

# IEEE 802.11b Infrastructure 환경에서 저전력 통신을 위한 전송 전력 제어 기법 (A Transmit Power Control Method for Low-Power Communication in 802.11b Infrastructure Networks)

권도한<sup>†</sup>    정희록<sup>\*\*</sup>    박창윤<sup>\*\*\*</sup>    정충일<sup>\*\*\*\*</sup>  
(Do Han Kwon)    (Hee Lock Jung)    (Chang Yun Park)    (Chung Il Jung)

**요약** 본 논문에서는 802.11b 무선 LAN 환경에서 전송 전력을 제어함으로써 통신에 소비되는 전력을 절약할 수 있는 방법을 제안한다. 먼저 실험을 통해 전송 전력의 조절이 성능과 전력 소비 면에서 미치는 영향을 조사하였다. 이를 기초로 하여 TCP의 혼잡 제어 기법과 유사하게 재전송 비율을 암시적인 피드백으로 사용하여 단계적으로 적정 전송 전력을 찾는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 리눅스 시스템에서 구현하여 실험을 하였으며, 실험 결과를 통해 제안한 전송 전력 제어 방법의 타당성 및 실효성을 보였다. 제안한 방법은 통신 성능의 저하 없이 전송 전력을 제어함으로써 전력 소비를 줄일 수 있었다.

키워드 : 802.11b 무선 LAN, 전송 전력 제어, 재전송 비율, 전력 소비

**Abstract** This paper describes a transmission power control method for power saving in 802.11b wireless LANs. We have first explored how much effects reducing transmission power has on communication performance. Then we propose a power control algorithm, whose approach is similar to that of TCP congestion control, determining an appropriate transmission power level by monitoring the retransmission rate. We have implemented an utility software on a Linux-based system and made several experiments to validate the proposed method. The results show that it is possible to save energy consumption by controlling transmission power without sacrificing communication performance.

**Key words** : transmission power control, 802.11b wireless LANs, retransmission rate, energy consumption

## 1. 서론

IEEE 802.11b 표준을 중심으로 무선 LAN이 기존의 유선망이 제공하는 성능과 안정성 수준을 제공하면서 가격 면에서 경쟁성을 가지게 됨에 따라, 기존의 유선망을 대체 또는 증설해가면서 급속하게 보급되고 있다. 무선 LAN은 사무실당 하나의 액세스포인트를 보유할 정

도로 고밀도화 되는 추세이다.

이와 같은 무선 LAN의 고밀도화는 하나의 기본 서비스 집합(Basic Service Set) 영역의 축소를 의미한다. BSS 영역이 축소됨에 따라 무선 LAN 장비는 데이터 송수신을 위해 최대 전송 전력을 사용할 필요가 없다. 따라서 불필요한 전송 전력의 낭비를 막을 수 있는 전송 전력 제어의 효과를 기대할 수 있다. 또한, 무선 LAN 환경이 고밀도화 됨에 따라 여러 BSS 영역이 중첩되는 현상을 일으키고, 이는 상호 간섭으로 인한 성능의 저하를 유발할 수 있다. 낮은 전송 전력으로 통신한다면 주위의 다른 단말기들에서의 불필요한 동작을 해소시켜 전체적인 통신 용량의 증대를 가져올 수 있다.

이와 같은 이유로 본 논문에서는 무선 LAN 환경에서 전송 전력 제어의 타당성을 실험을 통해 검증한다. 그리고 전송 전력을 자동적으로 제어하는 기법을 개발하고, 실험을 통해 보다 나은 에너지 성능을 가져올 수

· 본 연구는 중소기업청 2003 산학연공동기술개발 컨소시엄사업지원으로 수행되었음

† 학생회원 : 중앙대학교 컴퓨터공학과  
dohan@orchid.cse.cau.ac.kr

\*\* 비회원 : (주)아블렉스  
nautes@orchid.cse.cau.ac.kr

\*\*\* 종신회원 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 교수  
cypark@cau.ac.kr

\*\*\*\* 정회원 : 여주대학 컴퓨터인터넷과 교수  
cijing@yeojoo.ac.kr

논문접수 : 2004년 4월 8일  
심사완료 : 2005년 1월 27일

있음을 보이고자 한다.

본 연구의 범위는 사무실 또는 공공장소에서 이동 단말기를 사용하는 인프라스트럭처 환경을 대상으로 한다. 이러한 무선 네트워크 환경은 이동 통신의 경우와는 달리 단말기가 자주 또는 갑자기 이동하는 경우는 드물며, 따라서 통신 환경의 변화도 지속적 또는 급속하게 변화하지 않고 간헐적으로 발생한다고 가정한다. 그러나 본 논문에서 제안한 전송 전력 제어 기법의 기본적인 사항은 보다 역동적인 Ad-hoc 네트워크 환경에서도 적용이 가능하리라 본다.

무선 LAN 환경에서 전송 전력을 변경하게 되면 숨겨진 노드(hidden node) 문제가 발생할 가능성이 높아진다고 알려져 왔다. 본 논문에서는 실제 무선 LAN 사용 환경에서 숨겨진 노드가 어느 정도의 현실성 있는 문제인지를 검토하였다. 그리고 전송 전력 제어가 개별 노드의 전력 및 통신 성능에 미치는 영향을 알아보고, BSS 간에는 어떤 영향을 미치는지 실험을 통해 알아본다.

본 논문에서 제안하는 전송 전력 제어 기법은 TCP의 혼잡제어 기법과 유사하다. 각 단말기는 '재전송 비율'을 암시적 피드백으로 사용하면서 전송 전력을 단계적으로 낮춘다. 적절한 수준 이하로 전송 전력을 낮추게 되면 통신이 원활하게 되지 않을 것이며, 이는 재전송 비율의 증가로 인식되어 전송 전력을 다시 높이도록 한다. 이 방법은 지속적인 재전송 비율의 확인과 같은 부하가 발생한다. 따라서 전송 전력 제어 작업 자체에 소모되는 전력을 최소화하기 위해, 이동성을 지원하는 범위에서 제어 동작의 주기를 조절할 수 있도록 하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 전송 전력을 제어하는 다양한 기법들에 대해서 알아보고, 3장에서는 전송 전력 변경의 타당성을 실험 결과를 통해서 확인한다. 4장에서는 새로운 전송 전력 제어 기법을 제시하고, 5장에서는 실험 결과를 바탕으로 전송 전력 제어 기법의 효율성을 보인다. 마지막으로 6장에서는 결론 및 향후 연구에 대해서 설명한다.

