



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士學位論文

기업 무선 LAN 환경에서 파워소모를 감소시키는
AP 개폐 기법

AP switching on/off Control
for Reducing Power Consumption in Enterprise WLANs

2013 年 2 月

서울대학교 大學院

電氣컴퓨터工學部

朴 俊 圭

工學碩士學位論文

기업 무선 LAN 환경에서 파워소모를 감소시키는
AP 개폐 기법

AP switching on/off Control
for Reducing Power Consumption in Enterprise WLANs

2013 年 2 月

서울대학교 大學院

電氣컴퓨터工學部

朴 俊 圭

초 록

본 논문은 중앙처리장치에 의해 AP(access point, 접속장치)들의 정보가 수집되고 컨트롤 되는 기업 무선 LAN 환경에서 사용자의 수율 저하를 최소화하며 시스템의 파워 소모를 줄이는 AP 개폐 기법(on/off algorithm)을 제안한다. 최근 사용자들의 무선 LAN에 대한 요구가 증가함에 따라 많은 AP들이 높은 밀도로 설치되기 시작하면서 AP에서 소모되는 전력이 급격히 증가하였다. 이 문제를 해결하기 위해 기존 연구에서는 AP의 전송 파워를 줄이거나 AP를 수면 상태로 전환 시킴으로써 무선 LAN 환경에서의 에너지 소모를 감소시키고자 하였다. 그러나 기본적으로 켜져 있는 AP가 소모하는 파워의 비율이 크기 때문에 큰 효과를 얻기 힘들었다. 그래서 본 논문에서는 불필요한 AP들을 완전히 끄으로써 에너지 소모를 크게 감소시키는 접근 방법을 취했다. 구체적으로, AP를 켜는 제안기법은 새로운 사용자가 AP와 접속되어 AP의 점유시간(airtime)이 문턱 값을 넘어서면 AP는 중앙처리장치에 추가적인 AP를 요구하고, 중앙처리 장치는 AP에 접속된 사용자중 신호세기가 가장 약한 사용자의 위치를 실내 측위 기술을 토대로 파악하여 적절한 AP를 켜준다. AP를 끄는 제안기법은 켜져 있는 AP의 점유시간이 문턱 값 이하로 내려가면 중앙처리장치는 해당 AP에 접속된 사용자들이 다른 AP에 접속되어 피해를 주지 않는지 확인한 후 AP를 끈다. 시뮬레이션을 수행한 결과, 위 알고리즘이 사용자의 큰 수율 저하 없이 시스템의 전력소모를 감소시킴을 확인하였다.

주요어 : 기업 무선 LAN, AP 개폐 기법, AP 파워 소모

학 번 : 2011-20844

목 차

초 록.....	i
제 1 장 서 론.....	1
제 2 장 시스템 모델.....	4
제 3 장 사용자 접속 방법.....	7
제 4 장 제안 기법.....	12
제 5 장 시뮬레이션 결과.....	20
제 6 장 결론.....	31
참 고 문 헌.....	33
Abstract	34

제 1 장 서론

최근 에너지 절감을 위한 노력이 각 분야에서 다각도로 다양하게 진행되고 있다. 특히 정보통신(ICT, information & communication technology) 분야에서 에너지 절약 및 탄소 배출 관련 노력이 활발히 진행 중이다. 현재 ICT 분야의 세계 탄소 배출의 2%를 차지하고 있다. 이는 항공 산업과 비슷한 수준이며 향후 새로운 통신 기반 서비스의 출현 및 트래픽 증가로 인하여 전 세계 탄소 배출량의 10~15%를 차지할 것으로 예상되고 있다. 따라서 ICT 분야에서의 에너지 소모 감소는 중요한 문제이다.

무선 LAN은 국내는 물론 세계적으로 인터넷에 접속하기 위한 가장 보편적인 무선통신 방법으로 자리잡고 있다. 이런 추세 속에 회사, 학교 혹은 카페 등 많은 사용자들이 무선통신을 이용해 인터넷에 접속하려는 환경이 확대되었다. 위와 같은 환경에서 사용자들의 요구를 만족시키기 위해 많은 AP들이 좁은 공간에 설치되기 시작했다. 그러나 무계획적으로 많은 AP를 설치하게 되면 과도한 전력 소모를 초래하게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위한 AP를 계획적으로 설치하고 중앙 관리하는 기업 무선 LAN [1]은 흥미로운 연구 대상이다. 무선 LAN 환경에서 역시 자원 할당과 전송 파워 컨트롤을 통해 에너지 감소를 시키는 연구 [2]는 물론이고, AP가 데이터를 전송하지 않을 때 전력소모를 최소화하는 수면 상태로 전환하는 연구 [3] 등이 진행되고 있다. 하지만 AP가 기본적으로 켜져 있음으

로 인해 소모하는 파워의 비율이 크기 때문에 기존 연구에서는 큰 효과를 얻기 힘들다.

본 논문에서는 기업 무선 LAN 환경이라는 중앙 관리되는 환경에서 AP를 완전히 끄으로써 기존의 수면 상태에 비해 더 많은 에너지를 감소시키는 방법을 제안한다. AP를 켜는 제안기법은 새로운 사용자가 AP와 접속되어 AP의 점유시간이 문턱 값을 넘어서면 AP는 중앙처리장치에 추가적인 AP를 요구하고, 그러면 중앙처리 장치는 AP에 접속된 사용자중 신호세기가 가장 약한 사용자의 위치를 실내 측위 기술을 토대로 파악하여 적절한 AP를 켜다. AP를 끄는 제안기법은 켜져 있는 AP의 점유시간이 문턱 값 이하로 내려가면 중앙처리장치는 해당 AP에 접속된 사용자들이 다른 AP에 접속되어 피해를 주지 않는지 확인한 후 AP를 끈다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 고려하는 시스템 모델을 소개하고 3장에서는 AP와 사용자가 접속되는 두 가지 접속 방식을 살펴본다. 4장에서는 접속 방식에 따라 AP를 켜고 끄는 제안기법을 설명한다. 5장에서는 시뮬레이션을 통하여 제안기법의 성능을 검증하고 마지막으로 6장에서 결론을 내린다.

제 2 장 시스템 모델

본 논문에서 고려하는 기업 무선 LAN 시스템은 그림 2-1과 같이 AP들이 중앙처리장치에 유선으로 접속되어 있고 AP들은 계획적으로 매우 높은 밀도로 설치된 상황을 고려한다.

기업 무선 LAN 시스템은 중앙처리장치를 통해 AP들로부터 사용자들과 AP 간의 수신신호강도표시(RSSI, received signal strength indication) 정보 및 AP의 점유시간 등의 정보를 받고 이를 바탕으로 AP 개폐, 전송 파워 조절 및 사용자 접속 조절 등 다양한 제어가 가능하다. AP의 점유시간이란 단위시간에서 AP가 데이터 전송 혹은 데이터 전송을 위해 필요한 정보들을 주고 받는 시간의 합이다. AP들이 높은 밀도로 설치되어 있으므로 사용자들과 AP간의 거리가 좁아지고 이로 인해 높은 전송률로 통신이 가능하다. 하지만 AP간의 간격도 좁아지므로 AP간 간섭이 증가한다. 단, 본 논문에서는 각 AP가 모두 다른 채널에서 작동한다고 가정하므로 AP간 간섭 문제는 고려하지 않았다.

본 논문에서는 AP들이 꺼질 수 있는 상황을 고려하기 때문에 많은 AP가 꺼져서 시스템의 서비스 제공영역(coverage)을 만족시키지 못하는 상황이 발생할 수 있다. 이러한 상황을 방지하기 위해 사용자가 존재하지 않더라도 항상 켜져 있는 기지 AP(BAP, base AP)를 정의한다. BAP들은 시스템의 커버리지를 만족시킬 수 있도록 선정되며 항상 켜져 있는 상태를 유지한다.

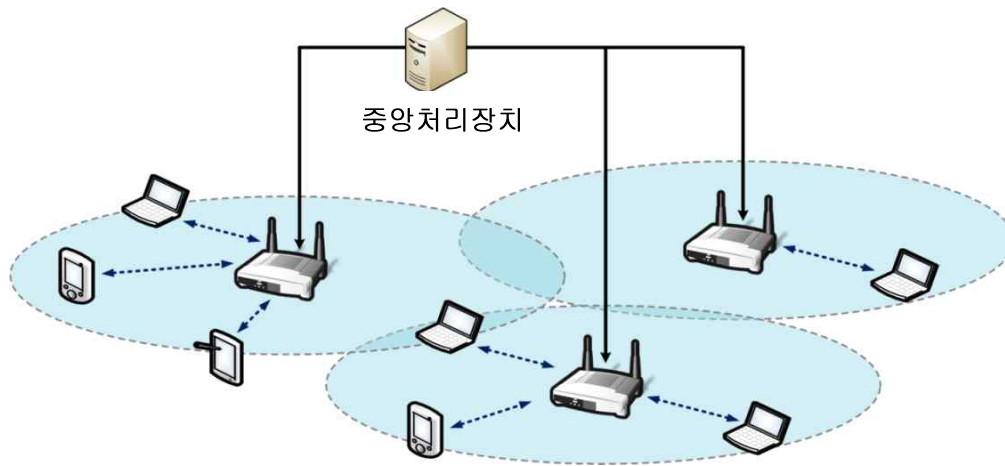


그림 2-1. 기업 무선 LAN 시스템.

