
무선 이동통신 교환시스템에서 타임아웃(timeout)큐를 적용한 호 처리 방식의 성능해석에 관한 연구

禹相徹*, 尹鍾浩**

Perfomance of call handling schemes for radio mobile exchange
communication system applied by timeout Queue

Sang-Choel Woo*, Jong-Ho Yoon**

요 약

무선이동통신 교환시스템에서는 셀내에서 발생하는 신규호(OC)와 핸드오프호(HC)의 적절한 처리가 중요하다. 특히, 가입자 측면에서 현 셀내에서 신규호로 발생하는 신규호의 블러킹보다 다른 인접셀내로 핸드오프할 때 발생하는 핸드오프호의 블러킹은 이동가입자의 정신적인 불쾌감을 가중시키게 된다. 따라서 본 논문에서는 핸드오프의 블러킹 확률을 감소시키기 위한 방안으로 이동무선 교환 시스템에서 예약채널과 타임아웃 구조를 가지는 버퍼를 제안하였고 성능분석을 수행하였다. 분석결과 보호채널이 증가할수록 신규호의 블러킹 확률은 증가하며, 핸드오프호의 블러킹 확률은 감소한다. 또한, 타임아웃 시간이 길어짐에 따라 핸드오프호의 블러킹 확률은 감소함을 알 수 있다.

Abstract

In the wireless mobile exchange communication system, the proper handling of originating call(OC) and handover call(HC) is important. Specially, when it's viewed from the user side, mobile users feel more weighting soul disappointment with the handover blocking probability moving from current cell to adacent cell than with originating call blocking probability happening new call in current cell. Accordingly, this paper is proposed and analyzed the timeout buffer system and guard channel for decreasing handover blocking probability. In analytic

* 호서대학교 부설 호서전산전문학교 정보통신공학과 전임강사

** 한국항공대학교 항공정보통신 공학과 부교수

접수일자 : 1998년 2월 5일

result, The more guard channel increase, the more originating call blocking probability increase and handover blocking probability decrease. Also, the more timeout duration increase, the more handover blocking probability decrease.

1. 서 론

이동통신시스템은 현재 CT-1, CT-2, CT-3, PCN 단계를 거쳐 세계전역을 하나의 통화권으로 하는 제 3 세대 이동통신 서비스(FPLMTS: Future Public Land Mobile Telecommunication Service)로 눈부시게 발전하고 있다. 또한, 이동통신 수요자의 지속적인 증가로 인하여 한정된 주파수 자원을 효율적으로 사용하기 위한 방안이 매우 중요하다. 셀룰라 이동통신 시스템에서는 전체 서비스 지역을 셀(Cell)이라는 소규모의 작은 서비스 영역으로 분할하여 주파수를 재사용함으로써 한정된 주파수 채널을 효율적으로 사용하고 있다. 서비스 품질의 성능평가 요소로는 통화가능지역, 통신의 서비스 등급, 통화중호 절단 발생회수 등이 고려할 수 있다.

셀룰라 시스템은 많은 수의 가입자에게 안정된 서비스를 공급하기 위하여 셀의 반경이 점점 소형화되고 있으며 마이크로 셀(Micro Cell), 피코 셀(Pico Cell)로 진전하고 있다. 한편, 저속 이동 가입자와 고속 이동 가입자의 속도에 따라서 효과적인 셀 영역을 선정함으로써 셀의 계층화를 도모하고 있다.

또한, 무선이동 통신의 채널특성은 특히 마이크로 셀과 피코 셀의 형태로 구성되어 기지국과 단말기의 송, 수신신호가 가지거리에 있어 직접파(LOS)와 간접파(NLOS)가 혼재하는 라이시안(Rician) 페이딩 채널 형태가 되고, 핸드오프 등의 문제로 인하여 이동 단말국의 속도가 제한되기 때문에 느리고 평탄한(slow flat) 페이딩의 특성을 가지고 있다. 이런 특성에도 불구하고 무선방식 중 채널 용량과 주파수 면에서 그 성능이 우수한 16QAM방식이 향후 고속 데이터 통신과 실시간 화상 통신에 적합하다고 알려져 있다.

이동통신 시스템에서 고려되는 호의 종류로는 셀 영역에서 통화를 처음 시도하는 신규호(OC: Originating Call)와 이미 통화중인 상태에서 인접한 셀 영역으로 이동하는 핸드오프호(HC: handover

Call)로 나눌 수 있다. 통화중인 핸드오프호의 블러킹은 신규호의 블러킹보다 이동가입자가 느끼는 정신적인 불편함이 훨씬 심각함으로 더 높은 서비스 등급(GOS: Grade Of Service)을 부여해야 한다. 따라서 핸드오프호의 블러킹 확률을 낮추는 것은 매우 중요한 관점이라고 할 수 있다.

Hong과 Rappaport는 핸드오프호를 위해 별도의 버퍼와 전용 예약 채널을 두어 핸드오프호의 블러킹 확률을 감소시키는 방법을 제안 분석하였다. 또한, Guerin은 만약에 현재의 빈 채널의 개수가 설정된 보호 채널의 갯수보다 작은 경우에 일반적인 호는 버퍼링시키지만 핸드오프호는 이러한 제한이 없도록 하는 방식을 제안하였다[1]. Tekinary와 Jabbari는 수신전력에 기초로 큐에 있는 핸드오프호에 우선순위를 주는 MBPS(Measurement Based Prioritization Scheme)를 제안하고 성능분석을 수행하였다. MBPS방식은 비우선권 큐잉(nonpreemptive priority queueing)방법을 따른다. Yi-Bing Lin과 Anthony Noerpel은 핸드오프호와 신규호의 초기접속에 대한 채널할당방법을 제안하였고 여러 가지 호 처리방식을 비교 성분분석 및 시뮬레이션을 수행하였다. 또한, El-Dolil et al.은 고속도로상에서 이동전화 무선 시스템을 위한 마이크로 셀, 매크로 셀의 개념을 도입하여 Hong결과를 이용하여 성분분석을 하였다[2]. G. N. Senarath와 D. Everitt는 음성 부호화기의 전송속도를 반으로 줄여서 핸드오프호에 할당할 채널을 만드는 방안을 제시하였고[3], Gnedenko와 Kovalenco는 지수분포를 가지지 않는 타임아웃 큐잉 시스템은 마르코프 과정으로 모델링될 수 없음을 지시하였다[4].

C. H. Yoon과 K. Un은 M/M/C/K의 모델링을 통하여 유한버퍼를 가지는 큐잉시스템에서 핸드오프호와 신규호의 처리를 FIFO와 LIFO with pushout방식으로 처리하는 것과 FIFO와 FIFO with pushout방식으로 처리하는 것을 성분분석 하였으

며, 또한 주어진 환경하에서 어떤 방식이 효과적인가를 결정하는 비용함수(cost function)를 제안하여 비교분석함으로써 최근 심각한 적체현상을 겪고 있는 국내의 이동무선전화 시스템의 효율성을 향상시킬 수 있는 해결책을 제시하였다[5].

