

논문 2008-45TC-12-15

# Iterative Calculation을 이용한 UWB 위치측정에서의 오차감소 기법

(Location Error Reduction method using Iterative Calculation in UWB system)

장 성 진\*, 황 재 호\*, 최 낙 현\*, 김 재 명\*\*

(Sung Jeen Jang, Jae Ho Hwang, Nack Hyun Choi, and Jae Moun Kim)

## 요 약

유비쿼터스 사회에서는 사용자의 요구를 충족시키기 위하여 사용자가 갖고 있는 기기에 대한 정밀한 위치측정을 필요로 한다. 위치 측정은 송수신기 간에 신호의 전송을 기반으로 한 거리측정을 통해 이뤄지기 때문에 위치측정의 오차는 거리측정의 오차로부터 발생한다. 신호가 전송되는 기기 간에 장애물이 존재하게 되면 LoS(Line of Sight)신호 성분이 줄어들게 되어 NLoS(Non-Line of Sight) 채널이 발생하게 되고 정확한 시점에서 신호를 검출할 수 없게 되어 거리오차가 발생하게 된다. 일반적인 위치측정 알고리즘은 참조기기(Reference Device)의 거리측정 성능에 관계없이 참조기기와 목표기기(Target Device)간의 거리측정 값을 위치 계산에 그대로 사용하기 때문에 거리측정 값으로부터 발생하는 오차가 위치 계산에 더해지게 된다. 따라서 본 논문에서는 각 참조기기가 속해 있는 채널특성을 판별하고 NLoS채널로부터 계산된 거리와 LoS채널로부터 계산된 거리를 다른 비율로 적용하여 위치측정의 오차를 줄이는 Iterative Calculation 기법을 제안한다. 참조기기는 수신된 신호의 Kurtosis, Mean, Excess Delay, RMS Delay spread를 통해 NLoS와 LoS 채널을 구분한다. 이를 통해 구분된 채널마다 각기 다른 비율로 랜덤 거리를 계산된 거리에 더하여 위치를 계산하는 것을 반복적으로 수행한 뒤 평균값을 계산하여 확률적으로 존재할 가능성이 높은 목표기기의 위치를 찾아감으로써 NLoS채널로부터 계산된 거리오차가 위치측정에 미치는 영향을 줄이는 방법을 제안하고 시뮬레이션을 통해 기존의 방식과 비교했을 때 성능향상을 확인하였다.

## Abstract

In Ubiquitous Society, accurate Location Calculation of user's device is required to achieve the need of users. As the location calculation is processed by ranging between transceivers, if some obstacles exist between transceivers, NLoS(Non-line-of-Sight) components of received signal increase along with the reduction of LoS(Line-of-Sight) components. Therefore the location calculation error will increase due to the NLoS effect. The conventional location calculation algorithm has the original ranging error because there is no transformation of ranging information which degrades the ranging accuracy. The Iterative Calculation method which minimizes the location calculation error relies on accurately identifying NLoS or LoS condition of the tested channel. We employ Kurtosis, Mean Excess Delay and RMS Delay spread of the received signal to identify whether the tested channel is LoS or NLoS firstly. Thereafter, to minimize location calculation error, the proposed Iterative Calculation method iteratively select random range and finds the averaged target location which has high probability. The simulation results confirm the enhancement of the proposed method.

**Keywords:** Ultra wideband; Localization; NLoS/LoS Identification

\* 학생회원, \*\* 중신회원, 인하대학교 정보통신대학원

(Inha Graduate school of information Technology & Telecommunications)

※ 이 논문은 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원 사업의 연구결과로 수행되었음.  
(IITA-2008-C1090-0801-0019)

※ 이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단 국가지정연구실 사업으로 수행된 연구임.  
(No.M1060000194-06J0000-19410)

접수일자: 2008년9월3일, 수정완료일: 2008년12월10일

### I. 서 론

위치기반 서비스(LBS : Location Based Service)는 GPS를 이용한 자동항법장치, 자동차 네비게이션 시스템 등 실생활에 필수 기술이 되어왔다. 그러나 기존의 GPS를 기반으로 하는 실외 위치 측정 시스템 또는 이동통신망을 이용한 광역 위치추적 기술은 위치인식의 정확도가 떨어지고 실내에서 활용되기 힘들다는 단점을 갖고 있기 때문에 실내지역의 거리 측정 및 위치 측정에 대한 필요성이 대두되고 있다.

미국연방통신위원회(FCC)에서 재해구조를 목적으로 한 정밀한 위치파악을 요구함에 따라 Wi-Fi, Zigbee, UWB, Bluetooth, RFID, 초음파 등을 이용하는 실내 및 근거리 위치추적 기술이 활발하게 연구되고 있다.<sup>[1]</sup> 위치측정을 위한 기반기술인 거리 측정 기술에는 수신신호의 세기를 이용하는 RSSI(Received Signal Strength Indicator), 수신신호의 입사각을 이용하는 AoA(Angle of Arrival), 신호가 수신된 시간을 이용하는 ToA(Time of Arrival) 및 TDoA(Time Difference of Arrival) 방식이 있다.<sup>[2]</sup> 초기에는  $\mu\text{sec}$ 수준의 정밀한 측정이 가능한 기술이 존재하지 않았고, ToA를 이용하는 경우 기기들 사이에 시간 동기를 정확히 맞춰야 하는 문제 때문에 RSSI기술이 주로 사용되었다. 그러나 RSSI나 AoA를 사용하는 경우 채널환경에 따라 거리측정의 정밀도가 크게 떨어지고 주위전파환경에 따라 간섭효과가 심하게 나타나는 문제가 있다. 하지만 TWR(Two-Way Ranging) 기술로 인해 동기화 문제가 해결되고, 2007년 3월에 시간분해능이 보다 향상된 IEEE 802.15.4a 표준이 완성되면서 ToA가 관심을 끌게 되었다.<sup>[3]</sup>

