

# Vertical 핸드오버를 위한 과거 이동 경로 기반의 이동성 예측 알고리즘

정회원 조인휘\*, 준회원 홍성찬

## A History-Based Mobility Prediction Algorithm for Vertical Handover

Inwhae Joe\* *Regular Member*, Sungchan Hong *Associate Member*

### 요 약

우리에게 다가온 4G 차세대 이동통신 시스템은 유·무선 네트워크의 통합과 더불어 이동성의 증가와 고속 데이터 전송(음성 및 멀티미디어 데이터)을 제공하는 형태로 진화해 나갈 것이다. 여기에서 이동성 지원의 가장 핵심이 될 수 있는 것은 바로 이동하고 있는 단말의 경로 예측이며, 실제로 무선망이 처음 소개되면서 이에 대한 연구가 활발히 있었으나 실제 이동 환경에 적용하기에는 위험부담이 크기 때문에 적용하기가 쉽지 않았다. 본 논문에서는 이러한 문제를 고려하여 기존의 이동성 예측 알고리즘을 기반으로 Signaling Power Level 비교 및 Speed 기반의 예측 기법을 도입하여 실제 환경에 최적화 되어진 예측 알고리즘을 제안하였다. 그리고 기존 예측 알고리즘과 제안하고 있는 예측 알고리즘을 OPNet 시뮬레이션을 통해 비교하여 보았다.

**Key Words :** Mobility Prediction, Vertical Handover, History, Power Level, Mobile Speed

### ABSTRACT

This paper proposes a mobility prediction algorithm for the effective handover among hybrid networks. The proposed algorithm is consisted of two mechanisms to predict a mobile terminal's path. First, the mobile terminal will be checking its received signal power level. Then the mobile terminal will judge its path in some network. Second, if the mobile terminal change its path suddenly, it will be dealing with this situation appropriately using the mobile terminal's speed. This paper introduces existing researches and the proposed algorithm. Finally, our algorithm is compared with existing approaches in terms of the handover delay by using the network simulator OPNet version 10.0.

### I. 서 론

통신 기술의 발달에 따라 이동 통신 분야는 많은 발전을 거듭하고 있다. 이동성을 최초로 지원하고 상용화를 이룬 셀룰러 전화를 시작으로 나아가 통신이 가능한 거의 모든 장비에 mobility를 지원하고 있다. 더불어 개인의 활동 영역이 광범위해지면서

이동 중 또는 자신의 사무실과 멀리 떨어진 원격지에서 업무를 처리해야 할 필요성이 증가 하였고 이를 지원하기 위한 이동 컴퓨팅 기술이 등장하였다. 또한 각종 하드웨어의 급격한 발달에 따라 통신 시스템에서 처리되는 정보의 유형이 텍스트와 같은 단순 데이터에서 이미지, 오디오, 비디오 등을 포함하는 멀티미디어 데이터로 변환되고 있다. 따라서

\* 한양대학교 정보통신학부 이동네트워크 연구실 (iwjoe@hanyang.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-12-581, 접수일자 : 2007년 12월 21일, 최종논문접수일자 : 2008년 5월 6일

이동 컴퓨팅 사용자들은 유선망뿐만 아니라 무선 환경에서도 각종 서비스를 이용하고자 하는 욕구가 점점 증가하고 있는 추세이다.

이러한 기술들이 있기까지 이동성 지원은 이 분야에서 가장 중요한 요소들 중의 하나로 지목되고 있다. 이는 mobile 기기 사용자에게 서비스를 제공함에 있어서 끊어짐이 없는(seamless) 이동성을 제공하기 위하여 효과적인 자원 예약과 더불어서 셀 간에 일어나는 핸드오버 기술의 기반이 되는 필수 요소라고 할 수 있다.

따라서 mobile 기기 사용자의 연결 유지를 위하여 단말의 경로를 예측하여, 이동 가능한 주위 network의 자원을 예약하는 것은 가용한 대역폭의 수를 줄이게 되며, 또한 불필요한 핸드오버로 인한 오버헤드 감소 및 전력 소비를 줄이는데 중요한 기술이라 할 수 있다. 그러므로 효과적인 자원 예약을 위해서는 사용자가 이용하게 될 network에 대한 정보를 미리 예측하고 주기적으로 현재의 이동 경로와 예측한 경로가 일치하는지에 대한 확인 작업이 필요하다. 나아가 이동중인 단말이 현재 예측된 경로에서 벗어나는 경우에 대한 대책이 있어야 할 것이다.

본 논문에서는 이동 경로 예측을 하기위한 방법인 history cache를 이용하는 방법을 기반으로 주기적인 signal power level 분석법과 단말의 속도를 기반으로 한 예측 알고리즘을 제안하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 제안하는 알고리즘을 소개하며 적용하도록 한다. III장에서는 성능평가를 하고, 마지막으로 결론을 맺도록 한다.

