

논문 2011-2-32

UWB 기반 위치인식 정확도 향상 기법

Accuracy Improvement Scheme for Location Awareness based on UWB system

최영훈*, 배정남*, 김진영*

Young-Hoon Choi, Jung-Nam Bae, Jin-Young Kim

요 약 근래에 위치 정보를 이용하는 위치기반서비스는 많은 분야에서 이용되고 있다. 그에 따라 위치인식 기법들에 대해 많은 연구가 이루어지고 있다. 다양한 위치인식 시스템 중 TOA(Time of Arrival)이나 TDOA(Time Difference of Arrival)와 같은 시간 기반 위치인식 알고리즘을 사용하는 위치인식 시스템에서는 AWGN(Additive White Gaussian Noise)와 다중경로에 의한 왜곡이 위치인식 성능의 저하를 발생시킨다. 본 논문에서는 이런 성능 저하를 극복하기 위해서 여러 개의 펄스를 평균하는 방법으로 잡음을 제거한다. 그리고 임계값 설정을 통해 직선 경로 신호를 검출함으로써 위치인식 성능을 향상시키는 기법에 대해 연구하였다.

Abstract In recent years, LBS(Location Based Service) is applied in many different fields. Therefore, various location-aware schemes have been studied. In the location awareness system using time dependent algorithm, TOA(Time of Arrival) or TDOA(Time Difference of Arrival) algorithm, distortion of a signal by AWGN(Additive White Gaussian Noise) and multi-path effects cause the degradation of location awareness performance. In this paper, the unexpected noise is eliminated by averaging multiple pulses in order to overcome the degradation of performance. Also, we research the technique for improving the performance of the location awareness by detecting direct-path signal with adjusting threshold.

Key Words : Location awareness, UWB, TDOA, Detection of direct-path signal

I. 서 론

위치 정보를 이용하여 사용자에게 다양한 서비스를 제공하는 위치기반서비스는 그 필요성과 시장이 점점 확대되고 있다. 군사적 목적으로 처음 출발한 위치기반서비스는 교통, 치안 등 많은 분야에서 활용되고 있다. 특히, 2004년 이후 GPS(Global Position System) 단말기를 중심으로 위치기반서비스의 상업화가 급진전되었다. 그와 함께 위치 정보를 획득하기 위한 방법에 대한 연구도 많이 진행되었다^[1-3].

전자 태그 등을 이용한 근거리 무선 네트워크에서의 위치인식기법, 주변 기지국이나 위치인식 서버와 단말기를 이용한 이동통신망 기반 위치인식기법, 그리고 GPS 수신기 등을 이용한 GNSS(Global Navigation Satellite System) 기반 위치인식기법 등의 다양한 위치 인식 기법이 존재한다. 그 중 차량에서 많이 이용되는 GPS 단말기를 이용한 위치 인식 방법은 네트워크나 통신망을 이용하는 방법에 비하여 그 정확도가 높다. 반면에 건물이 밀집된 지역이나 실내와 같은 음영지역에서 수신율이 매우 저하되는 단점이 존재한다. 따라서 음영지역에서 위치 정보를 획득해야할 경우 다른 기법을 이용해야 할 필요성이 있다.

위치인식 기법 중 UWB(Ultra Wideband)를 이용할

*준회원, 광운대학교 전파공학과
접수일자: 2010.8.23, 수정일자: 2011.3.1
게재확정일자: 2011.4.15

경우 매우 좁은 폭을 갖는 펄스를 신호로 사용하기 때문에 높은 위치해상도를 갖는다. 또한, 잡음 수준의 낮은 송신 전력을 사용하기 때문에 기존 통신 시스템에 간섭이나 영향이 적다.