다양한 실내 위치추적 기술 중 초광대역(UWB: Ultra Wide Band) 시스템은 매우 짧은 구간의 임펄스 신호를 사용하기 때문에 높은 시간해상도를 갖게 되고 거리추정에 있어서 보다 좋은 정밀도를 갖게 되기 때문에 ToA를 통한 거리측정 및 위치측정의 시스템 구축을 위한 유력한 핵심 기술로 평가받고 있다.<sup>[4~5]</sup>

UWB 시스템에서의 기본적인 위치측정은 위치가 알려진 최소한 3개의 참조기기가 하나의 목표기기와 UWB 신호를 송수신하여 지연된 시간으로부터 기기간의 거리를 계산하는 삼각측량기법(Trilateration)을 사용한다. 송수신기 간에 가시경로가 존재하는 채널환경에서는 직선경로(Direct-path) 신호를 검출함으로써 작은 값의 거리오차가 발생하지만, 그렇지 않은 경우에

2nsec 길이의 한 펄스를 놓치게 되면 최소 60cm이상의 거리오차가 생길만큼 큰 오차가 발생하게 된다. 이와 같이 목표기기와 어떤 참조기기간에 비가시경로(NLoS)인 채널환경을 갖게 되면 이로부터 계산된 거리오차가 위치 계산에 포함되어 위치측정오차를 발생시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 목표기기와 참조기기간의 채널환경에 대한 특징을 분석하고, 이에 따라 채널환경이 좋지 않은 참조기기로부터 계산된 거리정보가 위치 계산에 미치는 영향을 줄이기 위해 제안된 방식을 사용하여 위치를 계산한다.

본 논문은 II장에서 기본적인 거리측정 방법 및 위치측정 방법에 대해서 간단하게 설명하고, III장에서 기존에 제안된 LoS 및 NLoS 채널을 구분하는 방법을 설명한다. 또한 시뮬레이션을 통해 LoS와 NLoS 채널의 구분성능을 비교한다. 그리고 이를 통해 채널의 상태에 따라서 거리정보의 가중치를 다르게 사용하는 위치측정 방법에 대해 제안한다. IV장에서 시뮬레이션을 통하여 결과를 기존의 방법과 비교하여 설명하고 V장에서 결론을 맺는다.

### II. 일반적인 위치측정 방법

위치측정을 위해서는 위치가 알려진 최소 3개의 참조기기가 위치가 알려지지 않은 목표기기와 거리를 ToA(Time of Arrival)기술을 통해 측정한다. 그림 1은 ToA알고리즘에 관한 그림으로 송신기와 수신시간에 신호를 송수신하는 과정을 통해 두 기기간의 거리를 측정하는 방법을 나타낸다. 우선 참조기기가 목표기기에 신호를 송신할 때 타이머를 체크하고  $T_{OF}$ 의 시간 후에 목표기기가 신호를 수신한다. 다시  $T_{Reply}$ 시간 후에 목표기기가 참조기기로 신호를 전송하여  $T_{OF}$ 시간 후에

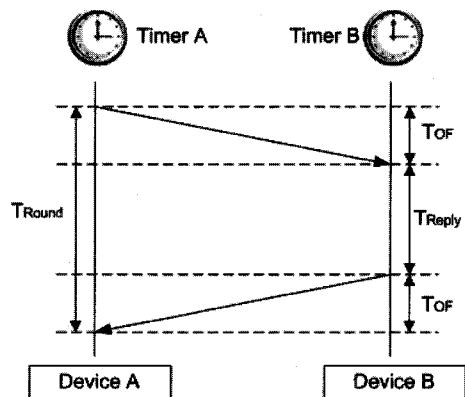


그림 1. TWR(Two Way Ranging) 방법  
Fig. 1. TWR(Two Way Ranging) Method.

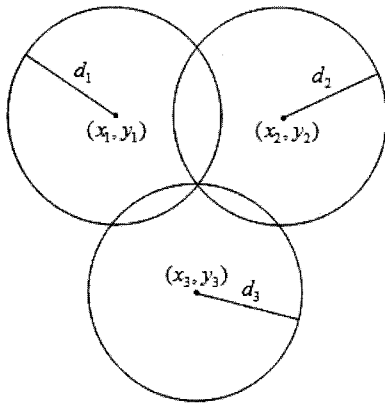


그림 2. 세 개의 참조기기를 이용한 위치측정  
Fig. 2. Positioning with Three reference.

목표기기가 신호를 수신하였을 때 타이머를 체크하면 참조기기와 목표기기 간 신호가 송수신되는 동안의 시간인  $T_{Round}$ (Round Trip Time)를 얻게 되고, 식 (1)을 사용하여 거리를 계산한다.

$$d_i = \frac{T_{Round} - T_{Reply}}{2} \times c, \quad i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

여기에서  $c$ 는 전파속도( $3 \times 10^8 m/s$ )를 나타내고  $T_{OF}$ 는 신호가 전파되는 시간,  $d_i$ 는 참조기기와 목표기기 사이의 거리,  $i$ 는 참조기기의 순번,  $T_{Reply}$ 는 목표기기가 신호를 수신하고 난 후 참조기기에 다시 송신하기까지 기기내부의 처리시간을 나타낸다.<sup>[6]</sup> 이렇게 각 참조기기가 측정된 거리를 바탕으로 삼각기법을 이용하여 목표기기의 위치를 계산해낸다. 그림 2는 각 참조기기의 위치에서 측정된 거리를 반지름으로 하는 원의 교차영역을 통해 목표기기의 위치를 계산하는 방법을 나타낸다.