또한 BAP들은 제안기법에서 필요로 하는 사용자의 위치정보를 파악하는 역할도 수행한다. BAP들은 실내 측위 기술 [4] 을 토대로 중앙처리장치가 낮은 오차로 사용자의 위치를 예측할 수 있도록 사용자로부터 전송된 메시지의 신호세기 및 필요한 정보들을 수집한다. 의미 있는 실내 측위 정보를 위해 BAP들은 한 시스템에 최소한 3개 이상 존재해야 하며 모든 BAP들이 일렬로 배치되어서는 안 된다.

제 3 장 사용자 접속 방법

AP를 끄거나 켜게 되면 사용자들은 새로운 AP와 접속을 시도하게 된다. 따라서 AP 개폐 기법과 사용자 접속 방법은 밀접한 관계를 가지고 있다. 본 장에서는 AP를 켜고 끄는 제안기법에 영향을 미치는 사용자 접속방법을 살펴본다. 사용자 접속 방법에는 사용자와 AP가 신호세기인 RSSI를 기반으로 접속되는 기법과 AP의 airtime을 기반으로 접속되는 기법으로 구분해서 살펴본다.

3.1. RSSI기반 사용자 접속 (RBA)

RBA(RSSI based association)는 현재 AP와 사용자가 접속되는 가장 보편적인 방식으로 사용자가 주변의 AP들로부터 전송된 비콘(beacon)의 RSSI정보를 통해 가장 큰 RSSI 값을 가지는 AP에 접속 혹은 재 접속하는 접속 방식이다.

그림 3-1은 RBA 알고리즘이다. S_{all} 은 시스템 내에 존재하는 모든 사용자들의 집합이다. S_{α} 은 AP α 에 접속 되어 있는 사용자들의 집합이다.

$S_{association}$ 은 접속 된 상태의 사용자들의 집합이다. A_{on} 은 켜져 있는 AP의

```

1 : for  $s \in S_{all}$ 
2 :    $\alpha' \leftarrow \arg \max_{\alpha \in A_{on}} R(\alpha, s)$ 
3 :   if  $s \notin S_{\alpha'}$ 
4 :      $S_{\alpha_s} \leftarrow S_{\alpha_s} - \{s\}$ 
5 :      $S_{\alpha'} \leftarrow S_{\alpha'} \cup \{s\}$ 
6 :   elseif  $s \notin S_{association}$ 
7 :      $S_{\alpha'} \leftarrow S_{\alpha'} \cup \{s\}$ 
8 :   end
9 : end

```

그림 3-1. RSSI기반 사용자 접속 알고리즘.

집합이다. $R(\alpha, s)$ 는 AP α 와 사용자 s 간의 RSSI 값이다. 모든 사용자 s 는 켜져 있는 AP α 들로부터 전송되는 beacon을 통해 얻은 RSSI 값 $R(\alpha, s)$ 가 가장 큰 값을 가지게 하는 AP α' 과 접속 하고자 한다. 사용자가 α' 과 접속되어 있다면 그 상태를 유지하게 되고, 사용자 s 가 다른 AP α 와 접속 되어있다면 접속을 끊고 α' 과 접속하게 되고, s 가 아직 어떠한 AP와도 접속되어 있지 않으면 α' 과 접속한다.

RBA는 AP에서 전송하는 beacon을 통해 얻을 수 있는 RSSI 정보만을 통해 사용자가 스스로 판단하여 접속을 결정하므로 AP와 사용자간에 추가적인 정보교환 없이 작동이 가능하다. 다만 사용자들이 특정 AP 가까이에만 위치 하게 되면 해당 AP가 처리해야 하는 데이터가 처리할 수 있는 데이터를 넘어 서게 되고 사용자들의 수율 저하를 일으킬 수 있다.

3.2. 점유시간기반 사용자 접속 (ABA)

ABA(airtime based association)는 RBA의 단점인 특정 AP에 과도한 사용자가 몰림으로써 발생하는 사용자들의 수율 저하를 해결하기 위한 방식이다. ABA는 RBA와 달리 사용자와 AP간의 접속을 중앙처리장치가 관리한다. 중앙처리장치는 AP의 점유시간이 문턱 값을 넘어서면 부하 분산을 위해 사용자들을 재 접속 시킨다.

그림 3-2.는 ABA 알고리즘이다. T_α 은 AP α 의 점유시간 값이다. A_{full} 은 점유시간이 포화된 AP들의 집합이다. $D(\alpha, s)$ 은 α 와 s 사이의 거리를 나타낸다. 새로운 사용자가 나타나면 사용자는 가장 큰 RSSI값을 가지는 AP α' 과 접속된다. 만약 AP α' 의 점유시간이 문턱 값 τ_{on} 보다 커지게 되면 중앙처리장치는 AP α' 에 접속된 사용자들 중 가장 낮은 RSSI값을 가지는 사용자 s' 을 찾아낸다. 중앙처리장치는 켜져 있는 AP중에 s' 가까운 순서대로 s' 이 접속 되었을 때 해당 AP의 점유시간이 τ_{on} 을 넘는지 확인한다. 중앙처리장치가 AP의 점유시간이 문턱 값 τ_{on} 넘지 않는 AP α_{re} 를 찾게 되면 α' 은 s' 에게 α_{re} 로 접속하라는 메시지를 전송한다. 반대로 사용자가 사라지고 해당 AP α' 의 점유시간이 τ_{on} 미만으로 떨어지게 되면

1 : if new station s arrives	24 : elseif station s disappear
2 : $\alpha' \leftarrow \arg \max_{\alpha \in A_{on}} R(\alpha, s)$	25 : if $T_{\alpha'} < \tau_{on}$
3 : $S_{\alpha'} \leftarrow S_{\alpha'} \cup \{s\}$	26 : $A_{re} \leftarrow A_{full}$
4 : if $T_{\alpha'} > \tau_{on}$	27 : $I \leftarrow 0$
5 : $s' \leftarrow \arg \min_{s \in S_{\alpha'}} R(\alpha', s)$	28 : while $I == 0$
6 : $A_{re} \leftarrow A_{on} - \{\alpha'\}$	29 : if $A_{re} \sim = 0$
7 : $I \leftarrow 0$	30 : $\alpha_s' \leftarrow \arg \min_{\alpha \in A_{re}} D(\alpha', \alpha)$
8 : while $I == 0$	31 : $s' \leftarrow \arg \max_{s \in S_{\alpha'}} R(\alpha_{re}', s)$
9 : if $A_{re} \sim = 0$	32 : $S_{\alpha'}' \leftarrow S_{\alpha'} \cup \{s'\}$
10 : $\alpha_{re}' \leftarrow \arg \max_{\alpha \in A_{re}} R(\alpha, s')$	33 : if $T_{\alpha'}' > \tau_{on}$
11 : $S_{\alpha_{re}'}' \leftarrow S_{\alpha_{re}'} \cup \{s'\}$	34 : $A_{re} \leftarrow A_{re} - \{\alpha_{re}'\}$
12 : if $T_{\alpha_{re}'}' > \tau_{on}$	35 : elseif $T_{\alpha'}' \leq \tau_{on}$
13 : $A_{re} \leftarrow A_{re} - \{\alpha_{re}'\}$	36 : $S_{\alpha'}' \leftarrow S_{\alpha'}'$
14 : elseif $T_{\alpha_{re}'}' \leq \tau_{on}$	37 : $S_{\alpha_{re}'}' \leftarrow S_{\alpha_{re}'}' - \{s'\}$
15 : $S_{\alpha_{re}'}' \leftarrow S_{\alpha_{re}'}'$	38 : $I \leftarrow 1$
16 : $S_{\alpha'}' \leftarrow S_{\alpha'}' - \{s'\}$	39 : end
17 : $I \leftarrow 1$	40 : elseif $A_{re} == 0$
18 : end	41 : $I \leftarrow 1$
19 : elseif $A_{re} == 0$	42 : end
20 : $I \leftarrow 1$	43 : end
21 : end	44 : end
22 : end	45 : end
23 : end	

그림 3-2. 점유시간 기반 사용자 접속.

