

초음파 및 가속도 센서를 이용한 시각장애이용 보행보조 장치의 성능 개선

(Improvement of An Electronic Aid for the Blind using Ultrasonic and Acceleration Sensors)

김 래 현[†] 박 세 형^{**} 이 수 용^{***} 조 현 철^{****} 하 성 도^{*****}
(Laehyun Kim) (Sehyung Park) (Sooyong Lee) (Hyunchul Cho) (Sungdo Ha)

요 약 본 논문은 시각장애인들의 실외 보행 시 위험한 장애물을 탐지하여 진동으로 경고해주고, 필요에 따라 물체의 색상과 주변의 밝기를 음성으로 알려주는 SmartWand 개발에 관한 것이다. 이 기기는 시각장애인들이 널리 사용하는 흰 지팡이에 쉽게 탈·부착할 수 있는 형태로 흰 지팡이로 감지할 수 없는 시각장애인의 장애물을 초음파로 탐지하여 경고해주며, 컬러센서와 조도센서를 이용하여 물체의 색상과 주변의 밝기를 음성으로 알려주는 기능을 가지고 있다. SmartWand는 1, 2차 버전으로 개발되었는데, 2차 버전에서는 1차 버전의 사용성 평가 결과를 토대로 무게 및 크기를 줄여 실용성을 개선시켰으며, 가속도 센서를 통해 초음파 센서의 탐지 범위를 조정하여 시각장애인이 흰 지팡이의 타범을 행할 때 진행방향에 놓인 장애물만을 탐지할 수 있도록 하였다. 또한 지팡이로 땅을 칠 때의 충격으로 인한 초음파센서의 오동작을 제거하기 위한 필터를 사용하였다. 이러한 기능들은 다양한 환경에서 실험을 통해 적절한 인자들을 결정하였다.

키워드 : 시각장애인, 장애물 검출, 초음파센서, 흰지팡이, 스마트웬드

Abstract This paper introduces an electronic travel aid, named SmartWand, which detects obstacles using an ultrasonic sensor. In addition to obstacle detection, the SmartWand senses color information of objects and the environmental brightness. It is designed to be attached to a ordinary white cane in order to detect the obstacles at head-height which cannot be covered by the cane. We have improved the first version of the SmartWand based on a user evaluation. The second version is much lighter and smaller than the previous one. It has been enhanced by two new functions. The SmartWand eliminates impact errors due to tapping the ground using a moving average filtering algorithm and restricts the detection range to the path in the moving direction using an acceleration sensor. We have tested these functions in various environments to determine the parameters for these functions.

Key words : Visually Impaired People, Obstacle detection, Ultrasonic sensor, White cane, SmartWand

[†] 정 회 원 : 한국과학기술연구원 지능인터랙션연구센터 선임연구원
laehyunk@kist.re.kr

^{**} 비 회 원 : 한국과학기술연구원 지능인터랙션연구센터 책임연구원
sehyung@kist.re.kr

^{***} 비 회 원 : 홍익대학교 기계시스템디자인공학과 교수
sooyong@hongik.ac.kr

^{****} 비 회 원 : 한국과학기술연구원 지능인터랙션연구센터 연구원
hecho@kist.re.kr

^{*****} 비 회 원 : 한국과학기술연구원 지능시스템본부 본부장
s.ha@kist.re.kr

논문접수 : 2008년 12월 15일

심사완료 : 2009년 2월 6일

Copyright©2009 한국정보과학회: 개인 목적이나 교육 목적의 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 소프트웨어 및 응용 제36권 제4호(2009.4)

1. 서 론

최근 IT기술의 발전으로 여러 가지 센서와 소형 디스플레이로 무장된 다양한 첨단기들이 개발되고 있고, 이러한 첨단기기는 각 분야에서 다양한 방식으로 사람들에게 도움을 주게 될 것이다. 하지만 전체 인구의 약 10%를 차지하는 장애인들은 이러한 기술의 혜택을 거의 보지 못하고 있으며, 오히려 비장애인들과의 정보 격차가 심해지고 있는 실정이다. 최근에 와서 첨단 센서기술을 이용하여 장애인들의 감각을 대체하거나 보조해 줄 수 있는 기술들이 많이 연구되고 있으나, 아직 실용화되어 장애인들에게 널리 사용되는 기기는 많지 않다.