## 2. 관련 연구

무선 LAN 환경에서 전송 전력을 제어하는 목적은 소비 전력을 절약하거나 밀집된 BSS에서의 통신 용량을 확대하기 위해서이다. 무선 LAN 인터페이스에서 소비되는 전력을 절약하기 위해서 저전력 하드웨어 기술을 적용하는 기술도 많이 연구되고 있다[1]. 이러한 하드웨어 연구는 본 연구를 포함한 대부분의 통신 기법 연구와 병행해서 사용할 수 있다. 저전력 통신 기법을 개발하기 위해서는 무선 LAN 장비의 소비 전력 특성이 먼저 파악되어야 한다. [2][3]에서는 무선 LAN 장비의 상태별 소비 전력에 대한 분석을 통해 통신 기법의 전

력 효율성을 판단할 수 있는 바탕을 제시하고 있다.

통신에 소모되는 전력을 줄이기 위해 IEEE 802.11 표준에서 지원하는 기법은 전력절감모드(PSM: Power Saving Mode)가 있다[4]. PSM 방법은 데이터 통신이 이루어지지 않는 동안에 전송기의 전력을 꺼둔다. 이를 수면 상태에 있다고 한다. 수면 상태에 있는 단말에게 송신된 데이터가 있는 경우에는 액세스포인트가 이 데이터를 버퍼링하고 단말에게 받을 데이터가 있음을 알려 수면 상태에서 빠져나와 데이터를 수신할 수 있도록 한다. PSM의 성능을 향상시키기 위해 데이터 송신 상태에서 더 이상의 전송할 데이터가 없는 경우 비콘(Beacon)간격동안 기다리지 않고 바로 수면 상태로 들어가는 방법[5], 에드혹(Ad-hoc) 네트워크 환경에서 비콘(Beacon)간격을 동적으로 조절하여 전력 소비를 줄이는 방법[6], 기존의 PSM 방법이 TCP 기반 환경에서 RTT(Round Trip Time)의 증가로 인해 성능을 떨어뜨리는 것을 방지하기 위한 BSD(Bounded Slowdown) 프로토콜[7] 등의 연구가 있다.

PSM은 기본적으로 데이터 전송을 하지 않는 동안의 전력 소모를 줄이자는 방법이다. 노드가 활발히 전송을 하는 경우의 소비 전력을 줄이기 위해 전송 전력을 조절하는 방법이 연구되고 있다. 전송 전력 제어에 관한 연구는 이동 통신에서 많이 수행되어왔다[8]. 그러나 이동 통신에서의 전송 전력 제어는 기지국과 단말기 사이에서 이루어지는 것으로서 BSS내 모든 단말들의 협조적인 동작이 이루어져야 하는 무선 LAN에는 그대로 적용할 수 없다. 무선 LAN에서의 전송 전력 제어로서 [9][10]은 데이터 전송에 필요한 최소한의 전력 레벨을 이용하기 위해서 RTS/CTS 프레임 이용하는 방법을 제안하고 있다. IEEE 802.11h 표준에서는 전송 전력 제어(Transmit Power Control) 기법을 제안하고 있다 [11]. 이 방법은 수신된 신호의 신호 세기(Received Signal Strength Indicator) 정보를 송신 쪽으로 보내서 전송 전력을 조절하도록 하는 방법이다. 그러나 802.11h의 전송 전력 제어는 기존의 802.11b에서는 적용할 수 없다.

전송 전력 제어를 MAC 계층에서 직접 하지 않고 응용 계층에서 해결하려는 연구도 제안되었다[12]. 응용 계층에서 전송 전력을 제어하면 실제 무선 LAN에서 점진적인 적용이 가능하다는 장점을 갖는다. [12]는 IEEE 802.11b에서 수신된 신호 세기를 피드백으로 제공하기 위해 TCP/IP 계층에서 패킷의 페이로드를 통해서 정보를 전달한다. 위의 연구들과 본 논문이 제시하는 방법과의 차이는 MAC 계층의 채널 정보와 같은 명시적인 피드백을 사용하지 않고 데이터 오류율을 암시적인 피드백 정보를 이용하여 각 단말이 독립적으로 제어를 한다

는 점에서 차이가 있다.

본 논문에서 제안한 방법과 유사한 연구로는 단말 쪽에서 적절한 데이터 전송률로 자동 조절하는 방법인 RBAR(Receiver Based Auroate)이 있다[13]. 이 프로토콜은 RTS/CTS를 이용한 충돌 회피 방법을 바탕으로 MAC 계층에서 적절한 데이터 전송률을 자동으로 선택하도록 한다. [13]은 본 논문에서와 마찬가지로 단말에서 자동으로 무선 LAN 환경을 판단하여 적절한 데이터 전송률을 선택한다.

전송 전력과 무선 LAN의 통신 용량과의 관계에 관한 연구도 진행되고 있다. IEEE 802.11 표준에서는 단말들 간의 통신으로 인해 발생하는 충돌을 피하기 위해서 데이터를 전송하기에 앞서 RTS/CTS 교환을 지원한다[5]. 어떤 단말이 충돌을 피하기 위해서 RTS/CTS 교환을 선행하고 데이터를 보내게 된다. 이 때 RTS나 CTS를 받은 제3의 단말들은 현재 공유매체가 사용 중임을 인지하고 충돌을 회피하기 위해 기다리게 된다. [14]는 RTS/CTS 교환을 통한 방법이 충돌을 회피하는데 효과적이지만 RTS/CTS 영역 내에 있는 다른 단말들의 통신을 방해할 수 있다는 점을 지적하고, 이를 해결하기 위해 전송 전력 제어가 필요하다는 것을 보였다.

이상의 관련 연구를 살펴볼 때 본 논문의 연구 내용은 다음과 같은 차이를 보인다고 정리할 수 있다. 우선 본 연구는 데이터 통신이 없는 경우 소비 전력을 최소화하여 전력을 절약하는 PSM 방법과는 달리 지속적인 통신에서 적절한 전송 전력으로 데이터를 송수신함으로써 소비전력을 절약하는 방법을 다루고 있다. 본 연구가 제안하는 방법은 MAC의 변경 없이 IEEE 802.11b 표준을 지원하는 네트워크에서 각각의 단말에서 독립적으로 수행되며, 실험을 통해 어느 정도의 효율성이 있는지를 알아보았다. 아울러 적절한 전송 전력을 자동으로 선택함으로써 인해 밀집된 BSS에서 각 단말들의 충돌 회피를 위한 방해 없이 통신 용량을 확대할 수 있다는 것도 실험을 통해 제시하고 있다.

