

# GTS 기반 무선 센서 네트워크에서 부모 제어 충돌 회피 방안

## A Parent-controlled Collision Avoidance Scheme in GTS-based Wireless Sensor Network

이 길 흥\*  
(Kilhung Lee)

### 요 약

본 논문은 무선 채널을 노드에게 할당하여 보장하는 GTS 기반의 무선 센서 네트워크에서 다수의 노드가 같은 채널을 공유할 때, 충돌이 발생하는 것을 최대한 억제하기 위한 방안을 제시한다. 무선 자원이 충분하지 않은 조건에서 다수의 노드에게 특정 채널을 같이 할당하고, 할당한 채널을 노드들이 공유하면서 데이터를 전송한다. 데이터 전송 시, 한 개 이상의 노드들이 채널을 이용하면 충돌이 발생한다. 이러한 충돌을 효과적으로 줄이기 위해, 부모가 자식 노드들에게 백오프 값을 지정하고, 그래도 충돌이 생기는 경우, 백오프 값 변경을 시도하여 충돌을 방지한다. 제안 방안을 시뮬레이션을 통해 제안 방안이 효과적으로 백오프 값을 조절하여 충돌이 많이 감소함을 확인할 수 있었다.

핵심어 : GTS, 무선 센서 네트워크, 충돌 방지, 백오프

### ABSTRACT

This paper presents a collision avoidance scheme for wireless sensor networks that use a GTS-based channel allocation scheme. Many sensor nodes can share a GTS channel for sending their data to the sink node. When a node tries to send a frame at a shared GTS channel, a collision can be occurred when there is a node that uses the same backoff number. For decreasing a wireless collision, the parent assigns a backoff number when a child node registers to it. Further, when a collision occurs during a data transfer, the parent node reassigns a new backoff number for the child node. Simulation results show that there is a decreased collision number with suggested parent-controlled collision avoidance scheme by effectively controlling the backoff number of the child.

**Key words** : GTS, WSN, Collision Avoidance, Backoff Value

† 본 연구는 서울과학기술대학교 연구비 지원으로 수행되었습니다.

\* 주저자 : 서울과학기술대학교 컴퓨터공학과 교수

† 논문접수일 : 2014년 10월 07일

† 논문심사일 : 2014년 10월 22일

† 게재확정일 : 2014년 10월 22일

## I. 서 론

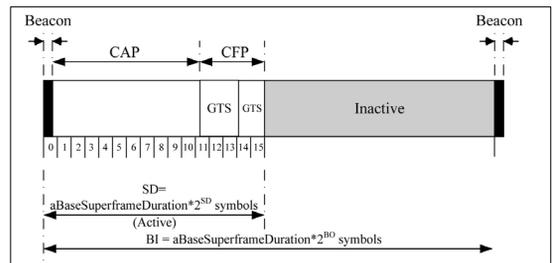
컴퓨팅 기술의 발전으로 유비쿼터스 환경이 구제화됨에 따라 센서를 이용한 다양한 응용이 활발해지고, 첨단 소자의 개발 및 발전으로 센서 노드의 기능이 강화되고 다양해졌다. 과거, 센서를 이용한 저수준의 단순 데이터의 전송에서, 이제는 사진과 영상, 소리를 포함하는 멀티미디어의 전송까지 가능하게 되었다. 기기의 컴퓨팅 능력이 증가되어 멀티미디어의 수집과 전송이 가능해졌다. 배터리의 용량이 뒷받침되고, 무선 데이터의 안정적 전송 문제를 해결한다면, 센서를 통한 실시간 데이터의 전달도 가능해졌다.

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, 이들 노드들이 특정 채널을 공유하는 몇 가지 방식을 제안하고, 그 성능을 평가한다.

## II. 무선 프레임 구조 및 전송 방식

IEEE 802.15.4-LR WPAN에서는 슈퍼프레임이 정의되어 있다. 슈퍼프레임의 활성화 (Active) 구간은 총 16개의 슬롯이 있는데, 이중에 0 번째 슬롯은 비

콘의 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 [2]에 정의되어 있고, 이를 <그림 1>에 보였다.



