

IEEE 802.11 Ad Hoc Network 에서 효율적인 에너지 절감을 위한 Advanced SPFAI Protocol

김영만⁰, 박상준

국민대학교 통신실험실

ymkim@ccclab.kookmin.ac.kr; riot-cross@hanamail.net

Advanced SPFAI Protocol for IEEE 802.11-Based
Multihop Ad-Hoc Networks

Young Man Kim, Sang Jun Park

Communication Lab, School of Computer Science, Kookmin Univ.

요 약

Power Saving는 Portable 무선 기기 전반에 걸쳐 중요한 연구 과제로서, 에너지 절감을 위해 많은 protocol들이 제안되고 있다. 한편 에너지의 절감은 송수신 성능의 감소라는 문제점을 갖기 때문에 PS(Power Saving) protocol 설계상의 주요 과제는 이 trade-off에 대하여 송수신 성능의 희생을 최소화 하면서 에너지 절감율을 대폭 향상 시키는 데에 있다. 본 논문에서는 저자들이 [1]에서 이미 제안한 바 있는 SPFAI(Synchronized Periodically-Fully-Awake-Interval) Protocol을 개선하여 한층 더 효율적인 PS protocol을 제시하고 기존 SPFAI과의 성능비교를 위하여 대표적인 공개 network simulator인 NS2[2]를 이용하여 제안된 protocol의 성능을 검증한다.

1. 서 론

점차 발전하는 유비쿼터스 컴퓨팅 환경과 mobile 무선 통신의 필요성이 증대됨에 따라 다양한 형태의 정보가 시공간을 초월하여 실시간으로 사용자에게 제공 되도록 해주는 MANET기술이 주목 받고 있다. MANET은 휴대용 무선통신노드들의 집합으로 이루어지며 MANET 환경에서는 네트워크를 관리하는 BS(Base Station)의 역할이 축소되며 네트워크의 구성원들인 mobile node 들은 평등한 관계속에서 완전분산형의 ad-hoc multi-hop routing protocol을 통하여 데이터를 전달받게 된다. 현재 MANET는 배틀필드나 주요 장애 지역, outdoor assembly등 정보를 전달받기 곤란한 지역들에 정보를 전달해주는 역할을 담당하고 있다.

한편 mobile 기기들은 유선을 통하여 전원을 공급받을 수 없기 때문에 배터리 의존도가 높다. 때문에 mobile node들로 구성되는 MANET에 있어 한정된 자원인 에너지 관리는 중요한 문제로 자리매김하고 있으며 이를 위해 본 논문의 저자들은 [1]에서 SPFAI(Synchronized Periodically-Fully-Awake-Interval)Protocol을 제안한 바 있다. 에너지 관리에 있어서 가장 중요한 문제점 중 하나는 에너지 절감에 따른 송수신 성능의 저하이다. 본 논문에서는 SPFAI Protocol을 개선하여 좀 더 효율적인 PS Protocol을 제시한다.

2.PS Protocol 연구동향 및 SPFAI Protocol

대표적인 MANET표준인 IEEE 802.11[3], Bluetooth[4], HyperLan[5]에서 PS 프로토콜을 지원하고 있는데 본 논문에서는 IEEE 802.11 AM(Ad-hoc Multihop)환경을 대상으로 제안하고자 하는 PS프로토콜을 설명한다. IEEE 802.11에서는 IN(Infrastructure Network)환경에 대해 Power-Saving방법을 제공하나 AM환경에 대해서는

제시된 방법이 없다. IN은 AP(Access Point)또는 BS로 불리는 중앙 노드와 BS와 one-hop 거리의 주변 노드들로 구성된다. IN의 모든 노드는 BS의 beacon 메시지를 통하여 동기화되고 모든 데이터 통신은 BS를 경유하여 수행된다. 한편 AM환경에서는 임의의 두 노드간 거리는 multi-hop이므로 IN에서와 같이 데이터 전송을 관리 할 수 있는 노드가 존재 할 수 없다.

Tseng[6]이 제안한 Periodically-Fully-Awake-Interval(PFAI)을 이용한 비동기식 Protocol은 AM환경에 적용 가능하지만 알고리즘의 복잡도를 줄이고자 시간동기화를 생략하였기 때문에 MANET에서 필수적인 메시지 라우팅 테이블 구축에 필요한 multicast메시지를 point-to-point전송방식으로 구현할 수 밖에 없어 이를 관리하기 위한절차가 추가된다. 또한 1개의 multicast메시지를 보내기 위해 이웃하는 모든 노드에게 1번씩 해당 노드가 sleep하지 않는 기간에 맞춰 보내야 함으로 성능 저하가 일어난다. 최근 본 논문의 저자들이 [1]에서 multicast과 라우팅 메시지 송신을 고려하여 PFAI Protocol을 개선한 SPFAI Protocol을 제안하였다. 이를 다음절에서 소개한다.

