

센서 네트워크의 주기적인 성질을 고려한 IEEE 802.15.4 GTS 할당 방법*

권호은, 배성재, 정민영
성균관대학교 정보통신공학부

e-mail: khe4470@naver.com, noooi@ece.skku.ac.kr, mychung@ece.skku.ac.kr

A New GTS Allocation Scheme Considering Periodic Characteristic of IEEE 802.15.4 Wireless Sensor Network

Ho Eun Kwon, Sueng Jae Bae, Min Young Chung

Dept of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

요 약

IEEE 802.15.4 기반의 무선 센서 네트워크는 다양한 종류의 센서들로 구성된다. 이러한 센서들은 각각 다양한 주기들로 중심 노드에게 데이터를 전송하고자 한다. 슈퍼프레임마다의 주기적인 전송을 위해 IEEE 802.15.4에서는 GTS(Guaranteed Time Slot) 메커니즘을 제공한다. 하지만 하나의 센서 네트워크에서 슈퍼프레임 길이는 모두 동일하기 때문에 이보다 긴 주기를 갖는 센서들은 GTS를 할당받지도 데이터를 전송하지 않는 경우가 발생할 수 있다. 때문에 IEEE 802.15.4의 GTS 메커니즘에서는 낮은 사용 효율의 문제가 발생한다. 본 논문은 이러한 문제를 보완하고자 주기적 GTS 할당 방법(PGTS: Periodic Guaranteed Time Slot)을 제안한다. 주기적 GTS 할당 방법에서는 단말들이 GTS 요청 시 자신의 데이터 전송 주기를 PAN 코디네이터에게 보고하고, PAN 코디네이터는 이를 고려하여 단말의 주기에 따른 슈퍼프레임에서만 GTS 구간을 할당한다. 이를 통해 주기적 GTS 할당 방법은 기존 GTS 할당 방법보다 대역의 낭비를 줄여 GTS를 효율적으로 사용가능하도록 하고 더 많은 수의 단말들에게 GTS를 배정할 수 있게 한다. 본 논문에서는 시뮬레이션 결과를 통해 주기적 GTS 할당 방법이 IEEE 802.15.4의 GTS 할당 방법보다 효율적이며 더 많은 수의 단말에게 GTS를 할당할 수 있음을 확인하였다.

1. 서론

IEEE 802.15.4는 LR-WPAN(Low Rate Wireless Personal Area Network)을 위한 표준으로 저전송률, 저전력, 저비용 등의 특징들을 가지고 있다[1]. 이러한 특징들로 인하여 IEEE 802.15.4는 WSN(Wireless Sensor Network)에 적합하다. 센서들은 주기적으로 측정된 데이터를 전송한다[2]. 때문에 WSN는 정해진 주기마다 센서의 데이터 전송을 보장하여야 한다. 이를 위해서 IEEE 802.15.4에서는 GTS(Guaranteed Time Slot) 메커니즘을 도입하였다. GTS 메커니즘에서는 PAN 코디네이터가 특정 단말에게 매 슈퍼프레임마다 전용으로 채널을 점유할 수 있는 GTS 구간을 할당한다. 이를 통해 GTS 메커니즘은 센서들에게 시간 지연 없이 주기적으로 데이터 전송을 보장한다.

현재까지 IEEE 802.15.4 GTS 메커니즘에 관한 연

구가 활발히 진행되어 왔다. Koubaa 등은 새로운 GTS 메커니즘인 i-GAME(implicit-GTS Allocation MEchanism)을 제시하였다[3]. i-GAME은 다수의 단말들이 같은 GTS구간을 공유하게 함으로써 대역의 효율을 향상시킨다. 하지만 이를 위해서 단말들은 전송 지연 시간이 늘어나는 것을 감수해야 한다 [4]. Cheng 등은 비경쟁 접근구간을 16등분으로 기존 GTS 할당 방법보다 더 작게 나눔으로써 대역의 낭비를 감소시켰다[5]. 하지만 이 메커니즘은 다양한 주기를 갖는 센서 네트워크에는 적합하지 않다. Song 등은 주기에 따라 GTS를 실시간으로 배정하여 지연을 최소화한 D-GTS(Dynamic Guaranteed Time Slot)를 제안하였다[6]. 하지만 D-GTS는 경쟁 접근구간 안에 GTS를 배정함으로써 경쟁 기반인 CSMA/CA 메커니즘에 영향을 준다는 단점이 있다.

