

핸드오버 지속시간을 고려한 핸드오버 제어방식의 성능분석

正會員 林錫鳩*, 張喜善**, 柳濟勳**, 丁大權***

Performance Analysis of Handover Control Scheme Considering Handover Duration Time

Seog-Ku Lim*, Hee-Seon Jang**, Jea-Hoon Yoo**, Dae-Gwon Jeong*** *Regular Members*

요 약

큐(queue)를 이용하여 핸드오버호의 블러킹 확률을 감소시키는 방식들은 핸드오버 지속시간(handover duration time: 이동가입자 수신단에서의 평균 수신전력 레벨이 핸드오버 임계값과 수신기 임계값 사이에 머무르는 시간)을 토대로 큐에 대기중인 핸드오버호를 서비스한다. 본 논문에서는 핸드오버 지속시간의 분포를 추정하고 이를 토대로 핸드오버호를 FCFS(First Come First Serve) 형태로 서비스하는 경우의 성능을 해석적으로 분석하며 이를 시뮬레이션 결과와 비교한다. 또한, 이동가입자 수신전력을 기초로 큐에 있는 핸드오버호의 우선순위를 결정하여 서비스하는 MBPS(Measurement Based Prioritization Scheme) 방식에 대한 시뮬레이션을 수행하여 그 결과를 FCFS 방식인 경우와 비교 분석한다. 분석 결과 FCFS 방식에 비해 MBPS 방식의 핸드오버호 블러킹 확률은 감소하지만 새로운호의 블러킹 확률의 증가로 셀당 운반 트래픽은 거의 동일함을 알 수 있다.

ABSTRACT

The handover area is the region where a call can be handled by the base stations in any of the adjacent cells, and handover duration time is viewed as the time an mobile station resides in the handover area. In this paper, analytic model to estimate the distribution function(df) of the handover duration time is proposed. Based on the df of the handover duration time, the simulation and analytic models for the First Come First Serve(FCFS) scheme are

* 舟城專門大 電子科

Department of Electronics, Juseong College

** 韓國電子通信研究所 移動交換研究室

Mobile Switching Section, ETRI

*** 韓國航空大學校 航空電子工學科

Department of Avionics Engineering, Hankuk Aviation University

論文番號:96146-0511

接受日字:1996年 5月 11日

presented, and the simulation results for the Measurement Based Prioritization Scheme(MBPS) are compared with the analytic results of the FCFS handover scheme. Those results show that the MBPS scheme is seen to provide lower handover failures than FCFS queueing with slightly increasing the new call blocking probability.

I. 서 론

이동가입자의 수요가 증가함에 따라 셀의 크기가 점점 작아지는 이동통신시스템에서 핸드오버 처리과정은 시스템 성능에 많은 영향을 미치므로 핸드오버호(handover call)의 블러킹 확률은 시스템 성능평가의 주요 요소중 하나이다. 핸드오버호에 우선순위를 주지 않은 방식에서 핸드오버호는 새로운호(new call)와 동일하게 취급되므로 핸드오버호의 블러킹 확률은 새로운호의 블러킹 확률과 같다. 그러나 서비스 기준의 관점에서 보면 핸드오버호의 블러킹 확률을 가능한 낮추는 것이 매우 바람직할 것으로 사료된다.

현재까지 핸드오버호의 블러킹 확률을 낮추기 위한 방식은 크게 두가지가 제안되었다. 핸드오버호를 위한 전용채널을 두는 RCS(Reservation Channel Scheme) 방식과 핸드오버호를 큐잉(Queueing)시키는 방식이다⁽¹⁾⁽²⁾. 핸드오버호를 큐잉시키는 방식은 단순히 핸드오버호를 FCFS(First Come First Serve) 형태로 운영하는 방식과 이동체의 수신전력을 기초로 큐에 있는 핸드오버호의 우선순위를 결정하여 서비스하는 MBPS(Measurement Based Prioritization Scheme)방식이 있다⁽³⁾⁽⁴⁾. 이외의 다른 방식들은 위 두가지 방식의 변형으로 볼 수 있다. 일반적으로 핸드오버호에 우선순위를 주는 방식들은 핸드오버호의 블러킹 확률은 감소되지만 새로운호의 블러킹 확률이 증가하는 성질을 갖는다.

핸드오버호를 위하여 전용채널을 두는 RCS 방식은 핸드오버호의 블러킹 확률을 감소시키지만 새로운호의 블러킹 확률은 급격하게 증가하며 셀내에 할당된 채널을 비효율적으로 사용하므로 총 운반트래픽이 매우 낮은 특성을 갖고 있다. 핸드오버호의 블러킹 확률을 감소시키기 위한 또다른 방법인 FCFS 방식은 핸드오버 요구시 목표셀(target cell)에 유휴 채널이 없을 경우 핸드오버호를 큐에 대기시키는데 핸드오버 지속시간(handover duration time)내에 유휴 채널이 생기면 성공적으로 호는 진행되며 그렇지 않

으면 블러킹된다. MBPS 방식에서는 목표셀에 유휴 채널이 생긴 순간 큐에 있는 핸드오버호중에서 가장 낮은 수신레벨을 갖는 호에 가장 높은 우선순위를 부여하여 우선적으로 서비스하는 방식과 목표셀에 유휴채널이 생긴 순간 큐에 있는 핸드오버호중에서 가장 작은 핸드오버 지속시간을 갖는 호에 가장 높은 우선순위를 부여하여 우선적으로 서비스하는 두가지 방식이 있다.

큐를 이용하여 핸드오버호의 블러킹 확률을 감소시키는 방식들, 즉 FCFS 방식과 MBPS 방식들은 모두 핸드오버 지속시간의 분포를 토대로 큐에 대기중인 핸드오버호를 서비스하기 때문에 핸드오버 지속시간의 분포의 추정은 매우 중요하다고 할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 먼저 적합도 검정을 통하여 핸드오버 지속시간의 분포를 추정하고 이를 토대로 핸드오버호가 FCFS 형태로 서비스되는 경우의 성능을 해석적으로 분석하며 이를 시뮬레이션 결과와 비교한다. 또한 두가지 MBPS방식인 경우에 대해서도 시뮬레이션을 수행하여 그 결과를 FCFS 방식의 시뮬레이션 결과와 비교 분석한다.

