

USN에서 QoS보장을 위한 MAC 프로토콜

김성훈, 고선복, 이성근

순천대학교

QoS Guaranteed MAC protocol in Ubiquitous Sensor Networks

Seong-hun Kim · Sun-bok Goh · Sung-keun Lee

Sunchon University

E-mail : freedom533@naver.com, rhtjsqhr@hanmail.net, sklee@sunchon.ac.kr

요 약

USN의 장점이 크게 부각되고 이에 대한 연구 개발이 활성화됨에 따라, 가까운 미래에는 하나의 USN을 통해 다양한 응용 서비스가 제공될 것으로 예상된다. 따라서 다수의 응용은 주기적 데이터 리포팅, 연속적인 정보 모니터링, 이벤트 드리븐 데이터, 쿼리 기반 데이터 등 데이터 패턴을 요구하게 되므로 각 응용에 맞는 QoS를 보장해 줄 수 있는 매커니즘을 필요하다. 본 논문에서는 USN에서 각 응용에 적합한 QoS를 제공하기 위해 S-MAC를 기반으로 listen과 sleep시간을 동적으로 변경시키는 방법을 제안한다. 제안된 알고리즘은 QoS에 적합하게 동작함으로써 불필요한 에너지의 소비를 최소화하고, 전체 네트워크 수명을 향상 시킬 것으로 기대한다.

ABSTRACT

The sensor node's performance is expected to be improved and the price will be largely decreased. As USN-applied field is expanded, multiple application services are expected to be provided through one USN soon. Multiple applications be required a periodic data reporting, consecutive information monitoring, event-driven data and query-based data as the data pattern that USN is delivered. Accordingly, the mechanism which can assure QoS according to each data characteristic is required. In this paper, A proposed protocol apply the duty cycle of S-MAC protocol variably and flexible according QoS level. This method largely reduces the delay on the delay-sensitive traffic, while keeping the energy efficiency.

키워드

USN, QoS, MAC Protocol

1. 서 론

무선 센서 네트워크는 하나 이상의 싱크와 한 지역에 산재된 많은 수의 센서들로 구성된다. 센서 노드는 물리적인 현상을 감지, raw 데이터를 처리, 센싱 정보의 통합, 계산, 그리고 무선 통신을 통하여 처리된 정보를 이웃 노드들과 공유하고 싱크로 보고할 수 있다. 무선 센서 네트워크에서 배터리를 모두 소모한 센서 노드는 더 이상 정상적인 라우팅 동작과 감지 작업을 수행할 수

없기 때문에 최소한의 에너지를 소비하며 효율적으로 데이터를 전송하기 위해 많은 연구들이 활발히 진행되고 있으며, 특히 여러 라우팅 기술들이 개발되고 있다. 각 센서 노드들이 최소한의 에너지 소비를 위하여 위와 같은 기법들을 사용하여 데이터를 전송한다 할지라도 감지된 현상에 대해 수많은 노드에서 한꺼번에 데이터 전송을 시작한다면 채널 오류 등으로 인한 혼잡이 발생할 수 있고, 노드의 배터리 교환이 어려움에 따라 재전송과 같은 에너지를 소비하는 동작을 할 경

우 네트워크 전체의 에너지 효율이 나빠지게 되는 문제가 발생하게 된다. 따라서 센서 네트워크의 특성을 고려한 저 전력 MAC 프로토콜의 설계가 요구되고 있는 실정이다[1].

그러나 현재 USN의 장점이 크게 부각되고 이에 대한 연구 개발이 활성화됨에 따라, 가까운 미래에는 USN이 다양한 응용 분야에 적용될 것으로 예상된다. USN이 적용되는 분야가 확장됨에 따라, 다수 개의 USN이 상호 혼재하는 단계를 거쳐, 궁극적으로 하나의 USN을 통해 다수의 응용 서비스가 제공되는 단계로 진화될 것으로 전망된다.

