

## 무선 광통신 기술

申承均, 池尹圭, 申相永  
韓國科學技術院

### 1. 서론

국내외의 정보통신 산업계가 최근들어 새로운 변화의 물결을 맞이하고 있다. 이것은 바로 언제 어디서나 누구와도 통화할 수 있는 무선시대로의 전환기를 맞이하고 있기 때문이다. 그 증거로 최근 수 년간 일 반전화 등 기존 통신 서비스의 연평균 신장률보다 이동통신 서비스의 신장률은 4배정도로 높다는 점을 들 수 있다. 이와 같이 무선에 관련된 관심이 고조되고 있는 가운데 무선 광통신 기술이 새로운 통신 방법으로 주목받고 있다.

무선 광통신 시스템은 무선의 장점과 광통신의 장점을 동시에 가지고 있다. 즉 초기의 케이블의 설치와 재배치 비용을 절감할 수 있고 이동 또는 휴대용 터미널을 사용하여 데이터를 전송하는 경우에 사용될 수 있다. 또한 광통신의 넓은 대역폭을 가짐으로 해서 높은 전송속도의 시스템을 구현할 수 있다. 무선 광통신 기술은 기존의 유선 광통신과 같은 방식을 취한다. 즉 전기적 신호의 데이터를 광학적 신호로 바꾸어 전송 매체를 통해 목적지 까지 보낸다. 목적지에서는 다시 광학적 신호를 전기적 신호로 변환하여 데이터를 복구한다.

그러나 무선 광통신 시스템은 광섬유 통신 시스템과는 달리 전송 매체로써 광섬유를 사용하지 않고 자유공간(free space)을 사용한다. 이에 따라 광섬유 통신 시스템에서는 문제가 되지 않았던 전송거리나 주위의 빛에 의한 잡음 그리고 다중경로 문제등이 부각된다.

일반적으로 무선통신으로 사용하고 있는 마이크로 웨이브(microwave)는 그 장애물을 통과할 수 있어

상호교신거리가 크거나 이동속도가 빠른 시스템에 사용된다. 그러나 마이크로웨이브를 사용한 무선 통신은 라디오 주파수를 사용하는데 주파수 사용의 면허가 필요하다는 점과 현재 남아있는 주파수 대역이 넓지 못하다는 커다란 문제를 가지고 있다. 때문에 고속의 무선통신이나 이동중 통신하지 않고 통신 거리가 한정된 경우나 정보 보안이 필요한 경우에는 마이크로웨이브 대신 광을 사용하는 것이 가능하다.

무선 광통신에서 전송 매체로 사용하고 있는 적외선은 벽을 투과할 수 없으므로, 사무실 내의 정보가 방 밖으로 새어나갈 염려가 없어 높은 보안성(security)을 가진다. 또한 빛( $10^{11} - 10^{15}$  Hz)을 사용하므로 주파수 사용에 따른 면허가 필요 없고 넓은 대역폭을 쓸 수 있으므로 높은 전송속도를 얻을 수 있다. 그리고 적외선은 라디오 신호와는 주파수 대역이 크게 다르므로, 라디오 주파수 신호 간섭(radio frequency interference)에 강하다. 따라서 잡음이 비교적 심한 공장내부에서의 통신에 적용할 수 있다. 그리고 이용할 수 있는 적외선 소자의 크기가 작고, 값이 싸고, 전력 소모가 적으므로 송수신 장비의 크기도 작게 할 수 있고 가격이 싼 시스템을 구현할 수 있다.

이러한 장점이 있는 반면 몇가지의 단점도 가지고 있다. 즉, 너무 높은 출력의 적외선은 눈에 해로우므로 광신호 전력 사용에 제한이 있다. 따라서 전송거리가 제한되며 한정된 영역에서 밖에 사용이 불가능하다. 또 사무실 안의 여러 가지 빛들이 잡음(noise)으로 작용한다는 것이다. 창문을 통해 들어오는 직사 광선이나 사무실 내의 형광등과 백열등이 잡음으로 작용한다.

그리고 적외선은 벽을 투과할 수가 없으므로 통신

거리가 짧은 범위내에서만 가능하다. 또한 사무실과 사무실 사이의 통신이 필요한 경우에는 유선 시스템이나 라디오 신호 시스템의 도움을 받아야만 한다는 점 등이다.

