

LED 조명 기반의 무선 가시광 LAN 통신을 위한 MAC 프로토콜 설계

준회원 전 중 배*, 학생회원 최 정 호*, 종신회원 김 성 만**°

MAC Protocol Design for Visual Light LAN using LED Light

Jongbae Jeon* Associate Member, Jungho Choi* Student Member, Sung-Man Kim**° Lifelong Member

요 약

본 논문에서는 LED 조명 기반의 무선 LAN 통신을 위한 MAC 프로토콜을 설계하였다. 본 논문에서 제안하는 MAC 프로토콜은 LED 조명과 단말기의 송수신 방향을 자동으로 최적화할 수 있는 특징이 있다. 또한, 방송메시지 송신 및 단말기 등록을 위한 초기통신 시간이 주기적으로 할당되어 있는 특징이 있다. 데이터 통신방식으로는 carrier 의 센싱 및 충돌감지가 어려운 LED 가시광의 특징을 감안하여 기존의 무선 LAN 통신에서 사용되는 CSMA/CA(carrier sense multiple access with collision avoidance) 기반이 아닌 polling 기법을 사용하였으며, MAC 프레임 형식으로는 기존의 무선 LAN 통신용 프레임을 수정하여 무선 가시광 LAN 통신에 적합한 MAC 프레임을 제안하였다. 이렇게 제안하는 MAC 프로토콜의 성능수치를 구하였으며, 무선 가시광 PHY 통신단의 데이터 전송속도를 100 Mbps로 가정하였을 때에 여러 가지 오버헤드를 제외하고 순수하게 데이터를 보낼 수 있는 데이터 전송량은 94.386 Mbps에 달하였다.

Key Words : LED, Visible Light Communication, LAN, MAC Protocol

ABSTRACT

In this paper, we propose a MAC protocol for visible light wireless LAN using LED light. The proposed MAC protocol has a function of automatic direction optimization for LED transceiver. There is periodical time slot for broadcasting and registration in the proposed MAC protocol. We used polling method for data transfer in the protocol since visible light is hard to detect carrier and collision by other mobile stations; thus we cannot use CSMA/CD method in visible light LAN. We also amended the MAC frame of IEEE 802.11 to propose a revised version for visible light wireless LAN using LED light. We investigate the performance of the proposed MAC protocol. When the bit rate of physical layer is 100 Mb/s, the net data throughput using the proposed MAC protocol is estimated to 94.386 Mb/s.

I. 서 론

발광효율이 좋은 LED(light emitting diode)의 기술이 발전되고 가격이 낮아짐에 따라 점차 형광등과 백열등의 조명이 LED 조명으로 바뀌는 추세이다^[1]. 이러한 LED 는 발광효율이 좋아 에너지를

절약할 수 있는 장점외에 고속의 통신신호를 전달할 수 있는 특징을 가지고 있다. 즉, LED 가 단순히 조명으로 사용되는 것뿐만 아니라, 조명에 통신신호를 실어 그 빛이 전달되는 곳에 통신신호를 함께 전달할 수 있다^[2].

이렇게 조명을 이용한 무선 가시광 통신 방식은

* 경성대학교 전자공학과

** 경성대학교 전자공학과(sungman@ks.ac.kr) (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2010-11-563, 접수일자 : 2010년 11월 29일, 최종논문접수일자 : 2011년 2월 28일

전자파 신호가 문제를 일으킬 수 있는 비행기 기내나 병원 등과 같은 특수지역에서의 통신용도로 사용될 수 있다. 또한, 버스 정류장에 설치된 LED 조명을 이용하여 버스노선, 배차 시간표, 환승정보, 도착시간 등의 정보를 휴대 단말기로 수신할 수도 있고, 영화관의 전광판 조명을 이용하여 영화관 앞에서 영화정보, 예매정보 등 정보를 휴대 단말기를 통해 수신할 수도 있다.

LED 조명을 이용한 무선 가시광 통신기술은 IEEE 802.15.7 VLC (visible light communication) 에서 국제표준이 시작단계에 있지만, 이는 WPAN (wireless personal area network) 응용에 국한된 응용이다^[3]. 이에 반해 LED 조명을 이용한 무선 가시광 LAN (local area network) 통신에 대한 표준은 아직 표준화가 미흡한 실정이다. 이러한 LED 조명을 이용한 무선 LAN 통신망을 구축하고자 하는 기술은 아주 최근에 연구된 분야로서 기존의 연구 내용은 주로 통신의 물리계층에 대한 연구에 집중되어 있다^[4-6]. 따라서, LED 조명을 이용한 무선 LAN 통신망 기술이 완전히 구현되기 위해서는 물리계층뿐만 아니라 MAC (media access control) 계층에 대한 프로토콜 기술도 함께 연구되어야 한다.^[7]. 기존에 이에 대한 연구가 진행된 바가 있으나^[2], 구체적인 성능수치 및 세밀한 프로토콜 내용을 발표하지 않아 정확히 파악하기 어렵고, 단말기의 광 송수신기의 방향을 사용자가 수동으로 AP(access point)에 맞추도록 가정되어있는 등 실제로 적용하기에 여러 단점이 많은 것으로 판단된다.

