

유비쿼터스 센서 네트워크를 위한 에너지 절약적인 MAC 프로토콜 연구

최원준, 윤희용
성균관대학교 정보통신공학부
wonjunchoi@hotmail.com, youn@ece.skku.ac.kr

Energy Efficient Dynamic-Threshold MAC protocol for Wireless Sensor Networks

Won Jun Choi, Hee Yong Youn
School of Information and Communications Engineering, SungKyunKwan University

요 약

유비쿼터스 컴퓨팅을 가능하게 해주는 기반기술의 하나인 유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Networks)란, 주변 사물과 환경을 인식하고 네트워크를 통해 실시간 정보를 구축, 활용토록 하는 초소형, 저전력 센서들로 구성된 무선 통신망이라 할 수 있다. 유비쿼터스 센서 네트워크에서의 MAC 프로토콜은 그 특성상 기존의 MAC 프로토콜과는 달리 에너지 사용량을 최소화하여 네트워크 수명을 오랫동안 유지하도록 하는 것이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 센서 네트워크의 수명의 최대화를 고려한 DT (Dyamic-Threshold) MAC 프로토콜을 제안한다. DTMAC 프로토콜은 각 노드의 버퍼에 임계값을 적용하여 전송 주기를 지연시켜 에너지 절감성을 극대화하게 되며 멀티 홉 환경에서 에너지 절감성의 효과를 더욱 높이기 위해 각 노드의 버퍼에 싱크와의 홉 수에 따른 차등적 임계값을 적용하며, 또한 이로 인해 야기되는 데이터 전송 지연 문제를 해결키 위하여 긴급 데이터에 대한 빠른 전송을 보장하는 알고리즘을 포함한다.

1. 서 론

최근 이동 통신기술의 발전에 따라 퍼스널 컴퓨터의 개념을 넘어 새로운 패러다임으로서, 우리 주변의 모든 사물에 컴퓨터를 내장하여 네트워크로 연결하여 인간의 삶에 보이지 않게 도움을 주는 유비쿼터스 컴퓨팅의 개념이 대두 되고 있다. 이러한 유비쿼터스 컴퓨팅을 가능케 해주는 기반기술인 유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sesor Networks)란 주변 사물과 환경을 인식하고 네트워크를 통해 실시간 정보를 구축, 활용토록 하는 초소형 저전력 스마트 센서들로 구성된 일종의 무선 통신망이라 할 수 있다 [1]. 센서 네트워크에서의 통신계층 중 하나인 MAC 계층은 MAC 프로토콜을 사용하여 각 센서들의 통신을 보장한다. 전통적인 MAC 프로토콜은 패킷 처리율의 극대화, 지연의 최소화 및 공평성 제공이 주된 목적으로 설계된 반면 무선 센서 네트워크에서의 MAC 프로토콜은 에너지 소모를 최소화 하여 네트워크 수명을 오랫동안 유지하는 것이 요구된다. 이러한 에너지 낭비 요인으로 자신과 직접적인 연관이 없는 데이터를 수신하는 경우 불필요한 에너지를 소모하게 되는 *Overhearing*, 데이터 송수신을 위한 과도한 사전 제어 패킷 교환에 인한 에너지 낭비인 *packet overhead*, 그리고 이웃 노드가 언제 전송할지 모

르기 때문에 자신의 전원을 항상 수신 모드로 유지하므로 발생하는 *idle-listening* 이 있다. 기존 에너지 효율적인 MAC 프로토콜 중 대표적인 예인 SMAC 은 단일 주파수를 사용하는 CSMA/CA 기반의 프로토콜로서 일정한 일정한 Listen, sleep 구간으로 구성된다. 노드는 sleep 구간 동안 데이터를 송수신을 하지 않고 전원 오프 상태를 유지하고, Listen 구간에서 이웃 노드와 통신하므로 에너지를 절약할 수 있다 [2],[3]. 그러나, SMAC 은 고정된 *duty-cycle* 을 사용하므로, 네트워크의 트래픽이 적은 경우 에너지를 낭비하는 결과를 가져오게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 T-MAC 은 데이터를 Listen 구간에서 전송하고 일정한 타이머(T)를 동작시켜 더 이상 송수신되는 데이터가 없다면 *active* 구간을 조기에 종료하여 sleep 상태로 전환되므로 SMAC 에 비해 에너지를 절약한다 [4].