중앙처리장치는 켜져 있는 AP중 점유시간이 τ_{on} 을 넘는 AP들인 A_{full} 을 찾아낸다. A_{full} 중 α' 과 가장 가까운 AP α_{re} 을 찾고 α_{re} 과 접속된 사용자중 α' 와 의 RSSI값이 가장 큰 사용자 s' 을 찾아낸다. s' 이 α' 에 접속되었을 때 α' 의 점유시간이 τ_{on} 을 넘지 않으면 α_{re} 은 s' 에게 α' 으로 재 접속하라는 메시지를 전송한다. 만약 α' 의 점유시간이 τ_{on} 을 넘게 되면 A_{re} 에서 α_{re} 을 제외하고 위 과정을 반복한다. 만약 A_{re} 가 공집합이 되면 알고리즘을 중단한다. α' 에 접속된 사용자가 복수이면 모든 사용자가 다른 AP로 접속될 수 있어야만 재전송 메시지를 전송한다.

ABA는 모든 AP가 포화되기 전까지 전체 사용자를 AP에 골고루 분산 시킴으로써 사용자들의 수율을 최대한 보장한다. 다만 AP가 사용자에게 특정 AP로 재 접속하라는 메시지를 전송할 수 있는 기능을 갖추어야 하며, 모든 AP의 정보를 보유하며 계산 기능이 있는 중앙처리장치를 필요로 한다.

제 4 장 제안 기법

제안 기법은 RBA기법과 ABA기법 각각에서 사용자수에 따라 불필요한 AP는 끄고 필요한 AP는 켜므로써 사용자들의 수율 저하를 줄이면서 켜져 있는 AP를 줄여 AP에서 소모되는 파워를 낮추는 기법이다. 본 장에서는 RBA기법과 ABA기법에 각각에 대해 AP를 키고 끄는 방법에 대해 살펴본다.

4.1. RBA 기반 AP 켜기 알고리즘

RBA기반 AP 켜기알고리즘은 사용자들이 RBA기법에 의해 AP와 접속되는 환경에서 상황에서 AP가 과도한 사용자로 인해 과포화 되면 적절한 AP를 추가로 켜므로써 사용자들의 수율을 만족시키는 알고리즘이다.

그림 4-1은 RBA 기반에서 AP를 켜는 알고리즘이다. 켜져 있는 AP 중 점유시간이 τ_{on} 을 넘어서면 중앙처리장치는 AP α' 에 접속된 사용자중 가장 작은 RSSI값을 가지는 즉 해당 AP로부터 가장 멀리 떨어져 있을 것으로 예상되는 사용자 s' 을 찾는다. 그 후 모든 AP 중 사용자 s' 과 가장 가까운 AP α'' 을 찾는다. 만약 AP α'' 이 꺼져 있다면 중앙처리 장치는 α'' 을 켜준다. AP α'' 이 켜지게 되면 사용자 s' 은 RBA에 의해 α'' 으로 접속되게 된다.

```

1 : Execute RBA
2 : For  $\alpha' \in A_{on}$ 
3 :   if  $T_{\alpha'} > \tau_{on}$ 
4 :      $s' \leftarrow \arg \min_{s \in S_{\alpha'}} R(\alpha', s)$ 
5 :      $\alpha'' \leftarrow \arg \min_{\alpha \in A_{all}} D(\alpha, s')$ 
6 :     if  $\alpha'' \in A_{off}$ 
7 :        $A_{on} \leftarrow A_{on} \cup \{\alpha''\}$ 
8 :        $A_{off} \leftarrow A_{off} - \{\alpha''\}$ 
9 :     end
10:   end
11: end
12: Execute RBA

```

그림 4-1. RBA기반 AP 켜기 알고리즘.

만약 α'' 이 켜져 있는 상황이면 추가적인 AP를 켜지 않는다. 그 이유는 추가적인 AP를 켜더라도 AP α' 에 접속된 과도한 사용자를 줄여주지 못하기 때문이다.

4.2. RBA 기반 AP 끄기 알고리즘

RBA 기반 AP 끄기 알고리즘은 사용자들이 RBA기법에 의해 AP와 접속되는 환경에서 AP에 접속된 사용자가 매우 적거나 없는 경우 해당 AP를 꺼서 시스템의 전력 소모를 감소시키는 알고리즘이다.

그림 4-2는 RBA 기반에서 AP를 끄는 알고리즘이다. 켜져 있는 AP중 점유시간이 τ_{off} 보다 작아지게 되면 중앙처리장치는 AP α' 에 접속된 모든 사용자에게 대하여 다음과 같은 과정을 거친다. AP α' 에 접속된 사용자 S 와 가장 가까이 있는 α' 을 제외한 켜져 있는 AP α'' 을 찾고, 사용자 S 가 α' 에 접속 되었을 때 α'' 의 점유시간이 τ_{on} 을 넘어서는지 확인한다. 만약 점유시간이 τ_{on} 을 넘어서면 해당 AP가 꺼짐으로 인해 다른 AP를 과포화 시켜 사용자의 수율을 저하시키므로 AP α' 을 끄지 않는다. 점유시간이 τ_{on} 을 넘지 않으면 사용자가 S 가 α'' 에 접속되었다고 가정한 후 다른 사용자에게 대해 같은 과정을 거친다. 만약 모든 사용자가 재 접속으로 인해 다른 AP의 점유시간을 τ_{on} 이상으로 만들지 않는다면 AP α' 을 끈다. 여기서 사용자가 S 가 α'' 에 접속되었다고 가정하는 이유는 복수의 사용자가 하나의 AP로 재 접속 될 가능성이 있기 때문이다. 위의 가정이 없이 사용자들이 각각 접속될 AP의 현재

```

1 : For  $\alpha' \in A_{on}$ 
2 :   if  $T_{\alpha'} < \tau_{off}$ 
3 :     for  $s \in S_{\alpha'}$ 
4 :        $\alpha'' \leftarrow \arg \min_{\alpha \in A_{on} - \{\alpha'\}} D(\alpha, s)$ 
5 :       if  $T_{\alpha''} + T_s < \tau_{on}$ 
6 :          $T_{\alpha''} \leftarrow T_{\alpha''} + T_s$ 
7 :          $I(s) \leftarrow 0$ 
8 :       else
9 :          $I(s) \leftarrow 1$ 
10:      end
11:    end
12:    if  $\sum_{s \in S_{\alpha'}} I(s) == 0$ 
13:       $A_{off} \leftarrow A_{off} \cup \{\alpha'\}$ 
14:       $A_{on} \leftarrow A_{on} - \{\alpha'\}$ 
14:    end
15:  end
16: end
17: Execute RBA

```

표 4-2. RBA기반 AP 끄기 알고리즘.

점유시간값을 통해 AP를 끄기로 결정하게 되면 다른 켜져 있는 AP가 재 접속에 의해 과포화 상태가 될 수 있다. 위 조건을 통해 AP를 끄므로써 다른 AP에 많은 사용자가 몰려 사용자의 수율이 저하되는 현상을 막을 수 있다.

4.3. ABA 기반 AP 켜기 알고리즘

ABA기반 AP 켜기 알고리즘은 사용자가 ABA기법에 의해 AP와 접속되는 환경에서 필요한 시점에 AP를 켜서 다른 AP의 부담을 덜어주는 알고리즘이다.

그림 4-3은 ABA 기반에서 AP를 켜는 알고리즘이다. ABA기반 AP 켜기 알고리즘은 RBA기반 AP 켜기 알고리즘과 거의 비슷하게 작동한다. 다만 추가로 켜질 AP를 찾는 과정에서 모든 AP를 대상으로 찾지 않고, 꺼져있는 AP 중에서 α'' 을 선택한다. 그 이유는 RBA기반에서는 AP α'' 를 켜더라도 사용자가 α'' 에 접속되지 않을 수 있지만 ABA기반에서는 AP가 사용자에게 α'' 으로 재 접속 시킬 수 있기 때문이다. ABA기반 AP 켜기 알고리즘을 통해 모든 AP에 사용자들이 골고루 접속되면서 모든 AP가 사용자들을 감당하지 못 할 때 적절한 AP를 켜으로써 시스템에 존재하는 모든 AP가 켜지고 과포화 될 때까지 사용자들의 수율을 만족시킬 수 있다.

위와 같이 가장 가까이 있지 않음에도 사용자들을 재 접속하여 사용자들의 수율을 저하시키지 않을 수 있는 이유는 기업 무선 LAN 환경의 AP의 밀도가 높다는 특성 때문이다. 특정 사용자가 가장 가까이 존재하는 AP가 아닌 주변 AP에 접속되더라도 그 거리가 충분히 짧기 때문에 높은 전송률을 통해

```

1 : Execute ABA
2 : For  $\alpha' \in A_{on}$ 
3 :   if  $T_{\alpha'} > \tau_{on}$ 
4 :     if  $A_{off} \neq \emptyset$ 
5 :        $s' \leftarrow \arg \min_{s \in S_{\alpha'}} R(\alpha', s)$ 
6 :        $\alpha'' \leftarrow \arg \min_{\alpha \in A_{off}} D(\alpha, s')$ 
7 :        $A_{on} \leftarrow A_{on} \cup \{\alpha''\}$ 
8 :        $A_{off} \leftarrow A_{off} - \{\alpha''\}$ 
9 :     end
10:   end
11: end
12: Execute ABA

```

표 4-3. ABA기반 AP 켜기 알고리즘.

