무선 멀티미디어 망에서 대역폭 예약을 이용한 효율적인 부하 균형 알고리즘

정영석[†] · 우매리[††] · 김종근[†††]

요 약

무선 네트워크 환경에서 멀티미디어 통신을 성공적으로 지원하기 위해서는 핸드오프 시 발생 가능한 연결 중단 확률을 최소화함으로써 이동 호스트(클라이언트)에게 연결성을 위한 QoS(Quality of Service)를 보장해야 한다. 그러나, 핸드오프를 필요로 하는 클라이언트의 이동성으로 인해 이동 호스트와 네트워크 간에 협상된 QoS가 보장되지 못할 수도 있다. 이는 각 셀에서 발생하는 트래픽에 할당되는 가용 채널의 제약에 기인한다. 본 논문에서는, 가용채널의 효과적인 확보를 위해 대역폭 예약 기법을 기반으로 한 부하 균형 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 셀 내의 클라이언트의 이동 방향을 예측한 후, 해당 셀의 부하 상태에 따라 예약될 채널의 크기를 균형있게 조절하여 가용채널을 확보한다. 핸드오프 채널로 예약된 대역폭은 우선적으로 핸드오프를 위해서 사용이 되어지며, 목적지 셀의 가용 채널이 주어진 임계치 이하일 경우, 해당 셀의 가용 채널을 추가로 확보하기 위해서 적응적 대역폭 예약을 이용한 부하균형 알고리즘을 설계함으로써 채널의 이용 효율을 최대화한다. 본 논문에서 제시한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해, 신규 호 탈락율, 핸드오프 호의 강제종료율을 측정하였다. 시뮬레이션 결과, 본 논문의 성능이 기존의 기법보다 우수함을 알 수 있었다.

An Efficient Load-Balancing Algorithm based on Bandwidth Reservation Scheme in Wireless Multimedia Networks

Youngseok Jung[†], Mary Wu[††] and Chonggun Kim[†††]

ABSTRACT

For multimedia traffics to be supported successfully in wireless network environment, it is necessary to provide Quality-of-Service(QoS) guarantees among mobile hosts(clients). In order to guarantee the QoS, we have to keep the call blocking probability below a target value during hand-off session. However, the QoS negotiated between the client and the network may not be guaranteed due to lack of available channels for traffic of a new cell, since on service mobile clients should be able to continue their sessions. In this paper, we propose an efficient load-balancing algorithm based on the adaptive bandwidth reservation scheme for enlarging available channels in a cell. Proposed algorithm predicts the direction of clients in a cell and adjusts the amount of the channel to be reserved according to the load status of the cell. This method is used to reserve a part of bandwidths of a cell for hand-off calls to its adjacent cells and this reserved bandwidth can be used for hand-off call prior to new connection requests. If the number of free channels is also under a low threshold value, our scheme use a load-balancing algorithm with an adaptive bandwidth reservation. In order to evaluate the performance of our algorithm, we measure metrics such as the blocking probability of new calls and dropping probability of hand-off calls, and compare with those of existing schemes.

Key words: load-balancing, hand-off, bandwidth reservation, Quality-of-Service

[†] 경운대학교 컴퓨터공학과 전임강사
[††] 영남대학교 컴퓨터공학과 박사과정
[†††] 정회원, 영남대학교 컴퓨터공학과 교수

1. 서 론

인터넷의 대중화와 멀티미디어 기술의 발전에 의해서 네트워크 트래픽의 상당 부분이 멀티미디어 데이터이다. 또한 무선 통신 기술의 발전과 소형이면서도 강력한 휴대용 컴퓨터의 보급으로 향후 무선 네트워크에서 발생하는 트래픽의 상당 부분이 웹(web) 브라우징과 같은 멀티미디어 어플리케이션에 의해 발생되리라고 쉽게 예상할 수 있다. 멀티미디어 트래픽을 성공적으로 지원하기 위해서는 통신을 수행하는 이동 호스트(클라이언트)와 네트워크 사이의 QoS(Quality-of-Service) 보장을 제공하는 것이 필수적이다. 그러나, 핸드오프를 필요로 하는 클라이언트의 이동성으로 인해 이동 호스트와 네트워크간에 협상된 QoS가 보장되지 못 할 수도 있다. 이는 각 셀에서 발생하는 트래픽에 할당되는 가용 채널의 제약에 기인한다. 이를 해결하기 위해서는 이동 호스트의 목적 셀의 가용 채널을 충분히 확보함으로써 트래픽이 발생 중인 클라이언트에게는 중단 없는(seamless) 서비스를 제공하도록 핸드오프 호에 대한 강제종료율(probability of forced termination)을 최소화하고, 셀 내에서는 새로운 트래픽이 발생하는 클라이언트의 신규 호 탈락율(probability of blocking)을 줄이는 것이 중요하다. 특히, 무선 서비스를 이용하는 도중 발생하는 강제종료가 신규 트래픽의 탈락보다 QoS에 더 나쁜 영향을 미친다.

