

애드 혹 네트워크 QoS 지원을 위한 우선순위 기반 MAC 프로토콜

준회원 왕 위 동*, 서 창 근*, 정회원 유 상 조*

A Priority-based MAC Protocol to Support QoS in Ad-hoc Networks

Weidong Wang*, Chang-Keun Seo* *Associate Members*, Sang-Jo Yoo* *Regular Member*

요 약

IEEE 802.11과 802.11e는 애드 혹 환경을 위해 DCF와 EDCA 모드를 제공한다. DCF와 EDCA 모드는 CSMA/CA를 사용하는 경쟁 기반의 프로토콜로써, 구현이 용이하고 시스템의 부하가 작은 경우에는 효율적으로 동작한다. 그러나 시스템의 부하가 증가할수록 충돌이 증가하여 그 성능이 현저하게 감소한다. 반면 제어 기반 동작 프로토콜인 PCF와 HCCA 모드는 스테이션들이 중앙 조정자의 폴링에 의하여 통제되고, 충돌이 발생하지 않는다. 그러나 시스템의 부하가 적을 때, 소수의 스테이션들만이 전송할 수 있는 기회를 가지기 때문에 효율적이지 않다. 보다 중요한 문제는 PCF와 HCCA 모드는 애드 혹 네트워크에서는 사용이 불가능하다는 것이다. 따라서 본 논문에서는 경쟁 기반의 매커니즘을 수행하기 전에 폴링의 개념을 추가하여, 애드 혹 환경에서 QoS 제공을 위해 DCF와 EDCA 모드에 폴링 매커니즘을 적용한 우선순위 기반 분산 폴링 매커니즘 (Priority-based Distributed Polling Mechanism)을 제안한다. PDPM은 시스템의 부하가 큰 경우 대부분의 충돌을 피할 수 있는 장점을 가지며, 부하가 적을 경우는 경쟁 기반의 매커니즘을 유지할 수 있다. 또한 IEEE 802.11e와 비교하여 보다 적은 충돌과 높은 처리율을 제공한다.

Key Words : Ad-hoc networks, Medium Access Control, QoS, Distributed polling

ABSTRACT

In IEEE 802.11 and 802.11e for ad hoc networks, DCF and EDCA use a contention-based protocol called CSMA/CA, which is simple to implement efficient when the system is light loaded. But the performance of CSMA/CA decreases dramatically when the system load is heavy because of increasing collisions. In PCF and HCF modes, stations are controlled by a base station by polling, no collision ever occurs. However, when the system load is light, the performance is poor because few stations have data to transfer. More important, PCF and HCF can not be used in the ad hoc networks. In this paper, we address a priority-based distributed polling mechanism (PDPM) that implements polling scheme into DCF or EDCA modes for ad hoc networks by adding a polling approach before every contention-based procedure. PDPM takes the advantages of polling mechanism that avoids most of collisions in a high load condition. At the same time, it also keeps the contention-based mechanism for a light loaded condition. PDPM provides quality of service (QoS) with fewer collisions and higher throughput compared with IEEE 802.11e.

* 인하대학교 정보통신대학원 멀티미디어통신망연구실({wdwang, seochangkeun}@hanmail.net, sjyoo@inha.ac.kr)
논문번호 : KICS2004-08-177, 접수일자 : 2004년 9월 9일

※ 본 연구는 대학 IT 연구센터(인하 UWB-ITRC) 육성·지원 사업의 연구결과로 수행되었음.

I. 서론

IEEE 802.11은 세계적으로 가장 많이 보급된 MAC (Medium Access Control) 프로토콜 중의 하나이다. 그러나 IEEE 802.11은 모든 스테이션들이 같은 파라미터와 동일한 접근 방법을 사용하기 때문에 QoS (Quality of Service)를 보장하지 못한다. 현재 무선 시장의 성장과 함께 QoS 보장에 대한 요구가 증가하고 있으며, QoS 보장을 위해 새롭게 제안된 IEEE 802.11e는 차별화된 우선순위를 주기위해 EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) 매커니즘을 사용한다. 그러나 EDCA는 충돌의 발생과 시스템 부하가 증가하면 그 성능이 현저하게 감소하는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 처리율(throughput)을 높이기 위한 많은 연구가 진행되어 왔으나 대부분의 연구가 DCF(Distributed Coordination Function)와 PCF(Point Coordination Function)를 분리하여 고려된 것이었다^[1-4]. 이것은 오직 특정 시간에 한 가지 모드만이 적용될 수 있고, 결국 경쟁 기반(contention-based) MAC 이나 비경쟁(contention-free) MAC 중에서 각각의 장점만을 가질 수 있다는 것을 의미한다.

중앙 집중적인 폴링 방법은 충돌을 피하고 QoS를 보장할 수 있지만 애드 혹 네트워크의 본질에 부합되지 않는다. 애드 혹 네트워크는 베이스 스테이션에 의해 사전에 설계 (pre-designed)되지 않은 이동 스테이션들의 클러스터에 의해 구성된다. 애드 혹 네트워크의 중요한 장점은 베이스 스테이션이나 고정된 네트워크 기반의 요구 없이 빠르고 다양하게 구성할 수 있다는 것이다^[5]. 이러한 점은 IEEE 802.11의 PCF 모드나 IEEE 802.11e의 HCF(Hybrid Coordination Function) 모드는 중앙 조정자(base station)에 의한 조절이 필요하다는 것으로 애드 혹 네트워크에서는 사용할 수 없다는 것을 의미한다.

IEEE 802.11과 IEEE 802.11e 기반의 애드 혹 네트워크에서는 ‘숨겨진 노드의 문제’(hidden node problem)와 충돌의 영향을 줄이기 위해 RTS (Request to Send)와 CTS(Clear to Send) 프레임이 사용된다. RTS/CTS 방법론은 RTS/CTS 교환이 일어날 때 충돌이 발생하는 것이 실제 RTS/CTS 프레임보다 상대적으로 크기가 큰 데이터 프레임을 전송할 때 발생하는 충돌로 인한 대역의 낭비보다 효율적이기 때문에 유용하다. 충돌을 줄이기 위한 다른 방법은 토큰 (token)을 사용하는 것이다. 토큰은 모든 스테이션들을 순환하며, 모든 스테이션들은 토큰을 가질 때 데이터를 전송할 수 있는 권한을 가진다. 그러나 대부분의 무선

환경을 고려한 토큰 전달 방법들은 숨겨진 노드의 문제를 고려하지 않고 있다. 토큰 영역 (token circle)에 포함되지 않은 숨겨진 스테이션들은 수신측 스테이션과 함께 충돌의 원인이 된다. 또한 다른 폴링 매커니즘과 유사하게 토큰 전달 프로토콜들은 QoS 지원을 위한 방법을 제시하지 못하고 있다.