한편, 현재까지 제시된 대부분의 PS 프로토콜들은 IEEE 802.11 IN의 예처럼 BS에 의해 중앙 제어되는 동기식 프로토콜인데 전송량이 증가할 때 BS는 패킷 전송보다 페이징에 더 많은 시간을 소비하게 되는 결점을 갖는다. 그 외의 몇몇 휴대용 통신 기기의 에너지 조절에 관한 주제들이 [7]에서 다루어지고 있다.

2-1. AM환경에서의 동기식 PS Protocol

2-1-1. SPFAI Protocol

SPFAI Protocol에서 모든 노드는 고유의 ID번호를 가지고 있으며 일정한 간격의 BI(beacon interval)들로 시간을 분할하여 각 BI에 대하여 동일한 작업을 실행한

다. BI의 시작점은 모든 노드에 대하여 동일하나 각 노드가 이용하는 local clock은 비동기 상태에 놓여 있으므로 노드간 BI시작점들은 서로 다르다. [그림1]과 같이 각 BI의 초반부에는 MW(MTIM window)가 놓여 있고 MW초반부에 BW(beacon window)가 정의되어 있다. 모든 노드는 BW기간 중에 beacon message를 1회 송신한다. 이 beacon내에 송신노드의 clock정보와 ID가 담겨있어서 다른 노드가 beacon을 수신하게 되면 송신노드의 존재와 시간정보(BI, MW, BW)를 예측할 수 있다. 노드B가 노드A의 beacon을 수신한 후에는 B는 A에게 메시지를 송신할 수 있게 된다. 이때 B는 데이터를 송신하기에 앞서서 A의 MW기간중에 MTIM메시지를 보내어 A에게 데이터 전송하기를 요청하며 A는 ACK메시지를 B로 보내어 요청을 수락한다. B는 ACK메시지를 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 sleep모드로 들어감으로서 에너지를 절감한다. 다시 말해, 모든 노드는 MW기간중에는 active모드에 있어서 메시지 수신상태에 있어야 하며 나머지 기간 중에는 데이터 송수신이 없는 경우에 한하여 sleep모드에 들어간다.

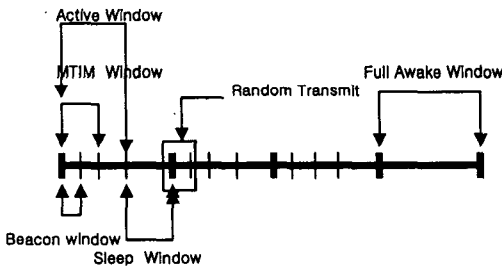


그림.1 Beacon Interval의 구조

한편 clock 비동기상태로 인하여 인접하는 두 노드사이의 MW기간이 겹치지 못하여 beacon을 수신하지 못하는 경우가 발생하는데 이 문제를 해결하기 위하여 모든 노드는 주기적으로 BI전체기간동안 MTIM메시지 수신 여부에 관계없이 active모드를 유지하도록 한다. 예를 들어, 주기가 10이라면 10번째 BI마다 BI 전체기간동안 active모드에 남아 있어야 한다.

SPFAI Protocol은 위와 같은 PFAI구조 위에 clock동기화를 위해 다음과 같은 과정을 추가하여 multicast 전송시 한번만 전송함으로써 전체성능을 개선한다.

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

그림.2 Beacon Frame의 구조

1> Beacon 메시지는 [그림2]와 같이 자신의 ID(node ID)외에 clock ID와 송신측 local time을 뜻하는 항목을 갖는다. Clock ID와 time은 각각 node ID와 임의의 값으로 초기화된다.

2> 노드A가 노드B로부터 beacon을 수신할 때 자신과 메시지

내의 clock ID값을 비교하여 메시지의 값이 더 큰 경우 및 두개의 값이 같은 경우에는 메시지내의 host ID가 자신의 node ID보다 큰 경우 자신의 (clock ID, clock time)을 메시지 값으로 대체하고 BI의 시작점을 결정한다. 이때 노드A는 수정된 BI시작점에 의하여 다음 beacon을 송신한다.

