무선 센서 네트워크에서 공평성을 고려한 T-MAC 프로토콜

남재현*

A Fairness Based T-MAC Protocol in Wireless Sensor Network

Jaehyun Nam*

요 약

IEEE 802.11은 무선 네트워크에서 주된 기술로 자리를 잡고있다. 하지만 공평성 문제가 에드 혹 네트워크 상에서 발생한다. 두 개의 독립적인 송신 노드들이 매체를 독점하여 사용함으로써 중간의 다른 노드가 패킷을 전송하는 것을 막는 현상까지 발생한다. 본 논문에서는 (m,k) -firm 기법을 사용하여 T-MAC에서 발생할 수 있는 불공정 대역폭 분배 문제를 해결하였다. 즉, k 번 시도 중에 연속적으로 m 번의 매체 접근 기회를 가지지 못한 노드에게 제일 높은 우선순위를 제공하여 주위의 다른 노드들 간의 전송 때문에 자신이 전송하지 못하는 경우를 줄였다. 시뮬레이션 결과 제안된 스케줄링 기법이 기존 기법보다 트래픽을 전송할 기회를 가질 확률이 증가되는 것을 볼 수 있다.

ABSTRACT

IEEE 802.11 has become the main technology in wireless network. However, performance anomalies, especially in terms of fairness, arise in its use in ad hoc networks. Two independent emitters nodes can easily monopolize the medium, preventing other nodes to send packets. This paper proposes the modified (m,k) -firm scheme which is based on T-MAC to improve fairness. The basic idea is to assign higher priorities to nodes that are closer to a dynamic failure so as to improve their chances of meeting their deadlines. The simulation result shows that the proposed scheduling scheme helps improve the fairness of the DCF.

키워드

T-MAC, (m,k) -firm, 공평성, 무선센서네트워크

Key word

T-MAC, (m,k) -firm, fairness, WSN(Wireless Sensor networks)

* 정회원 : 신라대학교 IT학과(jhnam@silla.ac.kr)

접수일자 : 2013. 05. 01

심사완료일자 : 2013. 05. 24

I. 서 론

과거 수십 년 동안 무선 통신 분야는 많은 성장을 하였다. 이러한 무선 통신은 이동가능한 장치를 이용하여 언제 어디서나 최소의 비용으로 통신 서비스를 제공하는 것이 최종 목표이다.

또한 센서 네트워크에서 노드들의 에너지 소모를 줄여 센서 네트워크의 수명을 늘리는 것이 가장 큰 이슈가 되고 있다. 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network: WSN)는 다수의 센서들로 구성되어 있는데, 센서 노드들은 충돌, 유힬 감지(idle listening), 다른 노드로 전송되는 패킷 엿듣기(packet overhearing) 들로 인해 에너지를 낭비한다. 에너지 낭비를 줄이기 위해 비활동 기간 동안은 라디오를 끄도록 한다. 특히 충돌의 경우 데이터를 재전송해야 하기 때문에 에너지 소모가 크다.

무선 센서 네트워크에서 송신측 노드가 수신측으로 데이터를 충돌 없이 전송하기 위해 MAC 프로토콜을 사용한다. 이러한 MAC 프로토콜에는 크게 CSMA/CA (Carrier Sensing Multiple Access/Collision Avoidance) 방식, TDMA(Time Division Multiple Access) 방식, 그리고 이 두 방식을 함께 사용하는 하이브리드 방식 등이 있다. CSMA/CA 방식은 경쟁 기반의 MAC 프로토콜로서, 각 노드들이 매체의 충돌을 감지해야 하는 문제가 있으나 구현하기가 쉽다. TDMA 방식은 비경쟁방식으로 각 센서노드마다 시간을 나눠주어서 충돌 발생을 방지하는 방식으로, 충돌이 발생하지 않는다는 이점이 있으나 할당된 데이터 양이 일정하지 않을 경우 대역폭 낭비가 발생한다. 하이브리드 방식은 경쟁방식과 비경쟁방식을 합성한 방식으로 필요에 따라 CSMA와 TDMA 방식을 사용하여 전송하도록 하는 방식이다 [1].

CSMA/CA 방식 중의 하나인 S-MAC과 T-MAC에서도 효율적인 에너지 관리를 위해 모든 노드들은 이웃 노드들과 통신하기 위해 주기적으로 깨어나고(wakeup), 다음 프레임 때까지 수면(sleep) 상태로 진입한다. 하나의 노드는 액티브 기간(active period)에 있는 동안 대기상태와 전송상태를 유지한다.

