

CDMA 시스템에서 TDOA 기법을 이용한 단말기 위치 추정에 관한 연구

이 용 우(李用雨), 조 민 성(趙敏成), 김 장 섭(金長涉), 정 우 곤(鄭遇坤)
성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과
전화 : (0331) 290-7228 / 팩스 : (0331) 290-7231

Position Location Using TDOA Technique in CDMA Systems

Yong Woo Lee, Min Sung Cho, Jang Sub Kim, Woo Gon Chung
School of Electrical and Computer Engineering Sungkyunkwan University
E-mail : ywlee@ece.skku.ac.kr, wchung@caleb.skku.ac.kr

Abstract

This paper investigates the performance of the hyperbolic position location(PL) technique in CDMA system. Hyperbolic PL systems are such technology that can provide accurate PL information using the existing cellular/PCS infrastructure and without requiring additional hardware/software implementation within the mobile unit. The channel simulation is obtained by applying AWGN and multipath fading. The effect of the mobile position within the cell and the number of base stations on the accuracy of the hyperbolic PL technique is investigated.

I. 서론

전 세계적으로 단말기 위치 추정에 관한 연구가 활발하게 이루어지게 된 계기는 지난 1996년 미국 연방통신협회(Federal Communications Commission)에서 셀룰러, PCS, 그리고 SMR(Specialized Mobile Radio) 서비스 공급업체들에게 2001년10월까지 가입자의 응급구조 요청이 있을 경우 가입자의 위치 정보를 반경

125m 이내의 오차와 67%의 성공률로 추정하여 E-911(Enhanced 911) 서비스에 제공하도록 요구하였기 때문이다[1].

가입자 위치추정(Position Location)의 응용은 응급 상황에서 신호를 보내는 가입자의 위치 정보를 지상이동통신망을 이용하여 119 구조대나 경찰서와 같은 관공서에 통보하는 응급구조서비스가 대표적이고 그 외의 응용분야로는 사용자의 통화위치에 따른 지역별 통화료 부과 서비스, 원활한 교통흐름을 제공하는 지능교통시스템(Intelligent Transportation System), 그리고 효과적인 이동통신망의 설계 등이 있다.

지상이동통신망을 이용하지 않는 위치추정 시스템으로 GPS(Global Positioning System) 위성을 이용한 위치추정 시스템이 있지만 이를 이용할 경우 GPS 위성으로부터 오는 신호를 수신하여 처리하기 위한 부가장치를 단말기 내부에 장착하여야 하는 단점이 있다. 더구나, GPS 위성으로부터 송신되는 미약한 신호를 수신하기 위해서는 가시성(Line of Sight)이 보장되어야 하는데 건물들이 많은 도심지역이나 실내, 숲 속 등에서는 가시성이 거의 보장되지 않기 때문에 위치추정에 막대한 제한을 받는다.

본 논문에서는 지상이동통신망을 이용한 위치추정방법을 제안하고자 한다.

II. 위치 추정 방법의 종류

위치추정방법의 종류는 크게 DF(Direction Finding) PL 방법과 range-based PL 방법으로 분류할 수 있다. 이 두 방법을 각각 독립적으로 사용하여 위치를 추정할 수 있고 합성하여 사용할 수도 있다.

DF PL 방법은 스마트 안테나 또는 안테나 어레이를 사용하여 기지국에 수신되는 단말기 신호의 AOA(Angle of Arrival)를 측정하여 위치를 추정하는 방법이다.

Range-based PL 방법은 다시 TOA(Time of Arrival)와 TDOA(Time Difference of Arrival) 방법으로 분류할 수 있다. TOA 방법은 단말기 신호가 기지국에 도달하는 시간을 측정하여 단말기의 위치를 추정하는 방법이다. TDOA 방법은 두 개의 기지국에 수신되는 단말기 신호의 도착 시간차를 측정하여 거리 차이를 추정하고 두 기지국을 초점으로 하는 쌍곡선을 그린다. 이런 식으로 세 개 이상의 기지국을 사용하여 여러 개의 쌍곡선을 그리고 교차 지점을 단말기의 위치라 추정한다. 이 방법의 장점은 단말기 신호의 도착 시간 차이를 이용하기 때문에 단말기와 기지국간의 동기 필요하지 않다. 이 방법을 이용하려면 기지국들간의 동기가 절대적으로 필요한데 이 점은 이미 GPS 위성을 이용하여 기지국들간의 동기가 이루어지기 때문에 IS-95 CDMA 시스템에 가장 적합한 방법이라 할 수 있다. 또한 기존의 지상이동통신망을 그대로 이용할 수 있고 단말기의 개조도 필요하지 않기 때문에 상업적으로도 가장 매력에 있는 방법이라 할 수 있다.

