
센서 네트워크에서 효과적인 트래픽 제어 방법과 에너지 효율성을 고려한 Media Access 기법

민병웅* · 김동일**

Media Access Scheme for Achieving an Effective Traffic Control Mechanism and Energy Efficiency in Sensor Networks

Byung-Ung Min* · Dong-Il Kim**

본 연구는 2004년도 동의대학교 교내연구과제(과제번호2004AA153) 지원으로 수행되었음

요 약

센서를 통해 수집된 데이터는 모든 정보를 취합하는 기지국으로 전송되게 된다. 센서들은 데이터를 전송하면서 지속적으로 주변 환경에 대한 데이터를 수집하여야 하기 때문에 에너지 소모가 크다. 본 논문에서는 수집된 데이터가 효율적으로 전송되어 트래픽 혼잡을 피하면서 에너지 효율성을 고려하는 기법을 제안한다. 트래픽이 증가하거나 감소할 때 전송률을 제어함으로써 Traffic 혼잡을 피하고, 기본적인 CSMA(Carrier Sense Multiple Access) 프로토콜에 최적의 옵션을 설정하여 각 센서에서 에너지 소모를 최소화하는 기법이다. 시뮬레이션을 통해 최적의 CSMA 옵션과 제안된 트래픽 제어 기법을 적용하여 성능을 분석하고, 에너지 효율성과 효과적인 트래픽 제어 방법을 제시한다.

ABSTRACT

Data collected by sensors in field are transmitted to the base station gathering all of data. Because sensors have to gather data in surroundings and periodically transmit data to the base station, it makes energy consumed much. In this paper, we propose the scheme that is to avoid traffic congestion with achievement of energy efficiency, so collected data is transmitted efficiently. This is to adjust transmission rate differently in case of increasing or decreasing traffic and minimize the energy consumption with setting ideal options up basic CSMA(Carrier Sense Multiple Access) protocol in each sensor. Through the simulation, we find the ideal CSMA options and apply the proposed scheme of traffic control mechanism to them and analyze them, then show energy efficiency and effective traffic control mechanism.

키워드

Sensor Network, CSMA(Carrier Sense Multiple Access), Energy efficiency, ARC(Adaptive Rate Control)

* 동의대학교 대학원 정보통신공학과

접수일자 : 2006. 5. 26

** 동의대학교 정보통신공학과 교수

I. 서 론

센서 네트워크는 인간의 오감을 대신하여 관측하고자 하는 대상의 변화 상황에 대한 정보를 획득하고 그것을 사용자에게 제공한다. 그리고 더 나아가서는 이러한 환경을 이용하여 인간에게 보다 편리하고 풍요로운 세상을 열어준다. 센서 네트워크의 응용분야로는 산불, 홍수, 감시 등의 환경감시, 건강관리, 전장에서 군사적인 목적과 최근에 대두되고 있는 홈네트워킹 및 물류, 유통 등 다양한 상업 및 공업 분야 등에 활용될 수 있으며, 그 효과는 매우 클 것이다.

센서 네트워크는 기본적으로 소량의 배터리로 동작하는 센서 노드들로 구성되어 있다. 각 센서 노드는 배터리의 수명이 다하게 되면 센서 노드로서의 기능을 상실한다. 그리고 화재와 같은 긴급을 요하는 상황에서 모든 센서 노드들이 화재 발견을 동시에 전달하고자 하기 때문에 트래픽 혼잡이 발생 할 수 있다. 센서 노드들의 에너지를 얼마나 효율적으로 사용하고, 트래픽 혼잡을 피할 수 있도록 채널을 공정하게 할당하는 것은 센서 네트워크 설계 시 최우선 되어야 할 고려사항이다.

