

무선 센서 네트워크를 위한 비동기 적응형 메시지 전달 기법

Asynchronous and Adaptive Message Passing Scheme for Wireless Sensor Networks

정종균* · 나인호*

Jong-Kyun Jeong, and In-Ho Ra†

*군산대학교 정보통신공학과

† Department of Information and Telecommunication Engineering, Kunsan National University

요 약

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 발생하는 에너지 효율성 문제를 해결하기 위해 S-MAC 기반의 비동기 적응형 메시지 전달 기법을 제안한다. 제안된 기법은 패킷 충돌이나 간섭에 의해 발생하는 전송오류와 버퍼 오버플로우로 인한 혼잡 손실을 구별하는 차별화 전략과 트래픽 부하 변화에 따라 단편의 크기를 적응적으로 조절하는 기법으로 구성된다. 특히, 패킷 전송 차별화 기법을 사용하여 단편의 크기가 필요 이상으로 축소하지 않도록 제어함으로써 메시지에 대한 총 전송시간이 증가되지 않도록 방지하여 전송을 위한 에너지 사용을 최소화하도록 한다. 마지막으로 시뮬레이션 분석결과를 통해 본 논문에서 제안한 기법이 에너지 효율성 및 전송 지연 측면에서 S-MAC 기반의 메시지 전달 기법보다 성능이 우수함을 보인다.

키워드 : 무선센서네트워크, 비동기 적응형 메시지 전달, S-MAC, 에너지 효율성

Abstract

In this paper, we propose an asynchronous and adaptive message passing scheme based on S-MAC for handling with the problem on energy efficiency in wireless sensor networks. The proposed scheme consists of a policy that differentiate transmission errors caused by packet collision or radio interference from congestion errors caused by buffer overflow and a method that adaptively controls the size of a fragment according to the variance of traffic loads. Especially, it presents a method that highly reduce the energy consumption by keeping the size of fragment not being excessively smaller than the one that may result in rapid increment of the total transfer time. Finally, with the simulation results we show that network throughput and delay are improved by using the proposed message passing scheme.

Key Words : Wireless sensor network, Asynchronous and adaptive message passing, S-AMC, Energy efficiency

1. 서 론

무선 센서 네트워크(WSN)는 환경, 의료, 도로 및 교통, 물류, 국방 등 지난 몇 년간 RFID 및 유비쿼터컴퓨팅 기술을 이용한 다양한 활용 분야에 폭 넓게 사용되고 있다[1].

접수일자: 2013년 3월 31일

심사(수정)일자: 2013년 4월 7일

게재확정일자 : 2013년 5월 12일

† Corresponding author

본 논문은 한국연구재단 연구자지원사업(2012R1A1A2044504)에서 지원하여 연구하였음.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

무선 센서 네트워크는 물리센서, 화학센서, 생물학센서 등 다양한 종류의 센서와 무선송수신 모듈, 배터리 위주의 전원공급장치, 소규모 계산능력을 지닌 마이크로프로세서를 탑재한 무선 센서 노드들로 구성된다. 센서 노드는 수명이 제한된 배터리를 에너지 자원으로 사용하며, 유지보수 비용 측면에서 볼 때 배터리를 교환하여 네트워크 수명을 연장하는 것은 현실적으로 어렵다. 따라서 무선 센서 네트워크의 수명(life time)은 각 노드의 가용 배터리 용량에 의해 결정되며, 이에 따라 무선 데이터를 송수신할 때에는 전체 네트워크 에너지를 효율적으로 이용할 수 있는 전송 기법이 요구된다[1][2].

최근의 무선 센서 네트워크는 환경 감시, 지능형 빌딩, 설비 관리, 우주 및 항공, 대기, 방재, 원격의료 시스템이나 지능형 로봇 등 광범위한 분야에 사용되고 있으며, 실시간 전송(real-time delivery), 높은 신뢰성(high reliability) 등의 전송 특성이 요구된다. 이에 따라 전송 데이터에 대한 정확성과 유효성을 제공하기 위한 해결 방안으로 최단 경로를 보장하기 위한 에너지 효율적 MAC 및 라우팅 기법,

재전송 횟수를 줄이기 위한 메시지 전송 기법 그리고 무선 주파수 간섭으로 인한 전송 오류를 최소화하는 기법 등에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다[3]. 특히, 매체 접근 제어(MAC) 기법은 네트워크 전송 매체(transmission media)에 대한 접속 및 데이터 전송방식에 관련된 핵심 기술로서[4][5] 무선 센서 네트워크의 운영관리 및 전송 서비스 품질에 큰 영향을 미친다.

