

# IEEE 802.11 무선랜에서 서비스 질(QoS) 지향적인 핸드오프 알고리즘에 관한 연구

준회원 최 행 결\*, 김 일 환\*, 종신회원 서 승 우\*

## QoS-Oriented Handoff Algorithm in IEEE 802.11 Wireless LAN

Haeng-Keol Choi\*, Il-Hwan Kim\* *Associate Member*, Seung-Woo Seo\* *Regular Member*

### 요 약

최근 IEEE 802.11 무선랜은 광대역 무선접속 네트워크(Broadband Wireless Access Network)를 지원하기 위한 가장 대중화된 통신 프로토콜로 자리매김 하고 있다. 하지만 기존 IEEE 802.11은 다양한 이동환경을 고려해 설계 되지 않았기 때문에 핸드오프 과정에서 충분한 서비스의 향상을 가져오기 힘들다. 따라서 본 논문에서는 이러한 IEEE 802.11 무선랜의 핸드오프(Handoff) 과정 중, 주변 AP(Access Point) 탐색 단계에서 새로운 핸드오프 메시지 교환을 통해 최고의 성능을 보장하는 AP를 선택하는 핸드오프 알고리즘을 제안한다. 기존의 AP 탐색과정에서 여러 가지 AP들 중에서 하나를 선택하는 가장 중요한 척도는 신호의 세기였다. 하지만 IEEE 802.11은 공통의 매체를 공유함으로써 채널을 획득하기 위해 경쟁하는 CSMA/CA(Carrier Sensing Multiple Access with Collision Avoidance)를 이용한 다중매체접속방식을 사용하기 때문에, 네트워크의 성능은 신호의 세기와는 별도로 네트워크에 참여하는 노드들의 경쟁 혹은 혼잡에 의해 큰 영향을 받는다. 따라서 이러한 네트워크 수준에서의 정보들을 AP 선택 과정에 반영시킴으로써, 보다 향상된 네트워크 성능을 보장하는 AP를 결정할 수가 있다. 본 논문에서는 이러한 과정들을 포함시킨 핸드오프 알고리즘이 보다 더 좋은 성능을 보여준다는 사실을 실험하고 증명하고자 한다.

Key Words : IEEE802.11 WLAN, Handoff, CSMA/CA, Effective Number of nodes, Available Bandwidth

### ABSTRACT

Currently, IEEE 802.11 Wireless LAN (WLAN) is rising as the most popular means for the broadband wireless access network. In this thesis, we propose a QoS(Quality of Service)-Oriented mechanism using handshaking method of scanning phase in IEEE 802.11 handoff. In conventional process for handoff, the major criterion to select the best AP(Access Point) among candidates is normally based on the RSS(Received Signal Strength), which does not always make the selected network guarantee the maximum achievable performance. Even though the link quality with a neighboring AP is excellent, the AP may not be a good candidate to handoff to simply because MAC(Medium Access Control) protocol of IEEE 802.11 standard is contention-based such as CSMA/CA. Therefore, if we apply network level information to AP selection criteria, we can achieve better handoff efficiency rather than before. The analysis and simulation results applied to our new mechanism show clearly better performance than AP selection based on traditional handoff method.

\* 서울대학교 컴퓨터 네트워크 및 보안 ({hkchoi, ihkim, sso}@snu.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-01-024, 접수일자 : 2005년 1월 12일

## I. 서론

### 1.1 배경지식

최근에 IEEE 802.11에 기반한 무선랜 서비스 기술은 로컬지역에서 광대역 무선 접속성을 지원하는 가장 두드러진 기술로 자리매김 하고 있다. 특히 캠퍼스나 사업장과 같은 공공장소에서 무선랜 서비스는 편리한 네트워크 접속성뿐만 아니라 고속의 전송속도를 지원하는 탁월한 기능을 제공한다. 이러한 성공적인 목적을 보장하기 위해서 IEEE 802.11 무선랜은 보안, 서비스의 질 보장, 효율적인 자원관리와 신뢰성 있는 이동성 지원 등의 떠오르는 도전들에 대한 고려가 필요하게 되었다. 본 논문에서 우리는 보다 향상된 성능을 얻기 위해서 IEEE 802.11 핸드오프에서의 서비스의 질 향상을 위한 네트워크 선택기준에 대해서 초점을 맞추고자 한다.

IEEE 802.11 표준[1]은 하나의 매체접속제어(MAC) 계층과 다중의 물리적 계층(PHY)를 정의하고 있다. 일반적으로 IEEE 802.11 기반의 장치들은 적어도 하나의 매체접속제어 계층을 기반으로 동작한다. 이 매체접속제어 계층은 애드 혹(ad hoc) 방식과 하부구조 (Infrastructure) 방식, 이 두 가지 동작방식을 지원한다. 애드 혹 방식에서는 두개 혹은 그 이상의 무선 노드들이 서로를 각각 인지하며 어떠한 하부구조의 도움 없이 개개인의 통신을 가능하게 하지만, 이와는 대조적으로 하부구조 방식에서는 이동 노드들 사이의 다리(bridge) 역할을 하는 AP (Access Point)라는 고정된 개체를 갖는다. 이러한 AP와 이것에 연관된 이동노드들은 기본서비스집합 (Basic Service Set, BSS)를 구성하며, 2.4GHz 혹은 5GHz대역의 비인가 밴드 (ISM Band)를 통신 채널로 이용한다.

### 1.2 연구동기 및 관련 연구

IEEE 802.11 무선랜은 가정, 사업장, 핫 스팟 지역 등을 포함한 다양한 환경에서 사용자들에게 고속의 데이터 서비스를 제공하기 위해 발전해 왔다. 그러한 상업적 환경에서 서비스 제공을 위해 일정한 서비스 지역을 덮기 위해서 다중의 AP들을 설치하는 것은 지극히 일반적인 일이 아닐 수 없다. 이와 같은 환경에서, 현재 접속해 통신하고 있는 AP에서 다른 AP로 핸드오프를 필요로 하는 이동과정 중 사용자에게 끊김없는 서비스와 향상된 성능을 지원하기 위해 보다 나은 표적 AP를 선택하는 것은 가장 중요한 서비스의 요구조건이다. 불행히도,

