

LR-WPAN에서 실시간 재전송 성능분석

(Performance Analysis of Real-time Retransmission in LR-WPAN)

조 무 호*
(Moo-Ho Cho)

요 약 본 논문에서는 IEEE 802.15.4 표준에 따른 저속 무선 개인영역 네트워크 환경에서 재전송 슬롯 기반의 실시간 서비스 방식을 제안한다. 제안 방식에서는 LR-WPAN 표준의 비컨 활성화 모드에서, 음성 전송과 같은 실시간 데이터 서비스 중에 에러가 발생되면 패킷 재전송을 위한 특정한 슬롯이 다음 슈퍼프레임에 동적으로 배정된다. 이는 열악한 채널 에러 환경에서 시간적인 다이버시티를 얻을 수 있도록 하여 QoS가 보장되도록 한다. 성능분석 결과에서 제안 방식은 LR-WPAN 환경에서 기존의 공통채널 방식보다 패킷 에러에 강인하면서도 우수한 전송률을 제공하며, GTS 슬롯당 사용률이 개선됨을 알 수 있다.

핵심주제어 : 무선개인통신망, 저속무선개인통신망, 실시간데이터

Abstract In this paper, we propose a real-time service based on retransmission slot in low rate WPAN. In the proposed scheme, during the communication period of the beacon-enabled mode in LR-WPAN standard, a special GTSSs is dynamically assigned for retransmission of the packet that fails during a real-time service such as voice. This provides a time diversity in the severe channel error environments to support the required QoS. Analytical results show that this scheme achieves a much higher throughput and better transmission success rate per GTS slot than conventional schemes such as a common reserved scheme in LR WPAN.

Key Words : WPAN, LR-WPAN, QoS, GTS

1. 서 론

IEEE 802.15 워킹그룹은 단거리 무선 네트워크의 표준으로 WPAN(Wireless Personal Area Network)을 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, IEEE 802.15.4는 저속(low rate) WPAN으로 일명 지그비(ZigBee)라고도 불리며, 250Kbps 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 있다. 본 논문에서 제안하는 실시간 데이터 서비스 방식은 MAC 규격 중에서 디바이스에 독점적으로 사용하는 GTS (Guaranteed Time Slot) 채널 할당 및 관리 방법과 관련이 있다.

* 경주대학교 관광정보학과

본 논문과 관련된 기술 분야의 논문으로 IEEE 802.15.4에서 GTS의 확장 개념을 이용한 음성 통신 방식이 제안되었다[5]. 이 본문에서는 비콘 간격을 122.28ms로 하고 다수개의 GTS를 음성 통신을 하는 디바이스에 할당하는 것을 특징으로 한다. 그러나 본 제안방식과 같은 손상된 패킷에 대한 재전송 개념이 없어 QoS 제공에 문제가 있다.

참고문헌[6]에서 Eustathia Ziouva et al은 IEEE 802.11 네트워크상에서 패킷화 된 음성과 데이터 트래픽 통합에 대해서 소개하면서 지원 가능한 최대 통신 수와 데이터 전달을 위해 가용한 최소 대역폭 관점에서 성능을 분석하였다.

참고문헌[7]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 스케줄링을 포함하는 여러 개의 통합된 계층으로 구성된다. 양방향 통신을 위해 저자들은 밸런스 된 양방향 지연을 가진 TDMA(Time Division Multiple Access) 기반 슬롯 스케줄링을 채택했는데, 오디오 시간성 요구사항을 만족하기 위해서다. 그들은 IEEE 802.15.4 PHY를 사용했지만 TDMA에 기반을 둔 수정된 MAC를 선택했다.

관련 특허를 살펴보면, 기존의 IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 하는 무선통신방법에서 음성통신을 가능하게 하는 기존 기술의 하나인 "무선 개인영역 네트워크에서 음성통신을 위한 무선통신방법[8]", 및 "저속 무선 개인영역 네트워크에서 다수 음성통화를 위한 무선통신 방법 및 장치[9]" 등이 제안되었다. 그러나 이와 같은 종래의 실시간 통신 방법은 채널 에러 등의 발생시 송신하는 데이터가 깨졌을 경우 재전송을 통하여 QoS를 보장하지 못한다는 한계가 있다. 또 다른 특허로 QoS 보장을 위한 종래 기술로 무선 개인영역 네트워크에서 채널시간이 제안되었다[10].

