

IEEE 802.15.4a와 센서를 이용한 실시간 실내위치인식 시스템

조현종¹ · 황광일² · 노덕수³ · 서동환[†]

(원고접수일 : 2012년 7월 19일, 원고수정일 : 2012년 8월 30일, 심사완료일 : 2012년 9월 7일)

Real time indoor positioning system using IEEE 802.15.4a and sensors

Hyun-Jong Cho¹ · Kwang-il Hwang² · Duck-Soo Noh³ · Dong-Hoan Seo[†]

요약 : 고정노드 2개를 사용하는 이변측위 방법은 건물이나 선박의 복도와 같은 좁은 공간에서 실시간 실내위치인식 시스템 분야에 사용되고 있다. 하지만 이러한 공간에서 고정노드 간 거리가 멀어지거나 장애물이 있을 경우 위치정보 수신율 저하로 인하여 이동노드(사용자)의 위치 추정이 어렵게 된다. 본 논문에서는 이와 같은 문제를 보완하기 위하여 IEEE 802.15.4a Chirp 신호를 기반으로 사용자에게 부착된 센서를 통하여 위치를 계산할 수 있는 보폭 측정 알고리즘을 이용하는 새로운 실시간 실내위치인식 시스템을 제안한다. 제안한 시스템은 다리길이 측정을 위한 초음파센서, 사용자의 방향을 인식하는 지자기 센서 및 다리사이 각을 획득하기 위한 관성센서로 구성된다. 실험 결과 제안한 시스템은 통신도달성이 결여된 구간에서 기존 실내위치인식 방법에 비해 2배 이상 정교한 결과를 나타내었다.

주제어 : USN, CSS, 관성센서, 실내위치인식

Abstract: Bilateralation using two fixed nodes has been used in the field of the real time indoor location system in the narrow space such as building or ship passage. However, as the distance between the fixed nodes increases or any obstructions exist in their zone, it is difficult to detect the location of mobile node(user) due to the degradation of its reception ratio. In order to compensate for these problems, this paper presents, based on IEEE 802.15.4a chirp signal, a new real time indoor location system using stride measurement algorithm which can calculate the location through sensors attached to user. The proposed system consists of an ultrasonic sensor to measure the leg length, a geomagnetic sensor to recognize the user's orientation, and an inertial sensor to obtain the angle between the legs. The experimental results are shown that the proposed system has twice or more accurate output compared with conventional indoor location method in the section which is partially out of communication reachability.

Key words: USN, CSS, Inertial, Indoor positioning system

1. 서 론

최근 반도체의 소형화 및 무선 통신 기술의 발전으로 사용자에게 장소와 환경에 구애받지 않고 원하는 정보와 서비스를 제공할 수 있는 유비쿼터스 컴퓨팅(Ubiquitous Computing)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 사용자의 편의성 및

안정성 향상을 위한 무선위치인식 기술은 내비게이션, 홈오토메이션, 주차관리, 물류관리, 전시관안내 및 미아 방지 등 여러 분야에서 적용되고 있다[1]. 현재 위성신호와 삼변측량법을 이용하는 GPS(Global Positioning System)는 실시간으로 이동하는 물체의 위치를 파악할 수 있으므로 위치 추적 서비스를 요

† 교신저자(한국해양대학교 전기전자공학부, E-mail: dhseo@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4412)

1 한국해양대학교 전기전자공학과 대학원, E-mail: chj0321a@naver.com, Tel: 051-410-4822

2 한국해양대학교 기계·에너지시스템공학부, E-mail: hwangki@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4368

3 경일대학교 전자공학과, E-mail: dsnoh@kiu.ac.kr, Tel: 053-850-7163

구하는 분야에서 많이 활용되고 있다. 하지만 위성 신호 수신에 어려운 실내에서는 그 활용도가 떨어진다. 그에 따라 실내 환경에 적합한 위치인식을 위하여 UWB(Ultra Wide Band), Zigbee, RFID(Radio Frequency Identification), Cricket 등과 같은 무선 통신 시스템에 관한 연구가 활발히 진행 중이다[2-4].

