



Research on the Sensor-based System for Improving the Safety of Electric Wheelchair

Jungdae Kim*

Korea Nazarene University

ABSTRACT

In this paper, we propose a system that allows users to move more safely in a variety of terrain using an electric wheelchair. Developing from previous paper "Intelligent Powered Wheelchair" in which the ability to avoid obstacles using the laser sensor, wheelchair automatically avoid the obstacles using listening to the sound. Thus, this paper uses the sensor-based topography and controls the motor speed of the electric wheelchair according to the terrain. When normally using a power wheelchair to change fast speed suddenly, the electric wheelchair overturned, and the user happens to fall in the future. In this case, because of the center of gravity of the wheelchair due to a sudden change in the law of momentum maintaining, it occurs dangerous for users. In addition, if wheel chair does not pass through the flat terrain and to safely pass the terrain changed by controlling the motor speed in order to reduce speed slowly. The sensor was used as an acceleration sensor and a gyro sensor by using a Kalman filter to output a correct angular value. In this paper, by providing SOS service system help to receive quickly the displaying the location map, users can predefine if the button is clicked, or need urgent help. The user's location using a GPS signal and Google API was built in the smart phone, GPS's information identify the location of the user. In addition, the user's locations and user's data are saved on the server that is responsible for managing in real time, if new users request and receive the notification signal analysis, they can ask the people who previously registered via message or email.

© 2015 KKITS All rights reserved

KEYWORDS : Wheelchair Control Systems, Motor Control Systems, Complementary Filters, Kalman Filters, SOS Service System

ARTICLE INFO: Received 27 January 2015, Revised 13 February 2015, Accepted 13 February 2015.

*Corresponding author is with Korea Nazarene University,
Cheonan-si, Chungcheongnam-do, 331-718 Republic of

Korea.
E-mail address: jdkim@kornu.ac.kr

1. 서론

최근 사람들의 생활 삶과 IT기술들이 융합되면서, 다양한 서비스를 사용자에게 제공하고 있다. 거동이 불편한 사람들은 일반적으로 수동 휠체어 또는 목발을 주로 이용하였으며, 최근 정부에서는 전동휠체어의 지원금 제공으로 누구나 쉽게 전동휠체어를 구매하여 이용하고 있다. 사용자는 전동휠체어를 이용함으로써, 생활 활동범위 수준이 높아졌으며 일상생활을 함에 있어 많은 도움을 주고 있다. 전동휠체어는 많은 장점을 가지고 있지만, 단점도 가지고 있다. 일반적으로 장애인들은 인지능력이 부족하기 때문에 반복적인 연습을 통해 이를 극복해 나가고 있다. 하지만, 운전 미숙이나 다양한 지형 때문에 전동휠체어의 사고율도 점차 늘어나고 있는 추세다. 이를 극복하기 위해서 국·내외적으로 많은 연구를 진행하고 있으며, 다양한 제품 또는 연구 결과물들이 출시되고 있다. 국내는 중국, 타이완등 값싼 제품들이 국내에 수입되고 있기 때문에 국내에서는 제품을 제작하거나 연구를 진행하는 기관이 부족한 현실이다. 전동휠체어는 일반적으로 손으로 조이스틱을 조작하여, 휠체어의 이동을 제어하지만, 그렇지 못한 경우에는 입, 발, 또는 다양한 신체부위를 이용하여, 전동휠체어를 제어할 수 있도록 다양한 제품들이 출시되었다 [1]. 이처럼, 전동휠체어를 제어하기 위해서는 다양한 방법을 이용할 수 있지만 [2], 안전사고와 관련해서는 전동 휠체어를 제어하는 이용자의 역할이 크다. 본 논문에서는 지형변화에 따른 전동 휠체어의 전복사고를 줄이고자 센서 기반의 모터속도를 제어하는 시스템을 제안하고, 사용자가 도움이 필요할 경우 언제든지 도움을 받을 수 있도록 SOS서비스를 제공함으로써 보다 편리하게 전동휠체어를 이용할 수 있도록 도와주는 시스템을 제안하고자 한다.

