

논문 2012-49-10-1

# 가시광 무선 랜 시스템에서 통신지연 감소를 위한 FDD 기반의 개선된 MAC 프로토콜

( An Enhanced MAC Protocol Based on FDD for Reducing  
The Delay in Visible LAN Systems )

황 준 호\*, 유 명 식\*\*

( Junho Hwang and Myungsik Yoo )

## 요 약

가시광 무선 통신 기술은 LED와 PD를 이용한 차세대 무선 통신 기술로서 다양한 실내 응용 서비스 제공이 가능하다. 특히 가시광 무선 랜 서비스는 효율적인 조명 기능 이외에 고속의 데이터 전송이 가능하다는 점과 기존 ISM 대역 기반의 WPAN 통신 기술과의 간섭 회피가 가능하다는 점에서 새로운 WLAN 기술로 많은 관심을 받고 있다. 하지만 기존에 연구된 MAC 프로토콜은 상향 링크 접속 시 충돌이 발생하는 경우 충돌 인식 및 백오프 시간 등으로 인해 통신 지연이 발생한다. 이에 본 논문에서는 FDD 기반의 VLAN 시스템에서 상향 링크 프레임과 하향 링크의 프레임의 전송 시간차 이용하여 통신 지연을 최소화시킬 수 있는 MAC 프로토콜을 제안한다. 이와 더불어 모의실험을 토대로 제안하는 MAC 프로토콜의 통신 지연 감소를 확인할 수 있었다.

## Abstract

The visible light communication takes advantages of LED and PD for communication and is considered as a next generation wireless communication technology. It can support variety indoor applications. Especially, Visible LAN service has drawn much attention due to high data rate and no interference with existing WPAN system as well as high efficiency in illumination. However, existing MAC protocol occurs a high communication delay due to uplink collision and backoff time. In this paper, to reduce packet delay, we propose an enhanced MAC protocol based on FDD where the time difference between uplink frame and downlink frame transmission is utilized. Through computer simulations, we verified that the proposed MAC protocol outperforms the existing MAC protocol in terms of average packet delay.

**Keywords** : Visible Light Communication, Visible LAN, LED, MAC protocol, FDD

## I. 서 론

범국가적으로 기존 조명 기구인 백열전구와 형광등

이 차세대 조명인 LED(Light Emitting Diode)로 점차 교체됨에 따라 이를 이용한 가시광 무선 통신 기술이 많은 관심을 받고 있다. 일반적으로 가시광 무선 통신에서는 전류의 양을 조절하여 빛 세기의 제어가 가능하며, 반도체 특성을 이용하여 고속으로 점멸(ON/OFF)할 수 있는 LED를 송신 장치로 사용하며, LED가 송출한 빛을 수광 소자인 PD(Photo Diode) 또는 이미지 센서(Image Sensor)를 통해 수신 받은 후 빛의 유무를 1과 0으로 표현하는 통신 방식을 사용한다.<sup>[1]</sup>

이와 같은 가시광 무선 통신은 조명 산업과의 IT 통

\* 정회원, \*\* 평생회원-교신저자, 숭실대학교 정보통신 전자공학부  
(School of Electronic Engineering, Soongsil University)

※ 본 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2010-0011275)

접수일자: 2012년9월18일, 수정완료일: 2012년10월2일

신 기술의 융합을 통해 새로운 가치를 창출할 수 있는 그런 IT 융합 기술로서, 다양한 분야에 활용이 가능하다. 특히 가시광 무선 통신이 사용하는 주파수 대역이 385THz ~ 789THz에 해당하기 때문에 ISM(Industrial Scientific Medical) 대역을 사용하는 기존 무선 통신 기술과의 간섭이 발생되지 않지 않으며, 주파수 간섭으로 인해 전자 기기의 사용이 제한된 병원, 항공기 내부 등에 무선 통신 기술로서 활용이 가능하다<sup>[2]</sup>.

이중 가시광 무선 통신을 이용한 무선 랜 서비스를 제공하기 위한 VLAN(Visible Local Area Network)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 VLAN 시스템을 개발하기 위해서는 물리 계층(Physical Layer)과 MAC 계층(Medium Access Control Layer)에 대한 연구가 선행되어야 하는데, 특히 MAC 기술은 다수의 단말(Mobile Node)이 하나의 LED AP(Access Point)를 공유하기 때문에 효율적인 MAC 기술을 적용하는 것이 VLAN 시스템의 성능 확보를 위해 매우 중요하다<sup>[3]</sup>.

일반적으로 무선 LAN 서비스에서는 자원 공유를 위해 CSMA/CA(Carrier Sensing Multiple Access/Collision Avoidance) 기술을 기반으로 한 경쟁 방식의 MAC 프로토콜을 사용한다. 이때 경쟁 기반의 MAC 프로토콜을 사용하기 위해서 가장 중요하는 것이 다른 단말의 전송 여부를 감지하는 반송파 감지(Carrier Sensing) 기술이다. 하지만 그림 1과 같이 VLAN 시스템의 구조에서는 상향 링크(Uplink)를 위한 단말기의

데이터 전송 영역이 LED의 FoV(Field of View)로 제한되기 때문에 주변 단말기의 전송 상태를 감지할 수 있는 능력이 상당히 제한되는 문제점을 안고 있다<sup>[4]</sup>.

