

무선 가시광 통신을 위한 MAC Protocol에 대한 연구

신홍석 | 최정석 | 이경우 | 박성범 | 정대광 | 이영민 | 박진우*

삼성전자, 고려대학교*

요약

본고에서는 무선 가시광 통신을 위한 Medium Access Control (MAC) 프로토콜의 설계에 관해 기술한다. 조명등을 이용한 가시광 무선랜 네트워크는 고정된 상태의 Access Point (AP)에 의한 인프라를 Mobile Node (MN)를 상대로 구성하고 인터넷과 같은 기존의 인프라와 연결되는 구조적 특징을 가진다.

이러한 네트워크에 사용되는 무선 가시광 통신 채널의 특성을 이해하고 MAC 프로토콜의 기능에 대한 요구조건을 도출하였다. 주어진 가시광 통신 채널을 효율적으로 사용할 수 있도록 시분할다중 접속 방식과 Full duplex를 도입하는 Frame 구조를 구성하였고 가시성을 이용한 접속 절차를 제안하였다.

1. 서론

Light Emitting Diode (LED)의 발광 효율이 개선되고 가격이 떨어짐에 따라 휴대기기, 표시장치, 자동차, 신호등, 광고판 등의 특수 조명 시장뿐만 아니라 실내 조명등인 형광등, 백열등과 같은 일반 조명 시장에서도 LED가 점점 사용범위가 확장되고 가고 있으며, 앞으로도 그 성장세는 증가할 것으로 예상된다. [1] 이에 가시광통신은 380~680 nm에 해당하는 가시광 파장을 방출하는 LED 조명 기구를 이용하여 조명의 역할과 동시에 통신을 가능하게 하는 차세대 근거리

통신기술이다. 눈에 보이는 가시광을 방출하는 LED 조명의 점멸로 0과 1로 조합된 데이터를 송신하는데, 점멸이 1초 동안 수십회 이상이 될 경우 인간의 눈으로는 계속 점등된 것처럼 인식된다. [2, 3] 이러한 서비스가 확대된다면 LED 조명이 있는 곳에서 단말기나 노트북을 가지고 있는 사용자는 가시광 무선 송수신 모듈을 이용하여 무선랜 혹은 방송수신 형태의 데이터 통신을 할 수 있다. 가시광 통신에서는 일반 무선 통신과 달리 정보 발신원이 보이기 때문에 어디에 정보가 있는지 쉽게 파악할 수 있고 Line of Sight (LOS) 확보 및 짧은 통신 거리로 인해 높은 수신 Signal-to-Noise Ratio (SNR)을 기대할 수 있다. 또한 가시광 통신은 사용자 환경에서 보편화될 가시광 LED 조명에 간단한 제어회로를 적용하여 조명과 동시에 통신이 가능하므로 통신 인프라 구축 비용이 절감된다.

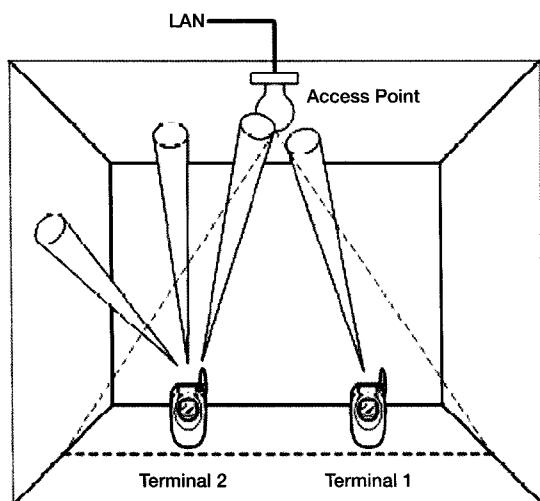
또한 전력선 통신과 결합하여 통신 네트워크를 구축하면 통신을 위한 추가적인 선로를 준비할 필요가 없게 되는 장점도 있다. [4] 따라서 이러한 기술을 사용하면 언제 어디서나 조명이 있는 곳에서는 통신이 가능하므로 RF 무선 기술과 상호 보완하여 USN 분야의 Connectivity 기술로 활용이 가능하다. 또한, 눈에 보이는 빛을 이용하므로 통신 상태를 눈으로 확인할 수 있고, 빛의 직진성에 따라 통신의 범위를 한정하여 보안성을 강화되므로 실생활에서의 활용 가능성이 매우 높다.