따라서 본 논문에서는 LED 조명 기반의 무선 LAN 통신을 위한 새로운 MAC 프로토콜을 제안하였다. 본 논문에서 제안하는 MAC 프로토콜은 그림 1 과 같이 LED 조명으로 구성된 AP 와 단말기로

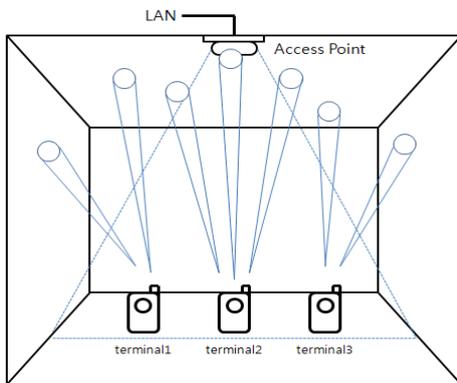


그림 1. LED 조명을 이용한 가시광 통신의 개념도

구성되어 있음을 가정하였고, 초기통신을 통하여 AP (access point) 와 단말기에 장착되어있는 LED 소자가 통신에 적합한 최적으로 방향이 자동으로 맞추어지는 특징을 가지고 있다. 또한, 통신에 적합한 방향성을 지속적으로 유지하기 위하여 AP가 주기적으로 방송신호를 송신하도록 하였다. 또한, 각 단말기로의 데이터 전송은 빛의 직진성이 강하기 때문에 Carrier 센싱 및 충돌감지가 어려운 무선 가시광의 특징을 고려하여 기존 무선 LAN에서 사용되는 CSMA/CA (carrier sense multiple access with collision avoidance) 기반이 아닌 polling 기법을 사용하였다. 또한, MAC 프레임의 형태는 기존의 IEEE 802.11 무선 LAN 통신용 프레임을 수정하여 무선 가시광 LAN 통신에 적합한 MAC 프레임 형식을 제안하였다.

II. 제안하는 MAC 프로토콜 설명

제안하는 MAC 프로토콜은 초기통신과 데이터 통신으로 나뉘며, 초기통신에서는 LED 조명과 단말의 송/수신기의 방향을 자동으로 최적으로 맞추는 역할을 한다. 또한, LED 조명과 단말기의 송/수신기의 방향성을 최적으로 맞춘 후 데이터를 주고받기 위해서는 기존의 무선 LAN 통신에서 사용되는 CSMA/CA 방식과는 달리 주국(AP)이 여러 중국(단말기)들로 형성된 링크를 제어하는 중앙 집중형 방식인 polling 방식을 사용하였다. 이는 여러 대의 단말들이 있을 때에 한 단말의 UL (up link) 방향으로의 전송이 다른 단말들에 의해 Carrier 를 센싱하거나 충돌을 감지하기가 힘들기 때문이다. 이러한 polling 기법을 사용함으로써, AP 와 단말기 간의 통신은 모두 AP 가 중앙 집중형 방식으로 관할하게 된다. 따라서, 단말의 등록절차가 필요하다.

제안하는 프로토콜의 전체 동작 시간 할당을 그림 2에 나타내었다. 초기통신의 방송 메시지 부분은 AP와 단말기간의 송수신 방향이 일치되어야만 통신이 원활하게 동작하는 가시광 통신의 특성을 고려한 부분이다. 이에 따라 단말기의 광 송수신기 방향

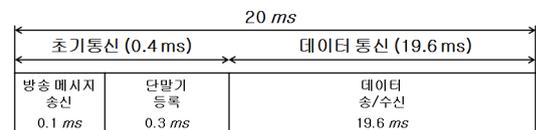


그림 2. 제안하는 프로토콜의 전체 동작시간 할당

이 AP로 향하게 자동으로 맞추기 위해서 AP에서 주기적으로 자신의 정보를 담은 BM (broadcast message: 방송메시지)를 전송한다. 단말기는 자신의 광수신기를 여러 각도로 돌려가면서 주기적으로 broadcast 되는 방송메시지를 수신하여 자신에게 가장 최적인 방향으로 세팅을 하게 된다. 그 후에 단말기는 AP로 TIF (terminal information frame: 단말기 정보 프레임)이라는 메시지에 자신의 정보를 실어 AP로 전송한다. AP는 수신된 TIF의 Address를 통해 단말기에 순서번호를 할당하여 데이터통신의 순서를 정한다.

