

CDMA 망의 단일 셀을 이용한 위치 추정 방법

정회원 연명훈*, 유흥렬**, 윤대희***, 홍대식***, 이충용***

A Position Location System Using Single Cell in CDMA Networks

Meung Hoon Yeun*, Heung-Ryeol You**, Dae-Hee Youn***, Daesik Hong***, Chungyong Lee***

Regular Members

요약

CDMA망에서 하나의 기지국만을 이용하여 이동국의 위치를 추정하기 위하여 ToA(Time of Arrival) 와 AoA(Angle of Arrival)를 동시에 측정하는 방법을 제안한다. 제안한 위치 추정 시스템에서 ToA의 측정은 코드 획득과 탐색의 과정으로 이루어지며, AoA 측정을 위해서 한 섹터에 오직 2개의 배열안테나를 사용하고, 표 참조 방식의 계산량의 현저한 감소를 가져오는 위상 모노 펄스 방식을 이용한다. 이동 통신 채널에서의 모의 실험을 통하여 제안한 위치 추정 시스템의 성능을 분석한다.

ABSTRACT

A method to locate a mobile station is proposed, which exploits ToA(Time of Arrival) and AoA(Angle of Arrival) simultaneously and requires only one base station in CDMA networks. The measurement of ToA is achieved by code acquisition and tracking, and the measurement of AoA is based on phase monopulse. Through the numerical experiments the performance of the proposed system is evaluated for the mobile communication environment.

1. 서론

세계적으로 이동 통신 서비스의 사용자가 증가하면서, 음성 통신 뿐 아니라 사용자 개개인의 편의를 도모하기 위한 다양한 서비스가 요구되어 지고 있으며, 무선 방식의 위치 추정에 대한 관심 또한 증대하고 있다. 무선 위치 추정 시스템이란 전파를 이용하여 이동국의 위치를 추정한 후 위치에 관한 정보를 제공하는 것이다^[1]. 지난 1996년 6월 미국의 FCC(Federal Communication Commission)는 모든 무선망 서비스 사업자에게 응급 상황을 통보하는 이동 통신 발신자의 위치정보를 소방서나 경찰서와 같은 공공기관으로 제공하도록 요구하였다. 아울러 2001년 10월까지 모든 호(call)의 67%에 대해 125m의 정확도를 가지고 이러한 서비스가 제공되

어야 함을 권고하였다. 현재는 FCC의 이러한 요구를 만족시키기 위한 연구가 활발히 진행 중이다. 위치 추정 시스템의 대표적인 예인 GPS는 매우 정밀한 위치 추정이 가능하지만, 수신기의 구조가 복잡하며, 도심과 같은 지역에서는 미약한 전파 수신으로 인하여 사용이 어렵다는 단점을 갖는다. 따라서 최근의 셀룰라 망을 이용한 위치 추정 방법은 기존의 시스템과 이동국을 큰 변형 없이 사용할 수 있다는 장점으로 널리 연구되어 지고 있다. 이러한 망을 이용한 위치 추정은 추정 기법에 따라 이동국과 기지국 사이의 전파 전달 시간을 측정하여 이동국의 위치를 구하는 TDoA(Time Difference of Arrival)와 ToA(Time of Arrival)방법이 있으며, 이동국에서 송신되는 신호의 입사각을 기지국에서 측정하여 이동국의 위치를 측정하는 AoA(Angle of

* LG 전자 정보통신 중앙연구소(mhyeun@lgic.co.kr),
논문번호 : 00256-0710, 접수일자 : 2001년 1월

** 한국통신

*** 연세대학교

※ 본 논문은 한국통신의 연구비 지원으로 이루어 졌습니다.