본 논문에서는 이러한 서비스를 위해 무선 가시광 통신 채널의 특성을 이해하고, 해당 채널에 적합한 MAC 프로토콜을 설계하며, 이를 구현하는 방안에 대한 세부 내용을 기술하고자 한다.

II. 본 론

가시광 통신은 가시광을 이용하여 데이터를 송수신하기 때문에 RF와 비교하였을 때 물리적인 특성이 상당히 다르다. 따라서 가시광이 가지는 특성들을 조사 분석하고 시스템의 요구하는 조건들을 파악하는 것에서부터 MAC 프로토콜의 설계가 시작된다. 조명등을 이용한 가시광 무선랜 네트워크는 (그림 1)에서와 같이 고정된 상태의 AP에 다수의 MN이 접속하여 통신하는 point-to-multi-point의 구조를 가진다. 그리고, MN으로부터 AP로 통신하는 방향을 uplink, AP로부터 MN으로 향하는 통신방향을 downlink라고 정의한다. 가시광은 직진성이 매우 강하여 uplink와 downlink 서로 간에 간섭을 일으키지 않기 때문에 동시에 전송하는 full-duplex로 동작이 가능하다.

AP는 인터넷과 같은 유선네트워크와 연결되어 MN들의 gateway 역할을 수행하는 개체로, 다수의 MN들에게 패킷을 전송하거나 다수의 MN들로부터 패킷을 수신하는 역할을 담당한다. 이 때 AP는 조명등 인프라에 포함되어 있으므로 소비전력이나 장치 크기 등 비교적 제한 요건에서 자유로우나, MN는 이동 가능한 단말의 일부 혹은 착탈식 모듈로 존재해야 하므로 저전력 및 작은 크기로 되는 것이 바람직하다. 따라서 본 가시광 통신 MAC 프로토콜은 AP가 모든 판



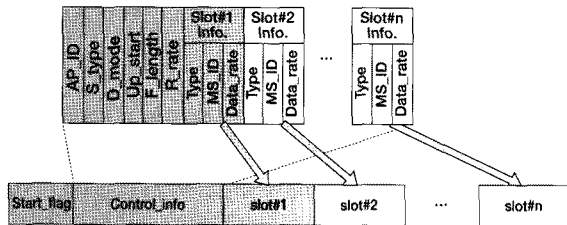
(그림 1) 조명을 이용한 무선 가시광 통신의 기본 구조

단과 처리를 담당하고 MN은 명령을 수행하는 구조로 설계되었다.

무선 가시광 통신과 다른 무선 통신들과의 가장 큰 차이점은 데이터의 송수신 과정을 사용자가 확인할 수 있다는 점이다. 즉, 송수신 단의 위치를 사용자가 눈으로 쉽게 파악할 수 있으며, 통신의 경로를 눈으로 확인할 수 있다. 따라서 LED를 이용하여 수신단으로 정보를 전달할 수도 있지만 사용자에게도 정보를 전달할 수 있다. 즉, LED를 통해서 다른 단말기에 데이터를 전송하는 동시에 LED의 색이나 밝기를 조절하여 사람이 인식할 수 있는 시각적인 패턴을 생성하여 사람에게도 특정한 정보를 전달할 수 있다는 것이다. 이러한 duality는 기존의 RF 기반 통신 시스템이나 적외선 기반 통신 시스템에서는 없는 가시광 통신 시스템만의 고유한 특성이며, 이러한 특성을 이용하여 기존 시스템보다 훨씬 더 human interactive한 시스템을 구현할 수 있다. (그림 1)에서 Terminal2와 같이 단말의 LED가 계속적으로 빛을 내고 있다면, uplink 신호의 방향을 시각적으로 판단할 수 있다. 이를 이용해 LED의 방향이 정확히 AP의 수신단을 향하도록 사용자가 수작업으로 LED의 방향을 조정해 줄 수 있으며, LED의 점멸을 이용해서 채널 상태 등의 부가적인 정보를 사용자에게 알려줄 수도 있다. 이러한 성질을 이용하면 사용자가 직접 눈으로 확인하면서 송수신단 사이의 통신 경로를 열여 줄 수 있다.