IEEE 802.15.7 VLC 표준에서는 가시광 무선 통신 시스템의 실내 통신 서비스로 VLAN 모드, BI(Broadcast Information) 모드 그리고 PI(Peripheral Interface) 모드로 구분하였다. 먼저 VLAN 모드의 경우 앞서 설명한 바와 같이 무선 랜 서비스를 대상으로 하며, BI 모드의 경우 실내 방송용 데이터 전송 그리고 PI 모드는 블루투스(Bluetooth)와 유사하게 단말과 단말간 일대일 통신을 목적으로 한다.

이와 같은 3가지 서비스를 고려하는 IEEE 802.15.7에서는 앞서의 반송파 감지 문제를 해결하기 위해 두 가지 형태의 MAC 프로토콜 운용 방법을 제시하고 있다. 먼저, 주기적인 비콘(Beacon) 프레임 전송이 가능한 환경에서는 CAP (Contention Access Period)와 CFP (Contention Free Period)를 사용하는 슈퍼프레임(Superframe) 기반의 MAC 프로토콜(Beacon based MAC)을 권장하고 있으며, 비콘을 사용하지 않는 환경에서는 슬롯 기반의 MAC 프로토콜(Non-beacon based MAC)을 제시하고 있다<sup>[5]</sup>.

이와 같은 두 가지 MAC 프로토콜 형태에 따라 기존 MAC 프로토콜에 대한 연구 방향은 비콘을 사용하지 않은 경우가 비콘을 사용하는 환경에 비해 활발히 연구되고 있다. 먼저 [3, 6]에서는 빔포밍(Beamforming) 기술을 적용한 MAC 프로토콜 개발을 위해 LED AP에 공간 광 변조기를 설치하고, AP의 상향 링크 및 하향 링크의 전송 방향을 제어할 수 있는 시스템을 제시하고, 방향 코드 정보를 상향 링크 접속에 사용하는 구조를 제안하였다. [7]에서는 동기 신호(Sync) 및 RTS (Request To Send) 요청 슬롯과 CTS(Clear To Send) 정보를 헤더 필드로 사용하고, 통계적 TDM(Statistical Time Division Multiplexing) 기법을 이용하여 데이터를 할당하는 MAC 프로토콜을 제안하였다. 또한 [4, 8]에서는 단말기와 AP간의 초기 접속을 위한 경쟁 기반의 C\_Slot을 제시하고 FDD(Frequency Division Duplex)와 TDD(Time Division Duplex) 기반의 MAC 프로토콜의 프레임 및 운용 방법을 제안하였다.

이와 같은 기존 가시광 무선 통신 시스템의 MAC 기술은 중앙 집중형 구조에서 초기 접속이나 자원 할당을 위해 경쟁 구간과 비경쟁 구간을 혼용하여 사용하는데,

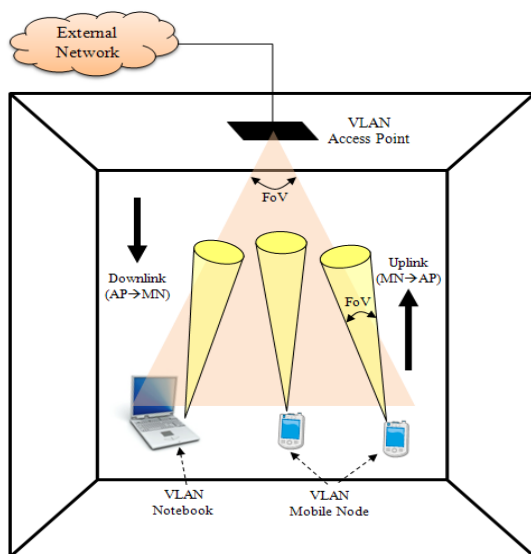


그림 1. VLAN 시스템 구조

Fig. 1. Structure of VLAN systems.

캐리어 센싱의 어려움으로 인해 경쟁 구간의 빈번한 충돌이 발생하게 된다. 이러한 빈번한 충돌은 충돌 후 재접속을 위한 백오프 과정에서 통신 지연의 증가를 발생시키게 된다. 이러한 통신 지연의 증가는 전송률(Throughput), 지연(Delay)의 성능 저하를 야기하기 때문에 VLAN 시스템의 개발을 위해서 전송률 향상 및 통신 지연을 최소화할 수 있는 MAC 프로토콜에 대한 연구가 반드시 요구된다.

이에 본 논문에서는 가시광 무선 통신을 이용한 VLAN 서비스 구축 시 통신 지연 최소화를 위한 FDD 기반의 MAC 프로토콜을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 MAC 프로토콜은 IEEE 802.15.7 VLC 표준에서 제시한 비콘을 사용하지 않는 MAC 프로토콜을 고려하였으며, 통신 지연 최소화를 위해 경쟁 기반의 초기 접속 구간과 비경쟁 기반의 자원 할당 구간을 사용하지만 상/하향 데이터 프레임 시간차 전송을 특징으로 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서는 VLAN 시스템에서 통신 지연의 문제점을 분석하고, 이어 III장에서는 본 논문에서 제안하는 FDD 기반의 MAC 프로토콜 구조 및 운용 방법에 대해 서술한다. IV장에서는 제안 MAC 프로토콜의 모의실험 및 성능 분석을 수행하고, 마지막으로 V장에서는 향후 계획 및 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

### 1. VLAN 서비스 구조

가시광 무선 통신을 이용한 VLAN 서비스는 AP와 단말기 사이의 명확한 LOS(Line of Sight) 통신 채널을 기반으로 운용된다. 이때 LED AP는 조명장치로서의 역할 뿐 아니라 외부 인터넷과의 연결을 통해 무선 랜 서비스 제공을 위한 통신 장치의 역할을 수행한다.