본 논문에서는 가용채널의 확보를 위해 적응적 대역폭 예약 기법을 기반으로 한 부하 균형(load-balancing) 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 셀 내에서 클라이언트가 위치한 섹터에 따라 인접 셀로 이동한 패턴을 오랫동안 축적한 다음 이를 바탕으로 각 클라이언트의 이동성을 예측한 다음 해당 셀의 가용 채널의 일부분을 핸드오프 서비스를 위한 채널로 예약을 한다. 만일 인접 셀이 과부하 상태의 셀일 경우에는 실제 핸드오프가 이루어지는 호를 식별한 다음 그 호에 대해서만 채널을 예약함으로써 가용 채널을 확보한다. 이러한 기법으로 각 셀의 부하 상태에 따라 균형적으로 가용 채널을 확보하는 것이 가능해진다. 핸드오프 채널로 예약된 대역폭은 우선적으로 핸드오프를 위해서 사용이 되게 하여 이동 중인 클라이언트의 트래픽의 강제종료를 최소화하고, 이동 목적지 셀의 가용 채널이 주어진 임계치 이하인 과부하 셀인 경우, 부하균형 알고리즘을 적용해 가용채널을 확보하도록 알고리즘을 설계함으로써 채널의 이용 효율을 최대화한다. 본 논문에서 제시한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해, 신규 호 탈락율과 핸드오프 호의 강제종료율을 측정한다.

2. 관련 연구

이동 컴퓨팅 환경에서 멀티미디어 트래픽이 성공적으로 지원되기 위해서는 멀티미디어, 무선망 및 클라이언트의 이동성 등이 고려되어야 한다. 특히, 이동 클라이언트와 네트워크간의 QoS 보장을 제공하는 것이 필수적이다. QoS 보장이란 멀티미디어 트래픽이 통신 시스템의 여러 자원(resource)으로부터 예측 가능한(predictable) 서비스를 얻을 수 있어야 한다는 것을 의미한다. 전형적인 자원은 CPU time(통신 소프트웨어가 실행중인 동안), 네트워크 대역폭(bandwidth)과 단말간 지연(end-to-end delay)범위이다. 대부분의 경우, QoS를 <대역폭, 지연, 신뢰성>의 3가지 요소로 기술한다[1].

무선망에서의 QoS 보장에 대한 연구는 기존 유선망에서의 연구와 많은 다른 점을 고려하여야 한다. 유선과 무선 네트워크의 주요한 두 가지 차이점은 링크(link) 특성과 이동성(mobility)이다. 광대역 유선 네트워크 전송 링크는 높은 전송률과 낮은 에러율을 가지지만, 무선 링크는 대체로 낮은 전송률과 높은 에러율을 가진다. 또한 유선망은 연결 시 사용자-네트워크-인터페이스(UNI:user-network-interface)는 고정되게 유지되지만, 무선 환경에서의 UNI는 계속적으로 변화될 수 있다. 따라서, 무선망을 위한 새로운 QoS 보장 기법이 필요하다[1].

무선망에서 전송되는 멀티미디어 트래픽은 실시간 트래픽인 Class I와 비실시간 트래픽인 Class II로 분류될 수 있다[2]. 비디오나 음성과 같은 Class I 트래픽은 지연에 매우 민감하기 때문에 클라이언트가 요구한 최소한의 QoS 파라메터를 충족시키지 못하는 새로운 셀로 이동했을 경우, 연결이 끊어질 수 있다. 이에 반해, TCP 트래픽이나 전자우편과 같은 Class II 트래픽은 지연에는 민감하지 않기 때문에, 이동중인 클라이언트가 채널이 충분하지 못한 셀로 움직일지라도 비트율(bit rate)과 같은 QoS 파라메터가 일시적으로 재 협상될 수 있고 재조정될 수 있다.

호는 신규 호(new call)와 핸드오프 호(hand-off call)로 구분될 수 있다. 신규 호는 셀에서 새로 발생하는 호를 말하며, 핸드오프 호는 다른 셀로부터 이동해온 호라고 정의한다. 일반적으로 핸드오프 호는 현재 진행 중인 서비스이기 때문에 신규 호보다 우선적으로 처리되어져야 한다.

이러한 환경에서 클라이언트의 멀티미디어 트래픽을 원활하게 처리하기 위해서 Oliveira[2]는 고속 멀티미디어 무선망에서의 QoS 보장 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 실시간 호(Class I)에 대하여 클라이언트가 현재 셀로부터 필요한 주파수 대역을 할당받을 뿐만 아니라, 주변의 모든 인접 셀에 대해서도 정해진 크기의 주파수 대역을 미리 예약해 놓음으로써 핸드오프 시 발생할 수 있는 강제종료를 최소화한다. 만일 할당 또는 예약에 실패하면 호 요청은 거절된다. 비실시간 호(Class II)는, 요청된 대역에 대해 그 호가 발생한 셀이 최소한의 가용 대역이 존재할 경우 호를 수락하고, 이웃 셀에 대한 대역폭 예약을 수행하지는 않는다. 핸드오프 시 클라이언트가 이동한 셀의 주파수 대역이 충분치 않다면, 주파수 대역을 가용성(availability)에 기반 하여 재조정한다. 하지만, 이 기법은 매우 큰 주파수 대역을 불필요하게 예약함으로써 신규 호에 대한 탈락율의 증가를 초래하고, 주파수 대역폭의 이용률을 떨어뜨리는 단점이 있다.