## II. 제안하는 예측 알고리즘

### 2.1 Signaling Power Level 비교 방식

본 논문에서 제안하고 있는 Signaling Power Level을 이용한 비교 방식은 이동 패턴과 Signaling Power Level 값을 같이 저장하게 된다. 이렇게 저장된 값은 다음에 또 이 셀을 단말 사용자가 방문하게 되면 과거 저장되어 있던 값과 현재 수신하고 있는 값을 서로 비교하게 된다.

비교 결과 DB에 저장되어 있는 Power Level과 현재 수신하고 있는 Power Level이 비슷하다면 이 단말 사용자는 현재 등록 되어 있는 경로로 움직이고 있음을 판단할 수 있고, 무사히 DB에 저장되어 있는 다음 셀로 이동할 것이라 예측 할 수 있다.

반면에 기존에 저장되어 있는 값과는 다르게 Power Level을 수신하고 있다면, 이 단말 사용자는 현재 등록 되어 있지 않은 다른 경로로 움직일 것이라고 판단할 수 있고 지정되지 않은 다른 셀로 핸드오버할 가능성이 매우 높다는 것을 예측할 수 있다. 이러한 경우는 사용자의 이동 패턴을 이용한 알고리즘 적용의 실패로서 적절히 대응하기 위해 다른 알고리즘을 적용해야 할 필요성이 있음을 알 수 있다. 여기서 말하는 다른 알고리즘이란 단말의 이동 속도를 기반으로 한 예측 알고리즘이다. 자세한 소개는 다음 절에서 하도록 하겠다.

### 2.2 속도를 기반으로 한 예측 알고리즘

이 알고리즘의 핵심은 단말의 속도가 빠르면 빠를수록 현재 진행 중인 경로에서 방향을 바꾸게 될 확률이 현저하게 떨어지는 것을 고려한다. 이렇게 단말의 속도에 따른 이동 성향을 구분하고 각각의 성향에 확률 밀도 함수(PDF : Probability Density Function)를 적용하여 이동 단말이 다음 진입하게 될 셀의 평균 이동 거리를 예측하고 이에 따른 상주 예상 시간을 예측하는 것이다. 이렇게 계산되어진 시간과 핸드오버 하는데 걸리는 총 시간을 비교하여 단말이 다음 진입하게 될 네트워크의 핸드오버가 효율적인 것인지를 판단하는 것이다.

이 알고리즘에서의 단말의 이동 속도는 총 5 단계로 구분하며 다음과 같다.

- Walking speed < 15 km/h
- Metro speed < 60 km/h
- Highway speed < 150 km/h
- Ultra speed < 300 km/h
- Null speed ≥ 300 km/h

그림 1은 속도에 따른 확률 밀도 함수인  $f_{\theta}(\theta)$ 의

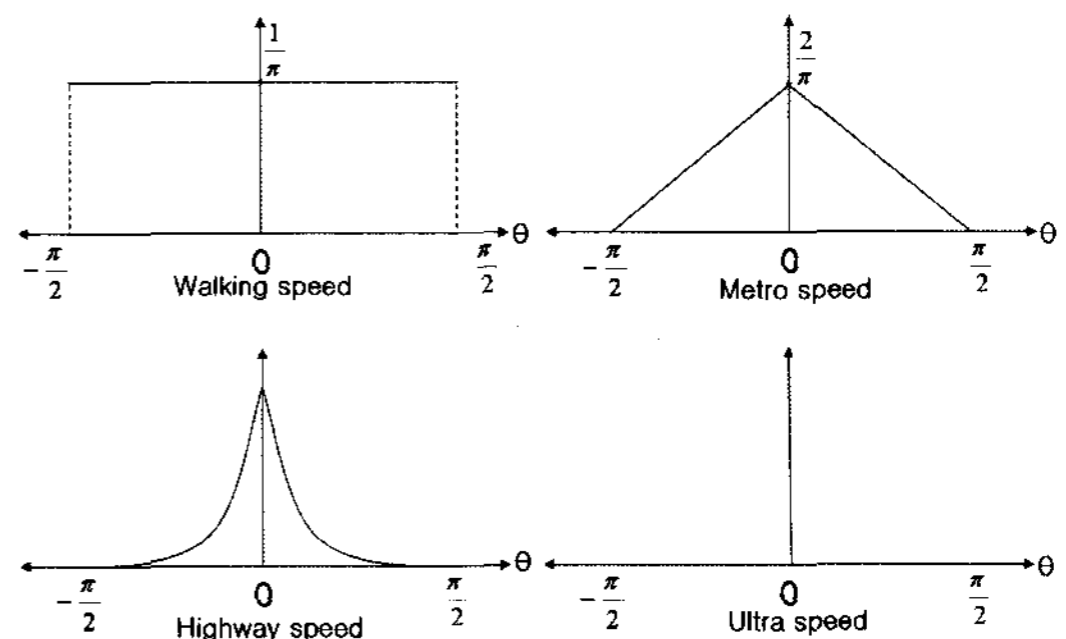


그림 1. 속도에 따른 확률 밀도 함수 그래프

그래프를 나타내는 것으로서 Walking Speed에서는 단말의 이동 속도가 느리기 때문에 진행하고 있는 방향으로부터 모든 각도로 방향을 바꿀 확률이 같기 때문에 수평선으로 표시할 수 있고, 속도가 빠른 Ultra Speed로 갈수록 분산  $\sigma^2$ 의 폭이 좁아져서 매우 빠른 속도일 경우에는 Impulse로 표시할 수 있음을 추론할 수 있다.

