

# 802.11 Ad-Hoc 네트워크에서 Power Save Mechanism을 개선한 DAPSM 알고리즘

박재현<sup>†</sup> · 이장수<sup>\*\*</sup> · 김성천<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

최근 무선 네트워크 장치들이 등장 하면서 제한된 배터리에 의존하는 무선 호스트들의 전력 절감은 중요한 이슈 가 되었다. 특히 Ad-Hoc에서 배터리는 제한된 에너지를 제공하기 때문에 무선 호스트에 의해서 소모되어지는 에너지의 양을 감소시키기 위한 기술은 대단히 중요하다. 특히 MAC 과 라우팅 에서 전력 절감을 이루기 위한 논문들이 기존에 발표 되었다. 이 논문에서는 IEEE 802.11 표준의 DCF (Distributed Coordination Function) 에서의 전력 절감 메커니즘을 향상 시킨 논문 이다. DCF를 위한 IEEE 802.11 전력 절감 메커니즘에서는 비콘 간격 이라는 시간으로 나누어지며 또한 이러한 각각의 비콘 간격이 시작될 때 각각의 노드들은 ATIM 창 동안 깨어 있어야 한다. 물론 모든 노드는 같은 시간에 깨어 있기 위해서는 동기화 되는 것이 필요하다. ATIM 창 동안 노드들은 비콘 기간 동안 깨어 있는 상태로 있을 것인지를 결정하기 위해서 control packet을 교환 한다. 이러한 ATIM 창 크기는 각각의 노드들의 전력 절감에 상당한 영향을 미친다. 따라서 이 논문은 ATIM 창 크기를 동적으로 증감시켜서 보다 에너지 효율을 발휘 하고자 하는 논문이다.

키워드 : 애드혹 네트워크, ATIM 창, 비콘간격, 전력절감

## Dynamic ATIM Power Saving Mechanism(DAPSM) in 802.11 Ad-Hoc Networks

Jaehyun Park<sup>†</sup> · Jangsu Lee<sup>\*\*</sup> · Sungchun Kim<sup>\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

Recently, wireless networking devices that depend on the limited Battery and power-saving of wireless hosts became important issue. Batteries can provide a finite amount of energy, therefore, to increase battery lifetime, it is important to design techniques to reduce energy consumption by wireless hosts. This paper improved power saving mechanism in Distributed Coordination Function(DCF) of IEEE 802.11. In the IEEE 802.11 power saving mechanism specified for DCF, time is divided into so-called beacon intervals. At the start of each beacon interval, each node in the power saving mode periodically wakes up during duration called the ATIM Window. The nodes are required to be synchronized to ensure that all nodes wake up at the same time. During the ATIM window, the nodes exchange control packets to determine whether they need to stay awake for the rest of the beacon interval. The size of the ATIM window has considerably affected power-saving. This paper can provide more power-saving than IEEE 802.11 power saving mode because ATIM window size is efficiently increased or decreased.

Key Words : Ad-hoc, ATIM window, Beacon interval, Power save

## 1. 서 론

Mobile Ad-Hoc Network를 구성하는 대부분의 노드는 이동성을 지원하기 위해 제한된 용량의 배터리를 에너지 원으로 사용할 수밖에 없다. 이와 같은 에너지원의 제약은 라우팅 프로토콜 설계에도 큰 영향을 준다. 따라서 노드들의 에너지 상태를 고려하여 경로를 선택해야 안정적

인 데이터 전송이 가능하다. 또한, 이러한 에너지 제약은 링크의 단 방향 전송 상태를 발생시키기도 한다. 즉, 에너지가 많은 노드는 무선 전송 시에 전력을 더 쓸 수 있으므로, 무선 전송 거리가 에너지가 적은 노드의 무선 전송 거리보다 상대적으로 멀기 때문에 에너지가 많은 노드에서 적은 노드로의 전송은 가능하나 반대인 경우는 불가능할 수도 있다. 따라서 효율적인 에너지 사용 또는 절약메커니즘 등이 대용량의 배터리의 개발과 같은 근본적인 문제와 맞물려서 고려되어야 한다[2,3,4]. Ad-Hoc에서는 전체적인 네트워크에서의 데이터 흐름에 대한 정보를 수집하거나 관리하는 중앙 관리자가 없기 때문에 분산