<그림 1> IEEE 802.15.4 슈퍼프레임 및 GTS 구조  
(Fig. 1) IEEE 802.15.4 Superframe and GTS Architecture

하나의 GTS 채널을 다수의 센서 노드가 공유하는 방안은 여러 논문에서 다양하게 연구되어 왔다 [3-5]. GTS를 이용하는 방안은 특히 실시간 데이터 전송에서 지연과 지터 특성에서, 경쟁 방식의 네트워크보다 더 우수한 특성을 보여주는 것을 확인하였다 [6]. [7]에서는 긴급 데이터를 위한 GTS 채널을 따로 두어, 긴급 데이터를 안정적으로 빠르게 전송하는 방안을 제안하였다. [8]에서는 GTS 네트워크의 이론적 분석을 통해 입력 트래픽에 다른 지연 특성을 연구하였으며, 이 결과는 시뮬레이션으로 얻은 값과 거의 일치함을 보였다. [9]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 할당하지만, i-GAME은 하나의 GTS 채널을 다수의 노드가 라운드로빈 방식으로 사용한다 [10]. GTS 채널을 넓게 잡고, 그 안에서 정해진 노드들이 경쟁을 통해 채널을 이용할 수도 있다.

코디네이터는 주기적으로 비콘을 전송한다. 이 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 방사된다.

비콘을 수신하는 일반 센서 노드들은 자신의 타이밍을 비콘에 맞춰 동기시킨다. 비콘에 동기되는 슈퍼 프레임은 비콘과 CAP, CFP, 비활성화 구간으로 구성된다. 초기에는 활성화 구간은 CAP 구간으로만 구성되지만, 센서 노드들의 요청이나 코디네이터의 정책에 따라 CFP 구간이 정해진다. 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.

망 내의 모든 노드에서는 슈퍼 프레임의 동기화뿐만 아니라, 각각의 슈퍼프레임이 몇 번째 슈퍼프레임에 해당하는지에 대한 정보를 코디네이터 노드가 프레임의 비콘에 넣어 전송하고, 모든 노드도 이를 알고 있다면 백오프는 필요하지 않다. 현재로서, 이런 환경을 만들기는 쉽지 않으므로, 이런 경우에서 슬롯의 공유는 백오프에 전적으로 의존한다.

### III. 부모 제어 백오프 결정 방안

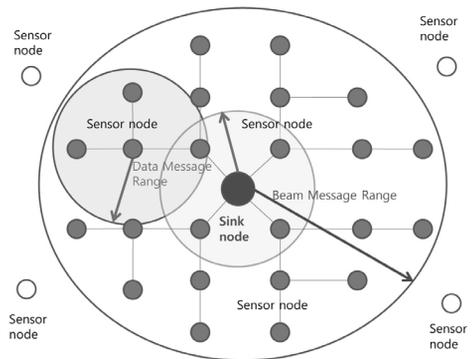
센서 노드들을 네트워크로 묶어주는 클러스터에서 채널 할당은 하나의 노드에 독점적으로 할당할 수 있고, 다수의 노드가 공유할 수도 있다. 다수의 노드가 공유할 경우에는 미리 일정한 순서를 두거나, 경쟁을 통해 채널에 접근해야 한다. GTS 구간 내에서 데이터의 전송은 DATA 전송과 ACK의 응답으로 이루어진다. 다수의 노드가 하나의 GTS 채널을 공유하는 구조에서, 채널을 할당받은 노드는 할당받은 GTS 구간에서, 노드간의 경쟁을 통해 채널을 획득하고 DATA의 전송을 시도한다. 경쟁은 백오프 숫자를 통해 구현되고, 이 값은 부모의 적절

한 제어에 따라 변경된다. DATA를 성공적으로 수신한 센서 노드는 바로 ACK로 응답하고 데이터의 전송은 종료된다.

