

論文99-36S-6-3

# CDMA 셀룰러시스템에서의 핸드오프 채널할당기법 성능분석

## (Performance Analysis of Handoff Channel Assignment Scheme in CDMA Cellular System)

李東明\*, 李哲熙\*\*

(Dong Myung Lee and Chul Hee Lee)

## 요 약

이 논문에서는 CDMA (Code Division Multiple Access) 셀룰러시스템에서 우선순위 Queue를 이용한 핸드오프 (Handoff)의 채널할당기법을 제안하였다. 또한 제안한 기법에 대한 해석적 분석과 아울러 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안한 기법의 성능을 비 우선순위기법 및 FIFO (First In First Out) Queue기법의 성능과 비교하였다. 제안하는 기법의 핸드오프 채널할당방식은 새로운 파일럿(Pilot)에 대한 전력세기가 T\_ADD 임계치 보다 크게 되는 시점부터 현재 사용중인 파일럿의 전력세기가 T\_DROP 임계치 보다 낮고 T\_DROP 타이머가 종료되는 시점까지를 핸드오프 처리가능 영역으로 정의하고 이를 최대 Queue 대기시간으로 결정하였다. 제안된 기법의 성능을 분석하기 위한 성능평가 척도는 강제 종료 확률 (Forced Termination Probability), 호 블럭킹 확률(Call Blocking Probability), 전체 제공 트래픽에 대한 수행 트래픽 비율(Carried Traffic to Total Offered Traffic), 평균 Queue크기(Average Queue Size) 및 핸드오프 시 Queue의 평균 지연시간(Average Handoff Delay Time in Prioritized Queue)등이다. 성능 시뮬레이션 결과, 제안된 기법이 전체 시스템 용량면에서 약간의 단점은 발생하지만 핸드오프 처리에 있어서 높은 성능을 유지함을 알 수 있었다.

## Abstract

In this paper, the prioritized queueing handoff scheme in CDMA (Code Division Multiple Access) cellular system is proposed. Also, the analytical survey for the proposed scheme is carried out, and the performance of this scheme is compared with that of non prioritized scheme and FIFO (First In First Out) queue scheme by computer simulation. The handoff region is defined as the time between the handoff threshold and the receiver threshold, and it is used for the maximum queue waiting time in the proposed scheme. The handoff and the receiver thresholds are defined as respectively: 1) the time that the Pilot Strength Measurement Message in the neighbor cell is received to the BS (Base Station) under the T\_ADD threshold; and 2) the time that the T\_DROP timer is expired and the Pilot Strength Measurement Message in the current cell is received to the BS under the T\_DROP threshold. The performance metrics for analyzing the proposed scheme are : 1) probability of forced termination; 2) probability of call blocking; 3) ratio of carried traffic to total offered load; 4) average queue size; 5) average handoff delay time in queue. The simulation results show that the proposed scheme maintains high performance for handoff requests at a small penalty in total system capacity.

\* 正會員, 韓國電子通信研究院 無線放送技術研究所  
(Radio & Broadcasting Technology Laboratory, ETRI)

\*\* 正會員, 崇實大學校 情報科學大學  
(Computer Science Department, Soong Sil University)  
接受日字: 1998年3月23日, 수정완료일: 1999年5月24日

## I. 서 론

지금까지의 이동통신 시스템에서는 호(Call)가 진행 중 일 때 핸드오프(Handoff)가 발생할 경우, 가용 통화 채널(Traffic Channel)이 있으면 그 호에 이를 할당해 줄 수 있지만 만약 가용 통화 채널이 없을 경우는 그 호는 강제 종료(Forced Termination)된다. 그러나 핸드오프 시 통화 채널을 할당 할 시점에 가용 채널이 없을 경우, 우선순위 Queue(Prioritized Queue)를 사용하여 강제 종료 확률(Probability of Forced Termination)을 개선함으로써 성능 향상을 기할 수 있다.

최근 CDMA(Code Division Multiple Access) 이동통신 기술은 급증하는 국내 이동통신 수요에 능동적으로 대처하기 위한 대안으로 국내외에서 평가 받고 있다. 본 논문에서는 CDMA 셀룰러시스템에서 핸드오프가 발생했을 경우, 우선순위 Queue를 이용한 핸드오프의 채널할당기법(Channel Assignment Scheme)을 제안하고, 해석적 분석과 아울러 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안한 기법의 성능을 비 우선순위 기법 및 FIFO(First In First Out) Queue기법의 성능과 비교하였다.

제안하는 기법의 핸드오프 채널할당방식은 새로운 파일럿(Pilot)에 대한 전력세기가 T\_ADD 임계치 보다 클 경우에 기지국(Base Station)이 인접 셀(Neighbor Cell)의 파일럿에 대한 파일럿 세기 측정 메시지(Pilot Strength Measurement Message)를 이동국(Mobile Station)으로 부터 수신한 시점부터 현재 사용중인 파일럿의 전력세기가 T\_DROP 임계치 보다 낮고 T\_DROP 타이머가 종료될 경우에 기지국이 현재 사용중인 파일럿의 제거를 요구하는 파일럿 세기 측정 메시지를 수신한 시점까지를 핸드오프 처리 가능 영역으로 정의하고 이를 최대 Queue 대기시간으로 결정하였다. 제안한 기법의 성능을 분석하기 위한 성능평가 척도는 강제 종료 확률, 호 블럭킹 확률(Call Blocking Probability), 전체 제공 트래픽에 대한 수행 트래픽 비율(Carried Traffic to Total Offered Traffic), 평균 Queue Space 크기(Average Queue Size) 및 핸드오프 시 Queue의 평균 지연시간(Average Handoff Delay Time in Queue)등이다.

본 논문의 순서는 다음과 같다. II장에서는 셀룰러

시스템의 핸드오프 채널할당기법 연구에 대해 설명한다. III장에서는 CDMA 셀룰러시스템의 핸드오프 처리과정을 요약하고, IV장에서 핸드오프 영역의 설정, 핸드오프 요구의 우선순위 결정, 핸드오프 채널할당기법의 구조 및 알고리즘을 포함한 CDMA 셀룰러시스템에서의 채널할당기법의 모델을 제시한다. V장에서는 제안된 기법에 대한 해석적 분석을 하고, VI장에서는 시뮬레이션의 결과를 분석한다. 마지막으로 VII장에서는 결론을 맺는다.

## II. 핸드오프 채널할당기법 연구

이동통신 시스템의 획기적인 발전으로 말미암아 셀(Cell)의 크기도 소형화 추세가 가속화되어 마이크로 셀 / 피코 셀(Microcell / Picocell)화 되고 있다. 이러한 셀의 소형화 추세에서 핸드오프 발생은 이동통신 시스템의 성능에 매우 큰 영향을 미친다. 특히, 핸드오프의 실패를 가져오는 진행 호의 강제 종료 확률은 이동통신 시스템의 성능 평가의 주된 기준이다<sup>[1]-[8]</sup>. 비 우선순위 채널할당기법에서는 핸드오프 요구가 발신 호와 동일하게 취급되므로 결과적으로 핸드오프 실패 확률이 호 블럭킹 확률과 같다. 그러나 이동국의 사용자 관점에서 볼 때, 진행 중인 호에 대한 강제 종료 확률은 새로운 호 시도에 대한 블럭킹 보다 더 나쁜 영향을 끼친다.

1980년대 중반 이후부터 강제 종료 확률을 줄이기 위한 핸드오프 요구에 대한 우선순위에 기법들이 제안되고 있다. 핸드오프 우선순위기법은 기본적으로 크게 2가지로 분류할 수 있다. 첫째는 핸드오프를 위하여 독립적으로 채널을 확보하는 방법이고, 둘째는 핸드오프 요구시 가용 채널이 없을 때 채널을 할당받을 때까지 임시적으로 이를 Queue에 보관하는 방법이다. 셋째는 위의 2가지 방법의 변형 방법으로서 첫번째 방법과 둘째 방법을 혼합한 방법과 발신호에 Queue를 적용하는 방법등 여러 형태가 있다. 일반적으로 핸드오프 우선순위기법은 핸드오프 실패율을 감소시키지만 호 블럭킹 확률은 높아지고 전체 수행 트래픽은 낮아진다.

