

무선 센서 네트워크 환경에서 노드의 에너지 소비 절감을 위한 파워 제어 프로토콜

정희원 한 정 안*, 준희원 김 윤 형*, 정희원 김 병 기**

Power control protocol for reduction of energy consumption in Wireless Sensor Networks

Jung-ahn Han*, Yun-hyung Kim*, Byung-gi Kim *Regular Members*

요 약

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks)는 일상 환경 또는 인간의 직접적인 통제가 미치지 못하는 곳의 감시, 정보 수집 등의 다양한 응용이 가능한 기술로써 유비쿼터스 네트워크 환경의 적용을 위해 많은 연구가 진행 중이다. 센서 네트워크 연구의 중요한 이슈 중의 하나는 에너지의 효율적인 사용을 통한 노드의 생존시간의 연장을 위한 연구인데, mac, routing 계층에서의 다양한 알고리즘이 제안되고 있다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크를 구성하는 노드들의 중복 메시지 송, 수신으로 인한 에너지의 불필요한 낭비를 줄이기 위하여 active 시그널을 이용한 Mac 프로토콜을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 그 성능을 분석하였다.

Key Words Wireless Sensor Network, Mac protocol, energy consumption, redundant message

ABSTRACT

Wireless Sensor Networks are the technology, in which various applications such as surveillance and information gathering are possible in the uncontrollable area of human. And numerous studies are being processed for the application of ubiquitous network environment. One of major issues in sensor network is the research for prolonging the lifetime of nodes through the use of various algorithms, suggested in the mac and routing layer. In this paper, aiming at reducing energy waste, caused by redundant transmission and receipt message, we propose the mac protocol using active signal and analysis performance through simulation.

I. 서 론

최근 새로운 이동 컴퓨팅과 통신 분야의 여러 분야에 이용될 수 있는 마이크로 센서 네트워크(Sensor Network)에 대한 관심이 증대되고 있으며 연구소 및 대학에서 연구가 활발히 진행되고 있다. 센서 네트워크란 환경 모니터링, 의료 시스템, 로봇 탐사 등과 같은 다양한 분야에 응용될 수 있는 네트워크 기술로써 다수의 노드들은 근접한 거리 또는 실내환경에서 센

싱 능력과 정보처리 능력, 그리고 무선 통신 능력을 가지며 multi hop 무선 네트워크를 구성하여 정보를 제공한다[1, 2, 3]

현재 센서 네트워킹 관련 연구는 미국을 중심으로 UC Berkely의 MICA, Rockwell의 WINS, UCLA의 iBagde, MIT의 u-AMPS 등 노드의 개발과 UC Berkely의 Tiny OS와 같은 운영 체제의 개발과 함께 네트워크 각 계층에 따른 요구사항을 만족시키기 위한 프로젝트가 진행되고 있으며 일본과 유럽에서도

* 숭실대학교 컴퓨터학과 컴퓨터구조연구실 (dawn dew11@ssu.ac.kr, yhkum602@archu.ssu.ac.kr),

** 숭실대학교 정보과학대학 컴퓨터학부 (bgkum@comp.ssu.ac.kr)

논문번호 #KICS2004-08-130, 접수일자 2004년 8월 3일

※본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음

유비쿼터스 네트워크를 실현하기 위한 한 분야로서 연구가 활발히 진행되고 있다

현재 개발되는 대부분의 센서 네트워크의 각 노드는 1센티미터 내외의 작은 크기를 가지며 100 μ W 내외의 전력을 소비하는 노드들이 다량으로 한 지역에 흩어져서 망을 구성하도록 설계된다[4, 5] 또한, 센서 네트워크는 ad hoc 네트워크 노드와 비교할 때 훨씬 많은 수의 노드가 밀집된 망을 구성하고 있으며, 노드들이 에러가 발생할 수 있는 가능성이 높으며, 토폴로지가 매우 자주 변하는 특성을 가지고 있다. 또한 ad hoc망과 달리 센서 네트워크는 브로드캐스트 방식을 이용하여 노드간의 통신이 이루어 진다 무엇보다 작은 크기와 외부 환경에 고정 또는 노출되어 있는 노드의 특성상 센서 네트워크의 노드들은 전력을 임의의 시간에 공급받기보다 매우 제한된 전력을 이용하여 주어진 임무를 수행하여야 하는 특성을 가지고 있다 이러한 네트워크의 특성으로 인해 기존의 무선 네트워크 및 무선 ad hoc 네트워크 환경에서 제안된 많은 프로토콜들이 센서 네트워크 환경에 적합하지 않은 경우가 많기 때문에 새로운 환경에 맞는 프로토콜이 제안되어야 한다. 특히, 일부 노드가 전력을 모두 소비하여 제 기능을 수행하지 못하는 경우에 네트워크의 토폴로지의 변경을 가져오게 되고 또한 경로재설정 및 재 송신을 요구해야하는 상황이 발생되기 때문에 전력의 효율적인 관리는 센서네트워크에 있어서 해결해야 하는 가장 중요한 연구 분야 중의 하나이다[3].

