

# 신호 강도 측정 기반 핸드오버 결정 방법의 성능 분석

박재성<sup>†</sup> · 임유진<sup>††</sup>

## 요약

이동 중인 사용자에게 연속성 있는 서비스 제공을 위해서는 효과적인 핸드오버 결정 기법이 필요하다. 본 논문에서는 측정된 수신 신호 강도를 이용한 핸드오버 결정 방법의 성능을 늦은 통보와 오보율 측면에서 평가하기 위한 분석 모델을 제안한다. 제안 모델은 핸드오버 결정 기법의 성능에 영향을 미치는 사용자의 이동성, 핸드오버 프로토콜 메시지 교환 지연, 셀 크기 및 안정적인 수신 신호 강도 측정을 위한 수신 신호 강도 측정 주기를 모두 고려한다. 또한 본 논문에서는 제안한 분석 모델을 통해 각 인자들의 영향을 정량적으로 고찰하여 효과적인 고속 핸드오버 시작 시점 결정을 위한 연구 방향을 제시한다.

키워드: 핸드오버, 수신 신호 강도 측정, 성능 분석.

## Performance Analysis of Handover Trigger Based on Signal Strength Measurement

Park Jaesung<sup>†</sup> · Lim Yujin<sup>††</sup>

### ABSTRACT

Effective handover decision is important for providing seamless services to mobile users. In this paper, we propose an analysis framework to evaluate the performance of handover decision based on received signal strength (RSS) measurements in terms of the late notification and false alarm probability. In our framework, we consider mobility of a mobile user, signaling delays for exchanging messages related to handover protocols, cell sizes and RSS measurement interval to stabilize RSS reading due to random measurement errors. By quantitatively scrutinizing the impact of each parameter on the late notification and false alarms, we suggest the research directions for effective handover decision mechanism that may provide fast and reliable handover.

Key Words : Handover, Received Signal Strength Measurement, Performance Analysis.

### 1. 서론

이동 통신 망의 발전으로 인해 이동 중인 단말에 연속성 있는 서비스 제공을 위한 고속 핸드오버 기법에 관한 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 핸드오버는 이동 시스템에 따라 동일 망 내에서의 핸드오버와 이종 망 간의 핸드오버로 구분된다. 이종 망 간의 핸드오버 (vertical handover)는 서로 다른 무선 접속 시스템 사이의 핸드오버를 지칭하며 무선 LAN에서 WCDMA 이동 전화 망으로의 핸드오버나 mobile WiMax 망에서 무선 LAN으로 이동하는 경우가 이에 해당한다. 동일 망 내에서의 핸드오버 (horizontal handover)는 동일한 무선 접속 방식을 사용하는 망 내에서의 핸드오버를 의미하며 도메인 변경 여부에 따라 링크 계

층 핸드오버와 IP 계층 핸드오버로 구분된다. 링크 계층 핸드오버는 단말이 같은 도메인에 속한 두 기지국 사이를 이동하는 경우이며, IP 계층 핸드오버는 서로 다른 도메인에 속한 기지국 사이를 단말이 이동하는 경우를 의미한다.

WLAN과 3G망과의 연동을 위한 방안들은 3GPP에서 활발하게 논의 중에 있으며 [1], IEEE 802.21 워킹 그룹은 IEEE 시스템 사이 혹은 이동 전화망과 IEEE 시스템 간의 이종 망 간 핸드오버를 고속화 하기 위한 MIH (Media Independent Handover) 기능을 표준화 하고 있다 [2]. 링크 계층 핸드오버 기법은 각 무선 접속 규격에 따라 개발되어 왔으며 무선 LAN에서의 IEEE 802.11r [3], Mobile WiMax 망에서의 IEEE 802.16e 최적 하드 (hard) 핸드오버 [4] 등이 대표적이다. IP 계층 핸드오버의 경우 mobile IP (MIP) [5]가 표준으로 사용될 것으로 기대되며 MIP를 통한 핸드오버 시간 단축을 위해 링크 계층 핸드오버 이전에 이동할 망에 미리 등록해 두는 FMIPv6 [6]와 IPv4 low latency extension [7] 및 주소 갱신 메시지 전송 범위를 제한하기

\* 이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-311-D00668)

† 정 회 원: 수원대학교 인터넷정보공학과 전임강사

†† 정 회 원: 수원대학교 정보미디어학과 전임강사

논문접수: 2007년 8월 8일, 심사완료: 2007년 10월 25일

위한 HMIPv6 [8]이 제안되었다.

이와 같이 핸드오버 종류 별로 다양한 프로토콜들이 개발되어 왔으며 이들의 상이한 동작 절차로 인해 핸드오버 절차 종료 시간이 달라진다. 그러나 이들 모두 핸드오버 도중 서비스가 단절되지 않기 위해서는 현재 무선 링크가 종료되기 전에 핸드오버 절차를 마쳐야 한다.