이와 같은 통신 시스템에서는 주어진 통신 채널을 공유하기 위한 다중 접속 수단이 필요한데, 가시광 채널은 RF와는 달리 carrier sensing과 collision detection이 불가능하며, 채널에 동시에 접속하여 충돌이 발생하는 곳이 AP의 수신부에 한정된다. 또한 가시광 영역의 주파수는 RF 통신에 비해서 매우 넓은 대역폭을 가지고 있으며 매우 간단한 변조 기법을 이용하여 통신한다. 따라서 가시광 통신 MAC 프로토콜에서는 WiFi 등의 RF 기반 무선랜에서 사용하는 반송과 감지 다중 접속(Code Division Multiple Access: CSMA)와 같은 경쟁기반 방식을 사용할 수 없고, MN별로 시간 자원을 나누어 사용하는 시분할 다중접속 방식(Time Division Multiple Access: TDMA)이 적합하다. 본 가시광 통신 MAC 프로토콜에서는 TDM방식을 기반으로 하여 시스템 자원의 효율을 높이고 충돌 확률을 최소화 하는 다중 접속 수단을 적용하였고 (그림 2)와 같은 프레임 구조를 도입하였다. 다

수의 MN와 통신하기 위한 자원할당의 단위를 slot으로 규정하였고, 해당 slot의 소유여부 등에 관한 정보를 control_info에 두어 처리하도록 했다.

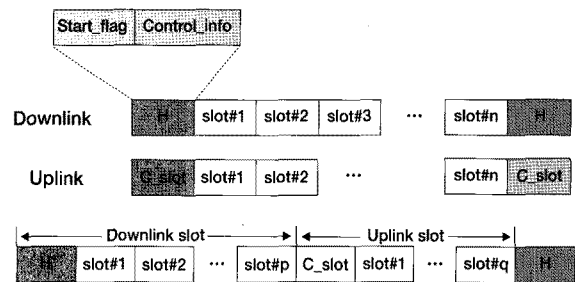


(그림 2) 가시광 MAC 프로토콜의 프레임 구조

무선 통신채널 중 유사한 성격을 가진 적외선 통신 시스템이 Half duplex로만 동작하는 것과는 달리, 무선 가시광 통신 시스템에서는 Full duplex로 동작할 수 있도록 송수신기의 간섭을 최소화하였다. 즉, downlink 채널과 uplink 채널이 독립적으로 존재하여 시간 축 상에서 서로 재사용이 가능하므로 throughput 향상을 기대할 수 있다. 그러나 채널의 열화나 간섭에 의해 Full duplex를 사용할 수 없을 경우 Half duplex로 동작 방식을 변경하여 시간 축 상에서 구분하여 사용해야 한다. 가시광 통신 MAC 프로토콜에서는 채널의 상황에 따라 Full duplex 또는 Half duplex을 선택적으로 사용할 수 있도록 설계하였다. 따라서 가시광 통신 시스템의 frame structure는 duplex 방식에 따라 (그림 3)과 같이 동작한다.

