

논문 2009-46TC-4-7

# 셀룰러 시스템에서 자원 효율적인 핸드오버 우선화를 위한 적응적 그룹별 자원 예약 기법

(Adaptive Group-wise Resource Reservation for Spectral Efficient  
Handover Prioritization in Cellular Mobile Systems)

유 혜 인\*, 강 해 린\*, 김 낙 명\*\*

(Hye-In Yu, Hae-Lynn Kang, and Nak-Myeong Kim)

## 요 약

이 핸드오버가 비약적으로 늘어나는 차세대 셀룰러 시스템에서 자원 예약 기법은 핸드오버 call에 대한 보다 나은 QoS를 보장하기 위한 효과적인 방법이다. 그러나 핸드오버 call을 위한 자원의 예약은 신규 local call의 blocking 확률에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 본 논문에서는, 신규 local call을 보호하면서도 핸드오버 call의 dropping 확률을 효과적으로 줄이기 위하여, random access 기반의 적응적 그룹별 자원 예약 기법을 제안한다. 제안하는 자원 예약 기법은 target 셀에서 핸드오버 예상 시간을 기반으로 단말들을 적응적으로 grouping하여 그룹 단위로 자원을 예약하고, random access원리에 의해 그룹 내의 자원을 할당하는 방식이다. 또한 본 논문에서는 제안된 예약 기법의 성능을 Markov chain 모델을 이용하여 수학적으로 분석한다. 모의실험을 통해 제안된 자원 예약 기법의 이론적인 성능 해석이 실험 결과와 유사함을 보였고, 제안된 자원 예약 기법이 기존의 기법에 비해 핸드오버 call의 dropping 확률 측면에서 우수한 성능을 가짐을 확인하였다.

## Abstract

Resource reservation scheme is effective for better QoS guarantee to handover call for the next generation cellular systems where handover rate highly increases. However, resource reservation for handover call can incur negative impact on the new user admission. In this paper, we propose a random access based adaptive group-wise reservation to effectively reduce dropping rate of handover call, while protecting new local call. In the proposed scheme, target base station divides adaptively future handover users into groups based on the expected handover time, and then does group-wise reservation, where service allocation within each group is done on random access basis. Markov approach is also provided to analyze the performance of the proposed scheme. By computer simulation, it is shown that theoretical analysis on the performance is similar to the simulation results and the proposed reservation scheme outperforms the conventional scheme with respect to dropping probability of handover call.

**Keywords:** 셀룰러 시스템, 핸드오버, 자원 예약, Markov chain

## I. 서 론

사용자들은 신규 call의 blocking 비해 on-going call의 서비스 끊김에 대해 훨씬 민감하기 때문에 핸드오버

call의 서비스 유지는 셀룰러 시스템에서 중요한 성능 지표가 되어왔다. 차세대 셀룰러 시스템에서는 보다 작은 셀 크기와 고속화되는 단말의 이동성이 더욱 빈번한 핸드오버를 발생시킬 것으로 예상되면서, 핸드오버 call의 QoS보장은 점점 강조되고 있다. 핸드오버 call을 보호하기 위한 방안으로 guard channel 과 handover queuing 을 비롯한 다양한 자원 예약 기법들이 제안되어 왔다<sup>[1~3]</sup>. 특히 4세대 이동통신에서는, 끊김없는 IP 연결을 위한 짧은 핸드오버 latency가 주요 요구사항이

\* 정회원, \*\* 평생회원, 이화여자대학교

(Ewha W. University)

※ 본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략 기술인력양성사업 및 BK21 연구사업의 지원으로 수행된 연구결과임

접수일자: 2009년1월28일, 수정완료일: 2008년4월3일

됨에 따라 target 셀에서 이웃 기지국과의 negotiation을 통해 security context와 인증과 같은 핸드오버 단말의 정보를 미리 인지하도록 하고 있다<sup>[4]</sup>. 이러한 맥락에서, 핸드오버 latency의 감소를 위해서는 예상 핸드오버 단말의 정보가 미리 지정된 자원의 예약이 불가피하다고 볼 수 있다.

