

## 가시광 무선랜 시스템을 위한 효율적인 가시성 확보 방안

김우찬 | 배치성 | 조동호 | 신흥석\* | 정대광\* | 이영민\*

한국과학기술원, 삼성전자\*

### 요약

차세대 조명 기기로 각광 받는 LED의 활용이 증가함에 따라 정보의 가시성, 높은 신호대잡음비, 낮은 설치 비용, 기존 조명기기의 활용성, 높은 보안성 등의 특징을 갖는 가시광 무선 통신에 대한 관심이 증가하고 있다. 기존 RF통신 시스템과는 달리 무선 가시광 통신이 제공할 수 있는 정보의 가시성은 단말이 기지국에 초기 접속하는 경우나 통신 장애에 의해서 사용자가 단말의 전송 신호의 방향을 재설정해야 하는 경우에 신호의 변화를 통해 사용자에게 가시광 링크의 상태 정보를 제공할 수 있다. 그러나 가시광 무선랜 시스템에서 서비스 받는 사용자의 수가 증가함에 따라 확보할 수 있는 무선 자원이 부족하여 정보의 가시성을 제공하기 어려워지는 문제점이 있다. 따라서 본고에서는 가시광 무선랜 시스템에서 가시성이 확보되어야 하는 경우에 시스템의 성능을 유지시킴과 동시에 가시성을 확보해주는 효율적인 자원할당 방안을 제안한다. 또한 시뮬레이션 결과를 통해서 제안한 방안의 성능을 분석한다.

### 1. 서론

LED(Light Emitting Diodes)는 낮은 파워 소모, 높은 응답 시간, 높은 밀집도, 긴 수명, 그리고 낮은 비용 등의 장점을 가지며 전광판, 신호등, 자동차, 휴대폰 등 많은 장치들에서 사용될 수 있어 최근 차세대 조명 기기로 각광받고 있다. 일

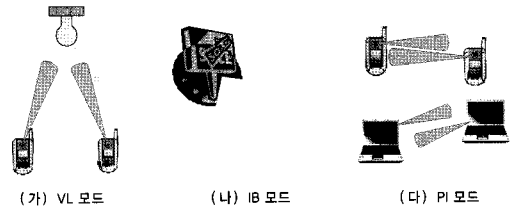
본을 비롯한 많은 선진국들은 차세대 조명 기술의 발전을 도모하기 위해 이미 LED에 대한 연구에 많은 지원을 하고 있으며, 교토 의정서, WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment Directive), RoHS (Restriction of Hazardous Substances Directive) 등과 같은 국제 협약들도 LED의 사용을 권장하고 있다. 이러한 최근의 LED에 대한 관심과 개발이 LED를 이용한 가시광 무선 통신 시스템의 발전을 가속화시키고 있다.

가시광 무선 통신 시스템은 현재 가장 많이 사용되고 있는 무선 통신 시스템인 적외선 통신과 RF (Radio Frequency) 통신에 비해 다음과 같은 장점들을 가지고 있다. 먼저, 적외선 통신은 현재 개인 영역 네트워크 (PAN, Personal Area Network)에서 가장 많이 사용되는 통신 중 하나이다. 하지만 적외선 통신에서는 신호가 넓은 영역으로 발산하기 때문에 높은 신호대잡음비 (SNR, Signal to Noise Ratio)에 도달하기 위해서 전력 소모가 심하다는 단점이 있다. 이에 비해 가시광 무선 통신에서는 신호의 방향과 폭을 조절하여 신호를 수신기에 집중시킬 수 있으므로 낮은 전력으로도 높은 전송률을 제공할 수 있다. 한편, RF 통신을 이용하는 셀룰러 (Cellular) 시스템이나 무선랜 시스템의 경우 한정된 주파수 대역을 사용하므로 설치되는 기지국의 수가 증가함에 따라 간섭 문제로 인하여 사용자에게 원하는 수준의 서비스를 제공할 수 없으나, 가시광 통신은 기존의 무선 통신 주파수대역 이외에 간섭이 없는 새로운 광대역 주파수를 사용하는 것이므로 초고속 무선 통신 서비스를 지원할 수 있다. 가시광 무선 통신은 적외선 통신과 RF 통신에 대비한 이러한 장점들 외에도 높은 보안성, 설치의 용이성 등의 이점을 제공

한다.