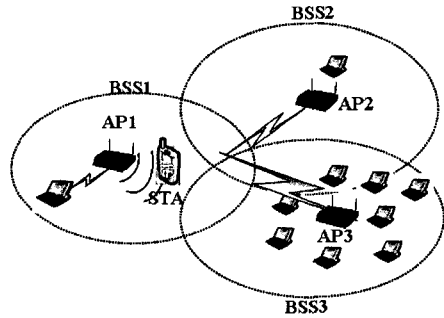


그림 1. IEEE 802.11 네트워크 구조

물리적으로 측정된 신호세기 만으로는 주변 검색과정에서 발견한 여러 후보 AP들 사이에서 최적의 것을 선택하기에는 불충분 하다. 왜냐하면 IEEE 802.11 표준은 CSMA/CA와 같은 충돌기반의 매체 접속제어 방식을 채택하고 있으며, 이런 환경에서 네트워크의 성능은 신호강도에 의한 채널 에러정보보다 채널의 참여노드의 수, 또는 트래픽 상황 등에 훨씬 더 큰 영향을 받게 된다. 말하자면, 무선랜 처럼 낮은 이동성을 지원하는 채널환경을 가정할 때, 주변 AP의 수신 신호세기가 다른 AP들에 비해 훨씬 탁월하다 하더라도, 그 AP가 큰 트래픽 부하를 가지고 여러 노드들을 서비스 해주고 있는 환경이라면 충분한 성능을 보장받기 힘들게 된다는 것을 의미한다. 결과적으로 핸드오프를 수행하는 노드는 좋은 링크 품질뿐만 아니라 적절한 트래픽 부하를 갖는 AP를 선택해야만 한다. 따라서 이러한 사실은 우리에게 IEEE 802.11 핸드오프 수행 단계에서 적절한 AP를 선택하는데 있어서 올바른 척도(Criteria)를 결정하는데 중요한 요소로 고려해야 할 필요가 있다.

지금까지 IEEE 802.11 핸드오프에 관해서 관련된 몇 가지 중요한 연구들이 진행되어 왔다. 실험에 의한 분석을 통한 IEEE 802.11 핸드오프 연구[7, 13]에서는 전체 시간지연의 대부분이 바로 주변 AP 검색과정에 집중된다는 사실과 그 원인은 바로 검색 과정에서 모든 채널을 검사해야 하는 일에서 기인했다는 결론을 얻을 수가 있었다. 따라서 Sangho Shin과 Andrea G. Forte[12]에서 선택적인 채널 검색 알고리즘과 캐쉬 메모리를 이용해 채널 검색에서의 시간지연을 줄이는 방법을 제안했다. 하지만 이러한 방식은 핸드오프 시간지연을 단축하는데 성공적인 공헌을 하지만, 가장 좋은 채널을 가진 AP는 단지 가장 좋은 수신 신호세기에만 기반해 선택하는 방식을 채택하고 있기 때문에 혼잡정도가 존

제하는 네트워크 상황에서는 결코 충분히 좋은 성능을 보장함을 의미한다고 볼 수는 없다.

### 1.3 본 논문에서 제안하는 것

위에서 언급한 관련연구들의 대부분은 나름대로의 성능향상에 기여하고 있는 반면에, 핸드오프 수행 시 AP를 평가하는 과정에서 기본적으로 수신신호의 세기에 기반하는 핸드오프 결정 척도에 초점을 맞추고 있다. 하지만 사용자와 AP 사이에 좋은 링크를 갖는 상황이라 할지라도 하나의 공유매체에서 경쟁하기 때문에 선택된 AP는 경쟁에 의한 충돌과 같은 요소와 높은 트래픽 부하가 있는 상황에서는 항상 최고의 성능을 보장해 주지 못한다. 따라서 이 논문에서는 매체접속제어 방식을 고려해서 서비스 수준을 향상시키기 위해서, IEEE 802.11 핸드오프에서의 새로운 AP 선택방식을 제안하고자 한다. 네트워크에서 트래픽 부하를 좌우하는 실제적인 유효 노드 수(Effective Number of nodes)와 가용 대역폭(Available Bandwidth)을 추정적인 방법을 통해, 네트워크 수준의 정보를 도출하고, 이것들을 주변 AP 검색과정에 반영하여 여러 후보 AP들로부터 최적의 성능을 성취할 수 있는 AP를 선택하는 것이 이 논문의 주된 목적이 된다.

이 논문의 앞으로의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 IEEE 802.11 표준, 즉 물리계층(PHY)과 매체접속제어(MAC)에 대해서 간략하게 소개한다. 다중 AP들로 구성된 무선랜 환경에서의 IEEE 802.11 핸드오프 과정과 우리가 제안하게 되는 AP를 선택하는 새로운 척도에 관해서 3장에서 설명한다. 4장에서는 이 새로운 핸드오프 방식을 지원하기 위해 필요한 네트워크 수준의 정보를 AP에서 계산된 충돌확률로부터 새롭게 유도해 내는 과정을 보여주고자 한다. 또한 5장에서는 기존 방식의 핸드오프 알고리즘과 우리가 제안하는 서비스의 질을 보장하는 핸드오프 방식에 대한 비교와 분석 결과를 산출하고 평가하며, 마지막으로 6장에서 이 논문의 결론을 맺는다.

## II. IEEE 802.11 표준

### 2.1 IEEE 802.11 물리계층과 매체접속제어 계층

IEEE 802.11 물리계층은 기본적으로 2.4GHz 또는 5GHz의 비인가 대역(산업, 과학, 의료를 위한 대역)에서 동작한다. 오늘날 CCK(Complementary

Code Keying)과 확산대역다중접속방식(DSSS)을 사용하여 2.4GHz대역에서 1-11Mbps를 지원하는 IEEE 802.11b은 가장 많이 사용되는 물리계층이다[2]. 보다 향상된 방식인 IEEE 802.11a는 5GHz대역에서 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)을 사용하여 6-54Mbps의 데이터 속도를 지원하면서 최근 시장에 조금씩 구현되고 있다[3]. 얼마 후에는 2.4GHz대역에서 기존의 CCK/DSSS와 함께 OFDM을 사용하는 IEEE 802.11g에 대한 표준화 작업이 거의 마무리 되어 가고 있는 상황이다[4].

IEEE 802.11 매체접속제어(MAC)은 두 가지 종류가 있다. 그것은 CSMA/CA(Carrier Sensing Multiple Access with Collision Avoidance)에 기반한 의무적인 DCF(Distributed Coordination Function) 방식, 그리고 폴링방식에 기반하는 PCF(Point Coordination Function)이 바로 그것이다. 오늘날 현실적으로는 DCF가 IEEE 802.11 제품의 대부분을 차지하고 있다.