II. 핸드오버 지속시간

핸드오버 영역(handover area)은 이동가입자 수신단에서의 평균 수신전력 레벨이 핸드오버 임계값과 수신기 임계값 사이에 있는 영역으로서 정의된다. 셀의 형태가 그림 1에서와 같이 반지름이 R 인 원이라고 가정하고, 가입자가 old-기지국 영역(B)에서 new-기지국 영역(A)으로 이동할 때 무선국에서의 전파 특성상 old-기지국과 new-기지국 셀간에 겹쳐지는 영역을 핸드오버 영역이라고 볼 수 있다.

Old-기지국에서의 무선채널을 이용하여 통화중인 이동가입자는 B지점(수신전력이 핸드오버 임계값에 도달하는 지점)에서 new-기지국에게 새로운 통화채널을 요구하며, 이러한 핸드오버호에 대해 new-기지국은 가입자가 A지점(수신전력이 수신기 임계값에

도달하는 지점에 이르기전 까지 통화채널을 할당해 주어야 한다. 이와같이 이동가입자가 B에서 A까지 이동하는데 소요되는 시간, 즉 핸드오버 영역에 머무르는 시간을 핸드오버 지속시간이라 한다.

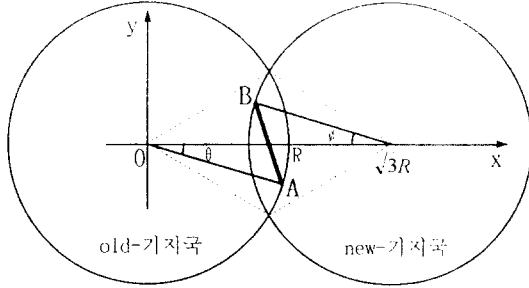


그림 1. 핸드오버 영역
Fig. 1 Handover area

1. 분석 모델

핸드오버 지속시간의 분석은 우선 그림 1과 같이 셀간 겹쳐진 영역내에서 이동가입자가 이동한 거리와 이동가입자의 속도를 토대로 핸드오버 지속시간에 대한 분포함수를 추정한다. 본 논문에서는 그림 1에서의 상황을 모델링하여 이를 시뮬레이션 수행한 데이터를 근거로 핸드오버 지속시간의 분포를 추정하고자 하며 또한 추정하고자 하는 분포함수는 지수 분포, 감마분포, 대수정규분포를 고려한다. 그림 1과 같이 가입자가 핸드오버 영역에서 움직인 거리는 B(출발점)에서 A(종점)까지이며, 여기서 B와 A의 좌표 값은 각각 ϕ 와 θ 에 의해 결정된다. ϕ 와 θ 는 서로 독립인 확률변수이며 모두 $-\pi/6$ 부터 $\pi/6$ 까지의 값을 갖는 Uniform분포를 따른다. 그리고 가입자의 이동속도는 이동거리와 독립인 V_{min} 과 V_{max} 사이의 Uniform 분포로 가정한다. old-기지국이 위치한 지점을 좌표 값 $(0, 0)$ 이라고 할 때 A와 B의 좌표 값과 A, B 사이의 이동거리를 θ, ϕ 에 대해 나타내면 다음 식과 같다.

$$A = R(\cos\theta, \sin\theta), \quad (-\pi/6 \leq \theta \leq \pi/6)$$

$$B = R(\sqrt{3} - \cos\phi, \sin\phi), \quad (-\pi/6 \leq \phi \leq \pi/6)$$

$$Z = \overline{AB} = R \sqrt{(\cos\theta + \cos\phi - \sqrt{3})^2 + (\sin\theta - \sin\phi)^2}$$

$$= R \sqrt{2\cos(\theta + \phi) - 2\sqrt{3}(\cos\theta + \cos\phi) + 5}$$

$$(0 \leq Z \leq R) \tag{1}$$

식(1)을 이용하여 이동거리의 평균과 2차 모멘트를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$E[Z] = \int_{\phi} \int_{\theta} R \sqrt{(\cos\theta + \cos\phi - \sqrt{3})^2 + (\sin\theta - \sin\phi)^2} f_{\Theta\Phi}(\theta, \phi) d\theta d\phi$$

$$E[Z^2] = \int_{\phi} \int_{\theta} R^2 \{(\cos\theta + \cos\phi - \sqrt{3})^2 + (\sin\theta - \sin\phi)^2\} f_{\Theta\Phi}(\theta, \phi) d\theta d\phi \tag{2}$$

여기서 θ 와 ϕ 의 결합 확률밀도함수(Joint pdf)는 다음과 같다.

$$f_{\Theta\Phi}(\theta, \phi) = f_{\Theta}(\theta) f_{\Phi}(\phi) = \frac{9}{\pi^2},$$

$$(-\pi/6 \leq \theta \leq \pi/6, -\pi/6 \leq \phi \leq \pi/6) \tag{3}$$

또한, 가입자의 이동속도를 V_{min} 과 V_{max} 사이의 Uniform 분포로 가정하였으므로 이동속도 V 의 확률밀도함수(pdf)는 식(4)와 같고 $1/V$ 과 $1/V^2$ 의 평균은 식(5)와 같다.

$$f_V(v) = \frac{1}{V_{min} - V_{max}}, \quad V_{min} < v < V_{max} \tag{4}$$

$$E\left[\frac{1}{V}\right] = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{v} f_V(v) dv = \frac{1}{V_{max} - V_{min}} \ln\left[\frac{V_{max}}{V_{min}}\right]$$

$$E\left[\frac{1}{V^2}\right] = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{v^2} f_V(v) dv = \frac{1}{V_{max} V_{min}} \tag{5}$$

가입자의 이동거리와 이동속도를 서로 독립인 확률변수로 가정할 때, 식(2)와 식(5)를 이용하여 핸드오버 지속시간 $T_h = Z/V$ 의 평균과 2차 모멘트의 평균을 구하면 식(6)과 같다.

