

교정된 전파전파 모델에 기반한 WLAN 측위 기법

A Location Technique Based On Calibrated Radio Frequency Propagation Model For Wireless Local Area Networks

김희성, 심주영, 최완식, 이형근*

(Hee-Sung Kim, Ju-Young Shim, Wan Sik Choi, and Hyung Keun Lee)

Abstract : This paper proposes an efficient location technique to find an indoor location under the IEEE 802.11 wireless local area networks. The proposed method is based on the range measurements obtained from a simple radio frequency propagation model. Thus, unlike the radio frequency fingerprint correlation method, it does not suffer from the computational burden during the real-time location service period and can quickly reply the location requests of many users at the same time. To increase the location accuracy in spite of the frequent non-line-of-sight error occurrences, the proposed method calibrates the distortion of the non-line-of-sight error by a simple measurement surveying procedure that does not require the surveyor's manual interaction. Experimental results show the capability of the proposed method.

Keywords : wireless, indoor, location, local area network, non-line-of-sight error

1. 서론

측위 기술은 향후 미래사회에 전개될 다양한 IT 기술의 근간으로서 그 중요성이 날이 갈수록 더욱 중요하게 부각되고 있으며 이로 인하여 CDMA [1-5], 초음파 [6-9], RFID [10], WiBro [11], 그리고 UWB [12-15] 등의 다양한 인프라를 활용한 측위 기술이 현재에도 활발히 연구되고 있다. 이와 더불어 언제 어디서나 편리하게 유용한 정보에 접속할 수 있도록 하여 주는 IEEE 802.11 WLAN 인프라는 근래에 들어 통신을 위한 무선 접속 뿐 아니라 향후 측위를 위한 인프라로 손쉽게 활용될 수 있음이 알려지면서 활발히 연구되기 시작하였다[16-27].

측위를 목적으로 선택 가능한 인프라가 다양함에도 불구하고 WLAN 인프라가 다른 측위 인프라에 비하여 중요하게 인식되는 것은 WLAN 인프라가 이미 널리 전개되어 있기 때문이다. WLAN 인프라는 이미 사무실 및 가정 등 일상적인 생활 주변에서 쉽게 발견할 수 있다. 이와 같은 가용성에 힘입어 WLAN 실내 측위기술은 대표적 실외 측위 기술인 GPS/GNSS와 함께 앞으로 다가올 다양한 미래 IT 기술들에서 그 필요성이 제기될 실내의 연속측위 기술의 근간으로 가장 널리 활용되리라 예견되고 있다.

WLAN은 1980년대 말 미국의 Proxim사와 Symbol사 등의 무선기기 회사에서 처음으로 사업화 하였으나 다양한 방식이 난립하여 일반화되지 못했으며, 1999년 9월 미국 WLAN 협회인 WECA(Wireless Ethernet Capability Alliance; 2002년 Wi-Fi로 변경)가 표준으로 정한 IEEE802.11b와 호환되는 제품에 Wi-Fi 인증을 부여한 뒤 급속하게 성장하게 되었다. 2007년

기준, 기술표준 사용모델이 IEEE802.11g까지 진행되었으며, 전송속도도 54Mbps까지 가능하다. 초기의 전파 도달거리는 10m에 불과했으나 2000년대에 들어와서는 50~200m 정도까지 늘어났다.

Intel Placelab [25]이나 Skyhook [26]의 예에서 알 수 있듯이 WLAN 신호세기의 측정정보는 실내 뿐 아니라 실외에서도 사용이 가능하다. WLAN 신호세기를 활용하여 실내의 다양한 전파환경 하에서도 비교적 효율적이고 정확한 위치를 계산할 수 있는 측위 알고리즘이 선별 개발되면 향후 다양한 지상파 기반 시스템의 측위 기법으로도 확장 활용이 가능하리라 예상된다.

본 논문에서는 향후 끊김없는(seamless) 실내의 연속측위 기술을 구현하기 위하여 전파모델(propagation model)에 기반한 측위 방식 [5,16-18]을 효율적으로 수행할 수 있는 새로운 측위 기법을 제안하고자 한다. 전파모델에 기반한 측위 방식은 위치지문 상관기법 [19-26]과 더불어 신호세기 측정치를 활용한 측위에 널리 활용될 수 있는 방식이며 위치지문 상관기법에 비하여 실시간 위치 계산 단계에서 연산량이 매우 작은 장점이 있다. 반면, 기존의 연구에 의하여 알려진 바와 같이 전파전파 모델식을 활용한 측위에 있어서는 다양한 실내 구조물의 존재, 개형, 그리고 재질의 다양성 등으로 인하여 비시선각 오차의 영향을 크게 받게 된다[5,17,18].

비시선각 오차의 보정을 위하여 기존에 별도의 교정용 신호세기 수신기를 정확하게 알려진 위치에서 설치하거나, 서비스 대상 지역을 보행하면서 밀도 높게 분포된 기준 지점들에서 교정용 신호세기를 측정하는 기법들이 연구되어 왔으나 수집 및 준비 단계에서 특별한 사양의 하드웨어 혹은 인력소모와 비용에 대한 부담이 크므로 이에 대한 개선이 요구되어 왔다.

