

Multicarrier DS-CDMA(MD-CDMA)를 적용한 LMDS 상향 채널의 구조 및 성능분석

정희원 조병록*, 강성준**, 임형래***

Structure and Performance Analysis of LMDS Uplink using Multicarrier DS-CDMA(MD-CDMA)

Byung Lok Cho*, Seong Jun Kang**, Hyung Rae Lim*** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 Multicarrier DS-CDMA(MD-CDMA) 사용하여 LMDS 시스템의 상향채널의 새로운 구조를 제안한다. MD-CDMA는 주파수/시간 다이버시티가 가능하여 페이딩에 강한 다중화 방식이다. MD-CDMA를 적용한 LMDS 상향채널은 확산부호의 상관특성이 이상적인 경우에 채널의 용량면에서 TDMA 방식의 LMDS 상향채널보다 좋은 채널당 효율을 보였고, 전체적인 전송속도와 주파수 효율성의 개선이 가능하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a new structure of LMDS uplink using multicarrier DS-CDMA(MD-CDMA). MD-CDMA is a robust multiplexing scheme against fading having with frequency/time diversity. The proposed structure of LMDS uplink using MD-CDMA indicated more a efficiency channel allocation than LMDS uplink using TDMA scheme in channel capacity that correlation characteristic of PN code is ideal, improved entire transmission data rate and efficiency frequency spectrum.

I. 서론

멀티미디어 정보를 수용하기 위해서는 통신망은 채널의 광대역화와 다양한 데이터를 수용할 수 있는 구조로 개발이 이루어져야 하는데, 유선망에서는 광통신시스템의 개발과 비동기식 전달 모드(Asynchronous Transfer Mode : ATM) 기술의 접목으로 이를 수용할 수 있게 되었으나, 무선망에서는 현재의 협대역 채널로는 멀티미디어 정보를 수용하기 곤란한 실정이다. 그러나 최근에 마이크로파 대역을 사용한 지역 다중 분배 서비스(LMDS : Local Multipoint Distribution Services) 시스템을 이용하여 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있는 기술이 제안되었다^[1].

LMDS는 멀티미디어 통신을 위한 망 구조 중에서 기지국과 가입자간의 통신로를 무선화하여 단방향 무선 CATV 서비스 및 양방향 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있는 ATM 기반의 멀티미디어용 고정 무선 통신시스템이다. LMDS 시스템의 세계적인 표준은 아직 정해지지 않은 상태에 있으며 DAVIC(Digital Audio-Visual Council)에서 LMDS의 물리계층에 대하여 일부 권고사항으로 발표하고 있는 실정이다^[2]. 아직까지는 무선 통신시스템에 대한 설계나 제품화를 위한 주파수의 효율성과 기술적 구현 가능성 및 적정 비용과 같은 몇 가지 요소에 대해서 충분한 고려가 되어 있지 않다. 정보사회가 발전함에 따라 전송 용량의 지속적인 증가와 함께, 주파수의 효율성은 LMDS 시스템의 구현과 설계에 있어서 상당히 중요한 관점이 되고 있다. 주파

* 순천대학교 정보통신공학부

** 목포대학교 정보통신공학부

*** Teleware Network Systems

논문번호: 00173-0512, 접수일자: 2000년 5월 12일

* 본 논문은 2000년도 정보통신부의 대학기초 연구지원사업비에 의하여 지원되었습니다.

수 효율이 낮아서 초기에 네트워크가 포화되면 서비스의 질을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 소비자를 다른 미디어에 빼앗기는 결과를 초래할 것이다. 주파수 효율을 높이기 위해서는 주파수의 재사용, 고차의 디지털 변조, 그리고 진보된 채널 코딩 등의 기술이 실현되어야 한다. 이러한 점에 있어서, 다중 반송파(Multicarrier)를 이용한 방식은 열악한 무선 채널의 환경을 극복하고 동시에 고속의 데이터를 전송하기 위한 방안으로 적용할 수 있다. 즉, 시간 영역에서는 데이터의 심볼 주기를 길게 하여 임펄스성 잡음과 지연에 의한 주파수 선택성 페이딩에 강한 직교 주파수 다중 변조 (OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기술을 적용하여 주파수 다이버시티(diversity)효과를 얻을 수 있고, 주파수 영역에서는 신호의 대역을 확산시키므로써 도플러 확산에 의한 시간 선택성 페이딩을 극복할 수 있는 CDMA 기술을 이용할 수 있다. 이러한 시간/주파수 영역에서의 페이딩 특성을 모두 극복하면서 스펙트럼 효율의 극대화를 도모할 수 있으며 주파수 효율이 높고 다수의 부반송파를 이용한 고속 전송을 실현 가능한 잠재적인 가능성을 가지고 있는 전송방식이 MD-CDMA 방식이다^{[3][4]}.

이러한 MD-CDMA 방식을 LMDS 상향 채널에 적용할 경우, LMDS 상향 채널의 용량 변화와, 상향 채널의 성능과 관련된 가변 요소를 분석하고 최적의 채널 성능을 얻기 위한 방안을 제시한다.

서론에 이어서, II 장은 DAVIC 권고안의 양방향 LMDS 상향 채널 방식을 알아본다. III 장에서는 LMDS 상향 채널에 제안한 MC-CDMA 방식에 대해 논하고, IV 장에서 이 방식에 대한 성능을 분석하고, V 장에서 결론을 내린다.

II. 양방향 LMDS 시스템^[5]

그림 2.1은 양방향 LMDS 망을 보인 것이다. DAVIC 권고안에서 제안한 양방향 LMDS 상향 채널

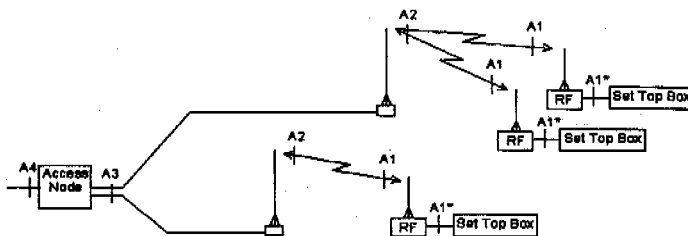


그림 2.1 양방향 LMDS 네트워크

널 방식은 다음과 같다.