핸드오프를 위한 독립적 채널을 확보하는 기법인 Guard 채널 개념은 핸드오프 요구가 발생했을 때 조정 가능한 수의 독립적인 채널들을 고정적으로 또는 동적으로 확보함으로써 성공적인 핸드오프 확률을 개

선하는 기법이다. 그러나 독점적인 채널을 확보하는 것은 스펙트럼 효율을 낮게 하는 단점을 가진다. 또한 Guard 채널을 사용하기 위해서는 최적의 채널 수, 서비스 지역에 대한 트래픽 패턴의 정확한 결정 및 채널 점유 시간 분포 (Channel Occupancy Time Distribution)가 중요하다. 핸드오프용 채널을 확보하게 되면 보다 적은 수의 채널이 발신 호에 할당되므로 전체 수행되는 트래픽은 감소된다. 이와 같은 단점은 시스템에서 발신 호 요구시 Queue를 뚫으로써 어느 정도 회복 가능하다. 이와 같은 생각을 하게 된 배경에는 발신 호의 시도는 핸드오프 요구에 비해 지연에 덜 민감하다는 사실 때문이다.

일반적으로 Queue를 이용한 핸드오프 채널할당기법은 발신 호의 호 블러킹 확률의 증가와 제공 트래픽에 대한 수행 트래픽 확률의 감소를 어느 정도 희생함으로써 핸드오프 요구에 대한 강제 종료 확률을 감소시킴으로써 핸드오프의 처리성을 개선시키는 방법이다. 호 블러킹 확률의 증가 이유는 Queue내에 핸드오프 요구가 있을 경우, 이것이 처리되기 전까지는 발신 호가 채널을 할당받지 못하기 때문이다.

### III. CDMA 셀룰러시스템의 핸드오프 처리과정

CDMA 셀룰러시스템에서 핸드오프 처리 시 이동국과 기지국 사이에서 파일럿 세기의 변화에 따른 핸드오프 처리 과정을 살펴보면 그림 1과 같다<sup>[9]</sup>. 시간 축 (1)은 파일럿 세기가 T\_ADD를 초과하면 이동국이 T\_ADD경우의 파일럿 세기 측정 메시지를 기지국에게 보내고 파일럿을 인접군 (Neighbor Set)에서 후보군 (Candidate Set)으로 전환하는 경우를 나타낸다. 시간축 (2)는 기지국이 이동국으로부터 파일럿 세기 측정 메시지 (T\_ADD)를 받은 후, 이에 대한 가용 채널을 확보하고 이 사실을 이동국에게 통보하기 위해 핸드오프 지시 메시지를 보내는 시점이다. 시간 축 (3)은 이동국이 기지국으로부터 핸드오프 지시 메시지를 수신 한 후, 해당 파일럿을 후보군에서 활성군 (Active Set)으로 전환하고 이를 기지국에게 보고하는 시점이다. 시간 축 (4)는 사용 중인 활성군의 전력 세기가 T\_DROP이하로 떨어져 이동국이 이에 대하여 Drop 타이머를 동작시키는 시점이다. 시간 축 (5)는 이동국이 Drop 타이머가 종료되어 현재 사용 중인 파

일럿의 해제를 요구하기 위하여 파일럿 세기 측정 메시지 (T\_DROP)를 기지국에게 보내는 시점이다. 시간 축 (6)은 이동국으로부터의 파일럿 세기 측정 메시지를 수신한 후, 이에 대한 응답인 핸드오프 지시 메시지를 이동국에게 보내는 시점이다. 시간 축 (7)은 이동국이 파일럿을 활성군에서 인접군으로 전환하고 핸드오프 완료 메시지를 기지국에게 보내는 시점이다.

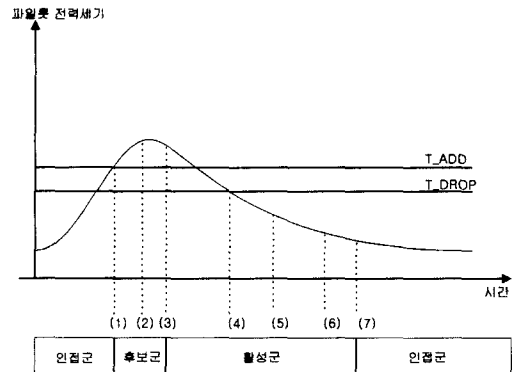


그림 1. CDMA 셀룰러시스템에서의 핸드오프 처리과정

Fig. 1. Typical Handoff Process in CDMA Cellular System.

### IV. CDMA 셀룰러시스템에서의 핸드오프 채널할당기법 모델<sup>[10]</sup>

#### 1. 핸드오프 영역 설정

CDMA 셀룰러시스템에서 우선순위 Queue를 이용한 핸드오프 채널할당기법에서 핸드오프 영역은 그림 2에서 보는 바와 같이  $[t_0, t_1]$ 구간으로 설정될 수 있다. 그림에서  $P_0$ 는 현재의 셀에서 사용하고 있는 활성군 파일럿의 전력세기의 강도를 나타내고  $P_1$ 는 다음 목적지 셀에서 할당 될 채널에 대한 파일럿의 전력세기를 나타낸다.

시간  $t_0$ 는 이동국이 인접 셀의 파일럿 중에서 임계치가 T\_ADD이상인 파일럿이 있을 경우, 핸드오프를 요구하는 메시지인 파일럿 세기 측정 메시지를 기지국에게 보내는 시점이다.  $t_1$ 은 현재 사용중인 채널에 대한 파일럿 전력세기가 임계치 T\_DROP이하가 되면 드롭타이머를 동작시킨 후 종료되어 이동국이 파일럿 세기 측정 메시지를 기지국에게 보내는 시점이다. 그런데  $t_0$ 시점에서 핸드오프 요구가 들어온다고 하면 이

에 대한 채널할당은 적어도  $t_1$ 전에 이루어져야 한다. 왜냐하면  $t_1$ 이 지나면 현재의 사용 채널의 파일럿 세기가 더 이상 통화를 할 수 없는 상태가 되어버리기 때문이다. 그러므로 적어도  $[t_0, t_1]$ 구간 내에서 이동국은 기지국으로 부터 채널을 할당 받을 수 있어야 연속적인 통화가 가능하다. 즉,  $[t_0, t_1]$ 구간에서 기지국이 가용채널을 확보하고 핸드오프 지시 메시지를 이동국에게 보낸 후, 이동국이 핸드오프 완료 메시지를 기지국에 보내오면 비로소 핸드오프 요구에 채널이 할당된다.

현재 사용 중인 채널은  $t_1$ 에서 현재 사용 중인  $P_0$ 의 파일럿을 해제하는 절차를 가진다. 사용 중인 파일럿을 해제하는 절차도 핸드오프용 채널을 할당 할 때의 방법과 유사한 절차를 가진다. 즉,  $P_0$ 의 파일럿 전력세기가 임계치  $T\_DROP$  이하가 되면 이동국은 드롭타이머를 구동한 후, 설정된 타이머의 값 ( $T\_TDROP$ )을 초과하여 종료되면 즉시 이에 대한 조치를 하기 위해 파일럿을 해제하기 위한 파일럿 세기 측정 메시지를 기지국에게 보낸다. 기지국이 이 메시지를 받은 후 파일럿을 해제 할 것인가를 판단한 후, 해제를 결정하면 이에 대한 승락 표시인 핸드오프 지시 메시지를 이동국에게 보낸다. 그러면 이동국은 핸드오프 완료 메시지를 기지국에게 보냄으로써 사용했던 파일럿을 해제하게 된다.

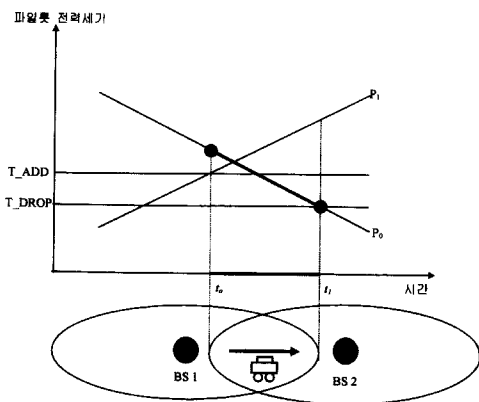


그림 2. CDMA시스템에서의 핸드오프 절차에 따른 핸드오프 영역

Fig. 2. Handoff Region for Handoff Process in CDMA Cellular System.

2. 핸드오프 요구의 우선순위 결정

그림 3은 핸드오프 요구에 대한 우선순위 결정의

개념을 나타낸 것인데, 가로축은 경과 시간을 나타내고 세로축은 경과시간에서의 전력의 세기 감쇠를 나타낸다. 우선순위 Queue에서 대기하고 있는 핸드오프 요구들에 대해서 채널을 할당하기 위한 우선순위는 각 핸드오프 요구에 대한 수신전력 감쇠의 시간간격에 대한 Queue에서의 대기시간으로 결정한다.

