

EEMR 프로토콜을 이용한 무선 센서 네트워크 노드의 에너지 소비 절감 방법

조익래*, 이호선**, 이균하***

A scheme of EEMR protocol for energy efficient in wireless sensor networks

Ik-Lae Cho*, Ho-Sun Lee**, Kyoon-Ha Lee***

요약

무선 센서 네트워크 연구의 중요한 이슈 중의 하나는 에너지의 효율적인 사용을 통해 네트워크를 구성하는 노드들의 생존 시간(life time)을 연장하는 것이다. 이미 발표된 기존의 LEEM 프로토콜은 노드의 활성화 주기 이하의 전송 시간을 갖는 작은 패킷과 활성화 주기에 두 배 이상의 전송 시간을 갖는 큰 패킷을 전송할 때 예약된 노드는 불필요한 활성화 시간이 발생하게 된다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크 환경에서 패킷의 크기에 따라 다음 홉의 예약 시점을 조절하여 예약된 노드의 불필요한 활성화 시간을 줄여 에너지 효율을 보다 더 높일 수 있는 예약기법을 이용한 에너지-효율 MAC(EEMR)프로토콜을 제안한다. 모의실험을 통하여 제안된 기법의 성능을 평가하였다. 본 논문의 모의실험 결과를 통해 EEMR 프로토콜을 사용함으로써 기존의 LEEM 프로토콜 보다 에너지 효율이 약15% 이상 증가함을 확인하였다

Abstract

One of the important issues of in this research is effective usage of energy to increase life time of nodes which form a network. Existing LEEM protocol causes unnecessary active time due to small packets with shorter transfer time than active interval period of node and packets with transfer time of more than twice of active interval period of node. In this paper, we propose Energy-Efficient MAC by Reservation (EEMR) protocol which can increase energy effectiveness in wireless sensor network environment by reducing unnecessary active time using a method that reserves next-hop depend upon the size of packet. We evaluated effectiveness of our proposed method through experiments. The result showed that using EEMR protocol had better energy effectiveness than existing LEEM protocol by 15%.

▶ Keyword : 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network), MAC 프로토콜(MAC protocol), 에너지 효율(Energy Efficient), 예약(Reservation)

• 제1저자 : 조익래

• 접수일 : 2005.05.23, 심사완료일 : 2005.06.16

* 인하대학교 컴퓨터 정보공학과 석사과정, ** 인하대학교 컴퓨터 정보공학과 석사과정

*** 인하대학교 컴퓨터 정보공학과 교수

※ 이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음.

I. 서론

현재 무선 센서 네트워크 기술이 빠르게 향상됨에 따라 이동 무선 컴퓨팅에 대한 응용 범위와 빈도가 급격히 증가하고 있다. 반도체 기술과 무선 통신기술 그리고 센서 기술의 비약적인 발전에 힘입어 검출기능, 프로세싱기능, 무선 통신기능, 배터리 등을 탑재한 초소형 저가의 정보 취득 노드를 양산하는 것이 가능해졌다. 따라서 과거에는 고비용의 특수한 환경에만 적용되었던 무선 정보취득 시스템이 센서 네트워크라는 용어로 일반화되기 시작하였다. 무선 센서 네트워크의 큰 장점은 유선 센서 시스템들에 비해 유지관리 비용이 절감되고 사람이 근접하기 어렵거나 위험한 장소에 센서 노드들을 배치하는 것만으로도 자체 라우팅 경로를 구축하여 필요한 정보들을 얻을 수 있는데 있다 [1][2].

무선 센서 네트워크는 브로트캐스트 방식을 이용하여 노드 간의 통신이 이루어진다. 무엇보다 작은 크기와 외부 환경에 고정 또는 노출되어 있는 노드의 특성상 센서 네트워크의 노드들은 전력을 임의의 시간에 공급받기보다 배터리와 같은 매우 제한된 전력을 이용한다. 장시간 센서 노드로서의 역할을 수행하기 위해서는 고용량의 배터리 사용과 더불어 배터리 사용 효율을 극대화 할 수 있는 방안이 모색되어야 한다. 제한된 전력을 효율적으로 사용하기 위하여 채널을 부호화 하는 방법이 있다[3]. 또한 Idle(대기)상태로 인한 불필요한 전력의 사용은 센서 네트워크 노드들이 가지는 극히 제한된 전력과 비교하여 큰 에너지 손실을 가져올 수 있다. 특히, 일부 노드가 전력을 모두 소비하여 제 기능을 수행하지 못하는 경우에 네트워크의 토폴로지 변경이 일어나고 또한 경로 재설정 및 데이터의 재송신을 요구해야 하는 상황이 발생되기 때문에 에너지의 효율적인 관리 는 센서 네트워크의 MAC 프로토콜을 설계할 때에 있어서 고려해야 하는 가장 중요한 연구 분야 중의 하나이다 [4].

