

IEEE 802.11 Multi-hop Ad Hoc Network에서의 동기식 에너지 절감 프로토콜

김영만⁰, 한왕원
국민대학교 컴퓨터학부
ymkim@kookmin.ac.kr, wvhan@kookmin.ac.kr

Synchronization-based Power-Saving Protocols based on IEEE 802.11 Multi-hop Ad Hoc Network

Young Man Kim⁰, Wang Won Han
Communication Lab, School of Computer Science, Kookmin University

요 약

거의 모든 종류의 이동기기에서 에너지를 절감하는 것은 중요한 연구주제들중의 하나이다. 본 논문에서는 낮은 전원을 소모하는 슬립 모드로의 전환이 가능한 노드들로 구성된 MANET(mobile ad hoc networks)에서 에너지를 절감하는 새로운 프로토콜을 설계한다. 본 논문에서 고려하고 있는 MANET는 예측할 수 없는 호스트의 이동성, 멀티홉에서의 호스트들 간의 통신 그리고 비동기적인 메커니즘을 사용하는 특징을 가지고 있다. 특히 우리는 노드의 동기화가 에너지 절감 프로토콜의 복잡성에 어떤 영향을 미치는지에 대하여 연구한다. 또한 IEEE 802.11기반 multi-hop ad hoc network에 적용할 수 있고 동기적으로 전원을 관리하는 SPFAI(Synchronous PFAI), ESPFAI(Efficient SPFAI), NSPFAI(Non-MTIM SPFAI)의 세가지 에너지 절감 프로토콜을 제안한다.

1. 서 론

최근 무선통신 및 반도체 기술분야의 발전은 유비쿼터스 컴퓨팅을 가능하게 해줌으로서 다양한 형태의 정보가 시공간을 초월하여 실시간으로 사용자에게 제공되도록 해주는 MANET기술이 주목 받고 있다.

MANET는 휴대용 무선통신 노드들의 집합으로 이루어지며 MANET 환경에서는 네트워크를 관리하는 BS(Base Station)의 역할이 축소되고 네트워크 구성원들인 모바일 노드들의 평등한 관계속에서 완전분산형의 애드 혹 멀티홉 라우팅을 통하여 데이터를 전달 받게 된다. 현재 MANET는 전쟁터나 주요 장애 지역, 외부 임시 구조물등 정보를 전달받기 곤란한 지역에 정보를 전달해주는 역할을 담당하고 있다.

한편 배터리 기술은 통신이나 반도체기술에 비하여 발전속도가 매우 느려서 배터리로 작동되는 모바일 노드들로 구성되는 MANET에 있어 에너지 절약문제는

매우 중요한 문제로 자리매김하고 있으며 배터리내의 에너지는 MANET가 효율적으로 관리해야만 하는 중요한 자원이 된다. 본 논문에서는 배터리의 라이프타임을 늘이기 위한 효율적인 방법으로 SPFAI(Synchronized Periodically-Fully-Awake-Interval), ESPFAI(Efficient SPFAI), NSPFAI(Non-MTIM SPFAI) 프로토콜을 제안한다.

2. 에너지 절감 Protocol 연구동향 및 IEEE 802.11 표준

대표적인 MANET표준인 IEEE 802.11[2], Bluetooth [3], HyperLan[4]에서 에너지 절감 프로토콜을 지원하고 있는데 본 논문에서는 IEEE 802.11 애드 혹 멀티홉 환경을 대상으로 제안하고자 하는 에너지 절감 프로토콜을 설명 한다. 지금까지 MANET상의 에너지 절감문제를 푸는데 있어서 다양한 접근방법이 시도되어 왔다. 예를들면 PAMAS[5]는 패킷교환

여부에 따라 송신전원을 조절함으로써 에너지를 절감 하지만 이는 시그널 채널 분할이 필요하여 구조가 복잡하게 되는 단점이 있으며, [6]에서 제시하는 프로토콜은 배터리 잔량과 QoS에 적합한 몇가지 sleep pattern들을 이용하여 에너지 절감을 시도하지만 이는 RAS(Remote Activated Switch)와 같은 특별한 하드웨어 장치를 필요로 한다. 한편, 현재까지 제시된 대부분의 에너지 절감 프로토콜들은 BS에 의해 중앙제어 되는 동기식 프로토콜인데 전송량이 증가할 때 BS는 패킷 전송보다 페이징에 더 많은 시간을 소비하게 되는 결점을 갖는다. 그 외의 몇몇 휴대용 통신기기의 에너지 조절에 관한 주제들이 [7]에서 다루어지고 있다. 마지막으로 IEEE 802.11 애드 혹 환경에서 사용되는 에너지 절감 프로토콜로서 최근 비동기식 방법[8]이 제안되어 있다.

