

IEEE 802.15.3 고속을 무선 팬을 위한 주기적인 유사 정적 채널 시간 할당 방법

김선명^{1†}

Periodic and Pseudo-static Channel Time Allocation Scheme for IEEE 802.15.3 High-Rate Wireless PANs

Sunmyeng Kim

ABSTRACT

In wireless personal area networks (WPANs), the successful design of channel time allocation algorithm is a key factor in guaranteeing the various quality of service (QoS) requirements for the stringent real-time constraints of multimedia services. In this paper we propose a channel time allocation algorithm for achieving a high quality transmission and high channel error tolerance of MPEG stream in the IEEE 802.15.3 high-rate wireless PANs. Our algorithm exploits the characteristics of MPEG stream. When a new MPEG stream arrives, a DEV models it by the traffic envelope and delivers the traffic envelope to the piconet coordinator (PNC) along with the channel time request. The PNC performs channel time allocation according to the envelope. Performance of the proposed scheme is investigated by simulation and analysis. Our results show that compared to conventional scheme, the proposed scheme is very effective and provides a good performance under typical channel error conditions.

Key words : Channel time allocation, MPEG, WPAN

요약

무선 팬에서 좋은 채널 시간 할당(Channel time allocation) 알고리즘을 개발하는 것은 실시간 멀티미디어 서비스가 요구하는 다양하고 엄격한 QoS(Quality of service) 요구사항을 보장하는데 있어 가장 중요한 요소 중 하나이다. 본 논문에서는 IEEE 802.15.3 고속을 무선 팬에서 MPEG 스트림을 전송하는데 있어 높은 품질을 제공하고 높은 채널 에러에 대해서도 품질을 유지할 수 있는 주기적인 유사 정적(Pseudo-static) 채널 시간 할당 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 MPEG 스트림의 특성을 이용한다. 새로운 MPEG 스트림이 도착하면 DEV(Device)는 트래픽 정보(Traffic envelope)를 모델링한 후에 채널 시간 요청을 통해 PNC(Piconet coordinator)로 트래픽 정보를 전송한다. PNC는 수신한 트래픽 정보에 기반하여 DEV에게 채널 시간 할당을 수행한다. 제안된 방법의 성능은 시뮬레이션과 수치적 분석을 통하여 다른 방법과 비교 분석한다. 비교 분석결과, 제안된 방법이 일반적인 채널 에러 환경에서 좋은 성능을 보이고 매우 효과적임을 확인하였다.

주요어 : 채널 시간 할당, MPEG, WPAN

1. 서론

IEEE 802.15.3 표준은 홈 네트워크 등을 위해 무선팬 내에 있거나 새로 진입하는 DEV(Device)들 간에 고속의 데이터율과 낮은 복잡성, 낮은 비용, 낮은 전력 소모를 제공하기 위해 만들어졌다^[1]. IEEE 802.15.3 표준은 피코넷(Piconet) 단위로 동작한다. 피코넷은 수많은 독립적인 DEV들이 서로간의 통신이 가능한 무선 애드혹(Ad hoc)

* 본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임.

2008년 10월 23일 접수, 2008년 12월 6일 채택

¹⁾ 금오공과대학교 컴퓨터공학부

주저자: 김선명

교신저자: 김선명

E-mail: sunmyeng@kumoh.ac.kr

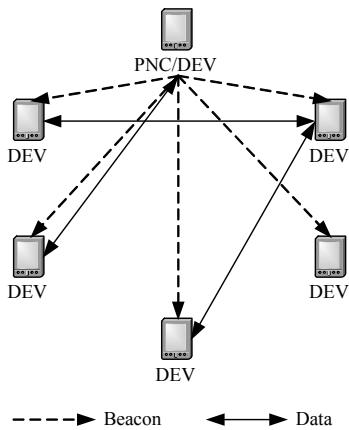


그림 1. 피코넷의 기본 동작

통신 시스템이다. 그림 1에서 보인 것처럼 IEEE 802.15.3 피코넷은 여러 장치들로 구성된다. 가장 기본적인 장치는 DEV이다. 하나의 DEV는 피코넷에서 PNC(Piconet coordinator)의 역할을 수행한다.

피코넷에 있는 많은 DEV들은 PNC의 제어 하에 무선 자원을 공유한다. PNC는 무선 팬에 기본적인 타이밍(Timing)을 제공할 뿐만 아니라 무선 팬의 QoS 관리도 수행한다. IEEE 802.15.3 피코넷에서의 타이밍은 수퍼프레임(Superframe) 구조에 근거한다. 수퍼프레임은 비콘(Beacon)과 CAP(Contention access period), CTAP(Channel time allocation period)로 구성된다. 비콘은 피코넷에 타이밍 할당을 설정하고 관리 정보를 전달하기 위하여 사용된다. 현재 수퍼프레임을 위한 관련 정보들은 비콘을 통해 브로드캐스트된다. CAP은 명령과 비동기 데이터를 전송하기 위해 사용될 수 있다. CTAP는 여러 개의 CTA(Channel time allocation)로 구성되며 CTA는 명령이나 동기, 비동기 데이터를 위해 사용된다. CTAP에서 PNC는 고정된 시작시간과 기간 정보를 통하여 각 DEV에게 CTA를 할당함으로써 채널 접근을 제어한다. CTA에는 동적(Dynamic) CTA와 유사 정적(Pseudo-static) CTA로 나뉘어진다. PNC는 수퍼프레임 단위로 수퍼프레임 내에서의 동적 CTA 위치를 변경할 수 있다. 그러므로 동적 CTA는 채널의 이용율을 최적화하기 위해 할당된 CTA의 위치를 조절할 수 있는 유연성을 제공한다. PNC가 유사 정적 CTA의 위치나 기간을 변경할 경우에는 $mMaxLostBeacons$ 개의 비콘 프레임 동안에는 계속해서 관련 정보 변경없이 DEV에게 유사 정적 CTA를 할당한다. 동적 CTA가 할당된 DEV가 비콘을 수신하지 못하면 CTA의