\* 이 논문은 2007년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음

† 정 회 원 : LG전자

\*\* 정 회 원 : 서강대학교 공과대학 컴퓨터학과 박사과정

\*\*\* 정 회 원 : 서강대학교 공과대학 컴퓨터학과 교수

논문접수 : 2007년 2월 28일, 심사완료 : 2007년 9월 14일

시스템을 사용해야 하는데, 각각의 노드들은 다른 노드들이 잠드는 것을 방지하기 위하여 ATIM (Announcement Traffic Indication Messages)을 사용한다. 모든 노드들은 비콘 전송 후, 특정 시간 동안 ATIM 프레임을 듣는다. 노드들이 다른 노드들을 위한 버퍼링된 데이터를 가지고 있다면, ATIM 프레임을 보낼 수 있다. ATIM 프레임은 전송할 데이터가 있음을 의미하므로 사실상 트랜시버를 유지하는 메시지다. ATIM 프레임을 수신하지 않은 스테이션은 전력 절감 모드로 자유롭게 들어갈 수 있다[1]. 그러나 이러한 ATIM 창은 비콘 간격 이라고 하는 데이터 전송기간 동안 보내지는데 이 기간에서 차지하는 비중이 크며 비효율적이기 때문에 이러한 ATIM 창을 동적으로 변화시켜 전력을 절감하고자 하는 논문들이 제시되었고 본 논문에서는 이에 대해서 동적으로 ATIM 창을 변화시키는 DAPSM (Dynamic ATIM Power Save Mechanism) 알고리즘을 제시하여 기존의 방법을 개선하고자 하였다.

2. 배경 지식

2.1 관련 연구 및 DPSM 알고리즘

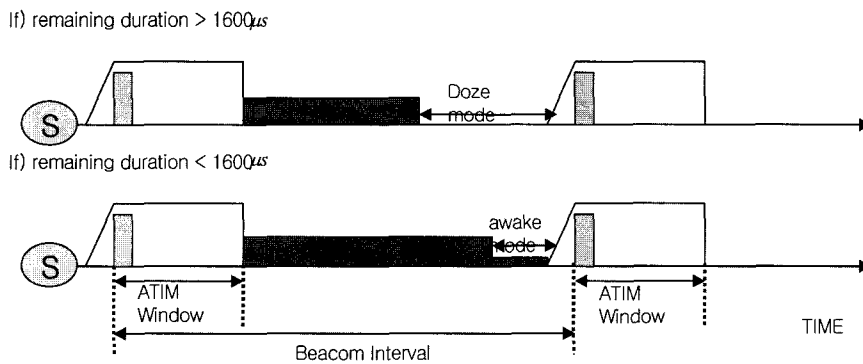
DCF에서의 동작을 응용한 몇몇 관련된 알고리즘을 살펴보면 먼저 Juan Carlos Cano에 의해서 제시된 알고리즘은 RTS (Request-To-Send)와 CTS (Clear-To-Send)를 교환하여 주변 노드들이 이러한 동작을 overhear했을 경우에 주변 노드들은 전력 절감 모드로 들어가게 된다. 이러한 알고리즘은 기존의 기법 보다는 전력 관리 차원 에서는 효율적이지만 빈번하게 깨어있거나 또는 전력 절감 모드로 되기 때문에 불필요한 전력을 낭비한다는 단점이 있다[4]. 다음은 Benjie Chen에 의해 제안된 SPAN 알고리즘이다. 이것은 주기적으로 변화하는 coordinators와 non-coordinators라는 그룹을 각각 형성한 후 coordinators 그룹은 활성상태로 전환하여 데이터를 전송하며 non-coordinators 그룹은 전력 절감 상태로 남는다[5]. 또한 Nitin H. Vaidya 에 의해서 제시된 알고리즘은 802.11에서 사용할 수 있는 14개의

채널 중에 통신을 위해서 사용할 수 있는 1, 6, 그리고 11번 채널 중 2개의 채널을 사용하여 control packet 과 data packet을 각각 따로 보냄으로서 보다 효율적인 전송 속도를 내고 전력을 절감하고자 하였다. 그러나 이러한 알고리즘의 단점은 두개의 채널을 사용함에 있어서 각기 다른 채널로 전환하기 위한 장치가 필요하다는 것이 단점이다[6].