주기적인 방송 메시지로 인해 데이터 통신 시간이 20 ms 마다 끊어지게 되는데 (가시광의 특성상 Full-duplex 가 어려우므로 인해 Half-duplex 로 가정함), 이러한 방송 메시지가 들어가는 영역을 초기 통신 시간으로 설정하였다. 또한, 단말이 AP로 등록을 하도록 시간을 주기적으로 설정해 줄 필요가 있으므로, 방송 메시지 송신시간과 함께 묶어 초기 통신 시간으로 설정하였으며, 이는 주기적으로 나타나게 된다. 무선 LAN에서 AP와 단말기간의 거리는 최대 100m로 가정하였으며, propagation delay는 데이터의 처리 delay에 비해 매우 작고, propagation delay에 대한 마진을 충분히 두었기 때문에 AP와 단말기간의 거리에 상관없이 초기 통신 및 데이터 통신 시간은 동일하다. 시간 할당에 대한 자세한 계산법은 다음절에서 설명하도록 하겠다.

데이터 통신은 두 가지의 경우로 나뉜다. 첫 번째 경우는 AP가 데이터를 전송하고 싶은 경우이다. 이 경우에는 AP가 단말기에게 데이터를 송신하기 위해서 SEL (select frame : 수신준비 질문 프레임) 프레임을 보내게 된다. 두 번째 경우는 단말기가 AP로 데이터를 전송하는 경우이다. 이 경우에는 AP가 단말들에게 송신할 데이터가 있는지를 묻는 POL (poll frame : 송신준비 질문 프레임) 프레임을 보내게 된다.

첫 번째 경우는 AP가 단말기로 SEL 프레임을 보낸 뒤, 단말기로부터 ACK (acknowledge frame : 긍정응답 프레임)를 수신한 후 AP가 단말기로 데이터를 보내는 절차이고, 두 번째 경우는 AP가 단말기로 POL 프레임을 보내면 단말기가 AP로 데이터를 송신할 데이터가 있으면 데이터를 송신하고, 만약 송신할 데이터가 없으면 NAK를 전송하는 절차이다. 각 경우에서 송신자는 데이터를 전송하고 최대 왕복전파시간을 대기한 후에 ACK를 수신하면 통신은 성공적으로 이루어진다.

III. 초기통신 절차

제안하는 초기통신의 흐름도와 순서도를 그림 3과 그림 4에 나타내었다. AP는 주기적으로 방송 메시지를 전송하고, 이러한 방송 메시지를 수신 받은 단말기들은 0.5 초 이내에 AP와의 송수신 방향을 자동으로 최적으로 맞춘다.

초기통신의 순서도를 설명하면 다음과 같다.

1. AP는 방송메시지 (BM, Broadcast Message)를 주기적으로 송신한다. (AP는 20 ms 마다 방송 메시지 프레임을 송신한다.)
2. 방송 메시지를 수신한 단말기는 0.5초 이내에 AP와의 송수신방향을 최적화 하고, 송수신 방향을 최적화한 후에 단말기 정보 프레임 TIF를 AP로 전송한다.
3. AP는 TIF를 수신하면 이에 대한 ACK를 전송한다.
4. 만약 TIF를 전송하고 난 이후에 ACK가 수신되지 않았을 경우 [랜덤시간 = 랜덤숫자 * 프로토콜 주기 (20 ms)] 시간만큼 대기한 후 다시 TIF를 전송한다. 이 때, 랜덤시간만큼 대기하는 이유는 다수의 단말이 동시에 단말 등록을 위해 AP로 TIF를 송신하였을 경우에 재 충돌을 방지하기 위함이다. 또한, 재전송 횟수(N)는 기존의 무선 LAN 프로토콜의 ARQ 재전송 횟수 등을 참고하여 10회로 설정