지금까지 불필요한 에너지 사용을 최소화하기 위해 다양한 MAC 프로토콜들이 제안된 바 있으나[6][7][8] 네트워크 전송 품질 및 상태에 따른 적응성을 고려한 MAC 프로토콜 설계에 대한 연구는 아직 미비한 실정이다. 이것은 전송 링크상의 품질저하로 인한 전송오류와 네트워크 구간에서의 혼잡으로 인한 손실오류를 명확히 구분하여 네트워크의 현재 상태에 따라 적응적으로 메시지 전송할 수 있는 MAC 프로토콜을 통해 센서 노드가 무선 데이터를 송수신할 때 사용하는 에너지 소모를 효과적으로 줄이는 기법에 대한 연구가 필요하다는 것을 의미한다. 일반적으로 무선 센서 네트워크에 사용되는 무선 채널은 신호가 약하고 전송거리가 짧으며, 채널 간 주파수 간섭이 심하기 때문에 전송오류가 발생하기 쉽고 전송 품질 또한 외부 환경에 따라 시시각각 변하는 특성을 지닌다.

기존에 제안된 S-MAC(Sensor-MAC) 기법에서는 에너지 보존적 대기/휴면(listen/sleep) 스케줄링 기법과 충돌 회피 기법, 메시지 전달 기법 등의 문제를 고려하여 이에 대한 해결방안을 제시하고 있지만 무선 채널 상태에 따른 트래픽 부하의 변화를 고려하지 않고 있다. 즉, S-MAC에 제안된 메시지 전달 기법은 트래픽 부하 변화에 상관없이 동일한 크기의 메시지를 전송하기 때문에 네트워크 자원이 비효율적이다. 따라서 다양한 트래픽 부하에 따라 발생하는 패킷 충돌을 줄이기 위한 초기 경쟁 윈도우(contention window)크기를 적절하게 조정하고 휴지대기(idle listening)를 위한 시간을 단축시킬 수 있는 고속 백오프(back off) 기법이 요구된다.

본 논문에서는 S-MAC의 에너지 효율성을 고려한 기법 즉, 주기적인 대기/휴면 스케줄과 가상 클러스터, 충돌 회피, 엿듣기(overhearing) 회피를 수용하고 S-MAC에서 트래픽 부하와 패킷 손실 오류 원인에 따라 메시지 전달을 제어하는 기법을 제안한다. 이 기법은 혼잡 손실(congestion loss)과 무선 오류(wireless error)에 따라 메시지 크기를 동적으로 변경하여 전달함으로써 지연시간을 줄이고 에너지 소비를 축소하여 네트워크 수명 시간을 연장하는 것을 목적으로 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 S-MAC의 전반적인 내용과 메시지 전달 기법을 대하여 기술한다. 3장에서는 본 연구에서 제안한 혼잡손실과 무선 손실의 차별화 전략과 비동기적인 적응형 메시지 전달 기법에 대해 자세히 기술한다. 4장에서는 제안된 AAMP(Asynchronously Adaptive Message Passing)기법의 성능 평가를 위해 시뮬레이션 도구를 이용한 시뮬레이션 결과 및 성능 평가에 대해 기술한다. 마지막으로 5장에서 결론 및 향후 연구에 관한 내용을 기술한다.

