

실내 군사작전 지원을 위한 융합(PDR, UWB) 측위 시스템 설계 및 응용

서현덕*, 김효원*, 최만수**, 황국연**, 장용구***, 김선우°

Design and Application of Fusion(PDR, UWB) Positioning Algorithm for Indoor Military Operation Support

Hyeondeog Seo*, Hyowon Kim*, Mansu Choi**,
Kukyeon Hwang**, Yonggu Jang***, Sunwoo Kim°

요약

전투형태의 변화로 현대전은 전면전이 아닌 국지적 도발, 테러, 암살 등 다발적이고 소규모전의 형태로 전개되고 있다. 따라서 도심지 또는 인구 밀집도가 큰 지역에 대한 군사 대응 능력이 중요해지고 있다. 도심지에서 군사 작전을 수행하는 작전병의 위치를 실시간으로 관제할 수 있는 시스템의 필요성이 대두되고 있으며 실외의 경우 GNSS 정보를 이용하여 작전병의 위치를 얻을 수 있다. 그러나 GNSS 신호의 수신이 어려운 영역 및 실내에서는 GNSS 정보를 이용할 수 없고, 이러한 영역에서 사용가능한 위치추적 시스템이 필요하다. 본 연구에서는 실내에서 이동하며 작전을 수행하는 작전병의 위치를 실시간으로 추적하는 융합 측위 시스템을 설계하고, 실험을 통해 성능을 평가하였다. 이 연구결과는 향후 도심지에서 군사작전을 수행하는 작전병의 위치를 실시간으로 관제하는 시스템 구축에 기여할 수 있을 것으로 보인다.

Key Words : PDR, UWB, Tracking, GNSS, Kalman Filter

ABSTRACT

Due to changes in the form of combat, modern warfare is being deployed in the form of a multitude of small provincial provocations such as local provocations, terrorist attacks, and assassinations. Therefore, military response capability is becoming more important in urban areas or areas with high population density. It is necessary to be able to control the location of the operational soldier in the city in real time. In case of outdoors, the position of the operational soldier can be obtained by using GNSS information. However, GNSS information is not available in the areas where the GNSS signals are not received and indoors, so a positioning system usable in these areas is needed. In this study, a fusion positioning system that tracks the position of an operational soldier moving in the room in real time is designed and its performance is evaluated through experiments. The results of this study could contribute to the real - time control of military operations in urban areas.

※ 본 연구는 민-군기술협력사업(Civil-Military Technology Cooperation Program)의 연구비 지원(16-SF-SW-20)에 의해 수행되었습니다.

• First Author : (ORCID:0000-0002-8009-5059)Hanyang University Department of Electronics and Computer Engineering, pcboo@hanyang.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-7055-6587)Hanyang University Department of Electronic Engineering, remero@hanyang.ac.kr, 종신회원

* (ORCID:0000-0002-0473-1471)Hanyang University Department of Electronics and Computer Engineering, khw870511@hanyang.ac.kr, 학생회원

** (ORCID:0000-0002-3127-9169,0000-0001-7193-0131)Ascen Korea, dennis@ascen.co.kr, kyhwang@ascen.co.kr

*** (ORCID:0000-0002-3128-7791)Korea Institute of Civil engineering and Building Technology, wkddydm@kict.re.kr

논문번호 : KICS2017-12-377, Received December 4, 2017; Revised January 22, 2018; Accepted January 24, 2018

