

편마비 환자의 상지 재활 기기 운용을 위한 관절 각 추정 기법에 관한 연구 II

Study on The Estimation Method of the Joint for the Operation of the Upper Limb Rehabilitation Equipment for Hemiplegic Patients II

송기선*, 엄수홍, 이응혁

K. S. Song, S. H. Eom, E. H. Lee

요 약

본 논문은 편마비환자들의 상지재활 기기 운용방법으로 건축에서 관성측정장치를 기반으로 한 관절각 추정 기법과 착용 과정에서 발생하는 측정축 뒤틀림을 보정하는 기법을 제안한다. 제안하는 기법을 검증하기 위해 실험자 왼팔의 상완과 전완에 관성측정장치를 부착하였으며, 임의의 자세를 촬영하여 검출한 실제 관절 각과 관절각 추정한 각과 비교하여 검증 하였다. 그리고 측정축 뒤틀림을 보정하는 기법을 적용 전/후를 비교하여 검증하였다. 실험 결과 측정축 뒤틀림 보정을 적용전은 관절각 일치율이 89.16%로 저조한 일치율을 보였으나, 측정축 뒤틀림을 보정한 후에 관절각 일치율은 93.28%의 일치율로 4.12% 개선되었음을 확인 하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a method for correcting the measurement axis twist that occurs in the process of wearing and each estimation method of joint in which the inertial measurement unit based in health arm by the method of operation upper limb rehabilitation equipment of hemiplegic patients. In order to verify the proposed method, it is fitted with a inertial measurement unit of the upper arm and forearm of the experimenter left arm, verified by comparing actual joint angle is detected by photographing the arbitrary posture, the angle that the estimated joint. Then, it was verified by comparing the applied front / rear techniques for correcting the measurement axis twist. A result of the experiment, before applying the measurement axis twist correction, joint, after but each match rate showed a weak concordance rate in 89.16% and were corrected, measurement axis twist, each concordance rate of joint agreement of 93.28% I understand that it has been 4.12% improvement in the rate.

Keyword : upper limb rehabilitation, hemiplegic, Estimation Method

접 수 일 : 2014.11.17

심사완료일 : 2014.11.25

게재확정일 : 2014.11.27

* 송기선 : 한국산업기술대학교 석사과정

kssong@kpu.ac.kr (주저자)

엄수홍 : 한국산업기술대학교 박사과정

sheom@kpu.ac.kr (공동저자)

이응혁 : 한국산업기술대학교 전자공학과 교수

ehlee@kpu.ac.kr (교신저자)

본 연구 일부는 “미래창조과학부 및 정보통신산업진흥

1. 서론

편마비 증상은 신체의 한쪽 근육이 경직되거나 근력이 저하되는 증상으로 주로 합병증으로 인한 2

원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행 되었음“ (NIPA2014-H0401-14-1003)

본 연구 일부는 “2014년 정부재원(교육부 BK21 플러스 사업비)으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었 음”(31Z20130012987)

차 발병이나 사고로 인한 근육손상에서 비롯된다 [1].

편마비 증상이 발생하는 부위에 따라 상지 편마비와 하지 편마비로 구분되며, 그 중 상지 편마비는 하지와 달리 양쪽 움직임이 서로 영향을 주지 않으므로 환측이 무시 되거나 방치되어 상지 운동능력을 완전히 상실하게 된다[2]. 따라서 상지 편마비 환자들은 기능손상 이전에 비해 상지 활동기능에 제약이 따르며 일상생활활동(ADL:Activities of Daily Living)을 보장 받지 못한다[3].

상지 편마비 환자들은 일상생활활동(ADL)을 보장 받기 위해서는 상실된 운동기능을 복구하는 것이 중요하며 재활훈련을 통한 기능회복방법과 기능을 대체하거나 보조하는 보조기구 활용하는 방법이 있다[4].