$$E[T_h] = E\left[\frac{Z}{V}\right] = E[Z] E\left[\frac{1}{V}\right]$$

$$E[T_h^2] = E\left[\left(\frac{Z}{V}\right)^2\right] = E[Z^2] E\left[\frac{1}{V^2}\right] \quad (6)$$

또한 식(6)을 이용하여 핸드오버 지속시간 T_h 의 분산과 표준편차를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Var[T_h] &= E[T_h^2] - \{E[T_h]\}^2 \\ SD[T_h] &= \sqrt{Var[T_h]} \end{aligned} \quad (7)$$

2. 적합도 검정

가정된 분포의 타당성을 검증하기 위해서는 여러 가지 적합도 검정 방법이 있으나 본 논문에서는 K-S (Kolmogorov-Smirnov) 검정 방법을 이용한다. K-S 검정에서의 검정 통계량은 식(8)과 같이 정의된다⁽⁵⁾.

$$K-S \text{ Test Statistics} = \left(\sqrt{n} + 0.12 + \frac{0.11}{\sqrt{n}}\right) D_n \quad (8)$$

여기서 $D_n = \max \left\{ \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{i}{n} - \hat{F}(X_{(i)}) \right\}, \right.$

$$\left. \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \hat{F}(X_{(i)}) - \frac{i-1}{n} \right\} \right\} \text{ 이다.}$$

$X_{(i)}$ 는 n 개의 시뮬레이션 데이터에 대한 i 번째 순서 통계량(order statistics)을 의미하며, $\hat{F}(x)$ 는 추정하고자 하는 분포의 누적분포함수(cdf)를 나타낸다. 누적분포함수에서의 모수는 해석적인 방법을 통해 산출한 값을 이용한다.

가정된 분포가 지수분포인 경우 모수는 β 뿐인데 β 의 추정치 $\hat{\beta}$ 는 식(6)의 1차 모멘트인 $E[T_h]$ 이다. 모

수가 α, β 인 감마분포의 경우 평균과 분산은 각각 $\alpha\beta$ 와 $\alpha\beta^2$ 으로 표현되며, 이를 $E[T_h]$ 와 $Var[T_h]$ 로 대입하여 α 와 β 를 추정한다. 또한 모수가 μ 와 σ^2 인 대수정규분포의 경우 평균과 분산은 각각 $Exp(\mu + \sigma^2/2)$ 과 $Exp(2\mu + \sigma^2) \times (Exp(\sigma^2) - 1)$ 으로 표현되므로 이를 $E[T_h]$ 와 $Var[T_h]$ 로 대입하여 μ 와 σ^2 를 추정한다. 세 가지 분포에 대해서 분포함수 및 모수의 추정치를 정리하면 표 1과 같다.

식 (8)에 주어진 검정 통계량의 값이 클수록 나쁜 적합도를 나타내므로 검정 통계량이 유의수준 하에서의 임계점(c_γ) 보다 크면 핸드오버 지속시간이 가정된 분포라는 가설을 기각한다. 다시 말하면 핸드오버 지속시간이 가정된 분포를 따른다고 말할 수 없다.

표 2와 표 3은 각각 셀의 반지름과 이동가입자의 평균 이동속도를 변화시키는 경우 식 (8)로부터 산출한 K-S 검정 통계량을 보여준다. 여기서 검정 통계량 값은 '평균값 $\pm 95\%$ 신뢰구간'을 의미한다. 즉, 동일한 셀반지름과 속도분포에 대해서 random하게 좌표값 A, B와 속도를 위해 필요한 3개의 seed 번호를 변경하여 시뮬레이션을 30회 수행한 후 이를 토대로 적합도 검정을 수행하였으며 이 값들의 95% 신뢰구간을 산출하였다. 또한 가설의 기각 여부를 결정하는데 필요한 기각 임계점은 유의수준 γ 가 15%인 경우는 $C_{0.15} = 1.138$ 이고 5%인 경우는 $C_{0.05} = 1.358$ 이며, 그리고 1%인 경우는 $C_{0.01} = 1.628$ 이다. 표 2에서 이동 가입자의 속도는 $V_{min} = 30(km/h)$, $V_{max} = 80(km/h)$ 로 가정하고 셀의 반지름인 R 을 변화시키는 경우를 나타내며, 표 3은 셀의 반지름이 $1(km)$, $V_{min} = 20(km/h)$ 로 가정하고 이동가입자의 최대속도인 V_{max} 를 변화시키는 경우를 나타낸다.

표 1. 가정된 분포의 분포함수 및 모수의 추정치
Table 1. Distribution function and estimation of parameters

	확률밀도함수	모수의 추정치
지수 분포	$f(x) = \left(\frac{1}{\beta}\right) e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (x \geq 0)$	$\hat{\beta} = E[T_h]$
감마 분포	$f(x) = \frac{\beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\Gamma(\alpha)} \quad (x \geq 0)$	$\hat{\alpha} = \frac{\{E[T_h]\}^2}{Var[T_h]}, \quad \hat{\beta} = \frac{Var[T_h]}{E[T_h]}$
대수정규분포	$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (x \geq 0)$	$\mu = \ln \frac{E[T_h]}{\sqrt{1 + \frac{Var[T_h]}{E^2[T_h]}}, \quad \sigma^2 = \ln \left(1 + \frac{Var[T_h]}{E^2[T_h]}\right)$

표 2. 셀의 반지름을 변화시키는 경우의 검정통계량

Table 2. K-S test statistics in varying radius of cell

$R(km)$	감마 분포	지수 분포	대수정규분포	$C_{0.15}$	$C_{0.05}$	$C_{0.01}$
0.5	0.748 ± 0.143	2.283 ± 0.080	1.055 ± 0.131	1.138	1.358	1.628
1.0	0.938 ± 0.143	2.179 ± 0.082	1.276 ± 0.133			
1.5	0.886 ± 0.141	2.285 ± 0.095	1.225 ± 0.110			
2.0	0.899 ± 0.160	2.289 ± 0.095	1.196 ± 0.148			
2.5	0.917 ± 0.165	2.273 ± 0.073	1.217 ± 0.122			