김 외[5]는 IEEE 802.15.4a의 Chirp 신호와 SDS-TWR(Symmetric Double-sided Two-way Ranging) 방식에 오류방지 알고리즘을 적용하여 기존의 실내 위치인식 기술로 사용되고 있는 Zigbee-RSSI(Received Signal Strength Indication)의 위치 오차를 줄였다. 하지만 장애물이 존재하지 않는 가로 6m 세로 3m의 환경에서만 실험이 진행되어 여러 환경적 장애로 인한 오차보정에는 신뢰할 수 없다는 단점을 가진다.

김 외[6]는 기존 크리켓 실내위치인식 방법에 관성 센서를 사용하여 크리켓의 수를 줄이는 경제적인 실내 위치인식 기법을 제안하였고, 실험 결과 가로 2.4m 세로 2.4m 높이 2.7m의 환경에서 오차를 줄였다. 하지만 실제 크리켓의 수를 줄이는 실험은 가상 시뮬레이션을 통해 진행되어 실제 환경에 적용하였을 경우 여러 환경변수에 대한 결과를 예측하기 어렵다.

박 외[7]는 기존 관성항법 시스템에서 발생하는 오차를 비전 시스템을 통해 촬영된 랜드마크의 형태 및 모양을 이용하여 보상하였다. 그 결과 오차를 어느 정도 보상할 수 있으나 대형 크루즈선이나 건물 등 개인의 사생활이 보장되어야 하는 공간에서 비전을 사용할 경우 사생활 침해 우려가 존재한다.

본 논문에서는 기존의 IEEE 802.15.4a Chirp 신호와 SDS-TWR기반의 위치 추정 방식을 근거로 하여 고정노드간 배치 간격이 멀어지거나 수신 장치의 장애 및 고장으로 인한 통신도달성 결여 구간에서 위치오차를 개선하기 위하여 사용자의 걸음걸이 즉 보폭 분석 알고리즘을 적용하여 효율적인 실시간 실내위치인식 방법을 제안한다. 제안한 새로운 실내 위치인식 방법에서 보폭분석은 지자기 센서를 이용하여 사용자의 초기 방향 대비 현재 자신의 방향을 인식하고, 관성센서를 통해 지면의 법선과 사용자가 보행 시 다리사이에 형성되는 최대 및 최소 각(이하 대퇴 각)을 이용하여 이동거리를 추정 하

였다. 제안한 알고리즘 및 하드웨어 시스템을 통신 장애가 발생하는 복도 환경에서 기존의 이변측량법, 삼변측량법을 이용하는 위치 추정 결과와 비교 분석하여 그 성능을 입증하였다.

2. 위치 인식을 위한 관련이론

2.1 SDS-TWR

Figure 1의 SDS-TWR 거리측정 기술은 TWR 기술을 확장한 기술로써 TWR을 두 번 반복해서 거리 측정의 정확도를 높인 기술이다. 먼저 Device A에서 패킷의 전송이 시작 되는 시간을 기록하고 Device B에서는 패킷이 도착한 시간을 저장한다. Device B는 t_{replyB} 만큼의 시간을 기다리고, 다시 Device A에게 Ranging Message를 보낸다. 여기에서 t_{replyB} 는 t_p 보다 더 길게 설정 한다. 마지막으로 Device B는 자신이 측정한 시간을 Device A에게 모두 전송한다. 여기서 시간은

$$t_p = \frac{(T_{roundA} - t_{replyA}) + (T_{roundB} - t_{replyB})}{4} \quad (1)$$

과 같이 표현 될 수 있다.