결국 구하고자 하는 셀에서의 단말 평균 상주거리인  $E(x)$ 는  $2R\cos\theta$ 와  $f_\theta(\theta)$ 의 식으로 나타낼 수 있고 각각의 속도에 대한 확률 밀도 함수를 적용하여 평균 거리를 구하게 되면 단말이 셀에서 머무르게 될 평균 시간( $t$ )을 예측할 수 있으며 이는 계산 후 다음의 식과 같이 정리할 수 있다.

• Walking Speed

$$f_\theta(\theta) = \begin{cases} \frac{1}{\pi} (-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}) \\ 0 \text{ (else)} \end{cases}$$

$$E_d(\theta) = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\pi} (2R\cos\theta) d\theta = \frac{4R}{\pi}$$

$$t_{walking} = \frac{4R}{v\pi} \tag{1}$$

• Metro Speed

$$f_\theta(\theta) = \begin{cases} \frac{4}{\pi^2}\theta + \frac{2}{\pi} & (-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq 0) \\ 0 & \text{(else)} \\ -\frac{4}{\pi^2}\theta + \frac{2}{\pi} & (0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}) \end{cases}$$

$$E_d(\theta) = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} (2R\cos\theta) (-\frac{4}{\pi^2}\theta + \frac{2}{\pi}) d\theta = \frac{16R}{\pi^2}$$

$$t_{metro} = \frac{16R}{v\pi^2} \tag{2}$$

• Highway Speed

$$f_\theta(\theta) = \begin{cases} \frac{12}{\pi^3}(\theta + \frac{\pi}{2})^2 & (-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq 0) \\ 0 & \text{(else)} \\ \frac{12}{\pi^3}(\theta - \frac{\pi}{2})^2 & (0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}) \end{cases}$$

$$E_d(\theta) = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} (2R\cos\theta) (\frac{12}{\pi^3}(\theta - \frac{\pi}{2})^2) d\theta = 1.767R$$

$$t_{highway} = \frac{1.767R}{v} \tag{3}$$

• Ultra Speed

$$f_\theta(\theta) = \begin{cases} \infty \\ 0 \text{ (else)} \end{cases}$$

$$E_d(\theta) = 2R \text{ 이하}$$

$$t_{ultra} = \frac{2R}{v} \text{ 이하} \tag{4}$$

여기서 Ultra Speed의 경우  $E_d(\theta)$ 를  $2R$ 로 정하였다. 이는 실제 Ultra Speed를 움직일 수 있는 교통수단 (예를 들어 고속열차)에서는 기지국이 경로를 따라서 배치되어 있으므로 상주 최대 거리인  $2R$ 로 움직일 것이라 판단할 수 있기 때문이다. 그리고 Null Speed는 단말이 300km/h 이상으로 진행하고 있는 매우 빠른 속도로 통신이 불가능한 상태로 구분하였다.

그림 2는 Mobility 예측 알고리즘의 흐름도를 나타내는 것이다. 우선 다른 셀의 신호 dB를 감지하면 이에 대한 수치를 측정한다. 측정 결과 신호의 dB가 증가한다면, 이는 단말이 셀의 중심 방향으로 진행할 것으로 판단하여 다음 단계로 넘어가며 그렇지 않다면 단말은 셀의 가장자리를 움직일 것이라고 판단하여 핸드오버를 skip하도록 한다. 다음 단계로는 도플러 효과를 이용하여 현재 단말의 이동