무선 광통신은 크게 실내환경과 실외환경으로 그 사용이 구분된다. 실내환경에서의 대표적인 사용 예는 요즘들어 각광을 받기 시작한 무선 LAN을 들 수 있다. 사무실내에서의 무선 통신은 라디오 신호(radio signal)와 광(주로 적외선)을 사용하여 구현될 수 있다. 적외선의 경우 일반 가시광선과 같이 벽을 통과할 수 없고, 라디오 신호는 벽을 통과하므로 광을 이용한 무선 LAN의 경우 높은 보안성을 보장한다. 현재까지 발표된 무선 적외선 LAN은 표 1과 같다.

표 1. 무선 적외선 LAN<sup>11)</sup>

Date	Organization	Bit Rate	Directionality	Duplex Mux	Multiple Access	Subcarrier Frequency	Modulation	Wave length	Power	Area
1979-1981	BV Zurich	64kb/s 128kb/s	Diffuse	Subcarrier	CSMA/CD	200/400kHz Baseband	BPSK Manchester	950nm	10mW	0.4km <sup>2</sup>
1983	Fujitsu	19.2kb/s	LOS	Subcarrier	-	1/1.5Mhz	Subcarrier FSK	880nm	15mW	1m <sup>2</sup>
1985	Fujitsu	96kb/s	Narrow Up Wide Down	Subcarrier	-	1/1.5Mhz	Subcarrier BPSK	880nm	-	-
1984	Hitachi	256kb/s 1Mb/s	Narrow Up Wide Down	Subcarrier	CSMA/CD Polling	>10Mhz	Subcarrier FSK	-	30mW	-
1985	HP Labs	1Mb/s	Narrow LOS	Wave-length	CSMA/CD	Baseband	Manchester	860 880nm	16mW	1m <sup>2</sup>
1986	Motorola	50kb/s	Widebeam LOS	-	TDMA	Baseband	RZ,OOK	850nm	10mW	7.6m <sup>2</sup>
1987	Bell Labs	45Mbit/s	Narrow beam LOS	-	-	Baseband	OCC	850nm	1mW	-
1988	Motorola	19.2kb/s	Narrow Up wide Down	Spatial	Spatial	650-950kHz	Subcarrier FSK	880nm	-	-
1992	BICC	4Mbps	-	-	-	-	-	880nm	-	-

실외환경에서는 광의 직진성을 이용하며 전송거리가 짧거나 장애물이 없는 경우 혹은 고도의 보안성이 필요한 곳에 사용된다. 빌딩과 빌딩간의 고속 통신망을 광을 이용한 무선 채널로 구성할 수 있으며 통신사업자가 전국적인 통신망을 구축할 때 골짜기구간이나 철도선을 가로지르는 경우 짧은 구간에 레이저통신을 도입할 수도 있다. 그리고 우주공간에서는 지상과 같은 장애물이 없으므로 수만 km까지 레이저 전송이 가능해 현재 위성간 통신방식으로도 연구가 진행중이다.

## II. 송수신 소자

무선 광통신 시스템을 구성하는데 있어서 가장 필수적인 것이 송신기와 수신기이다. 광은 주로 적외선 영역을 사용하며 적외선 무선 통신을 위한 송신기 소자로 발광 다이오드(LED)와 레이저 다이오드(laser diode)가 있다. 발광 다이오드는 가격이 싼 반면, 빛의 확산각이 크고, 높은 전력을 얻을 수 없으며 변조 속도도 느리기 때문에 확산형 시스템의 송신기(transmitter)에 적합한 소자이다. 이에 비해 레이저 다이오드(laser diode)는 높은 전력을 얻을 수 있고 고속 변조가 가능하며 확산각이 작아 직진성이 크므로 직진형(direct) 시스템에 적합하다.

수신기로 쓸 수 있는 소자로는 PIN 다이오드(PIN diode)와 에벌런취 광 다이오드(avalanche photodiode : APD)가 있다. PIN 다이오드(PIN diode)는 값이 싸고 큰 폭의 온도 변화에도 민감하지 않은 장점이 있다. 그러나 이득이 낮아 SNR이 작은 단점이 있다.

