무선 네트워크 기술을 이용한 RTLS 알고리즘의 성능 개선 및 구현에 관한 연구

論 文
11-1-1

A study on the improvement and implementation of RTLS algorithm using wireless network technology

김 철 우, 김 동 옥*
Cheal-Woo Kim and Dong-Ok Kim

Abstract

In this paper, we proposed a method of improving the location estimation error existing in RTLS (Real Time Location Service) system for the individual mobility. As ubiquitous age comes, interest for indoor location tracking system is getting more increased. However, existing indoor location tracking system does not correspond actively to frequent changes in indoor environment, and there is a problem that correct location measurement of moving object is difficult due to NLOS (non-line-of-sight) property of indoor environment. Purpose of this paper is to propose an environment accommodation location tracking system that improves the location precision of moving object and grasps location of the object effectively, which is essential an element effectively to provide service and satisfy various users' request.

Keywords : USN Gateway, Mesh Router, WPAN, ZigBee, IEEE802.11n

I. 서 론

최근 IT 기술의 급격한 발전으로 인해 LBS 인프라가 광범위하게 구축되고 있고, 디지털 장비가 일상생활에 보편화 되어감에 따라 이를 바탕으로 한 USN 시대가 도래하고 있다. 이러한 USN 시대에 다양한 고객의 요구를 만족하기 위해서는 객체의 인식과 위치 추적에 관련된 연구가 필요하다.

LBS 위치기반 서비스 제공을 위해 가장 중요한 기반 요소 기술 중의 하나인 RTLS 기술은 현재 여러 국가에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 초기 RTLS 서비스는 개인 위주의 서비스에서 점차 위치 측위 기술의 발달로 인한 서비스 고도화에 따라 교통, 환경, 의료 등 전반적인 고도화의 인프라 차원으로 발전하고 있다[1].

RTLS(Real Time Location System), 즉 '실시간 위치추적 시스템'은 많은 분야에 사용되는 추세다. 일반적으로 정확한 이동경로 및 위치추적이 필요한 고가 자산이나 경로 추적 정보 위치확인 등 실내·외 다양한 분야에서 사용되고 있어 최근 서비스 범위가 확대되고 있는 추세다[2].

위치추적 시스템은 다양한 센서 기능을 추가할 수 있으며, 습도, 빛 감지, 온도, 진동, 감지 등 변화 정보를 RTLS를 통해 관리할 수 있다. RTLS는 실시간 위치 추적 시스템으로 위치 추적 범위의 관점에서 가장 좁은 영역에 적용되는 기술이다[3]. 차별화된 응용 서비스를 제공하기 위해서 센서 네트워크상에 존재하는 각 센서노드들의 보다 정확한 위치인식이 요구되고 있다. 그러나 현재 위치 인식의 정확도는 많이 떨어지며, 이와 더불어 센서네트워크 정보를 활용하는 기반의 실

접수일자 : 2011년 12월 02일
심사일자 : 2012년 02월 10일
최종완료 : 2012년 03월 23일
*교신저자, E-mail : dokim@icpc.ac.kr

내 환경에 적합한 위치 인식 알고리즘이 필요한 실정이다.

본 논문에서 이러한 실시간위치추적 시스템의 연구개발을 위한 논문의 구성은 다음과 같다. 1장에서는 RTLS의 전반적인 기술에 대한 설명과 2장에서는 RTLS 시스템의 설계 및 필요사양에 대해 언급하고 3장에서는 시스템의 실질적인 구현에 대한 알고리즘 설계를 설명한다. 4장에서 실험 및 성능을 확인하기 위한 테스트베드 구성 및 실험데이터를 설명하고 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 계획에 대해 기술한다.

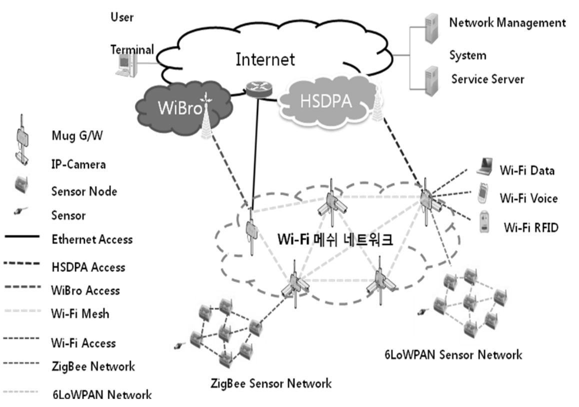


그림 1. 복합 센서 게이트웨이 개요

Fig. 1. The Concept of Multi-functional USN Gateway

II. RTLS USN 시스템 설계

1. RTLS 를 이용한 USN

그림 1은 제안한 RTLS를 이용한 LBS의 개념을 보여준다. LBS는 다양한 센서 네트워크 및 단말기들을 지원하기 위한 복합 USN 게이트웨이로 USN 게이트웨이 기능으로는 IP 기반의 센서네트워크(6LoWPAN)와 non-IP 기반의 센서 네트워크인 블루투스, 지그비 네트워크를 동시에 지원한다[4]. 현재 활용되는 센서네트워크는 대부분 non-IP 기반이며 USN을 통해 접속 및 제어가 가능했다[4]. 센서 노드까지의 관리 및 제어를 종단간 가능하게 하기 위해 IP 기반의 USN에 대한 연구들이 진행되고 있으며 IETF의 ROLL WG이나 6LoWPAN WG, IPSO Alliance [5] 등에서 신호연동 및 표준 같은 이슈들을 다루어 왔다. IP 기반의 USN와 non-IP 기반의 USN은 시나리오에 따라 공존하여 서비스가 가능할 것으로 예상된다[6].