또한 센서 네트워크에서 공평성(fairness) 문제는 센서 노드들 사이에서 동유된 무선 채널을 접근 할 때 매우 중요하다. 즉, 인접한 노드 쌍(node pair)들 간의 통신으로 인해 자신이 트래픽을 전송할 기회를 잃는 경우가 발

생한다. 공평한 스케줄링을 사용하여 모든 노드들이 적절한 흐름을 가질 수 있도록 해야 한다.

본 논문에서는 (m,k) -firm 기법을 사용하여 T-MAC에서 발생할 수 있는 불공정 대역폭 분배 문제를 해결하였다. 즉, k 번 시도 중에 연속적으로 m 번의 매체 접근 기회를 가지지 못한 노드에게 제일 높은 우선순위를 제공하여 주위의 다른 노드들 간의 전송 때문에 자신이 전송하지 못하는 경우를 줄였다. 시뮬레이션 결과 본 논문에서 제시한 스케줄링 알고리즘을 사용한 경우가 기존 기법보다 트래픽을 전송할 기회를 가질 확률이 증가되는 것을 볼 수 있다.

II. 관련연구

DCF(Distributed Coordination Function)은 IEEE 802.11 표준에서 주 접근 도구로 CSMA/CA 메커니즘을 사용한다[2]. MAC 레벨에서의 캐리어 감지는 프레임 헤더에 있는 현재 전송 기간 정보를 이용하는데, 각 노드들이 이러한 정보를 수신하면 그림 1과 같이 자신들의 NAV(Network Allocation Vector) 값을 수정한다.

그림 1. RTS-CTS 메커니즘
Fig. 1 RTS-CTS Mechanism

먼저 통신을 시작하고자 하는 노드는 RTS (Request-to-Send) 프레임을 전송하면 주위에 다른 통신이 없을 경우 수신측은 CTS(Clear-to-Send)로 응답한다. 송신측에 CTS 프레임을 수신하면 자신의 데이터 프레임을 전송할 수 있다. RTS와 CTS 제어 프레임들은 다음의 데이터 교환 기간에 대한 정보를 지니고 있다. 이러한 정보

는 다른 노드들에게 이미 매체가 사용 중에 있음을 인지 시키는 중요한 정보가 된다. 즉, RTS와 CTS 프레임을 수신한 노드들은 NAV 값을 데이터 교환 기간으로 설정하고, 이 기간 동안 다른 노드들이 전송을 하지 못하도록 저지한다.

유휴 감지 상태에서 에너지 소비를 줄이기 위해 액티브 기간(active time)과 휴식 기간(idle time)을 사용하여 주기적으로 제어하는 방법이 제시되었다. 이러한 기법들 중에 대표적인 방법이 S-MAC과 T-MAC이다 [3][4]. S-MAC은 그림 2와 같이 에너지 효율성을 극대화하기 위해 노드들의 액티브/휴식 상태를 일정한 주기로 반복하는 CSMA/CA 기반의 MAC 프로토콜이다. 각각의 센서 노드는 액티브 상태에서 송수신 데이터의 존재 유무를 확인하게 되는 반면 휴식 상태에서는 송수신 데이터 존재 유무에 따라 노드의 On/Off를 결정한다.

그림 2. S-MAC과 T-MAC의 duty cycle
Fig. 2 The S-MAC and T-MAC duty cycle

S-MAC에서는 액티브 기간은 고정적이지만 T-MAC에서는 가변길이의 액티브 기간을 지닌다. 즉, T-MAC에서는 모든 메시지들을 가변길이의 버스트(burst) 형태로 전송하고 버스트간 사이에서 휴식기간을 지닌다. 이러한 기법은 S-MAC의 유휴시간에서 발생할 수 있는 에너지 소모를 줄일 수 있다. T-MAC에서는 TA시간이라는 것을 두어, TA시간 동안 데이터의 전송이 없을 경우 바로 유휴시간으로 들어감으로써 불필요한 에너지 소모를 줄였다. 그림 2는 S-MAC과 T-MAC의 duty 사이클을 나타내었다.

TA시간은 [4]에서 다음과 같이 결정하였다.

$$TA = 1.5 \times (C + R + T)$$

여기서 C 는 경쟁 기간의 길이이고, R 은 RTS 패킷의 길이, T 는 RTS 패킷의 끝과 CTS 패킷의 시작 사이의 아주 짧은 시간이다. TA 시간이 클수록 사용되는 에너지는 증가된다.