각 참조 기기의 위치는 알려져 있으므로 측정된 거리는 식 (2)와 같이 표시된다.

$$\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} = d_i \quad i = 1, 2, 3 \quad (2)$$

여기서  $(x, y)$ 는 알고자 하는 목표 기기의 좌표,  $(x_i, y_i)$ 는 참조기기의 좌표를 나타낸다.

각 식의 양변을 제곱한 후,  $i=3$ 의 식을 빼주게 되면 식 (3)을 얻게 된다.

$$-2\vec{A}\hat{p} = \vec{b} \quad (3)$$

$$\text{where } \vec{A} = \begin{bmatrix} x_1 - x_3 & y_1 - y_3 \\ x_2 - x_3 & y_2 - y_3 \end{bmatrix}, \hat{p} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix},$$

$$\vec{b} = \begin{bmatrix} d_1^2 - d_3^2 + (x_3^2 + y_3^2) - (x_1^2 + y_1^2) \\ d_2^2 - d_3^2 + (x_3^2 + y_3^2) - (x_2^2 + y_2^2) \end{bmatrix}$$

여기서  $\hat{p}$ 는 찾고자 하는 목표기기의 좌표이다

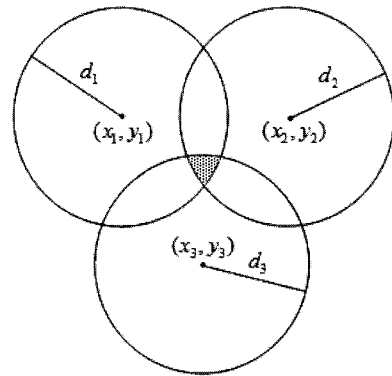


그림 3. 참조기기 거리오차에 의한 위치측정 오차  
Fig. 3. Positioning Error from Distance Error of Reference Device.

식 (4)를 통해 목표 기기의 좌표를 구할 수 있게 된다.

$$\hat{p} = \frac{1}{2} (\vec{A}^T \vec{A})^{-1} \vec{A}^T \vec{b} \quad (4)$$

그러나 참조기기와 목표기기 사이에 장애물이 존재하여 신호가 왜곡되는 경우에는 거리측정의 오차가 발생하게 된다. 따라서 이상적인 채널 환경에서의 거리측정을 통해 거리측정을 통해 참조기기의 위치를 측정할 때 오차가 발생하지 않은 경우에는 그림 2와 같이 세 원의 교차점을 통해 하나의 좌표를 찾을 수 있지만, 채널의 왜곡에 의해 거리오차가 발생하게 되면 각 원의 반경이 넓어지게 되고 반경이 좁게 되는 영역이 목표기기가 존재할 수 있는 영역이 되어 위치계산 알고리즘으로부터 위치를 계산할 때 정밀도가 낮아지게 된다. 그림 3은 참조기기의 거리오차로 인해 목표기기가 존재할 수 있는 영역이 세 원이 겹치는 부분만큼 넓어짐을 보여준다.

### III. 가중치 방식을 적용한 Location 측정

참조기기의 거리측정에서 오차가 발생하게 되면 측정된 거리를 사용하여 목표기기의 위치를 측정할 때 거리오차의 영향을 받게 된다. 거리 오차는 송수신기간의 동기 오차, 기기 내부 지연 문제 등으로 발생할 수 있으나 NLoS채널에 의한 오차가 대부분을 차지한다. NLoS 채널에서 거리를 측정할 경우에는 첫 번째 도착한 펄스를 정확하게 검출하였다 하더라도 검출된 펄스가 직선 경로 신호 성분이 아니기 때문에 LoS채널에서의 거리 측정보다 많은 거리오차가 발생하게 된다. 따라서, NLoS채널로부터 계산된 반경이 위치측정에 미치는 영향을 최소화하여 위치측정 오차를 효율적으로 줄이기

위해, 수신된 신호의 특성을 이용하여 참조기기와 목표 기기 간 채널의 NLoS 및 LoS 환경을 예측하는 것이 필요하다.

### 1. NLoS와 LoS 채널의 구별 방법

본 논문에서는 NLoS, LoS 채널을 구분하기 위해 기존에 제안된 방법으로 수신된 신호의 Kurtosis, 평균 초과지연(Mean Excess Delay), 평균제곱근지연분포(Root Mean Square Delay Spread) 값을 사용한다. Kurtosis 값은 정규분포에 대해 데이터가 뾰족한 분포를 갖는지 평평한 분포를 갖는지에 대한 정보를 나타내는 것으로서 특정 데이터에 대한 Kurtosis는 분산의 제곱에 대한 데이터의 4차 모멘트로 계산되며, 채널 응답  $h(t)$ 가 주어졌을 때,  $|h(t)|$ 에 대한 Kurtosis 값은 식 (5)

로 계산된다.<sup>[7]</sup>

$$\kappa = \frac{E[ (|h(t)| - \mu_{|h|})^4 ]}{E[ (|h(t)| - \mu_{|h|})^2 ]^2} = \frac{E[ (|h(t)| - \mu_{|h|})^4 ]}{\sigma_{|h|}^4} \quad (5)$$

여기서  $\mu_{|h|}$ 와  $\sigma_{|h|}$ 는  $|h(t)|$ 의 평균 및 표준오차를 나타낸다.