LMDS의 물리계층 인터페이스는 밀리미터파 대역에서 양방향 전송을 지원하는 점 대 다중점 (point-to-multipoint) 인터페이스이다. 접속노드 (Access Node)에서 STB(Set-Top Box)로는 TDM방식을 사용하고, STB에서 접속노드로는 TDMA 방식을 사용하여 전송이 이루어진다.

물리계층의 인터페이스는 RFU (radio frequency unit)와 UPI/STB 사이에 중간주파수 (IF : Intermediate Frequency) 인터페이스를 적용한다. 그림 2.2은 상향과 하향 채널을 위해 할당된 스펙트럼의 예를 나타낸 것이다.

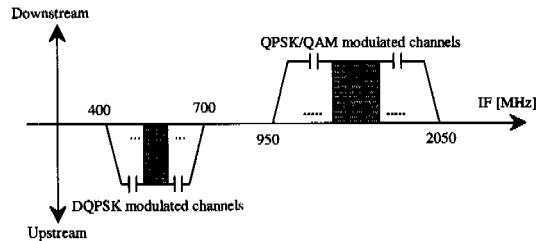


그림 2.2 LMDS 스펙트럼 채널화 개념도

LMDS 상향 전송 수렴 계층에 사용되는 상향 타임 슬롯은 그림 2.3에 보인 것과 같다. 이 슬롯은 68 바이트의 길이를 가지며, 한 개의 동기 프리앰블 (preamble), 한 개의 ATM 셀, 10 바이트 RS 점점 바이트와 상향 동기화 에러와 관련된 1 바이트 보호 시간으로 구성된다. 프리앰블은 [00FCFCF3]hex로 설정되며, 프리앰블은 상향 타임 슬롯의 다른 64 바이트와는 달리 차동 부호화하지 않는다. 그러므로, 16 심볼의 프리앰블은 Neuman-Hoffman 시퀀스 형태의 BPSK로 변조된다. QPSK 변조기 입력 중에서, Gray 매핑을 하기 전의 프리앰블은 00FCFCF3의 값을 갖는다.

1 바이트 보호 시간은 망에 접속된 후에 발생하는 상향 동기 에러를 보상하기 위해 제공한다. 프리앰블은, 망에 접속되어 있는 동안에, 상향 타이밍을 맞추거나 망에 연결된 이후에 상향 동기를 유지하는데 필요한 상향 타이밍 에러를 측정하는 기능을 제공한다.

물리 의존층에서는, 전송 수렴 계층에서 받은 상향 ATM 셀은 주파수 혼화를 위해 랜덤화되고,

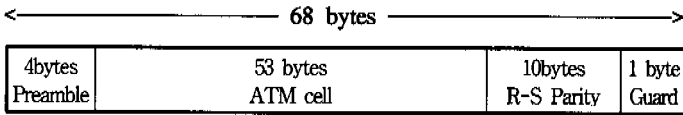


그림 2.3 LMDS 상향 time slot 구조

랜덤화된 ATM 셀은 RS(63,53) 부호로 부호화 된다. 4 byte 초기동기 신호가 첨가된 후에 I/Q 채널로 매핑되어 DQPSK 신호로 변조된다. 그 다음에 기저대역에서 root-raised cosine 필터링을 하여 준다. 여기서 필터의 추가대역 성분은 0.3이다.

III. MC-CDMA 방식으로 제안한 LMDS 상향 채널의 구성

본 논문에서는 LMDS 상향채널의 주파수 효율을 높이기 위한 방안으로 MD-CDMA 방식을 제안하였다. MD-CDMA는 MC-CDMA(Multicarrier CDMA)의 일종이다, MC-CDMA에는 여러 종류가 있는데^[3], 그 중에서 MD-CDMA는 다른 MC-CDMA에 비해 각 부분송파에서 데이터 속도를 낮출 수 있으며, 확산 부호의 동기가 용이하고, 의사동기 방식의 설계가 가능해서 접속이 빈번한 상향 링크 채널에 효율적이며 수신기의 구조가 간단하다. 그림 3.2 (a)와 같은 구성의 MD-CDMA는 반송파간 직교성이 유지되는 다수의 부분송파를 사용하므로 채널의 효율이 증가하며, 시간축에서의 확산이 이루어지기 때문에 다수의 사용자가 동시에 접근이 가능하다. 그러므로, MD-CDMA 방식이 LMDS 상향 채널을 구현하는데 적합하다. 이러한 특성을 갖는 MD-CDMA를 LMDS 상향채널에 적용한 경우에 적용 가능한 변형된 시간슬롯 구조와 채널의 성능을 향상시키기 위해서 하향 채널의 프레임을 기준으로 상향 채널의 송신기를 동기화 하는 전송방식을 제안하였다. 하향 채널은 DAVIC에서 제안하고 있는 TDM 방식을 사용하는 것으로 가정하였고, 상향 채널은 MD-CDMA 방식으로 구성하였다. 이러한 방식의 송수신 구조는 다음과 같다.

1. 제안한 MD-CDMA 상향 시간 슬롯 (time slot)의 구조

MC-CDMA 방식 중 MD-CDMA 방식에서 사용할 상향 time slot의 구조는 기본적으로 DAVIC의 LMDS에서 정의한 내용을 바탕으로 해서 구성하였다. 53바이트의 ATM 셀을 기본으로 하는 버스트

개념의 전송을 기준으로 하고 채널 부호화인 RS(63,53)을 적용한다고 가정한다. 즉, 그림 3.1에 보인 것과 같이, 슬롯은 64 바이트의 길이를 가지며, 1 바이트의 동기 파일럿 바이트, 한 개의 ATM

셀, 10 byte RS 점점 바이트로 구성된다. MD-CDMA의 IFFT/FFT의 입력력 신호는 64바이트를 기준으로 한 프레임을 구성하며 비트 동기가 이루어진 상태이기 때문에 프레임 동기를 위한 1 바이트의 동기 프리엠블은 필요가 없다. 동기를 위한 파일럿 바이트는 모두 '0'이며, 신호의 수신시에 동기를 위한 기준 신호를 제공하기 위한 파일럿 채널에 해당한다. 동기 파일럿 바이트는 MD-CDMA의 입력단에서 추가 신호로 삽입하게 된다.

