

IEEE 802.11 기반 이동 애드혹 망의 전력 절감 모드에서 플러딩 지연의 개선

(Reducing Flooding Latency in Power Save Mode of IEEE 802.11-based Mobile Ad hoc Networks)

윤 현 주 [†] 서 명 환 ^{**} 마 중 수 ^{***}
 (Hyeon-Ju Yoon) (Myunghwan Seo) (Joongsoo Ma)

요 약 이동 애드혹 망을 구성하는 노드들은 일반적으로 배터리 전력을 사용하기 때문에 이들의 에너지 소모량을 줄이는 연구들이 각 계층에 대해 이루어져 왔다. 매체 접근 제어 프로토콜로 많이 이용되는 IEEE 802.11 DCF에서도 전력 절감 모드가 정의되어 있으며, 노드들은 동기화된 상태에서 주기적으로 활동 상태와 휴면 상태를 반복한다. 활동 상태 동안 서로 전송할 메시지가 있는지 여부를 이웃 노드에 공지하고, 전송에 관여하게 될 노드들은 계속해서 활동 상태로 머물러 필요한 송수신을 하는 반면, 그 외의 노드들은 다음 주기까지 휴면 상태에 들게 된다. 대부분의 기존 연구들은 보다 많은 전력 절감을 위해 휴면 기간을 최대화, 최적화하는 것에 초점을 맞추었다. 그러나, 이로 인해 메시지들이 한 주기 당 한 홉씩 전달되어 결과적으로 매우 긴 전송지연을 초래할 수 있다는 것은 지금까지 간과되었다. 본 논문에서는 IEEE 802.11 DCF의 전력 절감 모드에서 빠른 속도로 전체 망으로의 플러딩을 수행할 수 있는 개선된 프로토콜을 제안하였다. 고정된 길이의 활동 상태 기간 동안 이웃 노드뿐 아니라 최대한 멀리까지 공지를 전달하게 하고, 동시에 많은 구간의 노드가 깨어 있게 함으로써 그 이후의 데이터 메시지 전달 속도를 높인다. 시뮬레이션에 의한 실험 결과, 제안된 알고리즘은 IEEE 802.11 DCF 전력 절감 모드와 비교해 약간의 추가 에너지 소모로 플러딩 전송 지연을 최대 80% 이상 감소시켰으며, 플러딩 트래픽이 있을 경우의 유니캐스팅 전송 지연 또한 약 50%만큼 감소시키는 성능을 보였다.

키워드 : 이동 애드혹 망, IEEE 802.11, 전력 절감 모드, 플러딩, 전송지연

Abstract Mobile Ad hoc NETWORKS (MANET) consist of mobile nodes which are usually powered by battery. Approaches for minimizing power consumption have been proposed for all network layers and devices. IEEE 802.11 DCF (Distributed Coordination Function), a well-known medium access control protocol for MANETs, also defines a power save mode operation. The nodes in power save mode periodically repeat the *awake* state and the *doze* state in synchronized fashion. When all nodes are in the *awake* state, they exchange the announcements for the subsequent message transmission with neighbors. The nodes that send or receive the announcements stay awake for data transmission, and others go into the *doze* state. The previous works for enhancing the power save mode operation have focused on shortening the duration of the *awake* state. We observed that the longer sleeping period results in seriously long delivery latency and the consequent unnecessary power consumption as well, because the packets can move forward only one hop for a fixed interval.

In this paper, we propose an improved protocol for the power save mode of IEEE 802.11 DCF, which allows the flooding packets to be forwarded several hops in a transmission period. Our approach does not reduce the duration of compulsory *awake* period, but maximizes its utilization. Each node propagates the announcements for next flooding to nodes of several hops away, thus the packets can travel multiple hops during one interval. Simulation results of comparison between our scheme and the standard show a reduction in flooding delay maximum 80%, and the unicasting latency with accompanying flooding flows near 50%, with slight increase of energy consumption.

Key words : Mobile Ad hoc Network, IEEE 802.11, Power save mode, Flooding, End-to-end delay

[†] 종신회원 : 한국과학기술원 전자전산학과 교수
 juyoon@kaist.ac.kr

^{**} 학생회원 : 한국정보통신대학교 공학부
 mhseo@icu.ac.kr

^{***} 비 회원 : 한국정보통신대학교 공학부 교수
 jsma@icu.ac.kr

논문접수 : 2004년 1월 30일
 심사완료 : 2004년 6월 28일

1. 서론

이동 애드혹 망(Mobile Ad Hoc Networks: MANET)은 기간망의 도움 없이 사용자들이 보유한 이동정보통신기들이 서로 협력하여 즉석에서 형성하는 무선망의 한 형태이다. MANET을 구성하는 각 무선 노드들은 배터리를 전원으로 사용하는 경우가 많으며 배터리는 한정된 양의 에너지만 공급하기 때문에, 네트워크 구성과 운용의 각 계층에서 에너지 소모량을 줄이는 방법에 대한 연구가 중요하게 다루어지고 있다. 그러나, 이들 연구는 에너지 소모량의 최소화에 초점을 맞추었기 때문에 그로 인해 발생할 수 있는 다른 성능의 저하를 적극적으로 고려하지 않았다. 본 논문에서는 MANET의 매체 접근 제어(Medium Access Control: MAC) 프로토콜로 이용되는 IEEE 802.11의 전력 절감 모드에서 종단간 전송 지연을 크게 개선하는 방법을 연구하였다.

IEEE 802.11 DCF(Distributed Coordination Function) [1]는 완전한 분산 방식으로 작동하여 MANET의 MAC 프로토콜로 많이 이용된다. 이의 전력 절감 모드(Power Save Mode: PSM)는 3가지의 다른 전력 상태를 정의하고 있다. 꺼짐(off) 상태에서는 에너지를 전혀 소모하지 않으며 아무런 동작도 일어나지 않는다. 활동(awake) 상태에서 최대 에너지를 소모하여 각 노드는 메시지나 신호를 전송, 수신, 청취, 또는 휴식(idle)할 수 있다. 전송, 수신, 청취, 휴식 각 경우의 전력 소모량은 조금씩 다르며, 전송/수신에서 브로드캐스팅과 유니캐스팅의 경우도 전력 소모량이 다르다. 휴면(doze) 상태의 노드는 최소한의 전력만 소모하며 메시지 송수신과 관련된 어떤 동작도 하지 않는다. 한편, IEEE 802.11 DCF-PSM은 켜진 상태에서 활동 상태와 휴면 상태를 주기적으로 반복하는데, 이 주기는 비콘 구간(beacon interval)으로 정의된다. 각 비콘 구간은 *ATIM Window*(Ad hoc Traffic Indication Message Window)와 그에 이은 데이터 전송 구간으로 구분되어 작동한다. 각 노드는 *ATIM Window* 동안 전송할 데이터에 대한 공지(ATIM)를 수신 노드에 보내고, ATIM을 송신하거나 수신한 노드는 비콘 구간의 끝까지 활동 상태를 유지하여 데이터 패킷 송수신을 하고, 나머지 노드들은 *ATIM Window*가 끝난 후 다음 비콘 구간이 시작될 때까지 휴면 상태에 머문다.