III. TDOA를 이용한 위치 추정 방법

TDOA를 이용하는 위치추정은 두 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계에서는 각 기지국에 수신되는 신호를 cross-correlation하여 TDOA를 추정한다. 다음 비선형 방정식을 얻는다. 여러 가지 방법들이 있는데 본 논문에서는 GCC(Generalized Cross Correlation)방법을 사용하여 TDOA를 추정한다[2].

단말기로부터 전송되는 신호를 $s(t)$ 라고 하고 채널을 통과하여 두 기지국에 수신되는 신호를 다음과 같이 두자.

$$x_1(t) = s(t) + n_1(t) \quad (I)$$

$$x_2(t) = As(t-D) + n_2(t)$$

식(I)에서 $n(t)$ 는 잡음과 간섭신호를 나타내고 A 는

두 신호의 크기 비율이다. 또 D 는 $d_2 - d_1$ 이다.

위의 두 식의 cross-correlation은 다음과 같다.

$$R_{x_2x_1}(\tau) = AR_s(\tau - D) \quad (2)$$

식(2)의 cross-correlation값이 최대가 되는 τ 를 TDOA라고 추정한다.

두 번째 단계에서는 비선형 방정식을 풀어서 단말기의 위치를 추정한다. 논문에서는 Chan's method를 사용하여 비선형방정식을 푼다[3].

단말기의 위치를 (x, y) 라고 하고, i 번째 기지국의 위치를 (x_i, y_i) 라고 했을 때 단말기와 기지국 사이의 거리는 다음과 같다.

$$r_i^2 = (x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 \quad (3)$$

$$= K_i - 2x_ix - 2y_iy + x^2 + y^2, \quad i = 1, 2, \dots, M$$

where, $K_i = x_i^2 + y_i^2$, M 은 기지국의 수

단말기의 위치 (x, y) 를 구하기 위한 비선형 방정식은 다음과 같다.

$$r_{i,1} = cd_{i,1} = r_i - r_1 \quad (4)$$

where, c 는 빛의 속도, $d_{i,1}$ 는 TDOA

식(3)을 다시 쓰면 다음과 같다.

$$r_{i,1}^2 + 2r_{i,1}r_1 + r_1^2 = K_i - 2x_ix - 2y_iy + x^2 + y^2 \quad (5)$$

$i=1$ 일 때 식(5)로부터 식(3)을 빼면 다음과 같다.

$$r_{i,1}^2 + 2r_{i,1}r_1 = -2x_{i,1}x - 2y_{i,1}y + K_i - K_1 \quad (6)$$

위의 식에서 $x_{i,1} = x_i - x_1$, $y_{i,1} = y_i - y_1$ 이다.

기지국이 비선형 적으로 배치해있고 3개의 기지국이 위치추정에 사용될 경우 단말기의 위치를 구하는 방법은 다음과 같다.

식(6)으로부터 다음과 같은 식을 구한다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} x_{2,1} & y_{2,1} \\ x_{3,1} & y_{3,1} \end{bmatrix}^{-1} \times \left\{ \begin{bmatrix} r_{2,1} \\ r_{3,1} \end{bmatrix} r_1 + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} r_{2,1}^2 - K_2 + K_1 \\ r_{3,1}^2 - K_3 + K_1 \end{bmatrix} \right\} \quad (7)$$

식(7)로부터 구한 (x, y) 를 식(3)에 대입하여 r_1 을 구하고 그 r_1 을 다시 식(7)에 대입하여 구한 (x, y) 를 단말기의 위치라고 추정한다.