본 논문에서 제안된 비시선각 오차 공간모델을 활용한 측위 기법은 지역좌표계에서 다수의 알려진 위치에 일반적인 사양의 WLAN AP(access point)를 설치한 후 적용이 가능하다. 준비단계에서 사용자는 이동기기를 각 AP의 근방에 위치시킨 후 신호세기 측정치를 수집하면 준비단계가 종료되며 이

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 5. 15., 채택확정 : 2008. 6. 30.

김희성, 심주영, 이형근 : 한국항공대학교

(hskim07@kau.ac.kr/flying37@paran.com/hyknlee@kau.ac.kr)

최완식 : 한국전자통신연구원(choiws@etri.re.kr)

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT 원천기술개발 사업의 일환으로 행하였음[2007-F-040-01, 실내의 연속측위 기술 개발].

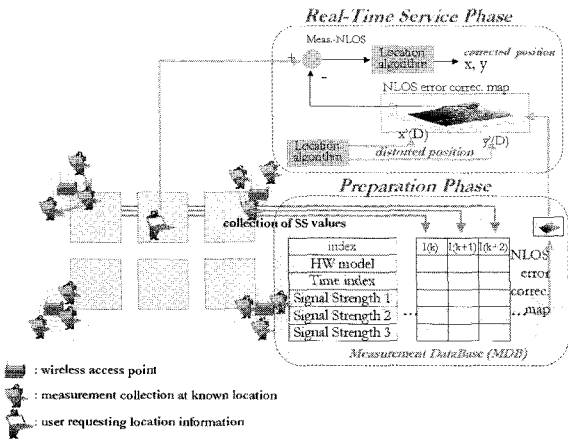


그림 1. 제안된 방법의 구현 개형.
Fig. 1. Implementation configuration of the proposed method.

와 관련된 운용 개형은 그림 1에 나타나 있다. 제안된 방법은 기존의 방법에 비하여 준비단계에서 사용자가 별도로 측정치가 수집된 지점을 표시하거나 입력하여 줄 필요가 없으며, 설치된 AP들이나 사용자가 활용하는 이동기기가 동일 사양의 제품이 아니더라도 적용이 가능하며, 간단한 보정 절차를 통하여 개선된 정확도를 지닌 위치해를 신속하게 생성할 수 있도록 보조할 수 있는 장점을 가지므로 비교적 넓은 응용분야에 손쉽게 적용이 가능하다. 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 먼저 가시선이 확보된 경우에 적용 가능한 전파전파 모델 기반 WLAN 측위 방식에 대하여 설명한 후 제안된 방법을 설명한다. III장에서는 실험을 통하여 비시선각 오차가 빈번하게 발생하는 경우에도 제안된 방법을 통하여 측위 성능의 향상을 가져올 수 있음을 보인다. 마지막으로 결론을 맺도록 한다.

II. 전파전파 모델을 활용한 WLAN 측위

1. 가시선이 확보된 경우의 WLAN 측위

전파전파 모델을 활용한 실외 측위에 있어서는 Okumura-Hata 모델 [28,29], Lee 모델 [30], Walfisch-Bertoni 모델 [31], 그리고 COST 231 모델 [32] 등과 같이 전파전파(radio propagation)에서의 경로손실(path loss) 모델들이 주로 활용된다. 수신 안테나로부터 신호세기가 측정되면 이들 모델이 묘사하는 신호세기와 송수신 안테나 사이의 거리 관계를 이용하여 ranging 신호와 유사하게 수신 안테나(이동기기)의 위치 계산에 활용되게 된다.

이에 비하여 WLAN신호세기를 활용한 실내 측위의 경우에는 가시선이 확보된 j -번째 AP에 대한 이동기기의 수신 신호세기에 대하여 다음의 일반적인 관계식이 널리 활용되고 있다[16-18,22,33,34].

$$P_j = P_{j_0} + 10n \log \left(\frac{d_j}{d_{j_0}} \right) + v_j \quad (1)$$

여기서
 (P_{j_0}, d_{j_0}) : AP로부터 d_{j_0} 거리에서 측정된 신호세기 P_{j_0}
 P_j : 측정된 신호세기 (dBm 단위)
 n : 신호세기 감쇄율

v_j : 측정잡음
 사용자로부터 j -번째 AP까지의 거리벡터 d_j 에 대하여 신호세기 측정치 P_j 를 거리단위 y_j 로 환산하고 활용 가능한 모든 AP에 대하여 벡터의 형태로 누적하면 다음의 식을 얻게 된다.

$$Y = D + N \quad (2)$$

여기서

$Y = [y_1, y_2, \dots, y_j]^T$: 거리단위로 환산한 측정치
 $D = [d_1, d_2, \dots, d_j]^T$: 각 AP로부터의 수신기까지의 이상적인 거리
 $N = [n_1, n_2, \dots, n_j]^T$: 측정잡음 (거리단위) (3)

(2)에 나타난 거리단위 환산 측정치 Y 를 활용하여 다음에 나타난 (4)를 $\|\Delta X\|$ 의 크기가 매우 작아질 때까지 반복 수행하면 비시선각 오차가 고려되지 않은 위치 추정치 \hat{X}_u 를 생성할 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{X}_u(new) &= \hat{X}_u(old) + \Delta X \\ \Delta X &= (G^T G)^{-1} G^T (Y - \hat{Y}) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서

$\hat{Y} = [\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_j]^T$: 추정된 사용자 위치에 의하여 산출된 거리 추정치
 $G = \begin{bmatrix} X_1 - \hat{X}_u & X_2 - \hat{X}_u & \dots & X_j - \hat{X}_u \\ \hat{d}_1 & \hat{d}_2 & \dots & \hat{d}_j \end{bmatrix}^T$: 계수행렬
 $\{X_j\}_{j=1,2,\dots,j}$: AP의 위치

2. 비시선각 오차를 고려한 WLAN 측위

실내 환경은 신호 벽과 구조물이 빈번하게 발생하므로 각 AP로부터 송신되어 이동기기로 수신된 신호세기는 비시선각 오차의 영향을 받게 된다. 따라서, 단순히 (1)-(4)에 근거하여 사용자의 위치 \hat{X}_u 를 추정하게 되면 참값에 수렴하지 않고 왜곡된다.

