

# 마이크로 셀룰라 Wide-band CDMA 환경에서의 위치 추정 알고리즘

正會員 장진원\*, 한일\*, 성단근\*, 신병철\*, 홍인기\*\*

## Radio Location Algorithm in Microcellular Wide-band CDMA Environment

Jin Weon Chang\*, Il Han\*, Dan Keun Sung\*, Bung Chul Shin\*,  
Een Kee Hong\*\* *Regular Members*

### 要約

본격적인 위치추적 시스템은 2차 세계대전 중에 등장한 전파항법 장치 (ground-based radio navigation system)에 서부터 시작하여 꾸준히 연구되어 왔으며 현재 대표적인 위치추적 시스템으로는 GPS (global positioning system) 을 들 수 있다. 최근에는 셀룰라 서비스의 보편화에 따라 기지국을 이용하여 위치추적 서비스를 제공하는 연구가 진행되고 있으나 지금까지는 주로 기지국간 동기 시스템인 매크로 셀룰라에 집중되어 왔다. 하지만, 기지국에서 정확한 시간을 이용할 수 없는 wide-band CDMA 시스템의 기지국간 비동기 상황에 대한 연구는 전무하다.

본 논문에서는 기지국간 비동기인 마이크로 셀룰라 wide-band CDMA 시스템 상황에서 두 가지 위치추정 알고리즘을 제안한다. 첫째는 공통영역을 통한 위치추정 방법으로 의사거리에 의해 구성되는 원 사이의 접치는 공통영역을 사각형으로 근사하여 그 중심을 개인국의 위치로 추정하는 방법이고 둘째는 도로정보를 이용하는 방법으로서 의사거리 하나만을 이용하여 기지국에서 그 의사거리에 해당되는 도로 지점을 확인하고 주변 파일럿 세기를 확인하여 그 지점 중에서 선택하는 방식이다. 이 두 방식은 시뮬레이션을 이용하여 기존의 대표적인 방식들 (Taylor series를 이용한 방식, conjugate gradient 방식 및 공통현 방식)과 비교되며 또한 기지국과 개인국간의 파일럿 채널 송수신의 간섭으로 인한 영향을 조사한다. 기존의 위치추정 알고리즘이 반복 연산을 수행하는 데 비하여 제안 알고리즘은 반복 연산을 하지 않으며 마이크로 셀 환경에서 간섭파의 영향을 적게 받기 때문에 보다 적은 위치 에러를 나타낸다.

### ABSTRACT

Various full-scale radio location systems have been developed since ground-based radio navigation systems ap-

\* 한국과학기술원 전기 및 전자 공학과

\*\* SK-텔레콤 FPLMTS 개발그룹

論文番號 : 97250-0721

接受日字 : 1997年 7月 21日

peared during World War II, and more recently global positioning systems (GPS) have been widely used as a representative location system. In addition, radio location systems based on cellular systems are intensively being studied as cellular services become more and more popular. However, these studies have been focused mainly on macrocellular systems of which base stations are mutually synchronized. There has been no study about systems of which base stations are asynchronous.

In this paper, we propose two radio location algorithms in microcellular CDMA systems of which base stations are asynchronous. The one is to estimate the position of a personal station at the center of rectangular shaped area which approximates the realistic common area. The other, as a method based on road map, is to first find candidate positions, the centers of roads pseudo-range-distant from the base station which the personal station belongs to and then is to estimate the position by monitoring the pilot signal strengths of neighboring base stations. We compare these two algorithms with three wide-spread algorithms through computer simulations and investigate interference effect on measuring pseudo ranges. The proposed algorithms require no recursive calculations and yield smaller position error than the existing algorithms because of less affection of non-line-of-sight propagation in microcellular environments.

## I. 서 론

향후의 개인휴대통신은 전세계 인구의 20-25%가 이용할 것으로 전망되고 있으며 현재 국내에서도 이동 단말기 소유는 보편화되고 있다. 이와 같은 추세에 따라 가입자 개개인의 편의를 위한 다양한 서비스가 요구되고 있으며 개인휴대통신에서의 서비스는 잠재적으로 무한한 부가가치를 내포한다. 셀룰라 망에서 가입자의 위치를 추적할 수 있는 위치추적 시스템은 교통정보, 위급 시의 구난, 핸드오버나 채널 할당의 효율적인 운용을 위한 위치정보 이용 등, 많은 응용 서비스를 가능하게 할 수 있다.

본격적인 위치추적 시스템은 2차 세계대전 중에 등장한 전파항법 장치(ground-based radio navigation system)에서부터 시작하였으며 지상에의 송신기를 이용하는 VORs, LORAN, OMEGA 등의 시스템이 있어 왔고 위성용 이용하는 위치추적 시스템으로는 미국의 GPS (global positioning system), 러시아의 GLONASS (global navigation satellite system)이 있다. 최근에는 셀룰라 서비스가 보편화되어감에 따라 기지국을 이용하여 위치추적 서비스를 제공하는 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[1-10]</sup>.

특히, 최근 셀룰라 시스템의 기지국을 이용하는 위치추적 방법은 이미 존재하는 셀룰라 시스템을 이용하여 보다 간단하게 위치추적이 가능하며 또한 가입자의 개인국에 추가되는 하드웨어를 최소화할 수 있

다는 장점이 있다<sup>[11-14]</sup>. 본 논문에서 가정하는 시스템은 기지국간 비동기이며 따라서 기존의 셀룰라 시스템의 기지국에서 사용하는 GPS 수신기를 필요로 하지 않는다. 이 점은 국내 셀룰라 시스템이 GPS 운용 국가로부터 독립적으로 운용될 수 있음을 의미한다.

셀룰라 시스템을 이용하는 위치추적 시스템은 두 가지 주요한 문제점을 갖는다. 첫째는 주변 기지국과 개인국 사이의 의사거리를 구할 수 있는 영역이 제한되어 있다는 점이다. 개인국의 위치정보를 얻기 위해서는 개인국 혹은 기지국에서의 송신신호를 기지국 혹은 개인국에서 수신하여 정확한 time stamp를 통해서 의사거리를 얻어야 한다<sup>[7,10,15]</sup>. 하지만 기지국간 간섭신호의 영향에 의해 주변 기지국과의 의사거리를 구할 수 없는 영역이 발생한다. 기지국간 비동기 시스템에서는 정확한 time stamp를 이용할 수 없으므로 각각의 기지국이 개별적으로 개인국과의 의사거리를 구해야 하고 이 때 순방향 통신 및 역방향 통신이 모두 가능해야 한다. 따라서 주로 순방향 통신만을 이용하는 기존의 위치추적 방식에 비하여 의사거리를 도출할 수 있는 영역이 더 적다.