그림 4는 실내 환경과 사무실 환경에서 NLoS와 LoS 채널에 대한 Kurtosis값의 log-normal 확률분포를 나타낸다. LoS채널은 NLoS채널 모델에 비해 다중경로 성분을 적게 갖기 때문에, 높은 Kurtosis 값을 가짐을 알 수 있다.

또한 Kurtosis방법 외에 다중경로채널의 지연정보를 제공하는 채널의 평균초과지연과 평균제곱근 지연을 추가적으로 사용함으로써 채널구분의 정확도를 높일 수 있다. 평균초과지연은 전력지연 프로파일에 대한 1차 모멘트로 정의되며 다중경로를 통해 수신된 신호의 전력 대비 평균지연시간을 의미하는 것으로서 이에 대한 식은 식 (6)과 같고,

$$\tau_m = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} t|h(t)|^2 dt}{\int_{-\infty}^{\infty} |h(t)|^2 dt} \quad (6)$$

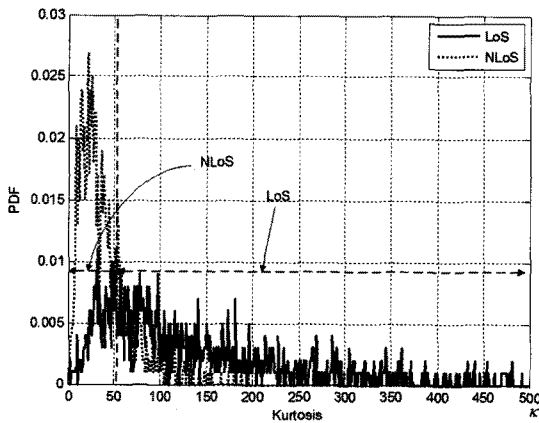
평균제곱근지연은 전력지연 프로파일에 대한 2차 모멘트의 제곱근으로 정의되고, 수신 신호의 평균지연시간 대비 신호의 퍼진 정도를 나타내는 것으로서 이에 관한 식은 식 (7)과 같다.

$$\tau_{rms}^2 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} (t - \tau_m)^2 |h(t)|^2 dt}{\int_{-\infty}^{\infty} |h(t)|^2 dt} \quad (7)$$

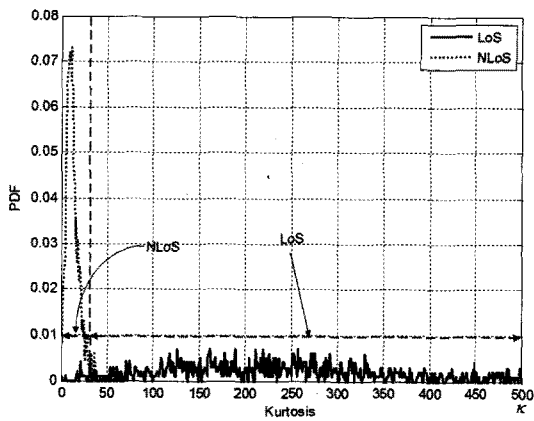
NLoS와 LoS 채널의  $\kappa$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{rms}$ 에 대한 log-normal 확률분포를 계산한 뒤 식 (8)의 Joint likelihood ratio를 이용하여 NLoS, LoS채널을 구별할 수 있다.

$$\mathcal{J}(\kappa, \tau_m, \tau_{rms}) = \frac{P_{los}^{kurt}(\kappa)}{P_{nos}^{kurt}(\kappa)} \times \frac{P_{los}^{med}(\tau_m)}{P_{nos}^{med}(\tau_m)} \times \frac{P_{los}^{rms-ds}(\tau_{rms})}{P_{nos}^{rms-ds}(\tau_{rms})} \quad (8)$$

표 1은 식 (8)에 의해 계산된 값을 사용하여 Kurtosis, Mean Excess delay, RMS delay 값이 결합된 likelihood ratio를 통해 각 채널 환경에서의 NLoS, LoS채널을 구분한 성능을 나타낸다.<sup>[8]</sup>



(a)



(b)

그림 4. 실내 및 사무실 환경의 NLoS, LoS에서 Kurtosis값의 분포 (a) 실내 환경 (b) 사무실 환경

Fig. 4. Distribution of Kurtosis value in NLoS and LoS when the environments are Indoor (a) and Office (b).

표 1. NLoS / LoS 구분 성능  
Table 1. NLoS / LoS Identification Performance.

채널 모델	Kurtosis	MED	RMS-DS	Joint
실내 환경 (LoS)	78.6%	74.3%	61.7%	81.8%
실내 환경 (NLoS)	83.2%	77.9%	76.1%	84.3%
사무실환경 (LoS)	99.0%	88.5%	73.6%	97.9%
사무실환경 (NLoS)	96.7%	86.3%	89.0%	95.9%
산업 환경 (LoS)	66.3%	98.2%	93.9%	98.9%
산업 환경 (NLoS)	71.4%	95.2%	92.7%	97.8%
실외 환경 (LoS)	98.3%	88.3%	98.3%	88.2%
실외 환경 (NLoS)	98.4%	100%	100%	99.9%

2. Iterative Calculation 방식을 이용한 Location Calculation method

세 원의 교차점에 의해 정의되어지는 영역은 목표기가 위치할 수 있는 신뢰구간이다. 이 영역을 실제 목표기기의 위치에 근사하게 만들기 위해서는 수신된 신호로부터 NLoS와 LoS채널을 구분하고 이를 이용하여 NLoS 오차를 줄이기 위해 각 참조기기의 반경을 신뢰도에 따라 변화시켜야 한다. 그러나 NLoS와 LoS채널을 구별할 수 있더라도 각각의 반경을 얼마만큼 변화시켜야 하는지에 관한 정보는 얻을 수 없다. 따라서 본 논문에서는 각 채널로부터 측정된 반경에 NLoS와 LoS채널마다 다른 분산 값의 랜덤 값을 원래의 거리 값에 더하여 위치를 측정하고, 이러한 과정을 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 반복적으로 수행하여 위치 값들의 평균 값을 선택한다. 이를 통해 확률적으로 목표기기가 존재할 가능성이 높은 위치를 찾는 방법을 제안한다.