시작시간과 기간을 알 수 없어 그 DEV에게 할당된 채널 시간을 사용할 수 없다. 손실된 비콘으로 인한 성능 감소를 최소화하기 위해 DEV는 유사 정적 CTA를 통한 채널 시간 할당을 PNC에게 요청할 수 있다. 유사 정적 CTA가 DEV에 할당되면 $mMaxLostBeacons$ 개의 비콘 프레임 손실동안 할당된 채널 시간을 계속해서 사용할 수 있다. CTA 율(Rate)은 서브율(Sub-rate)과 수퍼율(Super-rate) 두 가지로 나뉘어진다. 서브율 CTA는 $n(n>1)$ 개의 수퍼프레임마다 단지 한번만 할당되는 것이고 수퍼율 CTA는 매 수퍼프레임마다 한번 이상 할당되는 것이다.

MPEG 스트림과 같은 멀티미디어 트래픽은 고속을 무선 팬에서 활용되는 가장 중요한 트래픽 중 하나로 여러 시간 스케일에서 버스트한 특징을 보이면서 엄격한 지연과 손실 성능을 요구하기 때문에 관리하기가 쉽지 않다. MPEG 스트림의 계층적인 구조는 MPEG 스트림의 전송을 어렵게 만든다^[2,3]. 적은 MPEG 프레임 손실도 매우 큰 MPEG 프레임 에러율을 유발할 수도 있다. 이런 상황은 DEV가 인지하는 서비스 품질을 매우 떨어뜨릴 뿐만 아니라 목적지 DEV에게 필요 없는 정보를 전달하기 위해 네트워크 자원을 낭비할 수도 있다. 수신한 데이터의 일부는 종속관계를 갖는 MPEG 프레임의 손실로 인해 필요 없는 데이터가 될 수 있다. 그러므로 엄격한 QoS를 보장해야 하는 MPEG 스트림의 전송은 무선 팬 환경에서 해결해야 할 문제 중 하나이다^[4].

고속을 무선 팬에서 QoS를 보장하기 위해 여러 가지의 채널 시간 할당 알고리즘이 제안되었다^[6-9]. Rhee는 MPEG 프레임의 순서에 따라 소스 DEV을 위한 CTA의 크기를 PNC가 동적으로 할당하는 AAM(Application aware MAC) 방법을 제안하였다^[6]. 채널 시간을 요청하기 전에 DEV는 자신의 I-, P-, B-프레임 각각의 최대 크기를 바이트 단위로 찾고 전체 프레임을 전송하기 위한 시간을 계산한다. DEV는 채널 시간 요청을 통해 이 정보를 PNC로 전달한다. PNC는 MPEG 스트림의 구조에 따라 다른 크기의 CTA를 할당한다. Choi는 QoS 요구사항을 갖는 트래픽에 대해 효과적이고 관련 연구가 많이 수행된 WFQ(Weighted fair queueing) 알고리즘을 채널 시간 할당에 적용한 WFCTA(Weighted fair channel time allocation) 방법을 제안하였다^[7]. WFCTA 방법은 다음 두 가지 사항의 조합에 따라 네 가지 알고리즘이 제안되었다. 첫째, CTA의 계산과 스케줄링을 어디에서 수행할 것인가? 각 DEV로부터 전송된 가중치를 가지고 PNC가 수행할 것인지(중앙 방법) 수신된 모든 가중치를 각 DEV에게 전송하여 각 DEV에서 수행할 것인지(분산 방법). 둘째, 가중치

(Weight)의 갱신을 언제 수행할 것인가? 갱신된 CTA가 현재 수퍼프레임을 통해 DEV에게 알릴 것인지 각 수퍼프레임의 비콘을 통해 알릴 것인지. Chin은 VBR(Variable bit rate) 트래픽을 지원하고 CTA의 활용율을 증가시키기 위해 경쟁 없이 한 DEV에게 할당된 CTA를 다른 DEV가 이용할 수 있도록 하는 CTA 멀티플렉싱 방법을 제안하였다^[8]. 이는 VBR 트래픽의 통계적인 특징을 이용한다. 우선 PNC는 각 DEV에게 스트림의 평균율(Mean rate)에 따라 CTA를 할당한다. DEV는 전송할 데이터가 있으면 할당된 CTA에서 전송한다. 전송할 데이터가 없거나 전송 후 여전히 CTA가 다 사용되지 않고 남으면 이를 PNC에게 알린다. PNC는 사용되지 않은 CTA를 어느 DEV에게 할당할 것인지를 주어진 기준에 따라 결정하고 선택된 DEV에게 알려 이 단말이 사용되지 않은 CTA 동안에 데이터 패킷을 전송할 수 있게한다.