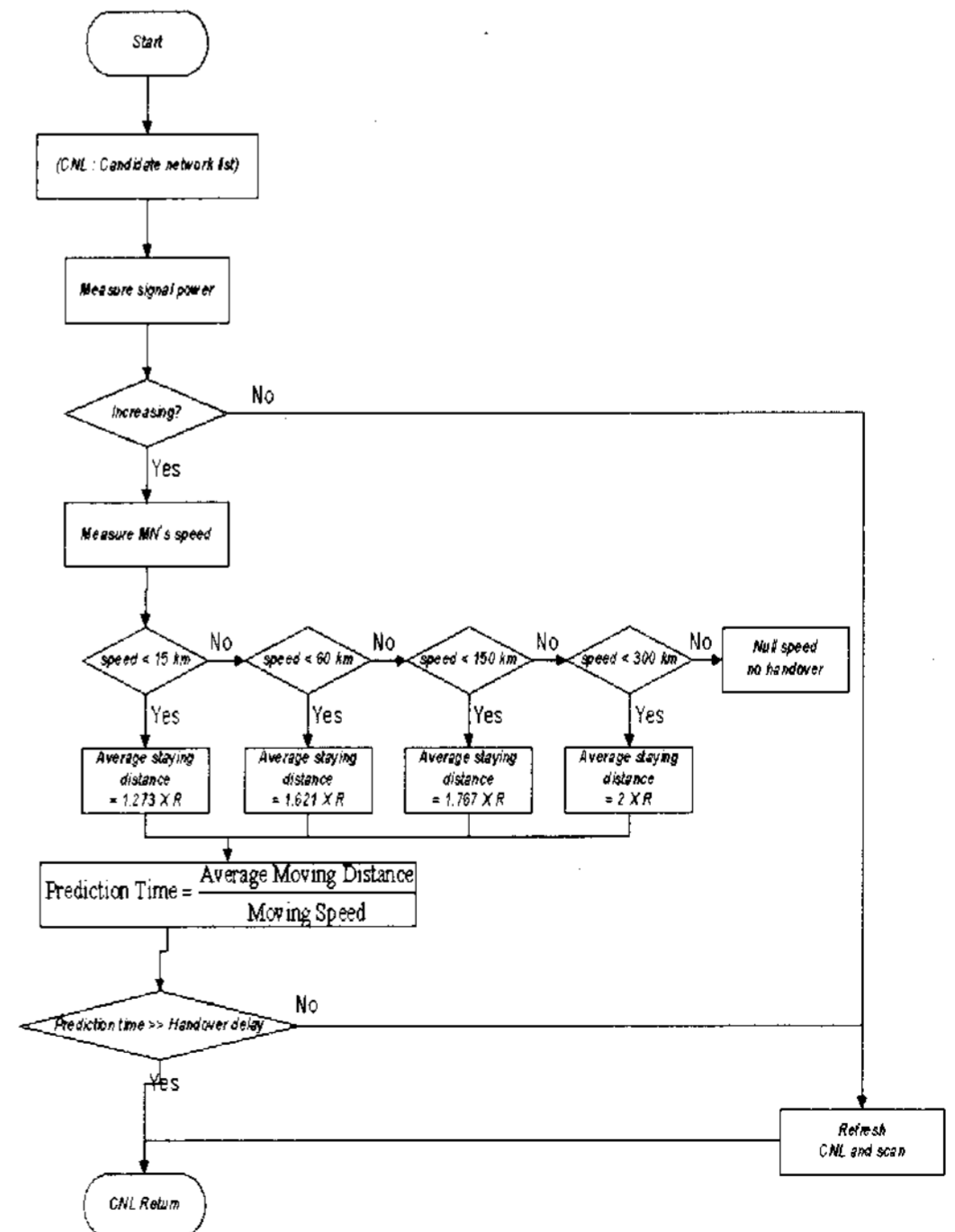


그림 2. Mobility 예측 알고리즘

속도를 측정하게 된다. 다음으로 5단계로 나눈 속도 기준에 따라 현재의 속도가 어느 범위에 속하는지 판단하게 된다. 이를 이용하여 단말이 현재 셀에서 상주하게 될 거리를 예측할 수 있다. 앞의 과정을 통해 셀에서 머무르게 될 시간을 예측한다. 이렇게 계산하여 예측되어진 상주 시간과 핸드오버를 하는데 걸리는 시간을 서로 비교하여 예상 상주 시간이 핸드오버 시간보다 충분히 클 경우에만 핸드오버를 하도록 고려한다.

- 상주 예상 시간 > 핸드오버에 걸리는 총 시간 : 핸드오버 고려
- 상주 예상 시간 ≤ 핸드오버에 걸리는 총 시간 : 핸드오버 생략

### 2.3 제안하는 알고리즘의 적용

앞에서 History DB를 이용한 알고리즘을 적용하기 위해서 두 가지 제안하고 있는 알고리즘을 설명하였다. 이제 두 알고리즘을 적절히 이용하여 이동성 예측 알고리즘을 완성시켜야 할 차례이다.

그림 3은 본 논문에서 제안하고 있는 알고리즘을 적용하기 위한 순서도이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 알고리즘은 크게 두 파트인 History의 DB를 이용하여 예측하는 방법과 단말의 속도를 근간으로 하여 예측하는 파트로 나눌 수 있다. 전체 자세한 순서도는 앞서 소개한 알고리즘과 동일하므로 생략하도록 한다. 두 파트로 나누게 되는 기준은 이동하고 있는 단말이 새로운 AP로부터의 신호를 수신하는 시점으로, 이 신호가 과거 DB에 등록이 되어 있던 신호인지를 우선 판단하여 이에 적합한 알고리즘을 적용하도록 한다.