최근의 가시광 무선 통신 연구 동향을 살펴보면 게이오 대학의 Nakagawa 연구실에서 이론적인 분석과 시뮬레이션을 통해 가시광 무선 통신 시스템의 기본적인 성능과 특성을 분석하였으며 [1-6], PLC (Power Line Communication)를 이용한 통합 시스템 [7-8]을 연구하고 있다. 또한 가시광 무선 통신을 위한 변조 방법 [9-10]과 가시광 무선 통신을 이용한 위치 인식 및 추적시스템 [11-12]을 제안하였다. 한편, 일본에서는 VLCC (Visible Light Communications Consortium)가 LED를 이용한 가시광 무선 통신의 보편화와 표준화를 위해 설립되었다. 현재 다른 선진국들과 우리나라에서도 가시광 무선 통신에 대한 연구를 활발하게 진행하고 있다.

본고에서는 가시광 무선 통신을 서비스의 형태와 성격에 따라 VL (Visible Light), IB (Information Broadcast), PI (Peripheral Interface)의 세 가지 서비스 모드로 구분하였다. (그림 1)은 각각의 서비스 모드에 대한 예시를 보여준다. VL 모드는 가시광 무선랜 시스템과 같으며 하나의 기지국에 여러 단말이 접속하여 양방향 통신을 통해 서비스를 받을 수 있으며, IB 모드에서는 기지국이 여러 단말에 정보를 브로드캐스팅 (Broadcasting) 한다. 또한 PI 모드에서는 단말들 간에 P2P (Peer To Peer) 통신을 하게 된다. 이 중 가시광 무선랜 시스템에서 단말은 높은 에너지 효율을 위해 빔의 폭이 좁은 신호를 전송하게 되므로 단말이 전송하는 신호가 기지국의 수신기에 정확히 전달되어야 기지국과 통신이 가능하다. 일반적으로 가시광 무선랜 시스템에서 사용자는 단말이 전송하는 신호를 볼 수 있기 때문에 이것을 기지국의 수신기에 정확히 가리킬 수 있다. 하지만 단말이 기지국으로부터 할당 받은 자원이 적을 경우에는 가시성을 확보하기 어려울 수 있으며 이것은 사용자가 전송 신호를 기지국의 수신기에 정확히 가리키는 것을 힘들게 함으로써 통신 링크가 제대로 형성되지 못하는 결과를 초래한다. 하지만, 단말의 초기 접속과 같이 사용자가 단말의 전송 신호의 방향을 처음으로 설정해야 하는 경우와 통신 장애에 의해 단말의 전송 신호의 방향을 재설정해야 하는 경우에는 사용자가 단말의 전송 신호의 방향을 설정하는 것을 돕기 위해 가시성을 반드시 제공해 주어야 한다. 따라서 본고에서는 가시광 무선랜 시스템에서 효율적으로 가시성을 확보해 주는 방안을 제안한다.