현재 물리 계층, 전송 계층 및 네트워크 계층에서의 전력 소비효율의 극대화를 위한 연구가 진행되고 있는데 본 논문에서는 MAC 프로토콜의 관점에서 에너지 소비의 효율을 높이기 위한 알고리즘을 제안하고 성능을 평가한다 본 논문의 구성은 다음과 같다. 다음 장에서는 센서 네트워크 환경에서의 MAC 프로토콜의 요구사항을 살펴보고 3장에서 기존에 제안된 MAC 프로토콜을 살펴본다 4장에서 본 논문에서 제안하는 MAC프로토콜을 설명하고 5장에서 시뮬레이션을 통해 그 성능을 평가하였다. 마지막으로 6장에서 결론 및 향후 연구과제를 기술하였다

II. MAC protocol for Sensor networks

제한된 무선 자원을 보다 많은 수의 노드들에게 할당하기 위한 MAC 프로토콜은 센서네트워크 환경에서 전체 망의 성능에 큰 영향을 미칠 수 있는 중요한

부분을 차지한다. MAC 프로토콜의 설계에 있어서 기존의 셀룰라 네트워크, Wireless LAN, ad-hoc 무선 네트워크 환경에서 일반적으로 사용자에게 높은 QoS를 보장하기 위하여 대역폭과 채널의 공정한 배분과 최소의 지연, 그리고 처리량을 높이기 위한 알고리즘이 연구되어 왔다[4, 6]. 기존의 네트워크 환경은 에너지 지원의 사용에 있어서 비교적 제한을 받지 않기 때문에 에너지 사용을 고려한 알고리즘은 차후의 문제로 고려되어 왔다 하지만 센서네트워크에서 노드에서의 에너지 소비와 이에 따른 생존시간 문제는 전체 망의 성능에 큰 영향을 미칠 수 있기 때문에 기존의 알고리즘은 이에 맞게 수정되어야 한다.

무선 네트워크 환경에서 에너지의 소비가 이루어지는 때는 데이터의 송·수신 작업이 주를 이루지만 데이터의 충돌로 인한 재 전송, 관리 패킷(control packet)의 오버헤드, implosion 및 overlap으로 인한 중복된 메시지의 수신(over hearing) 그리고 대기 모드로 인한 불필요한 전력의 사용은 센서 네트워크 노드들이 가지는 극히 제한된 전력과 비교하여 큰 에너지 손실을 가져올 수 있다 실제로 개인 이동통신 단말의 경우에 대기 모드의 에너지 소비율은 수신 모드의 약 95%, 송신 모드의 약 71%를 차지하며[7], 2Mbps 802.11 무선 랜의 환경에서 대기수신 송=1 2:2 5비율로 에너지가 소비되는 것으로 나타나 있다[8] 따라서 센서네트워크의 MAC프로토콜을 설계할 때 이와같은 에너지 소비 요소들을 고려하여 각 노드들의 생존 시간을 최대화 하기 위한 노력이 필요하다.

III. 관련 연구

현재 연구되고 있는 센서 네트워크 환경을 위한 MAC 프로토콜은 UC Berkely, UCLA, MIT 등에서 주도적으로 개발이 이루어지고 있으며 많은 경우 네트워크를 구성하는 노드들의 생존 시간을 향상시키기 위한 노력이 계속되고 있다 제안된 방법은 각 노드가 데이터를 전송할 때 충돌을 회피함으로써 재 전송의 확률을 낮추는 방법과 프레임의 길이를 조절하여 최소한의 길이를 갖는 프레임을 전송함으로써 비트당 에너지 소비를 줄이는 방법, 그리고 브로드캐스팅된 정보의 overhearing을 낮추기 위한 방법과 각 노드의 파워를 직접 관리하는 방법 등으로 구분할 수 있다. Medium access 방식으로는 크게 TDMA 방식을 중심으로 한 Centralized 방식과 CSMA 방식을 중심으로 한 distributed방식으로 구분할 수 있다 [1, 9, 10].

먼저, wireless ad-hoc 환경에서 제안된 Power Aware Multi-Access protocol with Signalling for Ad Hoc Networks(PAMAS)은 한 노드에서 목적지 노드로 데이터를 전송할 때 이웃 노드들의 overhearing으로 인한 불필요한 에너지의 낭비를 막기 위해서 overhear 전송일 경우 대기(idle)상태에서 파워를 off하도록 하는 알고리즘을 제안하였다[11] 하지만 PAMAS는 idle모드를 배제하지 못하였고 파워를 다시 on하는 시기를 결정하기 위한 절차가 필요하다 Low power distributed MAC 프로토콜[12]은 대기 상태에서의 에너지 소비를 최소화 하기 위해서 wake up 신호를 이용하여 필요한 경우 노드의 파워를 on상태로 변경함으로써 노드의 생존시간(life time)을 늘렸다. 하지만 overhearing 문제를 근본적으로 해결하지 못하였다 DEANA 프로토콜은 NAMA 프로토콜을 기반으로 하여 송·수신모드의 스케줄링에 속하지 않은 노드는 저전력 모드로 변경되도록 하였다[13].