따라서 본 논문에서는 한 센서 네트워크에서 다수의 응용 서비스를 제공하기 위해, 기존의 프로토콜 계층 간의 상호 협력을 통해 유용한 정보를 빠르게 공유할 수 있는 MAC 프로토콜 디자인을 적용하여 센서 네트워크상에서 데이터 전송 효율을 높일 수 있는 QoS보장을 위한 MAC 프로토콜을 설계하고 성능을 평가한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존에 제안된 MAC 프로토콜을 기술하고, III장에서는 본 논문에서 제안한 MAC프로토콜을 제시한다. IV에서는 시뮬레이션 결과를 통해 성능을 비교 분석하고, V장에서 결론을 기술한다.

II. 관련 연구

일반 무선 네트워크와 달리 수많은 센서 노드들로 구성된 센서 네트워크에서 각 센서 노드들이 제한된 배터리로 작동하므로 네트워크의 생명주기를 연장하기 위해서 얼마나 에너지를 덜 소모하게 만드는지 하는 것이 최대 관심사이다. 무선 센서 네트워크를 위한 성능 좋은 MAC 프로토콜을 디자인하기 위해서는 먼저 에너지 효율적이어야 하고, 네트워크의 사이클나 밀도, 토폴로지의 변화에 잘 적응해야 한다.

에너지의 소비를 줄이기 위해서 제안된 것이 S-MAC[2] 프로토콜이며 listening에 위한 에너지 소모를 줄이고자 제안된 S-MAC 프로토콜의 구성은 다음과 같다. S-MAC 프로토콜의 주요 논점은 각 노드들이 주기적으로 listen 상태와 sleep 상태를 가진다는 것이다. 많은 센서 네트워크 응용에서 환경 감지 사건이 발생하지 않으면, 노드는 오랫동안 휴면 상태로 있게 된다. 이 기간 동안에 노드는 항상 listen상태를 유지할 필요가 없는데, S-MAC 프로토콜은 노드가 주기적으로 sleep모드로 전환함으로써 listen 시간을 감소시킨다. Sleep 기간은 응용의 요구 상황에 따라 변화될 수 있으며, 이로 인해 duty 사이클을 바꾼다. 주기적인 sleep/listen 방법의 단점은 주기적인 sleep모드 때문에 전달 지연이 증가하는 것인데, 휴이 증가할 때마다 누적될 수 있다.

T-MAC[4]은 S-MAC을 기반으로 하는 MAC으로 Idle listening 시간을 최소화하기 위하여 각 노드는 일정시간동안 아무런 트래픽이 없다고 감

지하면, 규정된 Listen 구간의 만기 이전에라도 미리 sleep 상태로 천이하는 것을 허용함으로써 듀티 사이클이 트래픽 상황에 따라 적응하면서 감소될 수 있는 특징이 있다.

DSMAC[5]은 트래픽 부하에 따른 듀티 사이클 doubling 기능을 제공함으로써 지연 시간을 단축한다. 지연 시간 및 듀티 사이클 정보를 수납하기 위하여 SYNC 패킷 및 데이터 패킷의 정보 영역이 증가하는 단점을 갖는다.

B-MAC[3]는 RTS/CTS, ACK 등의 제어 기능은 상위 계층에서 수행하도록 하여 가급적 간단하게 구현하였으며, idle listening에 의한 전력 소모를 감소시키기 위하여 sleep period 보다 긴 프리앰블 구간을 샘플링하는 기법을 사용하는 LPL 방법을 사용한다.

위에서 설명된 프로토콜들은 USN 환경에서 에너지 효율성, 지연 민감성, 신뢰성, 전송률의 특징을 모두 포함하는 것이 아니라 하나의 특성만을 고려한 MAC프로토콜에 대해 연구되었다. 하지만 한 USN에서는 드문 데이터 리포팅, 연속적인 정보 모니터링, 이벤트 기반 데이터, 쿼리 기반 데이터 등의 여러 가지 데이터 패턴을 가질 수 있다. 우리는 위와 같은 환경에서 QoS의 특징에 따라 서비스를 제공하는 유연한 MAC 프로토콜을 제안한다.

