
무선 센서 네트워크를 위한 적응적 우선순위 채널 접근 스케줄링을 이용한 노드 활성화 프로토콜

남재현
신라대학교

A Node Activation Protocol using Priority-Adaptive Channel Access Scheduling for Wireless Sensor Networks

Jaehyun Nam
Silla University
E-mail : jhnam@silla.ac.kr

요 약

S-MAC은 패킷 교환을 조정하고 idle listening을 줄이기 위해 로컬 sleep-wake 스케줄을 사용하는 CSMA와 TDMA의 하이브리드 방식이다. 이 기법에서는 모든 노드들이 동일한 우선순위를 가지고 있기 때문에 트래픽의 양이 많은 경우 지연시간이 증가된다. 본 논문에서는 실시간 음성 스트리밍과 같은 어플리케이션에 적합한 처리량과 진송지연을 제공할 수 있는 트래픽 적응적 MAC 프로토콜을 제안한다. 제안된 프로토콜에서는 실시간에 적합한 성능을 제공하기 위해 (m,k)-firm 스케줄링 기법을 이용한 우선순위 개념을 사용한다. 성능 평가를 위해 다양한 노드 수에 대해 패킷 전송률과 노드의 평균지연시간을 시뮬레이션을 수행했다.

ABSTRACT

S-MAC is hybrids of CSMA and TDMA approaches that use local sleep-wake schedules to coordinate packet exchanges and reduce idle listening. In this method, all the nodes are considered with equal priority which may lead to increased delay during heavy traffic. The method introduced in this paper provides high throughput and small end-to-end delay suitable for applications such as real-time voice streaming and its functionality is independent of underlying synchronization protocol. The novel idea behind our scheme is that it uses the priority concept with (m,k)-firm scheduling in order to achieve its objectives. The performance of our scheme is obtained through simulations for various packet sizes, traffic loads which show significant improvements in packet delivery ratio, and delay compared to existing protocols.

키워드

TDMA, (m,k)-firm, Medium access control, RTS/CTS, Sensor networks

1. 서 론

무선 센서 네트워크 (Wireless Sensor Network :WSN)내의 노드들은 지극히 제한된 에너지만을 소유하고 있기 때문에 WSN에서의 통신 프로토콜 디자인에서 에너지 효율성 검증은 기본적인

테마가 되었다. WSN에서 가장 많은 에너지를 소모하는 idle listening을 줄이기 위해 duty cycle 기법이 많이 사용된다[1]. duty cycling 기법에서는 센서 노드의 상태가 주기적으로 active와 sleeping 상태로 변한다. active 상태일 경우 노드는 데이터를 송수신할 수 있지만 sleep 상태일 경

우 에너지 절약을 위해 노드는 자체 radio를 꺼버린다. 하나의 노드에서 다른 노드로 패킷을 전송하기 위해서는 양쪽 노드 모두가 active 상태로 존재해야 하기 때문에 동기식 MAC 프로토콜이 필요하다. 하지만 기존의 동기식 MAC 프로토콜들은 에너지 소모는 줄일 수 있지만 패킷 전송시 부가적인 지연을 야기한다. 이는 하나의 노드에서 이웃 노드로 패킷을 전송할 때 이웃 노드가 sleeping 상태로 있을 경우 이웃 노드는 반드시 다음 시간에는 active 상태로 존재해야 하기 때문이다.

S-MAC은 전형적인 동기식 duty-cycling MAC 프로토콜이다[1]. 하지만 통신에 참가하지 않는 노드들은 sleep 상태로 유지되기 때문에 패킷은 사이클마다 하나의 홉(hop)으로만 포워딩된다. S-MAC의 단점을 보완하기 위해 이후 적응적 listening 기능을 지닌 S-MAC을 발표했지만, 이 또한 패킷이 기껏해야 사이클 당 2개의 홉만 포워딩된다. 다중 홉 포워딩 환경에서 이와 같은 전송은 종단간의 긴 전송 지연을 유발하기 때문에 시간이 중요한 응용에서는 부적합하다 따라서 지연시간을 고려해서 어플리케이션들은 노드들에게 파워관리를 하지 말고 항상 wake한 상태로 유지하거나 데이터 전송을 위해 충분히 긴 시간 동안 wake 상태를 유지하도록 요구한다. 하지만 이러한 것은 에너지 효율 문제를 야기한다.