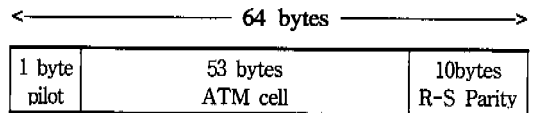
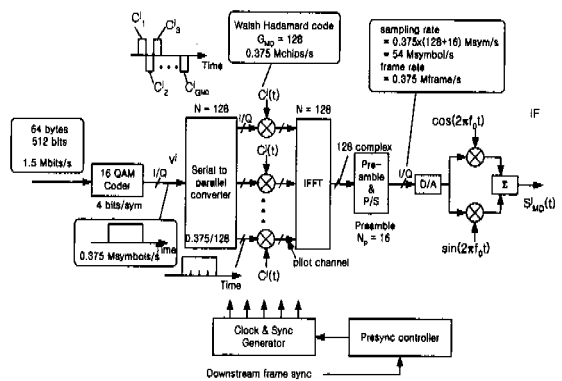


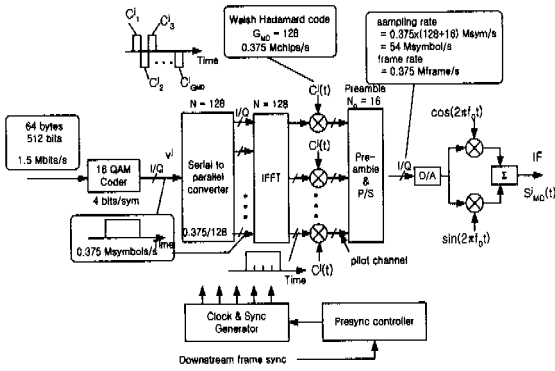
그림 3.1 제안한 MD-CDMA의 상향 time slot 구조

2. 제안한 LMDS 상향 채널의 MD-CDMA 송신기의 구성

LMDS 상향 채널에 MD-CDMA 방식을 적용한 채널의 구성은 그림 3.2 (b)와 같다. 입력 데이터는 QAM 심볼로 매핑하고, 매핑된 데이터는 IFFT로 입력되기 전에 버퍼에 저장된다. 각 사용자는 Walsh Hadamard 코드를 PN 코드로 사용하여 구별하도록 한다. 그리고, IFFT/FFT를 기반으로 하는 OFDM 개념의 송수신 시스템에서는, IFFT에서 출력되는 심볼이 일정 크기의 프레임을 구성하게 되는데, 이 프레임을 정확하게 수신하기 위해서 프리엠블을 추가



(a) 송신기 구조 1



(b) 송신기 구조 2

그림 3.2 제안한 LMDS 상향 채널의 MD-CDMA 송신기 구조

하여 프레임의 동기를 맞추는데 사용하게 된다. 이 시스템은 54 MHz의 대역폭을 사용한다.

LMDS에 적용한 MD-CDMA는 그림 3.2(b)와 같은 변형된 구조를 사용하였다. IFFT 후에 확산을 수행하여 동일한 신호를 생성하는 변형구조이다. 그림 3.2(a)는 일반적인 MD-CDMA 송신기를 적용한 구조이다. 이 구조에서는 PC 코드 심볼마다 데이터와 PC 코드 심볼의 연산 후에 IFFT를 수행하게 되는데, 이 경우 PN 심볼 타이밍 내에 IFFT 연산이 완료되어야 하므로, IFFT의 동작주파수는 PN 심볼 타이밍의 수배에 해당하는 처리속도가 요구된다. 그러나, 그림 3.2(b)와 같은 구조에서는 데이터의 심볼타이밍 내에 IFFT의 연산을 처리하며, PN 코드 확산과 IFFT 연산 후 저장된 데이터를 PN 코드에 따라 출력하는 구조로 처리가능하기 때문에 요구되는 IFFT의 수행주기는 확산이득 G_{MD} 배만큼 줄어 들게된다. 그러므로, 다른 기존의 MC-CDMA 구조에 비해 요구되는 IFFT의 수행속도를 줄일 수 있다. 그리고, 기존의 OFDM 시스템에 확산 부분만 추가하는 간단한 구조의 변형만으로도 MC-CDMA를 구현할 수 있다.

부호화는 16 QAM 방식을 사용하여 64 바이트 (512 비트)의 버스트 단위 데이터를 4 bit/symbol 단위로 128 심볼을 만든다. m-tuple 변환 후에 일반적인 그레이코드(Gray-coded) 16 QAM의 절대좌표로 변환한다.

m-tuple 변환 후 QAM 심볼로 매핑된 심볼은 직렬 변환 후, 각 사용자에게 할당되는 시간영역의 확산부호 $C'(t)$ 에 의해 확산된다. 이 확산 부호로는 128 Walsh 하다마드 부호(Walsh Hadamard code)를

사용한다. 그리고, 병렬 확산시 64바이트의 time slot 중 1 바이트의 파일럿 바이트에 해당하는 부반송파 부분이 파일럿 채널로 사용된다. 이 파일럿 채널은 수신시에 동기복조를 위한 기준 신호를 제공하여 비동기방식 보다 더 적은 신호대 잡음비로 동일한 성능을 얻을 수 있다. 즉, 동일한 여러 성능에서 더 적은 신호대 잡음비를 요구하게 되므로, 약 2~3 dB 정도의 성능 향상을 기대할 수 있다. 이 파일럿 채널은 프레임 내의 파일럿 바이트의 위치를 조절하여 파일럿 채널의 위치를 변경할 수 있기 때문에 최적의 성능을 발휘하는 부반송파 채널을 동기의 기준 신호로 설정하거나 채널 필터의 기준값으로 사용하여 각 채널의 상태를 최적화 할 수 있다.

