

CDMA 망에서 향상된 hearability을 갖는 무선 측위 시스템

정희원 정양석*, 연명훈*, 박준현*, 유흥렬**, 홍대식*, 윤대회*, 이충용*

A Position Location System with Improved Hearability on CDMA Network

Yangseok Jeong*, Meung-HoonYeun*, Junhyun Park*, Heung-Ryeol You**, Daesik Hong*,
Dae-Hee Youn* and Chungyong Lee* *Regular Members*

요 약

CDMA 망과 연동하는 무선 단말기 기반의 TDOA 무선 측위 시스템을 제안하고 오차요인을 분석하여 해결 방안을 제시하였다. 제안된 측위 시스템은 단말기의 변형을 최소화하기 위해 무선 단말기에서 기존에 사용하던 PN 코드 동기화 모듈과 추가로 탑재된 보조 PN 코드 동기화 모듈을 이용하며 각 기지국으로부터 송출된 순방향 링크의 파일럿 신호들을 동기화하는 동시에 TOA 및 TDOA를 추정한다. 원거리 기지국의 약한 파일럿 신호에 대한 hearability 향상을 위해 간섭 신호 제거 기술을 도입하였으며, N차 다항 근사화를 이용한 smoothing 기법을 적용하여 DLL의 TOA 추정 오차를 최소화하였다. 제안한 시스템의 위치 추정 성능 향상을 위하여 GDOP 정보를 이용한 최적 기지국 집합 선정 기법을 사용한다. 제안된 측위 시스템은 각 모듈별 컴퓨터 모의 실험을 통해 향상된 파라미터 추정 및 측위 성능을 보임을 확인하였다.

ABSTRACT

We propose a handset based TDOA wireless position location system on CDMA network. The proposed position location system exploits DLL and several extra DLL modules to estimate TOAs from BSs. Since synchronization performance of DLL is degraded by near-far effect, we adopt interference cancellation technique subtracting the reconstructed pilot signal from received signal at a mobile. It can increase hearability and enhance performance in estimating TOAs of weak pilot signals from other cells. Estimated TOA error is minimized by using N-th order polynomial approximation. Also GDOP information is used for searching optimized BSs' set to give more accurate location. The proposed system showed the improved performance in estimating parameters and locating positions by computer simulations.

I. 서 론

무선 측위 시스템(position location system)은 최근 미국 통신 연방 위원회(U.S. Federal Communications Committee)에서 사용자의 안전을 위하여 무선 통신 사업자가 E-911 (Enhanced-911) 무선 호출

자의 위치를 알려주도록 의무적으로 규정하기로 결정하면서부터 관심을 끌기 시작하였다. 미국 연방 통신 위원회는 2001년 10월 1일까지 911 사용자의 위치를 네트워크 기반 무선 측위 해법의 경우 67%의 호에 대하여서는 100m 이내로, 95%의 호에 대하여서는 300m 이내로 정확성을 부여하도록, 단말기 기

* 연세대학교 전기전자공학과 음향 연구실(bonjure74@assp.yonsei.ac.kr), ** 한국통신 가입자망연구소

논문번호 : 00249-0704, 접수일자 : 2000년 7월 4일

※ 본 연구는 한국통신 가입자망연구소의 지원으로 수행되었습니다.

만 해법의 경우 67%의 호에 대하여서는 50m 이내로 95%의 호에 대하여서는 150m 이내로 정확성을 부여하도록 규정하였다^[1].