2. 관련 연구

2.1 S-MAC 프로토콜

S-MAC[10]은 무선 센서 네트워크에서 가장 대표적인

경쟁 기반의 저전력 MAC 프로토콜이다. IEEE 802.11[11]과 같은 채널 경쟁을 기반으로 하는 S-MAC 프로토콜은 무선 센서 네트워크에서 휴지대기(idle listening), 충돌, 엿듣기, 제어 간접비(control overhead)로 인하여 발생하는 에너지의 소모를 줄이는 메커니즘이다. S-MAC에서는 주기적인 대기-수면 스케줄로 현재 전송 중인 노드를 제외한 인근 노드들을 주기적으로 수면 상태(sleep)로 전환하여 휴지 대기(idle listening)로 인한 에너지 소모를 줄인다. 하나의 시간 프레임(time frame)은 대기 상태와 수면 상태를 하나의 주기로 하며, 프레임의 대기 구간을 듀티사이클(duty cycle)이라고 한다. 수면 상태에서는 라디오 전원을 끄고 충격 계수를 줄임으로써 에너지 절감 효과를 향상시킨다. 그러나 처리량과 지연에 대한 성능 지표에 상충 조건이 있다는 문제가 있다. 다중 홉 네트워크에서 주기적인 수면 상태로 인하여 발생하는 전송 지연을 개선하기 위해 적응형 리스닝(adaptive listening)을 추가한 프로토콜이 제안되었는데 이를 T-MAC[12]이라고 한다. 이 기법에서는 이웃 노드들이 RTS/CTS 패킷에 지속 필드를 두어 현재 전송 기간을 알리고, 그 전송 기간이 끝나면 바로 깨어나서 대기하고, 만약 적응형 리스닝 기간 동안에 어떤 패킷도 수신하지 못한다면 바로 수면 상태로 전환하는 방식으로 S-MAC 보다 에너지 효율성을 조금 더 향상시킬 수 있다[13][14].

2.2 메시지 전달 기법(Message Passing Scheme)

무선 애드 혹(ad hoc) 네트워크에서는 음성이나 일반 데이터의 전송을 위해 각 사용자에게 무선 매체에 대한 동일한 접근 기회와 시간을 제공한다. 홉 단위의 MAC 측면에서 공정성(fairness)은 중요한 문제이다. 그러나 센서 네트워크에서 단일의 공동 작업을 수행하기 위해 모든 노드들이 협동적으로 동작한다. 이러한 과정에서 어떤 노드가 다른 노드들에 비하여 전송할 데이터가 많아 질 수 있다. 만약 응용 수준의 성능이 나빠지지 않는다면 이러한 경우에는 공정성은 중요한 문제가 아니다. 이를 위해 S-MAC에서는 에너지와 지연시간 모두가 긴 메시지를 효율적으로 전송할 수 있는 방법으로 메시지 전달(message passing) 기법이 지원된다. 기본 개념은 긴 메시지를 작은 단편(fragment)으로 분할하여 버스트하게 전송하는 것이다. 이 기법으로는 제어 오버헤드를 줄이고 엿듣기(overhearing)를 중단하게 함으로써 에너지를 절약할 수 있다. 긴 메시지를 단일 패킷으로 전달했을 때 최초 전송에서 일부 비트들이 손실된다면 전체 패킷을 다시 전송해야하므로 비용이 높아진다. 그러나 긴 메시지를 다수의 개별적인 작은 패킷들로 분할하여 전송하면 RTS/CTS 패킷들이 각 데이터 패킷을 위한 채널 경쟁에 추가로 사용되기 때문에 제어 오버헤드가 높아지고 지연시간이 길어지는 단점이 있다.

무선 애드 혹 네트워크를 위한 IEEE 802.11에서도 단편화가 지원된다. IEEE802.11 MAC 프로토콜에서는 RTS/CTS 패킷들이 첫 번째 데이터 단편과 ACK를 위해서만 매체를 예약한다. 다음으로 첫 번째 단편과 ACK는 다시 두 번째 단편과 ACK를 위해 매체가 예약되는 방식으로 동작한다. 이웃 노드들은 이러한 단편이나 ACK를 수신한다면 단편들이 계속해서 전송될 것으로 판단하고, 그 단편에 포함된 전체 메시지가 전송될 때까지 리스닝 상태를 유지한다. 이 방식은 실질적으로 노드가 패킷을 수신하거나 전송하지 않지만 전체 통신 기간 동안에 리스닝 상태

를 유지하기 때문에 에너지 낭비 문제가 발생한다.

S-MAC에서의 메시지 패싱 기법은 긴 메시지를 작은 단편으로 분할하여 버스트하게 한 번에 전송한다. IEEE 802.11과 다르게 이 기법에서는 전체 단편들의 전송을 위해 RTS/CTS 패킷만이 매체를 예약하는데 사용된다. 송신자는 단편이 전송될 때마다 수신자로부터 ACK를 기다린다. 만약 송신자가 ACK를 수신하는데 실패하면 손실된 단편을 전송하는데 필요한 시간 만큼 예약 전송 시간을 늘리고 해당 단편을 즉시 재전송한다. 단편과 ACK 패킷에는 전체 메시지를 전달하는데 필요한 시간, 즉 지속 필드를 가지므로 이웃 노드들은 지속 필드를 확인하여 그 시간만큼 수면 상태로 전환한다. 그러나 이 기법은 고정된 크기의 단편으로 트래픽 부하 변화에 적응적으로 대처하지 못하여 단편 손실로 인한 재전송을 지연시간이 증가하는 단점이 있다.