각 채널의 입력 심볼, Z'_n 에서 각 부채널의 최종 전송신호, tx'_n 까지의 신호의 변조과정을 각 채널 별로 분석해 보면, $Z'_n = I'_n + jQ'_n$ 이 IFFT에 의해 부채널의 반송파 주파수로 변조되면,

$$S'_n(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} C'_i [I'_n \cos 2\pi f_n(t - iT) + Q'_n \sin 2\pi f_n(t - iT)] II(t - iT) \quad (i=1, \dots, G_{MD}) \quad (3.1)$$

$$\begin{cases} II(t) = 1 & (0 \leq t \leq T) \\ II(t) = 0 & (\text{이외}) \end{cases}$$

와 같이 되고, 최종적인 송신신호, $tx'(t)$ 는

$$tx'(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{n=0}^{N-1} C'_i [I'_n \cos 2\pi f_n(t - iT) + Q'_n \sin 2\pi f_n(t - iT)] II(t - iT) \quad (i=1, \dots, G_{MD}) \quad (3.2)$$

으로 구성된 송신신호를 전송하게 된다.

3. 제안한 LMDS 상향 채널의 MD-CDMA 수신기의 구성

제안한 수신기의 구조는 그림 3.3 (b)와 같다. 먼저 A/D 변환기에서 매 심볼마다 샘플하고 프리엠프를 이용하여 프레임동기를 맞춘다. 동기가 맞추어진 프레임 샘플 128개를 FFT하고 파일럿 채널을 이용하여 심볼동기를 수행하고 동시에 확산부호를 추출하고, 동기를 수행한다. 즉, 시간영역 프레임에서 PN 심볼의 동기와 심볼동기가 동시에 수행된다. 확산부호는 각 프레임 또는 파일럿 채널의 평균 전

력레벨의 변화를 이용하여 추적이 가능하다. 추출된 확산신호는 특정 확산 신호화 상관성을 비교하여 할당된 채널의 신호를 얻어낸다. 프레임 동기 및 심볼동기는 FFT를 사용하는 OFDM의 동기개념과 거의 유사한 구조를 적용할 수 있으며, 확산된 프레임의 연속적인 전송으로 인해서 수신하는 신호의 신호대 잡음비가 증가하는 구조로 되어있다. 확산부호에 의한 다중화가 가능하다. 그리고 MD-CDMA의 수신기는 다른 MC-CDMA 방식보다 간단한 수신기의 구조를 가지며 수신기의 복잡도가 줄어드는 장점을 가지고 있다.

행하며 파일럿을 사용하는 방식과 사용하지 않는 방식이 있다. 제안된 수신기에서는 파일럿 채널을 이용하여 반송파 주파수 제어를 수행한다.

채널의 전달함수를 시간영역에서 $h(t)$ 라고 하면, 수신 신호는

$$rx(t) = \sum_{j=1}^{G_{Mj}} (h(t) \cdot tx^j(t) e^{j\theta_j}) + n(t) \quad (3.3)$$

$$= \sum_{j=1}^{G_{Mj}} \sum_{i=1}^{G_{Mj}} a_{ji} tx^i e^{(j\theta_j + \theta_i)} + n(t)$$

여기서, a_{ji} 와 $e^{j\theta_j}$ 는 j 번째 사용자의 i 번째 다중경로 성분의 감쇠율과 위상이며, $n(t)$ 는 백색잡음성분이다. 이러한 수신신호를 샘플링 한 후에, 프레임 동기를 맞추고 FFT를 거친 신호, $Rx = [Q_{n=1} Q_2 Q_3 \dots Q_{N=128}]$ 이라고 하고, 수신신호에 대한 각각의 FFT 출력은 $Q_i = [Q_{i,n=1} Q_{i,2} Q_{i,3} \dots Q_{i,N=128}]^T$ 라고 가정한다. 그리고, 다음으로 j 번째 사용자를 검출하기 위해 j 번째 사용자에게 할당된 Walsh code, $a^j = [a^j_1 a^j_2 a^j_3 \dots a^j_{G_{Mj}-128}]$ 로 각 부채널을 역확산시키면, n 번째 채널에서의 역확산된 수신신호, $Rx'_n = [Q_{i=1,n} \cdot a^j_1 Q_{2,n} \cdot a^j_2 Q_{3,n} \cdot a^j_3 \dots Q_{G_{Mj}=128,n} \cdot a^j_{G_{Mj}-128}]$ 이 되고, 각 부채널의 상관검출기의 출력은 다음과 같이 된다.

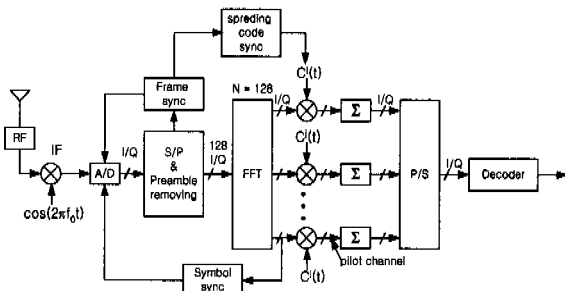
$$E^j_{Rx_n} = \sum_{i=1}^{G_{Mj}} Q_{i,n} \cdot a^j_i \quad (3.4)$$

$$= \sum_{i=1}^{G_{Mj}} H_n \hat{Z}_{i,n} \cdot a^j_i$$

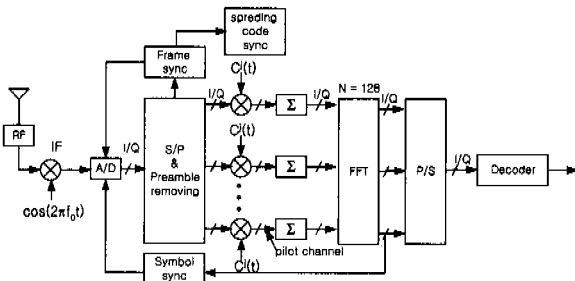
이렇게 각 채널에서 복구한 심볼을 P/S 변환을 수행한 후 QAM 복호를 수행한다.

