

QoS 기반 저전력 블루투스 스케줄링 기법

서 동 호*, 남 해 운*, 최 세 영°

A Bluetooth Low Energy Scheduling Scheme Based on QoS

Dongho Seo*, Haewoon Nam*,
 Seyeong Choi°

요 약

최근 무선센서를 이용한 사물 인터넷 기술이 다양한 분야에서 각광받고 있으며 산업계뿐만 아니라 학계에서도 활발히 연구가 진행되고 있다. 그 중 사물 인터넷 네트워크를 구현하는데 적합한 기술로 블루투스가 자리매김을 하고 있지만 기존 프로토콜을 그대로 이용하기에는 어려움이 있어 이를 극복하고자 기존 블루투스보다 전력을 적게 소모하는 단순한 형태의 저전력 블루투스 프로토콜이 개발되었다. 본 논문에서는 저전력 블루투스 프로토콜을 이용하여 메쉬네트워크를 구성하였을 때 브릿지노드로 동시에 복수의 마스터노드가 데이터를 전송할 경우 발생할 수 있는 데이터 충돌 문제를 방지하고 Quality of Service(QoS)를 고려하는 스케줄링 알고리즘을 제시한다.

Key Words : BLE, IoT, mesh network, TDMA, QoS, scheduling

ABSTRACT

In recent years, the Internet of Things (IoT) using wireless sensor technology has attracted attentions in various fields, and studies are being actively conducted not only in industry but also in academia. Among them, Bluetooth is positioned as a hardware suitable for implementing the IoT network. However,

it is difficult to use the existing protocol as it is. Therefore, the Bluetooth Low Energy (BLE) protocol that consumes less power than conventional Bluetooth has been developed. In this paper, we propose an algorithm to solve the scheduling problem which can occur when multiple master nodes send data to the bridge node at the same time in case the mesh network is constructed by using BLE.

1. 서 론

무선센서를 이용한 사물 인터넷 (Internet of Things, IoT) 기술은 폭넓은 분야에서 각광받고 있으며 다양한 산업 분야에 적용되고 있다. 이러한 IoT 서비스 어플리케이션 시스템을 이용하기 위해서는 여러 기기 간의 정보 공유를 위한 네트워크가 구성되어야 하며 주로 저전력 근거리 무선통신 기술들이 이에 활용된다. 그중 현재에도 다양한 센서 네트워크에 사용되고 있는 블루투스는 기존의 프로토콜을 보완하여 작은 용량의 배터리로 장시간 사용이 가능한 단순한 형태로 진화되었으며 최근에는 이를 반영한 저전력 블루투스 (Bluetooth Low Energy, BLE) 프로토콜이 제안되었다^[1]. 특히 이러한 저전력 설계는 메쉬네트워크를 구성하기에 적합하나 그에 따르는 여러 문제를 수반하기도 한다.

BLE는 비면허주파수 대역을 사용하기 때문에 그림 1과 같이 네트워크를 이루고 있는 기기의 수가 많은 경우 여러 대의 마스터노드(M)가 동시에 브릿지노드(B)에 데이터를 전송하고자 할 경우 충돌로 인한

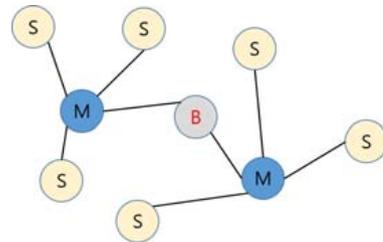


그림 1. 스캐터넷 토폴로지
 Fig. 1. Scatternet Topology

* 본 연구는 한국연구재단 논문연구과제(NRF-2017R1D1A1B03027926) 지원으로 수행되었습니다.

• First Author : (ORCID:0000-0002-3394-3422)Dept. of Elec. and Commun. Eng., Hanyang University, johnseo@hanyang.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-1888-9165)Dept. of Info. and Comm. Eng., Wonkwang University, sychoi@wku.ac.kr, 종신회원

* (ORCID:0000-0001-9847-7023)Dept. of Elec. and Commun. Eng., Hanyang University, hnamm@hanyang.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2018-01-008, Received January 5, 2018; Revised January 29, 2018; Accepted January 30, 2018

데이터 손실이 발생할 수 있으며 이로 인해 전체 네트워크의 성능이 저하될 수 있다. 따라서 본 레터에서는 BLE를 이용하여 스캐터넷 토폴로지 네트워크를 구성하였을 경우 브릿지노드에서 발생할 수 있는 데이터의 충돌을 피하는 동시에 마스터 노드의 QoS를 고려한 스케줄링 알고리즘을 제안하고자 한다.