그러나 이와 같은 기존의 QoS 보장을 위한 실시간 통신방법은 해당 슈퍼프레임 내에서 공통 슬롯을 사용하여 같은 시간대에서 에러가 발생된 프레임은 재전송하기 때문에 에러가 발생한 것과 동일한 페이딩 환경을 송수신 데이터가 겪게 되어 재전송 데이터가 또 깨질 수 있다는 점, 그리고 네트워크 이용성의 저

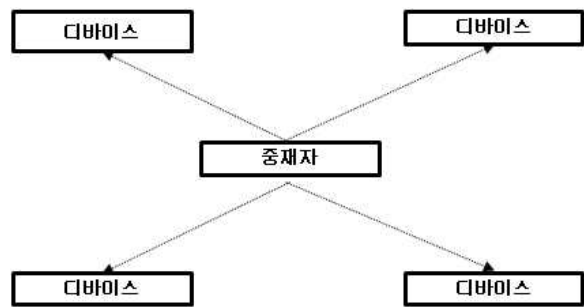
하 방식을 위해 디바이스 간 서비스의 종류가 달라야 한다는 점, 디바이스 간 자원사용의 공평성(Fairness)에 문제가 생긴다는 한계가 있다.

본 논문에서는 IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 하는 무선 개인영역 네트워크 환경에서 비콘(beacon) 활성화 모드에서 채널 에러 등의 발생시에도 QoS를 제공할 수 있는 실시간 재전송 방안에 대한 성능을 분석한다. 그리고 재전송을 위해 공통 슬롯을 별도로 배정하게 되면, 패킷 에러율은 개선되지만 이로 인해 GTS 슬롯당 사용률이 저하되는데 이에 대해서도 분석한다.

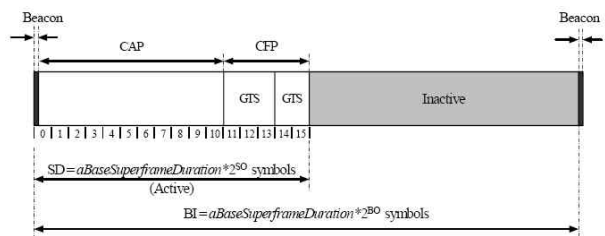
2. 실시간 재전송 통신 방식

2.1 시스템 모델

그림 1은 일반적인 무선 개인영역 네트워크의 구성을 나타내고 있다. 복수개의 디바이스들이 하나의 네트워크를 구성하며, 디바이스들 중에서 어느 하나가 중재자 코디네이터로 선정된다. 중재자는 나머지 디바이스들 동기신호인 비콘을 브로드캐스트 하여, 무선 개인영역 네트워크에 접속된 디바이스를 동기화시킨다.



<그림 1> 무선 개인영역 네트워크의 구성



<그림 2> IEEE 802.15.4 슈퍼프레임 구조

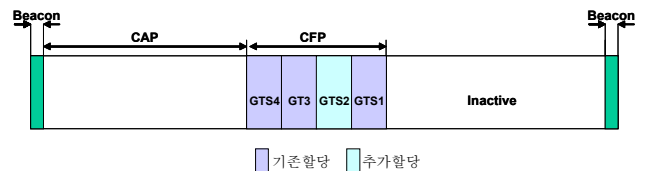
그림 2는 IEEE 802.15.4 표준에 따른 무선 개인영역 네트워크 환경에서 무선통신에 사용되는 슈퍼프레임 구성을 도시한 것이다. IEEE 802.15.4 표준에 따른 무선 개인영역 네트워크에서는 선택적으로 슈퍼프레임 모드를 운용할 수 있으며, 슈퍼프레임에서는 중재자가 사전에 예정된 간격으로 비컨을 브로드캐스트 한다. 중재자와 주변 디바이스 간에 상호 전달되는 데이터는 지그비 표준이 정의하는 슈퍼프레임 구조를 적용하게 된다. 이러한 데이터는 대기시간을 최소화하여 소모 전력을 낮추기 위하여 시간슬롯을 사용하는 GTS형의 슈퍼프레임을 적용하게 된다. 슈퍼프레임은 중재자에서 주변의 디바이스들로 전송되고, 비컨 프레임은 포함하여 16개의 시간슬롯으로 구성된다. 슈퍼프레임 중에 지정된 시간슬롯에서 교환되는 프레임들을 정보 프레임이라 하며, 중재자와 제어대상 디바이스들 간에 교환하는 정보 프레임의 종류에는 비컨 프레임, 데이터 프레임, 확인응답(ACK) 프레임, 명령어 프레임 등이 있다.