두 번째 문제점은 마이크로 셀 환경에서 간섭파의 영향이 위치예러를 크게 증가시킨다는 점이다. 기존의 위치추적 방식은 기지국과 개인국간의 직선거리만을 고려하도록 되어있는데 비해 마이크로 셀 환경에서는 전자파가 도로를 타고 전파되기 때문에 굴절된 전파경로가 많이 나타난다. 이 간섭파에 의한 전파현

상은 위치에러를 크게 증가시킨다<sup>[16]</sup>.

본 논문에서는 기지국간 비동기인 microcellular wide-band CDMA 시스템에서 두 가지 위치추정 알고리즘을 제안한다. 첫째는 공통영역을 통한 위치추정 방법으로 의사거리에 의해 구성되는 원 사이의 겹치는 공통영역을 사각형으로 근사하여 위치를 추정하는 방법이고 둘째는 도로정보를 이용하는 방법으로서 하나의 의사거리를 이용하여 그 의사거리에 해당되는 도로 지점을 확인하고 주변 파일럿 세기를 확인하여 그 지점에서 선택하는 방식이다. 이상의 방식은 기존의 위치추정 알고리즘이 반복 연산을 수행하는 데 비하여 반복 연산을 하지 않고 간접파에 의한 영향을 배제하고 있어 보다 적은 위치 에러를 나타낸다. 제안 방식중 두 번째는 개인국이 속한 목표 기지국의 의사거리와 주변 기지국의 파일럿 세기만을 이용하여 도로 내에서 개인국의 위치를 측정하기 때문에 간접파의 영향에 강할 뿐아니라 순방향 및 역방향을 모두 이용하는 경우에 비하여 넓은 영역에서 정확한 위치 추적이 가능하다.

## II. 기존 위치추정 알고리즘의 문제점

기존의 대표적인 위치추정 시스템인 GPS와 최근의 셀룰라 시스템 기반의 의사거리를 이용한 기존의 위치추정 알고리즘들에는 개인국에 대해 추정된 초기 위치로부터 반복 수행을 통해서 에러와 관련된 함수를 최소화시키는 방식과 공통현들의 교점을 이용하는 방식 등이 있다<sup>[4,5,16,17,18]</sup>.

초기 위치로부터 반복 수행을 통해 위치를 결정하는 방식은 식 (1)의 위치에러와 관련된 함수  $F(x)$ 를 최소화시키는 위치를 찾는 것이다<sup>[16]</sup>.

$$F(x) = \sum_i a_i^2 f_i^2(x) \quad (1)$$

여기서  $f_i(x)$ 는

$$f_i(x) \equiv f_i(x, y, t) = C(t_i - t) - \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \quad (2)$$

이고  $a_i$ 는 각 의사거리에 주어지는 가중치이다. 기존의 연구들은 식 (1)을 최소화하는 위치를 어떤 방법으로 찾는가에 의하여 구분되어지며 본 연구에서는

대표적인 방법으로 식 (2)을 Taylor series로 근사하여 위치를 추정하는 방법과 conjugate gradient method를 이용하는 방법<sup>[19]</sup> 및 그 이외에 공통현을 이용하는 방식<sup>[18]</sup>을 비교의 대상으로 한다.

공통현을 이용하는 방식은 의사거리를 이용하여 그린 원의 공통현을 그어 그 공통현들의 교점을 위치로 추정하는 방법이다<sup>[18]</sup>. 각 기지국에서 개인국까지의 전파가 직접파이며 거리 측정에서 오차가 없다면 모든 공통현의 교점은 일치할 것이다. 그러나 실제 환경에서는 간접파의 영향, 의사거리 측정에서의 오차 때문에 교점은 일치하지 않는다. 간접파의 경우에는 실제 거리보다 큰 의사거리가 나타나게 되고 따라서 공통현이 직접파인 기지국에 가까운 위치로 이동하게 된다. 그림 1은 특정 기지국에서 개인국과 간접파인 관계를 갖는 경우의 공통현 형성을 보이고 있다. 개인국과 직접파의 관계인 1번 기지국과 간접파의 관계인 2번 기지국 사이에 의사거리를 통한 공통현은 간접파 현상에 의해 영향을 받고 있다. 2번 기지국으로부터 실제 의사거리는 a의 길이를 가져야 하지만 간접파로 찍어 전파되기 때문에 실제보다 큰 b의 길이를 갖고 따라서 공통현이 c의 길이만큼 이동된다.

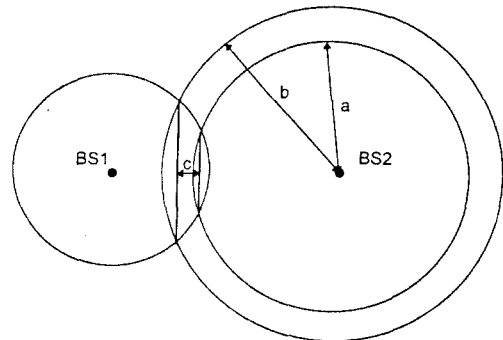


그림 1. 간접파 현상에 의한 공통현 형성

이상에서 살펴본 식 (1)을 이용하여 반복 수행을 통해 위치를 결정하는 방식은 간접파의 존재 때문에 마이크로 셀 환경에서 적용하기에는 바람직하지 않다. 마이크로 셀 환경에서는 개인국과 직접파 관계가 형성되는 주변 기지국들과 간접파 관계인 기지국들을 함께 고려하는 경우에 직접파 관계인 두 개의 기지국들만을 고려하는 경우보다 평균적인 위치에러가 크게

나타난다<sup>[16]</sup>. 이러한 현상은 위치를 결정하기 위해 사용된 식 (1)에서  $f_i(x)$ 가 개인국과 기지국 사이에 직접과 관계만을 고려한 함수이기 때문이라 생각된다. 또한 이상의 기존 방식들은 식 (1)을 최소화하는 위치를 추정하기 위해서 초기 위치와 가중치를 결정하고 반복 연산을 수행해야만 한다. 공통현들의 교점을 이용하는 방식 역시 간접파에 의하여 크게 영향을 받고 위치 에러의 가장 큰 요인이 간접파에 의한 전파의 꺾임이 되고 있다. 이는 전파의 꺾임에 의해 의사 거리가 실제보다 크게 측정되기 때문이다.

간접파에 의한 문제점 이외의 또 다른 주요한 문제점은 주변 기지국과 개인국간의 의사거리를 구하기 위한 통신 가능영역이 제한된다는 것이다. 셀룰라 시스템은 기본적으로 각 개인국은 자기 기지국과 통신하도록 되어있다. 따라서 개인국의 위치가 셀 경계가 아닌 셀 내부일수록 주변 기지국과의 송수신이 어려워지며 따라서 자기 기지국을 제외한 주변 기지국과의 의사거리를 구하기 어렵다. 본 논문에서 가정하고 있는 기지국간 비동기 시스템인 경우 순방향 및 역방향 채널을 동시에 사용해야 하므로 주변 기지국과의 의사거리를 구할 수 있는 영역은 더 좁아질 것이다. 비동기 시스템에서의 이 단점 및 마이크로 셀 환경에서 간접파의 영향을 배제할 수 있는 새로운 알고리즘이 필요하다.