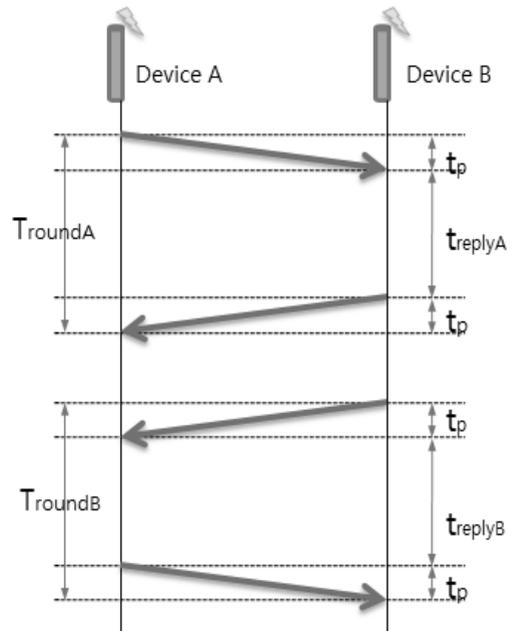


Figure 1: SDS-TWR

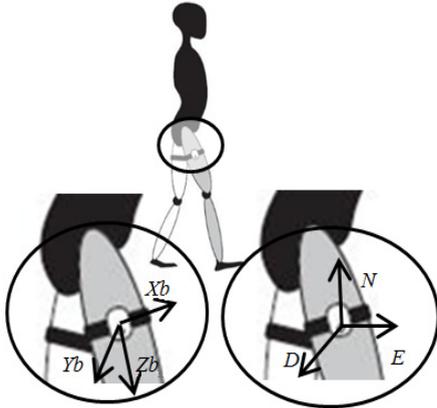


Figure 2: Body and Navigation coordinate

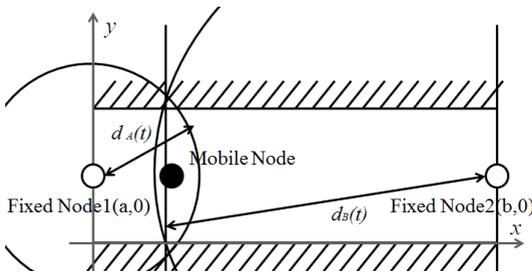


Figure 3: Bilateralation (Top view)

2.2 좌표계 정의 및 기존의 이변측위 방식

Figure 2는 동체 좌표계와 항법 좌표계를 나타내고, 여기서 동체 좌표계는 X_b, Y_b, Z_b 축을 사용하며 항체의 질량 중심을 원점으로 한다. X_b 축은 항체의 기수 방향이며, Y_b 축은 X_b 축에 대해 항체의 우측 수평방향, Z_b 축은 수직 아래방향으로 향하도록 정의한다. 항법 좌표계(navigation frame)는 N, E, D 축을 사용하고 항체의 중심을 원점으로 하며 세 축이 북(N), 동(E), 수직 아래(D)쪽으로 일치되는 지역수평 좌표계이다. D 축은 지구 타원체에 수직이며 N 축과 E 축은 D 축과 수직을 이루는 평면으로 구성된다[8].

일반적으로 건물 및 선박 복도의 폭은 수 미터 내외임에 따라 복도 환경에서 위치를 측정할 경우 고정노드 2개를 이용하여 y 값을 무시하고 x 값을 이용하여 이동 노드의 위치를 추정할 수 있다.

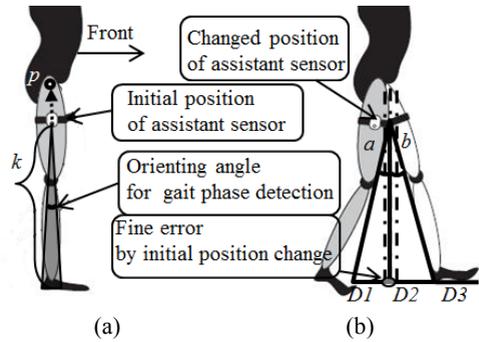


Figure 4: General walking motion of people

Figure 3에서 이동노드의 위치는

$$\begin{aligned} (X-a)^2 + Y^2 &= d_A(t)^2 \\ (X-b)^2 + Y^2 &= d_B(t)^2 \end{aligned} \tag{2}$$

로 표현되며 여기서

X, Y : 원의 방정식 변수
 $d_A(t)$: 고정노드1과 이동노드사이 측정거리
 $d_B(t)$: 고정노드2와 이동노드사이 측정거리
 이다.

3. 제안한 위치인식 알고리즘

3.1 센서를 이용한 보폭(걸음길이) 측정

정밀한 다리 길이와 대퇴 각의 최대 및 최소값을 측정하기 위한 초음파 및 관성센서(이하 보조센서)는 Figure 4의 위치에 부착하였다. Figure 4(a)는 보조센서의 초기화 과정에서 초음파 센서를 이용하여 개인마다 서로 다른 다리 길이 k 값을 획득하는 과정을 나타낸다. 사용자 대퇴각의 최대 및 최소값 측정을 위한 AHRS(Attitude Heading Reference System)는 오일러 각 방식을 이용하여 롤(roll, ϕ), 피치(pitch, θ) 및 요(yaw, ψ) 각을 출력한다. 시간에 따른 각축의 가속도와 오일러각의 관계는[9]

$$\begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + C_3^b(\phi) \begin{bmatrix} 0 \\ \theta \\ 0 \end{bmatrix} + C_3^b(\phi) C_2^3(\theta) \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \psi \end{bmatrix}, \tag{3}$$