AMP-MAC 프로토콜[15]은 S-MAC 프로토콜의 메시지 전달 기법에 적응성을 제공하는 메커니즘이다. 이 기법에서는 긴 메시지를 전송하기 전에 단편의 크기를 미리 결정하지 않고 트래픽 부하에 따라 단편의 크기를 결정하도록 한다. 만약 트래픽 부하가 가볍다면 송신자는 단편의 크기를 증가시켜 전체 메시지를 신속하게 전송하기 때문에 좀 더 일찍 수면 상태가 된다. 이로 인하여 노드의 활동 시간이나 제어 패킷 전송 수가 줄어들어 전체적으로 에너지 소비를 절감할 수 있다. 반면에 트래픽 부하가 높으면 송신자는 패킷 충돌이나 재전송 비용을 줄이기 위해 단편의 크기를 줄인다. 단편의 크기가 작으면 전송 효율이 높아져서 전송 오류가 감소하기 때문에 에너지 낭비를 줄일 수 있다. 이처럼 트래픽 부하 상태에 따라 단편의 크기를 적응적으로 조절하는 것은 고정된 단편의 크기로 전송할 때 보다 더 많은 에너지를 절감할 수 있다. 그림 1은 IEEE 802.11, S-MAC, AMP-MAC 등과 같은 기존 MAC 프로토콜에서 제공하는 메시지 전달 기법을 비교하여 설명한 것이다.

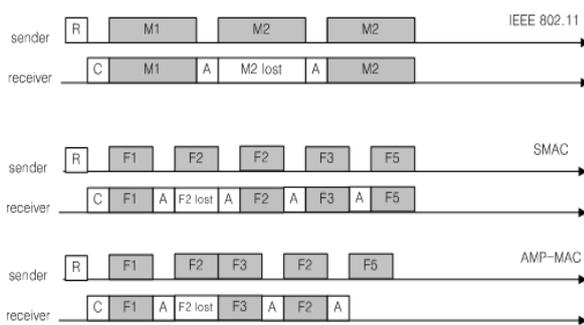


그림 1. 메시지 전달 기법 비교

Fig. 1. Comparison of Message Passing Schemes

3. 비동기 적응형 메시지 전달 기법

3.1 제안된 메시지 전달 기법

본 논문에서 제안하는 기법은 S-MAC의 메시지 전달 기법을 기반으로 하며, 트래픽 부하 변화와 패킷 손실 원인에 따라 손실 패킷을 비동기적으로 재전송하는 기법이다. 기존의 IEEE802.11과 S-MAC에서는 트래픽 부하에 관계없이 에너지 소비를 줄이기 위해 긴 메시지를 일정한 크기의 단편으로 나누었기 때문에 전달 지연시간이 길어지는

문제가 있다. 이 문제를 해결하기 위해 AMP-MAC에서는 트래픽 부하에 따라 단편의 크기를 동적으로 조절하여 제어 패킷의 오버헤드를 줄이고 메시지 전체 전달 시간을 줄이도록 하였다. 그러나 패킷 손실이 통신 채널에서 전송 중에 발생하는 오류인지 아니면 혼잡으로 인한 오류인지 구분하지 않고 모두 혼잡 손실로 간주하고 단편의 크기를 조절하였기 때문에 잘못된 네트워크 상태 정보로 단편 크기를 조절하게 되어 패킷 손실이 높아지게 되어 결국 에너지 낭비가 심하게 발생된다는 문제점을 지니고 있다.

따라서 제안된 기법에서는 패킷 손실 원인과 트래픽 부하에 따라 단편의 크기를 동적으로 결정하여 제어 패킷 오버헤드를 줄이고 재전송으로 인한 에너지 낭비와 지연시간을 줄이도록 한다. 또한 모든 단편에 단편 번호를 설정하여 단편이 손실되면 ACK 패킷에 손실된 단편 번호를 전송하여 송신측에서 손실된 단편만 선택적으로 재전송할 수 있도록 한다.

