

저해상도 CDMA Pilot 신호세기를 활용한 새로운 측위기법의 성능 검증

Performance Verification of a New Positioning Technology by Low-Resolution CDMA Pilot Strength Measurements

이형근*, 심주영*, 김희성*

Hyung Keun Lee*, Ju-Young Shim*, Hee-sung Kim*

요 약

본 논문에서는 비시선각 오차에 크게 영향을 받는 지상파 기반 무선측위의 정확도 개선을 위하여 근래에 제안된 무선신호 지도정합법의 성능을 실험을 통하여 검증하였다. 무선신호 지도정합법은 지상파 무선 네트워크 으로부터 다량의 익명 이동기기들로부터 무선신호를 자동적으로 무작위 채집하여 확률 통계적으로 비시선각 오차의 크기를 추정하고 보정하는 새로운 방법론이다. 무선신호 지도정합법은 이동성 관리가 필요한 어떠한 형태의 이동통신 네트워크에 적용이 가능하며 측위를 위하여 특별한 사양의 이동국 단말기와 기준국의 사양을 별도로 요구하지 하지 않으므로 향후 다양한 개형으로 전개될 ubiquitous sensor network의 고효율 측위 수단으로 전개가 가능하다. 실제 도심환경에서 획득한 CDMA 신호에 대하여 무선신호 지도정합법을 적용한 결과 비시선각 오차의 영향을 감소시키며 측위성능의 향상이 현실적으로 가능함을 확인하였다.

Abstract

This paper verifies the performance of the wireless-signal map-matching (WSMM) method that is recently proposed to mitigate the effects of non-line-of-sight (NLOS) error in positioning under wireless terrestrial network environments. The WSMM method is the new positioning technology that estimates and compensate the NLOS errors by processing the bulks of anonymous measurements at unknown locations that are collected randomly and automatically. The WSMM method would be advantageous for various configurations of future ubiquitous sensor networks since it is based on the existing network configuration for communication and it requires no additional hardware in base stations and mobile handsets. It is shown that the application of the WSMM concept to the real CDMA pilot strength measurement message (PSMM) actually mitigates the NLOS error effects and improves overall positioning accuracy.

Key words : wireless, signal, map match, positioning.

* 한국항공대학교 항공전자및정보통신공학부

· 논문번호 : 200x-x-x

· 접수일자 : 200x년 x월 xx일

I. 서 론

지상과 기반의 측위 방법을 사용하여 도심지역에서 위치 기반 서비스를 제공하는 경우는, 건물 등의 장애물에 의해 그림 1과 같이 비시선각(Non-Line-Of-Sight, NLOS) 오차가 발생하여 그 정확도가 떨어지게 된다 [1-3]. 비시선각 오차를 제거하여 보다 정확한 위치 기반 서비스를 제공하기 위해서는 단말기의 위치 측정치 (Location Measurement; LM)에서 시간적 공간적 오차를 계산하여 이를 LM에서 보정(calibration)하여야 한다.

이러한 목적을 위하여 기존에는 몇몇의 이미 알려진 위치에 보정을 위한 전용 수신기를 설치하거나, GPS 수신 기능을 이동기기와 함께 구비하여 이동하면서 LM을 수집하는 다소 번거로운 방법을 활용하였다. 이러한 측위 기법을 통칭하여 database correlation 방법[4-8]이라 하며 전반적으로 그림 2와 같은 시스템 구조를 가진다.

그림 2에 나타난 바와 같이 database correlation 방법은 크게 준비단계와 실시간 서비스 단계로 구분할 수 있다. 준비 단계에서는 GPS 및 LM을 동시에 수신할 수 있는 장비를 구비한 조사원들이 여러 장소에서 측위 신호들을 측정 후 database에 분류 및 저장한다. 실시간 서비스 단계에서는 사용자가 이동기기에 의하여 측정된 LM들을 위치 서비스 요청과 함께 제공하면 이를 미리 분류 저장해 둔 측위 신호 database와 비교하여 가장 가까운 근사치를 분석하여 위치해로 제공하는 방법이다.

database correlation 기법은 특히 비시선각 오차가 존재하는 도심환경에서 정확도 관점에서 만족할 만한 위치해를 제공할 수 있음이 몇 연구에 의하여 알려져 있으나 반면 실제 환경에서의 시스템의 구축 및 운용과 관련하여 다음과 같은 단점을 내포하는 것으로 알려져 있다.