와 같이 표현되고, 여기서

$$C_3^b = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\psi & \sin\psi \\ 0 & -\sin\psi & \cos\psi \end{bmatrix}, \tag{4a}$$

$$C_2^3 = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix}, \quad (4b)$$

$$C_n^2 = \begin{bmatrix} \cos\phi & \sin\phi & 0 \\ -\sin\phi & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (4c)$$

이다. 또한 식 (4)를 식 (3)에 대입하여 전개하면 오일러 각의 변화량을 각속도로 표현하는 식 (5)가 된다.

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \sin\phi \tan\theta & \sin\phi \sec\theta \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi \sec\theta & \cos\phi \sec\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix}. \quad (5)$$

이를 요와 피치로 나타내면,

$$\theta = \omega_y \cos\phi - \omega_z \sin\phi, \quad (6)$$

$$\psi = \omega_y \sin\phi \sec\theta + \omega_z \cos\phi \sec\theta, \quad (7)$$

와 같다. 식 (6)에 의해 획득한 요각은 보조센서 초기화 과정에서 사용자의 초기 방향 설정을 위해 사용되고, **Figure 4(b)**에 표시된 a , b 는 보행이 시작된 후 식 (7)을 이용하여 얻어진 지면의 법선과 다리와 이루는 대퇴 각을 나타낸다. 이때 보조센서의 부착된 높이에 따라 **Figure 4(b)**와 같이 미세한 위치오차가 발생하게 되며, 이는 차후 PCB Artwork를 통해 프로토타입의 크기를 축소하고, 보조센서 부착 위치를 **Figure 4(a)**의 p 지점으로 이동하여 초기 위치 변화로 인한 문제를 해결할 것이다. 초기화 과정에서 측정된 k 와 보행과정에서 획득된 대퇴 각을 통하여 얻은 보폭(stride)은

$$Stride = D1 + D2 + D3, \quad (8)$$

로 표현되고 여기서

$$D1 = k \times \cos(a)$$

$$D2 = k \times \cos(b), \quad (9)$$

$$D3 = foot\ length$$

이다. 제안한 보폭 측정 알고리즘은 개인마다 서로 다른 키, 걸음걸이 정보를 센서로부터 획득하여 그에 따른 이동거리 오차를 방지할 수 있다. 본 논문

에서 제안한 알고리즘의 순서도는 **Figure 5**에 나타난 바와 같이 먼저 각 고정노드로부터 거리 값이 수신되고, 이와 동시에 초음파 센서를 이용하여 사용자의 다리 길이를 측정 한 후 AHRS의 요각을 이용하여 초기 사용자의 방향 설정과 **Figure 4(a)**의 보행 주기 검출을 위한 기준 각을 획득한 후 초기화 과정이 완료된다.