무선 측위 시스템은 무선 통신망을 기반으로 하는 방법과 무선 단말기를 기반으로 하는 방법으로 나눌 수 있다^[2]. 무선 통신망을 기반으로 하는 방법은 단말기의 송출 신호를 다수의 기지국에서 수신하도록 구성하는데, 일반적으로 단말기는 약한 송출 신호를 갖고 전력 제어를 하게 되므로, 원거리 기지국에서 단말기의 신호를 수신할 수 없는 hearability 문제가 심각하게 나타난다. 무선 단말기를 기반으로 하는 방법은 GPS (Global Positioning System)를 단말기에 탑재하거나 무선 단말기에서 다수의 기지국 송출 신호를 수신하도록 구성한다. GPS를 이용할 경우 GPS 신호의 수신과 처리에 필요한 부가 장치를 단말기 내부에 내장하여야 하고, 위성으로부터 송신되는 GPS의 미약한 신호를 수신하기 위하여 LOS(Line Of Sight) 신호 성분이 필수로 요구되므로, 고층 빌딩들이 많이 있는 도심에서나 실내, 숲속등의 NLOS(Non Line Of Sight) 전파 환경인 경우 측위가 거의 불가능하다. 그러나 CDMA 시스템의 순방향 링크 중에서 파일럿 채널은 전력 제어 없이 기지국 송신 전력의 5-20%의 충분한 전력을 가지고 송신하므로^[2], GPS 보다는 넓은 영역에서 신호 수신이 용이하고, 무선 통신망을 기반으로 하는 방법에 비해 상대적 hearability문제의 해결이 쉽다. 따라서 다수의 기지국 파일럿 신호를 동시에 수신하도록 단말기의 변형을 최소화하여 구성한다면 GPS의 단점을 보완할 수 있는 측위 시스템을 구성할 수 있다.

본 논문에서는 CDMA 시스템에 적용 가능한 TDOA(Time Difference of Arrival) 무선 측위 방법에 대하여 기술하고, 무선 단말기에 탑재된 보조 PN 코드 동기화 모듈을 사용하여 TOA/TDOA를 추정하는 일반화된 무선 단말기 측위 시스템을 제안한다. 또한 제안된 시스템에서 일어날 수 있는 오차 요인을 분석하여 해결 방안을 제시하고, 시스템의 각 모듈별 시뮬레이션을 통해 제안된 측위 시스템의 파라미터 추정 및 측위 성능을 분석한다.

II. TDOA 무선 측위 방법

TDOA 측위 기법은 두 기지국에서 무선 단말기 까지 거리의 차에 비례하는 전파 도달 시간차를 측정하여 두 기지국을 초점으로 하는 쌍곡선 구하고,

다른 기지국 쌍으로부터 측정된 TDOA를 이용하여 또 다른 쌍곡선을 구하여 두 곡선의 교점으로부터 무선 단말기의 위치를 추정한다. TOA(Time of Arrival) 방법이 기지국과 단말기 사이의 정확한 시각 동기를 요구하고, 신호의 출발 시각을 표시해야 하는 반면에, TDOA 방법은 기지국과 단말기간 시각 동기가 필요없는 장점이 있다. 현재 CDMA 시스템에서는 PN 코드를 사용하므로 이를 이용한 시간 추정이 용이하고, 기지국과 단말기간 시각 동기가 이루어지지 않고 있으므로 측위 시스템을 위한 방법으로 TDOA 방법이 많이 연구되고 있다^[3].

일반적으로 TDOA 추정은 상호 상관 방법을 사용하여 기지국과 단말기간 시각동기가 필요 없이 상대적인 시간차만을 추정하면 되지만^[4], 기지국 사이의 시각동기가 완벽하다고 가정했을 때, 단말기에서 TOA를 추정해서 그 차이를 구하면 등가의 TDOA를 구할 수 있다. 즉, i 번째 기지국에서 송출되어 무선 단말기에서 수신된 파일럿 신호의 도달 시간, $\hat{\tau}_i$ 는 무선 단말기의 시스템 시각을 기준으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{\tau}_i = \tau_0 - n_{bias} + n_i, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (1)$$

여기서 τ_0 는 기지국의 시스템 시각을 기준으로 한 i 번째 기지국 신호의 참 TOA이고, n_{bias} 는 기지국과 단말기 사이의 시스템 시각 동기 바이어스, n_i 는 i 번째 기지국 신호의 TOA 추정 오차를 나타낸다.