그림 2에서 지그비 표준에서 슈퍼프레임의 주기는 $aBaseSuperframeDuration * 2^n (n=0,1,2,\dots)$ 으로 변경할 수 있지만, 슈퍼프레임의 주기를 길게 할 경우 음성 통화 시 지연 현상이 발생함을 고려하여 $n=0$ 인 경우를 주로 사용한다[11]. 슈퍼프레임의 최소 가능 주기는 250Kbps 전송에서 15.36ms이며, 경쟁구간이라고 불리는 CAP (Contention Access Period)에 대하여 규격에서는 최소 220바이트 이상의 기간을 유지해 주어야 하기 때문에, 최소 주기에서 하나의 시간슬롯을 30바이트의 길이로 하면 8개 슬롯을 할당해야 한다. 이에 따라 경쟁 없이 할당되는 전용 전송구간이라고 불리는 CFP(Contention-Free Period)에 최대 7개의 슬롯을 할당할 수 있다. GTS는 한 개 이상의 시간슬롯으로 구성된다. IEEE 802.15.4에서는 250Kbps까지 데이터 전송률을 지원하여, 32Kbps 정도의 음성 데이터를 재전송해서는 단방향으로 보내는 것만이 가능하다. 그러나 IEEE 802.15.4a는 851Kbps까지 데이터 전송률을 지원하고 있어, 다양한 실시간 데이터의 전송이 가능해진다. 또한, 복수의 디바이스들 간에 실시간 서비스를 제공할 수 있고, 재전송 GTS는 복수개로 할당될 수 있다.

2.2 재전송 슈퍼프레임 구조

종래의 실시간 데이터 서비스에서는 ACK를 보내지 않지만, 본 제안방식에서는 재전송을 위해 매 프레임 전송 후 ACK를 받도록 한다. 그 이유는 무선 개인영역 네트워크에서는 프레임 에러율이 통상적으로 10% 내외인 것에 반하여, 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. 그림 3는 재전송을 위해 추가적으로 할당된 GTS 구조를 나타내고 있다. 본 제안방식에서는 예를 들어 GTS1 사용 중 데이터 프레임 에러가 발생하면, 현재 슈퍼프레임 바로 다음 슈퍼프레임에서 GTS2를 사용하여 재전송 데이터를 송신하게 된다.

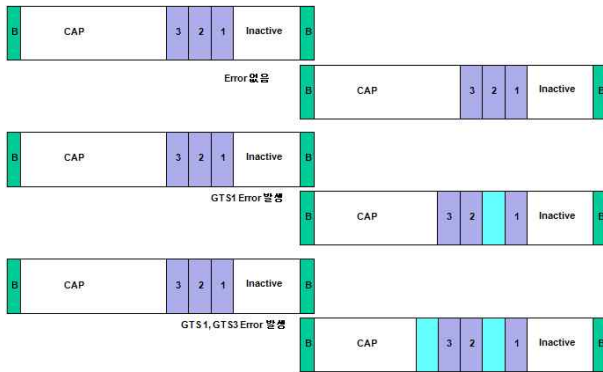
IEEE802.15.4에서는 하나의 디바이스가 하나의 송신과 수신 GTS를 할당 받기 때문에, 추가적인 GTS는 기존 할당에 연속해서 할당해야 한다. 즉, 하나의 디바이스를 위해 기 할당된 GTS1과 재전송을 위한 GTS2는 하나의 GTS인 것처럼 묶어서 할당되어야 한다.



<그림 3> 재전송 GTS 추가할당

앞서의 종래 기술에서 보았듯이, 공통슬롯 사용은 해당 슈퍼프레임에서 같은 시간대에 연속해서 사용함으로써 인해 스트리밍(streaming)성 데이터를 바로 재전송하면 지연에 취약하고, 또한 재전송 시간슬롯에서 동일 페이딩 환경을 데이터 프레임이 겪을 가능성이 높다. 이에 반해, 본 제안방식은 송신하는 데이터 프레임이 손상되면 현재의 슈퍼프레임이 아닌 그 다음 슈퍼프레임에서 데이터를 재전송하므로 시간적인 다이버시티(diversity)를 얻을 수 있어 채널 에러에 강하게 된다. 물론 이에 따라 하나의 슈퍼프레임 기간 동안 정도의 시간 지연이 생기게 된다. 그러나 이 정도

의 시간지연은 음성 서비스에서는 허용 가능한 수준이다. 그러나 MAC에서 이를 처리하기 위해서 에러 발생 시 차상위 계층에서 재전송을 지시 받아 처리하기에는 시간적으로 촉박하기 때문에, MAC 계층에서 데이터 전송 후에 프레임용을 저장하고 있다가, 에러 발생시에는 MAC 계층에서 GTS 할당 후 재전송하는 것으로 처리해야만 가능해진다.