IEEE 802.11 DCF-PSM과 관련된 기존 연구들에서는[2-4], 모든 노드가 활동 상태인 *ATIM Window*의 길이가 성능과 전력 소모량에 큰 영향을 미침을 지적하고, *ATIM Window* 길이를 최적화하는 방법을 이용하여 전력 절감을 극대화하는 목적의 연구가 주로 이루어졌다. 또한, 전송 성능 면에서도 PSM을 사용하지 않는 활동 모드(active mode:AM)에 근접하는 처리율(throu-

ghput)을 기록하는 것으로 보고되었다. 그러나, 이들 연구에서의 전송 성능 측정은 1 홉 사이의 노드들간의 전송 처리율에 국한한 것으로, 멀티홉 전송을 요구하는 MANET에서 종단간 전송 지연에 대한 해결책이 필요하다. 1 홉 사이의 처리율이 최대화된다고 하더라도 여러 홉을 건너 목적지까지 패킷이 전달되기 위해서는 매 비콘 구간마다 기다렸다가 공지하고 전달하는 과정을 거쳐야 하므로, 종단간 전송 지연은 *ATIM Window*의 크기에 상관없이 비콘 구간에 의존적인 함수로 표현할 수 있으며 그 최소값은 “(근원지와 목적지 간의 홉 수 - 1) × 비콘 구간의 길이 + *ATIM Window* 길이 + 1 홉간 전송 시간”이 된다(그림 1 참조). 한편, 일부 노드들을 AM 상태로 유지시켜 종단간 전송지연을 줄이고 전력 소모를 상대적으로 개선하는 방안을 제시한 연구들이 있는데[5,6], 이들은 전송 백본을 유지하기 위한 오버헤드 문제[5]가 있거나, 유니캐스트 전송에 한정된 개선책[6]만 제안되어 브로드캐스팅에 대한 고려가 필요하다.

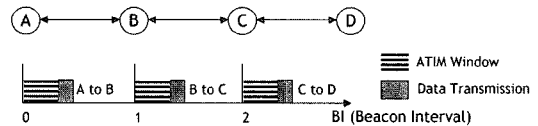


그림 1 IEEE 802.11 DCF-PSM에서의 전송 지연

본 논문에서는 MATI(Multi-hop Ad hoc Traffic Indication) 기법을 도입하여 플러딩에 의한 브로드캐스팅의 종단간 전송 지연 문제를 해결하고자 하였다. 전송할 데이터가 있는 경우, *ATIM Window* 동안 1 홉 이웃 노드에게만 공지(ATIM)를 보내는 것이 아니라 가능한 먼 거리의 노드까지 여러 홉만큼 ATIM을 전송한다. 그리하여 *ATIM Window*가 끝난 후에 많은 노드들이 동시에 깨어 있으면서, 1 비콘 구간 동안 여러 홉을 거치는 데이터 전송이 이루어질 수 있다. 그런데, 여러 홉 떨어진 노드들에게 데이터의 전송을 미리 공지하기 위해서는 경로 정보가 필요하며, 이는 MAC 계층의 동작 원칙에 위배되고 전체 프로토콜이 복잡해지는 단점이 있다. 그러나, 모든 노드들이 수신자가 되는 브로드캐스팅의 경우는 특정 경로 정보가 없이도 여러 홉에 걸쳐 공지를 전달하는 것이 가능하다. 특히 중앙 서버가 없고 토폴로지가 수시로 변하는 MANET 환경에서는 여러 계층의 기본 프로토콜에서 멀티홉 브로드캐스팅이 필수 불가결한 요소이다. 그래서 본 논문에서는 플러딩에 의한 멀티홉 브로드캐스팅을 중심으로 MATI 기법을 적용하여 플러딩 전송 지연 개선과 전체 네트워크의 전송 성능 향상을 꾀하였다.

MATI 기법의 주된 아이디어는 모든 노드들이 *ATIM Window*라고 하는 일정 시간 동안 필수적으로 깨어 있어야 한다는 것에서 출발하였다. 다른 연구들에서는 전력 절감을 목표로 *ATIM Window*의 크기를 줄이거나 조절하는 방법에 주력한 반면, 본 논문에서는 PSM에서 데이터의 빠른 전송이 목표로, 고정된 *ATIM Window* 동안 의무적으로 깨어 있어야 할 노드들이 그 시간을 최대한 활용하여 전송과 직접 관련된 일을 많이 수행하도록 한다. 적절한 트래픽 환경에서 이러한 기법은 기존의 PSM과 비슷한 양의 에너지를 소모하며 중단 간 전송 지연을 대폭 감소시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 IEEE 802.11 DCF 전력 절감 모드의 매커니즘에 대해 설명하고, MANET에서 에너지 소비를 더 줄이기 위해 제안되었던 기존 연구들을 소개한다. 3장에서는 전력 절감 모드의 전송 지연 문제에 대해 살펴보고, 4장에서 이를 해결하는 MATI 기법과 그의 구현에 필요한 요소들에 대해 기술하였다. 5장에서는 IEEE 802.11 DCF의 활동 모드와 전력 절감 모드, 그리고 MATI 기법을 다양한 시나리오에서 시뮬레이션하여 성능을 평가, 비교한 결과를 보였으며, 6장에서 결론을 맺는다.

2. 배경 및 연구 동기

2.1 IEEE 802.11 DCF의 전력 절감 모드

IEEE 802.11 PCF/DCF는 활동 모드와 전력 절감 모드의 두 가지 작동 모드를 지정하고 있다[1]. 활동 모드에서는 모든 노드가 계속 활동 상태를 유지하는 반면, 전력 절감 모드에서는 트래픽이 없는 노드는 휴면 상태로 전이해 소모되는 에너지를 줄이게 된다. 전력 절감 모드의 동작은 모든 노드가 주기적으로 활동과 휴면 상태를 반복하고, 모든 노드가 동시에 활동 상태에 있을 때 다음 메시지 전송에 대한 공지를 교환하고 그에 의해 다음 전력 상태가 결정되는 것으로 요약할 수 있다.

PSM에서의 시간축은 비콘 구간(*beacon interval*: BI)이라고 하는 고정된 길이의 주기로 나누어진다. 매 BI가 시작할 때 모든 노드가 동시에 깨어나 정해진 길이의 시간만큼 활동 상태를 지속하는데, 이를 *ATIM Window*라 한다. *ATIM Window* 시작 시에 먼저 *time stamp*가 포함된 비콘 프레임을 서로 교환하여 시간 동기를 다시 맞춘다. 그리고, 전송할 메시지를 보유하고 있는 노드는 이웃 노드들에 *ATIM* 프레임을 보내 이를 공지한다. 이 때, 이웃한 모든 노드들이 수신자가 되어야 할 경우, 즉 망 수준의 브로드캐스트 또는 1 홉 거리 노드들간의 브로드캐스트 메시지일 경우에는 모든 이웃 노드들에 *ATIM* 프레임을 보내고, 유니캐스트 메시지의 경우에는 경로상의 다음 노드 하나에게만 *ATIM* 프레

임을 보낸다. 유니캐스트를 위한 *ATIM* 프레임을 수신한 노드는 승인(*acknowledgement*) 프레임으로 답신해야 한다. *ATIM* 프레임을 송수신한 노드들은 *ATIM Window*가 끝난 후에도 활동 상태를 유지하여 DCF 프로토콜을 이용한 실제 메시지 송수신에 참여하고, 나머지 노드들은 다음 비콘 구간이 시작될 때까지 휴면 상태로 머물게 된다.

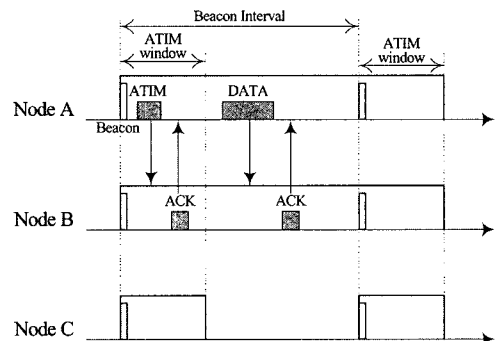


그림 2 IEEE 802.11 DCF의 전력 절감 모드 동작

그림 2의 예시에서, 노드 A는 노드 B에게 *ATIM* 프레임을 보내고 노드 B는 이에 대한 승인 프레임을 보내어 다음 전송에 대한 공지를 완료한다. *ATIM Window*가 종료된 후 A와 B 노드는 활동 상태를 유지하며, 노드 A는 버퍼에 있던 데이터 프레임을 노드 B에 전송하게 된다. 한편, 노드 C는 *ATIM Window* 동안 아무런 *ATIM* 프레임을 송신하거나 수신하지 않았으므로 *ATIM Window* 후에 휴면 상태로 전이하여 에너지 소모량을 최소화할 수 있다.