#### 1. 클러스터 트리 구조

클러스터는 하나의 비콘 노드와 루트 노드, 다수의 센서 노드로 구성된다 [11]. 비콘 노드는 루트 노드의 비콘을 큰 파워로 송출한다. 본 논문의 클러스터 구조에서 비콘의 출력은 일반 노드의 통신거리보다 3~10배 정도의 전달 거리를 갖는다. <그림 2>는 본 논문에서 제시하는 파워 빔 기반 클러스터 센서 네트워크의 시스템 구성이다.

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 다음 슬롯에서 루트 노드로 전달한다 [12]. 각 센서 노드는 신호의 세기 및 네트워크 토폴로지의 변화에 따라 동적으로 편성된다 [13]. 및 클러스터 트리는 비콘 데이터의 도달 거리까지 확장될 수 있다. 몇 번째 레벨 노드까지 클러스터가 형성되는지는 비콘의 정보를 통해 알린다.



<그림 2> 파워빔 기반 클러스터 트리 WSN 구조  
<Fig. 2> Powerbeam-based Cluster Tree WSN Architecture

## 2. GTS 채널 사용 방법

GTS 채널은 특정의 센서 노드에게 무선 채널을 전용으로 사용할 수 있도록 할당하는 것이다. 일반적으로 하나의 노드가 클러스터 내에서 특정 채널을 할당 받으면, 해당 센서 노드는 특정 채널을 점유하고, 보내진 데이터는 바로 클러스터 노드에게 전해진다. 본 논문에서의 경우에는, 해당 노드가 데이터를 보내면 부모 노드에게만 전달된다. 따라서, 데이터를 클러스터 노드에게 전달하려면 부모 노드가 다시 자신의 부모 노드에게 전달하여야 한다.

루트 노드에 연결된 1차 노드들은 마지막 GTS 채널에서 데이터를 보내고, 1차 노드를 부모로 하여 트리를 구성한 2차 노드들은 뒤에서 두 번째의 GTS 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 5로 나눈 나머지의 값에 해당되는 GTS 채널에서 보내면 된다.

## 3. 부모 제어 백오프 값 결정

하나의 노드 이상이 하나의 GTS 채널을 이용하는 경우, 채널을 어떻게 사용할 것인가는 네트워크의 설정값에 따른다. 트리내의 모든 노드에게 미리 순서를 부여해서, 해당 노드는 특정 프레임에서만 전송하도록 하는 방법은 프레임의 일련번호를 이용하여 전송하는 것이다. 비콘 프레임은 메시지의 특정 필드에 현재 프레임의 일련번호를 넣는다. 하나의 센서 노드가 전부 사용할 경우에는 프레임의 일련 번호에 상관없이 전 채널을 이용한다.

다수의 노드가 프레임의 일련번호를 통해 채널을 공유할 경우에는 백오프 기간을 통해 해결한다. 백 오프 기간은 제어 방식이 아닌 경우에는 랜덤 값을 이용하지만, 부모가 자식에게 할당한 등록 번호를 기본으로 하고 부모가 노드의 랜덤 백오프 값을 변경하도록 지시한다.

원래의 IEEE 802.15.4에서 정의하는 데이터 통신 방식은 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)이다. 채널 액세스를 위해 백오프 방식을 이용하며, 802.11의 WLAN과는 달리 RTS/CTS (Request to Send/Clear to Send) 방식을 이용하지 않고, 2개의 CCA (Clear Channel Assignment)를 통해 충돌 회피 방식을 이용한다. 이 방식은 무선 환경에서 충돌을 방지하는 간략한 방안이지만, 노드가 밀집되거나 트래픽이 증대되면 충돌을 피할 수 없다.

## IV. 실험 및 성능 분석

논문에서 제안한 트리 클러스터 구조에서의 부모 제어에 의한 데이터 전송 방안과 다른 방안을 비교하기 위해 3 가지 전송 방식을 다음에 정의하고 시뮬레이션을 통해 그 특성을 비교하였다.

### 1. 방안 1 (Random Backoff) :

- GTS 채널에서의 전송은 매 슈퍼프레임마다 1과 MAX\_BACKOFF 사이의 랜덤 백오프 값 동안 대기한 후에, 채널이 비사용이면 데이터를 전송한다.