가시광 통신 시스템에서는 프레임 동기를 preamble을 이용하여 획득한다. Downlink의 경우, 한 frame의 초기에 preamble을 start_flag에 삽입하여, frame의 시작을 알리고 timing sync를 획득한다. 이어서 각 단말에게 할당된 downlink 및 uplink slot 정보를 알려주기 위한 control info가 전송된다. start_flag와 control_info는 전송으로 규정한 속도 중 가장 낮은 전송로 고정되어 전송된다. Control_info의 전송 이후 단말 별로 downlink로 향하는 데이터가 slot 단위로 할당되어 전송되게 된다. Uplink의 경우 time slot 내에서 각 단말은 자신이 보내는 packet에 preamble을 삽입하여, 각 time slot별로 별도로 동기를 획득하도록 한다. Uplink의 frame에서는 control_info는 존재하지 않으며, AP에 의해 할

당된 대로 모든 자원이 uplink 데이터 전송을 위한 slot으로 사용된다. 그리고 Uplink slot의 일부는 단말의 초기 접속을 위한 C_slot으로 할당된다. C_slot은 MN이 임의로 선택하여 사용 가능하나 충돌의 가능성이 존재한다. Half duplex 방식의 경우 start_flag와 control_info의 전송 이후에 downlink 데이터 전송을 위한 downlink slot이 존재하고 downlink slot 이후에 uplink 데이터 전송을 위한 uplink slot이 존재하게 된다.



(그림 3) Full duplex / Half duplex에서 채널 이용 방식

가시광 통신 시스템에서는 AP와 MN 사이에 LOS의 형태로 통신 채널이 형성되며 통신 영역의 경계가 뚜렷하고 통신이 되는 영역에서는 높은 SNR을 보장할 수 있다. 또한 통신 신호가 벽을 통과할 수 없기 때문에 인접 AP간의 간섭이 기존의 시스템보다 현저히 적다. 따라서, 가시광 통신은 시간에 따른 채널의 변화는 크지 않다. 하지만, 이러한 강한 LOS 성질로 인하여 사람이나 주변 사물의 이동에 의해 전송이 일시적으로 차단되는 현상이 빈번하게 발생할 수 있다. 그러므로, 가시광 통신에서 발생하는 에러의 형태는 발생하는 빈도는 적은 반면, 발생할 경우 에러의 숫자가 많아지는 경향이 있다. 이런 일시적 차단 시에 connection을 종료하지 않고 유지시켜 주어야만 불필요한 재 접속의 과정을 방지할 수 있다. 따라서, 가시광 MAC 프로토콜은 이런 일시적 차단 패턴을 분석하여 불필요한 재접속을 막을 수 있는 접속 유지 과정을 구현하여야 한다.

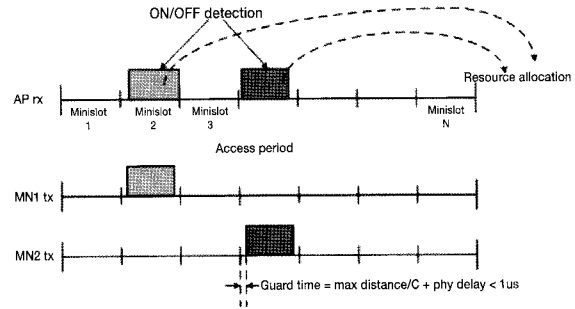
가시광 통신은 단위 거리당 신호 감쇠의 변화가 크므로 단말의 전송 속도를 최대화함과 동시에 전송 에러를 최소화하기 위해서는 적응적 전송률 제어 기법이 필수적이다. 특히 무선 통신에서는 두 노드 간의 거리에 따른 신호 감쇠와

noise등의 영향으로 인해, 시간에 따라 전송특성이 다르게 나타날 수 있다. 무선 통신의 경우는 거리에 따라 제곱에 비례하여 감소하는 intensity 특성으로 인해 단말의 위치에 따라 채널 특성이 다르게 되고, 전송 에러율 (Bit Error Rate: BER)이 달라지게 된다. 통신의 품질 유지를 위해서는 BER을 일정 값 이상 보장해 주어야 하므로 채널 상황에 따라 적응적으로 전송 속도를 변경하는 가변 전송 속도 제어 방식이 도입되어야 한다. 그러므로, 가시광 MAC protocol의 변경하는 가변 전송 속도 제어 방식은 채널상황을 빠르게 따라가기 보다는 BER을 일정하게 유지하고 throughput을 최대화할 수 있는 방향으로 동작해야 한다. 가시광 통신 MAC 프로토콜에서 변경하는 가변 전송 속도 제어 방식은 전송 packet 자체에 전송속도 관련정보를 삽입하여 수신단이 별도의 정보 전달용 채널 없이 수신 packet 만으로 전송속도를 파악하는 방식을 사용하도록 설계하였다.

