

工學碩士 學位論文

저속 WPAN에서의 동기모드  
전송 방식 연구

慶州大學校 一般大學院

컴퓨터電子工學科

李 世 珍

2009年 6月

# 저속 WPAN에서의 동기모드 전송 방식 연구

指導教授 趙 茂 昊

이 論文을 碩士學位 論文으로 提出함

2009年 6月

慶州大學校 一般大學院

컴퓨터電子工學科

李 世 珍

# 李世珍의 碩士學位論文을 認准함

審查委員長 \_\_\_\_\_ 印

審查委員 \_\_\_\_\_ 印

審查委員 \_\_\_\_\_ 印

慶州大學校 大學院

2009年 6月

# 목 차

I. 서론 .....	1
II. 음성 전송 관련 IEEE 802.15.4 규격 연구 .....	4
1. 비컨 구간과 슈퍼프레임 구간 .....	4
1) 슈퍼프레임 구조 .....	4
2) 음성 전송을 위한 구간 .....	6
2. GTS 관리 .....	8
1) GTS 개요 .....	8
2) GTS 할당 .....	9
3) GTS 사용법 .....	11
4) GTS 할당해제 .....	13
5) GTS 재할당 .....	15
6) GTS 종료 .....	17
3. 비컨 프레임에서의 GTS 정보 .....	18
III. 동기 모드 전송 성능 분석 .....	20
1. 시스템 모델 .....	20
1) 개요 .....	20
2) 제안 슈퍼 프레임 시간 슬롯 구조 .....	22
3) 복수 디바이스들에 재전송 GTS 할당 방법 .....	25
4) 중재자와 디바이스들간 실시간 통신 방법 .....	27
2. 성능 분석 모델링 .....	29
3. 성능 분석 결과 .....	33

IV. 결론 ..... 40

참고문헌 ..... 42

초록 ..... 44

# I. 서 론

Wireless Personal Area Network(WPAN)는 기존의 개인영역 네트워크라 불리는 PAN(Personal Area Network)을 무선으로 구현한다는 개념이다. PAN은 널리 알려진 근거리통신망(LAN, Local Area Network)이나 원거리통신망(WAN, Wide Area Network)과는 대비되는 개념으로, 개인마다 각각 고유한 네트워크를 가지게 됨을 의미한다. 즉, 한 사람이 소유하고 있는 디바이스(device)들이 제각기 그 사람의 편의를 위해 하나의 네트워크를 구성하게 한다는 것이다. 이와 같은 PAN을 무선으로 구현하기 위한 노력으로 IEEE 802.15 워킹그룹(Working Group)은 단거리 무선 네트워크의 표준으로 WPAN을 정하고, 그 아래 4개의 TG(Task Group)를 두고 있다. IEEE 802.15.1이 블루투스(Bluetooth)이며, IEEE 802.15.3은 고속(high rate) WPAN, 그리고 IEEE 802.15.4는 저속(low rate) WPAN으로 일명 지그비(ZigBee)라고도 불리며, 250 Kbps 이하에 대한 표준작업을 수행한다.

본 논문과 관련된 IEEE 802.15.4 TG는 2000년 12월에 결성되었고, 2003년 5월 IEEE 802.15.4-2003 표준을 승인하여, 그 해 10월에 출판하였다 [1]. 이의 개정판인 IEEE Std 802.15.4-2006은 2006년 6월에 승인되었고, 9월에 출판되었다 [2]. IEEE 802.15.4 PHY 및 MAC(Medium Access Control)에 대한 일반적인 기능에 대해서 참고문헌 [3, 4]에 잘 기술되어 있는데, 본 논문에서 제안하는 실시간 서비스 방식은 MAC 규격 중에서 디바이스에 독점적으로 사용하는 GTS(Guaranteed Time Slot) 채널 할당 및 관리 방법과 관련이 있다.

IEEE 802.15.4 표준과 관련하여 나온 한 논문에서는 데이터 트래픽 정보를 기반으로 IEEE 802.15.4의 활동 시간(active period)을 동적으로 조절하여 에너지 효율성과 데이터 전송 처리율을 동시에 만족시킬 수 있는 TEA-802.15.4가 제안된 바 있다 [5]. 논문에서는 활동 시간을 조절하여 긴급히 보낼 데이터 전송률의 변화가 빈번한 데이터 서비스를 효율적으로 지원하기 위해 가상 슬롯 기반의 다중 접근 방식인 VSMA(Virtual Slot Multiple Access)이 제안되었다 [7].

그러나 이 방식은 가변 데이터 전송 환경에서는 PAN 환경에 속한 디바이스 간에 우선순위를 달리하여 채널 효과를 높이는 장점이 있으나, 음성과 같은 고정된 속도의 실시간 서비스를 위해서는 적합하지 않다. 본 제안방식과 유사한 기술 분야의 논문으로 IEEE 802.15.4에서 GTS의 확장 개념을 이용한 음성 통신 방식이 제안되었다 [8]. 이 본문에서는 비콘 간격을 122.28 ms로 하고 다수개의 GTS를 음성 통신을 하는 디바이스에 할당하는 것을 특징으로 하며, 본 제안방식과 같은 손상된 패킷에 대한 재전송 개념이 없어 QoS(Quality of Service) 제공에 문제가 있다. 참고문헌 [9]에서 Eustathia Ziouva et al은 IEEE 802.11 BSS(Basic Service Set) 네트워크상에서 패킷화된 음성과 데이터 트래픽 통합에 대해서 소개하면서 지원 가능한 최대 통신수와 데이터 전달을 위해 사용한 최소 대역폭 관점에서 성능을 분석하였다. 참고문헌 [10]에서 R. Mangharam et al은 무선 센서 네트워크에서 동작하는 Firefly라 불리는 실시간 음성 스트리밍 플랫폼을 소개하였다. Firefly는 특화된 저비용 하드웨어, 센서 네트워크 운영시스템, 실시간 링크 계층 및 네트워크 스캐줄링을 포함하는 여러 개의 통합된 계층으로 구성된다. 2-way(양방향) 통신을 위해 저자들은 밸런스 된 양방향 지연을 가진 TDMA(Time Division Multiple Access) 기반 슬롯 스캐줄링을 채택했는데, 오디오 시간성 요구사항을 만족하기 위해서다. 그들은 IEEE 802.15.4 PHY를 사용했지만 TDMA에 기반한 수정된 MAC를 선택했다. 상기한 기존 논문들은 음성 서비스를 고려하지 않거나 고려하였더라도 본 논문의 제안 방식과 같이 무선 개인영역 네트워크 환경에서 채널 에러 등의 발생 시에도 QoS를 제공할 수 있는 실시간 통신을 위한 채널할당에 대해서는 고려된 것이 없다. 관련 특허를 살펴보면, 기존의 IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 하는 무선통신방법에서 음성통신을 가능하게 하는 기술의 하나인 “무선 개인영역 네트워크에서 음성통신을 위한 무선통신방법” [11] 및 “저속 무선 개인영역 네트워크에서 다수 음성통화를 위한 무선통신 방법 및 장치” [12] 등이 제안되었다. 그러나 이와 같은 종래의 실시간 통신 방법은 채널 에러 등의 발생으로 송신하는 데이터가 깨졌을 경우 재전송을 통하여 QoS를 보장하지 못한다는 한계가 있다. 또 다른 특허로 QoS 보장을 위한 종래 기술로 무선 개인영역 네트워크에서 채널시

간이 제안되었다 [13]. 상기 기존 기술은 복수의 디바이스가 사용할 수 있는 공유된 CTA(channel time allocation)를 할당하여 사용함으로써, 채널 에러 등의 발생시에도 QoS를 제공할 수 있고, 공유된 CTA를 사용하여 VBR(Variabel Bit Rate) 스트림의 QoS도 네트워크 이용성의 저하 없이 제공할 수 있으며, TCP와 같은 상위 계층 신뢰성 프로토콜도 네트워크 이용성의 저하 없이 효율적으로 지원할 수 있다. 디바이스가 할당된 CTA를 독점적으로 사용하는 대신, 둘 이상의 디바이스가 하나의 CTA를 공동으로 사용할 수 있도록 채널시간을 할당한다. 공유된 CTA 구간에서는, 우선순위가 높게 설정된 즉, SIFS(Short Interframe Space) 값이 작게 설정된 디바이스가 먼저 채널을 사용할 권리를 가지지만, 채널 에러 등이 발생하지 않아서 더 이상 공유된 CTA 구간을 사용할 필요가 없는 경우에는, 다른 디바이스가 이 구간을 사용할 수 있어 네트워크 이용성의 저하도 방지하도록 한다.

그러나 이와 같은 기존의 QoS 보장을 위한 실시간 통신방법은 해당 슈퍼프레임 내에서 공통 슬롯을 사용하여 같은 시간대에서 에러가 발생된 프레임을 재전송하기 때문에 에러가 발생한 것과 동일한 페이딩 환경을 송수신 데이터가 겪게 되어 재전송 데이터가 또 에러가 발생 될 수 있다는 점, 그리고 네트워크 이용성의 저하 방지를 위해 디바이스간 서비스의 종류가 달라야 한다는 점, 디바이스간 자원사용의 공평성(Fairness)에 문제가 생긴다는 한계가 있다.

본 논문에서는 IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 하는 무선 개인영역 네트워크 환경에서 채널 에러 등의 발생 시에도 QoS를 제공할 수 있는 재전송 슬롯 기반의 실시간 통신 방식을 제안한다. 본 논문에서 사용되는 비컨 활성화 LR-WPAN 네트워크에 대한 네트워크 구조와 특성 등에 대해 연구 조사하고, 이를 바탕으로 비컨 활성화 모드에서 재전송 슬롯 기반의 실시간 통신 방식에 대한 성능 개선 방향을 제안하고, 이의 검증을 위해 제안 방안에 대해 수치해석을 통하여 성능 분석을 하고자 한다.

## II. 음성 전송 관련 IEEE 802.15.4 규격 연구

### 1. 비컨 구간과 슈퍼프레임 구간

#### 1) 슈퍼프레임 구조

PAN에 있는 코디네이터는 슈퍼프레임 구조를 사용하여 채널 시간을 선택적으로 제한할 수 있다. 슈퍼프레임은 비컨프레임 전송에 의해서 제한되며, 활동구간과 비 활동구간을 가질 수 있다. 코디네이터는 비 활동구간 동안에는 저 전력 모드에 들어갈 수 있다.

슈퍼프레임의 구조는 MAC PIB(PAN Information Base) 속성 *macBeaconOrder*와 *macSuperframeOrder*의 값에 의해 기술된다. *macBeaconOrder*는 코디네이터가 그의 비컨프레임의 어느 구간에 전송할 것인가를 나타낸다. *macBeaconOrder*의 값 *BO*(Beacon Order)와 *BI*(beacon interval)는 다음과 같이 관련되어 있다. ( $0 \leq BO \leq 14$ ,  $BI = aBaseSuperframeDuration * 2^{BO}$  symbol) 만약  $BO = 15$  이면, 코디네이터는 비컨프레임을 전송하지 않으며, 비컨요청 명령어 수신등과 같은 요청이 되는 경우는 예외이다. 만약  $BO = 15$  이면 *macSuperframeOrder*의 값은 무시된다. *macSuperframeOrder*는 슈퍼프레임의 활동구간의 길이를 기술하며, 비컨프레임을 포함한다. *macSuperframeOrder*의 값 *SO*(Superframe Order)와 *SD*(superframe duration)는 다음과 같이 관련되어 있다. ( $0 \leq SO \leq BO \leq 14$ ,  $SD = aBaseSuperframeDuration * 2^{SO}$  symbol) 만약  $SO = 15$  이면, 슈퍼프레임은 비컨 다음에 활동 구간이 남지 않는다. 만약  $BO = 15$  이면, 슈퍼프레임은 존재하지 않으며, *macSuperframeOrder*의 값은 무시된다, *macRxOnWhenIdle*은 송신기 유휴 기간 동안 수신기가 활성화 될 것인가를 나타낸다.

각 슈퍼프레임의 활동구간은  $2^{SO} * aBaseSlotDuration$  기간을 같은 간격으로 슬롯화된 *aNumSuperframeSlots*으로 나누어지며, 비컨, CAP(Contention Access Period)와 CFP(Contention Free Period) 세 부분으로 구성된다. 비컨은

CSMA(Carrier Sense Multiple Access)를 사용하지 않고, 슬롯 0의 시작에 전송될 것이며, CAP는 비컨 다음에 곧 바로 시작된다. 슬롯 0의 시작은 비컨 PPDU(Physical Protocol Data Unit)가 전송될 때 최초 심볼 지점으로 정의된다. CFP가 만약 존재한다면, CAP 다음을 따르며, 슈퍼프레임의 활동구간의 마지막까지 확장된다. 어떠한 할당된 GTS(Guaranteed Time slot)도 CFP 내에 위치하게 된다.

슈퍼프레임 구조를 사용하기 원하는 PAN들은(이하 비컨사용 PAN으로 표기됨) *macBeaconOrder*를 0과 14가 포함된 사이의 값으로, *macSuperframeOrder*를 0과 *macBeaconOrder*가 포함된 사이의 값으로 설정한다.

슈퍼프레임 구조를 사용하기를 원하지 않는 PAN들은(비컨비사용 PAN으로 표기됨) *macBeaconOrder*와 *macSuperframeOrder*를 15로 설정한다. 이 경우 코디네이터는 비컨요청 명령어 수신을 제외하고는 비컨을 전송하지 않을 것이며, 데이터요청 명령어의 확인 응답으로 바로 뒤에 따라오는 ACK 프레임과 어떤 데이터 프레임을 제외한 모든 전송들은 채널 액세스를 위해 비슬롯화(unslotted) CSMA-CA(collision Avoidance) 방법을 사용한다. 부가적으로 GTS들은 허용되지 않는다.