위 식으로부터 i 번째 기지국과 j 번째 기지국사이의 TDOA, $\hat{\tau}_{ij}$ 는

$$\hat{\tau}_{ij} = \hat{\tau}_i - \hat{\tau}_j = \tau_0 - \tau_0 + n_i - n_j \quad (2)$$

으로 주어지며, 기지국과 단말기 사이의 시스템 시각 동기 바이어스인의 영향이 제거됨을 알 수 있다.

추정된 TDOA 값으로부터 얻어진 쌍곡선 방정식의 해를 구하여 무선 단말기의 위치를 좌표화하는 알고리즘으로서 가장 최적의 성능을 보여주는 것이 Chan이 제안한 방법이다^[5]. 무선 단말기와 기지국이 동일 평면 위에 위치해 있다고 가정하고 $[x \ y]$ 를 무선 단말기의 위치라고 했을 때, 측정된 TDOA와 기지국 및 단말기 사이의 위치관계는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r_{ij} = c\tau_{ij} &= r_i - r_j = r_j^0 + \Delta r_{ij} \\ &= \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} - \sqrt{(x_j - x)^2 + (y_j - y)^2} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 c 는 전파의 속도, r_{ij} 는 i 번째 기지국과 j 번째 기지국과 단말기 사이의 참 거리 차, Δr_{ij} 는 i 번째 기지국과 j 번째 기지국과 단말기 사이의 거리 차의 오차 성분, r_i 는 i 번째 기지국과 무선 단말기사이의 거리를 나타내며, 다음과 같은 최대 근사 함수(Maximum Likelihood function: ML)의 지수부분을 최소로 하는 최적화 문제의 최소 자승근이 무선 단말기의 위치가 된다.

$$\min_{z_a} \{ (h - G_a z_a)^T \Psi^{-1} (h - G_a z_a) \} \quad (4)$$

$$\hat{z}_a^0 = (G_a \Psi^{-1} G_a)^{-1} G_a^T \Psi^{-1} h$$

여기서,

$$G_a = \begin{bmatrix} x_{21} & y_{21} & r_{21} \\ x_{31} & y_{31} & r_{31} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{M1} & y_{M1} & r_{M1} \end{bmatrix}, \quad h = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} r_{21}^2 - K_2 + K_1 \\ r_{31}^2 - K_3 + K_1 \\ \vdots \\ r_{M1}^2 - K_M + K_1 \end{bmatrix}$$

$z_a = [x \ y \ r_1]^T$, $\Psi = c^2 B Q B$, $B = \text{diag}\{r_2^0, r_3^0, \dots, r_M^0\}$ 이며, Q 는 TDOA 측정 잡음의 공분산 행렬이다.

단말기가 기지국들로부터 매우 멀리 떨어져 있다고 가정하면 I 를 크기가 $M \times M$ 인 단위행렬이라 했을 때, $B \approx r_0 I$ 으로 근사화할 수 있고 무선 단말기의 위치는 다음식으로 간략화된다.

$$\hat{z}_a^0 = (G_a Q^{-1} G_a)^{-1} G_a^T Q^{-1} h \quad (5)$$

III. 제안하는 무선 측위 시스템

CDMA 이동 통신 시스템에서는 무선 단말기와 기지국간의 시각 동기 및 동기 복조수행을 위해 PN 코드 동기 획득 장치와 동기 추적 장치로 구성된 PN 코드 동기화 모듈을 사용한다. 특히 순방향 채널에서는 동기화를 위해 기지국에서 파일럿 신호를 송출하며, 무선 단말기에서는 searcher를 이용하여 PN code 동기 획득, 즉 초기 코드 위상의 결정을 수행하고, DLL(Delay Lock Loop)로 구성된 PN 코드 동기화 모듈을 이용하여 동기 추적을 수행한다. 이와 같은 동기화 과정에서 기지국 시스템 시각과 단말기 시스템 시각 사이의 동기 바이어스를 포함한 TOA를 추정할 수 있다. 무선 측위를 위해서는 최소 3개 이상의 서로 다른 기지국의 파일럿 신호에 대한 TOA값이 필요하므로 IS-95 무선 통신 시스템의 무선 단말기에서 사용하고 있는 1개의 searcher와 3개의 finger에 있는 DLL을 이용하여