LEACH 프로토콜[14]과 같은 무선 ad hoc 센서 네트워크에서 클러스터 관리 노드를 두어 다중 접근이 가능하도록 하는 방식이 제안되었다 S. Coleri, A Puri와 P Varaiya는 에너지 공급의 제한이 없는 AP(Access Point)를 이용하여 TDMA 망을 구성하였으며[9], W Ye, J Heidemann, D. Estrin은 대기시간 동안의 에너지 소비를 감소시키기 위해 각 노드가 주기적으로 listening 모드와 sleep 모드를 갖도록 하는 S-MAC[1]을 제안하였다 또한 UCLA에서 제한한 SMACS 과 EAR[15]에서는 base station과 같은 장치 없이 지역 노드간에 TDMA 망을 구성하는 방법을 제안하였다. 데이터를 송·수신할 때 한 번에 두 노드 간에만 super frame 구조를 이용하여 통신이 이루어지도록 하였다 그러나 이와같이 TDMA 방식을 중심으로 한 centralized MAC프로토콜은 contention based 방식과 비교해서 충돌의 위험을 줄일 수 있기 때문에 에너지 소비의 효율을 높일 수 있으나 망의 상태가 자주 변화하고 또한 노드의 추가와 같은 망의 확장에 유연성이 떨어지는 단점을 가지고 있다 그밖의 에너지 소비를 감소하기 위한 MAC 프로토콜로서 MAC header의 오버헤드를 줄임으로써 비트당 에너지 소비를 낮추는 방법[16] 등이 제안되었다.

IV. Message redundancy

무선 ad hoc 센서 네트워크에서 노드의 가용 수명 시간을 고려해야 하는 이유는 무선 인터넷, 개인 휴대 통신과 같이 배터리를 사용자가 필요한 경우 교체

가 언제든지 가능하지만 센서 노드들의 경우 센서의 가격, 위치, 특성 등을 고려할 때 전력을 공급하는 것이 용이하지 않기 때문이다 그렇기 때문에 센서 네트워크 환경에 있어서 필요하지 않은 에너지 소비를 최소화 하는 것이 필요하며 각 계층마다 이를 위한 연구가 진행되고 있다.

센서 네트워크를 구성하는 노드 간의 통신은 브로드캐스팅 방식을 이용하여 정보를 전달한다. 최소한의 포워딩 노드의 개수를 구하는 것은 NP-complete 문제이며 노드들이 중복된 데이터를 수신하는 문제가 발생되기 때문에 MAC 계층에서의 전력의 불필요한 소비를 줄이기 위한 노력이 필요하다[17,18] 한 노드와 노드의 전송 영역 안에 있는 모든 노드들이 메시 형태로 연결되는 경우 한 노드의 영역 안에 포함되는 노드의 수는

$$NPA = \frac{S_n \cdot \pi a^2}{\int f(x) dx} \tag{1}$$

가 된다 이 때, S_n 은 단위 지역에 위치하는 노드의 수, a 는 노드의 파워가 미치는 범위이다[18].

또한 각 노드에서 이웃노드들에게 정보를 전달한다고 가정할 경우 그림 1과 같이 대부분의 노드에서 중복된 메시지를 수신하게 된다. $N \times N$ 으로 이루어진 센서네트워크 망에서 정보의 송신에 필요한 전력을 W_t , 수신에 필요한 전력을 W_r 라고 하면, $(N,1)$ 노드에서 $(1, N)$ 까지의 모든 노드로 데이터를 전송할 경우, 가장 이상적으로 데이터를 전송할 경우와 중복된 데이터를 수신하는 경우 전체 망을 구성하는 노드들의 에너지 소비 총합은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Ideal } W_T &= 2(N-1)W_{t,r} \\ \text{Redundancy } W_T &= (N-1)\{W_{t,r}(N+1) + (N-1)W_r\} \end{aligned} \tag{2}$$

또한 그림 1과 같은 형태의 토폴로지에서 전체 노드에 대한 중복 수신 노드의 비율은 노드가 가지는 차수에 따라 식(3)과 같이 나타낼 수 있다. 중복 메시지의 발생은 네트워크를 구성하는 노드의 평균 차수에 비례하여 발생할 수 있으며, 같은 평균차수를 가지는 경우 $d \propto W_T$ 이므로 편차가 클 경우에 차수가 큰 노드에 트래픽이 집중할 경우 그 이웃 노드들의 전력 소비가 증가하게 된다. 따라서 차수의 고른 편차를 갖도록 효과적인 토폴로지의 관리도 필요하다

$$\frac{(N-1)^2}{N^2} \quad (d=2)$$

$$\frac{N-1}{N} \quad (d=3)$$

$$\frac{N^2-5}{N^2} \quad (d=4)$$

(3)