에벌런취 광 다이오드(avalanche photo-diode)는 내부 이득이 높아서 SNR이 증가하므로 잡음에 강하고, 민감도가 높아서 약한 빛도 감지해 낼 수 있으나 가격이 비싼 단점이 있다.

## III. 시스템 구현의 장애물

### 1. 눈의 안전도 (eye safety)

무선 광통신 시스템에서 송신기의 광원으로 사용하고 있는 것은 주로 적외선 LED나 레이저 다이오드이다. 무선으로 통신할 수 있는 범위를 크게 하기 위해서는 광원의 전력을 크게 하면되지만 너무 높은 출력의 적외선은 눈에 치명적인 손상을 줄 수 있다. 특히 레이저 다이오드의 경우 빛의 퍼짐이 적기 때문에 눈의 안전을 위한 고려가 필요하다. 미국 자연 표준 기관(American National Standards Institute)에서 레이저 사용의 안전을 위한 표준을 제정했다. 이 표준에 의한 최대 허용 노출(maximum permissible exposure) 값에 대한 그래프는 다음과 같다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 낮은 전력의 신호를 사용하는 대신 감도가 높은 수신기를 개발하는 것이 필요하다.

2. 주위의 빛

실내환경이나 실외환경에서는 특별한 경우를 제외하고는 여러 가지 빛들이 존재한다. 각 광선들은 단일 파장이 아니므로 적외선 성분이 포함되어 있다. 그런 빛으로는 백열등(tungsten lamp)이나 형광등 같은 조명 기구에 의한 빛들과 창문을 통해 들어오는 직사광선 등이 있다. 여러 종류의 빛들의 주파수 스펙트럼(spectrum)을 살펴보면 이런 빛들이 얼마나 적외선 통신에 잡음(noise)으로 작용하는지 알 수 있다. 그림 2는 백열등, 형광등과 직사광선의 주파수 스펙트럼을 보여주는 그림이다.

이와같은 주위의 빛에 의한 영향을 받지 않게 하려면 특정한 적외선 부분만을 통과시키는 필터(filter)를 수신기 앞에 설치해야한다. 흑유리 필터(black glass filter), 컬러 필름 필터(color film filter)와 간섭 필터(interference filter) 등을 사용할 수 있다.

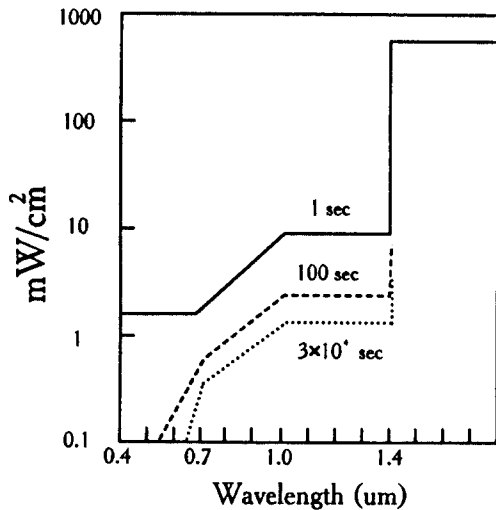


그림 1. 최대 허용 조출<sup>1)</sup>

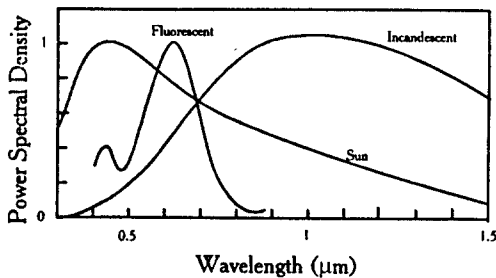


그림 2. 주파수 스펙트럼<sup>1)</sup>

3. 신호 검출시의 잡음(noise)

적외선 신호 검출 에는 세 가지 주요 잡음이 존재한다. 첫째 주위의 빛들로 인한 샷 노이즈(shot noise), 둘째 검출기 전치 증폭기(pre-amplifier)의 바이어스 저항(bias resistance)에 의한 열적 잡음(thermal noise)과 세번째 주파수의 제곱에 비례하는 증폭기 잡음(amplifier noise ;  $f^2$  noise라고도 부름)이다. 이 외에도 광 다이오드 암 전류 잡음(dark current noise)와 수신 신호(received signal)의 샷 노이즈(shot noise)등이 있으나 이런 것들은 무시할 수 있는 수준이다.