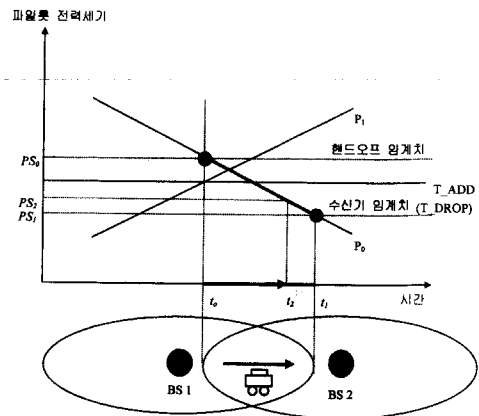


그림 3. 핸드오프 요구의 우선순위 결정

Fig. 3. Determination of Priority for Handoff Requests.

시간  $[t_0, t_1]$ 은 각 핸드오프 요구의 수신 전력세기의 감쇠가 발생하는 최대 Queue 대기시간을 의미하고, 시간  $[t_0, t_2]$ 는 수신 전력세기의 감쇠가 발생하는 동안 핸드오프 요구가 우선순위 Queue에 들어와서 실제로 대기한 시간을 의미한다.  $ps_0$ 와  $ps_1$ 은 현재 사용 중인 파일럿  $P_0$ 의 전력세기가 우선순위 Queue 내에서 각각 최대와 최소의 전력세기로써 핸드오프 임계치 및 수신기 임계치 값으로 설정되는 값이다. 즉, 시간  $t_0$ 때의 전력세기는  $ps_0$ 이고 시간  $t_1$ 일 때의 전력세기는  $ps_1$ 이다. 따라서 전력세기 변화구간  $P[t_0, t_1]$ 은 시간구간  $T[t_0, t_1]$ 에서의 전력세기 변화이고, 전력세기 변화구간  $P[t_0, t_2]$ 는 시간구간  $T[t_0, t_2]$ 에서의 전력세기 변화이다. 결국 핸드오프의 우선순위 결정은 수신전력 감쇠구간의 최대 시간간격인 최대 Queue 대기시간에 대한 Queue에서의 실제 대기한 시간의 비율이 전력세기의 변화비율과 비례함에 의한다. 따라서

$$\frac{T[t_0, t_2]}{T[t_0, t_1]} = \frac{P[ps_0, ps_2]}{P[ps_0, ps_1]}$$

으로 하여 우선순위를 결정한다. 가장 낮은 전력세기를 가진 즉, 수신기 임계치에 가장 가까운 이동국은 가장 높은 우선순위를 가지기 때문에 이미 할당된 채널이 해제 될 때마다 우선순위의

Queue 내에서 가장 높은 우선순위 순서대로 핸드오프 요구에게 채널이 할당된다.

3. 핸드오프 채널할당기법의 구조

CDMA 셀룰러시스템에서의 핸드오프 절차에서 우선 순위 Queue를 이용한 채널할당기법의 구조는 그림4와 같다. 그림 4에서 발신 호는 가입자가 다이얼링을 했을 때 시스템에 들어오는 트래픽을 말하며  $\lambda_1$ 으로 표시되어 있다. 입력된 발신 호는 기지국과 이동국 사이의 호 설정을 위한 프로토콜을 수행하고 난 후, 채널이 할당된다. 할당된 채널은 일정한 통화 시간을 보낸 후 호 해제 과정의 프로토콜을 수행한다.

핸드오프 요구인  $\lambda_2$ 는 이동국의 핸드오프 요구 메시지인 파일럿 세기 측정 메시지를 기지국이 받으면 우선순위 Queue에 들어간다. Queue에서의 최대 대기 시간은 그림 2에서 설명한 바와 같이  $[t_0, t_1]$ 사이가 된다. 만일  $[t_0, t_1]$ 사이에 가용 채널이 생기면 CDMA 핸드오프 절차를 거친 후 바로 이동국에게 새로운 채널이 할당된다.

$\lambda_3$ 는 할당된 채널의 파일럿의 세기가 T\_DROP 이 하가 된 후, T\_TDROP 타이머의 시간이 초과되면 현재 사용하고 있는 채널을 회수하기 위하여 단말기가 요청하기 위한 파일럿 세기 측정 메시지의 도착을 의미한다. 이 경우는 채널 자원을 반환하는 것이기에 어떤 다른 조치가 필요 없으며 그림 4에서 설명한 것과 같이 핸드오프 Drop절차인 핸드오프 해제 과정을 수행하고 끝난다.

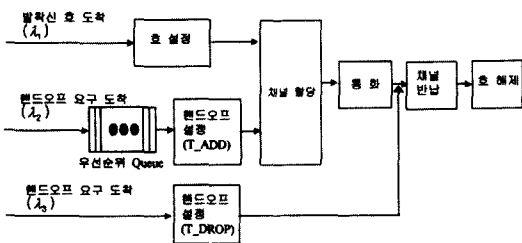


그림 4. 안한 핸드오프 채널할당기법의 구조  
Fig. 4. Configuration of Proposed Channel Assignment Scheme.

4. 핸드오프 채널할당기법의 알고리즘

CDMA 셀룰러시스템에서 우선순위에 따른 핸드오프 요구의 채널할당의 알고리즘 수행 절차는 그림 5에서 보는 바와 같이 발착신호 요구, T\_ADD경우의 핸드오프 요구 그리고 T\_DROP경우의 핸드오프 요구의 3부분으로 구성되어 있다.

도요프 요구 그리고 T\_DROP경우의 핸드오프 요구의 3부분으로 구성되어 있다.

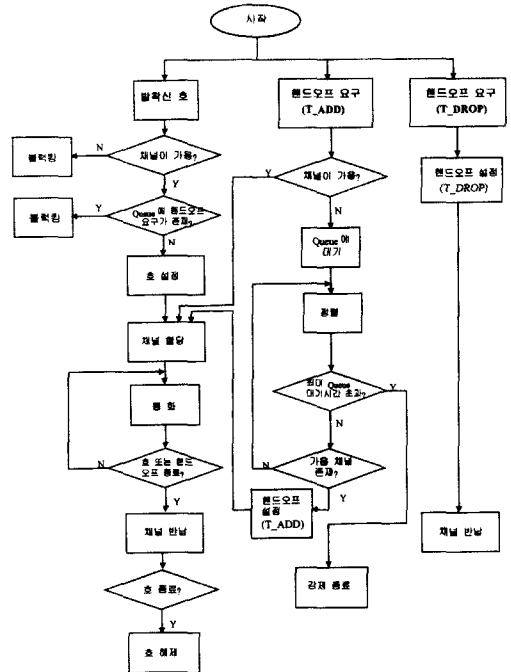


그림 5. 우선순위 Queue를 적용한 채널할당기법의 알고리즘  
Fig. 5. Algorithm of Handoff Channel Assignment Scheme Using Prioritized Queue.

첫째, 발착신호의 경우는 호가 채널할당을 요구 할 때 채널이 가용하면 우선순위 Queue에 핸드오프 요구가 있는지를 검사하고 요구가 없을 경우에만 호 설정 단계를 수행 한다. 만일 우선순위 Queue에 핸드오프 요구가 있으면 발착신호의 요구는 채널을 할당 받지 못하고 블러킹된다. 이는 핸드오프 요구에 발착신호에 비해 우선순위를 부여하기 위한 것이다. 발착신호의 호 설정이 이루어지면 바로 채널할당을 하고 사용자의 통화단계가 시작된다. 통화가 종료되면 사용했던 채널을 반납하고 호 해제절차를 수행한다.

둘째, T\_ADD의 경우의 핸드오프 요구는 이동국이 인접 셀의 활성 파일럿을 감지하였을 때 파일럿 세기 측정 메시지를 기지국에 전송함으로써 시작된다. 가용한 채널이 있으면 바로 채널을 할당하고 첫째의 경우처럼 통화, 채널반납의 단계를 거친다. 그러나 가용 채널이 없을 경우는 우선순위 Queue에 들어간 후, 채널을 할당 받을 때까지 대기한다. 핸드오프 요구가 채널을 할당 받기 위해 Queue에 대기중에 다수의 가용

채널이 생길 수 있는데 이는 진행 중인 호가 동시에 해제될 때 발생할 수 있다.

핸드오프 요구가 우선순위 Queue에 대기하고 있을 동안 계속적으로 감쇠구간에서의 시간 간격에 대한 대기시간을 측정하여 이 값을 기준으로 하여 계속적으로 각 핸드오프 요구를 정렬함으로써 우선순위를 결정한다. 그리하여 최대 Queue의 대기시간 (만일 감쇠구간의 시간 간격)내에 가용 채널이 존재하면 T\_ADD의 핸드오프 설정단계, 채널할당, 통화, 채널반납의 단계를 거친다. 그러나 최대 Queue의 대기시간내에 가용 채널을 할당 받지 못하면 이 핸드오프 요구는 강제 종료가 된다.

