

GTS 기반 무선 센서 네트워크에서 이벤트 데이터 전달 방안

An Event Data Delivery Scheme in GTS-based Wireless Sensor Network

이 길 흥*

(Kil-hung Lee)

(Seoul National University of Science and Technology)

· Corresponding author : Kil-hung Lee(Seoul National University of Technology), E-mail khlee@seoultech.ac.kr

요 약

본 논문은 무선 채널을 노드에게 할당하여 보장하는 GTS 기반의 무선 센서 네트워크에서, 고정적으로 할당하는 채널을 공유하고, 이벤트 발생 시 특정 노드가 보장 채널을 독점적으로 활용하기 위한 방안을 제시한다. 평상시에는 무선 자원이 충분하지 않은 조건에서 다수의 노드에게 특정 채널을 같이 할당하고, 할당한 채널을 노드들이 공유하면서 데이터를 전송한다. 이벤트 발생 시 특정 노드에게 채널을 독점적으로 활용하게 하게한다. 이러한 방안은 데이터 전송 시 백오프 값을 적절히 활용하고, 이벤트가 발생한 노드와, 이 노드로부터 데이터를 수집하는 루트 노드로의 경로상의 노드에게 우선권을 주는 방법으로 동작한다. 시뮬레이션을 통해 트리 기반 GTS 채널을 사용하는 제안 방안이 효과적으로 백오프 값을 조절하여, 이벤트의 전달노드에게 확실한 채널을 보장하면서, 필요한 이벤트 데이터가 효과적으로 수집될 수 있음을 확인할 수 있었다.

핵심어 : 무선 센서 네트워크, GTS, 이벤트 데이터, 우선 백오프

ABSTRACT

This paper presents an event data delivery scheme for wireless sensor networks that use a GTS-based channel allocation scheme. Many sensor nodes can share a GTS channel for sending their normal data to the sink node. When there is an event at a node, the node makes a temporal route to the sink node and the nodes of the route can use the GTS channel in a privileged access. This scheme controls the backoff number effectively so the data delivery priority is given to the nodes of that route. Simulation results show that the event data delivery of the proposed scheme outperforms at the end-to-end transfer delay and jitter characteristics. The proposed scheme can effectively gather the event data using the guaranteed GTS channel of the route in proposed scheme.

Key words : GTS, WSN, Event Data Delivery, Privileged Backoff

† 본 연구는 서울과학기술대학교 연구비 지원으로 수행하였습니다.

* 주저자 : 서울과학기술대학교 컴퓨터공학과 교수

† Received 19 October 2015; reviewed 10 November 2015; Accepted 11 November 2015

I. 서론

유비쿼터스 시대의 도입에 따라 센서를 이용한 응용이 다양해지고, 센서를 이용한 멀티미디어의 전송까지 가능하게 되었다. 소형 센서 기기의 기능이 증가되어 멀티미디어의 수집과 전송이 가능해진 것이다. 배터리의 용량이 커지고, 무선 데이터의 안정적인 전송 문제를 해결되어, 센서를 통한 실시간 데이터의 전달이 활발히 이루어질 것이다.

무선 센서 네트워크는 대부분 단발성의 데이터를 수집하는 형태로 운영되어 왔다. 온도나 습도, 화재, 바람, 동물이나 적의 침입 같은 데이터가 센서에 의해 수집되고, 이 데이터는 다시 중앙의 싱크 노드에게 전달된다 [1]. 데이터 전달은 무선으로 충돌을 회피하는 최선의 방법으로 시도되고, 충돌이 발생하여 수신 응답이 없으면 다시 전송된다. 최선의 방법으로 보내지는 데이터는 잦은 충돌의 발생으로 큰 지연이 생긴 이후에 도착할 수 있다. 또한, 지연의 변이로 생기는 지터는 멀티미디어의 전송 및 활용을 어렵게 한다. 안정적으로 데이터를 전달하기 위해서는 무선 채널을 따로 두어 특정 노드에게 할당하는 GTS (Guaranteed Time Slot) 방식을 이용해야 한다 [2]. 하지만, 무선의 자원이 한정되어 있고, 노드의 수가 많을 경우에 특정 채널을 한 개의 노드에게 할당하는 것은 쉽지 않다. 이를 위해, 본 논문에서는 한 개의 노드가 아닌 여러 노드에게 특정 채널을 할당하여 공유하고, 이벤트 발생 시 이들 노드들이 특정 채널을 우선적으로 사용하는 방식을 제안하고, 그 성능을 평가한다.