상지 편마비 환자들의 재활훈련은 크게 신경발달 치료, 운동치료, 신경근 전기자극 치료, 과제 수행 훈련등이 있다[2]. 이러한 재활훈련방법은 재활치료사의 직접적인 접근훈련이 장기적으로 이루어져야 한다[5]. 그러나 현재 우리나라에서는 재활치료사들의 수가 부족한 실정으로 한명의 치료사가 다수의 환자들을 지원하기 때문에 훈련의 집중도를 보장할 수 없다. 이러한 문제로 부족한 재활 치료사를 대신할 수 있는 재활 훈련기기에 대한 관심이 높아지고 있다[6].

상지편마비 환자들의 재활훈련에 사용되는 훈련기기는 단순운동을 반복적으로 수행하는 CPM(Continuous Passive Motion)형태의 훈련기기가 대다수 이다[6]. CPM형태의 재활훈련기기는 환자의 능동적인 훈련이 불가능하며 능동적인 훈련이 가능한 기기들은 미미한 실정이다[6].

상지 편마비환자의 능동적인 재활훈련을 수행하기 위해서는 훈련자의 의도파악이 선행되어 재활훈련에 반영 되어야한다. 하지만 상지 편마비 환자들의 환측에서는 근육의 긴장도를 스스로 조절하는 능력이 저하되어 환측에서 정확한 의도파악이 어렵다[7].

현재 상지편마비 환자들의 의도파악 기법은 다양한 방법으로 연구가 진행되고 있다. 거울치료가 가능한 착용형 팔꿈치 재활로봇의 연구에 의하면 휘어짐에 따라 저항 값이 변하는 특성을 갖는 굽힘 센서를 건측에 착용하여 관절의 각을 검출하여 의도를 파악하는 방법이 제안되었다[8].

굽힘 센서를 통한 의도파악 기법은 반복적인 굽힘과 펴 동작을 수행함에 따라 굽힘 센서가 복원되지 않아 각도를 측정에서 오류가 발생하는 문제점을 가지고 있다. 따라서 굽힘 센서의 복원력에 의한

문제를 해결하기 위해서 광섬유의 광굴절율을 변화 특성을 이용하여 관절의 각을 검출 하였다. 이러한 기법은 광섬유가 고정 되는 형태로써 환자들의 움직임을 방해하는 요소로 작용하여 불편함을 갖는다 [8]. 이러한 문제점을 개선하기 위해 관성측정장치를 상완과 전완에 팔찌형태로 착용하여 관절각을 측정할 기법을 선행연구에서 제안하였으나, 관성측정장치를 착용하는 과정에서 측정축이 뒤틀림으로 인해 오차가 발생하여 관절각 추정에 있어 낮은 일치율을 나타내었다[9].

따라서 본 논문에서는 관성측정장치를 기반으로 한 관절각 추정 기법과 착용하는 과정에서 발생하는 측정축 뒤틀림을 보정 기법을 제안한다.

관절각 추정을 위해 관성측정장치를 건측의 전완과 상완에 착용하여 건측상지 움직임을 추정하여 편마비 환자들의 움직임의 제약없이 쉽게 의도를 파악할 수 있도록 고안하였으며, 착용에 의한 측정축 뒤틀림 보정을 위해 초기자세에서 오차를 미리 검출하여 이를 제거한 후 관절각 추정을 보정하는 방법을 제안하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관성측정장치를 활용하여 건측상지 관절각을 추정 방법과 착용에 의한 오차 보정 기법을 나타낸다. 3장에서는 제안하는 방법을 검증에 위해 실험자를 통한 실험에 대해 설명하고, 4장에서는 결론을 맺는다.

2. 상지 관절 각 추정 기법

본 논문에서 재활기기 운용을 위한 관절각 추정 기법을 제안하였다. 이를 수행 하기 위해서는 관성측정장치를 이용하여 상완과 전완 자세를 검출 하여 주관절 각을 추정 하는 기법으로 다음 그림 1과 같다.



그림 1. 관절 각 추정 방법

그림 1과 같이 편마비 환자를 위한 상지 재활 기기 운용 방법은 관성측정장치를 상완과 전완에 착용 후 상지 자세를 검출하게 된다. 이후 착용에 따른 관성측정장치의 측정 축의 뒤틀림을 보정하게 된다. 보정된 상완과 전완의 자세를 통해 주관절의 내각을 추정 하는 기법이다.

