

## 무선 Ad Hoc 네트워크의 새로운 멀티캐스트 매체접근제어 프로토콜

임재환 · 방기천

남서울대학교 멀티미디어학과

### 요 약

본 논문에서는 무선 Ad Hoc 네트워크에서 실시간 트래픽에 대한 QoS를 보장하기 위한 새로운 MAC 프로토콜을 제안한다. NMAC 프로토콜은 각 노드들에 대한 공정성과 실시간 트래픽에 대한 QoS를 보장하기 위하여 경쟁 구간 예약 방법과, 우선순위를 제어하는 우선순위 제어 경쟁 방법을 가진다. 본 논문에서는 제안된 NMAC 프로토콜과 기존의 CSMA 프로토콜을 시뮬레이션을 통하여 비교하고 NMAC 프로토콜의 성능향상을 보인다.

## A New Multicast MAC Protocol for Wireless Ad Hoc Network

Jae-hwan Lim · Kee-Chun Bang

### ABSTRACT

In this paper we proposed a new MAC protocol to improve QoS(Quality of Service) for real-time traffic in wireless Ad Hoc networks. NMAC protocol have a contention period reservation scheme and a priority control scheme to provide fairness of nodes and QoS. Through simulation, the NMAC protocol compared with existing CSMA MAC protocols shows improvement in performance.

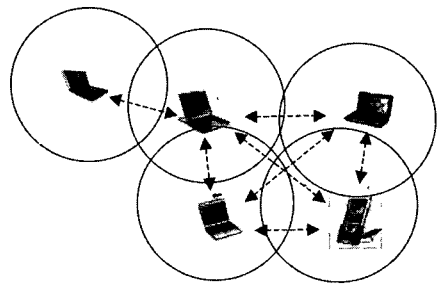
## 1. 서론

무선 Ad Hoc 네트워크는 이동성이 부여된 노드들이 독립적으로 무선 인터페이스를 이용하여 자율적으로 구성하는 임시적인 네트워크이다. 무선 Ad Hoc 네트워크를 구성하는 노드들은 이동 컴퓨팅 기능을 가진 호스트와 라우팅 기능을 가진 라우터를 동시에 만족하는 형태로 흔히 이동 노드로 불려진다. [1][2].

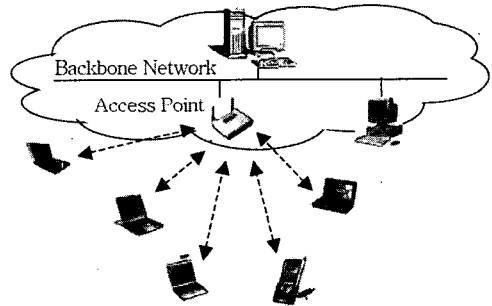
무선 Ad Hoc 네트워크는 기지국이나 액세스포인트와 같은 중재자가 없이 이동 노드들 간에 자체적으로 연결이 설정되므로 임시적 또는 즉흥적인 네트워크의 구성이 가능하다. 무선 Ad Hoc 네트워크는 이동 노드간의 전파 상태, 트래픽 및 노드의 이동 패턴에 따라 네트워크 토폴로지가 끊임없이 변화하므로 네트워크의 구성과 유지가 어렵고 제반 기술의 적용이 용이치 않다. 네트워크 토폴로지의 동적인 변화는 목적지로의 경로 관리를 위한 라우팅 프로토콜에 직접적인 영향을 주고 있으며, 이에 대한 연구는 무선 Ad Hoc 네트워크의 주된 연구 대상이 되고 있다. 이외에 하위 계층의 전파 전파, 전파 간섭 및 전력 제어에서부터 링크 계층의 매체다중접속 및 자원 할당, 멀티캐스팅, 보안, 트랜스포트 계층의 연결 설정 및 유지 등에 관한 연구가 무선 Ad Hoc 네트워크의 주요 연구 대상에 포함되고 있다.