그림 5는 Iterative Calculation 방법을 이용한 위치추정을 나타내고 있으며  $\hat{T}$ 은 계산된 목표기기의 위치, T는 실제 목표기기의 위치를 나타내고, d는 실제 측정된 거리,  $\hat{d}$ 는 측정된 거리 값에 더해주는 랜덤한 거리 값의 범위를 나타낸다. 그리고 참조기기 B로부터 계산된 반경이 NLoS에서 계산되었을 때 반복된 랜덤 값의 거리를 통해 계산된 위치 값이 기기 B의 방향으로 모여지고 있음을 알 수 있다.

처음의 송수신을 통해 세 기기의 반경으로부터 신뢰할 수 있는 목표기기 위치의 범위는 점  $P_{BC}$ ,  $P_{CA}$ ,  $P_{AB}$ 가 이루는 영역이며 세 기기의 거리 오차의 합은 식 (9)와 같이 계산된 위치와 각 반경과의 거리 차에 근사하게

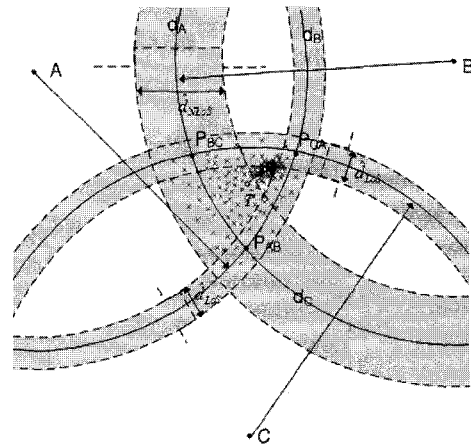


그림 5. Iterative Calculation 방법을 이용한 위치추정  
Fig. 5. Positioning Location by using Iterative Calculation.

비례한다.

$$\begin{aligned}
 & k(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3) \\
 & = (d_A - \overline{AT}) + (d_B - \overline{BT}) + (d_C - \overline{CT}) \quad (9) \\
 & = W
 \end{aligned}$$

여기서  $\delta_i$ 는 실제 거리 오차를 나타내고, k는 비례상수를 나타낸다. 두 번째 행은 계산된 위치와 각 반경과의 거리 차의 합을 나타내기 때문에 이를 W로 정의하여 이를 통해 거리오차의 합을 예측할 수 있고, 각 반경을 감소시킬 때 가중치로 사용할 수 있다. 그리고 NLoS와 LoS에 대한 랜덤 값의 분산의 비율 m은 식 (10)과 같이 정하여 NLoS의 분산이 LoS보다 상대적으로 크도록 하였다

$$m = \begin{cases} 1, & \text{if LoS channel} \\ n, & \text{if NLoS channel} \end{cases} \quad (10)$$

여기서 n은 NLoS에 대한 랜덤 값의 분산을 의미한다. 그리고 거리오차를 명확하게 정의할 수 없기 때문에 식(11)과 같이 설정된 가중치의 분산을 동일우도의 균등 랜덤 값(Uniform Random Variable)과 곱한다. 그리고 추가되는 랜덤 값이 너무 크거나 작게 되면 위치 계산의 오차가 발생하기 때문에 정확한 위치를 계산할 수 없게 된다. 따라서 거리오차의 크기에 따라 각 반경에 추가되는 랜덤 값의 크기를 제한하기 위해 가중치 W와 곱해준 뒤, 이를 측정된 거리에 더해주는 거리 값  $\hat{d}(l)$ 를 계산한다.

$$\begin{aligned}
 & \hat{d}(l) = W \cdot (\overrightarrow{P_{uniform}} \times \overrightarrow{m}^T), \quad l = 1, 2, \dots, L \\
 & \text{where } \begin{cases} \hat{d}(l) = [\hat{d}_1(l), \hat{d}_2(l), \dots, \hat{d}_N(l)] \\ \overrightarrow{P_{uniform}} = [P_1, P_2, \dots, P_N] \\ m = [m_1, m_2, \dots, m_N] \end{cases} \quad (11)
 \end{aligned}$$

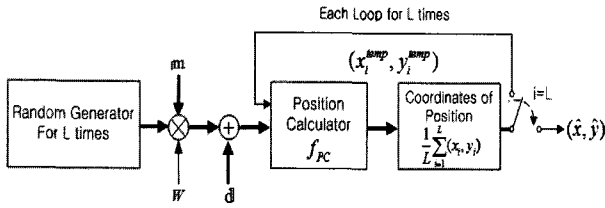


그림 6. Iterative Calculation 방법  
Fig. 6. Iterative Calculation Method.

여기서  $\hat{d}(l)$ 은 가중치를 통해 계산되는 N개의 참조 기기에 대한 거리벡터를 나타내고, W는 스칼라 값의 가중치를 나타낸다.  $\vec{P}_{uniform}$ 과  $\vec{m}$ 은 N개의 참조기기에 대한 각각의 랜덤벡터와 분산비율벡터를 의미한다.