비시선각 오차에 의한 추정 위치의 왜곡을 완화하기 위하여 제안된 측위 기법에서는 (1) 대신에 비시선각 오차가 고려된 (5)를 활용하게 된다.

$$P_j = P_{j_0} + 10n \log \left(\frac{d_j + NLOS_j}{d_{j_0}} \right) + v_j \quad (5)$$

여기서

$NLOS_j$: j -번째 AP에 대한 비시선각 오차
 (5)와 연계하여 사용자의 위치 추정치를 얻기 위하여 각 AP에 대하여 수신된 신호세기값들은 거리단위로 환산되어 벡터의 형태로 (6)과 같이 누적된다.

$$Y = D + NLOS + N \quad (6)$$

여기서

$NLOS = [NLOS_1, NLOS_2, \dots, NLOS_j]^T$: 비시선각 오차 벡터
 전파전파모델을 활용한 측위에 있어서 비시선각 오차에

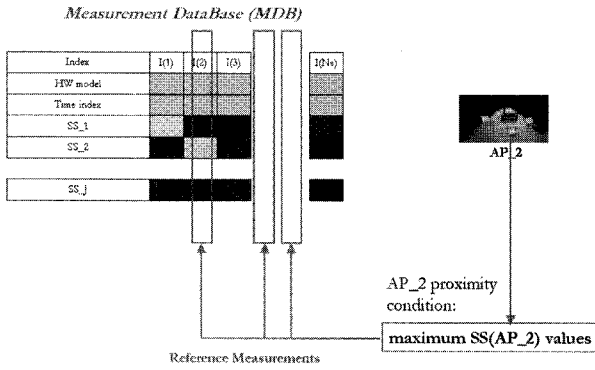


그림 2. 측정치 데이터베이스로부터 특정 AP에서 수집된 기준 측정치를 추출하는 과정.

Fig. 2. Procedure to extract the reference measurements sampled in the neighborhood of a specific access point.

의한 사용자 위치 추정치의 왜곡을 완화하기 위해서는 실제 측정값들을 활용한 비시선각 오차의 교정(calibration)이 반드시 필요하다. 제안된 기법에서는 비시선각 오차의 교정을 위하여 그림 1에 나타난 바와 같이 각 AP에 대하여 거리 d_{j0} 이내의 영역에서 측정치들은 수집하여 측정치 데이터베이스(Measurement Database; MDB)에 저장하게 된다.

측정치 수집이 완료되면 측정치 데이터베이스의 각 원소는 동일한 시점 동일한 장소에서 측정된 모든 AP에 대한 신호세기를 포함하게 된다. 제안된 측정치 데이터베이스의 기본 구성은 기존의 방법과 달리 각 측정치가 수집된 지점의 명시된 좌표값을 포함하지 않고 있다. 따라서, 수집 과정 중에 측정치가 수집된 지점의 좌표값을 별도의 장치를 활용하여 산출하거나 지도에 입력하는 번거로운 과정을 필요하지 않게 된다.

측정치 수집 및 측정치 데이터베이스의 구축이 완료된 시점에서 비시선각 오차의 교정에 필요한 기준 측정치와 기준 위치를 자동적으로 산출되게 된다. 이를 위하여 측정치 데이터베이스의 각 원소를 대상으로 각 AP에 대한 최대값을 나타내는 N개의 원소들을 검색하게 된다. 그림 2에는 AP_2에 대한 최대 신호세기를 나타내는 측정치 데이터베이스의 원소들을 추출하는 과정을 나타내고 있다.

j -번째 AP에 대하여 최대 신호세기를 나타내는 추출된 N개의 최대 신호세기 원소들은 그림 2에 도시된 바와 같이 가시선이 확보된 상황에서 수집된 측정치들에 해당된다. 이들의 평균값을 구하면 k -번째 기준위치에서 측정된 j -번째 AP에 대한 기준 측정 신호세기 $P_{ref}(k, j)$ 를 환산할 수 있게 된다.

$P_{ref}(k, j)$ 에 대하여 (1)을 활용하면 기준 측정 거리 $y_{ref}(k, j)$ 가 산출된다. 이에 덧붙여, 알려진 AP들의 위치를 활용하여 j -번째 AP와 k -번째 AP 사이의 거리를 구하면 $d_{ref}(k, j)$ 가 산출된다. 각 AP에 대하여 이와 같은 과정을 동일한 측정치 데이터베이스에 대하여 반복하게 되면 비시선각 보정 지도의 생성에 필요한 기준 정보 $\{d_{ref}(k, j), y_{ref}(k, j)\}_{k=1,2,\dots,J}^{j=1,2,\dots,J}$ 가 생성되게 된다.