셋째, T\_DROP의 경우의 핸드오프 처리 요구는 이 동국이 현재의 셀에서 사용중인 활성 파일롯의 전력기준치 이하로 낮아졌음을 감지하였을 때 파일롯 세기 측정 메시지를 기지국에 전송함으로써 시작된다. 이 경우는 T\_DROP의 핸드오프 설정단계를 수행하여 사용했던 채널을 반환하는 과정을 수행한다. 이 논문에서는 T\_DROP경우는 Memoryless Property성질을 적용하여 고려하지 않았다.

V. 해석적 분석

1. 비 우선순위기법의 핸드오프 채널할당

비 우선순위기법의 핸드오프 채널할당에 대한 강제 종료 확률( $P_f$ )은 호 블럭킹 확률( $P_b$ )과 동일하다. 왜냐하면 발신 호와 핸드오프 요구가 시스템에 도착하여 같은 방식으로 처리되기 때문이다. 그러므로 호 블럭킹 확률은 M/M/c Queueing 모델에 대한 Erlang B공식에 의해 (식5-1)과 같이 계산된다.

$$P_b = P_f = \frac{(c\rho)^c}{c!} / \sum_{i=0}^c \frac{(c\rho)^i}{i!}, \quad \rho = \frac{\lambda}{c\mu}. \tag{식5-1}$$

여기에서  $\lambda$ 는 호의 평균 도착 율이고,  $\mu$ 는 서버에서의 평균 서비스 율을 말한다. (식5-1)에서 시스템내의 전체 Erlang 수 ( $\rho$ )는  $c$ 개의 서버에서의 발신 호와 핸드오프 요구의 평균 서비스 율에 대한 도착 율이다.

2. Queue기법의 핸드오프 채널할당

이 논문에서의 FIFO 및 우선순위를 이용한 Queue

시스템은 입력 및 출력이 출생-사망 (Birth-and-Death) 프로세스에 따라 이루어짐을 가정한다. 평균 입력되는 호의 도착 율을  $\lambda_n$ , 평균 서비스 율을  $\mu_n$  이라고 할 때 확률  $P_n$ 을 모든 상태에서의 균형 방정식 (Balance Equation)에서 구할 수 있다. 표 1은 출생-사망 프로세스의 균형 방정식을 나타낸 것이다.

표 1. 출생-사망 프로세스의 균형 방정식  
Table 1. Balance Equation of Birth-and-Death Process.

상태	입력 = 출력
0	$\mu_1 P_1 = \lambda_0 P_0$
1	$\lambda_0 P_0 + \mu_2 P_2 = (\lambda_1 + \mu_1) P_1$
2	$\lambda_1 P_1 + \mu_3 P_3 = (\lambda_2 + \mu_2) P_2$
·	·
·	·
·	·
n-1	$\lambda_{n-2} P_{n-2} + \mu_n P_n = (\lambda_{n-1} + \mu_{n-1}) P_{n-1}$
n	$\lambda_{n-1} P_{n-1} + \mu_{n+1} P_{n+1} = (\lambda_n + \mu_n) P_n$

표 1의 균형 방정식에서의 각각에 대한 확률을 다음과 같이 에 대해 풀 수 있다. [11]

$$\begin{aligned} 0: P_0 &= \frac{\lambda_1}{\mu_0} P_1 \\ 1: P_1 &= \frac{\lambda_0}{\mu_1} P_0 \\ 2: P_2 &= \frac{\lambda_1}{\mu_2} P_1 + \frac{1}{\mu_2} (\mu_1 P_1 - \lambda_0 P_0) = \frac{\lambda_1}{\mu_2} P_1 = \frac{\lambda_1 \lambda_0}{\mu_2 \mu_1} P_0 \\ 3: P_3 &= \frac{\lambda_2}{\mu_3} P_2 + \frac{1}{\mu_3} (\mu_2 P_2 - \lambda_1 P_1) = \frac{\lambda_2}{\mu_3} P_2 = \frac{\lambda_2 \lambda_1 \lambda_0}{\mu_3 \mu_2 \mu_1} P_0 \\ &\vdots \\ n-1: P_n &= \frac{\lambda_{n-1}}{\mu_n} P_{n-1} + \frac{1}{\mu_n} (\mu_{n-1} P_{n-1} - \lambda_{n-2} P_{n-2}) = \frac{\lambda_{n-1}}{\mu_n} P_{n-1} = \frac{\lambda_{n-1} \lambda_{n-2} \dots \lambda_0}{\mu_n \mu_{n-1} \dots \mu_1} P_0 \\ n: P_{n+1} &= \frac{\lambda_n}{\mu_{n+1}} P_n + \frac{1}{\mu_{n+1}} (\mu_n P_n - \lambda_{n-1} P_{n-1}) = \frac{\lambda_n}{\mu_{n+1}} P_n = \frac{\lambda_n \lambda_{n-1} \dots \lambda_0}{\mu_{n+1} \mu_n \dots \mu_1} P_0 \\ &\vdots \end{aligned}$$

여기에서  $C_n = \frac{\lambda_{n-1} \lambda_{n-2} \dots \lambda_0}{\mu_n \mu_{n-1} \dots \mu_1}$  for  $n=1, 2, \dots$  이라고 두면 안정상태 확률 (Steady-State Probability),  $P_n = C_n P_0$ ,  $n=1, 2, \dots$  이 된다.

1) 발신호에 대한 호 블럭킹 확률

Queue 모델에서의 발신 호에 대한 호 블럭킹 확률은 서버의 수  $c$ 이상으로 호가 시스템 내에 들어 올 확률과 동일하다. 즉,

$$P_b = \sum_{n=c}^{\infty} p_n \quad (식5-2)$$

으로 주어진다. 여기서  $p_n$ 은 입력되는 호의 수  $n$ 이  $c$ 개 일 때의 블럭킹 확률이다. 그런데, 입력되는 호의 수가 채널의 수보다 적을 경우와 반대로 많을 경우의 2가지에 대해서 즉,  $0 \leq n \leq c-1$  및  $n \geq c-1$ 인 경우에 각 호 블럭킹 확률을 구하면 다음과 같다.

●  $0 \leq n \leq c-1$  경우의  $C_n$ 은  $\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n$ 을 서비스율  $n!$ 만큼 나누어 주어야 하므로

$C_n = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{n!}$ ,  $n=1, 2, \dots, c$  이 된다. 그런데 안정 상태 확률  $P_n = C_n p_0$ ,  $n=1, 2, \dots$ 이므로

$$p_n = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{n!} \cdot p_0 = \frac{\lambda^n}{n! \mu^n} \cdot p_0 \quad (식5-3)$$

이다.

여기에서 호의 평균 도착율인  $\lambda$ 는 발신 호의 도착율인  $\lambda_c$ 와 핸드오프 요구의 도착율인  $\lambda_h$ 의 합이다. 즉  $\lambda = \lambda_c + \lambda_h$ 이므로 (식5-3)은

$$p_n = \frac{(\lambda_c + \lambda_h)^n}{n! \mu^n} \cdot p_0 \quad (식5-4)$$

으로 된다.

●  $n \geq c$  경우는 앞에서  $0 \leq n \leq c-1$ 의  $C_n$ 에서  $n-c$ 이상의 입력 호가 블럭킹되므로 서버  $c$ 개까지의 입력 호에 대한  $C_n$ 은  $\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^c$ 을 서비스율  $c!$ 로 나눈 값에  $(n-c)$ 개의 호에 대한 트래픽인  $\left(\frac{\lambda}{c\mu}\right)^{n-c}$ 를 곱해야 하므로

$$C_n = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^c}{c!} \cdot \left(\frac{\lambda}{c\mu}\right)^{n-c} = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{c! c^{n-c} \mu^n}, \quad n=c, c+1, \dots \text{ 이 된다.}$$

그런데 호 블럭킹 확률  $p_n = C_n p_0$ 이므로

$$P_n = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{c! c^{n-c} \mu^n} p_0 = \frac{\lambda^n}{c! c^{n-c} \mu^n} \cdot p_0 = \frac{(\lambda_c + \lambda_h)^c \cdot \lambda_h^{n-c}}{c! c^{n-c} \mu^n} \cdot p_0 \quad (식5-5)$$

이다.

그런데 각 입력되는 호가 시스템에 있을 확률은 전부 더하면 1이 되므로  $\sum_{n=0}^{\infty} p_n = 1$ 이 된다. 그러므로  $0 \leq n \leq c-1$ 인 경우의  $p_n$ 과  $n \geq c$ 인 경우의  $p_n$ 을 합하면 즉,

$$\sum_{n=0}^{c-1} \frac{(\lambda_c + \lambda_h)^n}{n! \mu^n} \cdot p_0 + \sum_{n=c}^{\infty} \frac{(\lambda_c + \lambda_h)^c \cdot \lambda_h^{n-c}}{c! c^{n-c} \mu^n} \cdot p_0 = 1 \quad (식5-6)$$

이 된다.