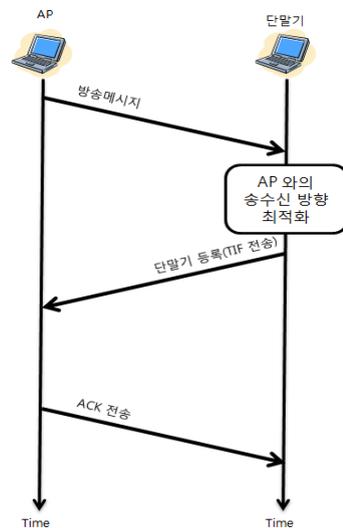


그림 3. 초기통신의 흐름도

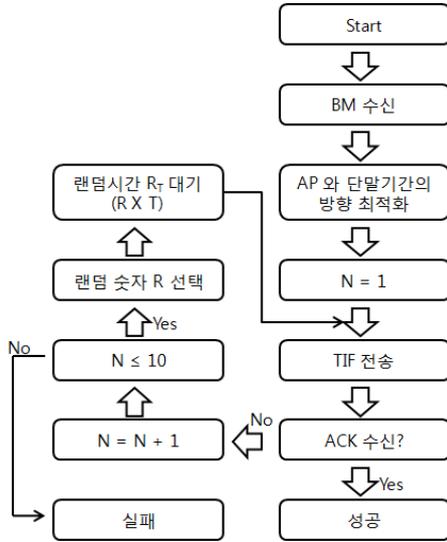


그림 4. 초기통신의 순서도

하였다. 재전송횟수 N 이 10회를 초과할 경우 단말기 등록은 실패한 것으로 판단하며, 일정 시간이 지난 뒤 다시 위와 같은 절차로 초기통신을 수행한다.

IV. 데이터 통신 절차

제안된 데이터통신의 흐름도와 순서도를 그림 5와 그림 6에 나타내었다. 그림 5(a)은 AP가 단말기로 송신할 데이터가 있는 경우의 흐름도이며, 그림 5(b)는 AP가 데이터를 받기를 원하면 단말들에게 보낼 데이터가 있는지를 묻는 경우(즉, 단말기가 AP로 송신할 데이터가 있는 경우)를 나타낸 것이다. 초기통신을 통하여 AP로부터 할당받은 순서번호 K 가 빠른 단말기부터 데이터 통신을 수행한다.

데이터 통신의 순서도를 설명하면 다음과 같다.

1. AP가 단말기로 송신할 데이터가 있는 경우, AP가 단말기로 SEL 프레임을 전송하고, 단말기로부터 ACK 를 수신 받아야 데이터를 전송한다.

2. 단말기가 AP로 송신할 데이터가 있을 경우, AP는 단말기로 POL 프레임을 전송하고, POL 프레임을 수신 받은 단말기는 전송할 데이터가 있을 경우 바로 AP로 data를 전송한다. 이 때, 그림 6에서는 생략하였지만, Data 전송 실패 시 재전송 횟수는 초기통신 실패 시와 마찬가지로 10회 설정하였고, 10회를 넘어갈 경우 다음 순서번호 K 의 단말기로 넘어가서 위와 같은 절차로 통신을 수행한다. 또한, 전송할 데이터가 없을 경우에는 NAK 를 송신한다.

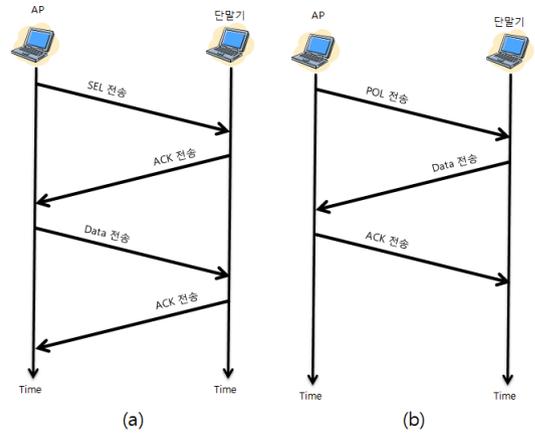


그림 5. 데이터 통신의 흐름도
(a) AP → 단말기 송신할 데이터가 있을 경우
(b) 단말기 → AP 송신할 데이터가 있을 경우

3. 데이터 송신 후 ACK 응답을 최대 Time-off 시간만큼 대기한다. 이 때, 그림 6에서는 그림의 복잡함 때문에 생략하였지만, 만약 Time-off 시간이 지나도 ACK 응답이 없으면 데이터 유실 또는 충돌이 발생으로 판단하고 10회까지 재전송을 하는 것으로 설정하였다. 만약, 재전송 횟수가 10회를 넘어가도 실패할 경우에는 다음 순서번호 K 의 단말기로 넘어가서 위와 같은 절차로 통신을 수행한다.

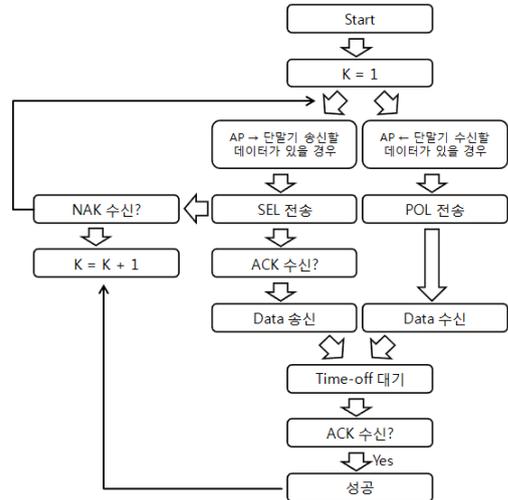


그림 6. 데이터 통신의 순서도

V. 프로토콜의 상세 동작시간

본 단원에서는 제안하는 프로토콜의 여러 시간 설정에 대한 상세한 설명을 하고자 한다.