Arrival) 방법이 있다. 또한 전파의 도달 범위와 이용되는 기지국수에 의하여 다중 셀 방식과 단일 셀 방식으로도 나눌 수 있다. 다중 셀 방식은 위치 추정을 위하여 여러 개의 기지국을 이용하게 되며, 단일 셀 방식은 이동국이 속한 기지국만을 이용하게 된다. 현재의 CDMA 망에서 다중 셀 방식을 이용할 경우 near-far 현상과 전력제어에 의해 이동국과 주변 기지국간에는 신호의 송, 수신이 매우 어렵다. 이를 위치 추정에서의 hearability 문제라고 하며 이를 해결하기 위한 연구가 진행중이다. 이에 반하여 단일 셀 방식에서는 주변 기지국들을 이용하지 않으므로 hearability 문제에 대한 개선 방안이 필요하지 않다^{[2][3][4]}.

CDMA 망에서 단일 셀을 이용하여 위치를 추정하기 위해서는 ToA와 AoA를 동시에 측정하여야 한다. ToA의 측정은 코드 획득과 탐색의 과정으로 이루어지며, AoA 측정을 위해서는 배열 안테나가 이용된다. 그러나 기존의 배열 안테나를 이용한 입사각 측정은 계산량이 너무 커서 실제 시스템에 적용하기 힘들다. 본 논문에서는 한 섹터에 오직 2개의 배열 안테나를 사용하며, 계산량의 현저한 감소를 가져오는 위치 추정 시스템을 제안한다. 이동 통신 시스템의 기지국에는 다중 사용자의 신호가 다경로 채널을 통과하여 중첩된 상태로 수신된다. 따라서 위치 추정 시스템의 보다 효과적인 성능 분석을 위해서는 이러한 다경로 페이딩에 대한 영향을 고려해야만 한다. 본 논문에서는 다중 사용자에 대하여 각각의 독립된 다경로 페이딩 채널을 할당하여 제안한 위치 추정 시스템의 성능을 분석하였다.

II. CDMA 시스템과 채널 모델

IS-95에 기반한 CDMA 시스템의 송신 구조는 PN 코드로 확산된 사용자 신호가 QPSK 변조되어 전송되지만, 이 논문에서는 분석의 편의를 위하여 동위상 채널만을 고려한다. 식 (1)에서 신호 $d_k^i(t)$ 는 T_b 기간동안 단위 진폭 펄스로 구성되는 k번째 사용자의 동위상 이진 데이터 열을 나타낸다.

$$d_k^i(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} d_{k,m}^i P_{T_i}(t - mT_b) \quad (1)$$

$d_{k,m}^i$ 는 동위상 채널의 k번째 사용자의 m번째 데이터를 나타내며, -1과 1로만 표현된다. 각 데이터들은 사용자 각각의 고유한 PN 코드로 확산된

후, 반송파에 의해서 변조되어 진다. 식 (2)에서 확산 코드 $c_k^i(t)$ 는 T_c 기간 동안 단위 진폭 펄스로 구성되는 주기적인 이진 신호 열이다.

$$c_k^i(t) = \sum_{n=0}^{N-1} c_{k,n}^i p_{T_c}(t - nT_c) \quad (2)$$

식 (2)에서 N 은 확산 코드 주기이다. 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 CDMA 시스템의 k번째 사용자가 식 (3)과 같은 신호를 송신한다고 가정하자. 여기서 P_k 는 k번째 사용자의 송신 전력, w_c 는 반송파 주파수, ϕ_k 는 k번째 사용자의 위상 오프셋(offset)이다.

$$s_k(t) = \sqrt{2 P_k} d_k^i c_{k,n}^i \cos(w_c t + \phi_k) \quad (3)$$

식 (3)과 같은 각 사용자의 신호는 식 (4)와 같은 M개의 지연된 단위 충격으로 구성된 채널을 통과하는 것으로 모델링되며, 채널은 각 사용자마다 독립적이다. 식 (4)에서 계수 $f_{k,i}$ 는 각 단위 충격 응답에 대응하는 가중치이며 Jake의 페이딩 모델을 이용하여 발생시킨다. $\tau_{k,i}$ 는 k번째 사용자 채널의 다경로 지연을 나타낸다^[10].