K. Un과 Jin Won. Jang은 핸드오버호가 마이크로 셀 환경하에서 모퉁이 효과(Corner Effect)에 의해서 발생하는 간접파의 급격한 감쇄를 고려하여 직접파에 의한 핸드오프 호와 간접파에 의한 핸드오프 호를 구분하여 각각 독립된 큐에 넣어 간접파에 의해 연결된 호에 우선권을 주는 방안과 간접파에 의한 호가 발생하였을 때 이용가능한 채널이 없을 때에는 소프트 핸드오버 중인 직접파로 연결된 핸드오프 호가 있으면 이 호의 채널을 선매(preemption)하는 방안을 제안하고, 맨하탄 모델(Manhattan Street)을 가정하여 직, 간접파 특성을 고려하여 시뮬레이션 하였다[6].

본 연구에서는 핸드오프호의 블러킹 확률을 낮추기 위한 방안으로 이동교환시스템에 예약 채널(Guard Channel)을 가지며 핸드오프 호에 타임아웃큐(Timeout Queue)를 적용한 호 처리 방안을 제안하고자 하며, 이 방식에 의한 신규 호(OC)와 핸드오프호(HC)의 성능분석을 수행하였다. 특히 타임아웃 큐 등의 해석을 위하여 셀 내에서의 체제시간과 핸드오프 영역에서의 지속시간을 고려한 새로운 확률변수를 제안하였다.

서론에 이어 제 II장에서는 이동통신교환기(MSC : Mobile Switching Center)에서의 기존의 핸드오프호의 호 처리방식을 검토하고, 제 III장에서는 성능 해석을 위하여 새로운 확률변수를 제시하고, 큐잉 모델링과 제안된 호처리 방식의 수치적분석을 통하여 성능분석을 수행한다. 제 IV장에서는 수치적 해석을 통한 결과를 비교분석 한다. 마지막으로 제 V장에서 결론을 맺는다.

II. 무선 이동통신교환기에서의 호 처리방식과 큐잉모델링

2.1 셀룰라 이동통신 시스템

셀룰라(cellular) 이동통신 시스템은 전체 서비스 지역을 다수의 무선 기지국(base station)으로 세분

화하여 소규모의 서비스 영역인 셀들로 구성하고 무선 기지국들은 이동 무선 교환 시스템으로 집중 제어하여 이동가입자가 입점된 셀간을 이동 하더라도 통화를 지속할 수 있도록 한다. 셀은 여러 모형들이 있으나 현재는 육각형 셀로 많이 모델링을 하고 있으며 서로 인접한 셀간에는 다른 주파수를 사용해야 하지만 일정간격이상 떨어진 셀간에는 같은 주파수를 사용함으로써 주파수 자원을 효율화 시키고 있다. 또한, 이동 가입자가 셀간의 이동시 연속적인 통화를 위하여 교환기는 신호채널과 통화채널을 적절히 제어하여 사용자 단말기를 적절한 주파수로 핸드오프(handover) 시켜야 한다. 현재는 이동가입자의 이동성을 고려하여 피코 셀, 마이크로 셀, 매크로 셀, 위성 셀등으로 서비스 지역을 구분지우고 있으며 이들의 계층구조(hierarchical architecture)화가 진전 중이다.

따라서 무선 이동통신 시스템의 전체적인 시스템은 그림 2.1과 같다.

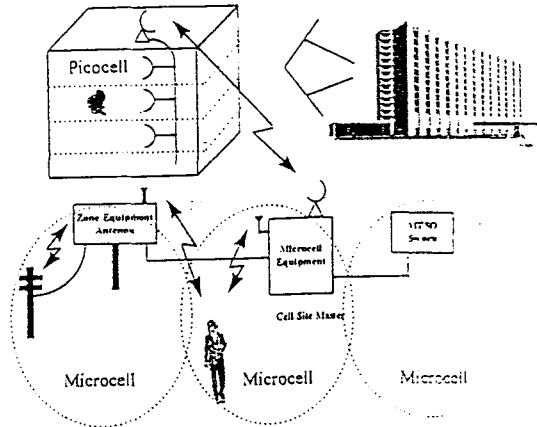


그림 2.1 무선 이동통신 시스템 구성
Fig. 2.1 Radio Mobile Communication system

2.2 호 처리방식

이동통신 시스템에서의 호의 종류는 통화를 처음 시도하는 신규호(OC)와 통화중에 그 이웃한 인접셀로 이동하였을 때, 그 호를 계속 유지하기 위하여 기지국은 자신에 접속된 이동통신교환기로부터 통화채널을 재할당 받아 이동국의 통화를 계속 진

행시키는 과정에서 발생하는 핸드오프호(HC)로 나누어진다. 만일에 인접 셀에 핸드오프를 요구시 빈 채널이 없다면 통화는 절단되고 만다. 이때 이동가입자는 신규호의 절단보다 핸드오프호의 절단에 더욱 심한 정신적인 불편감을 가지게 됨으로 핸드오프호의 블러킹(blocking) 확률을 감소시키는 방안이 계속 연구되어져 왔다.

또한, 이동통신 시스템에 대한 수요의 증가와 높은 통화품질의 요구에 따라 셀의 환경은 점점 소형화 되고 있는 추세이며, 따라서 핸드오프호의 발생빈도는 더욱 커지게 된다. 핸드오프호에 우선순위를 주지 않는 방식에서는 핸드오프호와 신규호가 동일하게 취급되어짐으로 핸드오프호의 블러킹 확률은 신규호의 블러킹 확률과 동일하다.

현재까지 핸드오프호의 블러킹 확률을 감소시키는 방안으로는 크게 두 가지 방안이 제시되었다. 핸드오프호를 위하여 전용의 예약채널(Reservation Channel Schemes) 또는 보호채널(Guard Channel)을 두는 방법과 핸드오프호를 버퍼에 큐잉(Queuing)시키는 방법이다. 핸드오프호를 큐잉시키는 방법은 단순히 우선권 큐잉방식(preemptive)을 따르는 FIFO 형태가 있으며, 이동국의 수신전력을 기초로 하여 큐에 있는 핸드오프호의 우선순위를 결정하는 일종의 비우선권방식(nonpreemptive)의 MBPS 형태가 있다. 이외의 다른 방식들은 이들방식의 혼합된 변형 형태라 할 수 있다. 다음에서는 핸드오프호와 신규호에 채널을 할당하는 호 처리 방식을 요약하였다.

