

수신 신호세기 기반 무선 측위를 위한 Hybrid Kriging 알고리즘

Hybrid Kriging Algorithm For Localization Based On Received Signal Strength Measurements

이형근*, 김희성*, 심주영*, 한형석**

Hyung-Keun Lee*, Hee-Sung Kim*, Ju-Young Shim* and Hyung-Seok Han**

요 약

IEEE 802.11 WLAN 표준에 근거한 수신 신호세기 측정치에 기반하여 무선 측위를 수행함에 있어서 이기종 이동기기 수신 감도 문제는 이동기기의 종류가 다양해짐에 따라 중요한 문제로 인식되고 있다. 본 논문에서는 이기종 이동기기 수신 감도 문제를 효과적으로 극복할 수 있는 Hybrid Kriging 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 성능을 분석하였다. 시뮬레이션과 실험 결과에 의하면 동일한 기준 측정치가 주어진 경우 제안된 Hybrid Kriging 알고리즘이 현재 널리 활용되고 있는 위치 지문 알고리즘에 비하여 이동기기 수신 신호세기 바이어스가 존재하는 경우에도 보다 더 정확한 위치해를 생성할 수 있음을 알 수 있었다.

Abstract

For effective wireless localization utilizing signal strength measurements based on IEEE 802.11 WLAN standard, diversity of mobile hardware characteristics of is one of the important problems to be considered for advanced location-based services. For improved accuracy regardless of a bias originating from the mobile hardware characteristics, this paper proposes a new localization algorithm, which is named as the hybrid Kriging algorithm. To evaluate the performance characteristics of the proposed algorithm, simulation and experiment results are illustrated. By the simulation and experiment result, the proposed algorithm is more accurate than the well-known location finger-print method given the same density of reference measurements.

Key words : wireless, localization, WLAN, signal strength

I. 서 론

대다수 미래 IT 기술의 근간으로 무선 이동기기 위치정보가 중요시되기 시작함으로 인하여 근래에

들어 무선 측위에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 무선 측위를 위하여 CDMA (Code Division Multiple Access) [1-5], 초음파 [6-9], RFID (Radio-Frequency IDentification) [10], WiBro (Wireless Broadband internet) [11], 그리고 UWB (Ultra Wide

* 한국항공대학교 항공전자및정보통신공학부

** 경원대학교 IT대학 전자공학전공

· 제1저자 (First Author) : 이형근

· 투고일자 : 2008년 10월 8일

· 심사(수정)일자 : 2008년 10월 9일 (수정일자 : 2008년 10월 20일)

· 게재일자 : 2008년 10월 30일

Band) [12-15] 등 다양한 매체의 활용이 고려되고 있으나 이들 중 WLAN (Wireless Local Area Network)의 신호세기를 활용한 실내 측위 기술이 기존 인프라의 가용성에 힘입어 현재 가장 활발히 연구되고 있다. WLAN 신호세기를 활용한 실내 측위에 있어서 AP (access point)는 신호원의 역할을 수행하며 이동기기는 수신기의 역할을 수행한다. WLAN은 IEEE 표준에 의해서 규정되므로 제조사에서는 표준을 참조하되 다양한 방법론으로 구현할 수 있다. 구현 방법의 다양성으로 인하여 AP나 이동기기의 송신 및 수신 신호세기 및 신호감도에서 다소간의 차이점이 발생한다.

실내 측위에 활용되는 각기 다른 제조사에 의한 AP의 다양성은 각 제조사에 의하여 공지되는 AP 규격서를 참조하거나 혹은 앞선 선행연구 결과 [16]에서 설명된 바와 같이 AP에 근접해서 수신 신호세기를 측정하여 고려할 수 있다. 또한, 실내 측위에 있어서 신호원으로 활용되는 AP는 측위 서비스 제공자의 의도에 따라 선별적으로 선택될 수 있다.

반면, AP에 비하여 상대적으로 더 큰 다양성을 가지는 이동기기 수신 신호세기 특성을 고려하기 위해서는 AP와 같이 규격서를 활용하거나 혹은 알려진 신호세기를 지닌 송신원에 근접하여 수신 신호세기를 직접 측정하고 기록하는 방법은 실질적인 구현에 번거로움을 크게 증가시키거나 혹은 현실적으로 구현이 어려우리라 예상된다.

이와 같이 IEEE 802.11 표준에 의하여 구현된 다양한 이동기기 하드웨어 환경은 이전의 연구에 활용된 전통적인 하드웨어 환경과는 달리 상당한 다양성을 내포하고 있다. 반면, 수신 신호세기에 의하여 이동기기의 위치를 결정하는 지금까지의 대다수 연구 결과들은 기준장치와 이동기기의 신호세기 수신 특성이 동일하다는 가정 하에서 도출된 것이라 할 수 있다. 따라서, 현재까지 연구된 WLAN 기반 실내 측위 알고리즘의 한계를 극복하고 보다 더 넓은 응용분야에 적용하기 위해서는 각 제조사별 이동기기의 다양성을 고려해야 될 필요성이 있다.

본 논문에서는 신호세기 측정치에 기반한 기존의 위치지문 방식 측위 알고리즘의 정확도를 개선하고 동시에 기준 측정치 수집 장비와 이동기기의 수신 감

도 특성의 차이점을 해결할 수 있는 새로운 형태의 측위 알고리즘을 Kriging의 원리에 의하여 유도하고 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 성능을 평가하고자 한다.