이렇게 수신된 신호의 특성과 계산된 위치와 거리의 관계로부터 W와 m을 계산한 뒤, 이를 N개의 참조기기로 부터 측정된 원래의 거리에 추가시킨다. 감소된 거리 값을 사용하여 위치측정 알고리즘으로 위치를 계산하고 이러한 과정을 반복적으로 수행하여 얻게 되는 값들의 평균위치를 식(12)와 같이 계산한다.

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L f_{PC}(d_1 + \hat{d}_1(l), d_2 + \hat{d}_2(l), \dots, d_N + \hat{d}_N(l)) \quad (12)$$

여기서 L은 반복 횟수를 나타내고,  $f_{PC}()$ 는 위치측정 알고리즘을 나타낸다.

그림 6은 Iterative Calculation 방법을 나타낸다. N개의 참조기기로 부터 측정된 각각의 거리 값은 NLoS, LoS에 따라 주어진 랜덤 값을 발생시킨 N개의 거리 값과 각각 더해진 후에 위치측정 알고리즘  $f_{PC}()$ 으로 위치를 계산하고, 이러한 과정을 L번 반복하여 평균을 구한다.

#### IV. 시뮬레이션 구성 및 결과 분석

본 논문에서 제안한 위치측정방법의 성능 비교, 평가를 위해서 정밀한 위치측정에 사용되는 IEEE 802.15.4a의 IR-UWB(Impulse Radio UWB)를 사용하였다.<sup>[9]</sup>

UWB의 프리앰블을 상관화하면 채널의 특성을 추출할 수 있고, 이로부터 NLoS, LoS채널을 구분할 수 있게 된다. 그림 7은 UWB의 프레임 구조를 나타낸 그림으로써 동기를 위해 사용되는 SHR(Synchronization Header)과 수신단에서 패킷의 복호를 위해 사용되는 PHR(PHY Header) 및 데이터 부분으로 구성된다. 그리고 SHR은 다시 패킷동기, 채널추정 및 거리측정에 사

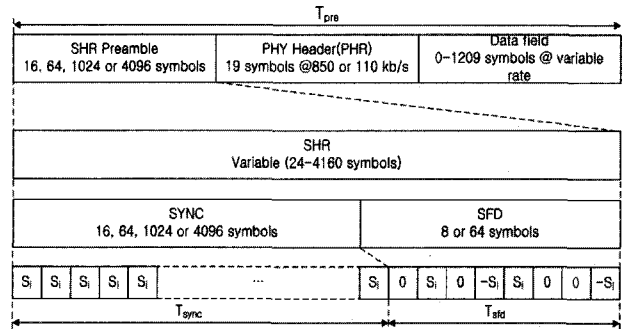


그림 7. UWB 프레임 구조  
Fig. 7. UWB Frame Structure.

표 2. 길이 31의 Ternary 코드  
Table 2. Ternary Code of 31 length.

Code Index	Code Sequence
1	-0000+0-0+++0+-000+---00-+0-00
2	0+0+-0+0+000-++0+---00+00++000
3	-+0++000-+-++00++0+00-0000-0+0-
4	0000+-00-00-++++0+-+000+0-0++0-
5	-0+-00+++0000-+0+++0-0+0000-00
6	++00+00----+0+++000+0+0-+0+0000
7	+0000+-0+0+00+000+0+---0-+00-+
8	0+00-0-0+0+0000-+00-+0+---+0+00

용하는 시퀀스가 삽입되는 SYNC(Synchronization)와 프레임을 구분하기 위해 사용되는 SFD(Start Frame Delimiter)로 구성된다. 표2는 SYNC와 SFD에 삽입된 심볼을 이루는 코드를 나타낸다. 그림 7의 각 심볼(Si)들은 표2의 -1,0,+1을 사용하는 Ternary 코드 시퀀스 중 하나를 선택하여 펄스와 곱해지고, 이렇게 송신된 신호는 수신단에서 다시 송신단에서 사용되었던 코드 시퀀스와 상관화한다. 이로부터 채널임펄스응답(CIR : Channel Impulse Response)을 추출하여 동기를 맞추게 되면 신호가 수신된 시간을 확인할 수 있다.<sup>[10]</sup> 참조기기가 신호를 수신하게 되면 CIR과 거리 d를 얻은 후에 Kurtosis, Mean Excess delay, RMS delay의 값을 통해 NLoS 및 LoS를 판별하고 Iteration의 방법으로 위치를 계산하게 된다.

그림 8은 Iterative Calculation 방법을 사용했을 경우에 반복횟수에 따른 평균위치오차 값을 나타낸 그래프으로써, 반복횟수를 늘려감에 따라 평균위치오차 값이 감소하여 반복횟수가 약 20회 이상에서 위치오차가 5cm에서 수렴하고 있음을 보여준다.

그림 9는 SNR 10dB의 실내 환경에서 3개의 참조기 중 하나의 기기가 NLoS채널에 속해 있을 경우에 가중치를 적용하지 않았을 때와 가중치를 적용한 Iterative Calculation 방법을 사용하였을 때, 세 개의 참

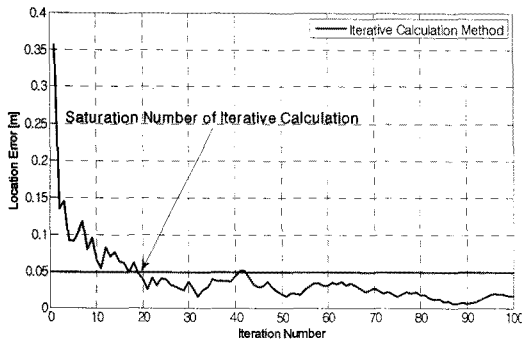


그림 8. Iterative Calculation 발생 횟수에 따른 위치오차  
Fig. 8. Location Positioning Error according to Iterative Calculation number.