본 논문에서는 GTS 메커니즘의 효율을 향상시키기 위하여 주기적으로 데이터를 전송하는 센서들의

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2008-C1090-0803-0002)

특징을 고려한 주기적 GTS 할당 방법(PGTS: Periodic Guaranteed Time Slot)을 제안한다. 논문의 구성은 서론에 이어 2장에서는 IEEE 802.15.4 표준의 슈퍼프레임 구조와 GTS 메커니즘에 대해 설명한다. 3장에서는 주기적 GTS 할당 방법의 동작방법을 설명하며, 4장에서 IEEE 802.15.4의 GTS 메커니즘과 PGTS 메커니즘을 비교 분석하는 시뮬레이션을 수행한다. 마지막으로 5장에서 결론을 내린다.

2. 슈퍼프레임 구조 및 기존 GTS 메커니즘

IEEE 802.15.4 표준은 비콘 비활성 모드와 비콘 활성 모드가 있다. 비콘 비활성 모드에서는 단말들은 unslotted CSMA/CA 알고리즘을 통해 매체에 접근한다. 비콘 활성 모드에서는 PAN 코디네이터가 주위의 단말들에게 주기적으로 비콘 프레임 전송한다. 비콘 프레임과 다음 비콘 프레임 사이의 간격을 슈퍼프레임으로 정의한다. 슈퍼프레임의 길이(BI: Beacon-Interval)는 Beacon-Order(BO) 파라미터에 의해 다음과 같이 결정된다.

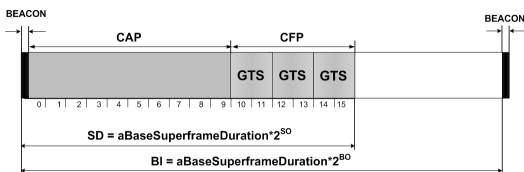
$$BI = aBaseSuperframeDuration \times 2^{BO} \text{ symbols} \quad (0 \leq BO \leq 14)$$

aBaseSuperframeDuration은 최소 슈퍼프레임 길이로서 기본 960심볼이다. 하나의 슈퍼프레임은 활성 구간과 비활성 구간으로 나뉜다. 이 중 활성 구간의 길이(SD: Super frame-Duration)는 Superframe-Order(SO) 파라미터에 의해 다음과 같이 결정된다.

$$SD = aBaseSuperframeDuration \times 2^{SO} \text{ symbols} \quad (0 \leq SO \leq BO \leq 14)$$

전체 활성 구간은 16개의 시간 슬롯으로 구분된다. 비활성 구간은 활성 구간을 뺀 나머지 슈퍼프레임 구간이며, 해당 구간에서 PAN 코디네이터와 그에게 속한 단말들은 에너지를 절약하기 위해 저전력 모드로 들어간다.

활성 구간은 경쟁 접근구간(CAP: Contention Access Period)과 비경쟁 접근구간(CFP: Contention Free Period)로 구성된다. 경쟁 접근구간은 비콘 프



(그림 1) 슈퍼프레임 구조

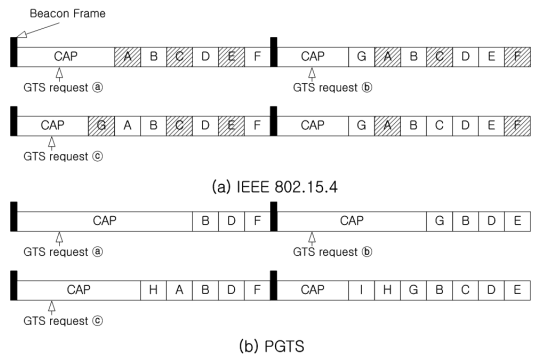
레이프 바로 뒤부터 비경쟁 접근구간이 시작되는 시간 슬롯 전까지이다. 경쟁 접근구간에서는 단말들이 slotted CSMA/CA 알고리즘에 따라 채널접근을 위해 서로 경쟁한다.