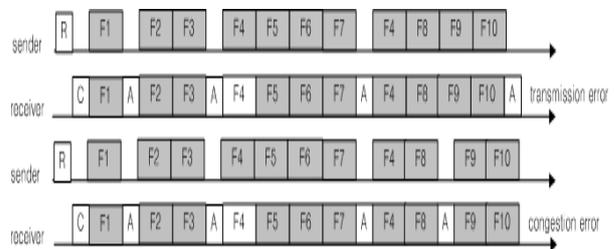


그림 2. 비동기 적응형 메시지 전달기법

Fig. 2. Asynchronous and adaptive message passing scheme

그림 2는 전송 오류와 혼잡 오류에 따라 패킷 손실 원인을 구별할 수 있는 손실 차별화 전략과 트래픽 부하에 따라 단편의 크기를 적응적으로 조절하는 과정을 설명한 것이다. 만약 단편 4가 혼잡으로 인하여 손실되었다면 전송률을 지수배로 증가시킨다. 그렇지 않고 무선 오류에 의한 손실로 판단된다면 현재의 단편 크기를 그대로 유지한다. 또한 손실된 단편만 전송받기 위하여 수신 노드는 단편 번호를 ACK 패킷에 포함시켜 송신노드에게 보낸다.

3.2 패킷 손실 차별화 전략

패킷 손실 차별화 전략은 센서 노드의 버퍼 큐에서 오버플로우(overflow)로 인하여 발생한 혼잡 손실(congestion loss)인지 아니면 무선 채널에서 전송 중에 발생하는 전송 손실(transmission loss)인지를 결정한다[16][17]. 제안된 기법에서는 패킷 손실 특성에 따라 단편 크기를 결정하기 때문에 네트워크의 상태를 좀 더 정확히 예측할 수 있다. 일반적으로 트래픽 부하가 높을 때에는 센서 노드에 도착하는 데이터 패킷이 급증하기 때문에 혼잡 오류로 패킷 손실이 높아진다. 그러나 무선 채널은 다수의 노드들이 동시적으로 패킷을 전송을 한다면 노드들 간의 패킷 충돌이나 간섭으로 패킷이 손실되기 쉬운 공유 매체이다. 특히, 전송 오류로 인한 패킷 손실을 혼잡 손실로 잘못 판단하고 단편의 크기를 줄인다면, 전체 메시지를 전송하는데 필요한 시간이 증가되고 단편들의 전송 수도 늘어난다. 무선 오류의 원인은 트래픽 부하가 높아서 발생하기 보다는 채널 경쟁의 문제이기 때문에 단편 크기를 현 상태로 유지하도록 해야한다. 송신자는 손실된 단편의 원인을 알 수 없기 때문에

수신자에서 패킷 도착간 시간(inter-arrival time)을 이용하여 손실 원인을 결정할 수 있도록 한다. 식 (1)은 패킷 도착간 시간을 이용한 지시 변수(I_{ij})을 정의한다.

$$I_j = \begin{cases} 1 & \text{if } (n)T_{min} \leq T_k \leq (n+1)T_{min} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

식 (1)에서 I_j 는 두 노드간의 링크가 (i, j) 이고 n 개의 패킷이 손실 되었을 때 수신자(n_j)에서 손실 원인을 결정하는 지시 변수이다. T_k 는 수신기에 연속적으로 도착한 두 패킷이 p_k 과 p_{k+n+1} 일 때 두 패킷의 도착 시간의 차이를 의미한다. p_k 는 k 번째 패킷이고 T_{min} 은 최소 도착간 시간 간격이다. 만약 $I_j=1$ 이면 수신자에서는 전송 오류로 인한 전송 손실로 판단하고 ACK 패킷을 송신자에게 보낸다.

3.3 메시지 전달 메커니즘

제안된 알고리즘은 전송된 단편이 손실되었을 때 패킷 손실의 원인을 결정하는 패킷 손실 차별화 전략과 트래픽 부하 변화에 적응적으로 대처할 수 있는 상황인지형 메시지 전달 방식을 기반으로 한다.