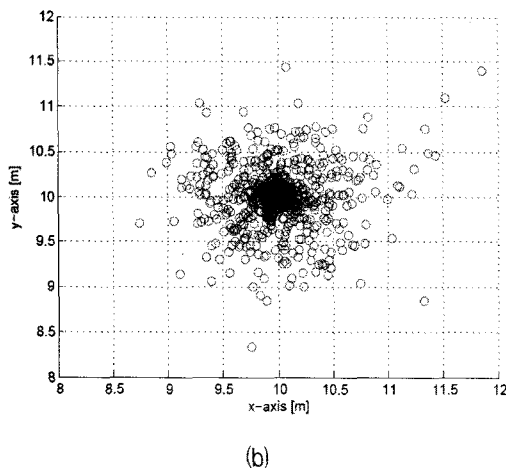
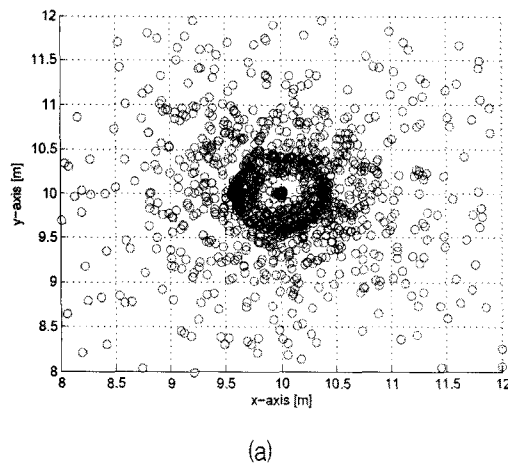


그림 9. 가중치를 사용하지 않은 경우(a)와 사용한 경우 (b)의 위치측정 좌표  
Fig. 9. Coordinates of Location Positioning (a) Conventional Method (b) Iterative Calculation Method.

조기기가 좌표 (10, 10)에 위치한 목표기기의 위치를 측정하는 상태를 보여주고 있다. Iterative Calculation 방법을 사용한 경우가 위치측정의 밀집도가 조밀해져서 계

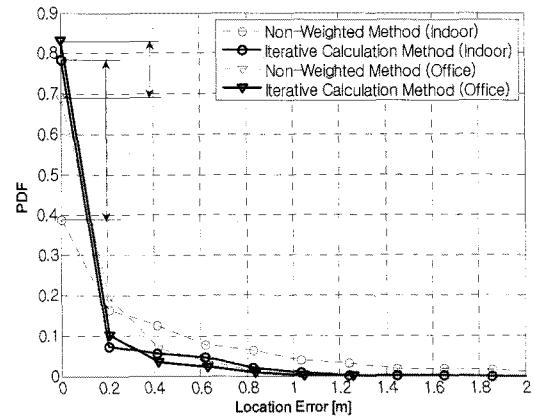


그림 10. Non-Weighted, Iterative Calculation 방법을 사용했을 때의 PDF  
Fig. 10. PDF of Conventional Method and Iterative Calculation Method.

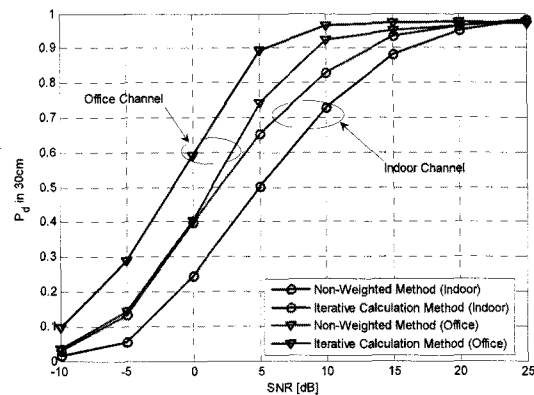


그림 11. 위치오차가 SNR에 따라 30cm 이하일 확률  
Fig. 11. Probability when the Location Positioning Error is under 30cm according to SNR.

산된 목표기기의 위치측정이 정밀해짐을 알 수 있다.

그림 10은 Non-Weighted와 Iterative Calculation 방법을 사용한 경우의 위치측정 오차에 대한 PDF값을 SNR 5dB의 실내, 사무실 환경에 따라 나타낸다. 전체적으로 Iterative Calculation 방법이 Non-Weighted보다 오차가 큰 부분에 대한 PDF값이 작고, 오차가 작은 부분에 대한 PDF값이 큰 것을 알 수 있다. 또한 위치오차 20cm 내에서 실내 환경일 경우 약 40%, 사무실 환경일 경우 약 10%의 PDF 이득을 얻을 수 있으므로 전반적인 성능향상을 확인할 수 있다.

그림 11은 각각의 방법을 실내 환경, 사무실 환경에 대해서 위치오차가 30cm 내에 들어오는 확률( $P_d$ )을 SNR에 따라 측정한 그래프로써, 두 방법 모두에서 SNR이 증가함에 따라  $P_d$ 의 값이 증가함을 볼 수 있고 가중치를 적용하지 않은 경우보다 가중치를 적용한

Iterative Calculation 방법의  $P_d$  값이 상대적으로 더 크기 때문에 제안한 방법의 정밀도가 기존의 방법보다 높아진 것을 확인할 수 있다. 특히 0dB의 실내 환경에서는 약 18%의 성능 개선을 보였고 사무실 환경에서는 약 20%의 성능 개선을 보였으며 이를 통해 위치오차를 낮출 수 있었다.