무선 Ad Hoc 네트워크는 그림 1(a)과 같이 기반 네트워크(infrastructure network)가 없이 무선 인터페이스를 가진 이동 노드들 간에 자율적으로 구성되는 임시적인 네트워크이다. 따라서 무선 Ad Hoc 네트워크는 중앙 집중적인 제어를 필

요로 하는 그림 1(b)과 같은 기반 네트워크와는 달리 분산제어가 필요한 네트워크이다. 특히, 기반 네트워크에서 수동적인 노드는 무선 Ad Hoc 네트워크에서는 능동적인 네트워크의 주체가 된다.



(a)무선 Ad Hoc Network



(b) Infrastructure Network

(그림 1) 무선 Ad Hoc 네트워크와 기반 네트워크

무선 Ad Hoc 네트워크는 다수의 이동 노드가 무선 링크를 통해 하나의 채널을 공유하므로 채널의 충돌과 낭비가 없는 효율적인 다중 접속 기법과 공평한 자원의 분배, 열악한 무선 링크 상에서의 신뢰성 있는 패킷 전송이 해결되어야 한다. 또한 전송 매체인 전파의 특성 때문에 프로토콜 설계 시 다음과 같은 문제들을 해결해야 한다.

- ① 송신기의 자기간섭으로 인한 충돌 감지가

\* 이 논문은 2003학년도 남서울대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음

어렵다.

② 무선신호는 반사, 굴절, 산란 등에 의해 다중경로로 전달되고 링크의 품질이 시간에 따라 변화하므로 완전한 연결을 보장할 수 없다.

③ 감쇄 채널에서 발생하는 연속적인(Burst) 채널 에러 문제가 있다.

④ 송신기의 특정한 범위내의 노드만이 채널의 전송을 감지할 수 있는 위치-기반 전송 감지로 발생하는 숨겨진 노드, 노출된 노드 문제를 해결해야 한다.

또한, 무선매체는 전 방향 전송이므로 동시적 다중 전송은 충돌을 야기하여 통신이 불가능하게 된다. 따라서 충돌을 최소화하기 위하여 충돌 회피 기술을 사용해야한다. 충돌 회피 기술로는 무선매체가 사용 중인 것을 인식한 노드가 전송범위내의 모든 노드들에게 Busy tone을 전송하여 무선매체의 사용을 금지하는 BTMA(Busy Tone Multiple Access) 기술과 RTS(Request To Send)-CTS(Clear To Send)-DATA의 3-신호 교환방식으로 숨겨진 노드 문제를 최소화하는 MACA(Multiple Access with Collision Avoidance) 기술을 사용한다. 노출된 노드 문제는 데이터 채널과 제어채널을 분리하거나 지향성 안테나를 사용하여 해결할 수 있으나, 지향성 안테나는 네트워크를 구성하는 장치들의 크기제한 때문에 작은 장치에는 적합하지 않다. 이러한 제한된 대역과 열악한 채널환경에서 무선매체를 공평하고 효율적으로 관리하여 링크간 통신을 보장하는 역할을 하는 것이 MAC 프로토콜이다.

기존의 Ad Hoc 네트워크에서 제안된 프로토콜들은 숨은 노드에 의한 간섭 문제 외에도 다음과 같은 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 첫째, 단일 채널을 사용하는 기존의 프로토콜들은 멀티캐스트 서비스를 제공하지 못하며, 가령 멀티캐스트 서비

스를 제공할 수 있다 해도 데이터 패킷 전송 시 발생하는 숨은 노드와 이웃한 비멀티캐스트 서비스 노드에 의한 간섭을 줄이지 못한다. 둘째, 이들은 경쟁 구간에서 경쟁 실패에 따른 백오프 지연이 크기 때문에 실시간 트래픽에 대한 QoS를 보장하지 못한다[3],[4]. 셋째, 특정 노드가 장시간 동안 전송 기회를 얻지 못하는 슬럼프 상태가 발생되기 때문에 각 노드들에 대한 공정성도 보장하지 못한다[5],[6].