생성된 기준정보를 활용하여 k -번째 기준위치에 측정된

거리벡터 $y_{ref}(k, :)$ 를 추출하면 다음과 같이 정리된다.

$$y_{ref}(k, :) = [y_{ref}(k, 1) \ y_{ref}(k, 2) \ \dots \ y_{ref}(k, J)] \quad (7)$$

$y_{ref}(k, :)^T$ 에 대하여 (4)를 적용하면 비시선각 오차가 고려되지 않은 왜곡된 기준 위치 $\{\hat{X}_k\}_{k=1,2,\dots,J}$ 가 얻어지게 된다.

왜곡된 기준 위치에 덧붙여 모든 AP 신호에 대하여 비시선각 오차의 추출을 위하여 j -번째 AP에 대한 측정 거리벡터 $y_{ref}(:, j)$ 와 이상적인 거리벡터 $d_{ref}(:, j)$ 를 추출하면 다음과 같이 정리된다.

$$y_{ref}(:, j) = [y_{ref}(1, j) \ y_{ref}(2, j) \ \dots \ y_{ref}(J, j)]^T \quad (8)$$

$$d_{ref}(:, j) = [d_{ref}(1, j) \ d_{ref}(2, j) \ \dots \ d_{ref}(J, j)]^T$$

(7)과 (8)에 나타난 바와 같이 각 AP에 대하여 추출된 기준 측정치들과 비시선각 오차의 공간적 상관성을 활용하면 AP 신호가 도달하는 영역 내 임의의 위치에서 발생하는 비시선각 오차를 추정할 수 있도록 하여 준다.

각 AP의 근방에서 추출된 기준값들을 활용하여 j -번째 AP에 대한 각 측정치에 존재하는 비시선각 오차의 공간구조 $\hat{\beta}_j$ 및 사용자 위치에서의 비시선각 오차 보상치 \widehat{NLOS}_j 를 사용자 위치에서 측정된 거리 환산 측정치 성분 y_i 에 다음과 같이 보상하여 준다.

$$\check{y}_k = y_k - \widehat{NLOS}_j = \|X_k - X_j\| + \varepsilon_k \quad (9)$$

여기서

$\check{Y} = [\check{y}_1 \ \check{y}_2 \ \dots \ \check{y}_j]^T$: 비시선각 오차가 보상된 거리단위 환산 측정치

$\widehat{NLOS} = [\widehat{NLOS}_1 \ \widehat{NLOS}_2 \ \dots \ \widehat{NLOS}_J]^T$
: 추정된 비시선각 오차 벡터

$$\check{y}_j = y_j - \widehat{NLOS}_j = d_j + \varepsilon_j$$

$$\widehat{NLOS}_j = s^T C^{-1} [y_{ref}(:, j) - d_{ref}(:, j) - H \hat{\beta}_j] + h_u(\hat{X}_u) \hat{\beta}_j$$

$$\hat{\beta}_j = [H^T C_1^{-1} H]^{-1} H^T C^{-1} [y_{ref}(:, j) - d_{ref}(:, j)]$$

$$C := \begin{bmatrix} \gamma(\hat{X}_1, \hat{X}_1) & \gamma(\hat{X}_1, \hat{X}_2) & \dots & \gamma(\hat{X}_1, \hat{X}_J) \\ \gamma(\hat{X}_2, \hat{X}_1) & \gamma(\hat{X}_2, \hat{X}_2) & \dots & \gamma(\hat{X}_2, \hat{X}_J) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma(\hat{X}_J, \hat{X}_1) & \gamma(\hat{X}_J, \hat{X}_2) & \dots & \gamma(\hat{X}_J, \hat{X}_J) \end{bmatrix}$$

$$s := \begin{bmatrix} \gamma(\hat{X}_u, \hat{X}_1) \\ \gamma(\hat{X}_u, \hat{X}_2) \\ \vdots \\ \gamma(\hat{X}_u, \hat{X}_J) \end{bmatrix}, \quad H := \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_J \end{bmatrix}$$

$$h_k = [1 \ (\hat{X}_k - \hat{X}_j)^T], \quad h_u(\hat{X}_u) = [1 \ (\hat{X}_u - \hat{X}_j)^T]$$

$$\gamma(\hat{X}_i, \hat{X}_j) = E[\varepsilon(\hat{X}_i)\varepsilon(\hat{X}_j)] = c_0 \exp\left[-\frac{\|\hat{X}_i - \hat{X}_j\|}{\tau_d}\right]$$

$c_0 = E[\varepsilon^2]$: ε 의 자기 상관값 (auto-correlation)

τ_d : ε 의 상관거리(correlation distance)

ε : 비시선각 오차에 대한 추출 오차

비시선각 오차가 보상된 측정치 \bar{Y} 를 활용하여 다음의 과정을 $\|\Delta X_c\|$ 의 크기가 매우 작아질 때까지 반복하여 실행하면 (4)에 비하여 비시선각 오차의 효과가 보상된 위치해 \hat{X}_{uc} 를 최종적으로 다음과 같이 얻을 수 있게 된다.

$$\begin{aligned} \hat{X}_{uc}(new) &= \hat{X}_{uc}(old) + \Delta X_c \\ \Delta X_c &= (G^T G)^{-1} G^T (\bar{y} - \hat{y}) \end{aligned} \quad (10)$$