II. 무선 프레임 구조 및 센서 데이터 전송 방식 고찰

IEEE 802.15.4-LR WPAN에서는 슈퍼프레임이 정의되어 있다. 슈퍼프레임의 활성화 (Active) 구간은 총 16개의 슬롯이 있는데, 이중에 0 번째 슬롯은 비콘의 전송에 사용된다. 나머지의 슬롯은 랜덤 트래픽이 전송되는 CAP (Contention Access Period) 구간과 특정 노드에 할당되는 GTS 기반의 CFP

(Contention Free Period) 구간이 있다. GTS 채널은 할당 속도에 따라, 1개 이상의 슈퍼 프레임 슬롯으로 특정 노드에 할당된다. IEEE 802.15.4 슈퍼프레임 및 GTS의 구조는 IEEE 802.15.4 표준 [1]에 정의되어 있다.

하나의 GTS 채널을 다수의 센서 노드가 공유하는 방안은 여러 논문에서 다양하게 연구되어 왔다 [2-4]. GTS를 이용하는 방안은 특히 실시간 데이터 전송에서 지연과 지터 특성에서, 경쟁 방식의 네트워크보다 더 우수한 특성을 보여주는 것을 확인하였다 [5]. [6]에서는 긴급 데이터를 위한 GTS 채널을 따로 두어, 긴급 데이터를 안정적으로 빠르게 전송하는 방안을 제안하였다. [7]에서는 GTS 네트워크의 이론적 분석을 통해 입력 트래픽에 다른 지연 특성을 연구하였으며, 이 결과는 시뮬레이션으로 얻은 값과 거의 일치함을 보였다. [8]에서도 GTS 활용 센서 네트워크의 이론적 분석을 통해 GTS 활용 네트워크에서 입력 트래픽 파라미터에 따른 센서 네트워크의 지연 특성을 분석하였다. 보통 하나의 GTS 채널은 하나의 노드에 할당 하지만, i-GAME은 하나의 GTS 채널을 다수의 노드가 라운드 robin 방식으로 사용한다 [9].

코디네이터는 주기적으로 비콘을 전송한다. 본 논문에서의 비콘은 강력한 파워를 통해 일반적인 센서 노드들이 전송하는 거리보다 훨씬 길게 도달한다. 이러한 거리는 통상 3배, 혹은 5배 이상의 거리까지 갈 수 있다. 비콘이 아닌 일반 데이터는 일반 센서 노드와 같은 전력으로 송출된다. 비콘을 수신하는 일반 센서 노드들은 자신의 타이밍을 비콘에 맞춰 동기시킨다. CFP 구간은 보통 하나의 노드에 고정 할당 되지만, 본 논문에서는 이러한 슬롯을 여러 노드가 공유한다. 하나의 채널을 여러 노드가 공유하면 충돌이 발생할 수 있는데, 이러한 충돌은 백오프 방식에 의해 해결한다.

