



A Energy Efficient Group Management MAC Scheme for Mobile Sensor Devices in IoT Systems

Kyunghee Sun, Jaesun Lee, Intae Ryoo*

Department of Computer Science and Engineering, Kyunghee University

ABSTRACT

Mobile sensor devices are one of the key components of IoT systems and can collect data in inaccessible or hazardous areas. The battery capacity of mobile sensor devices is limited and battery replacement for mobile sensor devices may be difficult or impossible. Therefore, mobile sensor devices in IoT systems should minimize energy consumption. In this paper, we propose an energy efficient Group Management MAC scheme for mobile sensor devices in IoT systems. The proposed Group Management MAC scheme groups the sensor devices based on the hop (distance) from the sink node. The mobile sensor devices transmits collected data only to other mobile sensor devices of next higher group level. When any mobile sensor device moves and can't transmit data to the next higher group level, the sensor device is assigned a new group ID and transmits data to the new route. In addition, the energy efficiency of the entire IoT system can be improved by transmitting data based on a pre-configured buffer threshold value that are set differently for each group. The proposed Group Management MAC scheme shows excellent behavior in the aspect of energy efficiency for the IoT system by simulation. Therefore, the proposed scheme might be adaptable for mobile sensor devices used in various kinds of computing and networking environments.

© 2017 KKITS All rights reserved

KEYWORDS: Mobile sensor device, Energy efficiency, IoT, Sensor network, Group management MAC

ARTICLE INFO: Received 14 April 2017, Revised 9 June 2017, Accepted 9 June 2017.

1. 서론

모든 사물들이 네트워크로 연결되어 정보를 수집하고 이를 가공하여 사용자에게 제공할 수 있는 사물인터넷(IoT; Internet of Things) 시대가 다가오

*Corresponding author is with the Department of Computer Science and Engineering, Kyunghee University, 1732, Deogyong-daero, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 17104, Republic of Korea.
E-mail address: itryoo@khu.ac.kr

고 있다. 시간과 장소에 관계없이 첨단 기술이 적용된 다양한 센서 디바이스들이 우리의 가까이에서 데이터를 수집하고, 우리에게 필요한 정보를 전달해 줄 것이다.

이동성을 가진 센서 디바이스는 IoT 센서 시스템의 중요한 핵심 요소 중 하나이며, 인간이 접근하기 어려운 지형이나 위험한 지역 등으로부터 정보를 획득하기 위해 활용될 수 있다. 이러한 IoT 시스템의 모바일 센서 디바이스들은 한정된 배터리 수명을 가지고 동작하며, 지형적인 여건 등으로 인해 배터리의 교체가 어렵거나 불가능한 상황에 있을 수도 있다. 모바일 센서 디바이스의 배터리 수명이 다하여 동작이 멈춤으로 인해 전체 IoT 시스템에 영향을 미칠 수도 있으므로, 모바일 센서 디바이스는 최대한 긴 라이프타임을 가져야 한다.

모바일 센서 디바이스는 IoT 환경에서 다른 센서 디바이스나 싱크 노드와 통신하기 위해 물리적 계층과 논리적 계층으로 구성되어 있다. 이 중에서 MAC(Medium Access Control) 계층은 전송데이터에 대한 에러 및 흐름 제어를 하기 위해 MAC 프로토콜을 사용함으로써 모바일 센서 디바이스 사이의 성공적인 통신을 보장한다[1][2]. 그 결과 MAC 프로토콜이 모바일 센서 디바이스의 에너지를 소비하는 주요 요인이며, 전체 IoT 시스템의 수명을 결정한다고 할 수 있다.

IoT 시스템 내의 무선 센서 디바이스들은 임의의 위치에 무작위로 배치되므로 자기 구성 능력을 가져야 한다[3]. 무선 센서 디바이스들은 응용에 따라 사람이 접근하기 어려운 지역에서 무작위로 배포되므로 스스로 조직화 되어야 하고, 각각의 센서 디바이스에서 수집된 데이터가 싱크 노드로 전송될 수 있어야 하며, 모바일 센서 디바이스의 이동성도 지원할 수 있어야 한다.

본 논문에서 제안하는 MAC 기법은 IoT 시스템에 배치된 이동성이 있는 센서 디바이스들을 싱크

노드와의 거리를 기준으로 그룹화하고, 자신의 차상위 그룹으로만 데이터를 전송하도록 하여 결과적으로 싱크 노드 방향으로만 데이터를 전송하도록 한다. 또한 각 그룹별로 서로 다르게 사전에 설정된 버퍼 임계값을 기준으로 데이터를 전송하도록 함으로써 싱크 노드 근처에 있는 센서 디바이스들의 에너지 소비를 최소화하고 전체 IoT 시스템의 에너지 효율을 높인다. 센서 디바이스가 이동하여 차상위 그룹에 데이터를 전송할 수 없게 되면, 새롭게 그룹을 할당 받고 새로운 경로를 이용하여 데이터를 전송하게 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 관련 연구에 대해 설명한다. 3장에서는 제안된 기법을 기술하고, 4장에서는 제안 기법에 대한 구현 및 성능 평가 결과를 설명한다. 마지막으로 5장에서 결론 및 향후 연구계획을 제시한다.