본 논문에서는 QoS 제공을 위한 RTS/CTS 교환에 기초하여 ‘우선순위 기반 분산 폴링 매커니즘’ (Priority-based Distributed Polling Mechanism, PDPM)을 제안한다. PDPM은 IEEE 802.11의 DCF 모드와 IEEE 802.11e의 EDCA 모드 양쪽에 적용이 가능하며, 비경쟁 방법과 경쟁 기반의 방법을 동시에 사용한다. 또한 IEEE 802.11e와 같이 QoS를 위한 차별화된 서비스 (differentiated service)를 제공한다. PDPM은 DCF와 EDCA와 비교하여 충돌의 수를 크게 감소시키며, 결과적으로 채널의 이용률 (channel utility)을 증가시키고, 패킷 전달 시간 지연 (time delay)을 감소시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 IEEE 802.11의 DCF 모드와 PCF 모드, IEEE 802.11e의 EDCA 모드와 HCCA (HCF Controlled Channel Access) 모드를 설명한다. 3장에서는 새롭게 제안하는 QoS 지원 우선순위 기반 분산 폴링 방법을 설명한다. 4장에서는 실험 결과를 설명하며, 최종적으로 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 기존의 Ad-Hoc MAC 프로토콜

IEEE 802.11 MAC의 기본적인 접근 방법은 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)에 기초하고 있는 DCF 모드이다. CSMA/CA에서는 한 스테이션이 매체가 DIFS(Distributed Interframe Space) 시간만큼 비사용중(idle)임을 검출하면 백오프 카운터(backoff counter)를 감소시키며, 백오프 시간(backoff time)이 0이 되면 프레임의 전송을 시도한다. 백오프 카운터는 경쟁 윈도우 (CW, contention window)에서 랜덤하게 선택된다. 충돌은 복수개의 스테이션에서 같은 백오프 타임 슬롯이 선택될 때 발생할 수 있다. 충돌이 발생하면 스테이션들은 그들의 CW 범위를 증가시키며, 새로운 백오프 과정을 반복하기 위해 새롭게 CW를 랜덤하게 선택한다. 이것은 충돌의 원인이 된 스테이션들은 전보다 큰 CW를 선택하게 되는 불이익을 받게 된다는 의미이다. CW의 크기는 표준에서 정의된 최소 경쟁 윈도우 값에서 시작하며(CW_{min}=31), 매체에 부하가 증

가하여 충돌이 발생하는 각 시점마다 사전에 정의된 최대 경쟁 윈도우 값($CW_{max}=1023$)까지 2배씩 증가한다. 본 논문에서는 IEEE 802.11b를 기반으로 설명한다. RTS 프레임이 성공적으로 전송되면 다른 프레임들이 SIFS(Short Interframe Space)의 간격으로 순서적으로 분리되어 전송된다. 그림 1은 DCF 모드에서 사용되는 백오프 방법을 보여주고 있다. 이 그림을 보면 큰 CW와 작은 CW간의 tradeoff를 보여주고 있다. CW의 크기가 클수록 충돌 발생 확률을 줄일 수 있어 해결 능력은 커지나 접근 지연은 길어지는 문제점을 가진다.

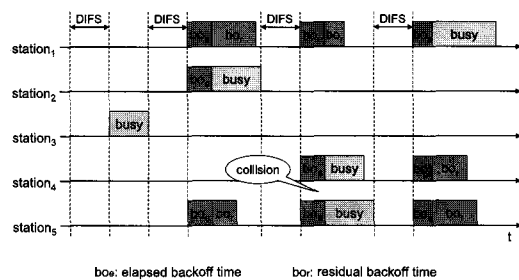


그림 1. DCF 모드에서의 백오프 매커니즘.

‘숨겨진 노드의 문제’(hidden node problem)와 ‘노출된 노드의 문제’(exposed node problem)를 해결하고 매체의 상태를 결정하기 위해 IEEE 802.11에서는 물리적 반송파 감지(physical carrier sense) 매커니즘과 가상 반송파 감지(virtual carrier sense) 매커니즘이 사용된다. 물리적 반송파 감지 매커니즘은 물리 계층에서 제공되지만, 가상 반송파 감지 매커니즘은 MACAW (Multiple Access with Collision Avoidance for Wireless Networks)에 기초한 CSMA/CA, 즉 데이터 링크 계층에서 제공된다.

PCF 모드는 PC(Point Coordinator)라 불리는 중앙 조정자의 폴링 방법에 기초하고 있다. PCF 모드의 비경쟁 구간(contention-free period) 동안 PC 스테이션은 그림 2에서와 같이 폴링 목록을 지정한다. PC의 폴링 목록을 지정하기 위해 스테이션은 PC와 결합 과정(association procedure)을 거쳐야 한다⁶⁾.

위에서 언급한 것처럼, DCF 모드는 네트워크의 기본적인 인프라 구조가 필요하지 않고, 스테이션들이 서로 통신할 수 있기 때문에 애드 혹 환경에 적합하다. 반면에 기본적으로 인프라 구조에 기초한 PCF 모드는 애드 혹 환경에는 부적합하지만 제한된 QoS를 제공할 수 있고, 시스템의 부하가 커질 경우 채널의 이용률 (utility)을 높일 수 있는 장점이 있다.

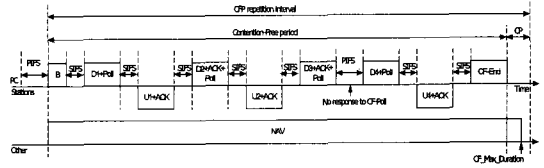


그림 2. PCF 모드에서의 폴링 매커니즘.