4. 다중 경로 분산 문제 ( multi-path effect)

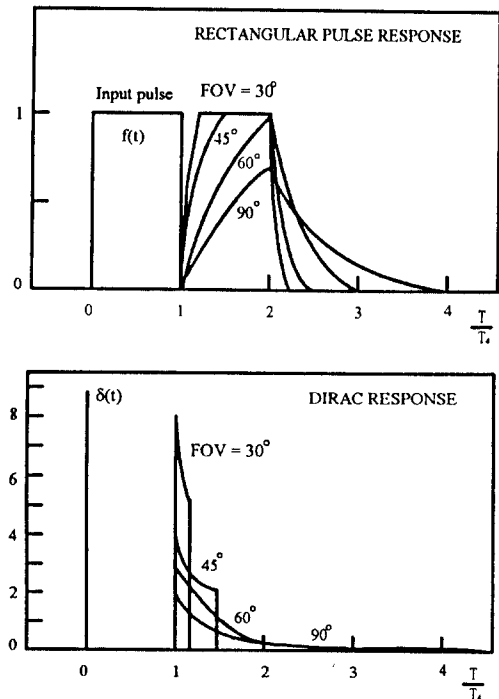


그림 3. 다중경로 효과에 의한 신호의 분산<sup>1)</sup>

실내의 적외선 무선 접속에서 신호의 전송은 많은 경로를 통해 이루어진다. 따라서 사무실 내에서의 적외선 진행은 다중 경로(multiple path)를 형성하게 된다. 송신기에서 수신기로 바로 직진한 빛과 벽이나 물체에 의해 한 번 또는 그 이상 반사된 빛은 송신기에 도달하기까지 진행한 거리가 다르게 된다. 빛의 속도는 일정한데 거리가 다르므로 도달하는데 걸리는

시간이 다르게 되어 반사된 빛은 직진한 빛에 비해 시간지연(time delay)이 있게 된다. 이 시간지연이 크게 되면 간섭 효과가 커지는 것을 쉽게 알 수 있다. 즉, 반사된 빛에 의한 데이터가 다음 비트나 몇 비트 후의 신호에 잡음으로 작용하게 된다. 이 간섭 현상(interference)은 디지털 통신의 전송 속도(transmission rate)를 제한하는 요소가 된다. 전송 속도가 빠른 경우, 1 bit 전송 시간이 작게 되므로 시간지연에 따른 간섭 현상을 일으킬 수 있기 때문이다.

Gfeller와 Bapst의 1979년 논문 [3] 의 다중경로 환경에서 임펄스 함수와 펄스함수에 대한 응답의 시뮬레이션 결과가 그림 3이다. 그림3에서 보는 바와 같이 광을 방출하는 면적과 검출기사이의 각도를 말하는 FOV(Field of View)의 값에 따라서 pulse response가 달라진다. 즉 FOV가 크면 검출기에서 신호가 더욱 왜곡되어 ISI(inter symbol interference)를 일으킬수 있고 반대로 FOV가 작을 때는 검출기의 신호의 왜곡은 적어지지만 검출기에서 감지할 수 있는 면적이 작아지기 때문에 출력이 작아진다. 이러한 다중경로 문제를 해결하는 방법으로는 낮은 전송속도의 디지털 통신을 하는 방법, 채널 등화기(channel equalizer)를 사용하는 방법 등이 있다.

다중경로 환경에서 이론적인 최대 전송속도는 260 Mbps \* meter 정도로 알려져 있다. 예를 들면 10m \* 10m의 방에서는 약 26 Mbps의 전송속도가 최대이다. 이는 다중경로 때문에 오는 것으로써 이보다

더 높은 전송속도를 얻으려면 다중 경로의 영향을 받지 않게 설계를 해야한다.