2. 관련 연구

센서 노드의 에너지 효율을 높이기 위해 많은 기법들이 제안되었다. 예를 들면, 경쟁기반 프로토콜인 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance) 는 이웃 노드들이 자신의 제어 패킷을 도청하게 함으로써 송수신시 매체에 접근하는 것을 막아 충돌을 피한다[4]. 가능한 충돌을 피한다는 점에서 불필요한 에너지 소모를 줄일 수는 있으나 언제 수신될지 모르는 신호를 위해 계속 채널을 감지하고 있어야 하므로 에너지 효율이 크게 증가되지는 않는다. [5]에서의 접근 방식은 에너지 소비를 최소화하기 위해 낮은 레벨 반송파(Carrier)의 프리앰블 감지(preamble sensing) 기법을 통해 주기적으로 무선 통신을 위한 부분의 전원을 켜고 끄는 방법을 제안하였다. Wise MAC은 네트워크 트래픽에 따라, 프리앰블 길이를 변경함으로써 에너지 소비를 감소시키는 방안이다[6].

S-MAC은 에너지 소비를 감소시키기 위해 시간 슬롯의 개념을 사용한다[7]. S-MAC은 고정 듀티 사이클을 사용하는 반면, T-MAC은 에너지 효율을 개선하기 위해 적응 듀티 사이클을 사용한다[8]. E²-MAC은 버퍼 임계치 개념을 기반으로 센서 노드의 데이터 전송을 조절함으로써, T-MAC의 에너지 효율을 향상시킨다[9]. PW-MAC프로토콜은 수신자의 비콘 프레임에 의사 랜덤 수(pseudo-random number)를 추가하여 송신 노드가 수신 노드의 wakeup 시간을 예측하는 방식을 사용한다[10]. XY-MAC은 송신 노드의 Early ACK 구간으로 인해 증가되는 수신 노드의 아이들 리스닝 시간을 감소시키기 위해 Early ACK 구간을 최소화하는 Early Termination기법을 사용한다[11]. Dynamic S-MAC은 네트워크 트래픽 상태에 따라 프레임 길이를 변경함으로써 S-MAC의 에너지 소모를 향상시킨다[12]. EA-MAC은 노드 상관 분석 알고리즘과 트래픽 적응형 듀티 사이클 매커니즘을 추가하여 S-MAC의 단점을 보완하였다[13]. [14], [15] 연구에서는 싱크 노드 가까이에 있는 센서 노드들은 멀리 떨어져 있는 센서 노드들에 비해 에너지 소모가 커지게 되는 점을 고려하여 전체 시스템의 에너지 수명을 최대화하는 방안을 제안하였다.

이러한 MAC 프로토콜들은 대부분 센서 디바이스 개개의 에너지 효율을 높이기 위해서 개발되었으며, IoT 시스템을 구성하고 있는 센서 디바이스의 이동성과 시스템 전체의 에너지 수명에 대해서는 고려하지 않았다.

3. 모바일 센서 디바이스 그룹 관리 MAC 기법

제안하는 기법은 T-MAC의 적응 듀티 사이클을 적용하면서, IoT 시스템에 배치된 이동성이 있는 센서 디바이스들을 싱크 노드와의 거리(홉)를 기준

으로 그룹화하고, 센서 노드들에게 각 그룹별로 서로 다른 버퍼 임계값을 설정하여, 버퍼 임계값을 기준으로 데이터를 전송하도록 한다. 또한 자신의 차상위 그룹으로만 데이터를 전송하도록 함으로써 싱크 노드 방향으로만 데이터를 전송하도록 한다. 센서 노드가 이동하여 차상위 그룹에 데이터를 전송할 수 없게 되면, 새롭게 그룹을 할당 받고 새로운 경로를 이용하여 데이터를 전송하게 한다.

3.1. 초기 그룹 ID 설정

초기 그룹 ID 설정은 IoT 시스템에 처음 싱크 노드와 센서 노드들이 배치되었을 때와 싱크 노드나 센서 노드들의 이동으로 인하여 데이터를 전송할 수 없는 상황을 방지하기 위해 싱크 노드가 주기적으로 모든 센서 노드들의 그룹 ID를 재설정할 때 발생한다. 초기 그룹 ID 설정은 싱크 노드가 그룹 ID와 그룹 ID 설정 버전 정보를 포함하는 광고 패킷(Advertisement Packet)을 전송하면서 시작되며, 다음과 같은 절차로 그룹 ID 값을 설정한다.

1) 싱크 노드가 자신의 그룹 ID를 0으로 설정하고, 그룹 ID와 설정 버전 정보를 포함하는 광고 패킷을 생성한 후 자신과 전송이 가능한 거리에 있는 모든 센서 노드들에게 광고 패킷을 전송한다.