1) 비우선권 기법(NPS:Non-Prioritized Scheme)

이 방식은 신규호와 핸드오프호 모두에게 우선권을 두지 않는 방법이다. 따라서 신규호와 핸드오프호는 동일하게 취급되어짐으로 양자의 블러킹 확률은 동일하다. 핸드오프호가 인접셀로 이 동시 이동교환시스템에 채널할당을 요구하더라도 모든 가용한 채널이 사용중이라면 핸드오프호라도 즉각적으로 종료(forced termination)된다. 가장 간단하고 전형적인 방법이지만 다른 방안에 비해 핸드오프호의 강제적 종료율이 가장 높게 나타나며 서비스의 품질도 매우 낮다.

2) 예약채널 기법(Reserved Channel Scheme)

기본적으로는 비우선권 기법과 동일한 원칙으로 채널을 할당한다. 그러나 핸드오프호가 셀에서 발생할 때에는 핸드오프호만을 위한 전용의 예약채널을 두어 사용하고, 신규호의 예약채널 사용은 블러킹 시킨다. 따라서 전 가용한 채널 중 채널을 두 종류로 구분하며 일반채널은 신규호와 핸드오프호가 우선순위 없이 할당되고 예약채널은 핸드오프호에만 할당되어진다.

3) 큐잉 우선권 기법(Queueing Priority Scheme)

이 방식은 인접 셀간의 핸드오프 영역에서 핸드오프호를 두 기지국이 동시에 접근, 처리할 수 있는 점을 이용한다. 이동국의 핸드오프호가 핸드오프 영역을 통과하면서 기존의 셀 기지국의 수신전력세기가 점차 감소할 때 핸드오프 하려는 목표 기지국(target base station)의 채널이 가용하지 않더라도 이 핸드오프호를 목표 기지국의 큐에 버퍼링시켜 그 셀에서 채널이 생길때까지 관리하는 방법이다. 핸드오프호는 채널이 가용하다면 신규호보다 우선권을 가지고 서비스되며, 채널을 할당받지 못한 상태에서 기존의 수신전력세기가 일정레벨이하로 떨어지면 핸드오프 호는 강제로 종료(forced termination)된다. 일반적으로 핸드오프호에 우선권을 주는 방식은 핸드오프호의 블러킹 확률은 감소시키지만 신규호의 블러킹 확률을 증가시키는 성질을 가진다.

큐잉 우선권 기법은 큐의 서비스 원칙에 따라 먼저 도착한 호를 먼저 서비스하는 FIFO(First In First Out)방식과 측정에 의존하는 MBPS방식이 있다. MBPS방식은 다시 목표 기지국에 가용채널이 생기는 순간 큐에 대기중인 핸드오프호 중에서 가장 낮은 수신전력레벨을 가지는 호에 가장 높은 우선권을 부여하여 먼저 서비스 하는 방법과 핸드오프호 중에서 가장 작은 핸드오프 지속시간을 가지는 호에 가장 높은 우선권을 부여하여 먼저 서비스 하는 두가지 방식이 있다. 또한, MBPS방식은 FIFO 방식에 비해 더욱 복잡한 하드웨어를 요구하며 두 방식간의 성능차이는 크지 않은 것으로 알려져 있다. 다음의 그림 2.2에 큐잉 우선권 기법의 흐름도를

도시하였다.

4) 기타 여러가지 기법(Various Schemes)

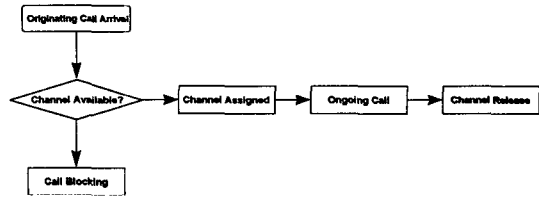
이동통신 시스템에서 호의 채널할당방식은 다양하게 연구되어져 오고 있다. 먼저 채널이 모두 점유되었을 때 음성부호화기의 데이터 전송속도를 1/2로 줄여서 두 개의 채널로 만든 뒤, 만들어진 채널 중 하나는 기존의 호를 서비스하고, 나머지 채널에는 핸드오프호를 할당한다. 또한, 신 규호와 핸드오프호를 모두 큐에 넣어 신규호는 핸드오프호의 뒤에 위치시켜 LIFO나 FIFO로 처리할 때 성능분석을 수행하였다. 예약채널 기법과 큐잉 우선권 기법을 혼합한 방식의 성능 분석도 이루어 졌다.

본 연구에서는 이동통신교환 시스템에서 핸드오프 호에 GOS를 크게 두기 위하여 핸드오프 호를 위한 전용의 보호채널과 타임아웃(timeout)버퍼를 가지는 핸드오프호 처리방식을 제안한다. 교환기 시스템의 최대 큐잉 시간(maximum queueing time)은 이동국의 셀 내에서의 체제시간(residual time)과 수신 전력의 열화시간(degradation time) 즉, 핸드오프 지속 시간으로 이루어지며 각 시간분포는 지수분포를 이룬다. 따라서 핸드오프호의 블러킹 확률은 핸드오프호가 최대 큐잉 시간내에 채널을 할당받지 못하여 서비스를 받지 못하는 확률과 같다. 만약에 핸드오프호가 최대 큐잉 시간내에 서비스되거나 다른 인접셀로 이동한다면 핸드오프호는 블러킹되지 않을 것이다. 그림 2.3는 타임아웃 구조를 가지는 이동통신 교환 시스템에서의 호처리 흐름도를 도시하였다.

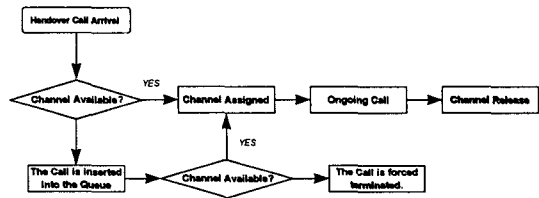
Ⅲ. 트래픽 모델링

3.1 셀룰라 시스템에서의 확률변수(Random Variable)

입의 셀내에서 통화를 시도한 후 이동가입자는 무선통화채널을 할당받아 통화시간(message time)동안 호를 유지한다. 통화시간을 나타내는 확률변수를 T_M 이라하면, 평균이 $1/\mu$ 인 지수분포를 이룬다. 또한, 셀 내에서의 이동가입자의 속도는 전방향성을 이루며 $[0, V_{max}]$ 사이에서 균일분포를 이룬다고 가정한다. 따라서, 통화시간과 이동가입자 속도의 확률밀