최근에는 비약적인 Mobile positioning system의 발달에 따라 예측된 단말의 이동방향을 기반으로 해당 단말을 위해 target 기지국에 자원을 예약하는 Predictive Channel Reservation (PCR)기법들이 연구되어 왔다. M.Chiu는 단말이 셀 경계까지 남은 거리가 일정 threshold보다 작게 될 때 target 기지국으로 자원 예약을 요청하는 Distance기반 자원 예약 기법을 제안하였다<sup>[5]</sup>. 그러나 이 기법은 단말의 이동 속도를 고려하지 않음에 따라 예약 자원이 이용되지 못하는 false reservation문제가 발생한다. 이를 보완하기 위해 자원을 예약하는 시점을 결정하는 데 있어서 target 셀에 도달하기까지의 남은 시간을 이용하는 Time기반 자원 예약 기법이 제안되었다<sup>[6]</sup>. 그러나 이러한 핸드오버 call을 위한 자원 예약은 connection continuity를 보장에는 효과적이나, 신규 call의 admission에는 부정적인 영향을 가져올 수 있다<sup>[7]</sup>. 단말이 target cell에 도달하기 전까지의 시간인 remaining time이 threshold time보다 작아지는 시점에 target 기지국으로 예약을 요청하는 자원예약기법<sup>[6]</sup>의 경우, threshold time을 짧게 설정하면 예약을 수행하지 못한 단말들이 많아져 핸드오버 call의 dropping 확률이 늘어난다. 반대로 threshold time을 길게 설정 할 경우, 핸드오버 call들은 더 보호될 수는 있으나 reservation request가 많아져 신규 call의 blocking 확률이 늘어나게 된다. 그리고 false reservation의 문제는 신규 call의 blocking 확률뿐 아니라 핸드오버 call의 dropping 확률을 증가 시키고 resource utilization을 저하시킬 수 있다. 이렇게 핸드오버 call의 dropping 확률과 신규 local call의 blocking 확률 사이의 tradeoff를 design해야 할 필요에 따라, S.Ali는 핸드오버 call에게 우선권을 주면서도 신규 call을 protection하기 위해 예약 채널의 수를 제한하는 PCR기법을 제안하였다<sup>[8]</sup>.

본 논문에서는 신규 local call의 blocking 확률을 유지하면서도, 핸드오버 call의 dropping 확률을 최소화하기 위해 random access 기반의 적응적 그룹별 자원 예약 기법을 제안한다. 제안하는 자원 예약 기법은 target

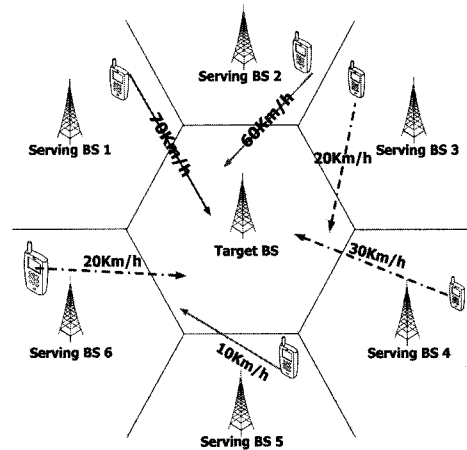


그림 1. 셀룰러 네트워크에서의 사용자 이동의 예  
Fig. 1. An example of movement of mobile users in cellular network.

셀에서 핸드오버 예상 시간에 따라 단말들을 적응적인 크기로 grouping하여 그룹 단위로 자원을 예약하고, 실제 자원은 random access원리에 의해 할당 하는 방식이다. 제안하는 알고리즘에서는, resource utilization과 동일 그룹 내 핸드오버의 중복 발생 확률을 고려하여 핸드오버 예상시간에 따른 최적의 그룹 크기를 결정하고, 이를 기반으로 차등적으로 그룹별 자원 예약을 수행한다. 또한 Markov chain모델을 이용하여 제안된 예약 기법의 핸드오버 성능을 수학적으로 분석하고, 모의 실험 결과와의 비교를 통해 제안된 자원 예약 기법의 우수한 성능을 확인한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 본 논문에서 고려된 시스템 모델을 설명하고, III장에서는 제안된 자원 예약 기법 알고리즘을 설명한다. IV장에서는 Markov Chain 모델을 이용한 제안 기법의 성능 분석이 주어지며, V장에서 모의실험을 통해 성능을 평가 및 검증한다. 그리고 VI장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

본 논문은 cellular network infrastructure를 가진 모바일 무선 네트워크를 배경으로 한다. 그림 1에서 보듯이, 셀룰러 시스템에서의 셀 간 사용자 이동은 핸드오버를 야기한다. 이동 단말은 핸드오버 시에 새로운 기지국으로부터 자원을 할당받지 못하면 서비스가 중단되는데, 본 논문에서는 이를 핸드오버 call의 dropping이라 정의한다. 한편, 셀 내에서 새로운 접속을 시도하는 신규 call이 congestion으로 인해 자원을 할당 받지

못하고 서비스 연결에 실패하는 것을 신규 local call의 blocking이라 정의한다.