2) 그룹 ID를 설정하지 않은 센서 노드가 광고 패킷을 수신하면, 수신한 그룹 ID 값에 1을 더하여 자신의 그룹 ID로 설정하고, 자신의 그룹 설정 버전을 수신한 그룹 설정 버전으로 갱신 한 후, 광고 패킷을 생성하여 주변의 전송 가능한 거리에 있는 센서 노드들에게 광고 패킷을 전송한다.

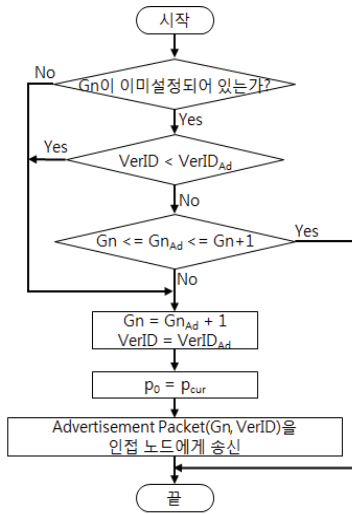
3) 이미 그룹 ID를 가지고 있는 센서 노드가 광고 패킷을 수신하면, 먼저 수신한 그룹 설정 버전 정보와 자신의 버전 정보를 비교하여 수신한 그룹 설정 버전이 자신의 버전보다 크다면, 수신한 그룹 ID 값에 1을 더하여 자신의 그룹 ID로 설정하고,

자신의 그룹 설정 버전을 수신한 그룹 설정 버전으로 갱신 한 후, 광고 패킷을 생성하여 주변의 전송 가능한 거리에 있는 센서 노드들에게 광고 패킷을 전송한다.

수신한 그룹 설정의 버전이 자신이 버전보다 작거나 같다면, 수신한 그룹 ID와 자신의 그룹 ID를 비교하여 자신과 동일한 그룹이나 차하위 그룹으로부터 광고 패킷을 수신한 것이 아니라면(수신한 그룹 ID가 자신의 그룹 ID보다 작거나 2이상 크다면), 수신한 그룹 ID 값에 1을 더하여 자신의 그룹 ID로 설정하고, 자신의 그룹 설정 버전을 수신한 그룹 설정 버전으로 갱신 한 후, 광고 패킷을 생성하여 주변의 전송 가능한 거리에 있는 센서 노드들에게 광고 패킷을 전송한다.

4) 모든 센서 노드들의 그룹 ID가 설정될 때까지 2)~3)의 과정을 반복한다.

<그림 1>은 위 과정을 순서도로 보여준다.



- Gn: 센서 노드의 그룹 ID
- Gn_{Ad}: 수신한 광고패킷에 포함된 그룹 ID
- VerID: 현재 그룹 설정 버전
- VerID_{Ad}: 수신한 광고패킷에 포함된 그룹 설정 버전
- p_o: 가장 최근에 그룹 ID를 설정했을 때 센서 노드의 위치
- p_{cur}: 센서 노드의 현재 위치

그림 1. 초기 그룹 ID 설정 순서도

Figure 1. The Flowchart of Initial Group ID Setting

초기 그룹 ID설정이 완료되면 센서 노드가 싱크 노드로부터 멀리 있을수록 큰 그룹 ID 값을 가지게 되며, 데이터 전송은 항상 그룹 ID가 작은 그룹 방향으로만 이루어진다.

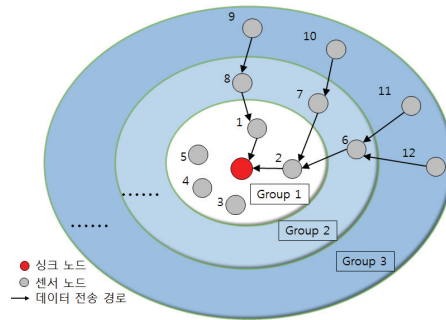


그림 2. 그룹 ID와 데이터 전송 경로

Figure 2. Group ID and Data transmission path

3.2 모바일 센서 노드의 그룹 ID 재설정

IoT 시스템에서는 센서 노드가 이동이 가능하며, 이로 인해 상위 그룹으로 데이터 전송이 불가능할 수도 있다. 초기 그룹 ID 설정을 주기적으로 진행하면 이 문제를 해결할 수 있지만, 주기가 짧을수록 오버헤드가 커진다. 제안하는 기법에서는 센서 노드가 일정거리 이상 이동하거나 상위 그룹으로 데이터 전송이 불가능함을 인지하면 자신의 그룹 ID를 재설정하도록 한다.

센서 노드는 자신이 일정거리 이상 이동했음을 인지하기 위해 주기적으로 이동거리를 계산하며, 가장 최근에 그룹 ID를 설정하였을 때의 위치를 기준으로 현재 위치와의 직선거리로 구한다. 센서 노드가 일정거리 이상 이동했음을 판단하는 기준 d 는 식 (1)로 구할 수 있다.

$$d = \alpha \times (\text{센서노드의 최대 통신거리}), (0 < \alpha \leq 1) \quad (1)$$

가중치 α 는 IoT 시스템의 성격에 따라 다양하

게 설정될 수 있으며, 최적의 α 를 결정하는 것은 IoT 시스템 개발자의 몫으로 남겨둔다.