그런데 (식 5-6)에서  $p_0$ 는

$$p_0 = \left[ \sum_{n=0}^{c-1} \frac{(\lambda_c + \lambda_h)^n}{n! \mu^n} + \sum_{n=c}^{\infty} \frac{(\lambda_c + \lambda_h)^c \cdot \lambda_h^{n-c}}{c! c^{n-c} \mu^n} \right]^{-1} \quad (식5-7)$$

이다. (식 5-7)을 정리하면

$$p_0 = \left[ \sum_{n=0}^{c-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda_c + \lambda_h}{\mu}\right)^n + \frac{1}{c!} \left(\frac{\lambda_c + \lambda_h}{\mu}\right)^c \sum_{n=c}^{\infty} \left(\frac{\lambda_h}{c\mu}\right)^{n-c} \right]^{-1} \quad (식5-8)$$

이 된다.

그런데 (식5-8)에서  $\sum_{n=c}^{\infty} \left(\frac{\lambda_h}{c\mu}\right)^{n-c} = \frac{c\mu}{c\mu - \lambda_h}$ 이므로

$$p_0 = \left[ \sum_{n=0}^{c-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda_c + \lambda_h}{\mu}\right)^n + \frac{1}{c!} \left(\frac{\lambda_c + \lambda_h}{\mu}\right)^c \left(\frac{c\mu}{c\mu - \lambda_h}\right) \right]^{-1} \quad (식5-9)$$

이다.

Queue방식의 핸드오프 채널할당기법의 호 블럭킹 확률은 (식5-2)의  $p_n$  대신에 (식5-5)의 값으로 치환하면 다음과 같이 된다.

$$p_b = \sum_{n=c}^{\infty} \frac{(\lambda_c + \lambda_h)^c \cdot \lambda_h^{n-c}}{c! c^{n-c} \mu^n} \cdot p_0 \quad (식5-10)$$

그런데,  $\sum_{n=c}^{\infty} \frac{(\lambda_c + \lambda_h)^c \cdot \lambda_h^{n-c}}{c! c^{n-c} \mu^n}$ 은 (식 5-9)에서

$$\frac{1}{c!} \left(\frac{\lambda_c + \lambda_h}{\mu}\right)^c \cdot \left(\frac{c\mu}{c\mu - \lambda_h}\right) \text{이므로}$$

$$p_c = \frac{1}{c!} \left(\frac{\lambda_c + \lambda_h}{\mu}\right)^c \cdot \left(\frac{c\mu}{c\mu - \lambda_h}\right) \cdot p_0 \quad (식5-11)$$

로 계산된다.

### 2) 평균 Queue 크기

핸드오프 요구의 입력이 설정된 채널의 수( $c$ )보다 많을 경우, 핸드오프 요구는 채널할당을 기다리기 위해 Queue에서 대기하게 된다. 그러므로 평균 Queue의 크기는 다음과 같이 계산된다.

$$L_q = \sum_{n=c}^{\infty} (n-c) p_n \quad (\text{식5-12})$$

$p_n$ 을 (식5-5)의 값으로 치환하면

$$\begin{aligned} L_q &= \sum_{n=c}^{\infty} (n-c) \cdot \frac{(\lambda_c + \lambda_h)^c \cdot \lambda_h^{n-c}}{c! c^{n-c} \mu^n} \cdot p_0 \\ &= \sum_{n=c}^{\infty} (n-c) \cdot \frac{1}{c!} \cdot \left( \frac{\lambda_c + \lambda_h}{\mu} \right)^c \left( \frac{\lambda_h}{c\mu} \right)^{n-c} \cdot p_0 \\ &= p_0 \cdot \left( \frac{\lambda_c + \lambda_h}{\mu} \right)^c \cdot \frac{1}{c!} \cdot \sum_{n=c}^{\infty} (n-c) \cdot \left( \frac{\lambda_h}{c\mu} \right)^{n-c} \end{aligned} \quad (\text{식5-13})$$

여기서  $\rho = \frac{\lambda_h}{c\mu}$  라 두면

$$\begin{aligned} \sum_{n=c}^{\infty} (n-c) \cdot \left( \frac{\lambda_h}{c\mu} \right)^{n-c} &= \sum_{n=c}^{\infty} (n-c) \cdot \rho^{n-c} \\ &= \rho + 2\rho^2 + 3\rho^3 + \dots \\ &= \frac{\rho}{(1-\rho)^2} \end{aligned} \quad (\text{식5-14})$$

이다.

$$\text{그러므로 } L_q = p_0 \cdot \left( \frac{\lambda_c + \lambda_h}{\mu} \right)^c \cdot \frac{1}{c!} \cdot \frac{\rho}{(1-\rho)^2} \quad (\text{식5-15})$$

이 된다.

### 3) 강제 종료 확률

강제 종료 확률, 즉, 핸드오프의 실패는 Queue내의 대기 시간이 이동국에 대한 최대 허용 감쇠의 시간간격을 초과하는 확률이다. 핸드오프요구의 Queue 소요 시간 ( $T_h$ )이 최대 허용 감쇠 시간간격 ( $T_d$ )내에 있을 확률을  $W_q(T_d)$ 라고 하면 강제 종료 확률 ( $P_f$ )은  $1 - W_q(T_d)$ 로 나타낼 수 있다. 여기서  $W_q(T_d)$ 는  $T_d$ 시간 내에 시스템에서 서비스를 받을 수 있는 확률을 의미하므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_q(T_d) = \sum_{n=c}^{\infty} (\Pr(n-c+1) \leq T_d] \cdot p_n) + W_q(0) \quad (\text{식5-16})$$

(식5-16)에서  $\Pr(n-c+1) \leq T_d$ 은 입력되는 호의 수  $n$ 이 각각  $c, \dots, \infty$ 일 때 Queue에 있는 핸드오프 요구가  $T_d$ 시간 내에 서비스를 받을 확률을 나타낸다.

$W_q(0)$ 는 시스템 내에 호가  $c-1$  이하가 있을 확률을 나타내므로 이것은 전체 확률에서 호의 수가 ( $n \geq c$ )인 경우의 확률을 제외한 것으로 계산된다. 즉,

$$\begin{aligned} W_q(0) &= 1 - \sum_{n=c}^{\infty} p_n \\ &= 1 - \sum_{n=c}^{\infty} \frac{(\lambda_c + \lambda_h)^c \cdot \lambda_h^{n-c}}{c! c^{n-c} \mu^n} \cdot p_0 \end{aligned} \quad (\text{식 5-17})$$

이다.

$$\text{그러므로 } W_q(0) = 1 - \frac{1}{c!} \left( \frac{\lambda_c + \lambda_h}{\mu} \right)^c \cdot \left( \frac{c\mu}{c\mu - \lambda_h} \right) \cdot p_0 \quad (\text{식5-18})$$

이 된다.

누적 Queue 대기시간 분포를 나타내는 (식5-16)에서 시간  $0 \sim T_d$ 까지의 서비스 받을 확률인  $\Pr(n-c+1) \leq T_d$ 와 시스템 내에 호가 있을 확률인  $p_n$ 을 치환하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} W_q(T_d) &= \left[ \sum_{n=c}^{\infty} \Pr(n-c+1) \leq T_d \right] \cdot \left[ \frac{(\lambda_c + \lambda_h)^c \cdot \lambda_h^{n-c}}{c! c^{n-c} \mu^n} \cdot p_0 \right] + W_q(0) \\ &= \left[ \sum_{n=c}^{\infty} \Pr(n-c+1) \leq T_d \right] \cdot \frac{1}{c!} \left( \frac{\lambda_c + \lambda_h}{\mu} \right)^c \cdot \left( \frac{c\mu}{c\mu - \lambda_h} \right) \cdot p_0 + W_q(0) \\ &= p_0 \left( \frac{\lambda_c + \lambda_h}{\mu} \right)^c \cdot \frac{1}{(c-1)!} \cdot \frac{1}{c} \cdot \frac{c\mu}{c\mu - \lambda_h} \cdot \sum_{n=c}^{\infty} \Pr(n-c+1) \leq T_d + W_q(0) \\ &= p_0 \left( \frac{\lambda_c + \lambda_h}{\mu} \right)^c \cdot \frac{1}{(c-1)!} \cdot \frac{\mu}{c\mu - \lambda_h} \cdot (1 - e^{-(c\mu - \lambda_h)T_d}) + W_q(0) \end{aligned}$$

위 식을 정리하면,

$$W_q(T_d) = p_0 \left( \frac{\lambda_c + \lambda_h}{\mu} \right)^c \cdot \frac{1}{(c-1)!} \cdot \frac{(1 - e^{-(c\mu - \lambda_h)T_d})}{c - \frac{\lambda_h}{\mu}} + W_q(0) \quad (\text{식5-19})$$

이 된다.