5.1 방송 메시지 주기

AP는 항상 단말기와의 방향성을 최적으로 맞추기 위하여 주기적으로 방송 메시지를 보낸다. AP가 주기적으로 방송 메시지를 보내고, 방송 메시지를 수신한 단말기들이 단말기와의 방향을 자동으로 최적화한 뒤 자신의 정보를 등록하게 된다.

단말기가 부팅을 완료하고, 통신을 정상적으로 동작시키기 위하여 단말기의 광 송수신기가 자동으로 AP와의 송수신 방향을 최적화하는데 소요되는 시간이 0.5초 이내이면 사용자가 불편을 느끼지 않는다고 가정하였다. 단말기에 부착된 광 송수신기가 360도로 회전할 수 있다고 보았을 때, 한 번에 15도씩 움직일 경우 총 24 번이면 1바퀴 (360도)를 완전히 회전할 수 있다. 방송주기를 계산할 시에는 계산의 편리함을 위해 24 번 대신 25 번으로 계산하여 0.5초 / 25번 = 20 ms 로 결정하였다. 한 번에 15도 씩 움직인다고 가정한 이유는 LED 송수신기의 실험결과 15 도 오차 각도 내에서는 통신이 정상적으로 수행함을 확인하였기 때문이다.

5.2 방송 메시지, 단말기 등록 시간

본 논문에서는 LED 조명을 이용한 무선 가시광 LAN 통신의 도달거리를 최대 100 m 로 가정하였다. 이 때, 표 1과 표 2에서 보는 바와 같이 방송 메시지 송신에 필요한 시간은 방송주기 20 ms 중 약 0.1 ms 가 소요되며, 단말기 등록에 필요한 시간은 20 ms 중 약 0.3 ms가 소요된다. 이 때, PHY 영역의 데이터 전송속도는 가시광 PAN 통신의 표

표 1. 방송 메시지 송신에 필요한 시간

	방송 메시지 (12 bytes)
Propagation Delay for 100 m (A)	$100 / (3 \times 10^8)$ = 0.00033 ms
Processing Delay with 1 Mbps (B)	$96 / (1 \times 10^6)$ = 0.096 ms
Total transfer time	A+B ≈ 0.1 ms

표 2. 단말기 등록 시간

	방송 메시지(12 bytes)
Propagation Delay for 100 m (A)	$100 / (3 \times 10^8)$ = 0.00033 ms
Processing Delay with 1 Mb/s (B)	$144 / (1 \times 10^6)$ = 0.144 ms
ACK 수신 시간 (C)	0.15 ms
Total transfer time	A+B+C ≈ 0.3 ms

준인 IEEE 802.15.7에서 정의한 PHY 영역의 데이터 전송속도를 참고하여 표 3과 같이 가정하였다. 방송 메시지와 단말기 등록 시간은 최소 1 Mb/s 에서 최대 10 Mb/s 의 전송속도로 전송될 수 있다고 가정하였고, 데이터 전송은 최소 10 Mb/s 에서 최대 100 Mb/s 의 전송속도를 가정하였다.

표 4는 전체 프로토콜의 시간배분을 나타낸 것이다. 20 ms 중 방송 메시지 송신 시간과 단말기 등록에 필요한 시간을 뺀 나머지가 데이터 전송 시간이 될 것이다. 따라서, 데이터 전송 시간은 19.6 ms 로 할당된다. 즉, 20 ms 의 주기마다 데이터 전송 시간으로 19.6 ms 가 할당된다.

표 3. 데이터 속도

	최소전송속도	최대전송속도
방송 메시지	1 Mbps	10 Mbps
단말기 등록	1 Mbps	10 Mbps
데이터 전송	10 Mbps	100 Mbps

표 4. 프로토콜의 시간배분

	시 간
프로토콜 주기 (A)	20 ms
방송메시지 전송 (B)	0.1 ms
단말기 등록 (C)	0.3 ms
데이터 통신 (A-(B+C))	19.6 ms

5.3 프레임 형식

MAC 프레임 형식으로는 기존의 IEEE 802.11 기반의 무선 LAN 통신용 MAC 프레임을 수정하여 무선 가시광 LAN 통신에 적합한 MAC 프레임을 제안하였으며 이를 그림 7에 나타내었다. 제안된 MAC 프레임은 기존의 IEEE 802.11 기반의 MAC 프레임에서 Length 필드가 추가가 되었는데, 이는 프레임의 길이 정보를 제공함으로써 추가적인 오류를 막기 위함이다.

