

# 속도적응 핸드오프 알고리즘 분석

正會員 김 영 일\*, 진 용 옥\*

## Analysis of Velocity Adaptive Handoff Algorithm

Young Il Kim\*, Yong Ok Jin\* *Regular Members*

### 요 약

이동통신 시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 효율적으로 핸드오프 실패확률을 개선시켜야 한다. 본 논문에서는 이를 위해 고속으로 이동하는 단말기의 경우 핸드오프 시작 문턱값을 낮게 설정하고, 저속으로 이동하는 이동국에 대해서는 핸드오프 시작 문턱값을 높게 설정하여 전체적으로 셀내에서 운반트래픽을 일정하게 유지하면서 핸드오프 실패확률을 줄임으로써 통신품질을 향상시키는 속도적응 핸드오프 알고리즘을 제안하고, 트래픽관점에서 이를 분석한다. 이를 위해 이동국의 속도추정 알고리즘을 제안하였고, 직각형의 셀로 구성되는 PCS시스템에서 속도에 따라 핸드오프 임계값을 달리하는 제안 알고리즘을 적용하여 핸드오프 실패확률을 60% 개선되었다.

### ABSTRACT

The handoff failure probability has to be enhanced efficiently to enhance the performance of PCS system. In this paper a new scheme called velocity adaptive handoff algorithm for reducing handoff failure probability and maintaining the carried traffic constantly in PCS systems, by assigning low handoff threshold value for high mobility calls, and assigning high handoff threshold value for low mobility calls, is presented. The performance of evaluation of this new scheme is carried out in terms of traffic characteristics. Also velocity estimation algorithm for this new scheme is presented. According to the result, the handoff failure probability of velocity adaptive handoff algorithm is enhanced about 60%.

### I. 서 론

이동통신 시스템에 있어서 핸드오프는 이동국의 이동으로 현재 이동국이 접속되어 있는 기지국의 무

선링크를 이동국이 진입하는 새로운 기지국으로 교체시키는 과정으로서, 핸드오프 실패확률을 최소화시키는 것이 통신품질 개선면에 있어서 중요한 문제로 대두되었다. 핸드오프를 결정하는 파라미터로서는 수신전계강도, 이동국의 속도, 전파지연시간등 여러가지를 고려할 수 있으나, 일반적으로 수신전계강도의 세기를 주요 파라미터로 사용하며, CDMA 방식

\*한국전자통신 연구소 신기술 연구실  
論文番號:96381-1210  
接受日字:1996年 12月 10日

의 경우 파일럿신호의 세기를 핸드오프 파라미터 값으로 사용한다. 그간의 연구결과에 따르면 핸드오프를 시작하는 핸드오프 임계값을 트래픽환경에 맞게 고정된 1개만을 사용하고 있어<sup>1-3</sup> 트래픽환경에 효과적으로 적용하지 못하였다. 따라서 기지국과 이동국간의 무선링크가 통신 가능한 품질을 유지하고 있는 동안에 셀내의 트래픽 환경에 따라 각기 다른 여러개의 핸드오프 임계값을 사용하면 핸드오프 실패 확률을 개선시킬 수 있다. 본 논문에서는 이동국의 속도에 따라 핸드오프가 시작되는 임계값을 달리 적용하는 속도적용 핸드오프 알고리즘을 제안하고 트래픽 관점에서 이를 분석하고자 한다.

속도적용 핸드오프 알고리즘을 적용하기 위해서는 이동국의 속도를 추정(estimation)할 수 있어야 한다. 정확한 속도를 추정하기 위해서는 이동국에서 기지국으로 전파되어오는 신호의 순시속도와 수신각도(direction of arrival)를 측정(measurement)해야 한다. 그러나 이 방법에서는 부가적인 하드웨어 장치와 소프트웨어가 개발되어야 한다. 본 논문에서는 이와는 달리 마이크로셀의 환경하에서 미리 시스템 설치 상태에서 이동국을 특정경로를 특정속도로 이동시키면서 지속적으로 이동국의 순시 속도를 측정하여 속도 코드북으로 만든후 이를 토대로 실지 시스템 운용시에는 이동국의 측정속도값들과 미리 설계된 속도 코드북을 비교하여 이동국의 속도를 소프트웨어만으로 추정하는 방법을 제안하고, 속도코드북의 영향을 코드북 레벨과 차원(dimension)의 변화에 따라 분석한다.

## II. 속도적용 핸드오프 알고리즘

### 1. 알고리즘

이동국이 셀 영역을 벗어나서 다른 셀로 이동시 수신전계강도의 세기가 통신품질을 유지할 수 없을 정도로 저하될 때 다른 셀로 무선채널을 절체하게 된다. 따라서 수신전계강도 세기가 곧 핸드오프 여부를 결정하는 주요 파라미터가 되며, 이동국의 속도 및 트래픽 밀도등은 보조 파라미터로서 핸드오프 임계값을 결정하는데 이용된다.

속도적용 알고리즘은 고속으로 이동하는 이동국에는 낮은 핸드오프 임계값(T\_ADD\_L)을 설정하여 핸드오프의 영역을 증대시키고, 반면에 저속의 이동국에는 높은 핸드오프 임계값(T\_ADD\_H)값을 설정하여 핸드오프 영역을 줄여줌으로써, 핸드오프 실패 확률을 줄이고 핸드오프 지역내에서 일정한 트래픽량을 유지시키게 된다. 이와같은 속도 적용 핸드오프 알고리즘에서는, 기지국에서 이동국의 속도를 추정하고, 이에따라 핸드오프 파라미터 임계값을 결정한다. 그림1은 핸드오프가 시작되는 임계값이 2개인 2레벨(bi-level) 핸드오프 알고리즘에 대한 개념을 나타내고 있으며, 이를 멀티레벨로 확장한 것이 곧 멀티레벨 핸드오프 알고리즘이다.

드오프의 영역을 증대시키고, 반면에 저속의 이동국에는 높은 핸드오프 임계값(T\_ADD\_H)값을 설정하여 핸드오프 영역을 줄여줌으로써, 핸드오프 실패 확률을 줄이고 핸드오프 지역내에서 일정한 트래픽량을 유지시키게 된다. 이와같은 속도 적용 핸드오프 알고리즘에서는, 기지국에서 이동국의 속도를 추정하고, 이에따라 핸드오프 파라미터 임계값을 결정한다. 그림1은 핸드오프가 시작되는 임계값이 2개인 2레벨(bi-level) 핸드오프 알고리즘에 대한 개념을 나타내고 있으며, 이를 멀티레벨로 확장한 것이 곧 멀티레벨 핸드오프 알고리즘이다.