본 논문에서는 Ad Hoc 네트워크에서 멀티캐스트 서비스를 할 때에 이웃한 비멀티캐스트 서비스 노드의 간섭을 제거하고 다른 멀티캐스트 서비스 노드가 숨은 노드로서 미치는 간섭을 줄이는 새로운 멀티캐스트 매체 접근 제어(NMAC: New MAC) 프로토콜을 제안한다. 2장에서는 제안하는 NMAC 프로토콜에 대한 설명을 하고, 3장에서는 시뮬레이션을 통한 성능평가를 한다.

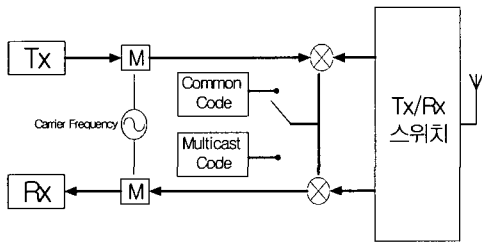
## 2. 새로운 멀티캐스트 MAC 프로토콜의 제안

멀티캐스트는 하나의 소스로부터 그룹 멤버라고 불리는 수신 그룹에 데이터를 전송하기 위한 효율적인 방식이다. 멀티캐스트는 각각의 그룹 멤버들에게 유니캐스트 하기 위한 비용보다 적은 비용이 네트워크와 노드에서 요구된다. 최근 대두되고 있는 멀티미디어회의, 영상 강의, 원격 지도, 다중 그룹 게임 등과 같은 어플리케이션들이 멀티캐스트 통신을 이용한다[7].

기존의 Ad Hoc 네트워크에서 제안된 MAC 프로토콜들은 단일 채널을 사용하며 기본적인 방송 서비스를 기반으로 하고 있다. 만일 이들 프로토콜들을 이용하여 멀티캐스트 데이터 패킷을 전송

한다면 멀티캐스트 서비스 노드와 비멀티캐스트 서비스 노드가 동일한 채널을 사용하게 되고 소스 노드가 전송하는 멀티캐스트 데이터 패킷은 이웃한 비멀티캐스트 서비스 노드이나 다른 멀티캐스트 서비스를 하는 숨은 노드의 간섭으로 인하여 충돌이 일어난다. 멀티캐스트 데이터 패킷의 손실은 다중의 수신자들이 데이터 패킷을 수신하지 못하는 결과를 초래하므로 숨은 노드와 이웃한 비멀티캐스트 노드의 간섭이 성능을 저하시키는 주요 요인이다.

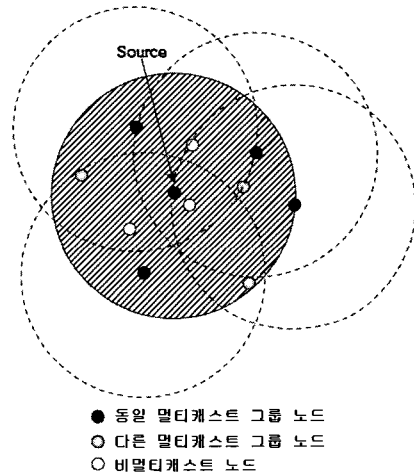
본 논문에서는 이웃한 비멀티캐스트 서비스 노드의 간섭을 제거하기 위해 멀티캐스트 통신을 위한 멀티캐스트 그룹을 정의하고 숨은 노드에 의한 간섭을 줄이기 위하여 코드 분할 다중화 방식(CDM: Code Division Multiplex)을 이용한 멀티캐스트 채널 형성을 제안한다. 그림 2는 NMAC 프로토콜을 사용하는 노드의 송수신기 구조를 나타낸다.



