

시각장애인을 위한 위치 및 헤딩 추정 시스템 연구

Position and Heading Estimation System for the Visually Impaired Person

최 가 형* · 천 효 석** · 박 진 배* · 윤 태 성†

(Ka Hyung Choi · Hyo Seok Cheon · Jin Bae Park · Tae Sung Yoon)

Abstract - A travel aid system for the visually impaired person is proposed by providing the position and heading information. The position and heading information is obtained from range difference localization estimator, and the information is notified to the visually impaired person by using braille display system. For the precise estimation of the position and heading information, we apply recently developed linear localization estimator which utilizes the instrumental variable method and the state augmentation method. The estimation results are compared with well-known Kalman filter through experiment.

Key Words : Electronic travel aids, Localization estimator, Range difference, Braille display system

1. 서 론

우리나라의 시각 장애인은 24.9만 명으로 2011년도 등록 된 장애인의 수(약 251.7만 명)의 약 10% 정도를 차지하고 있다. 다행히 우리나라 2010년도 보건 복지부는 예산을 전년 대비 8.2% 증가시키고, 장애인연금 수급자를 기존 기초 생활 수급자와 차상위 계층에서 차상위 초과자까지 확대 시켜 제공하는 등 점진적으로 사회적 약자에 대한 관심을 증대 시키고 있다[1].

시각장애인은 보행을 보조 받기 위해 ETA (electronic travel aids)라는 장비를 사용할 수 있다. ETA 장비의 종류에는 GPS, 영상 등을 이용하여 위치를 인식하기 위한 시스템[2,3], 빛, RFID 등을 이용하여 장애물을 감지하기 위한 시스템[4,5], 진동, 음성 및 촉감을 이용하여 사용자에게 정보를 전달하기 위한 시스템[6,7] 등이 있다. 본 논문에서는 시각 장애인에게 현재의 위치와 헤딩 정보 전달을 목적으로 장애물 감지를 제외한 위치 인식 시스템과 정보 전달 시스템을 제안하고자 한다.

먼저 위치 인식 시스템은 거리차(range difference: RD)를 추정할 수 있는 센서 네트워크 기반으로 구성할 수 있다. 관심 대상의 위치를 추정하기 위해 RD 추정치를 사용하는 방법은 이미 여러 분야에서 활용되고 있다[8-12]. RD 추정치를 기반으로 위치를 추정하는 추정기를 설계하기 위해서는 RD 추정치에 대한 모델식 수립이 선행되어야 하며, 비선형 또는 선형 모델이 고려된다. RD 추정치들로부터 사용자

의 위치를 찾는 문제는 여러 개의 쌍곡선 중에서 교점을 찾는 문제로 해석되기 때문에 일반적으로 비선형식으로 전개되나, 매개변수 방법 소개 이후로 비선형 추정 방정식을 선형 방정식 형태로 변환 가능하게 되었다[10,11]. 비선형 모델의 경우 논문[8]와 [9]와 같이 RD 추정 잡음이 적정한 수준이라는 가정 하에 테일러급수 방법을 적용하고 선형 최소 자승 추정기로 위치 추정을 수행할 수 있으나 이러한 방법은 초기치에 민감한 특성이 있어 추정결과의 안정성을 보장할 수 없으며, 최적의 추정치를 위해서는 반복적인 계산과정이 필요하다[11,13]. 이와는 반대로 선형 모델의 경우는 추정기 설계시 일반적인 최소 자승 추정기로도 초기치 문제에 대해 자유롭다는 장점이 있으나 선형 모델의 추정 행렬에 RD 추정 잡음으로 인한 불확실성이 포함됨으로 이에 대한 보상이 필요하게 된다[11, 13-15].

선형 추정 방정식에 불확실성이 포함되어 있는 경우는 논문[16]에서 제시한 바와 같이 불확실성과 선형 모델의 각종 파라미터 사이에 발생하는 상관성을 사전에 제공된 통계적 특성을 활용하여 제거하는 방법으로 접근할 수 있다. 그러나 이러한 방법은 사전에 제공된 통계적 특성이 잘못되었거나 변화하는 경우에는 제한적인 성능을 보일 수 있다[17]. 반면, 논문[18]에서 제시한 IV(instrumental variable) 방법은 추정 행렬에 포함된 불확실성이 야기하는 상관성을 IV 행렬을 정의하는 방법으로 회피 가능하다. 이러한 점을 활용하여 논문[19]은 RD 잡음으로 인해 야기되는 상관성 문제를 IV 기법과 상태 변수 증강(augmentation) 기법으로 보상을 수행하며, 또한 등속도 모델 기반으로 추정기를 설계하였다. 따라서 본 논문은 논문[19]에 제안한 추정기를 시각 장애인의 위치와 헤딩 추정에 적용한다.

다음으로 정보 전달 시스템을 구현하기 위해 휴대 가능하도록 상용화된 시각장애인을 위한 컴퓨터 활용을 고려하였다. 시각 장애인에게는 음성과 점자 디스플레이가 모니터 역할을 한다. 따라서 추정기를 통해 계산된 결과를 점자 코드로 변환하고, 변환된 정보를 무선 통신을 통하여 시각 장애인용 컴퓨터의 점자 디스플레이 장치에 나타내도록 하였다.

* Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University, Korea.

** Dept. of Electrical Engineering, Changwon National University, Korea.

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Changwon National University, Korea.

E-mail : tsyoon@changwon.ac.kr

Received : January 8, 2013; Accepted : February 18, 2013

적용된 알고리즘의 성능 검증을 위해 RD 정보를 추출할 수 있는 초음파 기반의 저가 센서 네트워크 및 각종 이벤트 처리를 위한 중앙 처리 시스템을 구축하였으며, 이동 로봇에 송신기를 부착하여 위치와 헤딩을 추정하는 실험을 수행하였다. 추정 결과는 앞에서 설명한바와 같이 시각장애인용 휴대용 컴퓨터에 전송되어 점자로 표시되도록 구현하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 2.1 절에서는 본 연구가 추구하는 시스템의 구현 방향에 대해 설명한다. 제안 시스템은 RD 측정을 위한 센서 네트워크, 위치/헤딩 추정 알고리즘 및 이벤트 처리를 위한 중앙 처리 시스템, 시각 장애인에게 정보 전달을 위한 점자 표시 장치로 구성된다. 다음으로 2.2 절에서는 선형 RD 측정 모델의 특징과 본 논문에서 사용한 위치 및 헤딩 추정기를 소개하고 3절에서는 초음파 센서 네트워크와 이동 로봇을 이용하여 실험을 수행한 결과를 소개한다. 마지막으로 4절에서는 결론을 기술한다.

2. 시각 장애인을 위한 위치 및 헤딩 추정 시스템

2.1 위치 및 헤딩 추정 시스템

본 논문에서 제안하는 시각장애인을 위한 위치 및 헤딩 추정 시스템은 그림 1과 같이 휴대 장치, 센서 네트워크, 중앙 처리 장치로 구분되며, 기능 별로 보면 측위 신호 발생기와 RD 측정하는 수신기를 묶어서 RD 측정 시스템, 위치 및 헤딩 추정 알고리즘과 RD 측정 가능 범위 내의 각종 목적지 리스트 및 사용자의 필요 정보를 송수신 할 수 있도록 각종 이벤트 데이터를 처리하는 중앙 처리 시스템, 그리고 추정된 위치와 헤딩 정보를 점자 변환 프로그램을 통해 변환하고 시각 장애인에게 알리기 위한 점자 표시 시스템으로 구분된다.