2-1. IEEE 802.11에서의 에너지 절감 Mode

IEEE 802.11[2]에서는 IN(Infrastructure Network) 환경에 대해 에너지 절감 방법을 제공하나 AM(Ad-hoc Multi-hop)환경에 대해서는 제시된 방법이 없다. IN은 BS와 한 홉 거리에 있는 이웃 노드들로 구성되며, 이웃 노드들은 BS의 비콘 메시지를 통하여 BS시간에 동기화되어 있다. 따라서 IN에서 임의의 두 노드간 데이터 통신은 BS를 경유하여 수신 노드에게 전달된다. 한편 AM환경에서는 임의의 두 노드간 거리는 멀티홉이므로 IN에서와 같이 데이터전송을 관리할 수 있는 노드가 존재할 수 없다. 최근에 Tseng[8]은 AM 환경에서 사용할 수 있는 비동기식 에너지 절감 프로토콜을 제안하고 있는데 다음 절에서 소개한다.

2-2. AM환경에서의 비동기식 에너지 절감 protocol

Tseng[8]이 제안한 PFAI(Periodically-Fully-Awake-Interval)을 이용한 비동기식 에너지 절감 프로토콜은 다음과 같다.

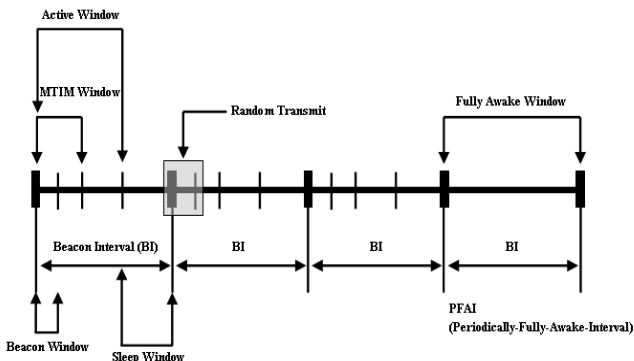


그림.1 Beacon Interval 의 구조

2-2-1. 비동기 PFAI 프로토콜

모든 노드는 고유의 ID번호를 가지고 있으며 일정한 간격의 BI(Beacon Interval)들로 시간을 분할하여 각 BI에 대하여 동일한 작업을 실행한다. BI의 시작점은 모든 노드에 대하여 동일하나 각 노드가 이용하는 클럭은 비동기 상태에 놓여 있으므로 노드간 BI 시작점들은 서로 다르다. [그림 1]과 같이 각 BI의 초반부는 MW(MTIM Window)가 놓여 있고 MW초반부에 BW(Beacon Window)가 정의되어 있다. 모든 노드는 BW기간 중에 비콘 메시지를 1회 송신한다. 이 비콘 메시지에 송신노드의 클럭 정보와 ID가 담겨있어서 다른 노드가 비콘을 수신하게 되면 송신노드의 존재와 시간정보(BI, MW, BW)를 예측할 수 있다. 노드B가 노드A의 비콘을 수신한 후에는 B는 A에게 메시지를 송신할 수 있게 된다. 이때 B는 데이터를 송신하기에 앞서서 A의 MW기간 중에 MTIM 메시지를 보내어 A에게 데이터 전송허가를 요청하며 A는 ACK 메시지를 B로 보내어 요청을 수락한다. B는 ACK 메시지를 받아야만 실제 데이터송신을 실행할 수 있으며 MW기간이 끝나고 다음 BI가 시작하기 전까지의 non-MW기간에 기존 802.11 프로토콜에 따라 데이터송신을 수행한다. A는 MW기간중에 A주변의 노드들로부터 MTIM메시지를 수신하지 못하는 경우에 다음 BI의 시작점까지 슬립 모드로 들어감으로써 에너지를 절감한다. 다시 말해, 모든 노드는 MW기간중에는 액티브 모드에 있어서 메시지 수신 상태에 있어야 하며 나머지 기간 중에는 데이터 송신이 없는 경우에 한하여 슬립 모드로 들어간다. 또한 클럭 비동기상태로 인하여 인접하는 두 노드사이의 MW기간이 겹치지 못하여 비콘 메시지를 수신하지 못하는 경우가 발생하는데 이 문제를 해결하기 위하여 모든 노드는 주기적으로 BI전체 기간동안 MTIM 메시지 수신 여부에 관계없이 액티브 모드를 유지하도록 하는 것이 Tseng의 PFAI프로토콜의 핵심이다. 예를 들어, PFAI=10인 경우, 모든 노드는 10번째 BI마다 액티브 모드에 남아 있어야 한다.