무선랜에서는 오직 하나의 노드가 하나의 매체를 공유하게 되므로 다른 노드들은 채널상에서 일어나는 충돌을 듣지 못하기 때문에 충돌을 피할 수 있는 방법에 강구되어야 한다. 채널감지는 물리계층 채널감지(physical layer carrier sensing)와 가상 채널감지(virtual carrier sensing)의 형태로 가능하다. 노드가 데이터를 전송하기 전에, 먼저 매체채널이 비어(idle)있는지 판단한다. 그림 2에서 보는 바와 같이 DIFS(Distributed Inter Frame Space)라는 시간간격 보다 더 긴 시간동안 비어있다고 채널이 감지되면, 노드는 곧바로 패킷을 전송하게 된다. 만약 채널이 비어있지 않다고 감지가 되면 노드는 채널이 빌 때까지 기다리는데 이때 임의의 백오프 카운터(backoff counter) 숫자를 선택하면서 백오프 과정을 시작하게 된다. 매체가 비어있는 한, 백오프 카운터는 매 타임슬롯(time slot)마다 줄어들게 되고, 그 카운터의 값이 0이 되자마자 전송을 시작한다. 여기서 만약 백오프 도중 다시 다른 노드가 전송을 하게 된다면 카운터 값은 채널이 다시 빌 때까지 고정(freeze)되게 된다. 임의의 백오프 카운터를 선

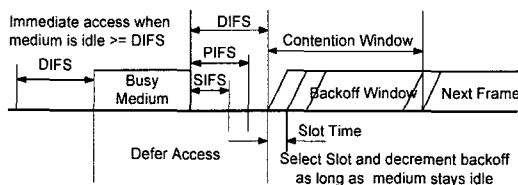


그림 2. IEEE 802.11 DCF 채널 접속방식

택하기 위해서 각각의 노드는 경쟁윈도우 값(contention window value)을 유지하는데 이것은 다음과 같은 관계로 나타낸다.

$$CW^+ \leq 2(CW + 1) - 1 \quad (1)$$

이러한 백오프 카운터는 [0, CW]사이에서 균등한 확률을 갖는 하나의 값으로 선택된다. 처음에 초기 값인 CWmin이 할당되고, 전송이 실패할 때마다 백오프 카운터 값은 기하급수적으로 증가된다. 일단 CW값이 CWmax에 이르면 리셋이 될 때까지 그 값을 계속 유지한다. 매체에 접속하는 우선순위는 IFS(Inter Frame Space)간격에 의해 제어된다. IEEE 802.11표준[1]에서는 Short IFS (SIFS), PCF IFS (PIFS), DCF IFS (DIFS), 그리고 Extended IFS (EIFS)등의 네 가지의 다른 종류의 시간간격을 정의하고 있다.

### 2.2 다중의 AP(Access Point) 환경

IEEE 802.11 무선랜은 전형적으로 여러 개의 AP에 의해서 서비스가 제공되는 구조를 갖는다[11]. 하나의 AP가 맡는 통신범위를 기본 서비스 집합(Basic Service Set)이라 하며, 그 안의 각 이동노드들은 서비스를 제공하는 하나의 AP와 통신하게 된다. 이동노드는 하나의 AP에서 다른 AP로 움직일 수 있는데 이러한 변화과정을 핸드오프 (Hand-off)라고 한다.

하나의 AP가 집이나 작은 핫 스팟 지역을 담당하기에 충분한 반면에, 넓은 규모의 핫 스팟 지역이나 보다 큰 사업지역을 감당하기 위해서는 여러 개의 AP들이 필요하게 마련이다. 사실 지금까지 IEEE 802.11 표준은 의도적으로 다중의 AP들 사이에 정교한 이동성 지원과 끊임없는 접속성을 크게 고려해 설계되지 않았기 때문에, 이동성 차원의 성능향상에 대해서는 다소 소홀하게 여겨왔다. 하지만 오늘날 사용자의 이동성에 대한 요구가 증가되어 감에 따라 더욱 효율적인 핸드오프의 지원이 무선랜에서 강조되기 시작했다 [15]. 우리는 다음 3장에서 이러한 핸드오프 과정에 대해 보다 자세하게 설명하기로 한다.

## III. IEEE 802.11 무선랜에서의 핸드오프 과정

### 3.1 IEEE 802.11표준에서의 핸드오프

표준에서 정의한 IEEE 802.11 핸드오프는 그림 3에서 보듯이 (i) 검색과정 (probe phase), (ii) 재인

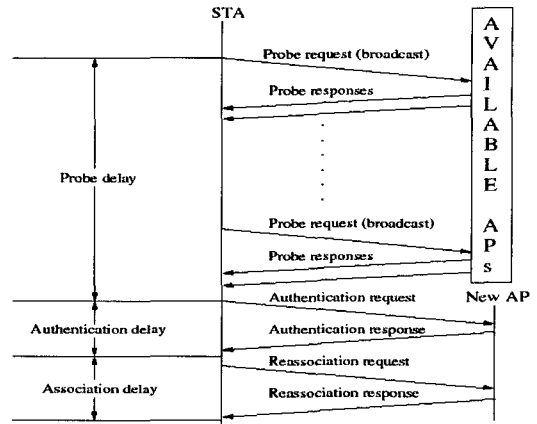


그림 3. IEEE 802.11 핸드오프에서 메시지 교환

증(Re-authentication), (iii) 재연결(Re-association)의 세 가지 논리적 단계를 갖는다.

#### 3.1.1 검색과정 (probe phase)

이동노드가 AP에서 떨어져 움직일 때 수신하는 신호의 세기와 그 밖은 다른 네트워크 상황들이 악화되는데, 이것이 바로 핸드오프를 시작하게 한다. 따라서 이 시점에서 이동노드는 연결하고자 하는 다른 AP를 찾을 필요가 있는데, 이것은 MAC계층의 검색(scanning)기능에 의해 실행된다. IEEE 802.11표준[1]은 두 종류의 MAC계층 검색기능을 제공하는데, 그것은 적극적 검색(active scanning)과 소극적 검색(passive scanning)이다.

적극적 검색은 이동노드가 무선 채널 매체에 프로브 요청 프레임 (Probe Request Frame)을 전송한 후 수신되는 프로브 반응 프레임 (Probe Response Frame)을 이용해 주변의 AP의 존재를 알게 된다. 기본적인 적극적 검색 과정은 다음과 같다.

- 1) CSMA/CA를 이용한 전형적인 채널 접근방식이 사용된다.
- 2) 하나의 채널을 목표로 프로브 요청 프레임을 브로드캐스팅 한다.
- 3) 프로브 타이머를 시작한다.
- 4) 채널을 들으면서 프로브 반응을 기다린다.
- 5) MinChannelTime이내에 반응 프레임이 도착하지 않으면 그 채널은 사용하지 않는 것으로 간주하고 다음 채널을 검색한다.
- 6) MinChannelTime이내에 하나 이상의 반응 프레임이 도착하면 MaxChannelTime이 될 때까지 모든 반응을 받아들이고 그 프레임들을 처

리한다.

- 7) 다음 채널로 이동해 같은 과정을 모든 채널에 대해 수행한다.

