

## CDMA 환경에서 위치추정을 위한 벡터채널 모델링과 Direction Finding을 이용한 위치 추정

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

### Vector Channel Modeling & Position Estimation using Direction Finding Methods for CDMA Mobile Wireless Systems

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

#### Abstract

A spatio-temporal vector channel model is introduced for the position location (PL) estimation problem for CDMA cellular system environment. Two common ways for the PL make use of the AOA (Angle Of Arrival) and TDOA (Time Difference Of Arrival) from a subscriber to the multiple sensors (base stations). In this paper, we applied the derived vector channel to simulate the multipath channel for the angle of the signal arrival in CDMA systems.

Cross-correlation method is a good candidate among other direction finding algorithms available in literature, especially in wideband modulation as in the CDMA system. The PL estimation errors are evaluated for different channels, which are obtained as a parameter of scattering radius of the suggested model. We noted that the number of sensors (base-stations) are related to the PL errors in favor of the available data.

#### I. 서론

기존의 셀룰러(Cellular)시스템 및 PCS의 발전과 차세

대 이동통신시스템(IMT-2000 등)의 개발을 통하여 우수한 나은 통화품질과 다양한 부가서비스 기능을 요구하게 되었고 이러한 요구를 충족하고 경쟁력을 강화하기 위하여 각 이동전화 서비스 공급업체에서는 여러 가지 서비스를 개발하고 있다. 최근 개발되고 있는 서비스 중 가장 활발하게 연구되고 있는 분야 중의 하나로써 가입자의 위치를 추정하는 무선위치추정(Wireless Position Location)기능이다. 가입자의 위치를 정확하게 추정함으로써 좀 더 나은 통화품질은 물론이고 통화자의 위치에 근거한 여러 가지 서비스를 제공할 수 있다. 전 세계적으로 이 분야에 대한 연구가 활발하게 이루어지게 된 계기는 지난 1996년 6월 미국 FCC(Federal Communications Commission)에서 발표에서 셀룰러, PCS, 및 SMR(Specialized Mobile Radio) 서비스 공급업체에게 가입자의 위치정보를 E-911(Enhanced 911)서비스에 제공하도록 요구했기 때문이다[1]. 무선위치추정의 응용은 E-911서비스에만 국한되지 않고 다양한 분야로 확장 가능하다. 예를 들면, 사용자의 위치에 따른 과금 방법, 이동통신망의 설계 및 지능교통시스템(ITS)등이 응용 가능하다[2].

셀룰러이동통신망을 이용한 위치추정시스템(Cellular Geo-location)은 현재 셀룰러 이동 통신 시스템의 시설을 최소한으로 변경하여 새로운 기능인 위치추정시스템이다. 이 시스템으로 위치를 추정하는 방법으로는 신호의 세기를 이용하는 방법, 경로손실 데이터 베이스를 이용하는 방법, 기지국에 수신되는 신호의 방향

을 이용하는 방법, 신호의 전송시간을 이용하는 방법으로 크게 구분할 수 있다. 이들 중 주로 연구되고 있는 방법은 단말기가 역방향 음성채널이나 제어채널을 통해 표준 셀룰러 주파수로 신호를 전송하였을 때 여러 기지국에서 수신되는 신호의 AOA (Angle of Arrival) 와 TDOA (Time Difference of Arrival) 등을 이용해서 단말기의 위치를 추정하는 시스템이다.

본 논문에서는 CDMA환경에서 기지국의 배열 안테나에 수신되는 신호의 방향을 이용하여 기지국의 위치를 추정하는 AOA 방식에 대한 연구를 기술하였으며, 특히 배열 안테나의 수신신호의 채널 시뮬레이션을 통한 생성, 그리고 cross-correlation method를 사용하여 다양한 채널환경에서의 위치추정에 대한 오차를 분석하였다.

본 논문의 구성은 II절에는 AOA를 시뮬레이션하기 위해서 필요한 벡터채널 모델 방법에 대해서 설명을 하고, III·IV절에는 Cross-correlation을 이용해 DF를 얻은 후 위치추정을 하였으며 이에 대한 오차를 채널모델 파라미터인 무선망의 변경값에 대하여 분석하였다. 여러 개의 기지국에서의 AOA를 이용하여 이동국의 위치를 추정하여 위치추정 에러의 원인에 대해서 분석한다.

## II. 벡터채널 모델

배열 안테나를 이용하여 이동국의 방향을 찾기 위해서는 종래의 시간적 정보만을 제공하는 채널 모델을 사용할 수 없다. 채널 모델링은 이동국에서 보내는 신호의 방향값을 제공해야 한다. 이 장에서는 본 논문에서 사용하는 시·공간적 정보를 제공하는 이동통신 채널 모델을 소개한다.