USN 게이트웨이는 그림 1과 같이 IEEE802.11n 기반의 WLAN를 구성하여 넓은 지역을 커버하는 USN 시나리오에 적합하도록 구상하였다. 유・무선 네트워크 시스템 구성에 있어서 무선연결은 3G망 인터페이스를 지원하며 유선은 100/1000 base-T 인터넷을 지원한다. USN은 IEEE 802.11 a/b/g 호환의 WLAN을 지원하여 인터넷 접속 서비스를 제공할 수 있도록 한다[7]. IPv6 스택을 지원하며 SNMP 기반의 관리시스템을 통해 USN의 센서 노드를 포함한 센서 네트워크 관리를 지원하도록 한다.

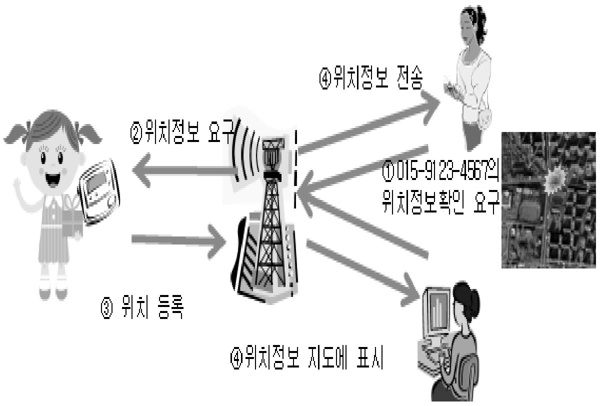


그림 2. RTLS USN 구성도

Fig. 2. RTLS USN Architecture

2. 양방향 통신 동기화

일정한 간격을 두고 떨어진 AP간의 시간 동기화가 중요하다. AP A는 일정한 간격의 시간 사용을 요구하게 되는데 먼저 A가 B에게 거리 요구사항의 메시지를 보내면서 시작된다. A가 요구 메시지의 절대적인 결정 시간을 계산하는 동안 B가 함께 동기화되지 않으면, 요구 메시지의 출발 시간을 알 수가 없어서 t_p를 계산할 수 없다. 따라서 B가 기다리는 시간 t_{rB} 는 A가 B에게 메시지를 전송하고 B가 A에게 응답 메시지를 회신하게 된다. A는 round-trip time인 $t_{\partial A} = 2t_p + t_B$와 t_p를 추출하여 자신의 시간으로 동기화에 사용한다. 그림 3의 t_p의 값은 AP A와 B의 전송과 송신 시간으로 계산된다.

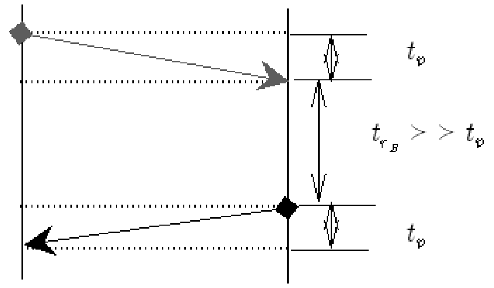


그림 3. 양방향 통신 메시지 교환
Fig. 3. Exchange Message Form Two way Communication

A와 B의 메시지 교환을 수식 (1)로 표현하면 다음과 같다.

$$2t_p = \underbrace{(\tau_{BR} - \tau_{AT})}_{t_p} + \underbrace{(\tau_{AR} - \tau_{BT})}_{t_p}$$

$$= (\tau_{AR} - \tau_{AT}) + (\tau_{BR} - \tau_{BT}) \cdots\cdots (1)$$

BR, AR은 수신을 뜻하며, BT, AT는 송신을 뜻한다. 전파가 전송되는 시간 t_p는 수신한 시간과 송신한 시간차를 구하게 된다. 양방향으로 메시지를 전달하게 됨으로 전파 시간은 2배가 된다. 두 A, B 사이의 허용오차를 적용한 값의 수식을 이용하여 t_{pv}로 명시하면 수식 (2)와 같다.

$$2t_{pv} = \underbrace{(\tau_{AR} - \tau_{AT})}_{t_p} \times (1 + e_A) + \underbrace{(\tau_{BR} - \tau_{BT})}_{t_p} + (1 + e_B)$$

$$\cdots\cdots (2)$$

여기서 e_A와 e_B는 각 장비의 백만분의 1 허용오차를 표시한다.

수식을 $\tau_{AR} - \tau_{AT} = 2t_p + t_{rB}$와 $\tau_{BR} - \tau_{BT} = -t_{rB}$로 수식을 정리하면 수식 (3)과 같다.

$$t_{pv} - t_p = \frac{1}{2}(t_{rB} \times e_A - t_{rB} \times e_B + 2t_p \times e \cdots\cdots (3)$$

여기서 r_B는 B가A 에 메시지를 송신하고 A가 메시지를 수신시 A,B 사이의 패킷 교환시간이 포함되어있다. 패킷전송 시간은 ms로 주어지고 $t_{pv} - t_p \gg t_p$로 수식을 계산하면 다음과 같다.

$$t_{pv} - t_p \approx \frac{1}{2} \times t_{rB} \times (e_A - e_B) \cdots\cdots (4)$$

수식 (4)는 전파시간을 양방향으로 가정하여 단방향 시간의 오차를 적용한 L값을 구하게 된다.