- i) 조사원에 의한 LM수집은 작은 영역에 대해서도 막대한 시간과 비용을 요구한다.
- ii) 측위 database가 구축된 작은 영역에 대해서도 위치 추정을 위해서는 LM들을 database의 각 entry와 상관하여 이들 중 최대 상관치를 찾아야 하므로 실시간 위치 계산에 문제점을 내포하고 있다.

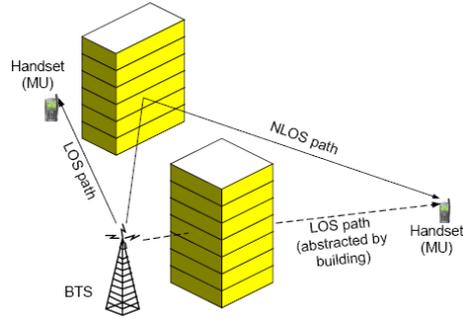


그림 1. 비시선각 오차의 발생 개형

이외에도 알려진 위치에 이동기기를 설치하여 비시선각 오차 추출하는 기법 [9,10]에 대해서도 시도가 있어 왔으나 정확도와 구현 및 관리 비용 등의 문제로 아직 만족할 만한 해결점이 밝혀지지 않고 있다.

지상과 기반 측위에서 두 이동국이 공간적으로 근접한 두 장소에서 LM을 수신하였다면 신호 전파 경로, 측위를 위한 기하학적 개형(geometry), 그리고 비시선각 오차는 전반적으로 동일하게 된다. 이와 같은 비시선각 오차의 공간적인 상관성에 근거하여 이 도심 환경에서 비시선각 오차에 효과적으로 대처할 수 있는 새로운 형태의 지도정합법(Wireless-Signal Map-Matching ; WSM)이 근래에 제안되었다[11-15].

WSM은 이동통신을 위한 네트워크 기반 시설로부터 알려지지 않은 위치 존재하는 무기명 이동국들로부터 LM을 무작위로 다량 자동 채집하여 비시선각에 영향을 받아 왜곡된 이동국의 분포와 이상적인 지도정보를 비교하여 각 LM에 대한 비시선각 오차 보정 지도를 생성하는 방법이다.

기존의 database correlation 방법과 GPS를 활용한 측위 신호 수집에 비하여 WSM만이 가지는 독특한 장점은 다음과 같다.

- i) 다양한 종류의 이동통신 네트워크에 적용이 가능하며 여러 종류의 이동통신망이 결합된 환경에서도 적용이 가능하다.
- ii) 자동적으로 LM을 수집하므로 소모적인 외부 조사 및 인력이 필요하지 않으며 원천적으로 GPS가 필요하지 않다.
- iii) 산출된 위치정보의 가용성과 정확도가 우수하다.
- iv) 위치 계산을 위하여 소모적인 database 정합과 검

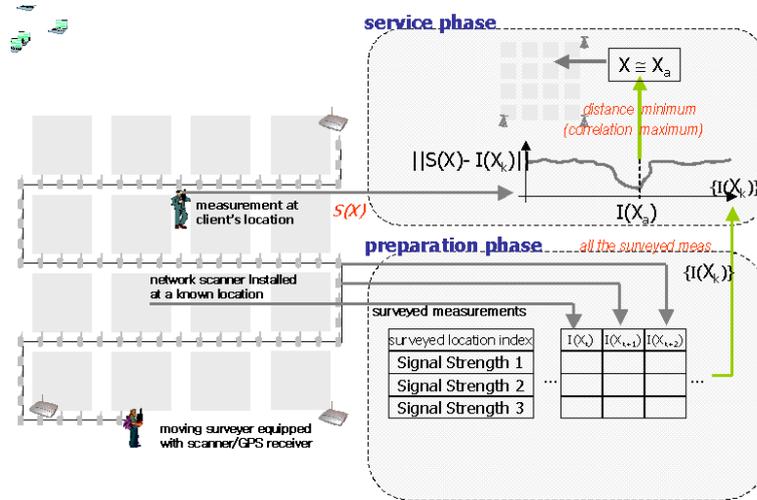


그림 2. Database correlation 의 개형

색에 의존하지 않으므로 실시간 응답속도가 현저히 빠르다.