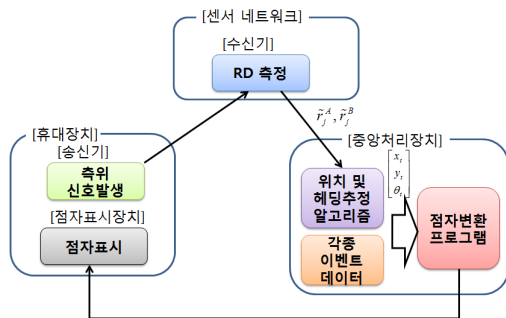


그림 1 시각장애인을 위한 위치 및 헤딩추정 시스템 구성도
Fig. 1 System block diagram of position and heading estimation system for the visually impaired person

2.1.1 RD 측정 시스템

RD 측정 시스템은 논문[12]에서 제시한 바와 같이 센서 네트워크에는 수신기가 장착되고 휴대장치에는 송신기만으로 구성하여 휴대장치의 소모전력을 최소화하며, 휴대장치와 센서 네트워크 간에 시간 동기화가 필요 없도록 구성한다. 소모전력을 최소화 할 수 있는 점은 대부분의 휴대장치가 배터리로 구동되는 점을 고려할 때 상당한 장점이 된다. 단,

RD 측정을 위한 신호 송수신에 대해서는 휴대장치 쪽을 송신기, 센서 네트워크 쪽을 수신기로 구성하나 중앙 처리 시스템과 휴대장치간의 각종 데이터 교환을 위한 송수신 장치는 함께 사용할 수 있다.

또한 RD 측정시스템은 시각장애인에게 위치뿐 아니라 헤딩 정보를 전달하기 위해 2개의 송신기를 휴대 장치 쪽에 구현한다. 복수 송신기를 사용하는 이유는 그림 2에서 나타난 바와 같이 서로 l만큼 떨어진 송신기의 위치를 알게 되는 경우 아래 식 (1)의 관계에 따라 송신기 사이의 중심위치 및 헤딩 정보를 동시에 획득할 수 있기 때문이다.

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_A + x_B)/2 \\ (y_A + y_B)/2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \sin \theta_c \\ -\cos \theta_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_B - x_A)/l \\ (y_B - y_A)/l \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 송신기 A, B의 위치는 각각 (x_A, y_A) , (x_B, y_B) 이며, 두 송신기의 중심좌표는 (x_c, y_c) , 헤딩은 θ_c 로 나타내었다.

또한 2개의 송신기의 송신 신호에 대해 센서 네트워크는 각 송신기에 대한 RD를 구분하여 획득할 수 있도록 구성한다.

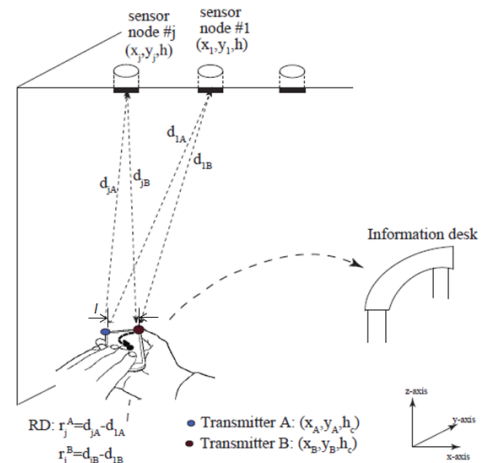


그림 2 사용자의 위치 및 헤딩 정보를 제공하기 위한 복수 송신기 기반의 RD 측정 센서 네트워크
Fig. 2 RD measuring sensor network with a couple of transmitters for position and heading estimation of the visually impaired person

2.1.2. 중앙 처리 시스템

중앙 처리 시스템은 RD 측정 시스템으로부터 전달된 RD 측정치를 이용하여 위치 및 헤딩 추정을 수행할 수 있는 알고리즘을 탑재한다. 또한 시각장애인의 휴대장치 및 주변 기타 시스템과의 데이터 교환을 통해서 RD 측정 시스템이 처리할 수 있는 범위 내에 있는 각종 목적지 리스트 및 필요 정보를 제공하거나 사용자의 편의를 위해 기본적으로 사용자의 현재 위치 및 방향을 기준으로 안내 데스크의 위치를 전송한다. 중앙 처리 시스템에 탑재되는 위치 및 헤딩 추정 알고리즘은 2.2 절에서 구체적으로 기술하였다.

2.1.3. 점자 표시 시스템

점자 표시 시스템은 중앙 처리 시스템에서 산출된 정보를

시각장애인에게 알리기 위하여 점자 디스플레이 장치와 이를 구동할 수 있는 점자 변환 프로그램으로 구성된다. 먼저 점자 변환 프로그램에서는 사용자의 현재 위치와 목적지인 안내 데스크 또는 행정업무 처리 창구의 위치를 거리와 방향 정보로 환산하고 이를 점자 코드로 변환한다. 이때 점자 정보는 시각장애인의 편의를 위해 간단한 정보와 정밀한 정보로 표시할 수 있다. 간단한 정보는 이동시 직관적으로 파악할 수 있도록 좌/우(사용자 중심으로 목적지가 왼쪽 또는 오른쪽에 있는지), 상/하(사용자 중심으로 목적지가 전진방향 또는 후진방향에 있는지)를 나타내며, 정밀한 정보는 구체적으로 거리(사용자와 목적지까지의 거리), 각도(사용자 중심으로 목적지가 몇도 방향에 있는지)를 의미한다. 최종적으로 점자 변환 프로그램을 통해 생성된 코드는 무선 통신 방식을 사용하여 사용자의 휴대장치에 부착된 점자 표시장치로 전달된다.

2.2. 위치 및 헤딩 추정 알고리즘

2.2.1. 복수 송신기를 이용한 RD 측정 모델

시각장애인의 위치와 헤딩을 추정하기 위해 본 논문에서 제안한 RD 측정 시스템은 그림 2와 같이 2개의 송신기에서 센서 네트워크와 약속된 신호가 송출되고 센서 네트워크는 각각의 송신기에 대한 RD 값을 구분하여 측정한다. 센서 네트워크를 구성하는 수신기의 높이가 다양한 경우에는 송신기의 3-D 좌표를 관측할 수 있지만[15], 수신기를 일반적으로 천정에 설치한다고 가정하면 수신기의 높이가 모두 일정해지기 때문에 송신기의 위치는 x, y 좌표에 대해서만 관측 가능하게 된다. 따라서 본 논문은 수신기를 천정에 설치하는 상황을 고려하여 송신기의 x,y 좌표에 대해서만 관측하는 것으로 가정한다.

사용자가 소유하고 있는 송신기의 중앙 위치를 (x_c, y_c, h_c) , 헤딩을 (θ_c) , 센서 네트워크의 각 수신기의 위치를 (x_j, y_j, h) 라고 한다면, 먼저 비선형 측정 모델은 다음과 같다.