핸드오버는 단말과 기지국 간의 무선 링크 품질이 특정 임계값 ( $R_m$ ) 이하인 경우 시작되며, 일반적으로 수신 신호 강도 (Received Signal Strength: RSS)가 무선 링크 품질 척도로 이용된다. 즉, 측정된 RSS 값이  $R_m$  이하인 경우 핸드오버가 시작되므로  $R_m$ 는 핸드오버 성능에 중요한 영향을 미친다. RSS 값은 기지국과 단말 사이의 거리에 반비례하므로  $R_m$ 가 작을수록 핸드오버 결정 (Handover Trigger) 시점에 단말의 위치와 셀 경계 사이의 거리는 짧아진다. 즉, 단말의 이동 속도가 빠르고, 핸드오버 절차를 종료하기 위한 시그널링 지연이 긴 경우 단말은 핸드오버 절차를 종료하기 전에 현재의 무선 링크를 종료하게 되어 연속성 있는 서비스를 제공 받지 못하게 된다. 이와 같은 현상을 유발하는 Handover Trigger를 늦은 통보 (late notification) 라고 정의한다. 반면에  $R_m$ 가 커질수록 핸드오버 결정 이후 단말이 현재의 셀 경계를 벗어나기 까지 거리가 길어진다. 따라서 핸드오버 시작 이후 단말은 이동 방향과 이동 속도를 변경할 확률이 높아지므로 일정 시간 내에 이웃 셀로 이동하지 않을 확률이 높아진다. 이와 같은 현상을 유발하는 Handover Trigger를 오보 (false alarm) 라고 정의한다. 오보가 증가할수록 망 내에 불필요한 핸드오버 메시지 교환이 증가되므로 보다 많은 자원이 낭비된다.

또한 수신기의 측정 오류, 무선 전파 환경에 의한 임의의 감쇄 현상 등에 의해 측정된 수신 신호 강도 값은 불안정해질 수 있으므로 안정적인 RSS 값을 얻기 위해 일반적으로 일정 기간 동안 측정된 RSS 값들의 평균값이 핸드오버 여부를 결정하는데 이용된다. RSS 평균값을 얻기 위한 측정 구간 ( $T_m$ )이 클수록 랜덤 오류에 무관한 안정적인 RSS 값을 얻을 수 있으나 이 시간 동안 단말은 이동 방향과 속도를 변경할 수 있으므로 늦은 통보 혹은 오보 발생 확률이 커진다.

M. Emmelmann 등은 단말의 이동속도가 연속성있는 핸드오버

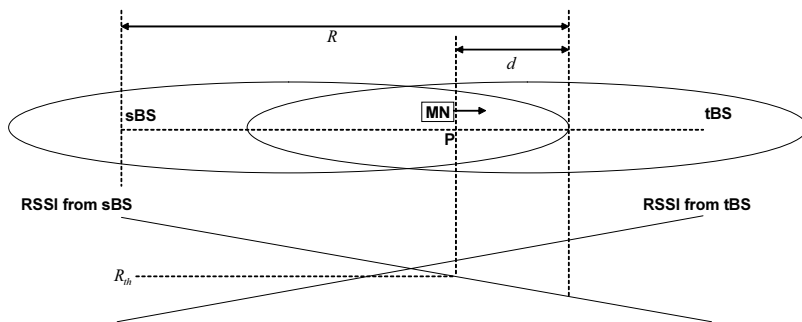
제공을 위한 셀 간 중첩 영역의 크기에 미치는 영향을 분석하였으며 [9], S. Monathy 등은 핸드오버 결정 이후 단말의 이동방향과 속도가 변하지 않는다는 가정하에 오보 확률과 핸드오버 실패 확률을 분석하였다 [10]. 그러나 단말은 핸드오버 결정 이후에도 이동 방향과 속도를 무작위로 변경할 수 있으며 RSS 측정 시간에 대한 고려는 하지 않고 있다. 따라서 본 논문에서는 RSS 측정 주기, 핸드오버 시작 후 종료까지 필요한 메시지 교환 지연 및 단말의 이동성을 모두 고려하여 이들이 늦은 통보 확률과 오보 확률에 미치는 영향을 분석하기 위한 프레임워크를 제안한다. 이를 위해 우선 단말의 이동성, 핸드오버 절차 완료를 위한 시그널링 지연, 셀의 크기가 Handover Trigger 발생 시점에 미치는 영향을 늦은 통보 및 오보 확률 측면에서 분석한다. 이후 제안한 분석 방법을 이용하여  $T_m$ 이 늦은 통보 및 오보 확률에 미치는 영향을 분석한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 우선 2장에서는 단말의 이동성, 핸드오버 절차 완료를 위한 시그널링 지연, 셀의 크기가 늦은 통보 확률과 오보 확률에 미치는 영향을 분석하기 위한 모델을 제시하고 이들 인자가 Handover Trigger 발생 시점에 미치는 영향을 분석한다. 3장에서는 2장에서 제안한 분석 기법을 이용하여 RSS 측정 구간의 크기가 성능에 미치는 영향을 고찰한 후 4장에서 결론 및 이상적인 핸드오버 시작 시점 결정을 위한 추후 연구방향을 제시한다.

## 2. 핸드오버 절차 완료 시간과 단말의 이동성이 핸드오버 성능에 미치는 영향

### 2.1 시스템 모델

(그림 1)은 serving BS (sBS)에 연결되어 있는 단말 (MN)이 target BS (tBS)로 이동하는 경우 RSS 임계값 ( $R_m$ )에 의한 일반적인 핸드오버 결정 방법을 보여준다. 단말은 측정된 RSS 값을  $R_m$ 와 비교하여 측정 값이  $R_m$ 이하이면 핸드오버 과정을 시작한다. RSS 값은 단말과 기지국 사이의 거리에 의해 결정되므로 RSS 측정 오류가 없는 경우 단말은 반지름  $R$ 인 셀의 경계에서  $d$ 만큼 떨어진 위치 ((그림 1)의 P)에서 핸드오버 과정을 시작한다. RSS와 단말과 기지국 간의 거리는 path loss 모델에 의해 결정되며 예



(그림 1) RSS 값 측정을 통한 핸드오버 결정.