그러므로 강제 종료 확률은

$$\begin{aligned} P_f &= 1 - W_q(T_d) \\ &= 1 - p_0 \left( \frac{\lambda_c + \lambda_h}{\mu} \right)^c \cdot \frac{1}{(c-1)!} \cdot \frac{(1 - e^{-(c\mu - \lambda_h)T_d})}{c - \frac{\lambda_h}{\mu}} + W_q(0) \\ &= 1 - \int_0^{T_d} W_q(T_d) \cdot f_{T_d}(T_d) dt, \quad f_{T_d}(T_d) = N(\mu, \sigma^2) \end{aligned} \quad (\text{식5-20})$$

으로 계산된다.

## VI. 시뮬레이션 및 결과 분석

### 1. 기본 가정

1) 제안하는 CDMA 셀룰러시스템의 핸드오프 채널할당기법의 시뮬레이션 모델링에는 손실 호 (Lost



Calls) 모델로서 LCD (Lost Call Delayed)를 적용한다.

2) 시스템 모델에 사용되는 기지국들은 동일 이동 교환기 내에 포함되어 있다.

3) 셀 내에서 초기화되는 호 및 핸드오프 요구는 포아송 (Poisson)으로 도착한다.

4) 이동국의 속도는 정규분포를 한다<sup>[12]</sup>.

5) 핸드오프 요구의 비율은 전체 입력되는 호 트래픽의 20% 및 50%를 핸드오프 요구로 가정한다.

6) 1개의 셀은 50개의 채널을 가지며, 만약 모든 채널들이 사용 중일 때 호가 도착하면 블럭킹 되고, 핸드오프 요구의 경우는 우선순위 Queue에 들어간다.

7) 채널의 점유 시간은 평균 60초로 지수 분포를 따른다.

8) 다른 셀에서 이미 신규호의 발착신호에 대해 채널할당을 위한 호 설정과정이 완료되었거나 다른 셀에서 이미 채널이 핸드오프 요구에 할당된 경우는 고려하지 않는다.

9) 사용자에게 의한 강제적인 호 해제에 의한 경우와 이동국이 다른 셀으로 이동함에 따라 현재 사용 중인 채널의 해체에 대한 경우는 무시한다. (채널 점유 시간에 대해서는 Memoryless Property를 적용)

10) 핸드오프 지역으로 들어가는 각 이동국과 관련된 수신전력의 감쇠에 대한 최대 시간간격은 정규분포를 따른다. (평균 10초와 2초의 표준편차를 가짐) 이 값은 셀의 크기의 변동 또는 이동국의 속도 범위에 따라 달라질 수 있다.)

## 2. 성능평가 척도

제안하는 기법의 성능 평가를 위한 척도는 다음과 같이 설정하였다.

1) 강제 종료 확률 - 강제 종료 확률은 발신 호가 핸드오프 시도가 성공적으로 완료하지 못한 확률로 정의된다. 그러므로 강제 종료 확률은 이동국이 현재의 기지국으로부터 수신한 전력이 새로운 채널이 할당되기 전에 수신기 임계치 값에 근접할 때 처리되지 못하는 핸드오프 요구의 확률을 말한다.

2) 호 블럭킹 확률 - 호 블럭킹 확률은 가용 채널이 없음으로 인하여 새로운 호가 서비스를 받지 못하는 확률로 정의된다. 새로운 호는 비어있는 채널이 존재하고 우선순위 Queue 내에 핸드오프 요구가 없는 경우에만 처리된다.

3) 전체 제공 트래픽에 대한 수행된 트래픽 량 - 셀룰러 네트워크에서 가장 중요한 성능평가 척도중 하나인 전체 제공 트래픽에 대한 수행된 트래픽 량이다. 이 척도는 제공된 트래픽이 적을 경우에는 수행된 트래픽은 제공된 트래픽과 같다. 그러나 일반적으로 수행된 트래픽은 호의 블럭킹 및 핸드오프 실패 때문에 제공된 트래픽보다 적다. 가급적 제공된 부하의 비율은 높을수록 바람직하며, 이 비율은 제공된 부하, 호 블럭킹 확률 및 핸드오프 실패가 증가함에 따라 낮아진다.

4) 평균 Queue크기 및 Queue에서의 평균 지연시간 - 평균 Queue 크기는 대기상태에 있는 핸드오프 요구의 평균 개수이고, Queue에서의 평균 지연시간은 각 핸드오프 요구가 채널을 할당 받기 전까지 Queue에서 대기하고 있는 평균 대기시간을 말한다.

## 3. 결과분석

시뮬레이션 결과의 대상은 비 우선순위기법, FIFO Queue기법 및 우선순위 Queue기법 3가지에 대하여 핸드오프 요구의 강제 종료 확률, 호 블럭킹 확률, 제공 트래픽에 대한 수행 트래픽 비율, 핸드오프 비율에 따른 평균 Queue 크기 및 평균 Queue의 지연시간이며, 이들의 결과는 그림 6~그림 11의 그래프로 나와 있다.

### 1) 핸드오프 요구의 강제 종료 확률

핸드오프의 트래픽비율이 전체 입력되는 제공 트래픽의 20%인 경우에 3가지 기법에 대한 핸드오프 요구의 강제 종료 확률의 성능은 그림 6과 같다. 비 우선순위기법에서는 입력되는 트래픽에서 발신 호와 핸드오프와의 구분이 없기 때문에 강제 종료 확률과 호 블럭킹 확률은 동일하게 나타난다.

그림 6의 시뮬레이션 결과에서 보듯이 제공 트래픽이 30Erl (Erlang)까지는 3가지 기법이 거의 0에 가까운 강제 종료 확률을 유지하다가 30Erl이상 부터는 그 격차가 나타나기 시작하였다. FIFO Queue기법은 비 우선순위기법에 비해 강제 종료 확률이 매우 낮음을 볼 수 있다. 그림 6에서 비 우선순위기법은 40, 50, 60, 70Erl에서 강제 종료 확률이 1.2%, 5.2%, 9.6% 및 13.2%로 점차적으로 높아지는데 비해 FIFO Queue기법은 시뮬레이션에서의 최대 제공 트래픽인 75Erl에서 2.5%로 나타났다. 이 결과에서 FIFO Queue기법은 비 우선순위기법에 비해서 본 시뮬레이

선의 제공 트래픽 구간에서는 강제 종료 확률이 매우 낮음을 알 수 있다.

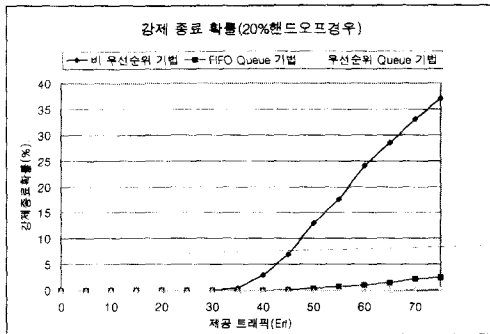


그림 6. 강제 종료 확률  
Fig. 6. Force a Termination Probability.

우선순위 Queue기법의 강제 종료 확률은 그림 6에서 보는 바와 같이FIFO Queue기법에 비해 그 성능이 우수함을 알 수 있다. 즉, FIFO Queue기법에서는 본 시뮬레이션의 제공 트래픽 구간인 75Erl까지는 강제 종료 확률이 상승하는데 비해 우선순위 Queue기법은 75Erl에서 최대 0.2%를 유지함을 알 수 있다. 따라서 우선순위 Queue를 이용한 기법은 FIFO Queue 기법에 비해 상당한 개선이 이루어짐을 볼 수 있다.

핸드오프의 비율이 50%인 경우에도 효과가 큰 것으로 나타났다. FIFO 및 우선순위 Queue기법에서는 비 우선순위기법에 비해 핸드오프율이 증가함에 따라 20%에 비해 더 개선됨을 알 수 있었고, 특히 우선순위 Queue기법은 핸드오프율이 50%에서도 FIFO Queue기법에 비해 성능이 우수함을 알 수 있었다.

이와 같은 결과는 미래의 이동통신 시스템의 셀 크기가 더욱 더 소형화 되는 추세에 비추어 볼 때 핸드오프의 비율이 높은 경우에 상당히 적용 가능성이 있는 결과라 생각된다.