소극적인 검색은 검색 중 추가적인 네트워크 트래픽 부하를 발생시키지 않고, 에너지 소모가 적기 때문에 보다 매력적인 방식이다. 어떤 도메인에서 적극적 검색방식이 제한이 될 경우 소극적 검색만 유일하게 사용해야 할 때 유용하게 사용된다. 하지만 이러한 장점에도 불구하고, 소극적 검색은 비콘(beacon)신호를 받기 위해서 비콘 간격(약 100ms) 동안 매번 기다려야 하기 때문에 적극적 검색보다 다소 큰 검색시간을 갖는 것이 단점이다. 물론 이러한 방식들 사이에는 장단점의 교환(tradeoff)은 존재한다. 최근에 IEEE 802.11 무선랜 검색과정에서의 효율성을 향상시키는 방법들이 제안되었다[12, 13].

결국 이러한 방법으로 모든 채널을 검색한 후에 이동노드는 핸드오프를 하기 위한 적절한 AP를 선택하는 작업을 수행하게 된다.

### 3.1.2 재인증 과정 (Re-authentication)

핸드오프 하고자 하는 AP를 선택한 후에, 인증과정을 거친다. 이 과정은 이동노드가 AP에게 자신이 유효한 노드라는 사실을 증명함으로써 인증을 받는 것을 의미한다. 이것은 예전의 AP로부터 자격정보와 상태정보의 이동 및 교환을 포함한다. 이것은 IAPP(Inter Access Point Protocol)을 통해 달성되는데, 이 부분은 IEEE 802.11f[5]에서 보다 자세하게 정의하고 있다.

### 3.1.3 재연결 과정 (Re-association)

인증이 완료된 후 이동노드는 새로운 AP와 다시 연결해 통신을 지속해야 할 필요가 있는데 이것은 재연결 요청/반응 프레임(Re-association Request/Response Frame)의 교환을 통해서 이루어진다. 이 요청 프레임은 새로운 AP가 예전 AP와 통신하기 위해서 예전 AP의 물리적 MAC 주소를 가지고 있어 보다 효율적인 핸드오프를 지원한다. 이러한 교환 방식을 이용해 이동노드는 새로운 연결 계정(association Identification)를 할당받고, AP는 적절한 통신을 위해 새로운 AP에서 제공되는 전송 속도 등, 필요한 몇 가지 정보를 알려주게 된다.

## 3.2 핸드오프 시 새로운 AP선택 기준

IEEE 802.11 무선랜은 보통 다음과 같은 상황으로부터 핸드오프를 시작하게 된다.

- (1) 이동노드가 하나의 BSS를 지나 다른 곳으로 이동 중 셀 경계지역을 지날 때
- (2) 현재 통신하고 있는 AP로부터 수신된 신호세기가 어떤 임계값 아래로 떨어져 통신이 더 이상 어려워 질 때
- (3) 증가하는 트래픽의 부하 때문에 현재의 서비스의 질(Quality of Service)이 저하되었을 때

위에서 언급한 요인들 중에서 (3)은 특히 하나의 매체를 경쟁적으로 공유하는 IEEE 802.11에서 핸드오프 시 민감한 요소가 아닐 수 없다. 이것은 통신하는 노드들이 증가할수록 노드들의 혼잡 참여 정도가 신호의 세기가 강하더라도 성능을 저하시킨다는 것을 의미한다. 따라서 우리는 무선랜 핸드오프 시 가장 우수한 네트워크를 선택하기 위해서, 신호의 세기뿐만 아니라 네트워크 수준의 정보들을 이용하는 새로운 방법은 제안하기로 한다.

검색과정(probing process)을 통해 이동노드와 AP 사이에 핸드오프 메시지를 교환한 후 우리는 다음과 같이 제안하는 일반적인 핸드오프 비용 함수(Handoff Cost Function)를 이용해 어떤 AP가 최적의 조건을 갖춘 것인지를 판단하게 된다.

$$C_n = \sum_i W_i \cdot P_i^n \quad (2)$$

여기에서  $W_i$ 는 AP 선택을 위한  $i$ 번째 매개변수에서의 가중치(weight factor)를 나타내며,  $P_i^n$ 은 검색된  $n$ 번째 AP의  $i$ 번째 매개변수를 갖는 핸드오프 비용(handoff cost)을 의미한다. 매개변수  $i$ 는 검색된 AP중 최적의 AP를 판단하기 위한 지표 중에서 몇 가지를 의미하는데 본 논문에서는 다음과 같은 두 가지를 적용한다.

- $i=0$ : 통신 링크의 질 또는 수신신호 강도
- $i=1$ : 네트워크 수준의 부하정도와 가용 대역폭

결국 우리의 궁극적인 목적은 사용자의 기호에 따라 가중치를 달리해 요구되어 지는 핸드오프 지표에 기반하여, 검색된 여러 후보 AP들 중에서 위에 언급한 핸드오프 비용 함수값을 최대화 시키는 최적의 AP를 선택하는 것이다. 물론 이러한 새로운 지표의 사용은 핸드오프 과정에서 약간의 복잡스러움을 증가시켜 기존의 방식보다 핸드오프를 결정할 때 다소 모호하게 할 수도 있다. 하지만 동시에 여러

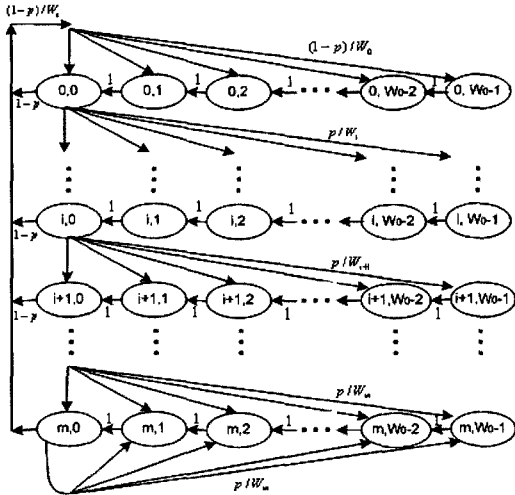


그림 4. 백오프 경쟁윈도우 분석을 위한 Markov 모델

가 지표를 평가하는 핸드오프 비용 함수의 제안은 무선랜의 채널 공유 특성(CSMA/CA)을 반영하게 되어 전체적인 무선랜 성능 향상을 가능하게 하는 중요한 의미를 갖는다. 다음 장에서는 네트워크 수준의 정보들, 즉 유효 참여 노드의 수(effective number of nodes)와 가용 대역폭(available bandwidth)을 AP에서 측정된 충돌확률로부터 유도해 내는 방법을 보여주고, 서비스 질(QoS) 보장을 위해 보다 효율적인 핸드오프 알고리즘을 기술하고자 한다.

#### IV. 네트워크 수준의 트래픽 정보 유도

##### 4.1 IEEE 802.11 DCF의 분석

지금까지 IEEE 802.11 DCF에 대한 다양한 분석 방법들이 제안되어 왔다. 특히 Bianchi G. [6]과 P. Chatzimisios[9]은 IEEE 802.11의 백오프 매커니즘을 분석하는 가장 기본적인 방법을 제안했다. 그들은 공통적으로 다음과 같은 사실을 가정한다.