Sajal[1]은 트래픽을 발생시키는 클라이언트가 현재 셀 내에서 어느 곳에 위치하는가에 따라서 local과 departing으로 구분하였다. 셀의 가장자리에 위치한 클라이언트는 핸드오프 될 가능성이 높고, 따라서 바로 인접한 한 셀로 이동할 가능성이 높다. 따라서 이웃한 모든 셀의 대역폭을 예약할 필요 없이 핸드오프 될 목적지 셀의 대역폭만을 예약함으로써 불필요한 예약을 줄일 수 있다. 또한, 목적지 셀의 가용 대역폭이 충분치 않다면 그 이웃 셀로부터 충분한 대역을 차용(borrowing)해오는 알고리즘을 적용한다. 그리고 가용한 주파수 스펙트럼의 이용률을 최대화하기 위해 대역폭 압축(bandwidth compaction) 기법을 제안하였다. 이 기법은 대역폭을 세그먼트(segment)와 페이지(page)로 구분한 후, 대역폭 페이지는 연속적이고 고정된 크기의 대역폭을 할당을 한다. 발생된 트래픽이 Class I일 경우는 대역폭 세그먼트가 할당되며, 호가 종료될 경우 주파수 스펙트럼 상에 사용되지 않는 빈 영역(hole)이 발생할 수 있다. 대역폭 압축 기법은 이러한 영역을 하나의 연속적인 공간으로 모아줌으로써 Class II에 할당될 수 있는 대역폭 페이지를 확보함으로써 대역폭 이용률을 높인다. 이 기법의 단점은, 단순히 발생한 트래픽의 위치를 기반으로 목적지 셀을 결정함으로써 예측 오류가 발생할 가능성이 높으며, 이를 조정하기 위한 추가적인 통신 오버헤드가 발생할 수 있다. 그리고 대역폭 압축 기법 또한 추가적인 오버헤드를 증가시킴으로써 전체적인 시스템의 성능의 저하를 발생시킬 수 있다.

기지국이 이동 호스트가 이동할 셀을 정확하게 예측을 할 수 있다면, 불필요한 대역폭 예약을 줄일 수 있다. [6]에서는 이동 호스트의 이동성 예측을 위하여 MPP(mobility pattern profile)을 이용한 ARMM (adaptive bandwidth reservation mechanism using MPP)를 제안하였다. 이 메커니즘은 클라이언트의 과거 이동 패턴 정보를 이용하여 계산된 이동성 확률(mobility probability)로써 핸드오프될 셀을 결정한다. 대역폭 예약은 이동성 확률이 가장 높은 셀에 대해서만 수행하게 된다. 이 메커니즘의 단점은 비슷한 이동성 확률을 가지고 있는 이동 예상 셀이 다수 존재할 경우 이동 예측 오류가 발생할 가능성이 높다는 점이다.

기존 핸드오프 방식은 클라이언트가 핸드오프를 요청하였을 때, 자원 확인 절차를 수행한 후 트래픽 경로를 재설정하는 과정을 순차적으로 처리한다. 이러한 방식은 망의 부하와 이동 호스트(mobile host)의 이동성에 기반을 두지 않는 고정적 신호 수준의 핸드오프 처리 방식으로 호 탈락률 및 통화 중 강제종료확률이 높다. [3]에서는 이를 해결하기 위해 핸드오프 요청이 발생하기 전에 자원 확인 절차를 선행하여, 자원이 부족한 셀에 대해서는 셀룰러 시스템의 콤팩트 패턴(compact pattern)에 기반 한 셀 구조에서 이웃 셀로부터 채널을 차용함으로써 가용 채널을 확보하는 부하 균형 알고리즘을 제안하였다. 이를 위해 셀들을 가용 채널의 수에 따라 저부하(light) 셀, 보통(moderate) 셀, 과부하(heavy) 셀로 구분하였다.

본 논문에서는 무선망에서 QoS를 보장하기 위한 방법으로 클라이언트의 이동성을 예측하여 핸드오프될 셀을 선택한 후, 해당 셀의 가용 채널의 상태(경량, 보통, 중량)에 따라 효율적으로 대역폭을 예약함으로써 핸드오프 호의 강제종료 및 신규 호의 탈락을

줄일 수 있는 새로운 부하균형 알고리즘을 제안한다. 클라이언트의 이동성 예측의 정확성을 높이기 위해서 [6]에서 사용한 MPP의 이동 패턴을 셀 단위에서 섹터 단위로 세분화하였다. 예측된 이동 목적 셀이 과부하 셀인 경우, 예약될 대역폭을 확보하기 위한 부하균형 알고리즘을 적용한다.

3. 부하 균형 알고리즘

3.1 셀룰러 시스템 모델

본 논문에서의 기반 네트워크인 셀룰러 시스템은 육각형의 셀들로 이루어져 있으며, 각 셀의 중심에는 BS(base station)가 위치한다고 가정한다. BS와 이동 클라이언트는 무선 링크를 통해서 통신하며, 여러 셀 또는 BS들은 MSC(mobile switching center)와 유선 링크로 연결된다. 각 MSC는 다시 유선 링크에 의해 고정 전화망과 연결되며 고정 백본망에 대한 무선망의 게이트웨이 역할을 수행한다[5].

어떤 시점에서 셀 i에서 사용 가능한 대역폭의 크기를 c라고 하고 그 셀에 할당된 대역폭의 전체 크기를 C라고 가정한다. 하나의 무선 링크(link)는 하나의 연결(connection) e에 의해 사용중인 대역폭 b_e로 기술될 수 있다[4]. 이때 신규 호에 의해 필요한 대역폭을 b_{new}라 하고, 핸드오프 호를 위해 예약되어질 대역폭을 B_r이라고 할 때, 신규 호에 대한 수락 여부는 다음 수식에 의해서 간단히 테스트할 수 있다.

$$\sum_e b_e + b_{new} + c = C - B_r \qquad (1)$$

따라서, 만일 요청된 신규 호가 수락이 되었다면 현재 가용한 대역폭의 크기는 $c = C - (B_r + \sum_e b_e)$가 된다. B_r은 신규 호가 요청될 때마다 예측적, 적응적으로 결정된다. 사용 가능한 대역폭의 용량을 기준으로 셀들을 구분하기 위해서 경량 임계치(light threshold) T_l과 중량 임계치(heavy threshold) T_h를 사용한다. T_l과 T_h는 $C \geq T_l > T_h \geq 0$ 범위의 값을 가진다. 만일 $c \geq T_l$이면, 그 셀은 저부하 셀(light cell)로 분류한다. 이에 반해, $c \leq T_h$인 셀은 과부하 셀(heavy cell), $T_l > c > T_h$이면 보통 셀(moderate cell)로 분류한다[3].