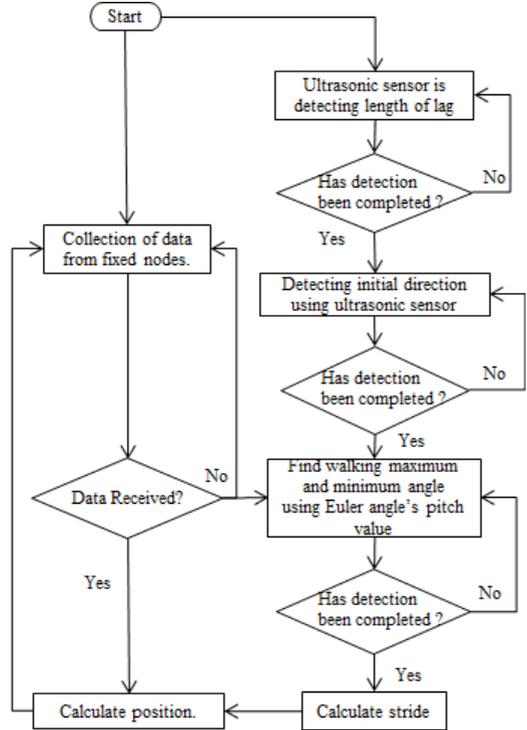


Figure 5: The schematic diagram of algorithm

보행이 시작되면 고정노드로부터 수신된 데이터를 기반으로 이동노드의 위치를 추정하고, 통신도달성이 결여된 구간에서는 AHRS의 피치 각을 이용하여 한 주기 동안 대퇴 각의 최대 및 최소값을 검출한 후 보폭을 계산하고 계산된 보폭과 방향을 기반으로 위치를 추정한다. 제안한 기법의 하드웨어 시스템 구성도는 **Figure 6**과 같이 Calculate and view, Assistance sensor와 Wireless Range 부분으로 나타낼 수 있다. Wireless Ranging 부분에서 한백전자의 ubiLoc 위치인식 kit를 사용하여 고정노드로부터 이

동노드와의 거리 값을 CSS방식으로 수신 후 그 거리 값을 RS-232 직렬통신을 통해 PC로 전송한다. PC에서는 수신된 거리 값을 기반으로 이동노드의 위치를 추정하며, 이때 전력부족 및 장애물 등의 이유로 수신을 저하가 발생하게 되면 AHRS에 의해 측정된 보행의 한 주기 동안 다리의 최대 및 최소 각을 기반으로 사용자의 이동거리를 추정한다. **Figure 6**의 Assistance sensor 부분은 3축 자이로스코프, 3축 가속도센서, 3축 지자기 센서, 32bit MCU(Micro Controller Unit) 구성인 EBIMU-9DOF_V11을 이용하여 사용자의 방향 및 대퇴 각을 측정하고, 최대 측정거리 2m의 초음파 거리센서 모듈 HDUS-007를 이용하여 개인의 다리길이를 측정하였다. MCU는 16MHz Clock의 atmega128모듈을 사용하여 센서의 출력 값을 처리 및 연산 하였으며, MCU와 PC간 통신을 위해 9600bps의 전송속도를 갖는 myBluetoothEx 모듈을 사용하였다. Calculate and view 부분에서 CPU 1.6GHz, RAM 4GB, WindowXP 32bit OS의 PC 를 이용하여 위치를 인식 및 표현하였다.

4. 실험 및 고찰

거리에 따른 수신을 및 보조센서의 신뢰도 분석을 위해 **Figure 7**과 같은 환경에서 기존의 CSS 방식을 이용해 실험한 결과 노드가 이동할 경우에는 약 25%이내의 급격한 수신을 저하 문제가 발생되었으며, 9m 이내에서는 약 60%, 9m 초과 구간에서는 약 40%의 수신율을 확인하였다. **Figure 7**의 환경에서 **Figure 8**과 같이 보조센서를 착용하여 실험을 진행하였으며, CSS 방식과 보조센서를 이용한 방식의 이동거리별 오차를 **Figure 9**에 나타내고 있다. 실험결과 CSS 방식을 이용할 경우 15m 지점에서 거리 오차가 3.5m 이상 급격하게 증가한 것을 확인했으며, 이에 반해 제안한 알고리즘을 적용하였을 경우 장애물의 유무에 관계없이 0.4m 이하의 오차를 나타냈다. 이는 전파도달시간을 이용하여 거리를 측정하는 SDS-TWR 방식의 단점으로 15m 지점에 화장실 입구 및 철 사물함이 존재하여 전파의 굴절, 회절 및 반사 등으로 도달시간이 길어져 발생하는 오차이다. 위 사실을 확인하기 위해 화장