### III. 위치추정 알고리즘의 제안

본 논문에서는 기지국간 비동기인 마이크로 셀룰라 wide-band CDMA 시스템에 적합한 두 가지 위치추정 알고리즘을 제시한다. 두 방식 모두 반복 연산을 하지 않고 간접파의 영향을 줄이기 위해 제안되고 있다.

#### 1. 공통 영역을 이용한 위치추정 알고리즘

첫 번째 제안 방식은 공통현을 이용한 방식에서 문제점으로 나타난 간접파에 의한 영향을 줄이는 방식으로 간접파에 민감하게 변하는 현으로 개인국의 위치를 추정하지 않고 개인국의 존재 가능한 영역을 간단한 사각형으로 근사화하여 영역의 중심을 개인국의 위치로 정하는 방식을 제안한다(그림 2).

먼저 두 기지국인 경우에 대하여 살펴보면 개인국이 존재할 수 있는 영역은 두 기지국에서 각각의 기

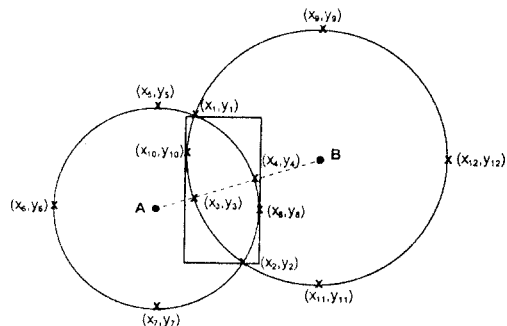


그림 2. 두 기지국에서의 공통영역 근사화 방식

지국의 위치를 원의 중심으로 하여 측정된 의사거리를 반경으로 하는 원들의 공통영역이다. 그러나 이러한 공통영역을 표현하는 것은 원호의 형태로 복잡한 모양을 나타내므로 12 개의 점을 이용하여 공통영역을 직사각형으로 근사한다. 그림 2에서와 같이 기지국 A와 기지국 B에서 측정된 의사거리를 각각  $R_A, R_B$ 라 정의하고 각 기지국의 위치를  $(x_A, y_A), (x_B, y_B)$ 라 할 때, 기본적으로 두 원들의 공통영역은 다음과 같이 두 원이 만나는 교차점들과 두 기지국을 잇는 직선과 원들이 만나는 점들에 의하여 정해질 수 있다.

공통영역을 근사화 하는 사각형은 다음의 12 개의 점으로부터 결정되어 진다. 12 개의 점은 두 원의 교차점인  $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ 과 두 원의 중심인 기지국을 잇는 직선과 원들의 교차점인  $(x_3, y_3), (x_4, y_4)$ 과 A 기지국을 중심으로 하는 원의 네 점,

$$(x_5, y_5) = (x_A, y_A + R_A),$$

$$(x_6, y_6) = (x_A - R_A, y_A),$$

$$(x_7, y_7) = (x_A, y_A - R_A),$$

$(x_8, y_8) = (x_A + R_A, y_A)$ 과 B 기지국을 중심으로 하는 원의 4 개 점,

$$(x_9, y_9) = (x_B, y_B + R_B),$$

$$(x_{10}, y_{10}) = (x_B - R_B, y_B),$$

$$(x_{11}, y_{11}) = (x_B, y_B - R_B),$$

$$(x_{12}, y_{12}) = (x_B + R_B, y_B) \text{이다.}$$

이 점들 중에서 두 원의 공통영역 안에 있는 점들만을 선택하고 다시 선택된 점들 중에서 가장 큰 영역을 구성하도록 각 좌표축 별로 최대값과 최소값을 결정한다. 즉, 공통영역을 근사하는 직사각형은 이 선

택된 점들 중에서 좌표축 별로 최대값과 최소값으로 결정된다.

개인국의 위치를 추정하기 위해서 주변에 위치한 3 개 이상의 기지국을 이용하는 경우에는 각각 2 개의 기지국들을 선택하여 각각의 공통영역을 직사각형으로 근사한다. 이 때 형성되는 각 직사각형들의 공통영역을 개인국이 존재 가능한 영역으로 가정하며, 개인국의 위치는 이 영역의 중심으로 추정한다.

단순한 공통현을 이용하는 것보다 공통 직사각형을 이용하는 것은 간접파의 꺾임에 의한 의사거리의 증가가 위치추정에 미치는 영향을 감소시킬 수 있다. 공통현에 의한 추정 방식은 직선으로 이동국의 위치를 추정하고 있어 의사거리의 변화에 민감하게 추정 위치가 변화하지만 공통 사각형으로 이동국의 위치를 추정하는 경우에는 이동국의 위치를 영역으로 표시하여 그 중심을 찾기 때문에 간접파의 영향을 적게 받는 것이다.

## 2. 도로 정보를 이용한 위치추정 알고리즘

본 논문에서 가정하고 있는 wide-band CDMA 시스템의 경우 서론에서 언급한 바와 같이 기지국간 비동기임을 가정하고 있기 때문에 순방향 파일럿 채널 뿐만 아니라 역방향 파일럿 채널이 사용되고 있다. 따라서, 개인국이 속한 기지국 이외의 주변 기지국과의 의사거리를 구하기 위해서는 주변 기지국의 순방향 파일럿 채널 수신 및 개인국의 역방향 파일럿 채널의 주변 기지국에서의 수신이 가능하여야 한다. 하지만 실제적인 상황에서는 개인국이 속한 기지국의 파일럿 채널만이 수신 가능하고 개인국의 파일럿 채널 역시 개인국이 속한 기지국에서만 수신이 가능한 영역이 크게 존재할 것으로 생각된다. 이러한 경우 하나의 의사거리만 구할 수 있기 때문에 공통 직사각형을 이용한 방법을 포함해서 기존의 알고리즘들은 위치추정을 할 수가 없다.

마이크로 셀 환경에서는 셀 내에서 개인국이 위치할 수 있는 영역은 도로 영역으로 제한되므로 이 도로 정보를 이용하여 하나의 의사거리와 주변 기지국의 순방향 파일럿 채널의 수신세기를 이용하여 좀 더 넓은 영역에서 정확한 위치추정을 할 수 있다. 또한, 위치추적 서비스를 제공하기 위해서는 도로 정보를 사용해야 하므로 도로 정보 자체로서 망에 추가적인 오버헤드를 주는 것은 아니다. 이 알고리즘을 자세히

기술하면 다음과 같다.