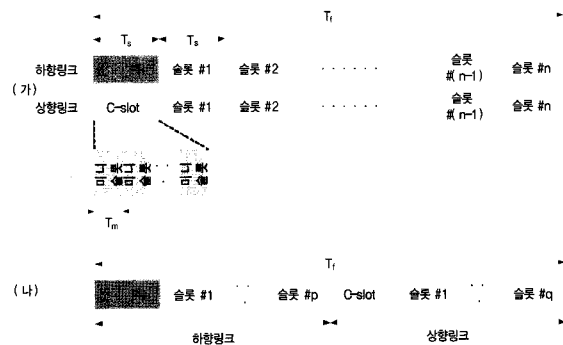


(그림 1) 가시광 무선 통신 서비스 모드

## II. 본 론

### 1. 가시광 무선랜 프로토콜

본 장에서는 가시광 무선랜 시스템에서 여러 단말이 하나의 기지국과 통신하기 위해서 시분할 다중통신 방식 (TDMA, Time Division Multiple Access)을 이용한다고 가정하고 상세 동작과정에 대해 설명한다. 시분할 다중통신 방식에서는 하나의 프레임이 여러 개의 슬롯으로 나뉘어 각각의 단말에 할당된다. (그림 2)는 가시광 무선랜 시스템의 프레임 구조를 보여준다. 프레임과 슬롯의 길이는 각각  $T_f$ 와  $T_s$ 로 고정되어 있으며, 전이중 통신방식(Full Duplex)과 반이중 통신방식(Half Duplex)을 지원한다. 전이중 통신방식에서는 하나의 슬롯이 하향링크와 상향링크에서 동시에 사용될 수 있는 반면, 반이중 통신방식에서는 하나의 슬롯이 하향링크와 상향링크에서 동시에 사용될 수 없다. 따라서 전이중 통신방식이 반이중 통신방식보다 두 배의 시스템 용량을 가진다. 반이중 통신방식에서는 데이터 전송과 수신



(그림 2) 가시광 무선랜 시스템의 프레임 구조

간의 전이로 인한 지연 시간을 감소시키기 위해 프레임의 앞부분에 하향링크 슬롯이 배치되고 그 뒤에 상향링크 슬롯이 배치된다.

하향링크 슬롯은 프레임 시작 플래그(FS, Frame Start-flag)와 프레임 헤더(FH, Frame Header) 및 데이터 슬롯으로 구성된다. 프레임 시작 플래그는 각각의 프레임의 시작을 알려주며 단말의 동기화를 위해서 사용된다. 한편, 프레임 헤더는 기지국의 아이디(ID, Identification)과 서비스 모드, 그리고 현재 슬롯의 할당 상태 등의 정보를 가지고 있다. 따라서 단말이 데이터를 받으면 프레임 헤더를 분석하여 서비스 모드, 자신에게 할당된 슬롯 정보, 수신 단말의 아이디 등의 정보를 알아낸다.

상향링크 슬롯은 경쟁 슬롯(C-slot, Contention slot)으로 시작된다. 경쟁 슬롯은 여러 개의 미니 슬롯으로 이루어져 있으며, 각각의 미니 슬롯의 길이는  $T_m$ 로 고정되어 있다. 단말이 기지국에 초기 접속할 때 단말은 임의로 하나의 미니 슬롯을 선택하고 선택한 미니 슬롯에 신호를 전송한다. 만약 기지국이 미니 슬롯에서 신호를 감지하면 해당 단말에게 자원을 할당하여 통신할 수 있게 한다.