특히 하향 링크(Downlink)의 데이터 전송을 위해서는 외부 인터넷으로부터 유입되는 데이터에 대한 저장 및 단말기의 채널 상태에 따라 자원을 할당하는 역할을 수행해야 한다. 반면, 다수의 단말기가 통신 채널을 공유해야 하는 상향 링크 데이터 전송은 초기 접속 허용 과정과 자원 할당 과정을 통해 자원을 할당하는 역할을 담당한다. 하지만 상향 링크 데이터 전송을 위해서는 경쟁 기반의 초기 접속 과정을 거쳐야 하기 때문에 자원 할당을 수행받기 위한 효과적인 매체 접근 제어 방

법이 반드시 요구된다.

### 2. 기존 VLAN MAC 프로토콜 구조 및 문제점

기존 가시광 무선 통신 시스템의 MAC 프로토콜은 경쟁 구간과 비경쟁 구간을 하나의 프레임으로 구성하여 운용된다. 하지만 경쟁 구간에서 충돌이 발생하는 경우 충돌에 따른 재접속 시도를 위해 통상적으로 백오프 알고리즘(Backoff Algorithm)을 사용한다. 특히 [8]에서 제시한 MAC 프로토콜에서 충돌로 인해 발생하는 통신 지연을 분석하면 다음과 같다.

먼저, 그림 2와 같이 FDD 기반의 MAC 프로토콜은 하향 링크를 위해 헤더(Header)와 데이터 슬롯들(Data Slots)로 구성되는데, 헤더 정보에는 동기화를 위한 시작 플래그(Start\_flag)와 AP\_ID를 포함한 VLAN 서비스의 구성 정보를 포함하고 있는 제어 정보(Control\_info) 필드로 구성된다. 또한 데이터 슬롯에는 형태, 단말기의 ID 및 채널 특성에 따른 데이터 전송률을 포함하고 있다.

반면, 상향 링크를 위한 MAC 프레임의 경우 초기 접속을 위한 경쟁 구간(C\_slot)과 하향 링크 데이터 전송을 위한 데이터 슬롯으로 구성된다. 이때 초기 접속은 다수의 단말이 경쟁 구간 내 미니 슬롯(Minislots) 구간에 접속 요청을 수행하고, LED AP는 해당 각 슬롯의 ON/OFF를 통해 충돌 여부를 확인한다.

이와 같은 기존 MAC 프로토콜에서 단말 간 충돌은 상향 링크 초기 접속을 위해 사용되는 경쟁 기반의 C\_slot 접속 시 두 개 이상의 단말이 동일한 슬롯을 선택하는 경우 발생한다. 이때 단말의 충돌 또는 접속 허

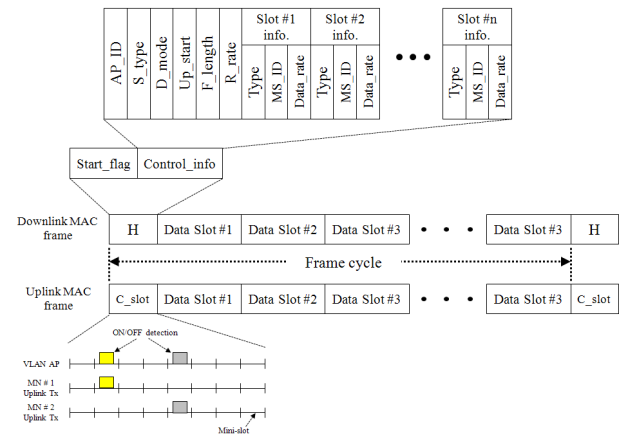


그림 2. 기존 MAC 프레임 구조

Fig. 2. Structure of conventional MAC frame.

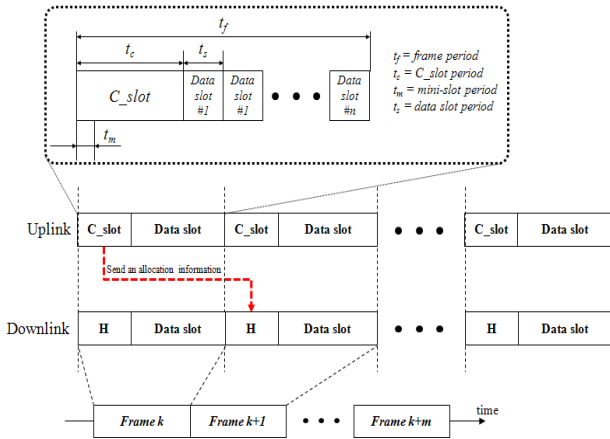


그림 3. 기존 MAC 프로토콜 운용 방법  
Fig. 3. Operation of conventional MAC Protocol.