특히 시각장애인은 혼자서도 원하는 목적지까지 정확하고 안전하게 이동하는 것에 대한 욕구가 많으나, 이

에 대한 보조기기는 거의 연구되지 않거나 개발이 되었어도 널리 사용되지 않아서, 여전히 시각장애인들은 흰 지팡이와 안내 견에 의존해야만 하는 실정이다.

본 논문은 시각장애인들의 안전한 보행을 위하여 초음파를 통해 전방의 장애물을 감지하여 경고해주며, 또한 시각장애인들의 필요에 따라 물체의 색상과 주변의 밝기를 측정하여 알려줄 수 있는 기기인 SmartWand [1,2] 개발에 관한 것이다. 이 기기는 시각장애인들이 익숙하게 사용하는 흰 지팡이에 부착하여 사용하도록 되어있어, 기존 흰 지팡이의 유용함을 살리면서 흰 지팡이로 알아낼 수 없는 허리 높이 이상의 장애물을 초음파로 탐지하여 경고해주는 특징이 있다. 개발된 기기는 2번의 시제품으로 개발되었는데, 첫번째 개발된 SmartWand v1에 대해 시각장애인들을 대상으로 사용성 평가를 실시하여, 기능의 유용성 및 편리성, 디자인 등에 관한 항목을 평가받았다. 그 결과 가장 큰 문제로 지목되었던 것은 크기와 무게가 실용적이지 못하고 부착 위치와 방식에 대한 문제, 진동과 음성전달에 관한 문제 등을 지적받았다.

SmartWand v2에서는 SmartWand v1의 사용성 평가 결과를 토대로 구조와 기능을 개선시켜 실용성을 높이고, 특히 흰 지팡이로 타박을 실시할 때 충격으로 인한 오류를 제거하고 진행방향으로만 장애물을 측정하도록 개선하였다.

2. 기존연구

시각장애인들의 보행 보조를 위해 개발된 지팡이 형태의 기기들 중 대표적인 것은 현재 상용화 되어있는 Ultracane[3,4]이다. Ultracane은 손잡이 부분에 두 개의 초음파 센서가 있어 각각 앞 방향과 아래 방향의 장애물이나 턱을 감지하여 진동으로 알려주는 지팡이형태의 보조도구이다. 하지만 보통의 흰 지팡이보다 짧고 무거워 기존의 흰 지팡이 보행법인 지면을 두드리며 걷는 형태로는 사용하지 못하고, Ultracane용 보행법을 다시 교육받아 사용해야하는 단점이 있다.

그리고 초음파센서 대신 레이저를 이용한 보행 보조 도구로써 Laser Cane[5]과 Teletact[6,7]가 있다. Teletact는 레이저의 반사되는 빛을 측정하여 장애물과의 거리를 계산하고 이를 3단계의 진동 세기와 멜로디를 이용하여 알려줌으로써, 시각장애인이 주변을 스캔하여 장애물의 위치와 형태를 측정할 수 있도록 하였다. 하지만 실제로 시각장애인이 길을 걸으며 주변을 탐지하기 위해 주의를 쏟기 힘들며, 레이저는 너무 직진성이 강해 장애물을 효과적으로 탐지하지 못할 위험도 있다.

그 밖에 착용형 보행 보조 도구인 Openeyes[8]는 안경과 가방을 착용하는 형태이며 카메라를 이용하여 장

애물 및 사람 얼굴, 문자열 등을 인식할 수 있다. 또한 다중 초음파 센서 배열을 이용한 시각장애인 보행지원 기기[9,10]는 시각장애인이 안전하게 이동할 수 있도록 진동과 음성으로 길을 안내하는 기능을 가지고 있으며 조끼 또는 가방형태로 디자인 될 수 있다.

물체의 색상을 시각장애인에게 알려주는 기기로는 현재 외국에서 상용화된 Color Teller[11]가 있다. 많은 색상을 식별하고 음성으로 알려주는 기능을 가지고 있으나, 가격이 비싸고 색상 인식을 위해서 따로 기기를 가지고 다니기 번거로운 문제가 있다.