표 3. 이동가입자의 최대속도를 변화시키는 경우의 검정통계량

Table 3. K-S test statistics in varying maximum speed of mobile

$V_{max}(km/h)$	감마 분포	지수 분포	대수정규분포	$C_{0.15}$	$C_{0.05}$	$C_{0.01}$
40	0.794 ± 0.148	2.637 ± 0.070	1.113 ± 0.127	1.138	1.358	1.628
50	0.950 ± 0.149	2.264 ± 0.081	1.265 ± 0.127			
60	0.888 ± 0.131	2.155 ± 0.105	1.212 ± 0.111			
70	1.029 ± 0.152	1.984 ± 0.115	1.125 ± 0.149			
80	1.019 ± 0.157	1.863 ± 0.122	1.109 ± 0.122			

표 2에서 감마분포인 경우 K-S 검정 통계량의 평균값은 모든 유의수준에서의 기각 임계점보다 작은 값을 나타내므로 핸드오버 지속시간이 감마분포를 따른다고 말할 수 있다. 반면에 지수분포인 경우 K-S 검정 통계량의 평균값은 모든 유의수준에서의 기각 임계점보다 큰값을 나타내므로 모든 경우에서 핸드오버 지속시간이 지수분포를 따르지 않는다고 말할 수 있다. 또한 대수정규분포인 경우 K-S 검정 통계량의 평균값을 분석해 보면 유의수준 5%에서는 기각 임계점보다 작은 값을 나타내므로 핸드오버 지속시간이 감마분포를 따른다고 말할 수 있지만 유의수준 15%에서는 셀의 반지름이 0.5(km)인 경우에서만 대수정규분포를 따른다고 말할 수 있다.

표 3으로부터 감마분포인 경우 K-S 검정 통계량의 평균값은 모든 유의수준에서의 기각 임계점보다 작은 값을 나타내므로 모든 경우에서 핸드오버 지속시간이 감마분포를 따른다고 말할 수 있다. 지수분포인 경우 K-S 검정 통계량의 평균값은 모든 유의수준에서의 기각 임계점보다 큰값을 나타내므로 모든 경우에서 핸드오버 지속시간이 지수분포를 따르지 않는다고 말할 수 있다. 반면에 대수정규분포인 경우 K-S 검정 통계량의 평균값은 유의수준 5%에서는 기각 임계점보다 작은 값을 나타내므로 핸드오버 지속시간이 감마분포를 따른다고 말할 수 있지만 유의수준 15%에서는 이동 가입자의 속도가 50(km/h), 60(km/h)인 경우를 제외하고는 대수정규분포를 따른다고 말할

수 있다.

적합도 검정 분석결과 셀의 반지름이 변하는 모든 경우나 또한 V_{max} 가 변하는 모든 경우에서 핸드오버 지속시간이 감마분포를 따른다는 가설을 기각할 수 없다. 그러나 대수정규분포는 유의수준 5%에서 가설이 기각되는 경우가 발생하므로 본 논문에서는 핸드오버 지속시간이 감마분포를 따른다고 가정하여 핸드오버 제어방식의 성능을 분석하고자 한다.

그림 2와 그림 3에는 해석적 방법으로 유도한 핸드오버 지속시간의 평균과 분산을 이용하여 감마분포 파라메타의 추정치인 $\hat{\alpha}$ 와 $\hat{\beta}$ 를 산출하여 이를 기초로 하는 누적분포함수와 시뮬레이션 데이터로 부터 구한 누적분포함수를 비교하여 나타내었다. 그림 2에는

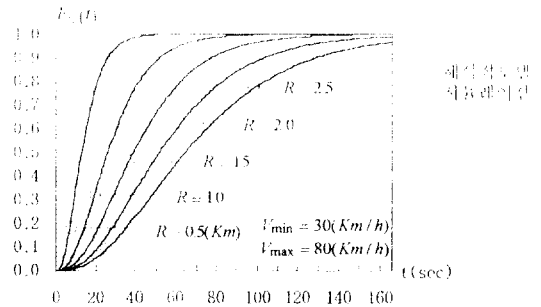


그림 2. 셀의 반지름을 변화시키는 경우의 누적분포함수
Fig. 2 Cumulative distribution function in varying radius of cell

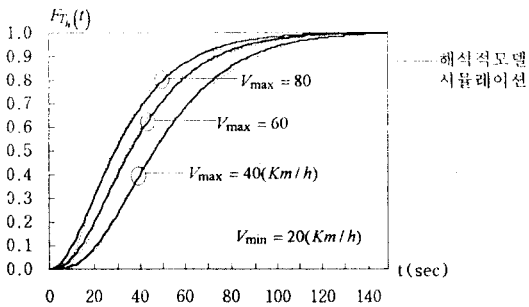


그림 3. 가입자의 최대속도를 변화시키는 경우의 누적분포 함수
 Fig. 3 Cumulative distribution function in varying maximum speed of mobile

셀의 반지름을 변화시키는 경우를 나타냈으며, 그림 3에는 가입자의 최대 이동속도인 V_{max} 를 변화시킨 경우를 나타내었는데 해석적으로 산출한 결과는 시뮬레이션 결과와 일치함을 알 수 있다.

III. 큐를 이용한 핸드오버 제어 방식

핸드오버호의 블러킹 확률을 감소시키기 위하여 제안된 큐를 이용한 핸드오버 제어방식에서는 셀에 할당된 모든 무선 채널이 사용중일때 도착하는 새로운 호는 블러킹시키며 핸드오버호는 무한큐에 대기시켜서 핸드오버 지속시간 동안 가용한 무선채널이 생기면 그 핸드오버호는 성공적으로 인접셀로 핸드오버하지만 그렇지 않으면 그 핸드오버호를 블러킹시킨다. 여기서 핸드오버 지속시간은 감마분포를 따르며 감마분포의 모수는 표 1로부터 구할 수 있다.

1. FCFS 방식

셀내에 할당된 전체 무선채널의 갯수가 C 개, 새로운 호와 핸드오버호의 발생율을 각각 λ_n, λ_h 라고 하고, 무선 채널의 서비스율을 μ , 그리고 큐에서의 서비스방법을 FCFS라고 가정할때 셀에서의 상태천이도는 그림 4와 같다. 여기서 셀의 상태 k 는 진행중인 호의 수와 큐에서 대기중인 핸드오버호의 갯수를 합한 것을 의미한다.