I. 서 론

현대전은 전투형태의 변화로 인해 도심지와 같은 인구밀집도가 높은 지역에서 많이 일어나며 전면전 보다는 국지적 도발, 테러 등의 형태로 동시다발적으로 일어나고 있다. 대한민국은 수도권에 주요 시설 및 인구가 밀집되어 있으므로 이와 같은 국지적 도발 및 테러에 대한 대응 능력이 중요하다. 이러한 대응 능력 향상을 위해서 군사작전을 수행하는 작전병의 위치를 실시간으로 관제할 수 있는 시스템이 요구되고 있다. 일반적으로 실외환경에서 이동하는 단말의 위치는 GNSS(Global Navigation Satellite Systems) 시스템의 정보를 통해 측정할 수 있다. 또한 GPS(Global Positioning System)의 측위 성능을 보정하는 SBAS(Space Based Augmentation System)에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다¹¹. 그러나 이러한 GNSS 시스템을 통한 측위 시스템은 위성 신호가 수신되지 않는 영역이나 실내 환경에서는 사용이 불가능하다²¹. 현재 미국의 DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency)에서는 GPS 보다 정확도가 높은 GPS-free 시스템 개발을 위하여 박차를 가하고 있으며, 우리나라에서도 Ad-Hoc 네트워크에서의 GPS-free 측위 기법 등이 연구되고 있다³¹. 또한 위치 정보를 이용한 위치 기반 서비스(LBS: location based service)는 이동 중인 사용자의 위치를 기반으로 필요한 서비스를 제공하므로 이러한 위치추적 시스템은 군뿐만 아니라 민간 분야에서도 이용이 가능하다⁴¹.

본 연구는 실내에서 군사작전을 수행하는 작전병이 휴대하는 단말에서 수집되는 PDR(Pedestrian Dead Reckoning) 정보와 UWB(Ultra Wide Band) 기반의 거리 정보를 이용하여 이동하는 군사 작전병의 위치를 실시간으로 추적하는 알고리즘을 제안하고, 실험을 통해 성능을 평가하였다. PDR 측정을 위한 센서는 작전병의 발에 부착되며 측정된 PDR 정보는 블루투스(Bluetooth)를 통해 메인 보드(main board)로 전송된다. 메인 보드는 작전병의 어깨에 부착되며 메인 보드에 포함된 UWB 모듈이 UWB 앵커 노드와의 통신을 통해 거리 정보를 수집한다. 수집된 거리 정보를 바탕으로 다변측량과 최소자승법을 통해 1차적으로 작전병의 위치를 추정하고, 추정된 작전병의 위치와 PDR 정보를 융합하여 칼만 필터링을 통해 최종적인 작전병의 위치를 추정한다.

II장에서는 센서를 통해 측정되는 PDR 측정값, UWB 기반의 거리 정보를 바탕으로 다변측량과 최소자승법을 통해 작전병의 위치를 추정하는 기법, 칼만

필터를 통해 작전병의 최종 위치 값을 추정하는 기법에 대해 소개한다. III장에서는 II장에서 소개한 기법을 토대로 시행된 실험 결과를 보이고 그에 대한 성능을 평가한다. 마지막으로 IV장에서는 실험 결과를 바탕으로 제안하는 알고리즘의 성능이 기존의 방법에 비해 개선되었음을 확인하고 결론을 맺는다.

II. 본 론

2.1 PDR 측정 모델

PDR은 보행자가 걸음에 의해 본인의 위치를 변화시킨다는 것에 기반 하여 개발된 추측항법시스템으로서, 이동하면서 발생하는 걸음 정보를 이용하여 거리와 이동방향을 추정하여 처음의 위치로부터 이동한 위치를 찾아내는 방법이다⁵¹. 관성 센서를 이용하여 보행자의 보폭을 얻는 기법은 주로 가속도의 이중적분을 통해 구한다⁶¹. 이외에도 최근 PDR 시스템을 기초로 한 실내 위치 추정에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다⁷⁻⁸¹. 가속도의 이중적분을 이용하여 보행자의 보폭을 얻게 되면 누적오차가 발생하고 이를 보정할 수 있는 기법이 필요하다. 본 논문에서는 UWB 측정값과 칼만 필터를 통해 이를 보정한다. PDR 측정 모델은 다음과 같이 정의한다.

$$\tilde{z}_{PDR,t} = \mathbf{x}_t + e_{PDR,t} \quad (1)$$

$\tilde{z}_{PDR,t}$ 는 시각 t 에서 측정된 작전병의 PDR 좌표값, \mathbf{x}_t 는 시각 t 에서 작전병의 실제 좌표, e_t 는 시각 t 에서의 노이즈이다.