용 정보는 그림 3과 같이 다음 프레임의 하향 링크를 통해 전송되기 때문에 통신 지연의 문제가 발생한다. 이를 보다 자세히 살펴보면 다음과 같다.

먼저, 단말은 초기 접속을 위해 프레임 k의 C\_slot에 접속을 요청한다고 가정한다. 이때 모든 단말의 접속 요청이 종료 된 후 AP는 프레임 k의 각 미니 슬롯에 대한 충돌 여부를 판단하여 프레임 k+1의 하향 링크를 통해 각 단말의 접속 정보를 제공한다. 이때 충돌이 발생하지 않은 단말은 자원 전송 시간을 할당받고, 충돌이 발생한 단말은 2진 백오프(BEB ; Binary Exponential Backoff) 기술 기반으로 한 재접속 대기 시간을 결정한다.

즉, 충돌이 발생한 단말은 백오프 과정을 통해 생성되는 대기 시간이 종료된 후에 C\_slot에 대한 재접속이 허용되는데, 앞서 설명한 바와 같이 기존 MAC 프로토콜에서는 대기 시간의 생성 및 감소가 k+1 프레임 시간에 수신된 정보를 이용하기 때문에 충돌 단말에 대한 통신 지연이 발생한다.

또한 기존 백오프 기법을 사용하는 경우 백오프 시간의 감소는 채널이 유휴(Idle) 할 때만 감소되는데, 가시광 무선 통신에서는 기존 반송파 감지 기법을 그대로 적용하기 어렵다. 더욱이 기존 논문에서는 이러한 백오프 기법의 감소 방법 및 절차에 대한 언급이 없다.

따라서 가시광 무선 통신 시스템의 통신 환경을 고려한 MAC 프로토콜 설계가 요구되며, 이때 통신 지연 성능 향상을 위한 빠른 충돌 인지 및 백오프 시간 감소 관리 기법 등에 대한 연구가 반드시 요구된다.

### III. FDD 기반 제안 MAC 프로토콜

#### 1. 제안 MAC 프레임 구조

앞서 VLAN의 MAC 프로토콜을 사용할 경우 발생하는 통신 지연 증가의 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 다음과 같이 개선된 MAC 프로토콜을 제안한다. 먼저, 본 논문에서 제안하는 MAC 프로토콜은 상향 링크와 하향 링크의 채널이 별도로 존재하는 FDD를 기반으로 하며, 그림 4와 같이 하나의 프레임 내에 상향 링크 프레임과 하향 링크 프레임이 시간 차(time difference)를 이용해 전송하는 것을 특징으로 한다.

이를 보다 상세히 살펴보면, 먼저 LED AP는 다수의 단말기에 대한 상향 링크 접속 요청을 수행한 후 이들 접속 단말에 대한 충돌 여부를 판단하고, 충돌이 발생하지 않은 단말에 대한 자원 할당을 수행한다. 이러한 충돌 여부는 전송 시간 차 이후 하향 링크 프레임을 통해 다수의 단말들에게 브로드캐스트한다. 또한 주변 단말의 전송 상태 즉, 채널의 사용 여부를 확인하지 못하는 가시광 무선 통신 환경의 특성 상 백오프 시간의 감소는 충돌 확인 후 즉시 수행되며, 백오프 타이머가 종료된 후 다음 프레임부터 재접속을 시도한다.

이러한 제안 MAC 프레임의 구조는 기존 MAC 프로토콜에 비해 충돌 인지를 빠르게 확인할 수 있으며, 충돌 확인 후 백오프 시간 감소를 빠르게 시작할 수 있기 때문에 기존 MAC 프로토콜에 비해 통신 지연의 감소 효과를 얻을 수 있다.

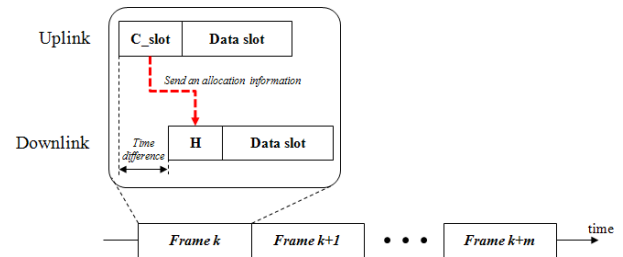


그림 4. 제안하는 개선된 MAC 프레임 구조  
Fig. 4. Structure of proposed enhanced MAC frame.