공간확률 변수 추정을 위한 Kriging은 효율적인 채광(mining)을 위하여 연구를 수행한 D. G. Krige [17, 18]의 이론을 근간으로 발전되어 왔다. Kriging의 기본적인 도구에 해당되는 variogram은 서로 다른 지점에서 발생하는 물리량 사이의 공간 상관성을 정량화한 것이다. 기존의 공간변수 추정기법들에 비하여 Kriging이 가지는 장점은 크므로 채광(mining), 토양학(soil science), 수문학(hydrology), 기상학(meteorology), 환경과학(environmental science), 그리고 농업(agriculture) 등 매우 광범위한 분야에 활용되고 있다. D. G. Krige 에 의하여 제안된 방법은 보다 상세하게는 ordinary Kriging 이라 지칭되며 이후 많은 연구자들에 의하여 indicator Kriging, block Kriging, drift Kriging, 그리고 universal Kriging 등이 제안되었다.

Kriging 이론을 WLAN 신호세기 기반 실내 측위에 적용하기 위한 시도는 [19]에서 찾을 수 있다. 실내 측위를 위하여 가장 널리 활용되고 있는 위치지문 방식의 구현에 있어서 가장 번거로운 사항으로 지적되고 있는 문제점은 밀도높은 기준 측정치 수집 문제이다. 밀도 높은 기준 측정치 수집을 위해서는 많은 인력과 시간이 소요되므로 이를 회피하기 위하여 [19]에서는 낮은 밀도의 기준 측정치를 수집한 다음 위치 서버에서 수집된 기준 위치 및 기준 측정치들에 대하여 Kriging 기법을 적용하여 가상의 기준 위치 및 기준 측정치들을 생성하여 이를 실제 수집된 측정치와 동일하게 취급하여 위치지문 방식의 성능을 개선하는 방법론을 제안하였다.

기존에 제안된 Kriging 이론의 측위 응용 방법에 비하여 본 논문에서 제안된 Hybrid Kriging 알고리즘은 기준 측정치 수집 장치와 이동기기의 상이한 신호 수신 특성을 극복하고 동시에 각 제조사별 이동기기의 다양성을 고려할 수 있는 장점을 가진다. 구현 방법론에 있어서도 기존의 방법은 반드시 기준 측정치를 확보한 위치 서버에서 구현되어야 하는 반면에 제안된 기법은 위치 서버 혹은 이동기기 어떤 쪽에서든 필요성에 따라 유연성 있게 이식될 수 있는 장점을 가진다.

II. Hybrid Kriging 측위 알고리즘

$$J_{cost} = E[\|Z(s_u) - \hat{Z}(s_u)\|^2] \quad (3)$$

2-1 Kriging 추정 이론

Kriging 이론에 기반한 추정기의 종류는 ordinary Kriging, indicator Kriging, block Kriging, drift Kriging, 그리고 universal Kriging 등 다양하지만 Kriging 이론의 이해를 위하여 본 장에서는 이들 중 가장 포괄적 개념인 universal Kriging을 소개하고자 한다. universal Kriging 추정기의 유도는 다음과 같은 측정 모델에 기반하여 시작된다.

$$\begin{aligned} Z(s_k) &= \mu(s_k) + \nu(s_k) \\ &= \phi(s_k)^T \beta + \nu(s_k) \\ k &= 1, 2, \dots, K \end{aligned} \quad (1)$$

여기서

$Z(s_k)$: 기준위치 s_k 에서 수집된 측정치

$\mu(s_k) = \phi(s_k)^T \beta$: 공간영역 신호

$\nu(s_k)$: 측정오차 및 공간 모델링 오차

$\phi(s_k) = [1 \ \phi_1(s_k) \ \phi_2(s_k) \ \dots \ \phi_p(s_k)]^T$
: 공간 기저 벡터

$\beta = [\beta_0 \ \beta_1 \ \beta_2 \ \dots \ \beta_p]^T$: 공간 계수 벡터

식 (1)에 나타난 $\nu(s_k)$ 는 영평균 2차 정적 특성에 의하여 다음을 만족한다.

$$\begin{aligned} E[\nu(s_k)] &= 0, \quad E[\nu(s_k)^2] = c_{00} = q \\ E[\nu(s_k)\nu(s_l)] &= q(1 - e^{-d_{kl}}) \\ d_{kl} &= \frac{\|s_k - s_l\|}{\tau_s} : \text{환산거리} \\ \tau_s &: \text{상관거리} \end{aligned} \quad (2)$$

실제 측정되지 않은 공간영역 임의의 위치 $s_u = [x_u \ y_u]^T$ 에서의 측정값 $Z(s_u)$ 을 추정하고자 하는 universal Kriging은 다음과 같은 가격함수를 최소화하는 $\hat{Z}(s_u)$ 를 얻을 수 있는 BLUE(best linear unbiased estimator)에 해당된다.

여기서, 임의의 위치 s_u 에서의 추정값 $\hat{Z}(s_u)$ 는 다음과 같이 기준지점에서 수집된 측정치들 $\{Z(s_k)\}$ 의 조합으로 표현되어야 하며

$$\hat{Z}(s_u) = \sum_{k=1}^K \lambda_k Z(s_k) \quad (4)$$

다음과 같이 편향되지 않아야 한다.

$$E[\hat{Z}(s_u)] = E[Z(s_u)] \quad (5)$$

BLUE $\hat{Z}(s_u)$ 를 얻는 문제는 식 (4)과 식 (5)에 나타난 조건을 만족하며 식 (3)의 가격함수를 최소화하는 계수집합 $\{\lambda_k\}_{k=1,2,\dots,K}$ 를 얻는 것과 동일한 문제가 된다. 라그랑지 (Lagrange) 방법으로 최적 계수를 추출하기 위하여 식 (3)에 나타난 가격함수를 아래와 같이 변형한다.