위에서 기술한 것처럼 다양한 채널 시간 할당 알고리즘이 제안되었지만 모두 동적 CTA를 이용하여 자원을 할당하기 때문에 여전히 문제점을 가지고 있다. 즉, 채널 에러 환경에서는 비콘의 손실 때문에 기존에 제안된 알고리즘의 성능이 감소한다. 본 논문에서는 채널 에러 환경에서도 QoS 요구사항을 제공하기 위해 MPEG 스트림의 주기적인 특징과 유사 정적 CTA를 이용하는 주기적인 유사 정적 CTA(PPCAT: Periodic and Pseudo-static CTA) 방법을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 MPEG 스트림의 특징에 대해서 간단히 기술하고 3장에서는 제안된 PPCTA 방법을 구체적으로 설명하고 4장에서는 제안된 방법의 수치적 분석을 한다. 5장에서 시뮬레이션과 수치적 분석을 통해 성능을 비교 분석하고 6장에서 결론을 맺는다.

2. MPEG 스트림의 특징

MPEG 인코더는 서로 다른 세 가지의 프레임 종류를 생성한다^[10]. 즉, I(Intra-coded), P(Predictive), B(Bidirectional) 프레임이다. 일반적으로 I 프레임이 가장 많은 트래픽을 생성하고 그 다음이 P 프레임, 마지막이 B 프레임이다. 세 가지의 MPEG 프레임 종류는 사전에 정의된 GOP(Group of Picture) 구조에 따라 생성된다. MPEG 인코더는 주어진 비디오 순서에 따라 모든 MPEG 프레임을 압축하기 위해 같은 GOP 구조를 반복적으로 사용한다. 주기적인 I 프레임은 코드화된 비트 스트림에 임의의 접근이

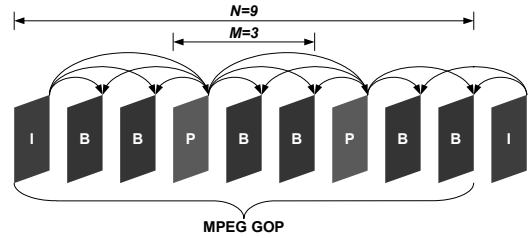


그림 2. 종속관계를 갖는 GOP 구조 예

가능하게 한다. GOP 구조는 두 개의 파라미터 (N, M)에 의해 정의된다. N은 연속적인 두 I 프레임간의 프레임 수이고 M은 I 프레임과 다음에 나오는 P 프레임간 또는 연속적인 P 프레임간의 프레임 수이다. GOP 구조는 N은 M의 배수라는 일반적인 속성을 갖는다.

I 프레임은 다른 MPEG 프레임을 독해하는데 있어 가장 중요하다. I 프레임을 손실하면 손실된 MPEG 프레임을 포함하여 GOP에 있는 모든 MPEG 프레임 또한 손실된다. I 프레임이 중요한 만큼 P 프레임도 중요하다. P 프레임을 손실하게 되면 GOP 구조상에서 손실된 P 프레임을 포함하여 P 프레임 전의 B 프레임들과 다음에 나오는 모든 MPEG 프레임 또한 손실된다. 그러나 B 프레임은 다른 MPEG 프레임에 대한 손실 영향을 주지 않는다. MPEG 프레임을 독해하는데 있어 종속관계를 갖는 계층적인 GOP 구조를 그림 2에 도시하였다. 그림 2에서 화살표는 종속관계를 나타낸다.

3. 제안된 PPCTA 방법

본 장에서는 채널 에러 환경에서도 MPEG 스트림에 대하여 QoS를 보장할 수 있는 방법을 제안한다.

채널 에러 환경에서 비콘 손실로 인한 성능 감소를 줄이기 위해서는 MPEG 스트림은 유사 정적 CTA를 이용하여 채널 시간이 할당되어야 한다. 그러나 I, P, B프레임이 각각 다른 크기를 갖기 때문에 전처리 작업 없이는 유사 정적 CTA를 할당하는 것이 쉽지 않다. 비콘이 손실되더라도 계속적으로 할당되기 위해서는 유사 정적 CTA는 일정한 기간과 주기를 가져야 한다. 본 논문에서는 MPEG 스트림을 유사 정적 CTA에 할당하기 위해 프레임을 일정한 기간과 주기를 갖는 여러 개의 작은 프레임으로 나눈다.

제안된 방법의 동작 과정을 간단히 설명하면 다음과 같다.

