
IEEE 802.11s 기반 이동형 메쉬 노드를 위한 빠른 이웃 노드 탐색 기법

송병구* · 김종덕**

Fast Neighbor Discovery for IEEE 802.11s based Mobile Mesh Node

Byeong-Gu Song* · Jong-Deok Kim*

이 논문은 2009년도 차세대 물류IT 기술 연구 사업단 연구비를 지원받았음

요 약

IEEE 802.11 표준의 애드혹 모드에서 비콘은 각 노드들 간에 네트워크 알림과 파워 관리, PCF등과 같이 네트워크의 관리를 위한 동기화를 위해 주로 사용한다. 하지만 IEEE802.11에서의 비콘 전송 방식을 따르는 IEEE 802.11s 환경에서의 비콘은 기존의 목적 이 외에 자기 자신을 인근 노드에게 알리기 위한 목적으로도 사용하는데 이를 위한 기존의 비콘 전송 방식은 혼잡한 노드들 사이에서 충분한 역할을 수행 하지 못할 수 있다. 이에 본 논문에서는 IEEE802.11s 환경에서 비콘 전송 방식의 수정을 통해 비콘으로 인한 망의 혼잡을 줄이고 보다 빠른 인근 노드 탐색 기법을 제안한다. 또한 수정된 비콘 전송 방식을 시뮬레이션과 실제 애드혹 환경에서의 실험을 통하여 주위 모든 이웃 노드를 탐색 하는 시간이 기존의 비콘 전송 방식보다 빨라졌음을 보인다.

ABSTRACT

In the ad-hoc mode of IEEE 802.11 standard, beacon is used for power control and network alarming between each node, and also it is for the synchronization in controlling network as PCF. However beacon is also used to inform the neighbor nodes of itself except for original purpose in the environment of IEEE 802.11s. For this, the existing beacon's transmission mechanism can't perform a function in full. In this paper, we suggest much faster neighbor discovery reducing network congestion caused by beacon through modification of beacon transmission mechanism. And we will show that suggesting algorithm more faster full neighbor discovery than traditional neighbor discovery using for IEEE 802.11 through simulation and test in real ad-hoc network

키워드

IEEE 802.11s beacon, Neighbor discovery, Mesh Network

* 부산대학교 컴퓨터 공학과

** 부산대학교 컴퓨터 공학과 (교신저자)

I. 서 론

현재 전 세계 ISP들은 IEEE 802.11 표준[1]을 기반으로 단말의 이동성과 무선 지원하는 WLAN을 성공적으로 운용하고 있다. 이에 많은 사용자들은 학교, 공원, 회사 등에서 자유롭게 유선 연결 없이 인터넷 서비스를 제공 받고 있다. 하지만 사용자가 이러한 무선 서비스를 받기 위해서는 인근에 유선 연결이 필요한 액세스 포인트라고 불리는 중앙 관리 시스템이 필요한데 ISP는 무선 환경의 범위를 넓히기 위해서 유선 연결이 된 액세스 포인트를 추가로 설치해야 하는 환경적 부담이 따른다.

이에 최근에 액세스 포인트 간의 무선 코어 네트워크 구축을 통해 기존의 유선 연결 없이 사용자 무선 환경 확대를 위한 연구가 진행되고 있다. 이는 액세스 포인트를 통해 인터넷 서비스를 받는 기존의 방법보다 망의 유연성과 확장성을 증가[2] 시킬 수 있다. 이러한 망의 형태를 메쉬 네트워크라고 하고 IEEE에서는 메쉬 네트워크를 지원하기 위한 표준화 작업을 진행하고 있는데 IEEE 802.11TGs가 그것이다.

IEEE 802.11s 표준에서는 노드들 간의 통신을 위해 네트워크를 구성하는 이웃 노드들 간의 논리적인 연결 여부를 우선 결정해야 하는데, 표준에서는 메쉬 ID, 라우팅 프로토콜 ID, 메트릭 ID 같은 파라미터들을 비콘을 통해

상호 교환하고 각 노드들은 비콘 내부에 명시된 파라미터들과 자신의 DB에 저장된 파라미터의 비교를 통해 이웃 노드와의 논리적인 연결 여부를 결정한다. 때문에 IEEE 802.11s에서의 비콘의 주기적인 송, 수신은 중요한 문제이다.

기본적으로 IEEE 802.11s[3]에서의 메쉬 노드들은 고정형 메쉬 포인트를 의미한다. 일반적으로 고정형 메쉬 노드들 사이에는 메쉬 포인트의 하드웨어적인 결함 없이 두 메쉬 포인트 간의 논리적인 연결이 끊어지는 경우는 드물다. 때문에 이웃 노드를 한번 탐색하게 되면 시스템에 문제가 생기기 전까지는 이웃 노드의 정보를 영구적으로 유지할 수 있다. 하지만 그림1과 같은 항만 물류 환경에서 메쉬 포인트가 크레인의 꼭지에 각각 위치하여 메쉬 포인트 간에 코어 네트워크를 이루고 일정한 범위의 지역을 주기적으로 이동을 하며 지상에 사용자들의 단말이나 응용 서비스를 제공하는 구조를 생각해 보면 메쉬 노드들 간의 논리적인 연결은 크레인의 이동으로 인해 고정형 메쉬 노드의 연결보다 비교적 자주 끊어질 우려가 있다.