<그림 4> 복수개 재전송 GTS 추가할당

그림 4는 복수의 디바이스들에 재전송 GTS를 할당한다는 관점에서 본 제안방식에 대해 설명한다. 그림에서 보듯이 할당된 시간슬롯 GTS1에서 GTS3까지 전송되는 데이터 프레임에서 에러가 발생하지 않으면, 다음 슈퍼프레임에 재전송 GTS를 할당하지 않는다. 이는 공동 슬롯을 사용하는 종래 기술과는 달리 불필요한 시간슬롯을 계속 할당할 필요가 없게 된다. 만약 할당된 GTS1과 GTS3에서 에러가 발생하면 에러가 발생한 GTS 만큼 재전송 GTS를 할당하게 된다. 이 경우 만약 하나의 슈퍼프레임에서 동시에 다수개의 에러가 발생할 때에는, 재전송 GTS 시간슬롯으로 할당 가능한 허용 가능한 범위까지 할당하게 된다. 즉, 만일 프레임 에러가 발생한 GTS 수보다 할당 가능한 재전송 GTS 수가 작은 경우는 재전송 GTS를 할당받지 못해서 재전송을 못하게 될 수도 있다. 할당 우선순위는 중재자인 코디네이터에서 결정하여 다음 비컨 GTS 목록에서 디바이스들에게 통보해 주게 된다. 즉, 재전송 GTS 할당여부는 매 슈퍼프레임마다 전송되는 비컨에 포함되어 전송되고, 비컨을 통해 디바이스들이 자신에게 재전송 GTS가 할당되었는지를 인지할 수 있다.

3. 성능 분석

3.1 성능분석 모델링

본 절에서는 제안방식에 대한 성능분석 모델을 수치적으로 제시하고, 기존 방식들과의 성능분석 비교 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} 라고 정의한다. 가령, 디바이스에서 중재자로 송신하는 경로의 한쪽 방향의 음성 통화 호에는 하나의 GTS가 할당되도록 GTS당 시간슬롯들을 할당한다. 이 때 동시 통화를 수행하는 디바이스들이 사용하는 GTS 개수를 N_{CC} 라고 정의한다. 그리고 통화 중인 디바이스가 전송하는 데이터 패킷이 손상될 경우에 재전송 슬롯용으로 사용되는 GTS 수는 N_{RS} 라고 정의한다. 이 때 하나의 슈퍼프레임에서 사용 가능한 GTS의 총 개수 N_{GTS} 는 아래와 같다.

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

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[12]. 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 실시간 데이터 패킷을 전송하는 경우, 디바이스들은 네트워크 내에 산재하기 때문에 디바이스들간 평균 패킷 에러율에 별 차이가 없을 것이다. 그러나 동일한 디바이스가 실시간 데이터 패킷을 전송하다가 손상된 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 손상될 가능성이 높다고 볼 수 있다. 이를 인접 GTS 간 상관도, $C_g(t)$ 라 정의하며, 지수분포를 따른다고 가정하면 아래의 식과 같이 표현할 수 있다.

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

여기서, m 은 상관도 인자를 의미하며, m 이 작을수록 GTS간 상관도가 높다고 할 수 있다. t 값은 실시간 데이터용으로 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, $P_{gr}(t)$ 은 아래의 식과 같이 정의 할 수 있다.

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

실시간 데이터를 할당 받은 GTS로 전송하고 실패 시 재전송 GTS로 전송하는 경우의 전송 성공확률은 상기의 식(2), (3)을 이용하여 구할 수 있는데, 실시간 데이터 전송 대비 성공확률, $T_s(t)$ 는 아래의 식과 같이 정의될 수 있다.

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

상기 식(4)에서는 디바이스가 재전송시 재전송 GTS를 무조건 할당 받을 수 있다는 전제하에서 실시간 데이터 전송 대비 성공확률을 의미하는 것이다. 만일, 동시 통화중인 디바이스의 GTS가 재전송 GTS 수보다 큰 경우에는 재전송을 위한 GTS를 획득하지 못하여 재전송을 못하는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우에 중재자 코디네이터가 정책에 따라 우선순위를 부여하여 디바이스에게 할당할 수 있지만, 본 연구에서는 성능분석을 위해 재전송 GTS는 디바이스의 번

호에 따라 획득 순위가 정해지는 것으로 가정 한다. 이에 따라 재전송 GTS 획득 확률은 디바이스들 간의 순위를 고려하여 구하여야 한다. 디바이스 순위를 i 라고 가정하면, i 가 N_{RS} 보다 작거나 같은 경우는 항상 재전송 GTS를 획득할 수 있다. 만약 디바이스 순위 i 가 N_{RS} 보다 큰 경우에는 순위가 i 번째 전인 $i-1$ 개의 디바이스 중 N_{RS} 보다 적은 수의 디바이스가 전송 실패로 재전송 GTS를 획득하여 사용하고 있는 경우에만 i 번째 디바이스는 재전송 GTS를 획득할 수가 있다. 이 경우 디바이스 순위 i 번째 디바이스의 재전송 GTS 획득 확률을 $P_{RS}(i)$ 라 하면 아래의 식과 같이 정의될 수 있다.

$$P_{RS}(i) = \sum_{j=0}^{N_{RS}-1} \binom{i-1}{j} (1 - P_g)^{(i-j-1)} * P_g \quad (5)$$

여기서, N_{RS} 는 1개 이상인 것으로 가정한다. $\binom{i-1}{j}$ 는 순서 구분 없이 $i-1$ 개 중에서 j 개를 뽑는 경우의 수를 의미한다. 앞서 언급한 바와 같이 i 가 N_{RS} 보다 작거나 같은 경우는 $P_{RS}(i)$ 는 1이 된다.