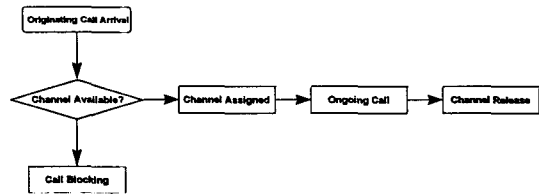


(A) 신규호(OC:Originating Call)의 호처리 흐름도

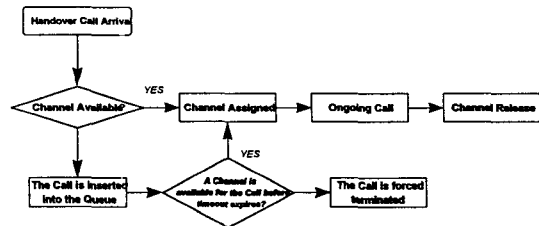


(B) 핸드오프호(HC:Handover Call)의 호처리 흐름도

그림 2.2 큐잉 우선권 기법의 흐름도
Fig. 2.2 Flow of Queueing Priority Method



(A) 신규호(OC:Originating Call)의 호처리 흐름도



(B) 핸드오프호(HC:Handover Call)의 호처리 흐름도

그림 2.3 타임아웃 기법의 흐름도
Fig. 2.3 Flow of Timeout Method

도함수(probability density function)는 다음과 같다.

$$f_{T_M}(t) = \mu e^{-\mu t} \quad (t \geq 0)$$

$$f_v(v) = 1/V_{max} \quad (0 \leq v \leq V_{max}) \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

채널점유시간(T_H : channel holding time)는 이동가입자가 셀내에서 사용가능한 무선통화 채널을 할당받은 시점부터 셀내에서 호가 완료되거나 이동가입자가 셀영역을 벗어남으로서 할당받은 채널을 더 이상 사용하지 않을 때 까지의 시간으로 정의된다. 통화시간은 이동가입자의 측면에서 보는 관점이며, 채널점유시간은 셀 영역에서 보는 관점이다. 이동가입자는 통화시간 동안 호를 유지하는 데 시도한 호를 셀내에서 종료하거나 또는 인접 셀로 핸드오프하여 호를 종료하기도 하며, 여러 셀을 계속 통화가 끝날 때까지 핸드오프하여 종료할 수도 있다. 따라서 채널점유시간은 이동가입자의 통화시간, 신규호가 핸드오프 하기까지 셀내에서 머무르는 시간(residual time), 핸드오프한 호가 다시 핸드오프 할 때까지 머무르는 시간을 고려하여 생각해야 한다. 임의의 셀에서 발생한 신규호의 채널점유시간을 나타내는 확률변수를 T_{Hn} 이라하면 이는 신규호의 셀내 체제 시간(T_n)과 T_M 사이의 최소값으로 결정되며, 핸드오프 호의 채널점유 시간을 나타내는 확률변수를 T_{Hh} 라 하면 이는 핸드오프한 호가 또다시 핸드오프하기 까지 셀내에서 체제한 시간(T_h)와 T_M 사이의 최소값으로 결정된다. 따라서 정리하면 식(2-2)와 같다.

$$T_{Hn} = \text{Min}(T_M, T_n) \dots\dots\dots(2-2)$$

$$T_{Hh} = \text{Min}(T_M, T_h)$$

이동가입자의 통화 시간과 셀내의 체제시간은 서로 독립적인 확률변수이다. 그러므로 셀 내에서의 채널점유시간은 독립적인 두 개의 확률변수를 포함하여 생각하는 것이 바람직하다[7]. 셀 내에서의 평균 체제시간을 평균이 $1/\eta$ 이라고 하면 셀 내에서의 체제시간을 나타내는 확률밀도함수(pdf)는 $f_{res}(t) = \eta e^{-\eta t}$ 로 주어진다. 따라서 호처리를 위한 해석모델에서의 채널점유시간의 확률밀도함수는 $f_H(t) = (\mu + \eta)e^{-(\mu+\eta)t}$ 로 주어진다. 또한, $\mu \gg \eta$ 라면 항상 이동 가입자가 이동하기 전에 호는 종료될 것이며, $\mu \ll \eta$ 라면 호는 결코 종료되지 않지만 결국에는 블러킹될 것이다.

핸드오프는 일반적으로 이동가입자가 기지국으로부터 멀어지면 수신전력은 낮아지고, 수신전력이 핸드오프 임계치(handover threshold)보다 낮아지게 되면 발생하게 된다. 따라서 핸드오프 영역은 이동 가입자의 평균 수신 전력 레벨이 핸드오프 임계값과 수신기 임계값 사이에 있는 영역으로 정의된다. 핸드오프 지속시간(handover duration) 또는 수신전력 열화시간(degradation time)은 이동 가입자가 핸드오프 영역에서 머무르는 시간으로 정의되며, 이 시간은 이동가입자의 속도, 방향, 셀의 반지름에 따라 변화하게 된다. 핸드오프 호에 우선권(priority)을 주기위해 큐를 두는 경우 핸드오프 호는 셀내에서 가용한 채널이 발생하지 않는다면 큐에 버퍼링되며, 큐에 버퍼링되어 있는 핸드오프호는 핸드오프 영역을 완전히 벗어나기 전에 이전의 이동가입자의 통화중인 호가 종료되어 신규의 무선 채널을 할당받아 성공적으로 핸드오프(handovered successfully)되는 경우와 이동가입자의 수신전력이 수신기 임계값보다 낮아질 때까지 신규의 무선 채널을 할당받지 못하여 시스템 내에서 강제적 종료(forced termination)를 당하는 경우가 있다. 또한, 큐에 타임아웃 구조를 적용할 때는 교환기 시스템의 최대 큐잉 시간내에 신규의 채널을 할당받지 못하면 핸드오프호는 블러킹되며, 핸드오프호가 최대 큐잉 시간내에 서비스되거나 다른 인접 셀로 이동한다면 핸드오프 호는 블러킹되지 않을 것이다. 핸드오프 지속시간이 평균 $1/\gamma$ 의 지수 분포를 이룬다고 가정할 때 핸드오프 지속시간의 확률밀도함수(pdf)는 $f_{deg}(t) = \gamma e^{-\gamma t}$ 가 된다. 또한, 이동통신 시스템에서의 타임아웃 큐를 적용시 최대 큐잉 시간(Maximum Queueing Time)은 핸드오프 지속시간과 이동가입자가 셀내에서 머무르는 셀내 체제시간의 확률변수로서 정의된다. 따라서 최대 큐잉 시간의 확률밀도 함수(pdf)는 $f_{MQT}(t) = (\gamma + \eta)e^{-(\gamma+\eta)t}$ 가 된다. 셀룰라 이동통신 시스템에서 셀의 반경이 점점 작아짐에 따라 한 호의 통화시간 동안 핸드오프가 발생할 발생할 가능성이 여러번 있으므로 가입자 관점에서 볼 때 봉화가 완료되기 전 강제로 종료될 확률은 핸드오프 호의 블러킹 확률보다 더 중요하다.