사용자의 수율을 낮추지 않기 때문이다.

4.4. ABA 기반 AP 끄기 알고리즘

ABA기반 AP 끄기 알고리즘은 사용자들이 ABA기법에 의해 AP와 접속되는 환경에서 AP에 접속된 사용자가 매우 적거나 없는 경우 해당 AP를 꺼서 시스템의 전력 소모를 감소시키는 알고리즘이다.

그림 4-4은 ABA 기반에서 AP를 끄는 알고리즘이다. ABA기반 AP 끄기 알고리즘은 RBA기반 AP 끄기 알고리즘과 거의 동일하게 작동한다. 다만 ABA의 경우 해당 AP가 꺼짐으로 인해 사용자들이 재 접속 될 AP들을 RBA와 달리 지정해줄 수 있다. 따라서 주변에 점유시간이 낮은 AP가 넉넉히 존재한다면 RBA에 비해 AP를 쉽게 끌 수 있다.

1 : Execute ABA	14: $I \leftarrow 1$
2 : For $\alpha' \in A_{on}$	15: elseif $A_{candidate} == \emptyset$
3 : if $T_{\alpha'} < \tau_{off}$	16: $I \leftarrow 0$
4 : for $s \in S_{\alpha'}$	17: end
5 : $A_{candidate} \leftarrow 0$	18: end
6 : for $\alpha \in A_{on} - \{\alpha'\}$	19: if $I == 1$
7 : if $T_{\alpha'} + T_s < \tau_{on}$	20: $S_{\alpha_{select}} \leftarrow S'_{\alpha_{select}}$
8 : $A_{candidate} \leftarrow A_{candidate} \cup \{\alpha\}$	21: $A_{off} \leftarrow A_{off} \cup \{\alpha'\}$
9 : end	22: $A_{on} \leftarrow A_{on} - \{\alpha'\}$
10: end	23: end
11: if $A_{candidate} \sim \emptyset$	24: end
12: $\alpha_{select} \leftarrow \arg \max_{\alpha \in A_{candidate}} R(\alpha, s)$	25: end
13: $S'_{\alpha_{select}} \leftarrow S'_{\alpha_{select}} \cup \{s\}$	26: Execute ABA

표 4-4. ABA기반 AP 쓰기 알고리즘.

제 5 장 시뮬레이션 결과

본 장에서는 시뮬레이션을 통해 제안 기법의 성능을 검증한다. 시뮬레이션은 MATLAB과 NS-3를 통해 수행하였다. 성능 분석 지표는 시스템에서 소모하는 파워와 사용자의 평균 수율로써 제안 기법의 성능의 좋고 나쁨을 판별하는 잣대이다. 모든 시뮬레이션 결과는 사용자 분포를 달리한 5회 시뮬레이션의 평균 값이다. 비교 기법은 모든 AP가 항상 작동하고 있는 모드이다.

AP의 파워 소모 데이터는 실측 값을 사용하였다. 실측 값은 그림 5-1과 같은 실험환경에서 측정하였다. AP는 iptime 을 사용하였고, 5GHz 대역만을 활성화 시킨 환경에서 실험하였다. AP에는 파워 소모 측정 장비인 monsoon power monitor와 데이터 전송을 위해 트래픽 발생 프로그램인 iperf 가 설치된 서버 PC를 연결 하였다. 사용자 쪽 역시 iperf를 설치하였고 데이터가 제대로 전송되는 지 확인하기 위하여 데이터 분석 장비인 AirPcap과 분석 프로그램인 wireshark이 설치된 PC를 설치하였다. 실측을 토대로 얻은 결과는 표 5-1과 같으며 시뮬레이션에 적용하였다.

고려하는 시뮬레이션 파라미터는 표 5-2와 같다. AP는 총 21개를 20m 간격으로 배치하였고, 이중에 4개의 AP를 BAP로 설정하였다. 사용자는 1~100까지 무작위로 분포시켰다. 채널의 수는 21개로 각각의 AP가 모두 다른 채널에서 작동하도록 하였다. 북미에서 5GHz 대역에서 사용

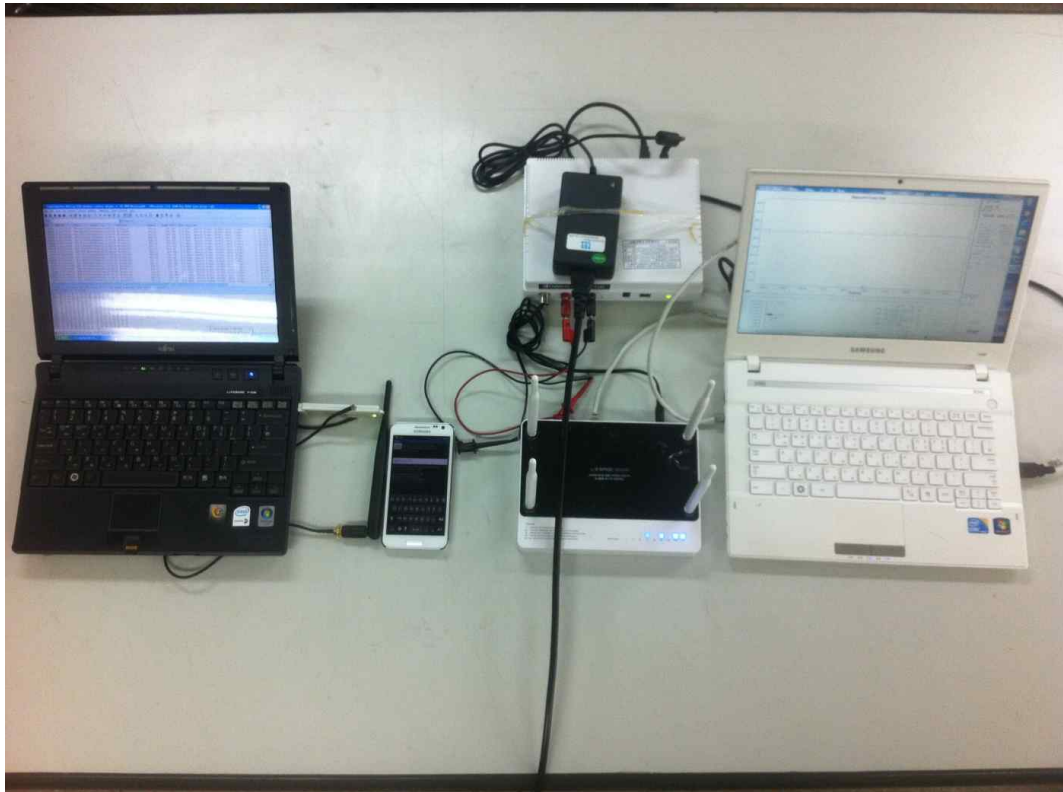


그림 5-1. AP 파워 소모 측정 환경.

표 5-1. AP 파워 소모 측정 결과.

AP 파워 소모 측정 결과	
기본 파워 소모 (W)	2.72
수신 시 파워 소모 (W)	3.21
전송 시 파워 소모 (W)	3.36

표 5-2. 시뮬레이션 파라미터.

시뮬레이션 변수	
AP 수	21
사용자 수	1~100
채널 수	21
전송률 적용	Minstrel
트래픽	Downlink TCP 5 Mbps/STA

가능한 채널은 22개로 21개의 채널 환경은 실제로 적용할 수 있는 숫자이다. 전송률 적용은 Minstrel 방식을 사용하였으나 시뮬레이션에서는 AP간 간격이 가깝고 간섭이 없는 환경이므로 대부분의 전송은 54Mbps의 전송률로 이루어졌다. 트래픽은 다운링크를 고려하였고 TCP형태로 5 Mbps/STA으로 설정하였다.

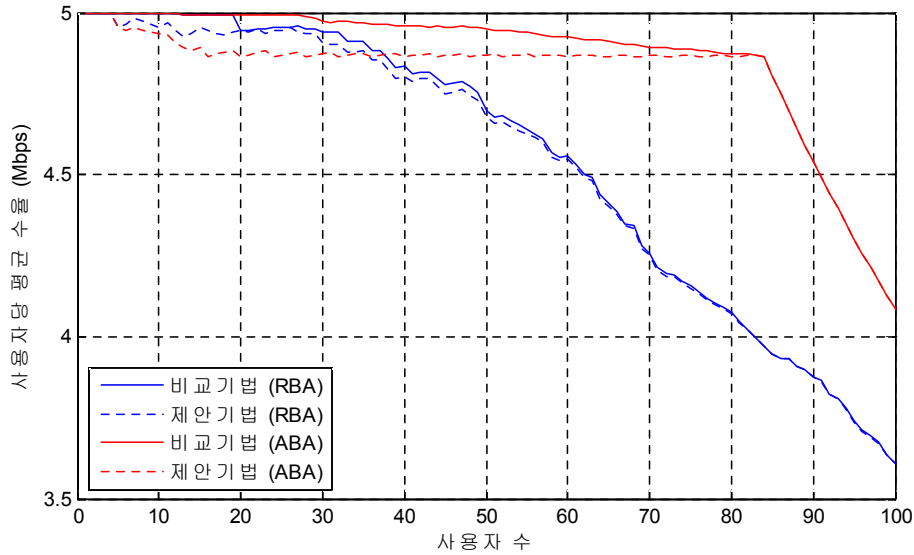


그림 5-1. 사용자 증가 시 사용자당 평균 수율.