셀에서의 상태가 평형상태에 도달했을때 셀의 상태가 k 일 확률 P_k 는 birth-death 프로세스에 의해 구하면 식(9)와 같다.

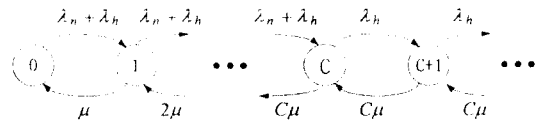


그림 4. 시스템의 상태천이도
 Fig. 4 State transition diagram of the system

$$P_k = \begin{cases} \frac{\rho^k}{k!} p_0 & (1 \leq k \leq C-1) \\ \left(\frac{\rho}{\rho_h}\right)^C \frac{\rho_h^k}{C! C^{k-C}} p_0 & (C \leq k) \end{cases}$$

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^{C-1} \frac{\rho^k}{k!} + \left(\frac{\rho}{\rho_h}\right)^C \sum_{k=C}^{\infty} \frac{\rho_h^k}{C! C^{k-C}} \right]^{-1}$$

$$= \left[\sum_{k=0}^{C-1} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{1}{C!} \rho^C \frac{C}{C-\rho_h} \right]^{-1} \quad (9)$$

여기서 $\rho = (\lambda_n + \lambda_h)/\mu$, $\rho_h = \lambda_h/\mu$ 이다.

새로운호에 대한 블러킹 확률 P_{Bn} 는 셀의 상태가 C 이상이 될 확률들의 합과 같으므로 식 (10)과 같이 산출할 수 있다.

$$P_{Bn} = \sum_{k=C}^{\infty} P_k = \frac{1}{C!} \rho^C \frac{C}{C-\rho_h} P_0 \quad (10)$$

핸드오버호의 블러킹 확률은 큐에서의 대기시간이 감마분포를 따르는 핸드오버 지속시간보다 클 확률이다. 확률변수 T_q 를 큐에서 대기하는 시간을 나타내는 변수라고 하면, $W_q(t) = \Pr\{T_q \leq t\}$ 는 큐에서 대기시간에 대한 누적분포를 나타내므로 식(11)과 같다.

$$W_q(t) = \Pr\{T_q \leq t\}$$

$$= \sum_{k=C}^{\infty} [\Pr\{k-C+1 \text{ completions} \leq t \mid \text{arrival found } k \text{ in system}\} \cdot P_k] + W_q(0) \quad (11)$$

여기서 $W_q(0) = \Pr\{C-1 \text{ or less in system}\}$ 를 나타내며, 식(12)와 같다.

$$W_q(0) = \sum_{k=0}^{C-1} p_k = 1 - \sum_{k=C}^{\infty} \left(\frac{\rho}{\rho_h}\right)^C \frac{\rho_h^k}{C! C^{k-C}} p_0$$

$$= 1 - \frac{\rho^C C}{C!(C-\rho_h)} P_0 \quad (12)$$

$k \geq C$ 일 때에는 시스템의 평균 서비스율은 평균이 $C\mu$ 인 포아송 분포를 따르므로 채널을 종료하는 호들의 시간간격은 평균이 $1/C\mu$ 인 지수분포를 따르고 ($k-C+1$)개의 호가 종료하는데 소요되는 시간의 분포는 ($k-C+1$) type의 어랑(Erlang) 분포를 따른다. 따라서 $W_q(t)$ 는 식(13)과 같이 산출된다.

$$\begin{aligned} W_q(t) &= P_0 \sum_{k=C}^{\infty} \left(\frac{\rho}{\rho_h} \right)^C \frac{\rho_h^k}{C! C^{k-C}} \int_0^t \frac{\mu C (\mu C x)^{k-C}}{(k-C)!} \\ &\quad e^{-\mu C x} dx + W_q(0) \quad (t > 0) \\ &= P_0 \rho^C \frac{1}{(C-1)!} \int_0^t \mu e^{-\mu C x} \sum_{k=C}^{\infty} \frac{(\lambda_h x)^{k-C}}{(k-C)!} dx \\ &\quad + W_q(0) \\ &= 1 - P_0 \rho^C \frac{e^{-(\mu C - \lambda) t}}{(C-1)! (C-\rho_h)} \quad (13) \end{aligned}$$

핸드오버 지속시간을 나타내는 확률변수가 T_h 이므로 핸드오버호의 블러킹 확률 P_{bh} 는 식(14)와 같이 산출된다.

$$\begin{aligned} P_{bh} &= 1 - W_q(T_h) \\ &= 1 - \Pr\{T_q \leq T_h\} \\ &= 1 - \int_0^{\infty} W_q(t) f_{T_h}(t) dt \quad (14) \end{aligned}$$

여기서 $f_{T_h}(t)$ 는 식(15)로 주어지는 감마분포의 확률 밀도함수를 나타내며, 위 적분값은 수치해석적인 방법을 이용하여 산출한다.

$$f_{T_h}(t) = \frac{\beta^{-\alpha} t^{\alpha-1} e^{-t/\beta}}{\Gamma(\alpha)} \quad (t > 0)$$

$$\text{여기서 } \Gamma(x) = \int_0^{\infty} \tau^{x-1} e^{-\tau} d\tau, \alpha \approx \hat{\alpha} = \frac{\{E[T_h]\}^2}{Var[T_h]}$$

$$\beta \approx \hat{\beta} = \frac{Var[T_h]}{E[T_h]} \quad (15)$$

2. MBPS 방식

MBPS 방식도 FCFS 방식과 마찬가지로 셀에 할당

된 전체 채널은 새로운호와 핸드오버호 모두에게 할당될 수 있지만 가용한 채널이 없는 경우에 도착하는 새로운호는 블러킹시키고 핸드오버호는 무한 큐에 대기시킴으로써 핸드오버호의 블러킹 확률을 감소시키는 방법이다. 그러나 MBPS 방식에서 큐에서의 서비스 방법은 FCFS 방식과는 달리 새로운 채널이 가용할 때 마다 이동국으로 부터 수신된 신호의 신호레벨을 토대로 가장 낮은 신호레벨을 갖는 핸드오버호를 우선적으로 서비스하는 방식이다⁽³⁾⁽⁴⁾. 그림 5에 개괄적인 MBPS 방식의 개념도를 나타내었다.