On the Relay's Operation

```
IF  $nT_{min} \leq T_k \leq (n+1)T_{min}$  THEN
    set  $I_j = 1$ 
ELSE
    set  $I_j = 0$ 
ENDIF
```

On the Sender's Operation

```
IF (ACK packet isn't received)
    IF ( $I_{j-1} == 1$ )
        IF ( $frag(i) < Minfrag$ )
             $frag(i+1) = Minfrag$ 
        ELSE
             $frag(i+1) = frag(i)/2$ 
        ENDIF
    IF ( $I_{j-1} == 0$ )
         $frag(i+1) = frag(i)$ 
    ENDIF
ELSE (ACK packet is received)
    IF ( $frag(i) > Maxfrag$ )
         $frag(i+1) = Maxfrag$ 
    ELSE
         $frag(i+1) = frag(i)*2$ 
    ENDIF
ENDIF
```

그림 3. 비동기 적응형 메시지 전달 알고리즘

Fig. 3. Asynchronous and adaptive message passing algorithm

그림 3은 제안된 메시지 전달 알고리즘의 전체 구조를 나타낸 것이다. 제안된 기법에서는 수신자에서 패킷 손실

이 혼잡 손실인지 전송 손실인지를 판단하는 부분과 송신자에서 수신된 ACK 패킷을 기반으로 트래픽 부하에 따라 단편의 크기를 조정하고 손실된 패킷을 재전송하는 부분으로 구성되어 있다. 만약 현재 중계 노드(j)가 이전 송신자($j-1$)로부터 전송된 단편의 순서 번호의 차이를 기반으로 하여 지시값(I_{j-1})이 $I_{j-1}=1$ 라고 설정되면 전송 오류로 인한 패킷 손실로 판단하고 단편의 크기를 변경하지 않는다. 그렇지 않고 만약 지시값이 $I_{j-1}=0$ 라면 패킷 손실의 원인을 혼잡 손실로 판단하며 동시에 트래픽 부하가 높다고 결정하고 단편의 크기를 반으로 줄인다. 또한 손실된 단편을 전송될 단편의 크기에 포함시켜 함께 전송한다. 이와는 반대로 트래픽 부하가 가벼울 경우에는 단편의 크기를 두 배로 증가시켜 전송하는 과정을 최대 단편 임계치 ($MaxFrag$)까지 증가시킬 수 있다.

4. 성능 평가

4.1 시뮬레이션 모델

본 논문에서 제안된 비동기적인 적응형 메시지 전달 (AAMP: Asynchronously Adaptive Message Passing) 기법의 실험을 위해 NS-2[9][18] 시뮬레이션 도구를 사용하였다. 성능 평가를 위해 S-MAC과 AMP-MAC 기반의 메시지 전달 기법들과 제안된 기법과 에너지 소모량을 비교하였다.

시뮬레이션은 50개의 노드로 구성된 랜덤 토폴로지에서의 임의의 발신 노드들이 중앙에 위치한 싱크 노드에게 센싱 정보를 전달하는 시나리오를 가정하였다. AAMP 기법의 성능 측정 기준으로 센서 네트워크에서 발생하는 트래픽 부하 변화에 따른 각 센서의 평균 에너지 소모량을 사용한다. 시뮬레이션 시나리오에서 임의의 소스에서 메시지의 전송 간격(inter-arrival)을 2초에서 16초의 범위로 설정하여 트래픽 부하를 점진적으로 높였다. 전체 시뮬레이션 시간은 700s 으로 하였다. 표 1은 본 논문에서 사용된 기본적인 시뮬레이션 파라미터 값들을 나타낸 것이다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation Parameter

파라미터	값
simulation time	700
propagation mode	Two Ray Ground
routing protocol	DSR
initial energy	100J
the receive power	0.5J
transmit power	0.5J
idle power	0.05J
the sleep power	0.0005J
bandwidth	1Mbps
transmission range	200m
fragment size	50bytes~500bytes

4.2 시뮬레이션 결과

본 절에서는 성능 평가를 위해 MAC 기반의 단편화기법을 통하여 얻을 수 있는 에너지 절감 효과와 평균 에너지 소비량을 성능 측정 기준으로 사용하여 다른 기법들과 성능을 비교 및 분석한 내용을 기술한다.