그림 5-1은 사용자수를 1~100까지 증가시켰을 때 제안기법과 비교기법의 사용자의 평균 수율을 나타낸다. τ_{on} 은 0.728로 AP의 점유시간이 포화되는 값이다. ABA기반의 비교기법은 τ_{on} 을 기준으로 사용자를 AP에 분배하므로 모든 AP의 점유시간이 포화되는 사용자수 84지점까지 수율이 완만하게 감소하다가 이후로는 과포화 상태의 AP가 증가하며 수율이 가파르게 감소한다. 84이전에 완만히 감소하는 이유는 τ_{on} 이 AP의 점유시간이 포화되는 부분이므로 약간의 수율 저하가 발생하기 때문이고, 84이후에 가파르게 감소하는 이유는 이미 포화 상태의 AP에 추가적인 사용자가 접속되면서 AP가 모든 사용자의 데이터를 처리하지 못하기 때문이다. ABA기반의 제안기법은 사용자수 16지점부터 약 4.85 Mbps의 수율을 유지하다 84지점부터 급격하게 감소한

다. 1~16구간은 켜져 있는 AP에 사용자를 균등하게 배치하게 되는데 비교기법에 비해 켜져 있는 AP의 수가 적으므로 더 빠르게 포화된 AP가 많고 수율이 상대적으로 빠르게 감소한다. 17~84 구간에서는 제안기법에 따라 서서히 AP를 켜나가며 비교기법과의 수율 차이가 좁혀진다. 사용자수가 84 이후의 가파른 감소현상은 비교기법의 원인과 같다. RBA기반의 비교기법은 사용자들이 켜져 있는 AP의 RSSI 값 만을 기준으로 접속된다. 이미 포화된 AP와 가까운 거리에 사용자가 나타나게 되면 주변 AP의 점유시간이 여유가 있더라도 가까운 포화 AP에 접속된다. 이러한 이유로 ABA 비교기법에 비해 더 빠르게 수율이 저하된다. 사용자가 100인 지점에서 수율이 더 낮은 이유는 RBA기법의 경우 포화되지 않은 AP가 존재할 수 있고 해당 AP들이 추가적으로 서비스할 수 있는 만큼의 사용자가 포화 AP에 접속되어 수율에 손해를 보기 때문이다. RBA기반의 제안기법은 RBA기반 비교기법과 거의 차이가 없는 수율을 나타낸다. 비교기법의 사용자와 접속된 AP와 거의 동일한 AP들을 켜기 때문이다. 사용자수가 적을 때 포화된 AP가 더 많기 때문에 차이가 발생하지만 AP가 알고리즘에 따라 켜지면서 차이가 줄어들게 된다.

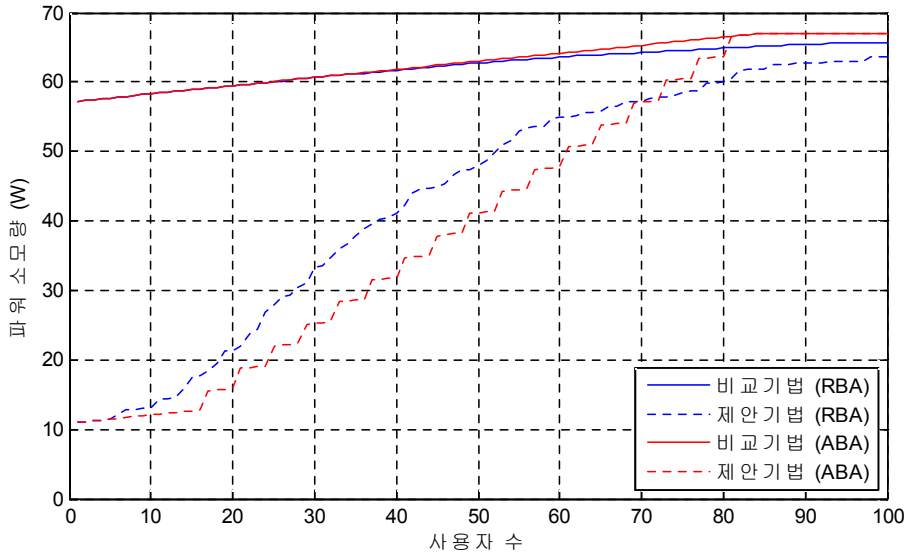


그림 5-2. 사용자 증가 시 파워 소모량.

그림 5-2는 사용자수를 1~100까지 증가시켰을 때 제안기법과 비교기법의 전체 파워 소모량을 나타낸다. 비교기법들은 모든 AP가 켜진 상태를 유지하므로 사용자가 적더라도 AP들이 켜져 있는 것만으로 사용하는 파워 57 W 를 사용한다. 사용자가 증가함에 따라 전송 파워가 발생하게 되며 이에 따라 파워 소모량은 서서히 증가한다. 사용자 수가 50을 넘어서게 되면 RBA기반에 비해 ABA기반의 비교기법이 더 많은 파워를 소모하게 되는데 이는 ABA기반 비교기법은 모든 AP가 모두 포화상태가 되지만 RBA기반 비교기법은 포화되지 않는 AP가 존재하고 이에 따라 전송파워를 더 적게 사용하기 때문이다. ABA기반의 제안기법은 4개의 기본 AP가 모두 포화되는 사용자수 16 이후로 계단식으로 파워가 증가하다가 모든 AP가 켜지는 사용자수 81 지점에

서 비교기법과 같은 파워를 소모하게 된다. 파워가 계단 식으로 증가하는 이유는 모든 AP가 포화되어야 추가적인 AP를 켜기 때문에 본 시뮬레이션과 같이 동일한 데이터를 요구하는 사용자를 가정한 경우 일정한 계단식 결과를 나타내게 된다. RBA기반의 제안기법은 ABA기반의 제안기법보다 더 빠르게 AP를 켜게 되므로 파워 소모량이 더 위쪽에 위치하게 된다. 다만 사용자가 70을 넘어서게 되면 역전이 되고, RBA기반 제안기법은 RBA기반 비교기법보다 낮은 파워에 수렴한다. 그 이유는 RBA기반 제안기법의 경우 사용자의 분포에 따라 특정 AP가 켜지지 않을 수 있기 때문에 이에 소모되는 전력을 덜 사용하게 되기 때문이다.

그림 5-3은 사용자수를 100~1까지 감소시켰을 때 제안기법과 비교기법의 사용자의 평균 수율을 나타낸다. τ_{off} 는 0.2로 설정하였다. 비교기법의 경우 사용자가 증가할 때의 그래프의 반전형태와 거의 동일하며 제안기법은 이 비교기법과 거의 동일한 그래프를 나타낸다. 이는 AP를 끄는 알고리즘이 AP를 끄므로 인해서 생기는 수율 저하를 최대한 막고 있기 때문이다. 단 AP를 끄면서 주변 AP에 약간의 부담을 주기 때문에 적은 수율 저하는 나타나게 된다.

그림 5-4는 사용자수를 100~1까지 감소시켰을 때 제안기법과 비교기법의 전체 파워 소모량을 나타낸다. 비교기법의 경우 사용자가 증가할 때의 그래프의 반전형태와 거의 동일하다. 제안기법의 경우 RBA기반 제안기법이 ABA기반 제안기법에 비해 먼저 파워가 감소하기 시작한다. 이는 ABA기법이 AP를 끄는 알고리즘 전에 사용자를 분배하는 알고리즘이 먼저 진행되기 때문이다. 하지만 AP를 끄는 알고리즘의 조건은 거의 동일하므로 사용자수가 50이하가 되면 비슷한 결과를 나타낸다.