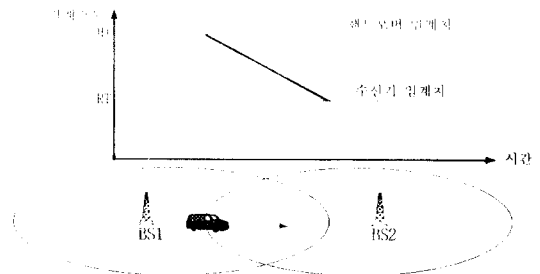


그림 5. MBPS 방식의 개념도
Fig. 5 Conceptual model of the MBPS

BS1 영역에 있던 이동국이 BS2 영역으로 이동함에 따라 BS1으로 부터의 신호레벨은 점진적으로 감소하는 반면 BS2로 부터의 신호레벨은 증가한다. 이때 이동국이 BS1으로 부터의 신호레벨이 핸드오버 임계치 (HT: Handover Threshold)를 넘어서면 핸드오버를 요구한다. 이러한 호를 성공적으로 핸드오버 시키기 위해서는 신호의 신호레벨이 수신기 임계치(RT: Receiver Threshold)에 도달하기 이전에 BS2에서 핸드오버호에게 새로운 채널을 할당하여야 한다. 여기서 핸드오버 영역은 신호레벨이 HT와 RT 사이의 영역을 의미한다. MBPS 방식에서 채널을 할당하는 방법은 새로운 채널이 가용할 때 마다 이를 큐에 있는 핸드오버호중에서 어떠한 핸드오버호에게 우선적으로 할당하여 주느냐에 따라 다음과 같은 두가지 방식이 존재한다.

2.1 MBPS 방식-1(MBPS-1)

MBPS 방식-1은 채널이 가용한 순간 큐에 있는 핸드오버호중에서 가장 낮은 신호레벨(SL: Signal Level)

를 갖는 핸드오버 호에게 우선적으로 채널을 할당하는 방법이다. 이를 구현하기 위한 방법을 그림 6에 나타내었다. 여기서 시간이 t_r 인 시점에서 새로운 채널이 가용하였다면 그 순간에서 세개의 핸드오버 호들의 우선순위는 ③→①→②순으로 주어진다. 큐에 있는 핸드오버 호들의 우선순위를 결정하기 위해서는 먼저 각 핸드오버 호들의 신호레벨을 산출해야 하는데 그 산출 방법은 식(16)과 같다. 여기서 $t_{HT, i}$ 는 i 번째 핸드오버 호가 큐에 들어간 시점, $t_{RT, i}$ 는 i 번째 핸드오버 호가 핸드오버 영역을 벗어나는 시점을 의미한다.

$$SL_i = HT - \frac{(t_r - t_{HT, i})}{(t_{RT, i} - t_{HT, i})} \times (HT - RT) \quad (16)$$

2.2 MBPS 방식-2(MBPS-2)

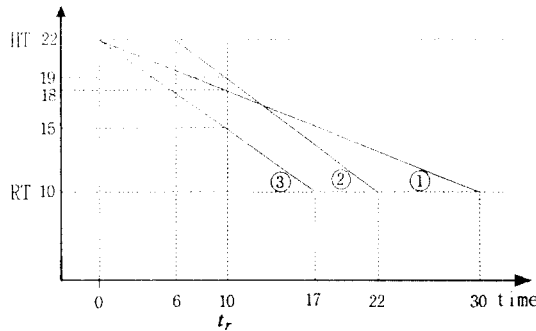
MBPS 방식-2는 새로운 채널이 가용한 순간 핸드오버 호들의 우선순위를 결정하는 방법이 MBPS 방식-1과 다르다. 그림 6에서 보면 t_r 시점에서는 ①번의 신호레벨이 ②번 보다 작지만 ②번이 ①번보다 먼저 핸드오버 영역을 벗어난다. 따라서 이러한 경우를

고려하기 위해서 MBPS 방식-2는 새로운 채널이 가용한 순간 핸드오버 호들의 신호레벨을 기초로 우선순위를 결정하는 것이 아니라 어떤 핸드오버 호가 가장 먼저 핸드오버 영역을 벗어나는지를 토대로 각 핸드오버 호들의 우선순위를 결정한다. 이를 위해서는 각 핸드오버 호들에 대한 신호레벨이 감소하는 기울기(DR: Decreasing Ratio of the signal level)를 이용하는데 그 산출방법을 식(17)에 나타내었다. 여기서 $P_{p, i}$ 는 t_r 순간 i 번째 핸드오버 호의 신호레벨을 나타낸다. 그림 6의 예를 적용하면 3개의 핸드오버 호에 대한 우선순위는 ③→②→①순으로 주어진다.

$$D_i = t_{RT, i} - \frac{t_r - t_{HT, i}}{P_{p, i} - HT} \times (HT - RT) \quad (17)$$

IV. 성능 비교 분석

본 논문에서는 핸드오버 지속시간이 감마분포를 따르는 경우 FCFS 방식에서의 해석적인 결과를 검증하고 또한 FCFS 방식의 결과와 두가지 MBPS 방식의 성



	MBPS-1	MBPS-2
핸드오버 호 ①	$SL_1 = 22 - \frac{10-0}{30-0} \times (22-10) = 18.0$	$DR_1 = 0 + \frac{10-22}{18-22} \times (10-0) = 30.0$
핸드오버 호 ②	$SL_2 = 22 - \frac{10-6}{22-6} \times (22-10) = 19.3$	$DR_2 = 6 - \frac{10-22}{19-22} \times (10-6) = 22.0$
핸드오버 호 ③	$SL_3 = 22 - \frac{10-0}{17-0} \times (22-10) = 14.9$	$DR_3 = 0 - \frac{10-22}{15-22} \times (10-0) = 17.1$
우선순위	③→①→②	③→②→①

그림 6. MBPS 방식에서 우선순위 산출방법
Fig. 6 Calculation of the priority in MBPS

능을 비교하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 모델에서 셀의 반지름은 $R=1(km)$ 이고 셀당 새로운호와 핸드오버호는 8:2의 비율로 셀내에서 균일하게 발생함을 가정하였다. 또한 이동가입자의 최저속도는 $V_{min}=30(km/h)$, 최고속도는 $V_{max}=80(km/h)$, 호의 채널점유시간은 $1/\mu=54(sec)$ 그리고 셀내에 할당된 무선채널의 개수는 $C=50$ 임을 가정하였다.