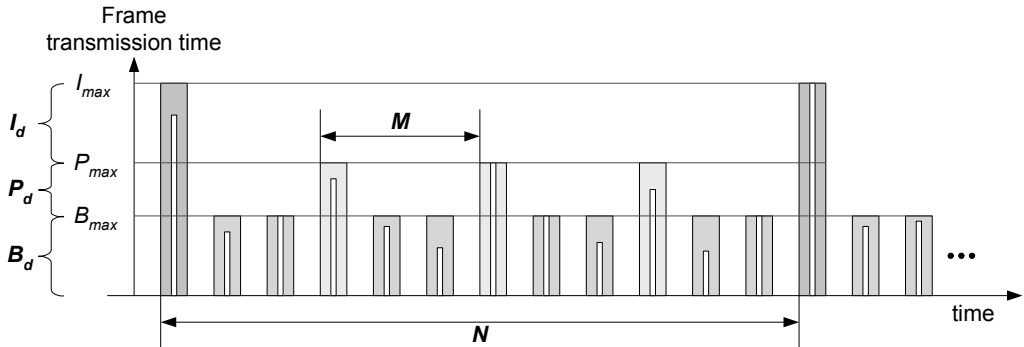


그림 3. GOP 구조 ($N=12, M=3$)를 갖는 MPEG 스트림의 트래픽 정보 모델 예

- 단계 1: 새로운 MPEG 스트림을 갖는 DEV는 각 프레임의 크기 및 지연한계(Delay bound), GOP 구조 정보를 이용하여 모델링한다.
- 단계 2: DEV는 모델링한 트래픽 정보를 PNC로 전송하여 CTA 할당을 요청한다.
- 단계 3: PNC는 유사 정적 CTA 할당 테이블을 유지 관리해야 하는데 DEV로부터 새로운 MPEG 스트림에 대한 요청이 있을 시 몇 개의 수퍼프레임에 대해서 할당 테이블을 유지해야 하는지 결정해야 한다. 테이블의 크기는 DEV가 모델링하여 전송한 트래픽 정보 중 GOP 구조 정보를 이용하여 계산한다.
- 단계 4: CTA 할당 테이블에서 I 프레임의 할당 위치를 결정한다. 이는 I 프레임의 크기가 가장 크기 때문에 I 프레임이 CTA 할당 테이블의 몇 번째 수퍼프레임부터 할당되는가에 따라 할당될 수 있는 MPEG 스트림의 수가 달라진다. 즉, 많은 스트림의 I 프레임이 같은 위치에 할당되면 PNC가 서비스할 수 있는 MPEG 스트림의 수는 줄어들기 때문에 I 프레임의 할당 위치를 CTA 할당 테이블 내에서 고르게 분산시켜야 한다.
- 단계 5: PNC는 기존 MPEG 스트림의 QoS를 만족시키면서 새로운 스트림의 QoS도 만족시킬 수 있는지를 판단하여 새로운 스트림에 대한 서비스 여부를 결정한다.
- 단계 6: PNC는 서비스하기로 결정한 새로운 스트림에 대하여 유사 정적 CTA를 할당한다.

위에서 기술한 동작 과정의 각 단계에 대하여 구체적으로 설명하면 다음과 같다. 새로운 MPEG 스트림이 DEV에 도착하면, DEV는 트래픽 정보(Traffic envelope)를 모델링한다. i 번째 MPEG 스트림을 위한 트래픽 정보 모델

E_i 는 다음과 같이 6-튜플(Tuple)로 파라미터화된다.

$$E_i = (I_d^i, P_d^i, B_d^i, N^i, M^i, D^i). \quad (1)$$

여기에서 I_d^i 는 I_{max}^i 와 P_{max}^i 의 전송 시간 차이이고(즉, $I_d^i = I_{max}^i - P_{max}^i$), P_d^i 는 P_{max}^i 와 B_{max}^i 의 전송 시간 차이이고(즉, $P_d^i = P_{max}^i - B_{max}^i$), B_d^i 는 B_{max}^i 이다. $I_{max}^i, P_{max}^i, B_{max}^i$ 는 I, P, B 프레임 각각에서의 최대 전송 시간을 나타낸다($I_{max}^i \geq P_{max}^i \geq B_{max}^i$). 파라미터 N^i 와 M^i 는 i 번째 MPEG 스트림의 GOP 구조의 값을 나타낸다. D^i 는 MPEG 프레임의 지연한계이다. 위와 같이 MPEG 프레임을 나눔으로써 I_d^i, P_d^i, B_d^i 는 각각 일정한 크기와 주기 $N^i, M^i, 1$ 을 가짐을 알 수 있다. 결과적으로 제안한 방법은 MPEG 스트림을 유사 정적 CTA에 할당할 수 있다. MPEG 스트림을 위한 트래픽 정보 모델의 예를 그림 3에 도시하였다.

식 (1)을 이용하여 MPEG 스트림을 모델링한 후에 DEV는 새로운 MPEG 스트림을 위한 채널 시간 할당을 PNC로 요청한다.

MPEG 스트림에 대해서 QoS를 보장하기 위해서는 PNC는 유사 정적 CTA 할당 테이블을 유지해야 한다. 따라서 몇 개의 수퍼프레임에 대해서 테이블을 유지해야 하는지 결정해야 한다. PNC에서 서비스되고 있는 MPEG 스트림들의 주기를 파악함으로써 알 수 있고 주기는 각각의 MPEG 스트림으로부터 얻을 수 있다. 주기적인 스트림들의 트래픽 또한 주기적이다^{11,12}. n 개의 MPEG 스트림에 대해서, 서비스되고 있는 트래픽의 주기는 $\bar{N} = LCM(N_s^1 N^1, N_s^2 N^2, \dots, N_s^n N^n)$ 이다. LCM 은 최소공배수를 나타내고 $N_s^i = \lfloor \frac{D^i}{S} \rfloor$ 이다. S 는 수퍼프레임 기간이고

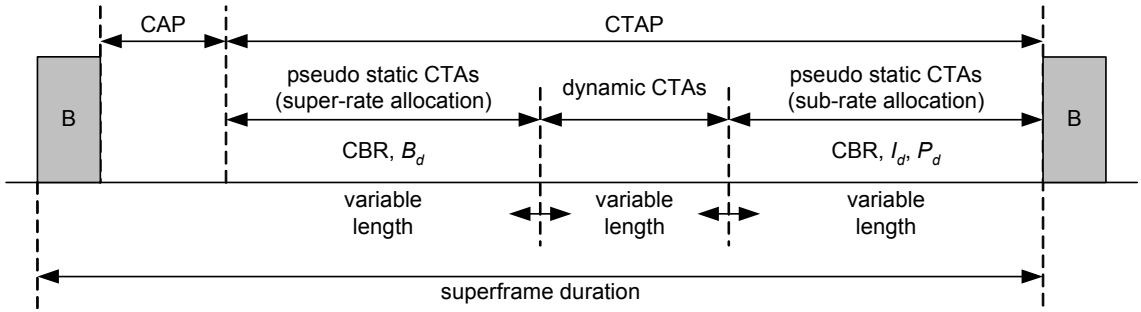


그림 4. 채널 시간 할당 영역을 구분한 수퍼프레임 구조

$\lfloor x \rfloor$ 는 x 이하 정수 중에서 최대값을 의미한다. 그러므로 PNC는 \bar{N} 개의 연속적인 수퍼프레임을 위한 CTA 할당 테이블을 유지 관리하면된다.