### 2. 방안 2 (Depth\_1-Controlled Backoff) :

- 싱크 노드인 루트 노드에 연결된 레벨 1의 센서 노드는 자신이 등록할 때 부모 노드인 루트 노드로부터 받은 백오프 번호를 고정의 백오프 값으로 하고, 레벨 2 이상의 센서 노드들은 방안 1에서와 같이 랜덤 백오프 값을 사용하여 데이터 전송을 시도한다.

### 3. 방안 3 (Parent-Controlled Backoff) :

- 다수의 센서 노드가 하나의 GTS 채널을 할당 받고, 경쟁을 통해 GTS 채널을 접근하여 데이터를 보낸다. 채널 안에서의 경쟁에 사용되는 랜덤 백오프 값은 부모를 통해 조정한다. 각 센서 노드는 자신이 등록할 때 부모 노드로부터

받은 백오프 값을 초기 백오프 값으로 정한다. 이후 충돌이 발생하면, 백오프 값을 현재 값 보다 1 큰 값과 MAX\_BACKOFF 사이의 값으로 변경하여 사용하고, 부모는 자식 노드들의 백오프 값을 조사하여 다른 노드와 같은 값을 갖는 경우, 해당 노드의 백오프 값 재변경을 유도한다.

본 논문에서 정의한 클러스터 구조는 멀티 홉의 클러스터이고, 프레임의 시퀀스 번호를 통해 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 채널에서 다시 프레임 전송을 시도한다.

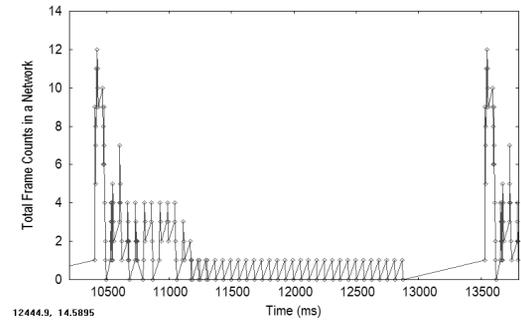
제안 네트워크 구조에서의 데이터 수집 방안의 성능을 측정하기 위해 100개의 노드로 구성된 네트워크를 실험하였다. 모든 노드는 <그림 2>와 같이 하나의 파워 빔을 송출하는 싱크 노드인 루트 노드를 클러스터 노드로 하는 같은 클러스터에 연결된다. 센서 노드들은 멀티 홉 트리를 구성하고, 트리의 최대 깊이는 4로 하였다. 싱크 노드와 루트 노드는 별개로 노드로 구성할 수도 있다.

<표 1> 실험에서의 시뮬레이션 파라미터 값  
<Table 1> Simulation parameter value of the test

Simulation Parameter	Value
Superframe duration	62.5ms
GTS Channel width	8ms
GTS channel number	4
Cluster tree depth	4
Total node number	144
MAX_BACKOFF	4/8/16/32
Slot time	320us

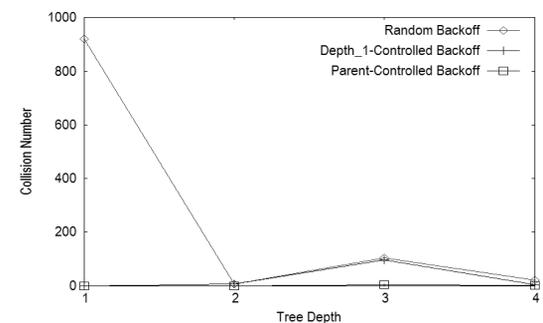
하나의 슈퍼프레임은 전체가 활성화 구간으로 이용되고, 프레임은 일부의 CAP 구간과 5개의 GTS 채널로 구성된다. CSMA/CA 방안에서는 빔 메시지 구간 이외의 모든 슈퍼프레임이 CAP 구간으로 이용된다. 하나의 GTS 채널에서는 144 바이트의 메시

지를 보낼 수 있도록 정해진다. 250kbps 전송 속도에서 슈퍼프레임의 길이는 62.5ms, GTS 채널은 백오프와 경합을 위해 8ms 5개로 구성하였다. 기타 실험에 사용된 파라미터들을 <표 1>에 보였다.