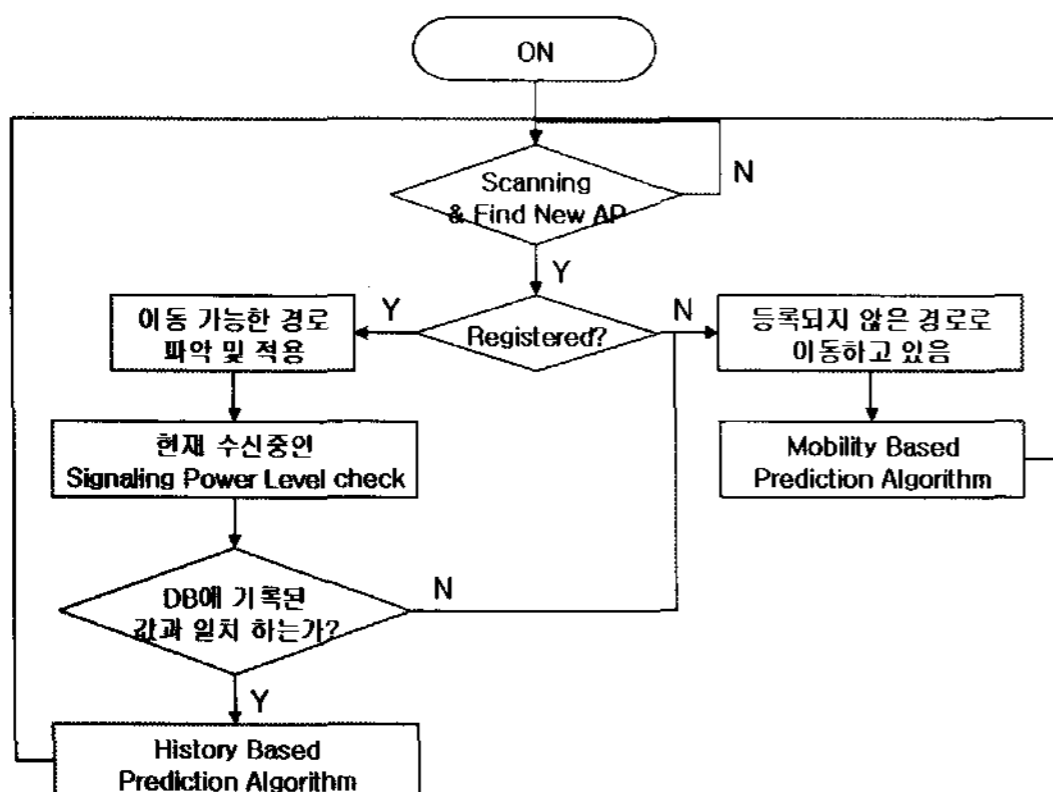


그림 3. 논문에서 제안하는 알고리즘을 적용하기 위한 순서도

## III. 성능 평가

### 3.1 시나리오

본 논문에서 제안하는 알고리즘을 기존의 알고리즘과 비교하기 위하여 4가지 시나리오를 선택하여 시뮬레이션 하였다.

#### 3.1.1 예측 알고리즘 없이 이동하는 경우

예측 알고리즘 없이 이동하는 경우에 대한 시나리오를 만들어 보았다. 이 시나리오에서 핸드오버가 발생하는 시점은 이동하고 있는 단말이 새로운 AP로부터 신호를 수신하는 시점으로 일반적으로 적용하고 있는 핸드오버 Delay로 정하였다. 이는 아무런 예측 알고리즘 없이 무작위 경로를 따라서 이동하였을 경우에 이동하고 있는 단말에 얼마만큼의 Delay가 발생하는지를 확인하기 위한 시나리오로 다음에 실행하게 될 예측 알고리즘을 적용하는 경우와 비교해 보기 위한 것이다.

#### 3.1.2 History DB의 경로를 따라 움직이는 단말의 이동

이 알고리즘은 이동성 예측의 가장 기본이 되는 방법으로 사용자의 패턴을 분석하여 History DB에 저장하고 향후에 비슷한 이벤트가 발생했을 경우 과거의 값을 호출하여 앞으로의 이동 경로를 예측하는 방법이다. 가장 오래된 예측 방법이기도 하고 실효성이 떨어지는 하나 돌발적인 행동을 배제한다면 기존의 어떠한 예측 알고리즘과 비교하여 보아도 가장 확실한 예측 방법이라고 할 수 있다. 그러나 이 알고리즘은 항상 이상적인 환경에 대해서만 적용할 수 있다는 단점이 있다.

#### 3.1.3 History DB의 경로로 움직이는 도중 돌발적인 경로 이탈

이 시나리오는 3.1.2의 시나리오에서 단말이 예측되어진 경로를 따라서 이동하고 있는 도중에 갑자기 돌발적인 행동, 즉 갑자기 경로를 이탈해 버리는 경우를 생각해 보았다. 이 시나리오는 다음 시나리오인 돌발적인 경로에 대처하는 알고리즘을 적용했을 경우와 비교하기 위한 것이다.