IEEE 802.11 DCF PSM은 전송 성능을 위하여 약간의 개선 방안을 포함하고 있다. 즉, 미리 공지된 메시지의 전송이 모두 끝난 후에 남은 비콘 구간 동안 *ATIM Window*에서 공지되지 않은 메시지도 전송할 수 있다. 이 경우, 송신 노드는 이전의 *ATIM*이나 비콘 프레임 등을 통해 수신 노드가 현재 활동 상태에 있다는 것을 미리 알고 있어야 한다. 이 방법은 주로 유니캐스트 메시지의 전송 지연을 줄이는 효과를 가지는데, 미리 경로가 설정된 상황에서 연속적으로 메시지가 전송되는 상황이거나, 브로드캐스트를 위한 *ATIM*이 공지된 상황에서 비콘 구간에 여유 시간이 있을 때 유니캐스트 메시지를 추가로 전송할 수 있다는 점에서 유용하다. 브로드캐스트 메시지를 전송하고자 하는 경우에는 주변 모든 노드가 깨어 있을 것이 요구되므로, 이 방법이 이용될 수 있는 가능성이 매우 적다.

2.2 관련 연구

이동 무선망에서 사용되는 정보통신기기들은 대부분

배터리를 전력원으로 하여 매우 제한된 전력 용량만을 사용할 수 있다. 이러한 전력 제약을 극복하고, 구성된 망의 수명을 연장하기 위해 전력 절감이나 전력량 제어 기법들이 네트워크의 다양한 계층에서 광범위하게 연구되어 왔다. MAC 계층 표준으로 IEEE 802.11 DCF에서의 전력 절감 모드가 규정되어 있지만, 이를 한층 개선시키는 쪽의 연구들도 다양하게 발표되었다.

[2]의 연구에서는 비콘 구간의 길이와 *ATIM Window*의 크기가 노드들의 전력 소비량과 전체 네트워크 메시지 처리량에 큰 영향을 미치게 됨을 시뮬레이션으로 보였다. 비콘 구간이 크거나 *ATIM Window* 비율이 작을수록 전력 절감 효과는 커질 수 있지만 처리량이 저하되고, 비콘 구간이 너무 작으면 활동 상태와 휴면 상태의 전환에 드는 오버헤드가 커진다. 시뮬레이션을 통해 찾아낸 비콘 구간의 최적값은 약 95ms이며, IEEE 802.11 표준에서는 100ms를 권고하고 있다. *ATIM Window*에 대해서는 비콘 구간의 약 25% 정도가 처리량을 떨어뜨리지 않으면서 전력 절감 효과를 최대화할 수 있는 적정치로 나타났다.

지금까지 제안된 IEEE 802.11 DCF-PSM 개선 방안은 크게 세 가지로 분류될 수 있다. 첫번째는 *ATIM Window*의 크기를 동적으로 조절하여 전력 절감 효과를 높이는 방법[3,4], 두번째는 패킷 전송 경로를 따라 일부 노드들을 AM 상태로 유지시켜 전송 지연을 줄이는 방법[5,6], 세번째는 분산 동기화를 위한 효율적인 스케줄링으로 동기화 문제를 해결하고 전력 소모를 줄이는 방법[7,8] 등이다.

DPSPM(Dynamic Power Saving Mechanism)[3]과 TIPS(Traffic Indication-based Power Saving)[4] 알고리즘은, 한 비콘 구간 중 모든 노드들이 필수적으로 깨어 있어야 하는 *ATIM Window*의 크기를 줄이거나 [4] 동적으로 조절 가능[3]하도록 하여 전력 절감 효과를 높이는 기법이다. 두 방법 모두 비콘 구간의 크기는 표준과 마찬가지로 고정되어 있고, *ATIM Window*의 크기를 변화시킨다. 트래픽의 양을 추정하여 *ATIM Window* 크기에 변화를 가하기 때문에 정확한 추정 방법이 중요하며, 이에 대한 오버헤드를 감수해야 한다. 또한 종단간 전송지연에 대한 고려가 없고, 이웃 노드간의 *ATIM Window* 크기가 서로 달라 의도된 통신이 이루어지지 못해 전송지연이 심화될 가능성이 있다.

종단간 전송지연을 고려하여 전송 경로에 따라 각 노드의 전력 상태를 결정하는 방법으로는 Span[5]과 On-demand[6] 기법이 있다. Span 기법에서는 몇 개의 특정 노드를 항상 깨어 있는 진행자(coordinator)로 지정하고, 이들을 전송 백본(forwarding backbone)으로 활용하는 것을 제안하였다. 진행자가 아닌 노드들은

PSM으로 동작하여 에너지를 최대한 절약할 수 있고, AM으로 동작하는 진행자가 패킷 전달을 거의 전담하므로 종단간 전송 속도 또한 빠르게 할 수 있다. 또한 트래픽이 많을 경우, PSM의 전송률이 떨어지므로 전송량 대비 에너지 사용 효율이 오히려 높아진다. 그러나, 전력 부하 균형을 위해 주기적으로 이루어지는 분산 방식의 진행자 선정과 그 정보를 모든 노드에서 유지하는 오버헤드가 크고, 특정 노드들의 과도한 이용으로 전체 네트워크 수명이 단축될 가능성도 있다. On-demand 기법은 라우팅 정보를 MAC 계층의 전력 제어에 이용하는 계층간(cross-layer) 최적화를 꾀하였다. 각 노드는 on-demand 방식의 라우팅 프로토콜에서 전달되는 제어 메시지들에 따라 PSM과 AM 사이의 상태 전이를 한다. 경로 응답(RRPL) 메시지와 데이터를 받을 경우 일정 시간 전송이 계속되는 것으로 판단하고 PSM에서 AM으로 전이한다. 설정된 타이머 시간이 지나고 이를 재설정하는 이벤트가 발생하지 않으면 PSM으로 복귀한다. 유니캐스트에 대한 경로 선정에 반응하여 AM을 유지하므로 이웃 노드들의 상태 정보를 유지하는 것 외에 오버헤드가 적고, AM 상태에서 전송하게 되므로 속도가 빠르고 전달률이 높다. 그러나 브로드캐스팅에 대한 고려가 없어, 플러딩이 필요한 응용이나 라우팅 요청 단계에서는 PSM과 같은 수준의 전송 지연을 보인다.

한편, IEEE 802.11 DCF-PSM의 동기화 문제에 초점을 맞춘 전력 절감 연구들이 있다[7,8]. 표준에 지정된 바와는 비콘 프레임의 주고 받아 분산된 형태로 동기를 맞추게 되어 있으나, 실제 환경에서 이들이 어긋날 가능성이 있고, 그럴 경우 주기가 어긋난 노드들끼리는 인접하고 있음에도 불구하고 서로 오랜 시간 동안 인식하지 못할 가능성이 있다. 이들 연구는 비콘에 의한 동기화 없이 각 노드가 비동기식으로 자신의 주기에 맞추어 활동과 휴면 상태를 반복하면서도 서로 통신이 가능하도록 스케줄링하는 방법을 제시하였다. 일정 시간 내 특정 패턴의 형태로 활동과 휴면 구간을 배치하면, 한 주기 안에서 이웃 노드들의 활동 구간이 반드시 겹치게 되어 있어, 전력 절감 효과를 높이면서도 동기화 없이 서로 통신할 수 있다. 그러나 서로 깨어 나는 시기가 다르기 때문에 통신 가능한 시간이 줄어들 수 있으며, 이 경우 패킷 전송 성공률이 매우 떨어지고, 브로드캐스트의 경우는 더욱 나빠진다. 한 번 통신이 시작되면 끝났다고 판단될 때까지 활동 상태를 지속하는 보편적인 방법도 제시되었으나, 이 경우 에너지 절약 효과가 미미하다.