III. 제안된 MAC 프로토콜

USN 이 적용되는 분야가 확장됨에 따라, 다수 개의 USN이 상호 혼재하는 단계를 거쳐, 궁극적으로 하나의 USN을 통해 다수의 응용 서비스가 제공되는 단계로 진화될 것으로 전망된다. 그러므로 각 응용에 맞는 QoS를 보장해 줄 수 있는 메커니즘을 필요하다. 따라서 본 논문에서는 이러한 환경에서 다수의 응용 서비스를 제공하기 위해 QoS level을 통한 에너지 효율적이고 QoS를 보장하는 MAC프로토콜을 제안한다. 제안된 MAC프로토콜은 대표적인 MAC 프로토콜인 S-MAC을 기반으로 하여, 각 응용에서 요구하는 QoS를 제공한다.

제안된 프로토콜은 데이터를 송신하는 노드가 RTS를 전송할 때, 데이터 패킷과 요구되는 QoS 단계의 두 가지 파라미터를 포함하여 전송한다. 데이터 패킷은 4가지 중 하나를 지정하며, QoS단계는 에너지 효율성, 지연 민감성, 신뢰성, 전송률 등 4 가지를 나타낼 수 있다. 수신측 노드에서는 해당 노드의 큐 점유율 등 자원의 상태와 요구되는 두 가지 파라미터에 따라 duty 사이클을 결정하여, 확정된 QoS정책을 포함하여 송신 측 노드에 응답한다. [그림 1]은 제안된 MAC 프로토콜에서 RTS와 CTS 프레임 형식을 나타낸다. 제안된 RTS와 CTS 프레임 패킷에 기술된 QoS 정보를 기반으로 MAC 프로토콜의 동작을 동적으로 변화 시켜 응용 프로그램이 요구하는 네트워크 성능을 만족시킬 수 있다.

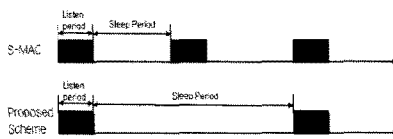
Length	Type	To Addr	From Addr	Duration (NAV)	CRC		
중재된 RTS, CTS 데이터 형식							
Length	Type	To Addr	From Addr	Duration (NAV)	Data Type	QoS Level	CRC
수용된 RTS							
Length	Type	To Addr	From Addr	Duration (NAV)	QoS Level	CRC	
수용된 CTS							

[그림 1] 제안된 RTS와 CTS 프레임 형식

제안된 프로토콜은 에너지, 신뢰성, 확장, 전송률의 4가지 QoS 요소를 고려하여 MAC프로토콜을 디자인하였고, 각 QoS 요소는 5단계를 두어 동작 변화 정도를 조절할 수 있도록 하였다.

1) 에너지 효율성

패킷에 기술된 QoS가 에너지와 관련된 요소일 경우 sleep시간을 동적으로 증가시킴으로써 에너지 소모를 효과적으로 줄일 수 있도록 하는 방법이다. 각 노드는 패킷에 기술된 에너지 QoS필드를 통해 패킷을 생성한 응용 계층의 요구사항을 인식하고, 이를 위해 자신의 sleep 시간을 증가시킴으로써 에너지 소모를 최소화하는 것이다. 이때, 한 가지 고려해야 할 사항은 주변 노드들과의 동기화 문제이다. 동기화 문제를 해결하기 위해 sleep 시간을 증가시킬 경우 컴파일 시 미리 설정한 listen/sleep 주기의 배수가 되도록 증가시킨다. [그림 2]와 같이 제안 기술에서 에너지 효율성을 위해 증가시킨 listen/sleep주기가 기본 주기의 배수가 될 경우, 변화를 주지 않은 노드의 두 번째 혹은 그 배수의 listen 시간에 동기화가 맞춰지게 된다. 제안된 기법에서 listen/sleep 주기의 증가 배수는 응용 프로그램이 설정한 QoS 단계에 따라 달라진다.



[그림 2] 동기화를 위한 listen/sleep 배수 증가 기법

2)패킷 전송 지연 감소

측정된 센싱 데이터 시간이 매우 중요한 응용 계층일 경우, 에너지 효율성보다는 데이터 전송 지연을 최소화할 수 있는 네트워크 성능을 요구하게 된다. 이러한 지연 QoS를 최적화하기 위해, 에너지 효율적인 방법과 반대로 listen/sleep 주기를 1/2, 1/4와 같은 배수 형태로 줄여서 패킷 지연을 감소시킨다.