II. 시스템 모델

네트워크는 그림 1과 같이 스캐터넷 토폴로지 구조로 구성하며 각각의 마스터노드는 여러 개의 슬레이브(S)노드와 연결되어 있으며 브릿지노드는 연결된 다수의 마스터노드로부터 데이터를 전송받을 수 있다. 이때 브릿지노드에 데이터를 보내기 위해 접속하는 마스터노드에 따라 그림 2의 A, B, C와 같이 데이터 오버랩에 의한 충돌이 발생할 수 있다. 따라서 그림 2의 D와 같이 충돌을 방지하기 위해 본 논문에서는 시분할다중접속 (Time Division Multiple Access, TDMA)을 기반으로 한 스케줄링을 이용한다고 가정한다.

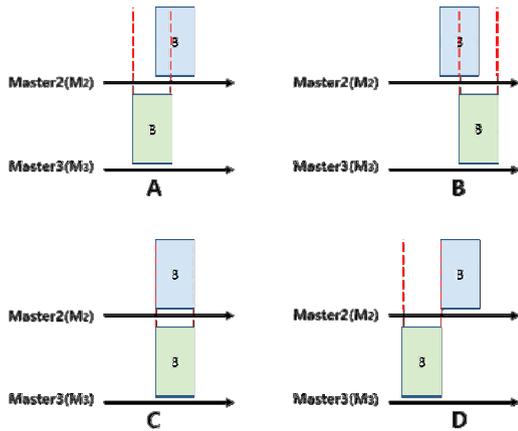


그림 2. 마스터 노드간의 데이터 오버랩
Fig. 2. Data overlap between master nodes

III. QoS를 고려한 스케줄링 알고리즘

TDMA 방식을 이용하여 마스터노드를 스케줄링하게 될 경우 마스터노드들 간의 데이터 충돌은 방지할 수 있지만 그림 3과 같이 각 마스터 노드마다 전송하고자 하는 데이터의 양이 다르고 브릿지노드에서 처리할 수 있는 처리량이 전체 마스터노드의 데이터양보다 적을 경우에는 M_4 노드와 같이 지속적으로 지연되는 데이터의 양이 증가하며 이로 인해 전송의 형평

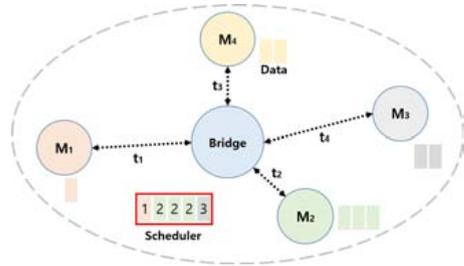


그림 3. QoS가 고려되지 않은 네트워크의 스케줄링
Fig. 3. Scheduling of networks without QoS consideration

성 문제가 발생할 수 있다²⁾. 또한, BLE의 특성상 최대 4,096개의 서브네트워크를 구성할 수 있으며 이로 인해 소수의 브릿지노드가 기존의 혼잡제어기법을 적용하여 해당 서브네트워크의 트래픽을 모두 컨트롤하기 힘들다는 한계가 있다. 또한, 네트워크를 구성하는 서브네트워크의 종류나 목적이 다르기에 각 마스터노드들의 전송률, 전송지연 및 우선순위와 같은 QoS 또한 달리³⁾ 기존의 Weighted Fair Queuing (WFQ) 방식의 스케줄링을 진행할 경우에는 서브네트워크의 우선순위가 역전되는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 본 레터에서는 각 서브네트워크에 따라 마스터노드의 전송 데이터양과 QoS의 우선순위를 고려하여 다음과 같은 알고리즘으로 스케줄링을 진행한다.

$$S_{n,k} = h_{n,k} (Q_n T_{n,k} + Q'_{n,k} D_{n,k-1}) \quad (1)$$

식 (1)의 $S_{n,k}$ 는 n 번째 노드의 k 번째 세션의 우선순위 값을 나타내며 이 값의 크기에 비례하여 해당 세션에서 우선적으로 전송 슬롯을 할당받는다. $h_{n,k}$ 와 $T_{n,k}$ 는 각각 k 번째 세션에서의 M_n 노드의 채널상태 값과 데이터양이며 이때 채널상태 값은 한 세션 안에서 변하지 않는 블록페이딩채널로 가정한다. Q_n 은 서브네트워크에 따라 초기 값으로 정해지는 마스터노드의 우선순위이다. $D_{n,k-1}$ 은 M_n 노드의 이전 세션에서 지연되는 데이터양이며, $Q'_{n,k} (\geq 0)$ 는 세션의 진행과정 중에 $D_{n,k-1}$ 의 값에 따라 유동적으로 변하는 우선순위 가중치 값이며 초기 값은 0으로 설정된다. 즉, 지연된 데이터가 많은 마스터노드는 다음 세션에서 높은 $Q'_{n,k}$ 값을 갖게 되며 식(1)에 따라 $S_{n,k}$ 의 값이 증가하게 된다. 따라서 데이터 슬롯 할당에서 상대적으로 높은 우선순위를 갖기 때문에 특정 노드에서 발생하는 지속적인 데이터 지연을 줄일 수 있다⁴⁾. 또한 $Q'_{n,k}$ 는 세션마다 설정 값이 변하지만 마스터 노드의