$$\begin{aligned} J_{cost} &= E[\|Z(s_u) - \hat{Z}(s_u)\|^2] \\ &\quad + 2\rho_0 \left(\sum_{k=1}^K \lambda_k - 1 \right) \\ &\quad + 2 \sum_{j=1}^p \rho_j \left(\sum_{k=1}^K \lambda_k \phi_j(s_k) - \phi_j(s_u) \right) \\ &= c_{uu} - 2 \sum_{k=1}^K \lambda_k c_{uk} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^p \lambda_k \lambda_j c_{kj} \quad (6) \\ &\quad + 2\rho_0 \left(\sum_{k=1}^K \lambda_k - 1 \right) \\ &\quad + 2 \sum_{j=1}^p \rho_j \left(\sum_{k=1}^K \lambda_k \phi_j(s_k) - \phi_j(s_u) \right) \end{aligned}$$

여기서

$$\begin{aligned} c_{uu} &= E[v(s_u)^2], \quad c_{uk} = E[v(s_u)v(s_k)], \\ c_{kj} &= E[v(s_k)v(s_j)] \end{aligned} \quad (7)$$

위의 가격함수를 독립변수 $\{\lambda_k\}_{k=1,2,\dots,K}$ 와 $\{\rho_j\}_{j=1,2,\dots,p}$ 에 대하여 편미분하면 최적화 조건식들을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \lambda_k} J_{\text{cost}} &= -2c_{uk} + 2 \sum_{j=1}^K \lambda_j c_{kj} \\ &\quad + 2\rho_0 + 2 \sum_{j=1}^p \rho_j \phi_j(s_k) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial \rho_0} J_{\text{cost}} &= 2 \left(1 - \sum_{k=1}^K \lambda_k \right) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial \rho_j} J_{\text{cost}} &= 2 \left(\phi(s_u) - \sum_{k=1}^K \lambda_k \phi_j(s_k) \right) = 0 \quad (8) \end{aligned}$$

식 (8)을 활용하면 universal Kriging에 해당하는 BLUE를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\hat{\beta} = (\Phi_v^T C_{vv}^{-1} \Phi_v)^{-1} \Phi_v^T C_{vv}^{-1} Z$$

$$\hat{Z}(s_u) = \phi_u^T \hat{\beta} + c_{uv}^T C_{vv}^{-1} [Z - \Phi_v] \hat{\beta} \quad (9)$$

여기서

$$\begin{aligned} C_{vv} &= [c_{kj}] \\ c_{uv} &= [c_{u1} \ c_{u2} \ \dots \ c_{uK}]^T \\ \Phi_v^T &= [\phi(s_1)^T \ \phi(s_2)^T \ \dots \ \phi(s_K)^T] \\ \phi_u &= \phi(s_u) \end{aligned} \quad (10)$$

식 (9)와 식 (10)를 활용하여 추정기의 오차부분을 추출하여 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E[Z(s_u) - \hat{Z}(s_u)]^2 & \quad (11) \\ &= c_{uu} - c_{uv}^T C_{vv}^{-1} c_{uv} \\ &\quad + (\phi_u - c_{uv}^T C_{vv}^{-1} \Phi_v) (\Phi_v^T C_{vv}^{-1} \Phi_v)^{-1} \\ &\quad \cdot (\phi_u - c_{uv}^T C_{vv}^{-1} \Phi_v)^T \end{aligned}$$

2-2 Hybrid Kriging 측위 알고리즘

신호세기 위치지문을 활용한 실내 측위에 있어서 사용자의 임의 위치에서 위치지문 데이터베이스의 구축에 활용된 기준 장비와 신호 수신 특성이 다른 사양의 이동기기로 j -번째 AP에 대한 측정치 $z_u(j)$ 를 획득할 경우 다음과 같은 관계를 만족하게 된다.

$$\begin{aligned} z_u(j) &= [\beta(j) - b_u] \\ &\quad + c_{uv}^T C_{vv}^{-1} [Z(j, :)^T - l\beta(j)] + \epsilon_u(j) \end{aligned} \quad (12)$$

여기서

$\beta(j)$: j -번째 AP에 대한 기준 측정세기의 평균값

b_u : 이동기기 안테나 감도와 신호세기 계산

소프트웨어에 의한 바이어스 오차

$l = [1 \ 1 \ \dots \ 1]^T$: ordinary Kriging을 위한 계수

$\epsilon_u(j)$: 신호세기 측정오차 및 공간 모델링 오차

(13)

위의 식에서 $\beta(j)$ 는 다음의 관계에 의하여 계산되며,

$$\beta(j) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K Z(j, k) \quad (14)$$

c_{uv} 와 C_{vv} 는 다음의 관계를 만족해야 한다.

$$c_{uv} = [c_{u1} \ c_{u2} \ \dots \ c_{uK}]^T$$

$$\begin{aligned} c_{uk} &= c_0 \exp \left[-\frac{d_{uk}}{\tau_d} \right] \\ &= c_0 \exp \left[-\frac{\sqrt{(x_k - x_u)^2 + (y_k - y_u)^2}}{\tau_d} \right] \end{aligned}$$

$$C_{vv} = [c_{kj}]_{j,k=1,2,\dots,K}$$

$$\begin{aligned} c_{kj} &= c_0 \exp \left[-\frac{d_{kj}}{\tau_d} \right] \\ &= c_0 \exp \left[-\frac{\sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2}}{\tau_d} \right] \end{aligned} \quad (15)$$