방송 메시지는 AP 와 단말기의 방향성을 최적으로 맞추기 위하여 주기적으로 보내는 방송 메시지 프레임이고, TIF 은 AP 로부터 방송메시지를 받은 단말기가 AP 에게 자신의 정보를 등록하기 위한 정보가 담긴 프레임이다. SEL은 AP가 단말기로 보낼 데이터가 있어서 단말기를 선택하여 수신준비가 되었는지 확인하는 프레임이고, POL은 단말들에게 AP로 송신할 데이터가 있는지를 묻는 프레임이다. 표 5는 프레임 필드에 대한 설명이다.

FC	Ad 1	Ad 2	Ad 3	Length	SC	Frame body	FCS
2 bytes	6 bytes	6 bytes	6 bytes	1 byte	2bytes	0- 2312 bytes	4 bytes

FC (Frame control)

Version	Type	Subtype	To DS	From DS	Retry	Pwr mgt	More data	Rsvd
2 bits	2 bits	4 bits	1 bit	1 bit	1 bit	1 bit	1 bit	3 bit

Broadcast Message (방송메세지) Terminal Information Frame (단말기 정보 프레임)

FC	Address 1	FCS
2 bytes	6 bytes	4 bytes

FC	Address 1	Address 2	FCS
2 bytes	6 bytes	6 bytes	4 bytes

ACK (긍정응답 프레임) NAK (부정응답 프레임)

FC	Address 1	Address 2	FCS
2 bytes	6 bytes	6 bytes	4 bytes

FC	Address 1	Address 2	FCS
2 bytes	6 bytes	6 bytes	4 bytes

SEL (수신준비 질문 프레임) POL (송신준비 질문 프레임)

FC	Address 1	Address 2	FCS
2 bytes	6 bytes	6 bytes	4 bytes

FC	Address 1	Address 2	FCS
2 bytes	6 bytes	6 bytes	4 bytes

그림 7. 프레임 형식

표 5. 프레임 필드 설명

Field	Explanation	
FC	Version	현재 버전은 0이다.
	Type	프레임 종류 : 초기프레임(00), 응답 프레임(01), 데이터프레임(11)
	Sub Type	초기프레임 : BM(0000), TIF(1111) 응답프레임 : ACK(0000), NAK(0101), SEL(1010), POL(1111)
	To DS	AP → 단말기 (00),
	From DS	단말기 → AP (11)
	Retry	1로 설정되었을 때, 프레임 재전송을 의미한다.
	Pwr mgt	1로 설정되었을 때, 지국은 전력관리 모드임을 의미한다.
	More data	1로 설정되었을 때, 지국은 더 보낼 데이터를 가지고 있다는 것을 의미한다.
	Rsvd	예약을 의미한다.
Length	프레임의 길이를 제어한다.	
FCS	CRC-32 오류검출 시퀀스 포함한다.	
SC	프레임의 순서번호를 정의 한다.	
Frame body	0에서 2312 바이트의 길이를 가지고 있으며, Type 필드와 Sub Type 필드에서 정의한 정보를 포함하고 있다.	

VI. 성능평가 연구

본 단원에서는 제안하는 프로토콜의 성능을 연구하였다. 본 프로토콜이 동작하는 실내 사무환경에서 AP 와 단말기 간의 거리는 최대 100 m 이내로 가정하였고, 데이터 송수신 구간의 데이터 전송속도는 10 Mbps, 50 Mbps, 100 Mbps 인 세 가지 경우를 가정하였다. 또한, 본 성능평가 연구에서는 PHY 단

에서 송수신 방향이 일치하면 전송에러는 발생하지 않음을 가정하였다.

5.1 데이터 전송속도가 10 Mbps 인 경우

표 6 및 그림 8은 PHY 단의 데이터 전송속도가 최저값인 10 Mbps 일 때의 데이터 throughput 을 계산한 결과이다. 이 때, 프로토콜은 20 ms 중 초기통신 (0.4 ms)를 제외한 19.6 ms 의 데이터 송수신 구간 동안 10 개의 Full Frame 을 전송할 수 있으며, 남은 0.46 ms 의 시간동안 하나의 짧은 Frame 을 전송할 수 있다. 따라서, 20 ms 동안 프로토콜이 보낼 수 있는 총 데이터 량은 [10 Full Frame 의 실제 Net Data의 길이 (23120 bytes)] + [0.46 ms 동안 보낼 수 있는 Net Data의 길이 (521 bytes)] 인 23641 bytes 이다. 총 전송 데이터 량을 주기 (20 ms) 로 나누어 throughput을 구하면 9.456 Mbps가 계산된다.