DEV로부터 유사 정적 CTA 할당 요청을 받은 후에, PNC는 사용되는 대역폭의 최소화를 위해 새로운 MPEG 스트림의 I 프레임 시작 시간을 결정한다^[11,12]. 그리고 나서 피코넷에 있는 기존 MPEG 스트림의 QoS를 계속적으로 보장하면서 새로운 스트림의 QoS 또한 만족시킬 수 있는지를 판단한다. 만족시킬 수 있으면 새로운 스트림을 서비스하고 그렇지 않으면 서비스하지 않는다. 현재 $n-1$ 개의 스트림에 대해서 서비스하고 있을 때 새로운 n 번째 스트림에 대한 요청을 받으면 다음 기준에 따라 서비스 여부를 결정한다.

$$\max_{1 \leq j \leq \bar{N}} B_j \leq B_{CTAP} \tag{2}$$

여기에서 B_j 는 j 번째 수퍼프레임에서 할당된 CTA의 총 기간이고 B_{CTAP} 는 한 수퍼프레임에서 CTAP의 기간이다. 서비스되는 트래픽들에게 할당된 총 기간이 CTAP의 기간을 초과하지 않으면 새로운 MPEG 스트림은 서비스되고 그렇지않으면 거절되어 서비스되지 않는다.

새롭게 서비스되는 스트림을 위해 CTA를 할당할 때, PNC는 I_d^i, P_d^i, B_d^i 을 위한 각각의 첫 번째 CTA는 같은 수퍼프레임 내에서 할당해야 한다. 이는 그림 3에서 보인 것처럼 하나의 I 프레임에서 얻어진 것이기 때문이다. 그러나 수퍼프레임 내에서의 위치는 중요하지 않다. 한 DEV에 의해 한 수퍼프레임 당 여러 개의 CTA 할당을 요청받으면, PNC는 수퍼프레임 내에서 일정하게 CTA를 할당하면 된다.

하나의 MPEG 프레임은 QoS를 만족시키기 위해서 주어진 지연한계 내에 전송되어야 한다. 이를 위해 PNC는

I_d^i, P_d^i, B_d^i 를 N_s^i 개의 작은 단편으로 나누고 $\frac{I_d^i}{N_s^i}$ 와 $\frac{P_d^i}{N_s^i}$ 의 기간과 $N_s^i M^i$ 와 $N_s^i M^i$ 의 주기를 갖는 N_s^i 개의 유사 정적 서브율 CTA와 $\frac{B_d^i}{N_s^i}$ 의 기간을 갖는 하나의 유사 정적 수퍼율 CTA를 DEV에게 할당한다. N_s^i 가 1보다 작으면, DEV 하나의 수퍼프레임 내에서 요청된 전송 시간을 갖는 $\lceil \frac{S}{D^i} \rceil$ 개의 CTA를 요청한다. $\lceil x \rceil$ 는 x 이상의 정수 중에서 최소값을 의미한다.

그림 4는 비콘(B)과 MPEG 트래픽의 할당 영역을 갖는 수퍼프레임 구조를 나타낸다. PNC는 CTAP의 왼쪽 끝부터 오른쪽 방향으로 수퍼율을 갖는 B_d 를 위한 유사 정적 CTA를 할당하고 오른쪽 끝에서부터 왼쪽으로 서브율을 갖는 I_d, P_d 를 위한 유사 정적 CTA를 할당한다. 그리고 나서 유사 정적 CTA가 할당되지 않은 영역에 대해서는 동적 CTA가 할당된다. 제안된 방법은 수퍼율 CTA와 서브율 CTA 영역을 구분하였다. 이는 새로운 MPEG 스트림이 도착하고 서비스되었을 때, 기존 스트림을 위해 할당된 유사 정적 CTA 영역을 이동하지 않을 뿐만 아니라 높은 채널 활용율을 제공하기 위해서이다.

4. 수치적 분석

이 장에서는 제안된 방법의 프레임 실패율(FFR: Frame failure rate)을 분석한다. 이는 MPEG 프레임의 지연한계를 만족시키지 못해 폐기되는 프레임의 비율이다. 분석을 위한 다음을 가정한다. 각 패킷은 상수이고 독립적인 확률 p 로 손실되고 ACK(Acknowledgement) 패킷은 에러가 없다. 그리고 프레임은 일정한 크기를 갖고 수퍼프레임 기간이 지연한계와 같다. 상태 천이 다이어그램을 그림 5

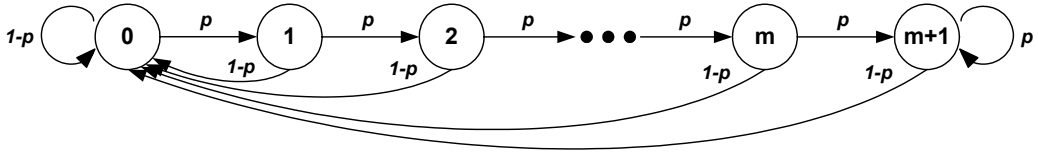


그림 5. 비콘 손실에 대한 상태 천이 다이어그램

에 도시하였다. 각 상태는 연속적으로 손실된 비콘 수를 나타내고 m 은 $mMaxLostBeacons$ 이다. 그러므로 $m+1$ 상태에서 할당된 CTA는 사용되지 않는다.