### 3. 전송 전력 제어의 타당성 실험

#### 3.1 일반 환경에서 전송 전력 조절과 숨겨진 노드 문제

정상적인 동작상태에서는 액세스포인트를 포함한 모든 단말들은 매체가 유휴 상태인지를 확인하기 위하여 귀를 열고 있다. 그러나 때로는 단말들 간의 거리가 너무 멀어 서로 상대의 상태를 듣지 못하는 경우가 있다. 상대의 상태를 인식하지 못한 단말들이 하나의 액세스포인트로 동시에 데이터를 전송하면 데이터가 서로 충돌하게 된다. 이와 같은 두 단말간의 데이터 충돌 현상을 숨겨진 노드 문제라고 한다. 그림 1은 숨겨진 노드 문제가 발생하는 상황을 보여준다. 이러한 충돌문제를

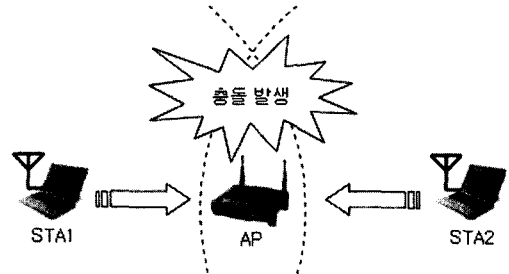


그림 1 숨겨진 노드 문제

해결하기 위하여 IEEE 802.11b에는 RTS/CTS 교환을 지원하고 있다[5].

DCF 방식으로 통신하는 무선 LAN 환경의 단말기에서 전송 전력을 변경하면 숨겨진 노드 문제가 발생할 가능성이 높아진다고 알려져 있다[15]. 그러나 무선 LAN이 급속히 보급됨에 따라 고밀도화된 인프라스트럭처 환경을 제공하고 있다. 이와 같이 고밀도화된 환경에서는 하나의 좁은 영역 안에 동작하는 단말기들 사이에서 숨겨진 노드 문제가 실질적으로 발생하는 경우가 많지 않다고 예상된다. 그래서 좁은 영역 안의 단말기들 사이에서 숨겨진 노드가 얼마나 심각하게 발생하는지 실험을 통해서 살펴보았다. 실험은 10평 정도의 사무실에서 두 대의 노드들의 전송 전력을 1mW로 최소화한 상태에서 노드들을 이동시키면서 액세스포인트와는 통신이 이루어지지만 두 노드는 상대방을 인식하지 못하는 경우가 있는지를 관찰하였다.

실험에서 두 노드는 상대방을 인식하지 못하는 경우는 찾을 수 없었다. 노드들은 최소 전송 전력으로 통신하는 경우에도 충분히 상대를 인식할 수 있을 정도로 가깝기 때문에 숨겨진 노드가 발생할 수 있는 조건을 만족시키지 못했다. 이 실험을 통해서 고밀도화된 인프라스트럭처 환경에서는 노드들의 전송 전력을 낮추더라도 숨겨진 노드가 발생할 가능성이 낮으므로 노드들의 통신 성능이 급격히 떨어지지 않는다는 사실을 알 수 있었다.

#### 3.2 전송 전력이 개별 노드의 통신 성능에 미치는 영향

전송 전력과 통신 성능의 관계를 알아보기 위해서 하나의 단말이 액세스포인트와 유선 네트워크로 연결된 FTP서버에 일정한 크기(12M 바이트)의 파일을 다양한 전송 전력으로 전송하도록 하고, 이 때 발생하는 오류율을 구하였다. 실험은 일반적인 대학원 연구실에서 수행하였는데, 실험 결과를 보면 전송 전력이 높은 경우에도 어느 정도의 오류율을 보이고 있다. 이는 여러 인접한 연구실마다 무선 LAN을 사용 중이어서 평균 3~4개의 BSS가 중첩되는 환경 때문에 발생한 것으로 분석된다. 본 실험의 목적이 절대적인 오류율 값보다는 전송 전력

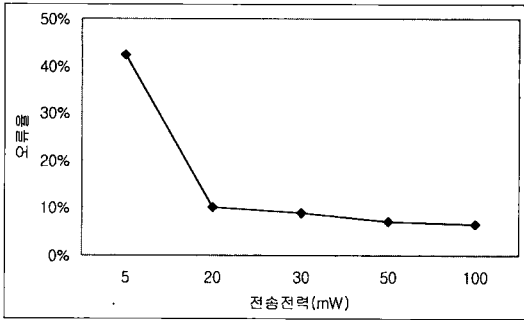


그림 2 전송 전력과 오류율

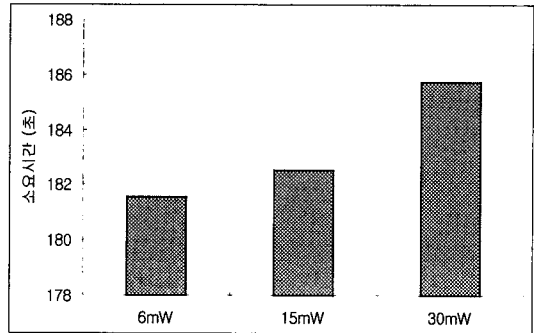


그림 4 전송전력별 이웃한 액세스포인트(AP2)의 통신성능

의 변화에 따라 발생하는 오류율의 상대적인 변화를 알아보는 것이므로 실험 환경으로 적합하다고 판단하였다.

실험을 통해 측정된 오류율은 그림 2와 같다. 전송 전력에 따른 오류율에서 20mW~100mW 사이의 전송 전력으로 통신할 때는 오류율에 큰 차이가 나지 않는 것을 볼 수 있다. 그리고 5mW로 내렸을 때는 오류율이 크게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이로 미루어 전송 전력을 내릴 때마다 통신 성능이 영향을 받기는 하지만 어떤 범위 내에서는 전송 전력을 떨어뜨려도 통신 성능에 크게 나빠지지 않는다는 것을 확인할 수 있다. 전송 전력을 줄이는 것은 직접적으로 에너지 소모를 줄이므로 실험에서처럼 통신 성능에 거의 차이가 없다면 전송 전력을 줄여서 에너지 소모를 줄이는 것을 고려할 수 있다.

### 3.3 근접한 액세스포인트간의 전송 전력 제어가 통신 성능에 미치는 영향

여러 개의 액세스포인트가 있을 때, BSS 영역의 중첩이 발생하고 이 때 전송 전력 제어가 통신 성능에 어떤 영향을 미치는지 실험하였다. 실험은 그림 3과 같이 두 대의 액세스 포인트를 이용하였다. 하나의 액세스포인트(AP1)에서는 실험이 지속되는 동안 계속해서 데이터를 전송하도록 하고, 이웃한 액세스포인트(AP2)에서 일정한 크기의 데이터를 전송하는데 걸리는 시간을 측정하였다. 이 때 AP1의 전송 전력을 변경함으로써 BSS 영역이 변하였을 때, 이웃한 액세스포인트의 통신 성능에는 어떤 영향을 미치는지 알아보았다.