- (1) 개인국이 속한 목표 기지국과 개인국 사이의 의사거리를 구한다.
- (2) 개인국이 속한 기지국을 중심으로 의사거리의 반지름을 갖는 원을 그린다.
- (3) 원 위에 있는 도로의 중심에 해당되는 위치를 찾는다.
- (4) 각 도로의 중심에 해당되는 위치와 목표 기지국 이외의 기지국 파일럿 신호의 세기를 확인하여 하나의 도로 중심 위치를 개인국의 위치로 추정한다.

이 과정을 통한 위치추정을 그림으로 도시하면 그림 3과 같다. 이 그림에서 위치 a, b, c, d가 원 위의

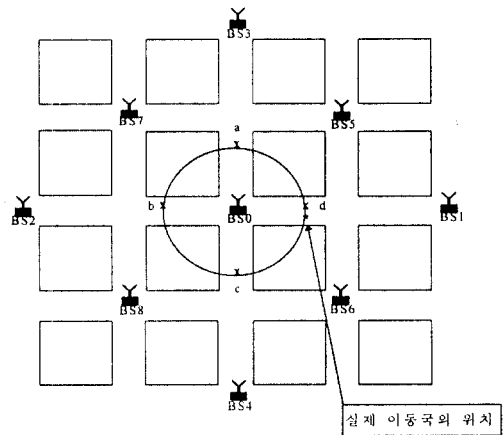


그림 3. 도로 정보를 이용하는 경우의 위치추정

도로 중심 위치가 되고 1번 기지국의 파일럿 신호의 세기가 가장 클 것이므로 위치 d가 개인국의 위치로 선정된다.

그림 3의 경우에는 가장 큰 파일럿 신호세기만을 보고 위치를 추정할 수 있었다. 하지만, 개인국의 위치가 기지국 경계 근처의 사거리에 있을 경우에는 목표 기지국 주변 도로간에 모호성이 발생할 수 있다. 예를 들어, 0 번 기지국에 속한 개인국이 0 번과 1 번 기지국 사이의 사거리에 있을 경우 1 번, 5 번 및 6 번 기지국의 파일럿 세기는 비슷한 크기를 갖을 것이다. 그러므로, 1 번이 아닌 5 번이나 6 번 기지국

의 파일럿 세기가 가장 큰 것이 될 수 있다. 만일, 5 번 기지국의 파일럿 세기가 가장 큰 것으로 나타났을 경우 0번 기지국을 중심으로 1 번 기지국 방향의 도로와 3 번 기지국 방향의 도로 간의 모호성이 발생한다. 따라서, 이런 경우에는 주변 기지국의 파일럿 신호 세기중 가장 큰 것만을 고려해서는 안된다.

그림 3의 맨하탄 full square cell 배치의 경우에는 개인국이 속한 기지국으로부터 4 개의 도로가 있고 각각의 도로에 사거리가 있다. 개인국이 기지국간 사거리 주변에 위치한 경우 가장 큰 파일럿 세기의 주변 기지국이 1, 2, 3, 4 번 기지국인가를 확인하고 그럴 경우에는 4 개의 도로중에 하나가 개인국의 위치로 분명하게 구별된다. 만일 5, 6, 7, 8 번의 기지국이 가장 큰 파일럿 세기를 가질 경우에는 도로간의 모호성을 해결하기 위해 1에서 4 번 기지국의 파일럿 세기중에서만 가장 큰 것을 선택하여 0 번 기지국으로부터 도로를 선택하고, 가장 큰 파일럿 세기를 갖는 기지국을 확인하여 기지국간 사거리에서의 방향을 결정한 후 개인국의 위치를 추정한다. 그림 4는 도로 선택 방식을 나타낸 흐름도이다.

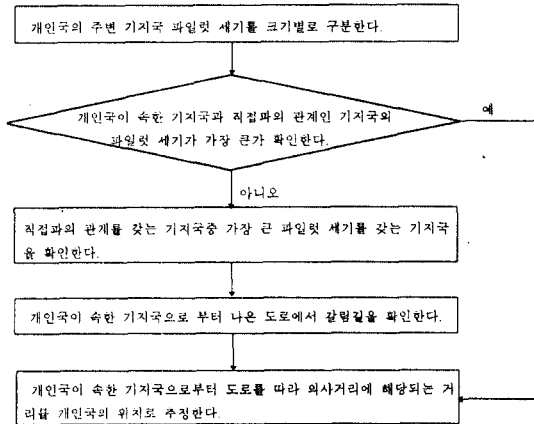


그림 4. 개인국이 속한 기지국으로부터의 도로 선택을 위한 방법

도로정보를 이용하는 방식은 microcellular wide-band CDMA 환경에서 간접파의 영향을 배제하고 기지국간 비동기를 가정하여 나타나는 개인국과 주변 기지국과의 파일럿 송수신의 어려움에 대처하기 위한 방식이다. 마이크로 셀 환경에서 기존의 방식은 적어도 2 개 이상의 의사거리를 측정해야 하는데 이 때 주변 셀간

의 간섭 때문에 의사거리를 항상 측정할 수도 없을 뿐 아니라 의사거리가 측정되었다 하더라도 간접파의 영향으로 큰 위치오차를 갖는다. 이에 비해서 본 논문의 제안방식은 직접파인 의사거리와 도로 정보를 이용하여 위치 추정을 할 수 있게 함으로써 간접파의 영향을 배제시킨다. 또한, 기존의 방식에서 사용되는 반복 연산이 필요하지 않다. 하지만, 역시 순방향 파일럿 신호를 받을 수 있어야 주변 기지국의 신호세기를 구분할 수 있으므로 기지국으로부터 일정 영역은 개인국의 위치를 그 영역내에 있다는 사실 밖에 알 수 없다. 이 경우 마이크로 셀 환경에서 방향성 안테나를 채용한 시스템에 이 도로정보를 이용한 위치추정 알고리즘을 적용하여 전 영역에서 위치추적 서비스를 할 수 있다. 방향성 안테나로 이동국이 위치한 도로를 전 영역에서 확인할 수 있기 때문이다.

#### IV. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서 가정하고 있는 microcellular CDMA 시스템을 이용한 위치 추적 방식을 간략하게 기술하면 다음과 같다. 먼저 기지국에서 송신된 파일럿 신호가 개인국에 수신되고 다시 역방향 파일럿 채널을 통해 기지국에 전송된다. 기지국에서 송신된 시간과 개인국을 통해 수신된 시간의 차를 망의 클럭 수의 단위로 알 수 있고 개인국에서의 처리시간을 보상하여 한 기지국과 개인국간의 의사 거리를 알 수 있다. 이와 같이 순방향, 역방향 파일럿 채널의 송수신이 가능한 주변의 기지국과 개인국간의 의사 거리를 구하고 위치추정 알고리즘을 통해 위치를 계산할 수 있다.