상태 i 에 있을 확률 $P_i (0 \leq i \leq m+1)$ 는 다음과 같은 공식에 의해 계산된다.

$$P_i = p^i \cdot P_0, \quad 0 \leq i \leq m, \quad (3)$$

$$P_{m+1} = \frac{p^{m+1}}{1-p} P_0, \quad (4)$$

$$\sum_{m+1}^{i=0} P_i = 1. \quad (5)$$

식 (3)-(5)로부터 다음처럼 P_0 를 얻는다.

$$P_0 = 1 - p. \quad (6)$$

식 (6)을 식 (4)에 대입하여 비콘 손실 확률 P_{loss} 을 다음과 같이 계산한다.

$$P_{loss} = P_{m+1} = p^{m+1}. \quad (7)$$

하나의 프레임은 N_{seg} 개의 패킷으로 단편화된 후에 PNC에 의해 할당된 CTA 동안에 전송된다. 그러므로 하나의 프레임은 지연한계를 만족시키면서 N_{seg} 개의 패킷을 성공적으로 수신하였을 때 하나의 프레임으로 재구성된다. 전송된 패킷의 총 수를 X 라 하면, X 는 파라미터 (N_{seg}, p) 를 갖는 음이항확률변수(Negative binomial random variable)이고 PMF(Probability mass function)는 다음과 같다.

$$P\{X=x\} = \binom{x-1}{N_{seg}-1} (1-p)^{N_{seg}} p^{x-N_{seg}}. \quad (8)$$

여기에서 $x (\geq N_{seg})$ 는 N_{seg} 패킷을 수신할 때까지 전송된 패킷의 수이다. 식 (7)과 (8)로부터 프레임 성공률 P_{FSR} 을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P_{FSR} = (1 - P_{loss}) \sum_{i=N_{seg}}^{N_{cta}} P\{X=i\}. \quad (9)$$

여기에서 N_{cta} 는 할당된 CTA 기간동안 전송될 수 있는 패킷의 수이다. 최종적으로 프레임 실패율은 $F_{FFR} = 1 - P_{FSR}$ 이다.

5. 성능 평가

이 장에서는 제안된 PPCTA 방법의 성능에 대해서 비교 분석한다. 시뮬레이션에서 사용된 시스템 파라미터는 표 1에 나열하였다. DEV는 MPEG4 스트림을 갖고 데이터율이 55Mbps인 IEEE 802.15.3 네트워크 환경에서 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서 하나의 피코넷을 고려하였고 [13]에서 개발된 모델에 기반을 둔 MPEG4 트래픽 생성기를 사용하였다. ($N=12, M=3$)의 GOP 구조를 갖는 MPEG 스트림이 4Mbps로 생성되고 MPEG 프레임의 도착 간격은 33ms이다. 이 값은 초당 30개의 MPEG 프레임 생성을 의미한다. 하나의 MPEG 프레임이 목적지 DEV에 33ms 내에 정확히 전달되지 않으면 폐기된다. 시뮬레이션에서 Imm-ACK 정책을 사용하였고 큰 MPEG 프레임을 단편화하기 위해 2044 바이트의 한계치를 사용하였다. 여기에는 4바이트의 FCS는 포함되지 않는다. 데이터 패킷의 페이로드 크기는 FCS를 포함하여 2048 바이트이다. 2048 바이트는 IEEE 802.15.3 표준에서 정의된 최대 크기이다. 패킷 에러율은 베르노이 모델(Bernoulli model)을 따른다고 가정한다. 즉, 각 패킷은 확률 p 를 갖는 에러 환경에서 독립적으로 전송되고 에러가 발생된다. 표 2는 시뮬레이션에서 사용된 MPEG 스트림을 위한 통계를 보여준다.

시뮬레이션의 편의를 위해 CAP 구간이 없이 비콘과 CTAP 구간만 있는 수퍼프레임 구조를 고려하였다. 헤더 크기, 가드 시간, mFirstCTAGap, SIFS, MIFS와 같은 MAC 오버헤드는 IEEE 802.15.3 표준에 기술된 값을 사용하였다^[1].

표 1. 시뮬레이션 파라미터

파라미터	값
Data rate	55 Mbps
Superframe duration	33 ms
MPEG GOP structure	(12, 3)
MPEG traffic rate	4 Mbps
Frame inter-arrival time	1/30 s
ACK policy	Imm-ACK
Fragmentation threshold	2044 octets

표 2. 시뮬레이션에서 사용된 MPEG 스트림의 최대 및 평균 프레임 크기

	I frame	P frame	B frame
Peak (octets)	110,480	92,798	24,138
Average (octets)	43,869	15,628	12,466

본 장에서 분석할 성능 요소는 프레임 실패율과 효율 만족도, 독해가능 프레임율이다. 프레임 실패율은 MPEG 프레임의 지연한계를 만족시키지 못해 폐기되는 프레임의 비율이다. 효율 만족도는 MPEG 트래픽 생성율에 대한 성공적으로 전송된 프레임의 효율 비를 나타낸다. 독해가능 프레임율은 총 전송된 MPEG 프레임 수에 대한 독해 가능한 MPEG 프레임 수의 비다.

