論文2003-40TC-4-4

이동체 추적 기법들

(Mobile Tracking Schemes)

李 鍾 贊 *, 李 文 鎬 **

(Jong Chan Lee and Moon Ho Lee)

요 약

마이크로/피코셀 환경 하에서 이동체의 빈번한 위치 및 셀간 이동으로 인하여 많은 부가 트래픽이 발생한다. 이동체 위치 추정을 이용함으로서 효율적인 채널 할당과 QoS를 보장하는 핸드오프가 가능하다. 기존의 이동체 위치 추정 방안들은 단지 LOS 환경을 기반으로 하여 제시되었고 다중 경로 환경 또는 shadowing 환경에서는 성능의 감소를 가져왔다. 본 연구에서는 NLOS 환경, 그리고 수신 신호 세기 이외에 부정확한 다수의 위치 결정 파라미터를 고려함으로서 추정의 정확성을 증가시키는 새로운 위치 추정 방안들을 제시한다.

Abstract

In the microcell-or picocell-based system the frequent movements of mobiles bring about excessive traffics into the networks. A mobile location estimation mechanism can facilitate both efficient resource allocation and better QoS provisioning through handoff optimization. Existing location estimation schemes consider only LOS model and have poor performance in presence of multi-path and shadowing. In this paper we study novel schemes which can increase estimation accuracy by considering NLOS environment and other multiple decision parameters than the received signal strength.

Keywords : Mobile Tracking, LOS/NLOS, Area Partitioning, Virtual Area, MCDM

Ⅰ. 서 론

미래 이동 통신망의 효과적인 구현을 위해서는 이동체의 위치를 정확히 추정하는 것이 중요하다. 이동 통신망의 주요한 문제점 중의 하나는 이동성이 심한 이동체의 경우에 위치 이동에 의하여 발생되는 트래픽의 양이 많다는 것이다. 특히 증가하는 가입자 밀도에 대처하기 위하여 셀 반경이 작은 마이크로셀/피코셀로 시스템을 구성할 경우에는 더욱 심각하다. 셀 크기 감소로 인하여 빈번한 핸드오프가 발생하는데, 이동체의 위치 및 속도 정보의 부정확으로 인한 부수적인 순방향 트래픽의 증가 현상을 초래하게 되므로 무선 스펙트럼의 효율을 최대화하기 위하여 그 중요성이 더해간다. 임의의 셀 내에서 이동체의 물리적 위치와 속도를 정확히 추정할 수 있다면 두 인접 셀 사이의 핸드오버 타이밍을 최적화함으로써 네트워크의 트래픽 양을 현저히 줄일 수 있고

* 正會員, 韓國電子通信研究院
(Access Traffic management Team, Electronic and Telecommunications Research Institute)
** 正會員, 青雲大學校
(Department of Multimedia Science, Chungwoon University)
接受日字:2002年3月25日, 수정완료일:2003年3月24日

좀 더 효율적으로 채널 할당을 수행할 수 있다. 또한 이동체의 페이징 지역을 이동체가 추정된 지역에 한정함으로서 페이징 메시지들을 최소화 할 수 있다. 그리고 위치 정보를 이용하여 재난 구조를 위한 비상 호출 서비스를 제공할 수 있다.

위치 추정에 관한 연구는 교통 관제 시스템에서 화물 운송용 차량이나 비행기 또는 선박의 운행 정보를 얻기 위해서 사용되어 왔다[1-2]. [3]에서는 일련의 기지국들이 이동체 송신기의 신호세기를 이용하여 통계적인 방법으로 추정하는 시스템을 제안하였다. 이 방법에서는 등고선(지평선) 정보로부터 이동체의 위치를 결정했지만 현실적인 상황에 적합한 탐색 절차를 제공하지 못했다. [4]에서는 다중 경로 환경에서 기지국에 설치된 멀티빔 안테나에 수신되는 신호의 세기와 그 신호의 입사각(Angle of Arrival)으로 이동체의 위치를 추정하는 방법이 제안되었다. 그러나 AOA 측정값은 기본적으로 신호가 가시선(LOS : Line of Sight)이라는 가정 하에 추정되지만, 마이크로셀과 같이 건물의 밀집이 심하여 반사와 회절이 발생하는 지역에서는 LOS 신호가 수신되지 않을 수 있다. 이 경우, 건물에 의해 반사되어진 전파가 측정된 신호의 세기 중 가장 강하다면 기지국은 반사되어 들어온 신호의 입사각을 계산하여 이동체의 위치를 추정함으로서 이동체가 추정되는 위치는 실제 이동체의 위치와 큰 차이를 보이게 된다. [5]에서는 인접 기지국과 이동체의 전파 전달 시간(Time of Arrival)을 이용하여 이동체의 위치를 추정하는 방법이 제시되었다. 이 방법은 다음의 두 가지 문제점이 있다. 우선, 시스템 내에 존재하는 모든 송신단들과 수신단들 사이에 정확한 동기화가 필수적이다. 만약 1 μs의 동기화 오차가 발생하면 무려 300m의 큰 위치 추정 오차를 발생시킨다. 두 번째, TOA 방법 또한 AOA와 마찬가지로 회절과 반사가 많이 일어나는 마이크로셀에서 이동체의 위치 추정에는 적당하지 못하다. 왜냐하면 이 알고리즘 또한 가시 영역이 존재한다는 가정 하에 발전하였고, 가시 영역이 존재하지 않기 때문에 이동체가 위치하는 지역이 원형으로 나타나지 않고 왜곡되어진 등고선 모양으로 나타난다. [6]에서는 두 개의 기지국으로부터의 전파 도달 시간의 상대적인 차(Time Difference of Arrival)를 이용하여 이동체의 위치를 추정하는 방법이 제시되었다. 최근에, IS-95B에서는 CDMA 방식의 PN 코드를 사용하여 거리 정보를 측정할 수 있다는 점에 착안하여, [5]와 [6]의 방식을 적용하여 이동체의 위치를 추정하는 방법이 고려되고 있다.

위에서 언급된 위치 추정 방식들인 AOA, TOA 그리고 TDOA 등은 간단한 전파 법칙에 따라 신호 세기가 정확히 추정된다는 가정 하에 수행되어 왔다. 그러나 현실적으로 실제 환경과는 차이가 많다. 기존의 위치 측위 방식들의 문제점을 요약하면 다음과 같다.

① 기존의 측위 방식들은 LOS가 존재한다는 가정 하에 발전하였고, LOS가 존재해야만 위치 추정이 비교적 정확하다. 즉 셀룰라 환경에 적합하게 발전되었다.

② IMT-2000의 마이크로셀 환경은 LOS가 거의 존재하지 않고 주위에 특유한 반사와 회절에 의하여 영향을 받는 전파 환경, 즉 NLOS를 갖는다. 따라서 기존의 위치 추정 방법들을 맨하탄 모델과 같이 거의 가시적인 영역이 존재하지 않는 마이크로셀 환경에 적용한다면 이동체의 위치 추정의 오차가 커진다.

③ 실제 마이크로셀 환경에서는 산과 건물들 때문에 나타나는 shadowing 지역과 반사에 의해 동일한 평균 신호 세기 점들의 모양이 원형이 아닌 왜곡된 등고선으로 나타난다. 그러나 기존의 측위 방식들은 전파 법칙이 간단히 거리에 따라 변하는 것이 아니라 여러 가지 매개 변수에 따라 변화한다는 사실을 간과하였다.

④ 기존의 방법들은 신호 세기 등 전파 관련 정보에만 의존하므로 이동체 주위의 빌딩이나 다른 장애물에 의한 short-term fading, shadowing 그리고 회절 등에 의해서 영향받는다.

본 논문에서는 기존 방법들의 문제점을 극복하기 위하여, NLOS 환경을 고려한 위치 추정 방안과 전파 관련 정보 이외에 다수의 부정확한 파라미터를 동시에 고려하는 퍼지(Fuzzy) 기반의 위치 추정 방안을 제시한다. 제시한 방안들은 기본적으로 셀을 여러 개의 블럭으로 나누고 이동체가 위치한 지역을 단계적으로 좁혀서 최적의 블럭을 추정하는 방식을 따르고 있다. 즉 각 단계별로 추정 알고리즘을 수행하여 해당하는 지역을 추정한다. 단지, NLOS 환경을 고려한 위치 추정 방안은 인접 기지국의 평균 신호 세기를 추정하여 이 신호 세기에 근접하는 블럭을 추론하고, 퍼지 기반의 위치 추정 방안은 평균 신호 세기 이외에 관련된 다수의 요소를 위치 추정을 위한 파라미터로 이용함으로서 위치 추정의 정확도를 높인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 신호 세기

추정과 위치 정의에 대하여 기술한다. Ⅲ장에서는 Ⅱ장에서 정의된 개념들을 바탕으로 이동체의 위치를 추정하는 방법을 제시한다. Ⅳ장에서는 도심지의 도로 상태를 고려한 시뮬레이션 환경을 설명하고, 시뮬레이션 결과를 바탕으로 하여 제안된 방법들의 정확도를 분석한다. Ⅴ장에서는 결론을 제시한다.

Ⅱ. 신호 세기 추정 및 위치 정의

2.1 신호 세기 추정(Signal strength estimation)

본 논문에서 제안하는 추정 시스템은 이동체가 수신한 신호 세기를 이용하여 이동체가 위치한 블럭을 추정하는데 이를 위해서는 특정 지역에서 신호를 수신할 때, 환경에 적합한 신호 세기를 추정하는 것이 중요하다. 본 절에서는 블럭을 추정하기 위하여 고려되어야 할 전파 환경을 고찰한다.