#### 3.1.4 돌발행동을 대처하는 속도 기반 알고리즘 적용

마지막 시나리오로는 돌발 행동에 빠르게 대처하고 진행하고 있는 방향에 있는 셀로의 핸드오버가 과연 효율적인 것인가를 판단하여 다음 셀로 핸드오버를 할 것인지, 아니면 기존의 셀 또는 다른 최

적의 셀을 선택할 것인지를 예측할 수 있는 속도 기반의 예측 알고리즘이다. 이 시나리오의 결과는 3.1.3.과 같이 움직이는 경우와 결과를 비교하는데 사용될 것이다.

**3.2 Simulation Model**

본 논문의 시뮬레이션은 OPNet version 10.0을 사용하였다. 그림 4에서 보는 것과 같이 가용한 네트워크는 CDMA, WiBro, WLAN을 대상으로 하였고, 이동 단말기는 이러한 네트워크를 거쳐서 이동시켜 보았다.

그림 4는 3.1.1.과 3.1.2.의 시나리오를 위한 모델이다. 단말의 이동 경로(trajjectory)에 우선 예측 알고리즘 없이 표 1을 참고하여 Vertical Handover Delay만을 적용하여 이동하는 것에 대해 시뮬레이션 하였고, 다음으로는 History DB의 예측 알고리즘을 적용하여 경로대로 단말을 이동시켜 시뮬레이션 하였다.

그림 5는 3.1.3.과 3.1.4.의 시나리오를 대상으로 한 모델이다. 단말이 이동 경로에 처음에는 History DB의 경로대로 이동하다 예상치 못한 돌발 경로로 이동하는 경우를 시뮬레이션 하기 위한 모델이다. 처음 시나리오는 이동 경로는 이동하고 있는 단말이 경로를 이탈한 경우 대처하지 못한 시나리오이고, 두 번째 시나리오는 경로를 이탈한 경우 속도를 기반으로 한 효율적인 Vertical Handover 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션 한다.

본 논문의 주 관점은 핸드오버 딜레이에 관한 것이며 그림 5의 모델로 시뮬레이션 했을 경우 단말

표 1. Case 별 Vertical Handover Delay

Case	평균 Vertical Handover Delay (ms)
CDMA-WiBro	350
CDMA-WLAN	186
WiBro-CDMA	566
WiBro-WLAN	186
WLAN-CDMA	566
WLAN-WiBro	350