본 논문에서 제안한 SmartWand는 장애물의 인식범위를 이동경로에 맞게 제한하여 불필요한 혼란을 줄였고, 지면과의 충돌의 의한 에러를 제거하여 보다 정확한 결과를 제공할 수 있다.

3. SmartWand v1

SmartWand는 시각장애인이 흰 지팡이만으로는 안전하게 피해가기 힘든 장애물을 초음파를 이용하여 탐지하고 진동과 음성으로 알려줌으로써, 시각장애인들이 보다 안전한 보행을 할 수 있도록 하는 것을 목적으로 개발되었다(그림 1). 주요 기능으로는 초음파 센서를 이용하여 전방의 장애물을 탐지하고, 탐지된 장애물과의 거리에 따라 다른 주파수의 진동을 이용하여 시각장애인에게 경고를 하며, 정확한 거리를 알고 싶을 경우에 음성으로 거리를 알려주는 것이 있다.

본 단말기는 시각장애인의 전방에 위치한 장애물을 탐지하는 초음파 센서와, 물체의 색깔을 인식하는 컬러 센서, 주변의 밝기를 측정하기 명암 센서, 입력된 정보를 처리하고 정보 출력을 제어하는 마이크로프로세서, 장애물의 유무를 진동으로 알려주는 진동 장치, 음성 데이터를 저장하는 메모리, 정확한 거리 및 색깔이나 밝기를 음성으로 알려주기 위한 스피커, 전원을 공급하는 전원부로 구성된다(그림 2).



그림 1 SmartWand v1

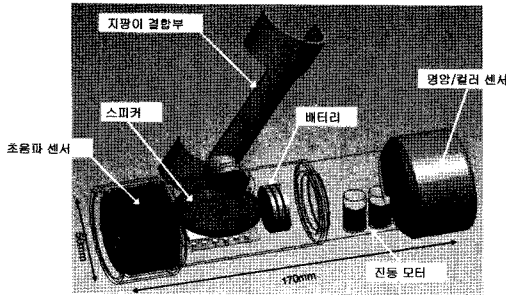


그림 2 SmartWand v1의 구조도

초음파 센서는 신호를 송출하는 송신부와 신호를 수신하는 수신부로 이루어지며 송신부에서 보낸 신호가 장애물에 부딪혀 수신부로 돌아오는 시간 간격을 이용하여 마이크로프로세서에서 장애물과의 거리를 계산한다. 초음파 센서에서 받은 신호를 마이크로프로세서에서 계산한 거리가 3m이하이면 진동 장치로 신호를 보내어 진동을 발생시킨다. 여기서 진동은 거리에 따라 달라지며 거리가 짧을수록 강하고 간격이 좁은 진동을 발생시킨다. 또한 진동으로 장애물의 출현을 알림과 장애인이 정확한 거리를 알고 싶을 때는 스위치를 조작하면 스피커로 장애물과의 거리를 음성으로 알려준다. 여기서 알려주는 거리는 마이크로프로세서에서 거리를 0.5m간격으로 반올림을 하여 메모리에 미리 저장되어 있는 0.5m~3m의 거리를 알려주는 6개의 음성메시지를 스피커로 내보낸다.

장애물인식 기능 외에, 시각장애인들이 물건을 살 때나 입을 옷을 고를 때 색상을 쉽게 알지 못해서 불편한 점이 많아 이를 해결할 수 있는 기술에 대한 요구가 큰 것에 착안하여, 컬러센서를 이용한 색상인식 기능을 추가하였다. 또한, 시각장애인들이 실내에 들어갔을 때 조명이 켜있는 지의 여부 등을 알고 싶은 요구 또한 충족시키기 위해, 조도센서를 이용하여 주변의 밝기를 음성으로 알려주는 기능도 추가하였다.