상기 식(5)의 $P_{RS}(i)$ 를 고려한 실시간 데이터 전송 대비 성공확률, $T_{RS}(t, i)$ 는 아래의 식과 같이 정의될 수 있다.

$$T_{RS}(t, i) = (1 - P_g) \\ + P_{RS}(i) * (1 - P_{gr}(t)) * P_g \quad (6)$$

N_{CC} 전체 디바이스의 평균 실시간 데이터 전송 대비 성공확률, $T_{RS}(t)$ 는 아래의 식과 같이 정의될 수 있다

$$T_{RS}(t) = \sum_{j=1}^{N_{cc}} T_{RS}(t, j) \quad (7)$$

참고문헌 [5],[10]에 나와 있는 WPAN 환경에서 실시간 데이터 통신을 위한 기술들과의 비교를 위해 성능분석 파라미터들을 정의한다. 기존 연구의 하나인 참고문헌 [10]에서는 공통슬롯을 디바이스들 간에 재

전송용으로 나누어 쓰는 것을 가정하고 있는데, 이 경우에 대해 실시간 데이터 전송 대비 성공확률을 구한다. 공통 슬롯을 우선순위가 높은 디바이스가 사용하는 바로 다음 GTS를 사용하기 때문에 식 (2)에서 인접 GTS간 상관도는 $C_g(1) = e^{-m}$ 된다. 이를 식(3)에 넣어 공통 슬롯 GTS의 데이터 패킷의 평균 에러율, $P_{gr}(1)$ 을 구하면 아래와 같다.

$$P_{gr}(1) = e^{-m} + (1 - e^{-m}) * P_g \quad (8)$$

상기 식(5), (8)를 이용하면 공통슬롯 방식에서의 $P_{RS}(i)$ 를 고려한 실시간 데이터 전송 대비 성공확률 $T_{CS}(1, i)$ 를 구할 수 있는데, 아래의 식과 같이 정의될 수 있다.

$$T_{CS}(1, i) = (1 - P_g) + P_{RS}(i) * (1 - P_{gr}(1)) * P_g \quad (9)$$

공통슬롯 방식에서의 N_{CC} 전체 디바이스의 평균 실시간 데이터 전송 대비 성공확률, $T_{CS}(t)$ 는 아래의 식과 같이 정의될 수 있다.

$$T_{CS}(t) = \sum_{j=1}^{N_{cc}} T_{CS}(1, j) \quad (10)$$

참고문헌 [10]의 공통슬롯 방식은 식(2)에 명시된 인접 GTS간 상관도, $C_g(t)$ 값이 상대적으로 높아 제안방식 보다 재전송 GTS의 데이터 패킷의 평균 에러율 $P_{gr}(t)$ 이 높아 실시간 데이터 전송 대비 성공확률은 낮아지게 될 것이다. 기존 연구의 하나인 참고문헌 [5]는 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.

$$T_{non} = (1 - P_g) \quad (11)$$

이하에서는 GTS 슬롯당 사용율(throughput) 관점에서 살펴보기로 한다. 먼저, 제안방식에서의 할당된

GTS 슬롯당 사용율을 구한다. 디바이스의 순위 i 번째 디바이스의 GTS 슬롯 서비스율 $U_{RS}(i)$ 는 아래의 식으로 표현될 수 있다.

만약 $i > N_{RS}$

$$U_{RS}(i) = \frac{1}{(1 + P_g * P_{RS}(i))} \quad (12)$$

만약 $i \leq N_{RS}$

$$U_{RS}(i) = \frac{1}{(1 + P_g)} \quad (13)$$

N_{CC} 전체 디바이스에 의한 평균 슬롯 서비스율 U_{RS} 는 아래의 식과 같이 정의될 수 있다.

$$U_{RS} = \sum_{j=1}^{N_{cc}} \frac{U_{RS}(j)}{N_{CC}} \quad (14)$$

기존방식인 공통슬롯 방식에서의 평균 슬롯서비스율 U_{CS} 는 아래와 같다

$$U_{CS} = \frac{N_{CC}}{N_{CC} + N_{RS}} \quad (15)$$

기존방식인 별도의 재전송 GTS가 없는 경우에 평균 슬롯서비스율 $U_{non} = 1$ 이다. 본 논문에서는 음성과 같은 실시간 서비스를 고려하므로, 비록 데이터가 깨어지기는 하지만 슬롯의 점유는 100%라고 가정한다. 제안 방식에서의 슬롯당 성공적인 음성 데이터 전송율 S_{RS} 은 아래의 식과 같이 정의될 수 있다.