단말이 초기에 AP에 접속할 때에는 아직 할당된 자원이 없기 때문에 경쟁기반의 방식으로 packet을 전송하여야 한다. 이때, 다수 단말의 동시 접속으로 인한 충돌 발생의 가능성이 존재한다. 충돌이 일어나면 접속 지연이 발생할 뿐만 아니라, 자원의 낭비가 발생하게 된다. 그러므로, 충돌을 최소화 하면서도 자원의 낭비를 줄일 수 있는 초기 접속 과정이 frame 구조에 적용되어야 한다. 가시광 통신의 특성상, 동시에 전송된 다수의 패킷은 복원될 수 없다. RF에서는 CDMA와 같은 직교성을 이용한 다중 접속이 가능하지만, 가시광 통신 시스템에서는 신호가 0과 1로 구분되며 중첩성을 가지지 않기 때문에, 직교성을 이용한 전송은 불가능하다. 그러므로, 성공적인 초기접속을 위해서는 시간 축에서 분리된 전송이 이루어져야 한다. 낮은 충돌 확률의 경쟁기반 접속을 위해서는 mini slot의 도입이 필요하다. Data 전송을 위한 packet보다 아주 작은 길이의 request packet을 전송하여 충돌확률을 줄였다. 이 packet이 성공적으로 전달된 경우 정상적인 resource를 할당 받아 registration 과정을 수행하게 된다. 가시광 통신 MAC 프로토콜도 이런 mini slot 기반의 초기 접속을 지원할 수 있는 frame 구조를 정의하여야 하며, 초기 자원 할당 algorithm이 필요하다.

초기 접속을 위해 할당된 uplink slot인 C_slot은 (그림 4)와 같이 N개의 mini-slot으로 구성되었다. AP와의 association이 아직 이루어지지 않은 MN은 uplink 자원할당을 위해 이 N

개의 mini-slot중 하나를 선택하여 initial access를 수행한다. Initial access는 하나의 mini-slot에 8B10B code의 control symbol 중 임의의 code를 선택하여 반복적으로 전송함으로써 이루어진다. 이때, AP와 MN 사이의 전송 delay를 고려하여 mini-slot의 앞쪽과 뒤쪽에 guard time을 두도록 했다. AP는 각 mini-slot에서 수신된 신호를 분석하여, 신호의 ON/OFF를 판단한다. ON으로 판단된 경우는 다음 frame에서 uplink slot을 해당 mini-slot에 할당하고, control_info에 자원 할당 메시지를 전송한다. MN은 다음 frame의 자원 할당 정보에서 자신이 전송한 mini-slot에 대한 자원할당이 이루어졌는지 확인한다. 만약 자원할당이 되지 않았다면 AP가 access request를 수신하지 못한 경우이므로, 일정 기간 동안의 backoff를 수행한 뒤 다시 initial access를 수행한다. 자원할당이 이루어진 경우는, MN에서 할당된 자원을 이용해 AP에게 AS-REQ message를 전송한다.



(그림 4) 초기 접속을 위한 mini-slot 적용 방식

초기 접속에 성공한 MN은 자신의 정보를 AP에게 전달하여 registration의 과정을 거쳐야 한다. 이를 위해 가시광 통신 MAC 프로토콜은 registration message와 registration process를 정의하고, message를 통해 전달될 단말과 AP의 capability 정보를 정의한다.