단말기에서 사용된 초음파센서, 컬러센서, 조도 센서 등은 여러 후보군 중에서 성능, 크기, 가격, 전력소비, 마이크로컨트롤러(MCU)와 호환성 등의 항목으로 구분하고 시각 장애인용 단말기의 기능적인 측면과 한국 상황(예를 들면, 거리에 이동하는 사람과 간판 등의 장애물이 많음)을 고려해서 테스트한 후 가장 최적의 제품을 선택하였다. 표 1에서 각각의 모듈의 자세한 사양을 나타내었다.

SmartWand v1을 개발한 후, 각 기능의 유용성 검증 및 편리성 및 디자인에 대한 평가를 받기위해 시각장애인을 대상으로 사용성 평가를 실시하였다[2]. 평가자로서 국립서울맹학교 소속의 성인 15명과 중고등 학생 14

표 1 SmartWand의 각 모듈 사양

모듈 명칭	주요 사양
MCU	- ATmega128L, 8MHz - 작동전원: 2.7~5.5V - 8 channel 10bit A/D Converter - 타이머/카운터: 8bit-2개, 16bit-2개
전원모듈	- 리튬전지, - 3.0V/540mAh 24.5(직경) X 5(두께)
명암센서	- CdS Sensor(A90.12)
컬러센서	- TCS230 - Right intensity to Frequency Converter (R,G,B,Clear)
초음파센서	- Smart Sensor(SE-600) - 검출거리 : 15cm~10.7m - 검출각도 : 15° - 분해능 : ± 3mm@3M
진동자모듈	- 원형 박형 진동모터 - 직경: 100 - 동작전원: 3.0V, 40mA - 회전속도:10000~15000RPM
음성모듈	- 음성 발생 IC, ISD2532 - Voice record/playback - Fully addressable to handle multiple messages

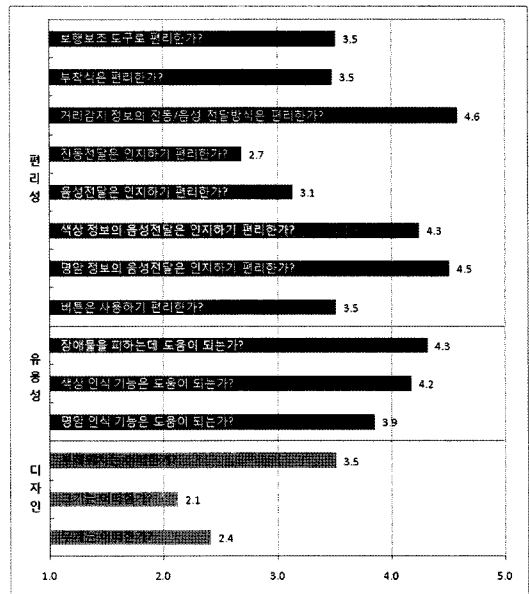


그림 3 시각장애인 대상 사용성 평가 결과

명이 참가하였다. 평가실시는 2006년 12월 21과 22일 이틀간 이루어졌다.

사용성 평가 결과 장애물 탐지 기능, 색상 인식 기능, 명암 인식 기능에 대한 각각의 유용성은 높은 지지를 받았으며, 3가지 기능이 통합되어 있는 형태도 각각의 기능을 분리하는 것보다 선호하는 것으로 나타났다. 그러

나 SmartWand의 가장 큰 문제로 크기가 크고 무거운 것에 대해 지적받았으며, 부착 위치가 손잡이인 것은 좋으나 무게중심이 맞지 않아 손에 잡기 불편하다는 문제도 있었다. 또한 진동과 음성으로 경고하는 방식은 선호하였으나, 실제 진동의 세기가 너무 약하고 응답 속도가 느려 인식하기 힘들며 음성 전달도 스피커 형태로만 되어있어 시끄러운 환경에서는 사용하기 어려울 것이라는 평가를 받았다. 설문 조사의 각 항목 당 선호도를 5단계로 응답받은 후 평균하여 수치로 나타내었다(그림 3).