본 논문의 핸드오버 call을 위한 자원예약에서 가정하는 시스템 절차는 다음과 같다. 각 기지국은 주기  $T$ 마다 단말들로부터 현재 위치, 속도, 방향 정보를 수집하여 이를 바탕으로 target 셀로의 핸드오버 전까지 남은 예상 시간(expected remaining time until handover (ERTH))을 계산하고, 단말들의 ERTH 정보를 해당하는 target 기지국으로 전송한다. Target 기지국은 주기  $T$ 마다 이웃 기지국들로부터 핸드오버 예상 단말들의 ERTH 정보를 받고 이 정보를 바탕으로 핸드오버 call들을 위한 자원 예약을 수행한다. 따라서 각 셀에서는 주기  $T$ 마다 예약에 필요한 자원에 대한 request event와, 이전 주기에 예약된 자원이 실제로 이용되지 못하고 예약이 취소되는 cancellation event가 발생한다.

한편, 실제 이동환경에서는 단말 속도의 가변성, 방향 전환, call의 종료와 같은 불확실한 요소들이 존재하므로, 본 논문에서는 실제 핸드오버 전까지 남은 시간을 ERTH를 평균으로 가지는 random variable로 간주한다. 따라서 ERTH가  $\omega$ 라고 주어졌을 때, 핸드오버 전까지 남은 시간(remaining time until handover)을 random variable  $X(\omega)$ 라 하고  $X(\omega)$ 의 확률분포(pdf)를  $f_{X(\omega)}(x)$ 라고 정의한다. 이 때, 실제 이 단말이  $T$  내에 도착할 확률은 다음과 같이 cumulative distribution function(cdf)로 표현된다.

$$F_{X(\omega)}(T) = \int_0^T f_{X(\omega)}(x)dx \quad (1)$$

### III. 적응적 그룹별 자원 예약 기법

단말들은 ERTH에 따라 각기 다른  $F_{X(\omega)}(T)$  값을 가지므로  $F_{X(\omega)}(T)$ 를 핸드오버 call을 위한 자원 예약의 중요도를 나타내는 지표로서 활용할 필요가 있다. 즉  $F_{X(\omega)}(T)$ 가 큰 단말일수록 자원의 예약을 보장해야 하는 반면,  $F_{X(\omega)}(T)$ 가 작은 단말들에게 각각 단위 자원을 예약하는 것은 resource utilization과 신규 call의 admission을 저하시킬 수 있다. 그러나 핸드오버 할 가능성이 있는 단말에게 자원 예약을 하지 않게 되면 예상하지 못한 핸드오버로 인해 핸드오버 call의 dropping 확률이 증가할 수 있다.

본 논문에서는, 여러 단말들에게 함께 단위 자원을

예약하게 하고, 실제 자원 할당은 random access의 원리에 따라 행해지는 그룹 단위의 자원 예약을 제안한다. 이 그룹 단위의 자원 예약 구조에서, ERTH가  $\omega$ 인  $L$ 개의 단말들에게 단위 자원을 함께 예약한다고 가정하자. 이때, 이 예약 자원이  $T$ 시간 내에 이용될 확률,  $P_L^{ut}(\omega)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} P_L^{ut}(\omega) &= P[\min(X_1(\omega), X_2(\omega), \dots, X_L(\omega)) \leq T] \\ &= 1 - P[X_1(\omega), X_2(\omega), \dots, X_L(\omega) \geq T] \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $X_l(\omega)$ 는  $l$ 번째 단말의 remaining time을 나타내는 random variable이며, 이  $X_l(\omega)$ 들이 각각 independent하다고 했을 때  $P_L^{ut}(\omega)$ 은 다시 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$P_L^{ut}(\omega) = 1 - (1 - F_{X(\omega)}(T))^L \quad (3)$$

윗 식은  $L$ 이 커질수록, 즉 그룹에 속하는 단말이 많아질수록, 예약 자원이 이용될 확률이 커질 수 있음을 의미한다.

한편,  $T$  동안 그룹 내에서 둘 이상 핸드오버 하게 되면, 두 번째 단말부터는 예약된 자원이 없는 것과 같다. 본 논문에서는 이와 같이 예약 그룹 내에서 둘 이상 핸드오버 하는 것을 collision으로 정의하고, 이 예약 자원에 대해 collision이 발생할 확률,  $P_L^{col}(\omega)$ 은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_L^{col}(\omega) &= \sum_{j=2}^L C_j \cdot F_{X(\omega)}(T)^j \cdot (1 - F_{X(\omega)}(T))^{L-j} \\ &= 1 - \left\{ (1 - F_{X(\omega)}(T))^L + L \cdot F_{X(\omega)}(T) \cdot (1 - F_{X(\omega)}(T))^{L-1} \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