T-MAC과 S-MAC에서는 프레임의 시작점에서 버스트한 형태로 자신의 메시지를 전송한다. 이러한 전송은 작은 패킷들로 단편화시켜서 전송할 경우 발생하는 오버헤드와 지연시간을 줄일 수 있다. 하지만 이러한 기법은 노드들 간의 프레임 전송에 공정성(fairness) 위배가 발생한다. 즉, 인접한 노드 쌍(node pair)들 간의 통신으로 인해 자신이 트래픽을 전송할 기회를 잃는 경우가 많이 발생한다. 또한 TA 시간이 고정이기 때문에 전송하는 프레임의 단편들이 많을 경우 고정 TA 시간의 사용은 효율적이지만 인접한 다른 노드의 경우 트래픽을 전송하지 못하는 경우가 발생한다.

III. T-MAC에서 불공정문제 해결 알고리즘

어떤 환경에서는 IEEE 802.11 DCF 기능은 서로 다른 라디오 링크 사이의 대역폭 분배에 있어 불균형을 초래할 수 있다. 예를 들면 그림 3은 3개의 플로우(flow)에 대한 불균형 상황을 나타내고 있다.

그림 3. 불공정 시나리오
Fig. 3 unfairness scenario

그림 3에서 중간에 있는 플로우는 다른 플로우에 비해 보다 많은 충돌을 받게 된다. 즉, 중간에 있는 플로우에서는 노드 A와 E의 전송이 성공적으로 수행하기 위해 자신의 전송을 멈추게 되는 상황이 발생한다. 반면 노드 A와 E는 서로의 존재를 인지하지 못하기 때문에, T-MAC에서 그들은 계속적으로 자신의 트래픽을 전송할 수 있게 되고 결국 노드 C의 고사(starvation)를 이끌게 된다[5].

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 (m,k) -firm 기법을 T-MAC에 적용하여 다른 플로우 때문에 자신의 트래픽을 전송하지 못하는 문제를 보완하였다.

(m,k) -firm 스트림은 k 개의 패킷 중에서 m 개의 패킷이 정해진 데드라인 안에 도착하면 서비스 품질을 만족하는 시스템이다. 스트림은 시스템으로부터 서비스를 완전하게 수행되는 데드라인을 가지고 있다. 각 데이터가 데드라인 이전에 완전하게 처리되어지면 데이터는 자신의 데드라인을 만족했다고 한다. 그렇지 않으면 데드라인을 만족하지 않았다고 한다[6][7].

본 논문에서는 (m,k) -firm 트래픽 특성을 T-MAC에 적용하여 이웃 노드들과 충돌로 인해 자신은 전혀 트래픽 전송을 하지 못하는 경우를 감소시킨다. 그림 4는 T-MAC에서 불공평성 문제를 해결하기 위한 스케줄링 알고리즘이다.

본 논문에서 제시된 스케줄링 기법은 기존의 (m,k) -firm 기법을 수정하였다. 즉, k 번 전송을 시도하여 m 번 전송 실패가 발생할 경우 다음 전송시 다른 인접한 노드들보다 우선해서 트래픽 전송을 해 줄 수 있도록 해당 노드의 우선순위를 높여주는 기법으로 수정하였다.

또한 하나의 노드가 프레임 전송을 성공적으로 수행하면 TA기간을 이전 기간의 절반으로 줄인다. 이는 다른 노드에 대해서도 프레임 전송 기회를 보다 많이 제공하기 위해 경쟁을 시도하는 시간을 줄여주는데 그 목적이 있다. 즉, 하나의 노드가 사용하는 TA 기간이 길면 길수록 해당 노드는 보다 많은 프레임을 전송할 수 있지만 인접한 다른 노드의 경우 트래픽을 전송하지 못하는 경우가 발생하기 때문에 TA 기간을 줄여서 보다 많은 경쟁을 할 수 있도록 한다. 이때 m 번의 경쟁에서 실패한 노드에게 우선순위를 제일 높게 주어 해당 노드가 자신의 프레임을 전송할 수 있도록 한다.

그림 4. 제안된 스케줄링 알고리즘
Fig. 4 The proposed scheduling algorithm

IV. 성능평가

본 논문에서는 멀티 홉 환경에서 성능(throughput)을 측정하여 기존 T-MAC과 비교 어느 정도 성능 향상을 보여줄 수 있는지 ns-2 2.27 환경에서 T-MAC을 수정하여 실험하였다.