송·수신과 동일한 과정으로 두 가지 전파 시간은 $t_{\partial A} = 2t_p + t_{rB}$과 $t_{\partial B} = 2t_p + t_{rA}$가 되며 두 수식을 계산하면 수식 (5)와 같다.

$$4t_p = t_{\partial A} - t_{rA} + t_{\partial B} - t_{rB} \cdots\cdots (5)$$

수식 (5)에 장비 B와 A의 허용오차 e_B와 e_A를 적용하면 다음과 같다.

$$4t_{pv} = (t_{\partial A} - t_{rA}) \times (1 + e_A)$$
$$+ (t_{\partial B} - t_{rB}) \times (1 + e_B) \cdots\cdots (6)$$

예를 들어 B와 A가 네트워크상에 존재하고 B에서 A까지의 거리가 얼마인지 계산하기 위해서 B에서 $RFRAME$ 패킷을 만들어 A에 전송한다. 그림 4에서 보여주는 것처럼, B는 $RFRAME$ 패킷의 전송이 시작되는 순간의 시간인 T_{s_rframe}을 저장해두고, A에서는 $RFRAME$ 패킷을 받는 순간의 시간인 T_{r_rframe} 시간을 저장하게 된다.

IEEE 802.15.4a 에서는 $RFRAME$ 패킷을 받게 되면 응답으로 ACK 패킷을 전송해야 한다. 이때, 그림 4처럼 B는 ACK를 전송하는 순간 T_{s_ack} 시간을 따로 저장하고, A는 해당 ACK를 받는 순간 시간인 T_{r_ack}를 별도로 저장해둔다.

A와 B는 통신을 마친 후, B는 자신이 측정한 T_{r_rframe} 시간과 T_{s_ack} 시간을 일반 데이터 통신을 통해 A에게 알려준다. 결국 A는 수식 (5)에서 구한 4가지 시간을 모두 파악할 수 있다. 그리고 A와 B사이의 거리를 구하기 위해서는 그림 4와 같이 t_p는 A와 B에 전달되는 4가지 시간으로 측정이 가능하다.

따라서 t_p 시간은 다음 수식 (7)을 통해 계산할 수 있다.

$$t_p = (T_{r_ack} - T_{s_rframe})$$
$$-(T_{s_ack} - T_{r_rframe})/2 \cdots\cdots (7)$$

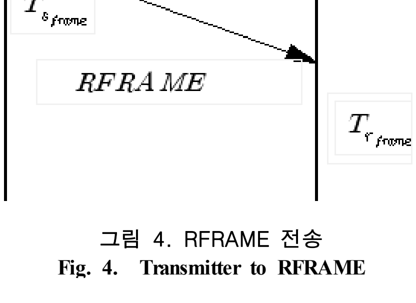


그림 4. RFRAME 전송
Fig. 4. Transmitter to RFRAME

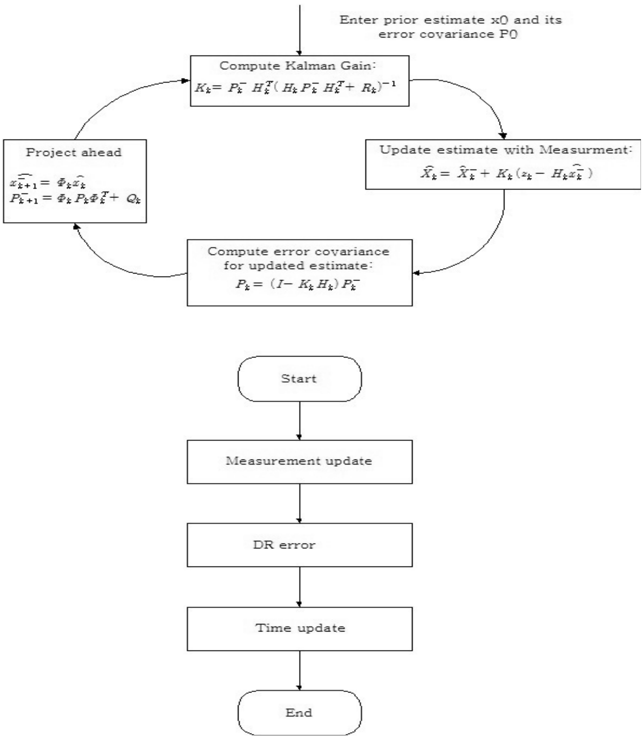


그림 6. 칼만 루프 필터
Fig. 6. kalman Loop filter

수식 (7)의 허용오차가 거리 추정값에 미치는 영향이 매우 작으므로 무시할 수 있다.

여기서 계산된 T_p에 전파 속도를 곱하게 되면 노드 A와 B사이의 거리를 구할 수 있다.

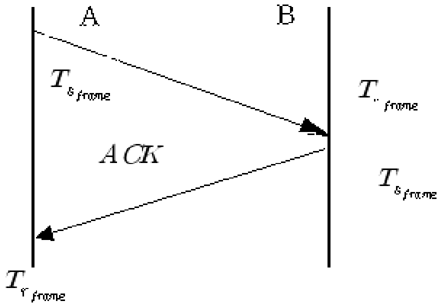


그림 5. RFRAME Ack 전송
Fig. 5. Transmitter to RFRAME Ack

III. 제안된 알고리즘 설계

1. 솔리드스테이트 항법 알고리즘

솔리드스테이트 항법시스템 통합을 위한 칼만 필터를 유도하기 위해 솔리드스테이트형 필터를 설계하고 상태 방정수식과 측정방정수식을 구해야 한다. body frame 가속도에 대한 상태방정수식과 측정방정수식의 수식을 구하기 위해서 UD Factorization 알고리즘을 사용한 유도수식은 수식 (8)과 같다.