(그림 2) 노드의 Tx/Rx 구조

각 노드는 데이터 패킷 전송을 위한 송수신 채널과 전송 제어를 위한 제어채널을 갖는다. 멀티캐스트 코드는 멀티캐스트 그룹을 형성하고 각각의 멀티캐스트 채널을 구별한다. 공통코드는 모든 노드들이 공유하는 공통의 제어 채널을 구별하며 멀티캐스트 코드와 함께 사용될 때 멀티캐스트 그룹 멤버들만이 사용할 수 있는 공통의 제어 채널

을 형성한다. 하나의 노드가 비멀티캐스트 서비스를 할 때에는 모든 노드들이 공유하는 제어 채널을 사용하며 서비스 선택 스위치가 위로 단락되어 공통 코드로 확장된 데이터 패킷이 전송된다. 만일 노드가 멀티캐스트 서비스를 요구할 때에는 먼저 멀티캐스트 그룹에 접속하게 되고 서비스 선택 스위치가 아래로 단락 되어 멀티캐스트 그룹이 사용하는 멀티캐스트 코드를 이용하여 서비스를 하게 된다. TX-RX 스위치는 노드의 송수신 데이터 패킷을 구별하여 스위칭하며 제어 신호의 경우 RF 신호 처리루틴을 통해 송수신 노드의 서비스 정보를 얻는다. 소스 노드가 전송하는 멀티캐스트 데이터 패킷은 멀티캐스트 코드에 의해 확장되어 전송이 되고 동일한 멀티캐스트 코드를 사용하는 노드들만이 수신되는 확장 신호에 멀티캐스트 코드를 곱하여 본래의 멀티캐스트 패킷을 얻을 수 있다.



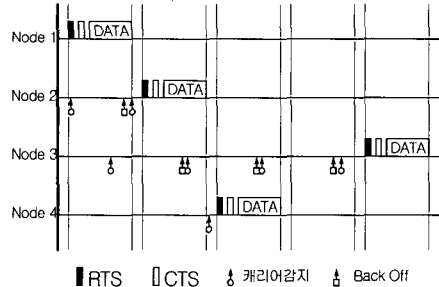
(그림 3) 여러 멀티캐스트 노드가 존재하는 Ad Hoc 네트워크

멀티캐스트 코드를 이용한 멀티캐스트 그룹이 형성되면 그룹 내에 있는 노드들은 비멀티캐스트

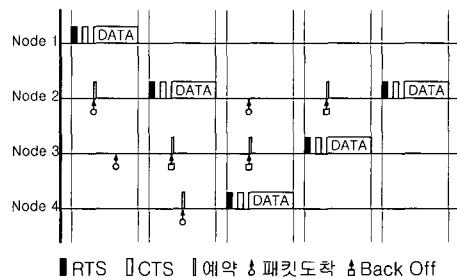
그룹 멤버로부터 간섭을 받지 않고 멀티캐스트 데이터 패킷을 전송할 수 있다. 그룹 내의 모든 멤버들은 기존의 단일 채널을 사용하는 CSMA 프로토콜과 유사하게 동작한다. 전송할 멀티캐스트 데이터 패킷을 갖는 멤버 노드는 먼저 채널을 감지하게 되고 DIFS 기간 동안 채널이 유향 상태일 때 제어 패킷인 RTS 패킷을 전송한다(8),(9). RTS 패킷을 수신하는 모든 멤버들을 대표해서 리더 노드만이 CTS 패킷을 전송하고 CTS 패킷을 수신한 소스가 멀티캐스트 데이터 패킷을 전송하게 된다. 만일 멀티캐스트 데이터 패킷 전송을 위해 채널을 감지할 때 다른 멤버가 전송하는 패킷에 대한 반송파를 감지하게 되면 랜덤 백오프를 한다. 기존의 CSMA 프로토콜의 문제점이 계속되는 반송파 감지에 따라 장시간 동안 데이터 패킷 전송의 기회를 얻지 못하는 것처럼 멀티캐스트 그룹의 특정 멤버는 많은 백오프 지연을 겪게 된다. 본 논문에서는 멀티캐스트 서비스 노드가 밀집한 영역을 고려한다. 즉 멀티캐스트 서비스 노드의 전파 영역 내에는 동일한 멀티캐스트 코드를 사용하는 멀티캐스트 서비스 노드, 다른 멀티캐스트 코드를 사용하는 멀티캐스트 서비스 노드 그리고 비멀티캐스트 서비스 노드가 함께 존재한다. 그림 3은 하나의 멀티캐스트 그룹 멤버 노드의 전파 영역 안에 다중의 멀티캐스트 멤버 노드와 비멀티캐스트 서비스 노드가 함께 존재하는 Ad Hoc 네트워크의 모델을 나타낸다. 멀티캐스트 데이터 패킷을 전송하고자 하는 소스 노드가 멀티캐스트 데이터 패킷을 성공적으로 전송하기 위해서는 자신의 전파 영역 안에 있는 다른 멤버들과 경쟁 구간에서 경쟁해야 하고 경쟁에서 성공할 때에만 멀티캐스트 데이터 패킷을 전송할 수 있다. 멀티캐스트 그룹 내에서 기존의 CSMA 프로토콜을 사용한다면 특정 노드가 경쟁에 실패하고 장시간 동안 백오프 지연을 겪게 되는