그림 7은 핸드오버 제어방식이 FCFS 방식인 경우 입력 트래픽이 변화할 때 새로운호의 블러킹 확률(P_{Bn})과 핸드오버호의 블러킹 확률(P_{Bh})을 나타내었는데, 해석적인 결과는 시뮬레이션 결과와 잘 일치함을 알 수 있다.

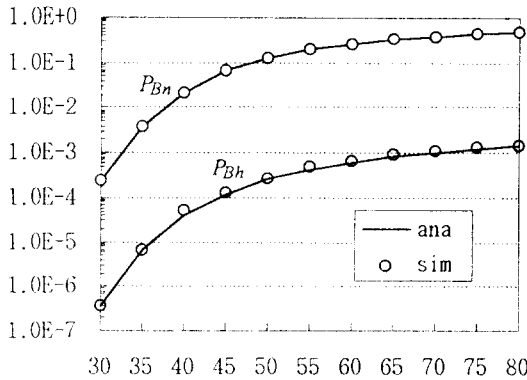


그림 7. 입력트래픽에 따른 블러킹 확률의 변화
Fig. 7 Variation of blocking probability for input traffic

그림 8과 그림 9는 입력 트래픽이 변화될 때 FCFS 방식과 2가지 MBPS 방식에 대한 P_{Bn} 과 P_{Bh} 의 변화를 나타내었다. 그림 8에서 세가지 방식에 대한 P_{Bn} 은 거의 일치하는 것으로 보이는데 수치적으로는 $FCFS < MBPS-1 \leq MBPS-2$ 이다. 반면에 그림 9는 세가지 방식에 대한 P_{Bh} 의 변화를 나타내었는데 그 크기는 $MBPS-2 < MBPS-1 < FCFS$ 순이다.

FCFS 방식에서 새로운호의 블러킹 확률인 P_{Bn} 은 MBPS 방식의 P_{Bn} 에 비하여 작지만 이는 핸드오버 호의 블러킹 확률인 P_{Bh} 의 증가를 초래한다. 마찬가지로 MBPS-2 방식에서 P_{Bh} 는 FCFS 방식의 P_{Bh} 에 비하여 작지만 이는 또한 P_{Bn} 의 증가를 초래한다. 그러나 그림 10에 나타난 바와 같이 세가지 방식에서 셀당 운반 트래픽(carried traffic)은 거의 동일함을 알 수 있다.

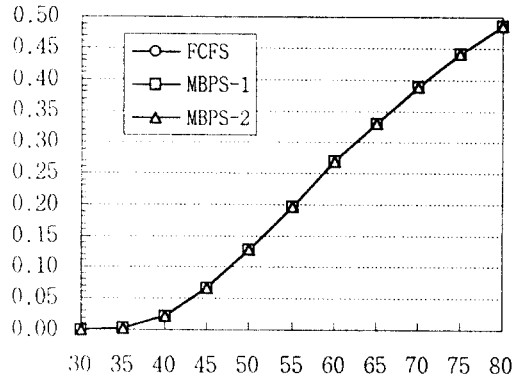


그림 8. 각 핸드오버 제어방식에서 새로운 호의 블러킹 확률 변화

Fig. 8 Variation of new call blocking probability for each handover control scheme

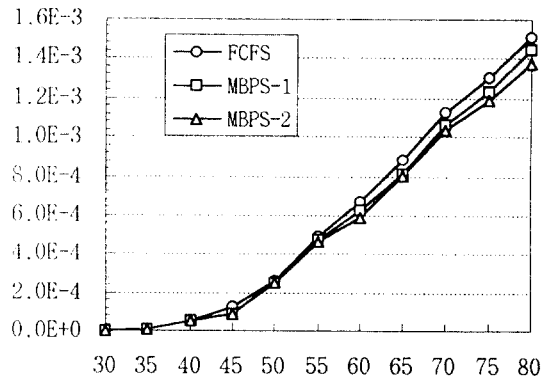


그림 9. 각 핸드오버 제어방식에서 핸드오버호의 블러킹 확률 변화

Fig. 9 Variation of handover call blocking probability for each handover control scheme

디지털 이동통신 환경에서 큐를 이용하는 핸드오버 제어방식의 선택은 각 방식의 성능(P_{Bn} , P_{Bh} , 운반 트래픽)과 복잡도간의 상호 보완 관계를 고려하여 채택되어야 한다. 위 분석 결과에서 보면 MBPS 방식은 FCFS 방식에 비하여 핸드오버 호의 블러킹 확률은 약간 작지만 우선순위 큐를 관리하므로 소프트웨어상에서 복잡도가 증가하는 단점이 있다. 반면에 FCFS 방식은 MBPS 방식에 비하여 핸드오버 호의 블러킹 확률은 약간 크고 새로운호의 블러킹 확률은 약간 작으며 또한 MBPS 방식에 비하여 복잡하지 않은 장점이 있다.

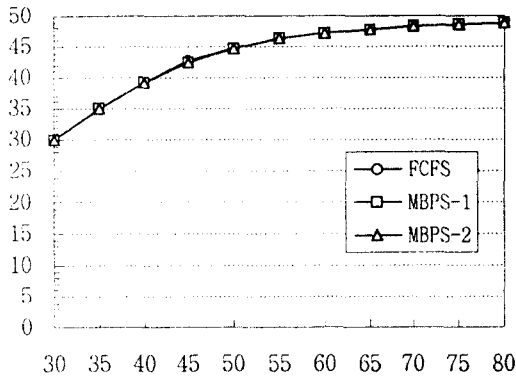


그림 10. 각 핸드오버 제어방식에서 운반 트래픽의 변화
 Fig. 10 Variation of carried traffic for each handover control scheme

따라서 단지 핸드오버 호의 블러킹 확률을 낮추는 것이 중요한 경우에는 MBPS 방식이 FCFS 방식에 비하여 우선적으로 고려될 수 있는 방식이지만 핸드오버의 중추적인 역할을 담당하는 기지국의 관점에서 볼 때 시스템의 복잡도가 보다 중요한 관건이라면 FCFS 방식이 우선적으로 고려되어야 한다.

