)는 본 발명에 따른 입력신호의 클리핑 현상을 도시한 것이며, (b)는 Gain Control & Level Shift된 신호를 나타낸 것이다.
- [0033] 즉, 본 발명에서는 상술한 것처럼, 입력되는 근전도 신호 처리를 위해 사용한 디지털 신호 처리기(이를 테면, TMS320F28X DSP 등) 자체에 내장된 ADC(아날로그-디지털 변환) 기능을 사용하기 위해서는 아날로그 신호의 입력 범위가 0~3V이어야 한다. 만약 근육에서 나오는 전압이 높으면 그 신호가 증폭되어 이 범위 밖의 값을 가질 수도 있으므로 신호를 그대로 받아들여 DSP가 망가질 위험이 있다. 따라서 DSP의 입력신호를 0 ~ 3V의 범위를 가지도록 하기 위해 차동증폭회로, Notch Filter, HPF, LPF 회로를 거친 신호가 마지막으로 클리핑(Clippling) 회로를 사용하여 상변화를 거친 상태로 신호를 구현하게 된다.
- [0034] 도 4a 및 도 4b를 참조하면, 이는 본 발명에 따른 구동유닛제어에 따라 실제로 물체를 기증하는 기구부를 도시한 것이다.
- [0035] 도시된 것처럼, 본 발명에 따른 근전도 신호의 추출과 필터링과정을 거치는 전체적인 시스템(100)에서의 신호는 구동유닛제어부의 제어에 따른 구동부(예를 들면, 액추에이터(41))를 구동시키게 되며, 상기 구동부(41)의 구동에 따라 도시된 암(arm)부(120)이 물체를 들어올리는 동작을 하게 된다. 물론 상기 암부는 도시된 구조와는 달리 상기 구동부의 동작에 따른 물체를 리프트 하는 구조물로 변형설계가 가능함은 물론이다.
- [0036] 본 발명에 따른 일 실시예로서의 상기 기구부는 상기 암부(120)와 일체로 연결되는 지지부(110)를 구비할 수 있으며, 이는 인체의 어깨 부분에 장착할 수 있도록 일정한 굴곡을 가지고 있으며, 이로 인해 보다 안정적인 구조로 전체 시스템을 인체에 부착하여 사용할 수 있도록 할 수 있다.
- [0037] 도 4b는 본 발명에 따른 (a~b)로봇시스템과 기구부를 이용하여 인체에 장착하고 물체를 리프트 하는 작용을 보이기 위한 이미지 사진이다. 물론 이러한 적용분야 외에도, 본 로봇시스템은 (b) 근력이 부족하거나 팔 관절을 사용할 수 없는 환자, 스스로 팔을 움직일 수 없는 정형외과 환자를 위한 보조장치로 활용이 가능하며(의학 로봇 분야), (c) 또는 도시된 것처럼, 무거운 군용장비를 들고 이동하는 군인을 보조할 수 있는 보조로봇으로 군용로봇 분야에도 적용할 수 있으며, (d) 무거운 건축 자재를 옮기거나 장비를 다룰 때, 노동자를 도와주는 기능(건축로봇분야), (e) 화물을 다루는 등 반복적인 작업이 필요한 산업로봇 분야에 다양하게 적용이 가능한 범용성이 있다.
- [0038] 전술한 바와 같은 본 발명의 상세한 설명에서는 구체적인 실시예에 관해 설명하였다. 그러나 본 발명의 범주에서 벗어나지 않는 한도 내에서는 여러 가지 변형이 가능하다. 본 발명의 기술적 사상은 본 발명의 기술한 실시예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 특허청구범위뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면의 간단한 설명

- [0039] 도 1은 본 발명에 따른 로봇 시스템의 요부를 도시한 블록도이다.
- [0040] 도 2a 내지 도 2e는 본 발명에 따른 근전도신호입력부의 구성 및 기능을 도시한 개념도 및 이미지이다.
- [0041] 도 3a 내지 도 3d는 본 발명에 따른 신호증폭 및 필터부의 구현 실시예를 도시한 것이다.
- [0042] 도 4a는 본 발명에 따른 기구부, 도 4b는 본 발명의 적용례를 도시한 것이다.