비경쟁 접근구간에서 단말들은 GTS 메커니즘을 이용하여 채널에 접근한다. GTS 구간의 배정을 원하는 단말은 GTS request command 프레임을 PAN 코디네이터에게 전송한다. GTS request command 프레임안의 GTS characteristic field에는 단말이 요청하는 GTS의 특성들을 나타내는 4개의 항목(GTS Length, GTS Direction, Characteristic Type, Reserved)이 포함된다. PAN 코디네이터는 현재 배정된 GTS의 수가 7개 미만이고 새로운 GTS의 배정이 경쟁 접근구간을 최소 길이(aMinCAPLength = 440 symbol) 이상으로 보장할 수 있다고 판단하면 해당 GTS 요청을 수락할 수 있다.

3. 주기적 GTS 할당 방법

그림 2는 PGTS와 IEEE 802.15.4의 GTS 메커니즘의 동작 예이다. IEEE 802.15.4에서는 슈퍼프레임보다 큰 주기를 가지는 단말에게도 매 슈퍼프레임마다 GTS를 할당 한다(GTS A, C, E, F, G). 이 때 그림의 빗금 친 부분과 같이 GTS 구간을 사용하지 않는 경우가 발생한다. 이로 인하여 IEEE 802.15.4에서는 첫 번째 GTS 요청(Ⓐ)으로 GTS G는 할당되었지만 최대 할당 가능한 GTS 수(7개)에 도달하였기 때문에 두 번째(Ⓑ)와 세 번째 요청(Ⓒ)은 수락되지 않았다. 주기적 GTS 할당 방법에서는 GTS를 주기적으로 할당하기 때문에 쓰이지 않고 낭비되는 GTS가 발생하지 않게 된다. 따라서 PGTS 메커니즘에서는 두 번째(Ⓑ)와 세 번째 요청(Ⓒ)을 모두 수락하여 GTS H와 I가 할당 되었다.

주기적 GTS 할당 방법의 기본 동작은 기존 IEEE 802.15.4의 GTS 할당 방법과 유사하다. 주기적 GTS



(그림 2) PGTS와 IEEE 802.15.4 GTS의 동작 예

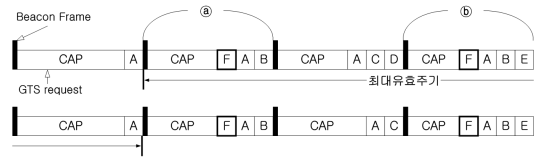
할당 방법에서는 GTS request command 프레임의 GTS characteristics field에 4비트의 크기를 가지는 단말의 주기정보(GP: GTS Period)를 추가한다. GP에 따른 해당 단말의 요청 주기는

$$\text{주기} = aBaseSuperframeDuration \times 2^{BO} \times 2^{GP} \text{ symbols}$$

이에 따라 각 단말들의 주기는 현재 슈퍼프레임 길이의 2^{GP} 배가 된다. 단말의 주기를 2의 지수배로 제한하는 이유는 BI가 2의 지수배로 결정되기 때문에 주기를 2의 지수배로 하는 것이 GTS 할당 방법 및 계산에 용이하기 때문이다.

GTS request command 프레임을 수신한 PAN 코디네이터는 GP 값을 통해 단말의 주기를 계산하고 이에 따라 해당 단말에 대한 GTS 할당 여부를 결정한다. PAN 코디네이터는 자신이 할당한 모든 GTS들의 주기들과 길이 정보를 바탕으로 요청된 GTS 할당을 수용할 수 있는지 판단한다. 판단 과정은 다음과 같다.