그림 4는 단편 크기에 따른 에너지 소모량을 비교한 것이다. 이 실험은 50개의 노드로 구성된 네트워크에서 중앙에 싱크 노드와 가장 멀리 있는 두 개의 소스 노드 사이에 두 개의 흐름에서 발생하는 에너지 소모량을 측정하는 것이다. 실험 결과로부터 단편의 크기가 증가할수록 에너지 소모량이 줄어든다는 것을 알 수 있다. 에너지 소모량은 50 bytes의 단편(fragment)보다 250 bytes의 단편을 사용할 때 전체적으로 에너지 소모량이 적다.

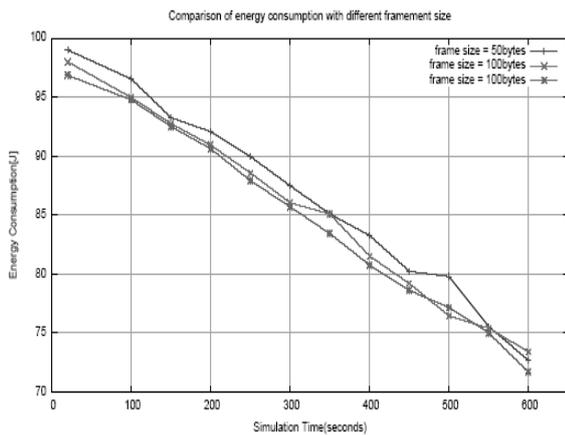


그림 4. 단편의 크기에 따른 에너지 소모량 비교
 Fig. 4. Comparison of energy consumption based on fragment size

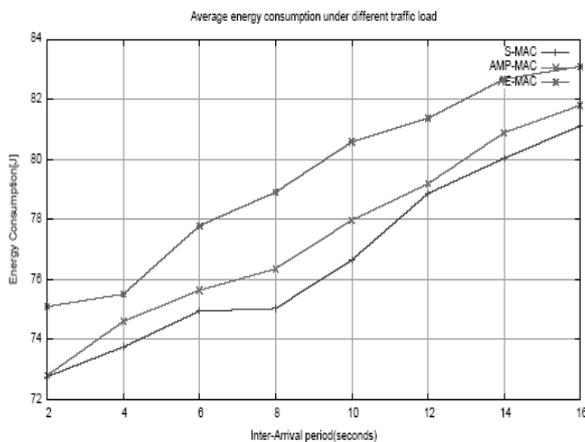


그림 5. 트래픽 부하 변화에 따른 평균 에너지 소모량
 Fig. 5. Comparison of energy consumption based on traffic variance

그림 5는 패킷의 전송 간격을 2초에서 15초까지 증가시키면서 에너지 소모량을 나타낸 것으로서, 고정된 단편 크기로 패킷을 전송하는 S-MAC에 비해 제안된 기법을 사용하면 에너지 소모량이 줄어드는 것을 알 수 있다. 이것은 트래픽 부하에 따라 단편의 크기를 조절하였기 때문에 AMP_MAC과 같이 전체 전송 수가 줄어들어 전체 에너지 소모량이 감소된 것을 의미한다. 또한 트래픽 부하 변화를 고려한 AMP-MAC보다 제안된 기법이 에너지 소모량이 감소되는 것을 알 수 있는데 이것은 송신 노드가 중계 노드가 제공하는 패킷 손실 원인 정보를 사용하여 네트워크 상태에 맞게 단편의 크기를 정확히 조절하였기 때문이다.

5. 결 론

본 논문에서는 오버히어링(overhearing), 휴지 대기(idle listening), 패킷 충돌, 제어 오버헤드 등과 같은 에너지 낭비 요인을 줄이기 위해 S-MAC 기반의 비동기적인 적응형 메시지 전달 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 패킷 충돌이나 간섭으로 전송오류와 버퍼 오버플로우로 인한 혼잡 손실을 구별하는 차별화 전략과 트래픽 부하 변화에 따라 단편의 크기를 적응적으로 조절하는 메커니즘이다. 이 메커니즘에서는 네트워크 상태를 좀 더 정확히 인지할 수 있는 패킷 손실 차별화 전략이 적용되었다. 이 전략을 통하여 전송 오류로 인한 패킷 손실을 혼잡 손실로 잘못 판단하여 단편의 크기가 줄어들어 결과적으로 전체 메시지의 전송시간이 증가되고, 그로 인하여 에너지가 낭비되는 문제를 해결할 수 있었다. 시뮬레이션 결과는 에너지 효율성 및 전송 지연 측면에서 S-MAC 기반의 메시지 전달 기법보다 제안된 기법이 보다 효과적인 것으로 평가되었다. 향후에는 지연시간에 민감한 응용들의 요구 조건을 충족시킬 수 있도록 QoS를 지원하는 MAC 프로토콜에 관한 연구가 필요하다.

