

IEEE 802.15.4 기반의 QoS 보장을 위한 GTS Utilization 향상 기법 제안

준회원 이 상 진*, 정회원 정 원 수*, 오 영 환*

A proposal for Improving Techniques of GTS Utilization on Quality of Service based on IEEE 802.15.4

Sang-Jin Lee* Associate Member, Won-soo Jung*, Young-hwan Oh* Regular Members

요 약

최근 WBAN에 대한 관심이 증가하고 있으며, WBAN의 저속 데이터 전송을 요구하는 의료용 서비스의 경우 기존의 IEEE 802.15.4를 참조할 수 있다. IEEE 802.15.4는 주기적 데이터를 처리하기 위해 GTS를 사용한다. 7개로 제한된 GTS를 효율적으로 사용하기 위해 디바이스들은 GTS 타임 슬롯을 공유한다. 본 논문은 기존에 제안된 방식은 상이한 데이터 전송률을 가지는 네트워크 적합하지 않으므로, WFQ(Weighted Fair Queuing)기반의 GTS 할당 방법을 제안한다. 또한 기존의 GTS utilization을 계산하기 위한 식은 타임 슬롯을 공유하여 사용하는 경우 전송 주기를 고려하지 않으므로 적합하지 않다. 이 점을 개선하기 위한 GTS utilization식을 제안하고, 기존의 식에 비해 가변적인 네트워크 환경에 적합한 utilization을 측정할 수 있다.

Key Words : QoS, GTS, IEEE 802.15.4, WBAN, utilization

ABSTRACT

Interest in WBAN has recently been increased, and in the case of medical service which is asking low rate data of WBAN can refer to existing IEEE802.15.4. IEEE802.15.4 has used GTS in order to process periodic data. Devices have shared GTS time slot to efficiently use GTS which is limited to 7. This paper proposes method for GTS utilization based on WFQ (Weighted Fair Queuing) because the existing method has not been suitable for the network that has different data rate. In addition, it has a problem that the existing general formula for GTS utilization is unsuitable to use the time slot which is shared as the data rate is not considered. Thus, this paper proposes new formula for GTS utilization to improve above problem. It can also measure the more suitable utilization than the existing formula for the variable network.

1. 서 론

IEEE 802.15.4는 10m 내외의 POS(Personal Operation Space)에서의 작업 시 배터리가 없거나 아주 제한적으로 요구되는 고정형, 휴대형 및 이동성 디바이스의 저속 무선 상호 통신을 위한 물리 계층과 MAC 계층에 대해 언급하고 있다. IEEE 802.15.4의

슈퍼프레임(Superframe)은 경쟁 기반의 CSMA/CA와 비경쟁 기반의 GTS가 공존한다. 비경쟁 기반의 GTS는 실시간 통신을 필요로 하는 응용이나 특정 데이터 대역폭을 요구하는 응용을 위하여 슈퍼프레임의 일부 활동 구간을 해당 응용에 전용으로 할당한다^[1].

일반 WSN(wireless Sensor Network)의 경우 제어, 모니터링, 보안 등과 같은 응용분야에 사용하며, IEEE

* 광운대학교 전자통신공학과 통신망연구실(sootan77@dreamwiz.com)
논문번호: 10030-0513, 접수일자: 2010년 5월 13일

802.15.4 기반의 의료용 데이터의 경우 디바이스와 코디네이터(Coordinator) 사이에서 송수신되는 트래픽의 종류에 따라 비주기적 트래픽과 주기적 트래픽으로 분류할 수 있다. 비주기적 트래픽은 실시간 데이터 전송과 같은 특징을 가지고 있지 않기 때문에 IEEE 802.15.4의 경쟁기반 액세스 방법인 slotted CAMA/CA 방식을 사용하여 데이터를 전송한다. 주기적 트래픽은 실시간 데이터 전송 특징을 나타내기 때문에 GTS를 사용하여 데이터를 전송한다^{3,4)}.