신호 레벨(Signal level)은 다중경로 페이딩(Multipath fading)과 shadowing 현상으로 인하여 빠르고 예측할 수 없게 변화하므로 수신 신호 세기를 정확히 추정하는 것은 지극히 어렵다. 특히 마이크로셀 환경에서는 이동 속도 또는 이동 방향의 갑작스런 변화, 빌딩에 의한 신호 방해, "corner effect" 등으로 인하여 수신 장애가 발생하게 된다. 이러한 상황에서는 셀 내에서 움직이는 이동체는 가시거리(LOS : Line of Sight) 모델과 비가시거리(NLOS : Line of Sight) 모델로 전파전파 환경을 표현할 수 있다[7-8]. LOS 모델은 빌딩이 운집한 도로의 신호등에 기지국의 안테나가 설치되어 있다고 할 때, 직선 도로상의 모든 지점에서의 전파 통달 현상을 표현한 것이다. 각각의 전파는 직접 전달되거나 지면 또는 건물에 반사되어 측정 지점에 도달하는 전파를 의미한다. NLOS 모델은 기지국의 안테나가 보이지 않는 지점에서의 전파 통달 현상을 표현한 것으로, 전파의 반사뿐만 아니라 회절 현상까지 포함되므로 신호 추정의 어려움이 있다.

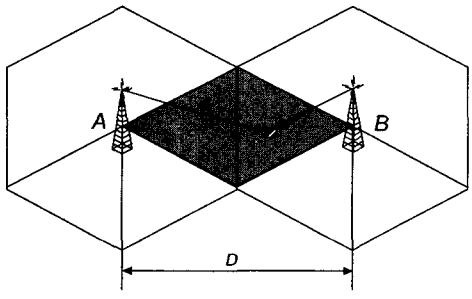


그림 1. 이동체의 전파전파 환경
Fig. 1. The signal propagation environment.

본 연구에서는 LOS와 NLOS와 관련하여, <그림 1>과 같이 두 기지국 사이에 위치한 이동체의 전파전파 환경을 고려한다. 각 기지국은 셀의 중심에 위치하고 모든 이동체는 셀 내에 균일하게 분포한다. 이동체는 자신이 속한 기지국과 인접 기지국으로부터 파일롯 신호(Pilot signal)를 수신한다. 즉 모든 기지국들은 주기적으로 파일롯 신호를 보내고 이동체는 기지국들로부터의 파일롯 신호들을 수신한다.

이동체가 기지국으로부터 수신하는 신호 전력 r(t)는 식 (1)과 같다.

$$r(t) = p(t) \times f(t) \tag{1}$$

$p(t)$는 이동체에서 수신된 기지국 파일롯 채널의 전력 신호 성분에서 path-loss와 shadowing에 의한 local-mean이며, log-normal 분포를 나타낸다. $f(t)$는 다중경로 페이딩에 의한 신호 성분이며, Rayleigh 또는 Rician 분포를 나타낸다. 다중경로 페이딩에 의한 신호성분은 LPF(Low pass filter)를 통하거나 time-average를 이용하여 제거할 수 있으므로 log-normal 페이딩과 path-loss만 고려한다[9]. 따라서 이동체에서 수신된 신호의 분포는 식(2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} p_A(d) &= k_1 - k_2 \times \log(d) + u(t) \\ p_B(d) &= k_1 - k_2 \times \log(D-d) + v(t) \end{aligned} \tag{2}$$

식 (2)에서 D는 두 기지국간의 거리를 나타내고, d는 기지국 A와 이동체 사이의 거리를 나타내며, k_1은 기지국의 송신 전력과 비례하며, k_2는 전파전파 환경에 따라 특정 값의 상쇄 성분을 갖는다. 특정 위치 (d)에서 기지국 A로부터 수신된 신호 전력의 분포와 기지국 B로부터 수신된 신호 전력의 분포를 나타내는 $u(t)$, $v(t)$ 두 랜덤 신호는 i.i.d(Identical independent distribution)하며, $N(\mu(d), \sigma)$인 가우시안 분포를 나타낸다. 특정 위치에서 수신된 신호의 평균값인 $\mu(d)$는 거리에 따른 path-loss 성분에 따라 결정되고, σ는 동일한 것으로 본다. 본 연구에서는 거리가 LOS일 경우를 기준치로 하여 NLOS일 경우의 신호 감쇠를 추정하여 블럭 정보를 조정한다. 여기서 LOS와 NLOS의 환경 변화는 k_2 값으로 조정한다.

수신 신호 세기 즉 파일롯 신호 세기(Pilot signal strength ; PSS)는 같은 지역이라도 수시로 변하므로 한 번의 측정으로 정확한 신호 세기를 정의할 수는 없다. 그 지역에 맞는 신호 세기는, 일정 간격으로 신호 세기를 측정하여 그 평균값으로 정의하는 것이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 식 (3)을 이용하여 파일롯 신호를 반복적으로 수신한 후, 수신 신호 세기의 평균값을 구하여 이를 최종 추정치로 결정한다. 이 식에서 신호 세기는 타이머에 의하여 정해지는 시간 간격(t_s, 샘플링 시간 간격) 동안에 기지국에서 이동체로 전송된 신호 세기 값들이고, 추정을 위한 N개의 샘플들의 평균이 계산된다. 평균 신호 세기 PSS_{ea}은 식 (3)과 같다[10].

$$PSS_{ea}(t_o+t_s) = \frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1} PSS(t_0 - i*t_s) \qquad (3)$$

2.2 위치 정의(Defining Locations)

셀을 섹터, 트랙, 블럭으로 세분하고 이들을 이동체가 수신한 신호 세기와 연관지음으로써 셀 안에 존재하는 이동체의 특정 위치를 정의할 수 있다. 이러한 셀 세분화 작업과 수신 신호 세기 연관 작업은 이동체 위치 추정을 수행하기 전에, 셀을 블럭 단위로 나누고 각각의 블럭 정보를 생성하여 데이터 베이스를 구축하는 단계를 거친다. 추정기가 기지국에 설치되면 자동적으로 3단계 정의 과정을 통하여 셀을 블럭으로 나누고 블럭 정보를 생성한다. 정의 단계 중, 섹터 정의 단계에서는 셀을 섹터로 분할하여 각 섹터에 속한 블럭에 대해 섹터 번호를 부여하고 트랙 정의 단계에서는 각 섹터를 다시 트랙으로 분할하여 각 트랙에 속한 블럭에 대해 트랙 번호를 부여한다. 블럭 정의 단계에서는 각 블럭에 블럭 번호를 부여한다. 결국 모든 블럭은 각 단계별로 해당 번호를 부여받게 된다.

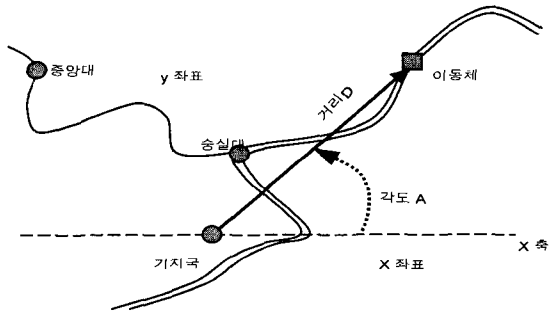


그림 2. 극좌표로 정의한 이동체의 상대 위치
Fig. 2. Relative location of the mobile by the polar coordinates.

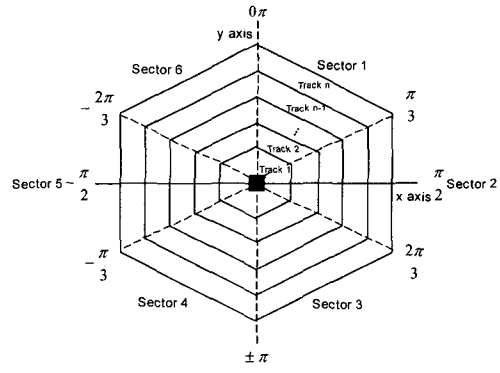


그림 3. 섹터 및 트랙 분할
Fig. 3. Dividing a cell into sectors and tracks.

서비스 지역(Service area)에서 원점(여기서는 기지국)에 대한 이동체의 상대적인 위치를 극좌표(Polar coordinates)를 이용하여 정의한다. <그림 2>와 같이 원점으로부터 이동체까지의 거리와 양의 수평축으로부터 시계 반대 방향으로의 각도(방향을 나타냄)를 산출하고 이를 통하여 이동체의 셀 내 위치를 묘사한다. 또한 극좌표를 이용하여 기지국을 원점으로 섹터를 구분하거나 또는 블럭의 상대적인 위치를 정의한다.

2.2.1 섹터 정의

섹터 정의 과정에서는 <그림 3>과 같이 셀을 6개의 섹터로 분할하여 각 섹터에 속하는 블럭에 해당 섹터의 번호를 부여하는데, 동일한 섹터에 속하는 블럭들은 동일한 섹터 번호를 갖게 된다. 각 섹터에 속한 블럭들을 결정하기 위하여, 기지국을 기점으로 블럭의 방향을 나타내는 벡터의 방향 정보를 이용하며 그 정의 과정은 다음과 같다.