V. 결 론

큐를 이용하여 핸드오버호의 블러킹 확률을 감소시키는 방식들은 핸드오버 지속시간의 분포를 토대로 큐에 대기중인 핸드오버호를 서비스하기 때문에 핸드오버 지속시간의 분포의 추정은 매우 중요하다. 이러한 관점에서 본 논문에서는 먼저 핸드오버 지속시간의 분포를 추정하고 이를 토대로 핸드오버호를 FCFS 형태로 서비스시키는 경우의 성능을 해석적으로 분석하여 이를 시뮬레이션 결과와 비교하였으며 또한 FCFS와 두가지 MBPS 방식에 대한 시뮬레이션을 수행하여 그 결과들을 비교 분석하였다.

핸드오버 지속시간의 분포는 이동가입자가 핸드오버 영역을 직선적으로 이동하는 모델을 설정하여 이를 시뮬레이션 한 데이터를 근거로 적합도 검정(K-S test)을 통하여 추정하였다. 추정한 결과 핸드오버 지속시간은 감마분포를 따름을 입증하였으며 또한 감마분포의 모수인 α 와 β 를 셀의 반지름(R)과 이동가입자의 속도(V)로 표현하였다.

핸드오버 지속시간의 분포가 감마분포를 따르는

경우 큐에 있는 핸드오버호를 FCFS 형태로 서비스하는 방식에서 새로운호와 핸드오버호의 블러킹 확률을 해석적으로 산출하였으며 이를 시뮬레이션 결과와도 비교하였는데 해석적인 결과는 시뮬레이션 결과와 일치함을 알 수 있었다.

또한 핸드오버 지속시간의 분포가 감마분포를 따르는 경우 FCFS와 두가지 MBPS 방식에 대한 새로운호와 핸드오버호의 블러킹 확률을 시뮬레이션을 이용하여 분석하였다. 분석 결과 MBPS 방식의 핸드오버호 블러킹 확률은 FCFS 방식의 핸드오버호 블러킹 확률보다 약간 작거나 거의 비슷한 특성을 나타내지만 새로운 호의 블러킹 확률은 오히려 약간 크거나 거의 비슷한 것으로 분석되었으며 또한 셀당 운반 트래픽은 거의 동일함을 알 수 있었다. 각각의 핸드오버 제어 방식을 기지국에 구현하는 입장에서 보면 MBPS 방식은 우선순위 큐를 관리하므로 FCFS 방식에 비하여 복잡도가 증가하는 단점이 있다.

따라서 핸드오버 호의 블러킹 확률을 낮추는 것이 중요한 경우에는 MBPS 방식이 FCFS 방식에 비하여 우선적으로 고려될 수 있는 방식이지만 핸드오버의 중추적인 역할을 담당하고 높은 호처리 부하가 가해질 것으로 예측되는 기지국의 관점에서 볼 때 복잡도가 보다 중요한 관건이라면 FCFS 방식이 우선적으로 고려되어야 한다.

참 고 문 헌

1. D.Hong and S.S.Rappaport, "Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procedures," *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, vol. VT-35, No.3, pp.77-92, Aug. 1986.
2. R. Guerin, Queuing-blocking System with Two Arrival Streams and Guard Channels, *IEEE Trans. on Comm.*, vol. 36, No.2, pp.153-163, Feb. 1988.
3. S. Tekinay and B. Jabbari, A Measurement-Based Prioritization Scheme for Handovers in Mobile Cellular Networks, *IEEE J. on Selec. Areas in Comm.*, vol. 10, No.8, pp.1343-1350, Nov. 1991.
4. B. Narendran, P. Agrawal and D. K. Anvekar, Minimizing Cellular Handover Failures without Chan-

nel Utilization Loss, The 6th International Conference on Wireless Communications, Calgary Canada, pp.1679-1685, July 1994.

5. A.M.Law and W.D.Kelton, Simulation Modeling and Analysis, pp.155-203, McGraw-Hill, 1982.
6. V.K.Rohatgi, An Introduction to Probability Theory and Mathematical Statistics, pp.208-225, John Wiley & Sons, New York, 1976.



林 錫 鳩(Seog Ku Lim) 正會員

1983年: 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)
 1987年: 서울대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1987년~1992년: 금성정보통신(주)
 1992년~1994년: 한국전자통신연구소

1994년~現在: 주성전문대학 전자과 조교수
 한국항공대학교 항공전자공학과 박사과정
 ※주관심분야: 디지털 신호처리, 트래픽 엔지니어링, 시스템 성능분석



張 喜 善(Hee Seon Jang) 正會員

1990年: 울산대학교 산업공학과(공학사)
 1992年: 한국과학기술원 산업공학과(공학석사)
 1992년~現在: 한국전자통신연구소 연구원

※주관심분야: 이동통신시스템 성능분석



柳 濟 勳(Jea Hoon Yoo) 正會員

1980年: 건국대학교 전자공학과(공학사)
 1992年: 건국대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1992년~現在: 한국전자통신연구소 책임연구원
 ※주관심분야: 차세대 개인통신 교환기술 연구



丁 大 權(Dae Gwon Jeong) 正會員

1979年: 한국항공대 항공전자공학과(공학사)
 1987年: Texas A&M, Electrical Engineering(공학석사)
 1990年: Texas A&M, Electrical Engineering(공학박사)
 1979년~1984년: 국방과학연구소(ADD) 연구원

1990년~1991년: 한국전자통신연구소 선임연구원
 1991년~現在: 한국항공대학교 항공전자공학과 부교수
 1993년~現在: 한국통신학회 학회지 편집위원
 1996년~現在: ITU-R TG8/1과 ITU-T SG15와의 Rapporteur
 ※주관심분야: 영상 및 음성신호 압축, 이동통신시스템 코덱