현재 물리 계층, 전송 계층 및 네트워크 계층에서의 전력 소비효율의 극대화를 위한 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 제어 패킷에 다음 홉 노드의 예약 시점을 제어 할 수 있는 정보를 실어 보냄으로써 전송하는 패킷의 길이에 따라 예약 방법을 변경시켜 예약 된 노드의 불필요한 에너지 소비를 줄일 수 있는 Energy-Efficient MAC

by Reservation(EEMR)프로토콜을 제안한다. 제안된 기법의 성능을 평가하기 위해 NS-2(Network Simulator-2) [13]를 사용하여 모의실험을 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 노드의 에너지 소비를 줄이기 위해 제안된 기존의 MAC 프로토콜에 대해 살펴 본다. III장에서는 EEMR 프로토콜을 제안하며, IV장에서는 모의실험의 결과를 분석하여 그 성능을 평가하였다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 에너지 소비 절감을 위한 기존 MAC 프로토콜들의 분석

현재 연구되고 있는 센서 네트워크 환경을 위한 MAC 프로토콜은 UC Berkely, UCLA, MIT 등에서 주도적으로 개발이 이루어지고 있으며 많은 경우 네트워크를 구성하는 노드들의 생존 시간(life time)을 향상시키기 위한 노력이 계속되고 있다.

Medium Access 방식으로는 크게 한 개의 주파수 채널을 갖는 Single-Frequency Radio Setup(단일 주파수 설정) 방식과 두개의 주파수 채널을 갖는 Dual-Frequency Radio Setup(다중 주파수 설정) 방식으로 구분할 수 있다 [5].

2.1 기존의 에너지 소비 절감 MAC 프로토콜

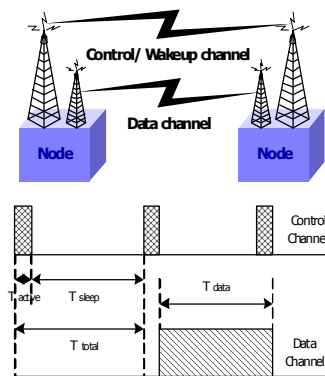


그림 1. STEM의 다중 주파수 설정 방법
Fig 1. Dual-Frequency radio setup of STEM

(그림 1)은 Sparse Topology and Energy Management (STEM) [8]의 다중 주파수 설정 방법을 나타낸다. STEM은 간헐적으로 이벤트가 발생하는 네트워크 환경에서 노드의 생존 시간을 연장시켜 준다. 각 센서 노드들은 서로 다른 주파수를 사용하는 Control Channel(제어 채널)과 Data Channel(데이터 채널)을 갖는다. 데이터 채널의 전파는 항상 수면 상태를 유지한다. 제어 채널은 데이터 전송을 위하여 신호를 보내며 이웃 노드의 데이터 채널을 활성화 시킨다. 데이터 전송이 일어나는 동안 제어 채널은 수면(Sleep) 상태와 활성화(Active)상태를 주기적으로 반복하며 전력 소모를 줄인다. 제어 신호를 보내고 받는 짧은 시간에만 제어 채널이 활성화되기 때문에 단일 주파수 설정 방식 보다 에너지 소모가 더 적다.

Pipeline Tone Wakeup scheme(PTW) [9]은 STEM과 비슷한 설정 알고리즘을 사용한다. PTW는 제어 채널의 활성화 시간을 T_{ms} 로 줄임으로서 에너지 소비를 감소시킨다. 제어 채널은 데이터 채널을 활성화시키기 위해 T_{ms} 내에 받을 수 있는 Tone(신호)을 보낸다. 전송시간 동안 수신 노드는 제어 채널을 이용하여 자신의 이웃노드들을 깨운다. 이것은 다중-홉 전송 환경에서 다음 홉 노드로 데이터 전송의 지연시간을 줄이는데 도움을 줄 수 있다.

Latency minimized Energy Efficient MAC(LEEM)[5] 프로토콜은 다중-홉 경로 전송에서 데이터를 전송 할 다음 홉을 예약함으로써 중간 노드들 사이의 설정 지연 시간을 최소화하여 노드의 에너지 소비를 줄일 수 있다.