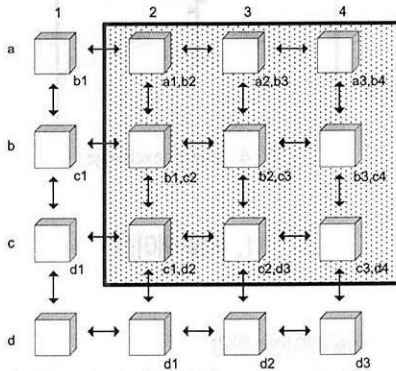


그림 1. 중복 메시지 수신 노드

V. Design of MAC

중복 메시지 수신으로 인한 전력의 손실을 막기 위하여 노드의 파워를 컨트롤 할 수 있는 signal 메시지를 이용한다. 무선 센서 네트워크의 클러스터 영역 안의 노드들은 기본적으로 데이터의 송·수신을 하지 않을 경우 파워를 off 모드 상태로 존재한다. Idle 모드로 대기 하는 경우에는 각 노드는 주기적인 모니터링 작업 등으로 인한 전력의 소비가 필요하지만 off 모드일 경우 기본적으로 노드가 동작을 하지 않기 때문에 최소한의 전력의 소비가 일어나게 된다. 한 노드가 정보를 이웃 노드에게 송신해야 할 경우 그림 2와 같이 송신 노드는 데이터를 송신하기 전에 active signal을 이웃 노드들에게 전송함으로써 off 상태의 노드를 정보의 수신이 가능한 on 상태로 노드의 동작을 활성화 시킨다.

한 노드로부터 메시지를 수신받은 이웃노드는 자신이 받은 메시지를 active signal을 이용하여 또다른 이웃노드들에 전송한다. active signal의 패킷 구조는 그림 3과 같다. 제어부를 제외한 active signal 패키지는 데이터 전송할 때 브로드캐스팅하는 이웃노드들의 전원을 On/Off 상태로 변경하기 위한

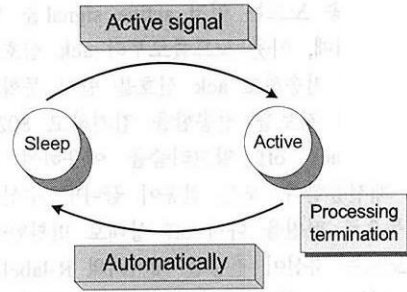


그림 2. 노드의 파워 on/off

active code부와 중복 데이터의 수신과 재 전송을 방지하기 위한 Recognition label(R-label)로 구성된다. active code는 노드의 전원의 on/off를 제어할 수 있도록 인코딩된 k비트 신호로 이루어져 있으며 R-label은 n bit의 랜덤 bit로 구성되어 전송노드의 이웃노드가 이전에 수신한 데이터인지의 여부를 판단한다. 이는 임의의 여러 노드에서 메시지가 발생하는 경우 또는 두 개 이상의 Sink가 노드들에게 메시지를 전송하는 경우 등과 같이 센서 네트워크 내에 브로드캐스팅되는 여러 메시지 프레임이 존재하는 경우에 필요하다. 일반적으로 N개의 노드로 구성되어 있는 네트워크에서 노드 수 만큼의 id를 사용할 수 있을 때, 중복된 id를 사용하지 않고 데이터를 전송할 확률은 다음과 같다.

$$p(N) = 1 - \sum_{k=1}^N \left(\prod_{n=0}^k \frac{1}{N-n} \right) \quad (3)$$

N개의 노드로 구성되어 있는 네트워크에서 전송한 데이터를 확률적으로 구분하기 위해서 필요한 비트 수 $f(N)$ 은 다음과 같이 정의될 수 있다. 여기서 $\langle d \rangle$ 는 임의의 수d보다 큰 최소의 정수를 의미한다.