다수의 알려진 기준위치와 기준측정치가 주어진 상황에서 사용자 위치를 활용하여 측정치의 추정치를 구하는 기존의 Kriging interpolation 기법에 대비하여 지금부터 전개하고자 하는 내용은 다수의 알려진 기준위치와 기준측정치가 주어지고 사용자 측정치가 획득된 경우 사용자의 위치를 결정하는 Kriging 기반 측위 기법으로 지칭할 수 있다. Ordinary Kriging에 기반한 새로운 측위 알고리즘의 초기화를 위하여 다음과 같이 사용자의 위치를 AP의 중심점으로 할당한다.

$$\hat{s}_u = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K s_k \quad (16)$$

또한, 이동기기의 수신 안테나 특성에 의하여 결정되므로 모든 AP 신호세기 측정치에 공통적으로 영향을 미치는 신호세기 바이어스 b_u 의 추정값 \hat{b}_u 는 다음과 같이 영값으로 초기화 한다.

$$\hat{b}_u = 0 \quad (17)$$

추정된 이동기기의 신호세기 바이어스와 기준 측정치를 활용하여 추정된 사용자 위치 \hat{s}_u 에 연관된 신호세기를 추정하면 다음과 같다.

$$\hat{z}_u(j) = [\beta(j) - \hat{b}_u] + \hat{c}_{uv}^T C_{vv}^{-1} [Z(j, :)^T - l\beta(j)] \quad (18)$$

여기서

$$\hat{b}_u = b_u - \delta b_u \quad (19)$$

$$\hat{c}_{uv} = c_{uv} - \delta c_{uv} = [\hat{c}_{u1} \hat{c}_{u2} \cdots \hat{c}_{uK}]^T$$

$$\begin{aligned} \hat{c}_{uk} &= c_0 \exp \left[-\frac{\hat{d}_{uk}}{\tau_d} \right] \\ &= c_0 \exp \left[-\frac{\sqrt{(x_k - \hat{x}_u)^2 + (y_k - \hat{y}_u)^2}}{\tau_d} \right] \end{aligned}$$

식 (12)에 나타난 이동기기의 실제 측정값과 식 (18)에 나타난 이동기기의 신호세기 추정치를 차분하고 테일러 순열 일차항까지 근사화 하면 다음의 관계식이 성립된다.

$$\begin{aligned} z_u(j) - \hat{z}_u(j) &= -\delta b_u + \delta c_{uv}^T C_{vv}^{-1} [Z(j, :)^T - l\beta(j)] + \epsilon_u(j) \\ &= [-1 \ : \ [Z(j, :)^T - l\beta(j)]^T C_{vv}^{-1}] \begin{bmatrix} \delta b_u \\ \cdots \\ \delta c_{uv} \end{bmatrix} + \epsilon_u(j) \end{aligned} \quad (20)$$

한편, 식 (20)에 나타난 δc_{uv} 와 위치 추정 오차 $\delta s_u = [\delta x_u \ \delta y_u]^T$ 와의 관계를 도출하기 위하여 다음과 같은 관계식을 활용한다.

$$\begin{aligned} \sqrt{\widehat{dx}_j^2 + \widehat{dy}_j^2} - \sqrt{dx_j^2 + dy_j^2} &= -\frac{\widehat{dx}_j \delta x_j + \widehat{dy}_j \delta y_j}{\sqrt{\widehat{dx}_j^2 + \widehat{dy}_j^2}} \end{aligned} \quad (21)$$

여기서

$$\begin{aligned} dx_j &= x_j - x_u, \quad dy_j = y_j - y_u \\ \widehat{dx}_j &= x_j - \hat{x}_u, \quad \widehat{dy}_j = y_j - \hat{y}_u \\ \delta dx_j &= -\delta x_u, \quad \delta dy_j = -\delta y_u \end{aligned} \quad (22)$$

식 (15)와 식 (18)을 참고로 하여 이동기기 위치와 각 기준위치 사이의 공간영역 상호상관값에 대한 추정오차를 유도하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \delta c_{uv} &= c_{uv}(j) - \hat{c}_{uv}(j) \\ &= \left(\frac{c_0}{\tau_d} \right) \begin{pmatrix} x_j - \hat{x}_u & y_j - \hat{y}_u \\ \widehat{d}_{uj} & \widehat{d}_{uj} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \delta x_u \\ \delta y_u \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (23)$$

모든 AP에 대하여 측정 신호세기와 추정 신호세기의 차분값들을 누적하여 정리하면 다음의 벡터식을 얻게 된다.

$$Z_u - \hat{Z}_u = H_u \delta X_u + \epsilon_u \quad (24)$$

여기서

$$Z_u = [z_u(1) \ z_u(2) \ \cdots \ z_u(K)]$$

$$\hat{Z}_u = [\hat{z}_u(1) \ \hat{z}_u(2) \ \cdots \ \hat{z}_u(K)]$$

$$\delta X_u = [\delta x_u \ \delta y_u \ : \ \delta b_u]$$

$$H_u = \begin{bmatrix} [Z(1, :)^T - l\beta(1)]^T C_{vv}^{-1} L_u & \vdots & -1 \\ [Z(2, :)^T - l\beta(2)]^T C_{vv}^{-1} L_u & \vdots & -1 \\ \vdots & \vdots & -1 \\ [Z(K, :)^T - l\beta(K)]^T C_{vv}^{-1} L_u & \vdots & -1 \end{bmatrix}$$

$$L_u = \frac{c_0}{\tau_d} \begin{bmatrix} \frac{e^{-\hat{d}_{u1}/\tau_d}}{\hat{d}_{u1}} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \frac{e^{-\hat{d}_{u2}/\tau_d}}{\hat{d}_{u2}} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \frac{e^{-\hat{d}_{uK}/\tau_d}}{\hat{d}_{uK}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 - \hat{x}_u & y_1 - \hat{y}_u \\ x_2 - \hat{x}_u & y_2 - \hat{y}_u \\ \vdots & \vdots \\ x_K - \hat{x}_u & y_K - \hat{y}_u \end{bmatrix} \quad (25)$$