도면

도면1



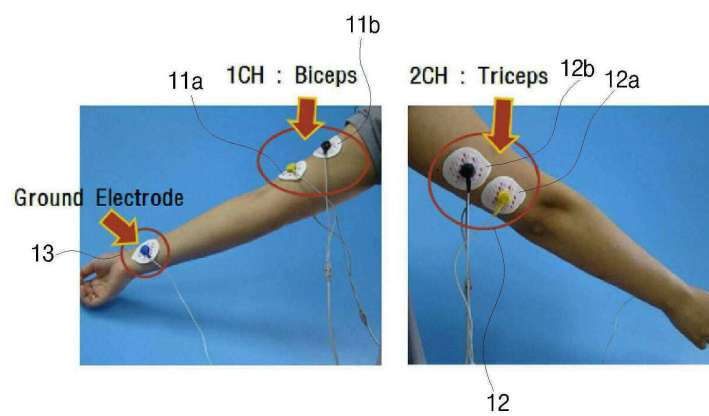
도면2a



(a)

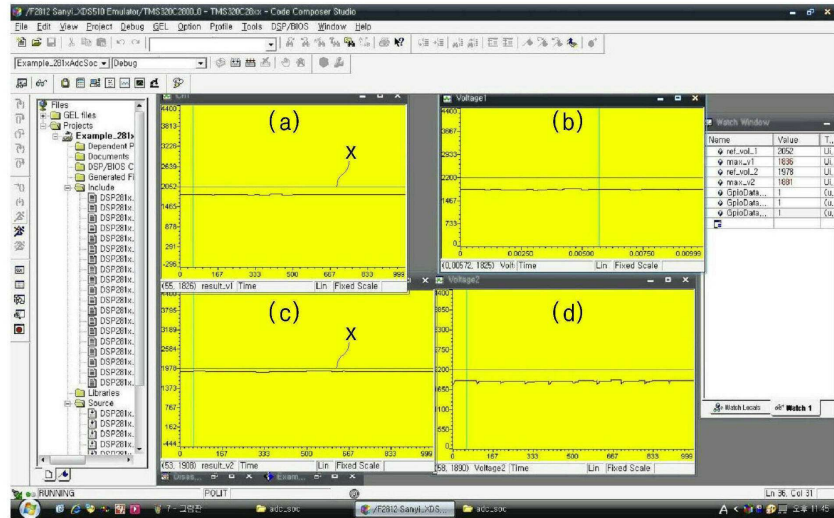


(b)

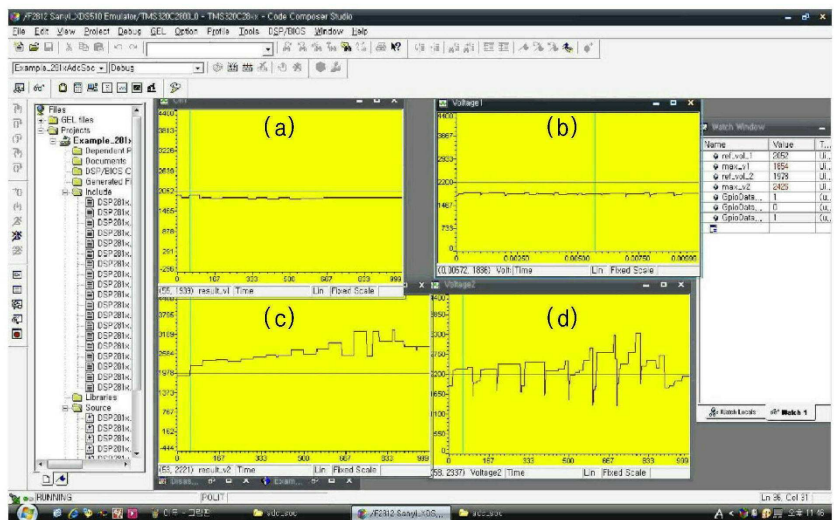


(c)