비선형 측정 모델:

$$\begin{bmatrix} \tilde{r}_j^A(k) \\ \tilde{r}_j^B(k) \end{bmatrix} = h_j^{non} \{x_c(k), y_c(k), \cos\theta_c(k), \sin\theta_c(k)\} + \begin{bmatrix} \delta r_j^A(k) \\ \delta r_j^B(k) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$h_j^{non} = \left\| \begin{bmatrix} x_j \\ y_j \\ h \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_c - 0.5l \sin\theta_c \\ y_c + 0.5l \cos\theta_c \\ h_c \end{bmatrix} \right\| - \left\| \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ h \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_c - 0.5l \sin\theta_c \\ y_c + 0.5l \cos\theta_c \\ h_c \end{bmatrix} \right\|$$

$$\left\| \begin{bmatrix} x_j \\ y_j \\ h \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_c + 0.5l \sin\theta_c \\ y_c - 0.5l \cos\theta_c \\ h_c \end{bmatrix} \right\| - \left\| \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ h \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_c + 0.5l \sin\theta_c \\ y_c - 0.5l \cos\theta_c \\ h_c \end{bmatrix} \right\|$$

여기서 $\tilde{r}_j^*(k)$ 는 k 시점에 잡음이 포함된 A, B 송신기의 송신 신호에 대한 1번 수신기와 j 번 수신기로부터 측정된 RD 측정치를 나타내며, 해당 RD 측정치에 포함된 $\delta r_j^*(k)$ 는 RD 측정 잡음을 의미한다.

반면 선형 측정 모델은 매개변수 방법을 이용한 방법으로 식 (2)의 비선형 방정식의 양변을 제곱하고 각 송신기로부터

터 기준 수신기(1번 수신기)까지의 거리인 $d_{A,1}, d_{B,1}$ 을 새로운 상태변수로 설정하여 유도된다. 논문[19]에서 소개한 위치 및 헤딩에 대한 선형 모델은 다음과 같다.

선형 측정 모델:

$$z_k^{SPH} = \tilde{H}_k^{SPH} x_k^{SPH} + v_k^{SPH} \quad (3)$$

$$= (\tilde{H}_k^{SPH} - \Delta H_k) x_k^{SPH} + v_k^{SPH}$$

여기서

$$z_k^{SPH} = \begin{bmatrix} z_2^B(k) + z_2^A(k) \\ z_2^B(k) - z_2^A(k) \\ \vdots \\ z_n^B(k) + z_n^A(k) \\ z_n^B(k) - z_n^A(k) \end{bmatrix}, \quad v_k^{SPH} = \begin{bmatrix} v_2^B(k) + v_2^A(k) \\ v_2^B(k) - v_2^A(k) \\ \vdots \\ v_n^B(k) + v_n^A(k) \\ v_n^B(k) - v_n^A(k) \end{bmatrix},$$

$$x_k^{SPH} = [x_c(k) \ y_c(k) \ \sin\theta_c(k) \ \cos\theta_c(k) \ d_{A,1}(k) \ d_{B,1}(k)]^T,$$

$$\tilde{H}_k^{SPH} = -2 \begin{bmatrix} 2(x_2 - x_1) & 2(y_2 - y_1) & 0 & 0 & \tilde{r}_2^A(k) & \tilde{r}_2^B(k) \\ 0 & 0 & l(x_2 - x_1) - l(y_2 - y_1) & -\tilde{r}_2^A(k) & \tilde{r}_2^B(k) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 2(x_n - x_1) & 2(y_n - y_1) & 0 & 0 & \tilde{r}_n^A(k) & \tilde{r}_n^B(k) \\ 0 & 0 & l(x_n - x_1) - l(y_n - y_1) & -\tilde{r}_n^A(k) & \tilde{r}_n^B(k) \end{bmatrix},$$

$$\Delta H_k^{SPH} = -2 \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & \delta r_2^A(k) & \delta r_2^B(k) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\delta r_2^A(k) & \delta r_2^B(k) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \delta r_n^A(k) & \delta r_n^B(k) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\delta r_n^A(k) & \delta r_n^B(k) \end{bmatrix}.$$

참 조 1. 비선형 모델과 선형 모델의 차이점은 비선형 모델의 경우 3개 이상의 수신기만으로도 송신기의 위치를 추정할 수 있다는 장점이 있는 반면 본 문제와 같이 수신기의 높이가 h 로 일정한 경우 송신기의 높이(h_c)가 사전에 제공되어야 하는 단점이 있다. 선형 측정 모델의 경우 4개 이상의 수신기가 필요하여 비선형 모델보다 많은 수신기의 수를 요구하나, 식 (3)에서 나타낸 바와 같이 수신기의 높이가 일정한 경우에도 송신기의 높이와 상관없이 송신기의 x, y 좌표를 구할 수 있는 장점이 있다.

비선형 모델과 선형 모델의 차이점은 각 모델 방정식의 측정 잡음 항에도 존재한다. RD 측정 잡음을 다음과 같이 상호 상관성이 없는 영평균 백색 가우시안(Gaussian) 잡음으로 가정한다면,

$$E \begin{bmatrix} \delta r_j^A(k) \\ \delta r_j^B(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad E \begin{bmatrix} \delta r_i^A(k) \\ \delta r_i^B(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta r_j^A(k) \\ \delta r_j^B(k) \end{bmatrix}^T = \begin{cases} \begin{bmatrix} (\sigma_j^A)^2 & 0 \\ 0 & (\sigma_j^B)^2 \end{bmatrix}, & i=j \\ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, & i \neq j \end{cases} \quad (4)$$

선형 모델의 측정 잡음항인 v_k^{SPH} 는 식 (4)에서 정의한 RD 측정 잡음의 통계적 특성을 이용하면 다음과 같이 재정의 된다.

$$E[v_k^{SPH}] = v_k^{SPH} = \begin{bmatrix} [(\sigma_2^A)^2 + (\sigma_2^B)^2] & & & & & \\ & [(\sigma_2^B)^2 - (\sigma_2^A)^2] & & & & \\ & & \dots & & & \\ & & & [(\sigma_n^A)^2 + (\sigma_n^B)^2] & & \\ & & & & [(\sigma_n^B)^2 - (\sigma_n^A)^2] & \end{bmatrix}^T \quad (5)$$

또한, 선형 모델은 비선형 모델을 제공함으로써 얻어졌기 때문에 선형 모델의 각 파라미터는 다음과 같은 추가적인 통계적 특성을 갖게 된다.

$$E[\Delta H_k^{SPH}] = \mathbf{0}^{2(n-1) \times 6},$$

$$E[(\tilde{H}_k^{SPH})^T \Delta H_k^{SPH}] = W_k^{SPH}$$

$$= \text{diag}([0, 0, 0, 0, 8 \sum_{j=2}^n (\sigma_j^A)^2, 8 \sum_{j=2}^n (\sigma_j^B)^2]) \quad (6)$$

$$V_k^{SPH} = E[(\tilde{H}_k^{SPH})^T (\mathbf{v}_k^{SPH})] = \begin{bmatrix} -4 \sum_{j=2}^n (x_j - x_1) \{(\sigma_j^A)^2 + (\sigma_j^B)^2\} \\ -4 \sum_{j=2}^n (y_j - y_1) \{(\sigma_j^A)^2 + (\sigma_j^B)^2\} \\ -2 \sum_{j=2}^n l(x_j - x_1) \{(\sigma_j^B)^2 - (\sigma_j^A)^2\} \\ -2 \sum_{j=2}^n l(y_j - y_1) \{(\sigma_j^B)^2 - (\sigma_j^A)^2\} \\ 12 \sum_{j=2}^n r_j^A(k) (\sigma_j^A)^2 \\ 12 \sum_{j=2}^n r_j^B(k) (\sigma_j^B)^2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

여기서 $\mathbf{0}^{m \times n}$ 은 $m \times n$ 영행렬을 의미한다.