모든 노드들을 항상 wake 상태로 유지하거나 긴 지연시간을 유발하는 것을 방지하기 위해 RMAC과 DW-MAC이 제안되었다[2][3]. 이 기법들은 노드들의 active 기간에 실제 데이터 전송을 수행하는 것 대신에 데이터 전송에 대한 시간을 예약하는 기법이다. 노드들은 자신들이 데이터를 수신하기 위해 스케줄된 시간에 깨어난다. 하지만 이러한 기법들은 채널 활용률이 떨어지고, 스케줄된 시간내에 데이터가 도달한다는 보장이 없다.

본 논문에서는 각 노드에서의 채널 획득 확률을 공평하게 유지하기 위해 획득 실패 확률을 고려한 적응적 우선순위 채널 접근 기법을 이용한 노드 활성화 프로토콜을 제안한다. 제안한 기법은 각 노드가 채널 획득 경쟁을 할 때 (m,k)-firm 기법[4]에 적용하여 이전의 채널 획득 실패 확률을 고려한 우선순위를 계산한다. 각 노드는 계산된 우선순위를 통해 채널 획득을 하여 패킷을 이웃 노드로 전송한다. 성능평가를 위해 각 노드에서 데이터 패킷을 전송하는데 소요된 평균 지연시간과 패킷 전송률을 S-MAC과 적응적 MAC 프로토콜에 대해 시뮬레이션을 수행했다. 시뮬레이션 결과 제안된 기법이 기존 기법보다 성능이 향상되었음을 알 수 있다.

II. 적응적 우선순위 MAC 스케줄링

WSN상의 트래픽은 센싱 어플리케이션에 따라 동적으로 변한다. 즉, 침입자를 감시하는 환경의

경우 평소에는 네트워크 상에 존재하는 트래픽의 양은 거의 없거나 적은 상태이다. 하지만 침입자가 나타날 경우 대상 추적이 시작되고 대상이 움직일 때마다 노드들은 이벤트를 감지하여 데이터를 생성하여 전달하여 버스트한 트래픽을 발생시킨다. 이러한 어플리케이션의 경우 모든 노드들을 항상 awake한 상태로 유지하는 것은 부적절하다. 감시 시스템은 몇 달 동안 지속적으로 유지되어야 하기 때문에 효율적인 에너지 관리 기법이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 각 노드들이 데이터를 송수신할 수 있을 때까지 sleep 상태를 유지함으로써 네트워크의 높은 성능(throughput)과 낮은 데이터 전송 지연을 얻을 수 있는 적응적 매체 접근 제어(adaptive MAC) 기법을 제안한다.

II-1. TDMA Slot 할당

네트워크는 하나의 그래프 $G = (V, E)$ 로 표현된다. 여기서 V 는 노드들의 집합이고, E 는 에지(edge)들의 집합이다. 만약 u 와 v 가 V 내에 있고 u 와 v 는 서로 통신할 수 있는 상태이면 에지 $e = (u, v)$ 가 존재한다. 적응적 MAC에서 시간은 그림 1과 같이 나뉜다. 여기서 각 프레임과 타임 슬롯은 각각 동일한 크기로 서로 겹치지 않게 할당된다.