2. 관련연구

IT기술의 발전과 사람의 삶의 수준이 높아짐에 따라 다양한 융합기술들이 지속적으로 연구되고 있고 있으며, 그 중에서 그림 1과 같이 Intelligent Powered Wheelchair [3]는 사물, 지형 및 인지능력이 부족한 사람들을 위해 자율항법 시스템이 적용된 전동휠체어를 연구하였다. 이 시스템은 장애물을 감지하거나 이를 회피할 수 있는 기능을 제공한다. 전동휠체어의 앞, 뒤로 부착된 레이저 센서를 이용하여, 이동 중에 장애물이 가까이 있는 경우, 이를 소리를 통해 위험을 알려준다. 일반적으로 자동차 주차시 차가 장애물 가까이 있을 경우 소리으로써 위험을 알려주는 방법과 똑같다. 사용자는 소리를 듣고 전동휠체어를 멈추거나 다른 방향으로 이동할 수 있도록 유도한다.



그림 1. 지능형 전동 휠체어
Figure 1. Intelligent powered wheelchair

<그림 1>에서 연구한 휠체어는 모바일 디바이스를 이용하여, 전동휠체어를 음성으로 제어할 수 있고, 모바일 디바이스 기반의 터치스크린을 이용하여 휠체어를 이동할 수 있는 기능을 가지고 있다. 하지만, 인지가 낮은 장애인이 논문에서 개발한 휠체어를 이용할 때 장애물 알림 소리를 듣고도 반응을 하지 않는다면 그대로 장애물과 충돌할 위험성 있다. 또한, 전용 터치스크린은 유선으로 연결되어 있어 최근에 많이 사용하고 있는 스마트폰과 쉽게 연동할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 이

논문은 장애물이 있는 지형에서는 유용하게 사용되지만, 경사각이 큰 오르막 또는 내리막 이동 시 전동휠체어가 넘어지는 일이 발생한다. 국내 안전보건공단에서도 이러한 지형을 주요 위험요인으로 정하고 있다. 따라서 본 논문에서는 센서를 이용하여 실시간으로 지형을 파악하고, 경사로와 같은 지형에서는 빠른 이동으로 인하여 전동휠체어가 전복되는 사고를 예방하고, 안전하게 경사로와 같은 지형을 이동할 수 있게 도와준다. 또한, 센서를 이용하여, 지형이 평탄하지 않는 곳에서도 전동휠체어의 모터 속도를 감속함으로써 보다 안전하게 지형을 이동할 수 있도록 도와준다. 본 논문에서는 스마트 폰을 이용하여, 사용자가 도움이 필요하거나 위급할 경우, 사전에 설정한 연락처 또는 이메일로 도움을 요청할 수 있는 시스템을 제안한다.

3. 전체 시스템구조

본 논문에 시스템은 크게 3분류로 나뉘지며, <그림 2>와 같은 구조를 가지고 있다.

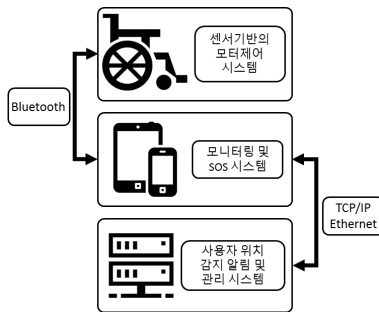


그림 2. 시스템 구조
Figure 2. System structure

먼저 센서 기반의 모터제어 시스템은 자이로 센서[4]와 가속도 센서[5]를 이용하여, 실시간으로 지형의 상태를 체크한다. 우리 생활에 주로 많이 사용하는 차량용 블랙박스[6]는 지형이 평탄하지 못