6개의 노드들로 그림 3과 같은 환경을 구성하였고, 트래픽을 송신측에서 개개의 수신측으로 생성하여 매체를 포화상태로 만든 후 시뮬레이션 기간 동안 성공적으로 수신한 데이터양을 기록하였다.

각 플로우간의 간격은 150m, 라디오 영역은 160m, 캐리어 센스 영역은 160m로 설정하였다.

그림 5는 기존 DCF에서의 플로우 성능 결과를 보여주고 있다. 그림에서 보면 중간에 있는 노드들 간의 플로우(flow1)의 성능이 다른 플로우에서의 트래픽 전송 때문에 성능이 거의 나오지 못한다.

그림 5. 기존 DCF에서 flow 성능
Fig. 5 Flows throughput with classical DCF

그림 6은 본 논문에서 제안된 스케줄링 기법을 사용한 결과를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 flow1의 성능이 다른 플로우와 비교하여 많이 개선된 것을 보여주고 있다. 이는 중간에 있는 노드 C가 매체 접근을 k 번 시도하여 연속적으로 m 번 실패하게 되면 자동적으로 우선순위를 최우선으로 조정하여 다음 시도 시 우선적으로 매체 접근이 성공할 수 있도록 한 결과이다.

그림 6. 제안된 스케줄링 기법에서의 flow 성능
Fig. 6 Flows throughput with proposed scheduling

V. 결 론

본 논문에서는 T-MAC에서 (m,k) -firm 기법을 적용하여 이웃 노드들과 충돌로 인해 자신은 전혀 트래픽 전송을 하지 못하는 경우를 감소시켰다. 즉, k 번 전송을 시도하여 m 번 전송 실패가 발생할 경우 다음 번 전송 시 다른 인접한 노드들 보다 우선해서 트래픽 전송을 해 줄 수 있도록 해당 노드의 우선순위를 높혀 주었다. ns-2의 시뮬레이션을 통해 제안한 스케줄링 기법의 성능을 기존 T-MAC과 비교하여 증명하였다. 시뮬레이션 결과 다른 노드 쌍 사이에서 패킷을 전송하지 못하고 고사될 환경에 있는 노드의 경우에도 자신의 패킷을 전송할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

향후 다양한 멀티 홉 환경에서 심층적인 성능평가를 통해 공정성 향상을 측정하고 다양한 네트워크 사항에 적합한 m 과 k 값을 구하는 것이 필요하다.

참고문헌

- [1] I.F.Akyildiz, E. A. Cayirci, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, "Survey on sensor networks", IEEE Communications Magazine, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, August 2002
- [2] IEEE Standard 802.11, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications", 1999
- [3] W.Ye, J.Heidemann, and D. Estrin, "An energy efficient MAC protocol for wireless sensor networks," in Proc. IEEE INFOCOM 2002, Vol. 3, pp. 1567-1576, Jun. 2002
- [4] T.van Dam And K. Langendoen, "An adaptive energy efficient MAC protocol for wireless sensor networks," in Proc. ACM Sensys 2003, pp.171-180, Nov. 2003
- [5] C. Chaudet, G. Chelius, H. Meunier, D. Simplot-Ryl, "Adaptive Probabilistic NAV to Increase Fairness in Ad HOC 802.11 MAC Layer", IFIP International Federation for Information Processing, Volume 197, pp 11-20, 2006
- [6] M. Hamdaoui, P. Ramanathan "A Dynamic Priority

Assignment Technique for Streams with (m,k)-Firm Deadlines", IEEE Transactions on Computers, Volume 44 Issue 12, pp. 1443-1451, December 1995

- [7] 남재현, "IEEE 802.11에서 DCF 성능 향상을 위한 백오프 알고리즘", 한국정보통신학회논문지, 제15권 6호, pp. 1386-1390, 2011년 6월

저자소개

남재현(Jaehyun Nam)

1989 부산대 컴퓨터공학과(학사)

1992 부산대 컴퓨터공학과
(공학석사)

2002 부산대 컴퓨터공학과
(공학박사)

1993~2002 동주대학 조교수

2002 ~ 현재 신라대학교 IT학과 부교수

※ 관심분야: 무선센서네트워크, TCP/IP 프로토콜,
자동차네트워크