WSMM을 소개하고 실험을 통하여 타당성을 검증하기 위하여 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II 장에서는 WSMM의 전반적인 소개를 위하여 무기명 무작위 측정치 자동 수집, 특징 측정치 식별, 왜곡된 도메인 상에서의 보정지도 생성, 보정지도를 활용한 실시간 위치 서비스 등의 세부적인 항목을 다룬다. III 장에서 전형적인 도심환경에서 수집된 CDMA pilot strength measurement message (PSMM) 신호[16-18]에 대하여 WSMM을 적용한 결과를 다룬다. 마지막으로 결론을 맺도록 한다.

II. 무선신호 지도정합법

2.1 무기명 무작위 자동 수집 측정치로부터 특징 측정치 추출

WSMM은 이동통신망과 같은 코어 네트워크에서 LM을 수집하여 측정치 데이터베이스에 저장함으로써 구현이 가능하다. 측정치 데이터베이스는 이동통신망을 통해 각 시점에 무기명화 된 한 개의 이동통신 단말기로부터

신호의 세기(Signal Strength), 신호의 도착시간(Time of Arrival), 도착시간 차(Time Difference of Arrival), 그리고 도착각(Angle of Arrival) 등을 수집하여 저장한다. 이와 같은 과정을 통하여 불특정 다수의 단말기에 대하여 시간적 공간적으로 일정구간 시행하면 불특정 다수의 단말기의 LM 정보가 누적되게 된다.

측정치 데이터베이스에 저장된 LM들 중에서 특정한 조건을 만족하는 위치 측정정보를 추출하여 특징 측정값(Feature Measurement, FM)으로 설정하여 FM 저장부에 저장한다. 여기서 특정한 조건이란 특정한 측정값의 최대/최소 발생, 특징지도에서의 최대/최소값 발생 등을 포함한다.

일례로서 특정 기지국에 대하여 수신된 신호의 세기(SS)가 최대가 된다는 것은 해당 이동통신 단말기가 특정 기지국 근방에 있음을 나타내므로 특징 측정값(FM)을 추출할 수 있게 된다. 또 다른 일례로는 측정치 database에 저장된 LM들에 기초하여 왜곡된 이동 단말기의 분포를 작성한 후 왜곡된 이동 단말기의 분포와 전자지도에 저장된 도로, 지형 등의 정보를 비교 분석하면 특징 측정값(FM)을 추출할 수 있다.

특징위치(Feature Location, FL)는 추출된 특징 측정값(FM)을 활용하여 알려진 위치 계산방법 $f(\cdot)$ 를 적용하여 $f(FM)$ 얻는다. 위치 계산방법 $f(X)$ 는 SS, TOA,