GTS 방식을 사용하여 데이터를 전송하는 경우 충돌 없이 대역폭을 보장 받을 수 있어 QoS를 보장받을 수 있다. 하지만 IEEE 802.15.4에서는 GTS 타임 슬롯은 최대 7개 까지 할당할 수 있기 때문에 GTS를 효율적으로 사용하는 방법이 제시되었다. 한정된 GTS 자원을 여러 디바이스가 공유하여 사용하는 방법으로 라운드 로빈(Round Robin)과 WFQ(Weighted Fair Queuing)을 적용한 스케줄링 방법이 있다. 기존의 연구에서는 GTS utilization을 계산하기 위해 채널의 보장 대역폭과 디바이스의 데이터 전송률만 고려하였기 때문에 전송 주기가 다르더라도 동일한 utilization을 가지게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 데이터 전송에 필요한 주기를 고려하여 동일한 시간 내에서 utilization을 계산할 수 있는 방법이 제시되어야 한다⁶⁻¹⁰⁾.

본 논문에서는 IEEE 802.15.4 표준의 슈퍼프레임 구조에서 디바이스가 GTS 공유하여 사용할 때, 모든 디바이스가 데이터를 전송하는데 필요한 비컨의 수를 고려하여 GTS utilization을 계산하는 식을 제안한다. 기존에 사용된 식은 서로 다른 스케줄링을 적용하여도 조건이 같다면 채널 효율을 비교할 수 없었다. 본 식을 사용하여 스케줄링 방법이 다른 경우에 utilization을 비교할 수 있으며, 전송 주기를 고려하기 때문에 기존에 식에 비해 더 현실적인 utilization을 측정할 수 있다⁵⁻⁸⁾.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 U-Healthcare의 특징과 IEEE 802.15.4의 규격, GTS 할당 시 발생하는 지연과 bandwidth utilization을 네트워크 계산법을 적용하여 해석하고 QoS를 보장할 수 있는 기법인 WFQ 스케줄링 방법에 관하여 알아본다. 3장에서는 제안하는 GTS 할당 스케줄링 방법과 제안한 방법을 네트워크 계산법을 통해 분석한다. 4장에서는 제안한 방법의 성능평가를 수행하고 결과에 따른 비교 및 고찰을 기술한다. 마지막으로 제 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관계 이론

2.1 IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 LR-WPAN은 제한된 전력과 낮은 스루풋 요구사항을 지닌 응용과의 연결을 제공하는데 적합한 저비용 통신망이다. IEEE 802.15.4는 슈퍼프레임 구조를 선택적으로 사용할 수 있다. 슈퍼프레임은 저전력 소모를 위하여 정의되며, 슈퍼프레임의 형태는 PAN에 있는 코디네이터에 의해서 결정되고, 같은 사이즈를 갖는 16개의 슬롯으로 구성된다. 비컨 프레임은 각 슈퍼프레임의 첫 번째 슬롯에서 전송되며, 디바이스들을 동기화시키고 네트워크를 구별시키며 슈퍼프레임 구조를 알려주는데 사용된다⁹⁾.

슈퍼프레임의 구조의 그림 1과 같으며, slotted CSMA/CA로 동작하는 CAP(Contention Access Period)와 GTS로 동작하는 CFP(Contention Free Period)로 구성된다.

슈퍼프레임의 구조는 MAC PIB 속성인 *macBeaconOrder*와 *macSuperframeOrder*의 값에 의해 정의된다. *macBeaconOrder*는 코디네이터가 비컨 프레임을 전송할 간격을 설명한다. *macBeaconOrder*의 값 *BO*와 비컨 구간(*beacon interval*) *BI*는 다음과 같이 관련되어 있다.

$$BI = aBaseSuperframeDuration * 2^{BO} \quad (1)$$

*macSuperframeOrder*는 슈퍼프레임의 활동 구간의 길이를 나타내며, 비컨 프레임을 포함한다. *macSuperframeOrder*의 값 *SO*와 슈퍼프레임 지속시간(*superframe duration*) *SD*의 관계는 다음과 같다.

$$SD = aBaseSuperframeDuration * 2^{SO} \quad (2)$$

각 슈퍼프레임의 활동 구간은 *aNumSuperframeSlots* 개의 동일하게 나뉜 슬롯들로 구성되며, 한 개의

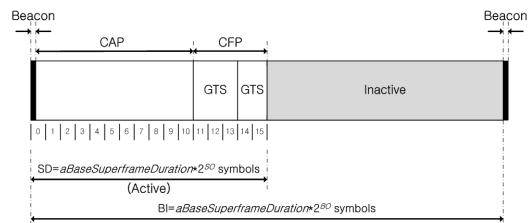


그림 1. 슈퍼프레임 구조

슬롯 길이는 $2^{SO} * aBaseSlotDuration$ 이다.