2.2 LEEM 프로토콜의 알고리즘

LEEM 프로토콜은 다음과 같은 방법으로 노드 간 설정과 데이터를 전송한다.

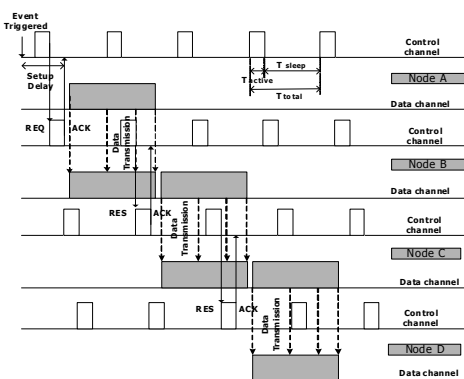


그림 2. LEEM의 다중 주파수 설정 방법
Fig 2. Dual frequency radio setup of LEEM

(그림 2)는 다중-홉 경로 환경에서 LEEM 프로토콜의 데이터 전송방법을 보여준다. T_{sleep} 은 제어 채널이 수면 상태인 시간이고, T_{total} 은 제어 채널의 활성화-비활성화 간격의 시간이다. T_{total} 시간 간격 보다 전송 시간이 짧은 크기가 작은 패킷이 전송된다면 N개의 홉을 한 번에 미리 예약한다. N의 값은 식(1)로부터 얻을 수 있다. 그리고 T_{total} 시간 간격 보다 전송 시간이 긴 크기가 큰 패킷이 전송된다면 한 홉 앞의 노드를 미리 예약한다.

$$N = (T_{active} + T_{sleep}) / T_{data} \dots\dots\dots (1)$$

소스 센서 노드가 어떤 이벤트를 감지하면 제어 채널이 활성화 될 때까지 기다린 후 REQ 패킷을 전송한다. REQ 패킷에 데이터의 패킷 크기로부터 추정한 데이터의 전송 시간을 함께 전송한다. 다음 홉 센서 노드가 REQ 패킷을 수신 하였을 때 데이터 채널이 사용중이 아니라면 P-ACK(Positive ACK)를 보내고 두 노드 간 데이터 채널의 활성화되어 데이터 전송이 가능해진다. 그러나 데이터 채널이 사용 중이라면 N-ACK(Negative ACK)로 응답하고 소스 노드는 다음 활성화 시간동안 REQ 패킷을 재전송하게 된다.

LEEM은 데이터를 전송하는 동안 중계 노드에서 발생되는 setup delay(설정 지연시간)을 피하기 위해 다음 홉 노드를 예약하는 방법을 사용한다. 수신 센서노드가 데이터 패킷 수신을 시작하면, 다음 홉 노드의 데이터 채널의 예약을 위해 송신 노드의 제어 채널의 활성화 시간 동안 다음 홉 노드에 RES(Reserve)패킷을 보내어 예약을 시도한다. RES 패킷을 수신한 노드의 데이터 채널이 사용 중이 아니라면 P-ACK를 보내고 사용 중이라면 N-ACK를 전송한다. 이와 같은 방식으로 다음 홉 노드를 예약하여 데이터 채널을 미리 활성화시킴으로서 다중-홉 경로 전송에서 설정 지연시간을 줄일 수 있다. 또한 설정 지연시간을 줄임으로서 노드의 에너지 소비를 줄일 수 있다.