2.1 상지 자세 검출 위치와 방법

건측상지 자세를 검출 하기 위해 관성측정 장치의 부착위치는 관절 회전축에 부착하는 것이 데이터 취득에 용이 하지만 정확한 회전축에 부착하는 것이 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 훈련자의 탈부착 및 움직임이 용이 하도록 상완과 전완의 위치를 선정 하였다. 관성측정장치 부착 위치는 다음 그림 2와 같다.

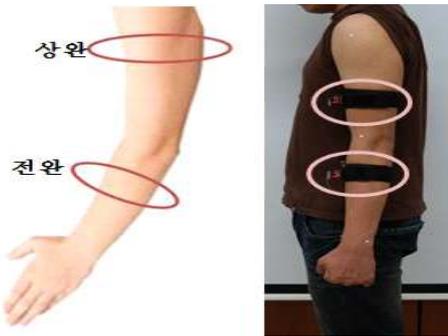


그림 2 관성측정장치 부착 위치 및 실제 부착 위치

그림 2과 같이 관절 회전축이 아닌 상완과 전완에서의 운동정보를 검출은 관절 회전 운동의 원호에서 검출하게 되며 상완과 전완의 검출 방법은 동일하다. 검출 방법은 다음 그림 3와 같다.

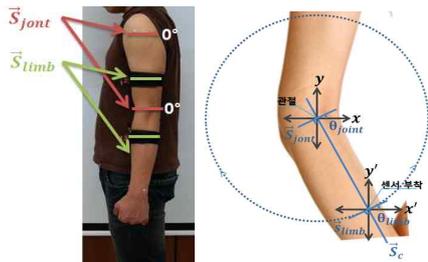


그림 3. 초기자세(좌)와 센서 검출 방법(우)

그림 3의 좌측 그림과 같이 어깨와 팔꿈치 중력 방향으로 펼쳐 있는 초기자세에서 관절 회전각을 0°라고 가정한다. 따라서 초기자세의 관절 회전각과 관성측정 장치에서 측정한 각도가 0°일 경우 관절의 회전 축 \vec{S}_{jont} 와 관성측정장치의 측정축 (\vec{S}_{limb})의 직선 성분은 평행을 이루게된다. 그러므로 전완 및 상완에서 측정한 관절 회전 각(θ_{jont})과 관절의 회전 각(θ_{limb})은 동위각이므로 같다고 볼 수 있다.

2.2 주관절 내각 추정 기법

2.1절에서 상완과 전완에서 검출한 관절 회전 각을 통해 팔꿈치 관절의 내각을 검출하는 기법을 서술하였다. 관절각 추정 기법에 대한 개념도는 다음 그림 3과 같다.

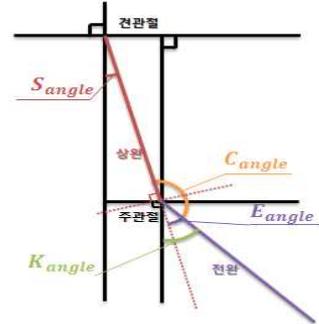


그림 4. 관절각 추정 기법

그림 4에서 견관절은 어깨 관절을 뜻하며 주관절은 팔꿈치 관절을 뜻한다.

상완에서 관성측정장치를 통해 검출한 각(S_{angle})은 견관절의 회전 각과 동일함을 2.1절에서 서술하였다.

전완에서 검출한 각(K_{angle})은 견관절의 회전각(S_{angle})을 포함 하기 때문에 견관절 회전각을 제거한 각(E_{angle})이 주관절의 회전각이라고 할 수 있다. 주관절의 회전각의 관계식은 식 1과 같다.

$$E_{angle} = K_{angle} - S_{angle} \tag{1}$$

주관절의 내각(C_{angle})의 최대가 신체 골격 구조에 의해 180°임을 이용하여 주관절의 내각을 다음 식 2를 통해 알수 있다.

$$C_{angle} = 180^\circ - E_{angle} \tag{2}$$

식 1과 식 2를 통해 전완과 상완에서 관성측정장치를 기반으로 주관절 내각을 추정이 가능하다.