또한 안정화된 메쉬 네트워크에 이동 메쉬 노드가 나타났을 때 이동 메쉬 노드가 비콘을 독점적으로 발생하는 특정한 이웃 노드들만을 탐색하여 비교적 한정된 경로로 통신 서비스를 시작하는 경우 보다, 대다수의 이웃 노드를 빨리 탐색하고 탐색된 노드들을 바탕으로 각 노

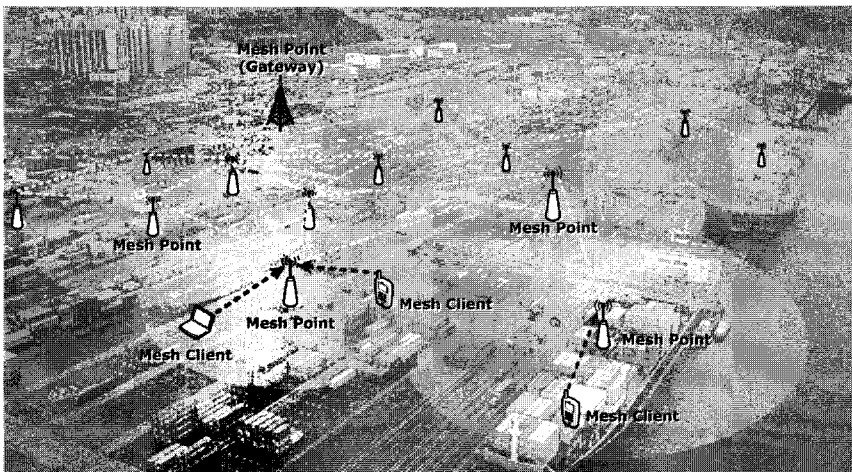


그림 1. 항만·물류 환경에서 메쉬 네트워크의 예
Fig. 1 Example of mesh network in port and logistic environment

드들과 논리적인 연결을 맺은 후 여러 경로 중에 최선의 경로를 선택하는 것이 메쉬 네트워크의 성능에 중요한 영향을 줄 수 있다. 이러한 이유로 메쉬 네트워크를 이루는 각 노드들의 안정된 비콘 발생 문제는 그림 1의 이동형 메쉬 노드가 존재하는 메쉬 네트워크에서 더욱 중요하다.

본 논문에서는 이동형 메쉬 노드가 비콘을 이용한 이웃 노드 탐색에서 좀 더 빠르게 대다수의 이웃 노드를 탐색 할 수 있는 비콘 전송 알고리즘을 제안하고자 한다.

II. 관련연구

2.1 IEEE 802.11의 비콘 동작

IEEE 802.11 표준에서는 비콘 동작 방식을 두 가지로 정의하고 있다. 하나는 액세스 포인트가 네트워크의 주체가 되어 네트워크를 관리하는 인프라스트럭처 모드와 이디넷과 같이 하나의 네트워크를 여러 노드들이 공유하여 경쟁에 의해 비콘의 전송 권한을 획득하는 애드혹 모드로 구분된다. 비콘의 전송 방식은 이 두 가지 모드로 인해 다소 차이가 나는데 다음과 같다.

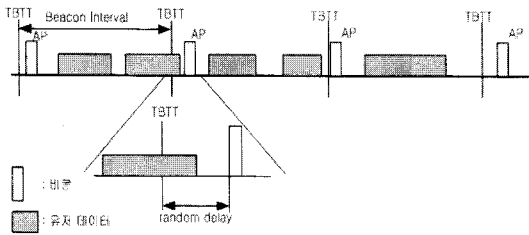


그림 2. 인프라스트럭처 모드에서 비콘 전송 방식
Fig 2. Way of beacon generation in infra-structure mode

2.1.1 IEEE 802.11의 인프라스트럭처 모드

인프라스트럭처 모드에서 비콘 전송 권한은 오직 액세스 포인트에게만 제한한다. 인프라스트럭처 모드에서 네트워크를 관리하는 유일한 주체는 액세스 포인트이 관때문에 네트워크의 탐색, 동기를 위한 비콘 전송은 매번 TBTT(Target Beacon Trasmin Time)가 되면 액세스

세스 포인트만 비콘을 전송한다. 그림 2는 인프라스트럭처 모드에서 동일한 액세스 포인트만이 비콘을 전송하는 방식을 표현한 그림이다. 인프라스트럭처 모드에서 네트워크의 때문 및 관리는 액세스 포인트의 권한이 관때문에 네트워크를 구성하는 스테이션들은 비콘을 전송할 권한이 없다. 때문에 그림 2에서의 모든 비콘은 네트워크의 액세스 포인트만이 비콘을 전송함을 알 수 있다.