2) 호 블럭킹 확률

비 우선순위기법, FIFO Queue기법 및 우선순위기법의 3가지에 대한 호 블럭킹 확률은 그림 7에서 보듯이 FIFO 및 우선순위 Queue기법의 호 블럭킹 확률은 비 우선순위에 비해 높게 나타난다. 이 결과는 피할 수 없는 결과이다. 왜냐하면 트래픽이 폭주 할 때 발신 호는 Queue에 있는 핸드오프의 처리가 완료 되어야만 채널을 할당받을 수 있기 때문에 결국 발신 호의 호 블럭킹 확률을 높이는 결과를 초래하기 때문이다.

다시 말해서 비 우선순위기법에 비해 FIFO Queue 및 우선순위Queue기법이 더 높은 호 블럭킹 확률의 결과를 가져오는 현상은 핸드오프의 강제 종료 확률의 감소에 대한 대가 (비용)라고 할 수 있다. 그러나 중요한 사실은 그림 7에서 보는 바와 같이 우선순위 Queue를 이용한 기법은 비 우선순위기법의 호 블럭킹 확률보다는 높지만 FIFO의 Queue기법보다는 호 블럭킹 확률이 다소 감소되어 성능 개선이 이루어졌음을 볼 수 있다. 그런데 이러한 결과는 시뮬레이션에서 입력되는 모든 제공 트래픽의 경우에 항상 FIFO방식보다 호 블럭킹 확률이 적음을 알 수 있다.

핸드오프의 비율이 50%인 경우는 비 우선순위기법은 핸드오프의 비율에 상관없이 항상 호 블럭킹 확률이 동일하였으나 FIFO 및 우선순위기법에서는 핸드오프 비율의 증가에 비례하여 호 블럭킹이 높아졌다.

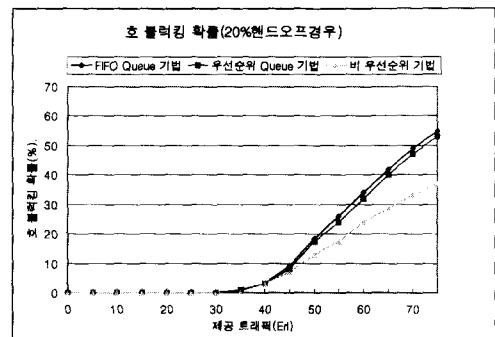


그림 7. 호 블럭킹 확률  
Fig. 7. Call Blocking Probability.

3) 전체 제공 트래픽에 대한 수행 트래픽 비율

비 우선순위기법, FIFO Queue기법 및 우선순위 Queue기법의 각각에 대한 강제 종료 확률 및 호 블럭킹 확률의 처리특성을 제공된 트래픽에 대한 수행된 트래픽의 비율로 나타낸 것이 그림 8이다. FIFO 및 우선순위 Queue기법들의 호 블럭킹 확률이 제공 트래픽이 증가함에 따라 비우선순위기법에 비해 높아지기 때문에 결과적으로 제공 트래픽에 대한 수행 트래픽의 성능에 영향을 미쳐 감소시킨다.

그림 8에서 보면, 비 우선순위기법, FIFO Queue 및 우선순위기법들의 제공 트래픽에 대한 수행 트래픽의 비율은 40Erl까지는 같은 성능을 보이다가 40Erl 이상부터는 차이가 발생하였다. 즉, 비 우선순위기법은 75Erl까지는 수행 트래픽이 계속 증가한데 비해 FIFO Queue기법은 오히려 55Erl을 기점으로 하여

75Erl까지 조금씩 감소함을 알 수 있다. 그러나 우선 순위 Queue기법은 비 우선순위기법 보다는 수행 트래픽의 양이 적지만 FIFO Queue기법보다는 개선됨을 알 수 있고, 55Erl부터는 거의 수행 트래픽 양이 FIFO Queue기법과는 달리 일정하게 수렴함을 알 수 있다.

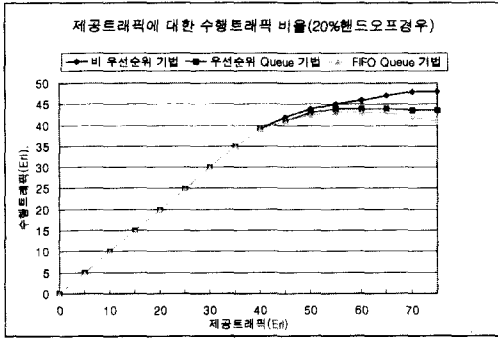


그림 8. 제공 트래픽에 대한 수행 트래픽 비율  
Fig. 8. Carried Traffic to Total Offered Traffic.

핸드오프 요구의 비율이 50%인 경우, 제공 트래픽에 대한 수행 트래픽의 비율은 핸드오프 비율에 관계없이 비 우선순위, 우선순위 Queue기법 그 다음 FIFO Queue기법의 순서는 변함이 없음을 알 수 있었다. 다만 여기서 중요한 사실은 입력 트래픽에 대한 핸드오프의 비율이 높아짐에 따라 제공 트래픽에 대한 수행 트래픽의 비율은 FIFO방식의 경우에는 40Erl을 기점으로 계속적으로 낮아지는 반면에 우선순위 Queue기법에서는 거의 그 비율이 최대43Erl정도로 일정하게 수렴한다는 사실이다.

4) 평균 Queue 크기

평균 Queue 크기에 대한 성능곡선은 그림 9에서 보는 바와 같이 우선순위 Queue기법에서는 항상 FIFO방식의 기법에 비해 Queue 크기가 적음을 알 수 있다. 평균 Queue크기는 Queue에 있는 핸드오프 요구의 개수를 의미한다.

우선, 핸드오프의 비율이 20%인 경우의 평균 Queue 크기를 살펴보면 그림 9에서 보는 바와 같이 35Erl까지는 FIFO Queue 및 우선순위 Queue기법에서 평균 0의 Queue크기를 보이다가 40Erl부터는 평균 Queue크기가 증가하며, 또한 제공 트래픽이 증가함에 따라 격차가 조금씩 커짐을 볼 수 있다.

예를 들면, 제공 트래픽이 40, 50, 60Erl 및 70Erl로 높아짐에 따라 평균 Queue크기에 있어서 FIFO

Queue기법의 경우는 0.5%, 5%, 14% 및 24%로 상승하는 데에 비해 우선순위 Queue기법의 경우는 0.5%, 4%, 10% 및 19%로 상승함을 볼 수 있다. 즉, 우선순위 Queue기법의 경우가 FIFO Queue기법에 비해 평균 Queue크기 상승율이 적게 나타남을 알 수 있다.

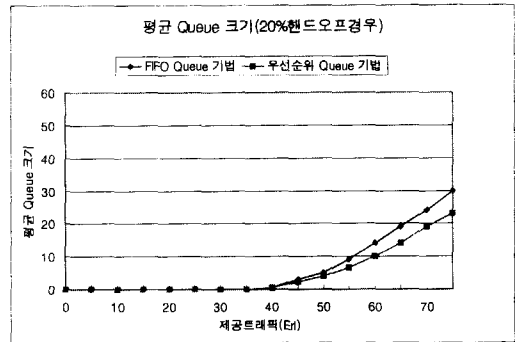


그림 9. 평균 Queue 크기  
Fig. 9. Average Queue Size.

핸드오프 비율이 50%인 경우, 평균 Queue크기에 대한 추이는 핸드오프 비율이 20%인 경우와 유사하였고 다만 핸드오프 비율이 높아짐에 따라 평균 Queue 크기가 2가지 기법에 있어서 20%보다는 전체적으로 높음을 알 수 있었다. 여기서 중요한 사실은 핸드오프의 비율이 20%에서 50%로 높아짐에 따라 FIFO Queue기법과 우선순위Queue 기법의 평균 Queue 크기의 차가 더 커진다는 사실이다. 그림 9에서 알 수 있듯이 우선순위Queue기법은 핸드오프가 빈번한 마이크로 셀룰러시스템에서 특히 높은 효과가 있음을 알 수 있다.

5) Queue에서의 평균 지연시간

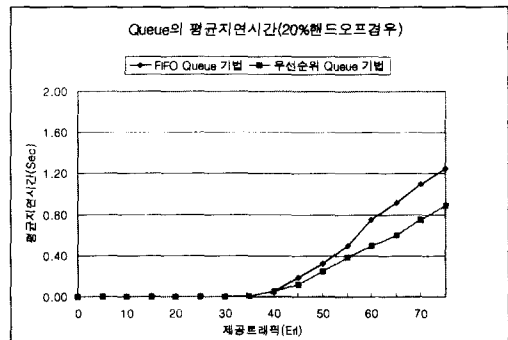


그림 10. Queue의 평균 지연시간(20%핸드오프)  
Fig. 10. Average Queue Delay Time(20% Handoffs).