실험 결과는 그림 4와 같다. 실험 결과에서 보듯이

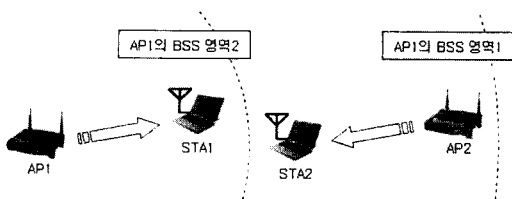


그림 3 근접한 액세스포인트간의 통신성능 영향 실험

AP1의 전송 전력을 낮추어 통신을 하는 경우, AP2의 통신 성능이 약 2%정도 개선된 것을 알 수 있다. 이것은 AP1과 AP2가 서로 개별적인 통신을 하고 있음에도 불구하고 AP1의 전송 전력이 높은 경우, AP2의 통신에 간섭을 발생시켜 이웃한 액세스포인트의 통신을 방해한다는 것을 알 수 있다. 전송 전력 제어의 효과는 이와 같은 실험에서도 확인할 수 있다. 여러 개의 BSS 영역이 중첩되는 고밀도화된 무선 LAN 환경이라면 전송 전력 제어 효과는 더욱 커질 것으로 예상된다.

일반적으로 액세스포인트는 전력 공급에 제한이 없으므로 전력 절약보다는 통신 성능에 주된 관심을 보이는 기기이다. 그리고 본 연구에서는 상용 액세스포인트를 사용하였기 때문에 연구 주요 내용인 동적인 전송 전력 제어를 액세스포인트까지 적용하지는 못하였다. 따라서 향후 논문의 진행에 있어서는 단말기에서의 전송 전력 제어만을 다루도록 한다. 그러나 단말기에 적용한 것과 유사한 기법을 액세스포인트에 적용하는 것은 가능하다고 판단되며, 위 실험의 결과는 액세스포인트에서의 전송 전력 제어도 통신 성능을 개선을 할 수 있다는 것을 보여주고 있다.

## 4. 전송 전력 제어 기법

### 4.1 전송 전력 제어 정책과 시스템 구조

기존의 802.11 전송 전력 제어 방법들은 상대방 노드의 상태 정보를 피드백 받아서 전송 전력을 제어하고 있다. 이런 방법들과는 달리, 본 논문에서 제시한 방법은 단말기의 무선 LAN 카드에서 얻을 수 있는 정보만을 이용하여 스스로 현재 상황을 판단하고 전송 전력을 변경한다.

본 논문에서는 통신 성능을 대변하는 인자로 오류율을 채택하였다. 그 이유는 전송 전력의 변경에 따라 직접적으로 영향을 받는 것이 수신되는 데이터의 품질이고, 오류율은 신호 세기와 충돌 횟수 등의 통신 환경을 종합적으로 보여주는 정량적인 지표이기 때문이다.

3장의 전송 전력 변화와 통신 성능의 영향을 조사한 실험을 통해서 본 바와 같이 오류율이 급격히 변하는 전송 전력이 존재하며, 본 연구에서는 이를 임계 전송 전력이라고 한다. 즉, 임계 전송 전력까지 전송 전력을 떨어뜨리는 경우, 통신 성능은 크게 나빠진다. 본 논문에서는 이러한 임계 전송 전력을 측정을 통해 찾아내고, 임계 전송 전력 바로 윗 단계의 전송 전력을 적정 전송 전력으로 설정한다. 적정 전송 전력은 안정된 오류율을 제공하는 범위 내에서의 최저 전송 전력으로 볼 수 있다.

적정 전송 전력을 결정하는 방법은 TCP의 혼잡 제어와 유사한 시행 착오(trial and error)기법을 적용한다. 최대 전송 전력에서 시작해서 전송 전력을 한 단계씩 낮추어 통신 성능이 어떤 범위 안에서 유지되는지를 관찰하고, 통신 성능이 유지되면 전송 전력을 낮추는 시도를 다시 수행한다. 통신 성능이 범위 이상으로 나빠지면 임계 전송 전력에 다다른 것이기에 그 이전에 시도되었던 전송 전력으로 적정 전송 전력을 설정한다.

적정 전송 전력이라 판단한 전송 전력으로 통신을 하는 도중에 전송 전력을 떨어뜨리거나 단말기의 이동과 같은 네트워크 환경의 변화가 발생하면 오류율이 급격히 나빠지게 된다. 따라서 전송 전력의 변화가 없을 때에도 오류율이 급격히 나빠지면 현재 전송 전력이 적정하다고 판단하기 어렵다. 이와 같은 네트워크 환경의 변화가 감지되면 현재의 전송 전력을 보다 높은 단계의 전송 전력으로 바꾸고, 다시 적정 전송 전력을 찾아가는 작업을 수행한다.

그림 5는 본 논문의 전송 전력 제어 기법을 구현하는 제어 모듈의 구조를 나타낸 그림이다. 전송 전력 제어를 위해서 무선 LAN 카드에게 오류율을 얻는데 필요한 전송 패킷수와 재전송 시도횟수를 요청하고 전송 전력 설정을 명령한다. 또한 도구는 무선 LAN 카드의 이동 여부를 알기 위해서 신호 세기와 잡음 등급을 요청한다. 그리고 얻어진 값들은 제어 프로그램의 이동성을 고려한 적정 전송 전력 선택 방법에 따라 선택된 적정 전송 전력으로 무선 LAN 카드의 전송 전력을 변경한다.

오류율의 계산과 적정 전송 전력의 변경은 일정한 주기를 두고 이루어진다. 그래서 주기의 설정은 전송 전력

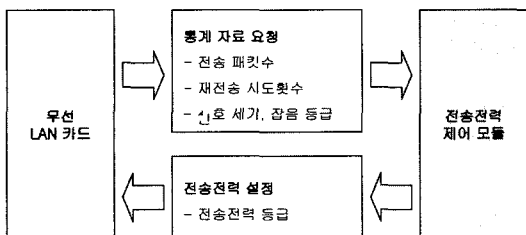


그림 5 무선 LAN 카드와 전송전력 제어모듈간의 동작

제어의 적용 속도와 부하 면에서 중요한 역할을 한다. 주기가 짧은 경우에는 무선 환경의 변화를 신속히 파악할 수 있으므로 즉각적인 문제의 해결에는 용이하지만, 빈번한 전송 전력 변경이 발생하고 도구의 동작으로 인한 전력 소비가 증가하는 단점이 있다. 반면에 주기가 긴 경우에는 정반대의 장단점을 지닌다. 이러한 점을 고려하여 도구는 상황에 따라 동적으로 주기가 변경되도록 설계하였다.