#### 2. 제안 MAC 프로토콜 운용 방법

본 논문에서 제안하는 MAC 프로토콜은 LED AP와 단말 사이의 접속 및 충돌 후 재접속 과정 그리고 접속 허용된 단말에 대한 자원 할당 방법을 통해 가시광 무선 통신을 이용한 무선 랜 서비스를 제공할 수 있다. 그

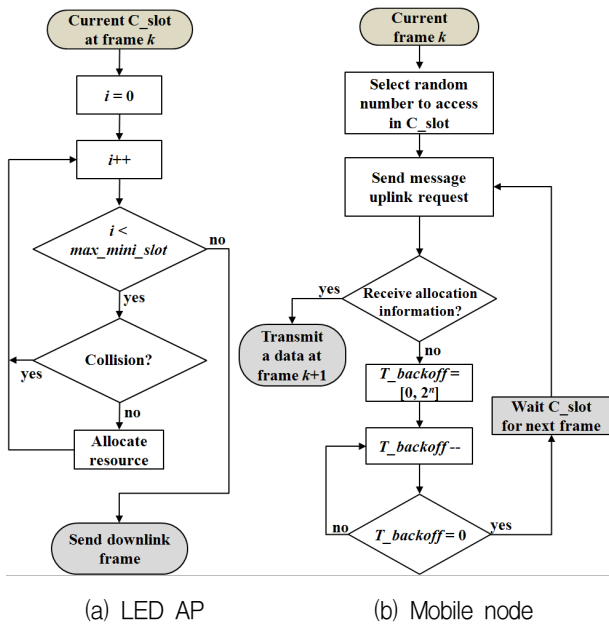


그림 5. 제안 MAC 프로토콜 운용 흐름도  
Fig. 5. Flow chart of proposed MAC protocol operation.

림 5는 본 논문에서 제안하는 MAC 프로토콜의 운용 흐름도를 도시하고 있다.

먼저, 그림 5의 (a)는 LED AP 관점에서 살펴본 것으로 현재의 프레임을  $k$ 라 가정하면, LED AP는 프레임  $k$ 의  $C\_slot$ 의  $i$  번째 슬롯에 대한 충돌여부를 판단한 후 충돌이 발생하지 않을 경우 자원을 할당하고,  $C\_slot$  내 모든 슬롯에 대한 충돌 여부를 확인한 후 하향 링크 프레임의 헤더 정보를 생성하여 하향 링크 프레임을 전송한다. 이때 하향 링크 헤더 내에는 충돌이 발생하지 않은 노드의 데이터 시작 전송 시간이 포함된다. 이와 더불어 접속이 허용된 단말기에 대한 자원 할당은 처음 접속이 허용된 후에는 하나의 슬롯만 할당하고, 피기백(Piggybacking)을 통해 추가적인 자원이 존재할 경우 트래픽 상황에 적응적으로 자원을 할당한다. 이와 같은 적응적 자원 할당을 위해 EPON(Ethernet passive optical network) 시스템에서 사용되었던 Limited DBA(Dynamic bandwidth allocation) 방식을 사용한다<sup>[9]</sup>.

한편, 단말기 관점에서 제안 MAC 프로토콜의 흐름도를 살펴보면, 단말기는 경쟁 구간인  $C\_slot$ 의 접속을 위해 정해진 범위 내에서 임의의 값을 선택하고, 해당 값이 정해진  $C\_slot$  내 미니슬롯 구간에 상향 링크 요청 메시지를 전송한다. 이후 프레임  $k$ 의 하향 링크 프레임의 수신하고, 헤더 정보를 확인한 후 자신에게 할당된 자원이 존재할 경우 주어진 시간에 데이터를 전송

한다. 하지만 자원이 할당되지 않았을 경우 충돌로 인식하여 백오프 과정을 수행한다. 이때 백오프 과정은 단말의 충돌 횟수( $l$ )에 따라 BEB 기법에 따른 백오프 시간이 결정되고, 백오프 시간이 종료된 후 다음 프레임의  $C\_slot$ 에 접속을 위한 임의값 선택 및 요청 메시지 전송 과정을 수행한다.

#### IV. 모의실험 및 성능 분석

##### 1. 모의실험 환경

본 논문에서 제안하는 MAC 프로토콜의 성능 분석을 위해 다음과 같이 C++ 언어를 이용한 Event-driven 기반의 시뮬레이터를 구현하였다. 이를 위해 먼저 그림 6과 같은 모의실험 환경을 설정하였는데, 실내 방 중심에는 LED AP가 설치되어 있고, 상하향 데이터 전송을 위해 LED와 PD가 설치되어있다. 이와 더불어 실내 환경에서의 단말기는 LED AP를 중심으로 원형으로 배치되어, 모든 단말기는 LED AP와 거리 및 수신 각도가 동일하다고 가정하였다. 이러한 단말기의 배치 구조는 미니 슬롯 내 각 단말의 충돌 여부를 확인하기 위해 사용되는데, 만약 수신 전력을 기반으로 충돌을 확인할 경우 각 단말에 대한 수신 전력이 LED AP와 단말간의 거리(Distance), 수신 각도(Receive angle)에 영향을 받는다는 특성<sup>[10]</sup>을 고려한 것이다.

이와 더불어 제안 MAC 프로토콜의 성능 분석을 위해 표 1과 같은 모의실험 설정값을 토대로 결과를 도출

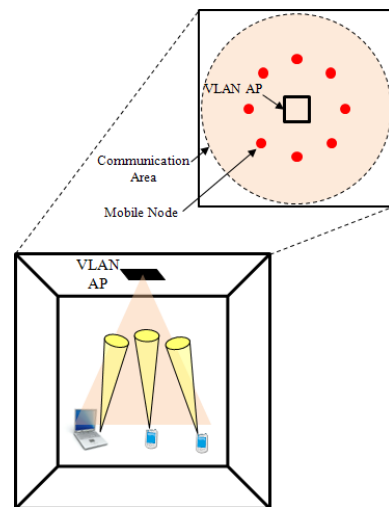


그림 6. 모의실험 환경  
Fig. 6. Simulation environments.