본 논문에서는 센서 네트워크에서 에너지 효율 측면과 전송률 조절에 따른 공정한 채널할당을 동시에 만족하는 전송 제어 방법을 제안한다. 2장에서 관련 연구, 3장에서는 제시하는 전송 제어 방법을 살펴본다. 4장에서 제시한 전송 제어 방법을 Multi-hop 환경에서 시뮬레이션을 통해 연구하며, 결론 및 향후 연구 계획을 5장에서 다룬다.

II. 관련 연구

본 논문에서는 기존의 MAC(Medium Access Control) 프로토콜들을 검토하여 Multi-hop 센서 네트워크 환경에 적용할 수 있는지를 먼저 다룬다.

CSMA(Carrier Sense Multiple Access)[1,2] 방식에는 여러 가지 방법이 있다. 대부분의 CSMA 방식에는, pure ALOHA[3]를 제외하고, 전송하기 전에 다른 노드들의 정보를 이용하여 채널을 Listening하며, ALOHA는 확실한 긍정 또는 부정 확인 응답의 사용으로 충돌을 감지하고, 전송 전에 임의의 지연 시간을 갖는다. Slotted ALOHA처럼 동기화된 슬롯의 채널시간에 의지하는 것도 있다. 이 모든 CSMA 방식은 다수의 독립적인 점대점 방식만을 지

원하기 때문에 종합적인 데이터 흐름의 구조를 가지는 센서 네트워크에는 부적합하다. 따라서 CSMA 방식의 수정이 요구된다.

PAMAS(Power Aware Media Access Protocol with Signalling)[4]은 능동적으로 패킷을 송수신 하는 경우가 아니라면 radio전원을 꺼두는 방식이다. 이는 에너지 소모 측면에서 중요하지만 본 논문에서는 Multi-hop 환경에서 이 방식의 에너지 스케줄링 측면보다 에너지의 효율성과 전체 대역폭 그리고 공정성의 상관관계(Tradeoff)에 초점을 두었다.

IEEE 802.11[5]은 단일 셀 환경 방식이기 때문에 각 단말들은 기지국의 범위 내에 있어야 한다. 따라서 Multi-hop 환경에 맞지 않다. 그렇지만 기본적인 반송과 감지와 경쟁 제어 방식은 중요한 요소이기 때문에 이 부분에 대한 추가 연구가 필요하다. 그리고 Bluetooth[6], MACAW(Medium Access Collision Avoidance for Wireless LANs)[7] 역시 Multi-hop 환경에 적합하지 않다.

앞에서 언급한 MAC protocol들은 Multi-hop 센서 네트워크에서 채널 할당의 공정성 및 효율적인 에너지 관리에 적합한 전송 제어 메커니즘의 필요성을 보여준다[8]. ARC(Adaptive Rate Control)에 기반한 본 논문에서는 TCP[9,10]에서 사용되는 혼잡 제어 방법과 유사하나, 다수의 독립적인 단대단 제어인 TCP와 달리 모든 노드에서 종합적으로 동작하는 ARC로써 Multi-hop 환경에서 채널의 공정성을 유지하여 트래픽 혼잡을 방지함과 동시에 에너지 효율성에 주안점을 두었다.

III. 전송 제어 방법

Multi-hop 환경에서 센서 네트워크에 적합한 Listening 메커니즘과 back-off, 그리고 기존의 RTS(Request To Send)/CTS(Clear To Send)방식을 보완한 메커니즘, 효율적인 전송률 제어 메커니즘을 제시하며 숨겨진 노드 문제를 방지하는 방안에 대해 다룬다.

3.1 Listening 메커니즘

모든 센서 노드들이 서로 들을 수 있을 때 Listening 메커니즘은 매우 효과적이다. 그렇지만 센서 네트워크 환경에서 충돌을 감지하는(Collision Detection)은 추가적인 회로적 기법을 동원하지 않는 한 실현이 어렵다. Listening

설계는 매우 간단하지만, 에너지 소모가 크다는 단점이 있다. 이는 모든 센서 노드들이 지속적으로 Listening 해야 하기 때문이다. 에너지를 효율적으로 관리하기 위해서는 반송과 감지 시간을 줄여야 한다. IEEE 802.11과 같은 프로토콜은 back-off기간에도 채널을 지속적으로 감지해야 하지만, 센서 네트워크에서 CSMA는 이때 radio를 꺼둠으로써 에너지 효율성을 높인다. 그리고 동기화로 인한 주기적인 충돌 방지를 위해 모든 센서 노드들을 비동기화할 수 있는 전송 전 임의의 지연 시간이 필요하다.