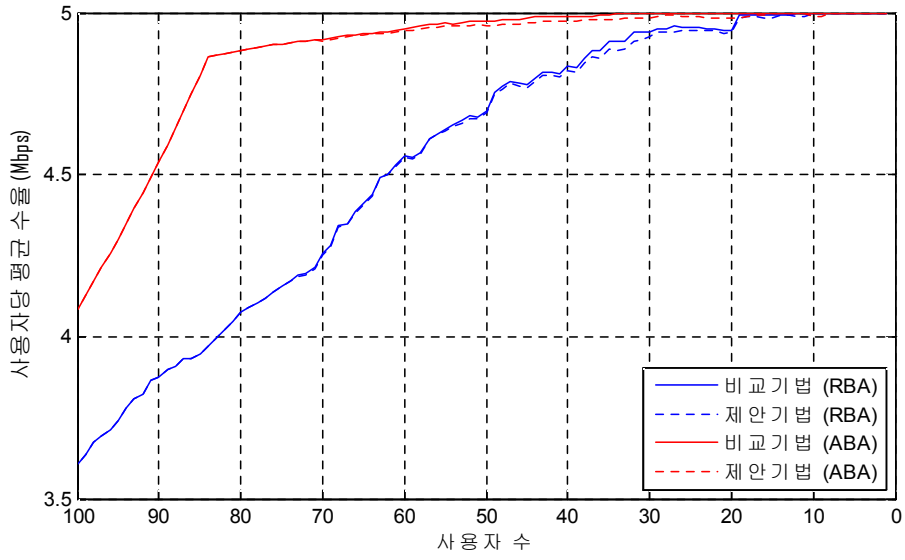


그림 5-3. 사용자 감소 시 사용자당 평균 수율.

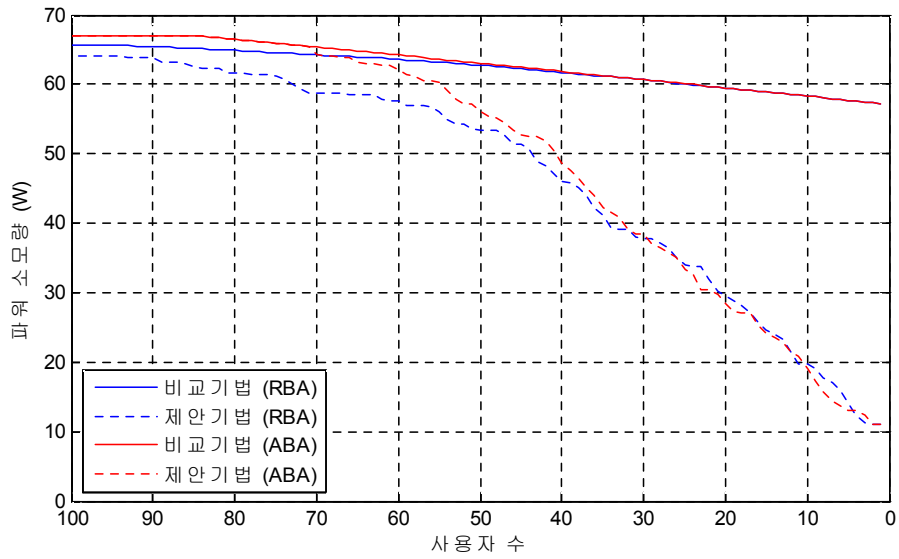


그림 5-4. 사용자 감소 시 파워 소모량.

그림 5-5는 사용자수를 1~100까지 증가시켰을 때 비교기법과 τ_{on} 을 달리 한 RBA기반 제안기법의 사용자의 평균 수율을 나타낸다. 흑색 선은 비교기법, 청색 선은 τ_{on} 이 0.6인 제안기법, 녹색 선은 τ_{on} 이 0.728인 제안기법, 적색 선은 τ_{on} 이 0.728인 경우에서 한 명의 사용자를 더 접속하는 경우이다. 적색 선의 경우 점유시간 뿐만 아니라 AP에 접속된 사용자수도 고려해야 하며 사용자의 데이터 요구량이 같지 않을 경우 큰 의미가 없으나 더 보수적으로 AP를 켜므로써 파워 소모를 더 낮추고 수율 감소를 감수하는 결과를 비교하기 위해 추가하였다. τ_{on} 이 0.6인 경우는 비교기법과 동일한 결과를 나타낸다. 그 이유는 τ_{on} 값이 AP가 포화되는 값보다 작아서 AP가 포화되기 전에 추가적인 AP를 켜서 수율 저하를 철저히 막기 때문이다. τ_{on} 이 0.728인 경우는 비교기법에 비해 약간 낮은 수율을 나타내지만 사용자 수가 증가하면 AP가 대부분 켜지면서 차이가 거의 없어지게 된다. 적색 선의 경우는 위 두 기법에 비해 AP를 늦게 키게 되고 그에 따라 포화되는 AP의 수가 상대적으로 증가하고 수율이 낮아지게 된다.

그림 5-6은 사용자수를 1~100까지 증가시켰을 때 비교기법과 τ_{on} 을 달리 한 RBA기반 제안기법의 전체 파워 소모량을 나타낸다. τ_{on} 값이 낮을수록 AP가 먼저 켜지기 시작하므로, 그래프가 먼저 증가하기 시작한다. 사용자수가 100일 때 적색선의 경우는 다른 제안기법에 비해 1개의 AP가 더 켜지지 않아서 더 낮은 파워를 소모한다.

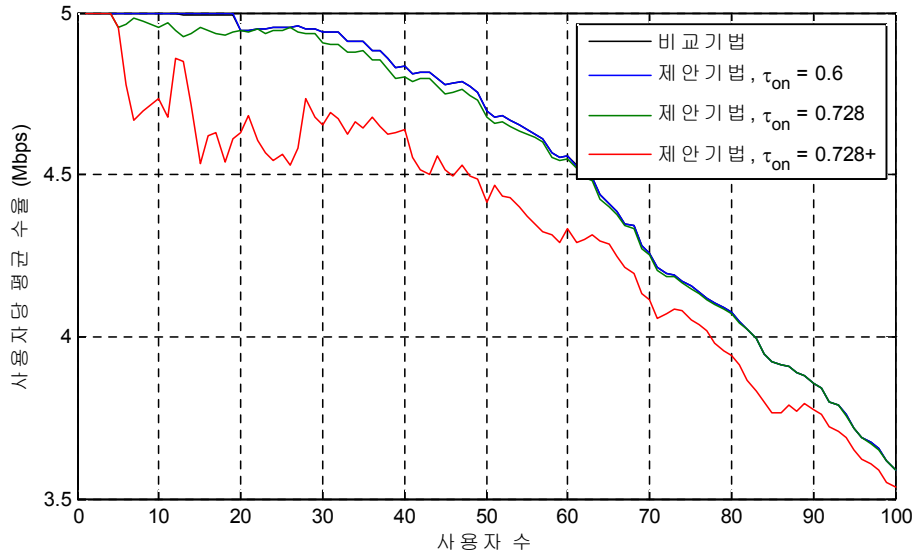


그림 5-5. RBA 기반 사용자 증가 시 문턱 값에 따른 사용자당 평균 수율.

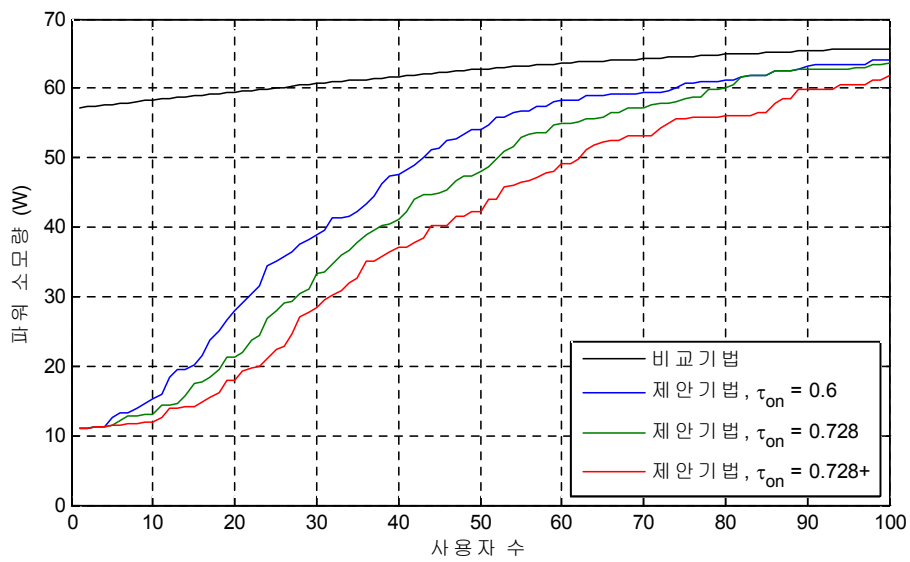


그림 5-6. RBA 기반 사용자 증가 시 문턱 값에 따른 파워 소모량.

그림 5-7은 사용자수를 1~100까지 증가시켰을 때 비교기법과 τ_{on} 을 달리 한 ABA기반 제안기법의 사용자의 평균 수율을 나타낸다. RBA기반의 경우 비교기법의 결과가 τ_{on} 에 따라 변하지 않았으나 ABA기법의 경우 사용자 접속을 하는 과정에서 τ_{on} 을 기준으로 하므로 τ_{on} 을 달리함에 따라 비교기법의 결과가 달라진다. τ_{on} 이 0.6인 경우에는 제안기법과 비교기법이 동일한 결과를 나타낸다. 이는 RBA의 경우와 마찬가지로 AP가 포화되기 전에 추가적인 AP를 켜므로써 수율 저하를 막기 때문이다. 하지만 사용자가 63을 넘어서면 RBA와 같은 기법으로 사용자 접속이 되므로 수율이 빠르게 떨어진다. τ_{on} 이 0.728인 경우는 그림 5-1에서 설명하였으므로 생략한다. τ_{on} 이 0.728인 경우와 비슷한 패턴을 가지지만 AP가 포화된 후에도 추가적인 사용자를 접속하므로 사용자당 평균 수율이 더 낮은 지점에서 유지된다.