표 6. 데이터 전송속도가 10 Mbps 인 경우의 throughput 계산

Time for transmitting 1 Full Frame	1.914 ms
총 10 개의 Full Frame 이 전송 가능하고, 0.460 ms 시간이 남는다.	
0.460 ms 시간에 보낼 수 있는 Net Data 량	521 bytes
Total amount of transferred data = 23120 + 521 = 23641 bytes	
throughput (총 데이터 량 / 주기)	23641 bytes / 20 ms ≃ 9.456 Mbps

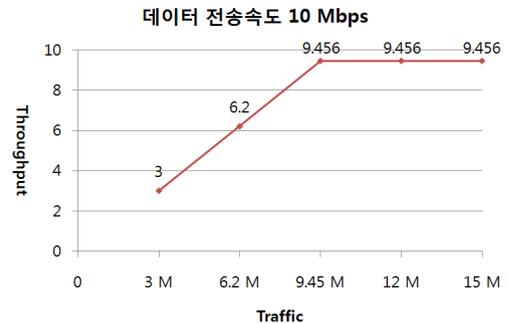


그림 8. 데이터 전송속도 10 Mbps 인 경우의 Data Throughput

5.2 데이터 전송속도가 50 Mbps 인 경우

표 7 및 그림 9은 데이터 전송속도가 50 Mbps 일 때의 throughput 을 계산한 결과이다. 이 때, 프

표 7. 데이터 전송속도가 50 Mbps 인 경우의 throughput 계산

Time for transmitting 1 Full Frame	0.383 ms
총 51 개의 Full Frame 전송 가능하고, 0.067 ms 시간이 남는다.	
0.067 ms 시간에 보낼 수 있는 Net Data 량	72.95 bytes
Total amount of transferred data = 117912 + 72.95 = 117984.95 bytes	
throughput (총 데이터 량 / 주기)	117984.95 bytes / 20 ms ≃ 47.194 Mbps

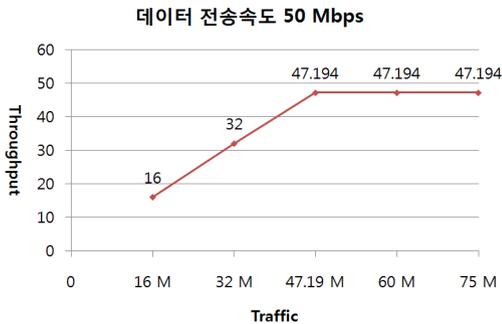


그림 9. 데이터 전송속도 50 Mbps 인 경우의 Data Throughput

로토콜은 20 ms 중 초기통신 (0.4 ms)를 제외한 19.6 ms 동안 51 개의 Full Frame 을 전송할 수 있으며, 남은 0.067 ms 의 시간동안 하나의 짧은 Frame 을 전송할 수 있다. 따라서, 20 ms 동안 프로토콜이 보낼 수 있는 총 데이터 량은 [51 개의 Full Frame 의 Net Data의 길이 (117912 bytes)] + [0.067 ms 동안 보낼 수 있는 Net Data의 길이 (72.95 bytes)] 인 117984.95 bytes 이다. 총 전송 데이터 량을 주기 (20 ms) 로 나누어 throughput을 구하면 47.194 Mbps가 계산된다.

5.3 데이터 전송속도가 100 Mbps 인 경우

표 8 및 그림 10은 데이터 전송속도 100 Mbps 일 때의 throughput 을 계산한 결과이다. 이 때, 프로토콜은 20 ms 중 초기통신 (0.4 ms)를 제외한 데이터 송수신 구간인 19.6 ms 동안 102 개의 Full Frame 을 전송할 수 있으며, 남은 0.067 ms 의 시간동안 하나의 짧은 Frame 을 전송할 수 있다. 따라서, 20 ms 동안 프로토콜이 보낼 수 있는 총 데이터 량은 [102 개의 Full Frame 의 Net Data의 길이 (235824 bytes)] + [0.118 ms 동안 보낼 수 있는 Net Data의 길이 (142.1 bytes)] 인 235966.1 bytes 이다. 총 전송 데이터 량을 주기 (20 ms) 로 나누어 throughput을 구하면 94.386 Mbps가 계산된다.

표 8. 데이터 전송속도 100 Mbps 인 경우의 throughput 계산

Time for transmitting 1 Full Frame	0.191 ms
총 102 개의 Full Frame 전송 가능하고, 0.118 ms 시간이 남는다.	
0.118 ms 시간에 보낼 수 있는 Net Data 량	142.1 bytes
Total amount of transferred data = 235824 + 142.1 = 235966.1 bytes	
throughput (총 데이터 량 / 주기)	235966.1 bytes / 20 ms ≃ 94.386 Mbps

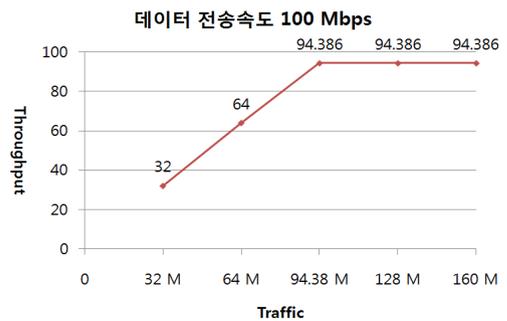


그림 10. 데이터 전송속도 100 Mbps 인 경우의 Data Throughput

bytes 이다. 총 전송 데이터 량을 주기 (20 ms) 로 나누어 throughput을 구하면 94.386 Mbps가 계산된다.