2.3 LEEM 프로토콜의 문제점

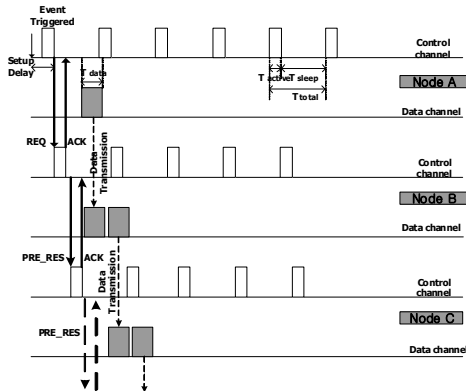


그림 3. 작은 크기의 패킷 전송시 LEEM의 문제점
Fig 3. Problem of LEEM by small size Packet

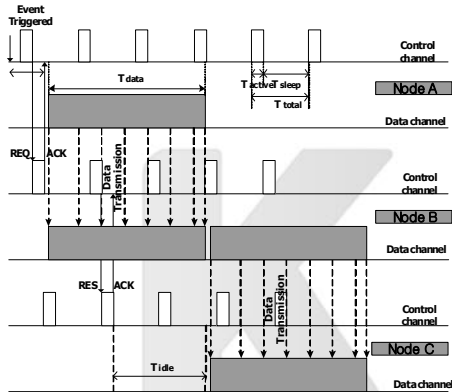


그림 4. 큰 크기의 패킷 전송시 LEEM의 문제점
Fig 4. Problem of LEEM by Large size Packet

LEEM 프로토콜은 T_{total} 시간 보다 작거나 두 배 이상의 전송 시간을 갖는 크기의 패킷을 효과적으로 수용할 수 없다. (그림 3)은 LEEM 프로토콜에서 T_{total} 시간 보다 작은 크기의 패킷 전송을 보여준다. 한 번에 한 개 이상 홉을 미리 예약함으로써 예약된 노드는 데이터가 전송되지 않고 활성화 상태를 유지하여 불필요한 에너지 소비를 한다. 또한 데이터 전송하는 중 중개 노드에서 전송을 실패한다면 예약된 노드들은 예약이 해제될 때까지 에너지를 소모하며 아무 일도 할 수 없게 된다. (그림 4)는 패킷의 크기가 커져 전송 시간이 T_{total} 시간의 2배 이상이 될 때 예약된 다음 홉 노드의 T_{idle} (대기 상태) 시간이 길어져 데이터가 전송되지 않고 활성화 상태를 유지하여 불필요한 에너지 소비가 발생함을 보여준다.

앞서 설명한 프로토콜들은 다음과 같은 문제점을 갖고 있다. STEM 프로토콜은 제어 채널이 주기적으로 sleep mode로 진입하기 때문에 다중-홉 경로 전송에서 많은 설정 지연을 발생되어 에너지 소비가 증가하게 된다. PTW 프로토콜을 사용하여 크기가 큰 패킷 전송할 때 중간 노드들의 경로 설정 시간을 완전히 줄일 수 있다. 하지만 큰 크기의 패킷 전송 시 이웃노드들을 모두 활성화 상태로 만듦으로서 총 에너지 소비율은 증가하게 된다. LEEM 프로토콜은 T_{total} 이하의 패킷이나 T_{total} 의 2배가 넘는 패킷을 전송할 때 예약된 노드는 불필요한 에너지 소비를 소비하게 된다.

III. EEMR 프로토콜의 제안 및 알고리즘

3.1 EEMR 프로토콜 알고리즘

앞서 지적한 기존 LEEM 프로토콜의 문제 해결을 위해 다음 홉 노드의 예약 시점을 제어하는 방법을 제안한다. 노드들 사이의 활성화 시간 시점은 주기적(약 1시간)으로 동기화 된다고 가정한다.

$$Active_count(근사값) \approx T_{data}(ms) / T_{total}(ms) \dots\dots\dots (2)$$

$$T_{wait_res}(ms) = Active_count * T_{total}(ms) \dots\dots\dots (3)$$

T_{data} 는 데이터 패킷의 크기로 추정된 데이터의 전송 시간, T_{total} 은 노드의 활성화-비활성화 주기 시간, T_{wait_res} 는 다음 홉 노드의 예약을 시도하기 위해 대기해야 하는 시간이다. 소스 센서 노드는 식 (2)를 사용하여 $Active_count$ 값(소수점 이하 버림)을 계산하여 REQ 패킷에 실어 다음 홉 노드로 전송한다. REQ 패킷을 수신한 노드는 $Active_count$ 의 값을 사용하여 다음 홉 노드의 예약 시도 시점을 결정하게 된다.

본 논문에서는 $Active_count$ 값이 0인 경우, 1인 경우, 2이상인 경우 세 가지로 분류한다. $Active_count$ 의 값이 0인 경우 (그림 5)와 같이, 2 이상인 경우 (그림 6)처럼 예약 방식을 수정하여 예약된 노드의 불필요한 활성화 시간 (T_{idle})을 최소화시킬 수 있다. 값이 1인 경우는 기존 LEEM 프로토콜의 방식을 따른다.