References

- [1] H. Chenguang and S. Xuejun, "An Energy-Efficient Message Passing Approach in MAC Design for Wireless Sensor Networks," *IEEE International Conference On Circuits & Systems for Communications*, pp. 550-554, May 2008.
- [2] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramanian and E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks: A Survey," *Computer Networks(Elsevier)*, Vol. 28, No. 4, pp. 393-422, 2002.
- [3] I. Demirkol, C. Ersoy and F. Alagoz, "MAC Protocols for Wireless Sensor Networks: A Survey," *IEEE Communications Magazine*, pp. 115-121, Apr. 2006
- [4] W. Ye, J. Heidemann and D. Estrin "Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 12, No. 3, Jun. 2004.
- [5] F. Bennett, D. Clarke, J. B. Evans, A. Hopper, A. Jones, and D. Leask, "Piconet: Embedded mobile networking," *IEEE Personal Communications Magazine*, pp. 8-15, Oct. 1997.
- [6] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocols for Wireless Microsensor Networks," *in Proceeding of Systems Sciences International Conference*, pp. 3005-3014, Jan. 2000.
- [7] A. Woo and D. Culler, "A Transmission Control

Scheme for Media Access in Sensor Networks," in *Proceeding of ACM/IEEE International Conference Mobile Computing and Networking*, pp.221-235, Jul. 2001.

[8] K. sohrabi and G. J. Pottie, "Performance of a Novel Self-Organization Protocol for Wireless Ad-hoc Sensor Networks," in *Proceeding of IEEE 50th Vehicular Technology Conference*, pp. 1222-1226, 1999.

[9] The Network Simulator ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>, February,2013

[10] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," in *Proceeding of ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 56-67, Aug. 2000.

[11] Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specification, *IEEE Std. 802.11-1999 edition*.

[12] T. Van Dam and K. Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol fir Wireless Sensor Networks," in *Proceedings of ACM Sensys 2003*, pp. 171-180, Nov. 2003.

[13] L. Bing, Z. Lin, W. Yumei, Z. Huimin, "An Energy Efficient Medium Access Control for Wireless Sensor Networks," in *Vehicular Technology Conference*, pp. 208-211, Apr. 2007.

[14] V. Bharghavan, A. Demers, S. Shenker, and L. Zhang, "MACAW: A Media Access Protocol for Wireless Lans," in *Proceeding of ACM IGCOMM*, pp. 212 - 225, Sep. 1994.

[15] J. Xiao and G.a Zeng, "An Adaptive Message Passing MAC for Wireless Sensor Networks," *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing 2007 International Convergence*, pp. 2448-2451, Oct. 2007.

[16] S. Biaz and N. Vaidya, "Discrimination Congestion Losses from Wireless Losses using Inter-arrival Times at the Receiver," *IEEE Symposium on Application-Specific System and Software Engineering and Technology*, pp 10-17, Mar. 1999.

[17] S. Biaz and N. H. Vaidya, "Distinguishing Congestion Losses from Wireless Transmission Losses : A Negative Result," In *IEEE 7th International Conference on Computer Communications and Networks*, Oct. 1998.

[18] NS-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/index.html>..

저 자 소 개



정종균(Jong-Kyun Jeong)

1991년 : 조선대학교 화학과 공학사
 1993년 : 조선대학교 화학과 공학석사
 2011년~현재 : 군산대학교 정보통신공학과 박사과정
 2002~현재 : 타타대우상용차 선행기술팀 차장

관심분야 : Wireless Networking, Optimization, Mobile computing
 Phone : +82-63-469-3383
 E-mail : jkjeong@tata-daewoo.ac.kr



나인호(In-Ho Ra)

1988년 : 울산대학교 전자계산학과 공학사
 1991년 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 공학석사
 1995년 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 공학박사
 1995년~현재 : 군산대학교 정보통신공학과 교수

관심분야 : Ad hoc and sensor Network, Ubiquitous Computing, Smart Grid, Embedded System
 Phone : +82-63-469-4697
 E-mail : ihra@kunsan.ac.kr