윗 식은 예약 자원을 함께 공유하는 단말 수가 많아질수록, collision 확률이 증가하는 것을 나타내며 이것은 단말들이 예약 자원 없이 핸드오버 할 확률이 증가함을 의미한다. 또한 (3)과 (4)에서 보듯이,  $L$ 에 따라서 resource utilization 확률과 collision 확률이 tradeoff관계에 있음을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이 관계를 활용하여 다음과 같이 ERTH  $\omega$ 에 따라 collision 확률 대비 resource utilization 확률을 최대화 할 수 있는 그룹의 크기  $L$ 을 찾는다.

$$L^*(\omega) = \arg \max_L (P_L^{ut}(\omega) - P_L^{col}(\omega)), \text{ for } L=1,2,\dots \quad (5)$$

윗 식의 목표 함수는 convex 함수 이므로, 미분을 통해 목표 함수를 최대화 만드는 값을 찾을 수 있다. 그리고  $L$ 은 항상 자연수 이므로 (5)에서 후보  $L$ 은 다음과 같이 두 자연수로 표현될 수 있다.

$$L = \lfloor -1/\ln(1 - F_{X(\omega)}(T)) \rfloor, \lceil -1/\ln(1 - F_{X(\omega)}(T)) \rceil \quad (6)$$

윗 식을  $\omega$ 의 관점에서 보면, 그룹 크기를 의미하는 임의의  $L$ 값을 가지는  $\omega$ 는 최대값이 존재한다. 따라서 이 관계를 활용하여, 제안된 자원 예약 기법에서는 단말의 EARTH에 따라 그룹의 크기에 차등을 두는 adaptive grouping 알고리즘을 제안한다. 먼저 그룹의 크기를 클래스로 정의하고, 핸드오버 예상 단말들의 그룹화의 기준이 되는 각 클래스의 임계 EARTH를 다음과 같이 정의한다.

$$\tau_m = \max(\omega | L^*(\omega) = m), \text{ for } m = 1, 2, \dots \quad (7)$$

그리고  $\tau_0$ 은 0이라 했을 때,  $\tau_{m-1}$  이상  $\tau_m$  이하의 EARTH값을 가지는 단말들을  $m$ 번째 클래스로 분류한다. 그리고 이들을 다시  $m$ 의 크기를 갖는 그룹으로 묶어 자원 예약의 단위를 형성하도록 한다. 단, 자원 예약을 하는 그룹의 수는 미리 정해 놓은 예약 자원 수의 최대치,  $G$ 보다 크지 않도록 한다. 기지국은 위의 adaptive grouping 기법을 통해 EARTH에 따라 차등적인 크기의 그룹에 속하게 하고, 그룹별로 자원을 예약한다. 즉 EARTH가 짧은 단말일수록 그룹의 크기가 작은 상위 클래스에 속하게 되고, EARTH가 큰 단말도 하위 클래스에 속하여 자원을 일찍이 예약할 수 있게 된다.

#### IV. 적응적 그룹별 자원 예약 기법의 성능 해석

##### 1. 2-D Markov Chain 모델

이 장에서는, 제안된 차등적 자원 예약 기법의 analytical한 성능을 검증하기 위해 Markov model을 이용한다. 또한 제안된 자원예약 기법의 핸드오버 call의 dropping 확률과 신규 call의 blocking 확률의 성능과, 기존의 Time 기반 자원 예약 기법(TTR)의 성능을 비교하도록 한다<sup>[8]</sup>. 이 기존의 자원 예약 기법은 예약 자원의 수가 정해진 최대 예약 자원 수  $G$ 를 넘지 않는 조건 하에, 임계값  $\tau$  보다 EARTH가 작은 단말들에게 각각 자원을 예약하는 기법이다. 본 논문에서는  $\tau$ 가  $G$ 를 고려하여 결정된 값이라고 가정한다.

신규 call arrival은  $\lambda_n$ 의 rate을 가지는 Poisson process를 따른다고 가정하고, 한 셀에서의 Channel holding time은 평균  $1/\mu$  인 exponential 분포라 가정한다. 예약을 위한 자원의 request와 예약된 자원이 실제 이용되지 않아서 발생하는 cancellation은 각각 평균인  $\lambda_r$ ,  $\lambda_c$ 인 Poisson process를 따른다고 가정한다. 또한 핸드오버 call의 arrival과 예약된 자원이 있는 핸드오버 call의 평균 arrival 그리고 예약 자원 없이 핸드오버 하는 call의 평균 arrival은 각각 평균  $\lambda_h$ ,  $\lambda_{h'}$ ,  $\lambda_{h''}$ 를 갖는 Poisson process라고 가정한다. 이와 같을 때, Time 기반 자원 예약 기법과 제안된 자원 기법의 Markov 모델은 그림 2와 같이 2-D Markov chain으로 표현될 수 있다. 이 Markov chain에서 state  $(i, j)$ 는 현재 active된 자원 수가  $i$ 개, 예약된 자원 수가  $j$ 개 일 때의 state이다. 한편 본 논문에서는, EARTH 값에 일정한 속도,  $v$ 를 곱하면 virtual한 남은 거리의 의미로 환산될 수 있으므로, serving 기지국과 단말 사이의 virtual distance  $r$ 의 함수로서, 셀 바깥쪽으로 이동하는 active 단말들의 밀도를 성능 분석에 활용한다. 그리고 이 density는  $\delta(r)$ 으로 표현된다.