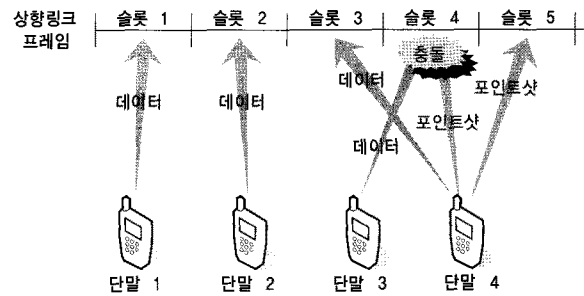
## 2. 가시성 확보 방안

가시광 무선랜 시스템에 다수의 단말이 존재하게 되면 기지국은 각각의 단말에게 충분한 슬롯을 할당할 수 없다. 또한, 우선 순위가 낮은 단말은 대부분의 경우에 상대적으로 적은 수의 슬롯을 할당받게 된다. 가시광 무선랜 시스템에서는 시분할 다중통신방식을 사용하기 때문에 위와 같이 단말이 충분한 슬롯을 할당받지 못하면 가시성이 확보되지 못하게 된다. 단말이 초기 접속 할 때에도 단말은 하나의 미니 슬롯에만 신호를 전송하므로 가시성을 확보할 수 없다. 물론 단말이 기지국에 접속 후 통신이 되면 그 이후로 계속해서 가시성이 확보되어야 할 필요는 없다. 하지만 단말이 기지국에 초기 접속하는 경우나 통신 장애에 의해서 단말의 전송 신호의 방향을 재설정 해야 하는 경우에는 사용자가 단말의 전송 신호를 기지국의 수신기에 정확히 가리키게 하기 위해서 가시성이 확보되어야 한다.

가시성을 확보하기 위해서 단말은 기지국에 전송하는 데이터 이외에 가시성 확보를 위한 신호를 전송한다. 가시성 확보를 위한 이러한 신호를 포인트샷(Point Shot) 신호라고

부른다. 즉, 포인트샷 신호는 정보를 포함하지 않지만 가시성 확보를 위해서 연속적인 '1'을 전송하는 신호이다. 여기에서 단말이 포인트샷 신호를 전송하기 위해 어떠한 자원을 이용하는지에 따라 포인트샷 신호를 전송하는 세 가지 방법을 생각할 수 있다.

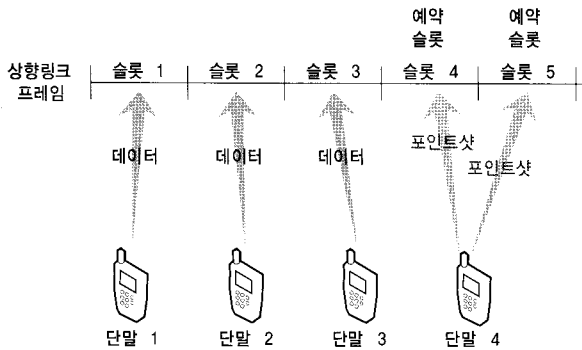
첫 번째 방법은 가장 기본적인 방법으로 단말이 임의의 슬롯으로 포인트샷 신호를 전송하는 것이다. (그림 3)은 단말이 임의의 슬롯으로 포인트샷 신호를 전송하는 예를 보여준다. 이러한 방법은 전체 슬롯을 데이터 전송을 위한 슬롯으로 사용할 수도 있기 때문에 높은 자원 이용률을 기대할 수 있다. 하지만 (그림 3)에서 볼 수 있듯이 단말 3이 슬롯 4로 데이터를 전송하는 중에 단말 4가 슬롯 4로 포인트샷 신호를 전송한다면 슬롯 4에서 충돌이 발생할 것이다. 포인트샷 신호는 정보를 포함하지 않기 때문에 슬롯에서 충돌이 발생하게 되어도 가시성 확보에 문제가 없지만 데이터를 전송 중인 단말은 정보를 전달할 수 없게 된다. 따라서 임의의 슬롯으로 포인트샷 신호를 전송하는 방법은 데이터 전송 성공률은 떨어뜨린다.



(그림 3) 임의의 슬롯으로 포인트샷 신호를 전송하는 예

두 번째 방법은 예약 슬롯(Reserved Slot)으로 포인트샷 신호를 전송하는 것이다. 예약 슬롯이란 포인트샷 신호만을 위해서 미리 예약되어 있는 슬롯을 의미한다. (그림 4)는 단말이 예약 슬롯으로 포인트샷 신호를 전송하는 예를 보여준다. 이러한 방법에서는 포인트샷 신호를 전송하는 슬롯이 미리 예약되어 있으므로 포인트샷 신호와 데이터 신호간의 충돌이 발생하지 않는다. 또한 다수의 단말이 하나의 예약 슬롯으로 포인트샷 신호를 전송하더라도 가시성을 확보하는 데에는 문제가 발생하지 않는다. 따라서 높은 데이터 전

송 성공률을 보장할 수 있다. 하지만 이러한 방법은 포인트샷 신호를 전송하는 단말이 존재하지 않더라도 예약 슬롯에 데이터를 전송할 수 없기 때문에 자원 이용률을 감소시킨다. 낮은 자원 이용률은 데이터 전송률을 감소시키며 서비스 가능한 단말의 수를 줄이는 결과를 초래하게 된다.