하거나 순간적인 충돌, 급정지와 같은 상황을 자이로 센서와 가속도 센서를 이용하여, 체크하고 설정한 값이 출력될 경우 녹화를 하는 시스템 구조를 가지고 있다. 본 논문에서 사용하는 시스템도 블랙박스에서 사용하는 센서 시스템과 유사한 기능을 가지고 있으며, 예외적인 값이 출력이 될 경우, 모터의 속도를 제한시켜 사용자가 안전하게 전동휠체어를 이용할 수 있게 한다. 전동휠체어 부착된 센서 출력 값은 Bluetooth[7]를 이용하여, 스마트폰에 설치되어 있는 앱을 통해 실시간으로 센서 출력 값을 모니터링 한다. 또한, 사용자가 도움이 필요하거나, 전복되었을 경우 스마트폰에 내장되어 있는 GPS[8]를 이용하여, 현재 위치에 있는 위도와 경도 값을 TCP/IP를 이용하여 서버에 전송한다. 서버는 사용자 위치 값을 전송받으면, 사용자에 따른 날짜, 시간, 위치에 따라 데이터베이스에 저장하게 되고, 지도에 위치가 표시 된다. 또한, 위치 표시와 동시에 사전에 설정한 사람들에게 위치와 정보를 요청한다. 위와 같은 시스템 구조를 통해, 사용자는 보다 안전하게 휠체어를 이용할 수 있도록 한다.

4. 지형에 따른 모터제어 시스템

본 논문에서는 지형에 따른 모터제어 시스템을 제안한다. 거동이 불편한 이들이 전동휠체어를 이용하지만, 인지능력이 낮은 이들은 전동휠체어를 이용하기 위해 긴 시간동안 연습을 한 후에 전동휠체어를 이용한다. 하지만 모든 지형이 평탄하지 않기 때문에, 예상하지 못한 지형에서는 전동휠체어가 전복되거나, 큰 충격으로 인해 사용자가 다치는 경우가 발생한다. 본 논문에서는 경사로와 같은 오르막길, 내리막길을 지나갈 때, 빠른 속도로 인해 휠체어가 전복되거나 큰 충격으로 다치는 상황을 예방하고자 한다. 또한, 평탄하지 않은 지형에

서 모터를 제어함으로써 보다 안전하게 전동휠체어를 이용할 수 있도록 도와준다. 위와 같은 지형을 측정하기 위해서는 가속도 센서와 자이로 센서를 이용하여, 지형을 측정한다. 가속도 센서는 2가지 역할을 하게 된다. 첫 번째는 순간적으로 전동휠체어가 출발할 경우, 자이로 센서가 관성의 법칙으로 인해 뒤로 기울어진 것과 같은 값을 측정하기 위함이고, 두 번째는 자이로센서 기반의 각도를 측정하기 위해 사용한다. 본 논문에서는 MPU6050을 사용하였으며, 가속도 센서와 자이로 센서를 이용하여 각도 값을 구한다. 먼저, 식 1은 자이로센서를 이용하여 각도를 구하는 계산식으로 G 는 가속도, dt 는 시간의 순간변화량, D 는 각도, C 는 적분상수를 뜻한다.

$$\int G \cdot dt = D + C \quad (1)$$

위에 식을 이용하면, 각도 값을 구할 수는 있지만 시간이 지남에 따라 누적이 발생하여 정확한 각도 값이 측정이 되지 않는다.

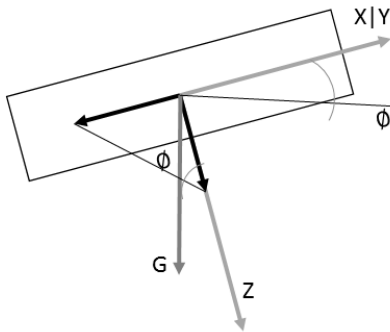


그림 3 가속도 센서 구조
Figure 3. Acceleration sensor structure

일반적으로 가속도 센서[10]는 중력가속도 값인 x, y, z축의 중력가속도 값을 나타낸다. 하지만 회전각을 구하기 위해 삼각공식을 식 2, 3과 같이 구한다.

$$\Phi = \text{atan}(z/x) \quad (2)$$

$$\Phi = \text{atan}(z/y) \quad (3)$$

왼쪽 스피드는 자이로 센서 각의 시계 반대방향이고, 가속도 센서에 작은 사계방향의 각이기 때문에 전체적으로 음의 부호를 넣는다. 각도의 기준은 지면과 수직인 면을 기준으로 가속도 센서에서의 작은 지면과 수평인 면을 기준으로 각을 구한다. 그렇기 때문에, 가속도 센서에서 계산한 각에서 $90^\circ (\pi/2)$ 를 빼줘야 한다. 따라서 이 두 가지 사항을 고려한다면 식 4, 5번과 같은 식이 나오게 된다