2-1-2. SPFAI Protocol 개선점

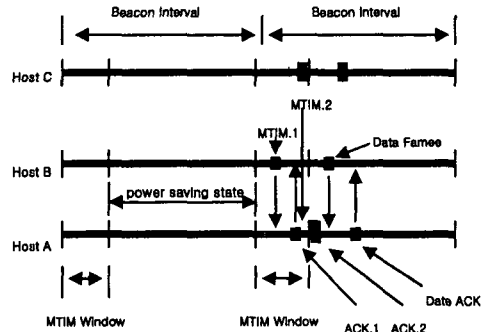


그림.3 동기화된 PS host간의 패킷 전송 예

SPFAI Protocol에서 노드들은 동기화 되어져 있고 MTIM과 ACK메시지는 broadcast로 송신된다. 따라서 데이터 통신중인 두 노드에 인접한 이웃 노드들은 송신중인 두 노드가 이번 BI주기에 active mode로 남아 있게 되는 것을 알 수 있다. 예를 들어 [그림.3]과 같이 노드B와 노드C가 동시에 A에게 데이터를 전송하고자 한다고 가정할 때, 노드B의 MTIM메시지가 먼저 송수신되면, 노드C는 노드B의 MTIM메시지에 대해 응답된 A의 ACK메시지를 통하여 A가 non-MW기간중에 awake mode임을 알게 된다. 그러나 SPFAI에서는 반드시 MAT(MTIM-ACK Transfer)과정을 거쳐야만 실질적 데이터 전송이 가능하므로 노드C는 이미 노드A가 active mode임을 알고 있음에도 불구하고 A에 대한 MAT과정을 수행해야만 한다. 또한 많은 노드들이 MTIM 메시지를 특정 노드에 송신할 경우 임의의 노드의 MTIM 메시지가 수신되지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 노드들은 다음 BI때에 다시 MTIM을 송신해야만 한다. 이로 인한 성능 저하를 방지하기 위해 본 논문에서는 비효율적인 MAT과정을 최소화하여 기존의 SPFAI에 동등한 에너지 절감 효과를 가지면서 패킷 송수신 성능을 향상시킬 수 있는 Advanced SPFAI protocol을 다음절에서 제안한다.

3. Advanced SPFAI Protocol

Advanced SPFAI Protocol은 MAT과정의 최적화를 통해 불필요한 지연시간을 줄일 수 있다. 이를 위해 아래와 같은 두가지 MAT관리 방법을 제시한다.

3-1. 최적화된 MTIM메시지 관리

각 노드는 MW기간중에 인접노드에서 송신된 ACK메시지를 수신할 때 마다 해당 인접노드가 이번 non-MW기간중에 awake mode에 남아서 데이터 수신 상태에 들어갈 것을 예측할 수 있다. 따라서 해당 인접노드에 송신할 데이터가 존재하여도 MAT과정을 생략하고 non-MTIM기간중에 데이터 전송을 실행한다. 또한 해당 인접노드는 non-MW기간중에 이웃 노드들로부터 더 이상 메시지 전송이 없다고 확실할 때까지(다음절의 maximum waiting.

time 참조) active mode에 남아 있어야 한다

3-2. MTIM Window생략 방법(non-MTIM Method)

SPFIA Protocol의 모든 노드는 동기화 되어 있으므로 같은 주기를 갖는다. 각 노드는 기본적으로 인접 노드들이 자신과 같은 시간에 깨어 있음을 알고 있다. 때문에 MAT과정을 생략하고 non-BW기간에 데이터를 전송한다. 또한 maximum waiting time을 최대 back-off period를 고려하여 전송 데이터가 존재하는 한 이 기간 내에 데이터 통신이 감지되는 것을 발생되도록 설정하고 이 기간내에 아무것도 감지 하지 못하면 송신 데이터가 존재하지 않는 것을 의미하므로 sleep모드로 안전하게 들어 갈수 있도록 한다.

4. 성능 평가

본 논문에서 제시된 Advanced SPFIA Protocol의 유효성을 검증하기 위해 NS-2 simulator를 이용하여 IEEE 802.11 AM환경에서 범위 670*670m내에 50개의 노드를 랜덤하게 배치하고 50개의 노드가 서로 다른 노드에게 멀티미디어 데이터를 연속적으로 보내는 worst case를 상정하고 PFAI는 10으로 고정하였다. 시뮬레이션에서 사용하는 라우팅 프로토콜은 적은 양의 multicast메시지가 낮은 주기로 발생하는 DSDV를 사용하여 두 PS 프로토콜 사이의 객관적인 성능비교를 할 수 있게 하였다. 즉, 성능평가의 참조 프로토콜로서 에너지 절감기능이 없는 IEEE 802.11프로토콜과 SPFIA Protocol 그리고 본 논문에서 제안된 두가지 Advanced SPFIA Protocol에 대하여 성능비교를 수행하였다.