첫 번째, 경로손실과 쉐도잉(Shadowing)에 의한 식은 다음과 같다[3].

$$PL(d) = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi d_0}{\lambda} \right) + 10n \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right) + X_{\sigma} \quad (1)$$

여기서  $X_{\sigma}$ 는 평균이 0이고, 분산이  $\sigma^2$ 인 Gaussian 분포를 가지는 불규칙 변수이다. 경로 손실은 송신기와 수신기 사이의 거리의 함수로서 수신되는 전력 레벨을 결정하기 위하여 사용된다.  $\lambda$ 는 전송파의 파장의 길이이고,  $d_0$ 는 close-in reference point이고,  $n$ 은 거리의 증가에 따라 감소하는 비를 나타내는 감쇄지수이다[1]. 두 번째, 송신신호에 백색잡음이 더해져서 수신되며, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$r(t) = s(t) + n(t) \quad (2)$$

여기서  $s(t)$ 는 송신신호이고,  $n(t)$ 는 잡음신호이다. 디지털 통신 시스템의 시뮬레이션에서 SNR은  $E_b/N_0$ 로 나타내고,  $E_b$ 는 비트 당 전송되는 에너지이고,  $N_0$ 는 잡음 전력 스펙트럼밀도의 함수이다. 식(2)에서 백색잡음을 만들기 위해서 잡음의 분산을 구해서 불규칙 변수를 생성한다. 먼저, SNR이 주어졌을 때 잡음 전력은 다음을 사용하여 계산한다[4].

$$\sigma_n^2 = \frac{GT_c}{2(E_b/N_0)} \quad (3)$$

여기서  $G$ 는 처리이득(processing gain)이고,  $T_c$ 는 칩 길이다.

세 번째, AOA 기술은 이동국에서 전송된 신호를 여러 개의 기지국에서 AOA를 측정하기 위해서 배열 안테나를 혹은 방향성 안테나를 사용하여 기지국의 위치를 추정한다[5]. AOA를 시뮬레이션 하기 위해서는 기지국에서 이동국의 AOA를 모델링해야 한다.

Gans[6]와 Jakes[7]는 이동국을 중심으로 원상에서 산란이 발생하는 매크로 셀룰러 전파 환경을 모델링 하였다.

주요한 산란은 이동국을 중심으로 반경이  $a$ 인 반경에서 발생한다고 가정한다. 기지국과 이동국과의 거리는  $d$ 이고  $d$ 는  $a$ 보다 훨씬 크다고 가정한다. 이동국이 전방향 안테나라고 가정하면 이동국에서 AOA의 분포

$$p(\gamma) = \frac{1}{2\pi}, 0 \leq \gamma < 2\pi \text{이다.}$$

네 번째, 다중 경로 채널을 설명한다. CDMA에서 사용되는 광대역 신호에서 채널의 대역폭은 신호의 대역보다 상당히 작다. 이것을 주파수선택적 페이딩 (frequency selective fading)이라고 부르며, ISI를 야기시킨다. 결과적으로 수신되는 신호는 원래신호의 여러 개의 중첩신호로 구성이 된다. 채널의 임펄스 응답은 다중경로 채널로 모델 할 수 있으며, 방향을 고려한 임펄스 응답은 다음과 같다.

$$h(t) = \sum_{i=1}^L a(\theta_i) \alpha_i(t) \delta(t - \tau_i) \quad (4)$$

여기서  $a(\theta_i)$ 는 steering vector이고,  $\tau_i$ 는  $i$ 번째 경로에 의한 지연값이고  $\alpha_i$ 는  $i$ 번째 경로에서의 신호세기의 감쇄정도를 나타낸다. 다중경로 시뮬레이션 모델

로서 COST207모델을 이용하였으며[8], 여기에 사용될 페이딩 시뮬레이터는 Clarke와 Gans가 제안한 모델을 사용하였다[3].

L개의 다중경로를 가지는 채널의 전체적인 시뮬레이션 모델은 다음과 같다.

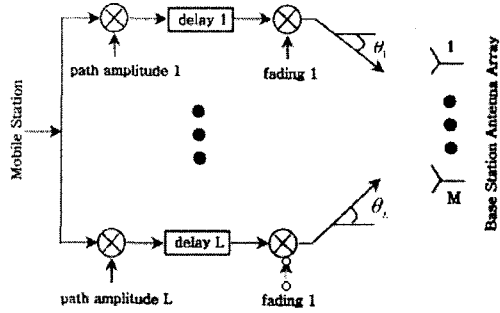


그림 1 다중경로 벡터채널 모델

Fig. 1 Multipath vector channel model

### III. 위치 추정

이 장에서는 배열 안테나에 수신되는 CDMA신호를 위해 사용하는 모델과 이동국의 방향을 찾는 방법과 위치 추정에 대해서 설명한다.