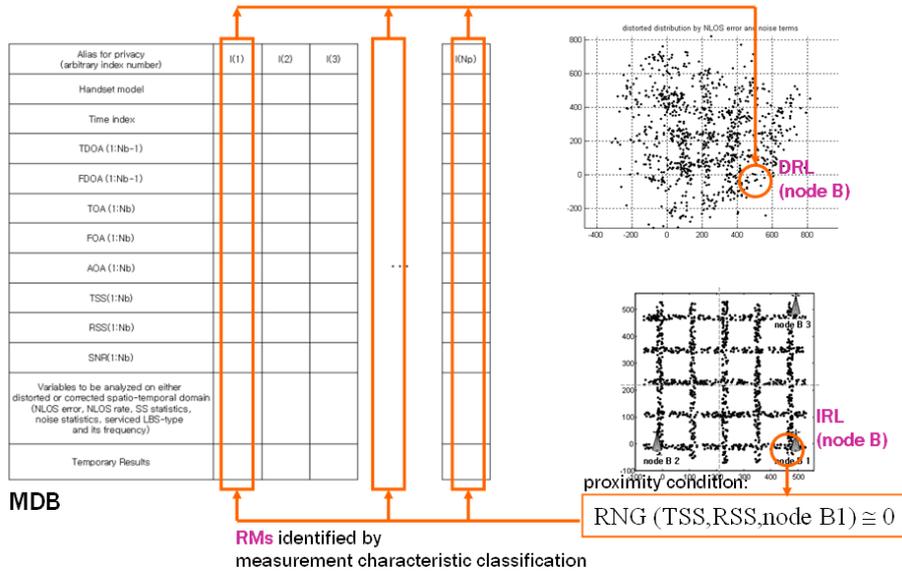


그림 3. 특징 측정치, 왜곡된 특징 위치, 그리고 참 기준 위치 추출의 개형

TDOA, AOA 등 LM의 종류에 따라 달라진다. 그림 3은 특징 측정치, 왜곡된 특징 위치, 그리고 참 기준 위치 추출의 개형을 나타낸다.

2.2 왜곡된 공간 영역에서의 보정지도 생성

근접성 분석과 기하학적 특성 분석에 의하여 특징 측정값과 왜곡된 특징 위치가 밝혀지면 공간적인 상관성을 활용하여 NLOS 오차의 추출이 가능하게 된다. 측위를 위한 LM으로서 신호세기 사용될 경우 각 FL에서 채집된 FM에 존재하는 NLOS 오차의 추출은 다음과 같이 이루어진다.

$$\begin{aligned} \tilde{y}(X) - f(X) &= N(X) + \tilde{v} \\ \tilde{y}(X) &:= [\tilde{y}_1 \ \tilde{y}_2 \ \dots \ \tilde{y}_{N_b}]^T \\ f(X) &:= [f_1 \ f_2 \ \dots \ f_{N_b}]^T \\ N(X) &:= [N_1 \ N_2 \ \dots \ N_{N_b}]^T \\ f_j(X) &:= r_0 \exp\left(-\frac{S_j(X) - S_0}{10\alpha}\right) \quad (1) \end{aligned}$$

여기서

- $\tilde{y}(X)$: FL에서 수집된 FM
- $f(X)$: 측정 관계식(measurement law)
- $N(X)$: NLOS 오차
- $\tilde{v}(X)$: NLOS 추출 오차
- X : FL의 좌표
- X_{Bj} : j-번째 기준국의 위치
- N_b : 기준국의 개수
- $S_j(X)$: j-번째 기준국에 대한 신호세기 (dB)
- (r_0, S_0) : 기준국으로부터 r_0 거리 떨어진 위치에서 측정된 신호세기 S_0
- α : 신호세기 감소율

일반적으로 두 이동국 단말기가 근거리에서 위치하게 되면 두 단말기의 각 기준국에 대한 NLOS 오차의 크기는 유사하게 된다. 즉, NLOS 오차는 공간적인 상관성 (spatial correlation)을 가지게 된다. 이러한 특성을 고려하면 식 (1)에 나타난 각 NLOS 오차의 요소 $N_j(X)$ 는 적절한 차수의 공간 구조 $\beta_j(X)$ 에 의하여 다음의 식 (2)와 같이 표현될 수 있다.