III. GTS 기반 이벤트 데이터 전송 방안

센서 네트워크는 노드들을 네트워크로 묶어주는 클러스터 트리 형태로 구성된다. 트리에서 각 노드

는 루트와의 홉에 따라 각 노드의 깊이 레벨 값을 가지고, GTS 채널은 노드의 레벨에 따라 따로 할당된다. 각 레벨에서의 보장형 채널 할당은 하나의 노드에게 독점적으로 할당할 수 있고, 다수의 노드가 공유할 수도 있다. 다수의 노드가 공유할 경우에는 미리 일정한 순서를 두거나, 간단한 경쟁을 통해 채널에 접근해야 한다. GTS 채널을 할당받은 노드는 할당받은 GTS 구간에서, 노드간의 경쟁을 통해 채널을 획득하고 DATA의 전송을 시도한다. 경쟁은 각 노드의 백오프 값을 통해 구현되고, 이 값은 부모의 적절한 제어에 따라 변경된다. DATA를 성공적으로 수신한 센서 노드는 바로 ACK로 응답하고 데이터의 전송은 종료된다.

센서 네트워크에서 이벤트가 발생하면, 이벤트 정보를 가진 노드에게 채널을 전폭적으로 할당하기 위해, 이벤트 노드에게는 백오프 값을 0으로 할당한다. 또한, 이벤트 데이터가 중앙의 수집노드인 루트 노드에게로 향하는 경로상의 모든 노드에게도 백오프 값을 0으로 할당한다.

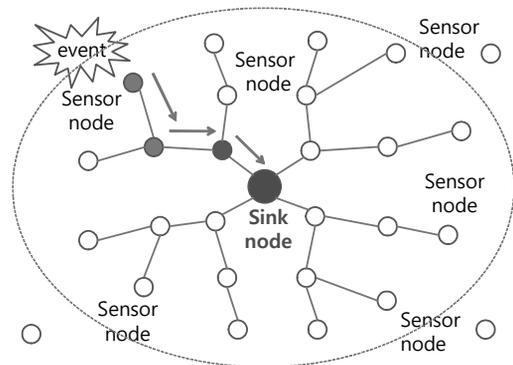
평시에는 GTS 채널을 사용하지 않고 모든 구간을 CAP 방식으로 이용하다가, 이벤트 발생시 GTS 채널을 구성하여 이벤트 데이터를 GTS 채널을 통해 수집하는 방안이 있을 수 있다. 하지만, 이 방안은 많은 수의 센서 노드가 동시에 GTS 채널을 구성하고, 레벨별로 동기화하여 데이터를 보낼 수 있도록 준비하는 시간이 많이 필요할 뿐만 아니라, 일부 GTS 채널 방안을 구성하지 않고 독자적으로 기존의 CAP 방식을 사용하는 노드가 존재하면 GTS 방식으로 정상적인 동작을 할 수가 없다. 따라서, 본 논문에서는 처음부터 모든 노드가 레벨별로 GTS 채널을 구성하여, 정상 시에도 GTS 채널을 이용하여 일반 데이터를 수집하다가, 이벤트 발생 시 이벤트 노드가 GTS 채널을 독점적으로 사용하여 데이터를 보낼 수 있도록 하는 방안을 구성한다.

1. 클러스터 트리 구조

클러스터는 하나의 비콘 노드와 루트 노드, 다수의 센서 노드로 구성된다 [10]. 비콘 노드는 클러스

터 트리를 위한 비콘을 큰 파워로 송출한다. 본 논문의 클러스터 구조에서 비콘의 출력은 일반 노드의 통신거리보다 5~10배 정도의 전달 거리를 갖는다. <그림 1>에서 본 논문에서 제시하는 파워 빔 기반 클러스터 센서 네트워크의 시스템에서, 이벤트 발생 시 이벤트 검출 노드에서 싱크 노드로 이벤트 데이터가 전달되는 것을 보여준다.