2.1.2 IEEE 802.11의 애드 혹 모드

IEEE 802.11의 애드혹 네트워크를 구성하는 모든 노드는 비콘을 전송할 수 있는 자격이 있다. 하지만 애드혹 네트워크 내의 노드가 탐색 할 네트워크 정보는 다른 노드들과 공유하는 애드혹 네트워크의 SSID이기 때문에 모든 노드가 다 비콘을 전송할 이유가 없다. 때문에 애드혹 모드는 경쟁을 통해 특정한 한 노드만 TBTT 주기마다 비콘의 전송을 시도한다. IEEE 802.11노드들은 TBTT가 되면 $[0 \sim CW_{min} * a_{slottime} * 2]$ 범위 안에서 임의의 딜레이를 선택한다. 노드는 한번의 캐리어 센싱 마다 임의의 딜레이를 1씩 감소시키고 0이 되는 순간 비콘을 전송한다. 또는 임의의 딜레이를 1씩 감소하는 동안 동일한 SSID를 가지는 비콘을 수신하게 되면 자신이 보내기 위해 준비하던 비콘을 취소하고 다음 TBTT가 될 때까지 기다린다. 위와 같은 방법으로 IEEE 802.11에서는 특정한 TBTT에서는 한 노드만 애드 혹 망을 통지함으로서 필요 없는 비콘으로 인한 망의 혼잡을 제거 한다. 그림 3은 애드혹 모드에서 여러 노드들이 번갈아가며 비콘을 전송하는 모습이다.

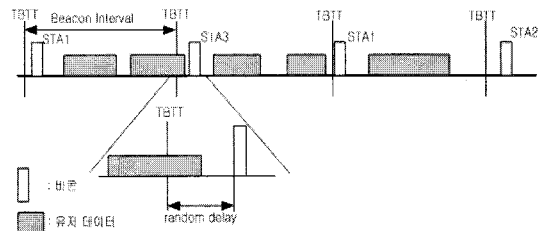


그림 3. 애드혹 모드에서의 비콘 전송 방식
Fig 3. Way of beacon generation in ad-hoc mode

2.2 IEEE 802.11s의 비콘 동작

IEEE 802.11s 표준에서 각 노드(MAP, MP, MPP)들은

두 가지 모드로 동작한다. 하나는 mesh 네트워크를 이루는 모든 노드가 파워 관리를 위해 네트워크의 공용 타이머인 TSF(Timing Synchronization Function)를 동기화된 다른 노드들과 동일하게 유지하는 동기화 모드와 파워 관리를 고려하지 않은 각각의 노드가 각자의 로컬 타이머에 의해 동작하는 비동기 모드[4]이다. 기본적으로 이 두 모드는 IEEE 802.11의 비콘 전송 방식을 그대로 유지한다. 이 두 모드에서의 비콘 전송 메커니즘은 그림 4와 같은 차이가 있다.

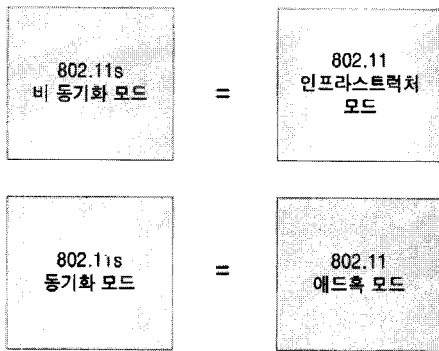


그림 4. 각 표준 모드에서 비콘 전송 방식
Fig 4. Comparison with beacon generation in IEEE standard

IEEE 802.11s의 비콘 전송 방식은 IEEE 802.11의 비콘 전송 방식을 그대로 유지하는데 그림 4와 같이 IEEE 802.11s의 비동기 모드는 2.1장에서 설명한 인프라스트럭처 모드와 동일하게 비콘이 동작하고 IEEE 802.11s의 동기화 모드는 애드혹 모드와 동일하게 경쟁을 통하여 비콘을 전송한다.

2.2.1 비동기 모드와 동기 모드

비동기 모드에서의 비콘 전송 메커니즘은 IEEE 802.11에서 인프라스트럭처 모드의 비콘 전송과 동일하다. 비동기 모드로 동작하는 IEEE 802.11s 노드는 다른 노드와 타이머를 비콘을 이용하여 자신의 타이머와 일치 할 필요가 없기 때문에 자신만의 타이머가 알리는 TBTT마다 비콘을 전송하면 된다. 때문에 비동기 모드로 동작하는 모든 노드들은 각자가 TBTT 시간이 되면 경쟁의 유무에 관계없이 IEEE 802.11의 인프라스트럭처 모드처럼 모두 비콘을 발생 한다.

IEEE 802.11s 동기 모드로 동작하는 노드에서의 비콘

전송은 IEEE 802.11의 애드혹 네트워크에서 정의하는 비콘 전송 메커니즘과 동일하다. 네트워크를 구성하는 노드들의 TSF 타이머를 동일하게 유지해야 하기 때문에 노드들은 한번의 TBTT에서 하나의 노드만이 비콘을 전송한다. 즉 경쟁에서 이긴 특정한 한 노드만이 비콘을 전송할 수 있는 권한을 가진다. 2.1.2장의 비콘 전송 방식과 동일하다.