센서 노드가 상위 그룹의 센서 노드에게 데이터를 전송하기 위해 RTS (Request To Send)를 3회 전송했음에도 CTS(Clear To Send)를 수신하지 못하면, 센서 노드는 상위 그룹으로 데이터를 전송할 수 없다고 판단한다.

모바일 센서 노드의 그룹 ID 재설정에는 헬로우 패킷(Hello packet)과 응답 패킷(Reply packet)을 사용한다. 그룹 ID를 재설정할 센서 노드는 주위에 있는 센서 노드들에게 헬로우 패킷을 전송한다. 헬로우 패킷을 수신한 센서 노드들은 자신이 이동한 거리에 비례한 시간만큼 대기하다가 자신의 그룹 ID를 포함하는 응답 패킷을 전송한다. 자신이 이동한 거리에 비례한 대기시간을 둬으로써 이동거리가 짧은 센서 노드가 빨리 응답 패킷을 전송하게 하고 해당 그룹 ID에 높은 신뢰도를 반영한다. 또한 대기시간으로 인해 응답 패킷들 간의 충돌을 감소시키는 효과도 얻을 수 있다. 헬로우 패킷을 전송한 센서 노드는 일정시간 동안만 주변으로부터 응답 패킷을 수신하고, 수신한 그룹 ID와 신뢰도를 기반으로 자신의 그룹 ID를 재설정한다.

<그림 3>은 헬로우 패킷을 송신한 센서 노드의 처리과정을, <그림 4>는 헬로우 패킷을 수신한 센서 노드의 처리 과정을 보여준다.

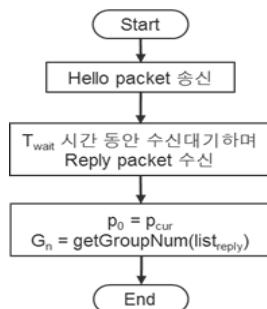


그림 3. 헬로우 패킷을 송신한 센서 노드의 그룹 ID 설정 과정
Figure 3. Group ID setting process of a sensor node that sent a Hello packet

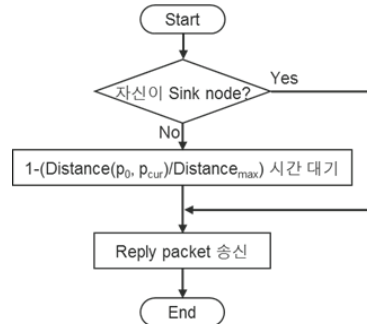


그림 4. 헬로우 패킷을 수신한 센서 노드의 응답 패킷 전송 과정
Figure 4. A Response packet sending process of a sensor node that received a Hello packet

<그림 3>의 getGroupNum()함수는 센서 노드의 그룹 ID를 구하는 함수이며, 계산식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & getGroupNum(list_{reply}) = \\
 & \begin{cases} 1 & , \text{싱크노드로부터 광고 패킷 수신} \\ GroupNum(list_{reply}) & , \min(Gn) < GroupNum(list_{reply}) \\ \min(Gn) + 1 & , \min(Gn) \geq GroupNum(list_{reply}) \end{cases} \quad (2) \\
 & * \min(Gn) : \text{수신한 응답 패킷들의 그룹 ID 중 최소값}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & GroupNum(list_{reply}) = \\
 & \quad \quad \quad \text{round}\left(\frac{\sum(Gn \times w1 \times w2)}{\sum(w1 \times w2)}\right) \\
 & * \text{round}() : \text{반올림 함수} \\
 & * w1 : \text{이동가중치. } w1 = 1 - \frac{\text{노드 이동거리}}{\text{최대 이동거리}} \\
 & * w2 : \text{그룹가중치. } w2 = \frac{1}{2 \times Gn - 1} \quad (3)
 \end{aligned}$$

식 (2)의 getGroupNum() 함수는 센서 노드가 응답 패킷을 기다리는 동안 싱크 노드로부터 광고 패킷을 수신하면, 센서 노드가 싱크 노드와 직접 통신할 수 있는 거리(1홉)에 위치하는 것이므로 그룹 ID를 1로 설정하고, 광고 패킷을 수신하지 않으면 GroupNum() 함수와 수신한 그룹 ID의 최소값을 비교하여 그룹 ID 값을 구한다. 센서 노드는 통신이 가능한 범위 내에 차상위 그룹의 센서 노드가 존재해야 데이터를 전송할 수 있기 때문에, 자신의 그룹 ID는 주변에서 응답 받은 그룹 ID의 최소값보다 항상 커야 한다. 따라서 GroupNum()에서 구한

그룹 ID가 응답 패킷으로 수신한 그룹 ID의 최소값보다 크다면 GroupNum()의 결과값으로 그룹 ID를 설정하고, 그렇지 않으면 수신한 그룹 ID의 최소값에 1을 더하여 그룹 ID를 설정한다.