<그림 3> 시간에 따른 네트워크의 총 프레임 수  
<Fig. 3> Total frame counts in a network with time

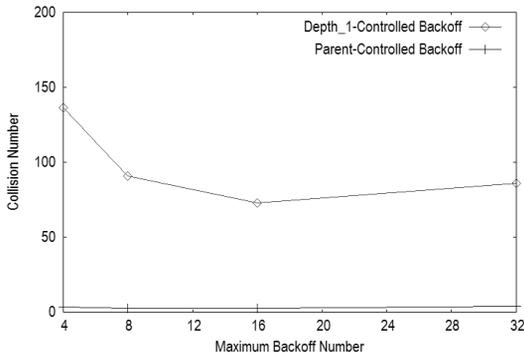
<그림 3>은 실험에서의 데이터의 발생과 대기 및 전송 상황을 보여주는 네트워크에서 데이터를 전송중인 총 데이터 프레임의 개수를 보여주는 그래프이다. 초기에는 많은 노드들이 한꺼번에 데이터 전송을 시도하는데, 이 과정에서 충돌이 발생할 수 있다. 생성된 데이터가 싱크 노드로 모두 전송되는데 걸리는 시간은 약 30초이다. 이후 새로운 데이터가 각 노드에서 발생하여 모두 트리를 통해 싱크 노드로 이동한다.



<그림 4> 네트워크 트리의 깊이에 따른 총 충돌 수 (최대 백오프 값 16)  
<Fig. 4> Collision number with tree depth (MAX\_BACKOFF is 16)

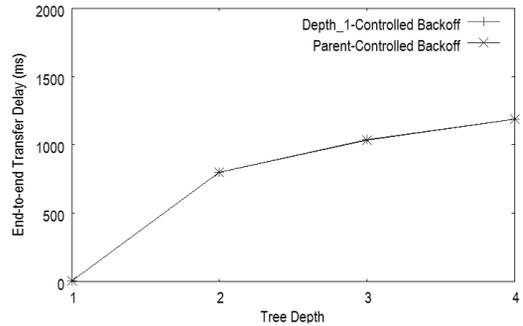
<그림 4>는 네트워크 내에서 발생하는 충돌 개수를 데이터 깊이로 분류하여 보여주는 그래프이다. 랜덤 백오프 방식의 경우에서 많은 충돌이 발생하고, Depth\_1-controlled나 Parent-Controlled 백오프 방식에서는 충돌이 많이 발생하지 않았다. 랜덤 백오프 방식에서 발생하는 대부분의 충돌은 트리 레벨 1에서 발생하였다. Depth\_1-controlled나 Parent-Controlled 백오프 방식에서는 레벨 1에서 충돌이 거의 발생하지 않았다. Depth\_1-controlled 방식이 레벨 2와 3에서 충돌이 발생하였지만, 전체적으로 랜덤 백오프 방식보다는 많이 감소한 것을 알 수 있다.

<그림 5>에서는 네트워크의 트래픽을 높였을 때, Depth\_1-Controlled와 Parent-Controlled 방안에서의 최대 백오프 값을 변화시키면서 네트워크에서 발생하는 충돌의 값을 보여준다. Parent-Controlled 방안이 Depth\_1-Controlled 방안보다는 충돌의 개수가 많이 감소하였다. Parent-Controlled 방안이 트리의 레벨 2 이상에서 어느 정도 충돌 방지의 효과를 보여준다고 할 수 있다. 랜덤 백오프에서의 충돌의 개수는 Depth\_1-Controlled 방안의 값보다 10배 이상의 값을 보였다.