4-1. 에너지 절감율

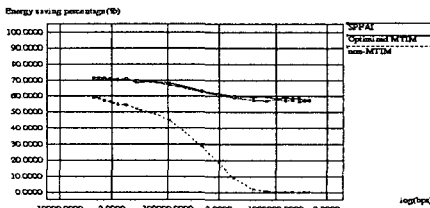


그림 4. 에너지 절감율

[그림4]은 다양한 패킷송신량에 대한 에너지 절감율을 보여준다. 에너지 절감 기능이 없는 802.11 Protocol은 그림에서는 생략되었다. SPFIA와 optimized MTIM방식은 60% 이상의 동등한 에너지 절감율을 보이고 있다. Non-MTIM방식은 전송량이 많을 때 에너지 절감율이 손상됨을 알 수 있다.

4-2. 데이터 수신율

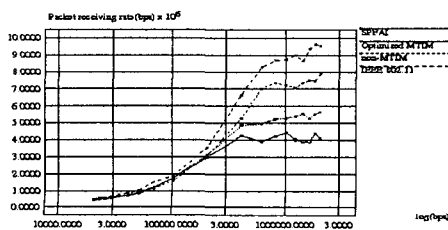


그림 5. 패킷 수신율

[그림5]는 다양한 패킷송신량에 대한 패킷수신량을 보여준다. 제시된 두가지 Advanced SPFIA Protocol 모두 기존 SPFIA Protocol에 비해 높은 수신량을 보임을 알 수 있다. 그중 높은 전송량 구간에서 non-MTIM방식이 optimized MTIM방식보다 더 높은 수신율을 가짐을 알 수 있다.

4-3. 패킷 지연시간

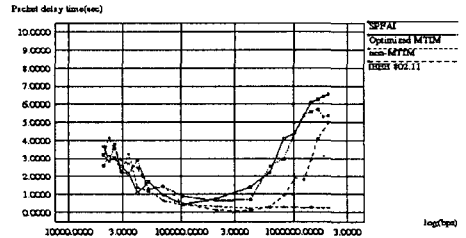


그림 6. 패킷 지연시간

[그림6]는 다양한 패킷송신율에 대한 패킷지연시간을 보여준다. 적은 전송로드에서 세 Protocol 모두 802.11 프로토콜과 비슷한 성능을 나타내나 전송로드가 커질수록 그 차이가 벌어진다. 그러나 전구간에 걸쳐서 전송로드가 1.6Mbps이상 될 때 다시 802.11프로토콜과의 차이가 줄어드는 것을 알 수 있다. 또한 기존 SPFIA Protocol에 비해서 본 논문이 제시하는 두 Protocol 모두 패킷 지연시간이 빠른 것으로 나타났다.

4-4. 결론 및 향후 과제

본 논문에서 제안한 동기식 프로토콜이 IEEE 802.11 AM환경에서 기존 SPFIA Protocol에 비해 더 나은 성능을 보임으로써 Advanced SPFIA Protocol의 유효성을 입증하였다. 그러나 높은 패킷 수신량과 지연 시간에서 높은 성능을 보인 Non-MTIM Protocol의 경우 에너지 절감율이 미미하여 PS Protocol로서 적합하다고 할 수 없다. 따라서 optimized MTIM 방식이 SPFIA를 개선한 PS protocol로서 적합하다고 생각된다. 에너지 절감에 따른 송수신 성능 감소를 최소화 하기 위한 노력이 더 필요하다.

5. 참고 문헌

- [1] Y.M.KIM, "Synchronized Power Saving Protocol for IEEE 802.11-Based Multihop Ad-Hoc Networks", submitted for publication.
- [2]Ns-2 Document, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [3]LAN MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, "IEEE Std 802.11-1999, Wireless LAN Medium Access Control(MAC) & Physical Layer(PHY) specification, IEEE, 1999.
- [4]J.C.Haartsen, "The Bluetooth Radio System", IEEE Personal Communications, pp.28-36, Feb 2000.
- [5]H.Woesner, J.P.Ebert, M.Schlager, A.Wolisz, "Power-Saving Mechanisms in Emerging Standards for Wireless LANs: The MAC Level Perspective", IEEE Personal Communications, pp.40-48, Jun 1998
- [6]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.
- [7]J.R.Lorch and A.J.Smith, "Software Strategies for Portable Computer Energy Management," IEEE Personal Communications, pp. 60-73, Jun 1998.