$$f(N) \approx \langle \log_2 N \rangle \quad (4)$$

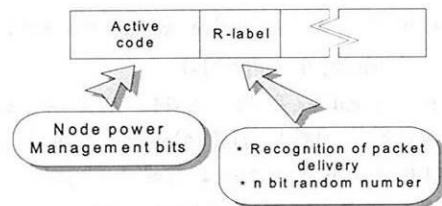


그림 3. active signal 구조

노드에서 송·수신하는 데이터와 signal의 흐름은 그림 4와 같다. 한 노드에서 정보를 이웃노드에게 송

신할 경우 전송 노드는 먼저 active signal을 브로드 캐스팅한다. 이때, 이웃 노드들로부터 ack 신호를 받으면 데이터를 전송하고 ack 신호를 받지 못할 경우 이웃 노드들이 정보를 전송함을 감지하고 802.11의 exponential back off 알고리즘을 이용하여 active signal을 재전송한다. 모든 전송이 끝나면 수신 노드들은 자동으로 전원을 다시 off 상태로 변환한다. 이때, 각 노드는 자신이 전송한 데이터의 R-label을 저장할 수 있는 m 개의 버퍼를 가지고 있으며, active signal을 받은 수신 노드는 R-label을 검사하여

$$R - label \text{ in buffer } \oplus \text{ received } R - label$$

가 0일 경우, 송신 노드가 자신을 제외한 나머지 이웃 노드들에게 브로드 캐스팅 할 수 있도록 ack_red. signal을 전송하고 전원을 off 상태로 유지하며 받은 active signal 패킷을 폐기시킨다. 수신 노드가 자신의 버퍼에 있는 R-label값과 일치하지 않음을 확인했을 때, 수신노드는 송신노드에게 ack signal을 전송하고 데이터를 전송받는다. active signal 패킷을 이용하여 노드의 전력을 제어할 때 이웃 노드로부터 브로드캐스팅 되어 들어오는 패킷에 따라 전원을 선택적으로 on상태로 변경하여 데이터를 받으므로 overhearing을 최소화 할 수 있으며 대기 상태에서 소비되는 전력을 줄임으로 전체 전력 소비의 문제를 향상시킬 수 있다. 그림 1과 같은 환경에서 총 소비되는 에너지는 다음과 같다.

$$(N + 1)(N - 1) \{ W_{rt} + W_{active} \} + \delta_w \quad (5)$$

따라서 제안하는 알고리즘을 이용하여 중복 데이터의 수신을 최소화 하였을 때 기존의 방식에 대한 에너지 소비는

$$W_T = \frac{\{ W_{rt}(N + 1) + (N - 1)W_t \} + \delta_w}{(N + 1) \{ W_{rt} + W_{active} \} + \delta_w} \quad (6)$$

이된다. 여기서 δ_w 는 active signal 의 재전송으로 인한 추가 에너지의 소비량이다.

Active signal과 유사한 효과를 보일 수 있도록 Mac 프레임의 시퀀스 ID를 이용하여 전송할 수 있다. IEEE 802.15.1, 802.15.4 등에서 사용되는 1byte 의 시퀀스 ID를 사용하여 메시지의 중복을 최소화 할 수 있다. 그러나 복수의 Sink가 존재할 경우, 또는 sink 및 새로운 노드의 추가, 삭제가 발생할 경우 대처가 어렵다.

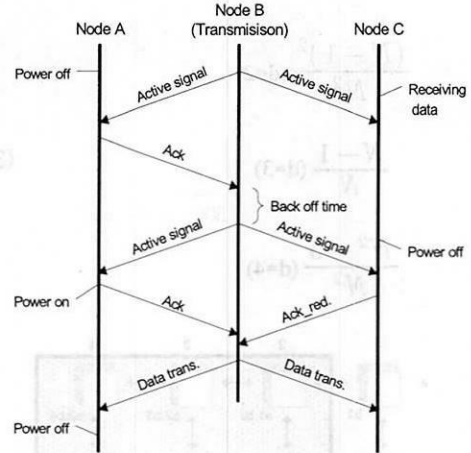


그림 4. signal exchange

VI. 시뮬레이션

6.1. 시뮬레이션 환경

본 논문에서는 중복 데이터의 수신 여부에 따른 에너지 소비의 차이의 검증에 초점을 맞추어 무선 센서 네트워크 패킷 전송 시뮬레이터를 구현하여 성능을 평가하였다. 성능의 평가는 본 논문에서 제안하는 active signal을 사용하여 파워를 제어하는 방식과 active signal의 R-label이 없이 파워를 제어하는 방식, 그리고 패킷의 sequence ID를 R-label과 대체하여 사용하는 방식을 서로 비교하였다. 각 센서 노드들은 임의로 네트워크 영역에 배치되고 데이터 전송 중에 토폴로지의 변화는 일어나지 않는다. 또한 본 논문에서는 브로드 캐스트되는 메시지 패킷은 하나의 Sink에서 하나의 메시지를 전송하는 것으로 가정하였다. 전송되는 데이터 패킷은 500~1500byte의 길이를 전송할 수 있도록 하였으며, 파워의 제어에 이용되는 active code의 에너지는 약1.04μW이고, 비트당 에너지 소비는 0.13μJ/bit 만큼 소비된다. 시뮬레이션에 사용된 환경은 표 1과 같다.