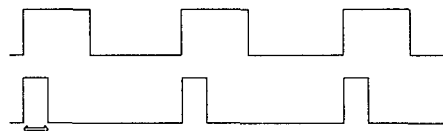


그림 1 데이터 트래픽이 없는 경우의 SMAC 과 T-MAC 의 idle-listening

본 논문에서는 S-MAC 의 idle-listening 문제를 해결하기 위하여 센서 노드의 버퍼에 차등적 임계값을 적용하여 데이터를 누적하여 전송하며 또한 누적 전송에 의한 데이터 전송지연 측면을 고려하여 긴급데이터에 대한 우선전송 알고리즘을 사용하는 DTMAC 프로토콜을 제안한다. 2 장에서는 DTMAC 프로토콜의 기능과 특징에 대해 알아보고 3 장에서는 SMAC, TMAC 과 DTMAC 의 Active time 에 대한 분석 및 비교를 하며 4 장에서는 결론 및 향후 연구과제를 제시한다.

2. 제안하는 MAC 프로토콜

DTMAC 프로토콜은 센서 네트워크에서의 각 노드의 버퍼에 차등적인 임계값을 적용하여 sleep 구간을 최대화 시키는 기법을 사용한다. 또한 데이터의 우선순위에 따른 차별화된 전송 기법을 통하여 긴급 데이터의 빠른 전송을 보장 한다.

2.1 차등적인 임계값 적용

표 1 임계값을 결정하기 위한 파라미터

Q_{thresh}	임계값 변수
Q_{total}	버퍼의 총 크기
Q_a	누적된 데이터의 양
N_{total}	네트워크 전체의 홉 수
N_{own}	싱크에서부터 노드 자신의 홉 수

본 논문에서 제안하는 기법인 버퍼의 차등적인 임계값 적용을 통한 aggregation 기법은 센서 노드의 버퍼에 임계값을 설정하고 전송할 데이터의 양이 버퍼의 임계값을 넘어섰을 경우에 전송하고 임계값 미만일 경우엔 T-MAC 과 같은 타이머를 동작시켜 조기에 sleep 하므로 에너지 사용량을 줄일 수 있다. 하지만 각 노드의 버퍼에 고정된 임계값을 적용한 버퍼의 임계값을 이용한 데이터 aggregation 기법은 에너지 효율성 측면에서 그 효과가 한 홉 범위에 국한 된다는 것에 단점이 있다. 만약 멀티 홉 네트워크 환경에서 각 버퍼의 임계값이 같다면 한 노드에서 데이터의 양이 임계값을 넘어서 이웃 노드로 전송하였을 경우 이웃 노드가 받는 데이터는 이미 그 자신의 버퍼 임계값을 넘어버리는 큰 용량의 데이터이기 때문에 휴식 없이 이웃 노드로 전송을 시도하게 된다. 그러므로 에너지 절감의 효과가 한 홉 범위로 줄어들게 된다.

DTMAC 프로토콜은 멀티 홉 센서네트워크 환경 에서 효율적으로 에너지를 절감하기 위해 그림 2 와 같이 싱크에서 각 노드까지 홉 수에 따른 차별화된 임계값을 적용하는 기법을 사용한다. 노드 D 가 자신의 버퍼에 누적된 데이터의 양이 임계값 이상이 되어서 노드 C 로 전송을 하면, 노드 C 의 버퍼의 임계값은 노드 D 의 임계값 보다 크기 때문에 노드 C 는 데이터의 양이 자신의 버퍼의 임계값에 도달 할 때까지 다시 sleep 기회를 가지므로 더욱 에너지 절감성을 높일 수 있다. 각 노드의 버퍼의 임계값을 차등 적용하기 위해 최말단 노드