슬럼프 문제가 발생하게 된다.

그림 4는 멀티캐스트 그룹 내에서 기존의 CSMA 프로토콜을 사용할 때 발생할 수 있는 지속적인 백오프 지연의 문제를 나타낸다. 전송할 데이터 패킷을 갖는 노드3는 채널 상에서 노드1의 반송파를 감지하게 되고 랜덤 백오프를 하게 된다. 랜덤 백오프에 의한 스케줄링 타임 후에 노드3는 노드2의 반송파를 감지하게 되고 또다시 랜덤 백오프를 하게 된다. 노드3는 노드4의 반송파 감지에 대해서도 백오프를 하게 되고 장시간 동안 전송할 기회를 얻지 못하는 슬럼프 상태에 머무르게 된다. 만일 노드3 노드가 전송하고자 하는 데이터가 실시간 트래픽이라면 기존의 CSMA 프로토콜은 적합하지 않다(10).



(그림 4) 기존 MAC 프로토콜을 이용한 노드의 패킷 전송



(그림 5) NMAC 프로토콜을 이용한 노드의 패킷 전송

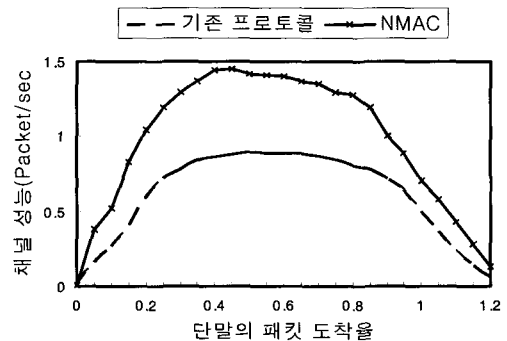
본 논문에서는 멀티캐스트 그룹 내의 멤버 노드가 데이터 패킷을 전송하기 전에 예약패킷을 전송하여 다음 RTS 패킷을 전송할 권한을 예약하는 방식을 제안한다. 또한 실사가 트래픽의 QoS를 보장하기 위해 각 노드 또는 각 트래픽 별로 우선순위를 부여하고 예약패킷을 전송할 때 이 우선순위를 포함하도록 하여 예약을 가로채는 것이 가능하도록 하는 우선순위 제어방식을 제안한다. 예약 패킷은 공통코드로 전송되어 멀티캐스트 코드를 사용하는 데이터 패킷과의 충돌을 방지한다.