$$S_{RS} = T_{RS}(t) * U_{RS} \quad (16)$$

기존방식인 공통슬롯 방식에서의 슬롯당 성공적인 음성 데이터 전송율 S_{CS} 는 아래의 식과 같이 정의될 수 있다.

$$S_{CS} = T_{CS}(t) * U_{CS} \quad (17)$$

기존방식인 별도의 재전송 GTS가 없는 경우에 슬롯당 성공적인 음성 데이터 전송율 S_{non} 는 아래의 식

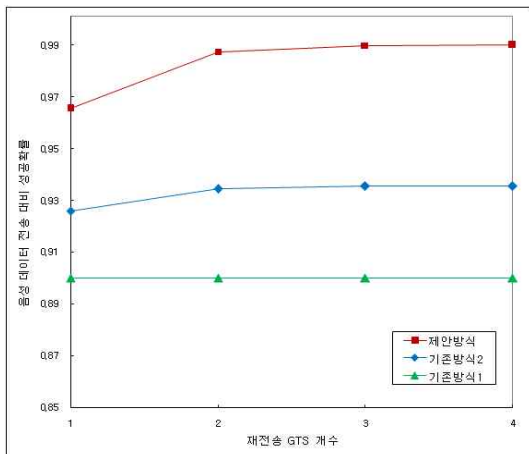
과 같이 정의될 수 있다.

$$S_{non} = T_{non} * U_{non} \quad (18)$$

3.2 성능분석 결과

본 제안방식을 기존의 재전송 슬롯이 없는 경우(기존방식1), 공통 슬롯을 동일 슈퍼프레임에서 사용하는 경우(기존방식2)와 비교하여 성능분석을 수행한다. 성능분석을 위해서 아래와 같이 시스템 파라미터 값들을 가정한다.

- 사용 가능한 GTS 수, N_{GTS} : 5
- 실시간 호에 할당되는 GTS 수, N_{CC} : 4
- 데이터 패킷의 평균 에러율, P_g : 10 %
- 인접 GTS간 상관도 인자 m : 0.5

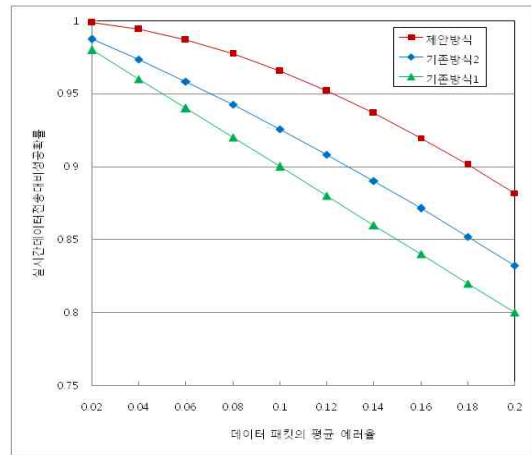


<그림 5> 재전송 GTS 개수 변화에 따른 음성 데이터 전송 대비 성공확률

그림 5는 재전송 GTS의 개수에 따른 제안 방식과 기존 방식의 음성 데이터 전송 대비 성공확률, $T_{RS}(t)$ 를 도시한 것이다. 그림 5에서 보듯이 제안방식과 기존방식2는 재전송 GTS 개수가 증가할수록 음성 데이터 전송 대비 성공확률은 증가하며 그 차이는 점점 벌어지는 것을 알 수 있다.

그림 6에서는 데이터 패킷의 평균 에러율 변화에 따른 제안 방식과 기존 방식의 실시간 데이터 전송 대비 성공확률, $T_{RS}(t)$ 를 도시한 것이다. 데이터 패킷

의 평균 에러율이 증가할수록 실시간 데이터 전송 대비 성공확률은 모든 방식에서 떨어지는 것을 알 수 있다. 그림에서 보듯이 데이터 패킷의 평균 에러율이 커질수록 제안방식이 재전송 슬롯이 없는 기존 방식1과 동일 슈퍼프레임내의 공통슬롯을 사용하는 기존방식2에 비해 보다 더 우수함을 알 수 있다. 그러나, 데이터 패킷의 평균에러율이 작은 경우에는 재전송의 필요성이 줄어들게 되어 제안방식과 기존방식1,2와의 차이는 줄어드는 것을 알 수 있다.