4. SmartWand v2

4.1 구조개선

위의 사용성 평가 결과를 반영하여 SmartWand를 재설계하였으며, 개선된 SmartWand v2의 구조는 그림 4와 같다. 먼저 기존 SmartWand의 실용성에 가장 큰 문제가 되었던 부피와 무게의 문제를 해결하기 위해 초음파센서를 교체하였다. 기존의 초음파센서인 Smart Sensor(SE-600)는 10m이내에서 감지 성능이 우수하고 안정성이 좋으나 부피가 큰 단점이 있었다. 그래서 3m 이내의 비교적 짧은 거리만 검출이 가능하지만 부피가 작고 가벼우며 측정시간이 짧은 하기소닉의 HG-L40 센서를 사용하여 전체적인 디자인을 변경하였다. 실제 시각장애인에게 3m이상 멀리 떨어져 있는 장애물을 미리 경고해줄 경우 오히려 불안감만 증폭시킬 가능성이 있을 뿐 멀리 떨어진 장애물을 탐지할 필요성은 없으며, 여러 번 실시하였던 시각장애인들과의 회의에서 장애물과의 정확한 거리보다 일정거리 이내의 장애물을 신속히 경고해주는 것이 더 도움이 된다는 의견이 있었다.

시각장애인이 흰 지팡이를 표준 타법에 따라 사용할 때, 보행자의 진행방향에 있지 않은 장애물은 탐지하지 않도록 하기 위해 가속도 센서를 추가하여 SmartWand v2의 움직임에 따라 초음파 센서를 컨트롤 할 수 있도록 하였다. 그리고 컬러센서와 조도센서는 기존의 SmartWand v1과 같은 제품을 사용하였으나 시각장애인이 색상인식이나 명암인식 시에 좀 더 편하게 조작할 수 있도록 센서의 위치를 변경하였다(표 2).

그 외 디자인 개선 사항으로 시각장애인들이 혼자서도 흰 지팡이에 부착 및 탈착이 가능하도록 부착방식을 간편하게 만들었으며, 부착 시 무게중심이 흰 지팡이의 중심선상에 오도록 하여 착용감을 향상시켰다. 또 가벼운 리튬이온 배터리를 사용함으로써 무게를 줄였으며, 배터리를 꺼내지 않고 외부 단자를 통해 충전이 가능하도록 제작하여 전체적으로 실용성을 향상시켰다(그림 5).

4.2 기능 개선

장애물 탐지 기능에서 기존의 알고리즘에서 거리에 따라 진동의 주파수를 다르게 하여 경고하는 방식은 실

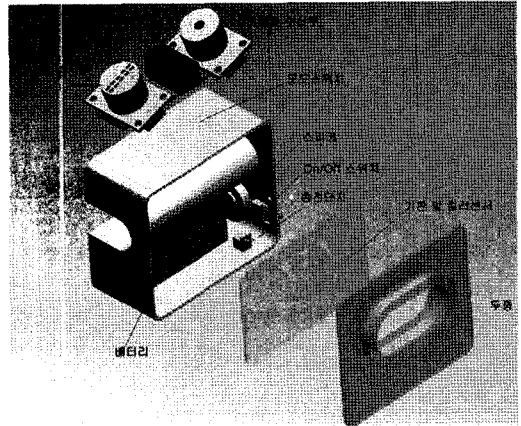


그림 4 SmartWand v2 구조

표 2 SmartWand v2의 모듈 사양

명칭	사양
외관	- 크기: 70 × 42 × 62 mm - 무게: 140g
초음파 센서	- HG-L40TS, HG-L40RS - 검출 거리: 10 ~ 300cm - 검출 각도: 60°
컬러 센서	- TCS230 - Right intensity to Frequency Converter (R,G,B,Clear)
명암 센서	- CdS Sensor(A90.12)
진동자	- 원형 박형 진동모터 - 직경: 10Ø - 동작전원: 3.0V, 40mA - 회전속도: 10000~15000RPM
전원 모듈	- 리튬-폴리머 배터리 - 3.7V, 520mAh