$$h_k(t) = \sum_{i=1}^M f_{k,i}(t) \delta(t - \tau_{k,i}) \quad (4)$$

위와 같은 이동 통신 채널을 통과하여 기지국의 배열 안테나에 수신된 신호는 식 (5)와 같다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^M \sqrt{2 P_k} d_{k,m}^i f_{k,i}(t) \cdot c_{k,n}^i(t - mT_b - \tau_{k,i}(t)) \cdot \cos(w_c t + \phi_k - w_c \tau_{k,i}(t)) a(\theta_{k,i}) + n(t) \quad (5)$$

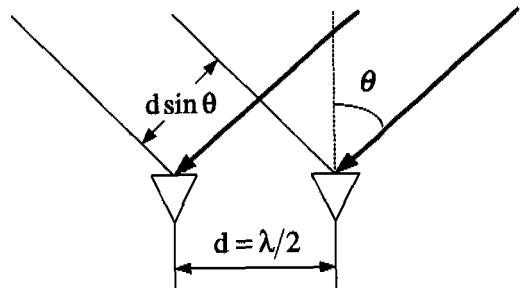


그림 1. 배열 안테나와 입사각

여기서 $a(\theta_{k,i})$ 는 배열안테나에서 k번째 사용자의

i 번째 경로신호에 대한 $L \times 1$ 방향벡터이고 L 은 배열 안테나 소자수이다. 제안한 위치 추정 시스템은 오직 2 개의 안테나만을 사용하므로, 이 경우 $L=2$ 이다.

III. 제안하는 위치 추정 시스템

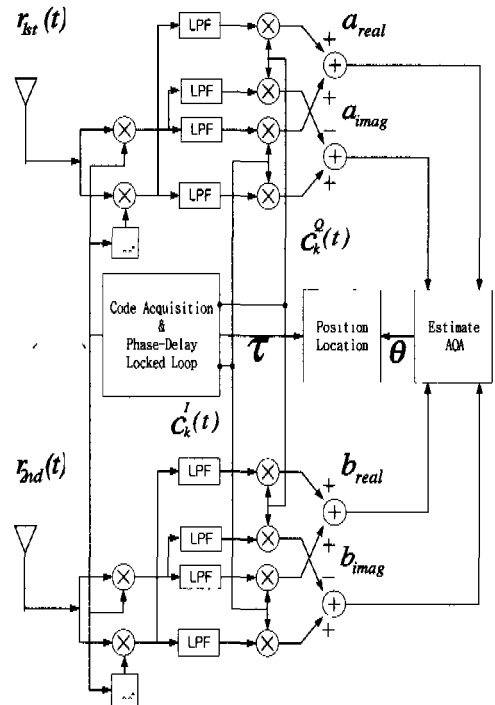
CDMA 망에서 하나의 기지국만을 이용하여 이동국의 위치를 추정하기 위해서는 이동국과 기지국간의 거리와 기지국에 도달하는 이동국 신호의 입사각을 동시에 측정해야만 한다. 이동국과 기지국간의 거리는 수신된 PN 코드의 동기화 과정을 통해서 측정 가능하다. CDMA 시스템은 PN(Pseudo Noise) 코드를 이용하여, 여러 사용자와 다중 접속을 할 수 있다. 이러한 코드 확산(spreading) 기술을 이용하기 위해서는, 송신된 PN 코드와 수신기에서 생성되는 PN 코드와의 동기를 이루는 것이 중요하다. CDMA 시스템에서의 위치 추정은 송, 수신된 PN 코드의 시간차를 이용하여 이동국과 기지국 간의 거리를 측정하므로, 코드간의 정밀한 동기화는 위치 추정 시스템의 성능 향상으로 이어진다. 일반적으로 이러한 코드 동기는 코드 획득(acquisition)과 코드 추적(tracking)의 과정을 통하여 이루어진다^{[1][2][13]}.