3.2 이동 무선 교환기 시스템의 큐잉 모델링

본 연구에서 사용한 가정은 다음과 같다. 이동통신교환 시스템은 접속된 한 셀마다 고정된 C개의 채널(server)을 가진다. 성능 해석을 위해 도입된 예약채널 시스템에서는 핸드오프호만을 위한 전용의 C_g개의 보호채널(Guard Channel)을 가진다. 또한, 타임아웃 큐구조를 가지는 교환시스템에서는 모델링은 유한 버퍼 모델링과는 달리 최대 큐잉 시간 내에서 호가 버퍼링되는 구조를 가지고 있음으로 무한버퍼로 모델링 된다.

셀룰라 이동통신 서비스 영역내에서 신규호(OC)의 발생율은 전체 이동서비스 영역내에서 균일하게 분포한다고 가정하며, 단위면적당 신규호의 발생율(arrival rate)을 λ₀라고 하면 셀 반지름이 R인 6각형 셀일 경우 셀당 평균 OC발생율은 λ₂ = 3√3/2 λ₀R²로 주어진다. 또한 OC의 발생률 λ₂는 Poisson분포를 가진다. 통화시간은 평균이 1/μ인 지수분포(exponential distribution)를 이루며 셀 내에서의 체제시간은 평균 1/η인 지수분포를 이룬다. 또한, 핸드오프 영역에서의 지속시간은 평균이 1/γ인 지수분포를 이룬다. 그리고, 한 채널을 점유하던 호가 한 셀내에서 random walking하여 P_h의 확률로 핸드오프될 때, 이전 셀에서의 호의 지속시간과 새로운 셀에서의 그 호에 남아있는 지속시간(residual time)은 지수분포의 memoryless 성질로 인하여 HC와 OC는 같은 평균값을 가지는 지수분포를 가진다. 그러므로 λ₁은 λ₂에 비례하여 λ₁ = P_h · λ₂가 되며, 마찬가지로 HC의 발생률 λ₁도 Poisson분포를 이룬다. 한 셀에서 발생하는 호의 총도착률 λ_T와 총 트래픽 부하 ρ_T는 각각 λ_T = λ₁ + λ₂, ρ_T = λ_T / (C(μ + η))가

된다. 타임아웃 구조를 가지는 교환시스템은 무한 버퍼 큐잉시스템에 최대 큐잉 시간을 가지는 구조로 모델링 되며, 만일 최대큐잉 타임내에 호가 서비스 된다면 블러킹되지 않는다. 그림 3.1는 예약채널과 타임아웃 큐 구조를 가지는 호 처리 방식의 전체적인 큐 모델링이다. 또한, 그림3.2는 이동 무선 교환 시스템의 모델링에 따른 상태천이도를 나타내었다.

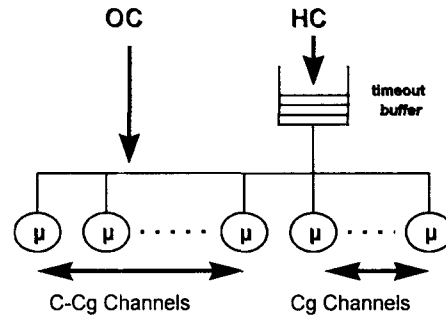


그림 3.1 이동무선 교환기의 큐잉 모델링
Fig 3.1 Queueing Model of Radio Mobile Exchange

이동통신교환 시스템에서 핸드오프 호를 위한 전용의 큐에는 타임아웃(timeout) 구조를 적용한다. 이 방식은 유한버퍼 방식과는 어느정도 차이를 보인다. 핸드오프호는 타임아웃 시간내에는 버퍼에 머무르게 된다. 그러나 타임아웃 시간내에 채널을 할당받아 서비스되지 않고 버퍼에 존재한다면 핸드오프호는 블러킹된다. 타임아웃은 최대 큐잉 시간(maximum queueing time)으로 정의되어지고 핸드오프호의 최대 큐잉 시간은 수신전력의 열화시간 즉, 핸드오프 지속시간과 셀내에 이동국이 체제하는 시간의 확률함수로서 구성된다. 타임아웃 기법이 큐에 적용된 이동 무선 교환 시스템의 모델 상태천

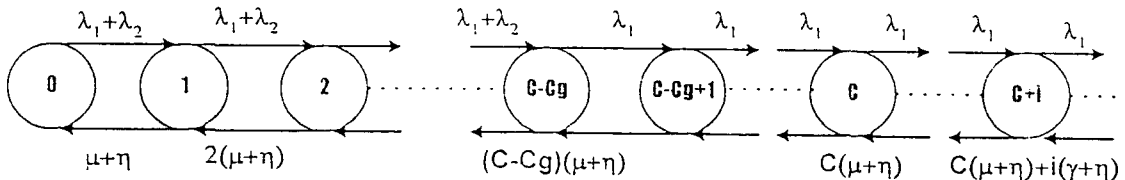


그림 3.2 모델링의 상태천이도
Fig. 3.2 State Transition of Model

$$P_0 = \left[1 + \sum_{j=0}^{C-C_g} \frac{(\lambda_1 + \lambda_2)^j}{j!(\mu + \eta)^j} + \sum_{j=C-C_g+1}^C \frac{(\lambda_1 + \lambda_2)^{(C-C_g)} \cdot \lambda_1^{(j-C+C_g)}}{j!(\mu + \eta)^j} + \sum_{j=C+1}^{\infty} \frac{(\lambda_1 + \lambda_2)^{(C-C_g)} \lambda_1^{(j-C+C_g)}}{C!(\mu + \eta)^C \prod_{i=1}^j [C(\mu + \eta) + i(\gamma + \eta)]} \right]^{-1} \dots\dots\dots(2-4)$$

이도는 그림 3.2에 나타나 있으며, $n(0 \leq n < C)$ 을 서비스 중인 채널수라고 정의하면 상태 $s(n)$ 으로 표현되는 마르코프 과정(Markov process)으로 모델링된다. 서비스 중인 채널은 $\mu + \eta$ 의 비율로 채널을 해방시키며, 상태는 $s(n)$ 에서 $s(n-1)$ 으로 $n(\mu + \eta)$ 의 비율로 천이된다. 상태가 $s(c+i)$, 단, $i \geq 0$, 일 때 가용한 채널이 모두 서비스 중이라면 i 개의 핸드오프호는 큐에 버퍼링된다.