UWB 신호를 이용할 경우 Multi-path 환경에서는 Direct-path 신호가 가장 큰 값을 갖지 않을 수 있다. 이때, 상관도 측정으로는 Multi-path 신호가 검출될 가능성이 높다. 그렇기 때문에 위치인식을 수행하기 위해서는 가장 먼저 도착한 Direct-path 신호를 검출하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 TDOA 알고리즘을 이용한 UWB 실내 위치인식 시스템에서 Direct-path 신호를 검출하여 그 정확성을 높이는 방법에 대해 분석하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 II장에서는 위치인식시스템에 대해 소개하고, 제 III장에서는 위치인식기법과 Direct-path 신호를 검출하는 방법에 대해 설명한다. 제 IV장에서는 모의실험을 통해 성능을 분석한다. 마지막으로 제 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

본 논문에서 가정하는 위치인식시스템은 TDOA 알고리즘을 사용하며, 아래 그림 1과 같이 한 개의 MS(Mobile Station)와 3개의 BS(Base Station), 그리고 BS 3개와 연결된 메인PC로 구성된다. 이 메인PC와 연결된 3개의 BS는 동기화가 이루어져있다고 가정한다.

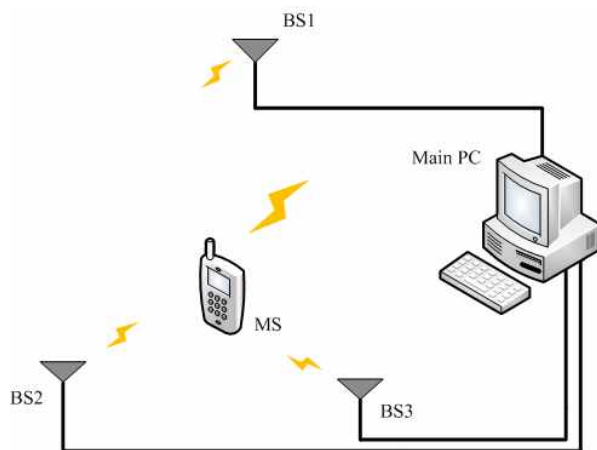


그림 1. 위치인식시스템
Fig. 1. Localization system

이 시스템에서 MS로부터의 송신 신호를 표현하면 아래와 같다.

$$S_{TX}(t) = \sum_{k=0}^{N-1} p(t - k \cdot T_{symbol}), \quad (1)$$

여기서 T_{symbol} 은 심벌 지속시간을 의미한다. 하나의 심벌 시간마다 펄스 하나씩 송신하며, 심벌의 총 개수는 N개이다. 이 때, 수신된 신호는 다음과 같다.

$$S_{RX}(t) = S_{TX}(t) * h(t) + n(t), \quad (2)$$

여기서 $S_{TX}(t)$ 는 송신 신호를 의미하고 $h(t)$ 는 채널의 임펄스응답이다. 그리고 $n(t)$ 는 AWGN(Additive White Gaussian Noise)을 의미한다. 수식에서 표현된 것과 같이 송신된 신호는 채널을 통과 후 가우시안 잡음과 더해진다. 이 때 채널의 임펄스응답은 아래와 같이 표현된다.

$$h(t) = \sum_{i=1}^L \alpha_i(t) \delta(t - \tau_i), \quad (3)$$

위 식(3)과 같이 채널은 각 경로에 따라 다른 크기(α_i)와 다른 딜레이(τ_i)를 갖는다. 이 채널을 통과하여 각 BS에 수신된 신호는 Cross-correlation 과정을 통해 시간차를 도출한다.

$$\Delta t_{ij} = t_i - t_j = \underset{\tau}{\operatorname{argmax}} \int_{-T/2}^{T/2} S_{RX_j}(t) S_{RX_i}(t + \tau) dt, \quad (4)$$

이 때, t_i 와 t_j 는 고정 노드 i 와 j 에서의 절대적인 TOA 값이고 K 는 고정 노드의 개수이며, 조건 $1 \leq i < j \leq K$ 를 만족한다. 위 수식에서 도출된 TDOA 값은 빛의 속도인 c 를 곱함으로써 거리로 바꿀 수 있다.