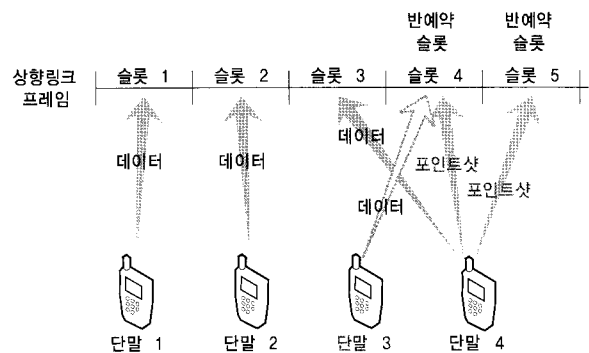


(그림 4) 예약 슬롯으로 포인트샷 신호를 전송하는 예

포인트샷 신호를 전송하는 마지막 방법은 반예약 슬롯(Semi-Reserved Slot)으로 포인트샷 신호를 전송하는 것이다. 반예약 슬롯이란 포인트샷 신호를 위해 미리 예약되어 있지만 포인트샷 신호가 없을 때에는 일반 데이터 슬롯으로도 이용될 수 있는 슬롯을 의미한다. (그림 5)는 단말이 반예약 슬롯으로 포인트샷 신호를 전송하는 예를 보여준다. 가시광 무선랜 환경에서 단말의 초기 접속은 길지 않으며 사용자가 단말의 신호를 재설정해야 하는 경우는 많지 않기 때문에 실제로 포인트샷 신호를 전송하는 경우는 많지 않다. 따라서 포인트샷 신호가 없을 때에는 반예약 슬롯이 데이터 전송을 위한 슬롯으로 사용됨으로써 자원 이용률을 높인다. 하지만 이러한 방법은 포인트샷 신호와 데이터간의 충돌을 유발한다. 만약 (그림 5)와 같이 단말 4가 반예약 슬롯인 슬롯 4와 슬롯 5에 포인트샷 신호를 전송하게 되면 슬롯 4에 데이터를 전송하던 단말 3과 충돌이 발생할 것이다. 이 때 단말 3은 연속적인 데이터 전송 실패를 감지할 수 있게 되고, 자신이 반예약 슬롯으로 데이터를 전송 중이었기 때문에 이러한 연속적인 데이터 전송 실패가 포인트샷 신호와의 충돌 때문이라는 것을 알 수 있다. 따라서 단말 3은 일정 시간 동안 데이터 전송을 중지함으로써 데이터 전송 실패율을 감소시킬 수 있다. 결국 반예약 슬롯을 이용하여 포인트샷 신호를 전송하는 방법은 높은 자원 이용률과 높은 데이터 전송 성공률을 동시에 기대할 수 있다.

하지만 반예약 슬롯으로 데이터를 전송하는 단말은 언제라도 다른 단말의 포인트샷 신호에 의해 방해 받을 수 있으므로 기지국은 다음과 같은 상황에서 단말에게 반예약 슬롯을 할당하게 된다.