$P = UDU^T$ (단, P는 공분산, U는 상향삼각행렬, D 는 대각행렬)로 P 행렬을 U와 D로 분해하면 다음과 같다.

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{12} & P_{22} & P_{23} \\ P_{13} & P_{23} & P_{33} \end{bmatrix} \cdots\cdots(8)$$

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & 0 & 0 \\ 0 & d_{22} & 0 \\ 0 & 0 & d_{33} \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} 1 & u_{12} & u_{13} \\ 0 & 1 & u_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

D와 U라고 가정하면 수식 (9)를 구할 수 있다.

$$d_{33} = P_{33,}\ u_{23} = \frac{P_{23}}{d_{33}} \text{ or } \frac{P_{23}}{P_{33}}\ , \cdots\cdots(9)$$

따라서 측정값 update는 다음과 같이 할 수 있다.

$$P_k^{\ +} = P_k^{\ -} - P_k^{\ -} H^T \left(HP_k^{\ -} H^T + R\right)^{-1} HP_k^{\ -}$$

$$= U_k^{\ -} D_k^{\ -} U_k^{\ -T} - U_k^{\ -} D_k^{\ -} U_k^{\ -T} H^T$$

$$\left(HU_k^{\ -} D_k^{\ -} U_k^{\ -T} H^T + R\right)^{-1} HU_k^{\ -} D_k^{\ -} U_k^{\ -T}$$

$$= U_k^{\ -} \left[D_k^{\ -} - D_k^{\ -} V\left(R + V^T D_k^{\ -} V\right) V^T D_K^{\ -}\right] U_k^{\ -T}$$

$$\left(where\ V = U_k^{\ -T} H^T\right)$$

$$= \left(U_k^{\ -} \widetilde{U}\right) \widetilde{D} \left(U_k^{\ -} \widetilde{U}\right)^T$$

$$\left(where\ D^- - \frac{D^- V V^T D^-}{R + V^T D^- V} = \widetilde{U}\widetilde{D}\widetilde{U^T}\right)$$

$$\therefore U^+ = U_k^{\ -} \widetilde{U} \qquad \therefore D^+ = \widetilde{D} \cdots\cdots(10)$$

수식 (10)에서 시간 update는 다음 수식 (11)과 같이 구할 수 있다.

$$P_{k+1}^{\ \ -} = \Phi P_k^{\ +} \Phi^T + GQG^T$$

$$= \left(\Phi U_k^{\ +}\right) D_k^{\ +} \left(\Phi^T U_k^{\ +}\right)^T + GU_Q D_Q U_Q^{\ T} G^T$$

$$= Y_k \widetilde{D_k}^{\ +} Y_k^{\ T}$$

$$\widetilde{D}_k \equiv \begin{bmatrix} D_k^{\ +} & 0 \\ 0 & D_Q \end{bmatrix}$$

$$Y \equiv \left[\Phi U_k^{\ +} MGU_Q\right] \cdots\cdots(11)$$

실제로 설계시보다 행렬 계산을 하게 되면 계산량이 오히려 많아지게 되므로, 측정치 update를 할 때에는 각각의 측정치 값이 서로 독립이므로 스칼라 측정치 update방법을 사용하며, 시간 update할 때는 weighted modified Gram-Schmidt algorithm을 사용하게 된다. 그리고 스칼라 측정치 update는 다음과 같이 된다.

$a_0 = R$ 라 놓고,

$$f = U_h^{-} H_k^{T}$$

$$v_j = D_{h,jj}^{-} f_j \qquad j = 1,2,\ldots\ldots,n(n : state \text{ 개수})$$

$$k = 1,\ldots\ldots,n \quad \ldots\ldots (12)$$

$$a_k = a_{k-1} + f_{h,k} v_{h,k}$$

$$D_{h,kk}^{+} = D_{h,kk}^{-} a_{k-1} / a_k$$

$$b_k \leftarrow v_k$$

$$P_k = -f_{h,k} / a_{k-1}$$

$$U_{h,jk}^{+} = U_{h,jk}^{-} + b_j P_k$$

$$b_j \leftarrow b_j + U_{h,jk}^{-} v_k \qquad i = 1,\ldots,k-1 \ldots\ldots (13)$$

여기서 측정치 update는 수식 (14)와 같이 구할 수 있다.

$$K_h = b / a_n$$

$$\hat{x}_h^{+} = \hat{x}_h^{-} + K_h \left[z_h - \hat{z}_h \right] \ldots\ldots (14)$$

물론 이러한 스칼라 측정치 update를 각각의 측정치 개수만큼 해주어야 한다. 시간 propagation은 weighted modified Gram-Schmidt 방법을 사용하고 우선 모델링 오차 공분산행렬 Q를 다음과 같이 분할하게 되면 수식 (15)와 같다.

$$Q = Q_u Q_d Q_u \ldots\ldots (15)$$

수식 (15)에서 행렬을 정의를 하며, 수식 (16)과 같이 정의할 수 있다.

$$Y_{h+1}^{-} \equiv \left[\Phi(h+1,h) U_h^{+} \mid Q_u \right]$$

$$\tilde{D}_{h+1}^{-} \equiv \begin{bmatrix} D_h^{+} & 0 \\ 0 & Q_d \end{bmatrix}$$

$$\ldots\ldots (16)$$

수식 (16)을 이용하여 WMGS algorithm을 수행하면 수식 (17)과 같다.