① 셀을 동일하게 6개의 섹터로 나눈다.

② 분할된 각 섹터에 분할각(Angle)을 부여한다. 기지국을 중심으로 셀을 $\frac{\pi}{3}$ 간격으로 분할한다.

③ 블럭의 방향 정보를 각 섹터의 분할 각과 비교하여 블럭이 속한 섹터를 결정한다.

④ 섹터가 결정되면, 블럭에 해당 섹터 번호를 부여한다.

2.2.2 트랙 정의

트랙 정의 과정에서는 <그림 3>과 같이 다수의 트랙으로 구분하여 그 트랙에 해당하는 블럭들에 트랙 번호를 부여한다. LOS 모델에 대한 트랙 정의 과정과

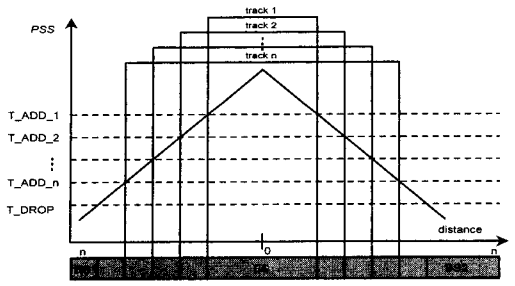


그림 4. 트랙과 PSS
Fig. 4. Track definition with PSS.

NLOS 모델에 대한 트랙 정의 과정으로 나누어 정의한다.

2.2.2.1 LOS에 대한 트랙 구분

하나의 셀은 다수의 트랙으로 분할되며 각 트랙은 PSS의 임계값에 의해 구분된다. <그림 4>와 같이 하나의 셀은 n개의 트랙으로 나뉘고 PSS가 각 트랙 결정 변수로 사용된다. 트랙 분할 과정은 다음과 같은 LOS 알고리즘으로 표현될 수 있다.

① PSS에 따라 각 임계값 범위를 결정한다.
② 신호 세기를 거리 정보로 바꾸기 위하여 각 임계값에 해당하는 거리 함수를 식 (2)에 의하여 결정한다.
③ 거리 함수를 이용하여 트랙을 나눈다.
④ 동일한 트랙에 속한 블럭들에 동일한 트랙 번호와 PSS의 임계값을 부여한다.

2.2.2.2 NLOS에 대한 트랙 구분

큰 빌딩이나 언덕(Hill)이 있는 환경에서는 동일한 신호 세기를 갖는 트랙을 구분하는 윤곽선이 shadowing과 회절 때문에 심하게 변형되므로 블럭 내에 빌딩이나 언덕이 있을 경우, LOS 정보만으로 블럭이 속한 트랙을 결정할 수 없다. 따라서 LOS 알고리즘으로 트랙이 결정된 블럭 중에 보상 값이 필요한 블럭에 NLOS 정보를 부가해서 블럭이 속한 새로운 트랙을 결정해야 한다. 그 과정은 다음과 같다.

① LOS 알고리즘으로 트랙을 구분한다.
② 2.2.3의 블럭 객체 정보 중, nlos_sig 정보를 이용하여 동일한 트랙에 속한 블럭 중에 NLOS의 상쇄 성분이 필요한 블럭을 결정한다.
③ 선택된 블럭은 식 (2)의 k_2 값을 할당한다.
④ LOS에 의하여 결정된 PSS의 임계값과 k_2 값의 차를 구한다.
⑤ 결정된 값을 새로운 PSS로 하여 트랙을 다시 결정한다.

2.2.3 블럭 정의

블럭 정의 단계는 <그림 5>와 같이 구분된 블럭들에 블럭 번호를 부여하는 과정이며 추정기는 이동체의 위치를 이 블럭 번호에 의해 표현하게 된다. 이 블럭들을 추정하기 위해서는 추정기가 해당 블럭의 셀 내 위치를 식별할 수 있어야 한다. 기지국을 기점으로 각 블럭의 셀 내 위치를 나타내기 위하여, 벡터 데이터를 이용하는데[11], 이 벡터 데이터는 기지국을 기점으로 하여 직각 좌표(x, y)를 구한 후 직각 좌표의 극좌표 변환 방법을 적용함으로서 기지국으로부터의 거리(Distance)와 방향 정보(여기서는 방향각)를 갖는 2차원 벡터를 구한다.

또한 도로에 관한 정보를 표현하기 위하여 각 블럭을 노드(Node)와 가지(Edge)로 정의할 수 있다. 이 노드와 가지 정보는 이동체-기지국 경로에 관련된 도로 상태(직진, 좌회전/우회전, U턴)를 결정하기 위하여 사용되며, 이를 이용함으로써 고속 이동체(택시, 자가용, 대중교통)의 위치를 보다 정확하게 추정할 수 있게된다. 이동체가 이동 경로(A에서 B로)를 따라 이동할 경우, 벡터 데이터는 이동체가 통과하는 블럭의 셀 내 위치, 노드는 좌/우회전 지역, 그리고 가지는 셀 내의 도로를 각각 나타낸다.

셀 내에서, 기지국에 대한 블럭의 평면상의 상대적인 위치를 나타내기 위하여 각 블럭에 위치 정보를 부여한다. 블럭 정보를 모은 자료를 블럭 객체(Block object)라 정의한다. 블럭 객체는 다음과 같은 정보를 갖는다. 섹터 정의 단계에서 생성된 섹터 번호, 트랙 정의 단계에서 생성된 트랙 번호, 블럭 정의 단계에서 생성된 블럭

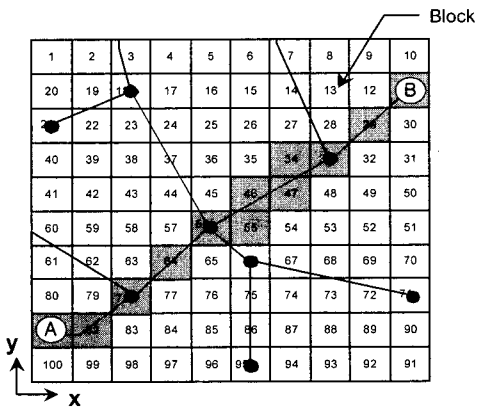


그림 5. 벡터를 이용한 블럭 인식
Fig. 5. Identifying the block using the vector.

번호 그리고 블럭의 셀 내 위치를 나타내는 벡터 정보(d, a), 블럭이 LOS일 경우의 평균 PSS의 최소치와 최대치, NLOS일 경우의 보상치 그리고 해당 블럭이 node 또는 가지인지를 나타내는 bit 값이 이에 속한다.

```
class Block
{
private:
unsigned int sector_num;
unsigned int track_num;
unsigned int block_num;
double vector(double d, double a);
unsigned int los_sig(int min, int max);
unsigned int nlos_sig;
unsigned int node;
unsigned int edge;
pubiic:
  .
  .
  .
```

Ⅲ. 이동체 위치 추정(Mobile Location Estimation)

3.1 Area Partitioning에 근거한 위치 추정

기존에 LOS에만 의존하는 기존의 방식들은 NLOS 환경 하에서는 추정의 정확도가 감소한다. 즉 이동체가 기지국이 송신하는 LOS 신호 정보만을 이용하여 이동체의 위치를 추정하는 방식은 마이크로셀 환경에서는 적당하지 않다. 따라서 본 연구에서는 NLOS 정보를 고려하여, NLOS 상태인 특정 지역에는 가중치 값을 부여하고 섹터 추정, 트랙 추정, 블럭 추정의 3단계 추정 기법에 근거한 이동체 위치 추정 방법을 제안한다. 이는 이동체가 위치한 지역을 단계적으로 좁혀서 최적의 블럭(Block)을 추정하는 방식을 따른다. 이는 기존의 복잡한 위치 추정 과정을 단순화시키고, 단계화 하여 이동체를 추정함으로써 이동체 추정의 정밀도를 높인다.

Area Partitioning을 이용한 위치 추정 방법은, 2.1 절에서 제시한 방법에 의해 측정(추정)된 수신 신호 세기와 2.2절에 정의된 위치 정의 DB를 기초로 하여, 이동체가 위치한 블럭을 추정하는 방법이며 이것은 기지국 장비에 구현되는 추정기에 의하여 주기적으로 반복된다. 이 위치 추정 방법에서는, 이동체가 위치한 지역의 크기를 3단계에 걸쳐 단계적으로 좁혀서 최적의 블럭을 결정하는데 이를 담당하는 추정기는 타이머에 의하여 추정 과정을 시작하고 주기적으로 반복한다.

이동체는 자신의 기지국 및 인접 기지국으로부터 발생한 PSS를 측정한다. 그 측정된 정보를 이용하여 시스템은 섹터 추정 단계에서 이동체가 위치한 섹터를 추정하고 트랙 추정 단계에서 이동체가 위치한 트랙을 추정한 후에 최종적으로 블럭 추정 단계에서 이동체가 위치한 블럭을 추정한다. 이 과정은 한 번의 파일롯 신호 발생으로 추정 과정이 시작되고 최종적으로 블럭을 추정한 후에 다시 반복된다. 섹터 추정 단계에서 셀 내의 그 섹터에 해당하는 다수의 블럭들이 추정되고, 다음으로 트랙 추정 단계에서 추정된 블럭들 중 그 트랙에 해당하는 블럭들이 추정되고, 그 블럭들 중에서 최적의 블럭이 블럭 추정 단계에서 선택된다. 블럭과 블럭의 경계 지점에 위치한 이동체의 경우는 수신된 PSS가 두 블럭에 겹칠 수 있으므로 추정된 블럭의 수는 한 개 이상일 수도 있다.