<그림 5> 최대 백오프 값 변화에 따른 충돌 수의 변화  
<Fig. 5> Collision number with maximum backoff number

<그림 6>은 시뮬레이션에서의 데이터 전달 지연을 보인 것이다. 랜덤 백오프의 경우 다른 두 방식에 비해 10배 이상의 전달지연 값을 보였고, Depth\_1-Controlled와 Parent-Controlled 방안의 경우



<그림 6> 트리의 깊이에 따른 종단간 전달지연 변화  
<Fig. 6> End-to-end transfer delay with tree depth

데이터의 전달지연은 트리의 거리에 비례하여 증가하였으나, 이 두 가지 방안에서의 전달지연의 차이는 크게 나타나지 않았다. 시뮬레이션의 결과를 종합적으로 보면, 대부분의 충돌은 트래픽이 몰리는 트리의 레벨 1에서 집중이 되는 현상을 보였다. 따라서, 레벨 1에서 백오프 값을 적절히 조정함으로써 충돌을 줄이고 네트워크의 트래픽 성능을 크게 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다. 트리 레벨 1보다 더 깊은 곳에서의 백 오프 조절을 통해서, 트래픽이 많을 때 성능을 추가로 더 높일 수 있는 방안이 될 수 있음을 시뮬레이션을 통해서 확인할 수 있었다.

## V. 결 론

본 논문에서는 비콘의 전력을 크게 송출하는 센서 데이터 수집 환경에서, GTS 채널을 효과적으로 공유하면서 이용하는 방안을 제시하였다. 복수개의 노드가 공유하는 할당 채널은 클러스터 트리의 깊이 값인 트리 레벨이 같은 노드들이 슈퍼프레임의 채널을 같이 공유하고, 공유 채널은 랜덤 값이나 부모 제어 백오프 형식으로 접근의 대기시간을 통해 충돌을 방지하였다. 제안 구조 및 환경에서 채널의 할당과 사용을 위한 방안을 백오프 할당 및 제어 방안을 제시하였고, 시뮬레이션을 통해 그 성능을 평가하였다.

시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이, 랜덤 백오프를 이용하여 채널에 접근하는 방안은 너무 잦은 충돌

돌로 인해 전달지연이 크게 증가하였다. 대부분의 충돌은 트리의 루트 노드에 직접 연결된 레벨 1의 노드들에서 주로 발생하는 것을 확인하였다. 트리 레벨 1의 노드의 백오프 값을 부모가 설정하는 것 만으로도 많은 충돌을 줄일 수 있는 좋은 방안이 됨을 시뮬레이션을 통해 알 수 있었고, 부모 제어형의 백오프 제어 방안을 통해 충돌을 더 줄여서 네트워크의 성능을 높일 수 있었다. 이러한 결과를 토대로, 전송 품질이 요구되는 애플리케이션에서, 부모 제어형의 백오프 제어 방안이 센서 데이터 활용 네트워크에서 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 본다.

### 참고문헌

- [1] Carle J, Simplot-Ryl D., "Energy-Efficient Area Monitoring for Sensor Networks," *IEEE Computer*, vol. 37, pp.40-46, 2004.
- [2] 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.
- [3] D. C. Huang · H. W. Wu · 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.
- [4] H. Lee · K. Lee · 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 2012)*, pp.675-678, 2012.
- [5] Takaffoli M, Elmallah M, Moussa, W., "Scheduled Access Using the IEEE 802.15.4 Guaranteed Time Slots," *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC 2010)*, vol. 1, no. 5, pp.23-27, 2010.
- [6] A. Koubaa · M. Alves · 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.
- [7] Jurcik, Petr., "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.
- [8] Stevanovic, Dusan, Natalija V., "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.
- [9] Khan., Pangun P, Fischione C, Johansson K.H., "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..
- [10] Koubaa, Anis, Maria A, Eduardo T., "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.
- [11] Hoffert J, Kevin K, Obi O., *Configuring the IEEE 802.15. 4 MAC layer for single-sink wireless sensor network applications*, Washington University, 2005.
- [12] 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.
- [13] 이길홍, "무선 센서망에서 이동 싱크의 동적 브랜치를 통한 데이터 수집 방안," *한국ITS학회 논문지*, 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