$$\left[a_1 \mid a_2 \mid \Lambda \mid a_n \right] = (Y_{h+1}^{-})^T$$

$$k = n, n-1, \ldots, 1$$

$$c_k = \widetilde{D_{h+1}}^{-} a_k$$

$$D_{h+1}^{-}{}_{,kk} = a_k^{T} c_k$$

$$d_k = c_k / D_{h+1}^{-}{}_{,kk}$$

$$U_{h+1}^{-}{}_{,jk} = a_j^{T} d_k$$

$$a_j \leftarrow a_j - U_{h+1}^{-}{}_{,jk} a_k$$

$$j = 1,2,\ldots\ldots,k-1 \ldots\ldots (17)$$

수식 (14)를 수식 (17) 상태변수에 대한 시간 update를 하면 수식 (18)과 같이 구할 수 있다.

$$x_{h+1}^{-} = \Phi(h+1,h) x_h^{+} \ldots\ldots (18)$$

여기서 칼만 필터 튜닝은 시스템 상태 방정수식과 측정 방정수식을 이용하여 수식 (19)와 같이 구한다.

$$E\left[w_k w_i^T \right] = \begin{cases} Q_k, & i = k \\ 0, & i \neq k \end{cases}$$

$$E\left[v_k v_i^T \right] = \begin{cases} R_k, & i = k \\ 0, & i \neq k \end{cases}$$

$$E\left[w_k v_i^T \right] = 0, \qquad \text{for } all\ k \text{ and } i \ldots\ldots (19)$$

가관측한 시스템을 구현하기 위해 본 알고리즘에서는 항법오차 모델의 상태변수를 적절히 조합하여 시스템의 차수를 줄이면서 가관측성을 갖는 수식을 구하면 수식 (20)과 같다.

$$\delta \dot{v}_N = 2\Omega_D \delta v_E + g\psi_E + \delta a_N$$
$$\delta \dot{v}_E = -2\Omega_D \delta v_N - g\psi_N + \delta a_E$$
$$\delta \dot{v}_D = -2\Omega_N \delta v_E + \delta a_D$$
$$\ldots\ldots (20)$$
$$\dot{\psi}_N = \Omega_D \psi_E + \delta w_N$$
$$\dot{\psi}_E = -\Omega_D \psi_N + \Omega_N \psi_D + \delta w_E$$
$$\dot{\psi}_D = -\Omega_N \psi_E + \delta w_D$$

여기서

$$\theta_E \equiv \psi_E + \frac{\delta_{aN}}{g}$$

$$\theta_N \equiv \psi_N - \frac{\delta a_E}{g} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(21)$$

$$\theta_D \equiv \psi_D + \frac{\delta \mathrm{w}_E}{\Omega_N} + \frac{\delta a_E}{g}\tan\lambda$$

이고 수식 (20)를 수식 (21)에 대입, 정리하면

$$\delta \dot{\mathrm{v}}_N = 2\Omega_D \delta \mathrm{v}_E + g\theta_E$$
$$\delta \dot{\mathrm{v}}_E = -2\Omega_D \delta \mathrm{v}_N + 2\Omega_N \delta \mathrm{v}_D + g\theta_N$$
$$\delta \dot{\mathrm{v}}_D = -2\Omega_N \delta \mathrm{v}_E + \delta a_D$$
$$\dot{\theta}_N = \Omega_D \theta_E + \delta \mathrm{w}_N + \frac{1}{g}\Omega_D \delta a_N$$
$$\dot{\theta}_E = \Omega_N \theta_N - \Omega_D \theta_D$$
$$\dot{\theta}_D = -\Omega_N \theta_E + \Omega_N \frac{\delta a_N}{g} \delta \mathrm{w}_D$$

$$\delta \widetilde{\mathrm{w}_N} \equiv \delta \mathrm{w}_N + \frac{1}{g}\Omega_D \delta a_N \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(22)$$
$$\delta \widetilde{\mathrm{w}_D} \equiv \delta \mathrm{w}_D + \frac{\delta a_N}{g}\Omega_N$$

수식 (21)과 수식 (22)에서 상수상태변수를 정리하면 수식 (23)과 같다.

$$\delta \dot{a}_D = 0$$
$$\delta \dot{\widetilde{\mathrm{w}_N}} = 0$$
$$\delta \dot{\widetilde{\mathrm{w}_D}} = 0$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(23)$$

수식 (22)를 (23)에 적용하여 상태방정수식을 구하면 상태변수 벡터는 다음과 같은 수식 (24)을 유도할 수 있다.

$$x(t) = \left[\delta \mathrm{v}_N \ \delta \mathrm{v}_E \ \delta \mathrm{v}_D \ \theta_N \ \theta_E \ \theta_D \ \delta a_D \ \delta \widetilde{\mathrm{w}_N} \ \delta \widetilde{\mathrm{w}_D}\right]^T$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(24)$$

여기서 상태방정수식은 수식 (25)와 같다.

$$\dot{x}(t) = A\,x(t) + \mathrm{w}(t), \quad \mathrm{w}(t) \sim N(0,Q) ..(25)$$

여기서 행렬 A는 측정방정수식의 수식 (26), (27)과 같이 구할 수 있다.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 2\Omega_D & 0 & 0 & g & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -2\Omega_D & 0 & 2\Omega_N & -g & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2\Omega_N & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ & & & 0 & \Omega_D & 0 & 0 & 1 & 0 \\ & O_{3\times3} & & -\Omega_D & 0 & \Omega_N & 0 & 0 & 0 \\ & & & 0 & -\Omega_N & 0 & 0 & 0 & 1 \\ & O_{3\times3} & & & O_{3\times3} & & & O_{3\times3} & \end{bmatrix}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(26)$$

$$z_k = Hx_k + \mathrm{v}_k, \quad \mathrm{v} \sim N(0,\ R)$$
$$H = \left[I_{3\times3} \quad O_{3\times6}\right] \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(27)$$