6.2. 시뮬레이션 결과 및 분석

표 1에서 사용된 성능 파라메타를 이용하여 그림 6부터 그림 8까지 노드의 수, Sink의 개수, 그리고 노드의 평균 차수에 따른 에너지의 소비 및 에너지 절감율의 실험 결과를 그래프로 표시하였다. 또한 그림 9, 그림 10에 Sink의 수와 사용된 R-label의 비트수에 따른 에너지 소비를 실험을 통해 측정하였고 사

표 1. 시물레이션 파라메타

구분	적용	
Number of Nodes	10~100개	.
Sink	2~6	random location
Transmission packet	500~1500 Byte	.
R-label	3~8bit	.
buffer size	1~10	packet storage
Re-transmission	랜덤	.
Energy Consumption	0.13μJ/bit	.
Active code	1.04μW	power control
Sequence ID	1 Byte	.

용된 버퍼 크기에 따른 에너지 소비를 측정함으로써 안정된 데이터의 전송에 필요한 버퍼의 크기를 분석하였다.

그림 6은 단순한 파워 컨트롤 방식에 대한 노드의 수에 따른 전체 네트워크 구성 노드의 에너지 소비 절감을 나타내었다. 평균 3 degree_4 Buffer size_단일 Sink_6 bit R-label 의 환경에서 에너지 절감율은 노드의 수에 관계없이 비교적 비슷한 결과를 보인다. 이 경우 평균 차수에 의한 중복 메시지의 수신 여부에 따라 기존의 방식과 R-label 및 시퀀스 ID의 사용에 의한 에너지 소비의 차이가 생기는 것으로 분석할 수 있다.

그림 7은 센서 네트워크를 구성하는 각 노드들의 평균 차수에 따른 에너지 소비의 추이를 R-label의 사용과 파워 제어만을 사용한 경우를 비교하여 나타내었다. 50 node_ 6 bit R-label_ 4 Buffer size_단일 Sink 환경에서 R-label이 사용된 경우 노드의 평균 차수와 관계없이 거의 동일한 메시지의 송, 수신 절차가 이루어짐으로 에너지의 소비가 고른 분포를 보이는 반면, 단순한 파워 제어만을 사용한 경우 노드의 차수가 늘어남에 따라 중복 수신 데이터의 양이 늘어남으로 에너지의 소비도 함께 증가함을 보인다. 따라서 R-label의 사용은 센서 네트워크를 구성하는 노드가 조밀하게 분포되어 있는 경우 및 각 노드들이 메쉬 형태와 같은 각 노드간의 연결이 다대다 형식의 토폴로지를 이루는 환경에서 기존의 방식과 비교하여 에너지의 소비가 현저하게 감소됨을 알 수 있다.

그림 8은 50 node_평균 3 degree_8 Buffer size_6 bit R-label의 환경에서 센서 네트워크를 구성하는 노드와 Sink의 수에 따른 에너지 소비의 관계를 나타낸 것이다. 기존의 방식을 따르는 경우 Sink의 수가 증가함에 따라 처리 메시지 증가와 중복 수신 결과로 에너지의 소비가 증가하지만 R-label 및 시퀀스 ID를 사용하는 경우 기존의 방식과 비교하여 어떠한 경우에도 45% 내외의 에너지 절감율을 보인다. 본 시물레이션에서는 시퀀스 ID를 사용하는 경우 각 Sink마다 고유한 ID를 사용하여 노드들이 Sink를 구분할 수 있도록 하였다.

그림 9는 50 node_평균 4 degree_6 Buffer size 환경에서 R-label의 크기와 Sink노드의 수와의 에너지 소비 관계를 그래프로 나타낸 것이다. 단일 Sink의 경우 R-label의 비트 수와 큰 관계없이 비슷한 수준의 에너지 소비를 보이는 반면 5 개의 Sink로 구성된 센서 네트워크의 경우 R-label의 비트 수에 따라 큰 에너지 소비의 차이를 보인다. 그 이유는 1bit의 R-label이 사용되는 경우, 최적인 상황 하에서도 2 Sink를 구분해 낼 수 밖에 없으므로 최소한 3bit의 R-label을 필요로 하는 위와 같은 경우 각 Sink에서 발생된 패킷의 구분이 명확하지 못하다. 따라서 전체 패킷을 전송하지 못하고 같은 메시지로 간주되는 현상으로 인해 에너지의 소비가 1bit의 R-label을 사용하는 경우 오히려 적게 일어나는 결과를 가져올 수 있다. 복수 개의 Sink가 센서 네트워크에 존재하는 경우 충분한 R-label의 bit가 확보되어야 함을 분석할 수 있다.