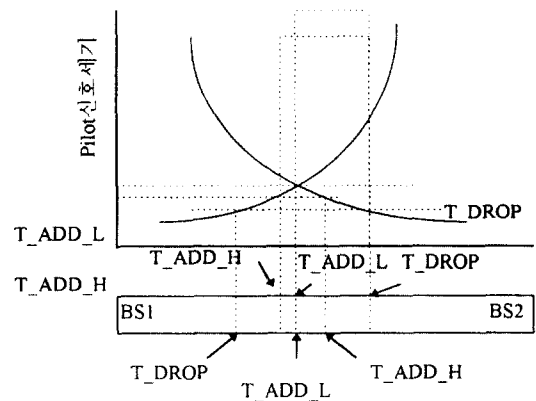


그림 1. 2 레벨 핸드오프 알고리즘 개념도  
Fig. 1. The concept of bi-level handoff algorithm

CDMA시스템의 경우 핸드오프 임계값으로서 파일럿 신호세기를 사용한다. 즉, 셀의 영역은 순방향 링크의 파일럿 신호의 크기에 따라 결정되며, 전체수신 전력밀도에 대한 파일럿 신호의 세기는 다음과 같이 표현된다.<sup>4,5</sup>

$$\begin{aligned} \frac{E_c}{I_t} &= \frac{\zeta_p p_f^c L(r) G_c G_m}{(N_0 W)_m + I_{oc}(r)W + I_o(r)W} \\ &= \frac{\zeta_p p_f^c T(r)}{(N_0 W)_m + I_{oc}(r)W + I_o(r)W} \end{aligned} \quad (1)$$

$\zeta_p$ : 파일럿 신호에 할당된 기지국 전력의 비율  
 $p_f^c$ : 기지국 전력증폭기단의 출력  
 $(N_0 W)_m$ : 이동국 LNA에서의 열잡음

$I_{oc}(r)$ : 인접셀 간섭전력 밀도

$I_o(r)$ : 셀 간섭전력 밀도

$G_c, G_m$ : 기지국 안테나 이득 및 이동국 안테나 이득

$L(r)$ : 경로 손실

$T(r)$ : 전송 손실

$W$ : 채널 대역폭

CDMA 시스템에서 소프트 핸드오프 확률은 2개의 기지국으로부터 도달하는 파일럿 신호의 세기가 통신가능한 값( $T\_DROP$ )보다 크고 핸드오프가 시작되는 임계값보다 크게되는 확률로서, 기지국1과 기지국2로 부터 이동국으로 수신되는 파일럿 신호세기를  $\frac{E_{c1}}{I_t}, \frac{E_{c2}}{I_t}$ , 핸드오프가 시작되는 파일럿 신호에 대한 임계값을  $T\_ADD$ , 핸드오프가 종료되는 임계값을  $T\_DROP$ 이라 할 때, 다음과 같이 계산된다.<sup>6-8)</sup>

$$P_h = \Pr \left[ \frac{E_{c1}}{I_t} > T\_DROP, \frac{E_{c2}}{I_t} > T\_ADD \right]$$

$$= \left[ 1 - Q \left[ \frac{10 \log \left( \frac{\zeta_1}{T\_DROP} \right) - 1}{\sigma_{z_1}} \right] - m_{z_1} \right] \left[ 1 - Q \left[ \frac{10 \log \left( \frac{\zeta_2}{T\_DROP} \right) - 1}{\sigma_{z_2}} \right] - m_{z_2} \right] \quad (2)$$

$$\text{단, } E_{c1} = \frac{\zeta_1}{1 + 10^{\frac{z_1}{10}}} \quad (3)$$

$Z_1$ : 이동국에 수신되는 기지국1의 신호에 대한 간섭 신호로서 다른 기지국으로 부터 수신되는 대수정 규분포를 갖는 간섭신호들의 합에 대한 상용 대수값  
 $Z_2$ :  $Z_1$ 과 동일하게 정의됨  
 $\sigma_{z_1}, \sigma_{z_2}, m_{z_1}, m_{z_2}$ :  $Z_1, Z_2$ 의 평균과 표준편차

그림 2는 고속의 이동국이 핸드오프를 요구하는 임계값을  $-15\text{dB}$ , 저속의 이동국이 핸드오프를 요구하는 임계값을  $-10\text{dB}$ , 이동국과 기지국간 무선링크에서 통화를 유지시킬 수 있는 최소한의 파일럿 신호세기를  $-17\text{dB}$ 로 했을 때 이동국이 두개의 기지국간을 이동시 발생하게 되는 소프트 핸드오프 발생확률을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 핸드오프 임계값을 가변시킴으로써 핸드오프 발생확률을 가변시켜 고속의 이동국이 핸드오프 지역내에 체재

할 확률을 증가시켜 핸드오프 실패확률을 최소화시킬 수 있다.

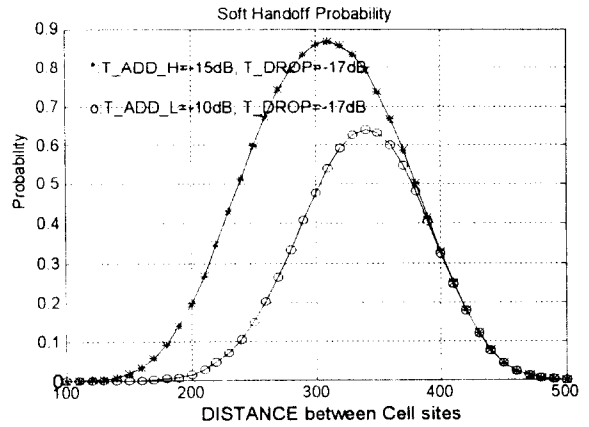


그림 2 소프트 핸드오프 발생 확률  
 Fig. 2. Soft handoff probability

2. 속도 추정

속도적용 핸드오프 알고리즘은 핸드오프 임계값을 멀티레벨로 사용하는 멀티레벨 임계값 핸드오프(Multi-level Threshold Handoff)라 할 수 있다. 그림 3은 이와같은 멀티레벨 핸드오프의 개념을 나타내고 있다. 이동국은 다양한 여러속도로 셀영역을 이동하게 되므로 이들의 속도를 몇개의 레벨로 양자화시키고, 이들 양자화된 속도레벨에 각각 다른 핸드오프 임계값을 할당함으로써 핸드오프 실패확률을 줄일 수 있다. 즉, 핸드오프 임계값( $HO\_Th$ ) 사이의 스텝 간격을  $\Delta V$ 라 할 때 다음과 같이 핸드오프 임계값을 결정한다.

$$HO\_Th = Th_i \quad \text{if} \quad V_i - \Delta V/2 \leq V_i \leq V_i + \Delta V/2$$

$$HO\_Th = Th_j \quad \text{if} \quad V_j - \Delta V/2 \leq V_j \leq V_j + \Delta V/2$$

핸드오프 임계값을 할당하는 방법에 있어서도 임계값의 간격을 균일하게 하는 경우와 이동국의 속도 분포에 따라 간격의 레벨을 달리하는 방안을 생각할 수 있다. 본 논문에서는 임계값의 간격을 균일하게 하는 경우와 가우시안 분포에서 양자화 예리확률을 최적화 시키는 MAX양자화기<sup>10)</sup>를 이용하는 방안에 대해서 분석한다.

이동국의 속도는 기지국의 다이버시티 수신기의 경로 전환율과 수신 전계강도의 레벨 교차율(level crossing rate)등을 측정함으로써 추정할 수 있다.<sup>[9]</sup> CDMA시스템의 경우는 기지국을 PN시퀀스의 오프셋값으로 구별하고(디지털 셀룰러의 경우 64 PN칩 단위로 기지국을 구별), 이동국은 기지국에서 송신한 신호를 수신한 시점에서 1msec이내에 송신시간을 조절하므로, 기지국에서 이동국간의 전파의 왕복전달 시간 지연을 주기적으로 측정함으로써 이동국의 속도를 손쉽게 추정할 수 있다.

속도적응 핸드오프 알고리즘에서는 기지국으로부터 셀 경계지역으로 향하는 방향의 이동국 속도에 따라 핸드오프 임계값을 결정해야 한다. 즉, 기지국을 정점으로 원 운동을 하는 이동국의 경우는 순시(위상)속도는 고속이더라도 기지국의 입장에서 볼때는 속도벡터는 0이 되며, 따라서 핸드오프 관련 절차는 필요없게 된다.