2001년에 제안된 DPSM(Dynamic Power Saving Mechanism)을 살펴보면 ATIM 창 크기를 동적으로 증감시키기 위한 몇 가지 규칙이 있다[4]. DPSM의 주요한 특징을 살펴보면 먼저 IEEE 802.11에 명시되어 있는 PSM (Power Saving Mechanism)과의 두드러진 차이점 두 가지 중 첫째는 ATIM 창이 동적으로 변화한다는 것이고 둘째는 데이터를 전송하는 비콘 간격동안 저장된 데이터의 전송이 끝난 후에 남은 기간 동안 전력 절감 상태로 바뀐다는 것이다.

깨어 있는 상태에서 전력 절감 모드로 변화하는데 800μsec가 필요하며 전력 절감 모드에서 깨어 있는 상태로 변화 하는데 800μsec가 필요하므로 전체 1600μsec가 걸린다. 따라서 남겨진 비콘 간격이 1600μsec이상이면 전력 절감 모드로 변화되고 그렇지 않을 경우에는 그대로 깨어있는 상태로 남겨진다. (그림 1)은 그러한 상태를 표현하였다. 또한 DPSM 알고리즘의 ATIM 창 크기를 변화시키기 위한 몇 가지 작동원리를 살펴보면 다음과 같다.

- 1) ATIM 창 동안 알리지 못한 패킷들의 수가 10개 이상 일 경우에는 다음 비콘 간격에서 해당 노드의 ATIM 창의 크기를 1레벨 증가시킨다. 이 알고리즘 에서 1레벨은 2 μsec의 크기 이다.
- 2) 노드들의 상태를 overhear 하면서 이웃한 노드의 창 크기가 2레벨 이상 더 클 경우에도 역시 다음 비콘 간격에서 해당 노드의 창 크기를 1레벨 증가시킨다.
- 3) ATIM 창이 종료된 이후에 다른 노드로부터 ATIM 프레임을 받았을 경우 에도 다음 비콘 간격에서 해당 노드의 창 크기를 1레벨 증가 시킨다.



(그림 1) 비콘 간격에 따른 절감모드

- 4) ATIM 프레임은 하나의 비콘 간격 동안 3번의 재 전송으로 제한한다. 만약 ATIM-ACK를 3번의 재 전송 후에도 받지 못한다면 패킷은 "mark"되며 다음 비콘에 전송하기 위해서 다시 저장 된다. 이렇게 다시 저장된 패킷은 다음 ATIM 창 동안에 재 전송된다. 이러한 경우에 marked 된 패킷을 전송 받았을 경우에는 다음 비콘 간격에서 해당 노드의 창 크기를 1레벨 증가시킨다.
- 5) 만약 앞의 4가지 경우에 해당 되지 않는다면 1레벨 감소시킨다.

이러한 DPSM 알고리즘은 주요한 개선점을 내포한다. 즉, 정해진 증감 규칙을 통해서 해당 규칙이 적용되면 다음 비콘 간격에서 1레벨(2 μsec)만을 증가시키기 때문에 각 노드들의 ATIM 창 크기의 차이가 클 경우 모든 트래픽 상황에 적용시키기에는 무리다. 왜냐하면 한번의 비콘 간격 동안 증감하는 ATIM 창의 크기가 1레벨로 정해져 있기 때문이다. 또한 전송해야 할 패킷의 수가 많으면 많을수록 위와 같은 이유로 비효율적이다.