비선형 모델의 경우 선형 모델에 비해 고려해야 할 측정 잡음의 형태가 상대적으로 간결한 특징이 있다. 비선형 모델은 앞 절에서 언급한 바와 같이 적절한 잡음 환경에서 테일러 급수 방법을 이용하여 선형 최소 자승 추정기로 추정치를 획득할 수 있으나 이러한 경우 초기치에 민감한 특성이 있어 추정결과의 안정성을 보장할 수 없으며, 최적의 추정치를 위해서는 반복적인 계산과정이 필요하게 된다 [8,9,11,13]. 선형 모델의 경우 이러한 문제에 대해 자유로운 장점이 있으나 식 (6)과 (7)에 나타난 바와 같이 의도하지 않은 상관성을 가지게 됨으로 이에 대한 보상 과정이 없는 일반적인 최소 자승 추정기의 경우 추정치에 오차가 포함되게 된다[16]. 또한 식 (5)에 나타난 바와 같이 선형 모델의 측정 잡음에 해당하는 \mathbf{v}_k^{SPH} 는 RD 측정잡음의 제공 향이 있기 때문에 영평균 가정을 할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 선형 모델을 사용하여 초기치에 덜 민감하고 안정적인 추정이 가능하면서 선형 모델에 포함되어 있는 문제를 효과적으로 해결할 수 있도록 설계된 추정기를 적용한다.

2.2.2. IV 기법과 상태변수 증강 기법을 이용한 위치 및 헤딩 추정기

시각장애인에게 위치와 헤딩정보를 전달하기 위해 본 논문에서 사용한 추정기는 논문[19]에서 소개한 IV 기법 기반의 추정기이다. 제안된 추정기는 사용자의 이동에 적절한 추정 성능을 보장하기 위해서 앞서 전개한 선형 모델식 (3)의 상태변수에 속도향을 추가하고 등속도 운동 모델을 사용한 상태 공간 방정식을 이용한다. 또한 식 (5)에 나타난 선형 측정 방정식 잡음(\mathbf{v}_k^{SPH})의 미지의 편향치(\mathbf{b}_k^{SPH})를 해결하기 위해 편향치와 사전에 알고 있는 정보간에 비례상수 s_k 를 정의하고 이를 상태변수에 증강(augmentation)시키는

방법을 사용하였다. RD 측정치의 샘플링 주기를 ΔT_s 라고 할 때 선형 모델 식 (3)으로부터 변형된 상태 공간 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_{k+1}^{SPH} \\ s_{k+1} \\ \mathbf{v}_{k+1} \end{bmatrix} = F \begin{bmatrix} \mathbf{x}_k^{SPH} \\ s_k \\ \mathbf{v}_k \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$\mathbf{z}_k^{SPH} = (\tilde{\Pi}_k - \Delta \Pi_k) \begin{bmatrix} \mathbf{x}_k^{SPH} \\ s_k \\ \mathbf{v}_k \end{bmatrix} + \bar{\mathbf{v}}_k^{SPH},$$

$$F = \begin{bmatrix} I^{2 \times 2} & & & & & & T \\ & I^{2 \times 2} & & & & & \\ & & I^{2 \times 2} & & & & \\ & & & 1 & & & \\ & & & & I^{2 \times 2} & & \end{bmatrix}, \quad I^{2 \times 2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad T = \begin{bmatrix} \Delta T_s & 0 \\ 0 & \Delta T_s \end{bmatrix},$$

$$\tilde{\Pi}_k = [\tilde{H}_k^{SPH} \quad \bar{\mathbf{b}}_k \quad \mathbf{0}^{2(n-1) \times 2}], \quad \Delta \Pi_k = [\Delta H_k^{SPH} \quad \mathbf{0}^{2(n-1) \times 1} \quad \mathbf{0}^{2(n-1) \times 2}]$$

여기서 s_k 는 사전에 주어진 편향 정보를 $\bar{\mathbf{b}}_k$ 라고 할 때 식 (5)의 편향치 \mathbf{b}_k^{SPH} 를 $\mathbf{b}_k^{SPH} \approx s_k \bar{\mathbf{b}}_k$ 로 근사화한 비례상수이며 \mathbf{v}_k 는 x축과 y축에 대한 속도벡터($\mathbf{v}_k = [\nu_x(k) \quad \nu_y(k)]^T$)를 의미하고, $\bar{\mathbf{v}}_k^{SPH}$ 는 식 (3)의 \mathbf{v}_k^{SPH} 에서 편향치 \mathbf{b}_k^{SPH} 를 제거하기 위해 $s_k \bar{\mathbf{b}}_k$ 가 제거된 선형 측정방정식의 잡음 ($\bar{\mathbf{v}}_k^{SPH} = \mathbf{v}_k^{SPH} - s_k \bar{\mathbf{b}}_k$)

이다. 이러한 속도 벡터 \mathbf{v}_k 및 비례상수 s_k 가 증강된 상태 공간 방정식에 적용한 위치 및 헤딩 추정기는 다음과 같다.

$$P_k = \lambda \{P_{k-1}^{-1} + \mathbf{M}_k^T \tilde{\Pi}_k\}^{-1}, \quad (9)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_{k|k}^{Aug} = \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}^{Aug} + P_k \mathbf{M}_k^T \{ \mathbf{z}_k^{SPH} - \tilde{\Pi}_k \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}^{Aug} \},$$

$$\hat{\mathbf{x}}_{k+1|k}^{Aug} = F \hat{\mathbf{x}}_{k|k}^{Aug},$$

$$P_k = F P_k F^T$$

여기서 λ 는 가중치 변수이며 $0 < \lambda \leq 1$ 의 범위를 갖는다. 또한, $\mathbf{x}_k^{Aug} = [(\mathbf{x}_k^{SPH})^T \quad s_k \mathbf{v}_k^T]^T$ 이고, \mathbf{M}_k 은 IV 행렬로 $\tilde{\Pi}_k$ 에서 k 시점의 RD 측정치 ($\tilde{r}_j^A(k)$, $\tilde{r}_j^B(k)$) 대신 $k-1$ 시점에서 추정된 $\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}^{Aug}$ 를 이용하여 새롭게 계산된 RD가 적용된 행렬이다. 본 논문에서 적용한 등속도 모델은 논문[20]과 같이 가속도를 고려한 모델로 확장할 수 있으나 보행에서의 갑작스런 변화가 일반인에 비해 시각 장애인의 경우 적게 발생할 것으로 가정하여 등속도 모델을 적용하였으며, 사용자가 등속도 운동을 한다는 가정의 한계점을 보완하기 위해 가중치 변수 λ 가 적용된 추정식을 사용하였다.