IEEE 802.11e MAC 프로토콜은 QoS 지원을 위한 IEEE 802.11 MAC을 확장하여 HCF를 새롭게 정의하고 있으며 HCF는 EDCA와 HCCA 모드의 두 가지 방법을 제안하고 있다. EDCA 모드는 경쟁 기반 매체 접근 방법이며, HCCA 모드는 HC(Hybrid Coordinator)의 통제 아래 동작하는 폴링 기반 매체 접근 방법이다. EDCA 모드는 우선순위에 따른 차별화된 서비스를 제공하기 위하여 설계되었으며, DCF 모드와 그 구성이 매우 유사하다. EDCA 모드에서는 QoS의 지원을 위해 접속 범주 (AC, access category)의 개념을 정의하고 있는데 각각의 접속 범주들은 사전에 결정된 경쟁 파라미터와 DIFS를 대체하는 AIFS[AC] (Arbitration Interframe Space), 그리고 접속 범주별로 차별화된 $CW_{min}[AC]$ 과 $CW_{max}[AC]$ 로 구성되어 있다⁷⁻⁹⁾. 스테이션은 그 내부에서 우선순위를 결정하기 위한 QoS 파라미터와 가상 스테이션들처럼 인식되는 4개의 전송 큐(AC_VO, AC_VI, AC_BE, AC_BK)를 가지게 된다. 만약 한 스테이션 안에 위치한 복수개의 병렬화된 접속 범주의 백오프 카운터들이 같은 시간에 0에 도달하면, 스테이션 안에 위치한 스케줄러가 가상적인 충돌 (virtual collision)을 방지한다. 그림 3은 EDCA 모드의 매체 접근 방법을 보여준다. 각각의 프레임들은 접속 범주에서 정의되어진 우선순위에 따라 AIFS[AC]의 크기가 다르게 되며, 최상위 우선순위를 갖는 프레임은 DIFS와 같은 IFS (Interframe Space)를 가지고 우선순위가 낮을수록 더 긴 IFS를 가지게 된다. 이를 통해 우선순위가 높은 프레임이 매체에 접근할 확률이 커질 수 있게 된다. 경쟁 윈도우의 크기는 각 우선순위에 따라 다른 $CW_{min}[AC]$ 과 $CW_{max}[AC]$ 를 가지게 되는데, 높은 우선순위의 프레임일수록 작은 $CW_{min}[AC]$ 과 $CW_{max}[AC]$ 를 가짐으로써 충돌이 발생해도 매체 접속까지의 대기 시간을 줄일 수 있도록 설계되어 있다. 마지막으로 충돌의 발생시 CW의 증가방법은 기존의 표준과 마찬가지로 BEB(Binary Exponential Backoff algorithm)을 사용한다.

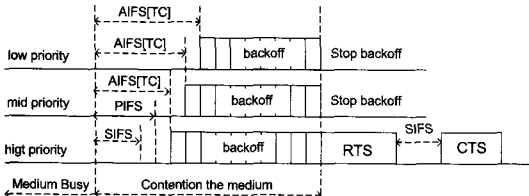


그림 3. EDCA 모드에서의 매체 접속 순위.

HCF는 EDCA 모드와 HCCA 모드의 조합으로 HC (Hybrid Coordinator)로 이름 붙여진 중앙 조정자를 사용하여 인프라 구조 네트워크에서 사용된다. HC는 각 스테이션들의 QoS 요구를 충족시키기 위해서 파라미터들을 할당할 수 있다. IEEE 802.11e는 HCCA 모드 중 무경쟁 구간에서 전송 기회 (transmission opportunity)를 정의하고 있는데, 이는 스테이션이 전송을 할 수 있는 권리를 가지는 시간으로써 정의된다. HC와의 정보 교환을 통해 스테이션은 무경쟁 구간 동안 복수 MPDU들의 전송을 허용한다. CFP (contention-free period) 동안 HC는 각 스테이션의 시작 시간과 최대 TXOP[AC] (transmitted opportunity)를 설정하기 위해 CF-Poll 프레임을 사용한다. 스테이션들은 CF-Poll 프레임에 의한 HC의 허락 없이는 매체를 사용할 수 없다. 그림 4는 HCF 모드의 슈퍼 프레임 (superframe)을 보여주고 있다.

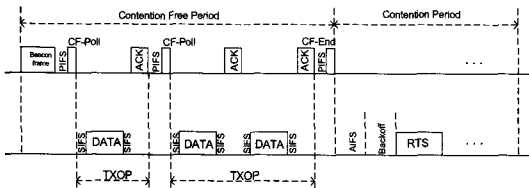


그림 4. HCF 모드의 슈퍼 프레임(superframe).

III. 애드 혹 네트워크에서의 우선순위 기반 분산 폴링 매커니즘

본 장에서는 기존의 IEEE 802.11과 IEEE 802.11e의 경쟁 기반 방법과 폴링 기반 방법의 문제점에 대해 생각해 보고 애드 혹 네트워크에서 두 가지의 장점을 모두 이용할 수 있는 새로운 MAC 프로토콜을 제안한다. 본 장에서 제안하는 우선순위 기반 분산 폴링 매커니즘을 사용함으로써 처리 성능의 향상과 스테이션들에 차별화된 QoS를 제공할 수 있다.

3.1 기존 DCF와 EDCF 모드의 문제점

2장에서 언급했듯이 IEEE 802.11 DCF 모드는 각

스테이션에 원하는 QoS를 지원하지 못한다. 이는 모든 스테이션들이 같은 파라미터 값과 같은 매체 접근 방법을 사용하기 때문이다. DCF 모드는 같은 시간에 많은 충돌들이 발생하고, 채널의 이용율은 시스템의 부하가 증가함에 따라 감소하게 된다. 충돌의 감소를 위해서 전송할 데이터를 가진 스테이션들은 전송이 실패할 때 마다 CW_{max} 까지 2배씩 CW를 증가시키게 된다. (IEEE 802.11b의 경우 $CW_{max}=1023$) CW가 증가하게 되면 충돌 발생 확률은 작아지나, 보다 긴 지연 시간을 가지게 된다. EDCA 모드에서는 DCF 모드보다 충돌 발생 확률이 커지게 되는데, 이는 높은 우선순위를 가지는 스테이션들 또는 데이터의 형태들에 다른 것에 비해 작은 CW를 부여하게 되기 때문이다. 시스템의 부하가 증가하게 되면 - 특별히 높은 우선순위의 데이터가 증가하게 되면 - 상대적으로 작은 CW를 가지는 스테이션들이 매체에 접속하기 위해 경쟁하기 때문에 충돌의 수는 급격하게 증가하게 되고 채널의 이용률이 빠르게 감소되는 원인이 된다. 비록 EDCA 모드가 가상 충돌 회피 방법을 사용하긴 하지만, 이는 각 스테이션 내부의 충돌을 줄이기 위한 방법일 뿐 스테이션들의 충돌은 기존의 DCF 모드보다 증가하게 된다.

높은 부하의 상황에서 충돌을 피하고 처리율을 높이며 지연을 줄이기 위해서 폴링 방법을 사용하는 PCF 모드와 HCCA 모드가 성능을 향상시키는데 사용될 수 있다. 그러나 폴링 방법은 높은 부하에서 성능을 향상시킬 수는 있으나 중앙 조정자의 설치 문제로 애드 혹 네트워크에서는 사용하지가 불가능하다.