IV. 시뮬레이션에 의한 성능 고찰

LMDS 상향 채널 환경을 기준으로 일반적인 채널환경인 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 환경에서의 BER 성능과, 가변적인 채널의 주변환경과 추가적인 이동 통신 서비스를 고려할 경우의 페이딩(fading) 채널에서의 BER 성능을 분석하였고, 본 논문에서 제안한 MD-CDMA방식의 LMDS와 DAVIC에서 제안한, QPSK 변복조를 사용한 TDMA 방식의 LMDS 시스템과 성능을 비교 분석하였다. 여기서는 채널 부호화는 고려하지 않았다.



(a) 수신기 구조 1



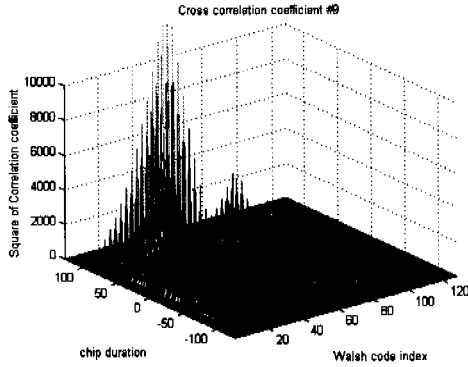
(b) 수신기 구조 2

그림 3.3 제안한 LMDS 상향 채널의 MD-CDMA 수신기 구조

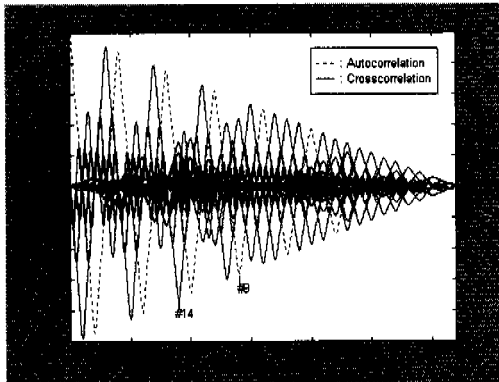
그림 3.3 (b)에는 역확산 부분을 FFT 전단에 적용한 변형된 수신기를 제안하였다. 이 변형은 제한된 송신기의 구조와 동일한 방식으로 FFT 출력단의 복잡도와 FFT 동작속도를 줄일 수 있다. 그리고, 이러한 확산 방식은 시간 다이버시티의 효과를 나타내어 페이딩 환경의 채널에서 수신 성능의 개선에 도움을 준다. 그리고, OFDM의 특성상 주파수 오프셋이 각 부채널에 간섭을 미치지 않도록 수신할 수 있는 반송파의 주파수를 제어할 필요가 있다. 반송파 주파수 제어는 수신측의 국부발진 주파수를 수신신호의 반송파 주파수와 일치시키는 기능을 수

1. Walsh Hadamard 부호의 상관특성

그림 4.1에는 Walsh Hadamard 부호의 상관특성 그래프이다. 전체 부호 중에서 9번째 채널의 상관특성을 보였다. 상호상관 특성은 각 부호마다 약간씩 다르게 나타나며 칩 읍셋이 증가할수록 자기상관과 상호상관 특성의 비율의 분포가 좋지 않게 나타나므로 부호가 적용된 데이터의 전송시에 정확한 프레임 동기가 선행될 경우, 부호의 상관특성을 최대로 이용할 수 있다. 본 논문에서는 상관특성을 최적화하고 프레임 동기를 보조하는 수단으로 하향 채널을 기준으로 하여 의사동기화하는 방법을 제안하였다.



(a) 9번째 부호의 자기상관과 상호상관



(b) 겹쳐서 본 자기상관과 상호상관

그림 4.1 Walsh Hadamard 부호의 상관특성 (9번째 채널부호)

LMDS의 MD-CDMA 구조에 확산 부호를 적용할 경우에 하향 채널의 프레임과 동기적으로 상향 채널의 프레임을 전송하여 다른 사용자에게 할당된 확산부호와의 상호상관은 최소화하고 자기상관 특성을

을 최대화할 수 있다. 그리고, 각각의 할당되는 부호에 따라 상호상관 특성이 좋지 않게 나타나는 상대적인 채널이 존재하는데, 이러한 채널을 할당할 경우에는 일정한 지연 성분을 고려하여 할당하면 이러한 상호상관 특성을 개선할 수 있다. 즉, 실제 상향 채널에 적용할 경우에는 각 채널 사용자별 전송 지연값을 사용하여 프레임 전송 시점을 조절하여 최적화된 채널 환경을 얻을 수 있다.

이러한 채널 동기 전송을 적용할 경우, 송수신 과정에서 전체 사용자의 전송을 채널에 동기된 전송을 하지 않는다고 하면, 자기상관과 상호상관이 비가 시간지연이 0에 근접한 경우에 비해 약 0.6배로 저하된다. 그리고, 위에서 설명한 것과 같이, 하향 채널의 프레임을 이용한 동기 채널상의 전송지연 성분에 의한 칩 읍셋만 존재할 경우에는 자기상관과 상호상관의 평균적인 비는 이상적인 특성을 유지할 수 있게 된다. 이러한 하향 프레임에 동기되어 전송되는 프레임의 확산부호는 역확산시에 확산부호 추적이 매우 단순화 된다는 부가적인 장점을 갖게 된다.

수신기의 상관기 출력 특성은 수신신호의 동기 수신심볼의 자기상관비, α 에 비례하고, 다른 채널 신호와의 상호상관비, β 와 잡음의 크기에 반비례한다.