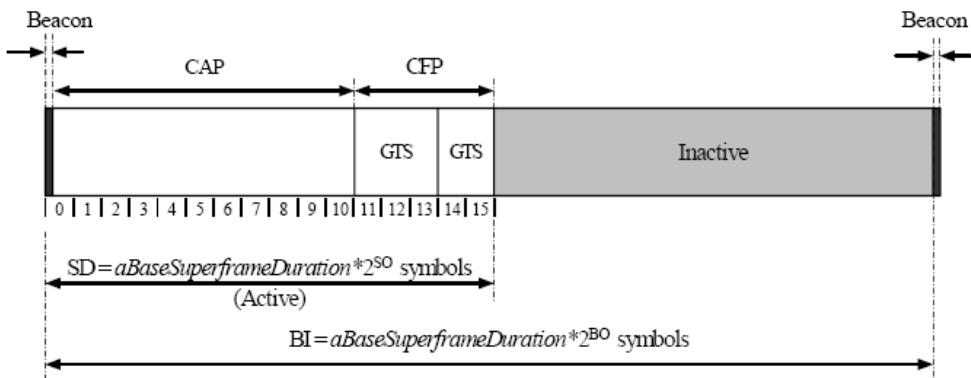


그림 1. 슈퍼프레임 구조의 한 예

슈퍼프레임 구조의 한 예가 그림 1에 나타나 있다. 이 경우 비컨구간 *BI*는 활동 슈퍼프레임지속 *SD*의 2배이며, CFP는 2개의 GTS를 가지고 있다.

## 2) 음성 전송을 위한 구간

만약 음성 전송을 위해 가장 짧게 반복 되는 비컨 주기를 얻기 위해 *SO*와 *BO*를 0으로 설정하면,

$$BI = SD = aBaseSuperframeDuration$$

이 된다. 여기서

$$aBaseSuperframeDuration = aBaseSlotDuration * aNumSuperframeSlots$$

이다. MAC 상수에서 *aNumSuperframeSlots*은 16으로 설정되어 있고, *SO*가 0 일 때, 슈퍼프레임 슬롯을 형성하는 심볼의 수 *aBaseSlotDuration*은 60 symbol로 되어 있다. 이 경우

$$aBaseSuperframeDuration = 60 \text{ symbol} * 16 \text{ slot} = 960 \text{ symbol}$$

1 심볼은 4 bit로 구성되므로

*aBaseSuperframeDuration* = 960 symbol \* 4 bit = 3840 bit = 480 byte 가 된다. 데이터 전송률이 250 Kbps 일 때 한 비컨 구간 시간은

$$3.84 \text{ Kbit} / 250 \text{ Kbps} = 0.01536 \text{ sec} = 15.36 \text{ ms}$$

규격에서 각 비컨 주기에서 CAP를 최소한 440 symbol을 보장해야 하므로 전체 16개 슬롯 중에 8개를 CAP로 사용해야 한다.

$$(440 \text{ symbol} = 220 \text{ byte}) < (240 \text{ byte} = 3 * 8 \text{ slot})$$

비컨 1슬롯을 고려하면 데이터 전송용으로 7개의 슬롯이 남는다.

GTS에서 하나의 패킷을 전송하려면, PHY 오버헤더(overhead)가 6 byte이고, MAC 오버헤더는 13 byte가 된다. 즉, 오버헤더가 19 byte이다.

Octets : 4	1	1	2	1	4	4	variable	2
Pre-amble	SFD	Frame length	FC	SN	DA	SA	Frame Payload	FCS
PHR			MHR			MAC Payload		MFR

그림 2. 데이터 패킷 오버헤더

만약, 64 Kbps 음성을 전송하려면,  $64 \text{ Kbps} * 15.36 \text{ ms} = 983.04 \text{ bps} = 122.88 \text{ byte}$ 로 123 byte를 전송해야 한다. 오버헤더를 더하면 142 byte가 되고, 이는

aMaxPHYPacketSize = 127 byte를 초과하게 되어 두 패킷으로 나누어야 한다. 123 byte를 62 byte로 반으로 나누고, 오버헤더 19 byte를 추가하면 81 byte가 되어 3 slot (30 byte \* 3 slot = 90 byte)으로 하나의 패킷 전송 가능하므로 두 번 보내면 가능하다. 단, 이 경우에 ACK는 받을 수 없고 단 방향만 가능하다. 만약, 32 Kbps 음성을 전송하려면,  $32 \text{ Kbps} * 15.36 \text{ ms} = 491.52 \text{ bps} = 61.44 \text{ byte}$ 로 62 byte를 전송해야 한다. 오버헤더를 더하면 81 byte가 되고, 이는 aMaxPHYPacketSize = 127 byte 이하로 하나의 패킷으로 보낼 수 있다. 이는 3 slot (30 byte \* 3 slot = 90 byte)으로 하나의 패킷 전송 하다. 단, 이 경우에는 ACK를 받지 않으면 양 방향으로 전송 가능하다.

만약, 32 Kbps 음성을 전송하면서 ACK를 수신하려면 하려면, 최소한 17 byte 가 추가로 요구된다. 이는  $t_{\text{ack}}$ 와 ACK가 필요하기 때문이다. 즉,

$$t_{\text{ack}}(12 \text{ symbol} = 6 \text{ byte}) + \text{ACK}(11 \text{ byte}) = 17 \text{ byte}$$

$$\text{Total } 98 \text{ byte} < 4 \text{ slot (120 byte)}$$

Octets: 4	1	1	2	1	2
Pre-amble	SFD	Frame length	FC	SN	FCS
PHR			MHR		MFR

그림 3. ACK 패킷 오버헤더

GTS로 사용할 수 있는 7개 슬롯 중에서 4개를 사용하게 되어 양방향 전송을 불가능하다. 따라서 ACK를 받는 경우에는 단방향 전송만 가능해진다.

## 2. GTS 관리

### 1) GTS 개요

GTS(Guaranteed Time slot)는 PAN상에 있는 채널에서 디바이스에게 전적으로 전용되는 슈퍼프레임의 어느 한 구간에서 그 디바이스가 동작하도록 허용한다. GTS는 PAN 코디네이터에 의해서만 할당되어 지며, PAN 코디네이터에 의해 PAN에 가입된 디바이스와 PAN 코디네이터 간의 통신에만 사용되어야 한다. 하나의 GTS는 하나 또는 그 이상의 슈퍼프레임 슬롯들까지 확장될 수 있다. 슈퍼프레임에서 충분한 용량이 있다면 PAN 코디네이터는 동시에 7개까지 GTS를 할당할 수 있다.

GTS는 사용되기 전에 할당되어야 하며, GTS 요청의 요구사항과 슈퍼프레임에서 현재 가용한 용량에 기초하여 GTS를 할당 할 것인가를 PAN 코디네이터가 결정 한다. GTS는 선입선처리(first-come-first-served) 근거로 할당되어야 하며, 모든 GTS는 슈퍼프레임의 마지막에, 그리고 CAP 후에 연결해서 위치해야 한다. 각 GTS는 더 이상 필요하지 않을 때에는 할당을 해제해야 한다. GTS는 PAN 코디네이터의 재량에 의해서 언제든지 할당이 해제될 수 있으며, 또는 GTS를 처음 요구했던 디바이스에 의해서 할당이 해제될 수 있다. GTS를 할당 받은 디바이스는 CAP에서도 동작할 수 있다. 할당된 GTS에서 전송되는 데이터 프레임은 오직 단축주소만을 사용해야 한다.

GTS의 관리는 PAN 코디네이터에 의해서만 이루어져야 한다. GTS를 관리하기 위해서 PAN 코디네이터는 7개 GTS를 관리하는데 필요한 모든 정보를 저장할 수 있어야 한다. 각 GTS를 위해서 PAN 코디네이터는 자신의 시작 슬롯, 길이, 방향 및 가입된 디바이스 주소를 저장할 수 있어야 한다.

GTS 방향은 GTS를 소유하는 디바이스로부터 데이터 흐름에 관계되는 것으로서 송신 또는 수신으로 규정된다. 그래서 디바이스 주소 및 방향은 각 GTS를 구분해서 식별해야 한다.

각 디바이스는 하나의 송신 GTS 및/또는 하나의 수신 GTS를 요구할 수 있다. 각 할당된 GTS를 위해 디바이스는 자신의 시작 슬롯, 길이 및 방향을 저장할 수 있어야 한다. 만일 디바이스가 수신 GTS를 할당 받게 되면 디바이스는

GTS의 전체를 위해 자신의 수신기를 활성화해야 한다. 동일한 방법으로 디바이스가 송신 GTS를 할당 받게 되면 GTS의 전체를 위해 PAN 코디네이터는 자신의 수신기를 활성화해야 한다. 만일 데이터 프레임이 수신 GTS 동안 수신되고 ACK가 요구된다면 디바이스는 보통 ACK 프레임을 송신해야 한다. 유사하게, 디바이스는 송신 GTS 동안 ACK 프레임을 수신할 수 있어야 한다.

디바이스는 현재 비컨을 추적하고 있는 경우에만 GTS를 할당하고 사용하도록 시도해야 한다. MLME(MAC sublayer Management Entity)는 TrackBeacon 파라미터를 TRUE로 설정한 MLME-SYNC.request 프리미티브를 보냄으로써 비컨들을 추적하도록 지시 받는다. 만일 디바이스가 PAN 코디네이터와의 동기를 잃는다면 모든 자신의 GTS 할당은 손실되어야 한다. GTS의 사용은 옵션이다.

## 2) GTS 할당

디바이스는 GTS 특성이 의도된 응용의 요구사항에 따라 설정된 MLME-GTS.request 프리미티브를 통하여 새로운 GTS의 할당을 요구하도록 지시 받는다.

새로운 GTS의 할당을 요구하기 위하여 MLME는 PAN 코디네이터에게 GTS 요청 명령어를 보내야 한다. 그 요구의 GTS 특성 필드의 특성형태 서브필드는 1 (GTS 할당)로 설정되어야 하고, 길이와 방향 서브필드들은 요구되는 GTS의 원하는 특성에 따라서 설정되어야 한다. GTS 요청 명령어는 ACK가 요구되기 때문에 PAN 코디네이터는 ACK 프레임을 송신함으로써 수신을 확인 한다.

GTS 할당 요청을 지시하는 GTS 요청 명령어를 수신 하자마자, PAN 코디네이터는 먼저 CAP의 잔여 길이 및 요구되는 GTS의 원하는 길이에 기초하여 현 슈퍼프레임에 가용한 용량이 얼마인지 체크해야 한다. 슈퍼프레임은 GTS의 최대 수가 도달되지 않고 원하는 길이의 GTS의 할당이 CAP의 길이를  $aMinCAPLength$ 이하로 감소시키지 않도록 가용한 용량을 가져야 한다. GTS는 충분한 가용 대역폭을 가진다면 PAN 코디네이터에 의해 선입선처리 근거로 할당되어야 한다. PAN 코디네이터는  $aGTSDescPersistenceTime$  슈퍼프레임 이내에서 이 결정을 하여야 한다.

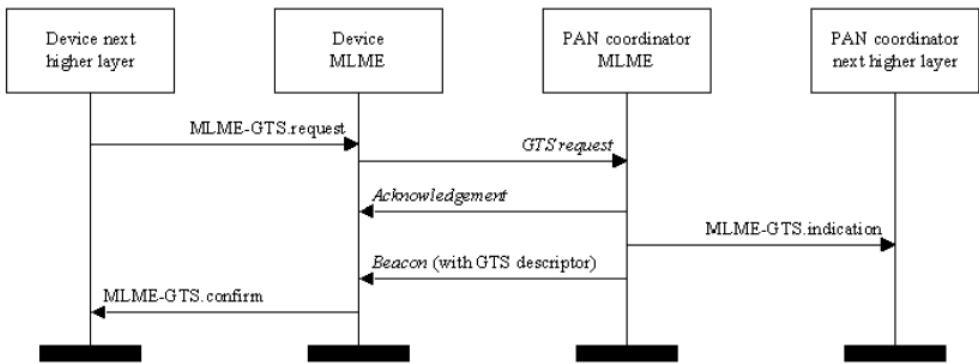


그림 4. 디바이스에서의 GTS 할당 요청

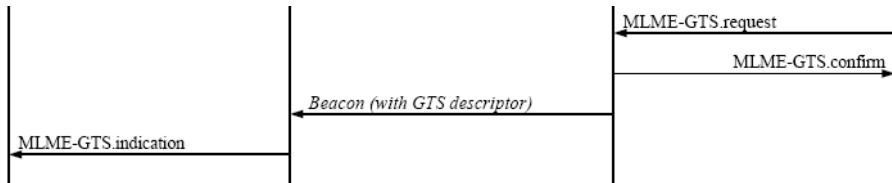


그림 5. 코디네이터에서의 GTS 할당 요청

GTS 요청 명령어에 대한 ACK를 수신 하자마자 디바이스는 비컨들을 계속해서 추적해야 하고 최대한  $aGTSDescPersistenceTime$  슈퍼프레임 동안 대기하여야 한다. 만일 디바이스를 위한 GTS 디스크립트가 이 시간 이내에 비컨에서 보이지 않으면 디바이스의 MLME는 상위 계층에 실패를 통보해야 한다. 이 통보는 MLME가 NO\_DATA 상태를 가진 MLME-GTS.confirm 프리미티브를 보낼 때 이루어진다.

PAN 코디네이터가 요구된 GTS를 위해 용량이 가용한지를 결정할 때, PAN 코디네이터는 요구 규격과 함께 GTS 디스크립트 및 요구하는 디바이스의 16-비트 단축주소를 생성해야 한다. 만일 GTS가 성공적으로 할당되었다면, PAN 코디네이터는 GTS 디스크립트에서의 시작 슬롯을 GTS가 시작하는 슈퍼프레임 슬롯으로 그리고 GTS 디스크립트에서의 길이를 GTS의 길이로 설정해야 한다.