3.2 제안된 분산 폴링 방법론

RTS/CTS 교환 메커니즘은 숨겨진 노드의 문제를 해결하고, 보다 긴 데이터 프레임보다는 상대적으로 짧은 RTS 프레임에서 충돌이 발생함을 알 수 있도록 하여 충돌의 영향을 줄일 수 있다. 제안된 PDPM의 기본 아이디어는 각 RTS 프레임의 안에 스테이션의 우선순위에 따라 다음 스테이션을 결정하는 폴링 신호를 주기 위한 폴링 함수를 추가하는 것이다. 선택된 스테이션은 전송할 데이터를 가질 때, 선택된 스테이션이 무선 매체 사용의 유일한 권리를 갖도록 PIFS (Point Interframe Space) 시간 후에 RTS 프레임을 전송한다. PIFS 시간은 선택되지 않은 스테이션들이 충돌이 발생하지 않도록 RTS 프레임을 보내지 않는 DIFS 시간보다 짧다. 만약 선택된 스테이션이 전송할 데이터를 가지지 않는다면 PIFS 시간과 DIFS

시간 사이에 'no-RTS' 펄스를 전송하고, 이럴 경우 모든 다른 스테이션들은 DIFS 시간 후에 기존의 경쟁 방법을 사용하여 DCF 또는 EDCA 매체에 접속할 수 있다.

우선순위 기반 분산 폴링 매커니즘에서는 RTS 프레임 전송할 때 데이터 송신의 우선권을 갖는 스테이션을 지정하기 위하여, 해당 스테이션의 데이터 전송이 끝난 후 다음과 같은 문제가 고려되었다.

- 1) 각 스테이션들은 모든 스테이션들의 우선순위 정보를 포함하는 테이블을 가져야만 한다.
- 2) 다양한 우선순위 스테이션들에 QoS를 제공하기 위한 폴링 정보를 생성하는 방법이 필요하다.
- 3) 테이블은 네트워크의 구성이 변화될 때마다 갱신되어야 한다. 예를 들어 새로운 스테이션이 네트워크 클러스터에 들어오게 될 때나 존재하던 스테이션이 특정 시간에 갑자기 전원이 꺼질 경우 등을 생각할 수 있다.

제안된 PDPM은 위에 기술된 문제를 해결하기 위해 다음과 같은 방법을 사용한다.

- 1) RTS 프레임 내에서 다른 스테이션의 MAC 주소를 얻는다. 송신자 주소를 이용하여 각 스테이션들은 RTS 프레임의 송신자 주소를 테이블에 기록한다. 각 스테이션들의 우선순위를 알기 위해서 스테이션들의 RTS 프레임 안에 우선순위 정보를 추가한 후 데이터를 송신할 수 있는 권리를 다른 스테이션에 주기 위해 RTS 프레임에 폴링 정보를 전송할 수 있는 필드를 추가한다. 그림 5는 기존의 RTS 프레임과 제안된 PDPM에서 변경된 RTS 프레임을 보여준다. NA (Next-poll Address)는 다음에 선택될 스테이션의 주소이며, PRI (priority)는 전송하는 스테이션의 우선순위이다. RTS 프레임 구조의 변경 없이 MAC 데이터 프레임의 데이터 필드 안에 우선순위 정보를 쉽게 추가할 수 있다. 그러나 무선 네트워크의 중요한 고려사항 중의 하나인 보안성 측면을 생각할 필요가 있다. 때때로 데이터 프레임의 데이터 필드가 암호화 되어 올바른 수신 스테이션에서만 알아야 할 필요가 있기 때문이다. 그래서 본 제안에서는 MAC 데이터 프레임의 데이터 필드를 사용하지 않는다.

왜냐하면 선택된 정보는 네트워크 내의 모든 스테이션들이 인지할 수 있어야 하기 때문이다.

RTS frame	Frame Control	Duration	RA	TA	FCS		
Modified RTS frame	Frame Control	Duration	RA	TA	NA	PRI	FCS

그림 5. 기존의 RTS 프레임과 변경된 RTS 프레임의 비교

- 2) 각 스테이션은 네트워크 내의 모든 스테이션들의 MAC 주소와 우선순위를 포함하는 우선순위 스테이션 테이블 (station priority table)을 가진다. 본 논문에서 PRI는 1이상의 값을 가진다고 가정한다. RTS 프레임을 송신하는 스테이션은 RTS 프레임 안에 다음에 전송 권리를 가지는 스테이션을 선택하여 NA 필드에 선택된 스테이션의 MAC 어드레스를 추가한다. 먼저, 선택될 스테이션을 선정하기 위해 RTS 프레임을 송신하는 현재 스테이션은 다음 식 (1)을 만족하는 균일 분포 (uniform distribution)를 갖는 랜덤한 수 R을 만든다.

$$(0 < R \leq \sum_{n=1}^N PRI_n) \quad (1)$$

N은 네트워크 영역 안에 있는 스테이션의 수이며, PRI_n은 n번째 스테이션의 우선순위 값이다. RTS 프레임을 송신하는 현재 스테이션은 다음 식을 만족하는 스테이션 k를 선택한다. 스테이션의 수신 범위 안에 있는 스테이션의 수가 증가하거나 감소할 때, 스테이션의 $\sum_{n=1}^N PRI_n$ 는 전체 스테이션의 우선순위의 합에 따라 변화될 것이다.

$$\sum_{n=1}^{k-1} PRI_n \leq R \leq \sum_{n=1}^k PRI_n \quad (2)$$

$$(1 \leq k \leq N)$$

- 3) PIFS 시간 후, 선택된 스테이션으로부터 RTS 프레임이 없다면 선택된 스테이션이 전송할 데이터가 없는 것인지, 아니면 이미 네트워크를 벗어난 것인지 (실제적으로 네트워크를 벗어났거나 갑자기 전원이 끊어진 경우) 구별할 필요가 있다. 이 두 가지의 상황을 구별하기 위해 제안된 PDPM은 그림 6과 같은 펄스를 사용한다. 펄스는 프레임의 구조를 가질 필요가 없는

단순한 에너지 펄스이다^[9]. 그림 6과 같이 만약 선택된 스테이션이 전송할 데이터를 가지고 있지 않다면, DIFS 시간 전에 펄스를 생성해서 다른 스테이션들에게 자신이 아직 네트워크 내에 존재함을 알려야 한다. 다른 스테이션들은 자신들이 가지고 있는 테이블에 스테이션의 정보를 그대로 유지하며, 다음에 계속해서 선택할 기회를 유지한다. 만약 다른 스테이션들이 펄스를 감지하지 못한다면, 각 스테이션들은 '스테이션이 네트워크 내에 있지 않다' 라고 판단하고 자신들의 테이블에서 짧은 간격 뒤에 스테이션의 정보를 삭제할 것이다.