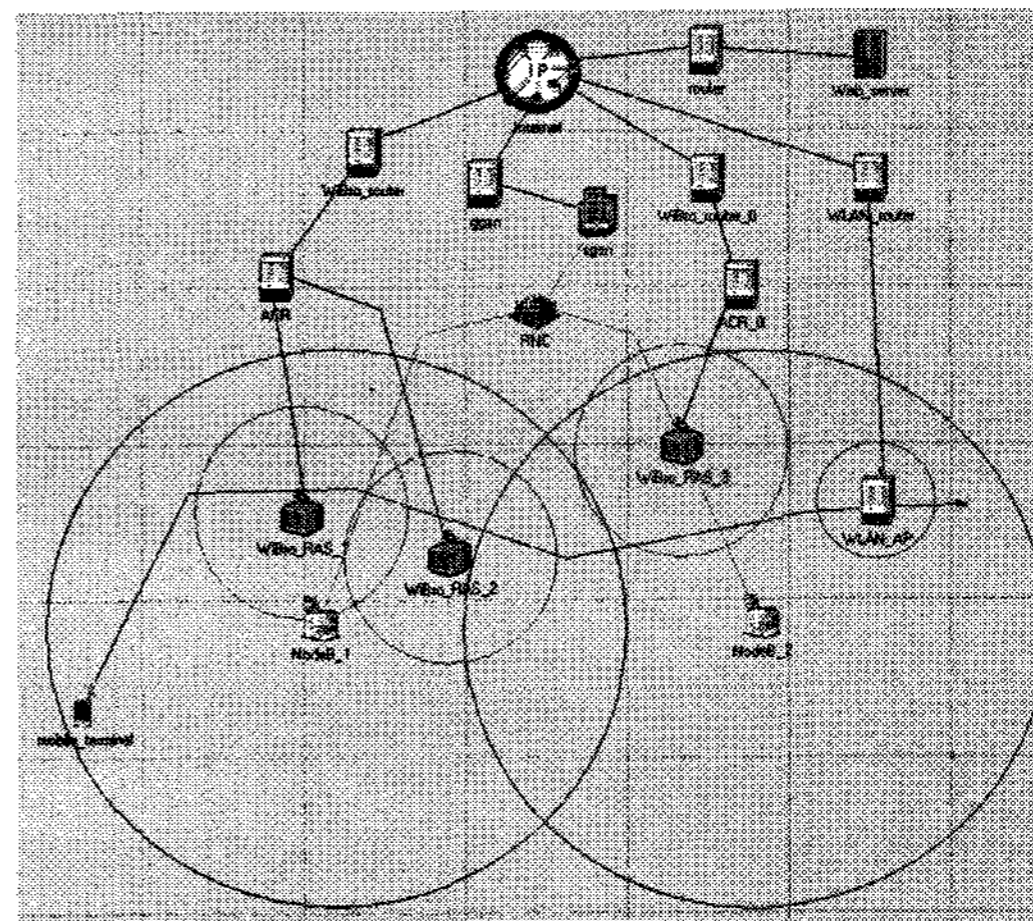


그림 5. OPNet Model: 시나리오 3&4

이 두 번째 CDMA에서 WiBro3을 만나는 부분 경로에서는 속도를 Highway Speed로 선정하여 WiBro3으로 핸드오버 하는 것의 효율성에 대해서 논하여 볼 것이다.

**3.3 시뮬레이션 결과**

그림 6은 시나리오 1~4까지의 결과를 한데 모아 놓은 것이다. 비교 결과 역시 History DB를 따라 이상적으로 움직이는 단말의 경우(Scenario\_1)가 가장 적은 딜레이를 보였으며, 제안하고 있는 알고리즘을 모두 적용한 경우(Scenario\_4)가 두 번째로 적은 딜레이를 갖게 된다. 그 다음으로 Scenario\_3과 Scenario\_1의 순서대로 딜레이가 늘어나는 것을 확인할 수 있다.

결론적으로 이상적인 경우를 배제하고 사용자의 불규칙한 패턴환경을 고려한다면, 제안하고 있는 알고리즘을 적용한 경우가 가장 적은 딜레이를 가짐을 알 수 있고 실제 이동통신 환경에 적용하기에 타 알고리즘에 비해 성능이 개선되었음을 알 수 있다.