[1]에서는 셀 내의 사용자를 분류하기 위해, 그림 1에서와 같이 음영으로 나타나는 셀의 가장자리 지역을 "departing" 영역이라 하고, 그 나머지 부분을

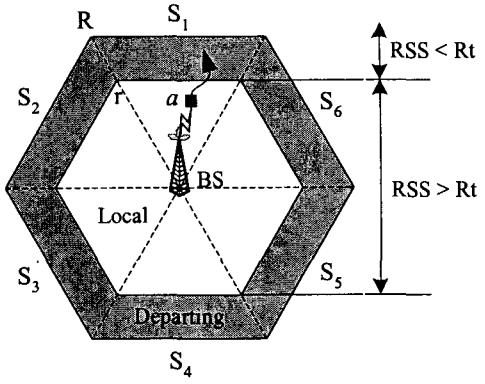


그림 1. 이동 사용자의 분류

"local"이라고 부르는 영역을 이용한다. 이러한 구분은 BS에서 이동 클라이언트로부터 수신되는 수신신호강도(received signal strength, RSS)를 이용함으로써 분류할 수 있다. RSS의 임계값(threshold) R_t는 사용자가 기지국으로부터 거리 r만큼 떨어져 있을 때 수신되는 신호강도의 수준으로 정의된다. 그 셀 내의 모든 사용자에 대해, RSS의 크기는 기지국에 의하여 주기적으로 조사된다. RSS가 R_t 이하로 떨어졌을 경우, 이동중인 사용자는 "departing"으로 분류된다. 또한, "departing" 영역은 육각형 셀 모델의 특성에 의해 6개의 섹터(sector) $S_1, S_2, \ldots, S_6$으로 구분할 수 있다. 따라서, 각 셀의 기지국에서는 "departing"으로 분류된 사용자 a가 어느 섹터에 위치하는가를 알아낸다면 그 사용자는 그 이웃 셀로 이동할 가능성이 높다는 낙관적 예측이 가능하다. 그리고, 그 예측에 따라, 그 섹터의 이웃 셀에 대해 대역폭 예약 절차를 수행한다. 본 논문에서는 각 BS는 해당 셀에서 트래픽이 발생한 클라이언트가 어느 섹터에 위치하고 있는가에 대한 정보를 지속적으로 유지한다고 가정한다.

3.2 dMPP를 이용한 클라이언트의 이동성 예측

규칙적인 업무 환경에서 이동 컴퓨팅을 수행하는 사용자의 경우, 도로 형태와 같은 일정한 이동 패턴을 가진다. 이러한 환경에서 이동중인 클라이언트의 진행방향을 예측하기 위해 [6]에서는 장기간 사용자의 이동 형태를 기록한 MPP(mobility pattern profile)를 이용하였다. MPP는 <*PrevBSID*, *CurrBSID*, *NextBSID*, *NextCount*>의 네 개의 필드를 가지는

테이블로 구성된다. CurrBSID와 PrevBSID는 클라이언트가 현재 상주하고 있는 셀의 BS의 ID와, 클라이언트의 전(previous) 셀의 BS ID를 각각 나타낸다. NextBSID는 일정기간 동안 클라이언트가 현재 셀인 CurrBSID에서 핸드오프한 셀들의 리스트을 나타내며 이 셀들이 목적지 후보 셀이 된다. 클라이언트는 CurrBSID에서 임의의 이웃 셀로 핸드오프할 수 있으므로, NextBSID는 여러 셀의 ID가 저장될 수 있다. NextCount는 클라이언트가 현재 셀에서 NextBSID로 핸드오프한 회수를 나타낸다. 만일, 클라이언트가 셀의 가장자리로 이동했을 경우, MPP 테이블의 정보를 이용해서 가장 이동 빈도가 높았던 셀의 대역폭을 예약한다. 하지만, 이 방법은 클라이언트의 과거 이동 형태만을 기준으로 이동성을 예측함으로써 예측 오류의 가능성이 높다. 이러한 예측 오류의 가능성을 다소 줄이기 위해서 본 논문에서는 하나의 셀을 6개의 섹터로 다시 구분한 다음, 이 섹터를 기반으로 한 이동성 패턴을 관리함으로써 이동성 확률의 정확성을 높이는 방법을 이용하였다.