이때, 핸드오버 call의 평균 arrival rate,  $\lambda_h$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\lambda_h = \frac{6}{T} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{3}} \int_0^R \delta(r) \cdot F_{X((R-r)/v)}(T) r dr d\theta \quad (8)$$

여기서  $R$ 은 셀 반지름을 의미한다. 그리고 제안된 자원 예약 기법은 multiple 한 임계치를 가지고 그룹단위의 자원 예약을 하기 때문에 기존의 time기반 자원예약기법과  $\lambda_r$ ,  $\lambda_c$ ,  $\lambda_{h'}$ ,  $\lambda_{h''}$ 이 다르다. 먼저 클래스마다 다른 크기의 그룹 단위로 자원 예약을 하는 제안된 자원 예약 기법에서, request rate,  $\lambda_{r,prop}$ 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\lambda_{r,prop} = \frac{6}{T} \cdot \sum_{m=1}^M \int_0^{\frac{\pi}{3}} \int_{R-v \cdot \tau_{m-1}}^{R-v \cdot \tau_m} \frac{\delta(r)}{m} r dr d\theta \quad (9)$$

여기서  $M$ 은 전체 클래스 수를 의미하고, 일정한 속도  $v$ 와 임계 시간을 곱한 값은 virtual한 임계 거리를 의미한다. 그리고 예약 자원을 가진 핸드오버 call의 평균 arrival rate,  $\lambda_{h',prop}$ 은 다음과 같이 표현된다.

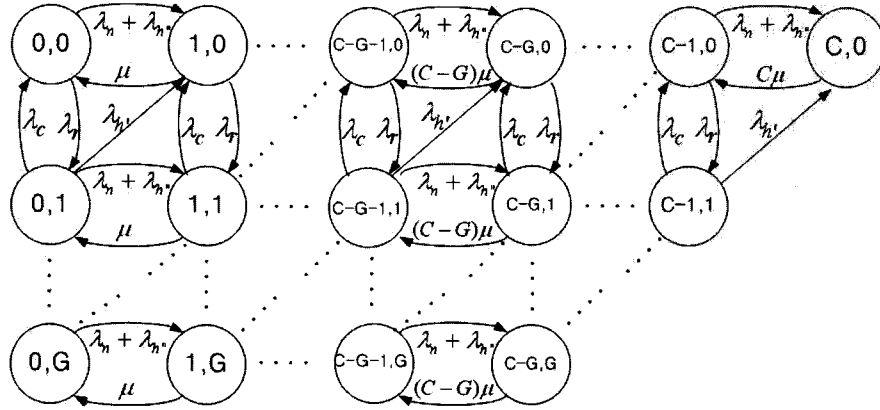


그림 2. 2-D Markov chain 모델

Fig. 2. 2-D Markov chain model.

$$\lambda_{h',prop} = \frac{6}{T} \sum_{m=1}^M \int_0^{\frac{\pi}{3}} \int_{R-v\tau}^R \frac{\delta(r)}{m} \cdot (1 - (1 - F_{X(\frac{R-r}{v})}(T))^m) r dr d\theta \quad (10)$$

이 값은 예약된 자원 중에서 시간 당 실제로 이용되는 평균 개수의 의미이다.

한편 기존의 TTR 기법에서의 평균 request rate,  $\lambda_{r,conv}$  은 다음과 같이 표현된다.

$$\lambda_{r,conv} = \frac{6}{T} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{3}} \int_{R-v\tau}^R \delta(r) r dr d\theta \quad (11)$$

그리고 기존의 TTR 기법에서, 예약된 자원이 있는 핸드오버 call의 평균 arrival rate  $\lambda_{h',conv}$  는 다음과 같다.

$$\lambda_{h',conv} = \frac{6}{T} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{3}} \int_{R-v\tau}^R \delta(r) \cdot F_{X((R-r)/v)}(T) r dr d\theta. \quad (12)$$

시간당 예약된 자원이 실제로 이용되지 않는 평균 cancellation 수  $\lambda_c$  는  $\lambda_r - \lambda_{h'}$  로 구할 수 있다. 또한 예약자원 없이 핸드오버 한 call의 평균 arrival rate  $\lambda_{h''}$  는  $\lambda_h - \lambda_{h'}$  와 같다. 이와 같을 때, 핸드오버 call의 dropping 확률,  $P_d$  은 다음과 같이 표현된다.