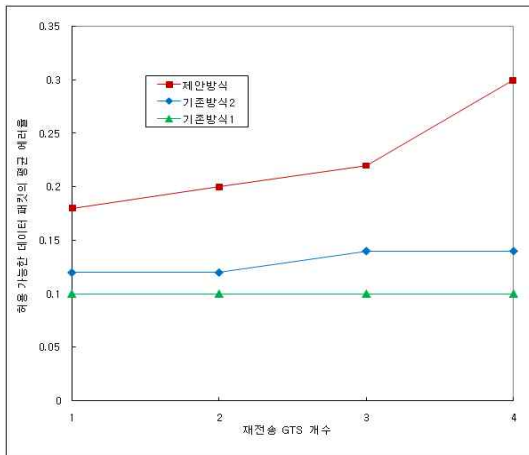


<그림 6> 데이터 패킷의 평균 에러율 변화에 따른 실시간 데이터 전송 대비 성공확률($N_{RS}=1$)

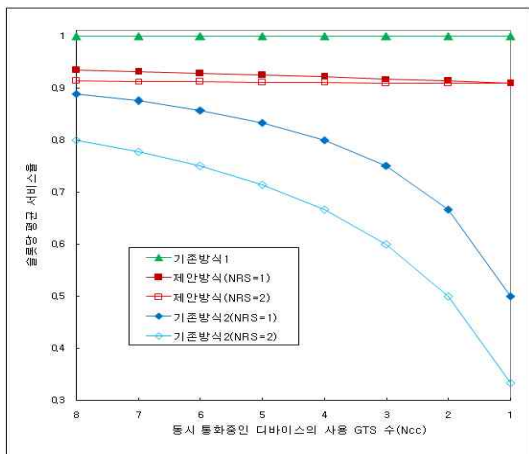
만일 실시간 데이터 전송 대비 성공확률을 90%이내인 환경으로 제한한다면, 제안방식은 데이터 패킷의 평균 에러율이 18%일 때까지도 QoS 보장이 가능하지만, 기존방식1의 경우는 데이터 패킷의 평균 에러율이 10%일 때 까지만 가능하고, 기존방식2의 경우에는 데이터 패킷의 평균 에러율이 12%일 때 까지만 가능하기 때문에, 제안방식이 우수함을 알 수 있다.

그림 7은 음성 데이터 전송 대비 성공확률의 목표 달성을 위해 요구되는 재전송 슬롯의 개수에 대해서 살펴본다. 그림 7에서 보듯이 목표치를 90%로 가정할 경우에, 각 방식 별로 재전송 GTS 개수에 따른 허용 가능한 데이터 패킷의 평균 에러율은 기존방식1은 재전송 GTS 개수에 상관없이 10%만 허용가능하고, 기존방식2는 재전송 GTS 개수가 1~2인 경우 12%, 3~4인 경우 14%까지 각각 허용가능하고, 제안방식은

재전송 GTS 개수가 1~4로 변할 때, 18%, 20%, 22%, 30%로 각각 증가되어 우수한 것을 알 수 있다.



<그림 7> 재전송 GTS 개수에 따른 허용 가능한 데이터 패킷의 평균 에러율

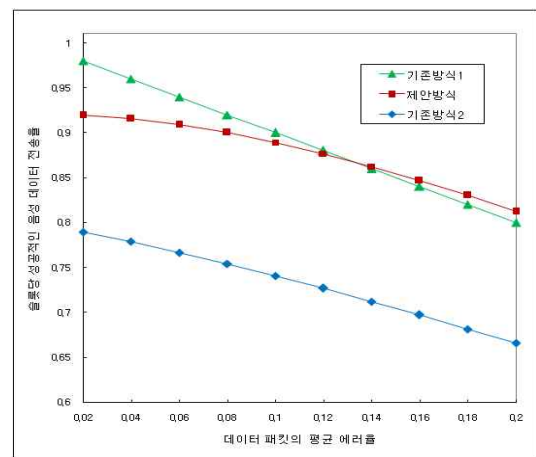


<그림 8> 동시 통화중인 디바이스들의 GTS 개수에 따른 슬롯당 평균서비스율

그림 8은 동시 통화중인 디바이스들의 사용 GTS 수(N_{CC})의 변화에 따른 슬롯당 평균서비스율에 대해서 도시한 것이다. 그림 8에서 보듯이, 재전송 슬롯 수인 N_{RS} 의 값이 작을수록 서비스에서 제외되는 슬롯을 할당할 필요가 없으므로 슬롯 서비스율은 증가하게 된다. 또한 동시 통화중인 디바이스의 사용 GTS 수가 많을수록 재전송할 확률이 증가해 슬롯 서비스율은 증가하게 된다. 슬롯 서비스율 관점에서는 기존방식1이 가장 우수한 것으로 나오는데, 그 이유는 별

도의 재전송 슬롯을 할당하지 않기 때문에 슬롯당 서비스율이 더 좋은 것이다. 재전송 슬롯을 할당하는 기존방식2와 제안방식을 비교하여 볼 때, 제안방식이 동시통화중인 디바이스의 사용 GTS 수 전체적으로 더 우수하며, 특히 GTS 수가 작을수록 더 슬롯당 평균 서비스율에 차이가 크다. 그 이유는 기존방식2는 슈퍼프레임에 상관없이 일정하게 재전송 슬롯을 할당하는 방식이고, 본 제안방식은 슈퍼프레임마다 재전송 슬롯 할당 여부를 결정하여, 불필요한 경우에는 재전송 슬롯을 할당하지 않기 때문에 더 슬롯 사용 효율이 높게 나오는 것이다.