배열 안테나에 수신되는 신호는 다음과 같이 모델링한다.

$$\mathbf{x}(n) = \sum_{i=1}^L \mathbf{a}_i(\theta) \alpha_i(n) p_i(n) m_i(n) + \mathbf{z}(n) \quad (5)$$

여기서, L은 다중경로의 수이고,  $\mathbf{a}_i(\theta)$ 는 steering vector이고,  $\alpha_i(n)$ 은 II절에서 설명한 벡터채널 모델을 적용한 신호의 감쇄이고,  $p_i(n)$ 은 CDMA 확산 코드이고,  $m_i(n)$ 은 정보 데이터이고,  $\mathbf{z}(n)$ 은 수신기의 배경 잡음과 간섭이다. 배열 안테나에서 수신되는 신호에 확산코드를 곱하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_k(n) &= p_k^*(n) \mathbf{x}(n) \\ &= \sum_{i=1}^L \mathbf{a}_i(\theta) \alpha_i(n) p_k^*(n) p_i(n) m_i(n) \\ &\quad + p_k^*(n) \mathbf{z}(n) \\ &= \mathbf{a}_k(\theta) \alpha_k(n) m_k(n) \\ &\quad + \sum_{i=1, i \neq k}^L \mathbf{a}_i(\theta) \alpha_i(n) p_k^*(n) p_i(n) m_i(n) \\ &\quad + p_k^*(n) \mathbf{z}(n) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서  $p_k(n)$ 은  $r_k$ 만큼 지연된 사용자의 확산코드가 다(식(4) 참조).

배열 안테나에서 수신되는 확산 신호의 공간적인 특성은 역확산 후에도 변하지 않는다.

Cross-Correlation Method는 DF(Direction Finding)을 위한 가장 기본적인 접근 방법이다. 이 방법을 사용하기 위해서는 배열 안테나에서 보낸 메시지를 알고 있어야 하고, 다른 신호와 잡음에 상관성이 없어야 한다. 수신되는 신호와 배열 안테나에서 복조한 후 확산한 신호,  $s_k(n)$ 의 상관관계는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r_{xs} &= E\{ \mathbf{x}(n) s_k^*(n) \} \\ &= E\left\{ \left( \sum_{i=1}^L \mathbf{a}_i(\theta) \alpha_i(n) s_i(n) + \mathbf{z}(n) \right) s_k^*(n) \right\} \quad (7) \\ &= \sigma_k^2 \mathbf{a}_k \mathbf{a}_k^H \end{aligned}$$

$\sigma_k^2$ 은  $s_k(n)$ 의 전력이고,  $\mathbf{a}_k$ 는 신호감쇄이고,  $\mathbf{a}_k$ 는  $s_k(n)$ 의 steering vector이다. 그래서 Cross-correlation은 신호의 spatial signature vector에 비례한다. 만약 다중경로 신호들이 상관관계가 없다면 spatial signature는 steering vector에 비례할 것이다. 그래서 원하는 신호의 방향을 찾기 위한 알고리즘은 다음과 같다[9]. 칩동기와 코드동기가 수행되었다는 가정한다.

- i. 수신되는 신호에 원하는 사용자의 확산 코드를 곱한다 ( $\mathbf{y}_k(n) = \mathbf{x}(n) p_k^*(n)$ ).
- ii. 전송된 메시지 비트  $m_k(n)$ 을 추측 ( $\widehat{m}_k(n)$ )한다.
- iii.  $\widehat{\mathbf{r}}_{xs} = \langle \mathbf{y}_k(n) \widehat{m}_k^*(n) \rangle$ 를 구한다.
- iv.  $S(\theta) = | \widehat{\mathbf{r}}_{xs}^H \mathbf{a}(\theta) |^2$ 을 계산한다.
- v.  $S(\theta)$ 가 최대가 되는 AOA를 추측한다.

그리고 위치추정은 각 기지국에서 AOA를 이용하여 기지국과 기지국이 만나는 지점을 구한 후 그 지점들의 중간점이 이동국의 위치를 추정할 지점이 된다.

### IV. 시뮬레이션

본 논문에서는 CDMA 역방향 채널에서 DF를 사용하여 이동국의 위치를 추정하였다.