그림 10에서는 센서 네트워크를 구성하는 각 노드에서 가지는 버퍼의 크기를 Sink와 비교하여 그래프로 나타내었다. 버퍼의 크기가 충분히 확보되지 못할 경우에 이전에 수신한 패킷의 정보가 남아있지 않음으로 중복 메시지의 수신이 발생하여 에너지 소비량이 급격히 증가됨을 알 수 있다. 따라서, 중복된 패킷의 수신으로 인한 불필요한 에너지의 소비를 방지하기 위해서 Sink의 수와 관계하여 충분한 버퍼의 크기가 확보되어야 함을 알 수 있는데 실험의 결과에 따르면

$$B(N_s) = N_s + \left\lceil \frac{N_s}{2} \right\rceil \quad (7)$$

가 됨을 알 수 있다. 여기서 B()는 버퍼의 크기이고, Ns는 브로드캐스트 하는 노드의 수(본 논문의 실험에서는 Sink의 수)이다.

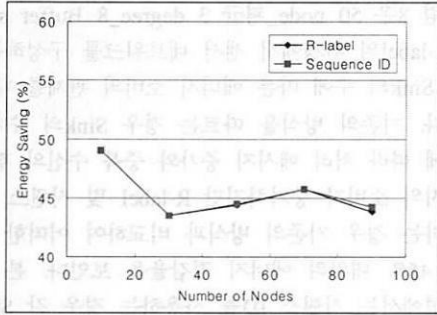


그림 6. 노드의 수에 따른 에너지 소비

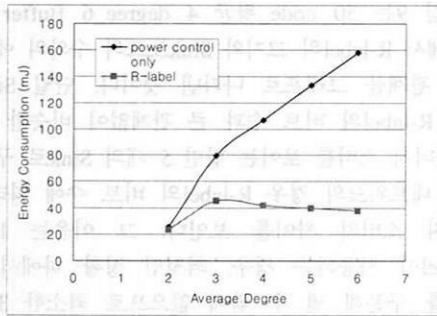


그림 7. 차수의 변화에 따른 에너지 소비

VII. 결론 및 계획

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 가장 중요한 연구 과제 중 하나인 효율적인 에너지 소비를 위해서 Mac 계층에서의 프로토콜을 제안하고 성능을 분석하였다. 본 논문에서 제안하는 Active signal의 R-label을 이용하여 노드의 파워를 제어할 때, 각 노드는 자신의 파워를 메시지가 도착할 때마다 On상태로 전환하는 것이 아니라 R-label에 따라 메시지의 수신 여부를 판단하여 중복 수신 메시지가 아닌 경우

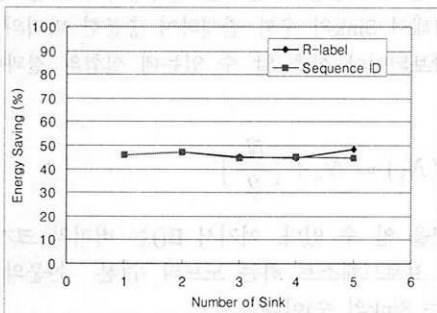


그림 8. Sink 수에 따른 에너지 소비

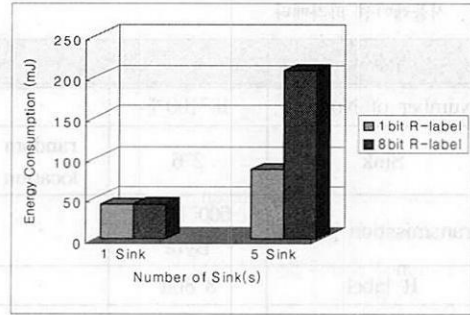


그림 9. R-label bit와 Sink 수에 따른 에너지 소비

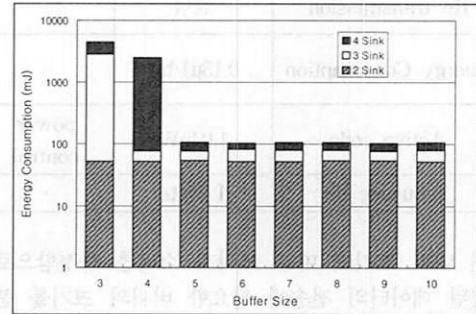


그림 10. Buffer 크기와 Sink 수에 따른 에너지 소비

에만 파워를 On 상태로 전환하고 필요한 작업을 수행한다. 기존의 방식과 비교하여 에너지 소비율이 약 45~50%로 감소하였으며 Sink의 수가 2개 이상으로 네트워크가 구성되는 경우에 에너지 소비의 효율이 더 높아지는 것으로 나타난다. 또한 확률적으로 충돌이 일어나지 않도록 하기 위하여 R-label의 비트 수와 각 노드에서 가지는 버퍼의 크기는 Sink의 수에 따라 설정되어야 함을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] Wei Ye, John Heidemann, Deborah Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," in proceeding of the IEEE infocom, 2002, pp.1567~1576.
- [2] Martin Kubisch, Holger Karl, Adam Wolisz, Sizhi Charlie Zhong, Jan Rabaey, "Distributed algorithms for transmission power control in wireless sensor networks," in proceeding of IEEE Wireless Communications and Networking. Mar. 2003, vol.1, pp.558~563.
- [3] Ian F.Akyildiz, Weilian Su, yogesh Sankarasubramaniam, Erdal Cayirci, "A survey