4.2 전송 전력 선택 알고리즘

본 논문에서 제안한 전송 전력 제어 방법은 “현재 전송 전력이 얼마나 무선 네트워크 환경에 적합한가?”에 따라서 두 가지 상태로 나뉜다. 첫 번째 상태는 현재 전송 전력이 적정 전송 전력보다 높아서 적정 전송 전력으로 최대한 빨리 접근하기 위한 “적용 상태”이다. 두 번째 상태는 적정 전송 전력이라 판단되는 전력으로 데이터를 송수신하여 네트워크 환경의 변화가 없는 한 지속적으로 현재 상태를 유지하기 위한 “안정 상태”이다. 상태의 전이는 그림 6과 같이 동작한다.

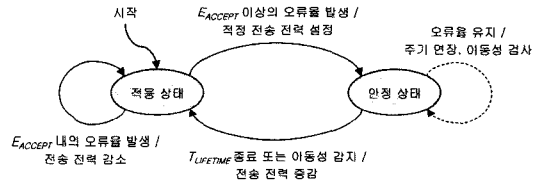


그림 6 전송 전력 제어의 상태 전이

적용 상태는 현재 전송 전력이 적정 전송 전력에 비해 높은 경우 전송 전력 등급을 내려서 적합한 전송 전력을 찾아가고, 적정 전송 전력보다 낮은 경우 적정 전송 전력으로 현재 전송 전력을 높인 후, 안정 상태로 상태를 전이하는 작업을 수행한다. 적용 상태에서는 T 주기 시간마다 오류율을 조사한다. 오류율의 변동이 상수 E\_ACCEPT 보다 작은 경우에는 현재 전송 전력을 임시적인 적정 전송 전력으로 설정하고, 아직까지 더 내릴 수 있다고 판단하여 전송 전력 등급을 낮춘다.

오류율의 변동이 E\_ACCEPT 보다 큰 경우에는, 오류율이 급격히 증가하였으므로 현재 전송 전력이 적정 전송 전력보다 낮다고 판단할 수 있다. 따라서 이전 주기에 설정했던 임시적인 적정 전송 전력으로 전송 전력을 높이고, 안정 상태로 전이한다.

안정 상태는 현재 전송 전력이 적정 전송 전력이라고 판단하여 가능한 다른 부하 없이 현 상태를 유지시키려는 상태를 의미한다. 안정 상태에서의 동작으로 오류율을 조사하는 부하를 줄이기 위해 기존의 주기 시간을 정해진 한도 내에서 계속적으로 두 배로 늘린다.

안정 상태는 현재 전송 전력이 적정하다고 판단한 상

태이지만, 무선 네트워크 환경이 변함에 따라 적정 전송 전력은 변할 수 있으므로 현재의 전송 전력이 계속해서 적정 전송 전력이라고 할 수는 없다. 따라서 현재 설정된 주기 시간마다 오류율을 조사하고 일정한 오류율보다 높은 오류가 발생하면 무선 네트워크 환경이 나빠졌다고 판단하여 적정 전송 전력을 찾는 작업을 다시 수행한다. 또한, 무선 네트워크 환경이 좋아짐으로써 적정 전송 전력이 낮아지는 경우를 대비하여 상수  $T_{LIFETIME}$  만큼의 수명을 설정한다.  $T_{LIFETIME}$  만큼의 시간이 지나면 현재 전송 전력 등급을 낮추어 보고, 적응 상태로 전이시켜 현재 전송 전력이 적정 전송 전력인지를 판단한다.

#### 4.3 알고리즘 세부사항 : 오류율 변화 판단, 검사 주기 및 이동성

앞의 알고리즘 설명에서 언급한 바와 같이 전송 전력 제어의 세부 동작은 두 인자  $E_{ACCEPT}$ 와  $T_{LIFETIME}$  값에 의해 결정된다.  $E_{ACCEPT}$ 는 오류율의 변동이 크지 않아서 아직 임계 전송 전력에 다르지 않았다고 판단하는 기준으로,  $E_{ACCEPT}$ 가 크면 클수록 보다 적극적인 전송 전력 제어가 이루어진다.  $E_{ACCEPT}$  값은 전력과 통신 성능 사이의 트레이드-오프를 판단하는 가늠자가 되며, 효율적인  $E_{ACCEPT}$  값은 무선 LAN 환경, 노드에서의 트래픽 양, 통신 응용의 성능 민감도 및 노드의 에너지 상황 등에 따라 달라질 것으로 예상된다. 최적의  $E_{ACCEPT}$  값을 결정하는 문제는 그 자체가 매우 복잡하고, 통신 성능을 희생하여 전력 절약을 이루는 모든 기법들이 공통적으로 풀어야 할 문제라고 판단된다. 본 논문에서의 연구 목표는 전송 전력을 조절하는 것의 타당성이 있는지, 그리고 그 방법의 난이도가 어느 정도인지를 타진하는 것이다. 따라서 최적의  $E_{ACCEPT}$  값을 결정하는 것은 향후 연구로 미루고 본 연구에서는 실험에 의해 결정된 상수 값을 사용하도록 한다.

효율적인 검사 주기 값의 결정 문제도 앞의 여러 인자들은 물론 노드의 이동성 정도 등에 영향을 받는다. 본 연구가 가정하는 간헐적으로 이동이 이루어지는 환경에서는 최초 검사 주기 값 및 최대 주기 값 모두 상수로 정하고 그 범위 안에서 상태에 따라 검사 주기를 조절하여도 무방하다고 판단된다. 노드의 이동 정도를 고려하여 동적으로 주기 값을 조절하는 등의 문제는 향후 연구에서 다루도록 한다.

통신 상태는 단말기의 이동 또는 신호 전달 경로 상에 장애물 출현 등에 따라 다른 결과를 나타낸다. 오류율의 변화에 근거해서 이동성을 판단하는 것도 가능하지만 본 연구에서는 무선 LAN 어댑터가 기본적으로 제공하는 신호 세기와 잡음 등급 값을 이용하여 단말기의 이동을 감지한다. 단말기가 이동을 하면 단말기에서 액

세스포인트로 가는 신호의 질도 바뀌지만, 액세스포인트로부터 도착하는 신호의 세기와 잡음 정도도 변한다. 따라서 신호 세기와 잡음 등급 값이 이전 주기의 것과 다르다면 단말기가 이동하였다고 판단할 수 있다.