지금까지 본 논문에서 제안하는 Hybrid Kriging 측위 알고리즘의 유도과정이 설명되었다. 설명된 Hybrid Kriging 측위 알고리즘을 구현하기 위해서는 추정치가 수렴할 때까지 다음의 1)~5)의 과정을 반복 수행한다.

- 0) 이동기기 측정치 Z_u 값을 확보하고 식 (16)과 식 (17)에 의하여 $\hat{X}_u(oid)$ 값을 초기화
- 1) $\hat{X}_u(oid)$ 값, 식 (20), 그리고 식 (25)를 활용하여 추정된 신호세기 $\hat{Z}_u(oid)$ 계산
- 2) 식 (25)에 의하여 관측행렬 H_u 구성
- 3) $\delta\hat{X}_u = (H_u^T H_u)^{-1} H_u^T [Z - \hat{Z}_u(oid)]$
- 4) $\hat{X}_u(cur) = \hat{X}_u(oid) + \delta\hat{X}_u$
- 5) $\hat{X}_u(oid) \leftarrow \hat{X}_u(cur)$ (대치) (26)

III. 성능평가

3-1 바이어스 환경 하에서의 성능

제안된 측위 알고리즘의 정확도 및 고유한 특성을 비교하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서 비교된 알고리즘은 다음과 같다.

- (a) 위치 지문 알고리즘
- (b) Hybrid Kriging 측위 알고리즘

시뮬레이션에 활용된 4개의 AP 위치는 표 1과 같이 설정되었으며 수신 신호세기를 시뮬레이션 하기

위해서는 AP를 연결하는 사각형 내부의 각 격자 지점에서 각 AP로의 참 거리를 구한 다음 수신 신호세기를 생성하였다. 수신 신호세기의 생성을 위하여 제안된 Hybrid Kriging 측위 알고리즘의 평가를 위해서는 식 (27)에서 각 AP의 송신 신호세기 P_0 , 신호세기 감쇄율 n , 그리고 기준 측정치에 대한 이동기기 수신 신호세기 바이어스 b_u 는 다음과 같이 설정되었다.

$$P_0 = -30, \quad n = 2.5, \quad b_u = -5 \quad (27)$$

반면, 위치 지문 알고리즘의 성능 평가를 위해서는 구현의 편의를 위하여 이동기기 수신 신호세기 바이어스 b_u 가 없는 이상적인 상황을 가정하였다.

기준 측정치의 밀도가 높은 경우에는 알고리즘의 종류에 관계없이 계산된 이동기기의 위치가 참 위치에 근접하게 되므로 각 알고리즘의 특성 비교가 어려우며 실제 적용에 있어서도 기준 측정치 수집에 많은 인력 및 시간이 소요되므로 현실적인 상황을 반영하기 어렵다. 따라서, 본 시뮬레이션에서는 기준 측정치가 각 AP가 설치된 동일한 위치에서 수집되었다고 가정하였다.

그림 1과 그림 2는 두 알고리즘의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 각 그림에서 상단은 참 위치와 계산된 위치의 분포를 2차원 평면으로 도시한 것이며 하단은 누적오차분포도를 도시한 것이다. 제안된 알고리즘의 구현을 위하여 식 (19)에 나타난 상관거리 τ_d 는 50 m로 설정하였으나 10 m ~ 100 m 의 영역에서 성능의 큰 차이점은 발견되지 않았다.

그림 1과 그림 2에 나타난 결과로부터 바이어스 성분 이외에 오차요인이 없는 정밀 측정치의 경우에도 위치지문 알고리즘과 제안된 Hybrid Kriging 알고리즘은 참 위치에 대하여 상대적으로 큰 오차를 포함한 계산 위치를 생성해 낼 수 있다. 반면, 제안된 Hybrid Kriging 알고리즘이 현재 실내 측위에 가장 널리 활용되는 위치지문 알고리즘에 비하여 상대적으로 작은 위치 오차를 수반함을 확인할 수 있다.

표 1 시뮬레이션에 활용된 각 AP의 위치
Table 1 Location of each access point

구분	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4
x-좌표값	-1	31	-1	31
y-좌표값	-1	-1	21	21

3-2 바이어스와 랜덤오차 환경 하에서의 성능

이동기기가 측정한 신호세기가 기준 측정치에 비하여 이동기기 고유의 수신 신호세기 바이어스와 가우시안 분포를 포함하는 경우에 대해서도 시뮬레이션을 수행하였다. 측정치에 추가된 가우시안 분포 오차 성분을 제외하고는 본 시뮬레이션의 활용된 환경은 앞서 설명된 시뮬레이션 환경과 동일하다.