3.1.1 섹터(Sector) 추정

모든 인접 기지국들은 주기적으로 파일롯 신호를 방송하고 각 이동체는 인접 기지국으로부터의 파일롯 신호들을 수신한다. 수신된 신호 세기를 비교하여 가장 큰 신호 세기를 갖는 기지국에 해당하는 섹터를 이동체가 있는 섹터로 추정하는데 그 과정은 다음의 섹터 추정 알고리즘으로 나타낸다.

① 인접 기지국은 주기적으로 파일롯 신호를 발생한다.
② 인접 기지국들의 PSS를 이동체의 복조기(Demodulator)에서 측정한다.
③ 이동체는 PSMM(Pilot Strength Measurement Message)을 기지국으로 전송한다.
④ 추정기는 파일롯 채널의 수신 세기를 비교하여 최대 신호 세기를 갖는 기지국에 인접한 섹터를 이동체가 존재하는 섹터로 선택한다.
⑤ 셀 내의 모든 블럭을 조사하여 동일한 섹터 번호를 갖는 블럭들이 다음 단계의 추정을 위하여 선택한다. 블럭 객체 정보에서 섹터 번호를 조사하여 해당하는 블럭들을 산출한다.

$$\{B_k\}_1^{N_S} = \bigcap_{i=1}^{N} S \tag{4}$$

여기서 N은 총 블럭 수, S는 추정된 섹터 번호, N_S는 섹터 추정에 의해서 추정된 블럭 수, B_k는 블럭 번호이다.

3.1.2 트랙(Track) 추정

추정 단계 중 2 단계에서는 섹터 추정 단계에서 추정된 블럭들 중 해당 이동체가 현재 위치하고 있는 트랙에 속한 블럭들을 추정하는 단계이며 다음의 트랙 추정 알고리즘에 의하여 최적의 트랙이 결정된다.

① 기지국은 주기적으로 파일롯 신호를 발생한다.
② 이동체는 복조기에서 현재 이동체가 위치하고 있는 기지국의 파일롯 채널의 신호 세기를 측정한다.
③ 이동체는 PSMM을 기지국으로 전송한다.
④ 추정기는 LOS 알고리즘과 NLOS 보상치를 이용하여 트랙을 추정한다.
⑤ 추정된 트랙에 해당하는 블럭들이 다음 단계 추정을 위하여 선택된다. 블럭 객체 정보에서 트랙 번호를 조사하여 해당 블럭을 산출한다.

$$\{B_k\}_1^{N_T} = \bigcap_{i=1}^{N_S} T \tag{5}$$

여기서 N_S은 섹터 추정에 의하여 추정된 블럭 수, T는 추정된 트랙 번호, N_T는 트랙 추정에 의해서 추정된 블럭 수, B_k는 블럭 번호이다.

3.1.3 블럭(Block) 추정

추정 과정의 최종 단계로서 트랙 추정 단계에서 추정된 블럭들 중에서 해당 이동체가 현재 위치하고 있는 블럭을 추정하는 단계이다. 이동체는 인접 기지국으로부터 파일롯 신호를 수신하는데, 수신한 파일롯 신호 중 두 기지국의 PSS를 이용하여 추정한다. 다음의 블럭 추정 알고리즘에 의하여 최적의 블럭을 추정한다.

① 인접 기지국은 주기적으로 파일롯 신호를 발생한다.
② 이동체는 복조기에서 인접 기지국들의 PSS를 측정한다.
③ 이동체는 PSMM을 기지국으로 전송한다.
④ 추정기는 두 기지국의 PSS를 비교하여 두 신호의 상대적인 delay 차이를 알 수 있다. 이 delay 차이를 이용하여 이동체와 두 기지국의 거리의 차이를 추정한다.
⑤ 두 기지국의 거리의 차이를 이용하여 최적의 블럭을 추정한다. 거리의 차이를 평면적인 블럭의 위치로 계산한다. 그 과정은 아래와 같다.
ⓐ 트랙 추정 단계에서 추정된 블럭들의 상대적인 위치를 알기 위하여 블럭들에게 일련 번호를 부여한다.
ⓑ 거리의 차이를 블럭의 위치로 나타내면 식 (6)과 같다.

표 1. 블럭 결정 식
Table 1. Block Decision Expression.

n_B	B_k	신호 세기		
		$PSS_A > PSS_B$	$PSS_A < PSS_B$	$PSS_A = PSS_B$
홀수	$B_k = n$	$\frac{n_B+1}{2} - n$	$\frac{n_B+1}{2} + n$	$\frac{n_B+1}{2}$
짝수	$B_k = n$	$\frac{n_B}{2} - n$	$\frac{n_B+1}{2} + n$	$\frac{n_B}{2}$, $\frac{n_B}{2}+1$

$$B_k = PSS_{|A-B|}(d) \;/\; L \tag{6}$$

여기서 B_k는 블럭의 상대적인 위치, $PSS_{|A-B|}(d)$는 기지국 A에서 이동체까지의 거리와 기지국 B에서 이동체까지의 거리의 차, L은 블럭의 한 변의 길이이다.

ⓒ <표 1>의 블럭 결정식을 이용하여 임시 일련 번호 및 블럭 번호를 결정한다.

3.2 Virtual Area Concept에 근거한 위치 추정

Area Partitioning에 기반을 둔 위치 추정 방법은 기존의 복잡한 위치 추정 과정을 단순화시키고, 단계화 하여 이동체를 추정함으로써 이동체 추정의 정확도를 높였지만, 단계별로 이동체가 위치한 지역의 범위를 좁히는 방법이므로, 1 단계 추정에 오류가 발생했다면 2 단계나 3 단계 추정은 의미가 없게 되고, 1 단계에서 섹터를 정확히 추정했다 할지라도 2 단계에서 트랙 추정에 오류가 발생했다면 3 단계 추정은 의미가 없게 된다. 이와 같은 오류는 주로 이동체가 섹터와 섹터, 트랙과 트랙을 구분하는 경계 지역에 위치할 경우에 주로 발생한다. 이동체가 트랙 또는 섹터의 경계 지역에 있고, 신호의 감쇠가 발생했다면 추정된 지역이 정확하다고 확신할 수 없기 때문에 경계 지역에 위치한 이동체에 대해서는 좀 더 세밀한 추정 방법이 필요하다.

따라서 각 정의 단계에서 트랙과 트랙, 섹터와 섹터, 그리고 블럭과 블럭의 경계 지역을 정의하여, 일반 지역에 있는 블럭과 경계 지역에 있는 블럭을 구분하여 추정한다. 여기서 섹터간의 경계 지역을 섹터 경계 지역, 트랙간의 경계 지역을 트랙 경계 지역, 블럭간의 경계 지역을 블럭 경계 지역이라 정의하고 섹터 경계 지역에 있는 블럭을 섹터 경계 블럭, 트랙 경계 지역에 있는 블럭을 트랙 경계 블럭이라 정의한다. 본 연구에서는 이들 개념을 총칭하여 가상 구역(Virtual Area)이라 정의하고, Area Partitioning에 가상 구역 개념을 추가하여 섹터와

섹터, 트랙과 트랙, 블럭과 블럭간의 경계 지역에 있는 이동체의 위치 추정 오류율을 줄이기 위한 방안을 제안한다.

섹터 경계 구역 정의 과정에서, 각 섹터의 경계 지역에 있는 블럭은 섹터 번호 이외에, 경계 지역에 있는 블럭임을 나타내는 섹터 경계 번호를 부여받는다. 섹터 정의 알고리즘은 Area partitioning에서 제안된 섹터 정의 과정과 동일하나, 블럭이 섹터 경계 지역에 속할 경우에는 섹터 경계 번호를 부여한다는 점이 다르다.

트랙 경계 구역 정의 과정에서, 각 트랙의 경계 지역에 위치한 블럭은 트랙 번호 이외에 트랙 경계 지역에 있는 블럭임을 나타내는 트랙 경계 번호를 부여받는다. LOS에 대한 트랙 정의 과정과 NLOS에 대한 트랙 정의 과정은 Area partitioning과 동일하다.

블럭 경계 구역 정의 단계는 정의된 블럭간의 경계 지역을 표현하기 위하여 4개의 블럭을 하나의 클러스터로 정의하는 클러스터 개념을 도입하여, 그 클러스터의 중심에 위치하는 지역을 블럭 경계 지역이라 정의한다. 즉 <그림 6>에 보인 바와 같이 4개 블럭의 경계를 이루는 지역을 말하며 가상 블럭이라고 부른다. 가상 블럭은 4개 블럭간의 신호 세기 구분의 완충 지역으로서 이동체가 경계 지역에 위치하거나 경계 지역을 통과할 경우에, 미세한 신호 추정 오류로 발생하는 블럭 추정 오류를 줄일 수 있다. 각 블럭간에는 신호 세기의 구분이 명확하지만 블럭과 가상 블럭은 PSS의 일부분이 4개의 블럭과 중첩된다. 여기서 가상 블럭이 추정된다는 것은 이동체가 클러스터 내의 블럭 중 하나에 위치하고 있으며, 동시에 이들 블럭의 경계 지점에 이동체가 위치해 있음을 의미한다. 이와 같이 가상 블럭 개념을 도입함으로써 이동체의 위치를 더 정밀하게 나타낼 수 있으며 이를 바탕으로 하여 위치 추정 상의 오류율을 줄일 수 있다.