실시간 위치 계산을 위해서 수행되는 (9)에 있어서 계산량 관점에서 가장 큰 부담이 되는 부분은 C의 역행렬 계산이 된다. 이는 이동기기의 위치에 관계없이 추출오차 ε 의 상관거리 τ_d 와 자기상관값 c_0 에 의존하므로 준비단계 종료 시점에서 미리 계산되어 저장될 수 있다. 이에 비하여 현재 WLAN 기반 측위에 널리 활용되고 있는 위치지문 상관기법은 다량의 기준지점에서 수집된 기준측정치들 각각에 대하여 이동기기의 측정값을 모두 상관하여 상관계형을 먼저 얻어야 하며 이후 상관값이 가장 높은 측정치를 검색한 후 얻어진 기준 지점을 이동기기의 위치로 추정하게 된다. 따라서 제안된 측위기법은 실시간 위치 서비스 시점에서 위치지문 상관기법에 비하여 상대적으로 더 빠른 시간내에 이동기기의 위치요청에 응답할 수 있음을 알 수 있다.

III. 실험

제안된 측위 방식의 성능을 평가하기 위하여 실측 측정치를 활용한 실험을 수행하였다. 그림 3은 실험이 수행된 한국항공대학교 전자관 3층의 단면도를 나타낸다. 전체 건물의 단면은 가로 74m 세로 19.5m에 해당된다. 실험 건물 개형에서 복도와 같이 시선 조건이 비교적 양호한 지역은 신호도달이 건물의 끝에서 다른 쪽 끝까지 (74m) 가능하지만 시선 방향 신호가 벽에 의하여 가로막힌 상황을 고려하고 실험의 간략화를 위하여 그림에서 점선 사각형으로 표시된 일부 지역에 국한하여 실험을 수행하였다. 실험지역의 확대도와 실내 환경은 그림 4에 나타나 있다.

본 실험의 결과들은 AP 신호의 최대 도달 거리를 모두 활용하지 않고 각 AP 신호의 도달거리가 30m 이내의 비교적 제한된 지역에서 실시된 실험결과를 제시하였으며 상대적으로 먼 거리에 있는 AP를 활용할 경우 성능이 열화될 가능성이 존재함을 미리 밝혀둔다. 또한 실험 지역에 있어서 AP의 위치는 각 모퉁이에 설치되어 비교적 DOP 조건이 좋은 상

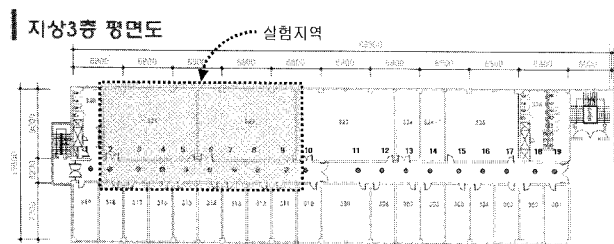


그림 3. 실험이 수행된 한국항공대 전자관 3층의 평면도.
Fig. 3. Top view of the 3rd floor of building of the school of electronics and telecommunication, Korea aerospace university.

황이었음을 밝혀둔다. 실험에 있어서 비시선각 오차를 제외한 잡음 효과를 감소시키기 위하여 준비단계에서 추출된 신호세기 측정치는 20회 정도의 측정치를 평균하여 활용하였다. 이는 이동기기의 종류에 따라 10초-20초의 수집시간에 해당되는 것이다. 그림 5는 실험지역에서 나타나는 각 AP에

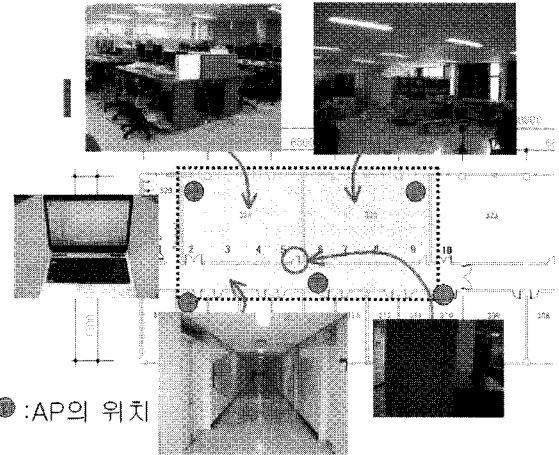


그림 4. 실험이 수행된 지역의 실내 환경.
Fig. 4. Indoor environment of the experiment area.