IV 행렬 \mathbf{M}_k 을 계산하는 과정은 다음과 같다. 먼저 $\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}^{Aug}$ 의 성분 중 $\hat{x}_c, \hat{y}_c, \cos \hat{\theta}_c, \sin \hat{\theta}_c$ 를 이용하여 송신기 A, B의 좌표를 다음과 같이 계산한다.

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_A \\ \hat{y}_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{x}_c + 0.5l \sin \hat{\theta}_c \\ \hat{y}_c - 0.5l \cos \hat{\theta}_c \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} \hat{x}_B \\ \hat{y}_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{x}_c - 0.5l \sin \hat{\theta}_c \\ \hat{y}_c + 0.5l \cos \hat{\theta}_c \end{bmatrix}$$

송신기 A, B의 높이가 h_c 로 같다고 가정했기 때문에 $\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}^{Aug}$ 의 성분 중 $\hat{d}_{A,1}$ 또는 $\hat{d}_{B,1}$ 를 이용하여 다음과 같이 송신기의 높이 \hat{h}_c 를 구한다.

$$\begin{aligned} (\hat{h}_c - h)^2 &= (\hat{d}_{A,1})^2 - (\hat{x}_A - x_1)^2 - (\hat{y}_A - y_1)^2, \\ (\hat{h}_c - h)^2 &= (\hat{d}_{B,1})^2 - (\hat{x}_B - x_1)^2 - (\hat{y}_B - y_1)^2 \end{aligned}$$

다음으로 계산된 송신기의 좌표를 이용하여 RD 정의에 따라 아래와 같이 $\hat{r}_j^A(k)$, $\hat{r}_j^B(k)$ 를 계산한다.

$$\begin{aligned} \hat{r}_A(k) &= \begin{bmatrix} x_j \\ y_j \\ h \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \hat{x}_A \\ \hat{y}_A \\ \hat{h}_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ h \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \hat{x}_A \\ \hat{y}_A \\ \hat{h}_c \end{bmatrix}, \\ \hat{r}_B(k) &= \begin{bmatrix} x_j \\ y_j \\ h \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \hat{x}_B \\ \hat{y}_B \\ \hat{h}_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ h \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \hat{x}_B \\ \hat{y}_B \\ \hat{h}_c \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (10)$$

이제 식 (10)을 통해 계산된 $\hat{r}_j^A(k)$, $\hat{r}_j^B(k)$ 를 $\tilde{\Pi}_k$ 의 $\tilde{r}_j^A(k)$ 와 $\tilde{r}_j^B(k)$ 대신에 대입하면 IV 행렬 \mathbf{M}_k 이 구성된다.

IV 행렬 \mathbf{M}_k 를 $\tilde{\Pi}_k$ 와 비교해서 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \tilde{\Pi}_k &= [\tilde{\mathbf{H}}_k^{SPH}\{\tilde{r}_j^A(k), \tilde{r}_j^B(k)\} \quad \bar{\mathbf{b}}_k \quad \mathbf{0}^{2(n-1) \times 2}] \\ \leftrightarrow \mathbf{M}_k &= [\tilde{\mathbf{H}}_k^{SPH}\{\hat{r}_j^A(k), \hat{r}_j^B(k)\} \quad \bar{\mathbf{b}}_k \quad \mathbf{0}^{2(n-1) \times 2}] \end{aligned} \quad (11)$$

여기서 $\tilde{\mathbf{H}}_k^{SPH}\{a_j, b_j\}$ 는 기존 선형 모델식 (3)의 측정 행렬인 $\tilde{\mathbf{H}}_k^{SPH}$ 를 의미하며, 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{H}}_k^{SPH}\{a_j, b_j\} &= -2 \begin{bmatrix} 2(x_2 - x_1) & 2(y_2 - y_1) & 0 & 0 & a_2 & b_2 \\ 0 & 0 & l(x_2 - x_1) & -l(y_2 - y_1) & -a_2 & b_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 2(x_n - x_1) & 2(y_n - y_1) & 0 & 0 & a_n & b_n \\ 0 & 0 & l(x_n - x_1) & -l(y_n - y_1) & -a_n & b_n \end{bmatrix}, \\ &\quad \forall j=2, \dots, n \end{aligned}$$

식 (11)에서 비교해서 나타낸 바와 같이 새롭게 정의된 상태 공간 방정식 (8)에서도 측정행렬 $\tilde{\Pi}_k$ 에는 RD의 측정값이 포함되어 있기 때문에 기존 선형 측정 방정식의 특성인 식 (6)과 (7)로 인해 $\tilde{\Pi}_k$ 와 $\Delta \Pi_k$ 사이 및 $\tilde{\Pi}_k$ 와 $\bar{\mathbf{v}}_k$ 사이에는 상관성이 존재하게 된다. 그러나 IV 행렬을 사용하는 경우 상관성을 피할 수 있게 된다[19].

$$E[\mathbf{M}_k^T \Delta \Pi_k] = \mathbf{0}^{2(n-1) \times 9}, E[\mathbf{M}_k^T \bar{\mathbf{v}}_k] = \mathbf{0}^{2(n-1) \times 9} \quad (12)$$

따라서 상관성으로 인해 추정치에 오차가 발생하하는 기존의 일반적인 최소 자승 추정기보다 본 논문에 사용한 IV 기반의 추정기는 개선된 추정치 획득을 가능하게 한다.

3. 실험 결과

시각장애인을 위한 위치 및 헤딩 추정 시스템은 그림 1에서 나타낸 바와 같이 휴대 장치와 센서 네트워크, 중앙 처리 장치로 구현된다. 그러나 아직 연구단계이기 때문에 제한된 환경에서의 실험으로 성능 검증을 수행하였다.

먼저 휴대 장치 부분은 측위신호 발생기와 점자 표시장치를 따로 구분하여 구현하였다. 측위 신호 발생기는 이동 로봇에 부착하였으며 점자 표시 장치는 상용화된 시각장애인을 위한 컴퓨터인 한스네 포켓 장비를 사용하였다[21].

다음으로 센서 네트워크는 RD 측정이 가능한 초음파 방식을 사용하는 igs-U 장비를 이용하여 저가의 센서 네트워크를 구축하였으며[22], 본 논문에서 제안한 바와 같이 2개의 송신기로 측위 신호 발생을 시키고, 센서 네트워크는 수신기만으로 구성하였다. 구현된 센서 네트워크는 각 송신기에 대한 RD 측정치를 구분하여 저장할 수 있도록 구현하였다.