그림 6은 수치적 분석 결과이고 그림 7-9는 시뮬레이션 결과이다.

그림 6은 패킷 에러율에 따른 프레임 실패율을 수치적으로 분석한 결과이다. 수치적 분석을 위해 $N_{seg}=7$, $N_{da}=12$ 가 사용되었다. 제안된 PPCTA와 AAM 방법의 성능 차이는 패킷 에러율에 비례한다. 즉, 패킷 에러율이 증가함에 따라 프레임 실패율의 성능 차이 또한 점점 커진다. PPCTA 방법의 프레임 실패율은 지연한계 내에 목적지에 완전히 전달되지 않은 손실 패킷에 의해서만 영향을 받는다. 이는 $mMaxLostBeacons$ 개의 연속적인 비콘 손실이 거의 발생하지 않기 때문이다. 반면에 AAM 방법의 패킷 프레임 손실율은 패킷 손실뿐만 아니라 비콘 손실에 의해서 영향 받는다. 따라서 성능이 급격하게 감소한다.

그림 7은 패킷 에러율에 따른 효율 만족도를 나타낸 결과이다. 그림에서 보는 것처럼 패킷 에러율이 낮을 때는 PPCTA와 AAM간의 성능 차이는 크지 않다. 그러나 에러율이 증가함에 따라 성능 차이는 명확해진다. 즉, 제안된 방법 PPCTA는 AAM 방법에 비해 상대적으로 천천히 효율 만족도가 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 제안된 방법은 연속적인 비콘 손실이 거의 발생하지 않으므로 유사

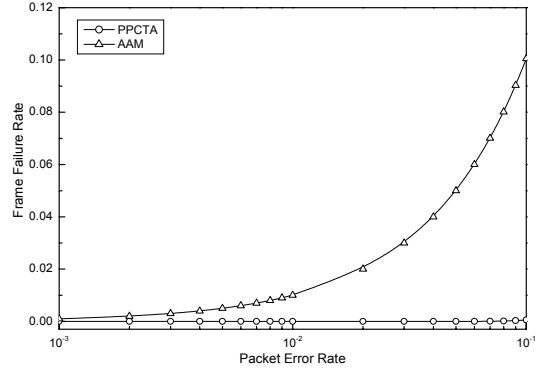


그림 6. 패킷 에러율에 따른 프레임 실패율(수치적 결과)

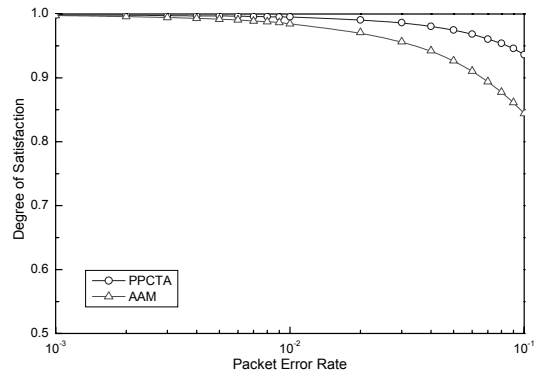


그림 7. 패킷 에러율에 따른 효율 만족도

정적 CTA를 통해 계속적으로 MPEG 데이터를 전송할 수 있기 때문이다.

그림 8은 프레임 실패율에 대한 에러율의 영향을 나타낸 시뮬레이션 결과이다. 표 2에서 보인 것처럼 최대와 평균 프레임 크기의 차이는 매우 크다. 그러므로 에러가 발생한 패킷이 할당된 CTA 동안에 지연한계를 만족시키면서 재전송 될 수 있다. 따라서 프레임 실패율이 급격하게 증가하지는 않는다. 특히, P 프레임은 크기 차이가 매우 크므로 매우 낮은 프레임 실패율을 보인다. PPCTA와 AAM 방법의 성능 차이는 그림 6과 마찬가지로 패킷 에러율에 비례하여 증가함을 볼 수 있다. 제안된 PPCTA 방법의 성능은 AAM 방법에 비해 상대적으로 천천히 증가함을 볼 수 있다.

그림 9는 패킷 에러율에 따른 다른 독해가능 프레임율의 결과이다. PPCTA 방법의 독해가능 프레임율이 AAM 방법에 비해 에러율에 상관없이 좋은 성능을 보임을 확인할 수 있다. 두 가지 방법 모두 항상 I 프레임의 성능이 가장 좋고 그 다음은 P 프레임, 마지막으로 B 프레임이다.