표 2는 가우시안 분포 측정치 랜덤 오차의 분산이 1 dBm에서 3 dBm인 경우의 두 알고리즘 정확도 변화를 정리한 것이다. 시뮬레이션에 있어서 제안된 Hybrid Kriging 알고리즘의 성능 평가를 위해서는 이동기기 수신 신호세기 바이어스 b_u 는 식 (27)과 같이 고정시켰으며 위치 지문 알고리즘의 경우에는 이동기기 수신 신호세기 바이어스 b_u 가 없는 이상적인 상황을 가정하였다. 표 2를 참조하면 두 알고리즘 모두 가우시안 분포 랜덤 측정오차 분산에 따른 정확도 변화가 크지 않음을 알 수 있다. 또한, 가우시안 분포 측정치 랜덤 오차의 분산이 1 dBm에서 3 dBm 모든 영역에서 제안된 Hybrid Kriging 알고리즘이 위치 지문 알고리즘에 비하여 개략적으로 2배 정도의 정확도를 유지함을 알 수 있다. 이는 제안된 알고리즘이 그 특성상 모델링 오차에 강건한 Kriging 이론에 기반 함으로 인하여 유기된 특성으로 분석된다.

본 시뮬레이션에서 기준 측정치를 획득한 기준 위치의 간격은 가로 30 m 세로 20 m 간격으로 설정되었지만 실내 측위와 관련된 기존 연구에서 기준 측정치를 획득한 간격은 대다수의 5 m 내외에 해당된다. 이와 같이 기준 위치의 간격이 감소할 경우 본 시뮬레이션에서 도출된 정확도는 비례하여 증가할 것으로 예상된다.

3-3 실제 측정치를 활용한 실험

WLAN 인프라를 활용한 측위 정확도를 평가하기 위하여 실험 데이터를 일부 활용하여 성능 평가를 수행하였다. 실험데이터의 수집에는 동일한 사양의 이동기기가 활용되었다. 기준 측정치를 수집한 장치와 이동기기 사이에 존재하는 신호세기 바이어스를 모사하기 다음과 같은 수식을 활용하여 평균 -5 분산 1인 이동기기 수신 신호세기 바이어스를 생성하여 모든 위치에서 각 AP에 대한 이동기기 측정치에 적용하였으며 기준 측정치에는 바이어스 성분을 추가하지 않았다.

$$b_u = -5 + v, \quad v \sim (0,1) \quad (28)$$

실험 데이터 수집 지역의 확대도와 실내 환경은 그림 3에 나타나 있다.

그림 4는 비시선각 발생 환경 하에서 위치지문 알고리즘의 정확도를 나타낸 것이며 상단은 이동기기의 2차원 위치 분포를 하단은 누적오차분포도를 각각 나타낸다. 상단의 이동기기 2차원 위치 분포도에서 'o' 표시는 이동기기의 참 위치를, 'x' 표시는 이동기기의 추정된 위치를, 그리고 '□' 표시는 측위에 활용된 AP의 위치를 각각 나타낸다. 위치지문 알고리즘에 의하여 추정된 이동기기의 2차원 분포를 살펴보면 복도와 두 방의 중심 지역을 벗어난 특정 영역에 집중하여 분포함을 볼 수 있다. 이는 특정 지역으로 위치해가 집중 분포하는 위치 지문 방식 알고리즘의 특성과 비시선각 오차의 영향이 복합적으로 작용한 것으로 해석될 수 있다. 하단의 누적오차분포도에 의하면 본 실험의 경우 위치지문 알고리즘의 CEP는 3.2 m 내외인 것을 확인할 수 있다.

그림 5는 비시선각 오차가 추가적으로 발생하는 실내 환경 하에서 Hybrid Kriging 알고리즘을 적용한 결과를 나타낸다. 그림 5의 상단을 그림 4의 상단과 비교해 보면 Hybrid Kriging 알고리즘이 바이어스 제거 위치지문 알고리즘에 비하여 상대적으로 이동기기 분포의 집중 편향성을 완화시켜 줌을 발견할 수 있다. 이는 비시선각 오차를 포함한 모델링 오차에 대하여 강건한 Kriging 추정 기법의 고유한 특성이

Hybrid Kriging 알고리즘에도 내재되고 있기 때문으로 분석된다.

표 2 측정오차 표준편차에 따른 50 % 오차거리
Table 2 50 % error distance according to the standard deviation of measurement noise

측정오차 표준편차	알고리즘	위치 지문	Hybrid Kriging
1 dBm		6.3	3.5
2 dBm		6.3	2.9
3 dBm		6.2	3.1

IV. 결 론

수신 신호세기 특성이 다른 이동기기의 다양성을 고려하기 위하여 본 논문에서는 공간변수 추정 이론인 Kriging에 기반하여 이동기기 수신 신호세기 바이어스의 영향을 구조적으로 제거할 수 있는 Hybrid Kriging 알고리즘을 제안하였으며 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 성능을 분석하였다.

이상적인 시뮬레이션 환경에서 제안된 알고리즘과 현재 WLAN 신호세기를 활용한 실내 측위에 가장 널리 활용되는 위치지문 방식을 비교한 결과 제안된 Hybrid Kriging 알고리즘이 수신 신호세기 바이어스와 다양한 가우시안 랜덤 오차의 주입에 관계없이 위치 지문 알고리즘보다 정확도 면에서 우수함을 확인할 수 있었다.