그림 9는 데이터 패킷의 평균 에러율 대비 슬롯당 성공적인 음성데이터 전송율에 대해서 도시한 것이다. 그림 9에서 보듯이, 데이터 패킷의 평균 에러율이 12% 이하인 경우에는 기존방식1이 가장 우수한 슬롯당 성공적인 음성 데이터 전송율을 나타내며, 데이터 패킷의 평균 에러율이 12% 이상으로 높아지는 환경에서는 제안방식이 가장 우수한 것으로 나타났다. 전파 환경이 열악한 10%이상의 데이터 패킷의 에러율 발생 경우에는 기존방식1을 사용하기 어려우나, 제안방식은 WPAN과 같은 열악한 전파 환경에서 더 우수한 성능을 가지는 것으로 볼 수 있다.



<그림 9> 데이터 패킷의 평균 에러율 대비 슬롯당 성공적인 음성데이터 전송율($N_{RS}=1$)

4. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 하는 무선 개인영역 네트워크 환경에서 비컨 활성화 모드에서 채널 에러 등의 발생시에도 QoS를 제공할 수 있는 재전송 슬롯 기반의 실시간 데이터 통신 방식에 대해 연구를 수행 하였다. 제안방식의 성능분석결과, 실시간 데이터 전송시 손상된 데이터 패킷과 재전송 데이터 패킷 간에 시간적인 다이버시티가 있어서 GTS간 상관도가 낮아지게 되고 이에 따라 재전송 GTS의 데이터 패킷의 평균 에러율 관점에서 제안방식이 기존 방식에 비해 우수하게 된다. 만일 실시간 데이터 전송 대비 성공확률을 90%인 환경으로 제한한다면, 제안방식이 데이터 패킷의 평균 에러율이 18%인 경우까지도 가능하기 때문에, WPAN과 같은 열악한 채널 환경에서는 QoS를 보장해 주기 위해서 제안방식이 우수함을 알 수 있다. 그러나 재전송 방법을 사용하게 되면 별도의 GTS 슬롯들을 재전송을 위해 배정해야 하기 때문에 GTS 슬롯당 사용률이 저하되게 된다. 제안방식은 슈퍼프레임마다 재전송 슬롯 할당 여부를 결정하여, 불필요한 경우에는 재전송 슬롯을 할당하지 않기 때문에 기존의 고정적으로 공통슬롯을 배정할 때보다 GTS 슬롯당 사용률이 개선된다. 본 제안 방식을 사용하게 되면 목표로 하는 실시간 데이터 전송 대비 성공확률 하에서 허용되는 데이터 패킷의 평균 에러율이 기존 방식에 비해 낮아서 QoS를 보장해 줄 수 있는 디바이스의 서비스 영역을 확대할 수 있게 되는 장점이 있다.

참 고 문 헌

- [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] 김지훈, 황광일, 엄두섭, "Voice communication using Extended Concept of GTS in IEEE 802.15.4", 한국통신학회 하계종합학술발표회, 2007.07.
- [6] 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.
- [7] Rahul Mangharam, Anthony Rowe, Raj Rajkumar, and Ryohei Suzuki. "Voice over sensor network," IEEE Real-Time System Symposium, 2006.
- [8] 무선 개인영역 네트워크에서 음성통신을 위한 무선통신방법, 공개번호 10-2005-0029515.
- [9] 저속 무선 개인영역 네트워크에서 다수 음성통화를 위한 무선통신 방법 및 장치, 공개번호 10-2006-0108573.
- [10] 무선 개인영역 네트워크에서 채널시간 할당방법, 등록번호 10-0579525.
- [11] Haritha Phalgun, "The effect of voice packet size on end-to end delay in 802.11b networks," University of Pittsburgh, April 2003.
- [12] 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.



조 무 호 (Moo Ho Cho)

- 종신회원
- 경북대학교 전자공학과 공학사
- 청주대학교 전자공학과 공학석사
- 충북대학교 정보통신학과 공학박사
- 경주대학교 관광정보학과 부교수
- 관심분야 : WPAN, WLAN, 트래픽모델링