이와 같은 위치추적 과정의 시뮬레이션을 위한 주요한 고려 사항은 기지국에서 송신 신호처리, 채널에서의 신호 감쇄 및 페이딩 효과, 개인국에서의 수신 신호처리이다. 역방향에서 역시 순방향과 같은 과정의 처리가 요구된다. 시뮬레이션 상에서의 중요한 관심사는 주변 기지국, 또는 주변 개인국으로부터의 간섭하에서 지정된 개인국이 몇 개의 주변 기지국과 파일럿 신호를 주고 받을 수 있는가 하는 점 및 위치에 리이다. 그림 5는 마이크로 셀룰라 CDMA 환경에서의 위치 추적 시뮬레이션을 위한 블럭도이다. 본 장에서는 본 논문에서 사용된 시뮬레이션 방법을 설명하고 그 결과로서 의사거리를 구할 수 있는 영역을 마이크로 셀룰라 wide-band CDMA 환경에서 도시하고

제안한 알고리즘의 성능을 기존의 대표적 위치추정 방법들인 Taylor series를 이용한 방법, conjugate gradient method<sup>[19]</sup>와 공통현을 이용한 방법<sup>[18]</sup>과 비교한다.

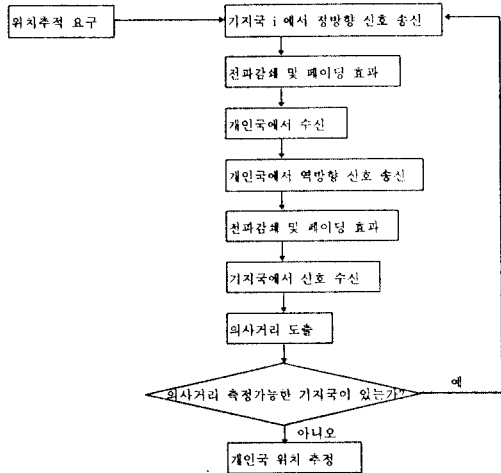


그림 5. 기지국간 비동기인 마이크로 셀룰라 W-CDMA 환경에서의 위치추적 시뮬레이션을 위한 블럭도

1. 시뮬레이션

마이크로 셀룰라 시스템의 시뮬레이션을 위해 본 논문에서는 맨하탄 모델의 full square cell 배치 방식을 이용하여 기지국을 배치하였다<sup>[20,21,22]</sup>. 그림 6은 이 셀 배치 방법의 블럭도이다. 위치추적 서비스를 요구하는 개인국은 기지국 BS0의 영역 내에 위치하며 기지국 BS1에서 기지국 BS8까지의 순방향 신호 및 역방향 신호가 간섭으로서 고려된다. 각 기지국내의 개인국은 균일하게 분포한다.

시뮬레이션에서 기지국 및 개인국에서의 wide-band 시스템 구조는 그림 7과 같이 가정되었다<sup>[23]</sup>. 모두 '0'으로 구성된 파일럿 신호와 '0'과 '1' 사이에서 동일한 확률로 결정되는 가입자 신호는 각각의 Walsh 코드와 곱해져 합해지고 다시 기지국 구분 PN 코드와 곱해진 후 송신된다. Walsh 코드는 128 길이가 사용되고 기지국 구분 PN 코드는 참고문헌<sup>[23]</sup>에서 가정된 9 개가 사용된다. 이 구조에서 순방향 파일럿 신호 세기는 가입자 신호 세기에 비해 G의 크기를 가지며 역방향에서 가입자별 파일럿 신호가 있으며 가입자 신호에 대한 세기는 g로 가정된다.

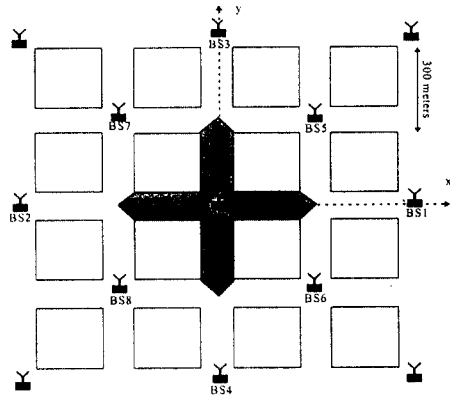
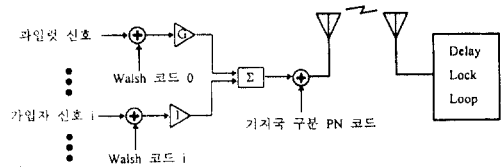
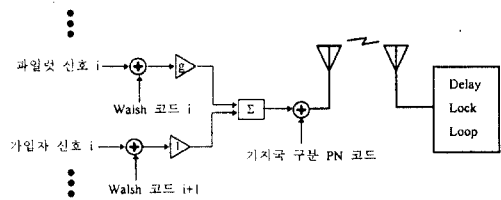


그림 6. Full square 셀의 구조



(a) Forward link



(b) Reverse link

그림 7. Wide-band CDMA 시스템의 순방향 및 역방향 채널 구성

기지국 및 개인국에서의 송신신호는 이동채널을 거쳐 개인국 및 기지국에서 수신된다. 이동채널은 참고문헌 [24]에서의 전자파 감쇄 모델과 [25]에서의 광대역 페이딩 채널 모델로 구성한다. 광대역 페이딩 채널 모델은 8 개의 탭을 가정하고 표 1의 파라메타를 사용한다<sup>[26]</sup>. 장기간 페이딩(lognormal fading)은 정규편차를 8 dB로 하여 고려되었다. 개인국의 속도에 따

른 장구간 페이딩의 상관 계수는  $\rho_D^{d/D}$ 로 가정되었으며, 여기서  $\rho_D$ 는 개인국이 거리  $D$  만큼을 이동하였을 때의 상관계수이며 기준거리  $D = 10$  m 일 때 0.3으로 가정되었고  $t$ 는 시간을 나타낸다<sup>[27]</sup>.

표 1. 광대역 페이딩 채널 파라메타

Tap#	0	1	2	3	4	5	6	7
Delay( $\mu$ s)	0.00	0.10	0.41	0.71	1.00	1.60	2.01	2.31
Weighting(dB)	0.00	-4.87	-11.38	-12.75	-14.70	-17.46	-17.85	-17.74

기지국 혹은 개인국에서 수신된 신호는 DLL(delay lock loop)를 통해 synchronization 되며 이 과정에서 의사거리를 구한다. 대역확산통신(spread spectrum communication)의 동기 과정(synchronization)은 두 단계로 이루어진다. 첫 단계는 code acquisition의 과정으로서 초기 코드 위상의 결정이다. 두 번째 단계는 code tracking의 과정으로서 초기 코드 동기 과정이 이루어진 후에 코드 동기를 유지하는 과정을 가리킨다<sup>[28]</sup>.