3.2 back-off 메커니즘

back-off는 노드간 경쟁을 줄이고자 널리 이용되는 방법이다. 채널에 접근하기 위해서 일정기간을 두며 back-off기간 뒤에 채널은 free한 상태가 된다. 본 논문에서는 back-off 시간을 고정된 값으로 설정하였다.

3.3 경쟁 기반 메커니즘

기존의 경쟁 기반 기법인 RTS/CTS방식은 IEEE 802.11, MACAW에 널리 이용되며, IEEE 802.11에서는 ACK (acknowledgement)도 함께 사용된다. 이 방식은 패킷의 크기가 큰 네트워크에서는 제어패킷의 비중이 그리 크지 않으나, 센서 네트워크에서는 상당량 비중을 차지한다. 본 논문의 시뮬레이션에서 각 제어 패킷은 3Bytes(type, source, destination)이며 전체 패킷크기는 30Bytes로 설정되어 있기 때문에 RTS-CTS-DATA-ACK handshake 적용 시 오버헤드 비중이 40%가까이 차지한다. 이는 제어 패킷의 송수신에 상당량의 에너지를 소모하게 하는 것으로 비효율적이다.

본 논문에서 handshake방식으로 RTS/CTS만을 사용한다. ACK는 양방향 Multi-hop 네트워크에서 필요치 않기 때문에 제외하였다. 데이터를 전송하고자 하는 노드는 먼저 RTS를 보내고 CTS를 기다린다. CTS가 기준시간(2 CTS packet time) 동안 오지 않거나, 자신의 것이 아니면 back-off상태로 전환한다. 그리고 전송 시도를 5회 한 후에도 CTS가 없으면 데이터를 폐기한다. 데이터 전송을 원하는 노드가 전송 전에 CTS를 받게 되면, 기존 트래픽의 흐름을 유지하기 위하여 일정기간(1 packet time)동안 전송을 연기한다.

3.4 Rate Control 메커니즘

채널 할당의 공정성을 달성하기 위해서는 발신 트래픽

과 각 센서 노드로부터 기지국으로 전송되는 취합된 트래픽간의 조절이 필요하다. 공정성을 달성하기 위해 제어 패킷의 사용 없이 발신 트래픽과 취합된 트래픽간의 전송률을 조절하는 메커니즘을 제안한다. 이는 선형증가(linear increase)와 지수감소(multiplicative decrease)를 사용한다. 어플리케이션 전송률을 S 라 하면, 실질적인 발신 데이터의 전송률은 $S * p$ 가 된다. 여기서 p 는 전송확률로써 $p \in [0,1]$ 이다. 전송률을 선형적으로 증가시키기 위해 상수 α , 지수적으로 감소시키기 위해 $\beta (0 < \beta < 1)$ 를 파라미터로 사용한다. 주로 α 는 채널에 대한 경쟁력을 올리는 데 사용하고, β 는 전송 실패에 대한 제한을 위해 사용한다.

3.5 숨겨진 노드 문제 해결

전송될 패킷의 처리 시간을 x 시간으로 설정하여, child 노드는 grandparent 노드와의 숨겨진 노드 문제를 피할 수 있다. child 노드가 t 시간에 parent 노드가 전송하는 데이터의 말단 부분을 들을 수 있다면, grandparent 노드는 $t+x$ 시간에 시작하는 parent 패킷을 전송할 것이라고 예상할 수 있다. 따라서 child 노드는 시간 t 부터 $t + x + PACKETTIME$ 까지 전송을 제한함으로써 숨겨진 노드 문제를 해결 할 수 있다.