그대로 측위 시스템을 구성할 수 있다. PN 코드 동기 추적 장치는 측위를 위한 기지국 파일럿 신호의 수만큼 필요하지만, PN 코드 동기 획득 장치는 성능에 따라 사용 개수를 정할 수 있다. 본 논문에서는 이를 일반화하여 무선 단말기에 PN 코드 동기화 모듈을 3개 이상 탑재하여 순방향 파일럿 신호에 대한 시간 파라미터를 추정하는 무선 단말기 기반의 TDOA 측위 시스템을 제안하였다.

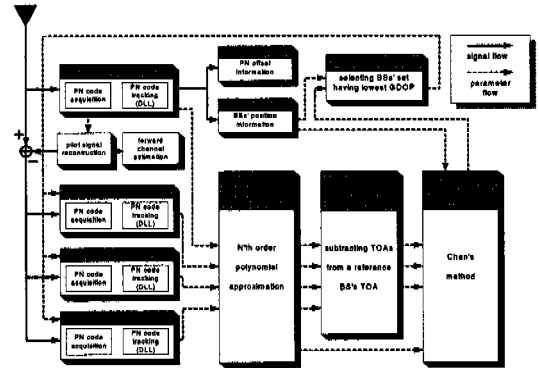


그림 1. 제안한 측위 시스템의 구조도

제안된 무선 측위 시스템은 그림 1과 같이 무선 단말기에 파일럿 신호를 이용한 PN 코드의 동기화와 TOA 추정을 동시에 수행할 수 있는 PN 코드 동기화 모듈, DLL의 성능 개선 및 hearability 개선을 위한 간섭 신호 제거(IC : Interference Cancellation) 모듈, DLL의 흔들림 현상에 의한 TOA 추정 오차를 줄이기 위해 smoothing을 하는 N차 다항 근사화 모듈, TDOA 계산 모듈, Chan의 좌표화 모듈, 기지국의 기하학적 배치에 의해 나타나는 측위 오차의 최소화를 위한 최적 기지국 집합 선정 모듈로 구성된다.

3.1 TDOA 추정을 위한 PN 코드 동기화 모듈
PN 코드 동기 모듈을 이용하여 추정된 전파 도달 시각은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{t}_i = N_i T_c + \alpha_i \quad (6)$$

여기서 T_c 는 PN 코드 1 chip의 주기, N_i 는 chip 단위의 정수를 의미한다. 따라서 PN 코드 chip 단위의 TOA 값, $N_i T_c$ 는 PN 코드 획득 과정에서 얻게 되며, 1 chip이내의 TOA 값, α_i 는 DLL을 이용한 PN 코드 추적 과정에서 얻게 된다. 추정된 TOA값은 단말기 시스템 시각 기준이며 기지국 시

시스템 시각과 단말기 시스템 시각의 동기 바이어스를 포함하고 있다. 따라서 그대로 TOA를 측위 시스템에 이용하지 못하고 식(2)와 같이 그 차이를 계산하여 TDOA값을 구한다.

3.2 DLL과 간섭 신호 제거 모듈

일반적으로 DLL의 PN 코드 동기 추적 성능은 다중 사용자 간섭(MAI : Multiple Access Interference)과 원근 문제(near far problem)의 영향을 많이 받는다^[9]. 따라서 단말기에서 수신된 신호의 E_s/I_0 는 DLL의 TOA 추정에 있어서 매우 중요한 오차 요인이 된다. 특히 I_0 성분 중에서 타 기지국의 overhead 전력의 합인 I_{oc} 는 M개의 기지국에 대하여 다음과 같이 표현할 수 있다^[7].