이동국은 셀 영역내를 랜덤한 방향으로 이동하거나(공공장소와 같은 지역), 도로와 같은 특정지역을 이동하게 되므로 셀환경에 맞는 속도를 지속적으로 추정해야 한다. 이동국이 셀내를 이동시 페이딩과 같은 이동통신 환경으로 인해 정확한 속도값을 항상 얻을 수는 없게 되므로 이동국의 속도 측정값을 유한개의 깊이를 갖는 FIFO에 저장하여 수차례 이전의 값

부터 현재까지의 측정값으로 부터 이동국의 속도를 추정한다. 이를 위해서 기지국은 속도 측정값들을 저장하고 셀 환경에 맞게 미리 설계된 속도 코드북을<sup>[12]</sup> 탐색하여 속도를 추정한다.

속도 코드북을 만들기 위한 학습벡터(training sequence)는 사전에 이동국을 임의의 속도( $V_i$  Km/h)로 셀영역을 이동시키면서 기지국에서 해당 이동국의 속도를 측정해서 획득한다.

속도 코드북의 길이(dimension)와 레벨(level)에 대한 영향을 분석하기 위해 이동국의 평균속도가 40Km/h 이고 분산이 4인 가우시안 분포를 갖는 것으로 가정할때, L.B.G 알고리즘<sup>[10]</sup>을 이용하여 코드북을 설계하였으며 이에 대한 일례는 다음의 그림 5에 나타나 있다. 그림 5에서는 코드북의 차수를 15로 할 때, 코드북의 레벨수가 각각 2, 4, 8인 경우의 속도코드북을 나타내고 있다. 코드북의 길이와 레벨에 따른 가중치 오판 확률  $P_{FL}^W$ 은 그림 6에 나타나 있다. 이 그림에서 오판확률  $P_{FL}$ 은 코드북의 레벨에 따라 다음과 같이 가중계산 되었다.

$$P_{FL}^W = \frac{1}{Level} P_{FL} \tag{4}$$

그림에서 알 수 있는바와 같이 멀티레벨에서 코드북의 길이가 커짐에 따라 오판확률이 감소됨을 알 수

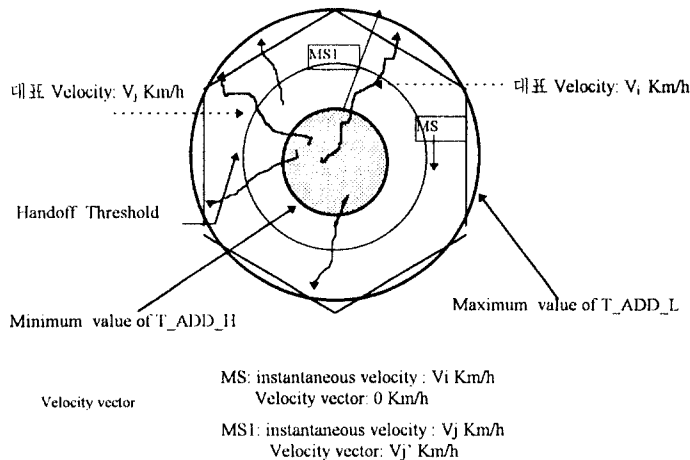


그림 3. 멀티레벨 핸드오프 및 속도 코드북 설계 개념도  
Fig. 3. The concept of multi-level threshold handoff and velocity codebook

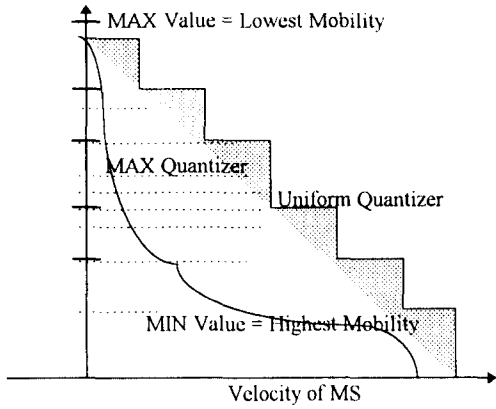
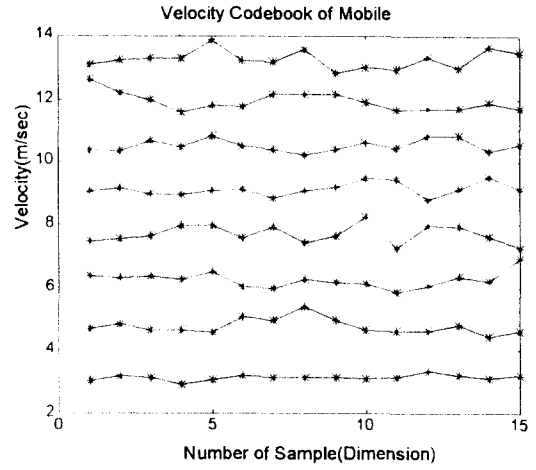
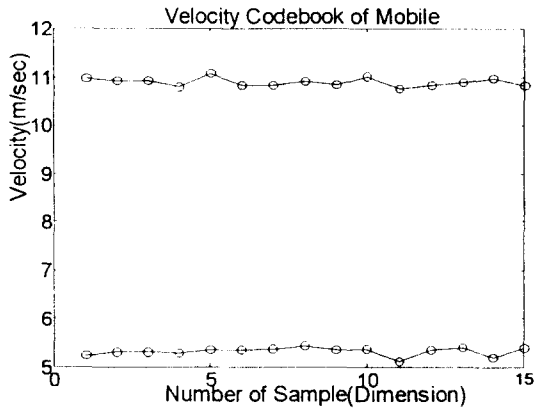


그림 4. 핸드오프 임계값 결정 개념도  
Fig. 4. The determination of handoff threshold value

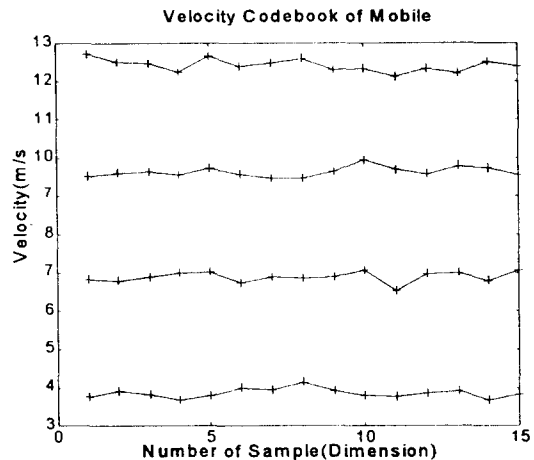


(c) 8 레벨 코드북

그림 5. 속도코드북의 예  
Fig. 5. Velocity codebook



(a) 2 레벨 코드북



(b) 4 레벨 코드북

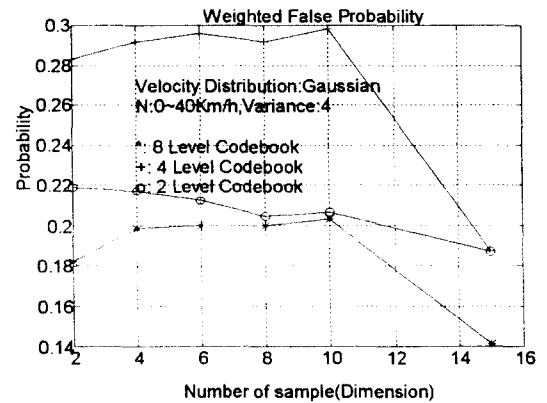


그림 6. 멀티레벨 임계값의 경우 오판확률  
Fig. 6. False alarm probability in case of multi-level threshold

있다. 즉, 속도 샘플값이 10개 이상일 때 가중치 오판 확률은 급격히 감소되는 것을 알 수 있다. 그림 7은 그림 6의 오판 확률 분석을 위한 흐름도이다.