### 2.2 ATIM 프레임

ATIM 프레임은 총 4바이트로 구성되어 있으며 각각의 구성요소는 Element ID, Length, ATIM window, Option이다. 전송할 ATIM의 정보는 Option 필드에 기록된다. 이 프레임 내부에는 비콘 간격을 설정하는 16비트의 데이터 필드가 있는데 비콘 전송 간의 시간 단위를 설정하기 위한 것이다. 하나의 시간 단위는 1 TU(time unit)로 표현하며 1024μs의 시간을 말하며 약 1ms에 해당한다. 비콘 간격은 100 TU로 설정되는 경우가 많으며, 이는 비콘 전송이 100ms 또는 0.1s 마다 전송됨을 의미한다.

### 3. 제안 기법

여기서는 앞서 언급한 DPSM의 개선점을 해결하고 기본적인 ATIM 전송 과정에서 발생하는 전력 낭비를 줄이기

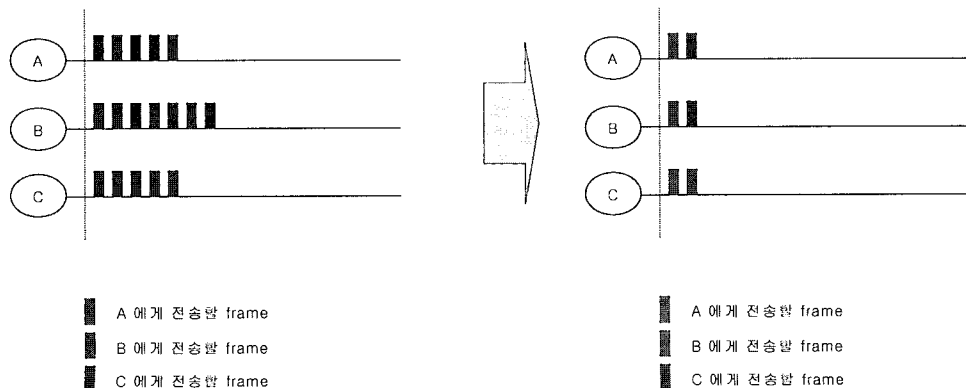
위한 Dynamic ATIM Power Saving Mechanism (DAPSM)을 제안한다. DAPSM은 크게 세 가지의 알고리즘을 제안하고 있다.

- 1) 같은 interval에서 같은 노드에 특정 간격을 두고 전송하는 다른 ATIM 프레임에 대해서는 하나의 ATIM 프레임이 모든 정보를 포괄하여 전송 한다.
- 2) 각각의 노드들이 자기 다른 ATIM 창 크기를 할당하는 것이 아니라 모든 노드들이 같은 크기의 ATIM 창 크기를 가지므로 데이터 전송상의 실패를 최대한 방지하였다.
- 3) ATIM 창 크기가 작은 경우에는 트래픽을 통지하기 위한 시간이 충분하지 않으며 반대의 경우에는 실제 데이터를 전송하기 위한 시간이 충분하지 않으며 에너지 소모가 크기 때문에 이러한 상황을 효율적으로 수정하기 위해서 시뮬레이션 모델에서 도출한 결과를 통해 가장 최적의 증감 interval 만큼 ATIM 창의 크기를 변화시키는 것이다.

