

Interesting Articles for KEMA Members

IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING, VOL. 59, NO. 9, SEPTEMBER 2012

2635

Shoulder and Elbow Joint Angle Tracking With Inertial Sensors

Mahmoud El-Gohary* and James McNames

Abstract—Wearable inertial systems have recently been used to track human movement in and outside of the laboratory. Continuous monitoring of human movement can provide valuable information relevant to individuals' level of physical activity and functional ability. Traditionally, orientation has been calculated by integrating the angular velocity from gyroscopes. However, a small drift in the measured velocity leads to increasing integration error over time. To compensate that drift, complementary data from accelerometers are normally fused into tracking systems using the Kalman or extended Kalman filter. In this study, we combine kinematic models designed for control of robotic arms with state-space methods to continuously estimate the angles of human shoulder and elbow using two wearable inertial measurement units. We use the associated Kalman filter to implement the nonlinear state-space inertial tracker. Shoulder and elbow joint angles obtained from 8 subjects using our inertial tracker were compared to the angles obtained from an optical-tracking reference system. On average, there was an RMS angle error of less than 8° for all shoulder and elbow angles. The average correlation coefficient for all movement tasks among all subjects was $r > 0.95$. This agreement between our inertial tracker and the optical reference system was obtained for both regular and fast-speed movement of the arm. The same method can be used to track movement of other joints.

Index Terms—Elbow, inertial sensors, joint angle tracking, kinematics, shoulder, wearable devices.

I. INTRODUCTION

MEASUREMENT and analysis of human movement has many applications including diagnosis of neurological movement disorders, rehabilitation from injury, and enhancement of athletic performance. Movements can be measured using a wide variety of techniques and sensors. Optical systems have been widely used to assess leg, elbow, and shoulder kinematics noninvasively. They rely on measurements of reflected or emitted light [1]. Motion is captured by placing reflective markers on the body and cameras are used to record the markers' positions. Optical systems are the most common and accurate in tracking movement [2]. However, they require a clear line of sight between the source and the sensor, are costly, and can only be used in a laboratory environment.

A typical inertial measurement unit (IMU) is a compact wearable device that contains a triaxial accelerometer and a triaxial gyroscope. Accelerometers measure the translational acceleration and acceleration due to gravity. Gyroscopes measure angular velocities. Wearable inertial sensors are simpler, unobtrusive, and self-contained. They are suitable for continuously monitoring over long periods while the subject performs normal activities of daily life at home. Fig. 2 shows an example of Opti sensor (Ambulatory Parkinson Disease Monitoring, Inc., Portland, OR) used in this study.

Traditionally, orientation of a segment has been estimated by integrating the angular velocities measured by gyroscopes, and position is obtained by double integration of the translational acceleration measured by accelerometers. A significant problem with integration, however, is that inaccuracies inherent in the measurements quickly accumulate and rapidly degrade accuracy. Roonberg showed that integration of noisy gyroscope data resulted in a drift of 10° – 25° after 1 min [3].

One approach to reducing integration drift is to fuse the gyroscope data with complementary data from other sensors. Laing *et al.* estimated orientation of body segments by fusing gyroscope and accelerometer data [4], [5]. The orientation obtained by integrating angular rate was split into tilt and orientation around the global vertical axis. The difference between gyroscope and accelerometer tilt was fused with a Kalman filter to more accurately estimate the tilt. This was then combined with the rotation around the vertical axis to produce a better orientation estimate. However, the estimation was accurate for only brief periods when the subject was not moving and when acceleration was only due to gravity.

To alleviate the cumulative drift around the vertical axis encountered in their earlier system [6], Laing *et al.* developed a method that used constraints in the elbow to measure the orientation of the forearm with respect to the upper arm [7], [8]. They used one inertial measurement unit near the wrist and another near the elbow. Handing error between the two arms against the wrist was minimized using the knowledge that the elbow joint does not permit abduction/adduction. The filter estimated the orientation in a way that sets the abduction angle to zero. Although they reported an improvement in estimating the orientation, the average orientation error was 20°.