$$P_d = \frac{\lambda_{h'}}{\lambda_h} \cdot P(C, 0) + \frac{\lambda_{h''}}{\lambda_h} \cdot \sum_{j=0}^C P(C - j, j) \quad (13)$$

여기서  $P(i, j)$  는 state  $(i, j)$  의 steady-state probability 를 의미한다. 그리고 신규 call의 blocking 확률,  $P_b$  은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$P_b = \sum_{j=0}^C P(C - j, j) \quad (14)$$

## 2. 1-D Markov Chain Model로의 근사화

위 2차원 markov chain은 state  $i(i=0,1,\dots,C)$  가 셀 내의 active 자원 수가  $i$  개일 때의 state를 의미하는 1차원 markov chain 으로 approximation 할 수 있다. 그림 3 는 신규 call과 예약 자원이 없는 핸드오버 call은 reserved channel을 할당 받을 수 없는 approximated 1-D Markov chain model을 보여준다. 이 모델에서  $P_b$  는 다음과 같이 표현된다.

$$P_b = \sum_{i=C-R}^C P(i) \quad (15)$$

예약 자원 없는 핸드오버 call의 dropping 확률도 위 식과 같이 표현된다. 여기서, 각 state probability는 이 Markov chain이 birth-death process이므로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P(i) = P(0) \begin{cases} \frac{(\lambda_n + \lambda_h)^i}{i! \cdot \mu^i}, & i \leq C - G \\ \frac{(\lambda_n + \lambda_h)^{C-G} \lambda_{h'}^{i-(C-G)}}{i! \cdot \mu^{C-G} \cdot \mu^{i-(C-G)}}, & i \geq C - G \end{cases} \quad (16)$$

여기서  $P(0)$  는 normalized condition에 의해 결정된다. 그리고  $P_d$  는 다음과 같이 표현된다.

$$P_d = \frac{\lambda_{h'}}{\lambda_h} \cdot P(C) + \frac{\lambda_{h''}}{\lambda_h} \cdot \sum_{i=C-G}^C P(i) \quad (17)$$

## V. Performance Evaluation

본 장에서는 1차원 Markov model을 이용해 앞서 유도된  $P_b$  와  $P_d$  의 equation을 이용하여 연산된 성능을

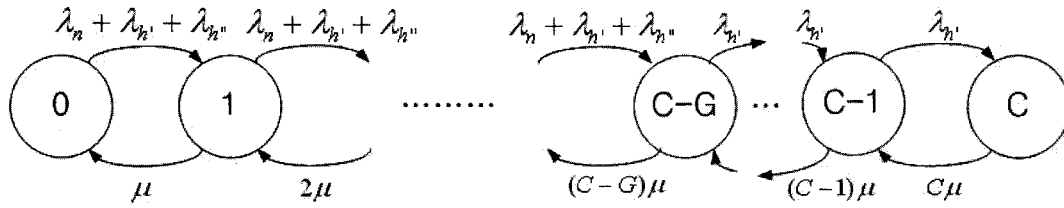


그림 3. 1-D Markov chain 모델  
Fig. 3. 1-D Markov chain model.

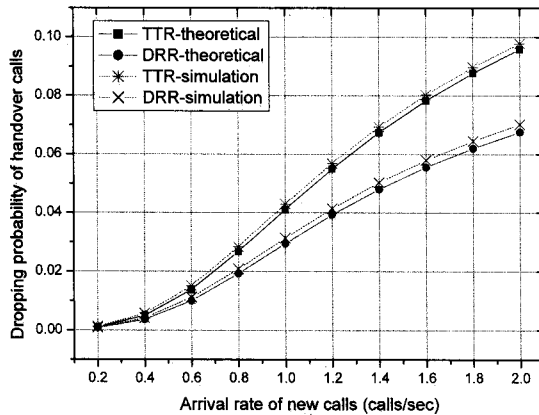


그림 4. 신규 call의 arrival rate에 따른 핸드오버 call의 dropping probability  
Fig. 4. Dropping probability of handover calls according to arrival rate of new calls.

평가하고, 이를 모의실험 결과와 비교한다. 제안된 차등적 자원 예약 기법에 의한 성능 개선 정도를 평가하기 위하여 기존의 TTR 기법과의  $P_b$ 와  $P_d$  성능을 비교하였다. 성능 평가에 있어서, 전체 채널 수  $C=50$ , 최대 예약 자원수  $G=5$ , active call의 평균 channel holding time,  $1/\mu=1\text{min}$ 으로 가정하였다. 셀 반지름  $R=100$ ,  $\delta(r)=10/(\pi R^2)$ 라 가정하였다. 또한  $f_{X(\omega)}(x)$ 는 평균이  $\omega$ , 표준편차가  $\sqrt{\omega^2/3}$ 인 Gaussian distribution의 pdf라고 가정한다.