신호의 입사각을 측정하기 위해서 배열 안테나를 이용하거나^[8], 또는 섹터에 수신되는 신호의 전력차를 이용하는 방법이 제안되었으나^[7], 기존의 배열 안테나의 입사각 판정 방식은 계산량이 너무 크고, 신호의 전력차를 이용하는 방법도 PUF(Power Up Function)을 사용해야 하므로, CDMA 시스템 전체의 성능을 저하시킨다. 따라서 입사각 측정을 위하여 한 섹터당 오직 2 개의 배열 안테나만을 사용하고, 표 참조(table look-up) 방식을 사용하여 계산량의 부담을 현저히 감소시키는 위상 모드 펄스 방식을 응용한 위치 추정 시스템을 제안한다. 모노 펄스는 동시에 여러 개의 빔을 형성하여, 표적에 반사된 신호의 크기를 비교하고, 한번에 표적의 방향을 추정한다는 의미로 사용되었다^[14]. 제안한 위상 모드 펄스를 이용한 CDMA 위치 추정 시스템의 기지국은 3개의 섹터로 나누어지며, 각 섹터는 오직 2개의 수신용 배열 안테나를 갖는다. 그림 1 과 같이 2개의 수신 안테나는 $\lambda/2$ 간격으로 배열된다. 여기서 λ 는 반송파의 파장을 나타낸다. CDMA 시스템에서 위상 모드 펄스 기법을 적용하여 신호의 입사각을 찾는 과정을 설명하기 위하여 송신단의 동위상 채널 정보만을 고려하고 두개의 배열 안테나에 수신되는 신호를 각각 $r_{1st}(t), r_{2nd}(t)$ 라고 하자. 동위상 채널에서 이진 데이터열 d_k^i 가 모두 1이고, 채널의 변화가 없다고 가정하면, 수신된 신호들은 식 (6)과 같이 간략하게 표현된다.

여기서 확산 신호 c_k^i 에 비하여 반송파의 주파수가 매우 크므로, 두 번째 안테나에서 수신된 신호는 첫 번째 배열 안테나에서 수신된 신호에 대하여, 반송파에 대해서만 τ 만큼의 지연을 갖게 된다. 이러한 지연의 정도는 결국 2 개의 안테나에서 수신되는 신호의 입사각에 의하여 결정되므로, 두 개의 배열 안테나에 수신되는 신호의 지연에 관계한 위상차만 추정할 수 있다면, 송신되는 신호원의 입사각을 결정할 수 있다. 그 과정을 좀 더 자세히 설명하면, 다음과 같다. 그림 2와 같은 시스템에 수신된 신호는 $\phi=0$ 인 경우의 동위상 반송파와 직교위상 반송파에 의하여, 각각 복조된 후 동위상 PN 코드에 의하여 역확산 된다. 여기서 동위상 PN 코드는 코드 획득과 코드 추적을 통한 동기화가 이루어졌다. 이 과정

$$\begin{aligned} r_{1st}(t) &= c_k^i \cos(\omega_c t) \\ r_{2nd}(t) &= c_k^i \cos(\omega_c(t-\tau)) \end{aligned} \quad (6)$$

그림 2. 제안하는 CDMA 위치 추정 시스템



을 통하여 첫 번째 안테나에서는 출력 a_{real} , a_{imag} 를 얻고 두 번째 안테나에서는 b_{real} , b_{imag} 를 얻는다. 여기서는 송신단의 동위상 채널 정보만을 고려하였으므로 송신단의 직교 위상 채널 정보는 없다고 가정한다. 그러나 송신단의 직교 위상 채널 정보를 동시에 고려하여도 같은 결과를 얻을 수 있다. 위상 모노 펄스 이론에 의한 입사각과 출력값과의 관계는 식 (7)과 같다.

$$\text{신호의 입사각} \propto \text{IM} \left[\frac{a-b}{a+b} \right] \quad (7)$$

출력 a_{real} , a_{imag} , b_{real} , b_{imag} 을 식 (7)에 대입하여 정리하면, 신호의 입사각과 모노 펄스 출력값 사이에는 식 (8)과 같은 관계가 성립한다.