2.2 UWB 측정 모델

UWB 신호는 상대 대역폭이 20%이상이거나 절대 대역폭이 500MHz 이상인 신호를 의미하며 이러한 넓은 대역폭은 안정성을 향상시켜 장애물을 통과할 가능성이 높아지고 향상된 해상도와 더불어 보다 정확한 거리 정보를 제공한다⁹¹. 거리 정확도가 높아지면 다변측량과 최소자승법을 통해 구한 작전병의 위치의 정확도도 향상되게 되며 이를 통해 PDR 정보의 정확도를 개선할 수 있다. UWB 측정 모델은 아래와 같이 정의한다.

$$\tilde{z}_{UWB,i,t} = d_{i,t} + e_{UWB,t} \quad (2)$$

$\tilde{z}_{UWB,i,t}$ 는 시각 t 에서 앵커 노드 i 와 작전병간의

측정된 거리 값, $d_{i,t}$ 는 시각 t 에서 앵커 노드 i 와 작전병간의 실제 거리 값, $e_{UWB,t}$ 는 노이즈이다.

2.3 다변측량과 최소자승법을 이용한 측위 기법

UWB 신호를 통해 측정된 거리 값을 바탕으로 다변측량과 최소자승법을 이용하여 작전병의 위치를 추정할 수 있다. 구하고자 하는 작전병의 위치 좌표의 미지수는 2개이고, 3개의 앵커 노드로부터 측정된 거리 값을 이용하면 3개의 식을 얻을 수 있다. 이와 같은 문제는 최소자승법을 이용하여 풀 수 있다^[10]. 앵커 노드 i 와 작전병과의 거리는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$d_i^2 = (a_i - x)^2 + (b_i - y)^2 \quad (3)$$

(a_i, b_i) 는 i 번째 앵커 노드의 위치이며 (x, y) 는 작전병의 위치이다. 3개의 앵커 노드를 통해 얻은 거리 값과 각 앵커 노드의 위치좌표를 이용하면 3개의 식을 얻을 수 있으며 행렬로 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} (x - a_1)^2 + (y - b_1)^2 &= d_1^2, \\ (x - a_2)^2 + (y - b_2)^2 &= d_2^2, \\ (x - a_3)^2 + (y - b_3)^2 &= d_3^2 \end{aligned} \quad (4)$$

최소자승법을 사용하여 최종적으로 구하는 작전병의 위치 좌표는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} -2 \begin{bmatrix} a_1 - a_3 & b_1 - b_3 \\ a_2 - a_3 & b_2 - b_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} &= \\ \begin{bmatrix} d_1^2 - d_3^2 - a_1^2 + a_3^2 - b_1^2 + b_3^2 \\ d_2^2 - d_3^2 - a_2^2 + a_3^2 - b_2^2 + b_3^2 \end{bmatrix} & \\ \mathbf{A} = -2 \begin{bmatrix} a_1 - a_3 & b_1 - b_3 \\ a_2 - a_3 & b_2 - b_3 \end{bmatrix}, & \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{B} &= \begin{bmatrix} d_1^2 - d_3^2 - a_1^2 + a_3^2 - b_1^2 + b_3^2 \\ d_2^2 - d_3^2 - a_2^2 + a_3^2 - b_2^2 + b_3^2 \end{bmatrix} \\ \mathbf{X} &= (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{B} \end{aligned} \quad (6)$$

2.4 칼만 필터를 이용한 위치 추정 기법

본 알고리즘은 PDR 단일측정값이 보행자의 걸음 수가 늘어날수록 오차가 증가하는 특성을 갖고 있고 이러한 특성으로 인해 군사작전 수행 시 작전병의 위치를 추적하는 시스템으로 사용하기에 부적합하다는 점을 보완하기 위한 알고리즘이다. 이러한 점을 고려

하여 군사작전 수행 시 사용할 수 있는 위치추적 시스템 개발을 위해 UWB 측정값과 칼만 필터링을 추가적으로 이용하여 PDR 측정값의 오차를 줄이는 알고리즘을 제안한다.