만일 신규호가 상태 $s(c+i)$ 일 때 도착한다면 그 즉시 블러킹된다. 따라서, 상태는 $i \geq 0$ 에 대해서 λ_1 의 비율로 $s(c+i)$ 에서 $s(c+i+1)$ 상태로 천이한다. 가용한 모든 채널이 서비스 중일 때 첫 번째 호는 $c(\mu + \eta)$ 의 비율로 해방된다. 또한, 최대 큐잉 타임은 지수분포를 가지며 첫 번째 핸드오프호는 $\gamma + \eta$ 의 비율로 큐를 떠난다. 따라서, 마르코프 상태는 $c(\mu + \eta) + i(\gamma + \eta)$ 의 비율로 $s(c+i)$ 상태에서 $s(c+i-1)$ 의 상태로 천이한다.

시스템의 상태가 평형상태에 도달했을 때 시스템의 상태가 j 일 확률 P_j 는 다음과 같이 구해질 수가 있다.

$$P_j = \begin{cases} \frac{(\lambda_1 + \lambda_2)^j}{j!(\mu + \eta)^j} P_0 & (1 \leq j < C - C_g) \\ \frac{(\lambda_1 + \lambda_2)^{(C-C_g)} \cdot \lambda_1^{(j-C+C_g)}}{j!(\mu + \eta)^j} P_0 & (C - C_g + 1 \leq j \leq C) \dots\dots\dots(2-3) \\ \frac{(\lambda_1 + \lambda_2)^{(C-C_g)} \cdot \lambda_1^{(j-C+C_g)}}{C!(\mu + \eta)^C \prod_{i=1}^j [C(\mu + \eta) + i(\gamma + \eta)]} P_0 & (C+1 \leq j) \end{cases}$$

또한 $\sum_{j=0}^{\infty} P_j = 1$ 즉, $P_0 + P_1 + P_2 + \dots\dots\dots + P_j + \dots\dots\dots = 1$ 에서 P_0 를 다음과 같이 구

할 수 있다(2-4).
신규호(OC)에 대한 블러킹 확률 P_{B2} 는 사용중인 채널 수가 $C - C_g$ 개 이상이 될 확률과 같다. 따라서 가용한 채널 모두 사용중이라면 도착하는 신규호는 그 즉시 블러킹된다.

$$P_{B2} = \sum_{j=C-C_g}^{\infty} P_j \dots\dots\dots(2-5)$$

핸드오프호의 블러킹 확률을 구하기 위하여 임의의 셀의 마르코프 상태가 $s(c+i)$ 인 핸드오프 호가 시간 t 일 때 도착한다고 가정하자. 이때 시간 t 에 도착하는 핸드오프 호를 C_i 라 하자. 또한, 전술한 바와 같이 최대 큐잉 타임으로 이루어 지는 타임아웃 모델의 확률밀도함수(probability density function)는 $f_{MQT}(t) = (\gamma + \eta)e^{-(\gamma + \eta)t}$ 로 이루어 지며 이때, C_i 보다 먼저 도착한 $c+i$ 개의 핸드오프 호 중에서 어느 하나의 HC가 $t + t_i$ 의 시간에 호를 성공적으로 마쳤거나 강제적으로 종료되었다면 t_i 에 대한 확률밀도함수는 식(2-6)과 같다.

$$f_i(t_i) = [C(\mu + \eta) + i(\gamma + \eta)]e^{-[C(\mu + \eta) + i(\gamma + \eta)]t_i} \dots\dots\dots(2-6)$$

$$\begin{aligned}
 \Pr[\delta < T_i | s(c+i)] &= \int_{t_i}^{\infty} \cdots \int_{t_0}^{\infty} \int_{\delta}^{T_i} \left[\prod_{k=0}^{k=i} f_k(t_k) \right] f_{MQT}(\delta) d\delta dt_0 \cdots dt_i \\
 &= \int_{t_i}^{\infty} \cdots \int_{t_0}^{\infty} \int_{\delta}^{T_i} \left[\prod_{k=0}^{k=i} [C(\mu+\eta) + i(\gamma+\eta)] e^{-[C(\mu+\eta) + i(\gamma+\eta)]t_k} \right] \\
 &\quad \cdot (\gamma+\eta) e^{-(\gamma+\eta)\delta} d\delta dt_0 \cdots dt_i \quad \dots\dots\dots(2-7) \\
 &= \frac{(i+1)(\gamma+\eta)}{C(\mu+\eta) + (i+1)(\gamma+\eta)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E[W] &= E[T_i | T_i < \delta | s(c+i)] = \frac{E[T_i]}{(1 - \Pr[\delta < T_i | s(c+i)])} \quad \dots\dots\dots(2-8) \\
 &= \sum_{j=c}^{c+i} \frac{1}{C(\mu+\eta) + j(\gamma+\eta)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_q &= \sum_{j=c}^{\infty} [\Pr(j-c+1 \text{ 서비스완료} \leq t | \text{시스템에서 } j\text{호 도착})] \cdot P_j + W_q(0) \\
 &= \sum_{j=c}^{\infty} \frac{(\lambda_1 + \lambda_2)^C \lambda_1^{(j-C)}}{C! (\mu+\eta)^C \prod_{i=1}^{j-C} [C(\mu+\eta) + i(\gamma+\eta)]} P_0 \cdot \int_0^t \frac{k(kx)^{j-C}}{(j-C)!} e^{-kx} dx + W_q(0) \quad \dots\dots\dots(2-9)
 \end{aligned}$$

$T_i = t_0 + t_1 + t_2 + \dots + t_i$ 라 하고 $\delta > t_i$ 일때, $s(c+i)$ 의 상태에서 발생한 핸드오프 호 C_i 의 블러킹 확률 P_{B_i} 은 식(2-7)과 같다.

시간 t 에 도착하는 핸드오프호 C_i 가 블러킹되지 않는다는 조건하에서 타임아웃에 따른 평균대기시간(mean waiting time)을 구해보면 식(2-8)과 같다.

핸드오프호(HC)가 큐에서 대기중인 대기시간(waiting time)의 확률변수 T_q 를 버퍼큐에서 대기하는 시간을 나타내는 변수라고하면, $W_q(t) = \Pr\{T_q \leq t\}$ 는 큐에서 대기하는 확률누적분포함수가 된다. 타임아웃에 따르는 핸드오프호가 버퍼큐에서 대기하는 확률누적분포함수(cdf)는 식(2-9)과 같다.