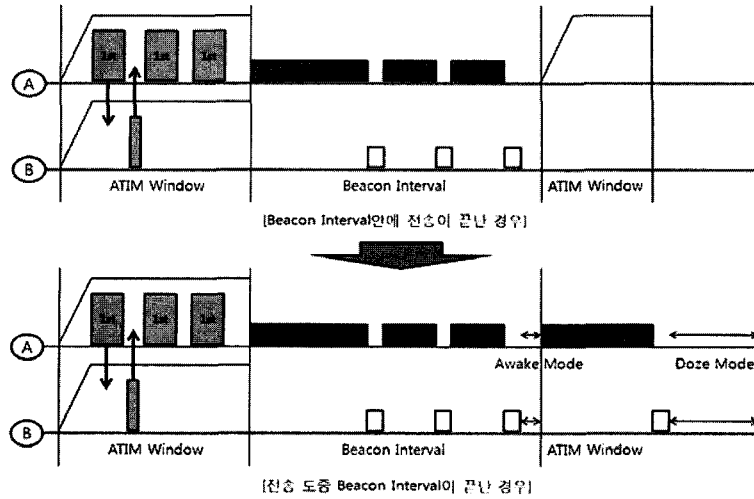
제안된 DAPSM에 대해 구체적으로 살펴보면 먼저 하나의 노드가 보내야 할 프레임 패킷에 대해서 각각의 수신자별로 하나씩 random하게 정렬을 한 후 전송해야 할 하나의 ATIM 프레임에는 보내야 할 정렬된 프레임 패킷들에 대한 ATIM 창 크기에 대한 정보를 전송한다.

(그림 2)는 A, B, C 3개의 노드가 서로 교환하기 위한 ATIM 프레임들을 수신자 별로 하나의 ATIM 프레임에 정보를 담고 보내야 할 순서를 random하게 정렬하는 그림이다. 여기서는 순차적으로 발생한 여러 개의 frame을 통합하여 각 노드별로 2개씩의 frame만 보내게 되는 것을 알 수 있다.

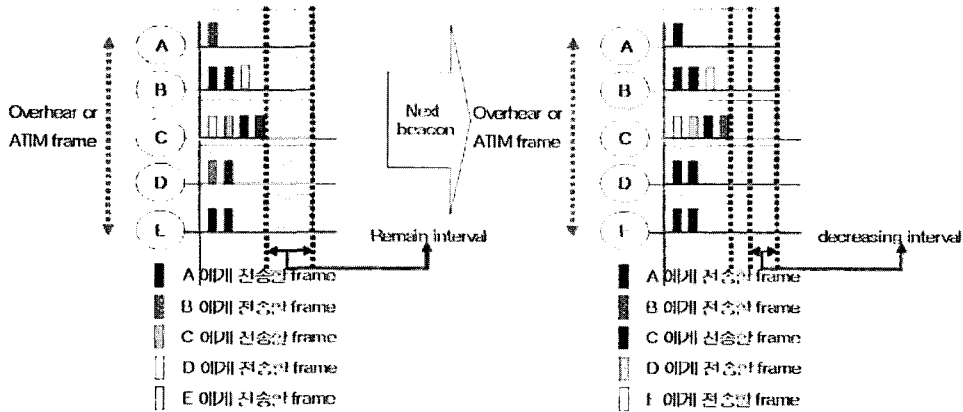
(그림 3)에서는 비콘 간격에서의 데이터 전송 방법을 보여주고 있다. 동일한 시간의 ATIM 창에서 프레임 정보들을 전송하고 비콘 구간에서 전송해야 할 데이터를 보내는 것이다. 그런데, 전송 도중에 비콘 간격이 끝난다면 기존의 802.11 PSM이나 DPSM에서는 다음 ATIM 창에



(그림 2) 각각의 수신자의 ATIM 프레임의 정렬



(그림 3) 비콘 구간에서의 데이터 전송

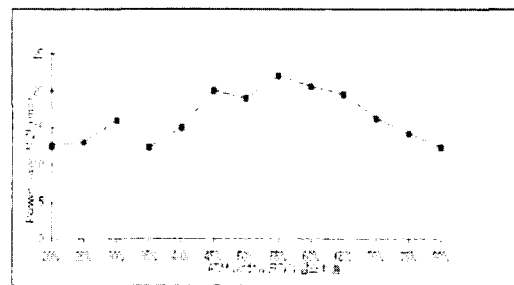


(그림 4) ATIM 창의 증감

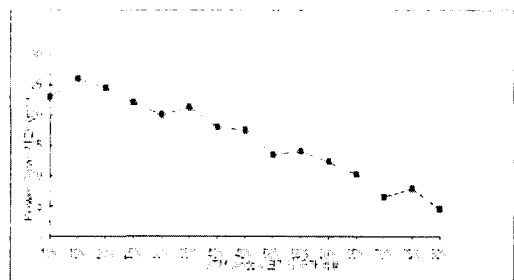
서 동일한 ATIM 프레임 을 다시 전송해야 한다. 이러한 재 전송은 불필요하므로 다음 비콘 간격에서는 ATIM 프레임에 관한 처리를 하지 않고 보내던 데이터의 전송을 계속한다.