본 논문에서는 초기 동기 과정은 이루어졌다고 가정하였고 code tracking 과정에서 의사거리의 오차 함이 되는 동기 에러를 산출한다. 그림 8은 DLL(delay lock loop)의 블록도이다. 채널을 거친 파일럿 신호는 수신기에서 복조 과정을 거쳐 spreading wave의 형태로 DLL에 입력되는 것이 가정되었다. DLL의 입력 신호는  $+\Delta T_c$  만큼 위상이 이동된 PN 코드 신호 및  $-\Delta T_c$  만큼 위상이 이동된 신호와 각각 곱해져 그 두 신호의 차가 다음 동기 조정의 입력으로 사용된다. 그림 8에서  $c(t)$ 는 PN 코드 wave-form을 나타내며  $t_d$ 는 추정된 동기시간이다.

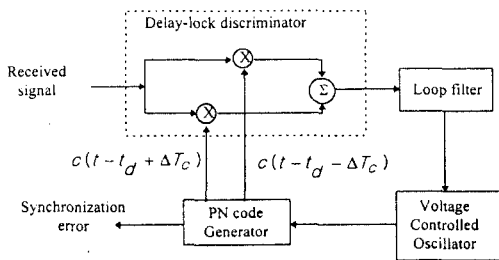


그림 8. Delay Lock Loop의 구성도

Delay-lock discriminator에서 나온 신호는 상관값의 차이이며  $t-t_d$  값 즉, 정확한 동기시간과 추정 동기시간의 차에 따라 함수값을 갖는다. 실제 시뮬레이션에서는  $\Delta T_c$ 는 반 chip 길이의 시간이 가정되었고 초기 중심 위치를 중심으로 한 chip 길이 내에 8 개의 동기위치에 대하여 모두 상관값의 차를 구한 후 그 중 제일 작은 값을 동기위치로 결정한다.  $\Delta T_c$ 가 반 chip 길이의 시간일 경우 이 함수는 정확한 동기로부터 반 chip 길이 시간 만큼이 안정된 영역(stable region)이다<sup>[28]</sup>. 시뮬레이션에서 한 chip 길이 이외에 추가로 앞뒤로 반 chip 길이에서 상관값의 차를 구하며 그 중에서 가장 작은 상관값의 차를 갖는 동기시간을 찾아 정확한 동기로부터 반 chip 길이 시간내에 들어오는 경우는 동기를 얻을 수 있는 지점으로 그 이외의 지역에 들어오는 경우는 동기를 얻을 수 없는 지역으로 가정하였다.

## 2. 기지국과 개인국간의 파일럿 채널 송수신 가능 영역

도로 정보를 이용하는 위치추정 알고리즘의 제시에서 설명한 바와 같이 개인국은 자기 기지국 이외의 주변 기지국과 순방향 및 역방향 파일럿 채널을 송수신할 수 있어야만 그 기지국과의 의사거리를 알 수 있다. 하지만, 셀룰라 시스템은 주변 기지국과의 간섭을 고려하여 개인국이 자기 기지국과의 통화만을 보장한다. 그림 9와 표 2는 기지국과 개인국이 각각 파일럿 채널을 수신할 수 있는 영역을 나타낸다.

그림 9에서 나타내는 파일럿 채널 수신 가능 영역은 순방향 및 역방향 파일럿 채널이 모두 수신 가능할 때이며 각 위치별로 95%의 확률로 동기를 찾을 수 있는 영역만을 수신 가능한 영역으로 도시하였다. 각 기지국의 수신 가능 영역은 각 기지국에서 바라볼 때 왼쪽에서 두 번째 칸이 그 기지국의 파일럿 채널 수신 가능 영역을 나타내고 교차로에서 좌우 방향으로 가장 가까운 칸이 그 기지국의 수신 가능 영역을 나타낸다. 따라서, 그림 9에서 기지국 BS0의 수신 가능 영역은 가로 방향으로 위에서 두 번째 칸이며 세로 방향으로는 맨 좌측의 칸이 기지국 BS0의 수신 가능 영역을 나타낸다. 기지국 BS5, BS6에 속하는 개인국은 코너효과의 영향으로 교차로 내에서만(교차로 중심에서 8.138 meters) 기지국 BS0와 파일럿 채널 수신이 가능하다. 기지국으로부터 수신가능 영역을



나타내는 각각의 한 칸은 시스템의 동기 클락의 최소 단위에 해당되는 거리이며 4.608 MHz의 8 배에 해당되는 주파수가 시스템 동기 클락의 최소단위로 가정하였다. 따라서, 이 한 칸은 대략 8.138 m에 해당된다. Delay lock loop의 window size는 1024로 순방향 파일럿 채널의 크기는 통화채널을 기준으로 2.5 배로 고정하였다.

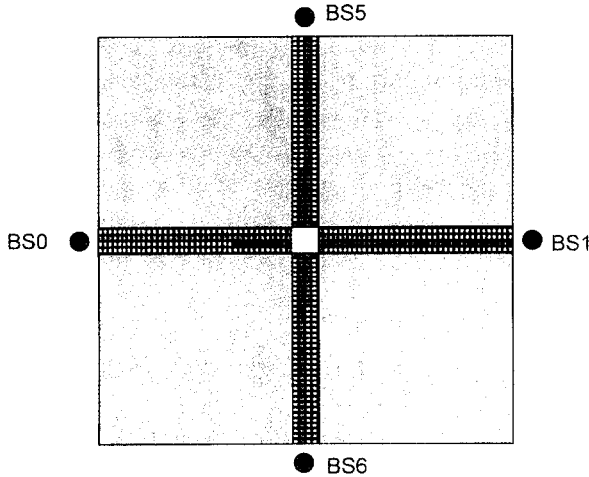


그림 9. 순방향 및 역방향 파일럿 채널의 수신 가능 영역(통화중인 가입자의 수 = 5,  $G = 2.5$ ,  $g = 1.0$ , window size = 1024)

표 2. 기지국 BS0 내의 개인국이 기지국 BS1과 파일럿 채널 송수신이 가능하지 않은 영역 (meters<sup>2</sup>/도로폭)

	5명, $g = 1.0$	5명, $g = 0.7$	5명, $g = 0.5$	20명, $g = 1.0$	30명, $g = 1.0$
순, 역방향 채널을 모두 고려한 경우	211.6	244.0	260.0	268.5	276.7
순방향 채널만을 고려한 경우	195.3	187.2	203.5	236.0	244.2

표 2은 기지국 BS0 내 개인국과 주변 기지국 BS1 간, 파일럿 신호의 동기를 95 %의 확률로 찾을 수 없는 영역을 기지국 BS0을 중심으로 하는 원의 반지름으로 표시한 것이다. 즉, 그림 9에서 이 길이는 기지국 BS0 영역에서 BS1 신호의 수신 가능 영역 직전까지의 거리가 된다. 통화중인 가입자의 수가 5 명일 경우 역방향 파일럿 채널의 통화채널에 대한 세기를 1.0, 0.7, 0.5 로 변화함에 따라서 파일럿 채널의 수신 가능 영역이 점차적으로 줄어들음을 볼 수 있다.