2.3 관성측정장치의 측정축 보정 기법

2.2절에서 상지 관절각 추정 기법을 통해 주관절의 내각을 추정 할 수 있었다. 하지만 실제 훈련자에게 상완과 전완의 관성측정장치를 착용을 할 경우 매번 같은 위치에 착용을 한다는 것은 불가능

하다고 하며 측정축의 틀어지게 작용을 할 수 있다.

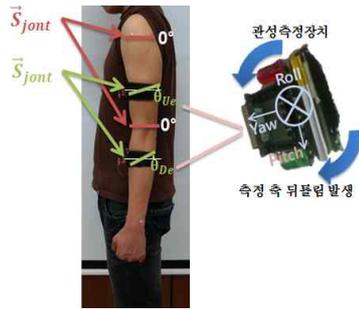


그림 5. 측정축 뒤틀림 발생 예

그림 5와 같이 착용의 위치에 따라 팔의 두께와 표면적인 각도가 다름으로 인해 관성측정장치의 측정 축이 뒤틀리게 된다. 이로 인해 2.1 절에서 제시한 관절 회전 각와 센서의 회전 각의 동위각 관계는 성립하지 않기 때문에 오차발생 된다. 따라서 본 절에서는 뒤틀린 관성측정장치의 측정축을 보정기법을 제안한다.

측정 축 보정 기법은 관성측정장치를 착용후 그림 5와 같은 초기자세에서 상완과 전완에서 측정되는 각을 오차로 간주한다. 즉 초기 자세에서 상완(θ_{Uc})과 전완(θ_{De})에서 검출되는 오차각을 제거하여 관절의 회전축과 관성측정장치의 측정축을 수평으로 맞추워 주는 기법이다. 초기자세를 이용한 측정 축 보정 기법은 식 3과 같다.

$$E_{angle} = (K_{angle} - \theta_{De}) - (S_{angle} - \theta_{Uc}) \quad (3)$$

3. 실험 및 결과

본 논문에서 제안 하는 상지 관절각 추정 기법을 검증 하기 위해 20대 남성의 왼팔 상완과 전완에 관성 측정 장치를 부착하여 검출한 주관절 내각과 비디오 촬영을 통한 훈련자의 실제 내각을 비교실험으로 구성하였다.

3.1 실험 방법

관성측정장치의 부착 위치는 훈련자의 탈부착 및 움직임이 용이하도록 견관절과 주관절의 아래 10cm 이내로 하였다. 실험에 사용된 센서는 소형 관성측정장치를 이용하여 제작 하였으며, 표 1과 그림 4와 같다.

표 1. 관성측정장치 사양

구분	내용
센서	MPU6050(IMU):3축가속도+3축자이로
통신	블루투스
샘플링	10ms
사이즈	31 X 23 X 25(mm)
배터리	LiPo 230mA



그림 6. 관성측정장치

제안한 기법을 검증하는 실험 방법은 표 1과 같은 사양을 갖는 관성측정장치를 왼팔의 상완과 전완에 착용하여 실험자가 임의로 상지의 자세를 취하게 하였다. 임의의 상지자세를 약 5초정도를 유지하는 중 사진을 촬영하였다.

촬영한 사진을 통해 실제 실험자의 주관절 각과 관성측정장치를 통해 추정한 주관절의 각을 비교하여 검증하는 실험으로 구성하였다. 이러한 실험 방법을 통해 관성측정센서의 측정축 보정 기법을 적용전의 관절각 추정 일치율과 적용후 일치율을 비교하여 검증하는 실험으로 구성하였다.

3.2 실험 결과

3.1절에서 제시한 실험방법을 통해 측정 축 보정 기법을 적용하기전 관절각 추정 결과와 실험자가 취한 임의의 자세와 실제 주관절 내각을 비교하여 일치율을 검증하였다. 그림 7은 실험자가 취한 임의의 자세와 실제 내각을 나타낸다.



그림 7. 축보정 기법 적용 전 실제 내각

그림 7과 같이 그림으로 검출한 주관절 내각과 관절추정기법을 통해 추정한 내각의 오차율과 일치율은 표 2와 같다.