III. 문제의식

3.1 비콘 기근 현상

앞에서 살펴본 바와 같이 IEEE 802.11s의 동기 모드에서 비콘 전송은 일정한 확률을 가진 노드들 간에 경쟁을 통해 비콘 전송 권한을 획득하는 방법이다. 하지만 만약 네트워크를 이루는 노드의 개수가 충분히 많다면 비콘 전송 경쟁에서 일정 시간 동안 승리하지 못하는 노드가 생길 수 있고 그러한 노드는 경쟁에서 이길 때까지 비콘을 전송 할 수 없게 된다. 본 논문에서는 이러한 현상을 비콘 기근 (beacon starving)현상이라고 정의 하고 다른 노드에 의해 비콘을 전송하지 못하는 시간을 BST(beacon starving term)라고 정의 한다. 그림 5는 우리가 가정한 비콘 기근 현상이 실제 IEEE 802.11 환경에서 얼마나 많이 발생하는가를 알아보기 위한 실험 결과이다.

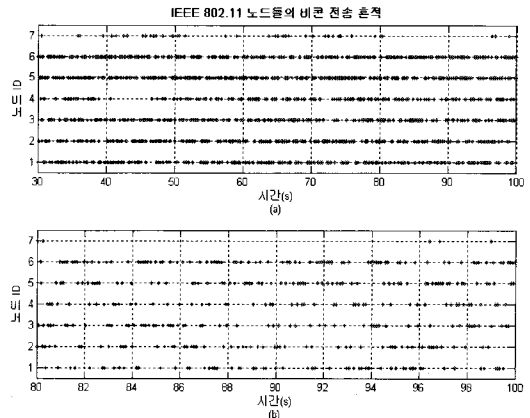


그림 5. IEEE 802.11환경에서 각 노드의 비콘 전송 흔적

Fig 5. Trace of beacons IEEE 802.11 environment

그림 5의 결과를 얻기 위한 실험은 7개의 IEEE 802.11 노드를 모두 애드혹 모드로 연결하여 약 100초 동안 각 노드들이 비콘을 발생 시키는 시점을 무선 모니터링 프로그램인 에어로 피크(airo-peek)을 이용하여 기록을 남겼다. 그림 5에서 y축을 이루는 하나의 점은 노드가 한번의 비콘을 전송했음을 의미한다. 실험의 정확성을 위해 액세스 포인트 및 다른 애드 혹 노드가 존재 하지 않는 개활지에서 실험을 시행하였다.

그림 5의 a는 위 실험의 결과 값으로 노드 7이 다른 노드보다 수차례 BST가 길게 나타남을 알 수 있다. 특히 55초 주위에서는 약 8초, 80초 주위에서는 15초 정도 비콘 기근 현상이 발생한다. 노드 4 역시 45초 주위에서 BST가 약 5초 정도 발생하는 것이 보인다. 그림 5의 b는 노드 7의 BST가 길게 나타나는 80초 주위를 좀 더 확대한 그림으로 다른 노드의 비콘 발생을 좀 더 자세하게 살펴 볼 수 있다. 이러한 비콘의 기근 현상은 비콘의 역할이 네트워크를 알리기 위해 사용하는 IEEE 802.11에서는 큰 문제가 되지 않지만 비콘을 이용하여 이웃 노드를 탐색해야하는 IEEE 802.11s는 복잡한 문제를 야기시킬 수 있다. 만약 새로운 IEEE802.11s 노드가 그림 5와 같은 환경에서 10초 주위에서 이웃 노드를 탐색한다면 새로운 노드는 노드 7번을 인지 할 때까지는 약 15초가 소요된다. 만약 노드들 간의 논리적인 연결이 자주 끊어질 수 있는 이동형 메쉬들로 구성된 환경에서의 비콘 기근 현상의 발생은 빠르게 주위의 대다수의 노드를 탐색하고 논리적인 연결을 맺어 최선의 경로를 설정해야 하는 메쉬 네트워크에 성능을 저해하는 중요한 요소가 될 수 있다.

3.2 IEEE 802.11s의 비동기 모드에서 비콘으로 인한 채널 혼잡

IEEE 802.11s에서는 모든 노드가 TBTT마다 비콘을 발생 시키는 비동기 모드를 지원한다. 이러한 비동기 모드에서의 비콘 전송 방식은 그림 2의 IEEE 802.11의 인프라스트럭처 모드와 동일하다. 이런 전송 방식은 앞에서 언급한 비콘 기근 현상은 발생하지 않으나 메쉬 포인트들의 무절제한 비콘 전송으로 인해 채널의 혼잡을 유발할 수 있는 가능성이 있다. 우리는 이러한 비콘 전송 방식으로 인한 채널의 혼잡 정도를 측정하기 위해 그림 6과 같은 실험 구성을 바탕으로 실험을 반복하여 평균값을 산출하였다.