본 연구에서는 [3-6]에서 설정한 것과 마찬가지로, 노드들간의 동기화가 잘 이루어진다는 가정 하에, PSM의 원래 목적인 전력 절감 효과를 떨어뜨리지 않으면서 과다한 전송 지연을 줄일 수 있는 기법을 제안하고자 한다.

3. 전력 절감 모드에서의 브로드캐스팅 전송 지연 문제

2장에서 살펴 본 바와 같이 MANET을 위한 MAC 프로토콜에서 전력 소모를 최소화하는 방향의 연구 중, 송신 노드로부터 모든 노드로의 브로드캐스팅 전송 지연 시간에 대해서는 평가된 적이 없었다. 2.1절에서 설명한 바와 같은 방식의 PSM으로 데이터 전송이 이루어질 때, *ATIM Window*에서 공지되지 않은 메시지에 대해서도 남은 비콘 구간 동안 전송할 수 있는 것을 허용하고는 있지만 수신 노드가 활동 상태에 있다는 것이 확인된 상태에서만 가능하다. 따라서, 일반적으로는 한 비콘 구간 당 한 홉만큼의 전송이 이루어지고, d 홉의 거리만큼 떨어진 노드 사이에서는 대강 d 비콘 구간의 시간이 걸리게 된다. 이는 1:1 전송인 유니캐스트에서는 물론이고, 네트워크 상의 모든 노드에 같은 메시지가 전달되어야 하는 브로드캐스트에서도 비슷하다.

MANET의 노드들은 이동성이 있어, 시간이 지남에 따라 끊임 없이 망 토폴로지가 변하게 된다. 고정 상태의 망과는 달리 미리 수집된 토폴로지 정보를 활용하는 기법들은 에너지 소모 면에서나 성능 면에서 효율적이지 못하기 때문에, 필요 시마다 주변 노드나 전체 망 정보를 모아서 반영하는 기법들이 더 효과적이다. 주소 할당[9], 전송 경로 탐색[10], 서비스 탐색[11] 등, MANET의 주요 프로토콜들의 대부분이 필요에 따라 브로드캐스트로 수집한 정보를 이용하고 있다. MANET에서의 브로드캐스트는 무선 통신이라는 요소 때문에 또 다른 특징을 가진다. 무선 인터페이스들의 전송 범위는 일정 거리로 한정되어 있고, 따라서 패킷들이 망 전체에 브로드캐스트되거나 목적지 노드에 도달하기 위해서는 망을 구성하는 다른 노드들을 경유해야 하고, 각 노드들은 일종의 라우터 역할을 수행해야 한다.

MANET에서의 브로드캐스트 기법들도 많이 연구되었는데 가장 간단하고 신뢰성있는 방법으로 플러딩(flooding)에 의한 전송이 있다[12]. 이는 토폴로지 정보를 전혀 이용하지 않는 것으로, 모든 노드에서 수신된 메시지는 자신의 이웃 노드에게로 다시 모두 전송된다. 각 노드는 이 메시지가 이미 한 번 수신된 것인가 아닌가를 판단하여 기 수신된 메시지가 아닐 경우에는 다시 자신의 이웃 노드들에게 이를 브로드캐스트한다. 브로드캐스트를 활용하는 프로토콜에 따라서 메시지의 기 수신 여부와 함께 다른 정보의 첨가/삭제/변경도 필요하기 때문에 브로드캐스트는 대부분 그를 활용하는 프로토콜 계층에서 별도로 구현되어 실행된다.

IEEE 802.11과 같은 CSMA/CA 기법의 MAC에서 이러한 플러딩은 메시지가 전송되는 과정에서 심각한

중복, 충돌, 혼잡성, 패킷 손실 등을 야기시킬 수 있기 때문에 (broadcast storm[13]), 중복 전송을 줄이거나 타이밍의 조절로 충돌을 감소시켜 성능을 개선하려는 연구들이 많이 있었다. 본 논문에서 제안하는 효율적인 플러딩은 브로드캐스트 자체의 성능을 개선하는 알고리즘이 아니라 MAC 계층의 PSM에서 메시지 전송 속도를 높이는 것이기 때문에 다른 브로드캐스트 알고리즘과도 결합되어 사용될 수 있다.

그림 3은 MANET 구성의 한 예와 PSM에서의 플러딩 과정을 보여 준다. 각 노드의 전송 한계는 원으로 나타나었고, 그에 따른 가능한 전송 경로는 화살표로 표기되어 있다. 소스 노드로부터 시작하여 자신의 모든 이웃 노드에게 메시지를 전송하며, 이를 수신한 노드들은 중복이 아닌 경우 다시 자신의 모든 이웃 노드에게 메시지를 전송한다. 네트워크 내에 더 이상 송신할 노드가 없을 때 플러딩이 완료된다고 본다. 각 부분 그림들은 PSM인 경우의 플러딩 단계들을 나타낸다. 활동 모드일 때는 이러한 단계별 동작이 아닌 시간차에 의해 전체 네트워크로 메시지가 퍼져 나가는 형태로 나타나겠지만, PSM의 경우는 비콘 구간별로 전송될 수 있는 한계가 제한되기 때문에 심한 혼잡에 의한 충돌이 발생하여 지연되지 않는 한, 이러한 단계별 전송 형태가 된다. 각 송신 노드는 *ATIM Window* 동안 모든 이웃 노드에 대한 브로드캐스트를 알리는 ATIM을 보내고, 이어서 데이터를 전송한다. 이를 수신한 노드들은 중복 여부를 판단하여 다시 이웃 노드들에게 전송할 준비를 하지만, 현재의 비콘 구간에서 모든 이웃 노드들이 깨어 있을 보장이 없기 때문에 다음 비콘 구간이 시작될 때까지 기다려야 한다. 따라서, 한 비콘 구간당 한 단계씩 브로드캐스트가 이루어지며, 마지막에 수신한 노드(그림 3(e)의 (가) 노드)가 이를 플러딩하는 것을 마지막으로 다섯 비콘 구간(가장 긴 홉 수 + 1)만에 모든 플러딩이 완료된다.

4. MATI(Multi-hop Ad hoc Traffic Indication) 프로토콜

앞 장에서 제기된 전송 지연 문제를 개선하기 위해 본 논문에서는 MATI(Multi-hop Ad hoc Traffic Indication) 기법을 제안한다. 이 기법의 가장 중요한 개념은 *ATIM Window*의 크기를 축소하거나 조절하는 방법이 아니라, 고정된 기간 동안 그를 최대한 활용하고자 하는 것이다. 각 노드는 주기적으로 전송할 데이터의 유무에 관계 없이 활동과 휴면 상태를 반복한다. 만약 각 노드가 필수적으로 깨어 있어야 하는 *ATIM Window* 기간 동안 몇 홉 건너까지 메시지의 전달을 공지