를 들어 Fritz의 path loss 모델을 [11] 적용하는 경우 다음과 같은 관계를 가진다.

$$\left[ \frac{P_r(a)}{P_r(d_0)} \right]_{dB} = -10b \log\left(\frac{a}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (1)$$

$P_r(a)$ 는 기지국과 단말과의 거리가  $a$ 인 경우 RSS를 나타내며  $P_r(d_0)$ 는 단말과 기지국 사이의 기준 거리  $d_0$ 에서의 RSS를 나타낸다.  $b$ 는 path loss exponent라 불리며, 전파 전송 환경에 의해 결정되는 값으로 매크로 셀 환경에서는 3-4, 마이크로 환경에서는 2-8 값의 범위를 가진다.  $X_\sigma$ 는 전파 전송 환경에 따른 임의의 감쇄를 나타내기 위한 랜덤 변수로서 평균 0이고 표준편차  $\sigma$ 인 정규분포를 따른다.

### 2.2 늦은 통보 확률 ( $P_l$ )

단말이 핸드오버 시작 결정 이후 sBS의 서비스 영역을 벗어나기 까지 걸리는 시간이 시스템과 단말 사이에 핸드오버를 완료하기 위한 시그널링 지연  $t_h$ 보다 커지면 핸드오버 과정이 완료되기 전에 단말은 sBS와 연결이 종료되어 서비스 연속성이 제공되지 않는다.

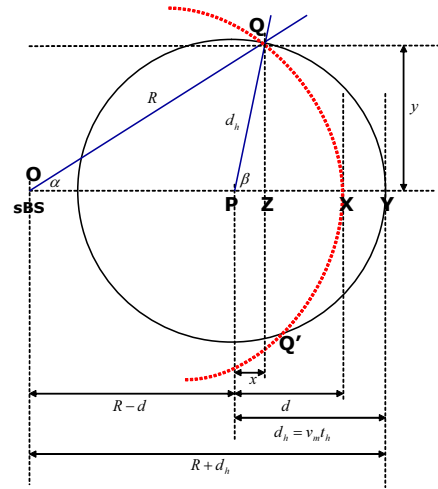
$t_h$ 는 핸드오버가 이루어지는 통신 프로토콜 계층(링크 계층, IP 계층)에 따라 달라지며, 또한 같은 계층에서 이루어지는 핸드오버라고 하더라도 사용되는 프로토콜(802.11r, 802.16e, MIP, FMIPv6, HMIPv6)에 따라 달라진다. 또한 같은 표준을 사용하는 망에서도 서로 다른 사업자의 BS가 지원하는 옵션이 달라질 수 있으므로 이에 따라  $t_h$ 는 달라지게 된다.

단말이 임의의 위치에서 이동 방향을  $(-\pi, \pi)$ 에서 균일하게(uniform) 선택한다고 가정하고 시스템에서 지원 가능한 단말의 최대 이동 속도를  $v_m$ 이라고 하면  $t_h$  동안 단말이 이동할 수 있는 최대 거리는  $d_h = v_m t_h$ 가 된다. 따라서  $t_h$  동안 단말이 위치할 수 있는 영역은 중심이 P이고 반지름  $d_h$ 인 원 내부가 된다. (그림 2)에 도시한 바와 같이 늦은 통보 확률은 단말이  $t_h$  시간 동안 움직일 수 있는 전체 영역 중에서 sBS의 셀 영역 밖에 해당하는 영역 ((그림 2)의 QXQ'YQ로 둘러 쌓인 영역)의 비율이 된다.

sBS의 위치를 O로 표기하고 각 POQ를  $\alpha$ , 각 XPQ를  $\beta$ 라고 나타내고, 선분 PZ의 길이를  $x$ , 선분 QZ의 길이를  $y$ 라고 표기하자 삼각함수의 정의에 따라

$$\begin{aligned} \sin(\alpha) &= \frac{y}{R}, \cos(\alpha) = \frac{R-d+x}{R}, \\ \sin(\beta) &= \frac{y}{d_h}, \cos(\beta) = \frac{x}{d_h} \end{aligned} \quad (2)$$

이므로,



(그림 2) 분석 모델.

$$\begin{aligned} x &= \frac{R^2 - d_h^2 - (R-d)^2}{2(R-d)} = \frac{2dR - (d_h^2 + d^2)}{2(R-d)}, \\ y &= \sqrt{d_h^2 - x^2} \end{aligned} \quad (3)$$

이 된다. 삼각형 ZPQ의 넓이를 A, XZQ로 둘러 쌓인 영역의 넓이를 B, YXQ로 둘러 쌓인 영역의 넓이를 C라고 표기하면 식 (2)와 (3)에 의해

$$\begin{aligned} A &= xy/2, \\ B &= \pi R^2 \alpha / (2\pi) - (R-d+x)y/2 = R^2 \arcsin(y/R) - (R-d+x)y/2, \\ C &= \pi d_h^2 \beta / (2\pi) - A - B = d_h^2 \arcsin(y/d_h) / 2 - A - B \end{aligned} \quad (4)$$

가 된다. 따라서 늦은 통보 확률은

$$P_l = \frac{2C}{\pi d_h^2} \quad (5)$$

이 된다.