본 프로토콜은 AP와 단말기 간의 충돌을 방지하기 위하여 중앙 집중형 Polling 방식을 사용하였기 때문에, 단말기의 개수가 늘어나더라도 랜덤 Access 방식에서 나타나는 전송률이 떨어지는 현상은 나타나지 않는다.

VII. 결 론

본 논문에서는 LED 조명 기반의 무선 LAN 통신을 위한 MAC 프로토콜을 설계하였다. 가시광 무선채널의 특성상 AP와 단말기가 송수신을 하는데 있어 LED 의 송수신 방향이 일치되어야만 통신의 성능을 보장할 수 있다. 따라서, 단말기의 광송수신기의 방향이 AP로 향하게 자동으로 맞추기 위해서 AP에서 주기적으로 방송 메시지를 보내는 것을 가정하였고, 이러한 초기통신 절차를 통해 AP와 단말기에 장착되어있는 광송수신 소자 간의 방향을 자동으로 맞추는 특징을 가지고 있다. 또한, 각 단말

기로의 데이터 전송은 빛의 직진성 때문에 Carrier 센싱 및 충돌감지가 어려움을 감안하여 CSMA/CA 기반이 아닌 중앙 집중형 polling 기법을 사용하였다. MAC 프레임 형식으로는 IEEE 802.11 무선랜의 MAC 프레임을 수정하여 무선 가시광 LAN 통신에 적합한 MAC 프레임을 제시하였다.

또한, 본 논문에서는 이러한 프로토콜의 성능을 도출해 보았으며, 무선 가시광 PHY 단의 데이터 전송속도를 100 Mbps로 가정하였을 때에 여러 가지 오버헤드를 제외하고 순수하게 데이터를 보낼 수 있는 데이터 전송량은 94.386 Mbps에 달하였다.

참 고 문 헌

- [1] 김대호, 임상규, 강태규, “LED 조명통신 융합 가시광 무선통신 응용 서비스 모델”, 한국통신학회지, 26권 5호, pp.3-9, May 2009.
- [2] 신홍석, 최정석, 이경우, 박성범, 정대광, 이영민, 박진우, “무선 가시광 통신을 위한 MAC Protocol에 대한 연구”, 한국통신학회지, 26권 5호, pp.30-35, 2009년 5월.
- [3] IEEE Std 802.15.7, draft version, Nov. 2009.
- [4] T. Komine and M. Nakagawa, “Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System using LED light,” IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol.50, No.1, pp.100-107, Feb., 2004.
- [5] T. Komine and M. Nakagawa, “Performance evaluation of visible-light wireless communication system using white LED lightings,” IEEE 9th International Symposium on Computers and Communications, Vol.1, pp.258-163, 2004.
- [6] H. Sugiyama, S. Haryuama, and M. Nakagawa, “Brightness Control Methods for Illumination and Visible-Light Communication Systems”, IEEE Wireless and Mobile Communication, pp.78-83, 2007.
- [7] 최정호, 전종배, 김성만, “LED 조명을 이용한 무선 가시광 LAN 통신을 위한 MAC 프로토콜 연구,” 한국광학회 2010년도 하계학술발표회, paper FF-V10, 2010년 7월.

- [8] IEEE Std 802.15.7, draft version, pp.21-22, Nov., 2009.

전 종 배 (Jongbae Jeon)

준회원



2011년 2월 경성대학교 전자공학과 공학사
 2011년 3월~현재 경성대학교 전자공학과 석사과정
 <관심분야> LED 무선 광통신, 이동통신, IT 융합

최 정 호 (Jungho Choi)

학생회원



2004년 3월~현재 경성대학교 전자공학과
 <관심분야> LED 무선 광통신, 이동통신, IT 융합

김 성 만 (Sung-Man Kim)

종신회원



1999년 2월 KAIST 전기및전자공학과 공학사
 2001년 2월 KAIST 전자전산학과 석사
 2006년 2월 KAIST 전자전산학과 박사
 2009년 3월~현재 경성대학교 전자공학과 교수

<관심분야> LED 무선 광통신, Mobile WiMAX, 광통신, IT 융합