- 네트워크는 n개의 경쟁노드들로 이루어 짐
- 각각의 노드들은 항상 보낼 패킷이 존재함
- 전송된 패킷의 충돌확률 p는 일정하고, 재전송 파는 독립적으로 측정 됨

물론 우리 또한 이러한 세 가지 가정들을 마찬가지로 네트워크 수준의 정보를 유도해 내는데 적용한다. 노드의 백오프 값은  $[0, W_i]$ 의 범위에서 균일한 확률로 선택되는데, 여기에서  $W_i$ 는 현재의 경쟁

윈도우(CW:contention window)의 크기이며  $i$ 는 백오프 단계이다. 그리고  $W_{min}$ 을 CW의 최소값이라고 하고, m을 최대 백오프 단계라고 한다면  $i$ 번째 단계에서의 CW는  $W_i = 2^i \cdot W_{min}$ ,  $i \in [0, m]$ 가 된다. 참고로 IEEE 802.11b표준 [2]에서는  $CW_{min} = 32$ ,  $CW_{max} = 1024$ ,  $m=5$ 로 정의하고 있다.

그림 4에서 보는 바와 같이 이산시간 Markov Chain 모델로부터 한 노드가 임의로 선택된 하나의 시간구간에 패킷을 전송하려는 확률  $\tau$ 는 아래와 같이 표현될 수 있다[6, 9].

$$\tau = \frac{2 \cdot (1-2p)}{(1-2p) \cdot (W_{min} + 1) + p \cdot W_{min} \cdot (1-(2p)^m)} \quad (3)$$

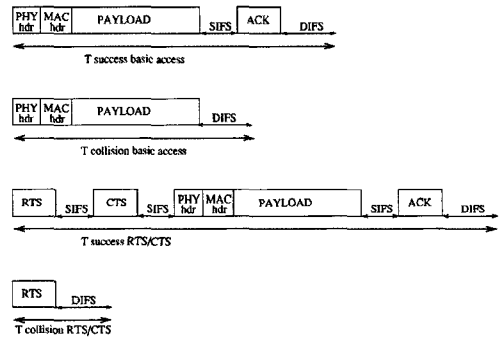


그림 5. 기본 액세스와 RTS/CTS 액세스 방식

그리고 n개의 노드에서, 전송된 패킷이 충돌을 경험하는 확률 p는 다음과 같이 계산될 수가 있다.

$$p = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \quad (4)$$

(3)과 (4)는 서로 비선형적인 관계를 가지고 있으며, 이것은 수치 해석적 방법으로 풀 수가 있다.

4.2 유효 노드 수와 가용 대역폭의 수학적 유도 이 부분에서 우리는 위에서 알려진 분석결과를 토대로 네트워크 수준의 정보인 유효 노드 수와 가용 대역폭을 유도해 내하고자 한다.

먼저 IEEE 802.11은 기본적 액세스(basic access)와 RTS/CTS 액세스라는 두 가지의 채널 액세스 방식을 갖는다(그림 5). 여기서 우리는 모든 채널 액세스 방식으로 RTS/CTS 방식을 사용한다고 가정하도록 한다. 그림 5에서  $i$ 번째 노드가 성공적으로 패킷을 전송하는 시간  $T_{data}^i$ 는 다음과 같다.

$$T_{data}^i = T_{success}^i + T_{backoff}^i \quad (5)$$

여기서  $T_{success}^i$ 는 패킷을 성공적으로 전송하는데 필요한 시간이고,  $T_{backoff}^i$ 는 평균 백오프 시간 (average backoff interval)이다. 기본방식 뿐만 아니라 RTS/CTS 방식에서도 마찬가지로 모든 패킷을 전송할 때에는 항상 일정한 물리적 헤더(physical header)부분이 포함한다는 사실을 주시할 필요가 있다. 그러므로  $T_{success}^i$ 는 다음과 같이 자세히 표현될 수 있다.

$$T_{success}^i = T_{phy} \cdot 4 + DIFS + T_{RTS} + T_{CTS} + T_{msdu} + SIFS + T_{ack} \quad (6)$$

$T_{phy}$ 는 물리적 헤더가 전송되는데 걸리는 시간을 나타내며,  $T_{msdu}$ 는 MAC 수준에서의 데이터 (MSDU) 전송에 필요한 시간을 의미한다. 기본적으로 우리가 선택한 RTS/CTS 채널 액세스 방식의 경우, 충돌은 오직 RTS 프레임 전송시에만 일어날 수 있다. 따라서 충돌시간  $T_{collision}$ 은

$$T_{collision} = T_{phy} + T_{RTS} + DIFS \quad (7)$$

으로 정의할 수 있다.

그림 4의 이산시간 Markov chain 모델을 이용하여 우리는 백오프 시간  $T_{backoff}$ 와 평균 경쟁 윈도우 크기  $W_{avg}$ 를 다음과 같은 관계식으로 구할 수가 있다.

$$T_{backoff} = T_{slot} \cdot W_{avg} \quad (8)$$

$$W_{avg} = \sum_{i=1}^m q_i \cdot W_i = \frac{(1-2p)(W_{min}+1) + pW_{min} \cdot (1-(2p)^m)}{2(1-2p)(1-p)} \quad (9)$$

수식 (4)로부터 전송확률  $\tau$ 는 평균 백오프의 크기와 연관되어 있어, 우리는 명확하게도 충돌확률  $p_c$ 는 평균 백오프 크기  $W_{avg}$ 에 의존한다는 것을 알 수가 있다. 이것은 바로 임의로 선택된 하나의 시간 구간에 패킷을 전송하려는 확률  $\tau$ 가 경쟁 윈도우의

크기가 커질수록 감소하기 때문이다. 따라서 우리는 수식(4)로부터 충돌확률  $p_c$ 를 다음과 같은 관계로 나타낼 수 있게 된다.

$$p_c = 1 - \left(1 - \frac{1}{W_{avg}}\right)^{n_e-1} \quad (10)$$

여기서  $n_e$ 는 유효 노드 수를 나타내며, 이것은 실제적으로 네트워크의 트래픽 부하의 정도를 간접적으로 알 수 있는 지표로 노드의 수와 같은 개념으로 나타낸 것을 의미한다. 이러한 간단한 수학적 계산으로, 우리는 결국 다음과 같은 수식에 의해 네트워크 수준의 정보중 하나인 유효 노드 수(effective number of nodes)를 다음과 같이 유도해 낼 수가 있다.

$$n_e = 1 + \log_{(1-1/W_{avg})}(1-p_c) \quad (11)$$

다행히도 우리는 수식 (10)에서 계산되는 충돌확률은 실제적으로 AP의 NIC(Network Interface Card) 차원에서 간단하게 측정될 수 있으며, 이것은 AP 역시 무선 네트워크상의 어떠한 통신 채널에서 다른 노드들처럼 하나의 경쟁노드 중에 하나로 채널 경쟁에 참여하기 때문이다[8].