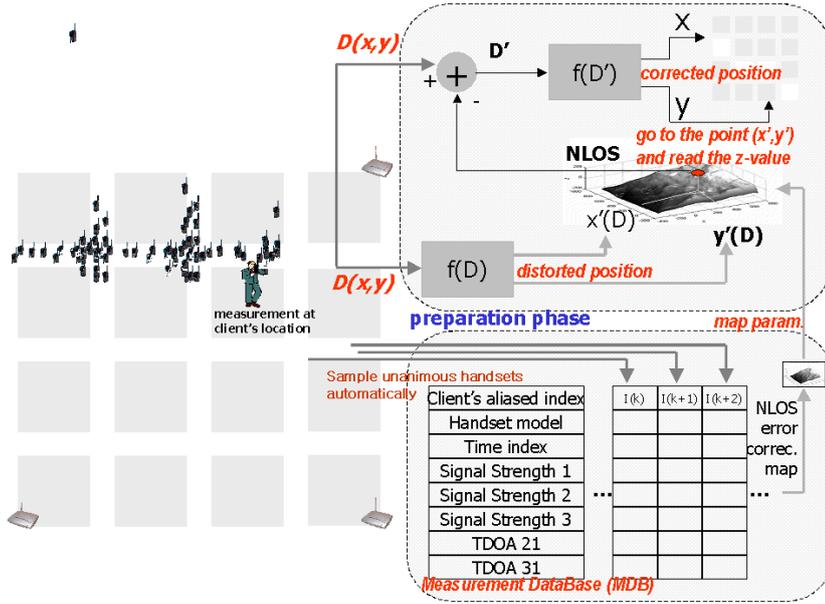


그림 4. 알려지지 않은 위치에서 무기명 무작위로 추출된 측정치를 활용하여 보정지도를 생성하는 절차

$$N_j(X) = h(X)\beta_j(X) + \tilde{v}_j(X) \quad (2)$$

여기서

$\beta_j(X)$: j -번째 NLOS 오차 요소의 공간 구조

$h(X)$: NLOS 오차 공간 구조의 계수행렬

$\tilde{v}_j(X)$: j -번째 NLOS 오차의 모델링 오차

식 (2)에 나타난 NLOS 오차의 공간 구조(spatial structure) $\beta_j(X)$ 및 계수행렬 $h(X)$ 의 예로서 다음과 같은 선형 구조를 고려할 수 있다.

$$\begin{aligned} h(X) &:= [1 \ x \ y] \\ \beta_j(X) &:= [\beta_{0j} \ \beta_{1j} \ \beta_{2j}]^T \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)에 있어서 β_{0j} 는 NLOS 오차 공간 구조의 지역상수항(local bias term)을 나타낸다. 또한, 이외에도 상황에 따라 다양한 차수의 공간 구조가 고려될 수 있다. 식 (1)과 식 (2)를 결합하면 j -번째 NLOS 오차 요소의 추출값 $\tilde{z}_j(X)$ 는 식 (4)와 같이 새로이 정리된다.

$$\begin{aligned} \tilde{z}_j(X) &:= \tilde{y}_j(X) - f_j(X) \\ &= h(X)\beta_j(X) + v_j(X) \\ v_j(X) &:= \hat{v}_j(X) + \tilde{v}_j(X) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $v_j(X)$ 는 j -번째 NLOS 오차 요소에 대한 복합 측정 오차(compound measurement error)를 나타낸다.

위에서 설명된 바와 같이 각 특징위치에서는 식 (1)과 같이 NLOS 오차성분을 FM으로부터 직접 추출이 가능하다. 반면, FL에 해당되지 않는 임의의 지점에서는 NLOS 오차의 직접적인 추출이 불가능하다. 따라서 임의의 지점의 NLOS 오차는 식 (2)-(4)에서 설명된 NLOS 오차의 공간적 상관성과 각 특징위치에서 직접적으로 측정된 NLOS 오차를 활용하여 추정하여야 한다. 그림 4는 알려지지 않은 위치에서 무기명 무작위로 추출된 LM을 활용하여 보정지도를 생성하는 절차를 나타낸다.