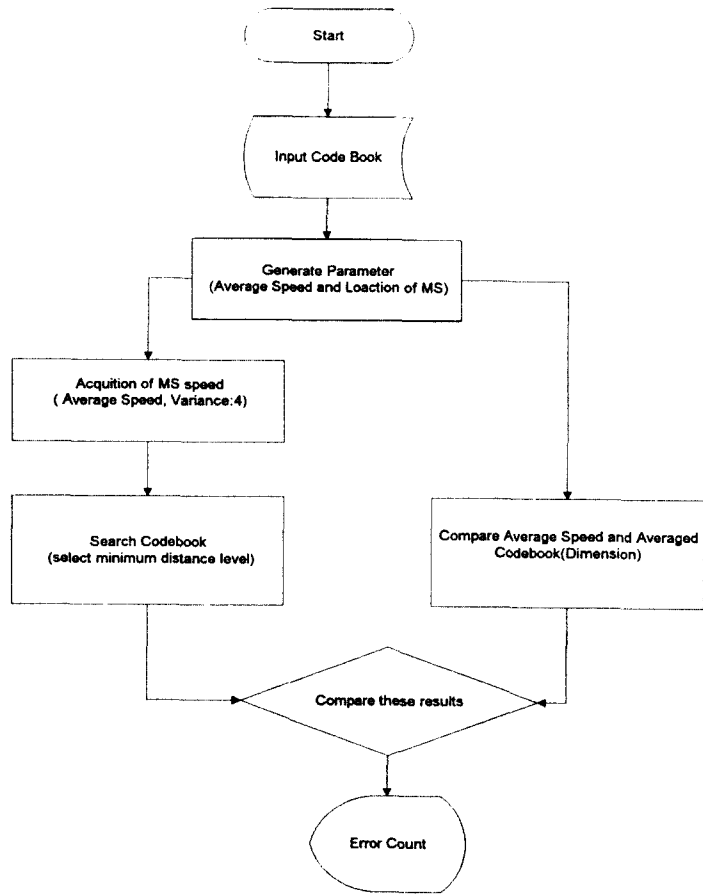


그림 7. 오판확률 분석 플로우  
Fig. 7. Analysis flow for false alarm probability

### Ⅲ. 트래픽 분석 모델

#### 1. 트래픽 관리 구조

속도적용 핸드오프알고리즘을 분석하기 위해 마이크로셀로 구성되는 시스템에서 핸드오프채널 우선순위 할당방법<sup>[11]</sup>을 사용하는 경우를 고려한다. 마이크로셀에는  $C_m$ 개의 채널과 이 채널중에서 핸드오프 전용채널( $C_{hm}$ )<sup>[2]</sup>을 두어, 핸드오프 전용채널은 핸드오프 목적으로만 사용하고, 나머지 채널( $C_m - C_{hm}$ )은 새로운 호 및 핸드오프 호에 사용한다. 즉, 새로운 호와 핸드오프 호가 발생시 차례차례 ( $C_m - C_{hm}$ )개까지 채널을 할당하고 이후부터 발생하는 새로운 호는 블러킹시키고, 핸드오프 호는 전용채널( $C_{hm}$ )이 전부 점유될때까지만 채널을 할당해주고 이후부터는 블러킹 시킨다.

셀내의 호들은 신규호  $\Lambda^n$ 과 핸드오프 호  $\Lambda^h$ 로 구성된다. 호 지속시간  $T_M$ 과 채널 체재시간  $T_H$ 이 각각 평균이  $\bar{T}_M (\cong \frac{1}{\mu_M})$ 과  $\bar{T}_H (\cong \frac{1}{\mu_H})$ 인 지수분포를 갖는다고 가정할 때, 셀의 채널이  $j$ 개 사용중인 상태를  $E_j$ 라하고 이때의 확률을  $P_j$ 라하면 생성소멸 프로세스(birth-death process)모델로부터  $P_j$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$P_0 = \left[ \begin{array}{l} C_m - C_{hm} \\ \sum_{j=0}^{C_m - C_{hm}} \frac{(\Lambda^n + \Lambda^h)^j}{j! \mu_{Hm}^j} \\ + \sum_{j=C_m - C_{hm} + 1}^{C_m} \frac{(\Lambda^n + \Lambda^h)^{C_m - C_{hm}} (\Lambda^h)^{j - (C_m - C_{hm})}}{j! \mu_{Hm}^j} \end{array} \right]^{-1} \quad (5)$$

$$P_j = \begin{cases} \frac{(\Lambda^n + \Lambda^h)^j}{j! \mu_{hm}^j} P_0 & 1 \leq j \leq C_m - C_{hm} \\ \frac{(\Lambda^n + \Lambda^h)^{C_m - C_{hm}} (\Lambda^h)^{j - (C_m - C_{hm})}}{j! \mu_{hm}^j} P_0 & C_m - C_{hm} + 1 \leq j \leq C_m \end{cases} \quad (6)$$

블러킹 확률은 채널사용 상태가  $C_m - C_{hm}$ 보다 같거나 클 확률이므로 다음과 같이 주어진다.<sup>[1]</sup>

$$P_{bm} = \sum_{j=C_m - C_{hm}}^{C_m} P_j \quad (7)$$

핸드오프 실패확률은 각각 다음의 식과 같이 주어진다.<sup>[1]</sup>

$$P_{fhm} = \Pr\{C_m \text{개 전체채널이 사용중}\} = P_{cm} \quad (8)$$

### 2. 핸드오프 파라미터

[그림 8]과 같이 직사각형의 도십지의 거리를 중심으로 마이크로셀이 형성되는 PCS시스템을 고려한다. [그림 8]에서 해석의 편의를 위해 기지국이 직사각형 셀의 교차로 중심부에 위치하고, 기지국간의 거리가 D, 핸드오프가 발생하는 지점의 거리를  $R_1$ , 핸드오프가 종료되는 지점을  $R_2$ 라 할 때  $(R_2 - R_1)$ 는 핸드오프 지역을 나타낸다. 셀내에서 신규호의 체재시간에 대한 확률변수를  $T_{dm}^n$  핸드오프호의 체재시간에 대한 확률변수를 변수를  $T_{dm}^h$ , 이동국의 위치에서 셀경계까지의 거리에 대한 확률변수를 Z, 이동국의 속도에 대한 확률변수를 V라하고 속도는 최대속도가 Vmax인 균일분포를 가지며, 이동국은 셀내에서 항상 일정한 속도를 유지하는 것으로 가정할 때, 신규호의 핸드오프 발생확률과 핸드오프 호가 재차 핸드오프를

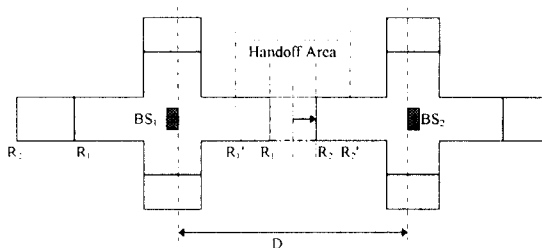


그림 8. PCS 시스템의 셀 구조  
Fig. 8. The cell architecture of PCS system.