루트 노드는 클러스터 트리를 형성하는 최상위 노드이다. 모든 센서 노드에서 보내는 데이터는 루트 노드로 집약된다. 루트 노드는 주변의 첫 번째 레벨 센서 노드와 데이터를 교환한다. 루트 노드의 송신 전력은 일반 센서 노드와 같다. 첫 번째 레벨의 노드는 자신의 데이터 혹은 두 번째 노드로부터 올라오는 데이터를 두 번째 레벨의 노드가 사용하는 채널의 다음 채널에서 루트 노드로 전달한다 [11,12]. 각 센서 노드는 신호의 세기 및 네트워크 토폴로지의 변화에 따라 동적으로 재구성된다 [13]. 클러스터 트리는 비콘 데이터의 도달 거리까지 확장될 수 있다. 몇 번째 레벨 노드까지 클러스터가 형성되는지는 비콘의 정보를 통해 알린다.



<그림 1> 파워빔 클러스터 트리 WSN에서 이벤트 데이터 전달

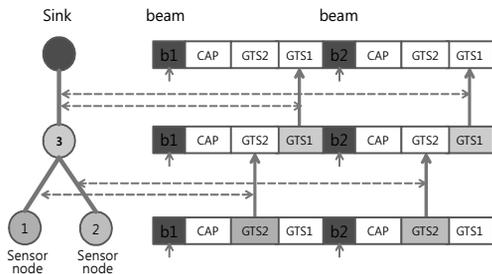
<Fig. 1> An event data delivery in power beam cluster tree WSN

2. 클러스터 트리에서 GTS 채널 사용

GTS 채널은 특정의 센서 노드에게 무선 채널을 전용으로 사용할 수 있도록 할당하는 것이다. 일반

적으로 하나의 노드가 클러스터 내에서 특정 채널을 할당 받으면, 해당 센서 노드는 특정 채널을 점유하고, 보내진 데이터는 바로 클러스터의 루트 노드에게 전해진다. 본 논문에서의 경우에는, 해당 노드가 데이터를 보내면 부모 노드에게만 전달된다. 따라서, 데이터를 클러스터 루트 노드에게 전달하려면 부모 노드가 다시 자신의 부모 노드에게 전달하여야 한다.

<그림 2>에서 루트 노드에 연결된 1차 노드들은 마지막 GTS1 채널에서 데이터를 보내고, 1차 노드를 부모로 하여 트리를 구성한 2차 노드들은 뒤에서 두 번째의 GTS2 채널에서 데이터를 보낸다. GTS 채널을 4개로 둔 클러스터 트리에서는 4차 노드에서 보낸 데이터는 부모 노드에서 바로 다음 GTS 채널에서 전달하여 순차적으로 해당 프레임에서 싱크 노드인 루트 노드에게 전달된다. 5차 노드 이상의 노드에서는 4를 뺀 나머지의 값에 해당되는 GTS <n>채널에서 보내면 된다.



<그림 2> 파워빔 기반 클러스터 트리 WSN 구조에서 데이터의 전달

<Fig. 2> Powerbeam-based Cluster Tree WSN Architecture

3. 경로설정 및 백오프 값 할당

센서 노드에서 이벤트를 탐지하면, 부모 노드에게 이벤트 식별자를 포함하여, 이벤트 경로 설정 메시지를 보낸다. 이벤트 식별자는 노드번호 혹은 랜덤 일련번호와의 조합을 이용한다. 이벤트 경로 설정 메시지를 받은 부모 노드는 자식 노드번호와 이벤트 식별자를 저장하고, 다시 부모 노드로 전달한다. 부모 노드를 경유하여 이벤트 설정 메시지를 받

은 싱크 노드는 이벤트 확인 메시지를 빔을 통해 모든 센서 노드에게 알린다. 빔 메시지를 통해 확인한 모든 경로상의 노드들은 자신을 통해 전달했던 경로 설정을 활성화하고, 이벤트 경로는 완성된다.