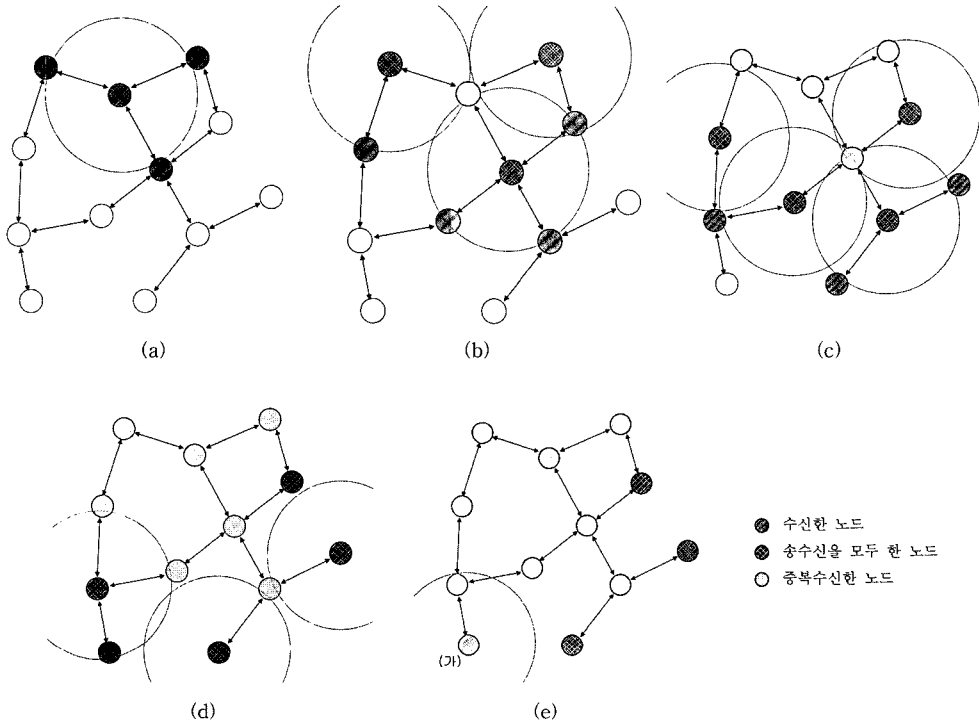


그림 3 PSM에서의 플러딩

하여 그 도중에 있는 노드들을 모두 깨어 있게 할 수 있다면, 이어지는 데이터 패킷의 전송도 한 비콘 구간에서 몇 홉을 건너까지 이루어질 수 있을 것이다.

이러한 개념이 실현되기 위해서는 상위 계층의 프로토콜들과 표준 MAC 프로토콜의 변형이 요구된다. MAC 프로토콜은 상위 계층에 의해 정해진 목적지에 대해 단지 1 홉 사이의 전송에 대해서만 규정하고 있다. 유니캐스트 메시지를 최종 목적지까지 전달하기 위해 MATI 개념을 도입한다면, 이에 대한 ATIM 역시 여러 홉을 건너 전달되어야 한다. 이는 MAC 프레임에 경로 정보가 포함되거나, ATIM 전달의 각 단계에서 MAC 계층뿐만 아니라 네트워크 계층까지 참여해야 함을 의미한다. 반면, 전체 노드들에 같은 메시지를 전송하는 브로드캐스트의 경우에는 이러한 경로 정보가 없이도 공지를 전달할 수 있다. 따라서, 네트워크의 계층적 독립성을 해치지 않으면서 MANET의 여러 프로토콜에서 필수적으로 사용되는 브로드캐스팅에 대해서만 MATI 기법을 적용하기로 했으며, 본 논문에서는 플러딩에 의한 브로드캐스팅을 기준으로 프로토콜을 설계하였다.

4.1 MATI 프로토콜 동작 규칙

IEEE 802.11 DCF의 ATIM 프레임은 목적지 주소에 따라 2 유형으로 나눌 수 있다. 목적지 주소(DA: des-

tinuation address) 필드는 일반적인 MAC 주소를 포함하고 있는데, 첫번째 비트를 individual/group 비트로 사용한다. 목적지 주소가 그룹 주소, 즉 첫번째 비트가 1이면 1 홉 거리의 모든 이웃 노드가 ATIM을 수신하고 다음 전송을 위해 활동 상태를 유지한다. 첫번째 비트가 0이면 DA가 지시하는 특정 노드에 대한 ATIM을 의미하며, 이를 수신한 노드는 ACK를 보내 응답하고 다음 기간 동안 활동 상태를 유지하며, 그 외의 노드들은 휴면 상태로 간다. 그룹 비트에 의해 구분되는 이러한 ATIM을 각각 *BroadcastATIM*과 *UnicastATIM*으로 지칭하기로 한다.

본 논문에서는 여기에 멀티홉 공지를 위해 별도 유형의 ATIM인 *FloodingATIM*을 하나 추가하여 사용한다. *FloodingATIM*은 DA 주소가 그룹 주소, 그 중에서도 브로드캐스트 주소(모든 비트가 1)이고, 단순한 1 홉 브로드캐스트가 아닌 멀티홉 브로드캐스트를 요구하는 데이터가 대기하고 있음을 표시하는 부가 정보를 가지고 있다. 따라서, *BroadcastATIM*은 ARP(address resolution protocol)와 같이 1 홉 브로드캐스트를 요구하는 데이터에 대해 사용되며, *FloodingATIM*은 네트워크 전체에 대한 브로드캐스트에 대해 사용된다.

MATI 프로토콜의 ATIM과 데이터 프레임 전송 규

칙은 다음과 같다. 명시되지 않은 사항은 표준에 명시된 절차를 그대로 따르도록 한다.

- (가) 한 노드가 전달해야 할 플러딩 패킷을 보유하고 있으면, *ATIM Window* 동안 *FloodingATIM*을 전송한다. *ATIM Window*가 끝난 다음 활동 상태를 유지하며 버퍼에 저장되었던 플러딩 패킷을 전송한다.
- (나) *FloodingATIM*을 받은 노드들은 자신의 버퍼 안에 전송해야 할 패킷이 없는 상황이지만, *ATIM Window*의 남은 시간 동안 자신의 이웃 노드들에게 *FloodingATIM*을 전송한다. 이들은 *ATIM Window*가 끝난 다음에도 활동 상태를 유지하며, 미리 공지된 플러딩 패킷을 수신한다. 수신한 패킷의 중복성을 검사하고, 중복이 아니라고 판단되면 남은 비콘 구간을 활용하여 이를 다시 이웃 노드들에게로 전달한다.
- (다) *ATIM Window* 동안 *FloodingATIM*을 받았지만 미처 이를 다시 전달하지 못한 경우, 플러딩 패킷을 수신한 후에도 해당 비콘 구간 내에서는 플러딩 패킷을 전송하지 않고 버퍼에 저장한다. 다음 비콘 구간이 시작되면 (가)에 정해진 절차대로 *Flooding-ATIM*을 보내어 전송을 시도한다.

이러한 기본적인 절차 외에 개선을 위한 보조 규칙들은 다음과 같다.

- (가) 여러 개의 *FloodingATIM*을 수신하는 경우에도 하나의 *FloodingATIM*만을 전송한다. *ATIM*의 목적은 주변 노드들의 메시지 수신이 가능하도록 활동 상태를 유지시키는 데 있으며, 메시지의 수와는 관계가 없기 때문이다.
- (나) *FloodingATIM*을 전송한 노드는 1 홉 브로드캐스트를 요구하는 데이터가 버퍼에 저장되어 있더라도 *BroadcastATIM*을 전송하지 않는다.
- (다) *FloodingATIM*이나 *BroadcastATIM*을 수신한 노드는 그들 *ATIM*을 송신한 노드에게는 *UnicastATIM*을 보내지 않는다. *ATIM*을 송신한 노드는 항상 이후에 깨어 있을 것이기 보장이 때문이다.

그림 4는 그림 3의 MANET에 MATI 프로토콜을 적용시켰을 때 플러딩 단계를 보인 것이다. 이 예에서는 하나의 *ATIM Window* 동안 *FloodingATIM*이 최대 로 전달될 수 있는 거리는 3 홉이라고 가정하였다. 그림에서 음영으로 표현된 원에 포함되거나 걸쳐지는 노드들이 해당 비콘 구간 동안 계속 활동 상태를 유지하며 데이터 프레임의 연속 송수신하게 된다. 그리하여 그림에서 보드시피 2 단계, 즉 2 비콘 구간의 시간만에 전체 네트워크에서의 플러딩을 완료할 수 있다.