칼만 필터는 노이즈가 포함된 선형 상태를 시간에 따라 추정하는 선형 필터이다. 전체 과정은 예측 과정(prediction step)과 보정 과정(correction step)으로 나뉘며 측정된 PDR 좌표와 다변측량과 최소자승법을 통해 추정된 좌표를 이용하여 이동하는 작전병의 위치를 최종적으로 추정한다. 예측 과정에서는 상태모델에 의해 작전병의 위치를 예측하고, 보정 과정에서는 관측모델에 의해 관측한 값과 예측 과정에서 예측한 예측값의 비교를 통해 칼만 이득을 구한 뒤 칼만 이득을 이용하여 최종적인 작전병의 위치를 추정한다^[11]. PDR 측정값 기반의 작전병의 위치 상태모델은 다음과 같다.

$$\hat{\mathbf{x}}_{t|t-1} = \hat{\mathbf{x}}_{t-1|t-1} + \tilde{\mathbf{z}}_{PDR,t} - \tilde{\mathbf{z}}_{PDR,t-1} + \mathbf{w}_t \quad (7)$$

$\hat{\mathbf{x}}_{t|t-1}$ 는 시각 t 에서의 작전병의 위치에 대한 예측 값, $\hat{\mathbf{x}}_{t-1|t-1}$ 는 시각 $t-1$ 에서의 작전병의 위치에 대한 추정 값, $\tilde{\mathbf{z}}_{PDR,i,t}$ 는 시각 t 에서 측정된 PDR 측정 값, $\tilde{\mathbf{z}}_{PDR,i,t-1}$ 는 시각 $t-1$ 에서 측정된 PDR 측정값, \mathbf{w}_t 는 평균이 0이고 분산이 σ_w^2 인 가우시안 노이즈이다.

\mathbf{z}_t 는 다변측량과 최소자승법을 통해 얻은 작전병의 위치 좌표, \mathbf{x}_t 는 작전병의 실제 좌표, \mathbf{u}_t 는 평균이 0이고 분산이 σ_u^2 인 가우시안 노이즈이다. 칼만 필터링 과정에서 사용되는 관측모델은 다음과 같다.

$$\mathbf{z}_t = \mathbf{x}_t + \mathbf{u}_t \quad (8)$$

행렬 \mathbf{A} 는 크기가 2×2 인 단위행렬이다. \mathbf{Q}_t 는 상태 노이즈의 공분산, $\mathbf{P}_{t|t-1}$ 는 오차의 공분산의 예측 값으로서 $\mathbf{P}_{t|t-1} = E[(\mathbf{x}_t - \hat{\mathbf{x}}_{t|t-1})(\mathbf{x}_t - \hat{\mathbf{x}}_{t|t-1})^H]$ 로 정의된다. 예측 과정은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{x}}_{t|t-1} &= \mathbf{A} \hat{\mathbf{x}}_{t-1|t-1} + \tilde{\mathbf{z}}_{PDR,t} - \tilde{\mathbf{z}}_{PDR,t-1} \\ \mathbf{P}_{t|t-1} &= \mathbf{A} \mathbf{P}_{t-1|t-1} \mathbf{A}^H + \mathbf{Q}_t \end{aligned} \quad (9)$$

보정 과정에서는 예측 과정에서 구한 예측값과 관측 모델에 의해 관측된 값의 비교를 통해 칼만 이득을 구하고, 칼만 이득을 이용하여 작전병의 상태에 대한