- 4) 새로운 스테이션이 네트워크에 추가되는 경우 모든 스테이션은 추가된 스테이션의 임의의 MAC 주소와 우선순위 정보를 알아야 한다. 새로운 스테이션은 매체를 감지하고, RTS 프레임 을 보내기 위해 경쟁 기회를 기다린다. 기존의 존재하던 스테이션이 RTS 프레임을 감지할 때, 스테이션은 먼저 송신자의 MAC 주소가 자신의 테이블에 존재하는지를 확인한다. 송신자의 MAC 주소가 자신의 테이블에 존재하지 않으면, 송신자의 MAC 주소와 우선순위를 자신의 테이블에 추가한다. 만약 스테이션이 네트워크에서 벗어났다면 다른 스테이션들은 벗어난 스테이션의 정보를 테이블에서 삭제할 것이며 더 이상 선택하지 않을 것이다. 폴링된 다음 스테이션은 전송할 데이터를 가지고 있을 경우 현재 스테이션의 데이터 전송이 완료된 뒤에 PIFS 시간 후 RTS 프레임을 송신한다. 다른 폴링되지 않은 스테이션들은 PIFS 시간보다 뒤에 오는 DIFS 시간에 RTS를 전송하기 때문에 폴링된 스테이션은 절대적인 우선권을 가지게 된다.

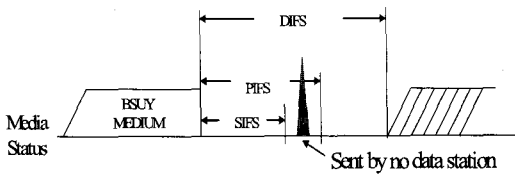


그림 6. 선택된 스테이션에 의한 펄스의 사용.

3.3 우선순위 기반 분산 폴링 매커니즘 과정

그림 7에서 폴링 매커니즘의 과정을 보여준다. 스테이션 (Station A)이 RTS 프레임을 전송할 때, 스테이션들의 우선순위에 따라 다른 스테이션들보다 RTS 프레임을 전송할 권리를 가지는 다음 스테이션을 선택한다. 폴링 정보는 RTS 프레임에 포함된다. 다른 스테이션들은 RTS 프레임을 수신한 후 자신들이 수신된 RTS 프레임에 의해 선택되었는지를 구별하기 위해 폴링 정보를 확인한다. 만약 스테이션들 중의 하나 (Station D)가 선택되었고, 전송할 데이터가 자신들의 큐에 존재하면 NAV (Network Allocation Vector)를 설정하고 자신이 다음에 선택할 스테이션을 우선순위 테이블을 이용하여 계산한다. 선택된 스테이션은 현재 데이터 송수신이 끝난 후 PIFS 시간 동안 기다린 후, 백오프 과정을 거치지 않고 바로 RTS 프레임을 전송한다. 만약 전송할 데이터를 가지고 있지 않다면 다른 스테이션들에게 자신의 존재를 알리기 위해 그림 6의 펄스를 전송한다. 만약 선택된 스테이션 (Station D)이 펄스를 보내 데이터를 전송하지 않을 것이라는 것을 알릴 경우 선택되지 않은 다른 스테이션들은 매체를 확보하기 위한 방법으로 기존의 DCF나 EDCA 모드의 경쟁 방법을 사용한다.

이선들의 우선순위에 따라 다른 스테이션들보다 RTS 프레임을 전송할 권리를 가지는 다음 스테이션을 선택한다. 폴링 정보는 RTS 프레임에 포함된다. 다른 스테이션들은 RTS 프레임을 수신한 후 자신들이 수신된 RTS 프레임에 의해 선택되었는지를 구별하기 위해 폴링 정보를 확인한다. 만약 스테이션들 중의 하나 (Station D)가 선택되었고, 전송할 데이터가 자신들의 큐에 존재하면 NAV (Network Allocation Vector)를 설정하고 자신이 다음에 선택할 스테이션을 우선순위 테이블을 이용하여 계산한다. 선택된 스테이션은 현재 데이터 송수신이 끝난 후 PIFS 시간 동안 기다린 후, 백오프 과정을 거치지 않고 바로 RTS 프레임을 전송한다. 만약 전송할 데이터를 가지고 있지 않다면 다른 스테이션들에게 자신의 존재를 알리기 위해 그림 6의 펄스를 전송한다. 만약 선택된 스테이션 (Station D)이 펄스를 보내 데이터를 전송하지 않을 것이라는 것을 알릴 경우 선택되지 않은 다른 스테이션들은 매체를 확보하기 위한 방법으로 기존의 DCF나 EDCA 모드의 경쟁 방법을 사용한다.

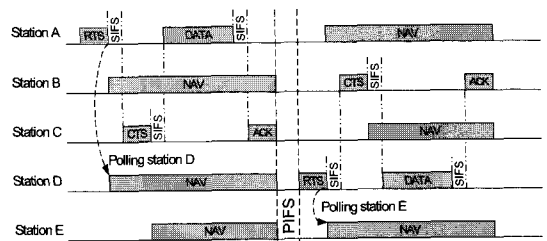


그림 7. 우선순위 기반 분산 폴링 매커니즘(PDPM)의 묘사.

제안된 PDPM 방법은 에드 혹 환경에서도 우선순위 기반 분산 폴링 방법을 사용하여 스테이션들 사이의 충돌 발생 확률을 줄일 수 있고 IEEE 802.11과 802.11e와 비교하여 채널 이용률을 증가시킨다는 사실은 쉽게 예상할 수 있다. 전통적인 DCF 모드와 EDCA 모드에서, 전체 전송률이 증가할수록 충돌 발생 수는 전체 전송 속도가 채널 속도에 도달할 때까지 점차적으로 증가한다. 반면 PDPM에서는 부하가 증가할수록 선택된 스테이션이 전송할 데이터를 자신들의 큐에 가지기 때문에 더욱 성공적으로 폴링을 만들 수 있다. DCF 모드와 EDCA 모드에서는 스테이션들이 증가할수록 충돌이 증가하며, EDCA 모드에서는 우선순위가 높은 스테이션들의 경우 제한된 CW 크기로 인해 충돌수가 더 급속히 증가할 것이다. PDPM에서도 충돌은 스테이션 수가 증가함에 따

라 커질 수 있으나 DCF 모드와 EDCA 모드와 비교했을 때 현저하게 낮게 증가할 것이다. 제안된 PDPM에서 선택된 스테이션은 IEEE 802.11 (DIFS+백오프 시간)이나 IEEE 802.11e (AIFS[AC]+백오프 시간)과 비교했을 때보다 짧은 대기 시간 (PIFS) 후에 RTS 프레임의 전송할 수 있다.