채널 동기 전송 방식과 비동기 전송 방식에서의 자기상관비, α 와 상호상관비, β 는 이상적으로 위상동기가 이루어졌다고 가정하면, PN 코드의 위상오차는 무시할 수 있으므로, 채널 동기 전송 방식에서의 자기상관비 $\alpha=1$ 이며, 상호상관비 $\beta=0$ 이 된다.

비동기 방식에서는 자기상관비 $\alpha=1$ 이며, 상호상관비 $\beta = \frac{1}{M} \sum_{n=0}^N \left(\sum_{m=-M/2}^{M/2} C_x(m) C_y(m-\tau_n) \right)$ 가 된다. 여기서 N은 채널수, M은 PN 코드 이득, C_x 는 자신의 PN 코드, C_y 는 n번째 채널의 PN 코드, τ_n 는 PN 코드의 심볼지연값이다.

2. 가우시안 채널(AWGN : Additive

White Gaussian Noise)에서의 성능 분석
가우시안 채널에서 16 QAM로 매핑한 MD-CDMA 시스템에, 제안한 채널 동기 전송방식의 적용여부에 따라서 사용자와 E_b/N_0 에 관련된 비트 오류율을 그림 4.2에 보였다.

여기에서 수신 신호의 E_b/N_0 는

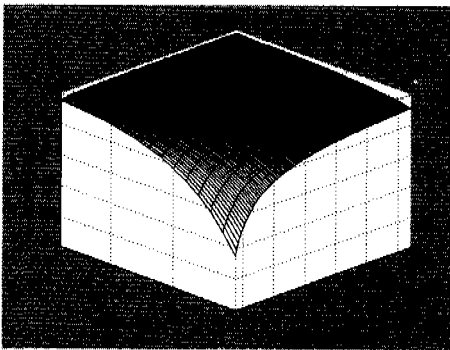
$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{1}{4} \alpha \cdot G_{MD} \frac{E_s}{\beta + N_0} = \gamma \quad (4.1)$$

이고, 가우시안 채널에서의 비트에러 확률, P_b 는 다음과 같다^[6].

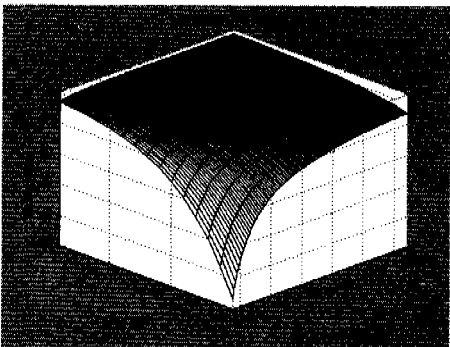
$$P_b(\gamma) = \frac{3}{8} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{2}{5}}\gamma\right) - \frac{9}{64} \operatorname{erfc}^2\left(\sqrt{\frac{2}{5}}\gamma\right) \quad (4.2)$$

여기서, α 는 수신신호의 동기 수신심볼의 자기상관비이고, β 는 다른 사용자 채널 신호와의 상호상관비이다.

사용자 수가 증가함에 따라 에러율도 지수 함수적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 확산된 각 사용자의 신호가 잡음 성분으로 간섭을 일으키기 때문이다. 그림 4.2(a)는 각 확산 채널의 전송신호를 하향 프레임 채널에 비동기적으로 할당된 경우로 그림 4.2(b)의 채널 동기 전송 방식보다 성능이 떨어지는 것을 확인 할 수 있다. 이는 비동기 전송시 각 확산 채널에 할당된 확산 부호의 상호상관의 평균이 상대적으로 증가하여 다른 사용자의 신호가 잡음 성분으로 작용하는 크기가 증가하기 때문이다. 그러므로, 그림 4.2를 통해 채널에 동기된 전송으로 이상적인 상관 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