싱크 노드가 먼저 센서 노드에게 경로 설정을 지시하는 경우도 있다. 이 경우, 싱크 노드는 빔 메시지에 경로 설정을 요구하는 센서 노드의 값을 넣어 보낸다. 모든 센서 노드는 이 값을 읽어 대기하고 있고, 해당 센서 노드는 자신의 부모 노드로 이벤트 경로 설정 메시지를 보낸다. 이벤트 경로 설정 메시지를 받은 부모 노드는 수신했던 빔 메시지의 정보와 확인한 후에 이벤트 경로를 활성화하고, 다시 이벤트 설정 메시지를 부모 노드로 전달한다. 최종적으로 이벤트 설정 메시지가 싱크노드로 전달되면 이벤트 경로 설정은 완성된다.

이벤트 경로 해제는 센서 노드 혹은 싱크 노드가 시작할 수 있다. 이벤트가 사라지면, 이벤트 설정을 요청했던 센서 노드가 이벤트 경로 해제 메시지를 부모 노드로 전달한다. 메시지를 받은 부모 노드는 이벤트 경로를 해제하고, 다시 해제 메시지를 부모 노드로 전달한다. 싱크 노드가 주도하여 이벤트 경로를 해제하려면, 이벤트 경로 정보 메시지를 빔 메시지에서 제거한다. 이벤트 경로 정보는 빔 메시지에 항상 포함이 되어 방송한다. 이벤트 경로 정보가 없으면, 해당 경로를 설정한 센서 노드는 자신이 설정한 경로 설정을 해제한다.

하나의 노드 이상이 하나의 GTS 채널을 이용하는 경우, 채널을 어떻게 사용할 것인가는 백오프 값을 통해 해결한다. 이벤트 데이터 소스 노드와 이벤트 노드부터 루트 노드까지의 경로 설정상의 노드는 백오프 값 0을 이용한다. 이들 노드는 전송 데이터가 있을 경우 해당 GTS에서 채널 탐색을 하지 않고 바로 데이터를 보낸다. 그러므로, 이벤트 노드에서 보내진 데이터는 해당 슈퍼프레임에서 바로 루트 노드로 전달된다. 이벤트 노드와 이벤트 루트 경로상의 노드가 아닌 다른 노드들은 GTS 채널에서 1이상의 값을 가지는 백 오프값을 이용하여 데이터를 보낸다. 백오프 값은 노드별로 자체 발생시킨 랜덤 값을 이용할 수도 있지만, 부모가 자식에게

할당한 등록 번호를 기본으로 하고 충돌이 생기는 경우 부모가 노드의 랜덤 백오프 값을 변경하도록 지시한다.

IV. 제안 방안 실험 및 결과

1. 실험 환경

논문에서 제안한 GTS 기반 클러스터 트리 구조는 기존의 다른 방안과의 직접적인 비교에는 어려움이 있다. GTS 기반 우선 할당 방안의 효과를 분석하기 위하여, GTS를 사용하지 않는 경쟁 방식과의 비교를 수행하였다. 다음의 2 가지 전송 방식을 다음에 정의하고 시뮬레이션을 통해 그 특성을 비교하였다. 두 방안 모두 논문에서 제시한 것처럼, 파워 빔을 사용하여 트리 구조를 갖는 멀티 레벨의 클러스터를 구성한다.

1. 경쟁 방안 (Contention Access) :

GTS 채널을 사용하지 않고 프레임의 전 구간을 CAP 방식으로 사용한다. 모든 센서 노드에서 데이터의 전송은 1과 MAX_BACKOFF 사이의 랜덤 백오프 값 동안 대기한 후에 무선자원이 유휴상태일 때 바로 데이터를 전송한다.

2. 우선할당 GTS 방안 (Prioritized GTS) :

다수의 센서 노드가 하나의 GTS 채널을 할당받고, 경쟁을 통해 GTS 채널을 접근하여 데이터를 보낸다. 이벤트가 발생하면, 이벤트 노드로부터 싱크 노드까지의 경로를 이벤트 노드가 백오프 0의 값으로 우선권을 갖는다. 다른 노드들은 백오프 1과 MAX_BACKOFF 사이의 랜덤 백오프 값을 이용하여 GTS 채널을 사용한다.