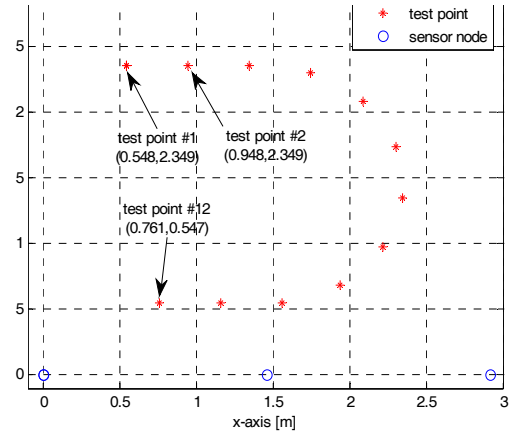


그림 3 성능 검증을 위한 테스트 지점
Fig. 3 Test points for performance evaluation

중앙 처리 시스템은 센서 네트워크와 Zigbee 통신을 이용하여 무선으로 RD 측정 정보가 전달되게 하였으며, 제안한 위치 및 헤딩 추정 알고리즘을 탑재하였다. 또한 각종 이벤트 데이터 처리 부분을 위해 사용자가 안내 데스크의 위치를 요청한다는 시나리오를 세우고 센서 네트워크 내의 임의의 지점을 추정기를 통해 발생된 정보와 함께 점자 변환 프로그램에 전달되도록 하였다. 점자 변환 프로그램은 한스네 포켓 장비 업체에서 제공된 인터페이스 프로그램을 기반으로 설계되었으며, Bluetooth 통신을 통해 무선으로 전달하도록 구현하였다.

이러한 시스템을 기반으로 실험은 추정 성능 검증을 위해 정지 상태의 실험과 이동 실험으로 각각 수행하였다. 센서 네트워크는 총 6개의 수신기로 구성되며 높이 1.915[m]에 좌표는 (0, 0), (1.46, 0), (2.92, 0), (2.92, 2.92), (1.46, 2.92), (0, 2.92)[m]에 설치하였다. 초음파와 센서 네트워크의 RD 측정치 샘플링 주기는 110[msec]로 설정하였으며, 그림 3에 나타난 총 12개의 테스트 지점으로 구성된 U자 궤적에서 정지 상태의 위치 및 헤딩 추정 성능을 검증하였다. 각 테스트 지점의 좌표는 표 1에 나타내었다. 또한 이동 로봇에는 0.25[m] 간격으로 2개의 송신기를 설치하였다.

선형 RD 모델에 적용한 위치 및 헤딩 추정기의 성능 비교를 위해 칼만 필터를 사용하였으며 칼만 필터에 적용되는 파라미터는 식 (8)의 상태 공간 방정식과 동일하게 사용하였으나 증강 변수만 제외한 형태로 구현되었다. 각 추정기

표 1 테스트 지점에서의 제안 추정기 성능 비교

Table 1 Performance comparison results on the test points

테스트지점 좌표[m]	제안추정기 추정오차			칼만 필터 추정 오차			제안추정기 추정오차 (추가잡음)			칼만 필터 추정 오차 (추가잡음)		
	$\hat{e}=(x,y)$ ($\times 10^{-3}$ [m])	$\ \hat{e}\ $ [m]	$\hat{\theta}$ [deg]	$\hat{e}=(x,y)$ ($\times 10^{-3}$ [m])	$\ \hat{e}\ $ [m]	$\hat{\theta}$ [deg]	$\hat{e}=(x,y)$ ($\times 10^{-3}$ [m])	$\ \hat{e}\ $ [m]	$\hat{\theta}$ [deg]	$\hat{e}=(x,y)$ ($\times 10^{-3}$ [m])	$\ \hat{e}\ $ [m]	$\hat{\theta}$ [deg]
#1 (0.548,2.349)	(8.90,-4.14)	9.82	-0.07	(16.60,-11.61)	20.25	-5.07	(6.39,-0.99)	6.47	0.47	(58.79,-64.44)	87.23	-5.21
#2 (0.948,2.349)	(-11.85,3.87)	12.47	-0.29	(-10.71,2.39)	10.97	-0.81	(-13.43,6.91)	15.11	0.15	(12.27,-47.64)	49.20	-2.12
#3 (1.348,2.349)	(-3.29,4.26)	5.38	-0.96	(-3.49,7.25)	8.05	-0.97	(-3.96,6.85)	7.91	-0.57	(1.82,-40.81)	40.85	-2.13
#4 (1.748,2.295)	(5.32,-3.41)	6.32	0.76	(4.66,-7.04)	8.44	0.51	(5.32,-1.07)	5.43	1.15	(-6.64,-52.33)	52.75	-0.58
#5 (2.087,2.08)	(-3.55,-1.59)	3.89	-0.45	(-4.61,-3.03)	5.52	-0.40	(-2.92,0.48)	2.96	-0.08	(-29.84,-39.26)	49.31	-1.30
#6 (2.3,1.736)	(1.28,0.01)	1.28	-0.99	(-1.28,-0.30)	1.31	-0.83	(2.86,1.70)	3.33	-0.75	(-35.56,-20.36)	40.97	-1.68
#7 (2.345,1.348)	(9.52,0.28)	9.53	-0.86	(11.54,0.47)	11.55	-1.25	(11.92,0.94)	11.95	-0.75	(-23.24,-1.31)	23.27	-1.95
#8 (2.217,0.971)	(-7.07,11.37)	13.39	0.21	(-7.08,11.25)	13.30	0.70	(-4.92,10.65)	11.73	0.34	(-30.74,22.18)	37.91	-0.43
#9 (1.94,0.684)	(-1.67,4.67)	4.96	0.27	(-1.87,3.48)	3.95	0.35	(-0.25,2.69)	2.71	0.48	(-14.10,20.16)	24.60	-0.79
#10 (1.563,0.547)	(0.87,1.04)	1.35	0.08	(0.23,1.89)	1.90	1.18	(0.92,-1.79)	2.01	0.39	(-1.69,20.71)	20.78	-0.44
#11 (1.162,0.547)	(3.88,1.61)	4.20	-0.58	(2.12,-2.23)	3.08	-0.70	(2.40,-0.84)	2.54	-0.21	(10.35,18.40)	21.12	-2.11
#12 (0.761,0.547)	(-4.17,0.46)	4.19	-0.10	(-4.32,0.88)	4.41	0.31	(-6.82,-1.64)	7.01	0.33	(17.20,24.51)	29.94	-1.61

의 파라미터는 제안 추정기와 칼만 필터 모두 초기 위치는 테스트 지점의 좌표값으로 설정하였고 초기 각도는 영도로 동일하였다. 제안 추정기와 칼만 필터의 초기 공분산 값은 각각 $I^{9 \times 9} \times 10^3, I^{8 \times 8} \times 10^3$ 로 설정하였으며, 제안 추정기의 가중치 λ 는 0.98으로 설정하였다. 칼만 필터의 전이 공분산과 측정 공분산은 각각 $I^{8 \times 8} \times 10^{-8}, I^{10 \times 10} \times 10^2$ 로 설정하였다.

본 실험에서 사용된 RD 측정 시스템은 전처리 과정을 거치면 평균적으로 0.01[m] 미만의 작은 오차가 발생하는 장점이 있지만 초음파를 사용하기 때문에 손바닥 소리 또는 실제 환경에서 발생할 수 있는 외부 잡음에 영향을 받고 송신기의 크기가 휴대장치로 개발하기에 상대적으로 크다. 반면 실제 환경에서 사용가능하고 가장 강한 성능을 제공할 수 있는 것으로 알려진 UWB (ultra wide band) 방식을 이용하는 장비 중 Time domain 사의 PulseON 410 제품은 0.023[m]의 표준 편차에 0.021[m] 정도의 편향 오차를 발생한다 [23]. 따라서 본 실험에서는 PulseOn 410 제품에서 발생할 수 있는 잡음을 RD 측정치에 추가한 실험을 함께 수행하였다.