## V. 결 론

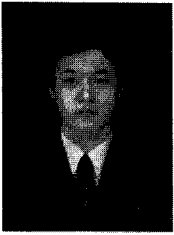
본 논문에서는 수신된 신호의 NLoS 및 LoS의 채널 환경을 구분하기 위해 Kurtosis, 평균초과지연, 평균제곱근지연분포 값을 사용하였고 이 정보를 이용한 Iterative Calculation 방식을 사용하였다. NLoS와 LoS의 구별을 통해 가중치를 계산하고 확률적 처리 방식을 이용해서 위치측정의 정밀도를 높이는 방식을 제안한다. 제안된 방식을 통해 반복 횟수가 증가함에 따라 성능이 개선됨을 알 수 있었고, 20회 이상에서 성능이 수렴하여 만족되는 것을 확인하였다. 또한 시뮬레이션을 통해 기존의 방식과 제안한 방식의 성능을 비교함으로써 제안된 방법의 성능이 전체적으로 향상된 것을 확인할 수 있었다. 본 논문에서는 세 개의 참조기기가 존재하는 환경에서 제안되었으나, 참조기기의 개수가 확장되는 경우에도 적용하여 제안된 방법의 추가적인 연구를 통해 성능개선이 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Gustafsson. F and Gunnarsson. F. ,“Mobile positioning using wireless networks: Possibilities and fundamental limitations based on available wireless network measurements,” *IEEE Signal Processing Magazine*, pp. 41-53. July 2005.
- [2] Gezici. S., Zhi Tian, Giannakis G.B., Kobayashi H., “Localization via ultra-wideband radios: a look at positioning aspects for future sensor networks,” *IEEE Signal Processing Magazine*, pp. 70-84 July 2005.
- [3] 이경탁, 이성준, 손성환, 김재명, “LP-WPAN 시스템에서 심볼 전력 할당과 2개의 직교 코드를 사용한 채널 추정 기법,” *대한전자공학회 논문지* 44권 No.11호, pp. 1-10, 2007년 11월.
- [4] 공현민, 성태경, 권영미, “UWB 실내 측위를 위한 TDOA 위치결정기법,” *대한전자공학회 논문지* 제 42권 TC편 제1호, pp. 9-15, 2005년 1월
- [5] J. Foerster, E. Green, S. Somayazulu, and D. Leeper, “Ultra-Wideband Technology for Short or Medium Range Wireless Communications,” *Intel Technology Journal*, pp. 1-11, 2001
- [6] Zafer Sahinoglu and Sinan Gezici, “Ranging in the IEEE 802.15.4a Standard,” *IEEE Wireless and Microwave Technology Conference (WAMICON)*, Dec. 2006.
- [7] Joanes, D. N. & Gill, C. A. “Comparing measures of sample skewness and kurtosis,” *Journal of the Royal Statistical Society*, pp 183 - 189, 1998.
- [8] Ismail Guvenc, Chia-Chin Chong and Fujio Watanabe, “NLOS Identification and Mitigation for UWB Localization Systems,” *Proc. IEEE Wireless Commun. Networking Conf.(WCNC)*, pp. 1571-1576, March 2007.
- [9] A. F. Molisch et al., “IEEE 802.15.4a channel model - final report,” *IEEE 802.15 WPAN Low Rate Alternative PHY Task Group 4a (TG4a)*, *Tech Rep.*, Nov. 2004.
- [10] IEEE 802.15 Working Group for WLANs, “Draft Standard for Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPAN),” *TG4a drafting* Jan. 2007.
- [11] Jae Ho Hwang, Jong Ok Joo, Sung Jeon Jang, Jae Moun Kim, “Detection Method Using Pseudo Injured Code in LR-UWB system,” *ICEIC*, pp24-27, Jun. 2008.



저 자 소 개



장 성 진(학생회원)  
 2007년 인하대학교  
 전자공학과 학사졸업.  
 2008년 인하대학교  
 정보통신대학원 석사과정.  
 <주관심분야 : 광대역 무선전송,  
 위치인지기술>



황 재 호(학생회원)  
 2006년 인하대학교  
 전자공학과 학사졸업.  
 2008년 인하대학교  
 정보통신대학원 석사졸업.  
 2008년 인하대학교  
 정보통신대학원 박사과정.  
 <주관심분야 : UWB, 무선인지기술, 통신공학>



최 낙 현(학생회원)  
 2007년 인하대학교  
 컴퓨터공학과 학사졸업.  
 2008년 인하대학교  
 정보통신대학원 석사과정.  
 <주관심분야 : UWB, 무선인지기  
 술, 통신공학>



김 재 명(중신회원)  
 1974년 한양대학교 전자공학과  
 학사  
 1981년 미국 남가주대학교(USC)  
 전기공학과 석사  
 1987년 연세대학교 전자공학과  
 박사  
 1974년 3월~1979년 6월 한국과학기술 연구소,  
 한국통신기술연구소 근무  
 1982년 9월~2003년 3월 한국전자통신연구원  
 위성통신연구단장/  
 무선방송연구소 소장 역임  
 2003년 4월~현재 인하대학교 정보통신대학원  
 원장/교수,  
 2008년 현재 통신위성 우주산업연구회 회장 외  
 기술자문으로 다수 활동 중  
 <주관심분야 : 광대역 무선전송, 이동통신 및 위  
 성통신, 디지털 방송분야>