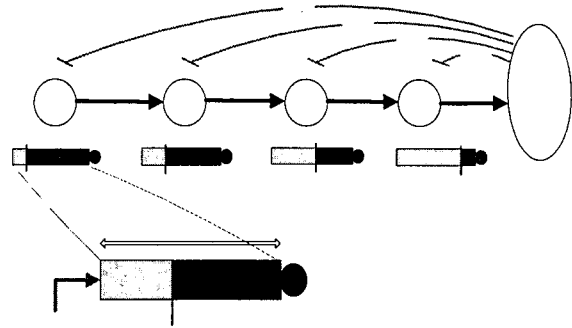


그림 2 싱크와의 홉 수에 따른 버퍼의 임계값 적용

부터 α 의 수 만큼 Q_{thresh} 을 차등 적용하며 α 보다 많아지게 되는 노드부터는 같은 Q_{thresh} 를 적용하게 되며 각 버퍼의 임계값을 정하는 일반식은 다음과 같다.

$\alpha > N_{total} - N_{own} > 0$ 일 경우

$$Q_{thresh} = Q_{total} * \left\{ \lambda^{(\alpha - N_{total} - N_{own})} \right\} \quad (1)$$

$\alpha < N_{total} - N_{own}$ 혹은 $N_{total} - N_{own} = 0$ 일 경우

$$Q_{thresh} = Q_{total} * \lambda \quad (2)$$

그림 2 와 같은 네트워크 토폴로지라면 임계값을 차등 적용키 위해 사용하는 변수 λ 에 1/2 을, 최말단 노드로부터 적용 범위 α 를 4 로 한다면 각 노드의 버퍼의 Q_{thresh} 는 최말단 노드부터 $Q_{thresh}/16, Q_{thresh}/8, Q_{thresh}/4, Q_{thresh}/2$ 이 되며 그 이후 노드부터는 식 2 를 적용하여 $Q_{thresh}/2$ 이 된다.

2.2 데이터 우선순위에 따른 차등적 전송기법

버퍼의 임계값을 적용한 전송기법은 에너지 효율성은 향상되지만 누적하여 전송하기 때문에 데이터 전송 지연적인 측면에서 성능은 저하된다. 에너지 효율적이면서도 데이터 전송지연에 능동적으로 대처할 수 있도록 하기 위하여 DTMAC 프로토콜은 센서에서 발생하는 여러 데이터의 타입과 각 데이터의 우선순위를 분류하여 적용하기 때문에 긴급한 데이터에 대한 빠른 전송을 보장한다. 각 노드는 데이터가 전송되어 오거나 발생 하였을 경우 자신의 버퍼를 체크하게 된다. 만약 긴급한 데이터가 들어왔을 경우엔 현재 버퍼의 데이터의 양과 임계값에 상관없이 전송을 시도하게 되며 긴급 데이터가 아니고 누적 데이터 패킷의 양이 임계값 보다 적은 경우라면 경우 전송을 하지 않고 Timer 가 실행된다. 자신에게 전송하려는 이웃 노드가 없는 상태로 Timer 가 종료된다면 sleep 모드로 돌아가게 되며 노드의 동작 알고리즘은 다음과 같다.

[Algorithm] Active 구간에서의 노드의 동작

```

if ( $Q_a \geq Q_{thresh}$  | Data priority = high ) than
    sending RTS for Data Tx/Rx
else
    timer(like TMAC) start
if ( receiving RTS ) than sending CTS for Data
    Tx/Rx
    
```

3. Active Time 분석

센서 네트워크의 대부분의 에너지 사용은 Active time 에서 사용되므로 같은 양의 데이터를 수신한다고 가정하고 SMAC, TMAC,DTMAC 의 Active time 을 비교한다.