2.2 라운드 로빈 기반의 GTS 할당 기법

IEEE 802.15.4에서 부족한 GTS를 효율적으로 사용하기 위한 많은 방법들이 연구되었다. 라운드 로빈 스케줄링을 기반으로 연구된 GTS 할당 방법은 한정된 7개의 GTS 자원을 디바이스들이 공유하여 사용하는 방법이다. 이 방법을 적용하기 위해서는 다음과 같은 가정 사항을 만족해야 한다.

$$(C1) \quad \sum_{i=1}^N r_i \leq R_{kTS} \quad (3)$$

$$(C2) \quad D_{i,max} \leq D_i \quad (4)$$

식(3)은 k의 GTS 타임 슬롯을 N개의 디바이스가 공유하는 경우에 적용할 수 있으며, 디바이스의 평균 전송률이 공유하는 GTS가 보장하는 대역폭을 초과해서는 안됨을 의미하고, 식(4)는 디바이스가 요구하는 지연 값보다 실제 최대지연은 작아야 함을 의미한다^[10].

모든 디바이스에 동일한 개수의 GTS 타임 슬롯을 할당하기 때문에 동일한 보장대역폭을 가진다. 즉 유사한 전송 요구사항을 가지는 디바이스들로 구성된 네트워크에 적용이 가능하다. 서로 상이한 전송률을 가지는 디바이스로 구성된 네트워크에 적용하면 낭비되는 대역폭이 크다.

2.2.1 라운드 로빈 기반의 GTS Utilization

평균 전송률이 r_i 고, 버스트 사이즈가 b_i 인 디바이스에 k_i 개의 GTS 타임 슬롯을 할당하는 경우 utilization은 다음과 같다.

$$U_{k_iTS} = r_i / R_{k_iTS} = r_i / (k_i \cdot R_{TS}) \quad (5)$$

k개의 GTS 타임 슬롯으로 구성된 CFP 구간의 평균 utilization은 다음과 같다.

$$U_{CFP} = U_{kTS} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_{k_iTS} = \frac{1}{N \cdot R_{TS}} \sum_{i=1}^N \frac{r_i}{k_i} \quad (6)$$

k개의 타임 슬롯을 N개의 디바이스가 공유하는 경우 utilization은 식 (7)과 같다.

$$U_{kTS}^N = \frac{1}{k \cdot R_{TS}} \sum_{i=1}^N r_i \quad (7)$$

여기서 각 디바이스의 utilization은 식 (8)과 같다.

$$U_{i,kTS} = \frac{r_i}{k \cdot R_{TS}} \quad (8)$$

2.3 WFQ 기반의 GTS 할당 기법

네트워크를 구성하는 디바이스가 상이한 데이터 전송률을 가지는 경우 라운드 로빈 방식을 사용하여 GTS 타임 슬롯을 할당하면 경우 대역폭의 낭비가 발생한다. 라운드 로빈 방식은 모든 디바이스에 동일한 대역폭을 보장하는 문제점이 있으므로 상이한 데이터 전송률을 가지는 경우 WFQ 기반의 GTS 할당 방식을 적용해야 한다. WFQ는 그림 2와 같은 구조로 동작한다.

WFQ 스케줄러는 라운드 로빈 스케줄링처럼 순환 방식으로 클래스들을 서비스 하지만 각 클래스 마다 다른 양의 서비스 시간을 부여받는다. 각 클래스 i는 가중치 w_i 를 할당받아 $w_i/wsum$ 의 서비스 시간을 보장받는다. 여기서 $wsum$ 은 큐에 패킷이 있는 모든 클래스에 대한 가중치의 합을 의미한다.