식 (3)의 GroupNum() 함수는 각 응답 패킷에 있는 그룹 ID에 이동거리에 대한 가중치 w1와 그룹별 그룹 ID에 대한 가중치 w2를 적용하여 평균값을 구하고, 소수점 첫째 자리에서 반올림하여 정수값으로 그룹 ID를 산출한다. 이동거리에 대한 가중치 w1은 이동거리가 큰 센서 노드는 자신이 속했던 그룹에서 이탈했을 가능성이 높기 때문에, 이동거리가 클수록 그룹 ID에 낮은 가중치를 부여한다. 일반적으로 상위 그룹보다 하위 그룹에 속한 센서 노드의 수가 많고, 각 그룹에 배치될 수 있는 센서 노드의 수는 그룹의 범위에 비례하므로, 그룹별 그룹 ID에 대한 가중치 w2는 원의 넓이를 이용하여 그룹 1의 넓이를 1로 치환하고, 각 그룹별 넓이에 역수를 취하여 적용하였다.

3.3. 버퍼 임계값 설정

버퍼 임계값은 각 그룹별로 다르게 설정되는데, 싱크 노드로부터 멀리 떨어져있는 그룹(그룹 ID가 큰)의 센서 노드의 버퍼 임계값은 가까이에 있는(그룹 ID가 작은) 센서 노드의 버퍼 임계값보다 작게 설정된다. 버퍼 임계값은 자신의 그룹 ID를 활용하여 설정하며, 각각의 센서 노드는 버퍼 임계값을 다음과 같이 설정할 수 있다.

$$B_i = \beta \times \frac{(n + 1 - Gn)}{n} \times B_t \quad (4)$$

* B_i : 그룹 i 에 속한 센서 노드의 버퍼 임계값
 * β : 버퍼 임계값 가중치
 * n : 전체 그룹의 수
 * Gn : 센서 노드의 그룹 ID
 * B_t : 센서 노드의 전체 버퍼 크기

식 (4)는 일반적으로 적용될 수 있는 버퍼 임계값 설정 식이며, 버퍼 임계값 가중치 β 는 IoT 시스템의 성격에 따라 다양하게 설정될 수 있다. 최적의 β 를 결정하는 것은 IoT 시스템 개발자의 몫으로 남겨둔다.

일반적으로 각각의 그룹 내의 센서 노드의 버퍼 임계값은 싱크 노드로부터의 거리에 반비례하도록 구성된다. 센서 노드는 자체에서 수집된 데이터와 다른 센서 노드로부터 전송받은 데이터를 버퍼에 저장하며, 버퍼에 축적된 데이터가 버퍼 임계값과 같거나 초과하면 인접한 센서 노드로 데이터를 전송한다. 즉, 싱크 노드로부터 멀리있는 센서 노드가 이웃하는 노드에 데이터를 전송하는 기회를 더 많이 가지게 된다. 제안하는 방법은 이러한 방법으로 IoT 시스템의 전체 에너지 효율을 극대화한다.

4. 성능평가

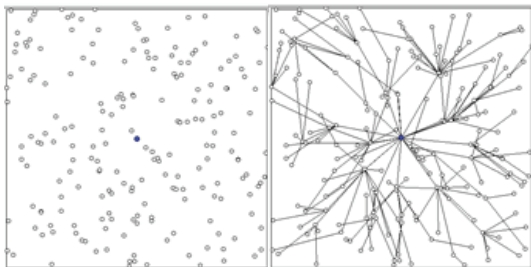
제안한 기법은 C++ 프로그램과 MFC(Microsoft Foundation Class Library)를 이용하여 구현하였으며, 시뮬레이션 환경은 다음과 같이 가정한다.

표 1. 시뮬레이션 환경
Table 1. Simulation environment

<ul style="list-style-type: none"> • IoT 시스템 환경(물리적인 공간) : 300m x 300m x 300m • 센서 노드의 개수 : 싱크 노드 1개, 센서 노드 200개 • 시뮬레이션에 적용하는 센서 노드 : Texas Instrument에서 제작한 CC2420 radio transceiver • 센서 노드의 초기 에너지 : 3000mW • 센서 노드가 데이터를 전송할 때 소비 전력 : 52.2mW • 센서 노드가 데이터를 수신할 때 소비 전력 : 56.4mW • 센서 노드가 대기모드일 때 소비 전력 : 56.4mW • 센서 노드의 최대 버퍼 크기 : 200Btye • 센서 노드의 최대 전송거리 : ZIGBEE의 전송거리(약 90m) 적용 • 데이터 발생 : 포아송 분포를 따르며 평균 1분에 1회 발생 • 그룹 ID 갱신을 위한 전송거리 기준 비율 : 1 • 센서 노드의 최대 이동속도 : 5meter/minute • 싱크 노드 및 센서 노드들은 랜덤하게 이동한다.
--