3)신뢰성 향상

listen/sleep 주기를 갖는 MAC 프로토콜들의 또 하나의 문제점은 패킷 충돌이 매우 많다는 것이다. sleep 시간에 발생한 데이터는 각 노드의 큐에 저장되었다가 listen 시간이 시작될 때 비로소 전송이 시작된다. 이러한 listen 시간은 주변

노드들과 동기화가 맞춰져서 동시에 시작되기 때문에 노드들 간의 패킷 충돌이 빈번히 발생하게 된다. 신뢰성 향상을 요구할 경우, QoS 단계에 따라 재전송 횟수를 설정함으로써, 충돌이 발생하더라도 여러 번의 재전송을 통해 결국 전송이 성공하도록 제어할 수 있다.

4) 전송률 향상

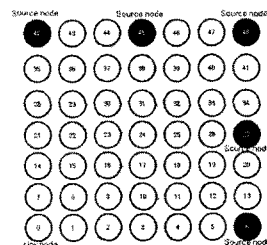
listen/sleep 주기는 에너지와 지연뿐만 아니라 전송률에도 상당한 영향을 미치게 된다. listen/sleep 주기가 짧을수록 더 빈번한 주기로 데이터를 전송할 수 있어 전송률을 높일 수 있다. 만약 짧은 주기로 연속적인 데이터가 발생하는 응용계층일 경우, 순간적으로 전송률을 높일 수 있도록 네트워크 성능을 요구하게 된다. 제안된 기법에서 전송률과 관련된 QoS가 요청될 경우, 지연 기법과 마찬가지로 listen/sleep주기를 1/2, 1/4와 같이 배수 형태로 줄여나감으로써, 상위 응용계층에서 요구한 전송률에 대한 QoS를 만족시킬 수 있다.

IV. 성능 평가

본 논문에서 성능평가를 위해 제안하는 알고리즘과 S-MAC과 비교 분석한다.

1) 실험 환경

총 49개의 노드가 7x7 격자 형태의 네트워크를 형성한다. 모서리에 위치하는 0번 노드가 싱크 노드가 되며, 데이터를 생성하는 노드는 6, 27, 42, 45, 48이다.



[그림 3] 실험 노드 배치

노드와 노드 사이는 50m이며, 전송 거리는 55m로 설정하였다. 기본적으로 그리드 프로토콜 [6]을 라우팅 프로토콜로 사용하며, 쿼리를 기반으로 한 데이터 보고일 경우 디퓨전[7]에서 사용된 쿼리 기법을 참고하여 구현하였다. 에너지 소모는 RF TX, RX, Sleep시 24.75mW, 13.5mW, 15uW를 소모하도록 설정하였고, listen/sleep 주기로는 listen을 100ms로 sleep 주기를 3900ms로 설정하였다. 4가지 시나리오에 따라 드문 데이터 리포팅에서 전체 에너지 소비량, 이벤트 드리븐 데이터 리포팅에서는 평균 지연 시간, 쿼리를 기반으로 하는 데이터 리포팅에서는 지연 비율, 주기적인 데이터 리포팅에서는 전송률을 각 각 비

교하였다.

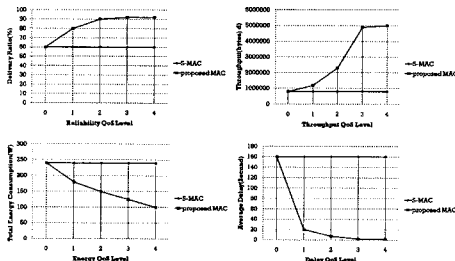
2) 실험 결과

먼저 드문 데이터 리포팅에서 전체 에너지 소비량을 비교한다. 지정된 데이터 생성 노드들은 1분마다 한 번씩 데이터를 생성하는 싱크 노드에게 전송한다. [그림 4]과 같이 QoS 단계가 증가할 때마다 listen/sleep 주기를 2배, 4배, 8배, 16배로 증가시킨다. 결과 그래프에서 보듯이 제안 기법이 에너지 QoS 단계에 따라 S-MAC에 비해 매우 적은 에너지를 소모하고, 최대 49%의 에너지를 절약할 수 있음을 나타내고 있다.