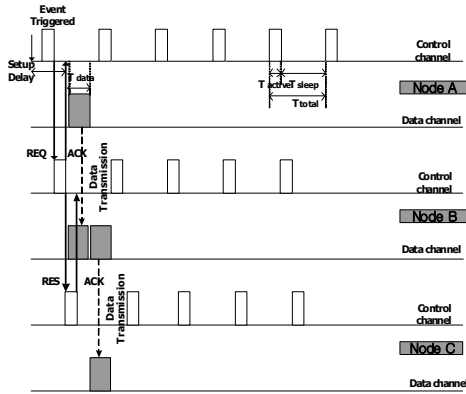


그림 5. Active_count 값이 0인 경우
Fig 5. When Active_count value is 0 (Active_count=0)

(그림 5)은 Ttotal 시간 보다 Tdata 시간이 작아 Active_count의 값이 0이 되는 경우 다음 홉 노드의 예약 방법을 보여준다. 식(3)을 통하여 Twait_res의 값이 0ms이므로 노드가 REQ 패킷을 수신하는 즉시 제어 채널은 다음 홉 노드에 RES 패킷을 전송하여 예약을 시도한다. RES 패킷을 수신하여 예약이 된 노드는 ACK 패킷을 보낸 후 즉시 다음 홉 노드에 RES 패킷을 전송하여 예약을 시도한다. 데이터 패킷이 목적지에 도착할 때 까지 위의 과정을 반복한다.

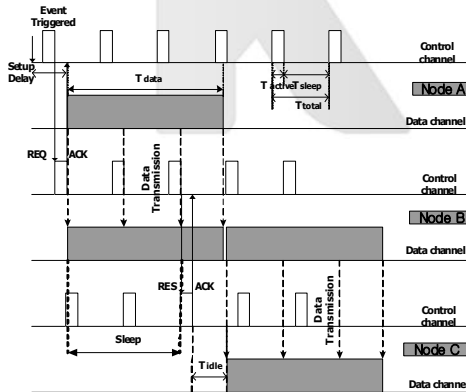


그림 6. Active_count 값이 2이상 인 경우
Fig 6. When Active_count value is more than 2 (Active_coun >2)

(그림 6)는 Tdata 시간이 Ttotal 시간의 2배가 넘어 Active_count 값이 2이상 일 때 다음 홉 노드의 예약 방법을 보여준다. 노드가 REQ 패킷을 수신한 뒤 식(3)을 통하여 얻은 Twait_res 시간만큼 기다린 후, RES 패킷을 다음

홉 노드에 전송하여 예약을 시도한다. 예약 시도를 기다리는 Twait_res 시간 동안 제어 채널은 수면 상태를 유지하여 활성화 되지 않는다. 데이터 패킷이 목적지에 도착할 때까지 위의 과정을 반복한다.

EEMR 프로토콜을 pseudo_code로 표현하면 다음과 같다.

```

Procedure Receive_Packet(REQ Packet)
    if(Active_count < 1) short()
    else if(Active_count = 1) leem()
    else long()
Procedure short()
    if(busy) Send_packet(n-ACK)
    Else
        Send_packet(p-ACK)
    Wait_Time(0)
    Send_packet(RES)
Procedure long()
    if(busy) Send_packet(n-ACK)
    Else
        Send_packet(p-ACK)
    Twait_res = Active_count * Ttotal
    Wait_send_packet(Twait_res)
    Sleep_wakeup_channel()
    Send_packet(RES)
    
```

3.2 EEMR 프로토콜의 성능 평가 방법

노드의 생존 시간(life time)동안 사용하는 총 에너지는 식(4)처럼 제어채널이 사용하는 에너지와 데이터 채널이 사용하는 에너지의 합으로 나타낼 수 있다.

$$E_{total} = E_{control_radio} + E_{data_radio} \dots\dots\dots (4)$$

R1과 R2는 제어패킷과 확인패킷을 보내는 시간, K는 패킷의 갯수, N은 홉 간 거리, ETx는 패킷을 전송하기 위한 소모되는 에너지량, ERx는 패킷을 수신하기 위해 소모되는 에너지량, Eesynch는 노드 간 동기화를 맞추기 위해 소모되는 에너지량, EEEMR_active는 EEMR 프로토콜에서 활성화 시간동안 소모되는 에너지량이다.

위와 같을 때 식(5)와 식(6)은 LEEM 프로토콜의 총 에너지 소모량을 나타낸다.

$$E_{control_radio} = (TLEEM_active * E_{idle}) + ((R1+R2) * K * N * E_{Tx}) + (E_{Synch}) \dots\dots (5)$$

$$E_{data_radio} = T_{data} * K * N * (E_{Tx} + E_{Rx}) \dots\dots (6)$$

또한 식(7)과 식(8)은 EEMR 프로토콜의 총 에너지 소모량을 나타낸다.

$$E_{control_radio} = (TEEMR_active * E_{idle}) + ((R1+R2) * K * N * E_{Tx}) + (E_{Synch}) - (T_{wait_res} * EEEMR_active) \dots\dots (7)$$

$$E_{data_radio} = T_{data} * K * N * (E_{Tx} + E_{Rx}) - E_{res_idle} \dots\dots (8)$$

이때 EEMR 프로토콜을 사용하여 얻을 수 있는 에너지 이익은 식(9)로 나타낼 수 있다.

$$E_s = [((R1+R2) * K * N * E_{Tx}) - (T_{wait_res} * EEEMR_active) - ((TEEMR_active - TLEEM_active) * E_{idle})] - E_{res_idle} \dots\dots (9)$$

위와 같은 방법을 사용하여 예약된 노드들의 데이터가 전송되지 않고 활성화되는 시간을 줄임으로서 노드의 불필요한 에너지 소비를 감소시켜 노드의 생존 시간을 연장시킬 수 있다.