#### IV. 광 링크(optical link) 구성

무선 광통신 시스템에서는 각 목적에 따라 다른 구성방식이 사용되어야 한다. 즉 아주 높은 전송속도의 경우에는 다중 경로 문제가 치명적이므로 이의 효과가 적은 링크의 구성방식을 사용해야 하며 점대점 이나 다점대점 등의 어느것을 지원할 것인가에 따라서도 그 구성방식이 달라진다. 구성방식은 크게 6가지로 구분할 수 있으며 그림 4에 나타나 있다.

무선 광통신 시스템에서는 적외선 신호(signal)를 송출하는 송신기(transmitter)와 적외선 신호를 검출하는 수신기(receiver)사이에, 적외선 신호가 어떻게 전송되는 가에 따라 확산형 시스템(diffuse system)과 직진형 시스템(directed system) 그리고 두 가지를 섞어서 사용하는 혼합형 시스템(hybrid type system)으로 분류된다. 그 특징은 표2와 같다.

표 2. 광 링크의 전송 방식에 따른 분류

	장 점	단 점	사 용 처
확산형	정렬 불필요	광 전력 손실 많다 다중경로 효과 많다	작은 방 느린 전송 속도
직진형	광 전력 손실 많다 다중 경로 효과 적다	정렬 필요	큰 방 빠른 전송 속도

#### LOS non-LOS

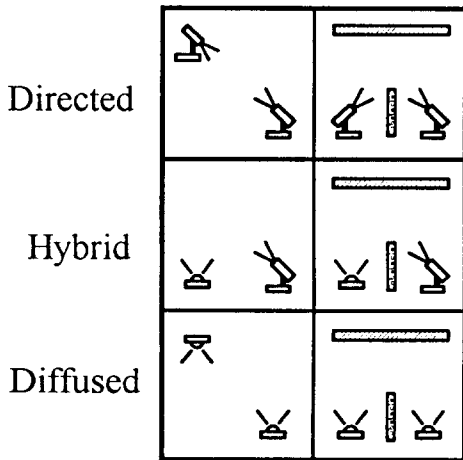


그림 4. 무선 적외선 통신의 광링크 구성방식 <sup>11</sup>

또한 광의 진행 경로에 따라 LOS(line of sight) 방식과, non-LOS(non-line of sight)방식으로 구분된다. LOS 방식은 장애물이 사이에 있으면 전송이 안되기 때문에 사용시 많은 제약이 따른다. 따라서 LOS의 경우 점대점 통신의 광 무선 LAN 제품들에 응용할 수 있다. 그러나 non-LOS는 송신기와 수신기가 서로 마주 보고 있지 않아도 되므로 송신기와 수신기의 위치가 LOS보다는 제약이 적다. 그러나 non-LOS방식은 반사를 이용하여 전파되므로 전력 효율면에서 LOS방식보다는 불리하다. 특징을 정리하면 표3과 같다.

표 3. 광 링크의 진행 경로에 따른 분류

	장 점	단 점
LOS	광 전력 효율이 높다	장애물이 있으면 전송 불가
non-LOS	장애물에 관계없이 전송 가능	광 전력 효율이 낮다

이와같이 무선 광통신 시스템은 확산정도에 따라 직진형, 확산형, 그리고 조합형으로 나눌수 있고 진행방식에 따라 LOS방식과 non-LOS방식으로 나눌수 있으므로 이들의 조합은 6가지가 되며 그 사용목적에 따라 다른 구성방식을 사용해야 할 것이다.

### V. 변 조

무선 광통신에서는 주로 강도변조/직접검파(intensity modulation/direct detection)방식을 사용한다. 광 통신에서 사용되는 광의 carrier가  $3 \cdot 10^{11}$  Hz나 되므로 강도 변조를 한다고 해도 충분한 대역폭을 얻을 수 있다. 강도변조 방법은 그림 5와 같이 전기적으로 변조된 신호를 LD(laser diode)나 LED를 사용하여 광의 강도를 변화시켜 전송하게된다. 강도변조 광신호는 광 검출기에 의해 전기적 신호로 바뀌게 되어 복조된다.