표 2. 측보정 기법 적용 전 실험결과

주 관절 내각	89.2°	174.4°	60.5°	127.7°	47.8°	일치율 (%)
S_{angle}	72.5°	25.9°	181.7°	5.5°	12.7°	89.16
K_{angle}	151°	46.8°	68°	44.9°	145.9°	
C_{angle}	101.5°	153.1°	66.3°	140.6°	46.8°	
오차율 (%)	12.4%	8.7%	13.6%	10.1%	9.4%	

관성측정장치의 측보정 기법을 적용하기전 주관절 내각 추정 결과의 최대 오차각은 12.3°를 보였으며, 약 89.16%의 일치율을 보였다. 저조한 일치율을 개선하기위해 초기 자세를 통해 측정측 보정 기법을 적용하였으며 측보정 전/후의 초기자세 측정 값을 비교 값은 표 3과 같다.

표 3. 측정측 보정에 대한 초기자세 검출

측정 부위	보정 전	보정 후
상완	7.88°	0.56°
전완	5.32°	0.63°

측정측 보정 기법을 적용하기 전에 상완과 전완에서 실제로 관성측정장치에서 측정되는 각도로 상완에서는 7.88°, 전완에서는 5.32° 정도 검출 되었으며 주관절 추정에 대한 오차의 원인으로 확인 하였다.

측보정 이후 초기자세 측정 각도는 상완에서는 0.56°, 전완에서는 0.63° 검출을 확인한 후 관절각 추정 기법 검증을 실험 하였으며 실험자가 취한 실제 내각은 다음 그림 8과 같다.



그림 8. 측보정 기법 적용 후 실제 내각

실험자가 취한 임의의 자세에서 검출한 주관절 내각과 관절추정기법을 통해 추정한 내각의 오차율과 일치율은 아래 표 3와 같다.

표 4. 측보정 기법 적용 전 실험결과

주 관절 내각	98.3°	132.2°	75.3°	170.7°	112.7°	일치율 (%)
S_{angle}	62.6°	2.3°	98.8°	108.2°	-28.9°	93.28
K_{angle}	136.7°	62.5°	19.9°	108.8°	44.7°	
C_{angle}	105.9°	140.5°	81.9°	179.4°	106.4°	
오차율 (%)	7.7%	6.3%	8.9%	5.1%	5.6%	

관성측정장치의 측보정 기법 적용 후 주관절 내각 추정 결과에서는 최대 오차각이 약 6.6°정도 나타났으며, 약 93.28%의 일치율을 보였다. 이는 보정 기법을 적용하여 상지 주관절 각의 일치율이 4.12% 개선 되었음을 확인하였다. 보정 후 나타나는 오차는 상지를 감사는 형태의 관성측정장치 착용방식은 주관절 각에 따라 상완의 이두근이 수축/이완에 의해 오차 발생의 원인으로 보이며, 추후 관성측정장치의 부착위치 변경함으로 개선이 가능할 것으로 보인다.

4. 결론

본 논문은 편마비환자들의 상지재활 기기 운용방법으로 건축 상지에서 관성측정장치를 통해 검출한 자세를 통해 주관절각을 검출하는 기법과 관성측정장치의 착용에 의한 측정 측의 뒤틀림을 보정하는 기법을 제안 하였다. 이를 수행 하기 위해 상완과 전완에 팔찌형태의 관성측정장치를 착용하여 상지 자세를 검출 하였다. 검출한 상지자세를 통해 상지 주관절의 내각을 추정하였다. 관성측정장치의 착용 위치에 의해 발생하는 오차를 개선하기 위해 초기 자세를 통해 검출한 오차각을 제거하여 오차를 개선하였다.

제한한 기법을 검증하기위해 20대 남성 실험자의 왼팔의 상완과 전완에 관성측정장치를 부착하여 임의의 자세를 촬영하여 실제 주관절 내각을 검출하여 추정한 관절각과 비교 검증하는 실험방법을 구성하였다. 측정측 보정 기법의 적용 전과 적용 후의 검증 결과를 비교 하여 개선정도를 분석 하였다.