게다가, PAN 코디네이터는 새로운 GTS에 대해 상위 계층에게 통보해야 한다. 이 통보는 PAN 코디네이터의 MLME가 할당된 GTS의 특성과 함께 MLME-GTS.indication 프리미티브를 보낼 때 성취된다. 만일 요구되는 GTS를 할당하는데 충분한 용량이 없다면 시작 슬롯은 0으로 설정되어야 하고, 길이는 현재 지원될 수 있는 가장 큰 GTS 길이로 설정되어야 한다. 그리고 나서 PAN 코디네이터는 자신의 비컨에 이 GTS 디스크립트를 포함해야 하고 따라서 비컨 프레임의 GTS 규격 필드를 개선해야 한다. 또한 PAN 코디네이터는 비컨프레임의 슈퍼프레임규격 필드의 최종 CAP 슬롯 서브필드를 업데이트하여 최종 슈퍼프레임 슬롯이 감소된 CAP에 의해 이용됨을 지시할 것이다. GTS 디스크립트는 *aGTSDescPersistenceTime* 슈퍼프레임 동안 비컨프레임에 남아있어야 하며 그 후에 이것은 자동으로 제거되어야 한다. PAN 코디네이터는 GTS 디스크립트의 포함에 기인하여 비컨프레임 길이에서 임시적인 증가를 수용하기 위해서 *aMinCAPLength* 아래로 자신의 CAP를 줄이도록 허용되어야 한다.

*macShortAddress*에 상응하는 GTS 디스크립트를 포함하는 비컨프레임을 수신하자마자 디바이스는 그 디스크립트를 처리해야 한다. 그리고 나서 디바이스의 MLME는 GTS 할당요청이 성공적이었는지 여부를 상위 계층에 통보해야 한다. 이 통보는 MLME가 SUCCESS (만일 GTS 디스크립트에서의 시작 슬롯이 0보다 컸다면) 또는 DENIED (만일 시작 슬롯이 0과 동일하였거나 길이가 요구되는 길이와 일치 되지 않았다면)의 상태를 가진 MLMEGTS.confirm 프리미티브를 보낼 때 성취된다.

### 3) GTS 사용법

PAN 코디네이터가 아닌 디바이스의 MAC 부계층이 GTS 전송을 나타내는 TxOptions 파라미터를 가진 MCPS-DATA.request 프리미티브를 수신할 때 디바이스의 MAC 부계층은 자신이 유효한 송신 GTS를 가지고 있는지를 결정해야 한다. 만일 유효한 GTS가 발견되면, MAC 부계층은 GTS 동안 즉, 그의 시작슬롯과 시작슬롯에서 자신의 길이를 더한 사이에서 데이터를 송신해야 한다. 이때, 요구되는 트랜잭션이 GTS의 끝전에 완료될 수 있다면 MAC 부계층은

CSMA-CA 사용 없이 즉시 MPDU(MAC Protocol Data Unit)를 송신해야 한다. 만일 요구되는 트랜잭션이 현 GTS의 끝전에 완료될 수 없다면 MAC 부계층은 다음 슈퍼프레임에 규정된 GTS까지 전송을 지연시켜야 한다. MAC은 이 결정을 함에 있어서 PHY 오버헤드를 허용해야 함에 주목해야 한다.

만일 디바이스가 어떠한 수신 GTS를 가지고 있다면 디바이스의 MAC 부계층은 자신의 시작슬롯과 자신의 길이에 의해 지시된 대로, 수신기가 GTS의 시작 전 어느 시점 및 GTS의 기간 동안 활성화 되는지 보장해야 한다.

PAN 코디네이터의 MAC 부계층은 GTS 전송을 지시하는 TxOptions 파라미터를 가진 MCPS-DATA.request 프리미티브를 수신할 때, PAN 코디네이터의 MAC 부계층은 요구되는 목적지주소를 가지는 디바이스에게 해당하는 유효한 수신 GTS를 가지고 있는지 여부를 결정해야 한다. 만일 유효한 GTS가 발견되면, PAN 코디네이터는 수신 GTS의 시작 때까지 전송을 연기해야 한다. 이 경우에, GTS 전송을 요구하는 메시지를 가진 디바이스의 주소는 비컨프레임에서의 펜딩 주소들의 목록에 포함되지 않아야 한다. 수신 GTS의 시작에서, 요구되는 트랜잭션이 GTS의 끝전에 완료될 수 있다면, MAC 부계층은 CSMA-CA를 사용하지 않고 데이터를 송신해야 한다. 만일 요구되는 트랜잭션이 현 GTS의 끝전에 완료될 수 있다면, MAC 부계층은 다음 슈퍼프레임에 규정된 GTS까지 전송을 지연시켜야 한다

모든 할당된 송신 GTS (디바이스에 관련된)를 위해서 PAN 코디네이터의 MAC 부계층은 자신의 수신기가 시작 전 어느 시점 및 각 GTS의 기간 동안 활성화되는 것을 보장해야 한다.

GTS에서 전송을 시작하기 전에 각 디바이스는 데이터 전송, 요구된다면 ACK 그리고 데이터 프레임의 크기에 적합한 IFS(Interframe Space)가 GTS의 끝전에 완료될 수 있음을 보장해야 한다.

만일 디바이스가 슈퍼프레임의 시작 시점에서 비컨을 놓치게 되면 디바이스는 후속하는 비컨을 정확히 수신할 때까지 자신의 GTS를 이용하지 않아야 한다. 만일 동기 손실이 비컨의 손실에 기인하여 발생하면 디바이스는 자신의 GTS 모두가 할당해제 되었다고 간주해야 한다.

#### 4) GTS 할당해제

디바이스는 할당해제를 원하는 GTS의 특성을 이용하여 MLME-GTS.request 프리미티브를 통하여 기존 GTS의 할당해제를 요구하도록 지시 받게 된다. 이 관점에서 할당해제 되는 GTS는 디바이스에 의해 사용되지 않아야 하고 디바이스의 저장된 특성은 리셋 되어야 한다.

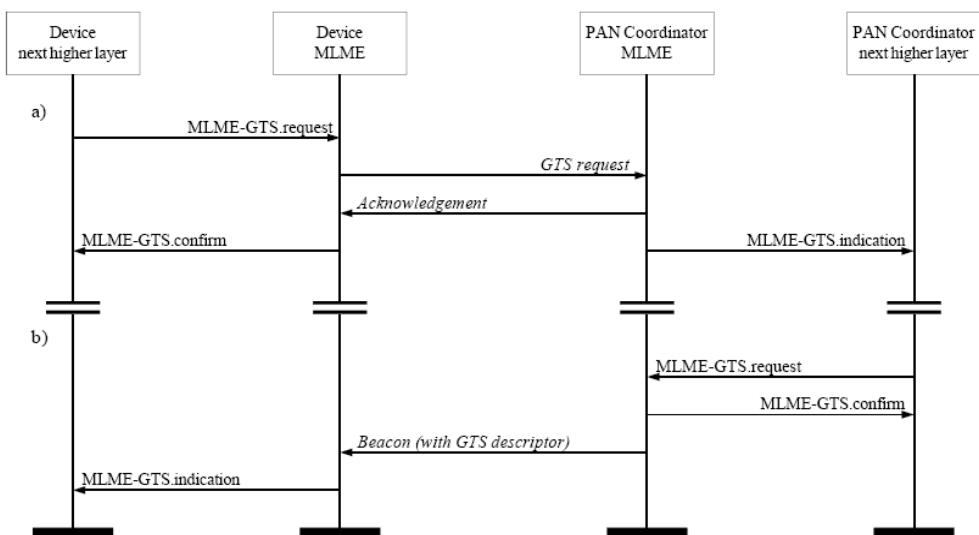


그림 6. GTS 할당 해제(a는 디바이스에서, b는 코디네이터에서)

기존 GTS의 할당해제를 요구하기 위하여 MLME는 PAN 코디네이터에게 GTS 요청 명령어를 보내야 한다. 요청의 GTS 특성 필드의 특성형태 서브필드는 0 (즉, GTS 할당해제)으로 설정되어야 하고 길이와 방향 서브필드들은 할당해제하기 위한 GTS의 특성에 따라서 설정되어야 한다. GTS 요청 명령어가 ACK 요청을 포함하기 때문에, PAN 코디네이터는 ACK 프레임을 송신함으로써 자신의 수신을 확인시킨다. GTS 요청 명령어에 대한 ACK의 수신을 하자마자 MLME는 할당해제에 대해 상위 계층에게 통보해야 한다. 이 통보는 MLME가 SUCCESS 상태 및 0으로 설정된 특성형태 서브필드를 가지는 GTSCharacteristics 파라미터를 포함하는 MLME-GTS.confirm 프리미티브를

보낼 때 성취된다. 만일 GTS 요청 명령어가 정확히 PAN 코디네이터에 의해 수신되지 않으면, 디바이스가 자신의 GTS를 사용하여 면추었는지를 PAN 코디네이터가 결정해야 한다.

GTS 특성 필드의 특성형태 서브필드가 0(GTS 할당해제)으로 설정된 GTS 요청 명령어의 수신시에 PAN 코디네이터는 GTS 할당해제를 시도해야 한다. 만일 GTS 요청 명령어에 포함된 GTS 특성이 알려진 GTS의 특성과 일치하지 않으면 PAN 코디네이터는 요청을 무시해야 한다. 만일 GTS 요청 명령어에 포함된 GTS 특성이 알려진 GTS의 특성에 일치 하면 PAN 코디네이터의 MLME는 규정된 GTS를 할당해제 해야 하고 변경에 대해 상위 계층에게 통보해야 한다. 이 통보는 MLME가 할당해제 된 GTS의 특성을 포함하는 GTSCharacteristics 파라미터 및 0으로 설정된 특성형태 서브필드를 가진 MLME-GTS.indication 프리미티브를 보낼 때 성취된다. 또한 PAN 코디네이터는 최종 슈퍼프레임 슬롯이 증가된 CAP에 의해 사용됨을 지시하면서 비컨프레임의 슈퍼프레임규격 필드의 최종 CAP 슬롯 서브필드를 갱신하여야 한다. PAN 코디네이터는 할당해제를 기술하기 위하여 디스크립트를 비컨프레임에 추가하지 않아야 한다.

GTS 할당해제는 상위 계층으로부터의 할당해제요구, GTS의 유효기간종료, 최소 CAP 길이, *aMinCAPLength*를 유지하기 위해 요구되는 유지관리에 기인하여 PAN 코디네이터에 의해 시작될 수 있다.

GTS 할당해제가 PAN 코디네이터의 상위 계층에 의해 시작될 때에는, MLME는 0으로 설정된 GTS 특성 필드(즉, GTS 할당해제) 및 할당해제를 위해 GTS의 특성에 따라서 설정된 길이와 방향 서브필드들을 포함하는 MLME-GTS.request 프리미티브를 수신해야 한다.

GTS 할당해제가 GTS 유효기간 종료 또는 CAP 유지관리에 기인하여 PAN 코디네이터에 의해 시작될 때, MLME는 그 변경에 대해 상위계층에게 통보해야 한다. 이 통보는 할당해제 된 GTS의 특성을 포함하는 GTSCharacteristics 파라미터 및 0으로 설정된 특성형태 서브필드를 포함하는 MLME-GTS.indication 프리미티브를 보낼 때 성취된다.

PAN 코디네이터에 의해 시작되는 어떠한 할당해제의 경우에 있어서, PAN 코디네이터는 GTS를 할당해제 해야 하고 할당해제 된 GTS에 상응하는 자신의 비컨프레임에 GTS 디스크립트를 추가해야 하지만, 자신의 시작 슬롯은 0으로 설정해야 한다. 디스크립트는 *aGTSDescPersistenceTime* 슈퍼프레임 동안 비컨프레임에 남아 있어야 한다. PAN 코디네이터는 GTS 디스크립트의 포함에 기인하여 비컨프레임 길이의 임시 증가를 수용하기 위하여 *aMinCAPLength* 이하로 자신의 CAP을 감소시키도록 허용되어야 한다.

*macShortAddress*에 상응하는 GTS 디스크립트 및 0에 동등한 시작슬롯을 포함하는 비컨프레임을 수신 하자마자 디바이스는 GTS 사용을 즉시 멈추어야 한다. 그 후에 디바이스의 MLME는 할당해제에 대해 상위계층에게 통보해야 한다. 이 통보는 MLME가 할당해제 된 GTS의 특성을 포함하는 GTSCharacteristics 파라미터 및 0으로 설정된 특성형태 서브필드를 포함하는 MLMEGTS.indication 프리미티브를 보낼 때 성취된다.

## 5) GTS 재할당

GTS의 할당해제는 결국 슈퍼프레임이 단편화(fragmented)되는 것이다. 예를 들어, 그림 7은 할당된 GTS들로 구성된 3단계 슈퍼프레임을 보여준다. 1단계에서, 3개 GTS가 할당되며 14, 10, 8 슬롯에서 각각 시작한다. 만일 GTS 2가 지금 할당해제가 되고 (2단계), 어떤 조치가 일어나지 않으면 슈퍼프레임에 캡이 생길 것이다. 이것을 해결하기 위해 GTS 3은 그 캡을 채우기 위해 이동되어서 CAP의 크기를 증가시키도록 해야 할 것이다 (3단계)

PAN 코디네이터는 GTS의 할당해제에 기인하여 나타나게 되는 CFP에서 발생하는 어떠한 캡(gap)도 CAP의 길이를 최대화하기 위해 제거되도록 보장해야 한다.