이동 중인 단말기의 경우에는 가능한 전송 전력을 내리지 않는 것이 이득이다. 왜냐하면, 이동 중인 경우에는 통신 성능이 불안정할 가능성이 높으므로 보수적인 정책을 채택하는 것이 효율적인 가능성이 높다. 본 연구에서는 이동이 감지되면 최대 전송 전력에서부터 적응 상태를 시작한다. 변화 값의 증감에 따라 이동의 방향성을 판단하고, 이를 이용해 보다 정확한 전송 전력 값으로 적응 상태를 시작하는 방법 등은 향후 연구에서 다루도록 한다.

## 5. 전송 전력 제어 도구 구현 및 실험

### 5.1 제어 도구의 구현 및 동작

기법의 타당성을 증명하기 위해서 앞서 설명한 제어 기법을 적용한 도구를 만들었다. 먼저 제한한 알고리즘의 모듈을 리눅스 시스템에서 구현하였다. 도구의 정상적인 동작을 위해서 신호 세기와 잡음 등급, 재전송 및 전체 전송 시도 횟수를 얻을 수 있어야 하며, 전송 전력 조절이 가능해야 한다. 사용자 수준의 리눅스 I/O 프로 그래밍을 통해 신호 세기, 잡음 등급, 전송 전력 조절 기능을 구현할 수 있었다. 그리고 재전송과 전체 전송 시도 횟수는 일반적으로 얻을 수 없기 때문에 LAN 카드의 드라이버를 수정하여 사용하였다.

실험에서 사용한 무선 LAN 카드는 Cisco Aironet 352 PCI이다. 실험을 위한 상수 값으로  $E_{ACCEPT}$ 는 1%, 초기 주기값  $T$ 는 3초,  $T_{LIFETIME}$  값은 42초로 설정하였다. 이 상수 값은 실험을 위해 임의로 설정된 것이며, 최적의 동작을 할 수 있는 상수 값은 앞서 설명했듯이 향후 연구에서 다루고자 한다.

그림 7은 적정 전송 전력을 찾기 위해 도구의 시간별 전송전력 변화를 보여주고 있다. 그림 7에서 x축으로 점간의 거리가 한 주기를 의미하고, 한 주기가 끝나면

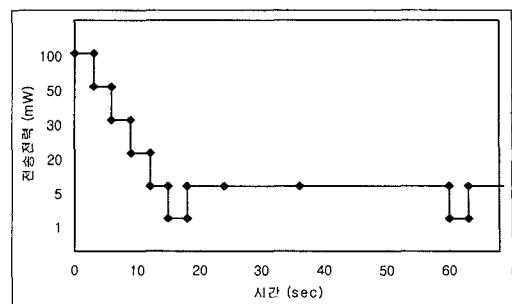


그림 7 시간대별 전송 전력의 변화

도구는 오류율을 계산하고 전송 전력을 제어하는 동작을 수행한다.

초기 15초까지는 전송 전력이 계속적으로 떨어지는 모습을 볼 수 있다. 이것은 적정 전송 전력을 찾기 위한 적응 과정이다. 15초 때, 1mW의 전송 전력으로 통신한 후에, 측정된 오류율이  $E_{ACCEPT}$ 보다 높게 발생하므로, 다시 전송 전력을 증가시키고 적정 전송 전력은 5mW로 설정된다. 즉, 현 상태에서는 5mW가 적정 전송 전력이라고 판단한다. 이후는 5mW의 전송 전력을 유지하면서  $T_{LIFETIME}$ 이 종료되면 전송 전력을 한 단계 내려 유효성을 재검사하고, 이동성이 감지되면 최대 전송 전력에서부터 적응 상태를 시작한다.

5.2 성능 실험 및 평가

실험은 단말기에서 액세스포인트를 통해 FTP서버로 FTP 전송을 한 후 결과를 측정하였다. 구성된 실험 환경은 그림 8과 같다.

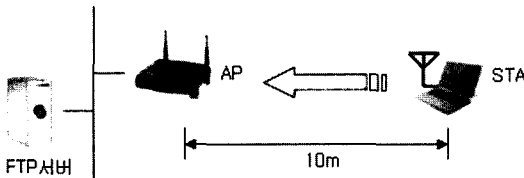


그림 8 도구의 성능 증명을 위한 실험 환경

실험에서는 파일 전송에 걸린 시간을 측정하여 통신 성능을 나타내는 값으로 사용하였다. 보편적으로 인정되는 통신 성능 인자는 처리량과 응답시간이다. 파일 전송 시간은 처리량에 해당한다고 볼 수 있으며, 본 연구가 프레임 스케줄링 등의 개별적인 프레임 처리에는 관여하지 않으므로 응답시간에 대한 영향은 처리량에 대한 영향과 유사한 결과를 보일 것으로 예상된다. 실험의 목적이 전송전력 제어가 통신성능에 미치는 영향을 관찰하는 것이므로, 오류를 복구하는데 소비되는 시간을 포함하는 파일 전송 시간이 종합적이고 정량적인 성능 인자로서 적당하다고 판단하여 채택하였다.

5.2.1 통신 성과와 전력 소비

그림 9는 단말기에서 FTP 서버로 35M바이트의 데이터를 전송하였을 때, 각 전송 전력마다 전체 전송에 걸린 시간을 측정하였다. 제안된 방법으로 동작한 도구는 현재 무선 네트워크 상황에서 5mW의 전송 전력을 적정 전송 전력으로 선택했다. 결과를 보면 5mW의 전송에 걸린 시간과 제안된 방법(auto)의 전송에 걸린 시간 사이에서 약간의 차이가 발생하는데, 이는 적응 과정에서 소요되는 시간 때문이다. 전력 제어 도구에 의해서 전송 전력이 제어되어도 가장 큰 전송전력인 100mW와

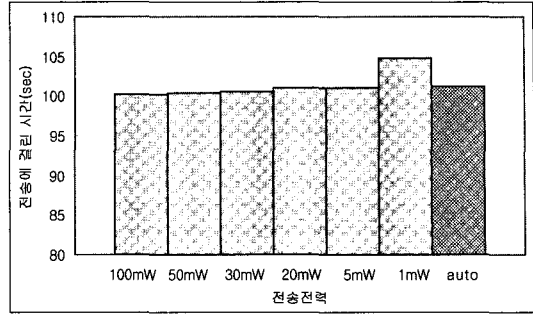


그림 9 전송 전력별 전송에 걸린 시간

비교해도 파일 전송에 소요된 시간으로 관찰된 전송 성능 면에서는 크게 차이가 나지 않는 것을 알 수 있다.