표 1. 모의실험 파라미터  
Table 1. Simulation parameters.

| 파라미터                       | 값         |
|----------------------------|-----------|
| 시뮬레이션 시간 [sec]             | 60        |
| 접속 요청 단말 수 (N)             | 3 ~ 9     |
| 프레임 길이 [msec] ( $T_f$ )    | 10        |
| C_slot 길이 [msec] ( $T_c$ ) | 2         |
| C_slot 내 미니 슬롯 수           | 10        |
| Data 프레임 길이 [msec]         | 8         |
| 오프셋 시간 [msec]              | 1         |
| 단말 당 접속 유지 시간 [sec]        | 5         |
| 시스템 전송 용량 [Mbps]           | 10        |
| 트래픽 부하                     | 0.3 ~ 1.2 |

하였다. 이때 시뮬레이션 시간은 1분으로 가정하였으며, 접속을 요청하는 단말기의 수는 3개 ~ 9개 사이 그리고 프레임의 길이는 10msec로 구성되며, 프레임 내 상향 링크 C\_slot은 2msec, 데이터 슬롯은 8msec의 길이를 가진다. 이와 더불어 상향 링크와 하향 링크의 시간차 전송을 위한 오프셋 시간은 1msec로 설정하였고, 각 단말은 한번 접속이 허용된 후 일정 시간 동안 링크가 유지된다. 이와 더불어 VLAN 시스템의 전송 용량은 트래픽 부하가 1.0일 때 10Mbps를 가정하였다. 이때 각 단말이 발생시키는 트래픽의 양은 ‘시스템 전송 용량/접속 단말 수’ 로서, 단말의 수가 증가할수록 각 단말에서 발생하는 트래픽의 양은 감소된다. 즉, 단말의 수가 3일 경우 각 단말은 약 3.3Mbps를 발생시키며, 단말의 수가 9일 경우 각 단말은 약 1.1Mbps를 발생시킨다.

이와 같은 접속 단말 수에 따라 각 단말기의 트래픽 발생량이 변화되는 것은 고정된 경쟁 구간에서 단말의 수가 전송률과 지연에 미치는 영향을 분석하기 위함이다. 이와 더불어 모의실험은 트래픽 부하와 단말기 수 그리고 단말기가 선택 가능한 무작위 번호의 범위를 변화시키면서 두 MAC 프로토콜의 성능을 분석하였다. 먼저 트래픽 부하는 전송률의 성능을 분석하기 위한 것이고, 단말기 수의 변화는 동일한 전송 용량을 갖는 시스템에서 단말기의 수가 통신 지연에 미치는 영향을 분석하기 위한 것이다. 마지막으로 무작위 번호의 범위는 충돌 확률에 따른 통신 지연의 변화 분석을 목적으로 한다.

이와 같은 모의실험 환경을 토대로 본 논문에서 제안하는 MAC 프로토콜의 성능 분석을 위해 기존 MAC 프로토콜<sup>[4,8]</sup>과의 전송률(Throughput), 평균 패킷 지연

(Average packet delay) 등을 비교 분석하였다. 이때 전송률은 접속이 허용된 단말이 전송한 데이터의 총량을 의미하며, 평균 패킷 지연은 단말의 평균 큐잉 지연(Average queueing delay)을 의미한다.

## 2. 성능 분석

그림 7은 단말의 수가 9일 경우 트래픽 부하 변화에 따른 기존 MAC 프로토콜(Conventional MAC)과 제안 MAC 프로토콜(Proposed MAC)의 전송률을 비교한 것이다. 이때 트래픽 부하는 0.3에서 1.2까지 변화시켰다. 그림에서 볼 수 있듯이 두 MAC 프로토콜 모두 트래픽 부하가 0.9 이전까지는 유사한 성능을 보이고 있으나 트래픽 부하가 1.0 이상으로 증가하게 되면 제안 MAC 프로토콜이 기존 MAC 프로토콜보다 포화 전송률(Saturation throughput)에 보다 빠르게 근접하는 것을 볼 수 있다.

그림 8은 그림 7과 동일한 환경에서의 제안 MAC 프로토콜과 기존 MAC 프로토콜과의 평균 전송 지연을 비교한 것이다. 이때 기존 MAC 프로토콜은 단말의 수가 9일 경우(Conventional MAC N=9)를 고려하였으며, 제안 MAC 프로토콜의 경우 3 ~ 9까지 단말의 수를 2개씩 (Proposed MAC N=3, 5, 7, 9) 증가시켰다. 그림에서 보는 바와 같이 기존 및 제안 MAC 프로토콜은 트래픽 부하 0.8 이하에서는 유사한 지연 성능을 보이고 있으나 트래픽 부하가 0.9 이상으로 증가할 경우 급격한 통신 지연의 증가가 발생하였다. 특히 트래픽 부하가