다음 알고리즘의 내용은 ATIM 창 크기의 증감에 관한 설명이다. 이것은 DPSM과는 달리 전체 노드의 ATIM 창 크기를 같은 크기로 한다. 모든 노드의 ATIM 창 크기가 같은 경우 각각 다른 크기의 ATIM 창을 가지고 있는 경우보다 ATIM 프레임의 재전송이 줄어들게 된다. 왜냐하면 ATIM 창의 크기가 서로 다를 경우 ATIM 프레임 을 전송하고 수신하는 기간이 다르기 때문에 전송해야 할 ATIM 프레임 을 수신하지 못하는 노드들이 발생한다. 이와 같은 경우 데이터를 전송하기 위해 ATIM 프레임 을 재 전송해야 한다. 더불어 기존의 DPSM에서는 증감 시간을 1레벨로 정해 놓았으나 제안된 알고리즘 DAPSM에서는 시뮬레이션 결과를 통하여 얻어진 증감 interval을 사용한다.

(그림 4)에서는 ATIM 창 크기의 증감 변화에 관한 작동 방법에 대해 표현한 그림이다. 먼저 하나의 ATIM 창



(그림 5) ATIM 창 크기의 감소율

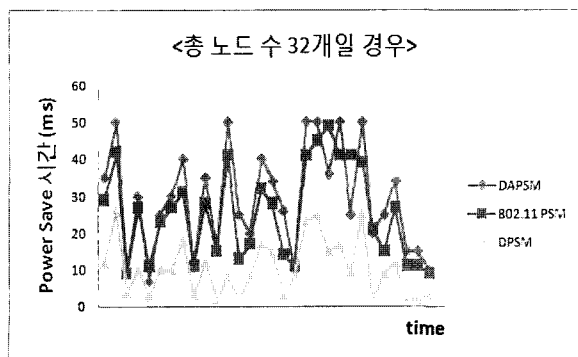
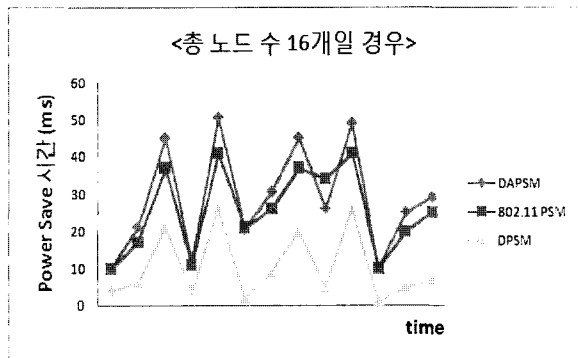
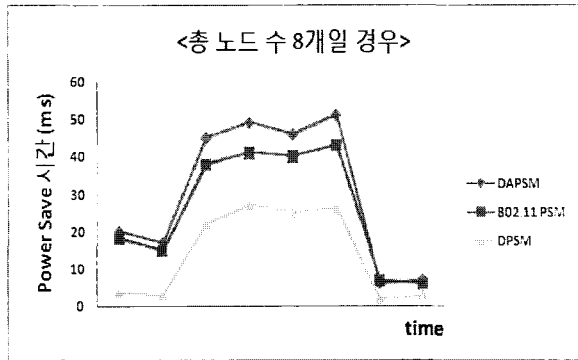


(그림 6) ATIM 창 크기의 감소율

동안에 보내야할 ATIM 프레임을 모두 전송하고 남은 ATIM 창 크기를 기록한 다음 비콘 간격에서 경험적으로 측정된 크기만큼 감소시키며 하나의 ATIM 창 크기보다 더 많은 ATIM 프레임을 전송 할 때는 현재의 비콘 간격