2-2-2. PFAI 프로토콜의 문제점

PFAI 프로토콜은 이웃 노드와의 인식장애를 줄이기 위해 주기적으로 비콘 메시지를 송신하며, 클럭 동기화를 사용하지 않는 문제점을 해결하기 위해 PFAI를 사용하여 멀티미디어 데이터를 연속적으로 보내는 노드사이의 비콘 메시지 송신이 항상 가능하

도록 설계되어 있다. PFAI 프로토콜은 시간동기화를 생각하여 알고리즘의 복잡도를 줄이고 있으나 각 노드의 MW가 동기화되어 있지 못하여 MANET에서 필수적인 메시지 라우팅 테이블구축에 필요한 브로드캐스트 메시지를 point-to-point 전송 방식으로 간접 구현할 수 밖에 없어 이를 관리하기 위한 절차의 추가로 인하여 복잡도가 증가된다. 또한 브로드캐스트 메시지인 라우팅 정보 요구메시지를 이웃하는 모든 노드의 각기 다른 BI에 맞춰 여러번에 보내야 만하기 때문에 이로 인한 성능저하가 일어나게 된다. Tseng의 논문이 가지는 또 하나의 문제점은 성능평가에 있어서 라우팅 메시지를 무시하고 있어서 실제 메시지를 멀티홉으로 전송하는데 있어서 발생하는 브로드캐스팅 라우팅 메시지가 전체 성능에 미치는 영향을 간과하고 있는 것이다. 따라서 본 논문에서는 Tseng의 PFAI 프로토콜에 클럭 동기화 기능을 추가한 SPFAI(Syn-chronized PFAI), ESPFAI(Efficient SPFAI), NSPFAI (Non-MTIM SPFAI) 에너지 절감 프로토콜들을 제안한다.

3. 동기화 에너지 절감 프로토콜

3-1. SPFAI 프로토콜

Host ID	Clock ID	Clock Time	...
---------	----------	------------	-----

그림.2 Beacon Frame의 구조

본 논문에서 제안하는 SPFAI 프로토콜은 기본적으로 PFAI 프로토콜과 동일하되 PFAI 프로토콜이 갖지 못하는 클럭 동기화 기능을 다음과 같이 추가하여 브로드캐스트 전송시 한번만 전송함으로써 전체 성능을 개선 한다.

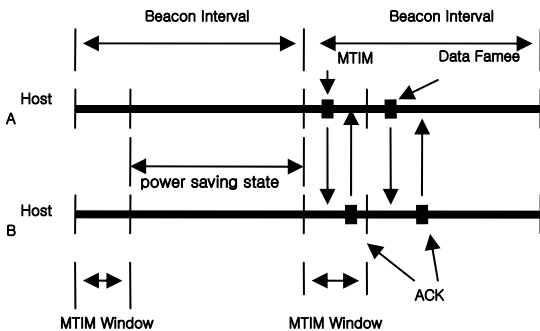


그림.3 동기화된 에너지 절감 노드간 패킷 전송 예

1> 비콘 메시지는 [그림2]와 같이 자신의 ID(node

ID)외에 클럭ID와 송신측 클럭 타임을 뜻하는 항목을 갖는다. 클럭ID와 타임은 각각 노드ID와 임의의 값으로 초기화된다.