직교좌표계에서 이동 노드의 좌표를 (x, y) , 고정 노드 i 의 좌표를 (x_i, y_i) 라고 할 때, 고정 노드 i 와 이동 노드간의 유클리드 거리(Euclidean distance)를 나타내면 다음과 같다.

$$d_i = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}. \quad (5)$$

거리차이를 정리하면 아래의 식으로 정리된다.

$$\begin{aligned} \Delta d_{ij} &= c \cdot \Delta t_{ij} \\ &= \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} - \sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

비선형 최소자승법(Nonlinear least square)을 이용하여 Ranging 오차의 합을 나타내면 아래와 같다.

$$F(x,y) = \sum_{i=1}^{K-1} \sum_{j=i+1}^K f_{ij}^2(x,y) \quad (7)$$

$$f_{ij}(x,y) = c \cdot \Delta t_{ij} - \Delta d_{ij}. \quad (8)$$

식 (8)의 최소값을 구하면, 비선형 최소자승법을 이용한 위치 추정 함수 값을 얻을 수 있다.

$$\hat{r} = \underset{x,y}{\operatorname{argmin}} F(x,y), \quad (9)$$

여기서 \hat{r} 는 $F(x,y)$ 를 최소로 하는 값이며 이동 노드의 위치 좌표가 된다^[4].

III. 신뢰성 향상 기법

BS(Base Station)에 수신된 신호는 다중경로와 AWGN 채널에 의해 감쇄되고 왜곡된다. 그러므로 TDOA 알고리즘을 수행할 때 계산과정에서 오류가 발생한다. 그리고 그 오류는 곧 위치 오차로 이어진다.

오차와 오류를 줄이기 위한 방법으로 먼저, 심벌 지속 시간인 T_{symbol} 을 200nS로 충분히 크게 설정함으로써 ISI(Inter Symbol Interference)를 제거할 수 있다. 또 다른 오차의 원인인 AWGN의 제거 방법으로 다음의 방법을 이용한다.

AWGN의 전력값은 0의 평균값을 갖는다. 그러므로 송신단에서 충분한 수의 펄스를 송신하고 수신단에서 받은 펄스들의 평균값을 취한다면, 잡음의 영향을 없앨 수

있다. 그 결과를 수식으로 표현하면 아래와 같다^[5].

$$\begin{aligned} S_{RX \text{ average}}(t) &= \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (S_{TX}(t) * h(t) + n(t)) \quad (10) \\ &= \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} p(t) * h(t + k \cdot T_{symbol}), \end{aligned}$$

이 때, $S_{RX \text{ average}}(t)$ 는 식(2)에 표현된 수신신호 N개를 평균한 함수이다. 위 식(4)에서 보이는 것과 같이 AWGN을 나타내는 $n(t)$ 는 평균을 취하는 과정에서 그 영향을 없앨 수 있다^[6].

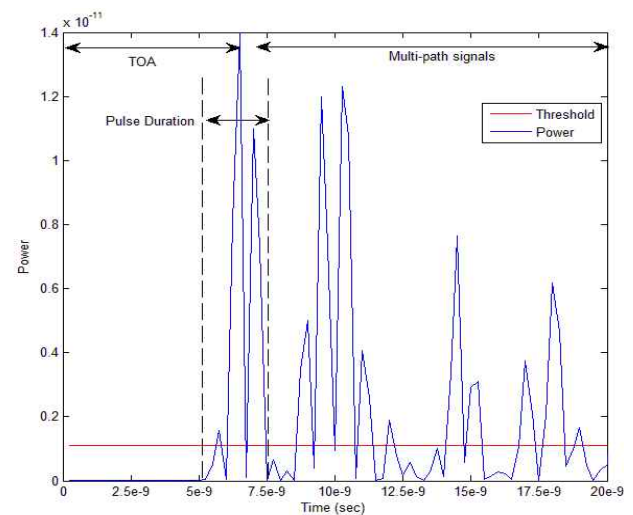


그림 2. Direct-path 신호와 Multi-path 신호
Fig. 2. Direct-path signal and multi-path signal

신호왜곡의 다른 원인은 다중경로에서 발생하는 다중 경로 신호들이다. 이 다중경로 신호들은 위 그림 2와 같이 Direct-path 신호보다 큰 시간 딜레이를 갖는다. 하지만 신호 전력을 Direct-path에서 발생한 신호보다 큰 전력을 가질 수 있다. 그리고 큰 전력을 갖는 다중경로 신호에 의해 상관도 측정을 통한 신호 도달시간의 도출과정에서 오류가 발생할 수 있다. 그렇기 때문에 Direct-path 신호를 검출하는 적절한 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 임계값(Threshold)을 이용하여 전력을 검출하는 방법을 이용하여 Direct-path 신호를 검출한다^[7].