추정 값과 오차 공분산의 추정 값을 구하는 과정을 포함한다. K_t 는 칼만 이득, H_t 는 크기가 2×2 인 단위 행렬, R_t 는 관측 모델 노이즈의 공분산, $\hat{x}_{t|t}$ 는 시각 t 에서의 추정 값, z_t 는 시각 t 에서의 관측 값, $P_{t|t}$ 는 시각 t 에서의 오차 공분산의 추정 값을 나타낸다. 보정 과정은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 K_t &= P_{t|t-1} H_t^H (H_t P_{t|t-1} H_t^H + R_t)^{-1} \\
 \hat{x}_{t|t} &= \hat{x}_{t|t-1} + K_t (z_t - H_t \hat{x}_{t|t-1}) \\
 P_{t|t} &= P_{t|t-1} - K_t H_t P_{t|t-1}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

III. 실험 결과

실험 환경은 그림 1 과 같다. 실험은 한양대학교 신소재 공학관 1층에서 진행하였으며 크기가 $10m \times 11m$ 이고 다중경로에 의한 영향이 최소화되는 구역을 선정하여 3개의 앵커 노드 위치와 6개의 기준점을 설정하였다. 경로는 앵커 노드 1 → 기준점 1 → 기준점 2 → 기준점 3 → 기준점 4 → 기준점 5 → 기준점 6의 순으로 진행하였으며, 각 기준점에서 30 초간 정지 후 다음 기준점으로 이동하였다. 센서 보드와 메인 보드는 그림 2 와 같이 장착하였으며 측정된 정보는 노트북에 로그파일로 저장하여 분석하였다. 센서 보드와 메인 보드의 제작은 (주)아센코리아에서 수



그림 2. 실험을 수행하는 사람이 센서 보드와 메인 보드를 장착한 모습
Fig. 2. Person performing the experiment with sensor board and main board

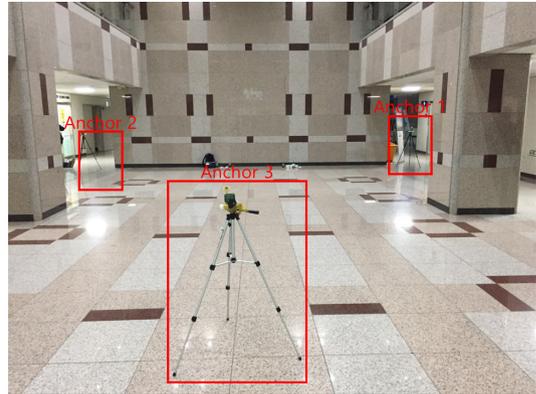


그림 3. 앵커 노드 배치도
Fig. 3. Anchor node placement map

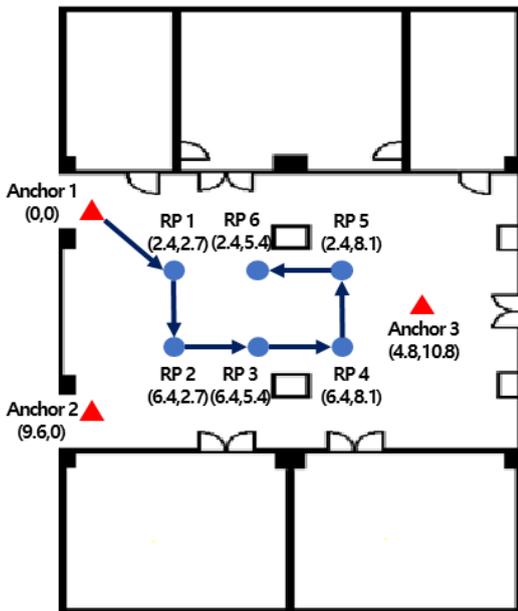


그림 1. 실험 환경 구성도
Fig. 1. Experiment configuration diagram

행하였으며, 소프트웨어는 System Workbench for STM32 환경에서 C언어를 기반으로 개발하였다. UWB 모듈은 decaWave의 TREK1000을 이용하였다. 앵커 노드의 배치도는 그림 3과 같다. 실험은 총 10회 실시하였다.