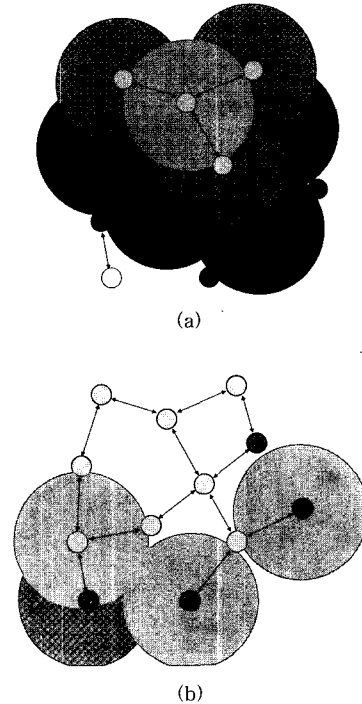


그림 4 PSM에 MATI 프로토콜을 적용한 플러딩

4.2 구현 방안

MATI 프로토콜을 기존의 네트워크 시스템에 구현하기 위해서는 MAC 프로토콜과 네트워크 계층 프로토콜들에 약간의 변경이 필요하다. 3.1절에서 제시한 규칙과 절차가 IEEE 802.11 프로토콜에 덧붙여 구현되어야 하며, 그에 앞서 *ATIM* 프레임의 유형을 표현하는 방법이 지정되어야 한다.

ATIM 프레임은 IEEE 802.11에서 사용되는 프레임 중 운영 프레임에 속한다. IEEE 802.11의 운영 프레임 포맷은 그림 5와 같으며, *ATIM* 프레임의 경우 Frame Control 필드에서 type 필드가 00 (운영 프레임), subtype 필드의 값이 1001로 지정되며, Frame Body 필드를 사용하지 않는다. 4.1절에서 설명한 대로, *Unicast-ATIM*과 *BroadcastATIM*은 각각 DA의 첫번째 비트에 의해 구별된다. 본 논문에서는 별도의 *Flooding-ATIM*을 표시하기 위하여 일반적인 *ATIM* 프레임에서는 사용되지 않는 Frame Body 필드를 일부 이용하기로 하였다. *FloodingATIM* 프레임의 DA 값은 일반적인 *BroadcastATIM* 프레임에서처럼 모든 비트를 1로 두어 브로드캐스트가 필요한 그룹 주소임을 나타낸다. 그리고, Frame Body 필드에는 네트워크 계층의 IP 패킷으로부터 TTL(time-to-live) 값을 복사하여 기록한다. 이 값이 1보다 클 경우 멀티홉 전송이 필요한 브로

결과 그래프에서 중단간 전송 지연은 플러딩 완료 시간(Flooding Completion Time: FCT)으로 측정되었다. 이는 소스 노드에서 패킷이 출발한 때부터 가장 마지막에 해당 패킷을 수신한 노드까지 걸린 시간을 의미한다. 각각의 시뮬레이션에서 임의의 한 소스 노드가 20개의 플러딩 패킷을 순차적으로 생성하고 이들은 플러딩되는 동안 겹쳐집이 없이 전송된다. 즉, 각 패킷은 다른 트래픽의 영향 없이 네트워크 내에서 플러딩되며, 오로지 노드들의 토폴로지와 프로토콜에 의해서만 그 성능이 변화된다. 각 노드 수에 대해 10개의 토폴로지, 각 토폴로지에 대해 20개 패킷에 대한 결과를 평균하여 그림 6에 나타내었다.

그림 6(a)는 64개의 노드로 이루어진 네트워크에서 플러딩하는 패킷의 크기를 변화시키면서 FCT를 측정하는 것이다. 활동 모드(AM)와 MATI 프로토콜의 경우 패킷의 크기가 커짐에 따라 FCT가 조금씩 증가한다. 큰 패킷은 전송 시간 자체가 오래 걸리기 때문이다. 반면, 전력 절감 모드(PSM)의 경우에는 패킷 크기가 FCT에

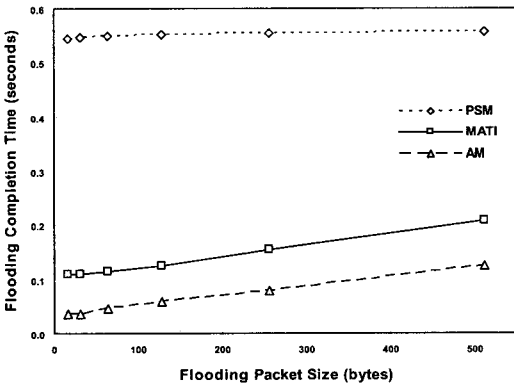
아무런 영향을 미치지 않는데, 이는 오직 한 비콘 구간에서 1 홉만 전달할 수 있고 시뮬레이션에 사용한 패킷의 크기는 한 비콘 구간 내에 한 프레임으로 모두 전달될 수 있기 때문이다. 따라서 패킷의 크기와 상관없이 소스 노드에서 가장 많은 홉 수가 걸리는 노드와의 거리에 의해 전송 지연이 결정된다. 본 논문에서 사용한 토폴로지는 1000m × 1000m 구역 내에 임의의 분포(random distribution)된 노드들로 구성되고, 각 노드의 전송 범위는 250m로 설정되어 있으므로 가능한 최대 홉 수는 6홉이다(대각선 방향으로 가장 멀리 배치할 때, $4 \times \sqrt{2}$). 그래프에서 보듯이 모든 경우에서 5 비콘 구간(500ms) + α 만큼의 시간이 걸림을 알 수 있다. 그러나, MATI 프로토콜의 경우 평균적으로 2 비콘 구간만에 플러딩이 완료되어 약 60~80% 이상의 지연 감소 효과를 보인다.

그림 6(b)는 64바이트 크기의 패킷에 대해 노드의 수를 변화시키면서 FCT를 측정하는 결과이다. 전체 구역의 크기와 전송 범위가 고정되어 있고 노드들이 임의의 분포되어 있기 때문에 노드 수의 증가에 상관 없이 노드들 사이에 가능한 최대 홉 수는 5~6홉이며, 따라서 1 비콘 구간 동안 1 홉씩 전달되는 PSM의 경우는 성능에 변화가 없다. AM과 MATI의 경우, 노드 수의 증가에 따라 이웃 노드의 수가 많아져 전송을 시도할 때 채널을 차지하기 위한 경쟁이 약간씩 증가하게 되어 전송 시간이 늘어나는 경향을 보인다.

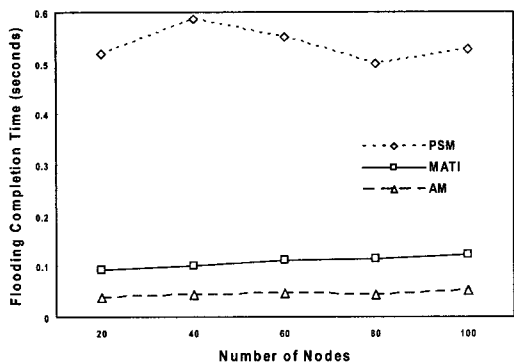
5.3 실험 2 - 현실적 트래픽 부하

두번째 실험에서는 다양하고 현실적인 트래픽 부하를 부과하여 MATI의 성능을 측정하였다. 노드의 수가 60개이고 플러딩 패킷의 크기가 64바이트인 경우로 고정시켰다. 60개 노드 중에 10개의 노드가 유니캐스트 CBR(constant bit rate) 트래픽을 생성하고, 이들은 0초에서 80초 사이에 랜덤으로 전송을 시작한다. 각 플로우의 생성은 20초 동안 지속되며, 트래픽 부하가 각각 10, 20, 30, 40, 50 kbps인 경우에 대해 실험하였고, 전체 시뮬레이션 시간은 100초이다. 유니캐스트 트래픽의 경로 길이는 최대 6홉, 평균 3.79홉으로 조사되었다. 한편, 유니캐스트 트래픽 외에 임의의 30개 노드에서 평균 3초당 하나씩의 플러딩 트래픽을 생성한다. 그 외에, AODV 프로토콜에서 경로 검색을 위해 플러딩 패킷을 사용하는데, 이들은 측정값에 포함시키지 않았다.