그림 4는 셀 내 이동 단말의 평균 이동 속도가 25Km/h일 때, 신규 call의 arrival rate에 따른 핸드오버 call의 dropping 확률을 보여준다. 기존의 TTR 기법과 제안된 DRR 모두 신규 call의 arrival rate이 커질수록 dropping 확률이 커짐을 알 수 있다. TTR의  $P_d$ 와 비교했을 때 DRR은 신규 call의 arrival rate이 1.6calls/sec일 때 0.02만큼 향상된  $P_d$  값을 가진다. 이 결과는 제안된 DRR기법은 핸드오버 할 확률을 토대로 random access 기반의 자원 예약을 하기 때문에 reservation 성공률이 증가하기 때문인 것으로 볼 수 있

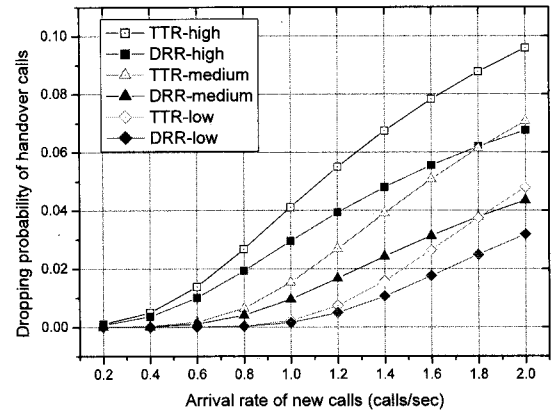


그림 5. 다양한 mobility 환경에서의 핸드오버 call의 dropping probability  
Fig. 5. Dropping probability of handover calls in various mobility environments.

다. 또한 그림 4에서 numerical equation에 의해 연산된  $P_d$ 의 그래프가 모의실험의 결과와 거의 일치하는 것은 본 논문에서의 numerical derivation의 creditability를 증명한다.

그림 5에서는 평균 이동 속도에 따라서 제안된 자원 예약 기법의  $P_d$ 를 기존의 TTR기법의  $P_d$ 와 비교 하였다. 이 그래프에서 high mobility는 평균 25Km/h, medium mobility는 20Km/h, low mobility는 평균 15Km/h를 나타낸다. 그림 5는 다양한 mobility 상황에서 본 논문에서 제안된 DRR은 TTR보다 더 작은  $P_d$  값을 가짐을 보여준다. 그리고 high mobility 상황 일수록 DRR은 TTR에 비해 더욱 개선된 dropping 확률을 가지는 것을 볼 수 있다. 이것은 제안된 DRR기법은 핸드오버가 임박한 단말들은 자원을 보장하면서도, 핸드오버 확률이 낮은 단말들도 하위 클래스에 속하게 하여 TTR기법에 비해 일찍이 자원을 예약을 할 수 있기 때문이다.

그림 6에서는 평균 이동 속도에 따라서 제안된 자원 예약 기법의  $P_b$ 를 기존의 TTR기법의  $P_b$ 와 비교 하였

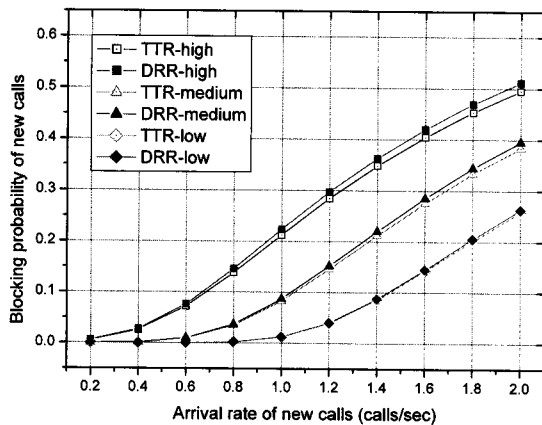


그림 6. 신규 call의 arrival rate에 따른 new call의 blocking probability

Fig. 6. Blocking probability of new calls according to arrival rate of new calls.

다. 그림 4와 유사하게 mobility가 커질수록 자원이 부족해짐에 따라 신규 call의 admission rate이 감소하는 것을 알 수 있다. 그리고 DRR의  $P_b$  그래프는 TTR의  $P_b$  그래프와 거의 유사한 것을 통해, 제안된 자원 예약 기법은 기존의 TTR 기법과 거의 같은  $P_b$  성능을 가짐을 알 수 있다. 이 결과는 DRR이 예상 핸드오버 시간을 기반으로 한 grouping을 통해서, 효율적으로 자원을 이용하여 핸드오버 call에게 자원 예약을 하기 때문인 것으로 해석된다. 위의 성능 그래프들을 통하여, 본 논문에서 제안된 DRR 기법은 TTR 기법과 비교했을 때 new call의 blocking 확률은 비슷하게 유지하면서 핸드오버 call의 dropping 성능을 향상시킴을 보였다.