IV 실험 및 측정 결과

1. 하드웨어 구성

일체형 RTLS시스템은 센서부, MCU부, GPS수신기로 구성된다. 시스템 구성은 그림 7과 같으며, 일체형 RTLS 시스템은 가속도센서와 자이로센서를 사용하는 비접촉 방식과 차속센서와 자이로센서를 사용하는 접촉 방식을 모두 사용 가능하도록 일체형으로 설계 하였다. 그리고 GPS와 일체형시스템의 관성센서는 가속도센서와 자이로센서 모듈을 적용하였다.

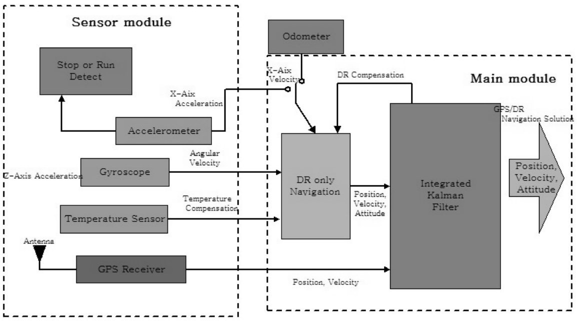


그림 7. RTLS시스템 구성도
Fig. 7. RTLS System Architecture

통합시스템의 알고리즘 개발을 위해 먼저 개발프로그램을 PC상에서 시뮬레이션할 수 있도록 후처리용 일체형 RTLS 시스템을 그림 8과 같이 개발하였다. 각 센서들은 각속도와 가속도 정보를 아날로그 신호로 출력하며, MCU로는 32bit AD 컨버터와 USART를 가지고 있는 PIC64C732을 사용하여 MCU내의 AD 컨버터가 센서로부터 받은 아날로그 신호를 디지털 변환한다. GPS 수신기로부터는 NMEA 포맷으로 데이터가 출력된다. 이 데이터를 MCU의 USART를 통해 받은 후

MCU내부에서 필요한 정보를 수집한 후 디지털신호로 변환된 센서 정보와 같이 항법연산에 필요한 정보를 PC에 보낸다.

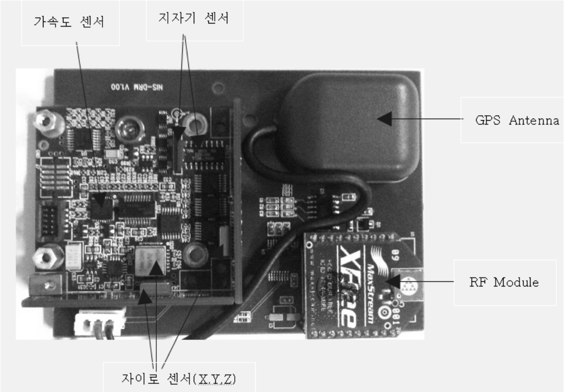


그림 8. RTLS 시스템 설계보드
Fig. 8. RTLS System Design B,D

그림 8은 일체형 RTLS 시스템의 내부 구조도를 나타내었다, 경로 궤적 단말기로서 GPS와 각종 센서로부터 데이터를 수신하여 프로세서에서 처리하도록 하였고, 지자계, 자이로, 가속도 센서를 이용하여 복합 센서 모듈로서 측정 데이터를 수집할 수 있도록 설계하였다.

2. 시험평가결과

1) 측정조건

위치 및 방위각시험 결과 GPS/DR 통합 칼만필터의 성능을 확인하기 위하여 실내•외에서 이동시험을 수차례 수행하였으며, 일체형 TRLS 위치추적 시스템 평가 실험은 경기광주 대학건물과 도심지역의 경기도 성남에 위치한 공단 아파트형 공장에서 실험하였다. 아파트형 공장 건물은 지하 2층 및 지상 8층에 골조 시멘트 공장지대로 이루진 지역이고, 실험은 잡음이 없는 지역과 잡음이 많이 존재하는 일상 현장을 구분하여 실험하였다. 잡음이 없는 환경으로는 장애물이 거의 존재하지 않는 건물의 지하주차장과, 장애물로 벽 및 건설장비 등이 존재하는 공장형 시상 6층 선정하였다.

2) 실험 방법

실험을 위한 장비는 기본적으로 일체형 RTLS 모듈, Engine, Base Station, Reader, Tag로 구성되며, 그림 9와 같은 모습으로 설치하였다.

실험을 실시하기 위해서는 서버기능을 수행하는 모니터링 시스템을 사무실내에 설치하고, 전원 및 유선LAN을 이용하여 Base Station을 설치하였다. 또한 각각 기둥의 모서리 부분에 리더를 설치하였다. 음영지역이 발생하지 않도록 하기 위해 리더를 설치하여 음영지역을 없도록 하였다, 마지막으로 시스템 튜닝 및 필터기능을 세팅하여 실험 환경구축을 하였다.