임계값은 위치인식 시스템의 특성상 신호 도달거리에 따라 신호전력이 달라지기 때문에 수신된 신호 전력을 기준으로 적절한 값을 설정한다. 임계값 이상의 전력이 검출되었을 경우, 그 시간 값을 기준으로 이미 알고 있는 펄스지속시간 만큼을 카운트한다. 그리고 펄스지속시간

이후의 신호는 무시한다. 이 과정의 결과는 다중경로신호가 제외된 Direct-path 신호만이 남은 신호이며, 이 신호들을 이용하여 TDOA 알고리즘을 수행한다.

IV. 실험 결과

이번 장에서는 UWB 기반 위치인식 시스템의 성능을 모의실험을 통해 분석한다. UWB 시스템은 BS간에 동기화가 완벽히 이루어졌다고 가정한다. 모의실험을 위한 조건은 표 1과 같다. 송신 전력은 -41dBm이며, 채널모델은 CMI를 이용하였다. 위치인식 알고리즘은 TDOA를 사용하고 Ranging 프로토콜은 One-way ranging을 사용하였다. 실내 환경은 가로와 세로 4m의 정사각형의 방으로 가정하였다.

표 1. 모의실험 파라미터
Table 1. Simulation parameter

변수명	변수값
Average transmitted power	-41 dBm
Channel	CMI (Residential LOS)
Algorithm	TDOA
Ranging 기법	One-way ranging
Number of anchor nodes	3

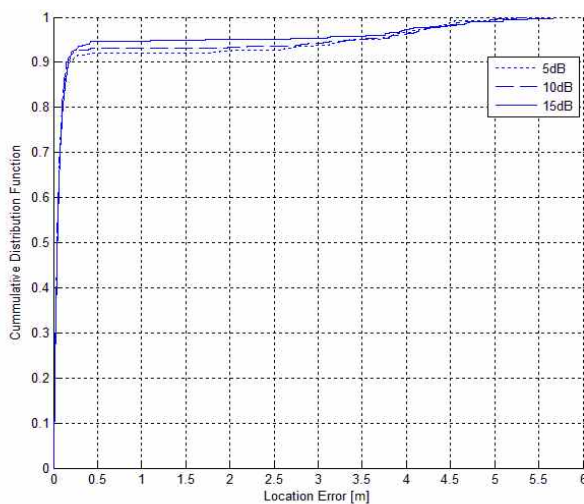


그림 3. 다중 펄스 사용시 SNR에 따른 위치오차의 누적분포
Fig. 3. Cumulative distribution of location error with multiple pulses in various SNR

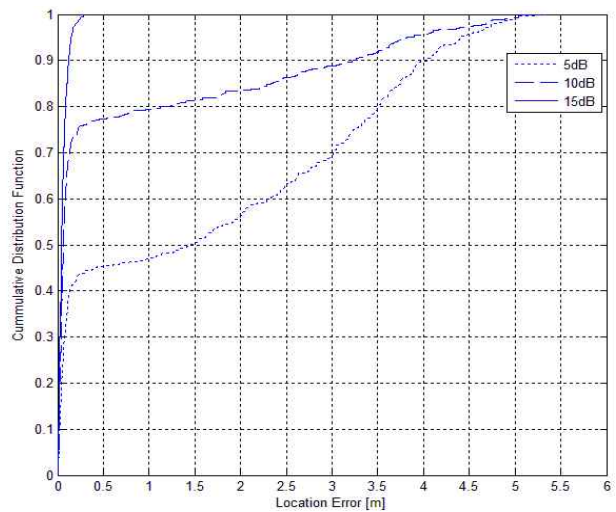


그림 4. 한 개의 펄스로 위치추정시 SNR에 따른 위치오차의 누적분포
Fig. 4. Cumulative distribution of location error with single pulse in various SNR