요구할 확률은 각각 다음과 같이 주어진다.<sup>[1, 12-13]</sup>

$$p_m^n = \text{Prob}\{T_M > T_{dm}^n\} = \frac{1}{\mu_M} \frac{V_{\max}}{R_1} (1 - e^{-\mu_M R_1 / V_{\max}}) \quad (9)$$

$$p_m^h = \text{Prob}\{T_M > T_{dm}^h\} = \exp(-\mu_M \frac{R_2 - R_1}{V_{\max}}) \quad (10)$$

## IV. 성능 분석

### 1. 트래픽 환경

속도적응 핸드오프 알고리즘을 분석하기 위해 길이가 600m인 직사각형의 셀에서 핸드오프 영역이 셀 전체 면적의 30%로 설정하고, 전체 10개의 채널중에서 2개의 채널을 핸드오프 전용채널로 사용하고, 2종류의 이동국 속도를 고려한다. 즉, 이동국의 속도가 0~20 Km/h로 균일하게 분포하는 경우와, 평균이 10 Km/h이고 표준편차가 4인 가우시안 분포를 갖는 경우를 고려할 때 속도적응 핸드오프 알고리즘에 대한 성능분석은 다음과 같다.

### 2. 성능 분석

다음과 같은 절차를 통해 성능분석을 수행하였다.

- 셀내에 걸쳐서 균일하게 신규호가 발생하며
- 핸드오프호는 핸드오프 지역을 제외한 영역에서 발생하는 신규호( $\Lambda^n$ )와 핸드오프 발생확률(식 9)의 곱과, 다른셀로부터 핸드오프 되어온 호( $\Lambda_h^h$ )가 핸드오프를 요구할 확률(식 10)의 곱, 그리고 핸드오프 지역에서 발생하는 신규호(과 핸드오프 호  $\Lambda_h^n$ )들의 합으로 이루어진다.

$$\Lambda^h = \Lambda^n \cdot P_m^n + \Lambda_h^h \cdot P_m^h + \Lambda_h^n \quad (11)$$

2레벨 임계값 핸드오프알고리즘을 적용시 고속의 호와 저속의 호의 비율 및 트래픽량에 따른 블러킹 확률과 핸드오프 실패확률을 분석하였으며, 결과는 그림 9와 그림 10과 같다. 그림 9는 고속의 호가 핸드오프를 요구하는 지점과 저속의 호가 핸드오프를 요구하는 지점간의 비가 0.46일때 저속과 고속의 호의 비율이 각각 0.2, 0.4, 0.8 일때의 블러킹 확률분포를 나타내고 있다. 호도착율이 0.2~0.4call/m<sup>2</sup>인 범위에서 저속과 고속의 호의 비율이 0.4일때는 저속과 고속의

호의 비율이 0.8일 때보다 블러킹 확률이 15~35% 감소되고 있으며, 저속과 고속의 호의 비율이 0.2일 때는 25~55%의 감소효과를 나타내고 있다. 즉, 고속의 호가 주류를 이룰 때 저속호에 핸드오프 임계값을 다르게 설정함으로써 블러킹 확률을 개선시킬 수 있음을 알 수 있다.

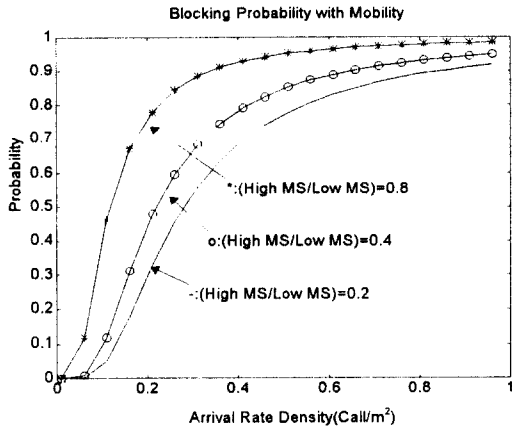


그림 9. 이동국의 이동성의 변화에 따른 블러킹 확률 분포  
Fig. 9. Blocking probability according to the variation of mobility

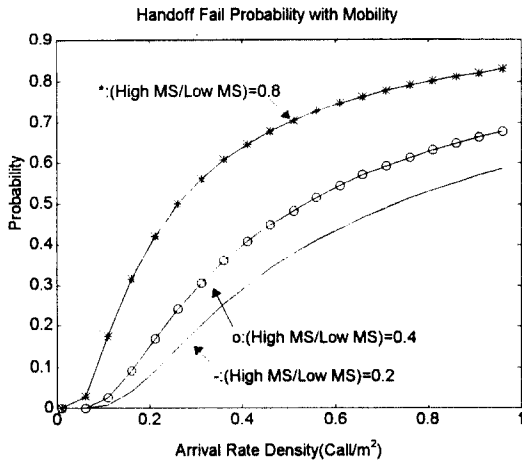


그림 10. 이동국의 이동성의 변화에 따른 핸드오프 실패 확률 분포  
Fig. 10. Handoff failure probability according to the variation of mobility

그림 10은 그림 9의 조건에서 핸드오프 실패확률 분포를 나타내고 있으며, 그림에서 보는 바와 같이 저속과 고속의 호의 비율이 0.4일 때는 저속과 고속의 호의 비율이 0.8일 때보다 핸드오프 실패확률이 35~55% 감소되고 있으며, 저속과 고속의 호의 비율이 0.2일 때는 50~75%의 감소효과를 나타내고 있다.

그림 11과 그림 12는 멀티레벨 임계값 핸드오프 알고리즘을 임계값 레벨에 따라 표 1의 통신환경하에서

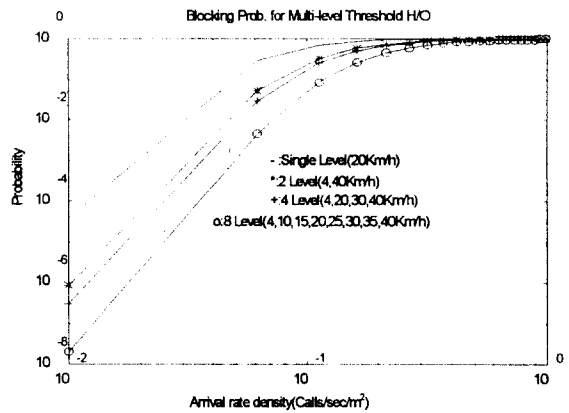


그림 11. 멀티레벨 임계값 핸드오프알고리즘의 블러킹 확률(1)

Fig. 11. Blocking prob. of multi-level threshold handoff algorithm(1)

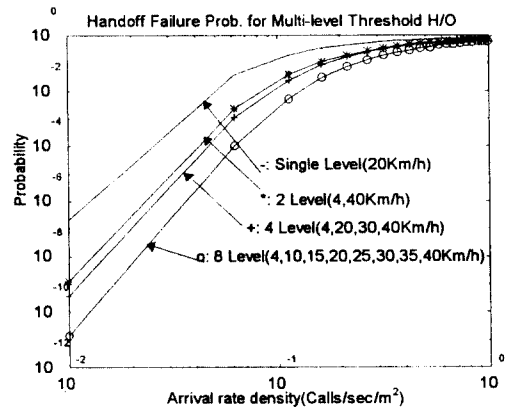


그림 12. 멀티레벨 임계값 핸드오프알고리즘의 핸드오프 실패 확률(1)