IV. 시뮬레이션

제안하는 전송 제어 메커니즘의 성능 평가를 위해 Mote-Kit[11]를 이용한다. MAC 메커니즘으로 전송전 임의의 전송시간(64 bit time)을 가지며, listening 시간(7 bit time)을 일정하게 하고 back-off 간격(2400 bit time)을 고정된 값으로 설정한 D_CONST_FIX(Random_Constant_Fixed) CSMA 방식을 사용한다. ARC의 α 값은 0.05, β 값은 0.5로 설정하였으며, 여기에 다른 기법과 비교하기 위하여 D_CONST_FIX 기반에 본 논문에서 제안하는 ARC를 기법을 사용한 것과 D_CONST_FIX 기반에 RTS/CTS만을 사용한 방식, ACK를 사용하는 802.11 CSMA 그리고 경쟁 제어 메커니즘이 없는 D_CONST_FIX를 비교하였다.

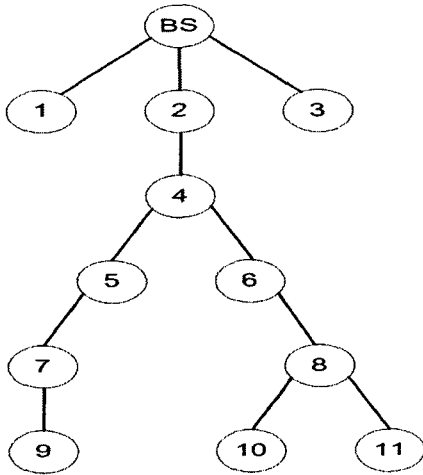


그림 1. Multi-hop Topology
Fig. 1. Multi-hop Topology

<그림 1>은 Multi-hop 토폴로지로 총 11개의 노드와 1개의 기지국(base station)으로 구성되어 있다. 각 노드에서 초당 4packet의 전송률로 기지국으로 동시에 전송하도록 설정하였다.

4.1 채널 공정성

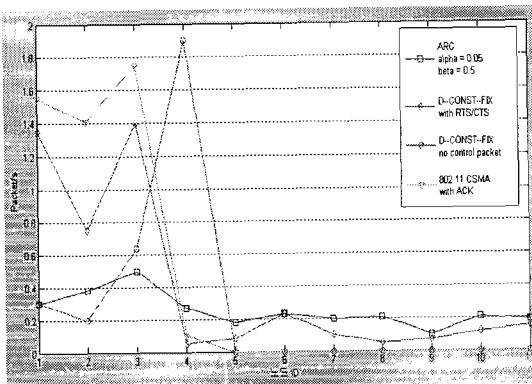


그림 2. ARC와 다른 기법간의 채널 공정성 비교
Fig. 2. Comparison of ARC and the other schemes

<그림 2>는 각 노드로부터 기지국으로 전송된 평균 패킷량을 나타낸다. D_CONST_FIX와 ARC를 적용한 기법의 경우 데이터 전송률이 높지는 않으나 각 노드에서 전송률이 전체적으로 비슷하게 나타남을 알 수 있다. 이는 각 노드에 채널이 공정하게 할당되었음을 보여준다.

4.2 에너지 효율성

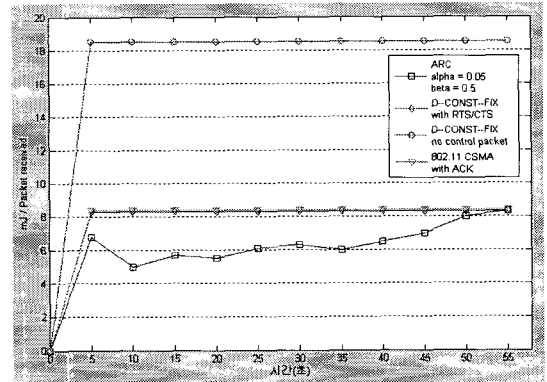


그림 3. 기지국에서 수신한 각 패킷당 소모된 에너지
Fig. 3. Energy consumption of each packet measured at the base station