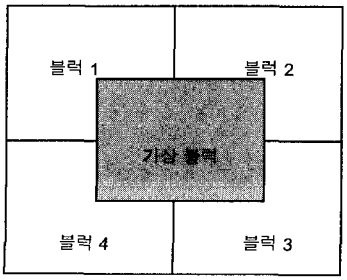


그림 6. 블럭 경계 지역
Fig. 6. Block Boundary Area or Virtual Block.

3.2.1 섹터 추정

이동체가 인접 기지국들이 전송한 파일롯 신호를 수신한 후, 수신된 신호들 중에서 가장 큰 두 개의 PSS를 비교하여 그 신호 세기의 차이가 기준치 이하이면 이동체가 위치한 블럭이 섹터를 구분하는 경계 지역에 위치하고 있다고 추정하고, 기준치 이상이면 보다 큰 신호 세기를 갖는 인접 셀에 해당하는 섹터를 이동체가 위치한 섹터로 추정한다. 그 과정은 다음의 섹터 추정 알고리즘으로 나타낸다.

① 인접 기지국은 주기적으로 파일롯 신호를 발생한다.
② 인접 기지국들의 PSS를 이동체의 복조기에서 측정한다.
③ 이동체는 PSMM을 기지국으로 전송한다.
④ 추정기는 파일롯 채널의 수신 세기를 비교한다.
   ⓐ 가장 큰 파일롯 신호를 발생하는 두 기지국의 신호 세기를 비교하여 기준치 이하이면 섹터 경계 지역을 이동체가 존재하는 지역으로 결정한다.
   ⓑ 기준치 이상이면 최대 신호 세기를 갖는 기지국에 인접한 섹터를 이동체가 존재하는 지역으로 결정한다.
⑤ ⓐ이면, 셀 내의 모든 블럭을 조사하여, 동일한 섹터 경계 번호를 갖는 블럭들이 다음 단계의 추정을 위하여 선택되고, ⓑ이면 동일한 섹터 번호를 갖는 블럭들이 다음 단계의 추정을 위하여 선택된다. 블럭의 객체 정보에서 섹터 경계 번호와 섹터 번호를 조사하면 해당하는 블럭들을 알 수 있다.

3.2.2 트랙 추정

두 트랙을 구분하는 신호의 세기가 기준치 이하이면 이동체가 두 트랙의 경계 지역에 있다고 추정하고, 기준치 이상이면 이동체가 트랙 내에 있다고 추정한다. 다음의 트랙 추정 알고리즘에 의하여 최적의 트랙이 결정된다.

① 기지국은 주기적으로 파일롯 신호를 발생한다.
② 이동체는 복조기에서 현재 이동체가 위치하고 있는 기지국의 PSS를 측정한다.
③ 이동체는 PSMM을 기지국으로 전송한다.
④ 추정기는 LOS 알고리즘과 NLOS 보상치를 이용하여 트랙을 결정한다.
   ⓐ 트랙을 구분하는 신호의 세기가 기준치 이하이면 두 트랙의 경계 지역을 이동체가 위치한 지역으로 결정한다,

ⓑ 기준치 이상이면 이동체가 트랙 내에 있다고 추정한다

⑤ ⓐ이면, 1 단계에서 추정된 블럭들 중에서, 동일한 트랙 경계 번호를 갖는 블럭들이 선택되고, ⓑ이면 동일한 트랙 번호를 갖는 블럭들이 다음 단계의 추정을 위하여 선택된다.

3.2.3 블럭 추정

추정 과정의 최종 단계로서 트랙 추정 단계에서 추정된 블럭들 중에서 해당 이동체가 현재 위치하고 있는 블럭을 추정하는 단계이다. 이동체는 인접 기지국으로부터 파일롯 신호를 수신한다. 다음의 블럭 추정 알고리즘에 의하여 최적의 블럭을 추정한다.

① 인접 기지국은 주기적으로 파일롯 신호를 발생한다.

② 이동체는 복조기에서 인접 기지국들의 PSS를 측정한다.

③ 이동체는 PSMM을 기지국으로 전송한다.

④ 추정기는 두 기지국의 PSS를 비교하여 두 신호의 상대적인 delay 차이를 알 수 있다. 이 delay 차이를 이용하여 이동체와 두 기지국의 거리의 차이를 추정한다.

ⓐ delay가 기준치 이하이면, step 5에서 추정된 블럭이 속한 클러스터의 가상 블럭이 이동체가 위치한 블럭으로 추정된다.

ⓑ 기준치 이상이면, step 5에서 추정된 블럭이 이동체가 위치한 블럭으로 추정된다

⑤ 두 신호의 상대적인 delay 차이를 이용한 블록 추정 방안은 Area Partitioning(3.1.3절의 step 5)과 동일하다.

3.3 Multi-Criteria Decision Making에 근거한 위치 추정

3.3.1 Multi-Criteria Decision Making

앞서 제안된 방식들은 이동체의 거리와 속도 정보를 얻기 위해서 이동체에서 측정된 인접 기지국들의 신호 세기, 신호의 방향 또는 전파 전달 시간 등 전파 관련 정보에만 의존함으로서, 이동체 주위의 빌딩이나 다른 장애물에 의한 short-term fading, shadowing 그리고 회절 등에 의해서 영향받는다. 따라서 이동체가 기지국이 송신하는 신호 정보만을 이용하여 이동체의 위치를 추정하는 방식은 정확도가 감소한다. 본 절에서는 기존 방법의 추정 파라미터인 신호 세기 이외에 이동체와 기지국간의 거리, 이동체의 이전 위치, 이동체의 이동 방향 등을 위치 추정을 위한 의사 결정 항목으로 사용하는, 퍼지를 이용한 다기준 의사 결정 방법을 제안한다. 본 연구에서 제안한 이동체 위치 결정 알고리즘은 퍼지 접속 연산자를 이용한 다기준 의사 결정 방법을 기본으로 하며, 다수의 블럭으로 세분된 셀 내에서 이동체의 위치는 해당 기지국 및 인접 기지국에 대하여 평가 기준들로부터 제공되는 만족도 (이동체가 각 섹터, 트랙 그리고 블럭에 소속하는 정도)에 의하여 총체화되고 가장 큰 만족도를 제공하는 블럭을 이동체의 위치 지역으로 추정한다.

다기준 의사 결정을 이용한 위치 추정은 다수의 위치 관련 평가 항목으로부터 제공되는 만족도 (Degree of satisfaction), 즉 평가 항목들을 결합하여 전체적인 위치 추정 결정 함수를 만들고 이를 의사 결정에 이용함으로서 단일 평가 기준을 이용할 경우에 비해 애매 모호성을 감소시키고 정확한 위치를 추정할 수 있다. 다기준 의사 결정에서 위치 추정을 위한 평가 항목은 명제(proposition)로 해석되고, 여러 개의 위치 정보 관련 평가 지수들은 접속 연산자에 의해 복합 명제로 구성되며, 총체적인 이동체의 위치는 단위 평가 항목으로부터 제공되는 평가치들을 접속 연산자들로 총체화하여 구할 수 있다.

위치 추정을 위한 평가 항목의 값들을 0과 1사이의 임의의 값에 사상하고 이들을 퍼지 접속 연산자에 의해 결합한 판단치 역시 0과 1사이의 값이 된다. 따라서, 추정된 위치는 어떤 기준치 (threshold)를 가정하여 기준치 이상이면 채택하고 이하이면 무시하는 방법으로 위치 추정을 위한 의사 결정을 수행한다. 이 방법은 이진 논리를 이용하는 경우보다 의사 결정 시 평가 항목의 오차가 총체화된 평가치에 완만한 변화를 유발하고, 최종적인 기준치를 변화시켜 이동체 위치 결정의 유연성을 증가시킬 수 있다는 장점이 있다. 또한 단일 평가 항목를 이용하는 의사 결정에 비해 여러 개의 부정확하고 불충분한 평가 항목들을 동시에 고려하여 보상할 수 있기 때문에 최적의 위치를 결정할 수 있다.

본 연구에서는 의사 결정 항목을 표현하기 위하여 비율척도를 사용하며, 평가 항목의 중요도를 고려하기 위하여 평가 항목의 중요도에 따라 기중치를 부여한다. 또한 의사 결정 항목의 조정 형태로서 개별적 형태를 고려한다. 제안된 방식은 수신 신호 세기만을 이용하는 기존의 경우보다 단일 파라미터의 부정확성을 보상하여 의사 결정을 내리기 때문에 정확성이 뛰어나고, 여러 파

라미터들의 중요도에 따라 가중치를 부가하는 방법을 이용하므로 가변성이 보장된다 할 수 있다.