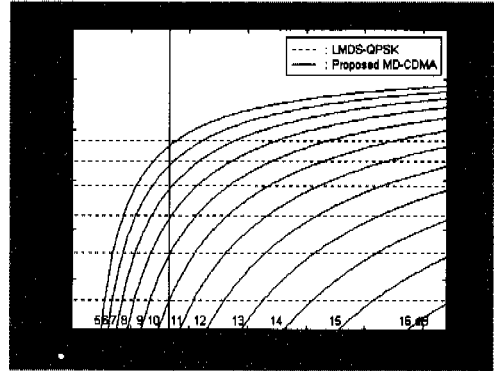


(a) 비동기 전송 방식

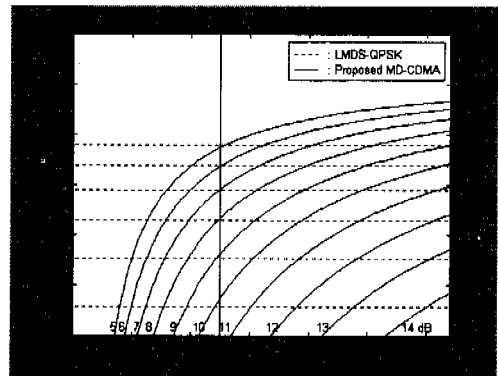


(b) 채널 동기 전송 방식

그림 4.2 가우시안 채널에서의 사용자수와 E_b/N_0 따른 MD-CDMA의 비트 에러 확률



(a) 비동기 전송 방식



(b) 채널 동기 전송 방식

그림 4.3 가우시안 채널에서의 사용자수에 따른 MD-CDMA와 TDMA/QPSK의 BER 비교

그림 4.3에서는 제안한 MD-CDMA 시스템과 LMDS에 제안되어 있는 TDMA/QPSK의 가우시안 채널에서의 성능을 비교하였다. 그림 4.3에서 보면, MD-CDMA 시스템은 동일한 E_b/N_0 에서 TDMA/QPSK의 에러성능과 동일한 성능을 나타내는 동시에 사용 가능한 최대 확산 채널 수는 하향 채널에 비동기적으로 전송하는 경우는 약 33 채널, 채널 동기 전송 방식인 경우는 50 채널이 되는 것을 알 수 있다. 그리고, 128 채널 모두를 사용하면서 동시에 최소한 TDMA/QPSK의 에러성능을 만족하기 위해서는 TDMA/QPSK보다 신호 대 잡음비가 비동기 전송의 경우에 약 6 dB, 채널 동기 전송의 경우에는 약 4.5 dB가 더 요구된다는 것을 알 수 있다. 그리고, 그림 4.3에서, 동시 최대 128 채널에서 $BER \leq 10^{-5}$ 을 만족하기 위해서는 비동기 전송은 약 15.5 dB가 요구되고 채널 동기 전송 방식의 경우는 약 13.9 dB가 요구된다. 그리고, $BER \leq 10^{-2}$ 를 만족하기 위해서는 비동기 전송에서 약 10 dB가 요구되

고 채널 동기 전송 방식에서 약 8.3 dB가 요구된다.

그림 4.3에서, 성능 비교 분기점인 수직선에 해당하는 사용 채널수에서 E_b/N_0 에 따른 비트에러율을 그림 4.4에 보였다. 그림 4.4에는 TDMA/QPSK와 MD-CDMA가 비동기 전송에서 동시에 33 채널을 사용할 경우, 채널 동기 전송에서는 50 채널을 사용하는 경우에 동일한 성능을 갖는 것을 보여주고 있다. 그러므로, 비동기 할당에서 33 채널 이하, 동기 할당에서 50 채널 이하를 사용하는 경우에 TDMA/QPSK보다 우수한 비트 에러율을 얻을 수 있다. 그리고, MD-CDMA가 얻을 수 있는 성능은 128 채널의 성능 곡선 안쪽 부분으로 이 영역에서 가변적으로 운용이 가능하다. 그렇기 때문에, 동시 사용자 수나 주변 채널의 환경 변화에 가변적으로 운용하여 서비스 시점에 최적의 채널 환경을 구성할 수 있는 가능성을 갖는다.

가우시안 채널에서의 각 시스템의 채널당 사용자 수를 비교해 보면, 1.5 MHz 대역폭을 사용하는

TDMA/QPSK와 54 MHz 대역폭을 사용하는 MD-CDMA가 필터링을 위한 여유대역폭을 0.3으로 할 때, 동일한 성능으로 TDMA/QPSK는 MD-CDMA에서 사용하는 대역폭에서 36 채널을 사용할 수 있고 MD-CDMA는 비동기 전송은 약 33채널, 채널 동기 전송은 약 50 채널을 운용할 수 있다. 그러므로, 비동기 전송 방식의 경우에는 TDMA/QPSK에 비해 약 8.3 % 채널 효율이 떨어지는 반면, 채널 동기 전송 방식인 경우에는 약 38.9 %의 채널 효율이 증가되는 것을 알 수 있다.

3. 페이딩 (Flat Fading) 채널에서의 성능분석

LMDS 수신기가 가시영역의 통신환경의 운용이 어려운 경우에 다중경로에 의한 페이딩이 생기는 경우, 또는 융통성 있는 통신 시스템으로 구성하기 위해 수신기에 약간의 이동성을 부여할 때 나타나는 도플러 효과에 의한 페이딩 등의 광의의 운용영역을 고려하기 위해 이러한 페이딩 채널에서의 성능을 분석한다.

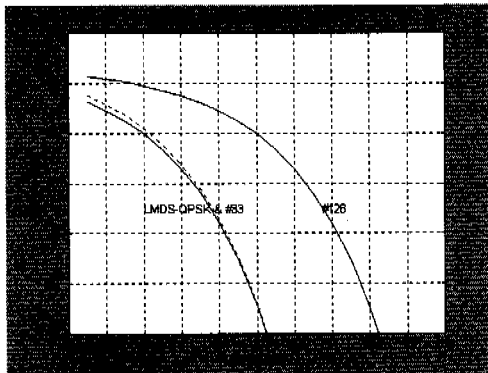
페이딩 채널에서의 비트에러확률, P_e^{Ray} 는

$$P_e^{Ray}(\gamma_0) = \frac{3}{8} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1+5/(2\gamma_0)}} \right] \quad (4.3)$$

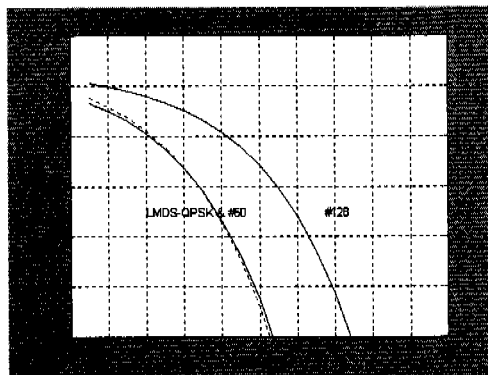
로, 여기서, γ_0 는 평균 E_b/N_0 값이다^[6].

그림 4.5에 16 QAM 매핑을 사용한 MD-CDMA 시스템의 페이딩 채널환경에서의 사용자 수와 E_b/N_0 에 따른 비트에러율을 보였다. 각 사용자의 전송신호를 비동기적으로 전송하는 경우와 채널에 동기적으로 전송하는 경우에 전체적으로 약간의 성능차이가 보이는 것을 볼 수 있다.