여기서, $W_q(0) = \sum_{j=0}^{c-1} P_j$ 이며, 지수분포를 따르

$$\begin{aligned}
 W_q(t) &= \sum_{j=c}^{\infty} \frac{(\lambda_1 + \lambda_2)^C \lambda_1^{(j-C)}}{C! (\mu+\eta)^C \prod_{i=1}^{j-C} [C(\mu+\eta) + i(\gamma+\eta)]} P_0 \cdot \int_0^t \frac{k(kx)^{j-C}}{(j-C)!} e^{-kx} dx + W_q(0) \\
 &= 1 - \sum_{j=c}^{\infty} \frac{(\lambda_1 + \lambda_2)^C \lambda_1^{(j-C)}}{C! (\mu+\eta)^C \prod_{i=1}^{j-C} [C(\mu+\eta) + i(\gamma+\eta)]} P_0 \cdot \sum_{\Omega=0}^{j-C} \frac{(kt)^{\Omega}}{\Omega!} e^{-kt} \quad \dots\dots\dots(2-12)
 \end{aligned}$$

는 변수 $k = c(\mu+\eta) + j(\gamma+\eta)$ 이다. 식(2-9)는 다음의 식을 사용하면 보다 간단하게 표현될 수 있다.

$$\int_0^t \frac{m(mx)^k}{k!} e^{-mx} dx = \sum_{\Omega=0}^k \frac{(mt)^{\Omega}}{\Omega!} e^{-mt} \quad \dots\dots\dots(2-10)$$

이므로, 식(2-12)로 된다.

핸드오프 호의 강제적 종료율 P_F 은 다음과 같다.

$$P_F = \sum_{j=0}^{\infty} \frac{(i+1)(\gamma+\eta)}{C(\mu+\eta) + (i+1)(\gamma+\eta)} \cdot P_{c+i} \quad \dots\dots\dots(2-11)$$

또한, 핸드오프를 위한 타임아웃 구조의 큐에서 타임아웃에 의한 큐의 길이(queue size)를 구해보면 다음의 식(2-13)과 같게 된다.

$$L_q = \sum_{j=C}^{\infty} (j-C)P_j; \dots\dots\dots(2-13)$$

IV. 무선 이동교환 시스템의 성능 해석

이동무선 교환 시스템의 모델링 성능 분석을 위하여 해석적인 방법을 사용하여 분석하였다. 성능해석을 위하여 가정된 성능 변수로는 셀내에서 가용한 무선 채널의 수(C)는 20개로 가정하였다. 그러나 실제의 일반적인 AMPS의 한 셀에서의 가용한 무선채널의 갯수는 45개 정도로 알려져 있다. 통화 시간(message time)은 평균(1/μ)이 3분(180sec)인 지수분포를 따른다고 가정하였다. 또한, 셀내에 머무르는 시간(residual time)은 평균(1/η)이 20분(1200sec)인 지수분포를 따른다고 가정하였으며, 핸드오프 영역에서 체제되는 핸드오프 지속시간은 평균(1/γ)이 0.5분(30sec)를 따르는 지수분포를 이룬다고 가정하였다. 일반적인 성능분석 연구에서 η < 0.03 γ를 권고하고 있다. 셀내의 평균 거리(R)은 8Km로 가정하였으며, 신규호(OC)와 핸드오프호(HC)와의 발생 비율은 80%:20%로 가정하였다. 호(call)의 발생은 Poisson분포를 따른다고 가정하였으며 호의 발생 비율은 이동가입자의 속도와 셀의 반지름에 따라 다르게 발생되나 셀내의 평균거리는 위와 같이 가정하며 셀 내에서의 평균속도는 일정한 균일 분포를 이룬다고 가정하였다.

이동 무선 통신 시스템에서 셀당 반지름이 커지면 이동 가입자가 통화시간 동안에 셀의 경계를 넘어 핸드오프를 요구할 확률이 적어짐으로 이때는 신규호(OC)의 블러킹확률(blocking probability)인 P_B의 성능해석이 주요하게 대두된다. 그러나 셀의 반지름이 작아지면 이동가입자가 통화 시간동안 셀의 경계를 넘어 핸드오프할 확률이 높아지며 통화 시간동안 여러번의 셀 경계를 넘어 핸드오프를 요구하게 된다. 따라서 핸드오프가 실패할 확률인 P_B이 중요하게 된다. 또한, 핸드오프 중인 호가 단절될 경우에 느끼는 이동가입자의 정신적 불편감은 신규호의 블러킹때보다 훨씬 더 심각함으로 핸드오프호에 더 높은 GOS를 두어야 한다. 그래서 많은 연구

들이 핸드오프 호에 가중치를 두는 방향으로 진전되어 왔다. 지금은 위성을 포함한 다중 셀 시스템에서 핸드오프에 비중을 두고 해석하는 연구가 진행되고 있다. 또한, 이동 통신 시스템에서는 셀의 평균 반지름이 점점 작아짐으로서 예를들어 위성 셀, 매크로 셀, 마이크로 셀, 피코 셀등으로 되어짐에 따라 한 호의 통화시간 동안에 핸드오프가 여러번 발생할 가능성이 있으므로 이동 가입자의 관점에서 보면 통화가 완료되기 전에 강제적 종료(forced termination)가 될 확률 P_F는 핸드오프호의 블러킹 확률 P_B 보다 더 중요한 의미를 가지게 된다.

본 연구에서는 보호채널(Guard Channel)을 가지며 타임아웃 큐구조를 가지는 핸드오프 호를 위한 전용의 버퍼를 두는 이동 무선 통신 교환 시스템을 제안하고 성능해석을 수행하였다. 그림 4.1에서는 보호채널에 따르는 신규호(OC)의 블러킹 확률을 단위면적당 신규호 발생비율에 따라 성능 분석하였다. 그림에서처럼 보호채널의 수를 C_g=1과 C_g=2에 따라 분석하였다. 분석결과 보호채널의 수가 증가함에 따라 신규호의 블러킹 확률은 증가함을 알 수 있다. 또한 그림 4.3에서는 타임아웃 시간에 따른 핸드오프 호의 블러킹 확률을 분석하였다. 블러킹 확률이 타임아웃 시간이 길어짐에 따라 감소함을 알 수 있다. 이는 상당히 예측되는 결과이며 타임아웃 시간이 작다는 것은 큐에서 핸드오프 호가 머무르는 시간이 매우 작아진다는 것을 의미하므로 블러킹 확률은 커지게 된다. 반면에 타임아웃 시간이 길어지면 이는 큐에서 핸드오프호가 체제하는 상대적 시간이 오래 경과됨을 의미하므로 블러킹 확률은 감소하게 된다. 그림에서는 타임아웃 시간과 핸드오프 호의 수에 따라서 성능분석 하였다. 블러킹 확률은 타임아웃 시간이 커질수록 계속 낮아지게 된다. 또한, 큐에서의 핸드오프호가 천이 될 때 평균 대기 시간은 T=1/(γ+η)이 될 것이 명백하다. 그림 4.2은 핸드오프호의 강제적 종료를 분석하였다. 보호채널이 증가할수록 핸드오프호의 블러킹 확률은 감소함을 알 수 있다. 이는 핸드오프 호의 블러킹 확률 감소는 신규 호의 블러킹 확률의 증가를 초래하게 된다.