3.3.2 다기준 의사 결정 항목

본 연구에서는 의사 결정 항목으로 수신 신호 세기, 기지국과 이동체간의 거리, 이동체의 이전 위치, 이동체의 이동 방향 등을 고려한다. 수신 신호 세기는 기존의 위치 추정 방법에서 가장 많이 사용하는 파라미터이다. 이동체 주위의 건물이나 다른 장애물에 의한 전파의 산란이나 반사, 전파 경로의 기후 변화나 다중 경로 현상 등에 의해서 영향을 받기 때문에 매우 불규칙한 프로파일을 갖는다. 따라서 이동체가 기지국으로부터 수신하는 전파 세기만을 이용하여 이동체의 위치를 결정한다면 부정확한 결과를 초래할 수 있다. 또한 수신 신호 세기 이외의 파라미터로 고려되고 있는 것은 기지국과 이동체 사이의 거리이다. 일반적으로 기지국과 이동체 사이의 거리를 파라미터로 고려하는 이유는 블럭 배치 계획과 연관지어 고려하기 위함이다. 그러나 거리 정보의 측정 역시 전파의 다중 경로 현상 등에 의해 부정확할 가능성이 크고, 따라서 거리 자체만을 평가 지수로 고려한다면 부정확한 추정이 될 수 있다.

이동체의 이전 위치가 고려된다. 이동체의 속도에 따라 이동체의 이전 위치에서 이동 반경의 크기를 고려한다. 이동체의 위치는 주기적으로 갱신되므로 바로 전의 위치에 근접한 지역이 추정되는 것이 정상적이다. 이런 특성을 이용하여 이전의 이동체 위치와 추정된 이동체 위치와의 상관 관계를 결정할 수 있다. 따라서 추정된 블럭이 이전 블럭과 너무 상반된 위치에 있다면 결과는 부정확하다고 추정할 수 있다. 이동 방향이 또한 고려된다. 속도에 따라 이동체의 이동 반경 및 이동 패턴은 서로 다른 특성을 보인다. 저속 이동체 (예, 보행자 또는 서행하는 자동차)는 이동 반경이 작은 반면에 이동 패턴이 복잡하고 고속 이동체는 이동 반경이 큰 반면에 이동 패턴은 단조롭다. 이외에 일반적인 특성으로, 이동체는 직진 성향이 가장 강하며, 다음으로 좌회전 또는 우회전 성향을 갖는다. 그러나 후진하는 경우는 (여기서 후진 거리는 단거리가 아니라 한 블럭 이상을 후진하여 가는 경우) 극히 미비하다고 볼 수 있다.

3.3.3 소속 함수

의사 결정 항목을 결정한 후, 이동체의 소속 정도 (Membership degree)를 산출하기 위하여 사다리꼴 함수 형태의 소속 함수를 사용한다. 사다리꼴 소속 함수는 계단형 함수 형태보다는 상한치와 하한치 사이의 값에 대하여 다양한 소속 정도를 제공한다. 이 형태의 퍼지 숫자는 소속 정도가 최대 (=1)가 되는 점이 여러 개가 되어 사다리꼴 모양이 된다.

의사 결정 항목인, 인접 기지국들의 수신 신호 세기를 이용하여 소속 함수 $\mu_R(PSS_i)$을 정의하고 이를 식 (7)에 보인다. 여기서 PSS_i는 기지국 i가 이동체에 전파한 파일롯 신호 세기이고, s_1는 Lower_limit, s_2는 Upper_limit이다.

$$\mu_R(PSS_i) = \begin{cases} 0, & PSS_i < s_1 \\ 1-\dfrac{PSS_i - s_1}{|s_2 - s_1|}, & s_1 \le PSS_i \le s_2 \\ 1, & PSS_i > s_2 \end{cases} \quad (7)$$

이동체와 인접 기지국들간의 거리를 이용하여 소속 함수 $\mu_R(D_i)$을 식 (8)에 정의한다. 여기서 D_i는 기지국 i와 이동체간의 거리이고, d_1는 upper_limit, d_2는 lower_limit이다.

$$\mu_R(D_i) = \begin{cases} 1, & D_i < d_1 \\ 1-\dfrac{|D_1 - d_2|}{|d_1 - d_2|}, & d_1 \le D_i \le d_2 \\ 0, & D_i > d_2 \end{cases} \quad (8)$$

식 (9)에, 이동체의 이전 위치와 추정된 위치의 상관 관계를 이용하여 소속 함수 $\mu_R(L_i)$을 정의한다. 여기서 L_i는 이동체의 현재 위치, $E_1, \cdots, E_4$은 이동체의 이전 위치를 나타내며 g_i는 이전 위치와 현재 위치간의 공간적 위치의 차이를 나타낸다.

$$\mu_R(L_i) = \begin{cases} 0, & L_i < E_1 \\ 1-\dfrac{L_i - E_1}{|g_i|}, & E_1 \le L_i \le E_2 \\ 1, & E_2 \le L_i \le E_3 \\ 1-\dfrac{L_i - E_3}{|g_i|}, & E_3 \le L_i \le E_4 \\ 0, & L_i > E_4 \end{cases} \quad (9)$$

이동체의 이동 방향을 이용하여 소속 함수 $\mu_R(C_i)$을 정의하고 식 (10)에 이를 보인다. 여기서 C_i는 이동체

의 이동 방향, $PSS_1, \cdots, PSS_4$은 수신 신호 세기, 그리고 o_i는 이전 위치와 현재 위치간의 공간적 위치의 차이이다.

$$\mu_R(C_i) = \begin{cases} 0, & C_i < PSS_1 \\ 1 - \dfrac{C_i - PSS_1}{|o_i|}, & PSS_1 \le C_i \le PSS_2 \\ 1, & PSS_2 \le C_i \le PSS_3 \\ 1 - \dfrac{C_i - PSS_3}{|o_i|}, & PSS_3 \le C_i \le PSS_4 \\ 0, & ! \quad C_i > P_4 \end{cases} \quad (10)$$

3.3.4 위치 추정

3.3.4.1 다기준 섹터 추정

섹터 추정 단계의 다기준 의사 결정 파라미터는 신호 세기, 기지국과 이동체간의 거리, 이전 위치 등이 고려된다. 총체화된 소속 정도가 가장 큰 기지국에 인접한 섹터를 이동체가 위치한 섹터로 추정하는데 그 과정은 다음의 섹터 추정 알고리즘으로 나타낸다.

단계 1. 평가 파라미터에 대한 소속 함수를 참조하여 소속 정도를 구한다.

단계 2. 현재의 기지국과 인접한 기지국에 대해 단계 1에서 구한 소속 정도들을 퍼지 접속 연산자를 이용하여 총체화한다.

$$\mu_i = \mu_R(PSS_i) \cdot \mu_R(D_i) \cdot \mu_R(L_i) \quad (11)$$

그리고 μ_i를 가중화하면 식 (12)으로 정의된다.

$$w\mu_i = \mu_R(PSS_i) \cdot W_{PSS} + \mu_R(D_i) \cdot W_D + \mu_R(L_i) \cdot W_L \quad (12)$$

여기서 $W_{PSS} + W_D + W_L = 1$이다. 위치 추정에 사용하는 각 파라미터의 중요도가 다르므로 식 (12)와 같이 가중치를 부여한다. 본 연구에서는 수신 신호 세기의 가중치 W_{PSS}는 0.5, 거리의 가중치 W_D는 0.3, 위치의 가중치 W_L은 0.2로 정의한다.

단계 3. 셀 내의 모든 블럭을 조사하여 추정된 섹터 번호를 갖는 블럭들이 다음 단계의 추정을 위하여 선택된다. 블럭의 객체 정보에서 섹터 번호를 조사하여 해당하는 블럭들을 결정한다.

3.3.4.2 다기준 트랙 추정

추정 단계 중 2단계에서는 다기준 섹터 추정 단계에서 추정된 블럭들 중 해당 이동체가 현재 위치하고 있는 트랙에 속한 블럭들을 추정하는 단계이며 다음의 다기준 트랙 추정 알고리즘에 의하여 최적의 트랙이 결정된다. 트랙 추정 단계의 다기준 의사 결정 파라미터는 신호 세기, 기지국과의 거리, 이동 방향 등이 고려된다.

단계 1. 평가 파라미터에 대한 소속 함수를 참조하여 소속 정도를 구한다.

단계 2. 단계 1에서 구한 소속 정도들을 퍼지 접속 연산자를 이용하여 총체화하면 식 (13)과 같다.

$$\mu_i = \mu_R(PSS_i) \cdot \mu_R(D_i) \cdot \mu_R(C_i) \quad (13)$$

그리고 이를 가중화하면 식 (14)와 같다.

$$w\mu_i = \mu_R(PSS_i) \cdot W_{PSS} + \mu_R(D_i) \cdot W_D + \mu_R(C_i) \cdot W_C \quad (14)$$

여기서 수신 신호 세기의 가중치 W_{PSS}는 0.6, 거리의 가중치 W_D는 0.2, 방향의 가중치 W_C은 0.2이다.

단계 3. 추정된 트랙에 해당하는 블럭들이 다음 단계 추정을 위하여 선택된다. 섹터 추정 단계에서 추정된 블럭들 중에서 트랙 번호를 조사하여 해당하는 블럭을 결정한다.

3.3.4.3 다기준 블럭 추정

추정 과정의 최종 단계로서 다기준 트랙 추정 단계에서 추정된 블럭들 중에서 해당 이동체가 현재 위치하고 있는 블럭을 추정하는 단계이다. 블럭 추정 단계의 다기준 의사 결정 파라미터는 신호 세기, 기지국과의 거리, 이동 방향 등이 고려된다. 다음의 블럭 추정 알고리즘에 의하여 최적의 블럭을 추정한다.

단계 1. 평가 파라미터에 대한 소속 함수를 참조하여 소속 정도를 구한다.