그림 5-8은 사용자수를 1~100까지 증가시켰을 때 비교기법과 τ_{on} 을 달리 한 ABA기반 제안기법의 전체 파워 소모량을 나타낸다. 비교기법의 경우 τ_{on} 을 달리함에 따라 사용자수가 많은 구간에서 미세한 차이가 존재한다. 그 이유는 τ_{on} 이 0.6인 경우와 τ_{on} 이 0.728+인 경우는 포화상태에 이르지 않는 AP가 존재할 수 있기 때문이다. 제안기법의 경우는 τ_{on} 이 낮은 값을 가질수록 더 빠르게 AP를 켜기 시작한다. 따라서 더 많은 파워를 소모하게 된다.

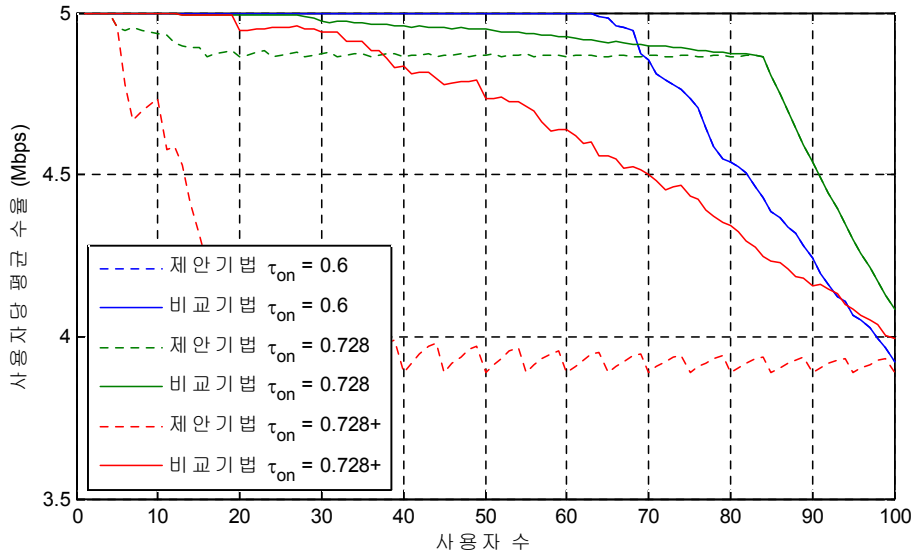


그림 5-7. ABA 기반 사용자 증가 시 문턱 값에 따른 사용자당 평균 수율.

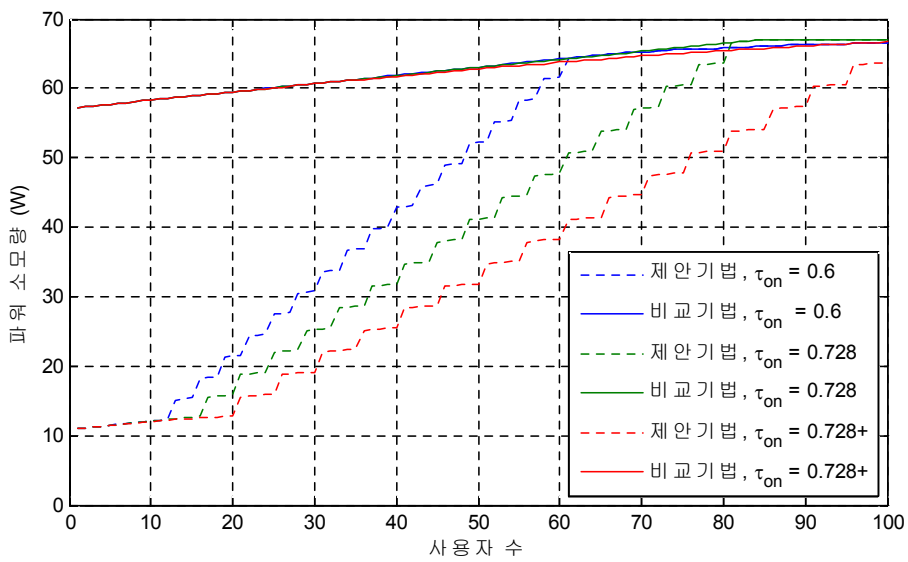


그림 5-8. ABA 기반 사용자 증가 시 문턱 값에 따른 파워 소모량.

그림 5-9와 5-10은 각각 사용자수를 100~1까지 감소시켰을 때 비교기법과 τ_{off} 를 달리한 RBA기반 제안기법과 ABA기반 제안기법의 사용자의 평균 수율을 나타낸다. 흑색 선은 비교기법, 청색 선은 τ_{off} 가 0.2인 제안기법, 적색 선은 τ_{off} 가 0.4인 제안기법이다. 두 제안기법 모두 사용자 감소 시 제안기법은 다른 AP를 과포화 시키지 않는 조건이 있으므로 τ_{off} 값을 커지더라도 사용자당 평균수율은 크게 떨어지지 않는다. 단 τ_{off} 값이 커질수록 포화 상태의 AP가 존재하게 될 확률이 증가하므로 작은 수율 저하는 존재한다.

그림 5-11과 5-12는 사용자수를 100~1까지 감소시켰을 때 비교기법과 τ_{off} 를 달리한 RBA기반 제안기법과 ABA기반 제안기법의 전체 파워 소모량을 나타낸다. 두 경우 모두 τ_{off} 값을 증가시키게 되면 더 빠르게 AP를 끄기 때문에 파워 소모를 줄일 수 있다. 다만 사용자 감소 시 제안기법은 다른 AP를 과포화 시키지 않는 조건이 존재하므로 τ_{off} 값이 특정 값 이상으로 커지게 되면 추가적인 파워 감소효과를 볼 수 없다.

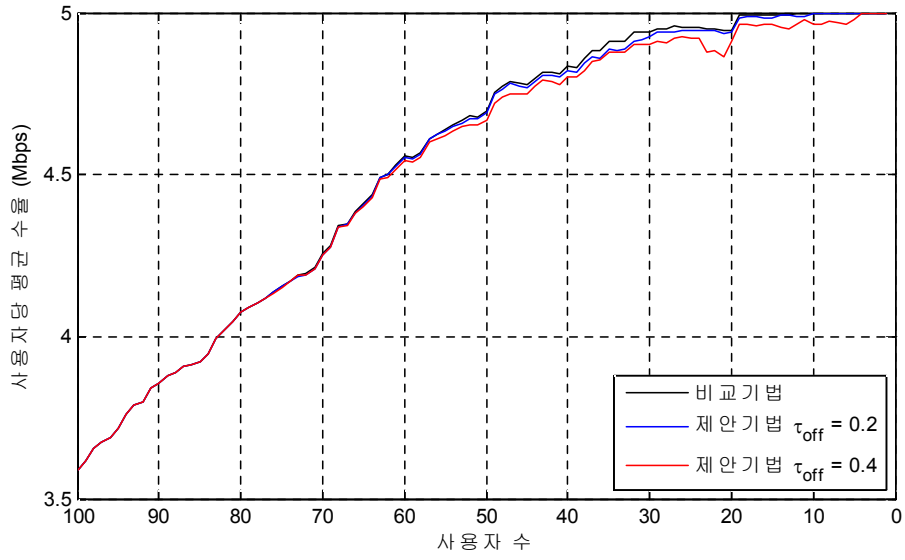


그림 5-9. RBA 기반 사용자 감소 시 문턱 값에 따른 사용자당 평균 수율.

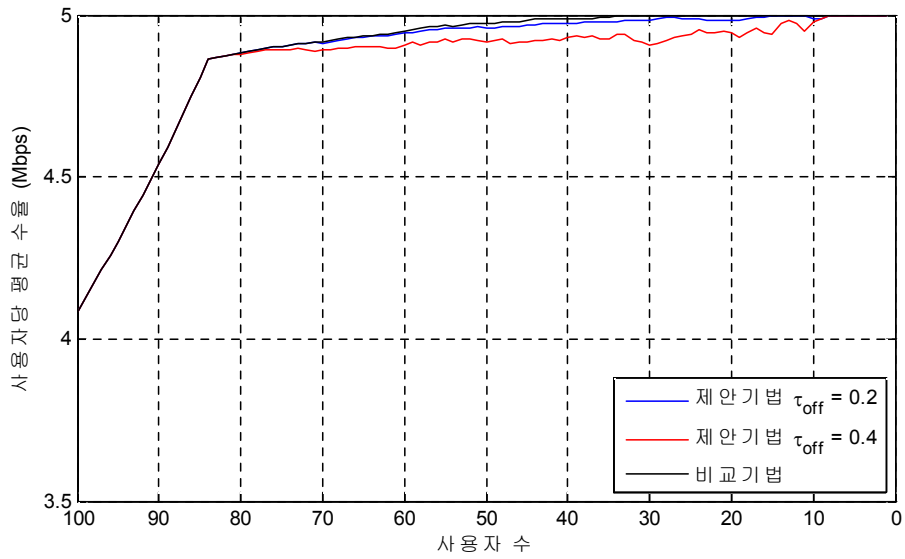


그림 5-10. ABA 기반 사용자 감소 시 문턱 값에 따른 사용자당 평균 수율.