그림 8은 송신자와 수신자간의 DCF 모드를 확장한 PDPM의 상태천이도 (state transition diagram)를 보여준다. 접선은 PDPM에서 RTS 프레임에 의해 선택된 스테이션의 상태 천이이고, 실선은 선택되지 않은 스테이션의 상태 천이이다. 선택되지 않은 스테이션의 상태 천이가 IEEE 802.11의 DCF 모드와 같음을 확인할 수 있다. 만약 DIFS에서 AIFS[AC]까지의 지연시간과 CW에서 CW[AC]까지의 경쟁 윈도우를 변경한다면, PDPM은 EDCA 모드에서도 구현될 수 있다. 결국 PDPM은 DCF 모드에서 구현되어 네트워크 내의 스테이션들 간의 충돌 확률을 감소시킬 수 있으며, DCF 모드에서 지원할 수 없었던 스테이션들 간의 QoS를 제공할 수 있다. 또한 PDPM이 EDCA 모드의 내부 가상 충돌 회피와 데이터 타입에 따른 우선순위와 함께 구현된다면 PDPM이 차별화된 서비스를 보다 더 효율적으로 제공할 수 있다. 이것은 EDCA가 가지고 있는 심각한 문제 중의 하나인 충돌의 문제를 해결할 수 있도록 돕는다.

PDPM을 사용함에 있어 구현상의 고려할 점으로 매우 높은 부하를 가지는 네트워크의 경우 채널을 접속하기 위한 경쟁의 기회를 가질 수 없기 때문에 새로운 스테이션의 정보 (MAC 주소의 우선순위 정보)가 다른 스테이션에 빨리 알려지기가 어렵다는 것이다. 이 경우 애드 혹 네트워크 DCF 운영에서 동기 (synchronization)를 위해 각 스테이션이 비콘 신호 (beacon)를 보내게 되는데 이때 각 스테이션의 MAC 정보와 함께 우선순위 정보도 같이 전송하게 할 수 있다. 또한 새롭게 네트워크에 들어온 스테이션을 위해 일정 시간마다 한 번씩 폴링을 사용하지 않는 방법을 사용할 수 있다.

제안된 PDPM은 단순 분산 토큰 방식과 비교한다면, 토큰 방법론은 오직 스테이션의 목록을 통해 다음 스테이션으로 토큰을 전달하지만, PDPM에서는 스테이션이나 같은 우선순위의 그룹 스테이션들, 심지어는 데이터의 범주에도 전달 권리를 부여할 수 있다. 또한 토큰 방식의 경우 시스템의 이상으로 문제가 발생하여 토큰이 손실되었을 경우 이전의 송신자가 토큰을 다시 설정해야 하지만, PDPM은 곧바로 경쟁 구간 (contention period)으로 전환되고, 폴링 매

커니즘은 현재의 송신 과정이 끝난 후 다시 동작한다. 토큰을 받은 스테이션이 전송할 데이터가 없을 경우 토큰 방식에서는 다음 스테이션으로 토큰을 전달해야 하지만, PDPM의 경우 토큰을 손실한 경우와 같이 즉각적으로 기존 DCF 모드와 같은 경쟁 구간으로 전환된다. 토큰을 사용하는 방법은 애드 혹 네트워크에서 발생할 수 있는 심각한 숨겨진 노드의 문제를 피할 수 없다. 그러나 PDPM은 숨겨진 노드의 문제를 악화시킬 수 있는 RTS/CTS 교환 매커니즘을 사용한다.

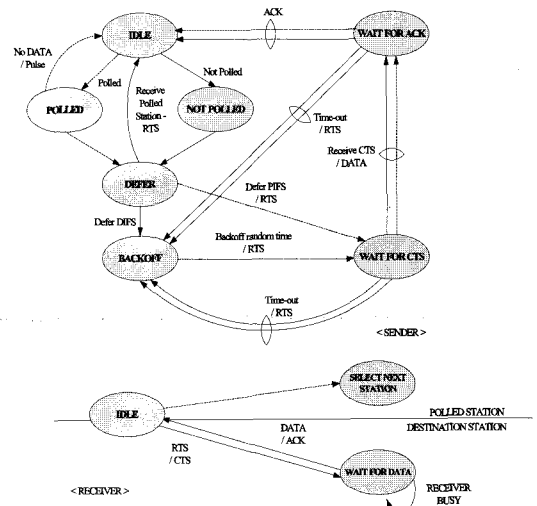


그림 8. PDPM 프로토콜의 상태 천이도

IV. 모의 실험 및 성능 분석

본 장에서는 애드 혹 네트워크에서 기존의 DCF 모드와 EDCA 모드와 함께 PDPM 매커니즘의 성능을 비교한다. 실험은 ns2에서 제공되는 IEEE 802.11 MAC 코드와 TKN의 EDCF 모듈에 RTS/CTS 모듈을 추가하여 사용하였다^[10-11]. 실험에서 PDPM은 IEEE 802.11의 DCF 모드에서 구현되었으며, 스테이션들의 다양한 우선순위에서 QoS를 제공할 수 있도록 하였다.

각 스테이션은 하나의 단방향 세션을 가지며 전체적으로 4개의 QoS 레벨을 정의하였다. 성능 비교 및 분석을 위하여 표 1에 기술한 실험 특성들을 적용했다. 1이 가장 작은 우선순위를 나타내며, 4는 제일 큰 우선순위를 나타낸다.

첫 번째 실험으로 PDPM의 QoS 제공 성능을 평가하였다. 실험은 서로 다른 우선순위를 가지는 4개의 스테이션으로 구성되었고 각 스테이션은 3Mbps의 단일 세션으로 연결되어 있으며, 같은 프레임 길이를

표 1. 모의 실험 환경

DCF	SIFS	10us
	PIFS	30us
	DIFS	50us
	Data Rate	11Mbps
	CWmin, CWmax	31, 1023
	DSSS_PreambleLength	144bits
	DSSS_PLCPHeaderLength	48bits
	DSSS_PLCPDataRate	1Mbps
	Other parameters same with DCF mode.	
EDCA	CWmin[1], CWmax[1]	7, 31
	CWmin[2], CWmax[2]	15, 31
	CWmin[3], CWmax[3]	31, 1023
	CWmin[4], CWmax[4]	31, 1023
	PF	2
	AIFS[1],[2],[3],[4]	1, 1, 1, 2
	TXOPLimit[1]	0.06
	TXOPLimit[2]	0.03
	TXOPLimit[3]	0.03
	TXOPLimit[4]	0
	Other parameters same with DCF mode.	
PDPM	PRI[1],[2],[3],[4]	1, 2, 3, 4
Same parameter with DCF mode.		