단계 2. 단계 1에서 구한 소속 정도들을 퍼지 접속 연산자를 이용하여 총체화하면 식 (15)와 같다.

$$\mu_i = \mu_R(PSS_i) \cdot \mu_R(D_i) \cdot \mu_R(C_i) \quad (15)$$

그리고 가중화하여 정의하면 식 (16)과 같다.

$$w\mu_i = \mu_R(PSS_i) \cdot W_{PSS} + \mu_R(D_i) \cdot W_D + \mu_R(C_i) \cdot W_C \quad (16)$$

를 결정한다. 여기서 수신 신호 세기의 가중치 W_{PSS}는 0.6, 거리의 가중치 W_D는 0.1, 방향의 가중치 W_C은 0.3으로 정의한다.

단계 3. 추정된 블럭들의 객체 정보에서 블럭 번호를 조

사하여 최종 블록을 결정한다.

Ⅳ. 시뮬레이션 및 성능 평가

4.1 Simulation parameter

이동체의 이동 경로와 이동 속도는 도로 구조에 의해 영향을 받으며 방향의 변화 및 속도의 변화는 이동체의 이동 패턴을 지배한다. 이동체의 유형에 따라 고속의 이동체와 저속의 이동체로 분류하였고 저속 이동체(60%), 즉 보행자는 정지 상태(50%)와 보행중인 상태(50%)로 분류하고 고속 이동체(40%), 즉 차량은 자가용(60%), 택시(10%), 대중 교통(30%)으로 분류하였다.

고속 이동체의 이동 방향은 직진, 좌/우회전 그리고 U턴을 고려하였다. 좌/우회전은 직진 상태로 진행하던 이동체가 노드 블럭에서 좌/우회전을 수행한 후 다시 직진으로 진행하는 상태를 나타낸다. U턴은 직진 상태로 진행하던 이동체가 한 블럭에서 U턴한 후 역으로 직진하는 상태를 나타낸다. 이동체의 속도는 일양 분포(Uniform distribution)로 결정한다. 이동 속도를 정지(0 km/hr), 보행(3~5 km/hr), 자가용(30~100 km/hr), 버스(10~70 km/hr)로 분류하고 운행 동안 동일한 속도를 유지한다고 가정하였다. 고속 이동체의 경우 블럭을 통과하는 시간을 $BT = 4 \cdot \frac{r}{(\pi \cdot v)}$로 정의한다. 여기서 r은 블럭을 통과하는 도로의 길이, v는 이동체의 속도를 나타낸다. 이동 속도가 동일하다면 BT는 r에 의해 결정되므로 블럭을 통과하는 도로의 형태에 따라, r값을 블럭의 완전 횡단(40m), 블럭의 3/4 횡단(30m), 블럭의 2/4 횡단(20m), 블럭의 1/4 횡단(10m)의 4가지 유형으로 정의하였다. 실제 상황을 고려하기 위하여 이동체는 이동 속도에 상관없이 매 0.5초마다 PSS를 샘플링한다고 가정하였다.

수신 신호 세기와 관련된 시뮬레이션 파라미터는 다음과 같다. LOS/NLOS 환경 변화 상쇠 성분인 k_2의 범위는 20-50으로 가정한다. 또한 path-loss에 의한 평균 신호 감쇠는 전파 거리의 3.5 배에 비례하고 shadowing은 σ = 6dB의 표준 편차를 갖는 log-normal 분포를 따른다. 그리고 수신 신호 세기가 -16dB 이하이면 수신 신호의 오류로 판단하여 평균 수신 신호 세기의 계산에서 제외한다.

4.2 성능 평가

4.2.1 추정 오류율 비교

제시된 기법들의 각 단계별 추정 오류율을 비교하기 위하여, 트랙과 트랙간의 경계 지역, 섹터와 섹터간의 경계 지역에 한정하여 포아송 분포로 이동체를 발생시킨다. 이렇게 발생된 모든 이동체는 섹터와 섹터, 트랙과 트랙의 경계 선상을 횡단한다고 가정한다. 또한 곡선 경로는 핸드오프 지역(Handoff area)을 통과한다고 가정하였다. "정지 상태"인 이동체는 섹터 및 트랙의 경계 지역에서 발생하여, 발생된 지점에 정지하고 있는 이동체를 말한다. "보행 상태"인 이동체는 섹터 및 트랙의 경계 지역에서 발생하여 인접 섹터 및 트랙으로 횡단하고 있는 저속 이동체이고 "자가용"과 버스는 섹터간의 경계 지역에서 발생하여 인접 섹터로 횡단하고 있는 고속 이동체를 말한다.

<그림 7>은 제시한 기법들의 섹터와 트랙의 추정 오류율을 보인다. 여기서 추정오류율(Estimation error rate)은 추정들 중에서 추정 오류가 발생된 횟수의 비율이다. 시뮬레이션 결과에 의하면 이동체가 섹터의 경계 선상 또는 곡선 경로를 횡단할 경우, 추정의 오류가 주로 발생했으며 저속 이동체는 주로 후자에 의하여 추정 성능이 결정되었고 고속 이동체는 두 요인 모두에 영향 받았다. Area Partitioning(이하 AP라 칭한다)은 고속의 이동체가 섹터의 경계 지점을 통과할 경우 약 40% 가량의 추정 오류가 발생하지만, 가상 블럭을 이용하여 경계 지점에서의 추정의 정확성을 추구한 Virtual Area Concept(이하 VA라 칭한다)는 추정의 정확도를 상당히 개선시켰음을 알 수 있다. 또한 Multi-Criteria Decision Making(이하 MD라 칭한다)에 근거한 위치 추정 방안

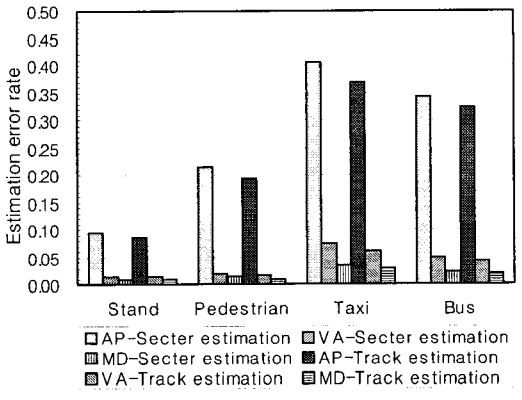


그림 7. 섹터와 트랙의 추정 오류율
Fig. 7. Sector and Track estimation error rate.

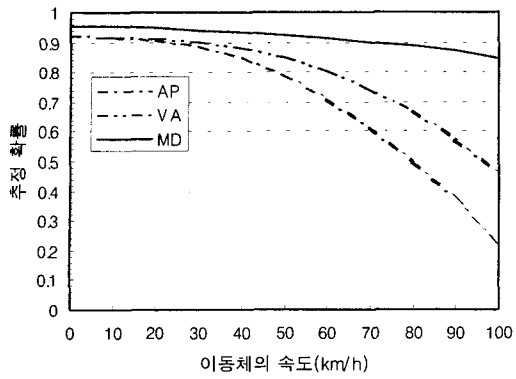


그림 8. 속도 증가와 위치 추정 확률
Fig. 8. The estimation accuracy versus the mobile speed.

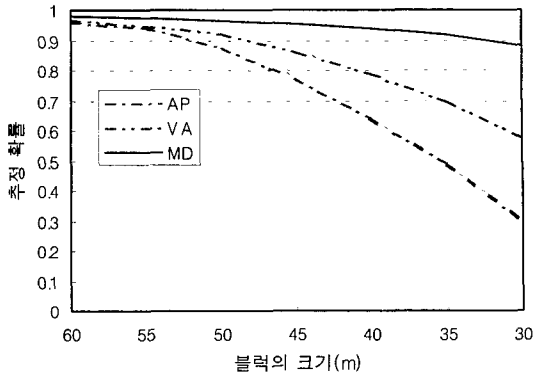


그림 9. 블럭의 크기와 위치 추정 확률
Fig. 9. The estimation accuracy versus the block size.

은 전파 관련 정보 이외에 부정확한 다수의 정보를 이용함으로서 섹터 추정 확률을 좀 더 향상시켰다. 또한 섹터 추정 오류율에 비하여 트랙 추정 오류율이 낮음을 알 수 있다. 트랙 추정은 이동체가 속한 기지국의 PSS를 이용하여 수행하므로, 섹터 추정과 트랙 추정의 shadowing은 동일하지만, 섹터 추정에 비하여 path-loss의 오차가 작기 때문에 오류율이 감소한다.

<그림 8>에서는 이동체의 속도 변화에 근거하여, 제시한 기법들의 성능을 평가하였다. 여기서 추정 확률은 추정들 중에서 정확히 추정이 이루어진 횟수의 비율이다. AP는 이동체의 속도 증가에 따라 발생되는 신호 추정 오류의 영향으로 추정 확률이 상당히 감소했다. VA는 저속과 고속 이동체의 추정 오류 편차를 줄임으로서 이동체의 속도가 성능에 미치는 영향을 상당 부분 감소시켰다. 즉 VA는 일반 지역의 블럭과 가상 지역의 블럭을 구분하여 추정함으로서 경계 지역에 있는 이동체의 경우에는, 신호 추정 오류에 의하여 발생한 추정 지역 오차가 대개 섹터 경계 지역의 PSS 범위에 포함되므로 신호 추정 오류 확률을 AP 보다 줄일 수 있었다. MD는 이동체의 이동 방향, 이전 위치 등을 이용하여 신호 추정 오류 확률을 더욱 감소시킴으로서 이동체의 속도에 둔감한 특성을 갖는다.