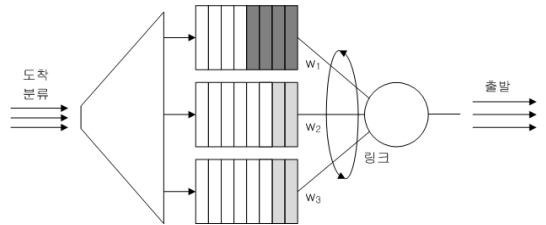


그림 2. WFQ(Weighted Fair Queuing)

III. 제안하는 GTS Utilization 기법

3.1 WFQ 기반의 GTS 할당 방법

디바이스가 상이한 데이터 전송률을 가지는 경우 서로 다른 대역폭을 보장하여 낭비되는 대역폭을 줄이고, 전송 지연 및 채널의 utilization을 향상시킬 수 있다. 각 디바이스에 전송률에 따라 할당하는 GTS 타임 슬롯의 개수(W_i)를 다르게 하여 전송률이 큰 디바이스는 더 많은 대역폭을 할당하고, 전송률이 낮은 디바이스는 상대적으로 작은 대역폭을 할당한다. WFQ 기반의 GTS 할당 기법도 라운드 로빈 방법과 마찬가지로 실시간 데이터 처리를 위해서는 몇 가지 가정 사항을 만족해야 한다. 조건 (C1), (C2)와 디바이스들이 보장받는 대역폭이 다르기 때문에 조건 (C3)을 만족해야 한다.

$$(C3) \quad r_i \leq \frac{W_i}{W_{sum}} R_{kTS}, \quad \forall 1 \leq i \leq N \quad (9)$$

여기서, W_{sum} 은 모든 디바이스가 요청하는 GTS 타임 슬롯 개수의 합을 의미한다. 서로 다른 대역폭을 할당함으로써 상이한 전송률을 가지는 경우 같은 GTS 타임 슬롯으로 더 많은 디바이스의 QoS를 보장할 수 있으며 최대 지연도 감소한다. 그림 3은 WFQ 기반의 GTS 할당 예를 보여준다.

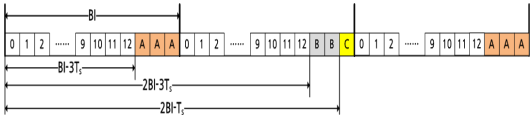


그림 3. WFQ 기반의 GTS 할당 예

3.2 제안하는 GTS Utilization 일반식

제안하는 GTS utilization 일반식은 두 가지 상황을 고려해야한다. 첫 번째는 네트워크를 구성하는 디바이스들이 요청하는 GTS 타임 슬롯의 합이 7개 이하는 경우이고, 두 번째는 7개를 초과하여 디바이스들이 GTS 타임 슬롯을 공유하는 경우이다. 이 두 경우는 GTS를 할당하는 방법이 다르기 때문에 GTS utilization을 동일하게 측정할 수 없다.

3.2.1 $W_{sum} \leq 7$ 인 경우

IEEE 802.15.4 슈퍼프레임에서 GTS의 지속시간보다 버스트 사이즈가 큰 경우에 GTS 타임 슬롯에서 연속적인 데이터 전송은 그림 4와 같이 프레임 간격에 의해서 분리된다.

디바이스 i 가 k_i 개의 GTS 타임 슬롯을 할당 받았다고 가정하면, k_i 개의 GTS 타임 슬롯에서 전송되는 데이터의 양은 전송된 데이터 프레임 개수와 관련이 있다. 즉, GTS 내에서 전송되는 SIFS와 LIFS에 의해 계산할 수 있다. 여기서 SIFS는 Short Inter-Frame Spacing을 LIFS는 Long Inter-Frame Spacing을 의미하고, T_s 는 한 개의 GTS 타임 슬롯의 의미한다. LIFS의 개수를 구하는 식은 다음과 같다.

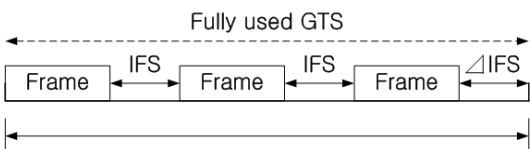


그림 4. GTS Duration < burst size 인 경우의 데이터 전송

$$N_{i,LIFS} = \left\lfloor \frac{k_i \cdot T_s}{aMaxPHYPacketSize + LIFS} \right\rfloor + 1 \quad (10)$$

할당받은 GTS 구간에서 낭비되는 시간 없이 데이터가 전송되므로 데이터는 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$T_{i,data}^{LIFS} = k_i \cdot T_s - (N_{LIFS} - 1) \cdot LIFS - \Delta(IFS) \quad (11)$$

여기서, $\Delta(IFS)$ 는 마지막에 전송되는 프레임의 크기가 $aMaxSIFSFrame$ 보다 작으면 SIFS로, 그 외의 경우에는 LIFS로 계산한다.