<그림 3>은 1분 동안 기지국에서 수신한 각 패킷 당 소모하는 에너지의 평균치로 listening과 송신에 사용된 것이다. D_CONST_FIX와 ARC를 적용한 기법은 다른 기법들보다 에너지 효율성이 비교적 좋음을 알 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구 계획

시뮬레이션을 통해 본 논문에서 제안하는 전송 제어 메커니즘인 전송전 임의의 전송시간을 가지며, listening 시간을 일정하게 하고 back-off 간격을 고정된 값으로 설정한 CSMA 메커니즘을 이용한 ARC의 성능이 에너지 효율성과 채널의 공정성에서 뛰어난 성능을 보임을 증명하였다. 본 논문에서는 효율적인 Media Access만을 다루었기 때문에 BER(Bit Error Rate)를 0, 그리고 α , β 값을 고정된 값으로 설정하였다. 향후 다양한 α , β 값의 설정 및 에너지 효율성 측면과 공정성을 만족하는 MAC 프로토콜과 동시에 BER의 최소화를 만족시키는 라우팅 알고리즘에 관한 연구를 통해 센서 네트워크의 전체적인 성능향상에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] L.Kleinrock and F. Tobagi. Packet switching in radio channels, part 1: Carrier sense multiple-access models and their throughput-delay characteristics. 23(5) : 1400-1416

[2] F, Tobagi and L.Kleinrock. Packet switching in radio channels, part 2: Hidden-terminal problem in carrier sense multiple-access models and the busy-tone solution. 23(5) : 1417-1433

[3] A. Tanenbaum. Computer Networks. Prentice Hall Inc.

[4] S. Singh and C. Raghavendra. Pamas - Power aware multi-access protocol with signalling for ad hoc networks. In ACM Computer Communication Review, 1988

[5] ANSI/IEEE STD 802.11 1999 Edition.

[6] Bluetooth. <http://www.bluetooth.com>

[7] V. Bharghavan, A. Demers, S. Shenker, and L. Zhang. MACAW : A media access protocol for wireless lans. In Proceedings of SIGCOMM Conference, pages 212-225, 1994.

[8] Thyagarajan Nandagopal, Tae-Eun Kim, Xia Gao, Vaduvur Bharghavan. Achieving mac layer fairness in wireless packet networks. In MOBICOM, 2000.

[9] S. Floyd and K. Fall. Prompting the use of end-to-end congestion control in the internet. In IEEE/ACM Transactions on Networking, 1998.

[10] V. Jacobson. Congestion avoidance and control. In Proceedings of ACM SIGCOMM Conference, 1988

[11] Mica Mote, <http://www.xbow.com>

저자소개

민 병 응 (Byung-Ung Min)



2006년 동의대학교 컴퓨터공학과
공학사
2006년 - 현재 동의대학교 정보통신공학과 석사과정

※ 관심분야: 센서 네트워크, MAC protocol, 무선망 QoS

김 동 일 (Dong-Il Kim)



1992년 2월 광운대학교 전자통신공학과 공학박사
1983년 3월 - 1991년 8월 LG정보 통신연구소 교환연구단 연구실장

1998년 11월 - 1999년 12월 한국전 자통신연구원 표준연구센터 초빙연구원

1991년 9월 - 2006년 현재 동의대학교 정보통신공학과 교수
2003년 8월 - 2006년 현재 동의대학교 전산정보원 원장
1997년 7월 - 2006년 현재 한국해양정보통신학회 이사
2002년 2월 - 2006년 현재 한국통신학회 논문지 편집위원
2002년 3월 - 2006년 현재 정보통신부 IT 기술표준 국제전문가

※ 관심분야: 통신망 성능분석, 무선망 프로토콜, IT네트워크 기술표준화