$$I_{oc} = G \sum_{m=1}^M P_m(\theta_m) L_m(\theta_m, d_m) \quad (7)$$

여기서, G는 안테나 수신 이득, $P_m(\theta_m)$ 은 m번째 기지국에서 θ_m 의 방향으로 송출하는 overhead 전력(파일럿, 페이징, 싱크 채널의 전력 포함), $L_m(\theta_m, d_m)$ 은 m번째 기지국에 대하여 방향이 θ_m , 거리가 d_m 의 위치에 있는 단말기까지의 경로 손실을 의미한다. 단말기의 소속 기지국의 PN 코드 동기화 모듈에서 나타나는 I_{oc} 성분은 멀리 있는 인근 기지국의 작은 overhead 전력 성분들의 합으로 E_s/I_0 에 큰 영향을 주지 못한다. 그러나 인근 기지국의 파일럿 신호에 대한 PN 코드 동기화 모듈에서는 가까운 곳에 있는 소속 기지국의 순방향 링크의 신호가 오히려 강한 간섭신호로 작용하여 I_0 성분 내에 포함되어 E_s/I_0 을 현저히 감소시키고 원근 문제를 일으킨다. 이때 DLL을 이용한 TOA추정은 오차를 유발하거나 심한 경우 수신이 불가능한 상황이 되어 hearability 문제를 일으킨다. 그러나 소속 기지국의 강한 파일럿 신호를 재구성하여 수신 신호로부터 제거하면 I_{oc} 성분을 제거하는 효과를 보이게 된다. 따라서 상대적으로 인근 기지국 신호의 E_s/I_0 값을 증가시켜 TOA 추정 성능을 높일 수 있고, 나아가 hearability까지 개선할 수 있다.

다중 사용자 간섭과 원근 문제에 강인하게 하기 위해 다중 사용자 검파 기술의 간섭 제거 기술을 결합한 DLL이 연구되었으나^[8], 이는 기지국에서 다중 사용자 각각에 대하여 블라인드 채널 추정과 데이터 추정을 사용함으로써 많은 계산량과 더불어 간섭 신호를 재구성할 때 많은 오차 요인을 갖고 있다. 반면에 제한된 측위 시스템에서는 단말기에서

파일럿 신호를 학습 신호열(training sequence)로 이용하는 채널 추정 기법들^[9]을 사용하여 간섭 신호를 제거할 수 있다. 따라서 제안된 간섭 신호 제거 모듈에서는 기지국에서 사용하는 블라인드 채널 추정 기법에 비해 향상된 채널 추정 성능을 가질 수 있고, 파일럿 신호의 무변조 확산 특성을 이용하면 데이터 비트를 추정할 필요가 없기 때문에 제거하고자 하는 신호를 재구성하기에 매우 용이한 장점을 갖고 있다.

3.3 N차 다항 근사화 모듈

Non coherent DLL은 무선 단말기의 이동성과 무선 통신 채널의 시변 특성(small scale fading)에 의해 양의 바이어스(positive bias)와 지속적인 흔들림 현상(fluctuation)을 보인다^[10]. 이러한 현상은 주로 도심 지역과 같은 빠른 다중 경로 페이딩 채널에서 나타나는데 양의 바이어스는 coherent DLL을 사용하거나 DLL의 앞선 코드와 뒤진 코드의 간격을 좁히는 방법 등으로 어느 정도 줄일 수 있다^[9]. 바이어스 문제가 어느 정도 해결된 DLL은 참 TOA 값에 수렴하지 못하고 이를 중심으로 백색 잡음 신호처럼 지속적인 흔들리는 현상을 보인다. 이와 같은 문제는 추정된 TOA값들의 N차 다항 근사화 과정을 통한 smoothing 기법을 적용하면 무선 단말기의 이동성은 보장하면서 흔들림에 의한 TOA 추정 오차를 최소화할 수 있다. 시각 t_i 에 m번째 기지국 파일럿 신호에 대해 추정된 TOA값은 다음과 같은 모델에 의해 smooth되고,

$$d_m(t_i) = \sum_{n=0}^{N-1} a_m(n) t_i^n \quad (8)$$

최소 자승 기법에 의해 계수 $\{a_m(n)\}_{n=0}^{N-1}$ 를 구할 수 있으며 smoothing된 TOA 추정값은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$s_m(t_i) = \sum_{n=0}^{N-1} \hat{a}_m(n) t_i^n \quad (9)$$