- 단말이 상향링크 자원을 요청하지 않더라도 상향링크 자원이 남아 있는 경우
- 단말이 상향링크 자원을 요청하지 않더라도 기지국이 폴링(polling) 형식으로 상향링크 자원을 할당해 주는 경우
- 우선 순위가 낮은 단말이 상향링크 자원을 요청하는 경우



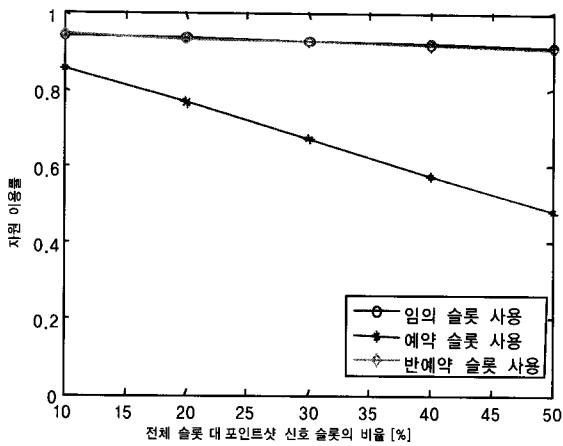
(그림 5) 반예약 슬롯으로 포인트샷 신호를 전송하는 예

### 3. 성능 분석

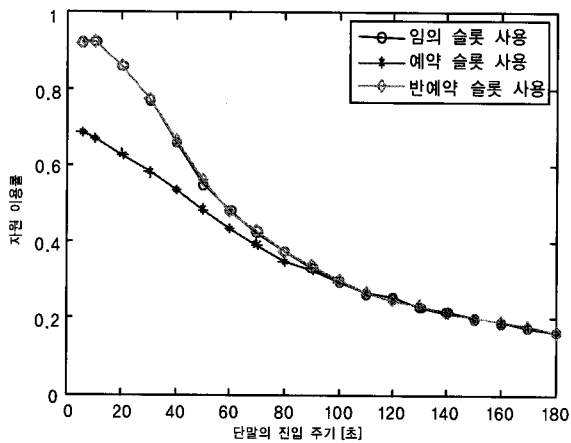
본고에서는 제안한 방안의 성능을 분석하기 위해 시뮬레이션 수행하였다. 시뮬레이션 환경에서 한 프레임의 길이는 10ms이며, 각각의 프레임에는 10개의 슬롯이 존재한다. 하나의 프레임에는 프레임 시작 플래그와 프레임 헤더로 구성된 하나의 제어 슬롯이 존재하므로 10개의 슬롯 중에서 9개의 슬롯이 데이터의 전송을 위해 사용된다. 9개의 슬롯 중에서 초기 접속하는 단말이나 단말의 신호의 방향을 재설정해야 하는 단말이 포인트샷 신호를 전송하는 슬롯의 개수는 1개에서 5개까지 설정하였다. 반예약 슬롯으로 포인트샷 신호를 전송하는 단말은 5프레임 동안의 연속적인 에러가 발생했을 때 데이터 전송을 중지하게 된다. 또한, 기지국은 하나의

단말에 하나의 슬롯을 할당한다고 가정한다. 한편, 단말은 매 5초에서 3분마다 가시광 무선랜 시스템에 진입하며 평균 5분 동안 통신하고 시스템을 떠난다고 가정한다.

(그림 6)과 (그림 7)은 각각 전체 슬롯 대 포인트샷 신호를 위한 슬롯의 비율과 단말의 시스템 진입 주기에 따른 자원 이용률을 보여준다. 예약 슬롯으로 포인트샷 신호를 전송하는 방법에서 예약 슬롯은 포인트샷 신호가 없는 경우에도 데이터 전송을 위해서 사용될 수 없기 때문에 다른 두 방법보다 낮은 자원 이용률을 가진다. 이러한 이유 때문에 (그림 6)에서 볼 수 있듯이 포인트샷 신호를 위해서 사용되는 예약 슬롯의 개수가 많아질수록 자원 이용률이 더 낮아지게 됨을 알 수 있다. 한편 (그림 7)에서 단말의 진입 주기가 길 때에는 시스템 내에 단말의 수가 적기 때문에 모든 방법에서 자원 이용률이 낮다는 것을 알 수 있다.