신호의 입사각 \propto

$$\frac{-2 \cdot a_{real} \cdot b_{imag} + 2 \cdot b_{real} \cdot a_{imag}}{(a_{real} + b_{real})^2 + (a_{imag} + b_{imag})^2} \quad (8)$$

송신 신호의 이상적인 채널 통과와 완전하게 동기화된 코드의 역확산을 가정하면, 각 단에서의 출력은 식 (9)와 같다.

$$\begin{aligned} a_{real} &= \frac{G}{2}, \quad a_{imag} = 0, \\ b_{real} &= \frac{G}{2} \cos(w_c \tau), \quad b_{imag} = -\frac{G}{2} \sin(w_c \tau) \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 G는 코드 획득에 사용되는 정합필터의 길이이다. 또한 위의 식 (9)의 값들을 식 (8)에 대입하면 식 (10)과 같이 정리된다.

$$\text{신호의 입사각} \propto \frac{-\sin(w_c \tau)}{1 + \cos(w_c \tau)} \quad (10)$$

그림 1에서 배열 안테나간 거리 d 가 $\lambda/2$ 와 같다면, 지연시간 τ 와 신호의 입사각 θ 는 식 (11)과 같은 관계가 있다. 즉 2 개의 배열 안테나에서 τ 는 θ 와 관련되어 있으며, 수신된 신호와 배열 안테나 사이의 입사각에 따라 τ 도 변하게 되므로, 위상 모노 펄스의 출력값으로부터 입사각을 측정할 수 있다.

$$\begin{aligned} w_c \tau &= \frac{w_c d \sin(\theta)}{c} = 2\pi \frac{d \sin(\theta)}{\lambda} \\ &= \pi \sin(\theta) \end{aligned} \quad (11)$$

입사각과 출력값은 비례관계에 있으므로 식 (10)은 식 (12)와 같이 정리 할 수 있다. 그림 3은 식 (12)의 입사각과 출력값의 관계를 나타낸다. 그러나

실제 이동 통신 채널에서는 잡음과 다중 다경로 간섭, 그리고 코드 동기화의 오차 등으로 인하여 그림 4와 같이 이상적인 채널에서의 출력값과는 차이가 생긴다. 따라서 식 (12)를 이용하여 만든 표와 실제 수신된 신호의 위상 모노 펄스 출력값과의 비교를 통하여 가장 근소한 오차가 생기는 값에 대응하는 각을 입사각으로 판정한다.

$$\begin{aligned} \text{위상 모노 펄스의 출력값} \\ &= \frac{-\sin(\pi \sin \theta)}{1 + \cos(\pi \sin \theta)} \end{aligned} \quad (12)$$

제안한 시스템의 위치 추정 과정은 다음과 같이 정리 된다. 그림 2와 같은 위치 추정 시스템의 첫 번째 배열 안테나에 수신된 이동국 신호의 코드 획득과 코드 추적 과정을 통하여, 이동국과 기지국간의 거리를 결정하고, 이 동기화된 코드를 이용하여