위 그림 3과 그림 4는 임계값을 평균전력으로 임의로 설정한 상태에서 모의실험 한 결과이다. 먼저, 그림 3은 AWGN 감소 기법을 사용하여 임의로 20개의 펄스의 평균을 취하여 위치추정을 수행했을 때 SNR에 따른 위치오차의 변화이다. 그림 4는 AWGN 감소기법 없이 하나의 심벌을 이용하여 위치추정을 수행했을 때 SNR에 따른 위치오차의 변화를 나타낸다. 두 그래프에 나타난 것과 같이 AWGN 감소기법을 사용했을 경우 SNR 변화에 큰 영향 없이 일정한 위치인식 성능을 얻을 수 있다. 반면에 하나의 심벌을 이용했을 경우는 SNR변화에 영향을 많이 받는 것을 알 수 있다. 그리고 두 그래프 모두에서 보이는 것과 같이 SNR이 증가할수록 위치추정 성능이 향상되는 것을 알 수 있다.

아래 그림 5와 그림 6은 SNR을 10dB로 고정하고 임계값에 변화를 주어서 모의실험을 진행한 결과이다. Pth는 임계값을 의미하며, 그 값은 심벌 평균 전력으로 설정하였다. 그리고 임계값을 Pth로 설정했을 때 일부 잡음전력이 이 임계값 위에 존재한다. 먼저, 그림 5는 20개의 심벌의 평균을 취하는 방법을 이용하여 잡음의 영향을 최소화하여 위치추정을 한 그래프이고 그림 6은 잡음의 영향을 최소화하는 과정 없이 하나의 심벌로 위치추정을 한 그래프이다.

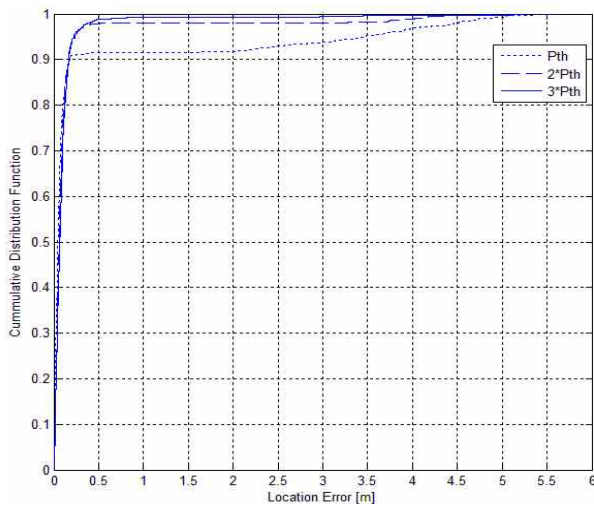


그림 5. 다중 펄스 사용시 임계값에 따른 위치오차의 누적분포

Fig. 5. Cumulative distribution of location error with multiple pulses in various threshold

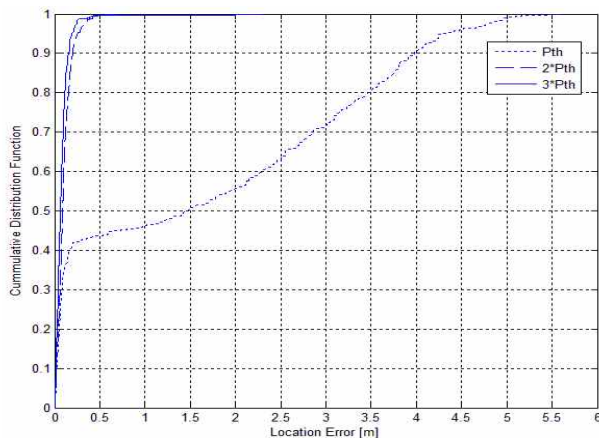


그림 6. 한 개의 펄스로 위치추정시 임계값에 따른 위치오차의 누적분포

Fig. 6. Cumulative distribution of location error with single pulse in various threshold