본 논문에서 정의한 클러스터 구조는 멀티 홉의 클러스터이고, 정상모드에서는 하나의 GTS 채널을 복수개의 센서 노드가 공유하는 방안이다. GTS 채널 중 마지막 채널은 싱크 노드에 바로 연결된 트리 레벨 1의 노드들이 사용하고, 뒤에서 n 번째의 GTS 채널은 트리에서 레벨 n의 노드들이 사용하는

방식이다. 현재 슈퍼프레임의 채널에서 실패하면 다음 슈퍼프레임의 채널에서 다시 프레임 전송을 시도한다.

제안 네트워크 구조에서의 데이터 수집 방안의 성능을 측정하기 위해 100개의 노드로 구성된 네트워크를 실험하였다. 모든 노드는 <그림 1>과 같이 하나의 파워 빔을 송출하는 싱크 노드와 루트 노드를 클러스터 노드로 하는 같은 클러스터에 연결된다. 센서 노드들은 멀티 홉 트리를 구성하고, 트리의 최대 깊이는 4로 하였다. 싱크 노드와 루트 노드는 별개로 노드로 구성할 수도 있다.

<표 1> 실험에서의 시뮬레이션 파라미터 값
<Table 1> Test parameter and value of the simulation

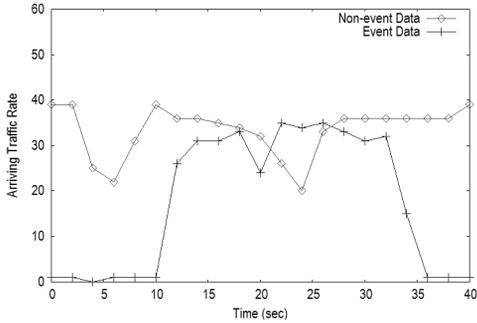
Parameter	Value
Superframe duration	62.5ms
GTS Channel width	8ms
GTS channel number	4
Cluster tree depth	4
Total node number	100
MAX_BACKOFF	5
Slot time	320us

하나의 슈퍼프레임 전체 구간이 모두 활성화 구간으로 이용되고, 프레임은 일부의 CAP 구간과 4개의 GTS 채널로 구성된다. 경쟁 방안에서는 빔 메시지 구간 이외의 모든 슈퍼프레임이 CAP 구간으로 이용된다. 하나의 GTS 채널에서는 144 바이트의 메시지를 보낼 수 있도록 정해진다. 250kbps 전송 속도에서 슈퍼프레임의 길이는 62.5ms, GTS 채널은 백오프와 경합을 위해 8ms 5개로 구성하였다. 이상의 실험에 사용된 파라미터들을 <표 1>에 정리하였다.

2. 실험 결과 분석

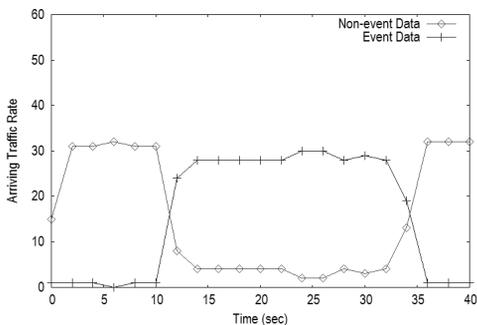
<그림 3>은 경쟁 방안에서의 일반 데이터와 이벤트 데이터의 전달에서 평균 도착 트래픽을 보여주는 그래프이다. 이벤트 데이터가 발생하지 않는

상태에서 2초당 평균 30개 정도의 일반 상태 정보 데이터가 싱크 노드로 도착하다가, 10초 정도에 이벤트가 발생하여 이벤트 데이터가 추가로 같이 수신된다. 이벤트가 발생되어도 일반 데이터는 계속 싱크 노드로 전달된다.