3.4 GDOP와 기지국 선정 모듈

무선 단말기의 위치 추정 성능은 무선 단말기의 위치와 수신 가능한 파일럿 신호의 수 및 기지국의 배열 형태에 큰 영향을 받는다. 무선 단말기의 전력 소모와 크기, 무게 등을 고려할 때, 탑재할 수 있는 PN 코드 동기화 모듈의 수는 제한 될 수 밖에 없으므로, TOA추정 가능한 파일럿 신호가 많은 환경에서는 제한된 TDOA 추정값을 가지고 최소 오차

를 보일 수 있는 기지국 집합을 선정할 필요가 있다.

일반적으로 시간 측정 오차와 수신 기지국의 배치가 위치 추정 정확도에 미치는 영향을 나타내는 주요 척도로 GDOP(Geometric Dilution Of Precision)가 사용된다^[10]. 이는 어느 위치에 있는 단말기라도 의사 거리 추정오차에 의한 측위 오차가 최소화될 수 있도록 GPS 위성의 배치 최적화 설계 및 측위 시스템을 위한 전파 송출국의 배치 최적화 설계에서 사용한다. 그러나 M개의 PN 코드 동기화 모듈을 갖는 제한한 측위 시스템에서는 기존에 배치되어 있는 기지국에 대하여 1차적으로 높은 수신 전력 레벨을 갖는 M개의 파일럿 신호를 이용하여 무선 단말기의 위치를 추정하고, 2차적으로 추정된 단말기 위치에 대하여 최소 GDOP를 갖는 M개의 기지국 파일럿 신호 집합을 찾아서 더욱 정확한 위치를 추정하여 위치 추정오차를 최소화한다. 2차원 평면 TDOA 기법에서의 GDOP는 다음과 같이 주어진다^[10].

$$GDOP = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} / \sigma_R \quad (10)$$

여기서, σ_x^2 와 σ_y^2 는 x축과 y축의 위치 추정 평균 자승 오차이고, σ_R^2 는 평균 자승 TDOA 의사 거리 추정 오차(mean square TDOA ranging error)를 나타낸다.

IV. 성능 평가

4.1 간섭 신호 제거 성능 분석

AWGN 채널을 통과한 목적 신호와 원근문제를 일으키는 신호를 DLL의 입력 신호로 사용하였다. 원근 문제를 일으키는 신호는 20dB의 원근 비율을 가지며, 이를 수신 신호로부터 완벽한 채널 추정을 통해 제거한 후의 신호와 원수신 신호에 대하여 각

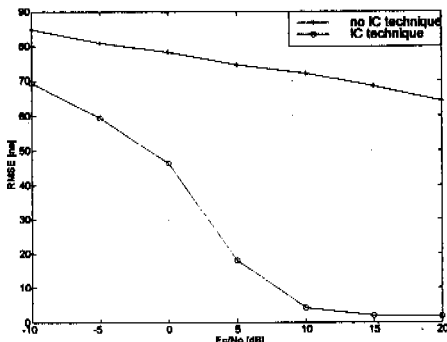


그림 2. 간섭신호 제거 기술을 이용한 TOA 추정성능 향상

각의 TOA 추정을 E_b/N_0 을 변화시키며 100번의 독립수행을 하였다. 그림 2에서 '*' 로 표시된 선이 간섭신호를 제거하지 않은 신호에 대한 TOA 추정 RMSE(Root Mean Square Error)이고, 'o'으로 표시된 선이 간섭신호 제거후의 신호에 대한 TOA 추정 RMSE이다. E_b/N_0 가 20 dB 일때 약 60 ns 정도의 성능 개선을 할 수 있다.