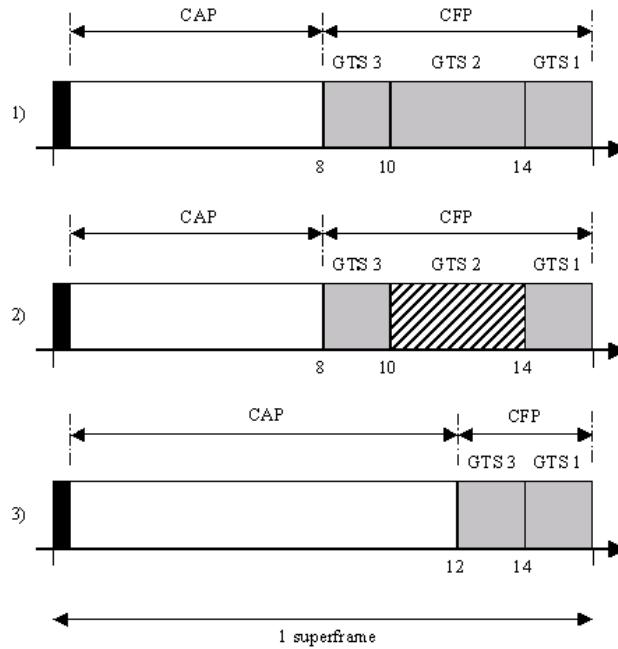


그림 7. GTS 할당 해제에서 CFP 조각화 방지

GTS가 PAN 코디네이터에 의해 할당해제 될 때, PAN 코디네이터는 GTS가 할당해제 되었음을 나타내기 위해 GTS 디스크립트를 자신의 비컨프레임에 추가해야 한다. 만일 할당해제가 디바이스에 의해 시작되면, PAN 코디네이터는 할당해제를 나타내기 위해 자신의 비컨프레임에 GTS 디스크립트를 추가하지 않아야 한다. 할당해제 되는 GTS 보다 낮은 시작슬롯을 가지는 할당된 GTS를 가지는 각 디바이스를 위해, PAN 코디네이터는 새로운 시작슬롯을 가지는 GTS로 생성하고 이 조정된 GTS에 상응하는 자신의 비컨에 GTS 디스크립트를 추가해야 한다. 이 GTS와 CFP의 끝에 GTS가 나타난다면 CFP의 끝 또는 CFP에서 다음 GTS의 시작 중 하나 사이에서 공간이 남겨지지 않도록 새로운 시작슬롯이 계산된다.

다중 재할당이 동시에 일어나는 상황에서, PAN 코디네이터는 단계별로 재할당을 수행하도록 선택된다. PAN 코디네이터는 각 GTS 디스크립트를 *aGTSDescPersistenceTime* 슈퍼프레임 동안 자신의 비컨에 유지해야 한다.

*macShortAddress*에 상응하는 GTS 디스크립트 및 비컨프레임의 GTS 중 하나에 상응하는 길이와 방향을 포함하는 비컨프레임의 수신시에 디바이스는 GTS 디스크립트에 상응하는 GTS의 시작슬롯을 조절하고 그것의 사용을 즉시 시작해야 한다.

PAN 코디네이터가 자신의 비컨에 GTS 디스크립트를 포함하는 것이 필요한 경우에, 비컨프레임길이에서 임시 증가를 수용하기 위해 PAN 코디네이터는 자신의 CAP을 *aMinCAPLength* 이하로 감소시키는 것이 허용되어야 한다. *aGTSDescPersistenceTime* 슈퍼프레임 이후에 PAN 코디네이터는 그 비컨으로부터의 GTS 디스크립트를 제거해야 한다.

## 6) GTS 종료

PAN 코디네이터의 MLME는 디바이스가 아래의 규칙을 사용하여 GTS 사용을 중단할 때를 감지하는 시도를 해야 한다:

- 송신 GTS를 위해, PAN 코디네이터의 MLME는 데이터 프레임이 적어도 매  $2*n$  슈퍼프레임에서 GTS에서 디바이스로부터 수신되지 않으면 디바이스는 자신의 GTS를 더 이상 사용하지 않는다는 것을 가정해야 한다. 여기서  $n$ 은 아래에서 정의된다.
- 수신 GTS를 위해, PAN 코디네이터의 MLME는 ACK 프레임이 적어도 매  $2*n$  슈퍼프레임에서 GTS에서 디바이스로부터 수신되지 않으면 디바이스는 자신의 GTS를 더 이상 사용하지 않는다는 것을 가정해야 한다. 여기서  $n$ 은 아래에서 정의된다. GTS에서 보내진 데이터 프레임들이 ACK 프레임들을 요구하지 않으면, PAN 코디네이터의 MLME는 디바이스가 자신의 수신 GTS를 사용하는지 여부를 감지할 수 없을 것이다. 그러나 PAN 코디네이터는 어떤 시점에서도 GTS 할당해제를 할 수 있다.  $n$ 의 값은 아래와 같이 정의 된다:

$$n = 2^{(8 - macBeaconOrder)} \quad 0 \leq macBeaconOrder \leq 8$$

$$n = 1 \quad 9 \leq macBeaconOrder \leq 14$$

### 3. 비컨 프레임에서의 GTS 정보

비컨 프레임은 다음 그림에 설명되어 있다.

Octets : 2	1	4/10	0/5/6/10/ 14	2	variable	variable	variable	2
Frame Control	Sequence Number	Addressing fields	Auxiliary Security Header	Superframe Specification	GTS fields	Pending address fields	Beacon Payload	FCS
MHR			MAC Payload					

그림 8. 비컨 프레임 포맷

Octets: 1	0/1	variable
GTS Specification	GTS Directions	GTS List

그림 9. GTS field 포맷

Bits:0-2	3-6	7
GTS Descriptor Count	Reserved	GTS Permit

그림 10. GTS Specification 포맷

GTS Descriptor Counter 서브필드는 3비트의 길이이고, 비컨 프레임의 GTS List 필드에 포함된 3-옥텟의 GTS Descriptor의 수를 명세한다. 만약 이 서브필드의 값이 0보다 크다면, CAP의 크기는 서브필드의 포함으로 인한 비컨 프레임 길이의 일시적인 증가를 수용하기 위해 *aMinCAPLength* 보다 작아지는 것을 허용한다. 만약 이 서브필드의 값이 0이면, GTS 방향 필드와 비컨 프레임의 GTS 목록 필드는 존재하지 않는다.

GTS Permit 서브필드는 1비트의 길이이고, 만약 *macGTSPermit*이 TRUE와 같다면 1로 설정된다(즉, PAN 코디네이터는 GTS 요청을 수락한다.). 그렇지

않으면, GTS Permit 필드는 0으로 설정된다.

GTS Directions field는 8비트의 길이이고, 그림 11에 설명되어 있다.

Bits:0-6	7
GTS Directions Mask	Reserved

그림 11. GTS Directions field 포맷

GTS Directions Mask 서브필드는 7비트의 길이이고, 슈퍼프레임에 있는 GTS의 방향을 식별하는 마스크를 포함하고 있다. 마스크 내의 최하위 비트는 비컨 프레임의 GTS 목록 필드에 포함된 첫 번째 GTS의 방향에 해당하며, 나머지는 목록에 나타나는 순서대로 보인다. 각 비트는 만약 GTS가 수신 전용 GTS이면 1로, 송신 전용 GTS이면 0으로 설정된다. GTS 방향은 디바이스의 데이터 프레임 전송 방향에 따라 정의된다.

GTS List field의 크기는 비컨 프레임의 GTS Specification 필드에 명세된 값으로 정의되고, 유지되고 있는 GTS를 나타내는 GTS Descriptor의 목록을 포함한다. GTS 기술자의 최대값은 7로 제한된다. 각각의 GTS Descriptor는 24 bit의 길이이고, 그 구조는 그림과 같다.

Bits:0-15	16-19	20-23
Device Short Address	GTS Starting Slot	GTS Length

그림 12. GTS List field 포맷

디바이스 단축주소 서브필드는 16 bit의 길이이고, GTS Descriptor가 사용될 디바이스의 단축주소를 포함한다. GTS Starting Slot 서브필드는 4 비트의 길이이고, GTS가 시작될 슈퍼프레임 슬롯을 포함한다. GTS Length 서브필드는 4 비트의 길이이고, GTS를 사용중인 연속적인 슈퍼프레임 슬롯의 수를 포함한다.

### III. 동기 모드 전송 성능 분석

#### 1. 시스템 모델

본 제안방식은 IEEE 802.15.4 표준에 따른 무선 개인영역 네트워크 환경에서 종래의 문제점을 해결하여 무선 개인영역 네트워크 환경에서 채널 에러 등의 발생 시에도 QoS(Quality of Service)를 제공할 수 있는 재전송 슬롯 기반 실시간 서비스 방식을 제공한다.

본 제안 방식에서는 복수의 디바이스가 접속되며, 상기 복수의 디바이스 중에서 중재자로 선정된 디바이스로부터 브로드캐스트 되는 동기신호에 의해 동기화되는 무선 개인영역 네트워크 환경에서의 재전송용 GTS를 별도로 할당하여, 음성 서비스 중에 데이터 패킷 전송 실패 시 이용할 수 있도록 하는 방식에 관한 것이다.

본 제안 방식을 사용하게 되면 QoS를 보장해 줄 수 있는 디바이스의 서비스 영역이 확대되는 효과가 있다.

##### 1) 개요

그림 13은 일반적인 무선 개인영역 네트워크의 구성을 나타낸 그림이다.

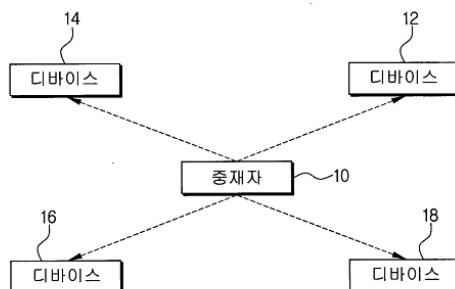


그림 13. 무선 개인영역 네트워크의 구성

그림 13을 참조하면, 복수의 디바이스(10~18)가 하나의 네트워크를 구성하며,

복수의 디바이스(10~18) 중 어느 하나가 중재자(10)로 선정된다. 중재자(10)는 나머지 디바이스(12,14,16,18)에 동기신호인 비컨을 브로드캐스트하여, 무선 개인 영역 네트워크에 접속된 디바이스(12,14,16,18)를 동기화시킨다.

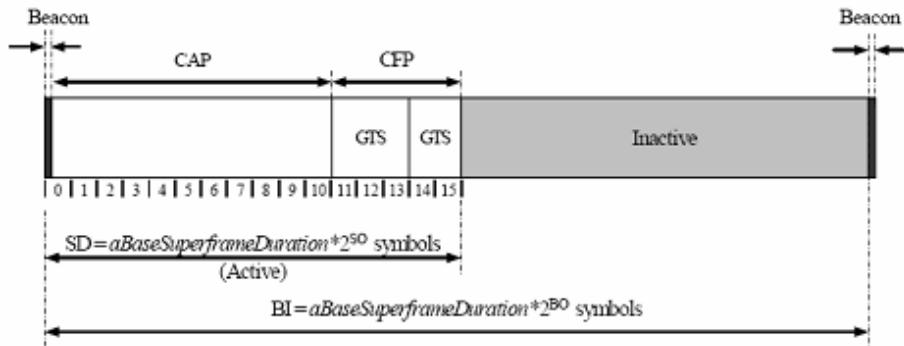


그림 14. IEEE 802.15.4 표준 슈퍼프레임(Superframe) 구조

그림 14는 IEEE 802.15.4 표준에 따른 무선 개인영역 네트워크 환경에서 무선 통신에 사용되는 슈퍼프레임 구성을 도시한 것이다. IEEE 802.15.4 표준에 따른 무선 개인영역 네트워크에서는 선택적으로 슈퍼프레임 모드를 운용할 수 있으며, 슈퍼프레임에서는 중재자가 사전에 예정된 간격으로 비컨을 브로드캐스트한다. 중재자와 주변 디바이스 간에 상호 전달되는 데이터는 지그비 표준이 정의하는 슈퍼프레임 구조를 적용하게 된다. 이러한 데이터는 대기시간을 최소화하여 소모 전력을 낮추기 위하여 시간슬롯을 사용하는 GTS형의 슈퍼프레임을 적용하게 된다. 슈퍼프레임은 중재자(10)에서 주변의 디바이스들(12, 14, 16, 18)로 전송되고, Beacon 프레임을 포함하여 16개의 시간슬롯으로 구성된다. 슈퍼프레임 중에 지정된 시간슬롯에서 교환되는 프레임들을 정보 프레임이라 하며, 중재 장치(10)와 제어 대상 디바이스(12, 14, 16, 18)들 간에 교환하는 정보 프레임의 종류에는 Beacon frame, Data frame, Acknowledge frame, Command frame이 있다. 그림 14에서 슈퍼프레임의 최소 주기는 15.36 ms이며, 경쟁구간이라고 불리는 CAP(Contention Access Period)에 대하여 규격에서는 최소 220 byte 이상의 기간을 유지해 주어야 하기 때문에 하나의 시간슬롯을 30 byte의 길이로

하면 8개 슬롯을 할당해야 한다.

이에 따라 경쟁 없이 할당되는 전용 전송구간이라고 불리는 CFP(Contention Free Period)에 최대 7개의 GTS를 할당할 수 있다. GTS는 한 개 이상의 시간 슬롯으로 구성된다. 지그비 표준에서 슈퍼프레임의 주기는 15.36 ms \* 2n ( $n=0,1,2,\dots$ )으로 변경할 수 있지만, 슈퍼프레임의 주기를 길게 할 경우 음성 통화 시 지연(Delay) 현상이 발생함을 고려하여  $n=0$ 인 15.36 ms로 하였다[14]. 음성신호는 CFP 구간을 2개의 GTS로 하며, 하나의 GTS는 3개의 시간슬롯으로 한다. 하나의 시간슬롯을 30 byte의 길이로 하면 하나의 GTS는 90 byte의 정보를 전송할 수 있다. 32 Kbps로 코딩 되는 음성신호는 15.36 ms 기간 동안에 약 62 byte의 데이터가 발생하게 된다. PHY와 MAC의 오버헤더 19 byte를 추가하면 81 byte가 되어, 하나의 90 byte인 하나의 GTS 기간 동안에 32 Kbps의 음성 데이터를 각각 송수신할 수 있다.

## 2) 제안 슈퍼프레임 시간 슬롯 구조

그림 15는 본 제안방식에 따른 실시간 통화를 위한 지그비 슈퍼프레임의 시간 슬롯 구조의 일 예이다.