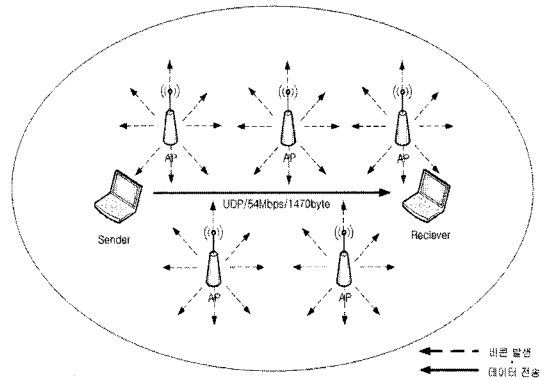


그림 6. 비콘이 채널 혼잡에 미치는 영향의 분석을 위한 실험 환경
Fig 6. Test environment for analysis of channel congestion by beacon

실험은 IEEE 802.11s의 비동기 모드처럼 비콘을 발생 시키기 위해 액세스 포인트를 이용하였고 8대의 액세스 포인트의 개수를 점차 증가 시키며 비콘을 발생하였다. 그때 다른 두 노트북을 비콘이 발생하는 동일한 채널에 UDP 프로토콜을 이용하여 54Mbps로 1470byte의 데이터를 송, 수신 하여 채널 혼잡을 측정하였다.

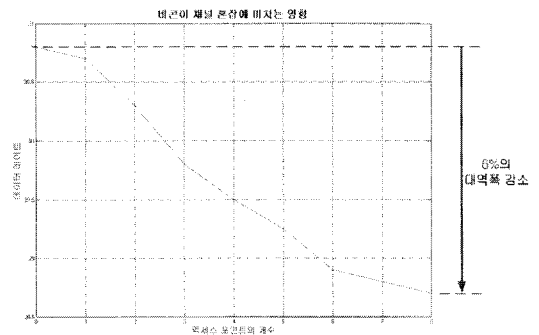


그림 7. 비콘이 채널 혼잡에 미치는 영향 실험 결과
Fig 7. Test result of channel congestion by beacon

그림7에 있는 실험 결과처럼 액세스 포인트의 개수가 증가 할수록 데이터를 전송하는 노드의 데이터 레이트가 감소함을 알 수 있다. 액세스 포인트가 0개에서 8개로 점차 증가 할 때 데이터 레이트는 약 30.8Mbps에

서 약 28.7Mbps로 감소하여 데이터 레이트의 손실이 약 2.0Mbps정도 발생한다. 액세스 포인트가 없을 때 데이터 레이트인 30.8Mbps의 6%정도가 비콘으로 인해 낭비되는 것을 알 수 있다.

우리는 실제 측정값과 이론에 의한 실제 계산 값을 비교해 보았다. 먼저 비콘 크기는 실제 실험에서 사용한 112byte로 정의 한다. 브로드캐스트 통신을 이용하는 비콘의 전송 레이트는 1Mbps로 비콘 하나를 전송할 때 발생하는 전송 지연 C는

$$C = \frac{112 \text{ byte}}{1 \text{ Mbps}} = 0.000896 \text{ ms} \quad \text{수식 1}$$

이다. 또한 비콘을 전송하기 위한 PIFS는 SIFS와 하나의 슬롯 타임의 합으로 구성하는데

$$\begin{aligned} PIFS &= SIFS \text{ Time} (10\mu\text{s}) + aSlot \text{ Time} (20\mu\text{s}) \\ &= 30\mu\text{s} \end{aligned} \quad \text{수식 2}$$

이다. 그러면 112byte의 비콘을 한번 전송하는데 걸리는 시간 T는

$$T = PIFS + C = 0.00092 \text{ s} \quad \text{수식 3}$$

이다. 1초에 약 열 개의 비콘을 전송하는 IEEE 802.11 환경에서 비콘으로 인해 채널에 혼잡이 발생하는 시간은 1초에 약 0.0092초로 1%정도 이다. 만약 비콘 간의 충돌이 없다고 가정한다면 8개의 액세스 포인트가 존재하는 망에서의 대역폭 손실은 8%가 발생할 수 있다. 이 값은 우리가 비콘으로 인한 채널 혼잡 측정을 실험 시에 측정한 약 6%의 대역폭 손실과 크게 차이가 나지 않는다.

IV. 제안 알고리즘

앞장에서 살펴본 바와 같이 IEEE 802.11s에서의 비콘 전송 방식은 IEEE 802.11에서의 비콘 전송 방식을 따른다. 하지만 IEEE 802.11s는 비콘을 이용하여 이웃 노드를 탐색해야 하기 때문에 IEEE 802.11의 비콘 방식을 그대로

로 따르면 앞에서 살펴 본 바와 같이 비콘 기근으로 인하여 이웃 노드 탐색 시간이 지연될 수 있고, 불필요한 비콘으로 인해 대역폭을 낭비해야 하는 문제가 발생할 수 있다.