이를 위해서, 본 논문에서는 그림 2에서와 같이 MPP의 필드를 수정한 dMPP(directional mobility pattern profile)을 이용한다. dMPP는 SecID라는 필드가 추가되었으며, MPP의 NextBSID와 NextCount 필드는 dMPP의 Next 필드의 서브필드인 BSID, Count에 대응되어진다. 무선 링크를 가지는 사용자가 한 셀에서 다른 셀로 이동할 때마다, 그 사용자의 dMPP는 MSC에 의해서 갱신된다. 만일 그 사용자가 현재 셀에 처음 진입한 사용자일 경우에는 MSC에 의해 그 사용자의 dMPP가 생성된다. 현재 셀 CurrBSID의 섹터 SecID에 위치하고 있는 사용자 a의 목적지 후보 셀 BSID는 현재 셀의 이웃 셀들의 집합 $\{N_1, N_2, ..., N_6\}$의 부분집합이 되며, a가 목적지 후보 셀 N_i로 이동할 확률(mobility probability) $MP(a)$는 다음 식으로 계산될 수 있다[6].

$$MP(a) = \text{Count of } N_i / \sum_{i=1}^{n} \text{Count of } N_i, \quad (1 \le n \le 6) \qquad (2)$$

경우에 따라서 계산되어진 이동성 확률이 비슷한 목적지 후보 셀이 여러 개가 있을 수 있다. 이 경우, 예측 오류를 최소화하기 위해서 [6]에서는 임계치를 이용하였다. 즉 클라이언트의 이동성 확률이 임계치 이상일 경우에 그 해당 셀을 목적지 셀로 간주하고,

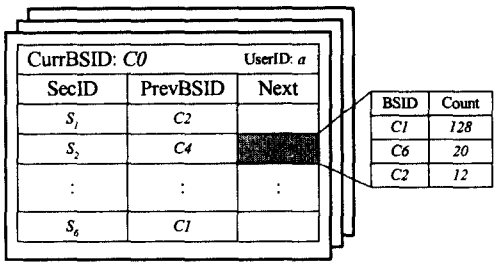


그림 2. dMPP의 구조

그 이하일 경우에는 별도의 대역폭 예약 알고리즘을 가진다. 본 논문에서는 시스템 구현의 간략화를 위해서 이동성 확률이 0.7 이상인 목적지 후보 셀이 존재할 경우 이를 목적지 셀로 예측하여 대역폭 예약 알고리즘을 수행하고, 0.3~0.7일 경우에는 해당 이동성 확률을 가지는 후보 셀을 모두 목적지 셀로 판단하여 대역폭을 예약 알고리즘을 수행한다. 이동성 확률이 0.3 이하인 목적지 후보 셀만 존재할 경우에는 인접한 모든 셀에 대해서 대역폭을 예약함으로써 발생할 수 있는 예측 오류를 줄인다.

3.3 적응적 대역폭 예약 알고리즘

본 논문에서 제안된 알고리즘은 클라이언트가 이용하는 트래픽을 Class I과 Class II로 구분하며, 클라이언트가 위치한 섹터 정보를 기반으로 "departing" 영역에 진입하거나 그 영역에서 발생한 Class I 트래픽에 대해서만 대역폭을 예약한다.

각 셀의 BS는 그림 1에서 보여지는 것과 같이 클라이언트의 RSS가 임계치 R_t 이하로 떨어져서 "departing" 영역으로 진입할 경우, 현재 셀에서 클라이언트가 위치한 섹터를 탐색한다. 그리고 dMPP을 참조하여 이동성 확률을 계산한 다음 이동할 셀을 예측한 후 해당 셀의 대역폭을 예약한다. 하지만, 클라이언트가 "departing" 영역에서 예측한 방향으로 이동하지 않을 가능성이 존재한다. 이러한 예측 오류는 불필요한 대역폭 낭비를 초래할 뿐만 아니라, 연속적으로 인접 셀들을 과부하 상태로 유도할 수도 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 클라이언트의 이동 상태를 실 핸드오프(real hand-off)와 의사(擬似) 핸드오프(pseudo hand-off) 상태로 구분한다. 실 핸드오프는 실제로 이웃 셀로 이동중인 상태이고, 의사 핸드오프는 클라이언트가 "departing" 영역 내에서 움직이지 않거나, 다시 "local" 영역으로

움직이는 상태로 정의한다. 실 핸드오프 호와 의사 핸드오프 호를 구별하기 위해서 본 논문은 사용자가 현재 셀 및 인접 셀로부터 수신되는 RSS의 비를 이용한다. 수식을 간략화를 위해, 사용자 a는 현재 셀 A와 그 이웃 셀 B로부터 RSS를 측정할 수 있다고 가정한다. 사용자 a가 시각 t에서 두 셀로부터 수신되는 RSS를 각각 $RSS_A(a)$, $RSS_B(a)$라고 할 때, 두 RSS의 비 H(t, a)는 다음과 같다.

$$H(t, a) = RSS_A(a) \;/\; RSS_B(a) \qquad (3)$$

이론적으로, $H(t, a)>1$은 a가 현재 셀에 계속해서 머무르고 있다는 것을 의미하며 $0<H(t, a)<1$은 a가 이웃 셀로 이동했다는 것을 의미한다. 무선 링크를 가지고 있는 사용자 a가 departing 영역에 진입하거나, a가 그 영역에서 새로운 링크를 요청한 시간을 t_0라 할 때, $H(t, a)$의 측정은 규칙적인 간격으로 이루어지며, 그 간격을 $\{t_0, t_1, ..., t_{n-1}, t_n, t_{n+1}, ...\}$으로 표현할 수 있다. 이를 이용해서 각 측정 시점에서의 RSS 비의 단위 시간 동안의 변화량 $H(tn-1, a)-H(tn, a)$를 계산할 수 있으며, 시각 t_0에서 t_n까지의 변화량의 합계 $V_T(t_n, a)$는 다음 수식으로 얻을 수 있다.

$$V_T(t_n, a) = \sum_{i=1}^{n} \{ H(t_{i-1}, a) - H(t_i, a) \} \qquad (4)$$

만일 $V_T(t_{n-1}, a)<V_T(t_n, a)$ 이라면, 제안된 알고리즘에서는 요청된 호를 실 핸드오프 호로 판단하고 이 호를 위해서 목적지 셀 B의 대역폭을 예약하게 된다. 이에 반해서, $V_T(t_{n-1}, a)\geq V_T(t_n, a)$ 일 경우에는 사용자가 현재 셀에 머무르거나 셀 내부로 이동한다고 판단한다. 따라서 요청된 호는 의사 핸드오프 호로 간주하고 큐에 대기시킨다.