또한 이러한 유도과정으로부터, 검색된 채널에서 사용되고 있는 대역폭  $BW_c$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$BW_c = \frac{\sum_{i=1}^{n_e} D_{i,msdu}}{(1-p_c) \cdot \sum_{i=1}^{n_e} T_{i,data} + p_c \cdot (n_e-1) \cdot T_{collision}}, \text{ and } \{i \in \text{the effective number of nodes}\} \quad (12)$$

검색된 네트워크(AP)의 최대 용량이  $BW_{max}$  이라고 한다면 마지막으로 우리가 추정할 수 있는 네트워크 수준 정보 중에 다른 하나인 가용 대역폭  $BW_{av}$ 은

$$BW_{av} = BW_{max} - BW_c \quad (13)$$

이다. 예를 들어 11Mbps를 지원하는 IEEE 802.11b 네트워크에서, 추정된  $BW_c$ 가 8Mbps이라면 이동노드가 핸드오프를 완료한 후 이동한 네트워크에 참여해 기대할 수 있는 예상 대역폭은 3Mbps가 될 것이라 판단할 수가 있다.

위에서 유도한 네트워크 수준의 정보들은 IEEE 802.11 핸드오프 과정의 검색과정 후에 바로 적용

될 수 있다. 이러한 서비스 질 향상을 위한 복합적인(Hybrid) AP 선택 지표를 적용한 새로운 핸드오프 방법은 다음 장에서 구체적으로 설명하도록 한다.

### 4.3 제안하는 새로운 IEEE 802.11 핸드오프 알고리즘

이번 장에서 우리는 핸드오프의 검색과정에서 사용되는 검색 요청 프레임(probe request frame)과 검색 반응 프레임(probe response frame)의 수정을 통해 서비스 질 향상을 지원하는 효율적인 알고리즘을 제안하고자 한다. 검색 함수는 적극적인 MAC 검색 함수(MAC active function)을 사용하며, 그 동작과정은 다음과 같다.

- (1) Probe request frame에 SSID와 BSSID를 함께 포함시켜 검색 채널에 broadcast한다.
- (2) ProbeTimer를 시작한다.
- (3) ProbeTimer가 MinChannelTime이 되기 이전에 채널이 비어있다면 다음 채널을 검색하고, 비어있지 않다면 ProbeTimer가 MacChannelTime에 닿을 때 까지 기다리며, 받은 모든 반응 패킷을 처리하고 다음 채널을 검색하게 된다.

그림 7은 제안하는 핸드오프 과정의 전체적인 흐름을 플로우차트(flow chart)로 나타내고 있다. 이러한 적극적 핸드오프 과정에서 이동노드는 프로브 요청 프레임을 전송하고 그림 6과 같은 프레임 구조를 갖는 프로브 반응 프레임을 기다리게 된다. 핸드오프 요청 프레임을 받은 AP는 이전 IV장에서 유도한 네트워크 수준의 정보들을 프로브 반응 프레임의 Capability Information 부분에 삽입하고, 이것은 다시 핸드오프를 요청한 노드에게 전달된다. 이러한 과정에서 AP를 검색하는 이동노드는 모든

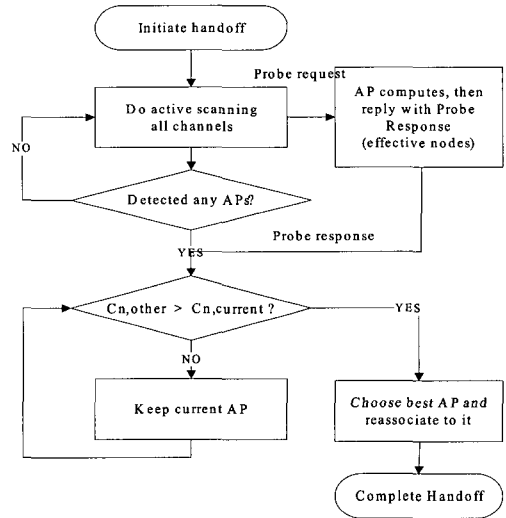


그림 7. 제안하는 IEEE 802.11 핸드오프 알고리즘

프로브 반응 패킷을 수집한 후, 이것에 담겨있는 네트워크 수준의 정보들과 신호의 세기 등을 이용해 III장에서 제안한 핸드오프 비용 함수값을 최대화시키는 AP를 비교해 최적의 AP를 선택하게 된다. 만약 지금 현재 통신하고 있는 AP보다 우수한 AP가 발견되지 않았을 경우 기존의 AP와 통신을 계속 유지하게 된다.

## V. 모의실험의 결과와 성능비교

이번 장에서 우리는 수학적 분석과 모의실험을 우리가 제안하는 알고리즘의 성능향상에 대해서 논의하고자 한다. 제안하는 핸드오프 알고리즘에 대한 이해적인 증명을 위해서, 네트워크 성능 분석에 널리 알려진 ns-2 시뮬레이터를 이용한다[14]. 우리의 모의실험에서 AP를 포함한 모든 노드들은 경쟁에 참여할 때 항상 보낼 패킷이 존재한다는 포화상태(Saturated Condition)의 채널환경과 최선의 노력(Best Effort)을 하는 패킷 전송방식을 갖는다고 가정한다. 게다가 모든 AP들은 300mX300m 사각공간에서 임의의 위치를 가지고 있으며 그 공간을 하나의 이동노드가 무작위로 움직인다고 가정했다.

위에서 우리가 유도한 (10)에서의 결과를 도출해 보면 그림 8에서 보는 바와 같이, 충돌확률은 경쟁하는 노드의 수, 즉 유효 노드 수와 깊게 연관되어 있음을 알 수가 있다 [10]. 게다가 충돌확률은 평균 경쟁 윈도우의 크기  $W_{avg}$  와 상호 연관되어 있기 때문에, 우리는 이것을 반복적 해석 방식(Iterative

Order	Information	Notes
1	Timestamp	
2	Beacon interval	B0 B1 B2 B3 B4 B5 B15
3	Capability information	ESS IBSS CF CF Prot. Request Privacy Reserved
4	SSID	
5	Supported rates	Order: ← 2 →
6	FH Parameter Set	The FH Parameter Set information element is present within Probe Response frames generated by STAs using frequency-hopping PHYs.
7	DS Parameter Set	The DS Parameter Set information element is present within Probe Response frames generated by STAs using direct sequence PHYs.
8	CF Parameter Set	The CF Parameter Set information element is only present within Probe Response frames generated by APs supporting a PCF.
9	IBSS Parameter Set	The IBSS Parameter Set information element is only present within Probe Response frames generated by STAs in an IBSS.