4.2 N차 다항 근사화

N차 다항 근사화의 성능 분석을 위해서 참 TOA 값을 중심으로 1/8칩을 표준 편차로 갖는 백색 가우시안 잡음을 첨가함으로써 흔들림 현상을 모델링하였다. 단말기는 기지국으로부터 90km/h의 속도로 직선적으로 멀어지고 있다고 가정하였으며 2초간 TOA를 추정한 후 이를 1차 다항 근사화로 smoothing하였다. 그림 3에서 알 수 있듯이 무선 단말기의 이동성을 보장해주면서 smoothing전의 RMSE가 0.125 chip에서 smoothing후 RMSE가 0.012 chip으로 TOA 추정 흔들림 오차를 시간상 약 10.6 ns 정도를 줄였다.

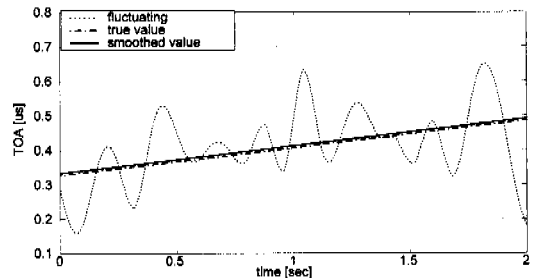


그림 3. 1차 다항 근사화를 이용한 smoothing

4.3 기지국 집합 선정

낮은 GDOP를 갖는 기지국 선정의 모의 실험을 위해서 1km의 반경을 갖는 6각형 벌집모양의 셀 구조를 설정하였다. 각 기지국에서 송출된 파일럿 신호에 대한 TOA 추정 오차의 분산은 동일하다고 가정하였으며, 좌표화 계산 방법은 Chan의 방법을 사용하였다. 4개의 기지국으로 구성된 집합 set1, set2, set3에 대하여 GDOP값을 구하고, 5m에서 40m까지의 표준 편차를 갖는 백색 가우시안 잡음을 첨가하여 TOA 추정 오차값을 발생시켜 Chan의 좌표화 방법에 대입하여 1000번의 독립수행을 하였다. 그림 4에서의 같이 모의 실험 결과, 기지국 집합 set2가 가장 낮은 GDOP를 가지며 측위 오차가 가장 낮음을 알 수 있다. 가장 낮은 GDOP 값을

갖는 기지국 집합을 선정함으로써 40m의 TOA 추정 오차에 대하여 최대 약 38m의 측위 오차를 줄일 수 있었다.