두 그래프에 나타난 것과 같이 상대적으로 낮은 임계값에서 AWGN 감소기법을 사용했을 때 위치오차가 적은 것을 알 수 있으며, 잡음 전력보다 큰 임계값을 설정했을 때 위치추정 성능에 열화가 발생하지 않음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 UWB 기반 위치인식시스템에서 정확도를 높이는 방법에 대해 분석하였다. 위치인식시스템의 성능을 저하시키는 요인인 다중경로와 채널에 존재하는

잡음을 극복하기 위하여 먼저, AWGN의 영향을 줄이기 위하여 다수의 심벌의 전력 값을 평균하는 방법을 이용하였다. 잡음의 평균값이 0으로 수렴하기 때문에 평균된 신호에서는 잡음의 영향을 거의 받지 않았다. 그래서 AWGN의 영향을 줄이는 기법을 사용했을 때, SNR의 변화에 의한 영향을 줄여 안정적인 성능을 얻을 수 있었다. 또한, Direct-path 신호를 검출함으로써 위치추정 성능의 향상을 통해 신뢰성을 개선하였다. 그러나 Direct-path 신호 검출에 있어서 적절한 임계값의 결정이 선행되어야 할 것이다. 향후 진행할 연구에서는 BER(Bit Error Rate) 성능의 저하를 최소화 하는 범위 내에서 정확한 임계값과 적절한 펄스의 수를 결정하는 방법에 대한 연구를 진행할 것이다.

References

- [1] 이석호, 배영일, 최병삼, 권기덕, “부상하는 위치기반서비스,” CEO Information, vol. 615, 2007.
- [2] R. J. Fontana, “Experimental results from an ultra wideband precision geolocation system,” Ultra-Wideband, Short-Pulse Electromagnetics, KLUWER Academic/Plenum publishers.
- [3] R. J. Fontana, Edward Richley, JoAnn Barney, “Commercialization of an ultra wideband precision asset location system,” 2003 IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies, November 2003, Reston, VA.
- [4] J. Schroeder, S. Galler, and K. Kyamakya, “A low-cost experimental ultra-wideband positioning system,” IEEE Int’ Conf. on Ultra-Wideband, pp. 632-637, 2005.
- [5] J. Khodjaev, A. Narzullaev, Y. Park, W. Jung, J. Lee, S. Kim, “Performance Improvement of Asynchronous UWB Position Location Algorithm Using Multiple Pulse Transmission,” 4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication 2007(WPNC’07), 2007.
- [6] W. C. Chung, D. Ha, “An accurate ultra wideband (UWB) ranging for precision asset location,” IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies 2003, pp. 389- 393, 16-19 Nov. 2003.

[7] A. Zoksimovski, C. de Moustier, "Detection of Direct-path Arrivals for Multi-Narrowband Sequences(3-30kHz) In Shallow Water," High Frequency Ocean Acoustics Conference. AIP Conference Proceedings, Volume 728, pp. 478-488, 2004.

※ Acknowledgement : This research was supported by the MKE(The Ministry of Knowledge Economy), Korea, supervised by the SMBA(Small and Medium Business Administration) support program in 2010.

저자 소개

최 영 훈(준회원)



- 2010년 : 광운대학교 전파공학과 학사 졸업
- 2010년 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

<주관심분야 : 디지털 통신, 무선 통신, UWB, 위치인식>

배 정 남(준회원)



- 2009년 : 광운대학교 전파공학과 학사 졸업
- 2009년 ~ 2010년 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

<주관심분야 : 디지털 통신, 무선 통신, 방송시스템, UWB>

김 진 영(정회원)



- 1998년 : 서울대학교 전자공학과 공학 박사
- 2000년 : 미국 Princeton University, Research Associate
- 2001년 : SK 텔레콤 네트워크 연구소 책임연구원
- 2009년 ~ 2010년 : 미국 MIT 공대 Visiting Scientist

- 2001년 ~ 현재 : 광운대학교 전자융합공학과 교수

<주관심분야 : 디지털통신, 무선통신, 채널부호화>