NIFS의 개수와 전송되는 데이터 프레임의 길이는 다음 식과 같다.

$$N_{i,SIFS} = \left\lfloor \frac{k_i \cdot T_s}{aMaxSIFSFrameSize + SIFS} \right\rfloor + 1 \quad (12)$$

$$T_{i,data}^{SIFS} = k_i \cdot T_s - N_{LIFS} \cdot SIFS \quad (13)$$

위의 식으로부터 k_i 개의 GTS 타임 슬롯에서 전송되는 데이터 및 처리량을 계산할 수 있다.

$$T_{i,data}^{full} = \max(T_{i,data}^{LIFS}, T_{i,data}^{SIFS}) = \max \left(k_i \cdot T_s - (N_{LIFS} - 1) \cdot LIFS - \Delta(IFS), k_i \cdot T_s - N_{SIFS} \cdot SIFS \right) \quad (14)$$

$$Th_{i,max}^{full} = \max \left(\frac{k_i \cdot T_s - (N_{LIFS} - 1) \cdot LIFS - \Delta(IFS)}{k_i \cdot T_s - N_{SIFS} \cdot SIFS} \right) \frac{C}{BI} \quad (15)$$

GTS 지속시간보다 버스트 사이즈가 작은 경우에는 낭비되는 대역폭이 발생하고, GTS를 이용하여 전송되는 데이터 프레임의 길이는 네트워크 계산법의 도착 곡선 $\alpha(t) = b + r \cdot t$ 를 적용하여 구할 수 있다. 한 개의 GTS 타임 슬롯을 할당 받는 경우의 도착 곡선은 $\alpha(t) = b + r \cdot T_s$ 로 나타낼 수 있으며 낭비되는 대역폭이 발생하는 경우와 발생하지 않는 경우를 모

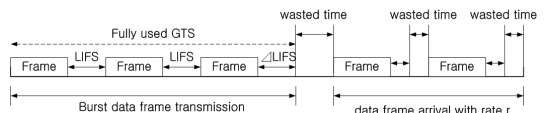


그림 5. GTS Duration > burst size 인 경우의 데이터 전송

두 고려해야 한다. 그림 5는 GTS 지속시간보다 버스트 사이즈가 작은 경우의 데이터 전송을 보여준다.

이 경우 k_i 개의 GTS 타임 슬롯에서 전송되는 데이터와 처리량은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$T_{i,data} = \min \left(\frac{b+r \cdot k_i \cdot T_s}{C}, \max \left(k_i \cdot T_s - (N_{LIFS} - 1) \cdot LIFS - \Delta(IF S)_i, k_i \cdot T_s - N \cdot SIFS \right) \right) \quad (16)$$

$$Th_{i,data}^{full} = \min \left(\frac{b+r \cdot k_i \cdot T_s}{BI}, \max \left(r \cdot k_i \cdot T_s - (N_{LIFS} - 1) \cdot LIFS - \Delta(IF S)_i, r \cdot k_i \cdot T_s - N \cdot SIFS \right) \right) \frac{C}{BI} \quad (17)$$

따라서, N 개의 디바이스가 요청하는 GTS 타임 슬롯의 수가 7개 이하인 경우 CFP 구간 전체의 utilization은 다음 식을 적용할 수 있다.

$$U'_{CFP} = \frac{1}{k \cdot T_s} \sum_{i=1}^N T_{i,data} \quad (18)$$

여기서 $k = \sum_{i=1}^N k_i$ 을 의미한다.

각 디바이스들의 utilization의 다음과 같다.

$$U'_{i,kTS} = \frac{T_{i,data}}{k_i \cdot T_s} \quad (19)$$

3.2.2 $W_{sum} > 7$ 인 경우

디바이스들이 요구하는 GTS 타임 슬롯의 총 개수가 7개 이상인 경우 기존의 할당 방법으로는 GTS를 할당받지 못하는 디바이스가 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 유사한 전송률을 가지는 디바이스로 구성된 경우 라운드 로빈 기반의 GTS 할당 방법을 적용하여 GTS 타임 슬롯을 공유하여 사용한다. 하지만 의료환경이나 WBAN과 같이 센서 디바이스가 상이한 데이터 전송률을 가지는 경우에는 3.1절에서 제안한 방법인 WFQ 기반의 GTS 할당 방법을 적용하여 GTS 구간을 공유한다.