그림 7에서 보는 바와 같이, MATI 프로토콜은 표준 PSM의 전송 지연 문제를 현저히 개선시켰다. IEEE 802.11 표준에 따르면 브로드캐스트 메시지는 유니캐스트 메시지에 앞서서 전송되도록 되어 있어, 플러딩 완료 시간(FCT)의 결과는 실험 1의 경우와 크게 다르지 않다. 한편, 본 논문에서 제안된 MATI 프로토콜은 유니



(a) 패킷 사이즈에 따른 전송 지연 (64노드)



(b) 노드 수에 따른 전송 지연 (64바이트)

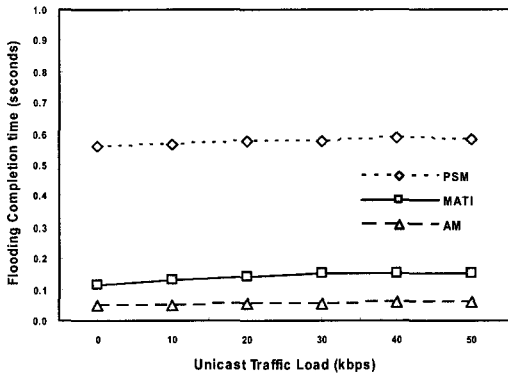
그림 6 독립적인 플러딩 플로우의 전송 시간

캐스트 전송 지연에 대해서는 아무런 개선책을 제시하고 있지 않음에도 불구하고, 유니캐스트 트래픽의 경우에도 PSM보다 50% 정도 전송지연을 감소시키는 성능을 보이고 있음을 알 수 있다(그림 7(b)). 그 이유는 두 가지로 설명될 수 있는데, 첫째, 플러딩에 대한 멀티홉

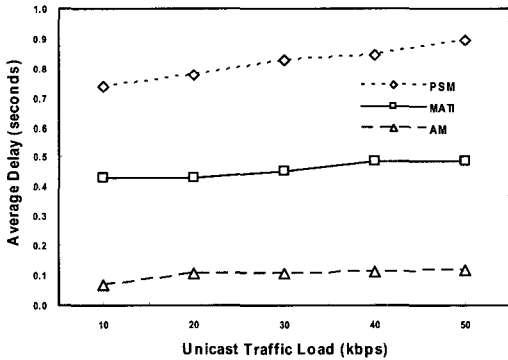
공지로 인해 보다 많은 노드가 같은 시간대에 깨어 있을 확률이 높고, 둘째, 유니캐스트 전송을 위한 경로 선정 프로토콜 역시 플러딩을 기본으로 사용하기 때문에 노드들을 미리 깨워 놓게 된다. IEEE 802.11의 표준 절차에서 정의된, 수신 노드가 깨어 있음이 확실한 경우는 그 전에 ATIM을 보내지 않은 상황에서도 전송이 가능하도록 한 개선 방안은 MATI 프로토콜과 결합된 경우에 훨씬 큰 효과를 보여 주고 있다.

그림 7(c)는 에너지 소모량을 측정한 결과이다. 각 프로토콜에서 전송이 완료되는 시점에 상관없이 전체 시뮬레이션 시간 동안 소모한 에너지를 측정하였다. 따라서, AM의 경우 전송이 매우 이른 시간에 종료되지만 소모하는 에너지는 가장 많다. 본 논문에서 제안한 MATI 프로토콜은 표준 PSM과 비교하여 전송 지연을 획기적으로 개선시킬 수 있으면서도 에너지 소비량을 비슷한 정도임을 볼 수 있다.

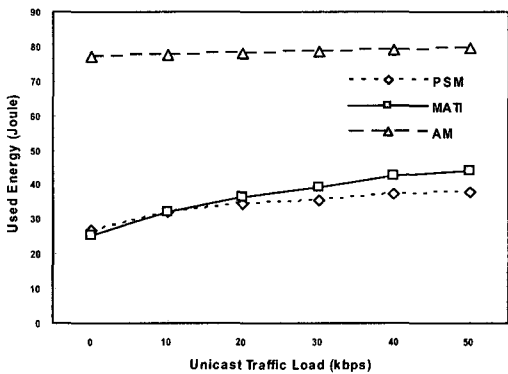
그림 8은 플러딩 로드에서 따른 FCT와 유니캐스트 전송 지연을 나타낸 것이다. 유니캐스트 CBR 트래픽을



(a) 평균 플러딩 완료 시간

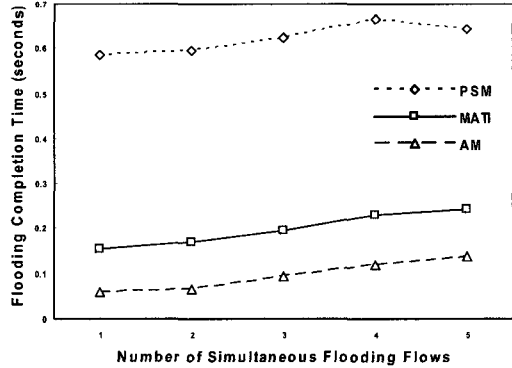


(b) 유니캐스트 트래픽의 평균 지연 시간

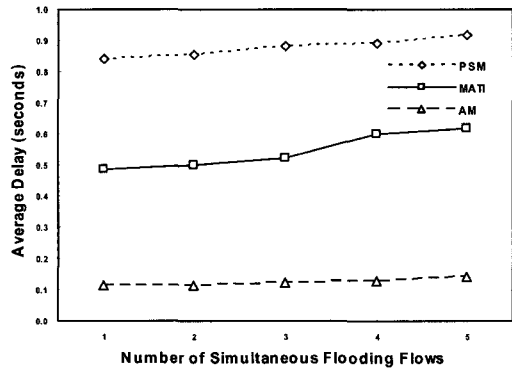


(c) 전체 에너지 소모량

그림 7 다양한 트래픽 부하에 따른 성능 비교

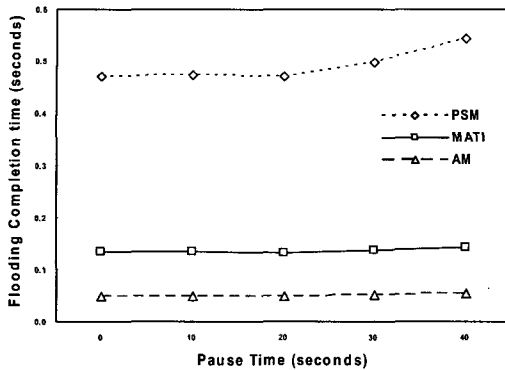


(a) 플러딩 완료 시간

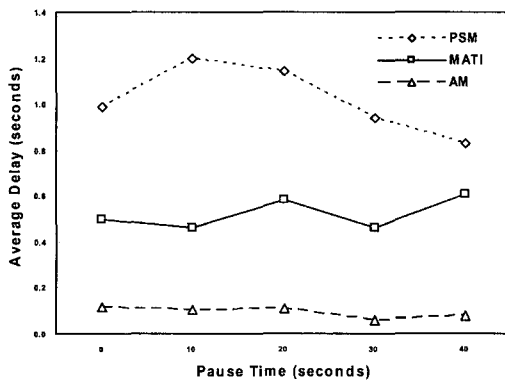


(b) 유니캐스트 트래픽 전송 지연

그림 8 플러딩 부하에 따른 전송 지연



(a) 플러딩 완료 시간



(b) 유니캐스트 트래픽의 평균 지연 시간

그림 9 이동 환경에서의 성능

40kbps로 고정하고, 매 3초마다 플러딩 플로우를 동시에 1, 2, 3, 4, 5개 노드에서 발생시켜 시뮬레이션 시간 100초 동안 실험하여 평균값을 계산하였다. 동시에 진행되는 플러딩 수가 많을수록 지연이 늘어남을 볼 수 있다.

한편, 모든 경우에 있어 패킷 전달률은 [5]의 결과에서 802.11 AM과 PSM이 비슷한 값을 나타낸 것과 마찬가지로, 세 가지 프로토콜 모두 비슷한 수준을 보여 MATI 프로토콜이 전달률을 높이는 효과는 없는 것으로 나타났다.