비시선각 오차가 존재하는 실내 환경에서 실제 수집된 데이터에 수신 신호세기 바이어스를 인위적으로 추가한 실험 결과에 의해서도 제안된 Hybrid Kriging 알고리즘이 위치 지문 알고리즘에 비하여 우수함을 확인할 수 있었는데, 이는 모델링 오차에 강한 Kriging 기법 특유의 장점이 제안된 Hybrid Kriging 알고리즘에 내포되어 있기 때문으로 분석된다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT 원천기술개발사업의 일환으로 행하였음 [2007-F-040-01, 실내외 연속측위 기술 개발].(KRF-2005-003- D00096)

참 고 문 헌

- [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 ; G-I Jee, "Direct estimation of NLOS propagation delay for mobile station location", *Electronics Letters*, vol. 38 no. 18 August 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, Nov. 2003, pp. 69-78
- [4] 이형근, 심주영, 김희성, "저해상도 CDMA 파일럿 신호세기를 활용한 새로운 측위기법의 성능 검증", *한국향행학회 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, August 1999) pp. 59-68.
- [7] N.B. Priyantha, A. Chakraborty and H. Balakrishnan, "The Cricket location-support system," *Proceedings of MOBICOM 2000*, Boston, MA (ACM Press, August 2000) pp. 32-43.
- [8] 이형근, 심주영, "진폭변조 확산대역 초음파 측위

시스템," *제어자동화시스템공학 논문지*, 12권, 10호, pp. 996 - 1001, 2006

- [9] 이동환, 김수용, 윤강섭, 이만형, "무인 이동 로봇 위치추정을 위한 초음파 위성 시스템," *제어자동화시스템공학 논문지*, 13권, 10호, 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," *Telecommunications Review*, 18권, 2호, pp. 224-238, 2008
- [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, Jul. 2005, pp. 70-84.
- [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, Dec. 2004, pp. S27-S32.
- [15] 최진원, 성유석, 강준성, 김성철, "통신시스템 기반의 무선 측위 기법 비교, 연구," *Telecommunications Review*, 18권 2호, pp. 261-274, 2008
- [16] 김희성, 심주영, 최완식, 이형근, "교정된 전파전파 모델에 기반한 WLAN 측위 기법," *제어로봇시스템학회 논문지*, Vol 14, No. 8, pp. 760-766, 2008
- [17] G. Matheron, "Principles of Geostatistics," *Economic Geology*, 58, 1963, pp. 1246-1266
- [18] H. Wackernagel, *Multivariate Geostatistics, An Introduction With Applications*, 2nd Ed., Springer Verlag, Berlin, 1998
- [19] B. Li, Y. Wang, H.K. Lee, A. Dempster and C. Rizos, "Method for yielding a database of location fingerprints in WLAN", *IEEE Proceedings-Communications*, Vol. 152, No. 5, pp.580-586, 2005

이 형 근 (李炯瑾)



1990년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 (공학사)
 1994년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 (공학석사)
 2002년: 서울대학교 전기컴퓨터공학부(공학박사)
 1994년 3월~1998년 2월: 현대우주항공(주)(주임연구원)

2002년 9월~2003년 8월: SNAP, UNSW(Postdoctoral Fellow)
 2002년 9월~현재: 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 (조교수)
 관심분야 : 항법/측위 시스템, 교통 시스템, 추정 이론

김 희 성 (金熙成)



2006년 2월 :한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
 2006년 3월~현재: 한국항공대학교 석사과정
 관심분야 : 초고정밀 GPS/GNSS, 측위 수신기 망

심 주 영 (沈周映)



2004년 2월 :한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
 2006년 2월:한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사)
 2006년 3월~현재: 한국항공대학교 박사과정

관심분야 : 항법/측위 시스템

한 형 석 (韓亨碩)



1986년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 (공학사)
 1988년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 (공학석사)
 1993년 8월 : 서울대학교 제어계측공학과 (공학박사)

1993년9월~1997년 8월: 순천향대학교 제어계측공학과(조교수)

1997년9월~현재: 경원대학교 IT대학 전자공학전공 (교수)
 2004년8월~2005년8월: 미국 UCI(Univ. of Cali., Irvine) 방문연구원

관심분야 : 센서 응용시스템, 유도제어

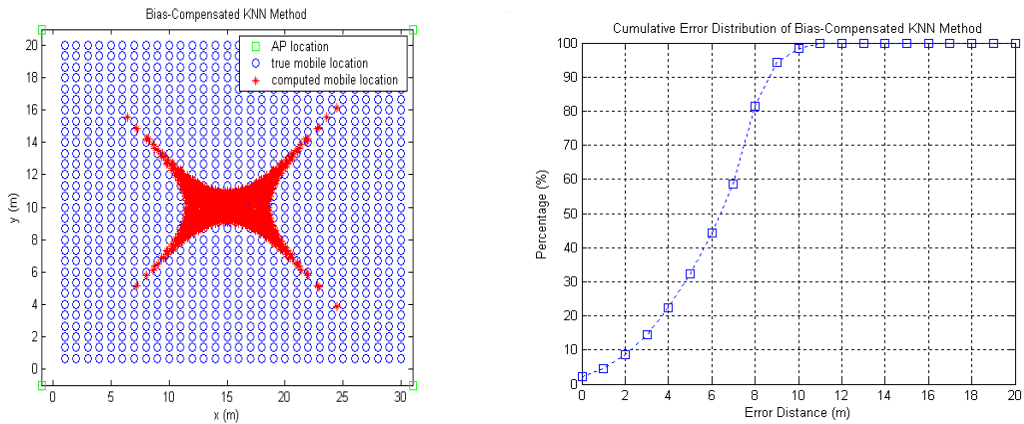


그림 1 이상적인 수신 신호세기에 바이어스를 주입한 경우 바이어스 제거 위치지문 알고리즘의 정확도
 Figure 1 Accuracy of the bias-removing location fingerprint algorithm under ideal signal strength values