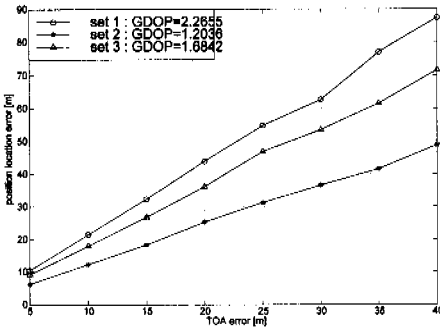



그림 4. GDOP에 따른 기지국 선정 모듈을 갖는 측위 시스템의 위치 추정 성능

V. 결론

기존 CDMA 시스템의 순방향 링크 채널 중에서 파일럿 채널을 이용하는 무선 단말기 기반의 측위 시스템을 제안하였다. 제안된 측위 시스템은 무선 단말기에 시간 파라미터를 동시에 추정할 수 있는 PN 코드 동기화 모듈을 탑재하여 순방향 채널의 파일럿 신호에 대한 TDOA를 추정하며, hearability 개선을 위해 home 셀의 강한 파일럿 신호를 제거하는 모듈을 탑재하였다. TDOA 추정은 무선 단말기에 탑재된 DLL을 사용하며, 원근 문제 및 hearability 문제의 해결을 위해 간섭 신호 제거 기술을 사용하였다. 무선 통신 채널의 small scale fading 특성에 의해 DLL의 TOA 추정은 특정값에 수렴하지 못하고 지속적인 흔들림 현상을 보이게 되는데 N차 다항 근사화를 이용하여 이를 smoothing을 함으로써 TOA 추정 오차를 감소시켰다. 또한 시간 추정 오차가 측위 오차에 끼치는 영향을 최소화하기 위해 GDOP가 낮은 기지국을 선정하는 모듈을 갖고 있다. 컴퓨터 모의 실험을 통하여 hearability 개선을 위해 도입된 간섭 신호 제거 기술이 약한 수신 레벨을 갖는 파일럿 신호의 TOA를 추정할 때에 추정 오차를 줄일 수 있음을 확인하였으며, N차 다항식 근사화의 smoothing 기술은 DLL의 지속적인 흔들림에 의한 TOA 추정 오차를 줄일 수 있었다. 1차적으로 추정된 단말기의 위치 정보를 이용하여 구해진 낮은 GDOP를 갖는 기지국 집합의 선정은 2차적으로 보다 향상된 위치 추정 정확도를 제공할 수 있음을 보였다.

참고 문헌

- [1] FCC Docket No. 94-102, Enhanced 911 Emergency Calling Systems, RM-8143, Oct. 6 1999.
- [2] *CDMA system Engineering Training Handbook*, April 1993.
- [3] T. S. Rappaport, J. H. Reed, and B. D. Woerner, "Position Location Using Wireless Communications on Highways of the Future," *IEEE Communications Magazine*, pp.33-41, Oct. 1996.
- [4] C. Knapp and G. Carter, "The Generalized Correlation Method for Estimation of Time Delay," *IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. ASSP-24, pp. 320 - 327, Aug. 1976.
- [5] Y. T. Chan and K. C. Ho, "A simple and efficient estimator for hyperbolic location," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 48, no.2, pp.1905-1915, Aug. 1994.
- [6] J. J. Caffery, Jr. and G. Stuber, "Subscriber Location in CDMA cellular Networks," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol.47, pp.406-416, May 1998.
- [7] Samuel C. Yang, *CDMA RF SYSTEM ENGINEERING*, Artech House Publishers, Boston, London, 1998.
- [8] M. Latva-aho and J. Lilleberg, "Delay Trackers for Multiuser CDMA Receivers," *IEEE International Conference on Universal Personal Communications*, pp. 326-330, 1996.
- [9] Bas W.'t. Hart, Richard D. J. Van Nee and Ramjee Prasad, "Performance Degradation Due to Code Tracking Errors in Spread-Spectrum Code Division Multiple Access Systems," *IEEE JSAC*, vol.14, no.8, pp.1669-1679, Oct. 1996.
- [10] Don J. Torrieri, "Statistical Theory of Passive Location Systems," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic systems*, vol. AES-20, no.2 March 1984.

점 양 석(Yangseok Jeong)	정회원
	
1998년 2월 : 중앙대학교 전기공학과 졸업	
2000년 2월 : 연세대학교 전기컴퓨터공학과 석사	
2000년 3월~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사 과정	

<주관심 분야> 무선 측위, 이동 통신, 어레이 신호처리

연 명 훈(Meung-Hoon Yeun)	정회원
1998년 8월 : 연세대학교 전자공학과 졸업	
2000년 8월 : 연세대학교 전기전자공학과 석사	
2000년 9월~현재 : LG 정보통신	

박 준 현(Junhyun Park)	정회원
1996년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업	
1999년 2월 : 연세대학교 전기컴퓨터공학과 석사	
2000년 4월~현재 : 삼성전자 종합기술원	

유 흥 열(Heung-Ryeol You)	정회원
한국통신학회 논문지, 제24권, 제5A호 참조	

홍 대 식(Daesik Hong)	정회원
한국통신학회 논문지, 제20권, 제1호 참조	

윤 대 회(Dae-Hee Youn)	정회원
한국통신학회 논문지 제24권, 제7A호 참조	

이 충 응(Chungyong Lee)	정회원
한국통신학회 논문지 제24권, 제7A호 참조	