$$\Phi = -\text{atan}(-z/x) - \pi/2 \quad (4)$$

$$\Phi = -\text{atan}(-z/y) - \pi/2 \quad (5)$$

위에 식을 이용하면 각도가 출력이 되지만 노이즈로 인해 값이 정확히 측정이 되지 않는다. 따라서 본 논문에서는 칼만 필터[11]와 상보필터[12]를 이용하여, 각도를 측정하였다. 가속도 센서만을 이용할 때는 센서 값이 빠르게 출력되지만 미세한 진동에 노이즈가 많이 생기며 상보필터는 가속도 보다는 출력이 늦지만, 값이 보정이 되어 출력된다. 여기에 칼만 필터는 상보필터보다 출력이 늦지만 더욱 값이 보정이 되어 출력이 된다. 본 논문에서는 칼만필터를 적용한 각도 값을 기반으로 3가지 지형을 구분하고 전동휠체어에 모터를 제어한다.

<그림 4>는 3가지 유형에 따른 모터제어 모습을 보여준다. 지형에 따른 모터 속도를 제한하기 전에 그림과 같은 지형을 파악해야 한다. 지형을 파악하기 위해서는 앞에서 설명한 방법으로 각도를 측정하며, 현재 각도보다 올라가거나 각도가 내려갈 경우 경사로를 지나가는 것으로 인지하여 최대 속도를 제한한다. 이는 빠르게 평지에서 이동하다가 경

사로와 같은 지형을 지나갈 때 무게중심이 갑자기 변하여, 전동휠체어가 전복되거나 사용자가 앞으로 넘어져 다치는 일이 발생하기 때문이다. 또한 평탄하지 않는 지형일 지나갈 경우에는 각도 값이 노이즈가 발생하는 것과 같이 지속적으로 변하기 때문에 이러한 지형에서도 최대 속도를 제한하며, 지형에 따른 전동휠체어의 충격을 적게 받으며 지나갈 수 있도록 한다. 다시 각도가 일정 시간 안정화가 되면, 처음과 같이 최대 속도 제한을 해지한다. 일반적인 전동휠체어에는 자동차와 같이 서스펜션 장치가 장착이 되어 있지 않기 때문에, 그림 4와 같이 빠른 속도로 지나갈 경우 매우 위험할 수 있다. 따라서 사용자가 안전하게 휠체어를 이용할 수 있도록 하기 위해 실시간으로 센서 기반의 지형을 파악하고, 지형에 따른 모터를 제어한다.

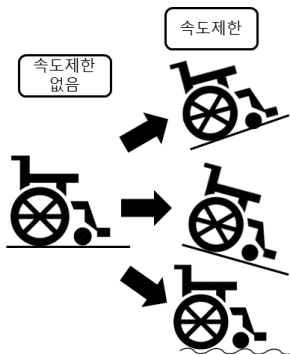


그림 4 지형 변화에 따른 전동휠체어 모터 제어
Figure 4. Controlling electric wheelchair motor according to changing of the terrain

5. SOS 서비스 시스템

<그림 5>는 SOS서비스 시스템을 보여준다. 이 시스템은 서버로써, 사용자가 스마트 폰의 앱을 이용하여, SOS버튼을 누르거나 전복사고가 발생할 경우, 현재 위치의 위도와 경도를 TCP/IP를 이용하여, 데이터를 전송한다. 데이터는 사용자와 위치형식의