실험 결과 측정 측 보정 기법을 적용 전 관절각 추정 기법에 대한 일치율은 89.16%의 저조한 일치율을 보였으나, 측정측 보정 기법을 적용 후 일치율은 93.28%의 일치율로 4.12% 개선되었음을 확인 하였다.

그 결과 상지를 감사는 형태의 관성측정장치 착용방식은 주관절 각에 따라 상완의 이두근이 수축/이완에 의해 오차 발생의 원인으로 확인 하였다.

향후 제안한 기법을 적용한 인터페이스 개발시 외형을 통해 개선하거나 관성측정장치의 측정위치 변경을 통해 관절각 추정 일치율이 개선 될 것으로 보인다.

Acknowledgements

본 연구 일부는 “미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구 결과로 수행 되었음” (NIPA2014-H0401-14-1003)

본 연구 일부는 “2014년 정부재원(교육부 BK21 플러스 사업비)으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음”(31Z20130012987)

참 고 문 헌

[1] 뇌졸중임상연구센터, “뇌졸중 진료지침”, 보건복지부지정 뇌졸중임상연구센터,2013

[2] 황정하, 김형민, 이재신, “양측성 상지운동이 뇌졸중 환자의 양손 협응 및 일상생활활동에 미치는 영향”, 고려자·치매 작업치료학회지, 제5권 1호, pp.13-25,2011

[3] Jean-Michel Gracies, Jenő Emil Marosszék, Roger Renton, Simon C. Gandevia, Simon C. Gandevia, David Burke, “Short-term effects of dynamic lycra splints on upper limb in hemiplegic patients. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation”, Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, Volume 81 Issue 12, pp.1547-1555,2000

[4] 김성희, 변용찬, 손창균, 이연희, 이민경, 이송희, 강동욱, 권선진, 오혜경, 윤상용, 이선우, “2011 장애인 실태조사”, 보건복지부 한국보건사회연구원,2012

[5] Xiao Ling Hu, Kai-yu Tong, Rong Song, Xiu Juan Zheng, Wallace W. F. Leung, “A Comparison Between Electromyography-Driven Robot and Passive Motion Device on Wrist Rehabilitation for Chronic Stroke”, Neurorehabilitation & Neural Repair, Volume 23 no 8, pp.837-846,2009

[6] 전민호, 이진화, “뇌질환 환자의 로봇 재활 치료”, 대한의사협회지, 제56권 1호, pp. 23-29,2013

[7] 한승협, 최용원, 강경윤, “뇌졸중 환자의 손기능에 대한 근전도 바이오피드백의 효과”, 대한작업치료학회지, 제17권 4호, pp. 13-24,2009

[8] 양지훈, 백진슬, 문인혁, “거울치료가 가능한 착용형 팔꿈치 재활로봇”, 재활복지공학회논문지, 제8권 2호, pp.73-78, 2014

[9] 송기선, 엄수홍, 장문석, 이용혁, “편마비 환자의 상지 재활 기기 운용을 위한 관절 각추정 기법에 관한 연구”, 2014 대한전자공학회 하계종합학술대회, pp. 1049-1052,2014.

송 기 선



2013년 2월 신라대학교 전자공학과 졸업(학사)
2013년 - 현재 한국산업기술평화위원회 전자공학과 석사과정

관심분야 : 지능형 로봇 제어, 재활공학

엄 수 홍



2011년 한국산업기술평화위원회 전자공학과 학사 졸업.
2013년 한국산업기술평화위원회 정보통신학과 석사 졸업.
2013년 ~ 현재 한국산업기술평화위원회 정보통신학과 박사 과정

관심분야 : 지능형 로봇 제어, 재활공학

이 용 혁



1985년 인하대학교 전자공학과 학사 졸업.
1987년 인하대학교 전자공학과 석사 졸업.
1992년 인하대학교 전자공학과 박사 졸업.
2000년 ~ 현재 한국산업기술평화위원회 전자공학과 교수

관심분야 : 지능형 서비스로봇 제어, 모바일 헬스케어 시스템, 재활공학