표2 Active time분석을 위한 파라미터

S_f	SMAC 에서 한 프레임 길이
S_{dc}	SMAC 에서 duty-cycle
T_x	데이터 패킷 송/수신 시간
T_o	TMAC 의 타이머
p	DTMAC 에서 $Q_{thresh} < Q_a$ 일 경우 RTS 수신확률
q	DTMAC 에서 $Q_{thresh} < Q_a$ 일 경우 RTS 미수신 확률
r	DTMAC 에서 $Q_{thresh} \geq Q_a$ 일 확률

SMAC, TMAC,DTMAC 의 Active time 분석
SMAC 의 전체 Active time

$$T_{smac} = \sum_i S_f * S_{dc} \quad (3)$$

TMAC 의 전체 Active time

$$T_{tmac} = \sum_i (T_{xi} + T_{oi}) \quad (4)$$

DTMAC에서 $Q_{thresh} < Q_a$ 일 때 RTS 수신 경우

$$T_{dtmac}^p = p(T_x + T_o) \quad (5)$$

DTMAC에서 $Q_{thresh} < Q_a$ 일 때 RTS 미수신 경우

$$T_{dtmac}^q = q * T_o \quad (6)$$

DTMAC에서 $Q_{thresh} \geq Q_a$ 일 경우

$$T_{dtmac}^r = r(T_x + T_o) \quad (7)$$

DTMAC 의 총 Active time 은 다음과 같다.

$$T_{dtmac} = p \sum_i (T_{xi} + T_{oi}) + q \sum_i (T_{oi}) + r \sum_i (T_{xi} + T_{oi}) \quad (8)$$

수치적 분석을 토대로 각 프로토콜의 Active time 을 분석하기 위한 환경으로 각 프레임 길이는 1000ms, duty-cycle 은 20%, data packet interval 은 1s 로 하였다. SMAC 은 각 frame 당 고정된 Active time 인 200ms 를 사용하기 때문에 시간에 비례하여 Active time 이 크게 증가하는 것을 볼 수 있지만 DTMAC 프로토콜은 각 노드의 버퍼에 데이터를 누적하여 전송하는 기법을 사용하기 때문에 TMAC 에 비하여 에너지는 약 16%정도의 개선된 성능을 보여주고 있다.

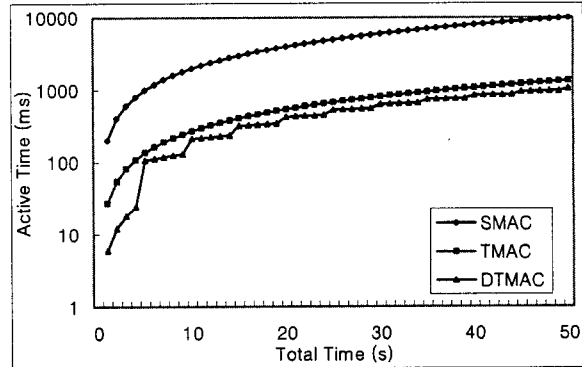


그림 3 SMAC, TMAC,DTMAC 의 Active time 분석

4. 결론 및 향후 과제

본 논문에서 제안한 DTMAC 프로토콜은 긴급 데이터에 대한 빠른 전송을 보장하기 위한 알고리즘을 포함하며 또한 가 노드의 버퍼에 차등적 임계값 적용 기법을 사용하기 때문에 SMAC, TMAC 에 비하여 노드의 Active time 을 줄여 에너지 효율성 측면에서 개선된 성능을 보이게 되었다. 향후 NS-2 시뮬레이터를 사용하여 다양한 네트워크 환경에서의 차등적 임계값을 결정하는 λ 를 최적화하기 위한 성능평가를 하고 또한 데이터의 긴급도를 우선적으로 정의하여 긴급데이터를 임의 발생시켰을 경우의 전송지연 분석 등 다양한 시뮬레이션을 통한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci. "A survey on sensor networks", IEEE Communications Magazine, 40(8), pages 102-114, 2002.
- [2] Wei. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks", In IEEE INFOCOM, volume 3, pages 1567-1576, June 2002
- [3] Wei Ye, J. Heidemann, D. Estrin, "Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks", IEEE/ACM Transactions on Networking, Volume: 12, Issue: 3, Pages: 493 - 506, June 2004
- [4] T. V. Dam and K. Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", in SenSys'03, Los Angeles, Pages 171 - 180. Nov 2003