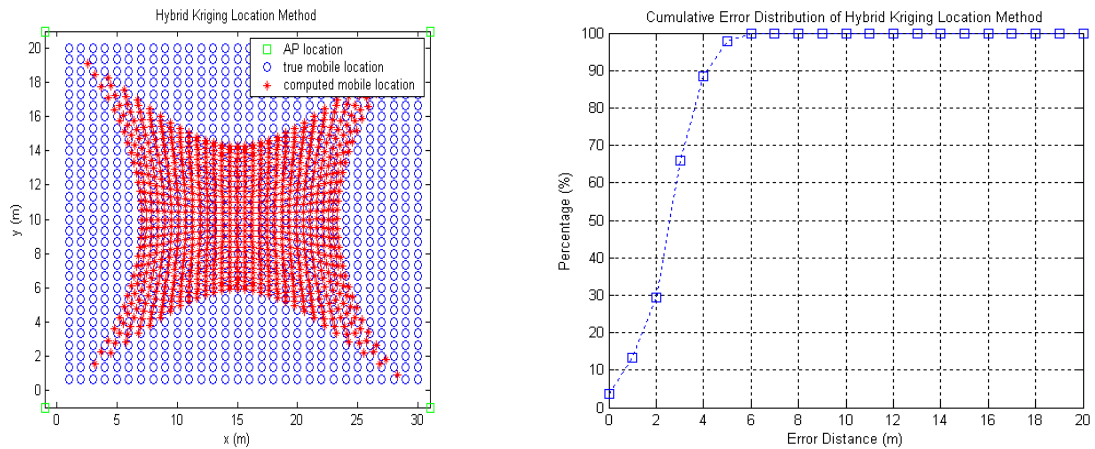


그림 2 이상적인 수신 신호세기에 바이어스를 주입한 경우 Hybrid Kriging 알고리즘의 정확도
 Figure 2 Accuracy of the proposed hybrid kriging algorithm under ideal signal strength values



그림 3 실험지역 확대도 및 실내 환경
 Figure 3 Experiment area and environments

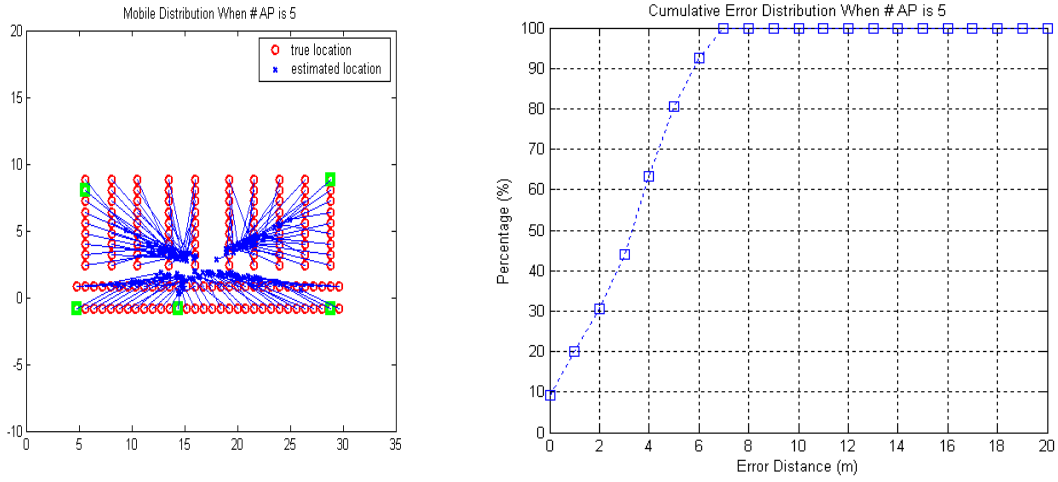


그림 4 위치지문 알고리즘의 정확도

Figure 4 Accuracy of the location fingerprint algorithm by real measurements

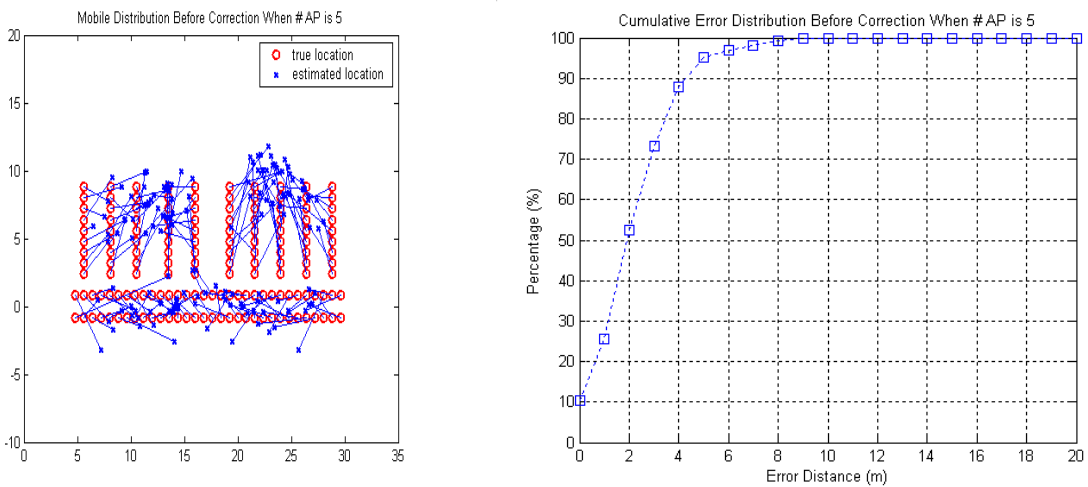


그림 5 Hybrid Kriging 알고리즘의 정확도

Figure 4 Accuracy of the hybrid kriging algorithm by real measurements