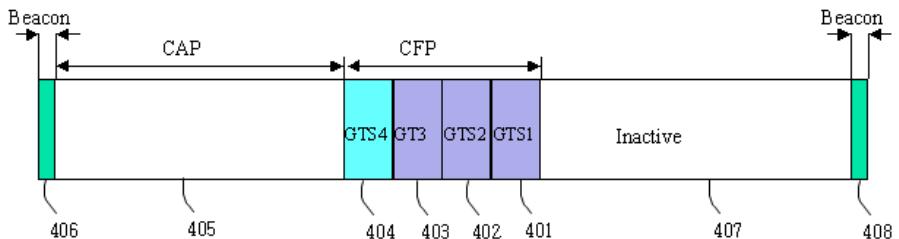


그림 15. 제안방식에 따른 슈퍼프레임의 시간슬롯 구조

그림 15에서 보듯이, CFP 구간에 하나의 실시간 서비스를 위해 GTS1 ~ GTS3(401~403) 까지 시간슬롯(또는 제1 시간슬롯이라 한다)이 할당되었다고 하자. GTS4(404)는 현재 슈퍼프레임의 바로 이전 슈퍼프레임에서 데이터 송신에 에러가 생긴 GTS1~GTS3 슬롯 중 어느 하나를 위한 재전송 시간슬롯(또는

제2 시간슬롯이라 한다)이다. 본 제안방식에서는 예를 들어 GTS1 사용 중 데이터 프레임 에러가 발생하면, 현재 슈퍼프레임 바로 다음 슈퍼프레임에서 GTS4를 사용하여 재전송 데이터를 송신하게 된다. 앞서의 종래 기술에서 보았듯이, 종래 특히의 공통슬롯 사용은 해당 슈퍼프레임에서 같은 시간대에 연속해서 사용함으로 인해 스트리밍(Streaming)성 데이터를 바로 재전송하면 지연(delay)에 취약하고, 또한 재전송 시간슬롯에서 동일 페이딩 환경을 데이터 프레임이 겪을 가능성이 높다. 이에 반해, 본 제안방식은 송신하는 데이터 프레임이 깨지면 현재의 슈퍼프레임(또는 제1 슈퍼프레임이라 한다)이 아닌 그 다음 슈퍼프레임(또는 제2 슈퍼프레임이라 한다)에 데이터를 전송하므로 시간적인 다이버시티(diversity)를 얻을 수 있어 채널 에러에 강하게 된다. 물론 이에 따라 시간 지연(가령, 15.36 ms)이 생기게 된다. 그러나 이 정도의 시간지연은 음성 서비스에서는 허용 가능한 수준이다. 종래의 음성 서비스에서는 ACK를 보내지 않지만, 본 제안방식에서는 실시간 서비스의 재전송을 위해 매 프레임 전송 후 ACK를 받도록 한다. 그 이유는 무선 개인영역 네트워크에서는 프레임 에러율이 통상적으로 10 % 내외인 것으로 알려져 있어서 유선전화 통화 품질 수준을 만족하기 위한 음성 서비스 프레임 에러율이 2 % 내외인 것을 감안하면 무선 개인영역 네트워크에서 ACK 없이 음성 서비스를 제공할 경우 서비스 품질을 보장할 수 없을 것으로 예상되기 때문이다. IEEE 802.15.4에서는 ACK(최소 17 byte)를 위한 추가 슬롯 할당으로 32 Kbps 음성 1way(단방향)만 가능한데, 그 이유는 다음과 같다. IEEE 802.15.4의 슈퍼프레임 구조를 그대로 따르는 경우 32 Kbps 음성 전송을 위해 30 byte GTS 슬롯 3개가 요구되며(총 90 byte), ACK를 사용하지 않는다면 양방향으로 32 Kbps 음성전송이 가능하다. 그러나 32 Kbps 음성 전송과 ACK를 보내기 위해 위해서는 단방향으로 32 Kbps만 전송 가능하다. 왜냐하면 ACK를 위해선 37 byte가 추가로 요구되기 때문이다 (tack(12 symbol = 6 byte) + ACK(11 byte) + LIFS(40 symbol = 20 byte)). 또한, 이러한 시간은 에러 발생 시 차상위 계층에서 재전송을 지시 받기는 시간적으로 촉박하기 때문에, MAC 계층에서 데이터 전송 후에도 프레임을 저장하고 있다가, 에러 발생시에는 GTS 할당 후 재전송하는 것으로 처리해야 한다. 32 Kbps 단

방향 음성서비스를 위한 슈퍼프레임의 시간슬롯 구조에 대해서 살펴보자. 그림 16은 본 제안방식에 따른 IEEE 802.15.4에서 ACK를 제공하면서 32 Kbps 단방향 음성서비스를 위한 지그비 슈퍼프레임의 시간슬롯 구조의 일 예이다. 그림 16에서 보듯이, 단방향 32 Kbps 음성 서비스를 지원하기 위해서는 ACK를 고려하더라도 다음과 같이 4개의 시간 슬롯인 GTS1을 할당하면 된다. 물론, ACK를 사용하지 않는다면 3개의 시간슬롯만 필요하다.

- Data 62 byte + 오버헤더 19 byte = 81 byte
- tack(12 symbol = 6 byte) + ACK(11 byte) = 17 byte
- Total 98 byte < 4 slot (120 byte)
- No ACK 재전송 3 slot (90 byte)

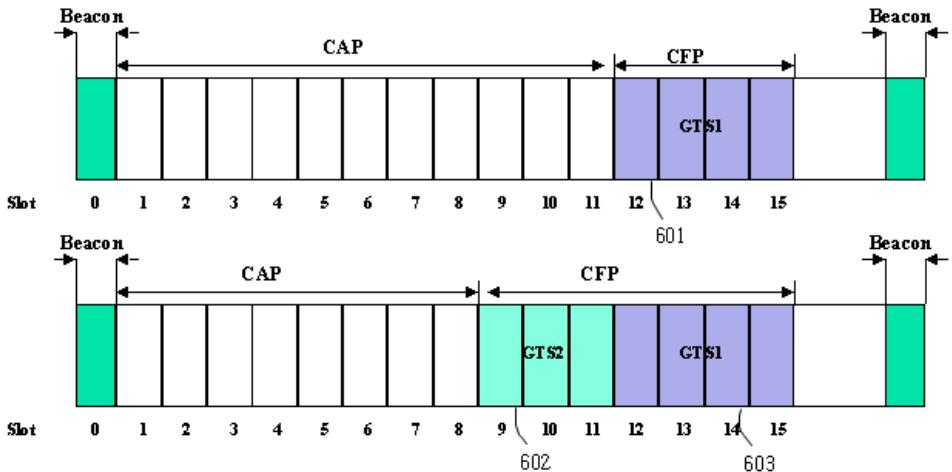


그림 16. 32 Kbps 단방향 음성서비스를 위한 슈퍼프레임의 시간슬롯 구조

그림 16에서 보듯이, 단방향 32 Kbps 음성 서비스에서 재전송을 제공하기 위해서는 재전송용 GTS, 즉, GTS2(602)가 필요하다. 그림 16에서는 재전송용 GTS인 GTS2를 위해서 기 할당된 GTS1과는 달리 시간슬롯의 수를 3개로 해서 GTS를 할당하게 된다. 그 이유는 재전송용 GTS에서는 ACK를 사용할 필요성이 적다는 점, 그리고 IEEE 802.15.4 규격을 만족하기 위해서는 GTS용 시간슬롯을 최대 7개까지 사용가능하기 때문에 재전송용 GTS에서 3개의 시간슬롯만

할당하게 된다.

그림 17은 IEEE 802.15.4를 만족하는 재전송 GTS 시간슬롯을 할당하는 일 예이다. 그림 17은 기 할당된 GTS1에서 에러가 발생한 경우의 그 다음 슈퍼프레임에서의 GTS 할당 현황을 보여준다. IEEE802.15.4에서는 하나의 디바이스가 하나의 송신과 수신 GTS를 할당 받기 때문에, 추가적인 GTS는 기존 할당에 연속해서 할당해야 한다. 즉, 하나의 디바이스를 위해 기 할당된 GTS1과 재전송을 위한 GTS2는 하나의 GTS인 것처럼 묶어서 할당되어야 한다.

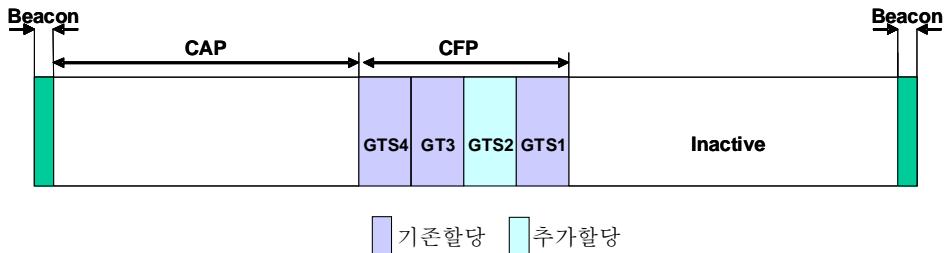


그림 17. IEEE 802.15.4를 만족하는 위한 재전송 GTS 시간슬롯 할당

### 3) 복수 디바이스들에 재전송 GTS 할당 방법

IEEE 802.15.4에서는 250 Kbps까지 data rate 지원하여, 32 Kbps 정도의 음성 데이터를 재전송해서는 단방향으로 보내는 것만이 가능하다. 그러나 IEEE 802.15.4a는 851 Kbps까지 data rate 지원하고 있어, 음성과 같은 다양한 스트리밍 특성의 데이터의 전송이 가능해진다. 또한, 복수의 디바이스들 간에 실시간 서비스를 제공할 수 있고, 재전송 GTS는 복수개 할당할 수 있다. 이에 그림 18은 복수의 디바이스들에 재전송 GTS를 할당한다는 점을 염두에 두고 본 제안 방식에 대해 설명한다. 그림 18에서 보듯이, 본 제안방식에서는 할당된 시간슬롯 (GTS1~GTS3)에서 전송되는 데이터 프레임에서 에러가 발생하지 않으면, 다음 슈퍼프레임에 재전송 GTS (GTS4)를 할당하지 않는다. 이는 공동 슬롯을 사용하는 종래 기술과는 달리 불필요한 시간슬롯을 계속 할당할 필요가 없게 된다. 재전송 GTS 할당여부는 매 슈퍼프레임마다 전송되는 비컨에 포함되어 전송되고, 비컨을 통해 디바이스들이 자신에게 재전송 GTS가 할당되었는지를

인지하게 된다. 또한, 그림 18에서 보듯이, 본 제안방식에서는 할당된 GTS(GTS1~GTS3)에서 에러가 발생하면 에러가 발생한 GTS 만큼 재전송 GTS를 할당하여 주게 되나, 현재 슈퍼프레임에서 동시에 2개 이상의 GTS(가령, GTS1과 GTS2)에서 전송된 데이터 프레임에서 에러가 발생시, 재전송 시간 슬롯으로 할당 가능한 재전송 GTS들을 허용 가능한 범위까지 할당하게 된다. 즉, 만일 프레임 에러가 발생한 GTS 수보다 할당 가능한 재전송 GTS 수가 작은 경우는 재전송 GTS를 할당 받지 못한 GTS들(GTS1~GTS3 중 어느 하나 이상)은 재전송을 못하게 된다.

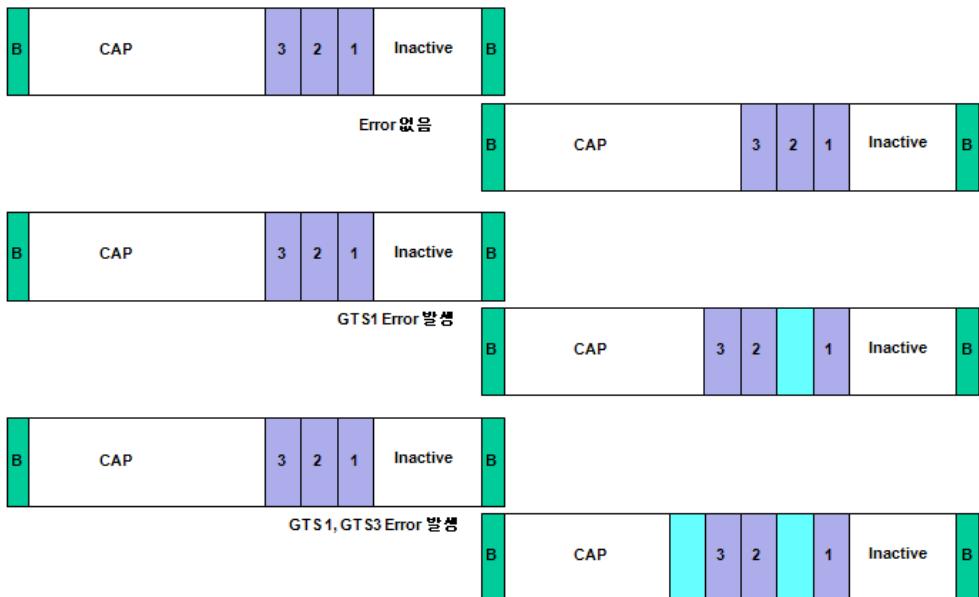


그림 18. 제안방식에 따른 재전송 GTS 이용 방법

할당 우선순위는 중재자(10)인 코디네이터에서 결정하여 다음 비컨 GTS list에서 디바이스들에게 통보해 주게 된다. 현재 LR-WPAN 규격은 하나의 디바이스가 하나의 송신과 수신 GTS를 할당 받도록 되어 있다. 따라서, 추가적인 GTS는 기존 할당에 연속해서 할당해야 한다.

#### 4) 중재자와 디바이스들간 실시간 통신 방법

이하에서는 중재자와 디바이스들에 대해서 설명한다. 본 제안방식에서는 그림 13과 같이 복수의 디바이스(10~18)가 하나의 네트워크를 구성하며, 복수의 디바이스(10~18) 중 어느 하나가 중재자(10)로 선정된다. 중재자(10)는 나머지 디바이스 (12, 14, 16, 18)에 동기신호인 비컨을 브로드캐스트하여, 무선 개인영역 네트워크에 접속된 디바이스 (12, 14, 16, 18)를 동기화시킨다. 본 제안방식에서의 무선 개인영역 네트워크에는 비컨을 발생하는 중재자 단말과 비컨을 수신하는 디바이스 단말로 구성된다. 중재자 단말과 디바이스 단말간에 실시간 음성 통신이 수행된다. 여기서는 중재자 단말(코디네이터 기능)과 하나 이상의 디바이스 단말들 간에 음성 통신이 된다고 가정한다. 중재자 단말의 기능을 살펴보면 비컨에 단말들에 할당되는 GTS 슬롯 정보를 실어서 송신한다. 또한, 음성 프레임 처리 동작을 수행하는데, 이를 위해 다음에 설명할 디바이스 단말과 동일한 동작을 수행한다. 중재자 단말이 복수개의 디바이스 단말과 동작시 복수개의 디바이스 단말과 동시에 음성 통신을 수행하게 된다.