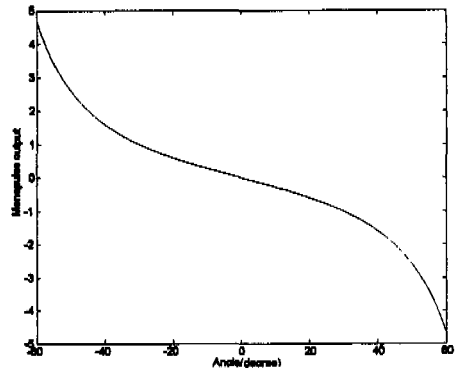


그림 3. 이상적인 채널에서의 신호의 입사각과 출력값

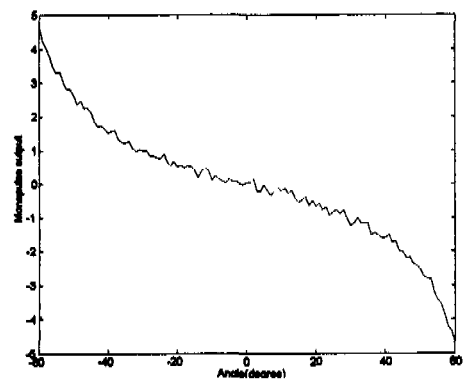


그림 4. 이동 통신 채널에서의 신호의 입사각과 출력값

첫 번째와 두 번째 배열 안테나에 들어오는 신호에 대하여 위상 모노 펄스 방법을 적용한다면, 신호의

입사각을 결정할 수 있다. 위의 과정을 통한 거리와 방향 정보로부터 이동국의 위치를 추정 할 수 있다.

IV. 모의 실험

제한한 위치 추정 시스템의 성능 분석을 위한 환경 변수들은 다음과 같다. 이동 통신 채널은 다중 사용자, 다중 경로 채널로 모델링 하였으며, 이를 위하여 각 사용자들의 코드를 중첩 시켜 다중 사용자 환경을 만들고, 그 수를 1, 5, 10, 20 명으로 증가 시켜 비교 하였다. 또한 각 사용자 신호의 다중 경로 시간 지연차는 cost 207 모델 값을 사용하였다. 각각의 채널은 서로 독립적인 레일리 페이딩을 갖도록 하였으며, 이동국의 속도가 3km/h 와 90km/h 인 경우로 나누어 실험하였다. PN 코드의 발생속도는 1.2288MHz를 기준으로 하였다. 수신된 신호는 칩속도의 8 또는 32배로 과표본화(over sampling) 되며, 코드 획득과 코드 추적을 통하여 코드 동기를 이루게 된다. 이러한 코드 동기화 과정을 위하여 코드 획득에는 직렬 방식이, 코드 추적에는 동기식 DLL이 사용된다. 코드 동기화 후에는 위상 모노 펄스 기법을 이용하여 입사각을 판정해 낸다. 이 논문에서는 프로토콜을 통하여 역방향 채널에서 송신된 PN 코드의 출발 시각을 수신기에서 알고 있다고 가정한다.

성능 분석은 위치 추정 결과 값들의 RMS(Root Mean Square) 오차와 위치 추정 오차가 100m 이 내일 확률로 행하여지며 RMS 오차는 식 (13)과 같이 정의된다.

$$RMS\ error = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ((x_i - \hat{x}_i)^2 + (y_i - \hat{y}_i)^2)} \quad (13)$$

식 (13)에서 x_i, y_i 는 이동국의 실제 위치, \hat{x}_i, \hat{y}_i 는 이동국의 추정된 위치, N은 위치 추정과 관련된 이동국의 총 갯수를 나타낸다. RMS 오차를 이용하는 경우 때때로 매우 열악한 데이터가 전체 성능평가에 영향을 미치는 경우가 있다. 따라서 일반적으로 RMS 오차를 이용하여 위치 추정 시스템의 성능을 분석하는 경우, 전체 결과 값들 중에서 가장 열악한 10%의 위치 추정 값들은 제외된다.