실 입구 및 철 사물함이 존재하지 않는 환경에서 재 실험한 결과 오차거리 1.53m로 **Figure 9**의 다른

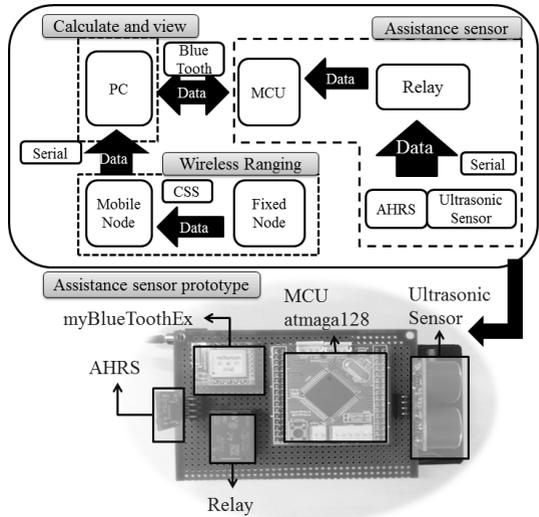


Figure 6: System Architecture and Prototype

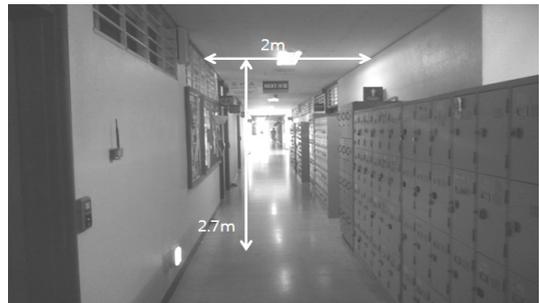


Figure 7: Experimental condition(Line-of-Sight)



Figure 8: Position of sensor attached

구간과 비슷한 결과를 확인했다. 또한 기존의 위치 인식 방법 및 새롭게 제안한 알고리즘의 성능 분석을 위해 **Figure 7**의 환경에서 노드간격 12m로 하고 사용자가 일정속력으로 이동하고 있다는 경우에 거리별 오차를 측정하였다. 사용자 속도 측정을 위해서는 별도의 측정기가 필요하나, 본 실험에서는 정해진 시간동안 이동한 거리 값을 이용하여 속도를 계산하였다. **Figure 10**에서 x축의 실제 거리는 사용자가 속도 1.067m/s로 일정하게 이동하고 있는 상황에서 3초당 1회 이동거리를 측정해 3.2m의 간격 얻었으며, 노드간 거리를 12m로 하여 실험한 결과 기존의 이변측위와 삼변측위의 거리 오차는 고정노드의 개수와 무관하게 1.5 ~ 2.5m로 나타났다. 한편 제안한 알고리즘을 사용한 결과 장애물 및 이동시 수신이 원활하게 이루어 지지 않는 CSS 통신의 단점을 보완하여 거리 오차범위 0.5 ~ 1.3m로 기존의 방법에 비해 0.5m 이상 거리 오차가 줄어든 것을 확인 하였다. **Figure 11**은 기존의 이변측위와 제안한 알고리즘의 위치 표현 정밀도 분석을 위해 **Figure 7**의 복도환경에서 노드간 거리를 30m로 하여, 사용자가 ①번 고정노드에서 ②번 고정노드로 3회 진행한 결과를 동그라미, 세모, 네모로 표시하였다. 철 사물함과 통로 등 여러 전파 방해요소로 인하여 기존 이변측위의 경우 사용자의 위치를 정밀하게 얻지 못했지만, 보조센서를 추가한 경우 전

과 방해요소에 의해 수신이 되지 않는 9m 초과 구간과 25m 초과 구간에서도 마지막 수신블랑 위치를 기반으로 이동시 사용자의 위치를 세밀하게 표현하였다.