위의 실험에서 각각의 전송 전력으로 35M바이트의 데이터를 전송하는데 소모된 에너지를 계산한 결과는 그림 10과 같다. 총 소모 에너지는 [16]의 실험 결과인 전송 전력별 소모 전력 값(표 1)에 데이터 전송 수행 시간을 곱하여 계산할 수 있다.

표 1 전송 전력별 초당 소모 전력

전송 전력(mW)	100	50	30	20	5	1
소모 전력(W)	1.6	1.47	1.41	1.35	1.3	1.25

실험 결과를 보면 제안된 도구에서 선택한 전송 전력으로 통신하는 경우 소모된 전력이 소모 전력이 가장 낮은 1mW의 전송 전력으로 통신한 경우와 비교해도 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다.

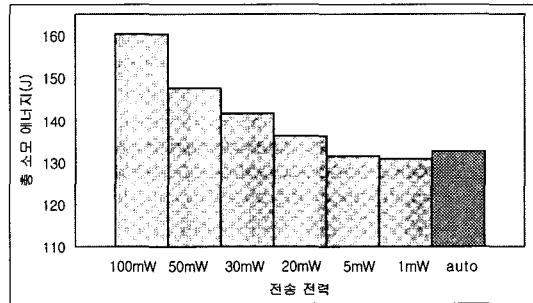


그림 10 전송 전력별 소모 에너지

그림 9와 그림 10을 고려해볼 때, 통신 성과와 에너지 효율적인 면에서 최적의 전송 전력은 5mW이다. 본 연구의 제어 방법을 구현한 도구는 적응 과정으로 인해 약간의 성능 및 에너지 손실이 있기는 하지만 적정 전송 전력을 자동적으로 설정하는 결과를 보여주고 있다. 전송 전력이 30mW로 고정된 경우와 비교해서 본 논문

에서 제안한 방법은 통신 성능 면에서는 그 차이가 극히 미미하다고 할 수 있는 0.8% 정도의 효율이 떨어졌지만, 총 소모 에너지양에서는 7% 이상의 전력을 절약할 수 있다.

### 5.2.2 이동 중인 단말기에 대한 성능

단말기의 이동과 같은 통신 환경의 변화가 발생한 경우에 대한 전송 전력 제어 도구의 성능을 실험하였다. 실험환경은 실험 중에 단말기가 이동하는 점을 제외하고는 앞의 실험 환경과 같다. 단말기의 이동은 전송을 시작한지 40초가 지나면 단말기를 현재의 위치보다 액세스포인트에서 더 멀어지도록 이동하였다. 단말기가 이동하면 제어 도구는 이동을 판단하고, 적정 전송 전력을 변경한다.

그림 11은 이동 중인 단말기의 전송 전력과 통신 성능과의 관계를 보여주는 그래프이다. 본 실험에서 제어 도구는 적정 전송 전력으로 단말기의 이동 전에는 5mW를 선택하였으며, 이동 후에는 30mW를 선택하였다. 지속적으로 5mW로 전송하는 경우와 30mW로 전송하는 경우를 비교해보면, 5mW로 전송하는 경우보다 적은 시간에 파일을 전송하였으며, 30mW와는 거의 같은 시간에 작업을 완료하였다.

그림 12는 같은 실험에서 소비된 소비 전력을 보여준다. 제안된 방법은 고정된 전송 전력으로 통신하였을 때

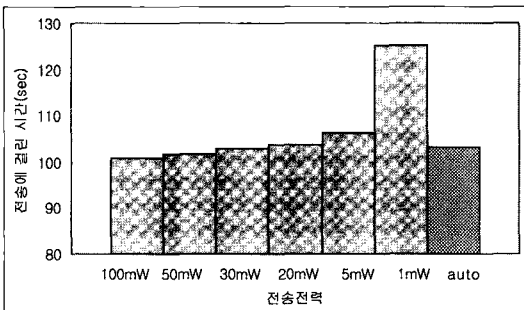


그림 11 이동 중인 단말의 전송 전력과 전송에 걸린 시간

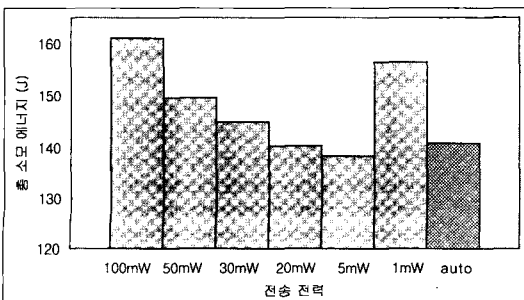


그림 12 이동 중인 단말의 전송 전력과 소모 에너지

가장 효율이 좋은 5mW의 전송 전력으로 통신할 때와 에너지 소모에 있어서는 1% 정도 비효율적이지만, 통신 성능 면에서는 3% 정도 더 우수하다. 그리고 30mW로 전송하였을 때 통신 성능은 거의 동일하였으나 소비된 전력은 2% 정도 더 효율적이라는 것을 알 수 있다.

이상으로 실험을 통해서 단말기가 이동하지 않을 때와 이동 중인 경우의 전송 전력 제어의 효율성을 알아 보았다. 실험 결과, 본 논문에서 제안한 방법은 무선 LAN 환경에 적절히 동작하여 적정 전송 전력을 스스로 찾아내어 전력을 제어함으로써 보다 효율적으로 동작할 수 있었다.

## 6. 결론 및 향후 연구

무선 LAN 카드가 많이 사용되는 단말기들은 이동성을 위해서 전원으로 배터리를 사용한다. 그러나 배터리는 유한한 자원이므로 단말기들은 가능한 전력을 아껴서 이용하여야 오랜 시간동안 사용할 수 있다. 일반적인 경우에 무선 LAN 카드의 전송 전력은 최대 전송 전력을 사용하도록 설정되어있다. 이것은 제품의 효율성보다는 액세스포인트와의 거리가 멀더라도 정상적인 동작을 할 수 있도록 기본 설정되어있는 것이며, 사용자가 직접 전송 전력을 설정하여 조정하도록 되어있다. 그러나 이동성이 특징인 무선 LAN의 사용에서는 매번 적절한 전송 전력을 설정하기는 쉽지 않은 일이다.

본 논문에서는 무선 LAN 환경에서 단말기의 전송 전력을 제어하는 방법을 제안하였다. 전송 전력을 제어함으로써 불필요한 전력의 낭비를 줄일 수 있고, 배터리의 전력을 효율적으로 사용할 수 있다. 새로운 방법을 제안하기에 앞서 3장에서 실제적인 실험을 통해서 전송 전력을 제어하는 것이 통신 성능과 전력 소비면에서 타당성이 있다는 것을 실험을 통해서 살펴보았다.