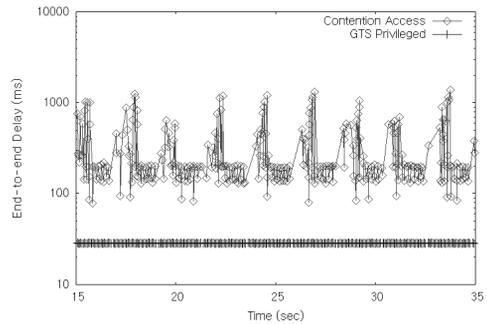
〈그림 3〉 경쟁 방안에서 이벤트 및 비이벤트 데이터 트래픽 도착률
 〈Fig. 3〉 Arriving traffic rate at contention access scheme

〈그림 4〉는 우선할당 GTS 방안에서의 일반 데이터와 이벤트 데이터의 전달에서 평균 도착 트래픽을 보여주는 그래프이다. 10초 부근에서 이벤트가 발생하여 이벤트 데이터가 보내지면서, 다른 노드들의 일반 데이터는 현저히 줄고, 이벤트 데이터 중심의 데이터 전달이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 이벤트 데이터가 종료되면 다시 일반 데이터의 수신이 증가한다.



〈그림 4〉 우선할당 GTS 방안에서 이벤트 및 비이벤트 트래픽 도착률
 〈Fig. 4〉 The event and non-event data arriving traffic rate at privileged GTS scheme

〈그림 4〉의 우선할당 방안의 트래픽 특성은 〈그림 3〉의 경쟁방안 방식에 비해 좀 더 안정적인 결과를 보여주지만, 전체 수신 트래픽 양은 우선할당 방식보다 더 많다. GTS 우선할당 방식이 채널 지정에 따른 시간의 소비에 다른 영향으로 보인다. 전체적인 트래픽 양은 많지만, 그에 따른 이벤트 데이터의 지연이 증가하는 것을 〈그림 5〉에서 확인할 수 있다.



〈그림 5〉 이벤트 데이터의 종단간 전달 지연
 〈Fig. 5〉 End-to-end event data transfer delay

〈그림 5〉는 경쟁방안과 GTS 우선할당 방안에서의 이벤트 데이터의 종단간 전달 지연을 보여주는 그래프이다. GTS 우선할당 방식의 전달지연은 20ms에 집중되어 있어 낮은 지연의 좋은 지연 특성을 보여준다. 경쟁방안에서의 종단간 지연은 100ms에서 최대 1000ms 까지의 전달지연 특성을 갖는다. 〈그림 5〉에서 이벤트 데이터의 전달 지연 변이 특성을 같이 볼 수 있는데, GTS 우선할당 방안은 지터가 거의 없이 일정하게 유지되는데, 경쟁방안에서는 전달 지연 값의 변동이 크게 나타났고, 이로 인해 큰 지터 값을 보였다. 이상의 결과를 종합해 보면, 우선할당 방안이 수신 트래픽의 전체 양에서는 경쟁방안에서의 경우보다 50% 수준으로 떨어지지만, 전달지연이나 지터 등의 특성에서 매우 안정적인 특성을 보인다고 할 수 있겠다. 이러한 특성은 이벤트 데이터의 신속성과 멀티미디어 대응 특성에 있어 유리한 점을 제공한다고 할 수 있겠다.

V. 결 론

본 논문에서는 비콘의 전력을 크게 송출하는 센서 데이터 수집 환경에서, GTS 채널을 효과적으로 사용하여 이벤트 데이터를 수집하는 방안을 제시하였다. 이벤트가 발생하면 이벤트 발생 노드는 싱크 노드로의 경로를 설정하고, 설정된 경로에서의 노드들은 데이터 전송에 있어 백오프 값에 우선권을 주어 다른 노드들에 비해 먼저 데이터를 보낼 수 있도록 하는 방안이다.