### 2.3 오보 확률 ( $P_f$ )

핸드오버 시작 결정 이후 일정 시간 동안 단말이 tBS로 핸드오버하지 않는 경우 그 핸드오버 결정을 오보(false alarm)으로 정의한다. 즉, 오보 확률은 오보를 결정하기 위한 시 구간의 크기에 따라 달라진다. 본 논문에서는 단말의 이동속도, 단말의 위치,  $t_h$  및 셀의 크기가 오보 확률에 미치는 영향을 정량적으로 분석하기 위해 (그림 2)에서 단말이  $(-\beta, \beta]$  이외로 이동방향( $\theta$ )을 선택하는 경우를 오보로 정의하였다. 즉,  $t_h$  동안 단말이 핸드오버 하지 않는 경우를 오보로 정의 하였다. 따라서

$$p_f = 1 - \int_{\beta}^{\pi} \frac{1}{2\pi} d\theta \tag{6}$$

가 되며 식 (2)과 (3)에 의해

$$p_f = 1 - \frac{\beta}{\pi} = 1 - \frac{1}{\pi} \arcsin \left( \frac{y}{d_h} \right) \tag{7}$$

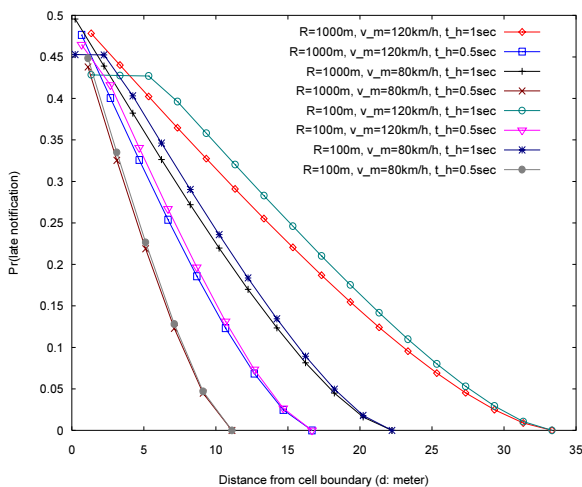
이 된다.

### 2.4 분석 결과 및 각 인자들의 영향

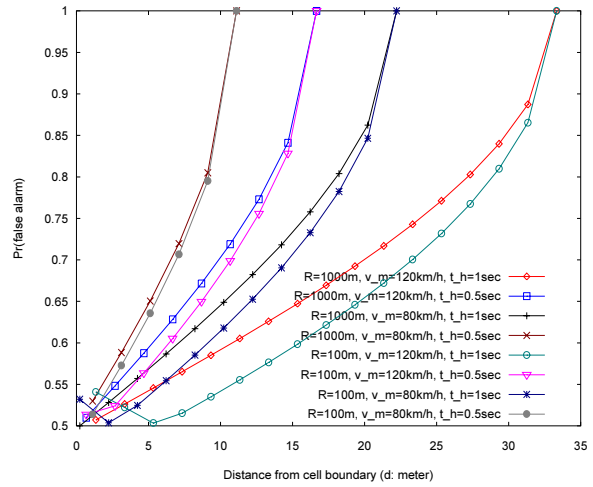
#### 2.4.1 셀 크기, 단말의 최대 이동 속도, 핸드오버를 위한 신호 지연이 낮은 정보 확률과 오보 확률에 미치는 영향

(그림 3)은 셀 경계로부터 단말까지의 거리  $d$ 에 따른 늦은 통보 확률을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이  $d$ 가 커질수록 핸드오버를 위한 RSS 임계값은 커지게 된다. 따라서 단말이  $t_h$  동안 sBS의 서비스 영역을 벗어날 확률이 작아지므로 늦은 통보 확률  $P_l$ 은 작아진다. 또한 셀 경계로부터 단말까지의 거리가 같더라도 셀의 크기가 작은 경우  $\beta$ 가 커지므로  $P_l$ 은 커진다.

그림에서 보는 바와 같이  $t_h$ 가 변화하는 경우  $R_{th}$ 가 변화하지 않으면 늦은 통보 확률을 원하는 값 이하로 제어할 수 없다. 예를 들어  $P_l=0.1$ 을 만족시키기 위해서는  $t_h=1\text{sec}$ 인 경우 셀 경계로부터 단말까지의 거리가 25meter인 위치에서 핸드오버가 시작되어야 하지만  $t_h=0.5\text{sec}$ 인 경우  $d=11\text{meter}$ 에 해당되는 위치에서 핸드오버가 시작되면 된다. 따라서  $R_{th}$ 를  $d=11\text{meter}$ 인 지점에 해당되는 RSS로 설정한다면  $t_h=1\text{sec}$ 인 경우 늦은 통보 확률은 0.29로 증가하게 되어 단말이 핸드오버하는 경우 연속성 있는 서비스가 제공되지 않을 확률이 커진다. 또한 시스템에서 지원하는 단말의 최대 이동 속도가 작은 경우 같은 시간 동안 이동 가능한



(그림 3) 셀의 크기, 단말의 최대 이동속도, 핸드오버 신호 지연에 따른  $d$ 와  $P_l$ 의 관계



(그림 4)  $d$ 와  $P_f$ 와의 관계

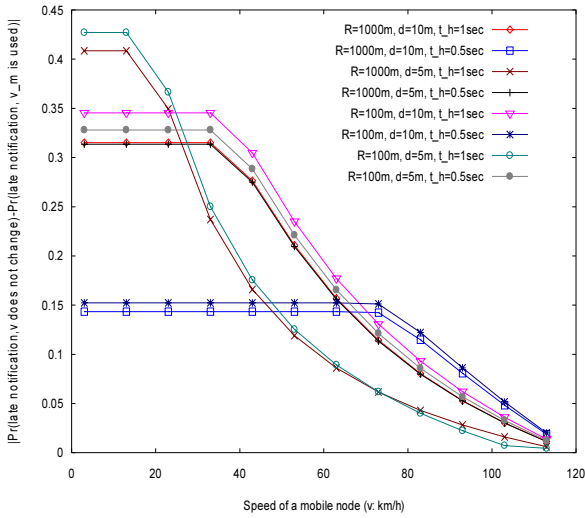
거리가 짧아지므로 동일한  $R, d, t_h$ 에 대해 최대 이동 속도가 작을수록  $P_l$ 은 작아진다. 따라서 평균 이동 속도를 기준으로  $R_{th}$ 를 설정하는 경우 단말이 핸드오버 시작 이후 이동 속도를 최대값으로 가속하면  $P_l$ 이 증가하게 된다.