본 장에서는 비콘 기근 현상을 개선시키고 비콘으로 인한 대역폭 낭비를 줄이고자 새로운 비콘 전송 방식을 제안한다. 우리가 제안하는 비콘 전송 방식은 비콘 전송 성공 여부에 따라 전송 확률의 변화를 통해 비콘을 전송하지 못한 노드에 대해서는 CWmin값을 1씩 감소하여 임의의 딜레이를 선택하게 함으로서 확률적으로 우선권을 주는 방법을 바탕으로 한다. 그림 8은 본 논문에서 제안하는 비콘 전송 기법의 순서도이다. 기존의 비콘 전송 방식은 이전 TBTT에서 이전 비콘 전송 성공 여부와 관계없이 CWmin값을 동일하게 사용하는 메모리스 방식인 반면 제안하는 알고리즘은 비콘 전송 성공 여부를 기억하여 CWmin값의 변화를 주는 메모리-풀한 방법이다.

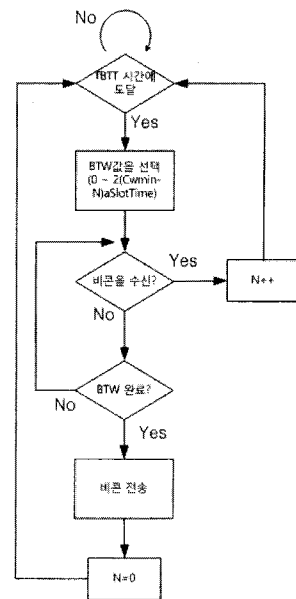


그림 8. 제안하는 비콘 전송 방식의 순서도
Fig 8. Suggestion beacon generate algorithm

본 논문에서 제안하는 방법은 IEEE 802.11s의 동기 모드로 동작하는 노드의 긴 시간 동안 비콘의 전송 권한을 획득하지 못할 확률을 상당 부분 줄여 비콘 기근 현상을

크게 감소시켜줄 것으로 기대한다. 또한 비동기 모드에서도 제안하는 알고리즘으로 비콘 전송 방식을 대체하고 IEEE 802.11s 노드들간의 TSF 타이머는 동기화되 파워 관리등 동기 모드에서 지원하는 여러 기능들을 지원하지 않으면 비콘으로 인한 대역폭 낭비를 방지할 수 있다.

V. 제안 알고리즘의 구현

우리는 본 논문에서 제안하는 비콘 전송 방식을 아테로스 칩셋을 지원하는 오픈 소스 드라이버인 매드-와이파이(mad-wifi)의 수정을 통해 구현하였다. 매드 와이파이는 비교적 MAC 수준에서의 구현 변경이 다른 디바이스 드라이버보다 자유롭고 다양한 형태로 변형 가능한 리눅스라는 플랫폼과 PCI, mini-pci, PCMCIA 등 다양한 형태로 제작 가능한 Atheros chipset의 무선 인터페이스를 이용함으로써 이식성 및 확장성이 우수하다는 장점을 가진다.

우리는 Alix 3c2 보드에 수정된 소스를 탑재하여 실험함으로써 실제 항만 물류 환경에서도 사용할 수 있는 가능성을 보이코자 한다. 하지만 제안하는 비콘 전송 방식을 매드 와이파이에 구현하기에는 현실적인 한계가 존재한다. 매드 와이파이의 구조상 노드는 비콘을 발생시킨 시점을 정확하게 인지하기 힘들다. 즉 제안하는 비콘 전송 방식은 노드가 비콘을 발생하였는지를 인지하는 것이 중요하지만 매드 와이파이는 비콘 전송 여부가 하드웨어 레벨에서 구현되었기 때문에 드라이버 레벨에서는 인지하지 못한다. 때문에 본 논문에서는 비콘의 전송 여부를 인지하기 위해 본 논문에서 제안하는 방법과는 조금 다르게 소스를 수정하여 실험하였다.

구현한 방법은 노드가 비콘을 전송하였는지를 체크하는 것 보다 일정한 단위 시간동안 수신되어야 할 비콘의 개수를 체크하여 개수가 정해진 기준 보다 많으면 노드가 비콘을 전송 했을 가능성이 적다고 판단하여 CWmin 값을 재설정 하고, 기준 갯수 보다 적으면 CWmin 값을 초기 값으로 설정하는 방법을 이용하였다.

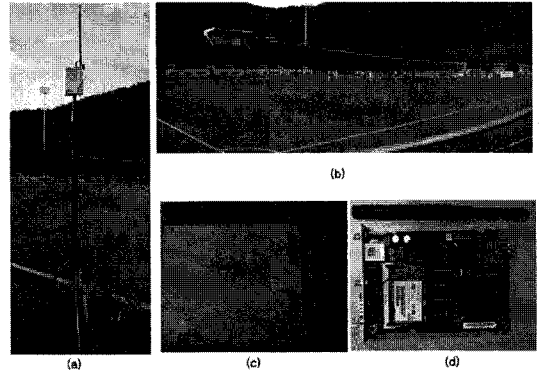


그림 9. 제안하는 비콘 전송 실험을 위한 노드 및 환경
 (a) 이동식 배터리를 설치한 실험 노드
 (b) 다른 채널에 의한 간섭을 최소화한 개활지
 (c) Alix 3c2 (d) Alix 3c2 보드 내부
 Fig 9. Test environment for suggesting algorithm
 (a) Test node with a movable battery (b) Open place for minimum interference by another channel
 (c) Alix 3c2 (d) Alix 3c2 board inner part

그림 9(a)는 수정된 비콘 전송 알고리즘의 성능 실험을 위한 이동식 배터리를 이용하여 이동 가능하게 구현한 IEEE 802.11 노드이다. 9(b)는 다른 채널의 간섭을 최소화하여 실험한 개활지 모습이다. 9(c)와 9(d)는 수정된 비콘 알고리즘을 탑재한 Alix 3c2 보드의 외형과 내부 모습이다.