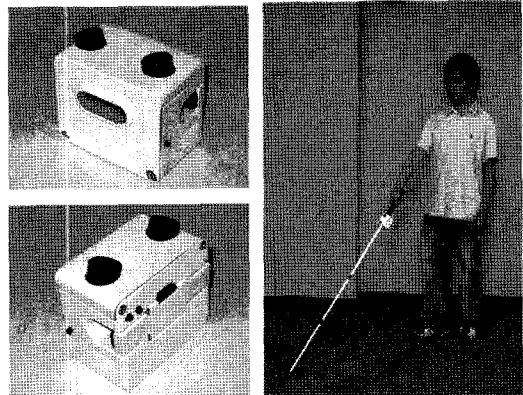


그림 5 SmartWand v2 외형과 사용 중 모습

제 장애인에게 큰 효용이 없으며, 먼 거리의 장애물에 대해 경고할 때 낮은 주파수를 사용하면 오히려 반응시

간에 지연이 생기는 문제가 발생하였다. 그래서 일정거리 이내에 장애물이 발견되면 즉시 진동이 울리도록 알고리즘을 단순화 시켰으며, 이 거리는 보행 시 안전거리를 감안하여 2m로 정하였다. 그리고 반응 속도가 빠른 초음파 센서로 교체됨에 따라 장애물 탐지 기능의 응답 속도는 크게 개선이 되었다. 또한 기존의 SmartWand v1에서 초음파 센서의 측정 방향을 조정하는 기능이 있었으나, 사용 중에 측정 방향이 바뀌는 것이 오히려 혼란을 야기한다는 의견에 따라 초음파 센서를 고정시켰다. 이 초음파센서의 각도는 허리 높이 이상의 장애물을 효과적으로 측정할 수 있도록 시각장애인이 흰 지팡이를 쥐었을 때 초음파센서로부터 2m 떨어진 지점이 사용자의 머리 위치가 되도록 정하였다. 여기서 시각장애인이 흰 지팡이를 잡는 각도는 45°, 시각장애인의 키는 170cm로 가정하였다. 평가를 위해 시각장애인협회 소속 성인 9명에게 사용하게 한 후에 설문조사를 하였다. 대부분 기능에는 만족하였지만 여전히 무게와 크기에 대한 불만이 있었다.

일정시간 간격으로 연속해서 초음파를 쏘아서 거리측정을 하는 방식은 시각장애인이 흰 지팡이를 표준 타법으로 사용할 때 SmartWand가 진행방향이 아닌 측면을 바라보는 순간에도 장애물 감지를 하게 되는 문제가 있다. 이 현상은 초음파센서의 측정 딜레이가 길 경우 더욱 문제가 되어, 기존의 SmartWand v1에서는 옆면의 벽을 장애물로 감지함에도 혼란을 느끼는 사용자가 많았다. 이런 문제를 해결하기 위해 가속도 센서를 추가하여, 시각장애인이 흰 지팡이를 좌우로 흔들 때 가속도 값이 크게 변하는 지점에서 초음파 센서의 값을 무시하였다. 가속도 센서를 중앙에서 좌우로 한번 왕복하는 동안의 가속도 값 변화를 나타내고 있으며, 유효한 지점을 $-n \sim +n$ 의 범위로 지정하고 n 의 값은 여러 차례의 실험을 통해 결정하였다(그림 6). 또한 가속도 센서의 기울어짐에 따라 값이 크게 변하는 특성을 보정하고자

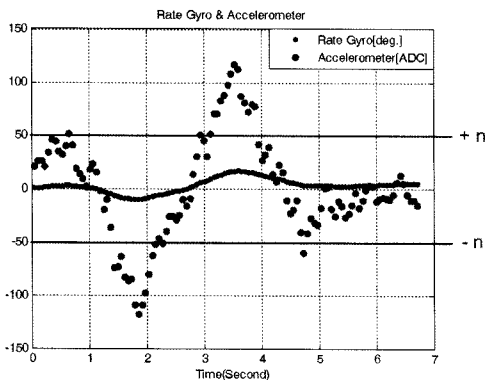


그림 6 가속도 센서의 실험 그래프

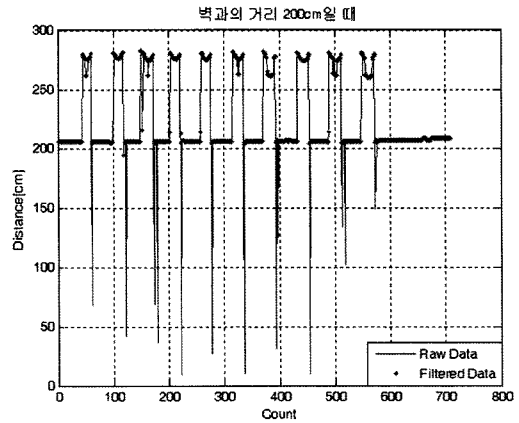


그림 7 충격에 따른 초음파 센서 측정값의 오류(거리 2m)

moving average 기법을 사용하였다.