<그림 5>는 IoT 시스템에 처음으로 싱크 노드와

센서 노드들이 배치되어 그룹이 설정된 상태를 보여준다. 파란색 원은 싱크 노드를, 하얀색 원은 센서 노드들을 의미하며, 일부 센서 노드들이 매우 근접하게 배치된 것처럼 보이지만, 실제로는 거리를 두고 배치되어 있는 상태이다. (1)은 처음으로 싱크 노드와 센서 노드들이 배치된 상태이며, (2)는 처음으로 그룹이 설정된 상태를 보여준다. 싱크 노드와 직접적으로 실선으로 연결된 센서 노드들이 그룹 1번이고, 순차적으로 실선으로 따라 연결된 노드들이 차례로 그룹 2, 그룹 3을 의미한다. 싱크 노드를 기준으로 센서 노드의 거리(홉)에 따라 그룹 ID가 정상적으로 설정된 것을 확인할 수 있으며, 데이터 전송은 하위 그룹에서 실선을 따라 상위 그룹으로만 이루어진다.



(1) 초기 배치 상태 (2) 초기 그룹 설정 상태

그림 5. IoT 시스템에 싱크 노드와 센서 노드들이 초기 배치되어 처음으로 그룹이 설정된 상태

Figure 5. Placement status of sink node and sensor nodes and initial Group ID settings in IoT system

<그림 6>은 일정시간이 경과한 후 IoT 시스템의 그룹 설정 상태를 보여준다. 빨간색 원은 센서 노드들의 이동으로 인해 그룹 ID가 재설정 되어야 할 필요가 있으나, 아직 그 사실을 인지하지 못한 센서 노드를 의미한다. 센서 노드들이 많이 이동하여도 대부분의 센서 노드에 정상적으로 그룹 ID가 설정되어 통신이 가능한 상태임을 알 수 있다. 통신이 불가능한 상태의 빨간색 센서 노드들도 시간이 지남에 따라 그룹 ID를 재설정하고, 통신 가능한

경로를 찾아서 다시 통신을 할 수 있게 될 것이다.

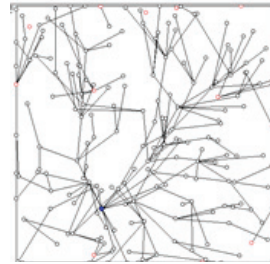


그림 6. 일정시간 경과 후 센서 노드들의 그룹 설정 상태
Figure 6. Group ID setting status of sensor nodes after a certain time

제안한 MAC 기법의 시뮬레이션에 적용한 각 그룹별 버퍼 임계값 가중치 β 는 각 그룹에 배치될 수 있는 센서 노드의 수(원의 넓이)를 기초로 하여, 그룹 1의 넓이를 1로 치환하고 각 그룹별 넓이에 역수를 취하였으며 계산식은 $\frac{1}{2 \times Gn - 1}$ 이다.

제안한 기법의 에너지 효율성 검증을 위하여, 발생하는 데이터의 크기를 다양하게 적용하여 모든 센서 노드들의 에너지 소모량을 비교하였다.

<그림 7>은 발생하는 데이터의 크기를 1byte로 했을 때 시간의 경과에 따른 모든 센서 노드들의 에너지 소모량을 보여준다. 시간의 경과에 따라 모든 센서 노드들의 에너지 소모량이 비슷한 수준으로 감소되고 있다.

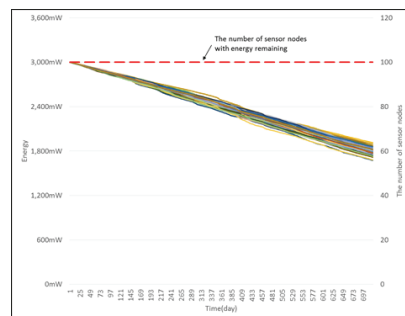


그림 7. 발생데이터의 크기가 1 byte일 때 시간 경과에 따른 센서 노드들의 에너지 잔여량

Figure 7. When data size is 1 byte, remaining energy of sensor nodes over time

〈그림 8〉은 발생하는 데이터의 크기를 10byte로 했을 때 시간의 경과에 따른 모든 센서 노드들의 에너지 소모량을 보여준다. 시간의 경과에 따라 모든 센서 노드들의 에너지 소모량이 비슷한 수준으로 감소되고 있으며, 에너지가 고갈되지 않은 센서 노드의 수를 나타내는 빨간 점선 그래프를 볼 때 비슷한 시기에 대다수 센서 노드들의 에너지가 고갈되는 것을 알 수 있다. 발생하는 데이터의 크기가 크기 때문에 데이터 전송 횟수가 늘어나 오랜 시간이 경과하지 않아도 센서 노드의 에너지가 고갈되었다. 하지만 비슷한 시기에 대다수의 센서 노드들의 에너지가 고갈되는 것으로 보아, 특정 센서 노드들의 에너지 고갈이 전체 IoT 시스템의 에너지 수명에 영향을 미치지 않는다. 즉, 전체 IoT 시스템의 에너지 수명이 최대화 된다.