3.4 QoS 보장을 위한 부하 균형 알고리즘

부하 균형 알고리즘의 중요한 목적은 트래픽이 많이 발생하거나 핸드오프된 클라이언트가 많아서 가용한 대역폭이 부족한 과부하 셀(heavy cell)의 가용 대역폭을 증가시키는 것이다. 현재 셀의 과부하 여부를 결정하기 위해서 임계값 T_l, T_h을 이용한다. 임계값은 하나의 MSC에 의해 관리되는 각 셀 내의 가용 대역폭 c의 평균값과 파라메터 Δ_{th}에 따라 결정되며 식 (5)와 같이 정의된다[3].

$$T_l = \lfloor avg(c) \rfloor$$
$$T_h = T_l - \Delta_{th} \quad (\Delta_{th}>0,\ T_h \geq c_{min}) \qquad (5)$$

Δ_{th}는 T_l와 T_h의 차이며, c_{min}은 T_l가 가질 수 있는 최소값이다. 식 (5)와 식 (1)을 이용해서, 셀 A의 T_l을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_l = \lfloor avg(C-(B_r+\sum_e b_e)) \rfloor \qquad (6)$$

따라서 T_l의 값은 가용 채널 크기의 평균값과 Δ_{th} + c_{min} 값 사이의 범위에서 적응적으로 조절되어 진다. 이것은 호 도착률의 변화가 심한 셀의 경우 매우 효과적이다. 통화량의 변화가 심한 셀은 쉽게 과부하 상태로 변하기 쉽고, 또한 그 이웃 셀까지도 불필요한 대역폭 예약으로 인해 연속적으로 과부하 상태가 될 수 있다.

본 논문에서 제안하는 부하 균형 알고리즘은 다음과 같다. 현재 셀 A의 "departing"에 진입한 클라이언트 a에 대해 dMPP 정보를 기반으로 예측된 이동 예상 셀이 N라고 가정했을 때, N의 가용 대역폭의 크기를 $c[N]$라고 한다면,

i) a에 대해, $V_T(t_{n-1}, a)<V_T(t_n, a)$일 경우

- 셀 N의 대역폭을 예약한다. 만일 N에 충분한 대역폭이 없다면, a의 트래픽은 N에서 강제종료 된다.

ii) $V_T(t_{n-1}, a)\geq V_T(t_n, a)$일 때

- $c[N] > T_l$ 일 경우, N는 저부하 셀이다. 따라서, a를 위한 트래픽이 충분하기 때문에 대역폭 예약 알고리즘을 수행한다.
- $T_l > c[N] > T_h$ 일 경우, N는 보통 셀이다. a의 트래픽을 위한 호를 큐에 대기시킨다. 큐에 대기 중인 호는 A_{Hp} 값의 변화에 따라 우선 순위를 조정하며, 의사 핸드오프 상태에서 실 핸드오프 호로 상태 변화가 발생할 경우 셀 N의 대역폭을 예약한다.
- $c[N] < T_h$ 이라면, 셀 N는 과부하 셀이다. 이 경우 셀 N에 대한 대역폭 예약 알고리즘은 수행되지 않으며, a의 호는 큐에 대기한다. 만일 대기 중인 호가 실 핸드오프 상태로 변하였을 때에도 여전히 N가 과부하 셀이라면, a의 트래픽은 N에서 강제종료 된다.

이 부하 균형 알고리즘은 셀의 부하 상태에 따라 적응적으로 대역폭을 예약할 수 있도록 함으로써, 한 셀 내의 가용 채널의 수를 최대한 확보할 수 있도록

하여 이동 중인 클라이언트의 트래픽의 강제종료율을 줄일 수 있도록 해준다.