시각장애인이 흰 지팡이를 사용하여 보행을 할 때 2점 타법으로 흰 지팡이를 좌우로 두드리며 사용하기 때문에, 그에 따른 충격으로 초음파 센서의 측정값에 오류가 발생한다. 이에 따른 오차를 보정하기 위하여 실험을 실시하여 그 결과를 제어 소프트웨어에 반영하였다. 실험은 벽과의 거리 $d1$ 을 약 1m, 1.5m, 2m로 바꿔가며 진행하였다.

Moving average를 이용하여 초음파센서로부터 측정되는 거리 값을 filtering하여 문제점을 보완하였는데, plot결과에서 가는 선이 초음파센서로 측정된 원래의 data를 보여주며, 점들이 filtering후의 결과이다(그림 7). 여기서 raw data인 가는 선의 data를 살펴보면 cane을 위쪽으로 들었을 때 거리 값이 증가하고 바닥에 충격이 가해지는 순간 실제의 거리보다 훨씬 작은 값으로 측정되는 error가 발생함을 확인 할 수 있다. 이는 충격이 가해지는 때 순간마다 발생하는 error는 아니며, 충격이 가해짐에 따라 random하게 발생하는 것으로 판단된다.

















이를 보정하여 주기 위해 과거 거리 측정값 5개의 평균과 현재의 거리측정 값을 비교하여 이의 차가 50이상 이 되면, 바로 이전의 거리측정값을 현재 data로 사용하도록 프로그램 하였다.

사물의 색상정보와 주변 밝기 정도를 컬러 센서를 통해 RGB값으로 얻은 후 표 3과 같이 컬러 값을 구분하였다. 주변 밝기 정도도 같은 방식으로 결정하였다.

5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 시각장애인이 실외 보행 시 흰 지팡이만으로 감지하기 힘든 장애물을 초음파를 통해 감지하고 경고해주는 SmartWand v2를 개발하였다. 특히 기존에 개발하였던 기기에 대해 시각장애인들에게 사용성

표 3 컬러테이블

Color	Sample	R	G	B	Result
Red		216	32	13	
Orange		231	104	55	
Yellow		254	213	78	
Green		48	188	74	
Blue		15	39	138	
Indigo		16	40	68	
Violet		89	47	139	
Black		0.6	0.5	0.6	

평가를 받은 후 그 결과를 토대로 디자인 및 성능을 개선하여 실용성을 높였다. 가속도 센서를 이용하여 기기가 진행방향을 향할 때만 초음파로 거리 측정을 하도록 제어하여 시각장애인에게 불필요한 정보를 주지 않도록 하였으며, 시각장애인들이 지팡이로 땅을 두드리는 충격으로 인한 오차를 보정하는 기능도 추가하였다.

SmartWand는 정보통신서비스업의 대상으로 선정되었으며, 향후 사용자 검증을 통하여 실용성을 높여나갈 것이다. 버튼의 형태나 위치를 편리하게 개선하고, 외부 충격에 센서나 회로가 견디도록 견고성을 높이도록 설계할 것이다. 전지의 충전도 보다 편리하게 개선할 것이며, 지팡이에 착탈 시의 편리성도 높일 것이다.

현재의 SmartWand는 시각장애인 지팡이의 보조적인 수단으로 가슴이상의 높이에 있는 돌발장애물을 회피하는 장치로 실용화 될 것이다. 실용화 이후에도 성능 향상을 위한 지속적인 연구가 필요하며, 계단이나 웅덩이를 인식할 수 있는 기능이 개발되고, 유비쿼터스 인프라와 연계한 기능들이 개발될 것이다.