그림 3에 나타난 성능 검증을 위해 설정한 테스트 지점에서의 정지상태의 추정 성능 비교 결과를 표 1에 나타내었다. (표 1의 $\|\hat{e}\|$ 는 2차원 좌표에서 나타낸 오차벡터 \hat{e} 의 크기를 나타낸다.) 정지상태의 추정 결과 중 추가 잡음을 적용하지 않은 왼쪽열의 결과는 제안 추정기의 최대 오차가 13.39×10^{-3} [m]이고 각도의 최대 오차가 약 -1[deg] 이다. 제안 추정기를 사용하지 않고 일반적인 칼만 필터를 사용한 결과는 최대 오차가 20.25×10^{-3} [m]이고, 각도 최대 오차는 약 -5[deg] 였다. 제안 추정기의 성능이 약간 좋은 것으로 나타나지만 차이가 크지 않은 이유는 앞에서 언급한 바와 같이 사용된 센서 네트워크의 RD 측정 오차가 상당히 작았기 때문이다. 이러한 이유로 선형 모델의 불확실성으로 작용하는 RD 측정 오차가 추정치에 미치는 영향을 개선하기

위해 제한한 추정기의 효과가 두드러지지 않게 되었다. 그러나 표 1의 오른쪽 열의 결과를 보면 추가 잡음이 포함된 경우 제안 추정기와 일반적인 칼만 필터의 성능 차이가 좀 더 명확해짐을 확인할 수 있다. 제안 추정기의 경우 최대 오차가 15.11×10^{-3} [m]이고 각도 오차가 1.15[deg]인 반면 칼만 필터의 경우 최대 오차가 87.23×10^{-3} [m]이고 각도 오차는 -5.21[deg]까지 발생하였다.

다음으로 이동시 궤적 추정 결과는 그림 4에 나타내었다. 이동 실험에서도 마찬가지로 제안 추정기와 칼만 필터와의 추정 성능이 현재의 초음파 센서 네트워크에서는 차이가 크지 않았기 때문에 정지실험에서 적용한 추가 잡음을 RD 측정치에 적용하여 성능 비교를 수행하였다. 이동로봇의 궤적은 그림 3의 U자 궤적을 따라 돌게 하였으나, 사용된 이동로봇은 궤적 제어가 탐재되어 있지 않기 때문에 정확하게 U자 궤적을 따라 돌지 못하였다. 따라서 이동 실험에서 기준 값 설정을 위해 정밀한 추정 성능을 제공할 수 있는 영상센서를 사용하였으며, 이를 기반으로 성능비교를 수행하였다. 본 실험에서의 초음파 센서 네트워크의 RD 측정 샘플링 속도는 110[msec]로 상당히 낮은 수준이기 때문에 이동로봇의 속도를 0.155[m/sec]으로 보행자의 속도 보다 약 6배 정도 낮은 수준으로 실험을 진행하였으며, 추정기의 수렴 속도를 높이기 위해 제안 추정기의 가중치 값을 $\lambda=0.85$, 칼만 필터는 전이 공분산을 $I^{8 \times 8} \times 10^{-3}$ 로 조정하였다.

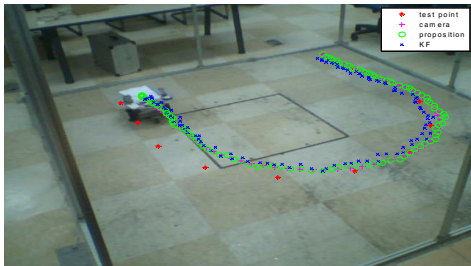
그림 4에서 나타난 이동 실험에서 제안 추정기는 실제 이동 궤적과의 최대 오차가 91.45×10^{-3} [m] 였으며 칼만 필터는 128.00×10^{-3} [m]으로 나타났다. 이러한 결과는 이동하는 환경에서도 제안 추정기가 개선된 성능을 낼 수 있음을 나타낸다.

한편 점자 표시 시스템은 2.1.3 절에서 제안한바와 같이 이동시 직관적으로 파악할 수 있는 좌우/상하 정보와 정밀한 정보인 거리/각도 값을 왼쪽부터 거리, 각도, 좌/우, 상/하 순으로 표시하게 하였으며 결과는 그림 5에 나타내었다.

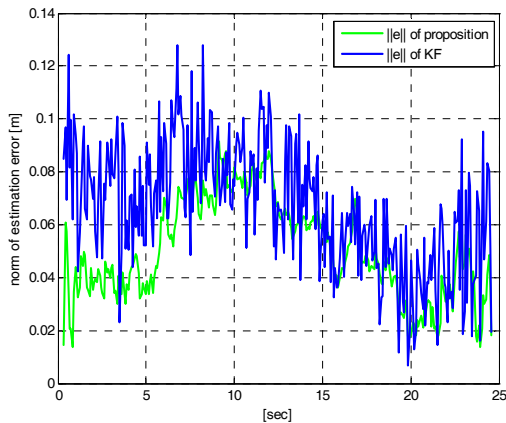
이러한 실험 결과를 통해 본 논문에서 제안한 시스템이 시각장애인을 위해 사용할 수 있는 시스템으로 개발할 수 있음을 확인할 수 있었으며, 추후 연구로는 RD 측정 시스템을 휴대장치 및 실제 환경에서 사용할 수 있는 장비로 대체하여 시각장애인에게 적용 해볼 수 있는 시제품으로 연구할 계획이다.

4. 결 론

시각장애인의 보행에 도움을 주기 위하여 RD 정보를 이용한 추정기를 바탕으로 사용자의 위치 및 헤딩을 추정하고 추정 결과를 점자 표시장치를 통해 나타낼 수 있는 시스템



(가)



(나)

그림 4 이동 실험 결과: (가) 궤적 결과, (나) 궤적 오차
Fig. 4 Results of the moving experiment: (a) tracking results (b) tracking error



그림 5 한소네 포켓에 표시된 점자 정보
Fig. 5 Braille displayed on the Hansone pocket

을 제안하였다. 제한된 환경 내에서의 실험이었으나 RD 정보를 측정할 수 있는 초음파기반의 저가 센서 네트워크를 구축하였으며, RD 측정치에 포함되어 있는 잡음으로 인한 추정 성능 저하에 대응할 수 있는 위치 및 헤딩 추정기를 사용하여 제안 시스템을 구현하였다. 성능 검증을 위하여 기존의 대표적인 선형 추정기인 칼만 필터와 성능 비교를 수행하였으며, 이동 로봇을 이용하여 정지 및 이동 상태에서의 성능 비교로 제안 방식의 우수성을 검증하였다. 또한 사용자를 센서 네트워크 내의 임의의 지점으로 안내할 수 있도록 실제 시각장애인을 위한 휴대용 컴퓨터에 점자 형태로 나타내게 하였다. 본 실험에서 사용한 초음파 기반의 센서 네트워크는 전처리 과정을 통과한 이후의 RD 측정 잡음이 상당히 작은 수준임으로 제안 추정방식의 우수성이 두드러지지 않았으나, 실제 시각장애인에게 사용할 수 있을 것으로 판단되는 UWB를 이용한 상용화 제품의 오차 수준을 고려한 결과에서는 제안 방식의 우수성을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제안한 시스템은 실제 상황에서도 우수한 성능을 낼 수 있을 것으로 기대되며, 실용적인 제품으로 개발될 수 있도록 지속적인 추가 연구를 진행하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2010-0005318)