<표 1> 시뮬레이션 파라미터 값

| 전송 파라미터          | Cost(소모전력,시간) |
|------------------|---------------|
| Transmit         | 1.65W         |
| Receive          | 1.4W          |
| Idle             | 1.15W         |
| Doze             | 0.045W        |
| Doze to Awake    | 800us         |
| Beacon interval  | 100ms         |
| ATIM window size | 2ms~0ms       |



(그림 7) 노드 수의 변화에 따른 전력 절감 시간

크기를 기록한 다음 비콘 간격에서 또한 경험적으로 측정된 크기만큼 증가시킨다.

이러한 증감 interval은 가정된 시뮬레이션 환경에서 측정된 결과의 분석에 따른 것이며 효율적인 감소 interval은 남겨진 ATIM 창 크기의 53%씩 감소시키는 것이 가장 좋은 결과를 가져왔으며 증감 interval은 전체 ATIM 크기의 19%씩 증가시키는 것이 가장 좋은 결과를 나타내었다.

#### 4. 실험 결과

실험은 현재 가장 많이 사용하고 있는 802.11 PSM과 최근에 제안된 DPSM 기법과 이 논문에서 제안한 DAPSM을 비교 하였다. 여기서는 특히 무선에서의 loss율이 높다는 가정 아래 25초 동안의 시뮬레이션에서 각각 5초마다 다른 네트워크 load를 주었다. 처음 5초는 50%, 10초 10%, 15초 20%, 20초 30%, 25초 40%로 주었고 만약 네트워크 로드가 10%이고 트래픽 source의 bit rate가 2Mbps일 경우  $0.1 \times 2 = 0.2$ Mbps의 트래픽 로드가 있는 것으로 하였다. 다음 <표 1>은 실험에 사용된 파라미터 값들을 보여주고 있다.

이러한 실험 환경을 가정한 후에 C언어로 구현한 agent를 각 노드에 탑재하여 실험하였다. 노드는 노트북을 사용하였으며 하나의 노트북에 여러 개의 agent가 노드로서 동작하도록 하였다. 이러한 실험 방법은 노드의 이동성을 고려하지 않았고, 하나의 노트북에 여러 개의 노드가 존재해도 시뮬레이션 파라미터에 의한 결과 값을 계산하는데 영향을 미치지 않기에 가능했다. 노트북은 총 16대를 사용하였다.

(그림 7)과 같이 노드의 숫자를 8, 16, 32개로 증가시키며 실험하였으며 각각의 노드들 중 절반은 source 노드로 설정하고 나머지 절반은 destination 노드로 구분하였다. 시뮬레이션 결과는 제안된 알고리즘인 DAPSM이 기존의 802.11 PSM 기법 보다 17.66%가 향상됨을 보였고 DPSM 기법 보다는 3.41% 향상됨을 보였다.

#### 5. 결론

DAPSM 기법은 기존에 ATIM 창 크기를 조절하여 전력 절감을 하고자 한 기법들 중 가장 최근에 제시된 DPSM 기법을 개선하고자 하였다. DPSM 기법은 트래픽 양이 집중되거나 많아 질 경우에 큰 문제점을 안고 있다. 이와 같은 경우는 예상하지 못하는 네트워크 상황에서 빈번하게 발생 할 수 있다. 따라서 노드 각자의 ATIM 창을 고려하여 크기를 조절하는 것이 아닌 전체 네트워크의 트래픽 양을 고려하여 ATIM 창 크기를 조절하고자 하였으며 또한 DPSM은 각각의 노드가 ATIM 창 크기가 다르기 때문에 빈번하게 ATIM 프레임의 재 전송 및 drop이 발생한다. 이러한 단점을 극복하고자 모든 노드들은 동적인 같은 ATIM 창 크기를 가진다.