2.3 보정지도를 활용한 실시간 위치 서비스

이동통신 단말기가 자신이 획득한 LM과 함께 위치 요

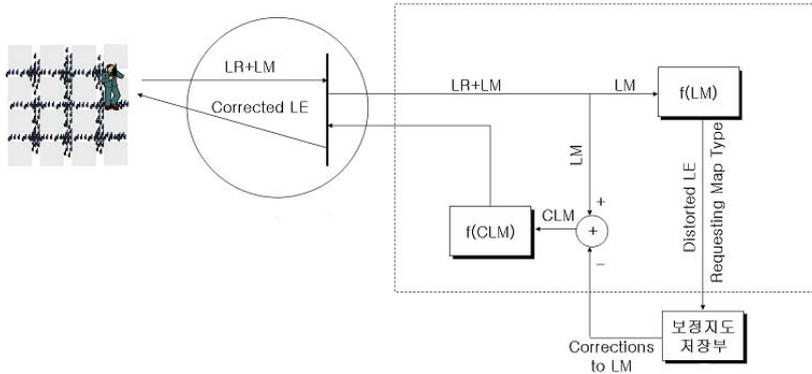


그림 5. 실시간 위치기반 서비스를 위하여 왜곡된 위치에 의한 보정지도를 활용하는

청(Location Request, LR)을 보내면 서비스 제공부는 이를 수신하여 기존의 위치 계산법 $f(X)$ 를 사용하여 왜곡된 위치 추정값 $f(LM)$ 을 계산한다. 계산된 위치 추정값 $f(LM)$ 과 측정값의 종류를 보정지도 저장부로 전달하여, 위치 측정정보에 대한 보정값을 요청한다. 그러면 보정지도 저장부는 위치 측정정보에 대한 보정값(corrections to LM)을 출력한다. 서비스 제공부는 이 위치 측정정보에 대한 보정값을 수신하여 이동통신 단말기의 위치 측정정보와 더하여 보정한 후 보정된 위치 측정정보(Corrected LM, CLM)를 계산한다. 이렇게 계산된 $f(CLM)$ 은 이동통신 단말기 사용자에게 회송된다. 그림 5는 실시간 위치기반 서비스를 위하여 왜곡된 위치에 의한 보정지도를 활용하는 절차를 나타낸다.

III. 실험

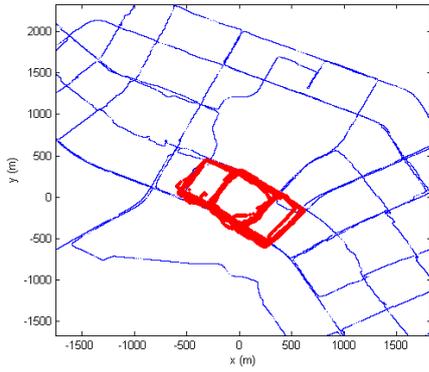
WSMM에 의하여 생성된 비시선각 보정지도가 측위 성능에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 전형적인 도심 환경에서 수집된 실측 데이터를 활용하여 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 실측 데이터는 PSMM으로서 2006년 5월 16일 오후 3시부터 약 2시간 동안 실험지역을 보행하면서 수집하였다. PSMM은 CDMA 네트워크에서 이동성 관리를 목적으로 각 이동 단말기에 의하여 측정되고 활용되는 신호로서 특별한 사양의 하드웨어를 추가하지 않은 기본적인 이동 단말기에서 기본적으로 제공 가능한

측정치이다. 따라서 대다수의 구형 이동 단말기에서도 제공이 가능하다.

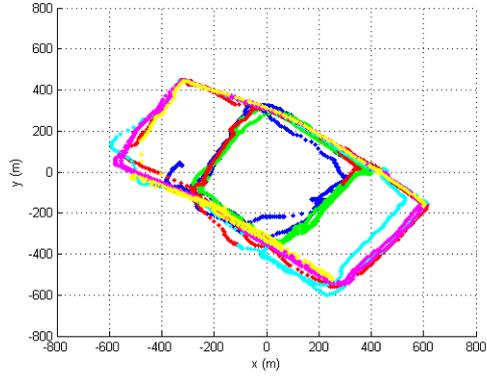
실험지역은 경기도 일산 지역의 중심가인 라페스타 주변이며 실험지역의 개형은 그림 6에 나타나 있다. 실험지역에 채집된 PSMM을 분석하면 10개 이상의 기지국 신호가 실험지역에 도달함을 알 수 있었으며 이중 5개의 기지국 신호를 식 (1)에 의하여 거리 단위로 환산한 후 위치 계산을 수행하였다. 4개의 finger에 의한 수신 신호세기의 합산값을 거리로 환산하기 위하여 식 (1)에 활용된 수치는 다음과 같다.