본 논문에서 제안한 방법은 다른 노드와의 협조 없이 독립적인 전송 전력 제어가 가능하다는 것을 특징으로 한다. 제안한 전송 전력 제어방법은 암시적인 피드백으로 오류율의 변동 값을 이용해서 적정 전송 전력을 찾아내어 전송 전력을 변경한다. 그리고 이동성으로 인해 생기는 무선 네트워크의 통신 성능의 변화 특성을 고려해서 단말기의 이동 여부를 감지하고, 이동이 확인되면 특성화된 동작을 수행하도록 설계하였다.

본 논문에서 제시한 방법을 검증하기 위해 도구를 구현하였고, 이를 이용하여 제안한 방법의 성능을 실험하였다. 전송 전력 제어 도구는 전송 전력을 최대로 했을 때와 비교해서 최대 4%의 통신 성능 감소가 발생하였지만, 최대 18%정도의 전력 소모를 줄일 수 있었다. 또



한 BSS 영역이 많이 중첩될수록 전송 전력을 제어함으로써 전체 무선 네트워크의 성능은 높아질 수 있다.

본 논문의 주요 연구 목표가 전송 전력 제어의 타당성 검증에 있기 때문에 전송 전력 제어에 사용되는 인자들, 즉, 오류율 변화 기준, 검사 주기 한계 값, 이동성 감지 시 초기 전송 전력 값 등은 상수를 설정하여 사용하였다. 이러한 인자 값들을 환경에 맞게 자동적으로 조절하는 연구들은 향후 연구에서 다루도록 한다. 또한, 본 논문에서 제안한 방법은 무선 LAN 환경에서 전송 전력을 제어함으로써 얻을 수 있는 전력 절약만을 고려하고 있다. 그러나 802.11의 전력 절약 모드(PSM) 상태에서는 통신 상태보다 더 많은 전력을 절약할 수 있다. 따라서 통신 상태의 전송 전력 제어 뿐 아니라 전력 절약 모드로의 전환도 스스로 제어할 수 있는 도구로서의 확장을 생각할 수 있다.

### 참고 문헌

- [1] K. Lahiri, A. Raghunathan and S. Dey, "Battery-Efficient Architecture for an 802.11 MAC processor," *Proceeding of ICC 2002*, vol. 2, pp. 669-674, 2002.
- [2] R. Zheng, J.C. Hou and L. Sha, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Power Saving Mode," *Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation Conference (CNDS'04)*, 2004.
- [3] L.M. Feeney and M. Nilson, "Investigating the Energy Consumption of a Wireless Network Interface in an Ad Hoc Networking Environment," *Proceeding of INFOCOM '01*, vol. 3, pp. 1548-1557, 2001.
- [4] IEEE Computer Society LAN Standards Committee, "IEEE Standard 802.11/802.11b: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical(PHY) Layer Specification," August, 1999.
- [5] E. Jung and N. Vaidya, "An Energy Efficient MAC Protocol for Wireless LANs," *Proceeding of INFOCOM '02*, vol. 3, pp. 1756-1764, 2002.
- [6] T. Khacharoen and A. Phonphoem, "A Power Saving Mechanism in Ad Hoc Network with Quality of Service Support," *Proceedings of Information and Communication Technologies (ICT) 2003*, pp. 119-124, 2003.
- [7] R. Krashisky and H. Balakrishnan, "Minimizing Energy for Wireless Web Access with Bounded Slowdown," *Proceeding of MobiCom '02*, pp. 119-130, 2002.
- [8] R. Prasad and T. Ojanpera, "An Overview of CDMA Evolution toward Wideband CDMA," *IEEE Communication Surveys*, vol. 1, pp. 2-29, 1998.
- [9] S. Agarwal, S.V. Krishnamurthy, R.H. Katz and S.K. Dao, "Distributed Power Control in Ad-hoc Wireless Networks," *Proceeding of IEEE PIMRC '01*, pp. 59-66, 2001.
- [10] J.-P. Ebert and A. Wolisz, "Combined Tuning of RF Power and Medium Access Control for WLANs," *Proceeding of Mobile Multimedia Communications (MoMuC '99)*, pp. 74-82, 1999.
- [11] C.J. Hansen, <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Documents/DocuemntHolder/1-217.zip>, TPC/DFS Proposal for 802.11h, 2000.
- [12] A. Sheth, R. Han, "Adaptive Power Control and Selective Radio Activation for Low-Power Infrastructure-Mode 802.11 LANs," *Proceeding of Distributed Computing Systems Workshops 2003*, pp. 812-818, 2003.
- [13] G. Holland, N. Vaidya and P. Bahl, "A Rate-Adaptive MAC Protocol for Wireless Networks," *Proceeding of MobiCom '01*, pp. 235-261, 2001.
- [14] J. Monks, V. Bharghavan and W. Hwu, "Transmission Power Control for Multiple Access Wireless Packet Networks," *Proceeding of LCN '00*, pp. 12-21, 2000.
- [15] S. Gray, and V. Vadde, "Throughput and Loss Packet Performance of DCF with Variable Transmit Power," *IEEE 802.11-01/227*, May, 2001.
- [16] M. Gruteser, A. Jain, J. Deng, F. Zhao and D. Grunwald, "Exploiting Physical Layer Power Control Mechanisms in IEEE 802.11b Network Interfaces," *Technical Report CU-CS-924-01*, University of Colorado, 2001.



권도한

1997년 중앙대학교 컴퓨터공학과 졸업  
1999년 중앙대학교 컴퓨터공학과 석사  
2001년 (주)비전넷 주임연구원. 현재 중앙대학교 컴퓨터공학과 박사과정. 관심분야는 무선 네트워크 시스템, Home Networking



정희륜

2002년 중앙대학교 컴퓨터공학과 졸업  
2004년 중앙대학교 컴퓨터공학과 석사  
현재 (주)아블렉스, 무선통신망 품질 계획 개발팀. 관심분야는 802.11 Power Saving, Wireless Data Communication Quality Improvement



박창운

1984년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업  
1986년 서울대학교 컴퓨터공학과 석사  
1992년 워싱턴 주립대학 전산학 박사. 현재 중앙대학교 컴퓨터공학과 교수. 관심 분야는 컴퓨터 네트워크, 실시간 시스템, 정보 보호



정충일

1985년 한남대학교 전자계산학과 졸업  
1988년 서울대학교 컴퓨터공학과 석사  
1990년~1995년 (주)무역시장 정보연구원, 2003년 중앙대학교 컴퓨터공학 박사  
현재 여주대학 컴퓨터인터넷과 부교수  
관심분야는 네트워크 오류 제어, 무선 네

트워크 시스템