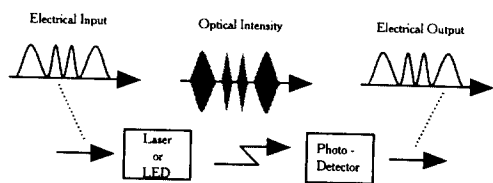


그림 5. 광의 강도변조방법

광 무선 변조 방법으로는 많은 것들이 연구되고 있는데 다중 반송파 변조(multisubcarrier modulation), 다중 레벨 신호(multilevel signaling), 다중 파장 변조(multiwavelength modulation), PPM(pulse position modulation)등이 있다. 다중 반송파 변조 방식에서는 신호를 반송파에 실어 보내므로 다중 경로 잡음(multipath effect)에 강한 대신 광신호의 비선형성에 의해 큰 영향을 받는다는 단점이 있다. Multilevel signaling은 심볼(symbol)로 이진수(binary)를 사용하는 것이 아니라 M진수(M-ary)를 쓰기 때문에 용량이 커지는 대신 신호 대 잡음비(SNR)가 높아야 한다. 그러나 눈의 안전보장을 위한 광의 출력 제한 문제와 실내의 다양한 잡음이 때문에 높은 SNR을 얻기 어려운 단점이 있어 이 방식은 실제로 구현하기는 어렵다. 또한 다중 파장

변조 (multiwavelength modulation)는 수신기의 가격이 높다는 단점이 있다. 그리고 PPM은 간단한 시스템을 위해서는 좋은 방법이지만, 복잡한 시스템을 구현하기 위해서는 너무 큰 주파수 대역이 필요한 단점이 있다. 그림 6은 무선 광통신 시스템에서 사용될 수 있는 여러 변조 방법들의 AWGN(additive-white Gaussian-noise) 채널에서의 점유대역폭과 필요 전력들을 비교한 것이다.

무선 광통신에서 변조시에 고려해야 할 사항은 주위에 존재하는 빛이다. 실내환경에서 60Hz 전원으로 동작하는 백열등이나 형광등에 의한 잡음은 모두 제거될 수 있지만 점등시에는 이러한 성분들을 모두 상쇄시킬 수 없다. 실제로 형광등의 경우 점등시에는 120Hz의 harmonics성분이 50kHz에까지 존재하게 된다. 따라서 변조시 수백 kHz이상의 캐리어 주파수(carrier frequency)를 사용해야 한다.

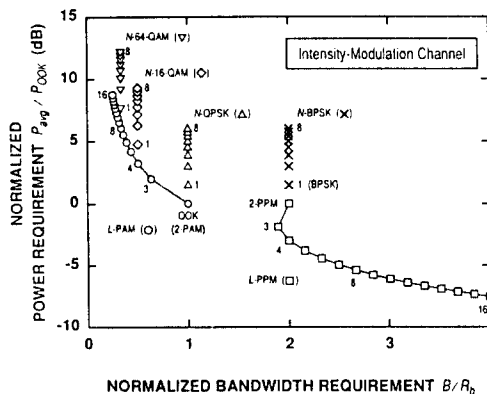


그림 6. 변조방법 비교<sup>11)</sup>

### VI. 맺음말

무선 광통신 기술은 유선망 및 기존의 다른 무선망과는 다른 기법들을 요구한다. 즉 백열등 및 형광등과 같은 빛의 간섭에 따른 높은 잡음레벨 때문에 보다 고도화된 에러 감지 및 데이터 전송기법들이 요구된다. 또한 전송범위가 멀어질수록 더 높은 전력레벨이 요구되며, 장애물이 데이터의 수신에 영향을 미친다. 다중경로 문제로 인하여 더 높은 전송속도에서는 궁극적으로 전송거리에 제한을 받게되며 눈의 안전에

대한 고려로 인하여 적외선 송신기의 광 전력에 제한이 있으며 또한 벽을 통과하지 못하기 때문에 전달범위가 제한된다

그러나 적외선은 벽을 투과하지 못하므로 무선 라디오보다 더 높은 보안 레벨을 제공해 준다. 또한 값싸게 구현할 수 있고 장비가 작고 가볍다는 장점을 가지고 있다. 이러한 특징들은 실내의 휴대용 기기에 적합하다. 최근 미국 AT&T, 휴렛 팩커드, 모토롤라와 일본의 후지쯔, NEC 등 미일 주요 컴퓨터 통신 반도체업체 30개사가 적외선을 기초로 무선 LAN의 표준화 작업에 착수했다. 광을 이용한 무선 LAN이 휴대 정보통신기기, 데스크톱 PC, 그리고 프린터등을 간편하고 싼값에 접속시키는 방법으로 주목받고 있는 가운데 이번에 이들 업체들이 사양을 통일키로 합의함으로써 이 분야의 시장이 크게 확대될 전망이다.