패킷으로 되어 있으며, 사용자별 도움을 요청한 데이터를 파악할 수 있으며, 이전의 데이터를 분석하여, 주로 사용자에게 따른 맞춤형 서비스를 할 수 있다. 위급한 일이 발생할 경우, 인지능력이 부족한 장애인들은 당혹스러워 하며, 누구한테 도움을 청해야 할지, 어떻게 자신의 위치를 알려줘야 할지를 잊어버리게 된다. 따라서 버튼 한번만으로 필요한 정보를 사전에 설정한 사람들에게 알림으로, 빠르게 대처할 수 있도록 한다. 또한, SOS시스템은 전동휠체어를 이용하는 사람들을 위해 중요한 자료로 이용이 가능하다. 예를 들어 언덕과 같은 곳이나 도로가 훼손된 곳에는 다른 사람의 도움이 필요하다. 이런 경우 휠체어를 이용하는 사람들마다 같은 위치에서 요청을 하게 될 것이며, 이를 파악하여 전동 휠체어를 이용하는 사람들을 위해 편의 시설을 갖추거나 도움이 필요하지 않도록 사전에 대처가 가능하다. SOS 서비스 시스템은 Google Map과 연동함으로써, 사용자의 위치를 한눈에 파악할 수 있으며, 미리 설정해 놓은 사람들에게 웹 주소를 보내줌으로써, 사용자의 위치를 빠르게 파악할 수 있도록 한다.



그림 5. SOS 서비스 시스템
Figure 5. SOS service system

6. 결론

본 논문에서는 거동이 불편한 사람들이 전동휠체어를 이용할 때 보다 편리하고 안전하게 이동할 수 있는 시스템을 제안하였다. 이 시스템은 가속도

센서와 자이로 센서를 이용하여, 각도를 측정하며, 보다 정확한 각도를 측정하기 위해 칼만필터를 이용하였다. 본 논문에서는 3가지 지형에 유형을 파악하고 지형변화에 따른 위험노출을 줄였다. 주변 환경 인지가 낮은 장애인들이 전동휠체어를 빠르게 이용하다 갑작스럽게 변화는 지형으로 인해 전복이 되거나 앞으로 넘어지는 사고를 센서 기반의 모터속도를 제어함으로써, 사용자가 보다 안전하게 경사로를 지나갈 수 있도록 하였다. 또한 평탄하지 않는 지형을 지날 때 충격을 완화하기 위하여, 경사도와 같이 모터의 속도를 제어함으로써 사용자가 인지하지 못해도 안전하게 전동휠체어를 제어할 수 있도록 도와준다. 본 논문에서는 사용자가 위급한일이 있거나 도움이 필요한 경우 사용자의 좌표를 GPS를 통해 읽어 서버에 전송을 한다. 서버는 좌표를 사전에 설정한 사람들에게 전송함으로써 사용자가 빠르게 도움을 받을 수 있도록 도와준다. 향후, SOS 서비스 시스템을 클라우드 기반의 시스템으로 변경하여, 위치에 따른 사용자 맞춤형 서비스를 제공할 수 있도록 지속적인 연구를 할 예정이며, 다양한 지형에서 안전하게 전동휠체어를 이용할 수 있도록 연구할 예정이다.

References

- [1] Al-Rousan, M, and K. Assaleh, *A wavelet-and neural network-based voice system for a smart wheelchair control*, Journal of the Franklin Institute. Vol. 348, No. 1. pp. 90-100, 2011.
- [2] Wallam, Fahad, and Muhammad Asif, *Dynamic finger movement tracking and voice commands based smart wheelchair*, International Journal of Computer and Electrical Engineering. Vol. 3, No. 4. pp. 497-502, 2011.
- [3] P. Boucher, A. Atrash, Sousso Kelouwani, W. Honore, H. Nguyen, J. Villemure, F. Routhier, P. Cohen, L. Demers, R. Forget, and J. Pineau, *Design and validation of an intelligent wheelchair towards a clinically-functional outcome*, Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. Vol. 10, No. 58. pp. 1-16, 2013.
- [4] Han, Jianhai, Xiangpan Li, and Qi Qin, *Design of two-wheeled self-balancing robot based on sensor fusion algorithm*, Journal ref: International Journal of Automation Technology. Vol. 8, No. 2. pp. 216-221. 2014.
- [5] Unluturk, Ali, Omer Aydogdu, and Ufuk Guner, *Design and PID control of two wheeled autonomous balance robot*, Electronics, Computer and Computation (ICECCO), 2013 International Conference on. IEEE, pp. 260-264. 2013.
- [6] Le Nguyen, Duy, Myung-Eui Lee, and Artem Lensky, *The design and implementation of new vehicle black box using the OBD information*, Computing and Convergence Technology (ICCCT), 2012 7th International Conference on. IEEE, pp. 1281-1284. 2012.
- [7] Lee, Jin-Shyan, Yu-Wei Su, and Chung-Chou Shen, *A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi*, Industrial Electronics Society, 2007. IECON 2007. 33rd Annual Conference of the IEEE. pp. 46-51. 2007.
- [8] W. Y. Bejuri, W. M. Saidin, M. M. Mohamad, M. Sapri, and K. S. Lim, *Ubiquitous positioning: integrated GPS/Wireless LAN positioning for wheelchair navigation system*, Intelligent Information and Database Systems. Springer Berlin Heidelberg, 2011.