IV. 모의실험 및 결과

이 장에서는 EEMR 프로토콜이 기존 LEEM 프로토콜보다 더 적은 에너지를 소비한다는 것을 모의실험을 통하여 확인하였다. 제안된 기법의 성능을 평가하기 위해 NS-2를 사용하여 모의실험을 하였다. 센서 노드들은 정적이라고 가정했기 때문에 라우팅 프로토콜은 proactive 방식의 하나인 flooding 프로토콜을 사용한다. 모의실험 환경은 잡음유입이 없는 이상적 환경에서 모든 노드들이 양방향링크에 전방향 송수신과 불규칙 수신모드를 사용하며 네트워크 프로토콜을 완벽히 지원한다고 가정했다.

모의 환경이 아닌 실제 센서 네트워크 환경에서는 예측하기 어려운 잡음으로 인해 에너지 소비량과 지연 시간 비교값이 본 논문의 결과와 다르게 나타날 수 있지만 그 차이가 크지 않기 때문에 EEMR 프로토콜의 성능에 큰 영향을 주기 어렵다.

세부적인 환경변수는 <표 1>과 같다. 각 노드들은 상태에 따라 <표 2>와 같은 에너지 소비량을 갖는다.

표 1. 모의실험 설정 값
Table 1. Simulation Parameter

구분	설정 값
영역	120 * 120 meters
노드갯수	50
전송범위	20 meters
제어 채널 대역폭	24 Kbps
데이터 채널 대역폭	24 Kbps
TSTEM_active	106 ms
TPTW_active	1 ms
TLEEM_active	133 ms
TEEMR_active	133 ms
Total	500 ms
패킷크기	CBR 512 bytes

표 2. 상태에 따른 에너지 소비량
Table 2. Radio power consumption

상태	Transmit	Receive	Idle	Sleep
소비량(mW)	14.88	12.50	12.36	0.016

모의실험은 기존의 프로토콜들과 EEMR 프로토콜의 이벤트 갯수에 따른 에너지 소비량 비교, 노드 갯수에 따른 에너지 소비량 비교, 패킷 크기에 따른 에너지 소비량 비교를 통해 EEMR 프로토콜의 에너지 효율이 증가됨을 확인하였다.

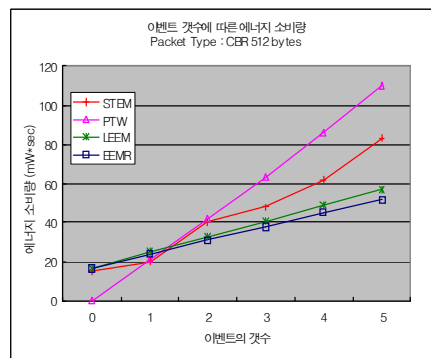


그림 7. 이벤트 갯수에 따른 에너지 소비량 비교
Fig 7. Number of events vs. Energy consumption

(그림 7)은 이벤트 개수에 따른 기존의 프로토콜들과 EEMR 프로토콜의 에너지 소비량을 비교하였다. 512Bytes 크기의 패킷을 6홉 거리에 위치하는 노드들 간에 이벤트의 개수를 증가시키며 50초간 전송하였다. EEMR 프로토콜은 예약된 다음 홉 노드의 데이터 수신 대기 시간을 줄여 에너지 효율이 기존의 LEEM 프로토콜보다 약 9% 향상됨을 확인하였다.