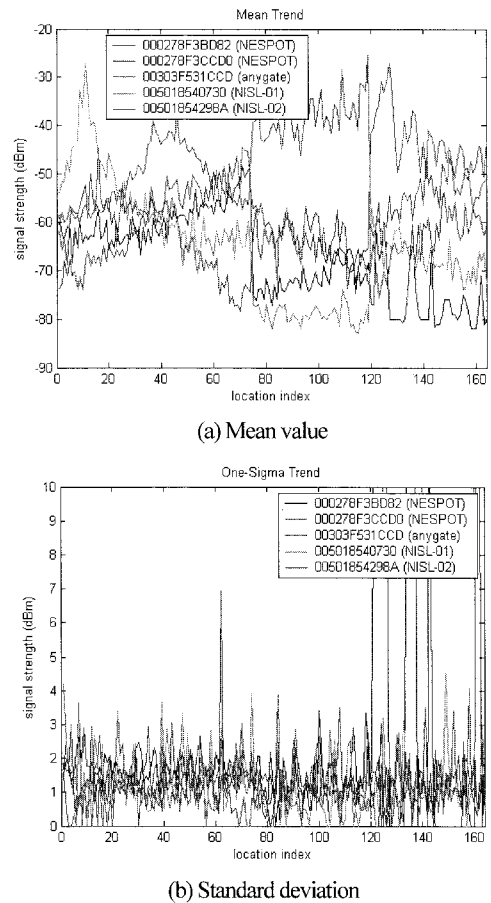
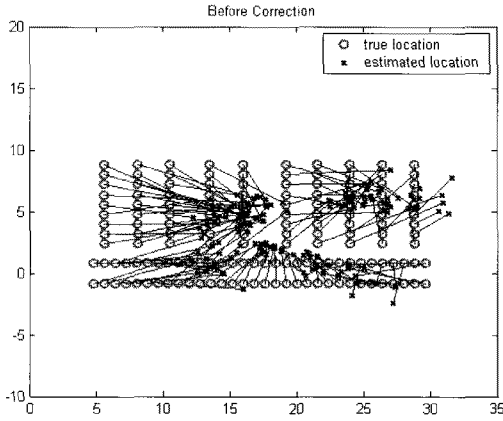
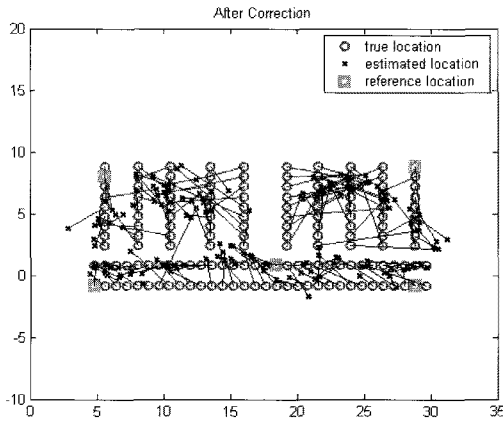


그림 5. 측위신호 수집 각 지역에서 AP 수신신호세기의 평균과 표준편차의 경향.
Fig. 5. Trend of the mean and standard deviation values of the signal strength.



(a) Without non-line-of-sight error correction



(b) With non-line-of-sight error correction

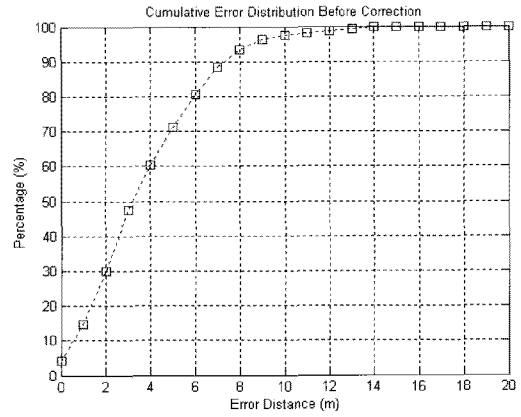
그림 6. 실험 결과: 참위치와 추정된 위치의 분포.
Fig. 6. Experiment results: distribution of true and estimated locations.

대한 수신 신호세기의 평균과 표준편차를 나타낸 것이다. 반면, 이동기기의 경우에는 3초간의 측정치를 평균하여 활용하였다.

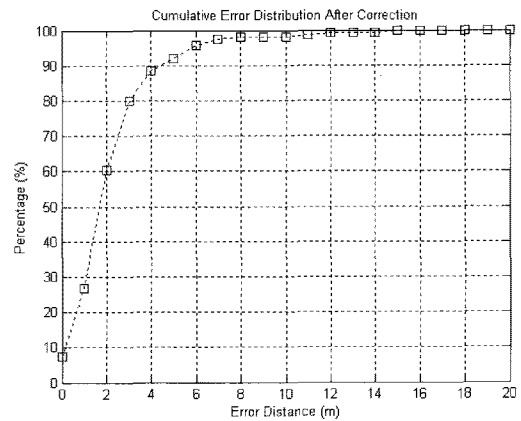
그림 6은 신호세기를 거리 단위로 환산한 다음 신호 전파 모델을 활용하고 삼변법에 기반하여 측위를 수행한 결과를 나타낸다. 그림 6에서 (a)는 기준지점에 의한 보정치를 적용하지 않은 결과를 나타내며 (b)는 5개의 기준지점에 의하여 보정치를 적용한 결과를 나타낸다. 비시선각 오차 보상을 위하여 (9)에서 나타난 주요 변수는 $1 \leq c_0 \leq 10$, $5 \leq \tau_d \leq 20$ 의 영역에서 다양한 값들이 적용되었으나 전체적인 경향은 크게 다르지 않음을 확인하였다. 이후 제시될 사항들은 다음의 값들을 활용한 결과에 해당된다.

$$c_0 = 5 \text{ (m}^2\text{)}, \tau_d = 10 \text{ (m)}$$

그림 6(b)에서 □ 기호로 표시된 기준 지점들은 측위에 활용된 AP가 설치된 지점을 표시한다. 그림 6(a)에 나타난 바와 같이 추정된 위치는 크게 복도, 301호, 그리고 302호에 해당되는 세 그룹으로 무리지어 있음을 확인할 수 있으며, 이들이 비시선각 오차에 영향을 받아 편향되어 있음을 알 수 있다. 반면 비시선각 오차의 공간적 상관성을 이용하여 기준 지점의 측정치를 기반으로 측정치를 보정한 경우에는 우측



(a) Without non-line-of-sight error correction



(b) With non-line-of-sight error correction

그림 7. 실험 결과: 오차거리 누적분포도.
Fig. 7. Experiment results: accumulated error distance plots.