Giansanti *et al.* combined gyroscopes with accelerometers to track position and orientation during three tasks: stand-to-sit, sit-to-stand, and gait initiation [9]. Error in estimation was minimal. However, they restricted the application to simple tasks and limited the measurements to a time duration of 4 s.

In a series of studies, Bachmann *et al.* used accelerometers and magnetometers in a quaternion-based complementary filter to compensate the drift of the orientation produced by

Manuscript received May 6, 2012; revised June 26, 2012; accepted July 10, 2012. Date of publication July 13, 2012; date of current version August 16, 2012. Asterisk indicates corresponding author.
*M. El-Gohary is with the Biomedical Signal Processing Laboratory, Department of Electrical and Computer Engineering, Portland State University, Portland, OR 97201, USA (e-mail: mahmoud@psu.edu).
J. McNames is with the Biomedical Signal Processing Laboratory, Department of Electrical and Computer Engineering, Portland State University, Portland, OR 97201, USA (e-mail: jmcnames@psu.edu).
Color versions of one or more of the figures in this paper are available online at <http://ieeexplore.ieee.org>.
Digital Object Identifier 10.1109/TBME.2012.2286780

0018-9294/12/0000-0000\$12.00 © 2012 IEEE

스마트 시대!

이제는 인체 움직임도

스마트 하게 측정, 분석 하자!

Shoulder and Elbow Joint Angle Tracking With Inertial Sensors

IEEE Trans Biomed Eng. 2012 Sep;59(9):2635-41

CES2015 강타한 '웨어러블과 스마트홈',

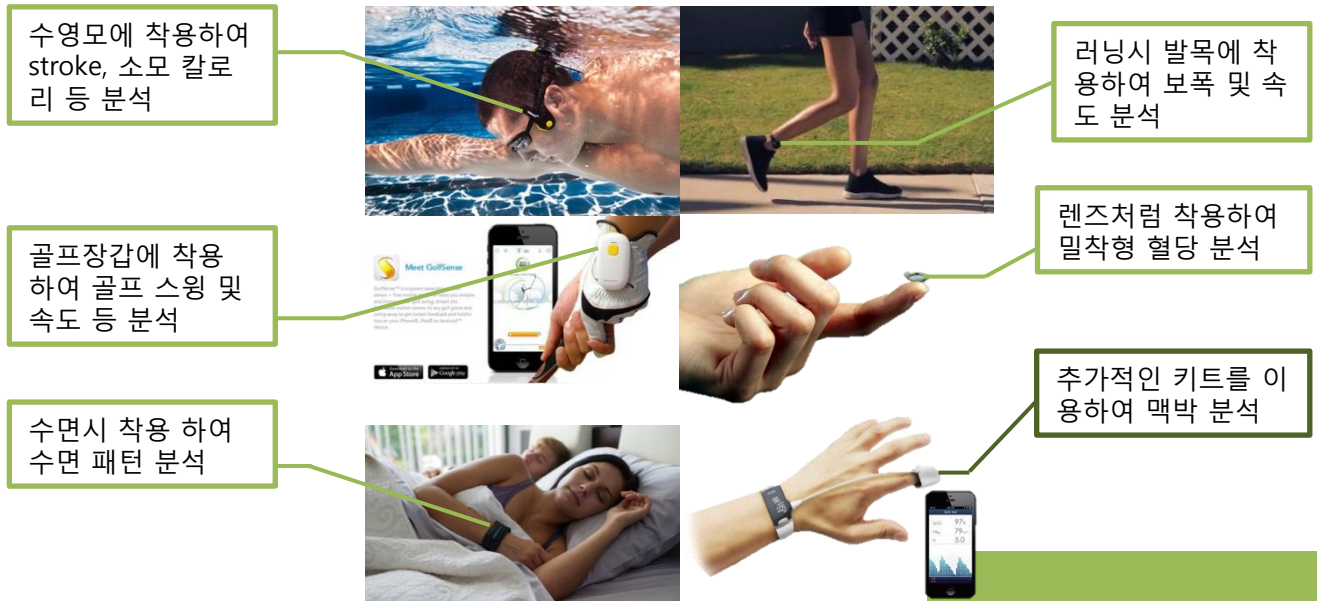
CES 2015 핵심 키워드, 웨어러블 기기

미국 라스베이거스에서 개막한 세계 최대 전자박람회 CES 2015에서 이색 웨어러블(Wearable) 기기가 눈길을 끌고 있다. 스마트폰 시장이 정체기에 접어들면서 IT기업들의 관심이 급속도로 웨어러블 시장으로 이동하고 있는 탓으로 분석된다.