기지국이 비선형 적으로 배치해 있고 4개 이상의 기지국을 사용될 경우 위치 추정 방법은 다음과 같다.

$z_p = [x \ y]^T$, $z_a = [z_p^T \ r_1]^T$ 이라 할 때 식(6)으로부터 구한 에러벡터는 다음과 같다.

$$\psi = h - G_a z_a^0 \quad (8)$$

where

$$h = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} r_{2,1}^2 - K_2 + K_1 \\ r_{3,1}^2 - K_3 + K_1 \\ \vdots \\ r_{M,1}^2 - K_M + K_1 \end{bmatrix}$$

$$G_a = - \begin{bmatrix} x_{2,1} & y_{2,1} & r_{2,1} \\ x_{3,1} & y_{3,1} & r_{3,1} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{M,1} & y_{M,1} & r_{M,1} \end{bmatrix}$$

z_a^0 : TDOA 에러가 없을 때의 z_a

식(8)의 에러벡터를 최소화하는 z_a 는 다음과 같다.

$$z_a = \arg \min [(h - G_a z_a)^T \Psi^{-1} (h - G_a z_a)] \quad (9)$$

$$= (G_a^T \Psi^{-1} G_a)^{-1} G_a^T \Psi^{-1} h$$

where, Ψ : ψ 의 covariance matrix

식(9)의 해는 x, y , 그리고 r_1 이 서로 독립이라는 가정 하에서 구한 것이다. 그러나 실제로는 $i=1$ 일 때 식(3)에 의해서 서로 종속적이다. 따라서 성능을 향상시키기 위해 에러벡터를 다시 구하면 다음과 같다.

$$\psi' = h' - G_a' z_a'^0 \quad (10)$$

where

$$h' = \begin{bmatrix} (z_{a,1} - x_1)^2 \\ (z_{a,2} - y_1)^2 \\ z_{a,3}^2 \end{bmatrix} \quad G_a' = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$z_a' = \begin{bmatrix} (x - x_1)^2 \\ (y - y_1)^2 \end{bmatrix}$$

식(10)의 ψ' 를 최소화하는 z_a' 는 다음과 같다.

$$z_a' = (G_a'^T \Psi'^{-1} G_a')^{-1} G_a'^T \Psi'^{-1} h' \quad (11)$$

따라서 최종 위치추정 좌표는 다음과 같다.

$$z_p = \sqrt{z_a'} + \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

IV. 시뮬레이션

채널모델로는 다음과 같은 매크로셀모델을 사용하였다[4]. AWGN과 다중경로 fading의 영향도 고려하였다

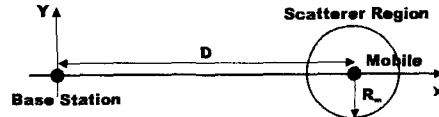


그림 1. 매크로셀 채널 모델

Fig 1. Macrocell Channel Model

기지국이 다음과 같이 배열되어 있다고 가정하고 기지국과 단말기의 좌표를 다음과 같이 임의로 준 상태에서 시뮬레이션을 하였다.

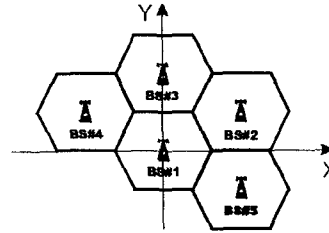


그림 2. 기지국의 배열 형태

Fig 2. Base Station Configuration

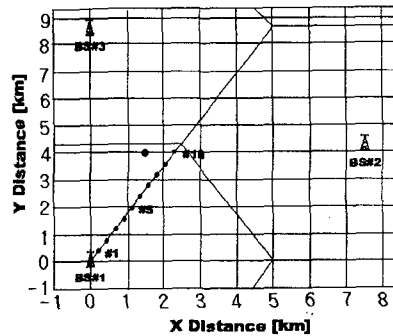


그림 3. 기지국과 단말기의 위치

Fig 3. Mobile Position within 3 BS Configuration

기지국과 단말기의 좌표를 BS#1=(0,0), BS#2=(7500, 4330), BS#3=(0,8660), BS#4=(-7500,4330), BS#5=(7500, -4330), MS=(1480.7, 4068.2)라 하고 시뮬레이션을 한 결과 기지국을 많이 사용할수록 위치추정오차가 적다는 것을 알 수 있었다. 또한 scattering 반경이 클수록 위치 추정 오차가 크다는 것을 알 수 있었다.