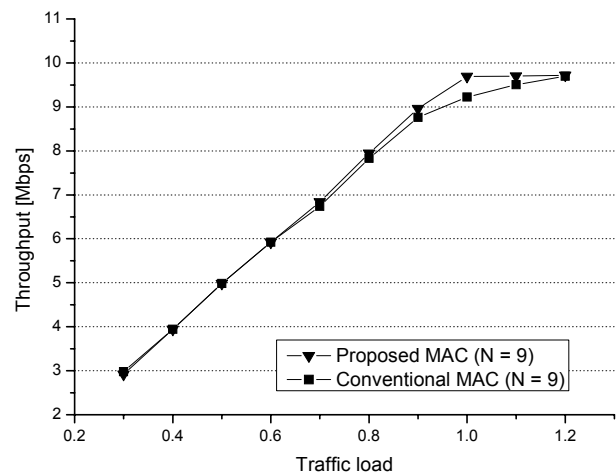


그림 7. 트래픽 부하 변화에 따른 전송률 비교  
Fig. 7. Comparison of throughput with changing traffic load.

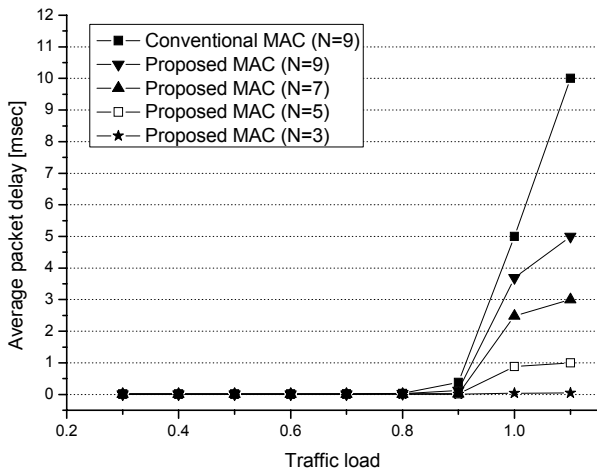


그림 8. 단말기 수에 따른 평균 패킷 지연 비교  
Fig. 8. Comparison of average packet delay with changing number of mobile nodes.

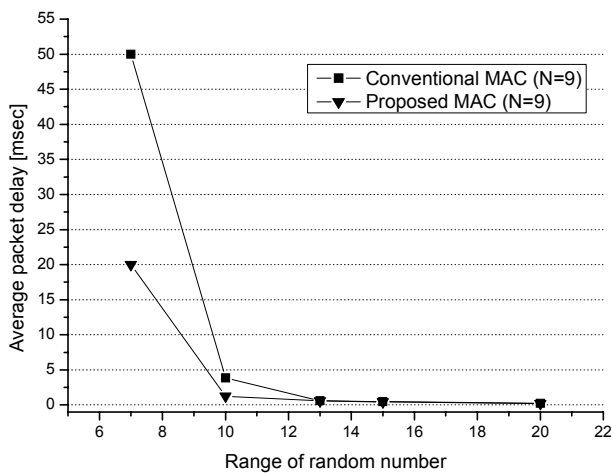


그림 9. 무작위 번호 선택 범위 변화에 따른 평균 패킷 지연 비교  
Fig. 9. Comparison of average packet delay with changing range of random number.

0.9 이상인 환경에서는 기존 MAC 프로토콜의 평균 전송 지연이 제안 MAC 프로토콜에 비해 매우 높은 것을 볼 수 있다. 이와 더불어 제안 MAC 프로토콜의 경우 트래픽 부하가 동일한 환경에서 단말기 수의 따라 평균 전송 지연이 증가하는 것을 볼 있는데, 이는 단말의 수가 증가하면 각 단말의 충돌 확률도 증가하기 때문에 빈번한 충돌로 인한 백오프 시간의 영향을 인해 평균 전송 지연의 증가가 발생하는 것으로 분석된다.

이와 같은 제안 MAC 프로토콜의 평균 전송 지연에 대한 성능의 향상은 단말의 수가 증가함에 따라 빈번한 충돌이 발생하는 환경에서 제안하는 MAC 프로토콜의

충돌 여부의 통보 및 백오프 시간 감소 방법이 통신 지연 향상에 영향을 끼치지 때문이라 분석되는데, 충돌 확률이 높아질수록 제안 MAC 프로토콜과 기존 MAC 프로토콜의 평균 통신 지연의 성능 차이는 더욱 증가할 것으로 예측된다.

이를 위해 C\_slot의 크기가 고정된 환경에서 각 단말이 무작위로 선택할 수 있는 접속 번호의 범위를 변화시켰을 때, 평균 통신 지연에 대한 관계를 분석하고자 한다. 이를 위해 단말의 수와 트래픽 부하를 각각 9와 0.9로 설정하고, 단말이 선택할 수 있는 접속 번호의 범위(Range of random number)를 7에서 20까지 변화시켰다. 이와 같은 환경에서 그림 9는 제안 MAC 프로토콜과 기존 MAC 프로토콜의 평균 전송 지연을 비교 분석한 것이다. 이때 앞서 살펴본 그림 7과 8의 무작위 번호 선택 범위는 C\_slot 수와 동일한 10이다. 그림에서 보는 바와 같이 랜덤 수의 범위가 기준 값이 10을 기준으로 10보다 작을 경우 제안 MAC 프로토콜과 기존 MAC 프로토콜의 통신 지연의 차이가 점차 증가하였으며, 10보다 큰 경우 두 MAC 프로토콜의 통신 지연 성능은 비슷하게 유지되는 것을 볼 수 있다. 이는 무작위 번호 선택의 범위가 작을 경우 각 단말의 충돌 횟수가 급격하게 증가하기 때문에 기존 MAC 프로토콜의 경우 높은 지연이 발생하는 반면, 제안 MAC 프로토콜의 경우 충돌에 따른 즉각적으로 충돌 여부 판단을 통해 재접속을 위한 백오프 시간 감소를 보다 빠르게 시작할 수 있어 낮은 통신 지연을 제공할 수 있다. 다만 단말 선택할 수 있는 무작위 번호의 범위가 증가하게 되면, 충돌 확률이 급격하게 저하되어 두 MAC 프로토콜의 지연 성능은 유사하게 형성된다.