즉,  $P_l$ 을 원하는 값 이하로 제한하고자 한다면 단말의 최대 이동속도,  $t_h$ 에 따라 핸드오버가 시작되어야 되는 거리  $d$  (즉,  $R_{th}$ )를 적응성 있게 설정해야 한다.

(그림 4)는  $d$ 와 오보 확률과의 관계를 보여준다. 식 (6)에 보인 바와 같이  $d$ 가 커지면  $R_{th}$  값이 증가하고  $\beta$ 가 작아진다. 따라서 단말이 핸드오버 시작 이후 sBS의 서비스 영역을 벗어날 때까지 소요되는 시간이 증가하며 이 시간 동안 단말은 이동 방향이나 이동 속도를 변경하여  $t_h$  이후 핸드오버할 확률이 낮아지므로 오보 확률은 증가한다. 또한 셀의 크기가 클수록  $\beta$ 가 작아지므로  $p_f$ 는 증가한다. 단말의 이동 속도가 큰 경우  $t_h$  동안 단말이 이동 방향을 바꿀 확률이 낮아지므로 동일한 환경에서 단말의 이동 속도가 빠를수록  $p_f$ 는 감소하며, 감소율은 셀의 크기가 작을수록 크다. 즉, 셀의 크기가 작을수록 고속으로 이동하는 단말이  $t_h$  동안 sBS의 셀 영역을 벗어날 확률이 커지므로 오보 확률의 차이는 커진다. 차세대 무선 이동 네트워크는 높은 주파수 대역에서 고속의 데이터 전송율을 제공할 것으로 기대되며, 높은 데이터 전송율을 제공하기 위해 송신기 파워를 무한대로 증가시킬 수 없으므로 셀의 크기는 작아질 것으로 예상된다 [12]. 따라서 오보로 인한 망 자원 낭비를 위해 핸드오버 결정을 위한  $R_{th}$ 를 단말의 이동 속도,  $t_h$ , 셀 크기에 따라 동적으로 조절하는 방법이 필요하다.

#### 2.4.2 단말이 $t_h$ 동안 이동 속도를 바꾸지 않는다는 가정에 대한 고찰

일반적인 핸드오버 지연 분석 과정에서 단말은  $t_h$  동안 이동 속도를 변경하지 않는다고 가정한다 [10]. 그러나  $t_h$ 가 어느 정



(그림 5) 이동 속도 변화가  $P_l$ 에 미치는 영향

도 커지게 되는 경우 혹은 단말의 이동 속도가 느린 경우 단말은  $t_h$  동안 이동 방향과 이동 속도를 임의로 변경할 수 있다. 따라서 이와 같은 가정이  $P_l$ 에 미치는 영향은 정확히 이해되어야 한다. (그림 5)는 단말의 이동 속도에 따른  $P_l$ 을 보여준다.

(그림 5)의 y축은 단말이 핸드오버를 시작한 후  $t_h$  동안 이동 속도를 변경하지 않는다고 가정한 경우 발생하는 늦은 통보 확률 ( $P_l^v$ )과 단말이  $t_h$  동안 시스템에서 허용하는 최대 이동속도 (120km/h라고 가정함)로 이동 속도를 변경하는 경우 발생하는 늦은 통보 확률 ( $P_l^{vm}$ )의 차이 ( $e_l = P_l^v - P_l^{vm}$ )를 나타낸다.

그림에서 보는 바와 같이 이 두 늦은 통보 확률의 차이는 셀 크기와  $d, t_h$  및 단말의 이동속도에 영향을 받는다. 단말의 이동 속도가 빠르고,  $d$ 가 크며  $t_h$ 가 작을수록  $e_l$ 은 작아 지므로  $t_h$  동안 단말의 이동 속도가 변하지 않는다는 가정은 타당하다. 예를 들어 단말의 이동 속도가 90km/h이상이면 모든 경우에서  $e_l$ 은 0.1 이하로  $P_l^{vm}$ 은  $P_l^v$ 로 근사화 될 수 있다. 그러나  $d$ 가 작고  $t_h$ 가 크며 단말의 현재 이동속도가 느릴수록  $e_l$ 은 커진다. 예를 들어 단말의 이동속도가 23km/h,  $R=100, d=10, t_h=0.5\text{sec}$ 인 경우  $P_l^v$ 은 0 (즉, 늦은 통보는 발생하지 않는다고 예측함),  $P_l^{vm}$ 은 0.152로  $e_l$ 은 15.2%였으나, 동일 조건에서  $t_h$ 가 1초로 증가하는 경우  $e_l$ 은 34.5%로 증가하였다. 또한  $R=100$ 인 셀에서 단말이 23km/h로 이동할 때  $d=5, t_h=0.5\text{sec}$ 인 경우  $P_l^v$ 는 0,  $P_l^{vm}$ 은 0.328이며, 같은 조건에서  $t_h=1\text{sec}$ 인 경우  $P_l^v$ 는 0.061,  $P_l^{vm}$ 은 0.427로 증가하였다. 즉, 단말의 이동 속도가 느리고 시그널링 지연이 클수록 핸드오버 시작 이후  $t_h$  동안 단말의 이동 속도를 변경하지 않는다는 가정은 실제 발생 가능한 늦은 통보 확률을 보다 낮게 평가하게 되므로 이로 인한 이동 단말의 서비스 단절 발생 확률이 커지게 된다.