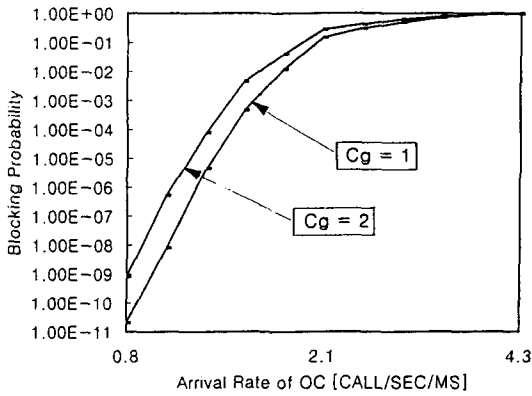


그림 4.1 Guard Channel에 따른 OC의 블러킹 확률
Fig. 4.1 OC blocking Probability Of Guard Channel)

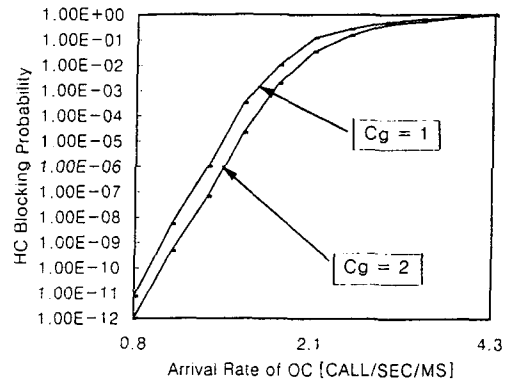


그림 4.2 Guard Channel에 따른 HC의 강제적 종료확률
Fig. 4.2 HC forced termination probability of Guard Channel)

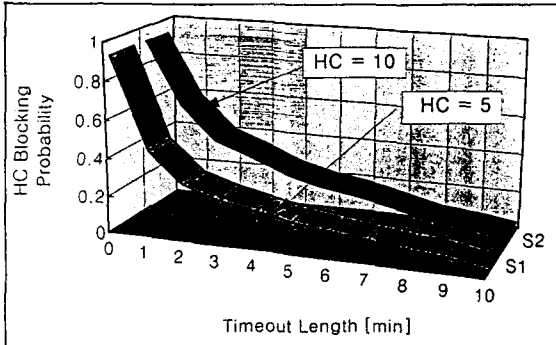


그림 4.3 타임아웃에 따른 HC의 블러킹 확률 비교
Fig. 4.3 HC blocking Probability Of timeout)

V. 결론

이동무선 교환 시스템에서는 셀의 반지름이 점차 소형화 됨으로 인해서 통화시간 중에 통화 가능 지역을 벗어나 핸드오프를 요구할 확률이 점차 증가하고 있다. 또한, 신규 호의 발신이 블러킹 되는 것보다 통화중인 호의 블러킹 확률에 따른 이동 가입자의 정신적 불편감은 더 높다. 따라서 이러한 핸드오프 호의 블러킹 확률을 줄일 수 있는 방안이 연구되어 왔다. 채널에 대해서는 고정 채널을 할당하는 기법과 가변채널을 할당하는 연구가 진전되고 있으며, 특히 셀 내에서의 호를 위해 보호채널(Guard Channel)을 두는 방안과 버퍼큐를 두는 방안이 중점적으로 연구되어 왔다. 핸드오프 호를 위한 채널에서는 퍼지(Fuzzy)이론을 접목시켜 동적으

로 채널을 할당시키는 방안이 최근 연구되고 있다. 본 연구에서는 핸드오프 호를 위하여 보호채널과 타임아웃 기법을 적용한 버퍼 큐를 제안하고 성능 해석을 수행하였다. 성능해석 결과 보호채널을 증가 시킴에 따라 신규호(OC)의 블러킹 확률은 증가하게 되나 핸드오프 호의 블러킹 확률은 상대적으로 감소함을 알 수 있었다. 또한, 타임아웃의 시간을 변화 시킴에 따라 타임아웃 시간이 증가할수록 핸드오프호의 블러킹 확률이 줄어들게 되고, 반면에 타임아웃 시간이 감소할수록 핸드오프호의 블러킹 확률은 급격히 증가함을 알 수 있었다. 앞으로의 연구로는 핸드오프 호를 위한 큐잉 시스템에서 핸드오프호와 신규호를 모두 적용한 뒤에 신규호와 핸드오프호에 각각 FIFO/Timeout, Timeout/FIFO의 서비스 원칙을 따르는 것과 LIFO/Timeout, Timeout/LIFO를 따르는 방식에서 블러킹 확률과 대기시간 분포 등을 해석하는 것도 고려해서 성능분석 되어져야 할 것이다. 또한, 셀 내에서의 평균속도등 현재에 사용되고 있는 성능변수들을 실제와 가깝도록 사용하여 성능평가되도록 비교연구가 되어져야 할 것이다.

참고문헌

[1] Roch Guerin, "Queueing Blocking System With Two Arrival Streams and Guard Channels",

- IEEE Trans.Commun., Vol. Com-36, pp.153-163, Feb.1988
- [2] S.A.El-Dolil,W.Wong and R.Steele,"Teletraffic performance of highway microcells with overlay macrocell,"IEEE J.select.Areas commun, Vol 7, pp 71-78,Jan.1989
- [3] G.N.Senarath and D.Everitt,"Performance of Handover and Queueing Systems under Different Handover Request Strategies for Microcell Mobile Communication Systems," IEEE Proc.VTC,95
- [4] B.V.GnedenkoandI.N.Kovalenko,Introduction to Queueing Theory,Jerusalem,Israel:Program for Scientific Translation,1968
- [5] C.H.Yoon,C.K.Un,"Perfomance of Personal Portable Radio Telephone Systems with and without Guard Channels,"IEEE Journal on Selected Areas in Communications,Vol.11,No.6, August 1993.
- [6] 마이크로셀,코드분할다중접속 방식 시스템 환경에서의 핸드오버호를 위한 새로운 채널할당 기법, 은종관, 장진원, 김병철, 이동준, 류승문, 박용완, 한국이동통신 논문지,1995

- [7] Roch A.Guerin,"Channel Occupancy Time Distribution in a Cellular Radio System", IEEE



禹相徹(Sang Choel Woo)
1967년 10월 23일생 정회원
1992년 2월 : 한국항공대학교
항공전자공학과 졸업
(공학사)
1994년 8월 : 한국항공대학교
항공전자공학과 졸업

(공학석사)

1994년 7월 - 8월 : LG전자 TV연구소 연구원
1994년 9월 - 현재 : 호서대학교 부설 호서전산전문학교 정보통신공학과 전임강사
1996년 3월 - 현재 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 대학원 박사과정
* 주관심 분야 : ATM 시스템,멀티미디어 통신, 성능분석,이동통신 시스템

尹種浩(Jong Ho Yoon)
1957년 12월 18일생
한국항공대학교 항공정보통신공학과 부교수