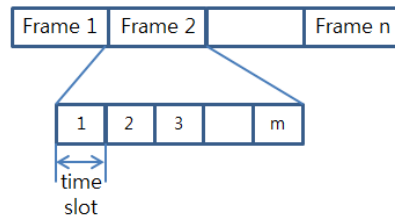


그림 1. Time division in adaptive MAC

u 와 v 로부터의 동시 전송은 라디오 간섭을 유발하기 때문에 이때 두 개의 노드 u 와 v 는 서로 충돌(conflict)이 발생한다고 한다. 그림 2는 충돌이 발생하는 유형을 나타내고 있다.

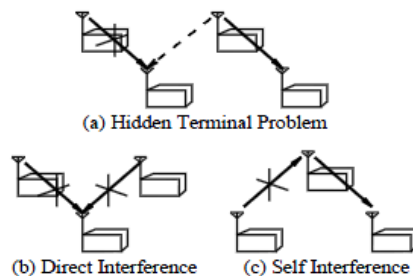


그림 2. 충돌 유형

일반적으로 충돌은 브로드캐스트 경우일 경우 두 개의 홉 거리내의 모든 노드들 간에 발생할 수 있고, 유니캐스트의 경우 하나의 홉 내의 노드

들 간에 발생한다.

II-2. 동작과정

제안된 MAC 은 그림 3과 같이 setup 과정과 데이터 전송과정으로 동작한다. setup 과정에서는 노드와 인접한 이웃을 발견하는 과정(neighbor discovery)과 TDMA slot 할당 과정이 있다. 이웃 발견은 네트워크 상에서 one 또는 two-hop 거리의 이웃을 발견하기 위해 수행된다. TDMA slot 할당은 two-hop 거리 내에서 중복된 time slot이 없도록 할당하는 과정이다.

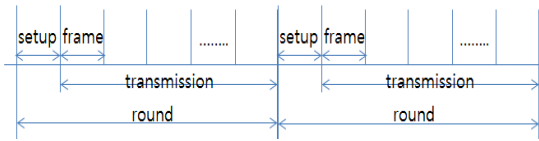


그림 3. 적응적 우선순위 MAC의 cycle 구조

각 노드가 one-hop 거리에 있는 노드들로부터 RTS/CTS 패킷을 수신하면 패킷을 전송한 노드들을 자신의 이웃 리스트(neighbor list)에 추가한다. 생성된 이웃리스트는 HELLO 메시지를 통해 인접한 이웃으로 전송된다.

각 node j 는 자신의 slot을 결정하지 못한 one-hop 또는 two-hop 이웃들과 slot 할당 경쟁이 수행한다. 경쟁하는 노드들끼리 우선순위를 결정하기 위해 (m,k) -firm 스케줄링 기법에서 우선순위를 결정하는 식(1)을 이용한다[4].

$$p^j = k_j - j_i(m_i, s) + 1 \quad (1)$$

여기서 s 는 이전 k 개의 연속적인 시도의 상태이고, $j_i(m_i, s)$ 는 s 내에서 m 번째 "meet"의 위치를 의미한다.

각 노드는 하나의 상태(state) 정보를 유지하고 있는데 이는 데드라인을 만족했는지 하지 않았는지에 대한 최근 히스토리를 담고 있다. 상태 정보는 데드라인 만족 여부에 따라 "miss"와 "meet"로 저장된다. 즉, (m,k) -firm 기법은 k 번의 시도 중 m 번의 "meet" 조건을 만족해야 되기 때문에 채널 할당 경쟁에서 밀려서 "miss"가 발생할수록 다음 경쟁에서 채널을 할당받을 우선순위가 높아진다. 노드 u 는 식 (2)가 만족되면 i 번째 slot을 할당받는다.

$$\forall v \in N2(u), p_u^i > p_v^i \quad (2)$$

여기서 $N2(u)$ 는 노드 u 의 two-hop 이웃들의 집합을 의미한다.

III. 성능평가

제안된 MAC 프로토콜의 성능을 평가하기 위해 OMNET+를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 성능평가는 평균지연시간과 패킷 전송률을 측정하였다. 시뮬레이션 파라미터를 Table 1과 같다.