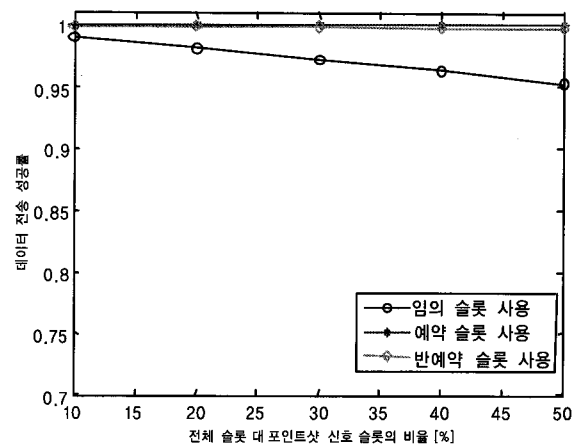


(그림 6) 포인트샷 신호 슬롯의 비율에 따른 자원 이용률

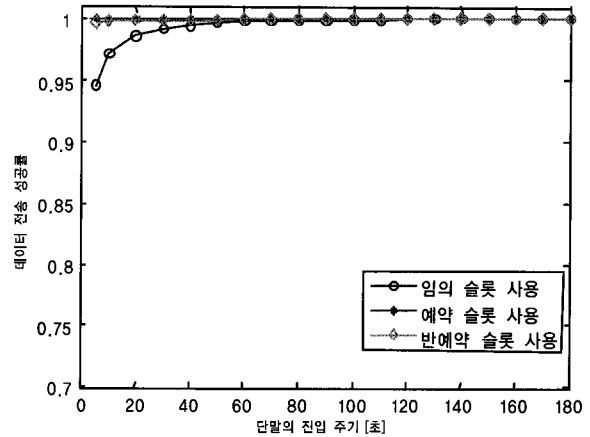


(그림 7) 단말의 진입 주기에 따른 자원 이용률

(그림 8)과 (그림 9)는 각각 전체 슬롯 대 포인트샷 신호를 위한 슬롯의 비율과 단말의 시스템 진입 주기에 따른 데이터 전송 성공률을 보여준다. 임의의 슬롯으로 포인트샷 신호를 전송하는 방법에서는 포인트샷 신호가 다른 단말이 전송하는 데이터의 전송을 방해할 수 있기 때문에 낮은 데이터 전송 성공률을 가진다. 포인트샷 신호가 많을수록 더 많은 데이터가 전송될 수 없을 것이므로 (그림 8)에서 포인트샷 신호를 전송하는 슬롯의 개수가 많아질수록 데이터 전송 성공률이 낮아진다는 것을 알 수 있다. 또한 (그림 9)에서는 단말의 진입 주기가 길어질수록 시스템 내에서 데이터를 전송하는 단말의 수가 적어질 것이므로 그만큼 포인트샷 신호에 의해 전송이 실패되는 비율도 작아짐을 알 수 있다.