21세기의 고도 정보화 사회에서는 언제, 어디서나, 누구와도 통신이 가능한 통신 시스템이 필요하며 무선 광통신 기술은 무선 통신 혹은 개인 휴대 데이터 통신등에 필수적인 기술로써 그 적용범위가 확대될 것이다.

#### 参 考 文 献

- [1] J. R. Barry, J. M. Kahn, Edward A. Lee and David G. Messerschmitt, "High-Speed Nondirective Optical Communication for Wireless Network," *IEEE Network Magazine*, November 1991, pp 44-54.
- [2] K. Pahlavan, "Wireless Intraoffice Network.", *ACM Transactions on Office Information Systems*, vol.6, no. 3, July 1988, pp 277-302.
- [3] Fritz R. Gfeller & Urs Bapst, "Wireless In-House Data Communication via Diffuse Radiation," *Proc. IEEE*, vol.67, no.11, November 1979, pp 1474-1486.
- [4] T.S.Chu and M.J.Gans, "High Speed Infrared Local Wireless Communication." *IEEE Communications Magazine*, vol.25, no.8, August 1987, pp 4-10.
- [5] Chu-Sun Yen and Richard D. Crawford, "The Use of Directed Optical Beams in Wireless Computer Communications," *Proc. IEEE*, 1985, pp 1181-1184.
- [6] A.Santamaria, A.Polo, F.J.Gabiola, M.J.Betancor, F.J. Lopez-Hernandez, "Optical Power Budget on Quasi-Diffuse IR WLANs," *Proc. IEEE*, 1992, pp 159-163.
- [7] Adriano J.C.Moreira, Rui T. Valadas, A.Oliveira Duarte, "Design and Implementation Issues of A Wireless Infrared Ethernet link," *Proc. IEEE*, 1992, pp 164-168.
- [8] S. E. Miller, I. P. Kaminow, *Optical Fiber Telecommunications II*, Academic press, inc. 1988.
- [9] K.Pahlavan, "Wireless Communications for Office Information Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol.23, no. 6, June 1985, pp 19-27.
- [10] F. Davidson, "Direct Detection Optical Communication Receiver Performance for Intensity Subcarrier Frequency Shift Keying", *IEEE Trans. Inform. Theory*, March 1977, pp 271-275.
- [11] S. D. Personick, "Receiver Design for Digital Fiber Optic Communication Systems, I, II," *B.S.T.J* 52(6), 1973, pp 843-874.
- [12] D. G. Baker, *Fiber Optic Design and Appl.* Prentice-Hall, 1985.
- [13] N. Baran, "Wireless Networking", *BYTE*, April 1992, pp 291-294.
- [14] J. R. Barry, "Wireless Communication using Non-Directed Infrared Radiation", Ph. D Dissertation, University of California, Berkeley, 1992

筆者紹介



申承均

1970年 2月 28日生

1992年 2月 한국과학기술원 과학기술대학 학사

1992年 3月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사과정

주관심 분야 : 무선광통신



池尹圭

1950年 12月 23日生

1978年 2月 서울대학교 공과대학 전자공학과 학사

1980年 2月 서울대학교 공과대학 전자공학과 석사

1984年 The Univ. of Texas at Austin 박사

1984年 ~ 1989年 AT&T Bell Laboratories

1989年 ~ 1992年 2月 KAIST 전기 및 전자공학과 조교수

1992年 3月 ~ 현재 KAIST 전기 및 전자공학과 부교수

주관심 분야 : Optical interconnection, 광교환, 무선통신



申相永

1946年 9月 14日生

1968年 1月 서울대학교 공과대학 전기공학과 학사

1973年 6月 Polytechnic Inst. of New York 석사

1976年 6月 Polytechnic Inst. of New York 박사

1975年 9月 ~ 1978年 1月 Polytechnic Inst. of New York 연구원

1978年 2月 ~ 현재 한국과학기술원 교수

주관심 분야 : 광통신, 광정보처리