참고 문헌

[1] 김래현, 하성도, 박진영, 조현철, 박세형, (2007), "시각 및 청각 장애인의 생활 보조를 위한 착용형 단말기 개발", HCI2007 학술대회 논문집.
 [2] 조현철, 김래현, 한만철, 박세형, 하성도, (2007), "시각장애인의 보행 보조를 위한 단말기: SmartWand," 한국차세대컴퓨팅학회 논문지, Vol.3, No.3, pp. 32-38.

[3] B.S. Hoyle, (2003), "The Batcane - mobility aid for the vision impaired and the blind," IEE Symposium on Assistive Technology, pp. 18-22.
 [4] Ultracane, <http://www.soundforesight.co.uk>
 [5] J.M. Benjamin, N.A. Ali, A.F. Schepis, (1973), "A laser cane for the blind," Proceeding of the San Diego Biomedical Symposium, Vol.12, pp. 53-57.
 [6] R. Farcy, R. Leroux, A. Jucha, R. Damaschini, C. Gregoire, and A. Zogaghi, (2006), "Electronic Travel Aids And Electronic Orientation Aids For Blind People: Technical, Rehabilitation And Everyday Life Points Of View," Conference & Workshop on Assistive Technologies for People with Vision & Hearing Impairments, CVHI 2006.
 [7] R. Farcy and Y. Bellik, (2002), "Locomotion assistance for the blind," Universal Access and Assistive Technology, Springer, pp. 277-284, 2002.
 [8] 이성환, 강성훈, (2009), "시각장애인을 위한 착용형 컴퓨터: OpenEyes," 한국정보과학회지, 제18권 제9호, pp. 31-36.
 [9] 안호남, 신병석, (2007), "다중 초음파 센서배열을 이용한 시각장애인 보행지원기술," 한국차세대컴퓨팅학회 논문지, Vol.3, No.1, pp. 19-25.
 [10] Byeong-Seok Shin and Cheol-Su Lim, (2007), "Obstacle Detection and Avoidance System for Visually Impaired People," LNCS 4813, Springer (2007), pp. 78-85.
 [11] Color Teller, <http://www.brytech.com>



김래현

1996년 한양대학교 금속공학과 학사. 1996년 연세대학교 전산학과 석사. 2003년 University of Southern California 전산학 박사. 2003년~현재 한국과학기술연구원 (KIST) 연구원, 선임연구원. 관심분야는 햅틱스, 컴퓨터 그래픽스, 인간-컴퓨터 인터랙션, 가상 현실



박세형

1977년 서울대학교 기계설계학과 학사. 1984년 Cornell 대학교 기계공학과 석사. 1992년 KIAST 정밀기계과 박사. 1980년~현재 한국과학기술연구원(KIST) 연구원, 선임연구원, 책임연구원. 관심분야는 형상설계, 인간-컴퓨터 인터랙션, 역설계, NC 프로그래밍



이 수 용

1989년 서울대학교 기계공학과 학사. 1991년 서울대학교 기계공학과 석사. 1996년 미국 MIT 기계공학과 박사. 1997년~2000년 한국과학기술연구원(KIST) 선임연구원. 2000년~2003년 Texas A&M대학 기계공학과 조교수. 2003년~현재 홍익대학교 기계시스템디자인 공학과 부교수. 관심분야는 모바일로봇의 위치추정, 내비게이션, 액티브 센싱



조 현 철

2003년 고려대학교 컴퓨터학과 학사. 2005년 고려대학교 컴퓨터학과 석사. 2005년~현재 한국과학기술연구원(KIST) 연구원. 관심분야는 인간-컴퓨터 인터랙션, 컴퓨터그래픽스



하 성 도

1983년 서울대학교 기계공학과 학사. 1985년 한국과학기술원 기계공학과 석사. 1993년 미국 MIT 기계공학과 박사. 1985년~현재 한국과학기술연구원(KIST) 연구원, 선임연구원, 책임연구원. 관심분야는 다양한 응용분야의 지식정보처리, 인간-컴퓨터 인터랙션