PDR 측정값의 특성상 작전병이 걷는 속도, 회전하는 각 등에 따라 측정치의 정확도의 차이가 크다. UWB 기반의 거리 측정값 또한 다중경로에 의해 정확도의 차이가 달라진다. 그림 4는 실험 1의 결과를 그림으로 나타낸 것이다. 표 1 과 그림 5 의 결과를 통해 실험 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8에서 PDR 측정값의 오차가 가장 크고 UWB 기반 측정값, 칼만 필터링 기반

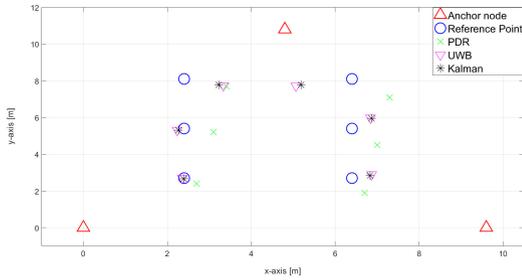


그림 4. 측위 결과 (첫 번째 실험)
Fig. 4. Localization result (first experiment)

표 1. 실험 별 평균 측위 오차
Table 1. Average localization error by experiment

Experiment	PDR	UWB	Kalman
1	0.918	0.643	0.584
2	1.513	0.258	0.257
3	2.245	0.406	0.396
4	2.220	0.289	0.283
5	2.165	0.663	0.631
6	2.365	0.394	0.415
7	2.370	0.876	0.831
8	1.623	0.544	0.511
9	1.997	0.477	0.418
10	2.308	0.339	0.340

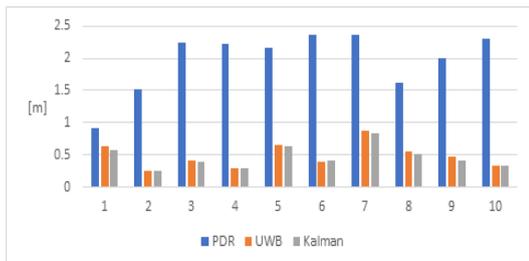


그림 5. 실험 별 평균 측위 오차 비교 그래프
Fig. 5. Graph of average localization error comparison by experiment

측정값의 순으로 오차가 큰 것을 확인할 수 있다. 반면 실험 6, 9, 10에서는 UWB 기반 측정값의 오차가 칼만 필터링 기반 보정값의 오차보다 작은 것을 확인할 수 있다. 이는 실험 6, 9, 10을 수행할 때 이동하는 보행자의 수가 상대적으로 적어서 다중경로에 의한 영향이 작아 UWB 측정값의 정확도가 상대적으로 높았기 때문이다. 표 2 와 그림 6 을 통해 각 기준점 별 오차를 확인할 수 있다. 모든 기준점에서 PDR 측정값의 오차보다 UWB 측정값과 칼만 필터링 기반 보정

표 2. 기준점 별 평균 측위 오차
Table 2. Average localization error by reference point

Reference point	PDR	UWB	Kalman
1	0.993	0.289	0.299
2	1.886	0.383	0.323
3	2.265	1.119	1.061
4	2.762	0.525	0.544
5	2.296	0.384	0.360
6	1.633	0.233	0.213

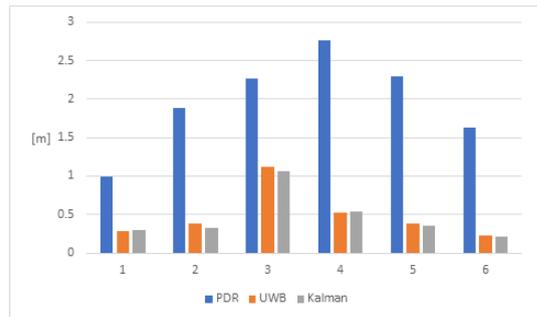


그림 6. 기준점 별 평균 측위 오차 비교 그래프
Fig. 6. Graph of average localization error comparison by reference point