4. 성능 평가 모델 및 결과

본 논문에서 제안한 LBBR(Load-Balancing algorithm with adaptive Bandwidth Reservation) 기법과 성능 평가를 위한 비교 대상은 Oliveira 등에 의해 제안된 방식[2]과 Sajal 등에 의해 제안된 방식[1] 그리고 NR(No Reservation) 방식이다. NR은 멀티미디어 트래픽 지원을 위해 현재 셀룰러 시스템을 확장한 메커니즘이며, 핸드오프 호를 위한 대역폭 예약을 수행하지 않는다. 하지만, 통화중 발생하는 강제종료가 신규 트래픽의 탈락보다 QoS에 더 나쁜 영향을 미치기 때문에 핸드오프 호가 신규 호에 비해서 호 수락시 우선순위를 가지도록 하였다. 또한 Class I 또는 Class II 신규 호가 요구한 대역폭이 사용 가능하면 이 호를 수락하지만 그렇지 않을 경우에는 거절한다. 그리고 핸드오프 호의 경우에는 Class I는 요구되는 최소한의 대역폭이 사용 가능하면 이 호를 수락하지만, 그렇지 않을 경우에는 종료한다. Class II 핸드오프 호는 가용 대역폭이 있으면 수락하지만, 없을 경우에는 종료한다. Oliveira의 방식은 Class I 호에서 요구하는 대역폭을 현재 셀로부터 할당받을 뿐만 아니라, 주변의 모든 인접 셀에 대해서도 정해진 크기의 예약을 수행함으로써 핸드오프 시 발생할 수 있는 강제종료를 최소화하고자 한다. 요청된 Class I 호에 대해 대역폭 할당 또는 예약이 실패할 경우, 호 요청을 거절된다. Class II는 요청된 대역에 대해 그 호가 발생한 셀이 최소한의 가용 대역이 존재할 경우 호를 수락하고, 이웃 셀에 대한 대역폭 예약을 수행하지 않는다. Sajal 방식은 셀 내의 정해진 외곽 영역에서 발생한 Class I 호에 대해 그 발생 위치와 인접한 이웃 셀로 이동할 가능성이 높은 핸드오프 호로 간주한다. 발생한 호의 현재 셀에서는 요청된 대역폭을 할당하고 동시에 그 이웃 셀에 대해 일정한 크기의 대역폭을 예약함으로써 불필요한 대역폭 예약을 최소화한다.

성능 평가에 있어서 이동 컴퓨팅 환경은 반경이 500m인 19개의 셀룰러 시스템을 구성하고, 각 BS에는 40개의 트래픽 채널 자원이 있다고 가정하였다. 수신된 파일럿 신호의 평균 세기(dB)는 거리에 따라 선형적으로 감소하고, 핸드오프 클라이언트는 10초 주기로 기지국에 신호 측정치를 보고함으로써 이동 방향을 예측하도록 하였다. BS 내의 호 요청은 셀 내에서 고르게 발생하며 포아송 분포를 따르고, 평균 도착률 λ는 트래픽 부하에 따라 증가한다. 그리고 각 호의 유지 시간은 지수분포를 따르며, 클라이언트의 평균속도와 방향은 각각 0~70Km/h, 0~2π라고 가정하였다. 다양한 멀티미디어 트래픽을 고려하기 위해 각 호는 Class I와 Class II의 특징을 가지도록 모델링하였다. Class I와 Class II의 트래픽이 요구하는 대역폭의 크기가 다르기 때문에 호의 종류에 따라서 한 호에 할당되는 채널의 수를 다르게 하였고, 각 호의 유지 시간에도 가중치(weight factor)를 적용해서 전자우편과 같은 트래픽은 유지 시간을 매우 짧게 하고 VOD(video on demand)와 같은 트래픽은 유지 시간을 길게 하였다.

성능 평가에서는 핸드오프 호의 강제종료율 및 신규 호의 탈락율을 실험하였다. 그림 3은 호 도착율 증가에 따른 신규 호의 탈락률을 실험한 결과이다. 본 논문에서 제안된 LBBR 방식이 가장 우수한 성능을 보였다. 셀 내의 트래픽 부하량(호 도착률로 표현하였음)이 저부하일 때에는 비교 기법들 간의 성능 차이가 크지 않으나, 부하량이 일정한 수준 이상이 될 경우(본 실험에서는 $\lambda \geq 2$), 제안된 방식이 다른 방식에 비해서 셀의 가용 채널을 일정 수준으로 유지하게 함으로써 호의 탈락율을 최소화할 수 있기 때문에 신규 호에 할당할 채널을 확보할 수 있기 때문으로 판단된다.