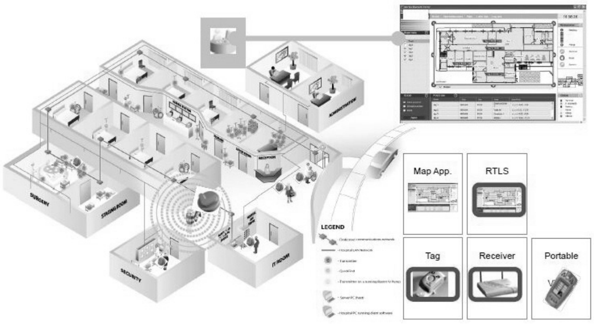


그림 9. 성능 실험을 위한 시스템 구성
Fig. 9. System specification for test.

실험은 태그를 이동에 따른 위치를 측정하도록 하였다. 이렇게 측정된 데이터로 단말의 위치는 2D로 화면상에서 표시가 가능하며, 각 단말의 좌표 또한 확인할 수 있게 된다. 그러나 각 단말이 특정 위치나 환경에서 정확한 위치좌표 값을 도출하지 못하는 경우가 발생하는데 이는 collision 현상으로 인하여 오차가 발생하기 때문이다. 이와 같은 경우 오차율을 확인하는 실험을 진행하기 위해 원점으로부터 각 단말기의 직선거리를 측정하여 실제 위치를 도출하여 RTLS 시스템을 통해 얻은 각 단말기의 좌표를 분석하여 오차율을 도출하였다.

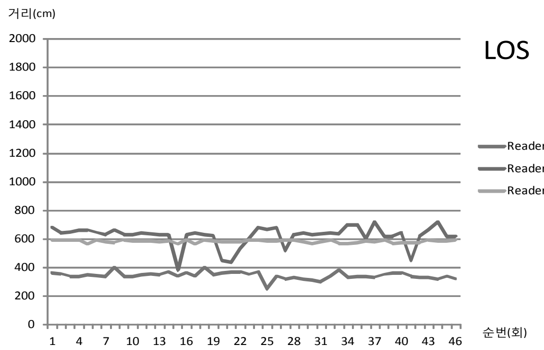
3) 실험 결과

그림 10의 a는 외부 잡음이 없는 환경인 지하주차장에서 실험한 결과로 세 개의 리더와 태그 사이의 거리 값을 나타내고 있다. 각각의 리더를 살펴보면 리더 1과 리더 3은 비교적 일정한 거리 값을 나타내고 있으며, 리더 2는 리더 1과 3에 비하여 약 2m 정도의 오차를 나타내고 있다. 장애물이 없는 환경은 전파 전송이 원활하게 일어나기 때문에 태그의 위치 값에 대한 오차율이 비교적 적게 발생하고 있음을 확인할 수 있다.

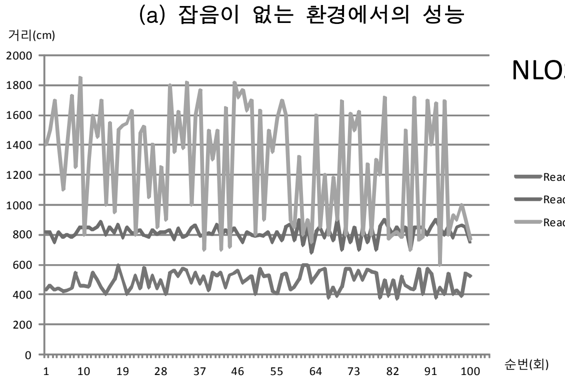
그림 10의 b.는 이동환경에서 결과를 보여주고 있는데, 우선 각각의 리더와 태그의 거리 값을 살펴보면, 리더 2와 3은 거리 값이 지속적으로 변하나 1-2m의 비교적 작은 오차 범위 안에서 움직이고 있음을 확인할 수 있다. 그러나 리더 1의 경우

결과 값을 살펴보면, 4-7m정도로 큰 오차 범위를 나타내고 있으며, 이는 태그와 리더사이에 콘크리트 및 철로 이루어진 장애물이 존재한 결과이다. 그 결과 전파의 반사나 회절, 굴절 등의 현상으로 오차율이 크게 발생하고 있다.

실외 GPS의 오차는 건물이 많거나 기타 간섭 요인으로 GPS 위성의 수신 개수가 5개 이하 일 때 상대적으로 오차가 커서 10m 내외의 위치 오



(a) 잡음이 없는 환경에서의 성능



(b) 이동환경에서의 성능

그림 10. 성능비교분석

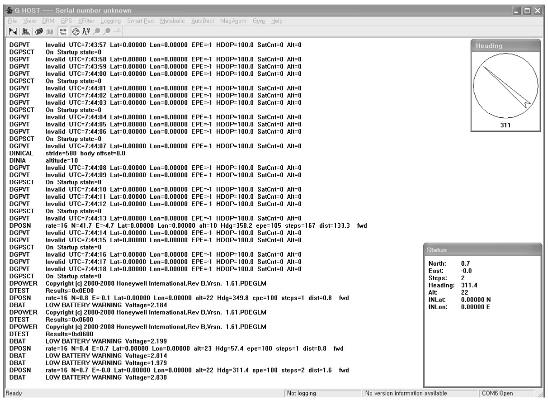
Fig. 10. Peformance comparison among precoding schemes

차를 나타내고 수신가능 위성의 갯수가 많을시 5m 이내의 위치 오차를 나타냄. 따라서 무선 통신은 전반적으로 양호함을 확인하였다.

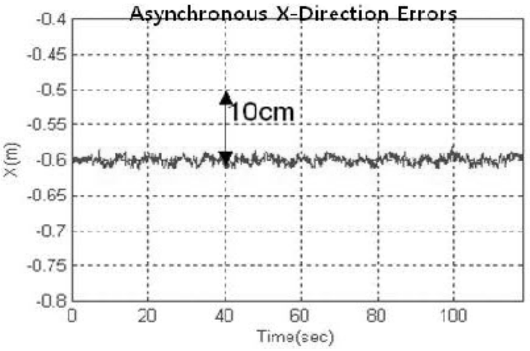
그림 11은 RTLS 시스템에 수신된 경로별 데이터 결과 값을 나타내고 있다.