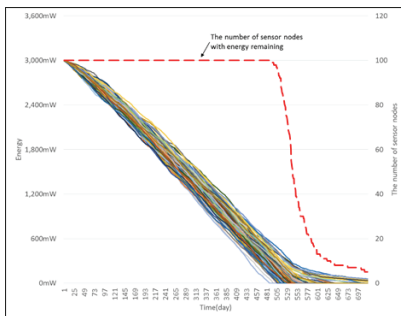
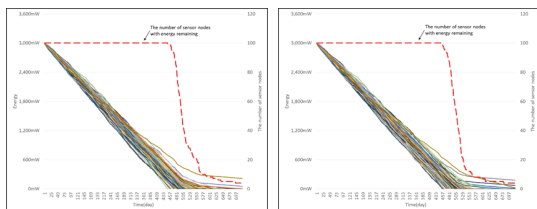


그림 8. 발생데이터의 크기가 10 byte일 때 시간 경과에 따른 센서 노드들의 에너지 잔여량

Figure 8. When data size is 10 bytes, remaining energy of sensor nodes over time



(1) 데이터 크기 100byte (2) 데이터 크기 200byte

그림 9. 발생데이터의 크기가 각각 100 byte, 200byte일 때 시간 경과에 따른 센서 노드들의 에너지 잔여량

Figure 9. When data size is 100 bytes and 200 bytes, respectively, remaining energy of sensor nodes over time

〈그림 9〉는 발생하는 데이터의 크기를 각각 100byte, 200byte로 했을 때 시간의 경과에 따른 모든 센서 노드들의 에너지 소모량을 보여준다. 시간의 경과에 따라 모든 센서 노드들의 에너지 소모량이 비슷한 수준으로 감소되고 있으며, 비슷한 시기에 대다수 센서 노드들의 에너지가 고갈된다.

시뮬레이션 결과를 볼 때, 제안한 MAC 기법은

첫째, IoT 시스템에 배치된 싱크 노드와 센서 노드들에게 싱크 노드와의 거리(홉)을 기준으로 그룹을 할당하고, 센서 노드들이 이동으로 인해 차상위 그룹에 데이터를 전송할 수 없게 되면, 새로운 그룹 ID 할당을 통해 새로운 경로로 데이터를 정상적으로 전송하도록 하는 것을 알 수 있다.

둘째, 각 그룹별로 서로 다르게 설정된 버퍼 임계값을 기준으로 데이터를 전송하도록 하여, 발생하는 데이터의 크기가 다양하더라도 모든 센서 노드들의 에너지 소비량을 균등하게 조절하고, 모든 센서 노드의 에너지가 비슷한 시기에 고갈되도록 하여 전체 IoT 시스템의 에너지 효율을 높이는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 IoT 시스템에서 이동성을 가진 센서 노드들에 대해 싱크 노드와의 거리를 기준으로 그룹을 설정하고, 사전에 설정된 버퍼 임계값을 이용하여 데이터를 전송함으로써 제한된 배터리 에너지를 효율적으로 사용할 수 있는 MAC 프로토콜을 제안하였다.

제안한 MAC 프로토콜은 그룹 ID를 이용하여 모든 센서 노드들이 싱크 노드 방향으로 데이터를 전송하도록 하며, 센서 노드가 이동하여 차상위 그룹에 데이터를 전송할 수 없게 되면, 새롭게 그룹을 할당 받고 새로운 경로를 이용하여 데이터를 전송하게 한다. 또한, 가변 길이 버퍼 임계값을 이

용하여, 싱크 노드에 가까운 센서 노드는 데이터 전송 횟수를 줄임으로써 IoT 시스템 전체의 에너지 수명을 최대화하도록 설계하였다.

마지막으로 제안한 MAC 프로토콜을 구현하고 성능 평가를 통해 제안하는 기법이 에너지 효율적임을 증명하였다.

향후에는 제안된 MAC 프로토콜에서의 이동거리에 대한 기준 및 버퍼 임계값에 대한 명확한 기준 설정, 다양한 IoT 환경을 적용한 그룹 ID 재설정 수식 개선 및 상세한 성능 평가, 라우팅 및 데이터 베이스 관리 정책과 같은 고급 MAC 프로토콜 설계가 필요할 것이다.