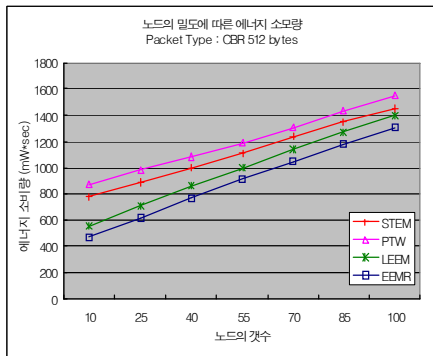


그림 8. 노드 밀도에 따른 에너지 소비량 비교
Fig 8. Node density vs. Energy consumption

(그림 8)은 네트워크에서 노드의 개수가 증가할 때 기존의 프로토콜들과 EEMR 프로토콜의 모든 노드들의 전체 에너지 소비량을 비교하였다. 네트워크의 노드 개수를 늘이면서 512Bytes 크기의 패킷을 6개 홉 거리에 있는 노드들 간에 30초간 전송하였다. 노드의 개수가 증가하면 제어, 데이터 채널의 전파가 증가되 두 프로토콜 모두 전체 에너지 소비율이 증가하였다. EEMR 프로토콜은 예약된 다음 홉 노드의 데이터 수신 대기 시간을 줄여 에너지 효율이 기존의 LEEM 프로토콜보다 약 10% 향상됨을 확인하였다.

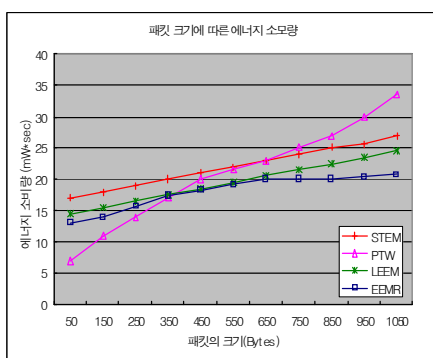


그림 9. 패킷 크기에 따른 에너지 소비량 비교
Fig 9. Varying packet size vs. Energy consumption

(그림 9)은 패킷 크기에 따른 모든 노드들의 평균적 에너지 소비량을 보여준다. 6홉 거리에 위치한 노드들 사이에 패킷을 30초간 전송하였다. EEMR 프로토콜은 기존의 LEEM 프로토콜 예약 방식을 사용하는 약 350-550byte 구간을 제외한 구간에서 에너지 소비 감소를 보인다. Ttotal 시간 간격 이하의 작은 패킷일수록 또는 Ttotal 시간 2배 이상 패킷의 크기가 커질수록 예약된 다음 홉 노드의 데이터가 전송되지 않고 활성화 되는 시간이 더욱 크게 줄어들 수 있다. 위의 모의실험 결과를 통해 EEMR 프로토콜은 불필요한 에너지 소비를 줄여 패킷 크기가 작아지거나 커짐에 따라 약 15% 이상의 에너지 효율 증가를 보였다.

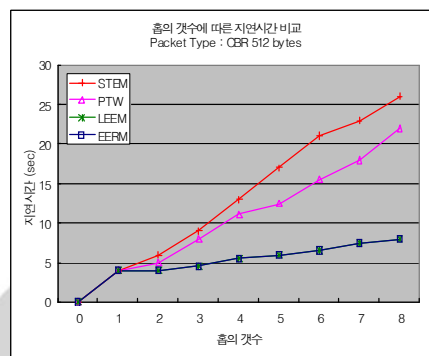


그림 10. 홉의 갯수에 따른 지연시간 비교
Fig 10. Varying hops vs. End-to-end latency

(그림 10)은 다중 홉 경로 데이터 전송에서 STEM, PTW, LEEM 그리고 EEMR 프로토콜들에서 홉 개수에 따른 지연 시간을 비교한 그림이다. 기존의 LEEM 프로토콜과 EEMR 프로토콜이 가장 좋은 성능을 보이고 있다. EEMR 프로토콜은 노드의 에너지 소비를 줄이는 동시에 지연시간에 대한 성능이 저하되지 않음을 확인하였다.

V. 결론

다중-홉 경로를 갖는 무선 센서 네트워크 환경에서 설정 지연 시간을 줄일 수 있는 기존 LEEM 프로토콜은 Ttotal 시간 간격보다 작거나, Ttotal 시간의 2배가 넘는 전송시간

을 갖는 크기가 큰 패킷을 전송할 때 예약된 노드는 데이터가 전송되지 않고 활성화 상태를 유지하여 불필요한 에너지를 소비함을 지적하였다.