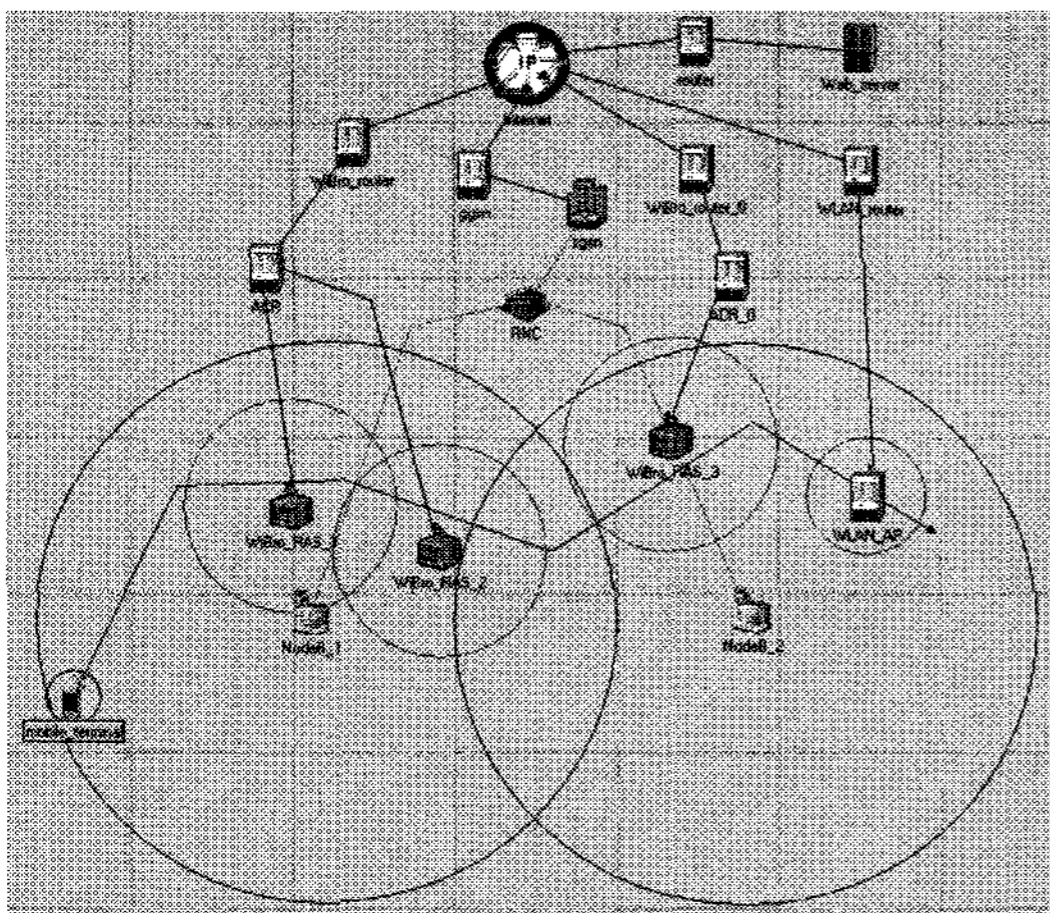


그림 4. OPNet Model: 시나리오 1&2

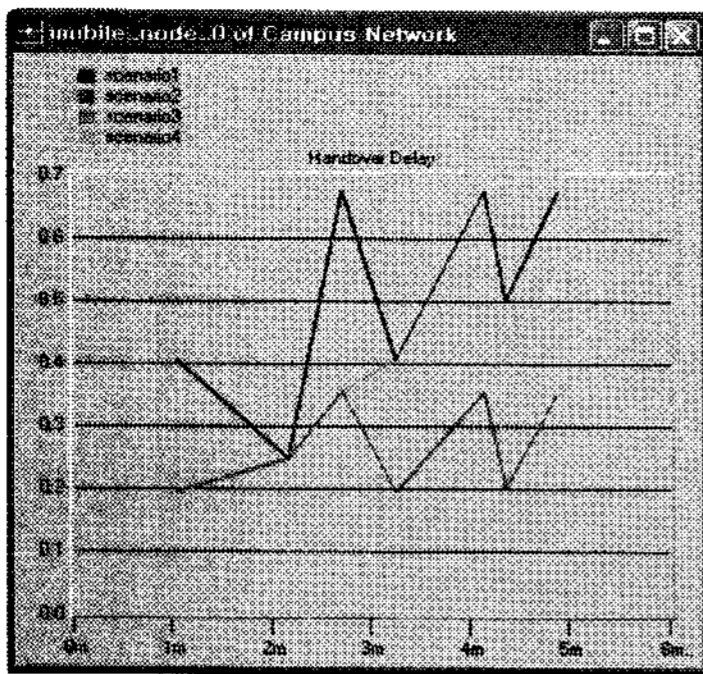


그림 6. 각 시나리오에 대한 결과 비교

#### IV. 결 론

이동성 예측 알고리즘은 상당히 오랜 시간에 걸쳐서 현재까지도 계속 연구되고 있다. 그러나 지금까지 연구되어졌던 이동성 예측 알고리즘들의 정확도가 아무리 높아도 이를 실제 환경에서 적용하기에는 실패의 위험성이 상대적으로 비중이 크기 때문에, 즉 돌발적인 행동에 대처하는 방안이 부족하였기 때문에 실제의 환경에는 적용하지 못하고 문서화에 그치고 말았다. 본 논문에서는 이러한 기술에 보탬이 되고자 이동성을 지원하는 예측 알고리즘을 제안하였다. 기존의 이동성 예측 알고리즘을 보완하여 이동 단말 사용자가 예측되었던 경로에서 벗어나는 돌발 행동을 수행한다 할지라도 이를 다음 셀로 핸드오버 하기 이전에 충분히 예측하는 방법을 제안하였다. 그리고 혹시 이러한 경우가 발생했을 때에도 이동하고 있는 단말의 속도와 방향을 고려하여 다음 셀로의 핸드오버가 과연 효율적인 핸드오버인지를 미리 판단하여 다음 발생할 핸드오버를 결정하는 알고리즘을 소개하였다.

시뮬레이션은 OPNet version 10.0을 사용하여 수행하였고, 성능평가에서 기존의 알고리즘을 좀 더 효율적이고 실효성 있게 쓰일 수 있도록 뒷받침 되는 근거를 입증하여 보았다.

#### 참 고 문 헌

[1] A.K. Talukdar, B.R. Badrinath and A. Acharya, "On Accommodating Mobile Host in an Integrated Services Packets Network," IEEE INFOCOM'97, April 1997.  
 [2] H.K. Kim, Y.J. Kim, J.I. Jung, "The Handover Algorithm That Considers The User's Mobility Pattern in Wireless ATM,"

ITC-CSCC, July 2000.

[3] H. Nomura, I. Hayashi, and N. Wakami, "A Learning Method of Fuzzy Inference Rules by Descent Method," IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 1992.  
 [4] W. Cui and X. Shen, "User Movement Tendency Prediction and Call Admission Control for Mobile Cellular Networks," IEEE ICC, 2000.  
 [5] T. Liu, P. Bahl, I. Chlamtac, "Mobility Modeling, Location Tracking, and Trajectory Prediction in Wireless ATM Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, August 1998.

조 인 휘 (Inwhee Joe)

정회원



1983년 2월 한양대학교 전자 공학과 졸업

1994년 12월 미국 University of Arizona, Electrical and Computer Engineering, M.S.

1998년 9월 미국 Georgia Tech, Electrical and Computer Engineering, Ph.D.

1992년 12월 (주) 데이콤 종합연구소 선임연구원

2000년 6월 미국 Oak Ridge 국립연구소 연구원

2002년 8월 미국 Bellcore Lab (Telcordia) 연구원

2002년 9월~현재 한양대학교 정보통신학부 부교수

<관심분야> Mobile Internet, Cellular System and PCS, Sensor Networks, Mobility Management