<그림 9>는 블록의 크기가 성능에 미치는 결과를 나타낸다. 세 기법 모두, 블록의 크기가 작아질수록 추정의 정확도는 감소한다. 특히 신호 관련 정보에만 의존하는 AP와 VA는 추정의 정확도가 급격히 감소함을 알 수 있었다. 반면에 MD의 경우, 이동체의 이전 위치와 기지국과의 거리가 추정 관련 파라미터로 사용됨으로서 블록의 크기가 성능에 미치는 영향을 상당히 줄일 수 있었다.

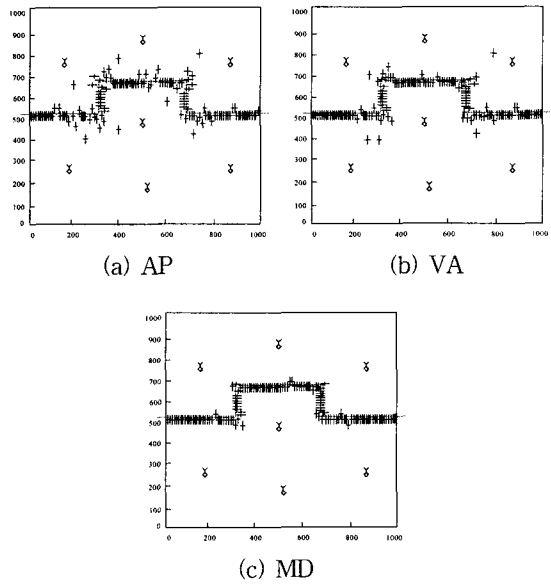


그림 10. 위치 추정 비교
Fig. 10. The estimation results on the move.

고속 이동체가 직선 및 곡선 형태의 섹터 경계 지역을 따라 이동 중일 때의 추정 확률을 <그림 10>에 보인다. AP의 경우, 이동 경로와 전혀 다른 위치를 추정하는 경우가 발생하는데, 이는 섹터의 부정확한 추정으로 인하여 그 후의 트랙 및 블럭이 부정확하게 추정된 결과이다. VA는 AP에 비하여 곡선 경로에서의 추정 확률이 상당히 향상되었음을 알 수 있다. 이는 두 섹터를 고속으로 횡단하는 이동체가, 두 섹터 모두에서 파일롯 신호가 샘플링 되지만 이들의 평균 신호 세기는, 대개 섹터 경계 지역의 PSS의 범위에 속함으로서 추정 오류

율을 줄일 수 있었다. MD는 직진으로 이동하다가 좌/우회전에도 이동체의 추정 결과에는 비교적 영향이 없음을 알 수 있다. 실제로 좌/우회전 시에 급격한 신호 왜곡 현상을 일으키지만, 신호 세기의 평균값의 오차를 보상하기 위하여 이동체의 이전 위치 및 기지국과의 거리를 위치 결정에 이용함으로서 급격한 신호의 왜곡을 상당 부분 보상할 수 있었다. 또한 직선 경로의 경우, 추정 파라미터인 이동 방향과 이전 위치 등이 신호 세기 추정 오류를 보상하는 역할을 하고 있음을 알 수 있다. 특히 이전 위치 파라미터를 위치 결정에 이용함으로서 이동체의 현재 위치와 전혀 다른 지역이 추정되는 것을 줄일 수 있었다.

V. Conclusion

마이크로셀 환경에서는 shadowing과 반사에 의하여 동일한 평균 신호 세기 점들의 모양이 원형이 아닌 왜곡되어진 등고선으로 나타난다. 그러므로 지금까지 위치 추정 방법으로 연구되어온 AOA 또는 TOA, TOA를 발전시킨 TDOA등의 알고리즘으로는 마이크로셀 환경에서 이동체의 위치 추정의 정확도는 상당히 감소한다. 따라서 본 연구에서는 지금까지 연구되어온 위치 추정 방법들을 분석, 문제점을 제시하였고, 성능 향상을 위한 방안으로서 세 기법을 제시하고 이들의 성능을 분석하였다.

지역 분할은 이동체가 위치한 지역을 단계적으로 좁혀서 최적의 블럭을 추정함으로서 NLOS환경에서의 이동체 추정의 정밀도를 높였다. 그러나 지역 분할은 이동체가 각 경계 지역에 위치할 경우에, 잘못된 섹터나 트랙을 추정함으로서 결과적으로 블럭 추정에 오류가 발생하였다. 이를 보완하기 위하여 가상 구역에서는, 트랙과 트랙, 섹터와 섹터 그리고 블럭과 블럭의 경계 지역을 정의하여, 일반 지역에 있는 블럭과 가상 지역에 있는 블럭을 구분하여 추정함으로서 추정 오류를 줄였다. 그리고 기존에 제안된 방식들이 이동체의 거리와 속도 정보를 얻기 위해서 신호 세기, 신호의 방향 또는 전파 전달 시간 등 전파 관련 정보에만 의존함으로서, NLOS에서는 성능이 감소하는 결과를 가져왔다. 이에 기존 방법의 추정 파라미터인 신호 세기 이외에 이동체와 기지국간의 거리, 이동체의 이전 위치, 이동체의 이동 방향 등을 추정 파라미터로 사용하는, 퍼지를 이용한 다기준 의사 결정 방법을 제안하여 추정의 정확도를 향상시켰다.

VA의 섹터 추정 오류율과 트랙 추정 오류율은 AP보다 우수하지만, 속도 증가 및 블록의 크기 감소에 따라 추정 오류율이 급속히 증가함을 알 수 있었다. MD는 이동체의 속도, 블록의 크기 등이 추정의 성능에 미치는 영향이 가장 적으며, 트랙 추정 오류율 그리고 섹터 추정 오류율 등에서도 가장 우수한 성능을 보였다. 특히 MD는 블럭의 크기에 상관없이 추정의 성능이 우수하므로, 이동체가 위치한 블록의 크기를 최대한 줄임으로서 이동체의 셀 내 위치를 좀 더 정밀하게 추정할 수 있었다.

향후 연구 방향으로는, 다기준 의사 결정에서 사용한 가중치와 실제 위치와의 문제, 즉 이러한 가중치의 값이 실제 추정치의 결과에 어떠한 영향을 미치는지를 제시하고, 이에 따라 최적의 가중치 값을 결정하는 방법을 제시하려한다, 다른 위치 추정 기법과도 비교되어야 한다. 그리고 이러한 이동체 위치 추정 방법을 응용한 핸드오프 알고리즘, 채널 할당 방법 그리고 위치 추정 시스템의 실질적인 구현 방안 등에 대해서는 향후 지속적으로 연구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] S. Riter and J. McCoy, "Automatic vehicle location - An overview," IEEE Trans. Veh. Technol., vol VT-26, pp. 7~11, Feb. 1977.

[2] S. H Roth, "History of automatic vehicle monitoring(AVM)," IEEE Trans. Veh. Technol., vol VT-26, pp. 2~6, Feb. 1977.

[3] W. G. Figel, N. H. Shepherd and W. F. Trammell, "Vehicle location by a signal attenuation method," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-18, pp. 104~109, Nov. 1969.

[4] G. D. Ott, "Vehicle location in cellular mobile radio systems," IEEE Trans. Veh. Tech., Vol. VT-26, Feb. 1977.

[5] H. Staras and S. N. Honikman, "The accuracy of vehicle location by trilateration in a dense urban environment," IEEE Trans. Veh. Tech., vol VT-26, pp. 38~43, Feb. 1972.

[6] T. S. Rappaport, J. H. Reed and B. D. Woerner, "Position Location Using Wireless Communi-

cations on Highways of the Future," IEEE Communications Magazine, pp. 33~41, Oct. 1996.

[7] T. Kürner, R. Fau and A. Wasch, "A hybrid propagation modelling approach for DCS1800 macro cells," in Proc. VTC'96, Vol. 3, pp. 1628~1632, May 1996.

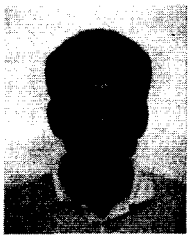
[8] M. D. Austine and G. L. Stüber, "Direction biased handoff algorithms for urban microcells," in Proc. VTC'94, Vol. 1, pp. 101~105, 1996.

[9] M. D. Austin and G. L. Stuber, "Velocity adaptive handoff algorithms for microcellular systems," in Proc. ICUPC, pp. 793~797, Oct. 1993.

[10] G. N. Senarath and D. Everitt, "Reduction call drop-outs during handoff using efficient signal strength prediction algorithms for personal communication systems," in Proc. GLOBECOM'95, Vol. 3, pp. 2308~2312, Nov. 1995.

[11] D. J. Cichon, T. C. Becker and M. Dottling, "Ray optical prediction of outdoor and indoor coverage in urban macro-and micro-cells," in Proc. VTC'96, Vol. 1, pp. 41~45, May 1996.

저 자 소 개



李 鍾 贊(正會員)

군산대학교 공학사. 숭실대학교 공학석사(전자계산학). 숭실대학교 공학박사(전자계산학). 현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원.

李 文 鎬(正會員)

서울대학교 공학사. 숭실대학교 공학석사(전산공학). 숭실대학교 공학박사(전자계산학). 한국전자통신연구소 연구원. 현대전자㈜ 정보통신사업부 과장. 현재 : 청운대학교 멀티미디어학과 교수.