(그림 8) 포인트샷 신호 슬롯의 비율에 따른 데이터 전송 성공률



(그림 9) 단말의 진입 주기에 따른 데이터 전송 성공률

### III. 결 론

본고에서는 가시광 무선랜 시스템에서 시스템 성능을 고려하여 효율적으로 가시성을 확보해 주는 방안을 제안하였다. 가시광 무선랜 시스템에서 단말의 초기 접속과 통신 장애 시에 사용자가 단말의 전송 신호의 방향을 올바르게 설정하기 위해 가시성이 제공되어야 하며, 본고에서는 가시성 확보를 위한 세 가지 방안을 제시하였다. 또한 시뮬레이션을 통해 세 가지의 가시성 확보 방안 중에서 반예약 슬롯을 이용한 방법이 다른 방법들에 비해 높은 자원 이용률과 높은 데이터 전송 성공률을 가진다는 것을 보여주었다. 본고에서 제안한 효율적인 가시성 확보 방안은 가시광 무선랜 시스템에서 쉽게 구현되어 사용될 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] 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.  
([http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=81634](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=81634)).
- [2] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama, and M. Nakagawa, "Indoor Visible Communication utilizing Plural White LEDs as Lighting," IEEE 12th Int. Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, vol. 2, pp. F81-F85, 2001.  
([http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=65300](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=65300)).
- [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, Aug. 2003.  
([http://www.nkgw.ics.keio.ac.jp/~tanaka/e86-b\\_8\\_2440.pdf](http://www.nkgw.ics.keio.ac.jp/~tanaka/e86-b_8_2440.pdf)).
- [4] 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. 258-263, 2004.  
(<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=01358414>).
- [5] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System using LED Lights," IEEE Trans. On Consumer Electronics, vol. 50, no. 1, pp. 100-107, Feb. 2004.  
([http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=1277847](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1277847)).
- [6] T. Komine and M. Nakagawa, "A study of shadowing on indoor visible-light wireless communication utilizing plural white LED lightings," IEEE 1st Int. Symposium on Wireless Communication Systems, pp. 36-40, 2004.  
([http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=1407204](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1407204)).
- [7] 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.  
([http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=1045482](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1045482)).
- [8] T. Komine, S. Haruyama, and M. Nakagawa, "Performance Evaluation of Narrowband OFDM on Integrate System of Power Line Communication and Visible Light Wireless Communication," IEEE 1st Int. Symposium on Wireless Pervasive Computing, pp. 6-, 2006.  
([http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=1613633](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1613633)).
- [9] H. Sugiyama, S. Haruyama, and M. Nakagawa, "Experimental Investigation of Modulation Method of

Visible Light Communications,” IEICE Trans. Commun. vol. E89-B, no. 12, pp. 3393-3400, Dec. 2006. (<http://ietcom.oxfordjournals.org/cgi/content/abstract/E89-B/12/3393>).

- [10] H. Sugiyama, S. Haryuama, and M. Nakagawa, “Brightness Control Methods for Illumination and Visible-Light Communication Systems,” IEEE Wireless and Mobile Communications, pp. 78-83, 2007. (<http://ieeexplore.ieee.org/ielx5/4138098/4138099/04138184.pdf?arnumber=4138184>).
- [11] M. Yoshino, S. Haruyama, and M. Nakagawa, “High-accuracy Positioning System using Visible LED Lights and Image Sensor,” IEEE Radio and Wireless Symposium, pp. 439-442, 2008. ([http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=4463523](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4463523)).
- [12] T. Saito, S. Haruyama, and M. Nakagawa, “A New Tracking Method using Image Sensor and Photo Diode for Visible Light Road-to-Vehicle Communication,” IEEE Advanced Communication Technology, vol. 1, pp. 673-678, 2008. ([http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=4493850](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4493850)).

약 력



2007년 고려대학교 학사  
2007년 ~ 현재 KAIST 석박사 과정  
관심분야: 가시광 통신, 차세대 이동 통신

김 우 찬

약 력



2004년 Postech 학사  
2006년 KAIST 석사  
2006년 ~ 현재 KAIST 박사과정  
관심분야: 가시광 통신, 차세대 이동 통신

배 치 성



1979년 서울대학교 전자공학과 학사  
1981년 KAIST 전기및전자공학과 석사  
1985년 KAIST 전기및전자공학과 박사  
1985년 ~ 1987년 KIST 통신공학연구소 선임연구원  
1987년 ~ 1998년 경희대학교 전자계산공학과 교수  
1989년 ~ 1995년 경희대학교 전자계산소 소장  
1998년 ~ 현재 KAIST 전기및전자공학전공 교수  
2000년 ~ 현재 KAIST 정보통신공학 학제전공 책임교수  
2003년 ~ 2006년 정보통신부 IT 산성장동력 이동통신 PM  
2004년 ~ 2006년 과학기술부 차세대 성장동력 차세대 이동통신 사업장 단장  
2007년 ~ 현재 KAIST IT 융합연구소 연구소장

조 동 호



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



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 H/W집적기술

이 영 민