References

- [1] Ministry of Health and Welfare, Ministry of Health and Welfare Year Book, vol. 57, 2011.
- [2] A. Brilhault, S. Kammoun, O. Gutierrez, P. Truillet, and C. Jouffrais, "Fusion of Artificial Vision and GPS to Improve Blind Pedestrian Positioning," Proceedings of the IFIP International Conference on Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS), pp. 1 - 5, 2011.
- [3] S. Treuillet, E. Royer, T. Chateau, M. Dhome, and J. M. Lavest, "Body Mounted Vision System for Visually Impaired Outdoor and Indoor Wayfinding Assistance", CVHI, pp.1-6, 2007.
- [4] J. Villanueva and R. Farcy, "Optical Device Indicating A Safe Free Path to Blind People," IEEE Trans. Instrumentation and Measurement, vol. 61, no. 1, 2012.
- [5] M. E. Peck, "RFID Tags Guide The Blind," IEEE Spectrum, New York, Tech. Rep., 2008.
- [6] J. Punwilai, T. Noji, and H. Kitamura, "The Design of A Voice Navigation System for The Blind in Negative Feelings Environment," ISCIT 2009, pp. 53-58, 2009.
- [7] H. Minagawa, N. Ohnishi, and N. Sugie, "Tactile-Audio Diagram for Blind Persons," IEEE. Trans. Rehabilitation Eng., vol. 4, no. 4, pp. 431-437, 1996.

[8] W. H. Foy, "Position-Location Solutions by Taylor Series Estimation," IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol. AES-12, no. 2, pp. 187-194, 1976.

[9] D. J. Torrieri, "Statistical Theory of Passive Location Systems," IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol. AES-2, no. 2, pp. 183-198, 1984.

[10] J. O. Smith, and J. S. Abel, "Closed-form Least Squares Source Location Estimation from Range-difference Measurements," IEEE Trans. Acoust. Speech Sig. Processing, pp. 1661-1669, 1987.

[11] Y. T. Chan and K. C. Ho, "A Simple and Efficient Esitmtator for Hyperbolic Location," IEEE Trans. Signal Process., vol. 42, no. 8, pp. 1905-1915, Aug., 1994.

[12] A. Fujii, H. Sekiguchi, M. Asai, S. Kurashima, H. Ochiai and R. Kohno, "Impulse Radio UWB Positioning System," IEEE Radio Wireless Symp., pp.55-58, 2007.

[13] G. H. Choi, W. S. Ra, J. B. Park, and T. S. Yoon, "Stochastic Error Compensation Method for RDOA Based Target Localization in Sensor Network," Trans. KIEE. vol. 59, no. 10, pp. 1874-1881, 2010.

[14] Y. Huang, J. Benesty, G. W. Elko, and R. M. Mersereau, "Real-Time Passive Source Localization: A Practical Linear-Correction Least squares Approach," IEEE Trans. Speech and Audio Process., vol. 9, no. 8, pp. 943-956, Nov., 2001.

[15] Y. Weng, W. Xiao, and L. Xie, "Total Least Squares Method for Robust Source Localization in Sensor Networks using TDOA Measurements," Int. J. Distrib. Sensor Netw., pp. 1-8, 2011.

[16] W. S. Ra, I. H. Whang, J. Y. Ahn, and J. B. Park, "Recursive Robust Least Squares Estimator for Time-Varying Linear Systems with A Noise Corrupted Measurement Matrix," IET. Control Theory & Appl., vol. 1, no. 1, pp.104-112, 2007.

[17] W. S. Ra, I. H. Whang, and T. S. Yoon, "Constrained Robust Kalman Filtering for Passive Localization," Proc. of ICROS-SICE Int. Joint Conf., pp. 4516-4521, Aug., 2009.

[18] K. Dogancay, "On The Bias of Linear Least Squares Algorithms for Passive Target Localization," Signal Process., vol. 84, no. 3, pp. 475-486, 2004.

[19] G. H. Choi, H. S. Cheon, J. B. Park, and T. S. Yoon, "Position and Heading Tracking in Sensor Network via Instrumental Variable Estimation," SICE Annual Conf., pp. 2032-2036, 2011.

[20] K. Dogancay, "Bias Compensation for The Bearings-Only Pseudolinear Target Tracking Estimator," IEEE. Trans. Signal Processing, vol. 54, no. 1, pp. 59-68, 2006.

[21] "Braille Sense OnHand(H318B)", HIMS International, [Online] Available: <http://www.himskorea.co.kr>

[22] "igs-U", Ninety System, [Online] Available: <http://www.ninety.co.kr>

[23] "P410 Data Sheet", Time Domain. [Online]. Available: <http://www.timedomain.com/p400.php>

저 자 소 개



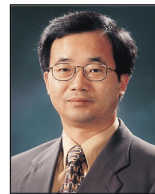
최 가 형 (崔 珂 煒)

1981년 1월 18일생. 2003년 연세대학교 공과대학 기계전자공학부 졸업(공학사), 2007년 동대학원 전기전자공학과 졸업(석사), 2008년~현재 동 대학원 전기전자공학과 박사과정
Tel : +82-2-2123-2773
Fax : +82-2-362-4539
E-mail : choigh99@yonsei.ac.kr



천 효 석 (千 倣 錫)

1983년 1월 18일생. 2010년 창원대학교 전기공학과 졸업(공학사), 2012년 동대학원 전기공학과 졸업(석사), 2012년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정
Tel : +82-55-213-3633
Fax : +82-55-263-9956
E-mail : starchon@changwon.ac.kr



박 진 배 (朴 珍 培)

1954년 8월 7일생. 1977년 연세대학교 공과대학 전기공학과 졸업(공학사), 1990년 Kansas State University 공과대학 전기 및 컴퓨터 공학과 졸업(공학박), 1990년~1991년 Kansas State University 전기 및 컴퓨터공학과 조교수, 1992년 ~ 현재 연세대학교 전기공학과 교수
Tel : +82-2-2123-2773
Fax : +82-2-362-4539
E-mail : jbpark@yonsei.ac.kr



윤 태 성 (尹 泰 星)

1956년 6월 22일생. 1978년 연세대학교 공과대학 전기공학과 졸업(공학사), 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박), 1994년 3월 ~ 1995년 2월 미국 Vanderbilt 대학교 전기공학과 객원교수, 1989년 ~ 현재 창원대학교 전기공학과 교수
Tel : +82-55-213-3633
Fax : +82-55-263-9956
E-mail : tsoyon@changwon.ac.kr