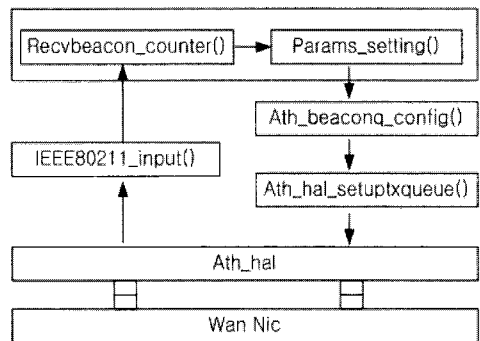


그림 10. 수정된 매드 와이파이 모듈의 비콘 처리 함수
 Fig 10. beacon handling functions of modified mad-wifi module

그림 10는 매드 와이파이에에서 수정한 메쉬 모듈의 구조를 보여준다.

wlan nic으로부터 받은 비콘을 카운트 하여 비콘 전송 큐를 설정할 때까지의 대략적인 호출되는 함수 흐름을 표현하였다. 그림 10에서 Recvbeacon_counter()은 입력되는 비콘을 단위 시간 동안 카운트 하여 설정한 기준에 부합되는지를 체크하여 비콘 큐의 재설정 여부를 결정하는 함수이다. 비콘 큐의 재설정은 Params_setting()에서 CWmax값의 수정을 통해 수행한다.

VI. 성능 평가

우리는 본 논문에서 제안하는 비콘 전송 방식의 성능 평가를 위해 시뮬레이션과 실제 환경에서의 실험을 수행하였다.

6.1 시뮬레이션 실험 결과

그림 11은 애드혹 네트워크를 구성하는 노드들이 주위의 모든 노드를 탐지하는데 필요한 시간을 시뮬레이션을 통하여 측정된 실험 결과이다. 시뮬레이션은 자체적으로 제작한 프로그램을 이용하였고 노드의 개수를 점차 증가시킬 때 각 노드들이 주위 모든 노드를 발견하는데 필요한 시간을 측정하여 기록한 값이다. 단 비콘의 충돌은 감안하지 않았고 측정된 값 중에 가장 나쁜 10%의 경우 값을 별도로 측정하여 비교함으로써 제안 알고리즘의 타당성을 밝히고자 한다.

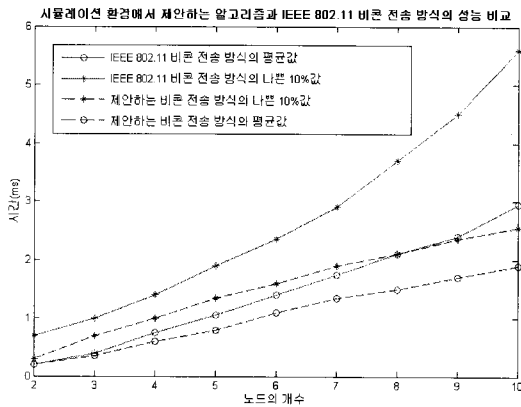


그림 11. 시뮬레이션을 이용하여 주위의 이웃 노드를 탐색하는데 필요한 시간 측정 비교
Fig 11. Time log comparison for neighbor discovery with simulation testing

그림 11을 보면 노드의 개수가 증가 할수록 주위의 모든 노드를 탐색하는데 필요한 시간이 증가한다. 하지만 IEEE 802.11의 비콘 전송 방식과 제안하는 알고리즘 방식의 기울기는 확연히 차이가 난다. 기존의 비콘 전송 방식은 노드의 개수가 증가 할수록 기울기가 증가하는데 반해 제안하는 알고리즘은 노드 개수가 늘어날수록 기울기가 완만하게 감소함을 알 수 있다. 특히 나쁜 경우 10%에서 더 확연히 차이가 들어난다. 이는 노드의 개수가 증가하면 증가 할수록 본 논문에서 제안하는 알고리즘이 노드 탐색에 더 효율적임을 의미한다.

6.2 실제 애드 혹 환경에서 실험 결과

우리는 그림 11와 같은 환경에서 수정된 매드 와이파이(mad-wifi)를 PC Engines사의 Alix 3c2보드에 탑재하여 통해 제안하는 비콘 전송 알고리즘의 성능 실험을 하였다.