- ① 그림 3에서 단말의 요청에 따라 GTS F의 할당이 고려되는 슈퍼프레임(Ⓐ)에 이미 다른 단말들에게 할당되어 있는 GTS(A, B) 중 요청한 단말의 GTS 주기(GP = 1)보다 작거나 같은 주기를 가진 GTS들(A, B)의 시간 슬롯 수를 합한다. 이는 단말의 GTS 요청이 수락 될 경우 해당 GTS와 항상 같은 슈퍼프레임에 존재하게 될 GTS들의 총 시간 슬롯 수이다.
- ② IEEE 802.15.4의 GTS 제약사항을 만족시키기 위해서는 요청한 단말의 주기보다 큰 주기를 가지는 기존 GTS(D, E) 중 요청한 단말의 GTS와 같은 슈퍼프레임에서 전송되는 GTS 수와 전체 GTS 시간 슬롯의 길이를 고려하여야 한다. 그림 3에서 GTS D의 GP는 3이므로 GTS F의 GP인 1 보다 크지만 GTS F와 같은 슈퍼프레임에서 할당 받는 경우가 없기 때문에 고려 대상이 아니다. 반면 GP가 2인 GTS E는 슈퍼프레임 ⑤에서 GTS F와 같이 할당 되므로 고려되어야 한다. 이와 같이 고려되는 GTS의 주기 중 가장 긴 주기를 최대 유효주기라고 한다. 그림 3에서는 GTS E가 GP가 2로서 최대 유효주기를 가진다. 요청한 단말의 GTS와 같은 슈퍼프레임에서 할당 되는 기존 GTS들의 조합은 최대 유효주기를 주기로 반복된다. PAN 코디네이터는 최대 유효주기 안에서 요청한 단말이 GTS를 할당 받는 슈퍼프레임들(Ⓐ, ⑤)에 대해 IEEE 802.15.4의 GTS 제약사항을 고려해야 한다. 때문에 이 슈퍼



(그림 3) PGTS 알고리즘

프레임들에서 할당된 GTS들 중 요청한 단말의 주기보다 큰 GTS들의 시간 슬롯을 각 슈퍼프레임마다 합산하여 그 최댓값을 계산한다.

- ③ ①과 ②에서 구한 시간 슬롯 수와 현재 GTS가 요구하는 시간 슬롯 수를 더하여 이 값이 최소 CAP 길이(aMinCAPLength = 440 symbol)를 보장하는지 확인한다. 또한 요청한 단말에게 GTS를 할당할 경우 한 슈퍼프레임에서 할당된 GTS의 수가 7개 이하인지 확인한다. 이러한 두 조건을 만족한다면 PAN 코디네이터는 단말의 GTS 요청을 수락하고 수락된 단말의 주기에 해당하는 슈퍼프레임에서만 단말에게 GTS를 할당하게 된다.

4. 성능평가

본 논문의 시뮬레이션에서는 PGTS와 기존 IEEE 802.15.4의 GTS 메커니즘의 성능 평가를 위하여 30대의 단말로 구성된 스타 토폴로지 PAN을 가정하였다. 시뮬레이션은 BO = 5, SO = 4 인 환경에서 15728.64초(32000개의 슈퍼프레임) 동안 수행하였다. 한 단말이 GTS 요청을 시도할 확률은 초당 평균 50회의 지수분포를 따르고, 요청하는 데이터의 양은 평균 5000bit, 표준편차 2500bit의 로그 정규분포를 따른다. GTS를 할당받은 단말이 해당 GTS를 유지하는 시간은 평균 100초의 지수분포를 가진다.

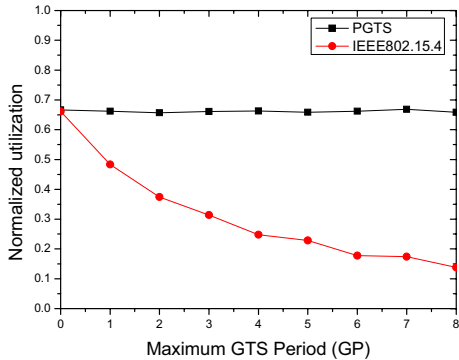
그림 4은 비경합 접근 구간에서의 PGTS와 IEEE 802.15.4의 GTS 사용 효율을 나타낸다. 여기서 GTS 사용 효율은 다음과 같이 정의된다.