### 3. RSS 측정 구간이 핸드오버 시작 결정에 미치는 영향

RSS 측정 오류에 의해 일반적으로 일정 시간 동안 측정된 RSS의 평균 값을 이용하여 핸드오버 발생 여부를 결정하게 된다. 즉, 측정 RSS의 평균 값이  $R_{th}$ 이하이면 핸드오버 시작을 결정한다. RSS 측정 기간을  $T_m$ 이라고 하면 단말은  $T_m$  시간 동안 최대  $d_m = v_m T_m$  만큼 이동 가능하다. 단말이 임의의 시점에 이동 방향을  $(-\pi, \pi]$ 에서 임의로 선택한다면, (그림 1)의 P에 위치한 단말이  $T_m$  시간 동안 이동할 수 있는 영역은 P를 중심으로 반지름  $d_m$ 인 원 내부가 된다.

#### 3.1 $T_m$ 을 고려한 늦은 통보 확률 ( $P_l^m$ )

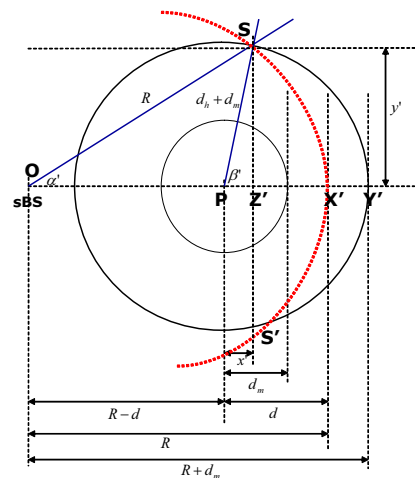
(그림 6)에 도시한 바와 같이 늦은 통보 확률은 단말이  $T_m + t_h$  시간 동안 움직일 수 있는 전체 영역 중에서 sBS의 셀 영역 밖에 해당하는 영역 ((그림 6)의 SX'S'Y'S로 둘러싸인 영역)의 비율로 정의 할 수 있다. sBS의 위치를 O로 표기하고 각 POS를  $\alpha'$ , 각 X'PS를  $\beta'$ 라고 나타내자. 선분 PZ'의 길이를  $x'$ , 선분 SZ'의 길이를  $y'$ 라고 표기하면

$$\sin(\alpha') = \frac{y'}{R}, \cos(\alpha') = \frac{R-d+x'}{R}$$

$$\sin(\beta') = \frac{y'}{d_h+d_m}, \cos(\beta') = \frac{x'}{d_h+d_m} \tag{8}$$

이므로,

$$x' = \frac{R^2 - (d_h+d_m)^2 - (R-d)^2}{2(R-d)}, y' = \sqrt{(d_h+d_m)^2 - x'^2} \tag{9}$$



(그림 6)  $T_m$ 을 고려한 분석 모델

이 된다. 삼각형 Z'PS의 넓이를 A', X'Z'S로 둘러 쌓인 영역의 넓이를 B', Y'X'S로 둘러 쌓인 영역의 넓이를 C'라고 표기하면

$$A' = x'y'/2, \quad B' = R^2\alpha'/2 - (R-d+x')y'/2, \quad C' = (d_h+d_m)^2\beta'/2 - A'-B' \quad (10)$$

가 된다. 따라서  $T_m$ 을 고려한 경우 늦은 통보 확률은

$$p_f^m = \frac{2C'}{\pi(d_h+d_m)^2} \quad (11)$$

이 된다.

### 3.2 $T_m$ 을 고려한 오보 확률 ( $p_f^m$ )

오보의 정의에 따라  $T_m$ 을 고려한 경우 오보 확률은 (그림 6)에서 단말이  $(-\beta, \beta]$  이외로 이동방향 ( $\theta$ )을 선택하는 경우에 발생된다. 즉, 오보 확률은

$$p_f^m = 1 - \int_{-\beta}^{\beta} \frac{1}{2\pi} d\theta \quad (12)$$

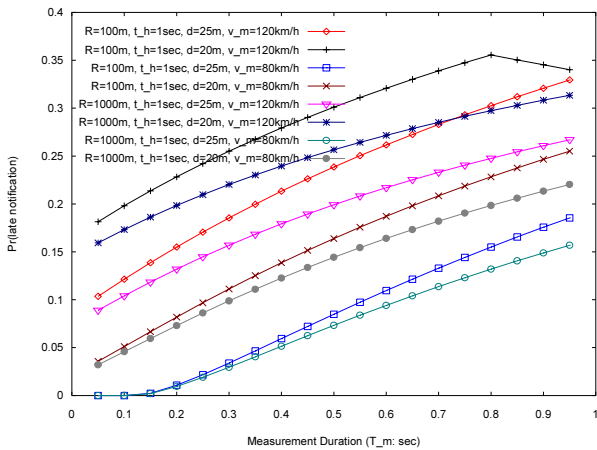
로 정의되므로 식 (8)과 (9)에 의해

$$p_f^m = 1 - \frac{\beta'}{\pi} = 1 - \frac{1}{\pi} \arcsin\left(\frac{y'}{d_h+d_m}\right) \quad (13)$$