라운드 로빈 기반의 GTS 할당 방법이나 WFQ 기반의 GTS 할당 방법은 GTS 타임 슬롯을 공유 하여

사용하기 때문에 하나의 슈퍼프레임에서 모든 데이터 전송이 이루어지지 않는다. 요청하는 GTS의 개수에 따라 전송 주기가 달라지기 때문에 전송 주기를 고려한 utilization을 측정해야한다.

그림 3을 보면 상이한 데이터 전송률을 가지는 3개의 디바이스에 WFQ 기반의 GTS 할당 방법을 적용하여, 각각 A는 3개의 타임 슬롯을, B는 2개의 타임 슬롯, C는 1개의 타임 슬롯을 할당하였다. 공유하는 타임 슬롯이 3개라고 가정하면 첫 번째, 슈퍼프레임에서는 디바이스 A가 전송을 하고, 두 번째 슈퍼프레임에서는 디바이스 B, C가 전송을 하는 것을 확인할 수 있다. 데이터 전송률이 다르기 때문에 첫 번째 슈퍼프레임과 두 번째 슈퍼프레임의 GTS 구간은 서로 다른 utilization을 가지게 되고, 데이터 전송이 계속된다고 가정하면 주기적으로 utilization이 나타난다. 이 주기를 고려하여 슈퍼프레임의 GTS 구간의 평균 utilization을 구할 수 있으며, 라운드 로빈 및 WFQ 기반의 GTS 할당 방법에는 평균 utilization을 구하여 채널의 효율을 비교할 수 있다.

GTS를 공유하여 사용하는 경우에 전송 주기를 고려한 CFP 구간의 utilization은 식 (18)로부터 구해진다.

$$U''_{CFP} = \frac{1}{W_{sum} \cdot T_s} \sum_{i=1}^N T_{i,data} \quad (20)$$

각 디바이스들의 utilization은 다음과 같다.

$$U''_{i,kTS} = \frac{T_{i,data}}{W_{sum} \cdot T_s} \quad (21)$$

IV. 성능 평가

본 장에서는 GTS 타임 슬롯을 공유하여 사용하는 경우 라운드 로빈 및 WFQ 기반의 GTS 할당 방법의 GTS utilization의 성능 평가를 보여준다. 성능평가를 위해 우선 기존에 사용된 식 (7)을 이용하여 라운드 로빈 및 WFQ 기반의 GTS 할당 방법에 대한 utilization을 측정하였다.

성능평가를 위해 총 8개의 디바이스를 가정하였으며 디바이스의 데이터 전송률 표 1과 같다.

표 1. 디바이스의 평균 도착률

디바이스	평균 도착률 r_i (kbits/sec)
F1-F5	1
F6-F8	2

디바이스의 최대지연을 고려하기 위한 버스트 사이즈는 동일하게 $b_i = 500\text{bits}$ 로 가정하였고, 성능평가 환경은 $BO=SO=0$ 인, 즉 듀티 사이클이 1인 환경에서 성능을 비교하였다. $BO=SO=0$ 인 경우 GTS 타임 슬롯 하나가 보장하는 대역폭 R_{TS} 는 9.38kbps 이다. 제안한 방법에서 디바이스가 요청하는 GTS 타임 슬롯의 개수는 다음과 같이 가정하였다.

$$\begin{cases} r_i \leq 1\text{kbps}, & w_i = 1 \\ r_i > 1\text{kbps}, & w_i = 2 \end{cases}$$

8개의 디바이스가 GTS 타임 슬롯의 할당을 요구하므로 7개로 제한된 GTS를 모든 디바이스에 할당할 수 없으므로, 라운드 로빈 기반의 GTS 할당 방법과 WFQ 기반의 GTS 할당 방법을 이용하여 디바이스 GTS를 할당한다.

두 방법을 적용하기 위해 먼저 가정사항을 확인한다.

$$\sum_{i=1}^N r_i = 12\text{kbps} \quad \text{이므로, } k=2\text{이상이면 대역폭으로 인한 문제는 발생하지 않는다.}$$

$k=2$ 이면 디바이스들은 1.56kbps 이상의 대역폭을 보장 받기 때문에 식 (9)도 만족하므로, 두 방법으로 GTS를 할당할 수 있다. 그림 6은 식 (7)를 이용하여 구한 GTS utilization이다.