제한한 위치 추정 시스템에서 입사각 추정에 사용되는 누적 구간의 길이는 동기 누적 구간의 길이와 같게 하였다. 제한한 위치 추정 시스템의 성능을

분석하기 위하여, 코드 획득과 입사각 추정에 이용되는 누적 구간의 길이를 512, 1024, 2048, 4096칩으로 변화시키며 결과를 비교하였다. 이 때 코드 추적에 사용되는 DLL 회로의 누적 구간 길이는 128 칩으로 고정하였다. 그림 5와 그림 6은 과표본화를 각각 칩 당 8배와 32배로 한 경우의 누적 구간의 길이와 이동국의 속도에 따른 위치 추정 시스템의 성능을 보여준다. 여기서 SNR은 0dB 이다. 결과에서 보듯이 누적구간의 길이가 증가할수록 위치 추정 오차는 작아진다. 특히 2048 칩 이상을 사용할 경우는 사용자와 이동국 속도가 증가하여도 위치 추정 오차는 30m 내외로 유지된다. 그림 7과 그림 8은 이동국의 속도가 저속인 경우와 고속인 경우의 표본화 간격에 따른 위치 추정 오차를 보여준다. 이동국의 속도가 같은 경우에는 표본화 간격을 작게 할수록 위치 추정 오차는 감소함을 알 수 있다. 그러나 누적 구간의 길이가 증가할수록 표본화 간격에 따른 오차의 차이는 크지 않게 된다. 결론적으로 동기화 과정과 입사각 추정에 이용되는 누적 구간 길이를 2048 칩 이상으로 증가시키고, 표본화 간격이 일정 비율(1/8 칩)이상이면, 위치 추정 오차는 이동국의 속도와 사용자수에 큰 영향을 받지 않게 된다. 주목할 만한 점은 누적 구간의 길이가 2048 칩과 4096 칩인 경우에 대하여 각 표본화에 따른 추정 오차 범위를 고려하면 위치 추정 오차는 거의 같다는 것을 알 수 있다. 말하자면 제한한 위치 추정 시스템은 4096 칩의 누적 구간을 사용한 경우라도 2048 칩에 비하여 위치 추정 오차는 크게 줄어들지 않는다. 그림 9, 그림 10은 이동국의 속도와 표본화 간격을 일정하게 하고, 누적 구간의 길이가 512 칩과 2048 칩인 각각의 경우에 대하여, 사용자 수와 SNR의 변화에 따른 위치 추정 오차를 보여준다. 누적구간의 길이가 512 칩인 경우는 SNR의 변화에 따른 위치 추정 오차의 차이가 크게 나타난다. 그러나 누적 구간의 길이가 2048 칩인 경우는 SNR의 변화에 따른 위치 추정 오차에 큰 차이를 보이지 않는다. 즉 제한한 위치 추정 시스템은 누적 구간이 2048 칩 이상인 경우 다중, 다경로 페이딩뿐 아니라 열악한 SNR 에서도 만족한 성능을 제공한다.

V. 결론

CDMA 망에서 하나의 기지국만을 이용하여 이동국의 위치를 추정하기 위하여, ToA와 AoA를 동시

에 측정하는 시스템을 제안하였다. ToA의 측정은 코드 획득과 탐색의 과정으로 이루어지며, AoA 측정을 위하여 위상 모노 펄스 방식이 이용되었다. 제안한 위치 추정 시스템에서 코드 획득과 입사각 추정에 이용되는 정합필터의 누적 구간 길이를 2048 칩 이상으로 하였을때, 시스템의 위치 추정 성능은 이동국의 속도와 표본화 비율(sampling rate) 그리고 SNR의 변화에 큰 영향을 받지 않게 되며, 추정 오차는 50m 이내로 유지된다. 그러나 누적 구간 길이가 2048 칩 이상인 경우에는, 그 길이가 증가한다고 할지라도, 그에 따른 추정 오차는 크게 감소하지 않는다. 따라서 제안한 위치 추정 시스템의 성능 향상을 위해서는 표본화 비율이나 누적 구간 길이의 증가보다는 PN 코드 발생 속도(chip rate)의 증가나 최적의 누적 구간 길이를 선택하는 것이 바람직하다. 제안한 위치 추정 시스템은 기지국간 동기 정보가 필요 없으므로, 비동기식 CDMA 시스템에도 쉽게 적용 할 수 있다. 향후의 과제로는, 이동국 송신 신호의 출발 시각을 기지국에서 알 수 있도록 하는 표준화 방안과, 더욱 정밀한 코드 동기화, 그리고 NLoS 환경에서의 연구 등이 있다.