값의 오차가 더 작은 것을 확인할 수 있다. 또한 PDR 측정값의 경우 기준점 4에서 가장 큰 오차를 가지는 반면 UWB 측정값과 칼만 필터링 기반 보정값은 기준점 3에서 가장 큰 오차를 가지는 것을 확인할 수 있다. 이는 실험을 수행한 환경에서 기준점 3의 다중경로에 의한 영향이 가장 크게 나타나기 때문이다. 기준점 1, 4에서는 UWB 기반 측정값의 오차가 칼만 필터링 기반 보정값의 오차보다 작은 것을 확인할 수 있다. 이는 기준점 1, 4에서의 평균적인 다중경로에 의한 영향이 작아 칼만 필터링 기반 보정값 보다 UWB 기반 측정값의 정확도가 더 높게 측정된 결과이다.

각 실험별 평균 오차와 각 기준점 별 평균 오차값 분석을 통해 PDR 측정값의 오차가 개선되었음을 확인할 수 있다. 또한 다중경로에 의한 영향이 작을 경우에는 UWB 기반 측정값의 정확도가 칼만 필터링 기반 보정값의 정확도 보다 높음을 확인하였다. 그러나 UWB 측정이 어려운 환경(다중경로의 영향이 큰 환경, 유동 인구가 많은 환경 등)에서는 UWB 기반 측정값을 얻을 수 없고, 따라서 PDR 측정값과 제안하는 알고리즘을 통한 위치 정보 추정이 필요하다.

IV. 결 론

도심지 군사작전을 수행하는데 있어서 군사작전을 수행하는 병의 위치를 실시간으로 추적하고, 이를 관제할 수 있는 시스템을 구축하는 것은 큰 과제이다. PDR 측정값을 이용하면 앵커 노드의 구축 없이 위치 추정이 가능하지만, 현재 수준의 PDR 기술은 이동거리가 늘어남에 따라 그 오차가 증가하는 특성이 있어 군사 작전에 적용하기에 부적합하다. 본 논문에서는 실내 환경에서 군사작전을 수행하는 병의 위치를 추적하는 융합(PDR, UWB) 측위 알고리즘을 설계하였고, 실험을 통해 그 성능을 평가하였다. 본 연구는 실험 시 실험을 수행하는 사람 외에 다른 사람들의 이동이 거의 없는 상황에서 수행되어 다변측량 값의 오차와 칼만 필터링 기반의 보정 값의 오차가 큰 차이를 보이지 않는다. 실제 도심지에서 군사작전을 수행하게 되면 다수의 사물, 다수의 행인 등에 의해 다중경로가 많이 발생할 것이고 이는 다변측량 값의 오차 증가를 유발할 것이다. 따라서 칼만 필터링 기반의 보정 알고리즘의 적용이 이루어지면 다변측량 값 보다 좋은 측위 성능을 얻을 수 있다. 또한 추정된 작전병의 위치를 기반으로 관제 센터에서는 다음 작전 수행지로의 이동, 다른 작전병과의 협동 작전 등 지시하고자하는 바를 작전병에게 보다 효율적으로 지시할 수 있다. 본 연구가 실내에서 군사 작전을 수행하는 병의 실시간 위치 추적을 통한 관제시스템 구축에 기여할 수 있을 것으로 보이며 향후에는 군사작전 상황에 보다 적합한 앵커 노드의 수를 최소화한 상황에서의 측위 기법, PDR 측정값의 오차 감소 방안, 단일 층이 아닌 다수의 층을 오가는 상황에서의 측위 기법 등, 실제 도심지 환경에서의 실험 등에 대한 연구가 추가적으로 필요하다.