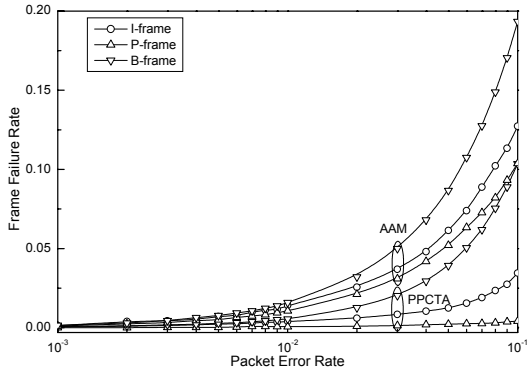


그림 8. 패킷 에러율에 따른 프레임 실패율

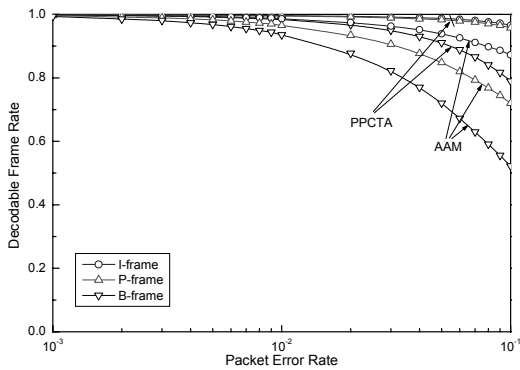


그림 9. 패킷 에러율에 따른 독해가능 프레임율

이는 MPEG 스트림의 계층적인 구조로 인해 중요한 MPEG 프레임이 폐기되면 MPEG 프레임 독해가능 프레임율이 낮아지는 결과를 초래하기 때문이다. MPEG 스트림에서 I 프레임은 다른 프레임과 독립적으로 코딩된다. 반면에 P, B 프레임은 다른 프레임을 참고하여 코딩된다. 이런 코딩의 차이는 I 프레임이 매우 중요하다는 것을 의미한다. 다음 I 프레임이 전송될 때까지의 다른 프레임들은 현재 I 프레임에 근거하여 코딩된다. 그래서 I 프레임이 손실되면 다음 I 프레임이 전송될 때까지의 모든 다음 P, B 프레임은 필요없게 된다. 그러므로 제안된 방법은 패킷 에러율이 증가하더라도 I 프레임 실패율을 낮게 가져감으로써 AAM 방법보다 훨씬 좋은 성능을 제공할 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 엄격한 QoS 보장을 제공하기 위해 유사 정적 CTA와 MPEG 스트림의 주기성 특징을 이용하여 채널 시간을 할당하는 간단하고 효율적인 방법을 제안하였

다. 새로운 MPEG 스트림이 도착하였을 때 DEV는 트래픽 정보를 모델링하고 PNC에 채널 시간 할당을 요청한다. PNC 전달된 트래픽 정보 모델을 이용하여 유사 정적 CTA에 채널 시간을 할당한다. 제안된 방법의 성능은 수치적 분석 및 시뮬레이션을 통하여 비교 분석되었다. 비교 분석 결과 제안된 방법이 기존 방법에 비해 채널 에러 환경에서 좋은 성능을 제공함을 보였다.

참고 문헌

1. IEEE: Part 15.3, "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)," IEEE Standard 802.15.3, 2003.
2. A. Ziviani, B. E. Wolfinger, J. F. Rezende, O. C. M. B. Duarte, and S. Fdida, "Joint Adoption of QoS Schemes for MPEG Streams," Multimedia Tools and Applications, Vol. 26, No. 1, pp. 59-80, May 2005.
3. J. M. Boyce and R. D. Gaglianella, "Packet Loss Effects on MPEG Video Sent over the Public Internet," in Proc. of the ACM Multimedia 98, pp. 181-190, 1998.
4. M. Krunz, "Bandwidth Allocation Strategies for Transporting Variable-bit-rate Video Traffic," IEEE Communications Magazine, Vol. 37, No. 1, pp. 40-66, 1999.
5. R. Mangharam, M. Demirhan, R. Rajkumar, and D. Raychaudhuri, "Size Matters: Size-based Scheduling for MPEG-4 over Wireless Channels," SPIE Conference on Multimedia Computing and Networking 2004, pp. 110-122, January 2004.
6. S. Rhee, K. Chung, Y. Kim, W. Yoon, and K. Chang, "An Application-aware MAC Scheme for IEEE 802.15.3 High-Rate WPAN," IEEE WCNC 2004, Vol. 2, pp. 1018-1023 March 2004.
7. W. Choi, K. Chung, S. Rhee, and J. Cho, "WFCTA (Weighted Fair Channel Time Allocation) and Its Analysis for HR-WPAN," LNCS 3563, pp. 358-367, 2005.
8. K. Chin and D. Lowe, "A Novel IEEE 802.15.3 Channel Time Allocation Sharing Method for Supporting VBR Streams," IEEE ICCCN 2005, San Diego, October 2005.
9. R. Zeng and G. Kuo, "A Novel Scheduling Scheme and MAC Enhancements for IEEE 802.15.3 High-Rate WPAN," IEEE WCNC 2005, Vol. 4, pp. 2478-2483, March 2005.
10. M. Krunz and S. K. Tripathi, "On the Characterization of VBR MPEG Streams," ACM SIGMETRICS97, Vol. 25, No. 1, pp. 192-202, June 1997.
11. M. Krunz, W. Zhao and I. Matta, "Scheduling and Bandwidth Allocation for the Distribution of Archived Video

- in VOD Systems,” Kluwer Telecommunication Systems Journal, 1998.
12. M. Krunz, G. Apostolopoulos and S. Tripathi, “Bandwidth Allocation and Admission Control Schemes for the Distribution of MPEG Streams in VOD Systems,” International Journal of Parallel and Distributed Systems and Networks, 2000.
 13. A. Matrawy, I. Lambadaris and C. Huang, “MPEG4 Traffic Modeling using The Transform Expand Sample Methodology,” 4th IEEE International Workshop on Networked Appliances, pp. 249-256, January 2002.



김 선 명 (sunmyeng@kumoh.ac.kr)

2000 아주대학교 정보 및 컴퓨터공학부 학사
 2002 아주대학교 정보통신공학과 석사
 2006 아주대학교 정보통신공학과 박사
 2006~2008 플로리다대학교 전기 및 컴퓨터공학과 박사후 과정
 2008~현재 금오공과대학교 컴퓨터공학부 전임강사

관심분야 : 무선 랜 및 팬, 무선 메쉬 네트워크