References

- [1] IEEE Std. 802.11-2012. *Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications*, 2012.
- [2] P. Huang, L. Xiao, S. Soltani, M. W. Mutka, and N. X. Huang, *The evolution of MAC protocols in wireless sensor networks: A survey*. IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 15, Issue 1, pp. 101-120, 2013.
- [3] K. Sohrabi, J. Gao, V. Ailawadhi, and G. J. Pottie, *Protocol for self-organization of a wireless sensor network*, IEEE Personal Communication, Vol. 7, Issue 5, 2002.
- [4] IEEE Std 802.11-2008. *Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications*, 1999.
- [5] A. El-Hoiydi, *Aloha with preamble sampling for sporadic traffic in adhoc wireless sensor networks*, IEEE ICC 2006, Vol. 5, pp. 3418-3423, 2006.
- [6] A. El-Hoiydi, D. Decotignie, C. Enz, and E. LeRoux, *Poser abstract; wise MAC, an ultra low power MAC protocol for the WiseNet wireless sensor network*, ACM SenSys 03, pp. 685-692, Nov. 2003.
- [7] W. Ye, H. Heidemann, and D. Estrin, *An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks*, IEEE INFOCOM, pp. 1567-1576, 2002.
- [8] T. van Dam, and K. Langendoen, *An adaptive energy efficient MAC protocol for wireless sensor networks*, ACM SenSys, pp. 171-180, 2003.
- [9] J.-H. Kim, S.-J. Choi, and H.-N. Kim, *Advanced MAC protocol with energy-efficiency for wireless sensor networks*, ICOIN, pp. 687-699, 2005.
- [10] L. TANG, Y. Sun, O. Gurewitz, and D. B. Johnson, *PW-MAC: An energy-efficient predictive-wakeup MAC protocol for wireless sensor networks*. INFOCOM IEEE, pp. 1305-1313, 2011.
- [11] Z. Lu, T. Luo, and X. Wang, *XY-MAC: a short preamble MAC with sharpened pauses for wireless sensor networks*, in Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC '12), pp. 1550-554, 2012.
- [12] D.-S. Yoo, and S.-S. Choi, *Medium access control with dynamic frame length in wireless sensor networks*, Journal of Information Processing Systems, Vol. 6, No. 4, pp. 501-510, 2010.
- [13] D. Xu, and K. Wang, *An adaptive traffic MAC protocol based on correlation of nodes*, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2015:258, DOI: 10.1186/s13638-015-0488-x, 2015.

- [14] K-H. Sun, I-T. Ryoo, *A study on medium access control scheme for energy efficiency in wireless smart sensor networks*, ICTC 2015, 2015.
- [15] S-H. Kim, H-G. Joh, S-J. Choi, and I-T. Ryoo, *Energy efficient MAC scheme for wireless sensor networks with high-dimensional data aggregate*, Hindawi Publishing Coporation Methematical Problems in Engineering, Vol. 2015, pp. 1-13, 2015.

IoT 시스템의 모바일 센서 디바이스를 위한 에너지 효율적인 그룹 관리 MAC 기법

선경희, 이재선, 유인태

경희대학교 컴퓨터공학과

요 약

모바일 센서 디바이스는 IoT 시스템의 핵심 구성 요소 중 하나이며, 사람이 접근할 수 없는 지역이나 위험한 지역에서도 데이터를 수집할 수 있다. 무선 센서 디바이스의 배터리 용량은 제한적이고, 배터리 교환이 어렵거나 불가능할 수 있기 때문에 에너지 소비량을 최소화해야 한다. 본 논문에서는 이동성을 가지는 센서 디바이스들로 구성된 IoT 시스템에서 에너지 효율적인 MAC 프로토콜을 제안한다. 제안하는 기법은 센서 디바이스들을 싱크 노드와의 거리를 기준으로 그룹화하고, 자신의 차상위 그룹으로만 데이터를 전송하도록 한다. 센서 디바이스가 이동하여 차상위 그룹에 데이터를 전송할 수 없게 되면, 새롭게 그룹을 할당 받고 새로운 경로를 이용하여 데이터를 전송한다. 또한 각 그룹별로 서로 다르게 사전에 설정된 버퍼 임계값을 기준으로 데이터를 전송하도록 함으로써 싱크 노드 근처에 있는 센서 디바이스들의 에너지 소비를 최소화한다. 본 논문에서는 제안한 MAC 프로토콜을 구현하고 성능 평가를 통해 제안하는 기법이 보다 에너지 효율적임을 증명한다. 제안하는 기법은 다양한 컴퓨팅 및 네트워크 환경의 모바일 센서 디바이스에 적합할 것이다.



Kyunghee Sun received the B.E and M.E. degrees in the department of computer science and statistics from Jeju University, Korea, in 1998 and 2008, respectively.

She completed the Ph.D. course in the Department of Computer Engineering from Kyunghee University in 2016. From 2006 to 2014, she was a senior researcher at Jeju Technopark. Her current research interests include IoT, IT convergence, network protocol, and network security.

E-mail address: sunkh0507@khu.ac.kr



Jaesun Lee received the B.E. and M.E. degrees in the department of computer science and engineering from Kyunghee University, Korea, in 2015 and 2017, respectively.

His current research interests include IoT, wireless communication, and network protocol.

E-mail address: jaesuni007@khu.ac.kr



Intae Ryoo received the B.E., M.E. and Ph. D. degrees in electronics engineering from Yonsei University, Seoul, Korea, in 1987, 1989 and 1994,

respectively. He received the Ph.D. degree in the Department of Computer Engineering from Tokyo University in 1997. From 1997 to 1999, he was a senior researcher at Samsung Electronics Co., Ltd. He has been a professor in the Department of Computer Engineering at Kyunghee University since 1999. His current research interests include IoT, internet technology, network QoS/QoE, traffic management, wireless communication, and network security.

E-mail address: itryoo@khu.ac.kr