그림 6(b)에 나타난 바와 같이 같이 비시선각 오차의 영향이 크게 감소되어 추정된 위치가 실제 위치에 해당되는 방과 복도 지역 내에 전반적으로 잘 분포됨을 확인할 수 있다.

그림 7은 기준지점에 의하여 측정치 보정을 하기 전과 보정을 한 후의 오차누적분포를 각각 나타낸다. 그림 7(a)에 의하면 측정치 보정을 하지 않은 경우 오차반경이 약 3.1m (CEP)이며 이는 보정되지 않은 AP와 각 mobile client 사이에 존재하는 벽에 의하여 발생하는 NLOS 오차의 영향으로 분석할 수 있다. 반면, 그림 7(b)에 의하면 기준지점에서의 측정치를 기반으로 추정된 NLOS 오차를 이동기기의 측정치 보정에 활용하면 개선된 오차분포도를 얻을 수 있음을 알 수 있으며 보정된 위치 추정치들의 오차반경은 약 1.8m (CEP)를 나타남을 확인할 수 있다. 이로부터 제안된 방법이 비시선각 오차를 효과적으로 추정 및 보상할 수 있음을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문은 실내 IEEE 802.11 wireless local area network 환경 하에서 각 이동기기가 수신한 신호세기를 거리정보로 환산하여 정확한 위치를 추정하는 기법을 제안하였다.

제안된 기법은 최소화된 측정치 전조사로부터 비시선각 오차의 공간 구조를 추정하고, 실시간 위치 서비스 단계에서

각 이동기기가 취득한 측정치에 기반하여 왜곡된 위치 추정치를 얻은 후, 왜곡된 위치에 해당하는 비시선각 오차를 보정하여 위치 정확도를 향상 시키는 과정으로 구성된다.

실제 취득된 측정치들을 활용한 실험을 통하여 제안된 기법이 비시선각 오차가 빈번하게 발생하는 실제 환경에서도 측위 성능의 향상에 유용하게 활용될 수 있음을 확인하였다.