역방향 파일럿 채널의 세기를 1.0으로 고정시키고 통화중인 가입자의 수를 20 명 30 명으로 증가시킨 경우 파일럿 채널의 수신가능 영역이 통화중인 가입자의 수에 따라 감소하고 있다. 순방향 및 역방향을 동시에 고려한 경우에 비해 순방향 파일럿 채널만을 고려한 경우의 수신 불가능 영역이 최고 57 m 만큼 줄어들는 것으로 나타났다. 순방향 파일럿 채널만을 고려하는 경우, 위치추정 알고리즘이 적용 가능하지 않은 영역(파일럿 수신 불가능 영역)은 가입자의 수가 증가함에 따라 늘어나며 역방향 파일럿의 세기에는 무관하다. 하지만, 순방향 및 역방향을 동시에 고려한 경우에 비해 영역이 줄어드는 비는 5 명일 경우 보다 20 명, 30 명의 경우가 더 크게 늘어남을 볼 수 있다.

### 3. 위치추정 오차

본 절에서는 기존의 위치추정 알고리즘인 Taylor series를 이용하는 방법, conjugate gradient method 방법<sup>[19]</sup>과 공통현을 이용하는 방법<sup>[18]</sup>과 본 논문에서 제안한 공통 사각형을 이용하는 방법, 그리고 도로정보를 이용하는 방법의 위치별 위치추정 오차를 구한다. 위치별로 의사거리를 구할 수 있는 경우에 한하여 각각의 위치추정 알고리즘을 적용하였다. 표 3은 간접파인 기지국에서의 의사거리를 포함하여 위치를 추정하는 경우의 추정 오차를 나타낸다.

표 3. 위치 추정 오차

개인국 위치	(10, 0)	(65, 0)	(120, 0)	(175, 0)	(230, 0)	(285, 0)
Taylor series의 경우	34.2	64.5	80.1	83.5	128.0	106.0
Conjugate gradient method	43.4	76.1	97.2	117.4	171.8	165.0
공통현 방법	34.6	60.5	76.9	82.2	113.0	103.0
공통사각형 방법	9.7	32.0	56.5	61.5	39.7	7.5
도로정보를 이용하는 방법	10.8	13.1	2.2	4.2	2.5	0.2

위치 추정 오차는 기존의 3 가지 방법에 비해 제안된 공통 사각형을 이용하는 방법과 도로정보를 이용하는 방법이 작은 오차를 보인다. 특히, 도로정보를 이용하는 방법의 경우에는 가장 작은 오차를 보이고 있다. 개인국의 위치가 자기 기지국에서부터의 거리가 증가함에 따라 기존의 방법들은 오차가 증가함을

보이고 있다. 이것은 기지국에서의 거리가 증가함에 따라 간접파의 영향이 증가하고 따라서 의사거리에 의해 그려지는 원의 크기가 증가하여 원들의 교점을 찾을 때, 보다 큰 오차를 유발하기 때문이다. 또한, 교차로(300, 0)에 접근하면서 다시 오차가 줄어드는 현상은 간접파에 의한 거리 증가분이 (0, 0) 위치에서 증가하다가 교차로에 접근하면서 다시 줄어들기 때문이다. 도로정보를 이용하는 방법에서 위치 (10, 0)과 (65, 0)에서 오차가 큰 이유는 주변 기지국의 파일럿 세기가 비슷하기 때문에 도로를 잘못 설정하는 경우 때문이다.

Taylor series를 이용하는 방법, conjugate gradient method 방법, 공통형 방법, 공통사각형을 이용하는 방법, 및 도로정보를 이용하는 방법의 평균 위치추정 오차는 각각 82.7 m, 111.8 m, 78.4 m, 34.5 m, 5.5 m 이다. 간접파의 영향으로 인해 기존의 방식들은 위치추정에 큰 오차를 보이고 있으며 반복적인 방식을 취하기 때문에 수렴하지 않는 경우도 생길 수 있다. 이에 비해 제안 알고리즘은 반복 연산을 취하지 않고 마이크로 셀룰라 환경에서 작은 오차를 보인다.

## V. 결 론

차세대 개인휴대통신은 전세계 인구의 20-25%가 이용할 것으로 기대되고 있다. 따라서, 개인휴대통신의 부가서비스는 무한한 부가가치를 내포하고 있다. 현재의 위치추적 시스템은 GPS 시스템이 가장 광범위하게 응용되고 있으나 위성을 이용하므로 수신기의 가격을 낮추기가 어렵고 운용국가에 기술적인 의존성이 짙다. 이에 반해 최근 주목을 받고 있는 셀룰라 시스템을 이용하는 위치추적 시스템은 기존의 셀룰라 시스템과 가입자의 단말을 이용하여 적은 시설 비용으로 위치추적 서비스를 제공할 수 있다.

본 논문에서는 기지국간 비동기인 마이크로 셀룰라 wide-band CDMA 환경에서 GPS를 이용하지 않고 위치추적 서비스를 하는 방안을 연구했다. 이 경우, 기지국간의 동기를 서로 알 수 없으므로 각각의 기지국에서 개인국까지의 의사거리를 구하기 위해 기지국의 순방향 파일럿 채널과 개인국의 역방향 파일럿 채널을 이용하였다.

이 때, 개인국이 속한 자기 기지국 이외의 주변 기지국과 개인국간의 파일럿 채널 수신은 개인국이 자

기 기지국의 중심에서 2/3 이상 위치에 있을 때 95%의 확률로 가능하였다. 이와 같은 주변 기지국과의 파일럿 채널 수신 가능 영역은 가입자의 수에 반 비례하고 역방향 파일럿 신호의 세기에 비례한 것으로 나타났다. 또 다른 문제점은 마이크로 셀 환경에서는 위치추정에 간접파의 영향이 매우 큰 것으로 나타났다. 전자파의 전파가 개인국과 기지국간의 직선 거리가 아닌 도로를 따라 일어나기 때문이다. 이 문제점들을 보완하기 위해 본 연구에서는 두 가지 위치추정 알고리즘을 제안했다.

첫째는 의사거리에 의한 공통영역들을 사각형들로 근사하는 방법으로 간접파의 영향을 완화시킬 수 있었다. 두 번째는 도로 정보를 이용하는 방식으로 자기 기지국으로부터의 의사거리와 주변 기지국의 파일럿 세기로 위치를 추정하는 방안이었다. 간접파의 영향을 받는 기존의 방법에 비해 오차를 크게 줄일 수 있었다. 공통사각형을 이용하는 방식은 34.5 m, 도로정보를 이용하는 방식은 5.5 m의 평균 위치추정 오차를 나타내었다. 또한, 도로정보를 이용하는 방식은 주변 기지국의 순방향 파일럿 만을 이용하여 파일럿 수신 가능영역을 최고 57 m 증가시키는 것으로 나타났다.