Fig. 12. Handoff failure prob. of multi-level threshold handoff algorithm(1)



표 1. 멀티레벨 핸드오프 알고리즘 분석 트래픽 환경(1)

Table 1. Traffic environment parameter for multi-level threshold handoff algorithm(1)

Level	Km/h	Weight	Level	Km/h	Weight	Level	Km/h	Weight	Level	Km/h
V1_max	4	0.05	V1_max	4	0.1	V1_max	4	0.3	V1_max	20
V2_max	10	0.05								
V3_max	15	0.1								
V4_max	20	0.1	V2_max	20	0.2					
V5_max	25	0.15								
V6_max	30	0.15	V2_max	30	0.3	V2_max	40	0.7		
V7_max	35	0.2								
V8_max	40	0.2	V4_max	40	0.4	T_ADD/ T_DROP				
( 1- 0.6289)										

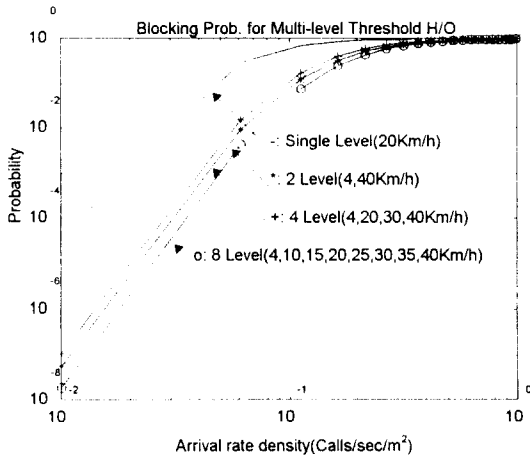


그림 13. 멀티레벨 임계값 핸드오프알고리즘의 블러킹 확률(2)

Fig. 13. Blocking prob. of multi-level threshold handoff algorithm(2)

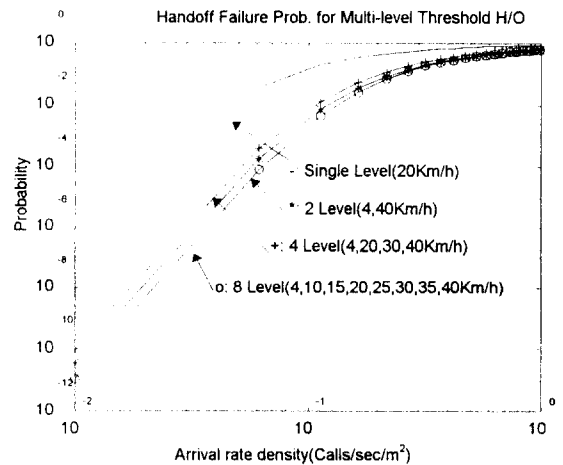


그림 14. 멀티레벨 임계값 핸드오프알고리즘의 핸드오프 실패확률(2)

Fig. 14. Handoff failure prob. of multi-level threshold handoff algorithm(2)

표 2. 멀티레벨 핸드오프 알고리즘 분석 트래픽 환경(2)

Table 2. Traffic environment parameter for multi-level threshold handoff algorithm(2)

Level	Km/h	Weight	Level	Km/h	Weight	Level	Km/h	Weight	Level	Km/h
V1_max	4	0.125	V1_max	4	0.25	V1_max	4	0.5	V1_max	20
V2_max	10	0.125								
V3_max	15	0.125								
V4_max	20	0.125	V2_max	20	0.25					
V5_max	25	0.125								
V6_max	30	0.125	V2_max	30	0.25	V2_max	40	0.5		
V7_max	35	0.125								
V8_max	40	0.125	V4_max	40	0.25	T_ADD/ T_DROP				
(1- 0.6289)										

트래픽 성능을 분석한 결과로서 각각 블러킹 확률과 핸드오프 실패 확률 분포를 나타내고 있다. 이때 핸드오프 영역은 셀 내에서 최초로 핸드오프가 시작되는 지점(T\_ADD)과 최후로 핸드오프가 종료되는 지점(T\_DROP)의 비가 0.3711 일 때를 기준으로 하였으며, 그림에서 보는바와 같이 멀티레벨 핸드오프 알고리즘을 적용하는 경우가 그렇지 않는 경우보다 우수한 성능을 나타내고 있다. 특히 셀 내에 고속의 이동국이 많이 분포되었을 때 더 우수한 성능을 나타내고 있음을 알 수 있다.

그림 13과 그림 14는 표2의 통신환경하에서 트래픽 성능을 분석한 결과이다. 이는 위의 경우와 달리 셀 내에 이동국의 속도분포가 균일한 경우에 대한 결과로서 역시 멀티레벨의 경우가 단일 레벨의 경우보다 우수한 성능을 나타내고 있으나, 2 레벨의 경우와 4 레벨의 경우만을 비교할 때는 2레벨의 경우가 4레벨의 경우보다 약간 우수한 결과를 나타내고 있다. 이는 표2에 주어진 환경하에서 2레벨의 경우가 4레벨의 경우보다 평균적으로 핸드오프 확률이 약간 증가했기 때문이다. 이상과 같이 속도적용 알고리즘의 효과는 고속의 단말기가 증가함에 따라 블러킹 및 핸드오프 실패 확률 측면에서 현저하게 개선되는 결과를 나타내고 있다.

그림 15와 그림 16은 표3의 통신환경하에서 성능을 분석한 결과이다. 이는 이동국의 속도분포가 Gaussian 분포로서 평균이 20 Km/h이고 분산이 8인 넓은 분포(broad distribution)를 갖는 경우 이에따라 핸드오프 임계값들을 MAX양자화기의 레벨값으로 설정했을 때의 블러킹 확률과 핸드오프 실패 확률을 나타낸 것이다. 이 경우도 이동국의 속도가 균일분포를 갖는 경우와 유사한 성능분포를 나타내고 있다. 그림 17은 MAX양자화기를 이용하는 경우, 핸드오프를 위한 멀티레벨 임계값들의 간격분포를 나타내고 있다.

그림 18과 그림 19는 핸드오프 임계값을 설정할 때 균일한 분포로 설정하는 경우와 그림 15와 그림 16과 같이 MAX양자화기를 이용하는 경우를 비교한 결과이다. 그림에서 알 수 있는바와 같이 핸드오프 임계값의 레벨(갯수)을 높이는 경우에는 임계값간의 간격을 균일한 분포를 갖도록 설정하는 경우보다 MAX양자화기의 레벨로 설정하는 경우에 핸드오프 실패 확률과 블러킹 면에서 우수한 성능을 나타내었다. 반

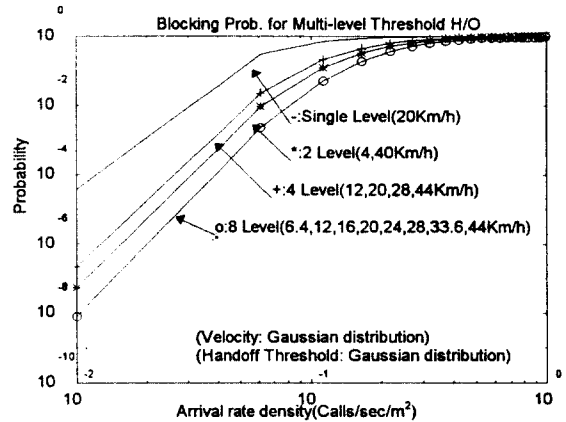


그림 15. 멀티레벨 임계값 핸드오프 알고리즘의 블러킹 확률(3)