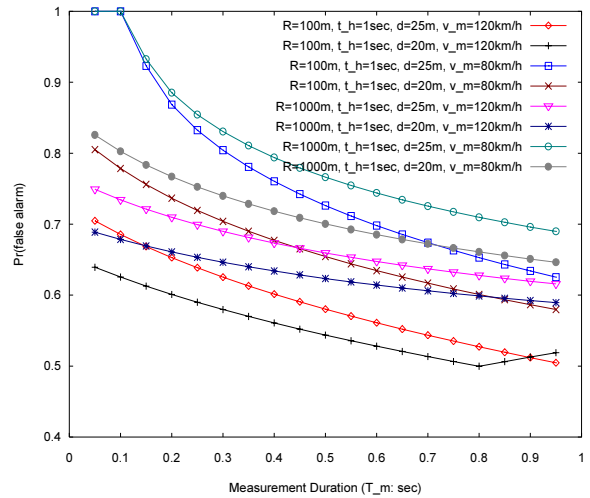
이 된다.

### 3.3 분석 결과 및 의미

(그림 7)은  $T_m$ 에 따른 늦은 통보 확률을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이  $T_m$ 이 커질수록 ( $t_h$ 에 접근할수록) 단말이  $T_m$  동안 이동할 수 있는 거리가 늘어나므로 늦은 통보 확률은 커진다.  $v_m, t_h, d$ 가 동일한 경우 셀의 크기가 작



(그림 7)  $T_m$ 이 늦은 통보 확률에 미치는 영향



(그림 8)  $T_m$ 이 오보 확률에 미치는 영향

을수록  $T_m$ 이  $p_f^m$ 에 미치는 영향은 줄어든다. 예를 들어  $v_m = 120km/h, t_h = 1sec, d = 25m$ 인 경우  $R = 100m$ 인 환경에서  $T_m$ 이 0.05초인 경우  $p_f^m = 0.103$ 이지만  $T_m$ 이 0.95초인 경우 0.329로 0.226만큼 증가하였다. 그러나 동일조건에서  $R = 1km$ 이면  $T_m$ 이 0.05초인 경우  $p_f^m = 0.089$ 에서  $T_m$ 이 0.95초인 경우 0.267로 0.178만큼 증가하였다.

같은  $T_m$ 에 대해 시스템에서 지원하는 단말의 최대 이동 속도가 빠를수록 단말은  $T_m + t_h$  동안 sBS의 셀 영역을 이탈할 확률이 커지므로  $p_f^m$ 은 커진다. 또한 같은  $T_m, v_m, t_h, d$ 가 동일한 경우 셀의 크기가 작을수록 단말이 sBS의 서비스 영역을 벗어날 확률이 커지므로  $p_f^m$ 은 커진다.

(그림 8)은  $T_m$ 에 따른 오보 발생 확률을 보여 준다.  $T_m$ 이 커질수록 단말이 RSS 측정 기간 동안 움직일 수 있는 거리 ( $d_m$ )가 커지며 이에 따라  $\beta'$ 이 커지므로  $p_f^m$ 은 감소하게 된다.  $T_m$ 이 동일한 경우 셀의 크기가 클수록  $\beta'$ 가 작아지므로  $p_f^m$ 은 증가한다.

## 4. 결론 및 추후 연구 방향

본 논문에서는 셀 크기, 시스템에서 지원 가능한 단말의 최대 이동 속도, 핸드오버 프로토콜에 의한 핸드오버 메시지 전송 지연, 안정적인 수신 신호 강도 측정을 위한 측정 기간이 핸드오버 지연에 미치는 영향을 늦은 통보 확률과 오보 확률 측면에서 분석하였다.

핸드오버 메시지 전송 지연은 핸드오버 프로토콜에 따라 정의되는 메시지 교환 횟수와 각 노드들 사이의 전송 지연에 의해 결정된다. 동일환경에서 핸드오버 메시지 전송 지연이 0.5초에서 1초로 증가하는 경우 늦은 통보 확률은 0.1에서 0.29로 증가하였다. 단말의 이동 속도는 시간에 따라

변화한다. 따라서 핸드오버 시작에서 완료까지 단말의 이동 속도가 같다는 가정은 실제 가능한 낮은 통보 확률을 낮게 평가하였다. 예를 들어 셀 반지름이 100meter이고 셀 경계에서 10meter 떨어진 위치에서 핸드오버가 결정되고 이때 단말의 이동 속도가 23km/h인 경우 핸드오버 메시지 전송 지연이 0.5초이면 단말의 순시값을 이용한 경우에 단말의 속도를 시스템에서 지원하는 최대 이동 속도로 가정한 경우보다 낮은 통보 확률이 15.2% 감소하였다. 수신 신호 강도 측정 주기가 길수록 안정적인 평균 수신 신호 강도를 얻을 수 있으나 이 시간 동안 단말의 이동 속도와 이동 방향이 바뀔 확률이 커지므로 낮은 통보 확률이 커진다. 예를 들어 핸드오버 메시지 전송 지연이 1초이고 반지름 100meter인 셀 내에서 단말이 120km/h의 속도로 이동하며 셀 중심과 단말과의 거리가 75meter인 지점에서 핸드오버가 결정된다고 하면 수신 신호 강도 측정 주기가 0.05초에서 0.95초로 증가되면 경우 낮은 통보 확률은 0.226 증가 하였다.