## V. 결 론

가시광 무선 통신 시스템은 차세대 조명인 LED를 이용하여 디지털 데이터를 전송하는 무선 통신 기술이다. 특히 가시광 무선 통신을 이용한 LAN 서비스는 실내 환경에서 LED 조명을 이용하여 고속의 무선 통신 서비스를 제공할 수 있다는 장점으로 인해 많은 개발 요구가 발생하고 있는 상황이다.

이에 본 논문에서는 VLAN 서비스의 효과적인 성능 확보를 위한 기존 MAC 프로토콜의 통신 지연 감소를 위한 개선된 MAC 프로토콜을 제시하였으며, 모의실험

결과 높은 전송률을 유지하면서 낮은 통신 지연 성능을 확인할 수 있었다. 이와 같은 제안 MAC 프로토콜은 VLAN 서비스의 상용화를 위한 핵심 기술로서 그 기술적 가치를 가지고 있으며, 향후 IEEE 802.15.7 표준화 문서에 제시한 비콘 기반의 슈퍼 프레임과의 비교 성능을 토대로 VLAN 시스템의 적합한 MAC 프로토콜 연구를 향후 연구로 진행하고자 한다.

### 참고 문헌

- [1] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama and M. Nakagawa, "Indoor Visible Light Data Transmission System Utilizing White LED Lights," *IEICE Trans. Communication*, Vol. E86-B, pp. 2440-2454, 2003.
- [2] 김대호, 임상규, 강태규, "LED 조명 통신 융합 가시광 무선통신 응용 서비스 모델," *한국통신학회지 정보와 통신*, Vol. 25, No. 5, pp. 3-9, April 2009.
- [3] 전중배, 최정호, 김성만, "LED 조명 기반의 무선 가시광 LAN 통신을 위한 MAC 프로토콜 설계," *한국통신학회 논문지*, Vol. 36, No. 4, pp. 391-398, April 2011.
- [4] 신흥석, 최정석, 이 경우, 박성범, 정대광, 이영민, 박진우, "무선 가시광 통신을 위한 MAC Protocol에 대한 연구," *한국통신학회지 정보와 통신*, Vol. 26, No. 5, pp. 30-35, April 2009.
- [5] IEEE Std 802.15.7, Part 15.7: Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light, September 2011.
- [6] 김성만, "빔포밍 기능을 가진 LED 무선 가시광 LAN 통신을 위한 MAC 프로토콜," *한국전자통신학회 논문지*, Vol. 23, pp. 92-99, June 2011.
- [7] 김경록, 김명중, 강철신, "가시광 통신 시스템을 위한 예약기반 MAC 프로토콜에 관한 연구," *한국정보기술학회 논문지*, Vol. 8, No. 12, pp. 165-171, December 2010.
- [8] Woo-Chan Kim, Chi-Sung Bae, Soo-Yong Jeon, Sung-Yeop Pyun, and Dong-Ho Cho, "Efficient Resource Allocation for Rapid Link Recovery and Visibility in Visible Light Local Area Networks," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 56, No. 2, pp. 524-531, May 2010.
- [9] 황준호, 유명식, "EPON 시스템의 적응적 Limited 동적 대역 할당 방식," *한국통신학회 논문지*, Vol. 31, No. 5B, pp. 449-455, May 2006.
- [10] 트렁훅도, 황준호, 유명식, "실내 가시광 무선 통신 시스템에서 LED 패널 위치 및 발광 각도가 통신

채널 품질에 미치는 영향 분석," *한국통신학회 논문지*, Vol. 36, No. 9, pp. 1108-1116, September 2011.

### 저자 소개



황 준 호(정회원)

2004년 숭실대학교 정보통신전자공학부 (공학사)

2006년 숭실대학교 정보통신공학과 (공학석사)

2006년 9월~현재 숭실대학교

정보통신공학과 박사과정

<주관심분야 : Optical Access Network, Wireless MAC Protocol, Visible Light Communication, Wired/ Wireless Fieldbus System>



유 명 식(평생회원)

1989년 고려대학교 전자전산공학과 (공학사)

1991년 고려대학교 전자공학과 (공학석사)

2000년 SUNY at Buffalo

Dept. of EE (공학박사)

2000년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수

<주관심분야 : Optical Network, OBS, EPON, QoS, Wireless MAC Protocol, MANET, RFID, USN, CR, Visible Light Communication, Wired/ Wireless Fieldbus System>