디바이스 단말(j)의 처리 동작에 대해서 수신한 음성 프레임에 에러가 없는 경우와 수신한 음성 프레임에 에러가 있는 경우를 구분하여 설명한다.

##### - 수신한 음성 프레임에 에러가 없는 경우

- 음성 프레임을 현재 슈퍼프레임(SF(i))내 할당 받은 GTS 슬롯(제1시간슬롯)을 통해 수신하면 바로 음성으로 디코딩하지 않고, 메모리에 저장하고, 다음 슈퍼프레임 (SF(i+1)) 동안 기다린다.
- 다음 슈퍼프레임 (SF(i+1))의 할당 받은 GTS(제1 시간슬롯)를 통해 음성 프레임을 수신하면 메모리에 저장하고, 메모리에 기 저장된 바로 이전 수신한 음성 프레임을 디코딩하여 스피커로 출력한다.

##### - 수신한 음성 프레임에 에러가 있는 경우

- 만일 현재 슈퍼프레임 (SF(i))에서 할당 받은 GTS(제1 시간슬롯)를 통해 수신한 음성 프레임에 에러가 발생하면, 메모리에 저장하지 않고

폐기하며, 이전의 슈퍼프레임 (SF(i-1))에서 성공적으로 수신한 음성 프레임을 메모리에서 읽어서 디코딩하여 스피커로 출력한다.

- (b) 재전송을 위한 슬롯을 다음 슈퍼프레임(SF(i+1))에서 추가로 할당 받는다. 즉 다음 슈퍼프레임 (SF(i+1))에서는 디바이스 단말(j)를 위해 기존의 GTS외에 재전송용 GTS(제2 시간슬롯)를 할당 받게 된다.
- (c) 다음 슈퍼프레임(SF(i+1))에서는 이전 슈퍼프레임 (SF(i))에서 에러로 인해 못 받은 음성 프레임을 재전송용 GTS(제2 시간슬롯)를 통해 수신하고, 음성 수신용으로 기 할당된 GTS(제1 시간슬롯)를 통해 그 다음 음성프레임을 수신하게 된다.
- (d) 이 경우에, 재전송용 GTS(제2 시간슬롯)를 통해 수신한 음성 프레임은 메모리에 저장되지 않고 바로 디코딩하여 스피커로 출력되며, 기 할당된 GTS(제1 시간슬롯)를 통해 수신한 음성 프레임은 메모리에 저장되게 되며, 그 다음 슈퍼프레임에서 디코딩하여 스피커로 출력될 것이다.

## 2. 성능 분석 모델링

본 절에서는 제안방식에 대한 성능분석 모델을 수치적으로 제시하고, 성능분석 결과를 제시한다.

본 제안 방식의 성능 분석을 위한 주요 시스템 파라미터들 가정 값들은 아래와 같다. 슈퍼프레임의 CFP 구간에 사용되는 GTS들을 기준으로 시스템 파라미터들을 정의한다.

하나의 슈퍼프레임에서 사용 가능한 GTS의 총 개수를  $N_{GTS}$  하고 정의한다. 한 쪽 방향(가령, 디바이스에서 중재자로 송신하는 경로)의 음성 통화 호에는 하나의 GTS가 할당되도록 GTS당 시간슬롯들을 할당한다. 가령, 32 Kbps의 음성통화를 위해서는 3개의 시간슬롯이 하나의 GTS에 할당된다. 이 때 동시 통화를 수행하는 디바이스들이 사용하는 GTS 개수를  $N_{CC}$  라고 정의한다. 그리고 통화 중인 디바이스가 전송하는 데이터 패킷이 깨질 경우에 재전송용으로 사용되는 GTS 수는  $N_{RG}$  라고 정의한다. 이 때 하나의 슈퍼프레임에서 사용 가능한 GTS의 총 개수  $N_{GTS}$  는 아래와 같다.

$$N_{GTS} = N_{CC} + N_{RG} \quad (1)$$

본 제안 방식의 성능 분석을 위해서는 데이터 패킷의 에러 관련 파라미터들이 필요하다. 먼저, 각 GTS에서 데이터 패킷을 전송하는 경우의 패킷 에러율을  $P_g$  라고 정의한다. 데이터 패킷의 에러율은 채널 환경에 따라 달라지고, 또한 데이터 패킷의 크기에 따라 달라지는데, 패킷 크기가 클수록 에러율은 선형적으로 증가하게 된다[15]. 패킷 에러율이 어떤 분포를 따르는지에 대해서는 알려져 있지 않으나 에러가 랜덤하게 발생한다고 가정한다면, 가우시안 분포, 또는 이항 분포(binomial distribution)를 따른다고 볼 수 있다.

하나의 네트워크 내에 존재하는 복수의 디바이스들이 음성 패킷을 전송하는 경우, 디바이스들은 네트워크 내에 산재하기 때문에 디바이스들간 평균 패킷 에러율에 별 차이가 없을 것이다. 그러나 동일한 디바이스가 음성 패킷을 전송하다

가 깨진 후에 바로 재전송 패킷을 보내는 경우에는 디바이스의 이동속도에 따라 패킷의 에러율이 달라질 수 있는데, 이동속도가 높은 경우에는 패킷 에러율이 이전 패킷의 전송 실패 여부에 별 영향을 받지 않겠지만 저속으로 이동하는 경우에는 재전송 시 또 다시 깨질 가능성이 높다고 볼 수 있다. 이를 인접GTS 간 상관도,  $C_g$  라 정의하며, 지수분포를 따른다고 가정하면 아래의 식과 같이 표현할 수 있다.

$$C_g = e^{-mt} \quad (2)$$

여기서,  $m$ 은 상관도 인자를 의미하며,  $m$ 이 작을수록 GTS간 상관도가 높다고 할 수 있다.  $t$ 은 음성 통화용으로 할당된 GTS와 재전송 GTS간의 간격을 의미하는데, 재전송 GTS가 바로 인접한 경우  $t$ 는 1이 되고, 본 제안방식과 같이 다음 슈퍼프레임의 인접 슬롯인 경우 IEEE 802.15.4의 규격에 따라 재전송 GTS가 다음 슈퍼프레임의 할당된 GTS 바로 이전 GTS가 되므로  $t$ 는 15가 된다. 이때, 재전송 GTS의 데이터 패킷의 평균 에러율,  $P_{gr}$  은 아래의 식과 같이 정의 할 수 있다.

$$P_{gr} = C_g + (1 - C_g) * P_g \quad (3)$$

음성 데이터를 할당 받은 GTS로 전송하고 실패시 재전송 GTS로 전송하는 경우의 전송 성공률은 상기의 식(2), (3)을 이용하여 구할 수 있는데, 음성 데이터 전송 대비 성공률,  $T_s$ 는 아래의 식과 같이 정의될 수 있다.

$$T_s = (1 - P_g) + (1 - P_{gr}) * P_g = 1 - P_{gr} * P_g \quad (4)$$

상기 식(4)에서는 디바이스가 재전송시 재전송 GTS를 무조건 할당 받을 수 있다는 전제하에서 음성 데이터 전송 대비 성공률을 의미하는 것이고, 만일, 동시에 통화중인 디바이스의 GTS가 재전송용 GTS 수보다 큰 경우에는 재전송

GTS를 획득 못하여 재전송을 못하는 경우가 발생할 수 있다. 재전송 GTS는 디바이스의 번호에 따라 획득 순위가 달라질 수 있다. 따라서 최악의 경우를 고려하여 순위가 늦은 디바이스를 기준으로 재전송 GTS 획득 확률을 구해야 한다. 현재 동시 통화를 수행하는 디바이스들이  $N_{CC}$  개이므로 가장 순위가 낮은 디바이스의 재전송 GTS 획득 확률,  $P_{RG}$  는 아래의 식과 같이 정의될 수 있다.

$$P_{RG} = (1 - P_g)^{(N_{CC} - N_{RG})} \quad (5)$$

상기 식(5)의  $P_{RG}$ 를 고려한 음성 데이터 전송 대비 성공확률,  $T_{rs}$  는 아래의 식과 같이 정의될 수 있다

$$T_{rs} = (1 - P_g) + P_{RG} (1 - P_{gr}) * P_g \quad (6)$$

참고문헌 [8], [13]에 나와 있는 WPAN 환경에서 음성 통신을 위한 기술들과의 비교를 위해 기존 기술에 대한 성능분석 파라미터를 정의한다.

참고문헌 [13]에서는 공통슬롯을 디바이스들 간에 재전송용으로 나누어 쓰는 것을 가정하고 있는데, 이 경우의 음성 데이터 전송 대비 성공확률  $T_{cs}$ 는 제안방식과 동일하게 식 (6)으로 표현가능하나 식 (2)에 명시된 인접 GTS간 상관도,  $C_g$  값이 상대적으로 높아 제안방식 보다 재전송 GTS의 데이터 패킷의 평균 에러율,  $P_{gr}$ 이 높아 음성 데이터 전송 대비 성공확률은 낮아지게 될 것이다.

재전송 슬롯을 우선순위가 높은 디바이스가 사용하는 바로 다음 GTS를 사용하기 때문에 식 (2)에서의 인접 GTS간 상관도,  $C_g$  는 아래와 같이 정의된다.

$$C_g = e^{-m} \quad (7)$$

식 (7)를 식 (3)에 넣어 재전송 GTS의 데이터 패킷의 평균 에러율,  $P_{gr}$  을 구한 후 이를 식 (5)와 함께 식 (6)을 적용하여 음성 데이터 전송 대비 성공확률  $T_{cs}$  을 구할 수 있다.

참고문헌 [8]은 별도의 재전송 GTS가 없는 경우에, WPAN 환경에서 음성 통화를 수행하는 방법으로서, 재전송용 GTS가 따로 없기 때문에 음성 데이터 전송 대비 성공확률,  $T_{non}$ 는 아래의 식과 같이 정의될 수 있다.

$$T_{non} = (1 - P_g) \quad (8)$$

### 3. 성능 분석 결과

본 제안방식을 기준의 재전송 슬롯이 없는 경우(기준방식1), 공통 슬롯을 동일 슈퍼프레임에서 사용하는 경우(기준방식2)와 비교하여 성능분석을 수행한다. 성능분석을 위해서 아래와 같이 시스템 파라미터 값들을 가정한다.

- 하나의 슈퍼프레임에서 사용 가능한 GTS 총 개수,  $N_{GTS}:5$
- 음성 통화 호에 할당되는 GTS 개수,  $N_{CC}:4$
- 재전송용으로 할당되는 GTS 수,  $N_{RG}:1$
- 데이터 패킷의 평균 에러율,  $P_g:10\%$
- 인접 GTS간 상관도 인자  $m: 0.5$

기준방식1(별도슬롯 없음)에서는 재전송용으로 사용하지 않고 음성 통화용으로 다른 디바이스들에 할당한다면 동시 통화 수는 늘어날 수 있다. 그러나 본 논문에서는 전체 동시 통화 수가 최적인 방식이 아니라 최악의 경우에 있는 디바이스의 최소한 음성 서비스를 위해 요구되는 데이터 전송 대비 성공확률을 중심으로 살펴본다. 상기한 가정 값들을 기준으로 그림 19~24에 성능분석결과를 도시한다.

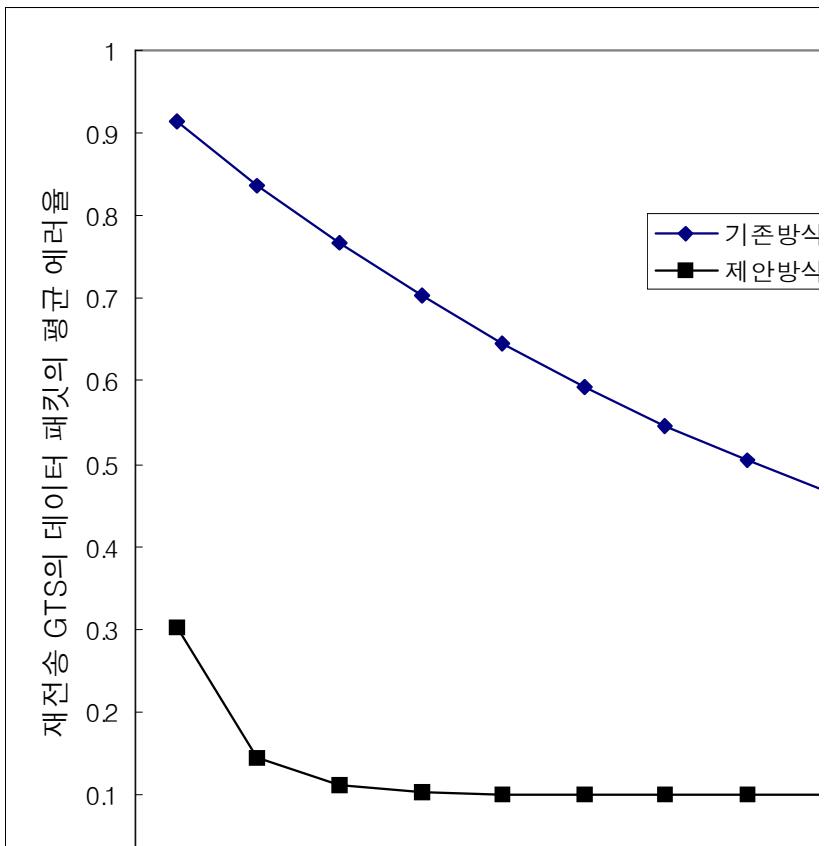


그림 19. 재전송 GTS의 데이터 패킷의 평균에러율

그림 19는 인접 GTS간 상관도 인자의 변화에 따른 제안 방식과 기존 방식2(동일 슈퍼프레임내의 공통슬롯)의 재전송 GTS의 데이터 패킷의 평균 에러율을 도시한 것이다. 그림 20에서 보듯이 인접 GTS간 상관도 인자 값이 작을수록 제안방식이 기존방식2에 비해 우수함을 알 수 있다. 그러나 인접 GTS간 상관도가 적은 경우, 즉 인자 값이 큰 경우에는 디바이스의 이동속도가 높다는 것을 의미하며, 제안방식과 기존방식2와의 차이는 줄어드는 것을 알 수 있다.