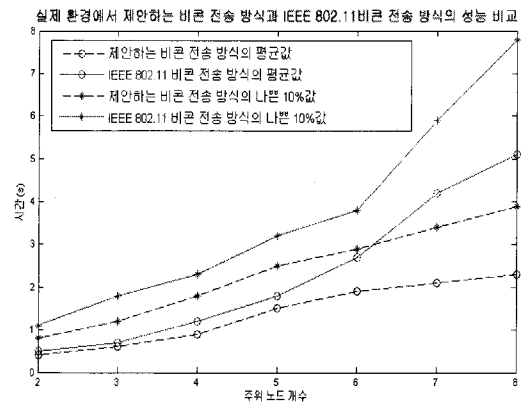


그림 12. 실제 실험에서 주위의 이웃 노드를 탐색하는데 필요한 시간 측정 비교
Fig 12. Time log comparison for neighbor discovery with reality testing

그림 12는 그림 11의 시뮬레이션 실험을 실제 환경에서 적용했을 때의 결과이다. 실험 시나리오는 애드혹 망을 구성하는 노드 외에 새로운 애드혹 노드를 망에 결합할 때 새로운 노드가 망을 이루는 다른 노드들의 비콘을 수신하여 망을 구성하는 전체 노드를 발견하는데 필요한 시간을 측정하였고 애드혹 망을 이루는 노드의 개수를 증가 시키며 실험 하였다.

실험 결과 역시 시뮬레이션과 크게 차이가 없다. 그림 12을 보면 실제 실험에서도 역시 제안하는 전송 방식이 기존의 방법보다 더 빠른 시간에 주위 노드 탐색을 마치는 것을 알 수 있다. 다만 기존의 방식 중에 나쁜 경우 10%시의 그래프는 노드의 개수가 일정한 수준이 되면 노드 탐색을 끝내는 시간의 기울기가 크게 증가한다. 실제 실험 환경은 시뮬레이션 실험 환경과 다르게 비콘의 충돌 현상이 가능하기 때문에 비콘의 충돌로 인한 BST가 커지는 것으로 의심된다. 추가적인 연구가 필요한 부분이다. 또한 5장의 제안 알고리즘의 구현에서 언급한 구현시의 한계처럼 제안한 알고리즘을 실제 매드 와이 파이에서 구현하기는 현실적인 제약이 따른다. 때문에 이 실험이 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 정확하게 따르는 실험 결과라고 말하기는 힘들지만 실제 항만 물류 환경에서의 구현 가능성을 보이기에 충분하다고 판단된다.

VII. 결론

유비쿼터스 컴퓨팅 네트워크가 많은 관심을 받고 있는 상황에서 언제 어디서나 대용량의 인터넷 서비스를 받고자 하는 사용자들은 갈수록 무선 네트워크에 대한 기대가 증가[5]하고 있다. 이러한 사용자들의 기대를 만족시키기 위해 많은 연구가 진행되고 있는데 그 중 메쉬 네트워크 또한 매우 활발히 연구되고 있는 분야이고 IEEE 802.11 그룹에서는 "s" 이름으로 표준화 작업을 진행하고 있다.

본 논문에서는 메쉬 환경에서 이동성을 지원하는 메쉬 노드들 간에 빠른 이웃 노드의 탐색을 위한 알고리즘을 제안한다. 비콘의 전송 권한 획득은 확실적인 문제이기 때문에 본 논문에서 제안하는 방식이 기존의 방식보다 나쁜 경우도 발생할 수 있다. 다만 제안하는 비콘 전송 방식은 특정 단위 시간동안 노드들간의 비콘 전송 횟수를 균등하게 함으로서 IEEE 802.11 표준에서 정의하는 비콘의 전송 방식이 IEEE 802.11s에서 그대로 답습함으로써 발생할 수 있는 여러 문제점을 살펴보고 그 문제를 완화하기 위한 알고리즘을 제안 하였다. 또한 제안 알고리즘을 이용하여 시뮬레이션 및 실제 실험을 통해 기존의 비콘 전송 방식보다 우수성을 보였다. 다만 실험을 실험에 이용한 랜카드

제조 회사들의 표준 준수 여부에 대한 추가적인 연구 또한 필요하다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 차세대 물류IT 기술 연구 사업단의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] IEEE Std 802.11. Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) specification, 1999 edition.
- [2] I. Akyildiz, X. Wang, and W.Wang "Wireless Mesh Networks: Survey," *Elsevier Computer Network*, 2005.
- [3] IEEE P802.11s/D1.06, Draft amendment to standard IEEE 802.11: *ESS Mesh Networking*, 2007.
- [4] D.Zhou, t.H. Lai, "Analysis and Implementation of Scalable Clock synchronization Protocols in IEEE802.11 AD Hoc Networks," *In Proceeding of MASS 2004*.
- [5] IDC "The expanding digital universe : A forecast of world wide information growth through 2010," *IDC White Paper 2007*.

저자소개



송병구(Byeong-Gu Song)

2008년 부산대학교 컴퓨터 공학과
공학 석사

※관심분야: IEEE 802.11s, 무선 통신 및 이동 통신



김종덕(Jongl-Deok Kim)

1994년 서울대학교 계산통계학과,
전산학 전공
1996년 서울대학교 전산과학과
석사

2003년 서울대학교 컴퓨터 공학과 박사.

2004년 텔코웨어 전략기획팀

현재 부산대학교 컴퓨터 공학과 조교수 재직 중.

※관심분야: 무선 통신, 이동통신망, 인터넷 및 BcN