다음으로 이벤트 드리븐 데이터 리포팅에서 평균 지연 시간을 비교한다. 지정된 데이터 생성 노드들이 순차적으로 특정 시간마다 이벤트를 감지한다고 가정하였다. 결국 하나의 노드씩 데이터를 순차적으로 싱크 노드에게 전송한다. 제안된 기법에서는 [그림 4]과 같이 지연 QoS 단계가 증가할 때마다 listen/sleep 주기를 1/2배, 1/4배, 1/8배, 1/16배로 감소시킨다. 결과 그래프에서 보듯이 제안 기법이 지연 QoS 단계에 따라 S-MAC에 비해 매우 작은 지연시간을 나타내고 있으며 최대 154초의 매우 작은 지연시간을 보이고 있음을 알 수 있었다.

쿼리를 기반으로 하는 데이터 리포팅에서의 전달 비율을 비교한다. 제안 기법에서 확장성 QoS 단계가 증가할 때마다 기본이 3회인 재전송 횟수를 6, 10, 15, 25로 변화 시켰다. 그 결과 [그림 4]와 같이 제안된 기법이 S-MAC에 비해 최대 33%로 높은 전달비율을 나타냄을 알 수 있다.

마지막으로 주기적인 데이터 리포팅에서 전체 전송률 비교한다. 데이터는 4초마다 한 번씩 데이터를 생성하여 싱크 노드에게 전송한다. 제안된 기법에서는 전송률 QoS 단계가 증가할 때마다 listen/sleep 주기를 1/2배, 1/4배, 1/8배, 1/16배로 감소시켰다. 그 결과 [그림 4]에서 보듯이 제안 기법이 S-MAC에 비해 최대 86%의 높은 전송률을 나타냄을 알 수 있다.



[그림 4] 실험 결과 그림

V. 결론

USN에서 에너지 효율성과 QoS 보장을 위한 MAC 프로토콜에 관한 이 연구에서는 listen 및 sleep 시간이 고정된 S-MAC과 다르게 listen/sleep 시간을 동적으로 증가시켜 용용에 적

합한 QoS를 제공하는 MAC 프로토콜을 제안하였다. 따라서 드문 데이터 리포팅, 지연, 신뢰성, 전송률 등을 요구하는 여러 용용에 맞추어 효율적으로 동작하였다. 제안된 기법은 하나의 USN에서 다수의 용용을 제공하는 환경에서 뿐만 아니라 저 전력 통신이 요구되는 매래 유비쿼터스 분야에서도 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (IITA-2008-(C1090-0801-0047))

참고문헌

[1] Erdal Cayirci, Ian F. Akyildiz, Yogesh Sankarasubramaniam, Weilian Su, A survey on Sensor networks, IEEE Communications Magazine, vol. 40, no.8: 102~114, Aug. 2002
 [2] Deborah Estrin, John Heidemann, Wei Ye, An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor Networks, in proceeding of the IEEE INFOCOM: 1567~1576, 2002.
 [3] D. Culler and J. Hill, J. Polastre, Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks, in Proc. of ACM SenSys, Baltimore, MD, USA, Nov. 2004.
 [4] T. van Dam and K. Langendoen, Nov. An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks, The first ACM Conf. on Embedded Network Sensor Systems (Sensys 2003), Los Angeles CA, 2003.
 [5] P. Lin, C. 뼈매, and X. Wang, Medium Access Control with a Dynamic Duty Cycle for Sensor Networks, IEEE Wireless Commun. and Networking Conf., Vol.3, 21-25 : 1534~1539, Mar. 2004.
 [6] G. Anastasi, M. Conti, E. Gregori, A Falchi, A. Passarella, "Performance Measurements of Mote Sensor Networks", in ACM/IEEE MSWIM 04, Oct. 2004.
 [7] C. Intanagonwivat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed Diffusion: a Scalable and Robust Communication Paradigm ofr Sensor Networks" in ACM MobiCom, 2000.