$$\text{사용 효율} = \frac{\text{단말이 전송한 총 데이터양}}{\text{단말이 사용한 GTS 시간 슬롯의 총 길이}}$$

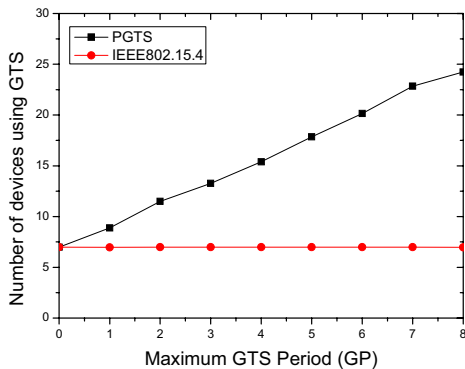
그림 4의 가로축은 단말이 가질 수 있는 최대 GP를 나타내며, 이 때 각 GP를 갖는 단말 수의 비율은 동일하다고 가정하였다. 예를 들어 최대 GP가 2일 경우, 0, 1, 2의 GP를 갖는 단말 수의 비율이 동일하다. 최대 GP가 0인 경우, 즉 모든 단말들의 GTS 사용 주기가 슈퍼프레임 길이와 동일할 때에는 PGTS와 IEEE 802.15.4의 사용 효율 차이가 작다. 하지만 슈

퍼프레임의 주기보다 큰 주기를 갖는 단말의 수가 증가할수록 IEEE 802.15.4의 사용 효율은 급격히 떨어지는 것에 비해 PGTS의 사용 효율은 일정한 값을 유지한다. 이는 최대 GP가 커질 때 IEEE 802.15.4에서는 쓰이지 않고 낭비되는 GTS 시간 슬롯들이 급격히 늘어나게 되는 반면에 PGTS에서는 단말이 요구한 주기에만 GTS를 할당하고 주기 외의 슈퍼프레임에는 다른 단말들이 GTS를 할당 받을 수 있게 함으로써 자원을 효율적으로 사용하기 때문이다.

그림 5는 시뮬레이션 시간동안 동시에 GTS를 할당받은 단말 수의 평균을 나타낸다. IEEE 802.15.4에서는 최대 7개의 단말에게만 GTS를 배정할 수 있는 반면 PGTS에서는 최대 GP가 증가할수록 더 많은 수의 단말에게 GTS를 배정할 수 있다. 이는 최대 GP가 커지면 다양한 주기를 가지는 GTS들이 늘어나므로, 큰 주기를 가지는 GTS들 사이에 다른 단말들이 GTS를 할당 받을 수 있기 때문이다.



(그림 4) PGTS와 IEEE 802.15.4의 GTS 사용 효율



(그림 5) GTS를 할당받은 평균 단말 수

5. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.15.4의 GTS 메커니즘이 다양한 주기들을 가지는 단말들 사이에서 동작할 때 발생하는 열악한 사용 효율과 최대 7대의 단말들에게만 GTS를 지원하는 용량 문제를 해결하기 위하여 주기적 GTS 할당 방법을 제시하였다. 시뮬레이션을 통해 주기적 GTS 할당 방법이 GTS를 요청한 단말들에게 해당 주기에만 GTS를 할당함으로써 사용 효율을 향상시킴을 확인하였다. 또한 주기적 GTS 할당 방법이 IEEE 802.15.4에서는 사용되지 않았던 자원을 다른 단말들에게 제공함으로써 시스템의 용량을 증대시킬 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] IEEE 802.15.4, Part 14.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), 2006.
- [2] Sivaram Cheekiralla, "Poster Abstract : wireless Sensor Network Based Tunnel Monitoring," Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks (REALWSN'05), 2005.
- [3] 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," 18th Euromicro Conference on Real-Time Systems, pp. 183-192, 2006.
- [4] L. Cheng, A. G. Bourgeois, and X. Zhang, "A Performance Comparison Study of GTS Allocation Schemes in IEEE 802.15.4," Future Generation Communication and Networking (FGCN'07), vol. 2, pp. 356-361, 2007.
- [5] L. Cheng, A. G. Bourgeois, and X. Zhang, "A new GTS allocation scheme for IEEE 802.15.4 networks with improved bandwidth utilization," International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT'07), pp. 1143-1148, 2007.
- [6] J. K. Song, J. D. Ryoo, S. C. Kim, J. W. Kim, H. Y. Kim, and P. S. Mah, "A Dynamic GTS Allocation Algorithm in IEEE802.15.4 for QoS guaranteed Real-time Applications," IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE'07), pp. 1-6, 2007.