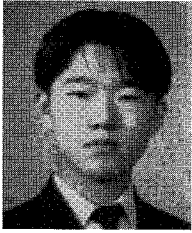
비시선각 오차의 본질적인 원인은 공간적인 구조물에 기인한 전파 전달 경로의 왜곡에 의한 것이므로 기초연구 결과에 해당되는 본 논문에서는 비시선각 오차의 공간적인 구조만을 다루었다. 반면, 보다 포괄적인 응용을 위하여 본 논문의 내용은 이후 시공간적 변화를 모두 포괄할 수 있는 방향으로 연장될 계획이다. 또한, 충분한 성능 검증을 위하여 다양한 구조물 및 재질로 구성된 환경에서의 실험이 추가되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] J. Caffery Jr and G. Stuber, "Subscriber location in CDMA cellular networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 47, pp. 406-416, 1998.
- [2] W. Kim, J. G. Lee, and G-I Jee, "Direct estimation of NLOS propagation delay for mobile station location," *Electronics Letters*, vol. 38 no. 18 pp.1056-1057, Aug. 2002.
- [3] H. K. Lee and C. Rizos, "A framework for calibrating NLOS error to support LBS in urban environments," *Proceedings of 2003 International Symposium on GPS/GNSS*, Tokyo, Japan, pp. 69-78, Nov. 2003.
- [4] 이형근, 심주영, 김희성, "저해상도 CDMA 파일럿 신호 세기를 활용한 새로운 측위기법의 성능 검증," 한국항해학회 논문지, vol. 11, no. 2, pp. 154-162, 2007.
- [5] H. K. Lee, J. Y. Shim, H. S. Kim, B. Li, and C. Rizos, "Feature extraction and spatial interpolation for improved wireless location sensing," *Sensors*, vol. 8, pp. 2865-2885, 2008.
- [6] A. Harter, A. Hopper, P. Steggles, A. Ward, and P. Webster, "The anatomy of a context-aware application," *Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom 1999)*, Seattle, WA (ACM Press) pp. 59-68, August 1999.
- [7] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, "The Cricket location-support system," *Proceedings of MOBICOM 2000*, Boston, MA (ACM Press) pp. 32-43, August 2000.
- [8] 이형근, 심주영, 진폭변조 확산대역 초음파 측위 시스템 제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지, 제 12 권, 제 10 호, pp. 996-1001, 2006.
- [9] 이동철, 김수용, 윤강섭, 이만형, "무인 이동 로봇 위치추정을 위한 초음파 위성 시스템," 제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지, 제 13 권, 제 10 호, pp. 956 - 961, 2007.
- [10] Lionel M. Ni et al., "LANDMARC: Sensing using active RFID," *Wireless Networks*, vol. 10, Nov. 2004.
- [11] 유승수, 방혜정, 김선용, 공승현, 지규인, 이장규, 김진원, "와이브로(WiBro) 기반 무선측위 가능성 분석," *Telecom*.
- [12] S. Gezici et al., "Localization via ultra-wideband radios: a look at positioning aspects for future sensor networks," *IEEE signal processing magazine*, vol. 12, Issue 5, pp. 70-84, Jul. 2005.
- [13] B. Alavi and K. Pahlavan, "Modeling of the TOA-based distance measurement error using UWB indoor radio measurements," *IEEE communication letters*, vol. 10, Issue 4, Apr. 2006, pp. 275-277.
- [14] I. Oppermann et al., "UWB wireless sensor networks: UWEN - a practical example," *IEEE communication magazine*, vol. 42, Issue 12, pp. S27-S32, Dec. 2004.
- [15] 최진원, 성유석, 강준성, 김성철, "신시스템 기반의 무선 측위 기법 비교 연구," *Telecommunications Review* 제 18 권 제 2 호, pp. 261-274, 2008.
- [16] Y. Chen and H. Kobayashi, "Signal strength based indoor geolocation," *IEEE International Conference on Communications*, vol. 1, pp. 436-439, May 2002.
- [17] Y. Wang, X. Jia, H. K. Lee, and G. Y. Li, "An indoor wireless positioning system based on wireless local area network," *Proceedings of The 6th International Symposium on Satellite Navigation Technology Including Mobile Positioning & Location Services*, Melbourne, Australia, paper 54, July 2003.
- [18] 최재원, 측위 기준점의 무선랜 신호세기를 이용한 실내 측위, 서울대학교 박사학위논문, 2006.
- [19] P. Bahl and V. Padmanabhan, "RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system," *IEEE INFOCOM*, vol. 2, Israel, pp. 775-784, Mar. 2000.
- [20] M. A. Youssef, A. Agrawala, and A. U. Shankar, "WLAN location determination via clustering and probability distribution," *IEEE Int'l. Conf. On Pervasive Computing and Communications*, pp. 143-150, Mar. 2003.
- [21] B. Li, Y. Wang, H. K. Lee, A. Dempster, and C. Rizos, "Method for yielding a database of location fingerprints in WLAN," *IEE Proceedings-Communications*, vol. 152, no. 5, pp. 580-586, 2005.
- [22] M. Ocana, L. M. Bergasa, M. A. Sotelo, J. Nuevo, R. Flores, "Indoor robot localization system using WiFi signal measure and minimizing calibration effort," *Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, vol. 4, pp. 1545 - 1550, Jun 20-23, 2005.
- [23] 최희동, 안와 나즐레이브, 박용완, 최정희, "무선랜 기반의 실내 측위 시스템을 위한 신호 세기 예측 모델에 관한 연구," *Telecommunications Review* 제 18 권 제 2 호 pp. 248-260, 2008.
- [24] <http://www.ekahau.com/?id=4200/>
- [25] <http://www.placelab.org/docs/>
- [26] <http://www.skyhookwireless.com/howitworks/>
- [27] 김학용, "무선랜 기반 위치정보 서비스," *Sktelecommunication Review*, 제 16 권, 제 2 호, pp. 188-202, 2006.
- [28] Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano, and K. Fukuda, "Field strength and its variability in VHF and UHF land-mobile radio-service," *Rev. Elec. Commun. Lab.*, vol. 15, pp. 825-873, 1968.
- [29] M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services," *IEEE Tr. Vehicular Tech.*, vol. 29, pp. 317-325, '980.
- [30] W. C. Y. Lee, *Mobile Communication Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1982.
- [31] J. Walfisch and H. L. Bertoni, "A theoretical model of UHF propagation in urban environments," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 36, no. 12, pp. 1788-1796, 1998.
- [32] *Urban Transmission Loss Models for Mobile Radio in the 900 and 1800 MHz Bands*, COST 231, TD(91)73, September 1991.
- [33] J. B. Anderson, T. S. Rappaport, and S. Yoshida, "Propagation

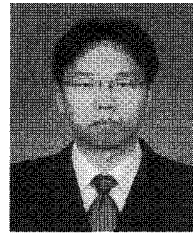
measurements and models for wireless communication channels," *IEEE Communications Magazine*, November 1994.

[34] J. C. Stein, *Indoor Radio WLAN Performance*, Intersil Corporation.



김희성

2006년 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사). 2007년~현재 한국항공대학교 석사과정. 관심분야는 항법 및 측위 시스템, 초고정밀 GPS/GNSS 수신기 망.



심주영

2004년 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사). 2006년 한국항공대학교(석사). 2006년~현재 한국항공우주연구원. 관심분야는 관성항법알고리즘, 초음파 측위 시스템, GPS/GNSS.



최완식

1990년 성균관대학교 기계공학과(공학사). 1986년 University of Alabama 기계공학과 제어전공(석사). 1992년 University of Alabama 기계공학과 제어전공(박사). 1979년~1984년 국방과학연구소. 1992년 6월~현재 한국전자통신연구원. 관심분야는 Seamless 측위기술, 위치기반기술(텔레매틱스/LBS), 최적제어.



이형근

1990년 서울대 제어계측공학과(공학사). 1994년 서울대 제어계측공학과(석사). 2002년 서울대 전기컴퓨터공학부(박사). 1994년~1998년 현대우주항공(주). 2003년~현재 한국항공대학교 항공전자및정보통신공학부(조교수). 관심분야는 항법 및 측위시스템, LBS, ITS, 추정이론.