그림 5는 NMAC 프로토콜의 동작을 나타낸다. 전송할 데이터 패킷을 갖는 노드 2는 노드 1의 데이터 전송 시에 예약패킷을 전송하여 다음 RTS 전송 권한을 요구한다. 노드 3은 전송할 데이터 패킷이 발생했으나 노드 2의 예약에 의해 다음 구간으로 백오프하여 예약패킷을 전송한다. 이때 노드 3의 우선순위보다 높은 우선순위를 갖는 노드 4에 전송할 데이터 패킷이 발생하게 되어 높은 우선순위로 예약패킷을 전송하여 노드 3의 예약을 가로채기 하여 다음 전송 구간을 사용하게 된다. 우선순위에 밀려 또다시 백오프된 노드 3은 장기간의 백오프에 의한 슬럼프 상태를 방지하기 위해 우선순위를 높여 예약 패킷을 전송한다. 전송할 데이터가 남아 있던 노드 2는 노드 3보다 낮은 우선순위로 인해 다음 구간으로 백오프하게 된다. 위와 같은 동작으로 실시간 트래픽에 높은 우선순위를 주어 QoS를 만족시키고, 장기간의 백오프를 겪는 노드는 우선순위를 높이는 방법으로 슬럼프상황을 벗어나게 되어 QoS를 만족시킬 수 있게 된다.

### 3. 시뮬레이션

제안된 NMAC 프로토콜과 기본적인 MAC 프로토콜을 시뮬레이션을 통해 비교 분석하여 NMAC 프로토콜의 성능 향상을 보인다. 시뮬레이션은 숨은 노드와 이웃한 비멀티캐스트 노드의 간섭이 존재하는 무선 환경을 가정한다. Ad Hoc 네트워크는 전체 N 개의 노드로 이루어지며 멀티캐스트 그룹 내에 존재하는 모든 멤버 노드들은 각 노드들의 반송파를 정확히 감지할 수 있다고 가정한다.

시뮬레이션을 위해 가정된 Ad Hoc 네트워크는 2x2Km<sup>2</sup>의 영역을 가정하고 네트워크 내에 멀티캐스트 데이터 패킷을 전송하기 위한 80 개의 멀티캐스트 서비스 노드와 비멀티캐스트 서비스 노드 20 개가 무작위로 분포된 네트워크다. 멀티캐스트 코드에 의해 구별되는 멀티캐스트 그룹의 채널 대역폭은 10Khz 이며 채널의 데이터율은 2Mbps 이다. Ad Hoc 네트워크 내의 모든 노드는 패킷의 길이가 600byte 로 고정된 패킷을 발생시키고, 패킷간 도착 시간(packet interarrival time)은 지수분포(exponential distribution)를 따르며 패킷을 무작위로 발생시킨다.



(그림 6) 노드의 패킷 도착율에 따른 채널의 성능

NMAC 프로토콜에서 만일 어떤 노드가 멀티캐스트 패킷을 갖는다면 먼저 멀티캐스트 그룹에 접속해야 하고 일단 멀티캐스트 그룹의 멤버가 되면 이웃한 비멀티캐스트 서비스 노드의 간섭 없이 멀티캐스트 패킷을 전송할 수 있다. 그림 6은 각 노드에서의 데이터 패킷 도착율에 따른 기존의 프로토콜과 NMAC 프로토콜의 채널 성능을 나타낸다. 각 노드는 기본적인 CSMA 프로토콜을 따르며 NMAC 프로토콜을 적용된 노드들은 이웃한 비멀티캐스트 서비스 노드의 간섭에 의한 백오프 지연을 겪지 않는다. 따라서 제안된 NMAC 프로토콜이 기존의 프로토콜에 비해 향상된 채널 성능을 보인다. 각 노드에서의 데이터 패킷의 도착율이 증가할수록 채널의 성능은 증가하며 경쟁 구간에서의 경쟁 실패에 따른 백오프 지연이 많게 되는 어느 시점부터는 채널의 성능이 급격히 감소한다. 기존의 프로토콜은 이웃한 비멀티캐스트 서비스 노드들의 간섭과 다른 멀티캐스트 서비스 노드로서 간섭을 미치는 숨은 노드의 영향으로 제안된 NMAC 프로토콜에 비해 낮은 채널 성능을 나타낸다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 실시간 멀티캐스트 서비스를 지원하는 새로운 MAC 프로토콜(NMAC)을 제안한다. NMAC 프로토콜은 숨은 노드와 이웃의 비멀티캐스트 노드의 간섭을 줄이기 위해 멀티캐스트 코드를 사용한 CDM 멀티캐스트 채널 방식으로 사용한다. 하나의 멀티캐스트 코드 확장에 의해 형성된 멀티캐스트 그룹 내에서 전송 기회 획득을 위한 경쟁 방법은 제어 채널을 통해 다음 구간을 예약하는 방법과 지연시간을 감안한 우선순위 제