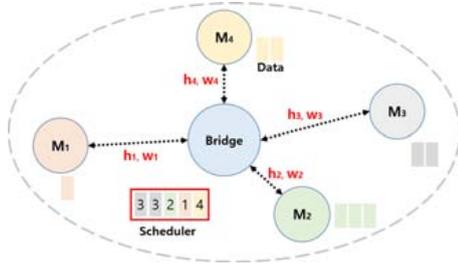


그림 4. QoS가 고려된 네트워크의 스케줄링
Fig. 4. Scheduling of networks with QoS consideration



그림 5. QoS가 고려된 네트워크의 스케줄링 알고리즘
Fig. 5. Scheduling Algorithm of networks with QoS consideration

초기 우선순위 값은 지속적으로 반영되기 때문에 전체 스케줄링 진행과정은 기본적으로 마스터노드의 초기 우선순위 값에 기반하여 이루어지게 된다.

그림 4와 5는 제안한 알고리즘을 적용한 네트워크 스케줄링과 알고리즘 순서도를 나타내고 있으며 이전 세션에서 지연된 데이터와 해당 세션에서 전송할 전체 마스터노드의 데이터양에 따라 스케줄링 알고리즘이 바뀌게 된다. 우선 k 세션이 시작되면 가장 먼저 이전 세션에서 지연된 데이터양과 k 세션에서 보내야할 전체 마스터노드의 데이터양을 브릿지노드의 처리량과 비교한 후 지연 데이터가 존재할 경우 해당 데이터를 갖고 있는 마스터노드를 브릿지노드의 전송슬롯에 우선적으로 할당하며 그 후에 다른 마스터 노드의 QoS를 고려하여 순차적으로 남은 슬롯을 할당한다. 반면 이전 세션에서 지연된 데이터가 없을 경우 마스터노드의 초기 QoS에 따라 전송슬롯을 순차적으로 할당한다.

IV. 모의실험 및 결과

그림 6은 전체 네트워크의 처리량과 각 마스터노드의 처리량에 대한 표준화된 비율 그래프이다. 그래프에서 알 수 있듯이 QoS를 고려하지 않은 스케줄링의 경우엔 첫 번째 마스터 노드에게 할당된 전송슬롯이 가장 적게 할당된 마스터노드에 비해 약 3배정도 많음을 확인할 수 있다. 하지만 QoS를 고려한 알고리즘의 경우엔 그 차이가 2배정도로 확연히 줄어들었으며 다른 마스터 노드간의 할당된 전송슬롯 차이가 그리 크지 않음을 알 수 있다. 따라서 BLE 메쉬네트워크에서 발생할 수 있는 데이터 충돌 방지 및 형평성을 위해 QoS 기반의 스케줄링 알고리즘을 제안 및 분석함으로써 제안한 알고리즘의 성능이 우수함을 확인할 수 있다.

향후 서브네트워크와 노드의 숫자가 유동적으로 변하는 환경에서 Admission Control Algorithm (ACA)를 이용한 망 자원의 효율성 증가를 위한 연구와 더불어 확장성에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

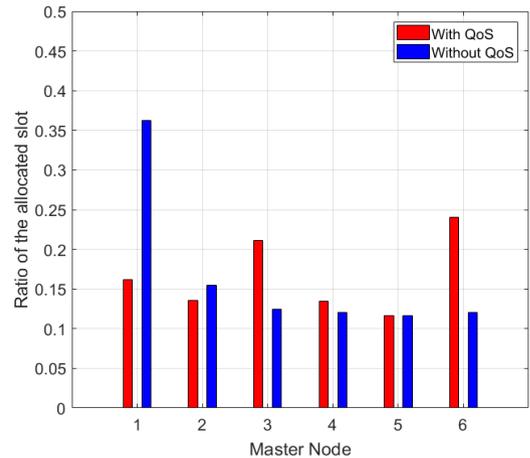


그림 6. 전체 처리량 대비 마스터 노드당 표준화된 처리량 비율
Fig. 6. Normalized throughput rate per master node versus total throughput

References

[1] C. Kuor Hsin, "Bluetooth: a viable solution for iot? [industrial perspectives]," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 21, no. 6, pp. 6-7, Dec. 2014.
[2] G. Patti, L. Leonardi, and L. L. Bello,

- “Bluetooth low energy real-time protocol for industrial wireless mesh networks,” in *IEEE Ind. Electron. Soc. Conf.*, pp. 4627-4632, Florence, Italy, Oct. 2016.
- [3] M. Andrews, K. Kumaran, K. Ramanan, A. Stolyar, P. Whiting, and R. Vijayakumar, “Providing quality of service over a shared wireless link,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 39, no. 2, pp. 150-154, Feb. 2001.
- [4] J. H. Lee, “Priority-based dynamic intent assignment method in wi-fi direct environments,” *J. KICS*, vol. 41, no. 5, pp. 565-573, May 2016.