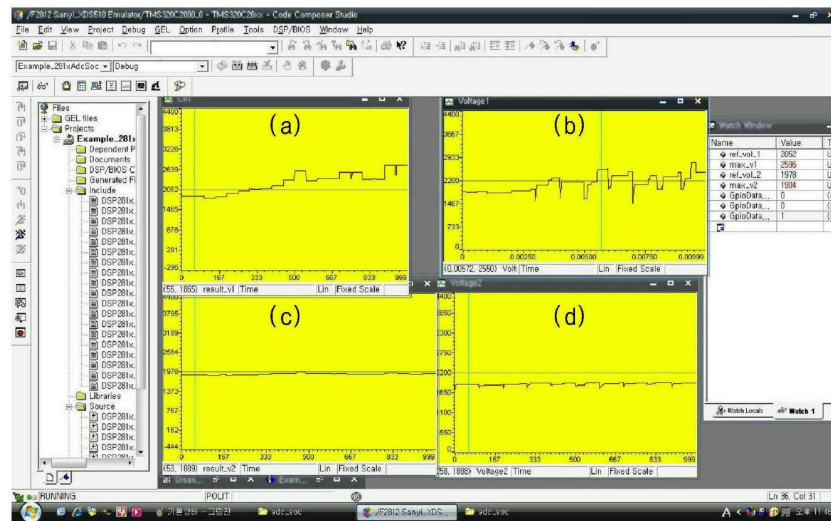
도면2b



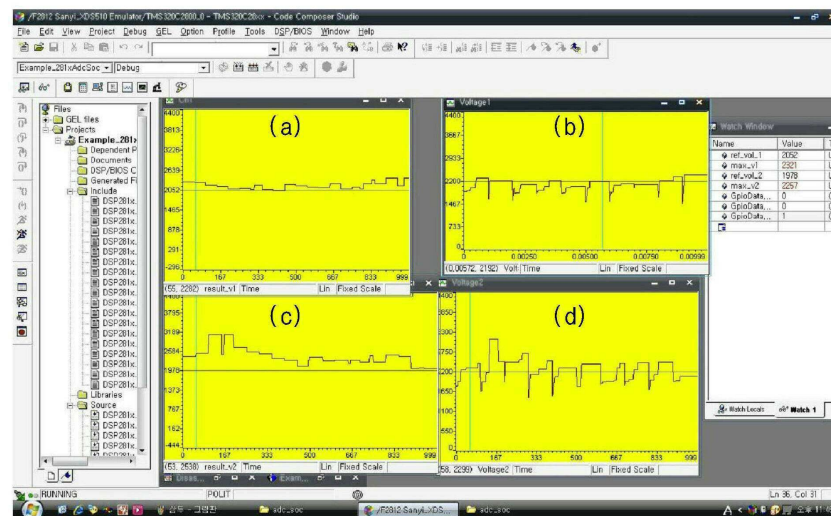
도면2c



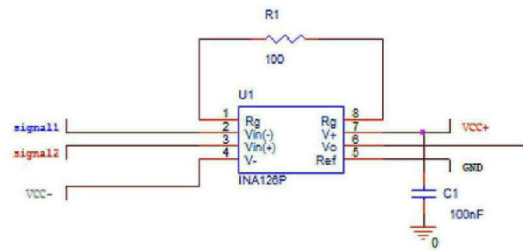
도면2d



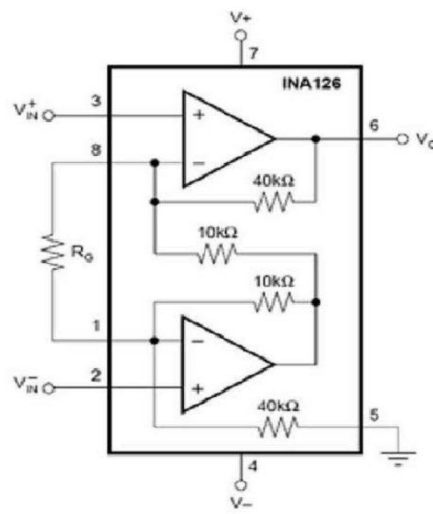
도면2e



도면3a

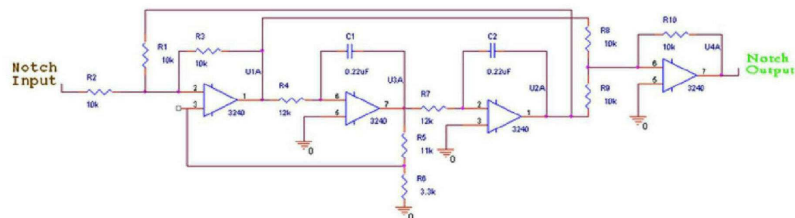


(a)