2> 노드A가 노드B로부터 비콘 메시지를 수신할 때 자신과 메시지내의 클럭ID값을 비교하여 메시지의 값이 더 큰 경우, 혹은 두개의 값이 같은 경우에는 메시지내의 호스트ID가 자신의 노드ID보다 큰 경우에 자신의 클럭ID, 클럭 타임을 메시지 값으로 대체하고 BI의 시작점을 정정한다. 이때 노드A는 수정된 BI 시작점에 의하여 다음 비콘 메시지를 송신한다.

3-2. ESPFAI(Efficient SPFAI) 프로토콜

PFAI와 SPFAI 두 프로토콜은 각 노드가 실제 데이터 프레임 전송을 위한 예약상태를 만들기 위해서 MTIM 과 ACK 프레임을 사용한다. 이번 절에서는 이러한 전송 오버헤드를 감소시키기는 더 나은 방법을 유도하기 위해서 MTIM 관리 기법을 분석한다.

노드 i와 j가 노드 k에게 데이터를 보내기 원한다고 가정하자. PFAI와 SPFAI에 정의된 규칙대로라면 노드 i와 j는 각각 그들 자신의 독립적인 MTIM 프레임으로 보내야 하며 노드 k는 2개의 ACK 프레임으로 응답해야 한다. 그러므로 MTIM 연산은 4개의 프레임 전송을 수행한다. 일반적으로 예약관련 프레임의 전송 횟수는 전송하려는 노드의 수에 비례하여 증가할 것이다. 위의 예에서 노드 i와 j가 이미 프레임을 교환하였다면, 노드 j또한 노드 k의 이웃이기 때문에 노드 k가 노드 i에게 전송한 ACK를 노드 j도 들을 수 있다. 그러므로 노드 j는 노드 k가 데이터 프레임을 전송받기 위해 현재 BI기간동안 액티브 모드를 유지 한다는 것을 알 수 있다. 노드 j의 데이터 전송이 노드 i 보다 빠르다면, 노드 j는 MTIM-ACK 교환없이 그 자신의 데이터 프레임을 보내는 것에 성공할 수 있다. 그렇지 않으면 노드 k는 노드 i로부터 데이터 프레임을 받은 후에 슬립 모드로 즉시 들어 갈 것이다. 그러나 이러한 바람직하지 못한 행동은 다음과 같이 MTIM 관리를 조금만 수정하면 제거되어 질 수 있다. 전송받고 있는 노드가 예약된 노드로부터 데이터 프레임을 모두 전송 받을지라도, 전자는 예약되지 않는 노드가 전송할 수 있는 기회를 부여하여 최대 백오프 딜레이 시간까지 기다린다. 위의 예에서 노드 k가 이미 노드 i로부터 모든 데이터를 받았을지라도 노드 j는 여전히 노드 k로 데이터 프레임을 전송할 기회를 가지고 있다. 그래서 최대 백오프 딜레이 시간동안 액티브 모드를

유지함으로 인해 손실된 에너지는 반대급부로 좀더 많은 메시지 교환을 할 수 있도록 해준다. 따라서 새로운 MTIM 관리 구조를 추가 한SPFAI 프로토콜을 Efficint SPFAI(ESPFAI) 라고 한다.

3-3. NSPFAI(Non-MTIM SPFAI) 프로토콜

이번 절에서는 PS 프로토콜들의 성능을 평가하기에 앞서 Non-MTIM SPFAI(NSPFAI)라고 불리는 프로토콜을 다룬다. NSPFAI 프로토콜은 ESPFAI 프로토콜을 더욱 발전시킨 버전이다. ESPFAI 프로토콜에서 이웃 노드들 끼리 MTIM-ACK 교환을 공유함으로써 ESPFAI 프로토콜에서의 데이터 전송은 SPFAI 프로토콜 보다 효과적이다. 이 아이디어를 최대로 확대 적용하도록 ESPFAI를 추가적으로 수정함으로써 MTIM 윈도우가 에너지 절감 프로토콜에서 사라지도록 한다. 데이터 전송을 위한 예약은 MTIM-ACK 교환없이 허용되지 않기 때문에 각 노드들은 현재 BI에서 데이터를 전송하려는 몇 개의 노드들이 있다고 낙관적으로 가정한다. 비콘 프레임을 전송한 이후에 노드는 액티브 모드를 유지한다. 최대 백오프 딜레이 시간동안 어떤 프레임의 전송도 발생하지 않는다면, 다른 노드들이 전송하려는 데이터를 가지고 있지 않다는 것이 명백하다. 그러므로 노드 k는 안전하게 다음 BI까지 슬립 모드로 들어갈 수 있다. 그렇지 않고 프레임의 전송이 발생한다면 현재 프레임 전송이 끝날 때까지 기다리고, 새로운 프레임 전송을 기다리는 동작이 반복된다.