$$\alpha = 3, \quad r_0 = 900, \quad S_0 = -90 \quad (5)$$

그림 6에 나타난 전형적인 도심 환경에 의하여 비시선각 오차의 발생을 예상할 수 있다. 비시선각 오차를 무시하고 식 (1)을 활용하여 실험지역의 각 위치에서 수집된 PSMM을 거리값으로 환산한 후 최소좌승법[17-19]에 의하여 위치 분포를 구하면 그림 7의 (a)와 같이 왜곡되어 나타남을 확인할 수 있다. 반면, 앞서 설명된 WSMM에 의하여 FM과 FL을 식별 추출하여 보정지도를 생성한 후 이를 반영하여 위치분포를 구하면 그림 7의 (b)와 같이 나타난다. 그림 8은 WSMM 적용 전과 적용 후의 오차 거리 누적 분포를 나타낸다. 그림 8에 의하면 WSMM을 수행하지 않을 경우 시도 횟수의 60% 정도가 오차거리 300m 이내의 위치계산 결과를 생성하는데 비하여

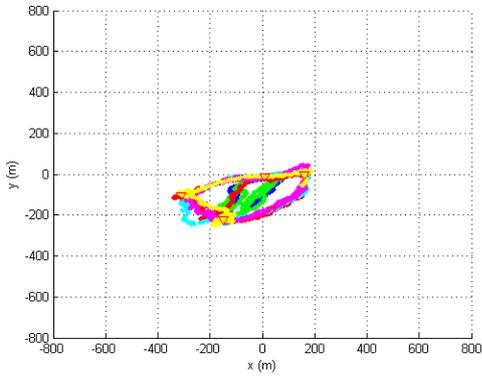


(a) 실험 지역 주변

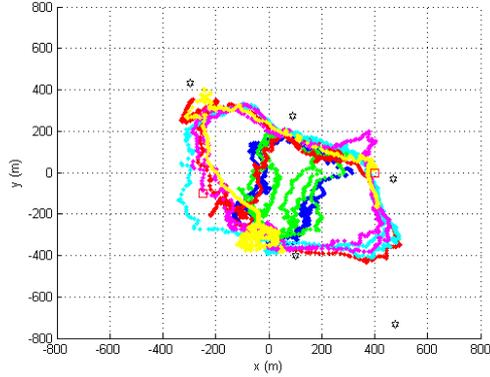


(b) 이상적인 이동국 위치 분포

그림 6. WSMM 실험이 수행된 도심 지역에서의 이상적인 이동국 위치분포



(a) 비시선각 오차가 보상되지 않은 경우



(a) WSMM에 의하여 비시선각 오차가 보상된 경우

그림 7. WSMM 에 의한 이동국 위치 분포의 변화

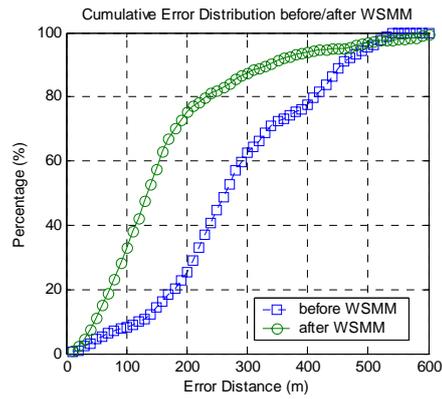


그림 8. WSMM 적용 전과 적용 후의 오차거리 누적분포

WSMM을 수행할 경우 95 % 정도의 빈도로 오차거리 300m 이내의 위치계산 결과를 생성하여 줌을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

지상과 기반의 측위 방법을 위치기반서비스 및 향후 다양한 개형의 ubiquitous sensor network에 활용하고자 할 경우에 있어서 측위 정확도에 가장 영향을 미치는 오차 요인은 비시선각 오차이다.

본 논문에서는 지상과 기반 측위에 있어서 문제가 되고 있는 비시선각 오차를 특별한 하드웨어를 기준국이나 이동기에 요구하지 않고 네트워크에 연결된 서버를 설치함으로써 비시선각 오차보정정보를 자동적으로 생성할 수 있는 무선신호 지도정합법의 원리를 소개하였다. 또한, 도심 CDMA 환경에서 실제 데이터를 획득하여 무선신호 지도정합법이 비시선각 오차 영향의 감소와 측위 성능 향상을 가져올 수 있음을 보였다.