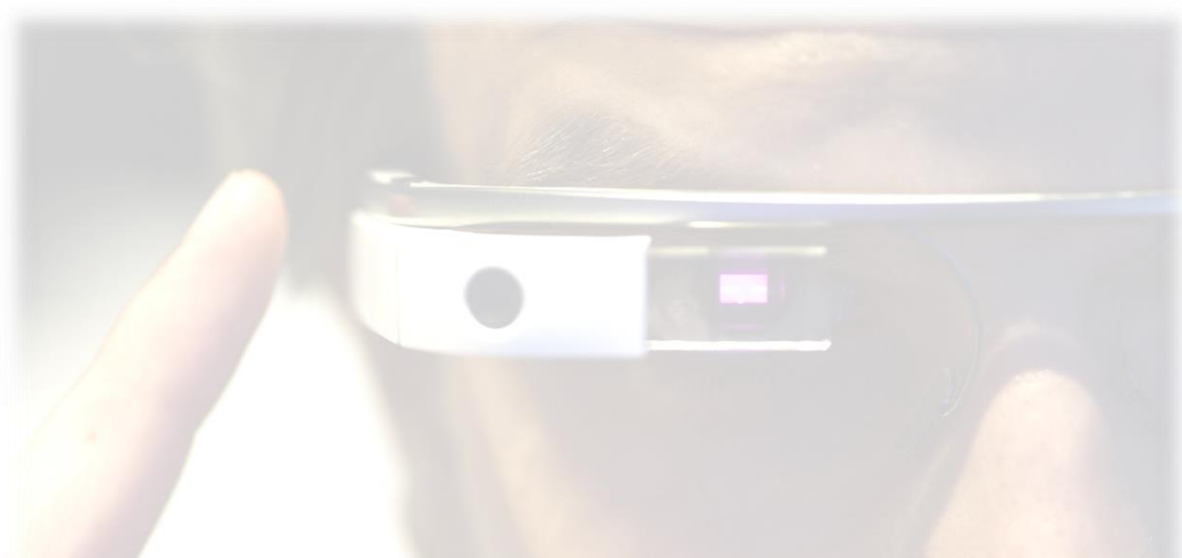
글로벌기업들은 벌써부터 새로운 성장동력의 하나로 웨어러블을 점찍고 웨어러블 제품들을 내놓고 있다. 삼성에서 갤럭시 기어, 핏 스리즈를 보이며 스마트폰을 대신할 웨어러블을 주도 하고 있으며 LG, Apple, google 등의 글로벌 기업들이 다양한 제품을 선보이며 급속도로 따라붙으며 제품을 출시하고 있다. 또 차세대 웨어러블이라 불리는 스마트 의류 산업 또한 빠르게 성장하여 IT기기를 접목한 스마트 의류들도 속속 출시되고 있다.

이렇게 웨어러블에 대한 열풍이 불고 있는 가운데 가장 주목 받고 있는 것은 웨어러블을 이용한 **헬스케어**이다.



현재 글로벌 기업들의 웨어러블은 스마트폰의 기능과 더불어 심박동 수나 간단한 physical activity를 측정하는 것에 비해 다양한 신생기업들의 헬스케어 제품이 등장하고 있다.

웨어러블을 이용해 수영이나 달리기와 같은 운동을 한 뒤, 기록된 정보와 운동분석 레포트를 사용자에게 제공해주고, sleep tracker 모드로 수면패턴을 분석해주기도 한다. 추가장비를 이용해 심박수를 측정하기도 하며, 렌즈를 장착하여 간편하고 지속적인 혈당 측정을 가능하게 한다.