- on sensor networks, *Communications Magazine*, vol 40, no 8, Aug. 2002, pp.102~114
- [4] Rahul C. Shah, Jan M. Rabaey, "Energy aware routing for low energy ad hoc sensor networks," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Mar 2002, pp 350~355.
- [5] Eugene Shih, Seong Hwan Cho, Nathan Ickes, Rex Min, "Physical layer driven protocol and algorithm design for energy-efficient wireless sensor networks," *Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and net working*, 2001, Italy, pp 272~287.
- [6] Amre El-Hoiydi "Spatial TDMA and CSMA with preamble sampling for low power ad hoc wireless sensor networks," in *proceeding of the Seventh International Symposium on Computers and Communications(ISCC'02)*, July. 2002 pp 685~692
- [7] Mark Stemm, Randy H Katz, "Measuring and reducing energy consumption of network interfaceds in hand-held devices," *IEICE Transactions on Communications*, vol E80-B, no. 8, pp. 1125~1131.
- [8] http://www.inf.ethz.ch/~kasten/research/bathtub/energy_consumption.html
- [9] Sinem Coleri, Anuj Puri, Pravin Varaiya, "Power efficient system for sensor networks," in *proceeding of the Eighth IEEE international Symposium on Computers and Communication (ISCC '03)*, pp 837~842
- [10] Chunlong Guo, Lizhi Charlie Zhong, Jan M Rabaey, "Low power distributed MAC for ad hoc sensor radio networks," *IEEE GLOBECOM '01*, vol. 5, Nov 2001, pp 2944~2948
- [11] Suresh Singh, C S. Raghavendra, "PAMAS - Power aware multi-access protocol with signalling for ad hoc net-works," *ACM Computer Communication Review*, vol 28, no 3, pp. 5~26. July 1998.
- [12] Chunlong Guo, Lizhi Charlie Zhong, Jan M. Rabaey, "Low power distributed MAC for ad hoc sensor radio networks," *Globecom '01*. IEEE, vol 5, pp. 2944~2948 Nov 2001
- [13] Venkatesh Rajendran, J.J. Garcia-Luna-Aceves, Katia Obraczka, "Energy-efficient channel access scheduling for power-constrained networks," *Wireless Personal Multimedia Communications*, 2002 The 5th International Symposium, vol. 2, pp 509~513, Oct 2002.
- [14] Wendi Rabiner Heinzelman, Anantha Chandrakasan, Haribalakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," in *proceedings of the 33rd Hawaii International conference on System Sciences*, pp.3005~3014 Jan 2000
- [15] Katayoun Sohrabi, Jay Gao, Vishal Ailawadhi, Gregory J. Pottie, "Protocols for self-organization of a wireless sensor network," *IEEE Personal Communications*, vol. 7, pp 16~27 Oct 2000
- [16] Gautam Kulkarni, Curt Schurgers, Mani Srivastava, "Dynamic link labels for energy efficient MAC headers in wireless sensor networks," *Proceedings of IEEE*, vol. 2, pp. 1520~1525, June 2002.
- [17] Wei Lou, Jie Wu, "On reducing broadcast redundancy in ad hoc wireless networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol 1, no 2, pp 111~122. April-June 2002.
- [18] Sze-Yao Ni, Yu-Chee Tseng, Yuh-Shyan Chen, Jang Ping Sheu, "The Broadcast storm problem in a Mobile Ad Hoc Network," in *Proceedings of MobiCom'99*, pp 152~162

한 정 안(Jung-ahn Han) 정회원



1996년 2월 : 경원대학교 전자계산학과 공학사
1998년 8월 : 숭실대학교 컴퓨터학과 공학석사
1998년 9월~현재 : 숭실대학교 컴퓨터학과 박사과정

<관심분야> Sensor Networks, Ubiquitous Networks, 이동통신 프로토콜

김 윤 형(Yun-hyung Kim) 준회원



2004년 2월 : 숭실대학교 컴퓨터학부 공학사
2004년 2월~현재 : 숭실대학교 컴퓨터학과 석사과정

<관심분야> Sensor Networks, Ad-hoc Networks, Network Programming

김 병 기(Byung-Gi Kim) 정회원



1977년 2월 : 서울대학교 전자공학과 학사
1979년 2월 : 한국과학기술원 전산학과 이학석사
1997년 2월 한국과학기술원 전산학과 공학박사
1979년 2월 ~ 1982년 2월 경북대학교 전자공학과 전임강사

1982년 3월 ~ 현재 : 숭실대학교 정보과학대학 컴퓨터학부 교수

<관심분야> 유비쿼터스 네트워크, Sensor 네트워크, Ad-hoc 네트워크, 인터넷 망, 병렬 컴퓨터 구조