NSPFAI에서 노드 k는 데이터를 전송하려는 노드가 없더라도 최대 백오프 딜레이 시간동안 기다려야 한다. 그 결과 에너지의 소비는 SPFAI에서보다 좀더 증가되지만 알고리즘의 복잡성은 감소된다.

4. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 주요 이슈로802.11 에너지 절감 프로토콜에서의 노드간 동기화가 실행성능의 향상과 프로토콜의 복잡성 감소에 유용하다는 주제에 대해 논의했다. 무엇보다 먼저 SPFAI 프로토콜에서 설명된 것처럼 브로드캐스트 전송은 동기화된 에너지 절감 프로토콜에서 쉽게 구현될 수 있다. 반면에 PFIA와 같은 비동기화된 프로토콜은 브로드캐스트 전송에 앞서 여러 개의 MTIM-ACK 교환을 사용함으로써 모든 노드들이 일시적으로 가상의 동기화된 상태가 되도록 해야한다. 거의 모든 라우팅 방법이 이웃 노드를

발견하기 위해서 브로드캐스트 기능을 사용하기 때문에 브로드캐스트 기능은 네트워크의 성능에 상당한 영향을 미친다. 예를 들면, SPFAI 프로토콜의 성능은 PFIA 프로토콜보다 뛰어나다. 왜냐하면 전자는 후자의 브로드캐스트 처리절차를 좀더 간단화 해서 처리하기 때문이다. 더욱이 최적화된 MTIM 관리 기법을 SPFAI에 적용함으로써 ESPFAI 프로토콜은 SPFAI 프로토콜 보다 성능을 더욱 향상시켰다. 또한 노드의 동기화는 프로토콜의 복잡성을 감소시킨다.

향후과제로서 본 논문에서 제안하고 설계한 동기화 PS 프로토콜들과 기존의 에너지 절감 프로토콜들을 비교평가 할 예정이다. 앞으로 에너지 절감 프로토콜들을 비교평가하기 위해서 네트워크 시뮬레이션 툴인 NS-2에서 사용할 에너지 절감 기능을 추가한 새로운 MAC 프로토콜 모듈을 구현하고 시뮬레이션 할 것이다.

참고문헌

- [1] Ns-2 Document, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [2] LAN MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, "IEEE Std 802.11-1999, Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specification", IEEE, 1999.
- [3] J.C.Haartsen, "The Bluetooth Radio System", *IEEE Persinal Communications*, pp.28-36, Feb. 2000.
- [4] H.Woesner, J.P.Ebert, M.Schlager and A.Wolisz, "Power-Saving Mechanisms in Emerging Standards for Wireless LANs: The MAC Level Perspective", *IEEE Persinal Communications*, pp.40-48, Jun 1998.
- [5] S.Singh and C.S.Raghavendra, "Power Efficient MAC Protocol for Multihoip Radio Networks," *Proc.of IEEE International Personal, Indoor and Moblie Radio Communication Conference*, pp. 153-157, 1998
- [6] C.F.Cghiasserini and R.R.Rao, "A Distributed Power Management Policy for Wireless Ad Hoc Networks," *IEEE Wireless Communication and Networking Conference*, pp. 1209-1213, 2000.
- [7] J.R.Lorch and A.J.Smith, "Software Strategies for Portable Computer Energy Management," *IEEE Personal Communications*, pp. 60-73, Jun. 1998.
- [8] Y.C.Tseng, C.S.Hsu and T.Y.Hsieh, "Power-Saving Protocols for IEEE 802.11-Based Multi-Hop Ad Hoc Networks", *IEEE INFOCOM*, 2002.