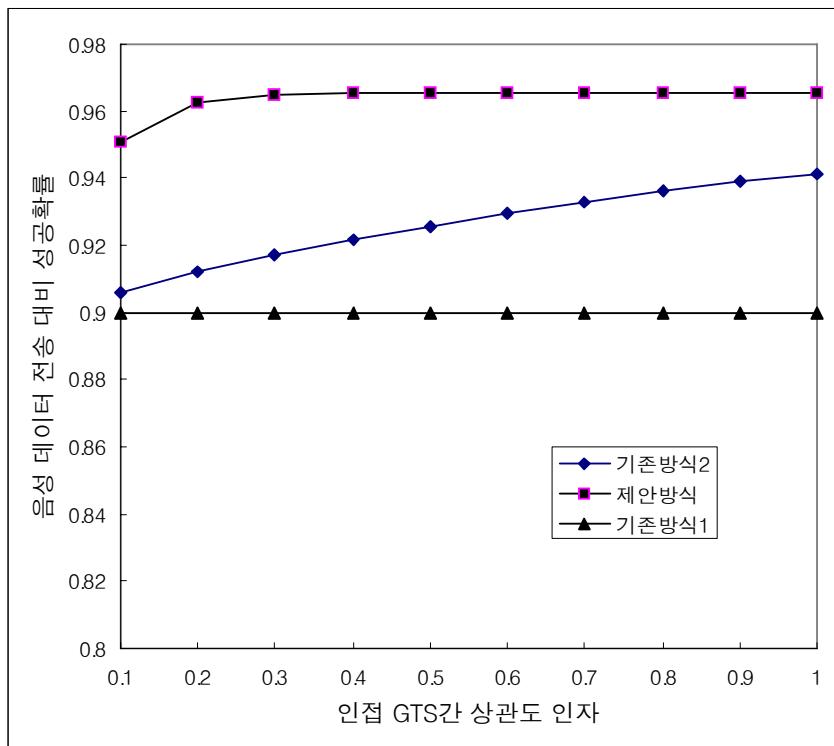


그림 20. 음성 데이터 전송 대비 성공률

그림 20은 인접 GTS간 상관도 인자의 변화에 따른 제안 방식과 기존 방식의 음성 데이터 전송 대비 성공률,  $T_{rs}$ 를 도시한 것이다. 그림 21에서 보듯이 인접 GTS간 상관도 인자 값이 작을수록 제안방식이 기존 방식1(별도슬롯 없음)과 기존방식2(동일 슈퍼프레임내의 공통슬롯)에 비해 우수함을 알 수 있다. 그러나 인접 GTS간 상관도가 적은 경우, 즉 인자 값이 큰 경우에는 디바이스의 이동속도가 높다는 것을 의미하며, 제안방식과 기존방식2와의 차이는 줄어드는 것을 알 수 있다.

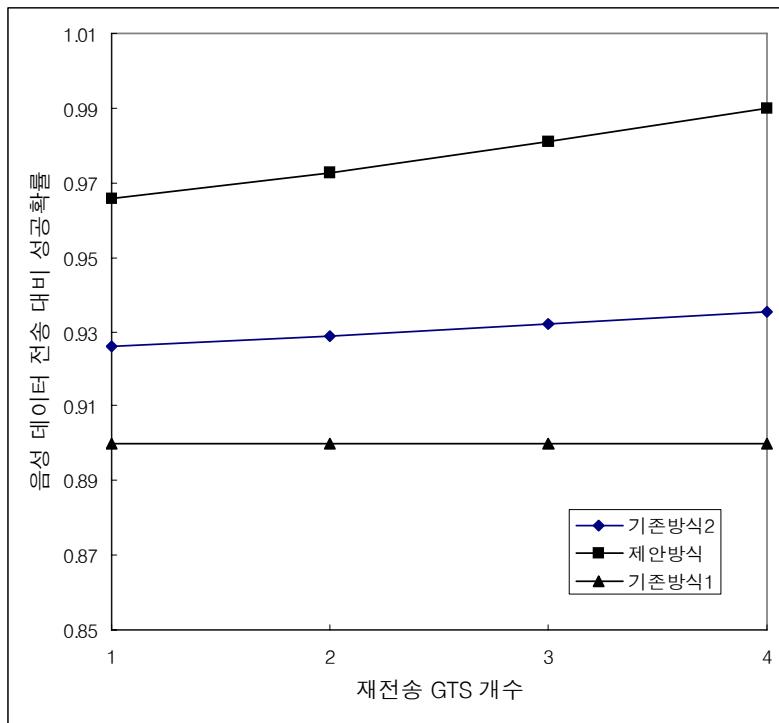


그림 21. 재전송 GTS 개수 변화에 따른 음성 데이터 전송 대비 성공 확률

그림 21은 재전송 GTS의 개수에 따른 제안 방식과 기존 방식의 음성 데이터 전송 대비 성공 확률,  $T_{rs}$ 를 도시한 것이다. 그림 21에서 보듯이 제안방식과 기존방식2는 재전송 GTS 개수가 증가할수록 음성 데이터 전송 대비 성공 확률은 증가하며 그 차이는 점점 벌어지는 것을 알 수 있다.

그림 22에서는 데이터 패킷의 평균 에러율 변화에 따른 제안 방식과 기존 방식의 음성 데이터 전송 대비 성공 확률,  $T_{rs}$ 를 도시한 것이다. 데이터 패킷의 평균 에러율이 증가할수록 음성 데이터 전송 대비 성공 확률은 모든 방식에서 떨어지는 것을 알 수 있다. 그림 22에서 보듯이 데이터 패킷의 평균 에러율이 커질수록 제안방식이 기존 방식1(별도슬롯 없음)과 기존방식2(동일 슈퍼프레임내 공통 슬롯)에 비해 보다 더 우수함을 알 수 있다. 그러나, 데이터 패킷의 평균 에러율이 작은 경우에는 재전송의 필요성이 줄어들게 되어 제안방식과 기존방식1, 2와의 차이는 줄어드는 것을 알 수 있다.

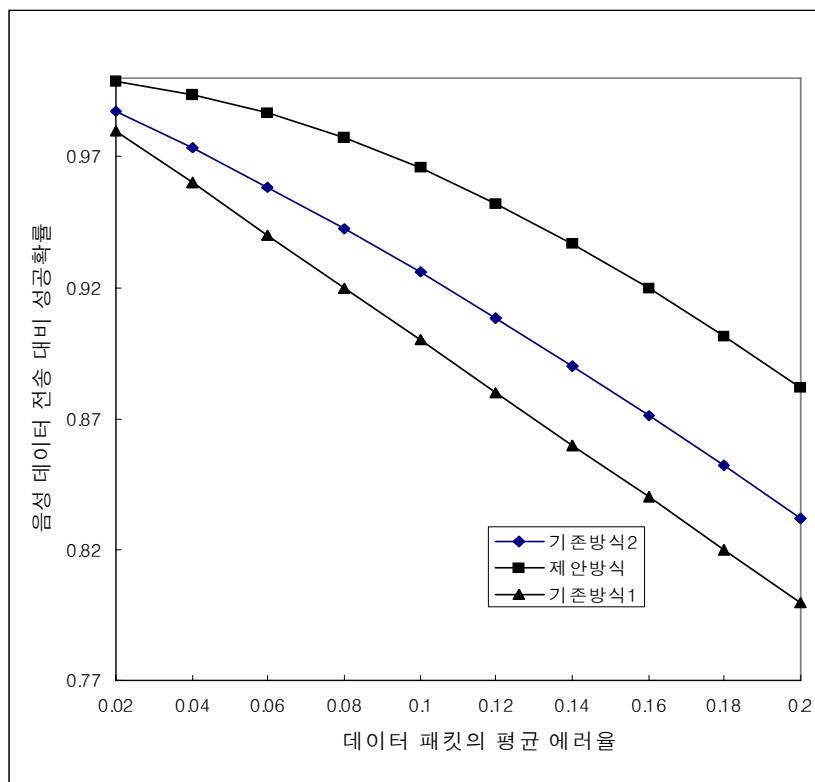


그림 22. 데이터 패킷의 평균 에러율 변화에 따른 음성 데이터 전송 대비 성공확률

만일 음성 데이터 전송 대비 성공확률을 90 %이내인 환경으로 제한한다면, 제안방식은 데이터 패킷의 평균 에러율이 18 %일 때까지도 음성서비스에 대한 QoS 보장이 가능하지만, 기존방식1의 경우는 데이터 패킷의 평균 에러율이 10 %일 때 까지만 가능하고, 기존방식2의 경우에는 데이터 패킷의 평균 에러율이 12 %일 때 까지만 가능하기 때문에, WPAN과 같은 열악한 채널 환경에서는 QoS를 보장해 주기 위해서 제안방식이 우수함을 알 수 있다.

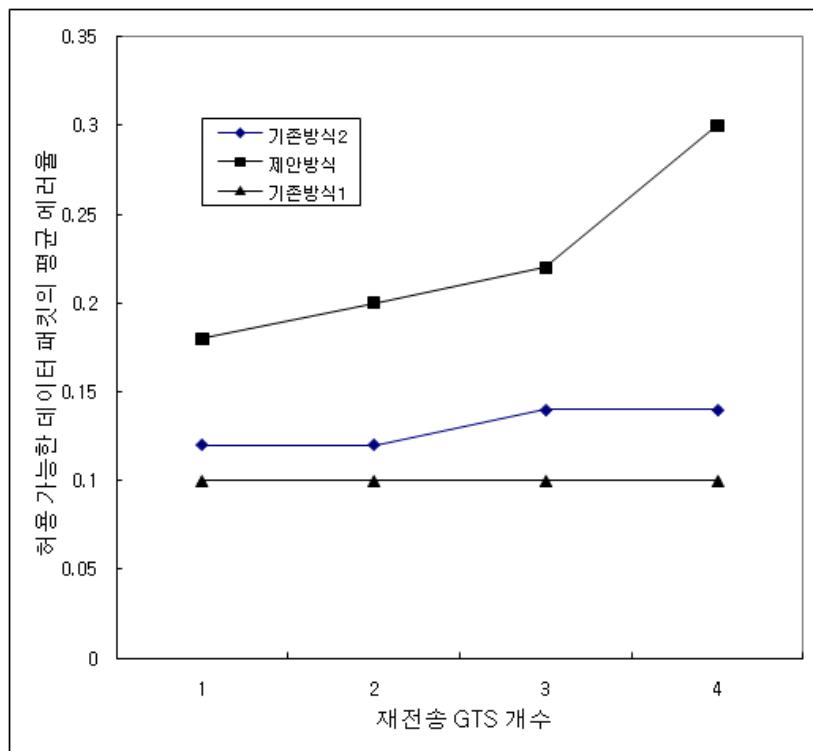


그림 23. 재전송 GTS 개수에 따른 허용 가능한 데이터 패킷의 평균 에러율

그림 23은 음성 데이터 전송 대비 성공확률의 목표 달성을 위해 요구되는 재전송 슬롯의 개수에 대해서 살펴본다. 그림 23에서 보듯이 목표치를 90 %로 가정할 경우에, 각 방식 별로 재전송 GTS 개수에 따른 허용 가능한 데이터 패킷의 평균 에러율은 기준방식1은 재전송 GTS 개수에 상관없이 10 %만 허용 가능하고, 기준방식2는 재전송 GTS 개수가 1~2인 경우 12 %, 3~4인 경우 14 % 까지 각각 허용 가능하고, 제안방식은 재전송 GTS 개수가 1~4로 변할 때, 18 %, 20 %, 22 %, 30 %로 각각 증가되는 것으로 나타났다.

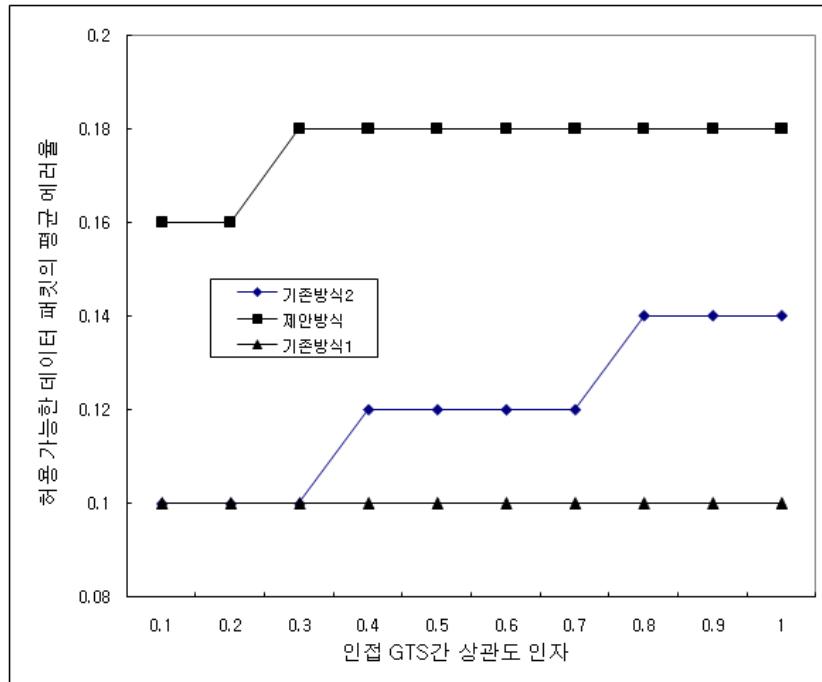


그림 24. 인접 GTS간 상관도 인자에 따른 허용 가능한 데이터 패킷의 평균 에러율

그림 24는 음성 데이터 전송 대비 성공률의 목표 달성을 위해 요구되는 인접 GTS간 상관도 인자 값에 대해서 살펴본다. 그림 24에서 보듯이 목표치를 90 %로 가정할 경우에, 각 방식 별로 재전송 인접 GTS간 상관도 인자 변화에 따른 허용 가능한 데이터 패킷의 평균 에러율은 기준방식1은 상관도 인자에 상관 없이 10 %만 허용가능하고, 기준방식2는 상관도 인자 값이 0.1~0.3인 경우 10 %, 0.4~0.7인 경우 12 %, 0.8~1.0까지는 14 %까지 각각 허용가능하고, 제안방식은 상관도 인자 값이 0.1~0.2인 경우 16 %, 0.3 이상인 경우 18 %까지 각각 허용 가능한 것으로 나타났다.