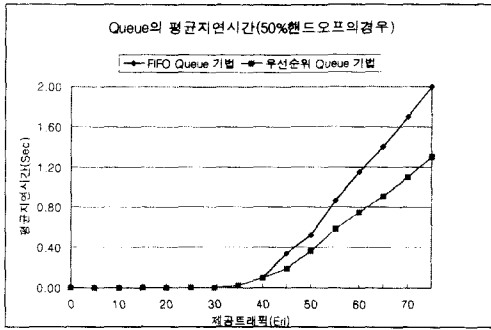


그림 11. Queue의 평균 지연시간(50%핸드오프)  
Fig. 11. Average Queue Delay Time(50% Handoffs).

Queue에서의 평균 지연시간에 대한 성능곡선은 그림 10 및 그림 11과 같다. 평균 지연 시간의 추이는 앞의 평균 Queue 크기에서의 결과와 마찬가지로 우선순위 Queue기법이 FIFO Queue기법에 비해 평균 지연시간이 더 적음을 알 수 있다. 핸드오프의 비율이 20%인 경우의 평균 지연시간을 그림 10에서 살펴보면, 제공 트래픽이 30Erl까지는 FIFO 및 우선순위 Queue기법에 있어서 지연 시간이 발생하지 않다가 35Erl부터는 점차적으로 발생하기 시작하였다. 특히, FIFO Queue기법과 우선순위 Queue기법의 평균 지연시간의 격차는 제공 트래픽이 45Erl부터 발생하기 시작하여 60Erl부터는 2가지 기법의 평균 지연시간의 격차가 더 많이 발생함을 알 수 있다.

핸드오프 요구의 비율이 50%인 경우, 평균 지연시간에 대한 추이 및 시간은 핸드오프 비율이 20%인 경우와 유사하였고 FIFO Queue기법과 우선순위 Queue기법의 평균 지연시간의 격차는 45Erl부터 발생하기 시작하여 55Erl부터는 2가지 기법의 평균 지연시간의 격차가 더 많이 발생함을 알 수 있었다.

또한, 그림 11에서 보듯이 핸드오프의 비율이 높아지면 평균 지연시간은 증가하지만 FIFO Queue기법과 우선순위 Queue 기법의 차이는 거의 일정함을 알 수 있다.

## VII. 결 론

이동통신 시스템에서 셀의 크기가 더욱 더 작게 됨에 따라 셀간의 핸드오프의 발생은 증가하게 된다. 이동통신 사용자 관점에서 볼 때 이동 중에 통화 중인 호가 강제적으로 종료되면 이것은 매우 중대한 문제이다. 그래서 이 논문에서는 전체 수행되는 트래픽

에 약간의 비용을 감수하더라도 이동통신 시스템에 대한 핸드오프의 품질을 향상시키기 위한 목적으로 CDMA 셀룰러시스템에서 우선순위 Queue에 기반을 둔 핸드오프 채널할당기법의 모델을 제안하였다.

성능 시뮬레이션 결과, 제안된 기법이 전체 시스템 용량면에서 약간의 단점은 발생하지만 핸드오프 처리에 있어서 높은 성능을 유지함을 알 수 있었다. 주요 시뮬레이션 결과를 요약하면 첫째, 제안된 기법은 제공 트래픽이 증가함에 따라 비 우선순위기법 및 FIFO Queue기법에 비해 강제종료확률이 감소되었다. 둘째, 호 블럭킹 확률은 비 우선순위기법보다는 높았지만 FIFO Queue기법에 비해 더 적었다. 셋째, 호 블럭킹 확률이 증가함에 따라 전체 제공 트래픽에 대한 수행 트래픽의 비율은 낮았다. 그러나 핸드오프 비율이 증가함에 따라 FIFO Queue기법보다 더 좋은 성능을 나타냄을 알 수 있었다. 마지막으로 평균 Queue 크기 및 핸드오프의 평균 대기시간은 항상 FIFO Queue기법에 비해 적음을 알 수 있었다.

이 논문에서 더 연구해야 할 부분은 첫째, 인접 셀의 파일럿 전력세기가 임계치 T\_ADD이상일 때 기지국은 이동국으로 부터 핸드오프 요구를 받게 되는데 이 요구가 과연 얼마나 실제로 발생하는 핸드오프 요구인지를 판단하는 메카니즘이다. 이 문제는 핸드오프 요구가 들어오면 기지국이 우선적으로 이 요구를 임시로 예약한 후, 핸드오프의 가능성이 높아졌을 때 우선순위 Queue에 이 요구를 보관함으로써 해결할 수 있을 것으로 생각되지만 실제적으로 적용하려면 충분한 검토가 이루어져야 될 것으로 생각된다. 둘째로는 이동국의 속도를 정규분포에 의하여 얻는 것으로 가정하였는데 실제 이동국의 이동성 (Mobility) 특성은 조금 다를 것이므로 이에 대한 문제도 검토해야 할 것으로 생각된다. 마지막으로 추후 고려해야 할 문제는 CDMA 셀룰러시스템의 간섭현상이다. 이것은 이동통신 환경에서는 피할 수 없는 문제인데, 이동 중에 주변 환경 특히 도심지의 건물의 밀집 형태등에 따라서 간섭의 형태가 달라질 수 있다. 그러므로 이동국의 핸드오프 처리시 전력세기의 약화에 대한 문제뿐만 아니라 이러한 간섭 문제를 다루는 것이 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

- [ 1 ] Antonio J. M. Ransom, "Handoff Considerations in Microcellular Systems Planning", Proceeding of IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications '95 (PIMRC'95), pp. 804-808, 1995.
- [ 2 ] Olle Grimlund and Bjorn Gudmundson, "Handoff Strategies in Microcellular Systems", Proceeding of IEEE International Vehicular Technology Conference '91 (VTC'91), pp. 505-510, 1991.
- [ 3 ] Szu-Lin Su, "Performance Analysis of Soft Handoff in CDMA Cellular Networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 14, No. 9, pp.1792-1769, December 1996.
- [ 4 ] Gregory P. Pollini, "Trends in Handover Design", IEEE Communications Magazine, pp.82-90, March 1996.
- [ 5 ] Victor O. K. Li and Xiaoxin Qiu, "Personal Communication System (PCS)", Proceedings of the IEEE, Vol. 83, No. 9, pp.1210-1243, September 1995.
- [ 6 ] Bora A. Akyol and Donald C. Cox, "Rerouting for Handoff in a Wireless ATM Network", IEEE Personal Communications, pp.26-33, October 1996.
- [ 7 ] Bora A. Akyol and Donald C. Cox, "Rerouting for Handoff in a Wireless ATM Network", Proceeding of IEEE International Conference on Universal Personal Communications '96 (ICUPC '96), pp.374-379, 1996.
- [ 8 ] Anthony S. Acampora and Mahmoud Nashshineh, "An Architecture and Methodology for Mobile-Executed Handoff in Cellular ATM Networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 12, No. 8, pp.1365-1375, October 1994.
- [ 9 ] Mobile Station - Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular System, Ballot Version (IS-95), TIA, pp.6-169-6-182, 1994.
- [ 10 ] Dong Myung Lee and Dong Chul Son, "Performance Estimation of Prioritized Queueing Handoff Scheme in CDMA Cellular System," Proceedings of 1998 IEEE 48<sup>th</sup> Annual Vehicular Technology Conference (VTC '98), Ottawa Ontario Canada, Vol.2 of 3., pp.1049~1053, 18-21 May 1998.
- [ 11 ] Kishor S. Trivedi, Probability & Statistics with Reliability, Queueing, and Computer Science Applications, Prentice-Hall, pp.411-468, 1982.
- [ 12 ] Sirin Tekinay and Bijan Jabbari, "A Measurement - Based Prioritization Scheme for Handovers in Mobile Cellular Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 10, No. 8, pp.1343-1350, October 1992.

저 자 소 개



李 東 明(正會員)  
 1982년 숭실대학교 전자계산학과 졸업(공학사). 1990년 숭실대학교 정보과학대학원 졸업(공학석사). 1997년 숭실대학교 대학원 전자계산학과 졸업(공학박사). 1982년 ~ 현재 한국전자통신연구원(ETRI)

무선·방송기술연구소 책임연구원. 주관심분야는 IMT-2000시스템 기지국 설계, 트래픽 모델링 및 성능분석

李 哲 熙(正會員) 第33卷 A編 第1號 參照  
 1958년 육군사관학교(이학사). 1962년 Purdue University 전기공학과(공학석사). 1988년 중앙대학교 대학원 전산과(이학박사). 1962년 ~ 1973년 육군사관학교 전자공학과 교수. 1988년 ~ 1990년 한국정보과학회 회장. 1973년 ~ 현재 숭실대학교 정보과학대학장. 주관심분야는 데이터통신, 전산망구성, 네트워크 프로토콜 설계