제안된 방식들은 차세대 마이크로 셀 환경에서 위치추적 서비스에 유용하게 이용될 것으로 기대되며 도로정보를 이용하는 방식은 도로별 방향성 안테나를 채용한 마이크로 셀룰라 시스템에서는 전 영역에서 정확한 위치추적이 가능할 뿐만 아니라 비교 방식 중 가장 적은 위치에러를 보인다.

## 감사의 글

본 연구는 SK-telecom의 96-97 연구비 지원에 의한 결과이며 조연과 도움을 주신 구 준모 박사님과 김 생수님께 감사 드립니다.

## 참 고 문 헌

1. 이영재, 지규인, 이장규, "GPS(Global Positioning System)와 그 응용," 한국항공우주학회지, pp.131-142, 1994년 6월.
2. I. A. Getting, "The Global Positioning System," *IEEE Spectrum*, pp. 36-47, December 1993.
3. "Introduction to LORAN-C," [http : //www.navcen.usug.mil](http://www.navcen.usug.mil), June 1996.

4. S. Riter and J. McCoy, "Automatic Vehicle Location - An Overview," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol. 26, No. 1, pp. 7-11, February 1977.
5. S. H. Roth, "History of Automatic Vehicle Monitoring (AVM)," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol. 26, No. 1, pp. 2-6, February 1977.
6. N. Ivanov and V. Salischev, "The GLOSNAASS System - An Overview," *J. Navigation*, vol. 45, no. 2, pp. 75-182, 1992.
7. George M. Siouris, *Aerospace Avionics System*, Academic Press, New York, 1993.
8. Tom Logsdon, *The NAVSTAR Global Positioning System*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.
9. David Wells, "Guide to GPS Positioning," Canadian GPS Associates, Fredericton, New Brunswick, Canada, 1987.
10. B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins, *Global Positioning System : Theory and Practice*, Springer-Verlag, New York, 1992.
11. T. S. Rappaport, J. H. Reed, and B. D. Woerner, "Position Location Using Wireless Communications on Highways of the Future," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 34, No. 10, pp. 33-41, October 1996.
12. S. K. Oh and C. K. Un, "Simple Computational Methods of the AP Algorithm for Maximum Likelihood Localization of Multiple Radiating Sources," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 40, no. 11, pp. 2848-54, November 1992.
13. I. Ziskind and M. Wax, "Maximum Likelihood Localization of Multiple Sources by Alternating Projection," *IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 36, no. 10, pp. 1553-60, October 1988.
14. J. Kennedy and M. C. Sullivan, "Direction Finding and Smart Antennas Using Software Radio Architecture," *IEEE Communications Magazine*, vol. 3, no. 5, pp. 62-68, May 1995.
15. Bertrand T. Fang, "Geometric Dillution of Precision in Global Positioning System Navigation", *J. of Guidance and Control*, pp. 92-94, January-February 1981.
16. J. J. Caffery and G. L. Stuber, "Radio Location in Urban CDMA Microcells", in *Proc. IEEE PIMRC*, pp. 858-862, 1995.
17. H. Hashimi, "Pulse Ranging Radiolocation Technique and Its Application to Channel Assignment in Digital Cellular Radio," in *IEEE Proc. VTC*, pp. 675-680, 1991.
18. H. L. Song, "Automatic Vehicle Location in Cellular Communications Systems," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol. 43, No. 4, pp. 902-908, November 1994.
19. David G. Luenberger, *Linear and Nonlinear Programming*, Addison-Wesley publishing company, 1989.
20. Larry J. Greenstein, "Microcells in Personal Communications Systems," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 30, No. 12, pp. 76-88, December 1992.
21. Raymond Steel, *The Mobile Communications Handbook*, CRC Press, pp. 333-347, 1996.
22. M. Gudmundson, "Cell Planning in Manhattan Environments," in *IEEE Proceedings VTC*, 1992.
23. KMT 시험용 시스템 무선접속규격, 한국이동통신 PCS 추진본부, 1995.
24. H. Borjeson, C. Bergljung and L. G. Olsson, "Outdoor Microcell Measurements at 1700 MHz," in *IEEE Proceedings VTC*, 1992.
25. J. D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, New York, Wiley, 1992.
26. A. M. D. Turkmani, D. A. Demery, and J. D. Parsons, "Measurement and Modeling of Wideband Mobile Radio Channels at 900 MHz," *IEEE Proceedings-I*, Vol. 138, pp. 447-457, October 1991.
27. M. Gudmundson, "Correlation Model for Shadow Fading in Mobile Radio System," *Electronics Letter*, Vol. 27, November 1991.
28. Roger L. Peterson, Rodger E. Ziemer, David E. Borth, *Introduction to Spread Spectrum Communications*, Prentice-Hall, New Jersey, 1995. o. 1, pp. 63-67, February 1992.



**성 단 근(Sung Dan Keun) 정회원**  
 1952년 7월 19일생  
 1975년 2월: 서울대학교 전자공학과(학사)  
 1977년 4월~1980년 7월: 한국통신기술연구소 (현 ETRI) 통화로연구실 연구원

1982년: The University of Texas at Austin 전기 및 컴퓨터공학과(석사)  
 1986년: The University of Texas at Austin 전기 및 컴퓨터공학과(박사)  
 1986년 3월~1992년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 조교수  
 1992년 9월~1997년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 부교수  
 1997년 9월~현재: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 정교수  
 ※주관심분야: 이동 통신망, CDMA, Wireless ATM, ATM, 위성통신



**장 진 원(Chang Jin Weon) 정회원**  
 1971년 1월 9일생  
 1993년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사  
 1995년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사  
 1995년 2월~현재: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정

※주관심분야: 이동통신, CDMA 시스템, Wireless Resource Management.  
 e-mail : jwchang@cnr.kaist.ac.kr

**홍 인 기(Hong Een Kee) 정회원**

1966년 1월 22일생  
 1989년 2월: 연세대학교 전자공학과 학사  
 1991년 2월: 연세대학교 전자공학과 석사  
 1995년 2월: 연세대학교 전자공학과 박사  
 1995년 3월~현재: SK-텔레콤 중앙연구소 FPLMTS 그룹 근무.

**신 병 철(Byung Cheol Shin) 정회원**

1952년 11월 2일생  
 1975년 2월: 서울대학교 전기공학과 졸업  
 1977년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업  
 1984년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사 졸업  
 1977년 2월~1980년 2월: 한국전자통신연구소 연구원  
 1987년 3월~1988년 2월: SRI International에서 Post Doc. 연수  
 1984년 9월~현재: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 부교수  
 ※주관심분야: Multimedia 통신, High Speed Network, Wireless Communication 분야



**한 일(Il Han) 준회원**

1972년 9월 10일생  
 1995년 2월: 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1997년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사)  
 1997년 3월~현재: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정  
 ※주관심분야: CDMA, 무선 ATM, MAC 프로토콜