본 논문에서는 패킷 크기로 추정된 전송시간 (T_{data})과 활성화 시간 간격(T_{total})을 이용한 계산을 통해 값(Active_count)을 얻었다. 이 값을 사용하여 다음 홉 노드의 예약 시점을 제어하여 예약된 노드의 불필요한 활성화 시간을 줄임으로서 불필요한 에너지 소비를 줄일 수 있는 EEMR 프로토콜을 제안하였다. EEMR 프로토콜은 NS-2를 사용한 모의실험을 통하여 기존의 LEEM 프로토콜에 비해 지연시간 최소화에 대한 성능이 저하되지 않음을 확인하였다. 또한 이벤트 개수에 따른 에너지 소비량 비교에서 약 9% 에너지 효율이 증가하였고, 노드 개수에 따른 에너지 소비량 비교에서 약 10% 에너지 효율이 증가하였다. 그리고 패킷 크기에 따른 에너지 소비량을 비교한 모의실험의 결과 패킷 크기가 작아 지거나 커짐에 따라 약 15% 이상 에너지 효율이 향상됨을 확인하였다.

본 논문에서 각 노드들의 활성화 시간은 일정시간(약 1시간) 간격으로 동기화 된다고 가정하였다. 각 노드들이 동기화에 소비하는 에너지는 매우 작지만 노드의 작동 시간(life time)을 연장하기 위하여 이를 효과적으로 수행할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An Energy Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", in Proc. IEEE infocom2002, vol. 3, pp. 15 67-1576, June 2002.
- [2] 조영복, 정윤수, 김동명, 이상호, "유비쿼터스 센서 네트워크에서의 저전력 상호인증 프로토콜", 한국컴퓨터정보학회 10권 2호, pp. 187-197, May. 2005.
- [3] 김민호, "이동 무선 환경에서의 TCM 및 MTCM의 성능 비교 평가", 한국컴퓨터정보학회 5권 4호, pp. 90-95, 2000.5.
- [4] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, yogesh Sankarasubramaniam, Erdal Cayirci, "A survey on sensor networks, Communications Magazine, vol 40, no 8, pp.102-114, Aug. 2002.
- [5] Dhanaraj, M. Manoj, B.S. Murthy, C.S.R., "A New Energy Efficient Protocol for Minimizing Multi-Hop Latency in Wireless Sensor Networks" in Proc. Pervasive Computing and Communications, 2005. PerCom 2005, pp.117-126, March 2005.
- [6] C. S. Raghavendra and S. Singh, "PAMAS-Power Aware Access protocol with Signalling for Ad-Hoc Networks", ACM Computer Communication Review, Vol. 28, no. 3, pp.1209-1213, September 2000.
- [7] C. Guo, L. C. Zhong, and J. M. Rabaey, "Low Power Distributed MAC for Ad Hoc Sensor Radio Networks", in Proc. IEEE Globecom 2001, vol. 5, pp. 2944-2948, November 2001.
- [8] C. Schurjer, V. Tsatsis, and M. B. Srivastava, "STEM: Tology Management for Energy Efficient Sensor Networks", in Proc. IEEE Aerospace conference 2002, vol. 3, pp. 1099-1108, March 2002.
- [9] X. Yang and N. Vaidya, "A Wakeup Scheme for Sensor Networks: Achieving Balance between Energy Saving and End-to-end Delay", in Proc. IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium 2004, pp. 19-26, May 2004.
- [10] B. Krishnamachari, D. Estrin, and S. Wicker, "The Impact of Data Aggregation in Wireless Sensor Networks", in Proc. International Workshop on Distributed Computing System, pp. 575-578, July 2002.
- [11] W. Rabiner, Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishman, "Energy Efficient communication protocol for wireless microsensor networks", HICSS 2000, Maui, HI, Jan. 2000.
- [12] S. Ganeriwal, R. Kumar, and M. B. Srivastava, "Timing sync Protocol for Sensor Networks", in Proc. ACM SenSys 2003, pp. 138-149, November 2003.
- [13] NS2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.

저 자 소개



조익래
 2004년 2월 인하대학교 컴퓨터공학
 부 컴퓨터공학과 공학사
 2004년 3월~현재 인하대학교 컴퓨
 터 정보공학과 석사과정
 <관심분야> USN(Ubiquitous
 Sensor Network),
 DSP(Digital
 Signal Processing),
 Cellular System



이호선
 2004년 2월 인하대학교 컴퓨터공학
 부 컴퓨터공학과 공학사
 2004년 3월~현재 인하대학교 컴퓨
 터 정보공학과 석사과정
 <관심분야> USN (Ubiquitous
 Sensor Network),
 Mobile Communications



이군하
 1970년 2월 인하대학교 전기공학과
 공학사
 1976년 2월 인하대학교 전자공학과
 공학석사
 1981년 2월 인하대학교 전자공학과
 공학박사
 1981년 9월~현재 인하대학교 컴퓨
 터 정보공학부 교수
 <관심분야> Computer Network,
 Mobile Computing,
 DSP(Digital Signal
 Processing)