그림 6. IEEE 802.11 Probe Response Frame Body



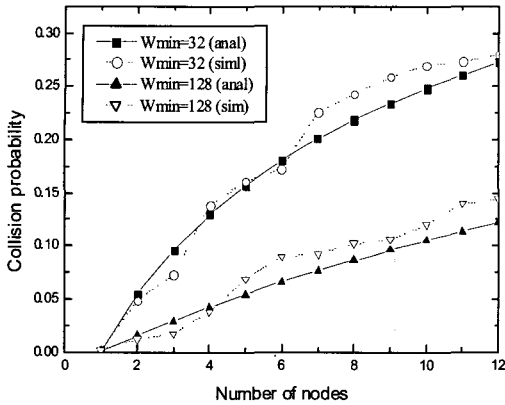


그림 8. 노드 수와 충돌확률에 대한 비교

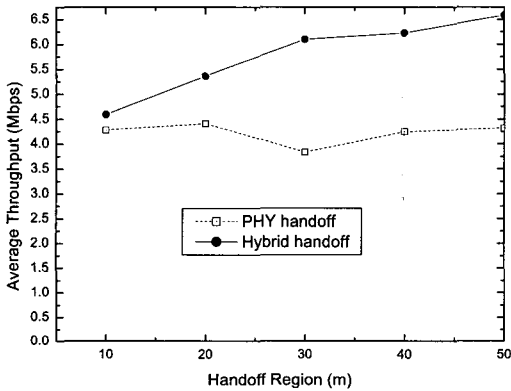


그림 9. 성능 비교 : throughput - 핸드오프 지역

analysis method)으로 계산할 수가 있다. 사실적으로 패킷의 충돌확률에 기반하여, AP는 네트워크 드라이버에서 충돌확률을 계산할 수 있다. 우리가 이러한 실험에서 알게 된 사실은 충돌확률은 0.3 정도의 일정한 값으로 수렴한다는 사실이다. 초기 윈도우 크기가 증가함에 따라 작은 충돌 확률은 작은 윈도우 크기에 대해서는 우리는 점차적으로 둔하게 증가함을 알 수가 있다. 모의실험 결과로부터, 큰 초기 윈도우 크기에서 일정한 충돌확률에 대해서 노드의 증가는 보다 큰 경쟁을 야기하게 되어 결과적으로 경쟁 노드들에 대한 백오프 시간은 증가하게 되고, 이것은 결국 RTS/CTS를 사용하는 채널 액세스 환경에서 더 큰 성능저하를 가져오게 한다.

여기에서 우리는 우리가 3, 4장에서 제안했던 AP

선택을 위한 새로운 지표를 가지고 서비스의 질 향상을 보장을 성취할 수가 있다. 우리가 초점을 맞추고자 하는 것은 최적의 표적 네트워크 즉 핸드오프하고자 하는 후보 AP를 결정하는 것이다. 그림 9은 기존의 신호의 세기에 기반한 방식 <sup>1)</sup>PHY handoff 과, 이것에 우리가 제안한 핸드오프 알고리즘을 추가 적용한 방식 <sup>2)</sup>Hybrid handoff와의 성능향상을 비교하고 있다. 핸드오프 구간이 증가함에 따라, 말하자면 핸드오프가 시작되는 <sup>3)</sup>교차지역 (Handoff Region)의 크기가 커짐에 따라 제안하는 핸드오프는 신호세기만 고려한 핸드오프에 반해서 보다 throughput의 향상을 가져옴을 알 수가 있다. 여기서 우리는 핸드오프 웨이팅 매개변수  $W_i$ 로  $i=0, 1$ 에 대해서 각각 0.2, 0.8을 모의실험에 적용했다.

핸드오프 적용지역에 덧붙여서, IEEE 802.11 MAC과 같은 CSMA/CA 프로토콜의 성능은 정확하게 서비스 되고 있는 트래픽 부하에 영향을 받는다. 그림 10에서 보듯이 노드 부하의 편차(Node density deviation)가 0.5 이하로 낮은 상황에서는 예상대로 우리가 제안하는 방식(Hybrid handoff)이

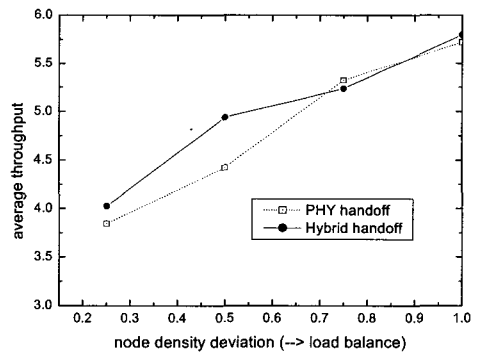


그림 10. 성능 비교 : throughput - 부하 균형화 인수

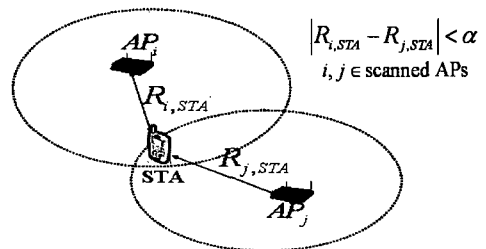


그림 11. 핸드오프 교차지역 (Handoff Region)

1) 이동노드가 측정하는 신호의 세기(RSS)만을 기준으로 판단하는 handoff 방식  
 2) 기존의 신호의 세기와 네트워크 수준의 정보들 (유효 노수 수, 가용 대역폭)을 동시에 적용한 알고리즘에 기반한 handoff 방식  
 3) 시뮬레이션상에서 셀과 셀이 겹치는 부분에서 노드와 AP들 사이의 거리 차 (그림 11에서 alpha값)

더 좋은 성능을 보인다. 하지만 균형있게 분포된 트래픽 부하는 우리의 매카니즘에서 별 영향력이 없다는 사실을 확인 할 수 있다. 이것은 만약에 셀이 균형있는 트래픽 부하를 갖는 상황에서 우리의 알고리즘을 적용할 경우, 비슷한 수준의 네트워크 정보들을 갖는 AP들의 분포가 증가할 것이기 때문이다. 하지만 최초 셀의 설계 단계에서는 어느 정도 부하가 균일하도록 설계되었지만, 실제 필드에서는 일시적인 셀 간의 불균형이 충분히 예상되는 만큼 우리 알고리즘은 트래픽의 쏠림현상이 심한 열악한 환경에서 더욱 좋은 성능 보장한다. 이것은 곧 전체적인 시스템의 측면에서 기존의 방식, 즉 (PHY handoff)만을 사용했을 때에 비해 추가적인 이득을 얻을 수가 있다.