Table 1. 시뮬레이션 파라미터

Radio propagation model	Two ray ground
Radio propagation range	250m
Transmission power	0.4w
Receive power	0.3w
Traffic type	CBR
CBR rate	512 bytes x 6 / second

그림 4와 5는 각 노드에서 데이터 패킷을 전송하는데 소요된 평균 지연시간과 패킷 전송률을 S-MAC과 제안된 MAC 프로토콜에 대해 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 전송 노드의 수가 증가하면 S-MAC의 경우 트래픽의 양이 증가하기 때문에 지연시간 또한 증가하지만 제안된 MAC은 우선순위 기법 때문에 지연시간의 변화가 적다. 또한 전송된 패킷의 수가 증가하면 패킷 전송률은 체증 때문에 낮아지지만 제안된 MAC 프로토콜이 S-MAC보다는 성능이 좋은 것을 알 수 있다.

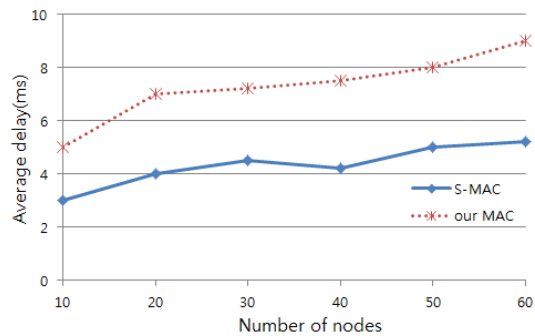


그림 4. 각 노드에서의 평균 지연시간

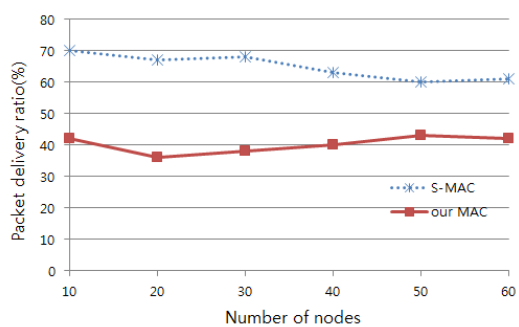


그림 5. 노드 수 변화에 따른 패킷 전송률

IV. 결 론

본 논문에서는 각 노드들이 데이터를 송수신할

수 있을 때까지 sleep 상태를 유지함으로써 네트워크의 높은 성능(throughput)과 낮은 데이터 전송 지연을 얻을 수 있는 적응적 매체 접근 제어 기법을 제안했다. 제안된 기법의 성능을 평가하기 위해 각 노드에서 데이터 패킷을 전송하는데 소요된 평균 지연시간과 패킷 전송률을 S-MAC과 제안된 MAC 프로토콜에 대해 시뮬레이션을 수행했다. 시뮬레이션 결과 제안된 기법이 기존 기법보다 성능이 향상되었음을 알 수 있다

참고문헌

- [1] W. Ye, J. Heidemann and D. Estrin, "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," in *Proceeding of the 21st Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, New York, Vol. 3, 2002, pp. 1567-1576.
- [2] S. Du, A. K. Saha, and D. B. Johnson, "'Rmac: A routing-enhanced duty-cycle mac protocol for wireless sensor networks.'" in *INFOCOM'07*, 2007, pp. 1478 - -1486.
- [3] Y. Sun, S. Du, O. Gurewitz, and D. B. Johnson, "'Dw-mac: a low latency, energy efficient demand-wakeup mac protocol for wireless sensor networks.'" in *MobiHoc'08*, 2008, pp. 53 - 62.
- [4] Hamdaoui, M., Ramanathan, P., "A Dynamic Priority Assignment Technique for Streams with (m,k)-Firm Deadlines", in *IEEE Transactions on Computers*, Volume 44 Issue 12, 1443-1451, 1995