5.4 실험 3 - 이동성 부과

세번째 실험은 실험 2와 같은 조건과 시나리오에서 random waypoint mobility model을 적용하여 노드들이 이동하는 환경에서 MATI와 다른 프로토콜들의 성능을 측정하였다. 각 노드는 0~10m/s 사이의 임의의 속도로 움직이고, 정지 시간은 0초에서 40초까지 변화한다.

세가지 프로토콜의 성능 비율은 전체적으로 이동성에 관계 없이 실험 2의 결과와 비슷한 형태를 보이고 있다. 그러나 이동성의 변화에 따른 특정 추세는 보여주지 못

하고 있는데, 이는 위 결과가 전송에 성공한 경우만으로 지연 시간 평균을 계산했기 때문에 전달되지 않은 패킷이 고려되지 않은 까닭이다. 이동성이 높을수록 패킷 탈락률이 높아져 플러딩의 경우 약 3.5%, 유니캐스트 트래픽의 경우 최대 30% 가까운 패킷이 도중에 탈락된다. 정지 상태를 비롯한 모든 경우에 패킷 탈락률은 PSM이 가장 높고, AM이 가장 낮으며, MATI는 PSM에 가깝거나 약간 낮은 수준으로 조사되었다.

6. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.11 DCF의 전력 절감 모드에서 망 전체로의 플러딩 전송 지연을 획기적으로 줄일 수 있는 개선 알고리즘을 제안하고 그 성능을 평가하였다. 일반적으로 전력 절감 모드 프로토콜은 에너지 소모량을 최소화하는 목적으로 구성되었으며, 기존 연구들 또한 에너지 절약 효과를 최대화하는 방안이 집중되어 왔다. 그러나, 본 논문의 분석과 실험을 통해, 주기적인 휴면 상태의 반복은 메시지 전송이 단속적으로 일어나게 하여 결과적으로 매우 긴 전송 지연을 초래할 수 있음을 볼 수 있었다. 본 논문에서 제안하는 MATI (Multi-hop Ad hoc Traffic Indication) 프로토콜은 휴면 상태의 시간을 늘리기보다는 고정된 길이의 활동 상태를 최대한 활용하는 것에 초점을 두었다. 플러딩 메시지를 가진 노드는 이웃 노드뿐 아니라 여러 홉 건너까지 ATIM 프레임 전송하여, 하나의 비콘 구간 동안 여러 홉을 거쳐 데이터의 전송이 이루어지도록 할 수 있다.

IEEE 802.11 DCF 및 그의 전력 절감 모드와 비교 시뮬레이션을 한 결과, 제안된 MATI 프로토콜은 표준 PSM과 비교해 많지 않은 에너지 추가 소모로 플러딩의 전체 전송 지연을 60~80% 감소시킬 수 있었다. 또한, 다양한 트래픽과 이동성을 추가한 실험에서도 현저히 개선된 성능을 보였으며, 플러딩의 개선으로 인해 유니캐스팅의 전송지연도 줄일 수 있었다.

본 논문에서 제안한 MATI 프로토콜은 ATIM Window 크기를 고정하고 플러딩 기반의 브로드캐스팅을 중심으로 구성되었지만, 전력 절감 모드에서 중단된 전송 지연을 개선하기 위한 목적으로 만들어진 기법이므로 ATIM Window 크기를 조절하는 다른 전력 절감 기법이나 플러딩 이외의 다른 브로드캐스팅 기법과 결합하는 것도 가능하며, 상위 계층의 지원을 받아 유니캐스팅 전송 지연을 개선하는 방법도 개발할 수 있다. 이들을 고려하여 전력 절감과 전송 지연 면에서 가장 최적적인 MANET용 MAC 프로토콜을 개발하는 것이 우리의 다음 과제가 될 것이다.

참고 문헌

- [1] LAN MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, "IEEE Std 802.11-1999, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications," *IEEE*, 1999.
- [2] Woesner, H., Ebert, J.-P., Schlager, M. and Wolisz, A., "Power-Saving Mechanisms in Emerging Standards for Wireless LANs: The MAC Level Perspective," *IEEE Personal Communications*, 1998.
- [3] Jung, E.-S. and Vaidya, N. H., "An Energy Efficient MAC Protocol for Wireless LANs," *IEEE INFOCOM 2002*, June 2002.
- [4] Choi, J.-M., Ko, Y.-B. and Kim, J.-H., "Enhanced Power Saving Scheme for IEEE 802.11 DCF based Wireless Networks," *IFIP PWC 2003*, Venice, Italy, 2003.
- [5] Chen, B., Jamieson, K., Balakrishnan, H. and Morris, R., "Span: An Energy-Efficient Coordination Algorithm for Topology Maintenance in Ad Hoc Wireless Networks," *ACM MobiCom 2001*, 2001.
- [6] Zheng, R., Robin, K., "On-demand Power Management for Ad Hoc Networks," *IEEE INFOCOM 2003*, 2003.
- [7] Tseng, Y.-C., Hsu, C.-S. and Hsieh, T.-Y., "Power-Saving Protocols for IEEE 802.11-Based Multi-Hop Ad Hoc Networks," *IEEE INFOCOM 2002*, 2002.
- [8] Zheng, R., Hou, J. C., and Sha, L., "Asynchronous Wakeup for Ad Hoc Networks," *MobiHoc'03*, 2003.
- [9] Nesargi, S., Prakash, R., "MANETConf: Configuration of Hosts in a Mobile Ad Hoc Network," *The 21st IEEE Conf. on Computer Communications (ICC'02)*, 2002.
- [10] Perkins, C., Belding-Royer, E., Das, S., *Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing*, IETF RFC 3561, 2002.
- [11] Cheng, L., "Service Advertisement and Discovery in Mobile Ad hoc Networks," *Workshop on Ad hoc Communications and Collaboration in Ubiquitous Computing Environments, in conjunction with the ACM 2002 Conf. on CSCW*, New Orleans, USA, 2002.
- [12] Williams, B., Camp, T., "Comparison of Broadcasting Techniques for Mobile Ad Hoc Networks," *MobiHoc'02*, 2002.
- [13] Ni, S.-Y., Tseng, Y.-C., Chen, Y.-S. and Sheu, J.-P., "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network," *The 5th Annual ACM/IEEE Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99)*, 1999.
- [14] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/index.html>
- [15] The CMU Monarch Project, "Wireless and Mobility Extensions to ns-2," <http://www.monarch.cs.cmu.edu/cmu-ns.html>.
- [16] Feeney, L. M. and Nilsson, M., "Investigating the Energy Consumption of a Wireless Network Interface in an Ad Hoc Networking Environment," *IEEE INFOCOM 2001*, 2001.



윤현주

1988년 서울대학교 컴퓨터공학과(공학사)
1990년 한국과학기술원 전산학과(공학석사)
1997년 한국과학기술원 전산학과(공학박사). 1997년~1998년 ICASE, NASA LaRC 객원연구원. 1998년~1999년 이화여자대학교 컴퓨터학과 객원교수 1999년~2001년 ㈜브레인투엔티원 기술이사. 2002년~2003년 한국정보통신대학원대학교 연구교수. 2003년~현재 한국과학기술원 전자전산학과 초빙교수



서명환

2002년 충남대학교 정보통신공학과(공학사). 2004년 한국정보통신대학교 공학부(공학석사). 2004년~현재 한국정보통신대학교 공학부 박사과정



마중수

1973년 연세대학교 전기공학과(공학사)
1977년 University of Massachusetts, Amherst 전기컴퓨터공학과(공학석사). 1978년 University of Massachusetts, Amherst 전기컴퓨터공학과(공학박사). 1978년~1991년 IBM Watson Research Center, Research Staff Member. 1991년~1999년 SK 텔레콤 연구소장. 1997년~1999년 정보통신연구진흥원 무선통신전문위원. 1999년~현재 한국정보통신대학교 부교수