Fig. 15. Blocking prob. of multi-level threshold handoff algorithm(3)

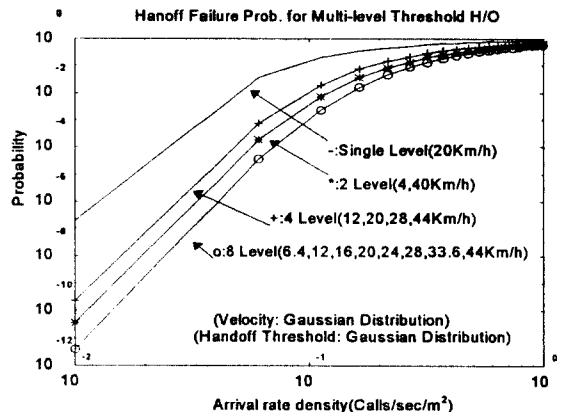


그림 16. 멀티레벨 임계값 핸드오프 알고리즘의 핸드오프 실패 확률(3)

Fig. 16. Handoff failure prob. of multi-level threshold handoff algorithm(3)

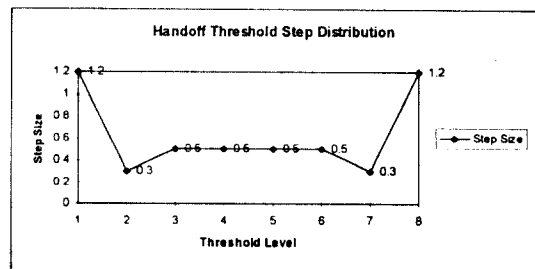


그림 17. 멀티레벨 임계값 간격 분포

Fig. 17. Handoff threshold step for Gaussian distribution

표 3. 멀티레벨 핸드오프 알고리즘 분석 트래픽 환경(3)

Table 3. Traffic environment parameter for multi-level threshold handoff algorithm(3)

Level	Km/h	Weight	Level	Km/h	Weight	Level	Km/h	Weight	Level	Km/h
V1_max	6.4	0.045	V1_max	12	0.159	V1_max	4	0.5	V1_max	20
V2_max	12	0.114								
V3_max	16	0.15								
V4_max	20	0.191								
V5_max	24	0.191	V2_max	27.8	0.341	V2_max	40	0.5	T_ADD/	T_DROP
V6_max	28	0.15							(1-	0.6289)
V7_max	33.6	0.114								
V8_max	44	0								
		.045	V4_max	44	0.158					

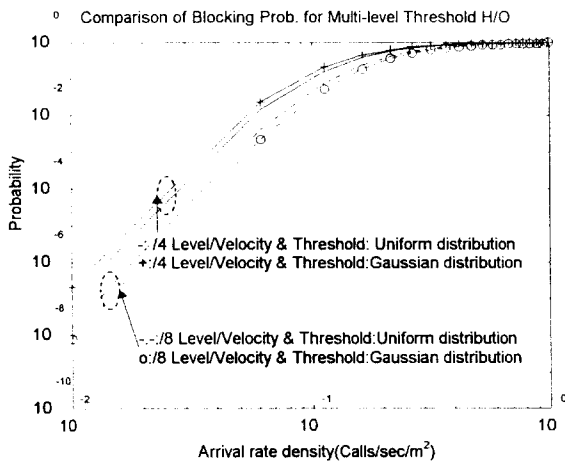


그림 18. 멀티레벨 임계값 핸드오프알고리즘의 블러킹 확률비교  
Fig. 18. Comparison of blocking prob. of multi-level threshold handoff algorithm

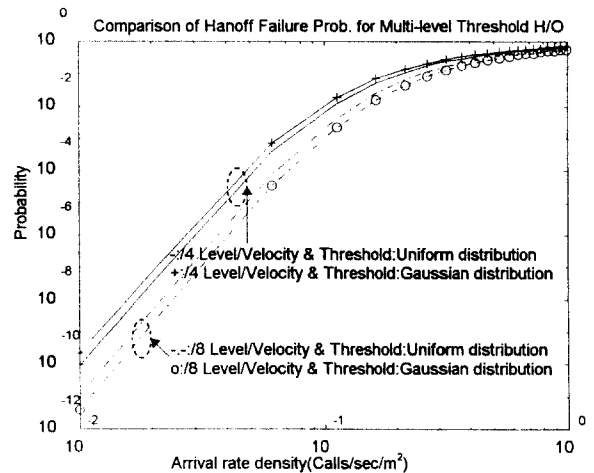


그림 19. 멀티레벨 임계값 핸드오프알고리즘의 핸드오프 실패확률비교  
Fig. 19. Comparison of handoff failure prob. of multi-level threshold handoff algorithm

면에 레벨이 작은 경우에는 균일한 분포로 임계값을 설정하는 경우가 오히려 우수한 성능을 나타내고 있다.

3. 시뮬레이션

속도적용 핸드오프 알고리즘에 대한 시뮬레이션을 수행하기 위해 서비스지역이 25개의 직각형 마이크로셀로 구성된 트래픽 환경을 고려한다. 호지속 시간은 평균이 100초인 부지수분포를 갖는 것으로 하고,

각 이동국은 도로를 따라 구성된 매크로셀을 호설정시의 속도로 지속적으로 이동하며, 서비스지역의 경계지역에서는 방향을 180도 바꾸는 것으로(mirror path) 설정하였다. 전체 10개의 채널중에서 2개의 채널을 핸드오프 전용채널로 사용하는 핸드오프 채널 우선 순위할당방법을 적용하였다. 또한, 소프트 핸드오프의 영역을 전체 셀면적의 33%로 설정하고, 소프트 핸드오프 지역내에서 핸드오프를 요청한 호가 유휴채

널을 획득하지 못할 때에 핸드오프를 재시도하는 경우와 그렇지 않는 경우로 구별하고 핸드오프 임계값의 레벨을 1, 2, 4, 8로 가면서 가면서 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 20은 핸드오프절차시 재시도를 하지 않는 경우에 대한 결과로서 블러킹 확률과 핸드오프 실패 확률이 모두 임계값의 레벨수를 증대시킬 때 개선되는 효과를 나타내고 있다. 트래픽의 량이 증대할 때 블러킹 확률보다 핸드오프 실패 확률이 핸드오프 레벨을 증가에 따라 현저히 개선되는 것을 알 수 있다.