CDMA 시스템에 사용된 기지국들에 대한 환경은 반경이 R인 육각형 형태를 가진다고 가정한다. 기지국들의 위치는, 이동국은 첫 번째 기지국 영역에 있으며, 기지국들의 위치는 BS#1 = (0, 0), BS#2 = (7500, 4330),

BS#3 = (0, 8660), BS#4 = (-7500, 4330)에 위치한다. 그리고 이동국의 위치는 MS = (1480.7, 4068.2)이고 셀 경계 근처에 위치한다. 시뮬레이션에서는 메시지 속도는 9.6Kbps, 처리이득은 128, 칩속도는 1.2288Mbps이고, 칩당 8번 샘플링 하였다. 10비트 동안 데이터를 모았으며, 경로손실지수는 2.5로 하였으며, 기준거리는 1Km로 하였다.

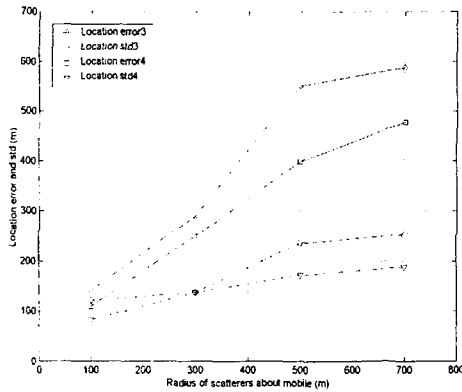


그림 2 기지국의 수가 3개와 4개를 사용했을 경우의 AOA를 이용한 위치추정 오차와 분산

Fig. 2 Two-dimensional location using the AOA method. when the number of the base station is 3 and 4. Solid lines denote the mean error, and dashed lines denote the standard deviation.

그림 2 은 기지국 3개를 이용하였을 경우에 이동국의 위치를 추정하였을 경우에 대한 오차와 분산을 나타내고 있다. 산란의 반경이 커 질수록 위치추정에 대한 에러가 커짐을 알 수 있다. 이것은 산란의 반경이 커 질수록 기지국의 AOA의 분포가 커 지기 때문이다. 기지국 4개를 이용하였을 경우이며 3개를 이용하였을 경우와 비슷한 결과를 가져온다. 그리고 기지국의 수가 4개인 경우가 3개인 경우보다 위치추정 오차가 작게 나타난다.

### V. 결론 및 추후 연구

본 논문에서는 AOA를 이용하여 이동국의 위치를 추정하는 시스템을 시뮬레이션 하였다. AOA를 시뮬레이션을 위하여 Vector 채널을 모델하였고, 이 채널 모델은 TDOA에서도 그대로 사용할 수 있으며, 실제 측정된 데이터, COST207을 이용한 모델이다. 그리고

CDMA환경에서 AOA를 찾기 위한 방법으로 Cross-Correlation Method를 사용하였다. 이 방법으로 기지국의 수가 3개인 경우와 4개인 경우의 시뮬레이션 하였으며 기지국의 수가 4개인 경우가 평균 오차와 분산이 더 작게 나타났다. 또한 산란의 반경이 작을수록 에러에 대한 오차가 줄어드는 것을 볼 수 있었다. 제안된 위치추정 방법에서 AOA를 찾는 방법은 CDMA환경에서 사용할 수 있는 가장 간단한 방법이다. 그래서 좀더 정확한(Robust)한 알고리즘들의 개발이 필요하며 가시선이 없는 경우에는 AOA방법은 그 정확성이 크게 떨어지게 된다. 그러나 TDOA인 경우 가시선이 없는 경우에도 정확성이 비교적 정확(환경에 따라 다름)하기 때문에 AOA와 TDOA의 융합은 이동국의 위치에 대한 오차를 줄일 수 있을 것이다. 이에 대한 연구가 필요할 것이다.

### 참고문헌(또는 Reference)

- [1] CC Docket No. 94-102, "Revision of the Commissions Rules to Ensure Compatibility with Enhanced 911 Emergency Calling Systems," RM-8143, FCC, Oct. 19, 1994
- [2] A. Giordano, M. Chan, and H. Habal, "A novel location-based service and architecture," IEEE PIMRC, pp.853-857, 1995
- [3] Theodore S. Rappaport, Wireless Communications, IEEE Press, 1996
- [4] Muhammad Aatique, "Evaluation of TDOA Technique for Position Location in CDMA SYSTEMS," Virginia Tech. Master of Science, Sep. 1997
- [5] S. Sakagami et. al., "Vehicle position estimates by multibeam antennas in multipath environments," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 41, pp.63-67, Feb. 1992
- [6] M. Gans, "A power-spectral theory of propagation in the mobile-radio environment," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-21, pp.27-38, Feb. 1972
- [7] W. C. Jakes, Microwave Mobile Communications New York: IEEE Press, 1994.
- [8] J. Parsons, The Mobile Radio Propagation Channel. New York: Halsted, 1992
- [9] Thomas E. Biedka, "Direction Finding Methods for CDMA Mobile Wireless Systems," MPRG-TR-96-20, May 3, 1996