가진다. 그림 9는 각 스테이션의 처리율을 나타내고 있다. 다양한 우선순위의 처리율이 차별화되어 처리되고 있음을 볼 수 있다. 그림 9를 통해 QoS를 지원하는 PDPM의 효율성을 확인할 수 있다. QoS가 지원되는 IEEE 802.11e의 EDCA 모드에서는 충돌의 원인이 되는 스테이션들은 CW를 증가시킴으로 적응적으로 대응하기 때문에 CW가 항상 변화된다. 따라서 EDCA 모드에서는 우선순위 레벨에 따른 대역 할당의 비율을 정확히 보장할 수 없었다. 반면 PDPM에서는 시스템의 부하가 커지게 되면, 대부분의 시간에 스테이션들은 폴링의 과정에서 동작하게 되며 폴링 메커니즘은 각 스테이션의 우선순위에 따른 정확한 대역 할당을 가능하게 한다. 그림 9의 실험에서는 PRI 1, 2, 3, 4의 4개의 레벨을 사용했으며, 4개 레벨의 평균 처리량은 0.382Mbps, 0.786Mbps, 1.162Mbps, 1.585Mbps이다. 실험 결과 4개 스테이션의 처리율은 비교적 그들의 우선순위의 비율을 잘 따름을 알 수 있다.

두 번째 실험에서는 PDPM의 충돌 회피 능력을 평가한다. 먼저 스테이션의 수를 고정하고 모든 스테이션의 전체 데이터율을 채널용량의 10%에서 200%로 증가시킨다. 그림 10은 시스템의 부하가 증가할수록 충돌이 DCF 모드와 EDCA 모드에서 최대 레벨까지 증가함을 보여준다. 그러나 PDPM에서는 최대 출동

발생수가 DCF 모드 및 EDCA 모드와 비교해서 훨씬 작음을 알 수 있다. 또한 최대 충돌 발생점 (load=0.4) 이후에는 충돌의 수가 감소함도 알 수 있다. 각 스테이션은 전송을 위해 대기하고 있는 충분한 데이터를 가지고 있기 때문에 PDPM에서는 전체 송신율이 실제적인 채널의 처리율보다 크다면, 성공적인 폴링의 확률은 증가할 것이다. 두 번째로 각 스테이션의 전송율을 2Mbps로 고정하고 스테이션의 수를 4개에서 32개까지 증가시켰다. 그림 11에서 알 수 있듯이 DCF 모드와 EDCA 모드에서는 스테이션의 수가 증가할수록 PDPM과 비교해서 특별히 많은 충돌이 발생함을 알 수 있다. PDPM은 수천 단위의 충돌이 발생하지만, DCF 모드와 EDCA 모드에서는 수만 단위의 충돌이 발생하였다.

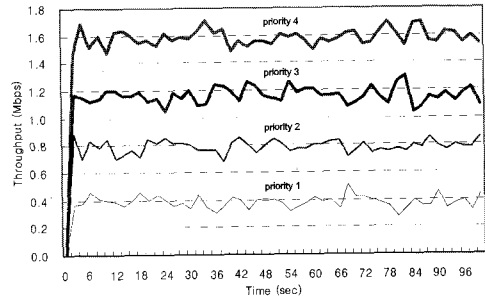


그림 9. PDPM의 차별화된 QoS 지원.

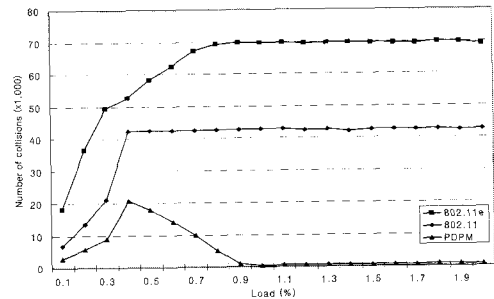


그림 10. 부하의 증가에 따른 충돌 횟수의 비교

세 번째 실험으로, 데이터의 처리율을 평가한다. 먼저 스테이션의 수를 고정하고, 모든 스테이션의 전체 데이터 송신율을 채널 용량의 10%에서 200%로 증가시킨다. 그림 12에서 EDCA의 처리율이 DCF보다 작음을 확인할 수 있다. 이는 보다 작은 CW를 사용하기 때문이다. PDPM은 DCF 모드와 EDCA 모드와 비교했을 때 더 높은 처리율을 달성함을 확인할 수 있다. 이는 PDPM에서는 전체 데이터율이 증가할수록 충돌은 감소하기 때문이다. 두 번째로 각 스테이션의

전송율을 2Mbps로 고정하고 스테이션의 수를 4개에서 32개로 증가시켜 평가하였다. 그림 13에서 PDPM은 DCF 모드와 EDCA 모드와 비교하여 더 높은 처리율을 달성함을 볼 수 있다.