제시된 가시광 통신 시스템과 같은 일대다 구조의 무선통신에서는, downlink 자원할당에 비해 uplink 자원할당의 과정이 복잡하다. 기본적으로 connection이 유지된 상태에서는 자원할당을 요청할 수 있는 최소한의 자원을 주기적으로 할당 받는데, 전송할 data가 있는 경우에 이 polling 자원을 이용해 더 큰 자원을 요청하게 된다. 이 polling 자원 할당의

주기는 시스템 throughput을 최적화 할 수 있도록 결정되어야 한다. Uplink로 data를 전송할 자원을 이미 할당 받은 경우에 추가적인 data를 보낼 필요가 생기면 piggyback 방식으로 자원 요청을 수행한다. 가시광 통신 MAC 프로토콜의 MAC frame은 uplink 자원 할당 정보를 piggyback 할 수 있도록 지원해야 한다.

III. 결 론

무선 가시광 통신 채널을 이해하고 그에 적합한 MAC 프로토콜을 설계하였다. MAC 프레임 구조와 주고받을 메시지의 종류를 정의한 후에 제안한 MAC 프로토콜의 전체 동작을 고려하여 각 세부 기능별로 프레임 포맷에 맞추어서 동작시나리오를 작성하고 메시지를 주고 받는 절차를 정의하였다. 또한 가시광의 특성을 고려하여 사용자가 가시광의 위치와 범위를 시각적으로 확인하여 통신 링크를 정렬할 수 있는 가시광 통신 MAC 프로토콜에서 초기 접속 절차를 제안하였다. 이러한 가시광 통신 MAC 프로토콜을 이용하여 LED 조명 기반의 통신 서비스를 원활하게 제공할 수 있을 것으로 전망한다.



- [1] Gu, Y., N. Narendran, and J. P. Freyssinier, "White LED Performance," 4th International Conference on Solid State Lighting, Proceedings of SPIE 5530, pp. 119-124, 2004.
- [2] Y. Tanaka, S. Haruyama, and M. Nakagawa, "Wireless optical transmission with the white colored LED for the wireless home links," IEEE 11th Int. Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, vol. 2, pp. 1325-1329, 2000.
- [3] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama and M. Nakagawa, "Indoor Visible Light Data Transmission

System Utilizing White LED Lights," IEICE Trans, on Communications, vol. E86-B, no. 8, pp. 2440-2454, 2003.

- [4] T. Komine and M. Nakagawa, "Integrated System of White LED Visible-Light Communication and Power Line Communication," IEEE 13th Int. Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, vol. 4, pp. 1762-1766, 2002.

약 력



1996년 부산대학교 학사
1998년 코넬대학교 석사
1998년 삼성전자 통신연구소 선임연구원
2001년 TyCom Laboratory 선임연구원
2002년 ~ 현재 삼성전자 DMC연구소 책임연구원
관심분야: 광통신공학, 가시광통신

신 홍 석



1998년 성균관대학교 학사
2006년 성균관대학교 석사
1998년 ~ 현재 삼성전자 DMC연구소 책임연구원
관심분야: 무선영상전송, 가시광통신

최 정 석



1998년 한양대학교 학사
2000년 Texas A&M Univ. 석사
2005년 Texas A&M Univ. 박사
2005년 ~ 현재 삼성전자 DMC연구소 책임연구원
관심분야: 광통신공학, 가시광통신

이 경 우



1997년 한양대학교 학사
1999년 한국과학기술원 석사
2003년 한국과학기술원 박사
2003년 ~ 현재 삼성전자 DMC연구소 책임연구원
관심분야: 가시광통신, 광가입자망, 통신공학

박 성 범

약 령



1994년 한국과학기술원 학사
1996년 한국과학기술원 석사
2001년 한국과학기술원 박사
2001년 ~ 현재 삼성전자 DMC연구소 수석연구원
관심분야 : 광통신공학, 가시광통신

정 대 광



1987년 서울대학교 학사
1989년 한국과학기술원 석사
1993년 한국과학기술원 박사
1993년 ~ 1997년 삼성전자 반도체연구소 책임연구원
2002년 ~ 현재 삼성전자 DMC연구소 수석연구원
관심분야 : 모바일기기, HW집적기술

이 영 민



1979년 고려대학교 학사
1987년 버지니아공대 박사
1988년 명지대학교 교수
1989년 ~ 현재 고려대학교 교수
관심분야 : 무선통신네트워크, 광통신망, IP 이동성관리

박 진 우