감사의 글

이 논문은 2005년도 정부재원(교육인적자원부 학술 연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2005-003- D00096)

참 고 문 헌

[1] M. Wylie and J. Holtzman, The nonline of sight problem in mobile location estimation, IEEE Int. Conf. Universal Personal Communication, 1996, pp. 827-831.

[2] L. Xiong, A selective model to suppress NLOS signals in angle-of-arrive (AOA) location estimation, 9th IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Communication, vol. 1, 1998, pp. 461-465.

[3] Wuk Kim, Jang Gyu Lee, Gyu-In Jee, ByungSoo Kim, "Direct estimation of NLOS propagation delay for mobile station

location," IEE Electronics Letters, August 2002, Vol.38, No.18, pp.1056- 1057

[4] M. Wax and O. Hilsenrath, "Signature Matching for Location Determination in Wireless Communication Systems", U.S. Patent 6,112,095, Aug. 29, 2000

[5] H. Laitinen, T. Nordstrom and J. Lahteenmaki, "Database Correlation Method for GSM Location", Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference, Rhodes, Greece, May 2001

[6] 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, Oct. 2005

[7] 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

[8] B. Li, A.G. Dempster, C.Rizos, and H. K. Lee, "A database method to mitigate NLOS error in mobilephone positioning," Proceedings of IEEE/ION PLANS, San Diego, California, 25-27 April 2006, pp. 173-178

[9] S. Jayaraman, M. Wax, O. A. Hilsenrath, Calibration table generation for wireless location determination, US patent 6,101,390 , Aug. 8, 2000

[10] J. M. Watters, L. Strawczynski, D. Steer, Devices and processing in a mobile radio communication network having calibration terminals, US patent 6,230,018, May 8, 2001

[11] 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

- [12] H. K. Lee, B. Li, C.Rizos, "Implementation Procedure of Wireless Signal Map Matching for Location-Based Services," Proceedings of 2005 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology(ISSPIT), Athens, Greece, Dec. 2005, pp. 429-434
- [13] B. Li, C. Rizos, H. K. Lee, "Utilizing kriging to generate a NLOS correction map for network based mobile positioning," Journal of GPS, Vol. 4, No. 1-2, pp. 27-35, 2005
- [14] 이형근, C. Rizos, "지상파 기반 무선 측위를 위한 무선신호 지도정합법", SKTelecom - Telecommunications Review, Vol. 15, No. 6, pp.993-1006, 2005
- [15] B. Li, H. K. Lee, A.G. Dempster, C.Rizos, and L. Barnes, "Wireless signal map matching for NLOS error mitigation in mobile phone positioning," Symp. on GPS/GNSS (IGNSS2006), Surfers Paradise, Australia, 17-21 July, 2006, CD-ROM procs.
- [16] R. Padovani, W. M. Hamdy, G. Bar-David, Pilot Singal Searching Technique for a Cellular Communications System, US patent 5,577,022 , Nov. 19, 1996 (Qualcomm)
- [17] J. Caffery Jr and G. Stuber, "Overview of radiolocation in CDMA cel-lular systems,"IEEE Commun. Mag., vol. 36, pp. 3845, 1998.
- [18] J. Caffery Jr and G. Stuber, "Subscriber location in CDMA cellular networks," IEEE Trans.Veh. Technol., vol. 47, pp. 406416, 1998.
- [19] 이형근, 지규인, C. Rizos, "차분 위성항법을 위한 위치영역 필터의 설계", 한국항행학회 논문지, Vol. 8, No. 1, pp. 26-37, 2004

이 형 근



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 (전임강사)

심 주 영



2004년 2월: 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부(공학사)
 2006년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과(석사)
 2006년 3월~현재: 한국항공대학교 항공전자공학과 박사과정. 관심분야는 관성항법시스템, 초음파시스템, 위성항법시스템

김 희 성



2007년 2월: 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부(공학사)
 2007년 3월~현재: 한국항공대학교 항공전자공학과 석사과정. 관심분야는 GPS