## IV. 결 론

IEEE 802.15.4 LR-WPAN 규격은 저속의 데이터 전송을 위한 네트워크를 위해 개발되었다. 하지만 이러한 네트워크에도 다양한 응용에 따라 음성 데이터와 같은 스트리밍형의 실시간 전송이 요구되는 경우도 있다. IEEE 802.15.4에서는 250 Kbps까지 데이터 전송률을 지원하여, 32 Kbps 정도의 음성 데이터를 재전송 해서는 단방향으로 보내는 것만이 가능하다. 그러나 IEEE 802.15.4a는 851 Kbps까지 data rate 지원하고 있어, 음성과 같은 다양한 스트리밍 특성의 데이터의 전송이 가능해진다. 또한, 복수의 디바이스들 간에 실시간 서비스를 제공할 수 있고, 재전송 GTS는 복수 개 할당할 수 있다. LR-WPAN 표준에서는 코디네이터가 전송하는 비컨을 통해 주기적으로 활동 및 비활동 구간을 반복하여 데이터 전송 주기를 조절하는 비컨 활성화 모드 기법을 지니고 있다. 이 기법에서 일반 장치들은 활동 구간 동안 데이터 통신에 참여하고, 휴면 구간 동안에는 자신의 통신 전원을 차단시킴으로써 함으로써 에너지 소모를 최소화할 수 있다. 데이터 트래픽 정보를 기반으로 IEEE 802.15.4의 활동구간을 동적으로 조절하여 에너지 효율성과 데이터 전송 처리율을 동시에 만족시킬 수 있는 방법이 제안된 바 있다. 그러나 이 방법은 활동 시간을 조절하여 긴급히 보낼 데이터를 실시간으로 보내는 것은 가능할 수 있으나, 본 논문에서 제안하고자 하는 음성 서비스와 같은 긴 시간의 실시간 데이터를 보내는 테에는 문제가 있다. 기존의 연구들은 음성 서비스를 고려하지 않거나 고려하였더라도 본 논문에서 제안하는 방식과 같이 무선 개인영역 네트워크 환경에서 채널 에러 등의 발생 시에도 QoS를 제공할 수 있는 실시간 통신을 위한 채널할당에 대해서는 고려된 것이 부족하다. 또한 기존의 QoS 보장을 위한 실시간 통신방법은 해당 슈퍼프레임 내에서 공통 슬롯을 사용하여 같은 시간대에서 에러가 발생된 프레임을 재전송하기 때문에 에러가 발생한 것과 동일한 페이딩 환경을 송수신 데이터가 겪게 되어 재전송 데이터가 다시 손상될 수 있다는 점, 그리고 네트워크 이용성의 저하 방지를 위해 디바이스간 서비스의 종류가 달라야 한다는 점, 디바이스간 자원 사용의 공평성에 문제가 생긴다는 점 등의 한계가 있다.

본 논문에서는 IEEE 802.15.4를 지원하는 무선 네트워크에서 음성 서비스와 같은 실시간 서비스를 제공함에 있어서 채널 에러 등의 발생시에도 QoS를 제공 할 수 있는 재전송 슬롯 기반 실시간 서비스 방식을 제안하였다.

본 제안방식의 성능분석결과, 데이터 전송시 깨진 데이터 패킷과 재전송 데이터 패킷간의 시간 간격이 있어서 사용되는 GTS간 상관도가 낮아지게 되어 재전송 GTS의 데이터 패킷의 평균에러율을 관점에서 제안방식이 기존 방식에 비해 우수하게 된다. 이에 따라 만일 음성 데이터 전송 대비 성공확률을 90 %이내인 환경으로 제한한다면, 제안방식은 데이터 패킷의 평균 에러율이 18 %일 때까지도 음성서비스에 대한 QoS 보장이 가능하지만, 기존방식1의 경우는 데이터 패킷의 평균 에러율이 10 %일 때 까지만 가능하고, 기존방식2의 경우에는 데이터 패킷의 평균 에러율이 12 %일 때 까지만 가능하기 때문에, WPAN과 같은 열악한 채널 환경에서는 QoS를 보장해 주기 위해서 제안방식이 우수함을 알 수 있다. 또한 본 제안 방식을 사용하게 되면 목표로 하는 음성 데이터 전송 대비 성공 확률 하에서 허용되는 데이터 패킷의 평균 에러율이 기존 방식에 비해 낮아서 QoS를 보장해 줄 수 있는 디바이스의 서비스 영역을 확대할 수 있게 되는 장점이 있다.

## [ 참고 문헌 ]

- [1] IEEE Std 802.15.4, Part 15.4: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), 1 October 2003.
- [2] IEEE Std 802.15.4, Part 15.4: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), 8 September 2006.
- [3] S. C. Ergen. "ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary", 10 September 2004(<http://www.eecs.berkeley.edu/~csinem/academic/publications/zigbee.pdf>).
- [4] P. Raronti, et al. "Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards", Computer Communications archive Volume 30 , Issue 7 , pp. 1655-1695, May 2007.
- [5] 서창수, 고영배, "트래픽 정보를 기반한 IEEE 802.15.4 Beacon-enabled WPAN의 성능 향상 기법," 제2회 RFID/USN 연구논문 공모 수상작, 2006.
- [6] K. Park, S. I. Lee and J. S. Lim, "Noble reduction of service access delay by modifying MAC frame structure of IEEE802.15 TG4 LR-WPAN", 8th International Conference on Cellular and Intelligent Communications (CiC2003) Proceeding, pp. 423, Oct 2003.
- [7] D. Y. Hwang, E. H. Kwon and J. S. Lim, "A Virtual Slot Multiple Access for IEEE 802.15.3 High-Rate Wireless Personal Area Networks", 64th IEEE VTC2006 Fall, Sep 2006.
- [8] 김지훈, 황광일, 엄두섭, "Voice communication using Extended Concept of GTS in IEEE 802.154", 한국통신학회 하계종합학술발표회, 2007.07.
- [9] Eustathia Ziouva and Theodore Antonakopoulos, "CBR Packetized Voice Transmission in IEEE802.11 Networks," iscc, p.0392, Sixth IEEE Symposium

- on Computers and Communications (ISCC'01), 2001.
- [10] Rahul Mangharam, Anthony Rowe, Raj Rajkumar, and Ryohei Suzuki. "Voice over sensor network," IEEE Real-Time System Symposium, 2006.
- [11] 무선 개인영역 네트워크에서 음성통신을 위한 무선통신방법, 공개번호 10-2005-0029515.
- [12] 저속 무선 개인영역 네트워크에서 다수 음성통화를 위한 무선통신 방법 및 장치, 공개번호 10-2006-0108573.
- [13] 무선 개인영역 네트워크에서 채널시간 할당방법, 등록번호 10-0579525.
- [14] Haritha Phalgun, "The effect of voice packet size on end-to end delay in 802.11b networks," University of Pittsburgh, April 2003.
- [15] Eun-Chang Choi, Jae-Doo Huh, Kwang-Sik Kim, and Moo-Ho Cho, "Frame-Size Adaptive MAC Protocol in High-Rate Wireless Personal Area Networks ETRI Journal, Volume 28, Number 5, pp.660-663, October 2006.

# 저속 WPAN에서의 동기모드 전송 방식 연구

이 세 진

慶州大學校 大學院

컴퓨터電子工學科

指導教授 趙 茂 昊

(초록)

LR-WPAN에 존재하는 다양한 장치들의 요구사항을 파악하고 적응적으로 활동 및 비활동 구간을 조절할 수 있는 방안들이 연구되어 왔다. 기존 연구에서는 장치들의 통신 데이터가 없을 경우 활동 구간 시간을 줄여 에너지 소모를 최소화하고, 반대로 장치들의 통신 데이터양이 많을 경우 활동 구간 시간을 늘려 데이터 전송 처리율을 극대화 하는 방안들이 연구되었다. 본 논문에서는 IEEE 802.15.4를 지원하는 무선 네트워크에서 음성 서비스와 같은 실시간 서비스를 제공함에 있어서 채널 에러 등의 발생시에도 QoS를 제공할 수 있는 재전송 슬롯 기반 실시간 서비스 방식을 제안하였다. 본 제안방식의 성능분석결과 데이터 전송시 손상된 데이터 패킷과 재전송 데이터 패킷간의 시간 간격이 있어서 사용되는 GTS간 상관도가 낮아지게 되어 재전송 GTS의 데이터 패킷의 평균에러율 관점에서 제안방식이 기존 방식에 비해 우수하게 된다. 이에 따라 만일 음성 데이터 전송 대비 성공확률을 90 %이내인 환경으로 제한한다면, 제안방식은 데이터 패킷의 평균 에러율이 18 %일 때까지도 음성서비스에 대한 QoS 보장이 가능하지만, 기존방식들의 경우에는 데이터 패킷의 평균 에러율이 12 %일 때 까지만 가능하기 때문에, WPAN과 같은 열악한 채널 환경에서는 QoS를 보장

해 주기 위해서 제안방식이 우수함을 알 수 있다. 또한 본 제안 방식을 사용하게 되면 목표로 하는 음성 데이터 전송 대비 성공확률 하에서 허용되는 데이터 패킷의 평균 에러율이 기존 방식에 비해 낮기 때문에 QoS를 보장해 줄 수 있는 디바이스의 서비스 영역을 확대할 수 있게 되는 장점이 있다.

# A Study on Transfer Method of Beacon-enabled Mode in LR\_WPAN

Lee Se Jin

Department of Computer and Electronic Engineering  
The Graduate School  
Gyeongju University

(Supervised by Professor Cho, Moo Ho)

## (Abstract)

IEEE 802.15.4 systems are basically designed for both sparsely generating events in order to keep a low duty-cycle and dedicated bandwidth to guarantee message latency. In order to achieve better energy-efficiency and lower data rate, IEEE 802.15.4 can operate in a so called beacon-enabled mode. As the energy saving in the beacon-enabled mode depends on the periodic sleep managed by beacons, it is important to control the ratio of the active period to the inactive period called the duty-cycle. For the special case in LR\_WPAN, a streaming data like voice transmission is required. At the 2.4 GHz band, only one way 32 Kbps voice data can be transferred with the retransmission allowed. But in IEEE 802.15.4a, the user data rate is supported up to 850 Kbps, the voice streaming data can be transferred more easily. In this paper, we study the possibility and limitations of voice transmission in the beacon-enabled mode over IEEE 802.15.4 LR\_WPAN standard. And we propose a scheme for real-time service based on retransmission slot in LR\_WPAN and analyze the performance to show the advantage of the proposed scheme. Analytical results show that the proposed

scheme achieves a much higher throughput than the previous schemes. With 90 % success rate in a voice transmission requirement, the previous scheme with common slots can support QoS in an average error rate upto 12 %. But the proposed scheme can support QoS even in the rate upto 18 %. Thus with the proposed scheme, voice streaming data can be transferred more efficiently in the time varying channel degradation such as interference, flat-fading, and frequency-selective fading.

## 감사의 글

젊음은 실패의 계절이라 했습니다. 모험과 도전이 없으면 실패도 없고, 실패가 없으면 성취의 디딤돌도 없다 하였습니다. 꿈을 말하고 희망을 그릴 수 있는 것이 젊음이라 하였습니다. 제게 부여된 젊음의 특권을 학업에 도전장을 던졌고, 어느 듯 도전에 한 단락을 마무리 짓게 되었습니다. 시작과 끝은 둘이 아니라, 하나라고 합니다. 그 시작을 위한 한 단락을 마무리하는 즈음에서 지난 시간들을 돌아보면 많은 아쉬움과 후회가 남습니다. 학업 성취에 있어 아쉬움만이 아닌, 고마운 많은 분들께 감사의 마음을 제대로 전하지 못했기에 더욱 그러한 것 같습니다. 제가 이렇게 성장하기까지 오랜 시간이 걸렸지만, 그 세월 속에서 힘이 되고 방향을 잡아주셨던 많은 분들께 고개 숙여 감사의 말씀을 전하고자 합니다.

먼저 본 논문이 완성되기까지 세심한 지도와 많은 격려로 이끌어 주신 조무호 교수님, 논문 심사 과정에서 아낌없는 지도로 많은 가르침을 주신 현덕환 교수님, 김철수 교수님, 매 학기 마다 큰 열정으로 심도 있는 강의를 해 주신 김재원 교수님, 그리고 저를 물신양면으로 많은 도움을 주신 은사님들께 진심으로 감사드립니다.

마지막으로 항상 사랑으로 키워주시고, 부족한 저를 한결같은 맘으로 함께 해주신 부모님과 언니, 형부, 동생 그리고 옆에서 격려를 아끼지 않은 사랑하는 남편 재훈 오빠와 여우희 친구들께도 감사의 말씀을 드립니다.

언제나 제 편이 되어 힘이 되어 주시고, 바르게 생각하고 행동 할 수 있도록 가르쳐 주신 모든 분들께 누가 되지 않는 사람이 되기 위해 더욱 성장하도록 노력하겠습니다.