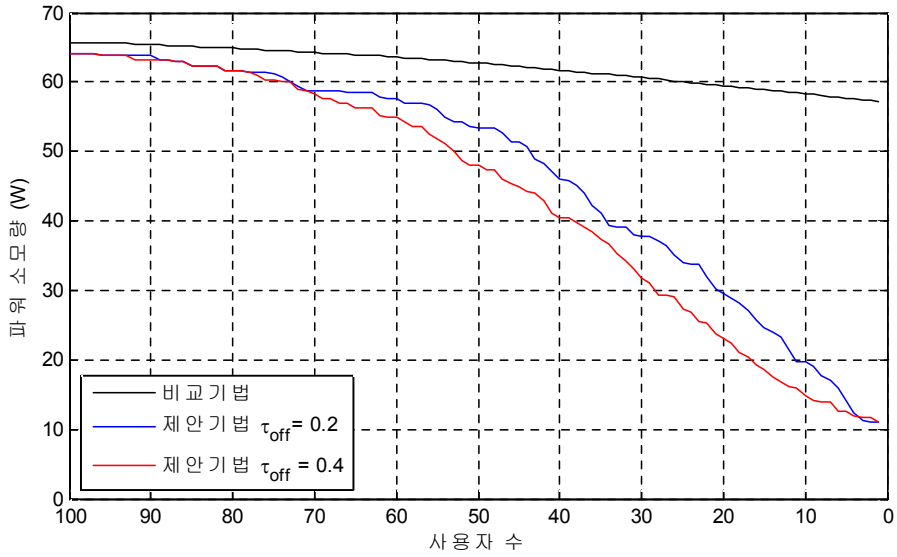


그림 5-11. RBA 기반 사용자 감소 시 문턱 값에 따른 파워 소모량.

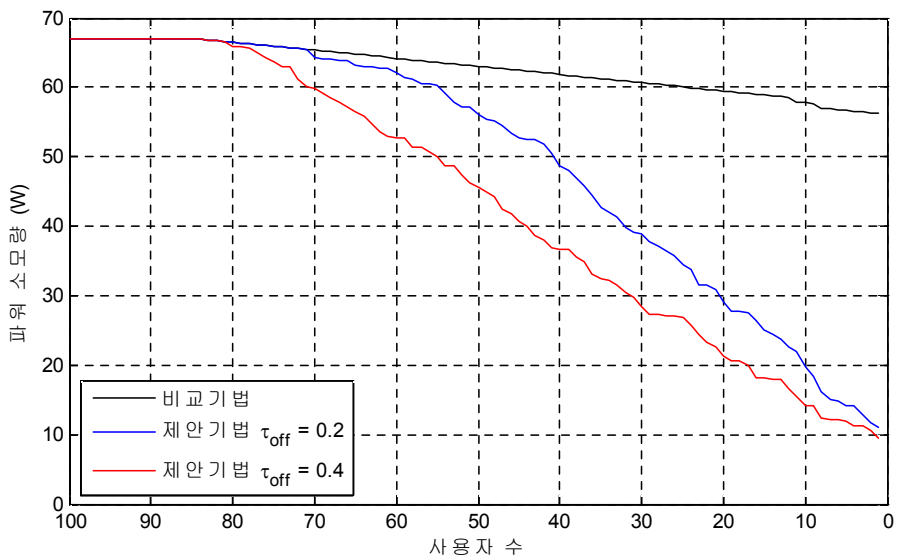


그림 5-12. ABA 기반 사용자 감소 시 문턱 값에 따른 파워 소모량.

제 6 장 결론

본 논문에서는 기업형 무선 LAN 환경에서 AP를 사용자의 수율을 크게 저하시키지 않으면서 시스템의 파워 소모를 크게 감소시키는 AP 개폐(on/off) 기법을 제안하였다. 현재 AP들은 사용자들이 매우 적거나 혹은 존재하지 않는 상황에서도 항상 켜져 있어 많은 파워를 소모하고 있기 때문에 이러한 문제점을 해결하기 위해 AP 개폐 기법을 제안한 것이다. 구체적으로, RBA(RSSI 기반 접속)와 ABA(점유시간 기반 접속)에서 AP의 점유시간 기준으로 AP에 과도한 사용자가 물리게 되면 RSSI 정보와 AP의 점유시간 및 사용자들의 위치정보를 이용하여 적절한 AP를 선택해서 켜거나 사용자를 다른 AP에 재 접속시켰다. 그러나 만일 AP의 점유시간이 문턱 값 미만으로 내려가게 되는 경우, 현재 서비스 중인 사용자들의 수율을 고려하여 불필요한 AP들을 꺼줌으로써 시스템의 파워 소모를 줄였다.

시뮬레이션을 수행하여 RBA와 ABA기법 모두에서 제안된 AP 개폐 기법이 모든 AP가 켜져 있는 환경에 비해 사용자들의 수율을 크게 감소시키지 않으면서 파워 소모를 감소시킴을 확인하였다. 이는 제안 기법이 사용자들의 수율을 떨어뜨리지 않는 조건하에서 적절한 AP를 켜고 끄도록 설계되었기 때문이다.

문턱 값인 τ_{on} 을 높게 설정할수록 AP를 보수적으로 켜게 되어 사용자의 수율을 잘 보장하지만 시스템의 파워 소모 감소량은 줄어드는 것을

확인하였다. 반대로, τ_{off} 값을 높게 설정할수록 AP를 더 빨리 끄게 되므로 사용자의 수율을 덜 보장하지만 시스템의 파워 소모 감소량은 더 늘어나는 것을 확인하였다. 그러므로 제안 AP 개폐 기법은 문턱 값을 적절히 조절함으로써 사용자의 수율을 확실하게 보장하는 상황 혹은 사용자의 수율 저하를 감수하더라도 많은 파워 소모를 감소 시키고자 하는 상황에 따라 잘 대응할 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] A. P. Jardosh, G. Iannaccone, K. Papagiannaki, and B. Vinnakota, "Towards an energy-star WLAN infrastructure," in *proc. HOTMOBILE*, 2007
- [2] B. H. Jung, H. Jin, and D. K. Sung, "Adaptive transmission power control and rate selection scheme for maximizing energy efficiency of IEEE 802.11 stations," in *proc. IEEE PIMRC*, 2012
- [3] Y. Kondo, H. Yomo, S. Tang, M. Iwai, T. Tanaka., H. Tsutsui and S. Obana, "Wake-up radio using IEEE 802.11 frame length modulation for radio-on-demand wireless LAN," in *proc. IEEE PIMRC*, 2011
- [4] H. Leppäkoski, J. Collin, and J. Takala, "Pedestrian navigation based on inertial sensors, indoor map, and WLAN signals," in *proc. ICASSP*, 2012

Abstract

The thesis presents a new algorithm that turns on/off APs in the enterprise wireless LAN environment equipped with centrally controlled APs such that the power consumption of the overall wireless LAN is reduced while maintaining the throughput decrease at a minimum level. In recent years the number of APs has rapidly increased to meet the increasing users' demand on wireless LAN services, which caused steep increase of system power consumption. In order to resolve that problem, conventional studies reported algorithms that tried to reduce AP's transmission power or turn APs into sleep mode. The resulting reduction power consumption of the overall system, however, was rather limited, and thus this thesis takes a somewhat drastic approach that tries to turn off some APs completely. Specifically, the proposed AP on/off algorithm operates in the following manner: If new users are associated to an AP thereby causing the airtime of that AP to exceed a predetermined threshold, the AP issues a request to the central controller to turn on an additional AP. Then the central controller determines which area has the weakest user signal strength based on the data reported by all the APs in the network and then turns on an AP in that area. At the same time, the central controller continually monitors if the airtime of any AP in on-state drops below a predetermined threshold. If it happens at an AP the controller turns off that particular AP after checking if by turning off the AP the services being provided to the users might be deteriorated below a pre-set service level. According to simulations, the proposed AP on/off algorithm turned out to

reduces the power consumption of the overall system substantially without causing significant throughput decrease.

Keywords : Enterprise WLANs, AP switching on/off algorithm, power consumption

Student Number : 2011-20844