References

- [1] H. Kim, E. Son, H. Lee, H. Kim, and K. Park "Accuracy analysis of kinematic sbas surveying," *J. Korea Soci. Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, vol. 26, no. 5, pp. 493-504, Oct. 2008.
- [2] F. L. Piccolo, "A new cooperative localization method for UDS cellular networks," in *Proc. IEEE Global Telecommun. Conf.*, New Orleans, LO, USA, Dec. 2008.
- [3] D. Yoo, W. Jo, W. Choi, S. Lee, and K. Chung "Hierarchical routing algorithm using GPS-free positioning system in wireless sensor networks," in *Proc. KICS Int. Conf. Commun.*, pp. 325-328, Jeju Island, Jul. 2006.
- [4] W. H. Chin, Z. Fan and R. Haines, "Emerging technologies and research challenges for 5G wireless networks," *IEEE Wireless Commun. Mag.*, vol. 21, no. 2, pp. 106-112, Apr. 2014.
- [5] Y. Kim, J. Park, H. Kwak, S. Park, C. Lee, and J. Lee, "Performance improvement of a pedestrian dead reckoning system using a low cost IMU," *J. Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 19, no. 6, pp. 569-575, Jun. 2013.
- [6] I. Skog, P. Handel, J. O. Nilsson, and J. Rantakokko, "Zero-Velocity detection—an algorithm evaluation," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 57, no. 11, pp. 2657-2666, Jul. 2010.
- [7] J. Borenstein and L. Ojeda, "Heuristic drift elimination for personnel tracking systems," *J. Navigation*, vol. 63, pp. 591-606, Sept., 2010.
- [8] A. R. Jim'enez, F. Seco, F. Zampella, J. C. Prieto, and J. Guevara, "Improved heuristic drift elimination with magnetically-aided dominant directions (MiHDE) for pedestrian navigation in complex building," *J. Location Based Serv.*, vol. 6, no. 3, pp. 186-210, May 2012.
- [9] S. Gezici, Z. Tian, G. B. Giannakis, H. Kobayashi, A. F. Molisch, H. V. Poor, and Z. Sahinoglu, "Localization via ultra-wideband radios: a look at positioning aspects for future sensor networks," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 22, no. 4, pp. 70-84, Jun. 2005.
- [10] G. Shen, R. Zetik, and R. S. Thoma, "Performance comparison of TOA and TDOA based location estimation algorithms in LOS environment," in *IEEE WPNC*, pp. 71-78, Hannover, Germany, Mar. 2008.
- [11] S. Haykin, *Adaptive filter theory*, 4th Ed., Prentice Hall, 2002.

서현덕 (Hyeondeog Seo)



2016년 8월 : 한양대학교 전자통신공학과 학사
2016년 9월~현재 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석사과정
<관심분야> Wireless Tracking System, Multi-sensor Tracking System, 5G Communication System

황국연 (Kukyeon Hwang)



1993년 2월 : 광운대학교 전산학과 졸업
2007년 12월~현재 : (주)아센코리아
<관심분야> 전자공학, 통신공학, LBS, C/PDR

김효원 (Hyowon Kim)



2015년 8월 : 한양대학교 전자통신공학과 학사
2015년 9월~현재 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석박통합과정
<관심분야> Wireless Positioning System, Cooperative Intelligent Transportation system, 5G Communication System

장용구 (Yonggu Jang)



1993년 2월 : 경성대학교 토목공학과 졸업
1995년 2월 : 부산대학교 토목공학과 석사
1999년 8월 : 부산대학교 토목공학과 박사
2004년 3월~현재 : 한국건설기술연구원
<관심분야> 전자공학, 통신공학, 공간정보공학

최만수 (Mansu Choi)



1992년 2월 : 인천대학교 전기공학과 졸업
2007년 12월~현재 : (주)아센코리아
<관심분야> 전자공학, 통신공학, ICT

김선우 (Sunwoo Kim)



1999년 : 한양대학교 전자전기공학부 학사
2002년 : 미국 University of California, Santa Barbara 전기공학과 석사
2005년 : 미국 University of California, Santa Barbara 전기공학과 박사
2005년 3월~2012년 8월 : 한양대학교 융합전자공학부 조교수
2012년 9월~현재 : 한양대학교 융합전자공학부 부교수
2017년 9월~현재 : 한양대학교 융합전자공학부 교수
<관심분야> Wireless Positioning System, GNSS System, 5G Communication System