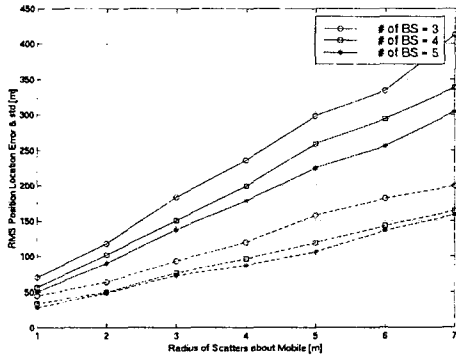


그림 4. Scattering 반경과 기지국의 수에 따른 RMS 위치추정오차와 표준편차

Fig 4. RMS PL Error & std versus the Number of BS & Scattering Area

다음 실험으로는 기지국을 세 개 사용하고 셀 내의 단말기의 위치를 바꾸어 가면서 시뮬레이션을 한 결과 세 기지국의 중간 지점에 가까이 위치할수록 위치추정 오차가 줄어들고 기지국에 너무 가까이 있으면 오차가 급격하게 커짐을 알 수 있다.

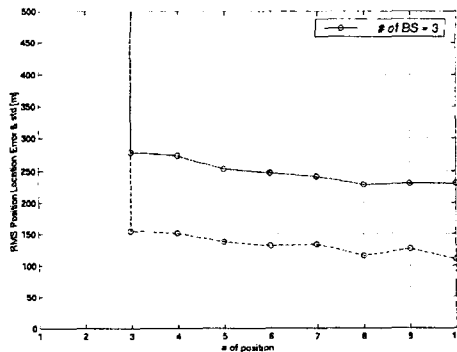


그림 5. 셀 내의 단말기 위치에 따른 RMS 위치추정 오차와 표준편차

Fig 5. RMS PL Error & std versus Position of the Mobile within a Cell.

V. 결론 및 추후 연구

본 논문에서는 지상 이동통신망을 이용한 단말기의 위치추정 기법을 소개하고 그 중에서 TDOA 기법을 이용한 위치추정의 성능을 분석하였다. 매크로셀 채널 모델에서 scattering 반경이 커질수록 위치추정에러가 커지고, 기지국을 많이 사용할수록 위치추정성능이 좋아짐을 시뮬레이션을 통해서 알 수 있었다. 또한 단말기가 기지국에 너무 가까이 있을 경우 위치 추정 성능이 급격하게 떨어짐을 실험을 통해 알 수 있었다.

본 논문에서 소개한 위치추정 기법 중 AOA 기법은 단말기와 기지국 사이의 거리가 가까울수록 성능이 좋아지기 때문에 TDOA 기법에 AOA 기법을 병행한다면 위치추정 성능이 더 좋아질 것으로 기대된다.

참고문헌(또는 Reference)

- [1] CC Docket No. 94-102, "Revision of the Commissions Rules to Ensure Compatibility with Enhanced 911 Emergency Calling Systems," RM8143 FCC, October 19, 1994.
- [2] W. A. Gardner and C. K. Chen, "Signal-Selective Time-Difference-of-Arrival Estimation for Passive Location of Man-Made Signal Sources in Highly Corruptive Environments, Part I: Theory and Method," IEEE Trans. on Signal Processing, Vol. 40, No. 5, pp. 1168-1184, May 1992.
- [3] Y. T. Chan and K. C. Ho, "A Simple and Efficient Estimator for Hyperbolic Location," IEEE Trans. on Signal Processing, Vol. 42, No. 8, pp. 1905-1915, Aug. 1994.
- [4] R. Ertel, P. Cardieri, K.W. Sowerby, T.S. Rappaport, J.H. Reed, "Overview of Spatial Channel Models for Antenna Array Communications Systems," IEEE Personal Communications, pp. 10-22, February, 1998.