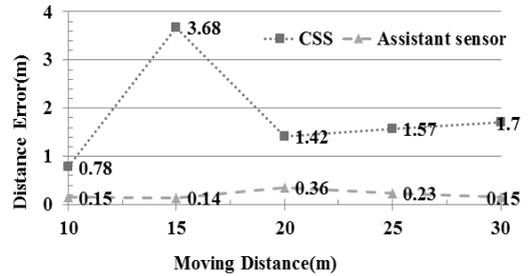


Figure 9: Distance Error of CSS and assistant sensor

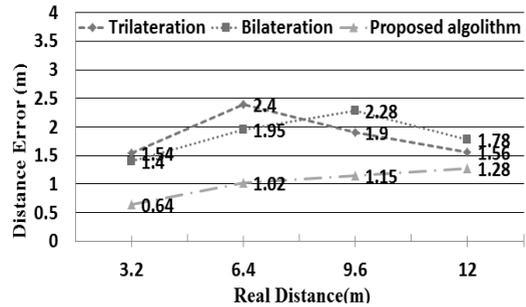


Figure 10: Distance Error of each algorithm

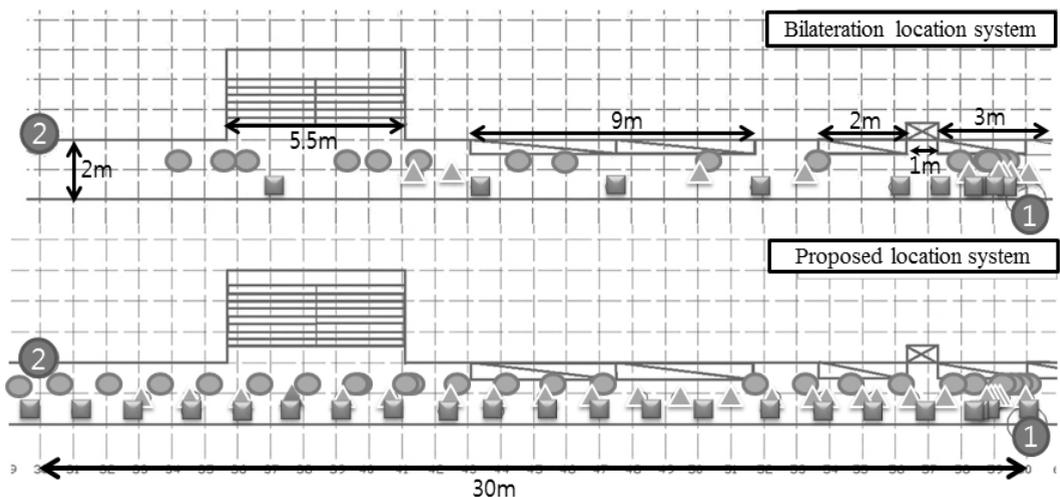


Figure 11: Bilateralation and proposed location system

4. 결 론

본 논문에서는 이변측위와 새롭게 제안한 위치 인식 방법을 이용하여 거리 데이터 송수신 불량 구간에서 위치 추정 장애를 개선할 수 있는 알고리즘을 제안 하였다. 제안한 알고리즘의 유효성을 입증하기 위해 폭 2m, 높이 2.7m, 길이 12m의 복도 환경에 적용하였을 경우 기존의 위치인식 방법에 비해 적게는 0.5m 많게는 1.5m의 오차 개선을 확인하였고, 전파 방해요소에 의해 수신이 되지 않더라도 마지막 수신불량 위치를 기반으로 사용자의 위치를 인식하였다. 향후 본 논문에서 제안한 방법을 건물 화재 시 방화셔터나 선박 침수 시 수밀문으로 인한 통로 폐쇄 구간에 적용할 경우 피난자의 대피성능을 크게 향상 시킬 것으로 기대 된다.

후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20110029766)."

참고문헌

- [1] Y.-K. Park, "A high-precision indoor localization technique using ultrasonic and/or IEEE 802.15.4a based bilateration", M.S. Dissertation, Department of Daegu University, Daegu, 2009.
- [2] M.-K. Oh, M.-J. Kim, and J.-Y. Kim, "Low data-rate location awareness UWB technology for ubiquitous home" ETRI Journal, vol. 21, no. 5, pp. 30-39, 2006.
- [3] K.-Y. Lee, "A study on accuracy enhancement of indoor local positioning system based on Zigbee", The Journal of Korean Institute of Information Technology, vol. 8, no. 5, pp. 85-91, 2010.
- [4] N. S. Kim, H. J. Kang, and K. H. Lee, "A study on the location estimation for ubiquitous environment", Proceedings of the 2006 KIIT Summer Conference, pp. 255-259, 2006.

- [5] J.-S. Kim, J.-U. Yang, and S.-H. Yang, "A study on the location awareness system using TOA (time of arrival) of CSS (chirp spread spectrum) algorithm", The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, vol. 7, no. 2, pp. 13-25, 2008.
- [6] B.-K. Kim, W.-V. Park, Y.-W. Ko et al., "Indoor positioning system using inertial sensor and cricket", The journal of Korean Institute of Information Technology, vol. 9, no. 5, pp. 17-24, 2011.
- [7] S.-K. Park and Y.-S. Suh, "Pedestrian navigation system using inertial sensors and vision", Trans. KIEE, vol. 59, No. 11, 2010
- [8] J.-H. Boo, "Motion tracking system using inertial sensors", M.S. Dissertation, Department of Ulsan University, Ulsan, 2011.
- [9] H. Hong, J. G. Lee, C. G. Park et al., "A leveling algorithm for an underwater vehicle using extended Kalman filter", Proceeding of the IEEE 1998 Position Location and Navigation Symposium, Palm Springs, California, U.S.A., pp. 280-285, 1998.