제안 방안에서 이벤트 데이터의 전달 특성을 GTS 채널을 사용하지 않는 경쟁방안과의 이벤트 데이터 전달 특성과 비교하였다. 제안 방안이 일부 트래픽의 감소가 있었지만 전달 지연과 지터에 있어서 우수한 특성을 보임을 확인하였다. 이런 특성은 신속성과 안전성을 요구하거나, 멀티미디어를 이벤트 데이터를 전달하는 환경에서 보다 적합한 특성이다.

이러한 결과를 토대로, 신속하고 안정적인 멀티미디어 전송 품질이 요구되는 애플리케이션에서, 우선할당 GTS 제어 방안이 센서 데이터 활용 네트워크에서 다양한 이벤트 활용 시스템에 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 본다.

REFERENCES

- [1] IEEE 802.15.4 Standard-2003, Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), IEEE-SA Standards Board, 2003.
- [2] D. C. Huang, H. W. Wu and Y. W. Lee, "A Cluster-Tree-Based GTS Allocation Scheme for IEEE 802.15.4 MAC Layer," *Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*, pp.524-528, 2012.
- [3] H. Lee, K. Lee and Y. Shin, "A GTS allocation scheme for emergency data transmission in cluster-tree WSNs," *Proceedings of the 14th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, pp.675-678, 2012.
- [4] M. Takaffoli, M. Elmallah and W. Moussa, "Scheduled Access Using the IEEE 802.15.4 Guaranteed Time Slots," *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC)*, vol. 1, no. 5, pp.23-27, 2010.
- [5] A. Koubaa, M. Alves and E. Tovar, "GTS allocation analysis in IEEE 802.15.4 for real-time wireless sensor networks," *IEEE Proceedings of the IPDPS*, pp.25-29, 2006.
- [6] P. Jurcik, A. Koubaa, M. Alves, E. Tovar and Z. Hanzalek, "A simulation model for the IEEE 802.15.4 protocol: delay/throughput evaluation of the GTS mechanism, Modeling," *Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems*, pp.109-116, 2007.
- [7] D. Stevanovic and N. Vljajic, "Performance of IEEE 802.15.4 in wireless sensor networks with a mobile sink implementing various mobility strategies," *Local Computer Networks*, pp.680-688, 2008.
- [8] P. Pangun, C. Fischione and K.H. Johansson, "Performance Analysis of GTS Allocation in Beacon Enabled IEEE 802.15.4," *Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks*, vol. 1, no. 9, pp.22-26, 2009.
- [9] A. Koubaa, M. Alves and E. Tovar, "i-GAME: an implicit GTS allocation mechanism in IEEE 802.15.4 for time-sensitive wireless sensor networks," *Proceedings of the 18th Euromicro Real-Time Systems*, pp.183-192, 2006.
- [10] J. Hoffert, K. Kevin and O. Obi, *Configuring the IEEE 802.15.4 MAC layer for single-sink wireless sensor network applications*, Washington University, 2005.
- [11] Kilhung Lee, "A Time Tree Medium Access Control for Energy Efficiency and Collision

- Avoidance in Wireless Sensor Networks,” *Sensors*, vol. 10, no. 4, pp.2752-2769, 2010.
- [12] Kilhung Lee, “A Parent-controlled Collision Avoidance Scheme in GTS-based Wireless Sensor Network,” *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 13, no. 5, pp.27-34, 2014.
- [13] Kilhung Lee, “A Data Gathering Scheme using Dynamic Branch of Mobile Sink in Wireless Sensor Networks,” *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 11, no. 1, pp.92-97, 2012.

저자소개



이 길 흥 (Lee, Kil-Hung)

2000년 5월~현재 : 서울과학기술대학교 컴퓨터공학과 교수
1991년 1월~1995년 2월 : LG정보통신 안양연구소 연구원
1999년 8월 연세대학교 대학원 전기컴퓨터공학과 박사 (공학박사)
1991년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 석사 (공학석사)
1989년 2월 연세대학교 전자공학과 학사 (공학사)
e-mail : khlee@seoultech.ac.kr