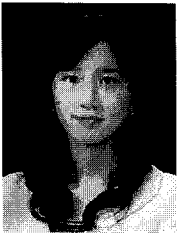
## VI. 결 론

본 논문에서는, 자원 효율적인 핸드오버 call의 우선화를 위하여, random access 기반의 적응적 그룹별 자원 예약 기법을 제안하였다. 이 제안된 자원 예약 기법에서는, 그룹 당 자원 예약의 개념을 도입하고, resource utilization과 충돌 확률을 고려한 adaptive grouping 알고리즘을 통해 핸드오버가 임박한 정도에 따라 그룹의 크기에 차등을 두었다. 그리고 제안된 예약 기법의 성능을 Markov chain 모델을 이용하여 수치적으로 분석하였다. 시뮬레이션 결과는 이론적으로 유도된 성능과 유사함을 보였으며, 제안된 자원 예약 기법이 기존의 자원 예약 기법의 핸드오버 call의 dropping 확률을 개선시킬 수 있음을 보였다.

## 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 Procedures," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 35, no.3, pp. 77-92, Aug. 1986.
- [2] 이원열, 장성식, 변태영, 한기준, "핸드오프 호의 분류를 이용한 2-레벨 자원 예약 및 수락 제어 방식," 전자공학회논문지, 제38권 TC편, 제9호, 1-11 쪽, 2001년 9월
- [3] R. Guerin, "Queuing-blocking system with two arrival streams and guard channels," IEEE Trans. Commun., vol. 36, no. 2, pp. 153-163, Feb. 1998.
- [4] Wan-Sun Im et al., "L2 / L3 Integrated Handover and Its Performance," in Proc. of Joint Conference on Communications & Information 2006, Korea, April 2006.
- [5] M. H. Chiu and M. A. Bassiouni, "Predictive schemes for handoff prioritization in cellular networks based on mobile positioning," IEEE Journal on Selected Areas in Communication, 18(3):510-522, March. 2000.
- [6] Mingyu Wu et al., "Performance Evaluation of Predictive Handoff Scheme with Channel Borrowing," in Proc. of IEEE Intern. Performance, Computing, and Communications Conference, pp. 531-536, April. 2003.
- [7] Y. Xu, Q.L. Ding, C.C. Ko, "Impact of Handoff Protection Strategies on Cellular Mobile System Capacity," IEEE Trans. Wireless Communication, vol.3, pp. 1076-1087, July 2004.
- [8] S. Ali. A. Fakoorian and Hassan Taheri, "Protection of Originating Calls in Handoff Prioritization Schemes," in Proc. of IEEE Intern. Wireless Pervasive Computing 2006, Jan. 2006.
- [9] H. Yu, S. Shin, H. Kang, and N. Kim, "Differentiated Resource Reservation scheme with Handover Clearing Relay for Hybrid Duplexing Systems", in Proc. of IEEE International Symposium on PIMRC, Cannes, France, Sep. 2008.
- [10] N. Kim, M. Kim, E. Kim, S. Shin, H. Yu, and S. Yun, "Robust Cognitive Radio OFDM Architecture Based on Adaptive Frequency/Time Spreading," ETRI Journal, vol. 30, no. 1, pp. 21-32, 2008.
- [11] 박인수, 탁동국, 김원태, 박용진, "중첩 이중 무선 망 환경에서 단말의 이동 속도를 고려한 효과적인 망 자원 예약," 전자공학회논문지, 제44권 TC편, 제10호, 83-98쪽, 2007년 10월

— 저 자 소 개 —



유 혜 인(정회원)  
2007년 이화여자대학교 정보통신  
공학과 학사  
2009년 이화여자대학교 전자정보  
통신공학과 석사  
<주관심분야 : Resource allocation,  
Multi-hop Relay Architecture,  
Handover >



강 해 린(정회원)  
2007년 이화여자대학교 정보통신  
공학과 학사  
2009년 이화여자대학교 전자정보  
통신공학과 석사  
<주관심분야 : Multi-hop Relay  
Architecture, Resource allocation,  
Cognitive radio>



김 낙 명(평생회원)  
1980년 서울대학교 전자공학과  
학사  
1982년 KAIST 석사  
1990년 Ph.D. Cornell University

<주관심분야 : Cross-layer optimization,  
Cognitive Radio Systems, Multi-hop Relay and  
MANET Architecture, Hybrid Multiple Access  
Technology, MIMO-OFDM systems>