본 논문에서 제안한 분석 모델을 이용하여 고속 핸드오버 기법 개발을 위한 연구가 다음과 같은 방향으로 진행 중이다. 셀의 크기와 단말의 최대 이동속도는 무선 접속 규격이 결정되면 변하지 않으며 안정적인 수신 신호 강도 측정을 위해 측정 기간도 일정 값으로 유지되어야 한다. 따라서 최적의 핸드오버 시작 시점을 결정하기 위해서는 핸드오버 종료를 위해 필요한 시그널링 지연을 정확하게 예측하는 방법이 필요하다. 핸드오버 메시지 전송 지연은 핸드오버 과정에 참여하는 각 노드들 사이의 시그널링 지연에 의해 주로 영향을 받는다. 따라서 망내 가용 대역폭을 예측하기 위한 기존 연구들에서 [10][13] 얻어진 결과를 이용하는 방안과 이를 개선하는 방안이 추진 중이다. 또한 이동 단말의 최대 이동 속도가 아닌 순간 이동속도를 이용하여 낮은 통보 확률을 줄일 수 있다 따라서 GPS 시스템의 지원을 받아 단말의 순시 속도를 예측하는 방안과 GPS 시스템이 장착되지 않은 저가 단말의 경우 다양한 속도 예측 기법들의 [14] 적용 방안을 연구 중이다. 즉, 주어진 시스템 파라미터와 예측된 핸드오버 시그널링 지연 및 예측된 단말의 이동 속도를 이용하여 본 논문에서 제시한 분석 모델에 따라 원하는 낮은 통보 확률을 만족하는 핸드오버 시작을 위한 신호 강도 임계값을 동적으로 조절하기 위한 알고리즘 개발이 진행 중이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 3GPP, "Group Services and System Aspects: 3GPP Systems to Wireless Local Area Network (WLAN) Interworking: System Description (Release 6)," TS 23.234, v.6.2.0 Sept. 2004.
- [2] IEEE 802.21 WG, "Draft IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Media Independent Handover Services," IEEE P802.21/D02.00, Sept. 2006.
- [3] IEEE 802.11r WG, "Draft IEEE Standard for Information Technology - Telecommunications and information exchange between systems-Local and Metropolitan Area Networks - Specific requirements, Amendment 2: Fast BSS Transition," IEEE P802.11r/D7.0, July. 2007.
- [4] IEEE Std 802.16e-2005, "Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems - Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1," Feb. 2006.
- [5] C. Perkins, "IP Mobility Support for IPv4," RFC 3220, Jan. 2002.
- [6] K. El Malki, "Low Latency Handoffs in Mobile IPv4," IETF Internet Draft (draft-ietf-mobileip-lowlatency-handoffs-v4-11.txt), Oct. 2005.
- [7] R. Koodli, "Fast Handovers for Mobile IPv6," RFC 4068, Jul. 2005.
- [8] H. Soliman, C. Castelluccia, K. El Malki, and L. Bellier, "Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6)," RFC 4140, Aug. 2005.
- [9] Marc Emmelmann, "Influence of Velocity on the Handover Delay associated with a Radio-Signal-Measurement-based Handover Decision", in Proc. VTC'05, pp.2282-2286, Sept. 2005.
- [10] S. Monathy, and Ian F. Akyildiz, "A Cross-Layer (Layer 2+3) Handoff Management Protocol for Next-Generation Wireless Systems", IEEE Transaction on Mobile Computing, vol. 5, no. 10, Oct. 2006.
- [11] T. S. Rappaport, "Wireless Communications: Principles and Practice", Pearson Education International, 2002.
- [12] (2004) Wireless gigabit with advanced multimedia support available at <http://www.wigwam-project.de>
- [13] N. Hu, and P. Steenkiste, "Evaluation and Characterization of Available Bandwidth Probing Techniques," IEEE Journal of Selected Areas in Communication, vol. 21, no. 6, pp. 879-894, Aug. 2003.
- [14] S. Monathy, "VEPSD: Velocity Estimation Using the PSD of the Received Signal Strength Signal Envelope in Next Generation Wireless Systems," IEEE Transactions on Wireless Communication, vol. 4, no. 6, pp. 2655-2660, Nov. 2005.





**박재성**

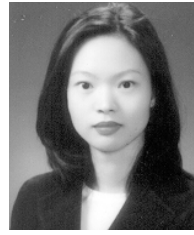
e-mail : jaesungpark@suwon.ac.kr  
1995년 연세대학교 전자공학과(학사)  
1997년 연세대학교 대학원 전자공학과  
(공학석사)  
2001년 연세대학교 대학원 전기,전자공학화  
(공학박사)

2001년~2002년 University of Minnesota PostDoc. Research Faculty

2002년~2005년 LG전자 선임연구원

2005년~현재 수원대학교 인터넷정보공학과 전임강사

관심분야: 이동성 관리 기술, 성능 평가, 무선 매쉬 네트워크 설계 등



**임유진**

e-mail : yujin@suwon.ac.kr  
1995년 숙명여자대학교 전자계산학과(학사)  
1997년 숙명여자대학교 대학원 전자계산학과  
(석사)  
2000년 숙명여자대학교 대학원 전자계산학과  
(박사)

2000년 서울대학교 Post-Doc

2000년 서울시립대학교 연구교수

2003년 University of California Los Angeles, Post-Doc

2003년 삼성종합기술원 전문연구원

2004년~현재 수원대학교 정보미디어학과 전임강사

관심분야 : 센서 네트워크, 애드혹 네트워크, 홈 네트워크 등