그림 21은 핸드오프절차시 블러킹되는 경우 10초 간격으로 1회에 한하여 재시도를 하는 경우에 대한 결과로서 블러킹 확률과 핸드오프 실패 확률이 모두 임계값의 레벨수를 증대시킬 때 개선되는 효과를 나타내고 있다. 블러킹 확률은 핸드오프 재시도를 수행하지 않는 경우와 유사한 특성을 나타내고 있으나, 핸드오프 실패 확률은 트래픽 량이 0.04 calls/25cells 이상으로 증가됨에 따라 전반적으로 재시도 알고리즘을 사용하지 않는 경우보다 60% 이상의 개선효과를 나타내고 있다. 핸드오프 재시도 알고리즘 적용시 트래픽의 증가에 따라 멀티레벨의 수를 증대시켜도 재시도를 허용하지 않는 경우보다 이득의 변화폭이 크지않게 됨을 알 수 있다. 결론적으로 핸드오프를 재시도하는 알고리즘을 채택하는 것이 바람직하며, 핸드오프 재시도 알고리즘을 사용하지 않는 경우에는

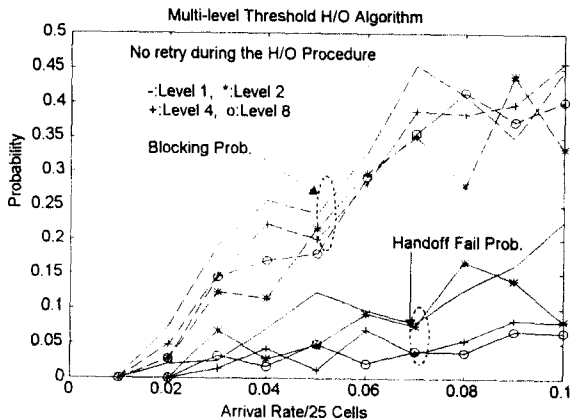


그림 20. 멀티레벨 임계값 핸드오프알고리즘의 시뮬레이션 결과(1)

Fig. 20. The simulation result of multi-level threshold handoff algorithm(1)

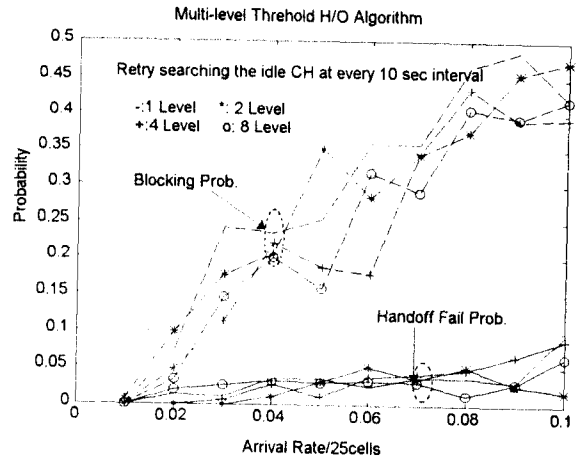


그림 21. 멀티레벨 임계값 핸드오프알고리즘의 시뮬레이션 결과(2)

Fig. 21. The simulation result of multi-level threshold handoff algorithm(2)

핸드오프 레벨의 수를 반드시 늘려주어야 핸드오프 실패 확률면에서 이득이 개선되는 것을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 이동국의 속도분포에 따라 핸드오프 임계값을 달리하는 속도적용 핸드오프 알고리즘을 제안하고 이를 분석하였다. 이동통신 환경하에서 추정된 속도의 신뢰성을 높이고 멀티레벨 핸드오프 알고리즘을 구현하기 위해 속도 코드북 개념을 새롭게 도입하였다. 가우시안 분포를 갖는 속도 코드북의 경우 레벨의 수가 커짐에 따라 코드북의 길이(dimension)가 10이상으로 될때 오판확률이 선형적으로 감소되는 것을 알 수 있었다. 속도적용 핸드오프 알고리즘은 멀티레벨의 경우 아주 우수한 성능을 나타내었다. 이동국의 속도 분포가 균일 분포를 갖는 상황에서 단일 레벨과 8레벨의 경우를 비교할 때, 트래픽 량이 0.01~0.1 calls/m<sup>2</sup>인 범위에서 8레벨이 블러킹 확률 측면에서 10~35dB, 핸드오프 실패 확률 측면에서 20~40dB정도의 이득특성을 나타내었다. 또한, 멀티레벨 핸드오프 알고리즘에서 핸드오프 임계값의 간격을 등간격, MAX양자화기 스텝간격을 갖는 경우

에 대해 각각 비교했을 때 임계값의 레벨이 증가할때 (4~8레벨) MAX양자화기 스텝의 경우가 등간격 양자화기 보다 성능이 우수한 것을 알 수 있었다. 속도 적응 핸드오프 절차수행시 유휴채널이 없는 경우에 일정시간이 경과후 핸드오프 절차를 재시도하는 경우와 그렇지 않는 경우에 대해서 각각 핸드오프 임계값의 레벨에 따른 시스템성능을 시뮬레이션한 결과에 따르면, 블리킹 확률은 핸드오프 재시도를 수행하지 않는 경우와 유사한 특성을 나타내고 있으나, 핸드오프 실패확률은 트래픽량이 0.04 calls/25cells 이상으로 증가됨에 따라 전반적으로 60% 이상의 개선효과를 나타내고 있다.

### 참 고 문 헌

1. Hong, S.S Rappaport, "Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procedures", IEEE Trans. Veh. Technol., vol VT-35, No-3, p77-92, August 1986.
2. Fotini-Niovi Pavlidou, "Mixed Media Cellular System", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol 42, No-2/3/4, 3, pp848-853, Feb./Mar./Apr., 1994.
3. Masugi Inoue, H.M, M.M, "Performance Analysis of Microcellular Mobile Communication Systems", 44th IEEE VTC Conference, pp135-139. June 1994.
4. Q ualcomm, The CDMA Network Engineering Handbook, Qualcomm, 1993.
5. Joseph Shapira, "Microcell Engineering in CDMA Cellular Networks", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 43, No. 4, pp817-825, November 1994.
6. Pulin R. Patel, Usman S. Goni, et al, "A simple analysis of CDMA soft handoff gain and its effect on the cells coverage area", 5th WINLAB Workshop on Third Generation Wireless Information Networks, WINLAB, Rutgers University, NJ, April 26-27, 1995.
7. A.M. Viterbi and A.J. Viterbi, Klein S. Gilhousen, "Soft Handoff Extends CDMA Cell Coverage and Increases Reverse Link Capacity", IEEE Journal on Slected Area in Communication, Vol. 12, No.8.

- pp.1281-1288, Oct. 1994.
8. Schwartz, S.C., Yeh, Y.S., "On the distribution function and moments of power sums with log-normal component", Bell system Tecn. J. vol. 61, No. 7, pp1441-1462, Sep 1982.
9. Kazuo Kawabata, Tanaka Nakamura, "Eisuke Fukuda, "Estimating Velocity Using Diversity Reception", 44th IEEE VTC Conference, pp371-374. June 1994.
10. Y. Linde, A. Buzo, Robert M. Gray, "An Algorithm for Vector Design", IEEE Trans. Comm., vol COM-28, No.1, pp84-95, January 1980.
11. 김영일, 진용옥, "다중계위 셀 구성을 갖는 PCS망의 트래픽 분석", 한국통신학회 논문지 제21권 제2호, pp. 394-408, 1996.
12. 김영일, 진용옥, "음성/데이터 복합서비스 PCS시스템의 트래픽 분석", 대한전자공학회 논문지, 제33권 6호, 1996.
13. John G. Proakis, Digital Communications, McGraw-Hill, Inc., 1995.



김 영 일(Young Il Kim) 정회원  
 1985년 2월: 경희대학교 전자공학과(공학사)  
 1988년 2월: 경희대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 1996년 8월: 경희대학교 대학원 전자공학과(공학박사)  
 1984년 12월~1986년 3월: 삼성전자(연구원)

1988년 3월~현재: 한국전자통신연구소 신호기술 연구실 선임연구원

1994년 8월: 정보통신 기술사

1995년 1월: 전기통신 기술사

진 용 옥(Yong Ok Jin) 정회원  
 현재: 경희대학교 전과공학과 교수  
 한국통신학회 논문지 제20권 제10호 참조