이처럼 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 트래픽 양이 집중되거나 많은 경우에도 실험에 의한 최적의 ATIM 창 크기를 할당 하여 조절함으로써 최대한의 전력 절감을 이룰 수 있었고 또한 패킷이 버려지거나 재 전송 되는 상황을 최대한 방지함으로써 전체적인 throughput 도 좋아 질 것으로 예상된다. 하지만 DAPSM 기법에서 사용하는 증감 interval은 가정한 시뮬레이션 환경에만 적용할 수 있는 고정적인 값이다. 앞으로 다양한 네트워크 환경에 DAPSM 기법을 적용하기 위해서는 실시간적으로 최적의 interval을 찾는 기법이 추가되어야 한다. 다만 본 논문에서 말하고자 하는 바는 이러한 증감 interval을 더욱 효율적으로 적용했을 때의 전력 절감의 가능성을 제시하는 것이다.

마지막으로 Ad-Hoc에서는 무선 노드들의 이동성이 충분히 고려되어야 하지만 본 논문에서는 이러한 무선 노드들의 이동성은 고려되지 않았다. 따라서 향후에는 무선 노드들의 이동성을 충분히 고려한 전력 절감 모드에 관한 연구를 확장시키려고 한다.

### 참 고 문 헌

- [1] Mike Loukides, "802.11 Wireless Networks The Definitive Guide", O'REILLY, 2002.
- [2] IEEE 802.11 Working Group, "Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications," 1997. [http://grouper.ieee.org/groups/802/11 /Documents/ DocumentArchives/1992\\_docs/1192140.DOC](http://grouper.ieee.org/groups/802/11/ Documents/ DocumentArchives/1992_docs/1192140.DOC).
- [3] Suresh Singh, Mike Woo, and C. S. Raghavendra, "Power-aware routing in mobile ad hoc networks," in *MOBICOM '98*, Oct 1998. pp. 181-190.
- [4] Juan Carlos Cano and Pietro Manzoni, "Evaluating the energy-consumption reduction in a MANET by dynamically switching-off network interfaces," in *Proc. of the 6th IEEE Symposium on Computers and Communications*, Jul 2001, pp. 186-191.
- [5] Benjie Chen, Kyle Jamieson, Hari Balakrishnam, and Robert Morris, "Span: An energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks," in *MOBICOM 2001*, Jul 2001. pp. 85-96.
- [6] Eun-Sun Jung and Nitin H. Vaidya, "An Efficient MAC Protocol for Wireless LANs", in *MOBICOM Oct 2002*, <http://citeseer.nj.nec.com/jung01energy.html>.

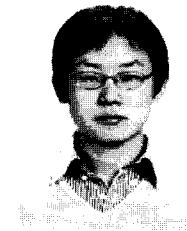
### 박 재 현

e-mail : siceman@naver.com

2001년 서강대학교 경영학과 졸업(학사)

2003년 서강대학교대학원 컴퓨터학과(공학석사)

관심분야: 병렬처리시스템, 무선네트워크(애드혹네트워크)



### 이 장 수

e-mail : jangso417@sogang.ac.kr

2005년 서강대학교 컴퓨터학과 (학사)

2007년 서강대학교 컴퓨터학과(공학석사)

현재 서강대학교 컴퓨터학과 박사과정

관심분야: 무선네트워크(센서, 애드혹, 셀룰러 네트워크), 예측알고리즘(칼만필터), 자원할당최적화



### 김 성 천

e-mail : ksc@arqlab1.sogang.ac.kr

1975년 서울대학교 공과대학

공업교육학(전기전공)학사

1979년 Wayne State Univ. 컴퓨터공학  
공학석사

1982년 Wayne State Univ. 컴퓨터공학  
공학박사

1982년~1984년 캘리포니아주립대 조교수

1984년~1985년 금성반도체(주) 책임연구원

1985년~현 재 서강대학교 공과대학 컴퓨터학과 교수

관심분야: 병렬처리시스템, WDM technology를 이용한 cluster system, 유비쿼터스 컴퓨팅