식 (7)은 공유하는 슬롯의 개수와 디바이스의 데이터 전송률만 고려하기 때문에 전송 주기가 달라도 동일한 utilization으로 측정된다. 그림 6의 라운드 로빈의 $k=2$ 인 경우에는 모든 데이터를 전송하는데 총 8개의 슈퍼프레임이 필요하지만 WFQ의 경우 6개의 슈퍼프레임이 필요하다. 기존의 식은 전송되는데 걸리는 시간이 다르지만 동일한 utilization을 나타내므로 GTS를 공유하여 사용하는 환경에는 적당하지 않다.

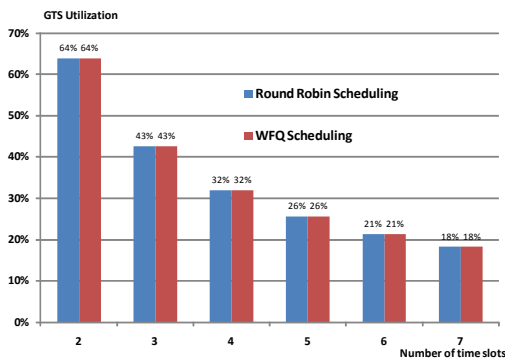


그림 6. 식 (7)을 이용한 GTS Utilization

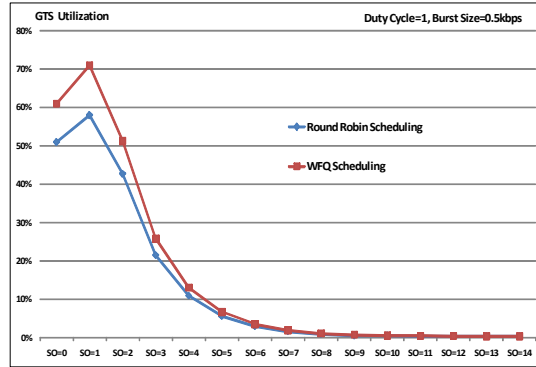


그림 7. 식 (20)을 이용한 GTS Utilization

식 (20)을 적용하여 표 1의 환경의 utilization을 측정하면 그림 7과 같다. 데이터의 전송에 필요한 슈퍼프레임의 주기를 고려하여 utilization을 구하기 때문에 두 방법에 차이가 난다. 상이한 데이터 전송률을 지니는 경우에 WFQ 기반의 GTS 할당 방법이 상대적으로 적은 슬롯 수를 요구하므로 utilization이 향상 되는 것을 확인할 수 있다. 또한 기존의 식은 슈퍼프레임 차수에 대한 비교가 불가능 하였지만 제안하는 식은 슈퍼프레임 차수에 변화에 따른 utilization이 계산 가능하다.

V. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 부족한 GTS의 사용 효율을 높이기 위해서 디바이스의 데이터 전송률이 유사한 경우에는 라운드 로빈 기반의 GTS 할당 방법을 이용하고, 디바이스가 상이한 데이터 전송률을 가지는 경우에는 WFQ 기반의 GTS 할당 방법을 이용하도록 제안하였다. 두 방법을 적용하면 디바이스가 요청하는 GTS 타임 슬롯의 수가 7개 이상이어도 공유하여 사용할 수 있으므로 GTS utilization을 향상 시킬 수 있다. 또한 네트워크를 구성하는 환경에 따라 적절한 스케줄링 방법을 사용하도록 제안하고 있다. 또한 제안한 환경에 맞도록 새로운 utilization을 계산하는 일반식을 제안하였다. 제안한 식은 GTS에서 overhead와 같이 낭비되는 대역은 제외하고 실제 전송에 사용되는 데이터의 양을 측정하므로 기존에 식에 비해 정확한 utilization을 측정할 수 있다. 기존의 식은 utilization을 계산할 때 보장 대역폭과 디바이스의 데이터 전송률만 고려하기 때문에 전송주기가 길어져도 네트워크의 환경만 같다면 utilization의 차이를 구할 수 없다. 제안한 식은 전송 주기도 고려하기 때문에 스케줄링