이처럼 몸과 하나되는 웨어러블 기술을 이용해 손을 사용하지 않고도 실시간으로 주변 환경이나 개인의 신체변화를 계속적으로 체크할 수 있다. 그렇다면 재활 및 운동기록에 중요하게 사용되는 **측정(Measurement)과 인간움직임 분석(analysis of human movement)**도 웨어러블 기술을 이용해 간단하게 측정할 수 있을까?



Inertia sensor, APDM, Inc

이번 논문에서는 Opal 관성센서(inertia sensor, APDM, Inc)를 이용한 웨어러블과 일반적으로 측정과 움직임 분석에 사용되는 Motion capture system(Motion Analysis Corporation, Santa Rosa, CA)으로 어깨와 팔의 관절 가동 범위를 측정 해보고 이 두 가지 시스템을 비교해 보았다.



연구 방법



옆의 그림과 같이 reflective markers를 **sternum, upper arm, forearm, shoulder and wrist**에 부착하여 3d motion capture system을 이용해 관절의 각도를 분석한다. 2개의 관성센서는 각각 **upper arm과 forearm**에 부착하여 관절의 각도를 분석하였다.

첫번째 과제는 단순 관절면 움직임으로 elbow flexion, extension, forearm supination, protraction, shoulder flexion, extension, abduction, adduction을 측정하였고, **두번째 과제**는 복잡한 움직임을 측정해 보기 위해 검지를 이용하여 코에 touching하는 과제와 문의 손잡이로 검지를 가져가는 과제를 수행하는 동안 elbow의 flexion과 extension을 측정 하였다.



연구 결과

TABLE II
AVERAGE CORRELATION r , RMSE, AND PEAK-TO-PEAK ERROR BETWEEN
OPTICAL AND INERTIAL ANGLES OF SHOULDER AND ELBOW

Task	r	RMSE($^{\circ}$)	Peak Error($^{\circ}$)
Elbow Flexion/Extension	0.98	6.5	9.8
Forearm Supination/Pronation	0.95	5.5	7.8
Shoulder Flexion/Extension	0.98	5.5	7.9
Shoulder Abduction/Adduction	0.99	4.4	8.1

TABLE III
AVERAGE CORRELATION r AND RMSE BETWEEN OPTICAL AND INERTIAL
ANGLES OF SHOULDER AND ELBOW

Task	r	RMSE($^{\circ}$)	Peak Error($^{\circ}$)
Touching nose	0.94	6.5	9.8
Reaching for a doorknob	0.95	5.5	8.8

첫번째 단순 관절면 움직임 에서는 **높은 상관계수값** (평균 0.97 이상, 1에 가까울수록 비교간의 일치도가 높음)과 **낮은 범위의 RMSE(평균 제곱근 오차)값**(추정 값 또는 모델이 예측한 값과 실제 환경에서 관찰되는 값의 차이를 다룰 때 흔히 사용하는 척도, 이전연구 Bachman et al의 에러 범위 12-16)을 가지며, 두번째 복잡한 과제에서도 이와 같은 결과를 보였다.

위의 연구결과를 토대로 어깨 및 팔 관절의 움직임을 측정 할 때 웨어러블 디바이스를 이용하는 것과 3차원 운동 분석 기구를 이용하는 것은 **높은 상관관계**를 가지고 있음을 알 수 있다. 3차원 운동 분석 기구들이 고정된 카메라를 사용하여 장소에 많은 제약을 받고, 고비용이라는 점을 가만 한다면, **저렴한 가격에 장소에 제약을 받지 않고 사용 가능한 웨어러블 장비**는 일상생활에서 모니터링을 하는 데에 적합할 것이다.

스마트폰 열풍에 이은 다음 열풍의 주자인 **웨어러블 디바이스**.

웨어러블 **헬스케어**에 많은 사람들의 관심이 집중되고 있는 만큼 movement의 전문가인 우리들도 그에 대한 많은 준비가 필요할 것이다.

따라서 **“어깨관절의 간단한 움직임뿐만 아니라 복잡하고 빠른 움직임도 웨어러블 디바이스를 이용해서 간편하게 측정과 분석이 가능 하다.”**

라고 이 논문을 근거로 이야기 할 수 있을 것이다.

-KEMA 책임 연구원 정성훈-

-문의사항은 KEMA 홈페이지 기사에 댓글로 남겨주세요-