임계치를 기준으로 솔리드스테이트 데이터의 정지 판단을 한 후 이를 GPS 데이터와 비교하여 보았다. 비교 데이터는 HDOP를 기준으로 신뢰성 있는 GPS 데이터를 추출하여 사용하였으며 GPS의 경우는 속도가 0일 경우 정지 상태이고 솔리드스테이트 데이터의 경우는 가속도계 x, z 자이로 모두 임계치 이하일 경우 정지 상태로 판단하였다.

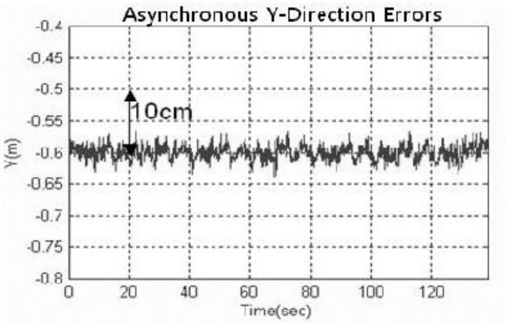
GPS 데이터를 기준으로 GPS가 0일 때 솔리드



(a) 측정 로그데이터



(b) Asyschronous X-Direction Errors



(c) Asyschronous Y-Direction Errors

그림 11. 이동성 환경의 변화에 따름 최대 오차

Fig. 11. Maximum errors based on mobility changes in the environment

스테이트 이동 상태이면 에러로 판별하였다. 데이터의 신뢰도를 높이기 위해 GPS 데이터가 5sec 연속으로 0이 나올 때만 정지로 판단하고 솔리드스테이트 정지 상태에서 5sec 연속으로 이동할 때 이동으로 판단하였다. 임계치는 앞에서 구한 값의 1배, 2배, 3배로 설정하였고 임계치에 따른 에러 개수와 에러율 정지 판단결과 임계치의 설정한 값의 1배일 경우 많은 오차가 포함되었으며 2배인 경우부터 오차가 많이 줄어들고 있다는 것을 알 수 있다.

V. 결론 및 향 후 연구 방향

현재도 센서 네트워크는 재난, 재해 모니터링, U-City 서비스 등의 다양한 응용으로 활용되고 있으나 기존의 RF를 기반으로 하는 위치인식 알고리즘들은 몇 가지 문제점들을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 가지고 있는 기존의 위치인식 알고리즘의 성능 개선하기 위한 방법을 제안하고, 새로운 알고리즘의 성능을 비교 평가하기 위해 시뮬레이션 모듈을 작성하고 그 가능성을 확인하기 위해 테스트베드를 구축하여 성능을 측정하였다.

향후 기타 항법 시스템과 적절히 결합한다면 군경 긴급 작전 지역, 소방대원의 화재진압 지역, 토목현장, 건설 현장 등 공사 지역에도 유용하게 적용 가능하며, 개인휴대형 항법 시스템에 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 연구는 중소기업기술혁신개발 과제 “융합형 솔리드스테이트 센서를 이용한 실내측위용 텔레매틱스 단말장치 개발 과제” 지원에 의한 결과임.

[참 고 문 헌]

[1] ZigBee Alliance, “실내 기반 위치 추적 시스템을 위한 데이터베이스 활용방안 연구 v11,” May 24, 2006

[2] IPv6 over Low power WPAN (6LoWPAN) "http://datatracker.ietf.org/wg/6lowpan/charter"

[3] I. F. Akyildiz, X. Wang, and W. Wang, "Wireless mesh networks: a survey," *Elsevier Journal of Computer Networks* vol. 47, no. 4, pp. 445 – 487

[4] Routing Over Low power and Lossy networks (roll) "http://datatracker.ietf.org/wg/roll/charter"

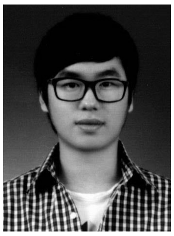
[5] IPSO Alliance, "http://www.ipso-alliance.org

[6] D. Harrington, R. Presuhn, and B. Wijnen, "An Architecture for Describing Simple Network Management Protocol (SNMP) Management Frameworks," IETF RFC 3411, 2002.

[7] P. Jacquet and T. Clausen, "Optimized link state routing protocol (OLSR)", IETF RFC 3626, Oct. 2003

[8] S. Haykin, Adaptive Filter Theory 4th Edition, Prentice Hall, 2003

Biography



김 철 우

2007~2011년 한서대학교
항공 전자공학과
2011년~현재 네오정보시스템(주)
<관심분야>광대역정보통신망, UWB기술차세대이동통신시스템, RTLS, USN, 센서 네트워크 망관리, 미들웨어
<e-mail> cwkim @paran.com

김 동 옥

1988년 서울산업대학교 전자공학과 졸업
1992년 광운대학교 전자통신공학과 (공학석사)
1999년 항공대학교 정보통신공학과 (공학박사)
1992년 ~ 1995년 대영전자공업(주)
1995년 ~ 2003년 서울이동통신 (주)
2003년 ~ 현재 한국정보통신기능대학 이동통신과 교수
<관심분야> UWB기술, 차세대이동통신시스템, RTLS USN,
<e-mail> dokim@icpc.ac.kr