## V. 결론

본 논문에서, 우리는 IEEE 802.11 무선랜의 핸드오프에서 주변 AP를 검색하는 과정에서 수정된 방법을 적용해 서비스의 질 향상을 보장하는 새로운 핸드오프 알고리즘을 제안하였다. 검색된 여러 후보 AP들 중에서 가장 우수한 AP를 선택하는 과정에서 신호의 세기만을 고려하는 기존의 지표는 항상 최고의 성능을 보장하는 것은 아니다. 이것은 주변의 AP가 아무리 좋은 질의 신호품질을 갖는다 하더라도 하나의 매체를 경쟁적으로 공유하는 IEEE 802.11 MAC에서는 노드 수와 혼잡정도가 큰 영향을 미치기 때문이다. 따라서 새로운 AP를 선택하는 과정에서 서비스 질을 보장하는 핸드오프를 구현하기 위해서, 우리는 추가적인 AP선택 지표와 새로운 핸드오프 알고리즘을 제안했다. 이 지표는 서비스 질의 요구를 반영하는 핸드오프 비용 함수를 포함하고 있으며, 이것을 이용해 우리는 이동 노드가 네트워크 수준의 정보를 활용한 서비스 질 지향적인 핸드오프를 가능하게 했다. 말하자면 우리는 물리적 계층의 감지에 덧붙여서 네트워크 수준의 정보, 즉 유효 노드 수와 가용 대역폭을 AP의 NIC(Network Interface Card)에서 측정된 충돌확률로부터 유도하는 방법을 제시했다. 결과적으로 우리의 알고리즘을 적용한 모의실험 결과는 기존의 신호세기에만 의존한 핸드오프보다 향상된 성능을 보임을 확인 할 수가 있었다.

앞으로 해결해야 할 일로써, 우리는 심한 부하가 존재하는 네트워크를 대상으로 트래픽을 분산시키는 부하 균형화 (load balance)를 구현하는 방법을 찾

을 필요가 있다. 또한 우리가 제안하는 알고리즘의 실제적인 장점을 부각하기 위해서, 사용자의 기호, 가격 정책 등, 보다 다양한 AP선택 지표를 적용한 알고리즘으로 발전시켜야 할 필요가 있다고 저자는 예상한다.

## 참고 문헌

- [1] IEEE Std. 802.11-1999, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications, Reference number ISO/IEC 8802-11:1999(E), IEEE Std. 802.11, 1999 edition, 1999 IEEE
- [2] IEEE Std 802.11b-Supplement to Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications: High-speed Physical Layer Extension in the 2.4GHz Band, IEEE Std. 802.11b-1999, 1999
- [3] IEEE Std 802.11a-Supplement to Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: High-speed Physical Layer in the 5GHz Band, IEEE Std. 802.11a-1999, 1999
- [4] IEEE 802.11g/D7.0, Draft Supplement to Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band, 2003
- [5] IEEE Std 802.11f-2003, trial-use recommended practice for multi-vendor access point interoperability via an inter-access point protocol across distribution systems supporting ieee 802.11 operation, IEEE Std 802.11f, 2003 IEEE
- [6] Bianchi G., "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function", IEEE Journal on Selected Areas in Communications (JSAC), Volume: 18, Issue: 3, Pages: 535-547, March 2000
- [7] Arunesh Mishra, Minho Shin, and William Arbaugh, "An Empirical Analysis of the IEEE 802.11 MAC Layer Handoff Process", ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Volume 33, Issue 2, Pages: 93-102,

April 2003

- [8] Sharma S., Ningning Zhu, Tzi-cker Chiueh, "Low-latency mobile IP handoff for infrastructure-mode wireless LANs", IEEE Journal on Selected Areas in Communications (JSAC 2004), Volume: 22, Issue: 4, Pages:643-652, May 2004
- [9] P. Chatzimisios, A.C. Boucouvalas and V. Vitsas, "Packet delay analysis of IEEE 802.11 MAC protocol", Electronics Letters, Volume: 39, Issue: 18, Pages: 1358-1359, 4 Sept., 2003
- [10] Hui Ma; Xing Li; Hewu Li; Peiyun Zhang; Shixin Luo; Cong Yuan, "Dynamic optimization of IEEE 802.11 CSMA/CA based on the number of competing stations", IEEE International Conference on Communications 2004 (ICC 2004), Volume: 1, page:20-24, June, 2004
- [11] Sunghyun Choi, Zhun Zhong, "Mobility support in IEEE 802.11 WLAN : Issues and enhancement", A chapter in Wireless LAN and Bluetooth, Yi Pan and Yang Xiao(Ed.), Nova Science Publisher, to be published in 2005
- [12] Sangho Shin, Andrea G. Forte, Anshuman Singh Rawat, Henning Schulzrinne, "Reducing MAC Layer Handoff Latency in IEEE 802.11 Wireless LANs", MobiWac'04, October 1, 2004
- [13] Arunesh Mishr, Minho Shin, and William Arbaugh, "Context caching using neighboring graphs for fast handoffs in a wireless network", IEEE INFOCOM 2004, 7-11 March, 2004
- [14] The Network Simulator-ns-2, [Online]. Available:<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [15] Chang-Woo Rhee, Han-You Jeong, Seung-Woo Seo, "An efficient handoff algorithm in wireless LANs", 2003년 제13회 통신정보융합기술대회 (JCCI 2003),

최 행 걸 (Haeng-Keol Choi)

준회원



2003년 2월 한양대학교 전자.컴퓨터공학부(공학사)  
 2005년 2월 서울대학교 전기.컴퓨터공학부(공학석사)  
 2005년 3월~현재 LG전자 Digital Media 연구소 연구원  
 <관심분야> WCDMA Radio Access, IEEE 802.11 무선랜, Ad-hoc network, Sensor network

김 일 환 (Il-Hwan Kim)

준회원



2001년 3월 육군사관학교 전자공학과(공학사)  
 2005년 2월 서울대학교 전기.컴퓨터공학부(공학석사)  
 2005년 3월~현재 육군 대위 근무  
 <관심분야> 센서네트워크, 무선 네트워크 라우팅, Ad hoc 네트워크 성능분석

서 승 우 (Seung-Woo Seo)

중신회원



1987년 2월 서울대학교 전기공학(학사)  
 1989년 2월 서울대학교 전기공학(석사)  
 1993년 12월 미국 펜실베이니아 주립대학 전기공학(박사)  
 1990년~1991년 서울대학교 기초전력 주립대학 조교수  
 1993년~1994년 미국펜실베이니아 주립대학 전산기공학과 조교수  
 1994년~1996년 미국 프린스턴대학 전기공학 poem 연구소  
 1996년~현재 서울대학교 전기.컴퓨터 공학부 부교수  
 <관심분야> 유/무선 네트워크, 네트워크 보안 알고리즘, 무선망 라우팅 및 다중 접속 기술, 센서네트워크