어방식을 사용한다. 제안된 NMAC 프로토콜에 대한 성능 평가를 위해 시뮬레이션을 통해 기존의 프로토콜과의 성능을 비교하였다. 그 결과 NMAC 프로토콜이 패킷의 평균 지연을 최소화하고 경쟁에 참여하는 모든 노드들에게 공정성을 제공하고, 기존의 MAC 프로토콜보다 향상된 성능을 나타내어 실시간 트래픽에 대한 QoS를 보장할 수 있음을 알게 되었다.

#### 참고문헌

- [1] Charles E. Perkins, *Ad Hoc Networking*, Addison-Wesley, 2001.
- [2] C.K. Toh, *Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and Systems*, Prentice Hall PTR, 2002.
- [3] J.L. Sobrinho and A.S. Krishnakumar, "Quality-of-Service in Ad Hoc Carrier Sence Multiple Access Wireless Networks", *IEEE JSAC*, Vol. 17, pp. 1353-1368, August 1999.
- [4] H. Xiao, W.K.G. Seah, A. Lo and K.C. Chua, "A Flexible Quality of Service Model for Ad-Hoc Networks", *IEEE VTC'2000*, pp. 445-449, May 2000.
- [5] I. Joe and S.G. Batsell, "Reservation CSMA/CA for Multimedia Traffic over 무선 Ad-hoc Networks", *IEEE ICC'2000*, pp. 1714-1718, June 2000.
- [6] A. Muir and J.J. Garcia-Luna-Aceves, "A Channel Access Protocol for Multihop Wireless Networks with Multiple Channels", *IEEE ICC'98*, pp. 1617-1621, June 1998.

- [7] Z.J. Haas and S. Tabrizi, "On Some Challenges and Design Choices in Ad-Hoc Communication", *IEEE MILCOM'98*, pp. 187-192, October 1998.
- [8] J.J. Garcia-Luna-Aceves and A. Tzamaloukas, "Reversing the Collision-Avoidance Handshake in Wireless Networks", *Proc. ACM / IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 120-131, August 1999.
- [9] A. Tzamaloukas and J.J. Garcia-Luna-Aceves, "Poll-before-Data Multiple Access", *IEEE ICC'99*, pp. 1207-1211, June 1999.
- [10] J.L. Sobrinho and A.S. Krishnakumar, "Real-Time Traffic over The IEEE 802.11 Medium Access Control Layer", *Bell Labs technical Journal*, pp. 172-187, Autumn 1996.
- [11] M. Schwartz, *Telecommunication Networks*, Addison Wesley, 1988.



### 임재환

1998년 숭실대학교 전자공학과  
(박사)

1999년 ~ 현재 남서울대학교  
멀티미디어학과 조교수



### 방기천

1981년 서울대학교 전자공학과  
(학사)

1988년 성균관대학교 정보처리  
학과(석사)

1996년 성균관대학교 전산통계

학전공(박사)

1984년~1995년 MBC 기술연구소

1995년~현재 남서울대학교 멀티미디어학과 교수

관심분야: 멀티미디어컨텐츠, 멀티미디어 응용,  
인터넷 방송 등