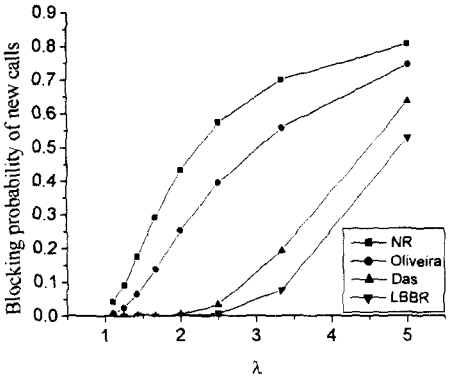


그림 3. 평균 호 도착률(λ) 증가에 따른 신규 호의 탈락률 변화

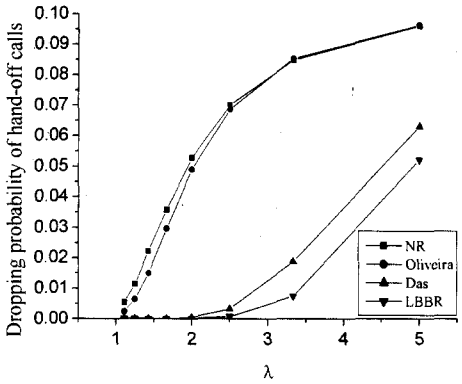


그림 4. 평균 호 도착률(λ) 증가에 따른 핸드오프 호의 강제 종료율 변화

그림 4는 부하량에 따라 각 기법의 핸드오프 호 강제종료 확률을 비교한 결과이다. 셀 내의 트래픽 부하가 증가함에 따라 NR 방식과 Oliveira 방식이 점점 유사한 성능을 보이고 있고, 저부하에서는 유사한 성능을 보이는 Sajal 방식과 LBBR 방식이 부하량이 커질수록 성능의 차이를 보인다. NR은 핸드오프 호를 위한 대역폭 예약을 수행하지 않고 호 발생 순서에 따라 가용한 채널을 할당하는 방식이기 때문에 신규 호의 탈락 가능성이 가장 높다. Oliveira는 핸드오프 호에 대해 인접한 모든 셀의 대역폭을 예약함으로써, 부하량이 적은 셀에서는 우수한 성능을 보이지만, 부하가 증가할수록 불필요한 예약으로 인해 새로운 예약을 위한 대역폭 자원이 급격히 부족해지기 때문에 성능이 매우 나빠지는 것으로 판단된다. 이에 반해서, 예측을 기반으로 한 Sajal 방식과 LBBR 방식은 불필요한 대역폭 예약을 줄임으로써 가용 채널을 일정 수준 유지함으로써 핸드오프 호의 탈락 가능성이 낮아진다. 특히, 제안된 LBBR 방식은 Sajal 방식에서 발생할 수 있는 사용자의 이동 방향에 대한 예측 오류 확률을 더욱 최소화하고 실제 핸드오프 되지 않는 셀 외곽의 호 요청에 대해서는 제한적인 대역폭 예약을 수행함으로써 더욱 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 그림 3에서 비교되어진 방식들은 모두 통화 품질을 위해서 핸드오프 호에 우선적으로 주파수 대역을 할당하는 메커니즘을 가지고 있기 때문에, 같은 셀 부하 상태에서는 핸드오프 호의 강제 종료율에 비해 신규 호의 탈락률이 상대적으로 높음을 보여주고 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 셀 내에서 클라이언트가 위치한 섹터에 따라 이동 형태를 기록한 dMPP을 이용하여 이동이 예측된 셀의 대역폭을 예약하고, 가용 채널이 충분하지 않는 과부하 셀에 대해 부하 균형 알고리즘을 적용해 가용채널을 확보하는 기법을 제안하였다.

제안된 방식에서는 각 셀의 가용 채널을 충분히 확보함으로써 멀티미디어 트래픽과 같은 대규모 트래픽이 빈번하게 발생하는 셀 환경에서 QoS를 보장하기 위해 핸드오프 호의 강제종료율을 최소화하는 것이 목표이다.

성능 평가를 통해 기존 제안 방식의 성능과 LBBR 방식을 비교하였다. 실험 결과 호가 빈번히 발생하지 않는 저부하 셀 환경에서는 별다른 성능의 차이를 보이지 않지만, 트래픽이 많이 발생하는 과부화 환경일 경우 제안된 LBBR이 매우 우수한 성능을 보인다. 이는 다른 방식에 비해서 이동이 예측되는 셀의 가용 채널을 일정 수준으로 유지하게 함으로써 신규 호나 핸드오프 호에 할당할 채널을 확보하기 때문이다.

본 논문에서 제안된 부하 균형 알고리즘은 BS간 통신 비용, 대역폭 계산 비용, BS에서 클라이언트의 위치 정보를 유지하기 위한 비용 등이 높다는 단점이 있다. 향후 이러한 문제점을 해결하기 위한 연구를 수행할 것이다.

참 고 문 헌

[1] S. K. Das, R. Jayaram and S. K. Sen, "An Optimistic Quality-of-Service Provisioning Scheme for Cellular Networks," *IEEE International Conference on Distributed Computer System*, 1997

[2] C. Oliveira, J. B. Kim and T. Suda "Quality-of-Service Guarantee in High-Speed Multimedia Wireless Networks," *IEEE International Communications Conference*, Dallas Texas, pp.728-734, 1996.

[3] Y. Zhang, S. K. Das, "An efficient load-balancing algorithm based on a two-threshold cell selection scheme in mobile cellular networks," *Computer Communications*,

Vol.23, No.5-6, pp.452-461, 2000

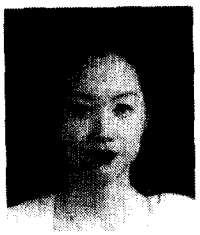
[4] S. Choi and K. G. Shin, "Predictive and Adaptive Bandwidth Reservation for Hand-Offs in QoS-Sensitive Cellular Networks," Proceedings of the ACM SIGCOMM, pp.155-166, 1998

[5] W. C. L. Lee, *Mobile Cellular Telecommunications*, McGraw-Hill, 1996.

[6] 최창호, 김명일, 김태준, 김성조, "이동 컴퓨팅 환경에서 멀티미디어 서비스를 위한 적응적 대역폭 예약 메커니즘," 정보과학회논문지, 제27권, 제4호, pp.441-452, 2000.

정 영 석

1995년 영남대학교 전산공학과 졸업(공학사)
1998년 영남대학교 대학원 전산공학과 졸업(공학석사)
2000년 영남대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정 수료
2000년~현재 경운대학교 컴퓨터공학과 전임강사
관심분야 : 이동 컴퓨팅, 분산처리, 차세대 인터넷 등



우 매 리

1996년 영남대학교 이과대학 수학과 졸업(이학사)
2001년 영남대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)
2001년~현재 영남대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정
관심분야 : 무선통신, 라우팅 기술 등

김 종 근

1981년 2월, 영남대학교 공과대학 전자공학과 학사.
1987년 2월, 영남대학교 대학원 전자공학과 계산기전공 석사.
1991년 3월, (일본)전기통신대학 정보공학과 박사.
1996년~1997년, (미국) Virginia Tech. 연구교수.
1998년~1999년, 영남대학교 전산정보원장
1991년~현재 영남대학교 컴퓨터공학과 교수
관심분야 : 분산시스템, 컴퓨터통신 기술, 차세대 인터넷 기술, 가상강의시스템, 성능평가기술 등