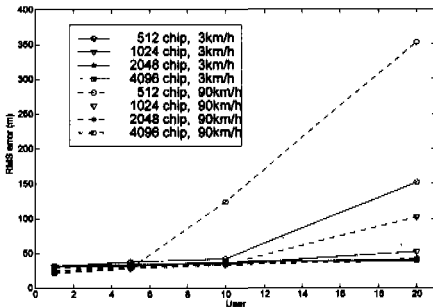


그림 5. 누적 구간 길이와 이동국 속도에 따른 위치 추정 오차 (표본화 간격 = 0.125칩)

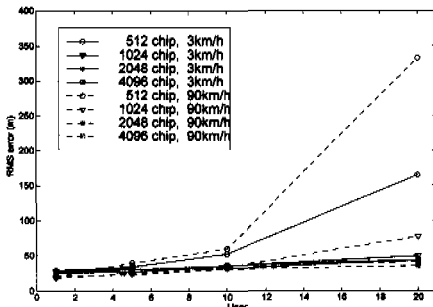


그림 6. 누적 구간 길이와 이동국 속도에 따른 위치 추정 오차 (표본화 간격 = 0.03125칩)

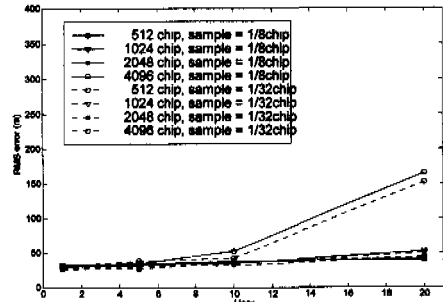


그림 7. 누적 구간 길이와 표본화 간격에 따른 위치 추정 오차 (이동국의 속도 = 3km/h)

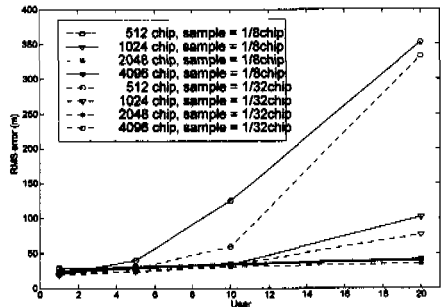


그림 8. 누적 구간 길이와 표본화 간격에 따른 위치 추정 오차 (이동국의 속도 = 90km/h)

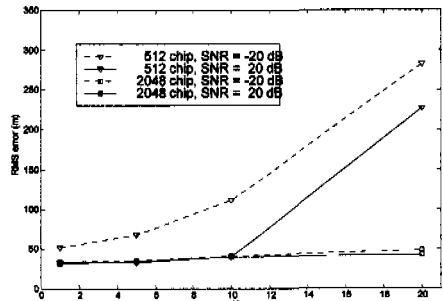


그림 9. SNR의 변화와 위치 추정 오차 (표본화 간격 = 0.125칩, 이동국 속도 = 3km/h)

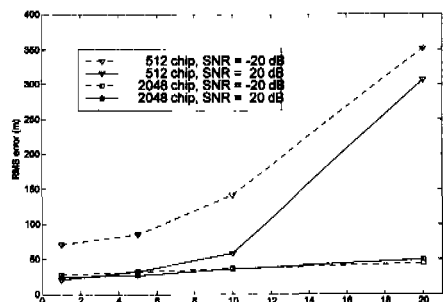


그림 10. SNR의 변화와 위치 추정 오차 (표본화 간격 = 0.125칩, 이동국 속도 = 90km/h)