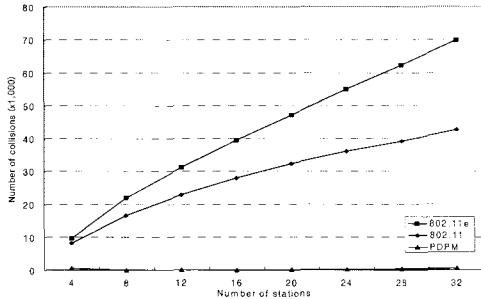


그림 11. 스테이션 증가에 따른 충돌 횟수의 비교

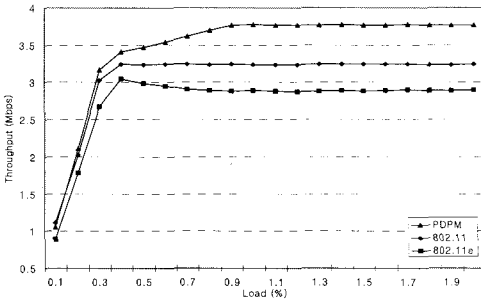


그림 12. 부하의 증가에 따른 처리율의 비교

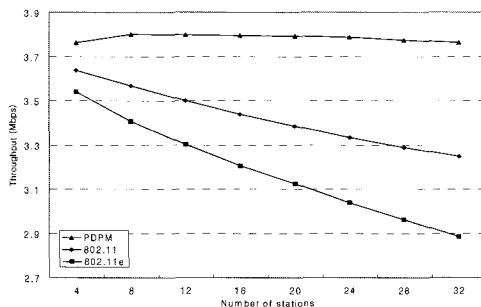


그림 13. 스테이션의 증가에 따른 처리율의 비교

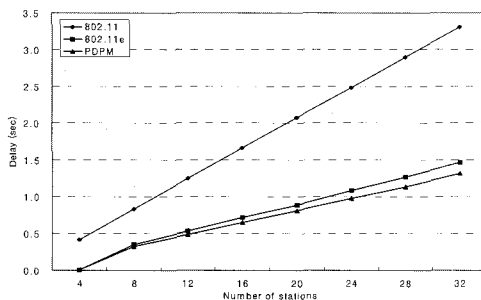


그림 14. 스테이션의 증가에 따른 지연 시간의 비교

마지막 실험으로 최상위 순위 스테이션의 평균 지연 시간을 비교한다. 그림 14와 같이 PDPM이 우선 순위 기반 분산 폴링방법에 의해 충돌을 피할 수 있으므로 데이터 전송을 위해 짧은 대기 시간을 갖기 때문에 EDCA 모드와 비교하여 더 작은 지연 시간을 가짐을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 새로운 폴링 메커니즘을 사용하여 QoS를 지원하고 높은 처리율을 달성할 수 있는 우선순위 기반 분산 폴링 메커니즘 (PDPM)을 제안하였다. PDPM은 MAC 계층에서의 충돌수를 줄이고 높은 처리율과 차별화된 QoS를 지원한다. 또한 다양한 우선순위에 따른 대역 할당의 엄격한 지원을 보장한다.

모의 실험을 통하여 PDPM이 효율적으로 각 특성들을 달성할 수 있음을 볼 수 있다. PDPM은 스테이션의 우선순위 레벨의 비율에 따라 대역을 할당할 수 있다. 이는 DCF 모드나 EDCA 모드와 비교하여 작은 부하에서 충돌을 60%이상 감소시키며, 높은 부하에서 90%이상으로 충돌을 감소시킨다. 처리율은 32개의 스테이션의 높은 부하 데이터 전송율의 실험에서 EDCA보다 25%정도 높게 얻을 수 있으며 스테이션의 수가 증가함에 따라 처리율에 대한 이득은 더 커짐을 보였다.

PDPM은 스테이션에 전송 권리를 주는 것뿐만 아니라 같은 우선순위의 그룹 스테이션들 또는 데이터의 범주에도 권리를 줄 수 있다는 것이다. 이 특성은 PDPM이 다른 분산된 토큰 방법론과 매우 다름을 보여준다. 또한 차기 스테이션의 선택 분포 함수의 변경을 통하여 보다 엄격한 QoS를 요구하는 스테이션에게 QoS를 보장할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] Kanghee Kim, Aftab Ahmad, Kiseon Kim, "A wireless multimedia LAN architecture using DCF with shortened contention window for QoS provisioning", *IEEE Communications Letters*, Vol. 7, No. 2, pp. 97-99, Feb 2003.
- [2] António Grilo, Mário Macedo, Mario S. Nunes, "IP QoS support in IEEE 802.11b WLANs", *Computer Communications* 26(17), pp. 1918-1930, 2003.

- [3] Shou-Chih Lo, Guanling Lee, and Wen-Tsuen Chen. "An Efficient Multipolling Mechanism for IEEE 802.11 Wireless LANs", *IEEE Transactions on Computers, Special Issue on Wireless Internet*, Vol. 52, No. 6, pp. 764-778, June 2003.
- [4] Qiang Ni, Imad Aad, Chadi Barakat, and Thierry Turletti. "Modeling and Analysis of Slow CW Decrease for IEEE 802.11 WLAN", *IEEE PIMRC'2003*, pp.1717-1721, 2003.
- [5] Chih-Min Chao, Jang-Ping Sheu, and I-Cheng Chou, "A Load Awareness Medium Access Control Protocol for Wireless Ad Hoc Network", *IEEE ICC'2003*, pp.438 - 442, 2003.
- [6] IEEE Std 802.11, "Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications", 1997.
- [7] Sunghyun Choi, "Overview of Emerging IEEE 802.11 Protocols for MAC and Above", *Telecommunications Review*, Special Edition, pp. 102-127, 2003.
- [8] IEEE 802.11 WG, IEEE 802.11e/D6.0, "Draft Amendment to Standard for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems LAN/MAN Specific Requirements - Part 11 : Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications : Medium Access Control(MAC) Quality of Service(QoS) Enhancements", Nov. 2003.
- [9] João L. Sobrinho, and A. S. Krishnakumar. "Quality-of-Service in Ad Hoc Carrier Sense Multiple Access Wireless Network", *IEEE journal on Selected Areas in Communications*, Vol.17, No.8, pp.1353 - 1368, 1999.
- [10] The Network Simulator - ns2, <http://www.isi.edu/nsman/ns>.
- [11] TKN, Design and verification of an IEEE 802.11e EDCF simulation model in ns-2.26, Berlin, Nov. 2003.

왕 위 동(Weidong Wang)

준회원



2001년 7월 Harbin Institute of Technology, China, 공학사

2001년 7월 Huawei Technologies, ZTE Corp. China, Engineer

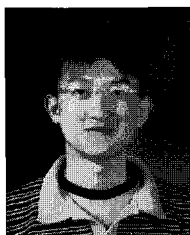
2003년 8월~현재 인하대학교

정보통신대학원 석사과정

<관심분야> Ad-hoc network, Wireless MAC, UWB

서 창 근(Chang-Keun Seo)

준회원



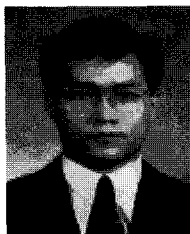
2004년 2월 인하대학교 전자공학과, 공학사

2004년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 석사과정

<관심분야> QoS, Medium Access Control

유 상 조(Sang-Jo Yoo)

정회원



1988년 2월 한양대학교 전자통신학과, 공학사

1990년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과, 공학석사

2000년 8월 한국과학기술원 전자전산학과, 공학박사

1990년 3월~2001년 2월 KT

연구개발본부

2000년 8월~현재 인하대학교 정보통신대학원

조교수

<관심분야> 인터넷 QoS, 초고속 통신망 구조, 멀티미디어 네트워킹, 트래픽 엔지니어링