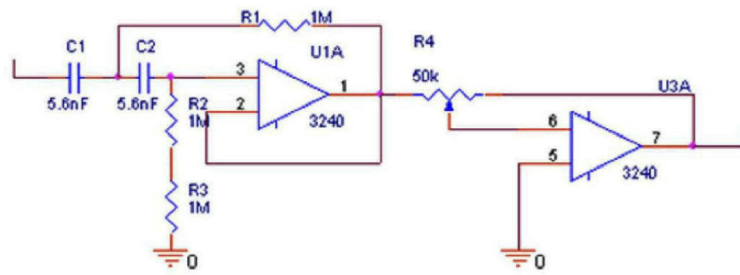


(b)

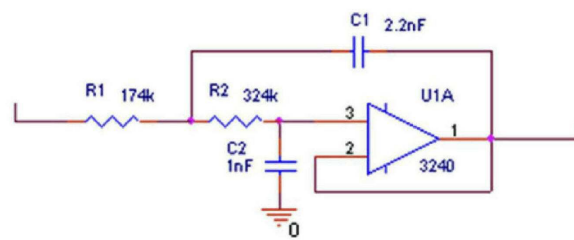
도면3b



도면3c

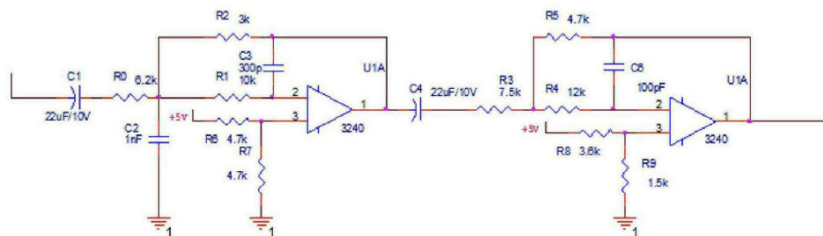


(a)

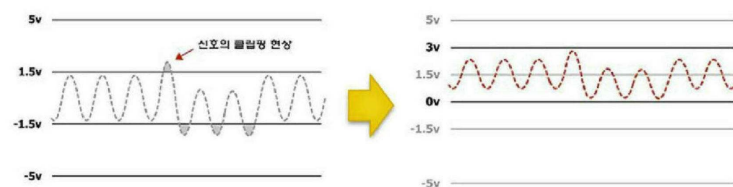


(b)

도면3d

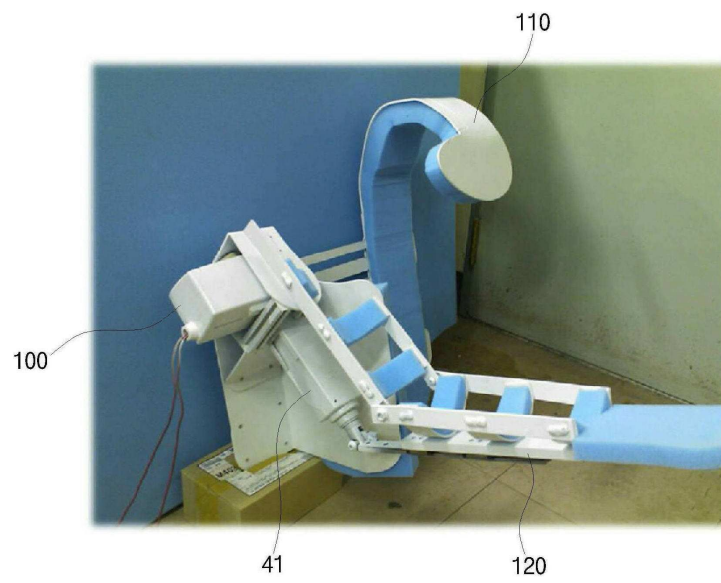


(a)



(b)

도면4a



도면4b



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)