Vol. 7802, No. 2013, pp. 394-403. 2013.

- [9] Lakshman, T. V, and Upamanyu Madhow, *The performance of TCP/IP for networks with high bandwidth-delay products and random loss*, IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 5, No. 3, pp. 336-350. 1997.
- [10] Kalantri, Rakhi A, and D. K. Chitre, *Automatic wheelchair using gesture recognition*, International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), Vol. 2, No. 9, pp. 216-218. 2013.
- [11] Gersdorf, Bernd, and Udo Freese, *A kalman filter for odometry using a wheel mounted inertial sensor*, 10th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics(ICINCO), Vol. 1, pp. 388-395. 2013.
- [12] Baerveldt, Albert-Jan, and Robert Klang, *A low-cost and low-weight attitude estimation system for an autonomous helicopter*, Intelligent Engineering Systems, 1997. INES'97. Proceedings., 1997 IEEE International Conference on. pp. 391-395. 1997.

전동휠체어의 안전향상을 위한 센서 기반 시스템 연구

김정대

나사렛대학교

요 약

본 논문에서는 전동휠체어를 이용하는 사용자들이 다양한 지형에서 보다 안전하게 이동할 수 있는 시스템을 제안한다. 기존에 개발된 "Intelligent Powered Wheelchair"는 레이저 센서를 이용하여 장애물을 회피하는 기능이 있지만, 자동으로 회피하는 기능이 아니라 사용자가 소리를 듣고 회피를 해야 하는 시스템이다. 따라서 본 논문에서는 센서 기반의 지형을 파악하고, 지형에 따라 전동휠체어의 모터 속도를 제어한

다. 전동휠체어속도를 빠르게 이용하다 지형이 변화되면, 전동휠체어가 전복되거나, 사용자가 앞으로 넘어지는 일이 발생한다. 이러한 경우 사용자와 휠체어의 무게중심이 갑자기 변화하기 때문에 이를 유지하려는 관성법칙 인하여 위험한 일이 발생한다. 또한 평탄하지 않는 지형을 지나갈 경우 충격을 줄이기 위해 모터 속도를 제어함으로써 안전하게 변화된 지형을 지나갈 수 있도록 한다. 센서는 가속도 센서와 자이로 센서를 사용하였으며, 칼만 필터를 이용하여, 정확한 각도 값을 출력하도록 하였다. 본 논문에서는 SOS 서비스 시스템을 제공함으로써 사용자가 위급하거나 도움이 필요할 경우 버튼 클릭으로 미리 지정된 사용자에게 위치를 지도로 보여줌으로써 빠르게 도움을 받을 수 있도록 하였다. 사용자의 위치는 스마트 폰에 내장되어 있는 GPS를 이용하였으며, GPS 신호와 구글 API를 이용하여, 사용자의 위치를 파악하였다. 또한 사용자의 위치 파악 및 사용자 데이터 관리는 서버에서 담당하며, 실시간으로 사용자 요청 신호가 수신되면 이를 분석한 후 이전에 등록되어 있는 사람들에게 요청 메시지 또는 이메일을 보낸다.

감사의 글

본 논문은 나사렛대학교의 2014학년도 연구지원비를 통해 진행되었음.



Jungdae Kim received the B.S. and M.S. degree in Industrial Engineering from Dongguk University, Korea 1983 and he completed his Ph.D. in Industrial and Management Systems Engineering from West Virginia University, USA, in 1998. Before he joined Korea Nazarene University in 2009, he worked in chemical industry for many years. His research area is mainly rehabilitation and assistive technology, quality management, and computer application.

E-mail address: jdkim@kornu.ac.kr