그림 4.6에서는 페이딩 채널에서 MD-CDMA에 16-QAM을 사용한 시스템과 TDMA/QPSK만 적용

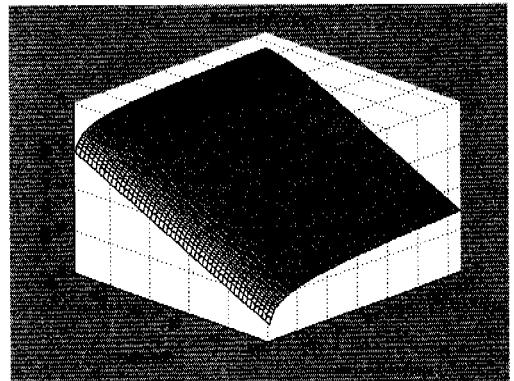


(a) 비동기 전송 방식

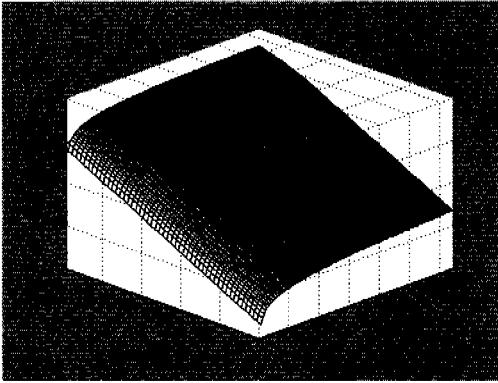


(b) 채널 동기 전송 방식

그림 4.4 가우시안 채널에서의 TDMA/QPSK와 MD-CDMA의 E_b/N_0 에 따른 비트에러율 비교



(a) 비동기 전송 방식

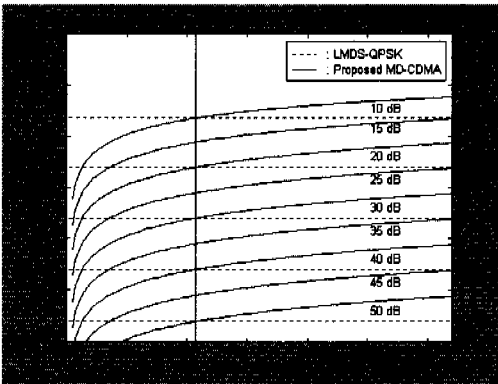


(b) 채널 동기 전송 방식

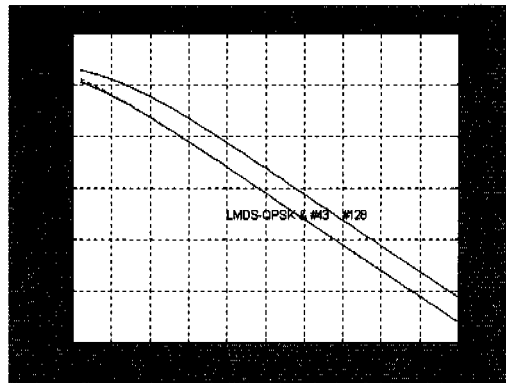
그림 4.5 페이딩 채널에서의 사용지수와 E_b/N_0 에 따른 MD-CDMA의 비트 에러 확률

동시 사용 가능한 최대 확산 채널 수는 페이딩 채널에서는 비동기 방식에서 약 43 채널, 채널 동기 방식에서 약 63 채널에 해당한다. 그리고, 페이딩 채널에서 동시에 128 채널을 사용하면서 TDMA/QPSK와 동일한 에러성능을 얻기 위해서는 비동기 방식에서는 TDMA/QPSK 보다 E_b/N_0 가 약 5 dB 더 요구되고 채널 동기 방식에서는 약 3 dB가 더 요구된다는 것을 알 수 있다. 이것은 가우시안 채널보다 페이딩 채널에서 MD-CDMA가 전체적으로 1~1.5 dB 정도의 이득을 갖는다는 것을 의미한다.

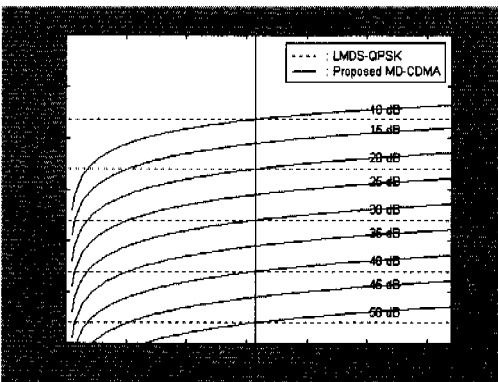
또한, 동시 최대 128 채널에서 $BER \leq 10^{-5}$ 을 만족하기 위해서는 비동기 방식에서 약 49 dB가 요구되고 채널 동기 방식에서는 약 47 dB가 요구되며, TDMA/QPSK에서는 약 44 dB가 요구된다. 그리고, MD-CDMA에서 $BER \leq 10^{-2}$ 를 만족하기 위해서는 비동기 방식에서는 약 18 dB가 요구되고 채널 동기 방식에서는 약 16.5 dB가 요구된다.



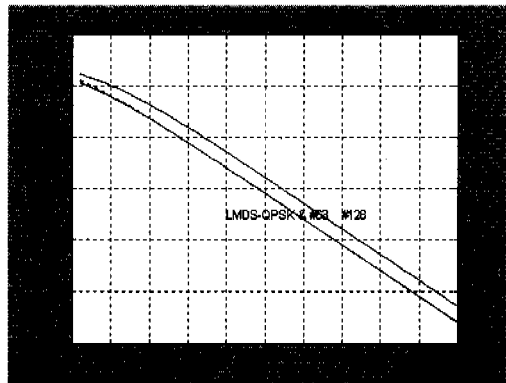
(a) 비동기 전송 방식



(a) 비동기 전송 방식



(b) 채널 동기 전송 방식



(b) 채널 동기 전송 방식

그림 4.6 페이딩 채널에서의 MD-CDMA와 TDMA/QPSK의 사용지수에 따른 비트에러율 비교

그림 4.7 페이딩 채널에서의 TDMA/QPSK와 MD-CDMA의 E_b/N_0 에 따른 비트에러율 비교

된 일반적인 시스템을 비교하였다. 그림 4.7에서 보는 바와 같이 MD-CDMA 시스템에서 동일한 E_b/N_0 에서 TDMA/QPSK의 에러성능을 만족하는

채널당 사용지수를 비교해 보면, 1.5 MHz 대역폭을 사용하는 TDMA/QPSK와 54 MHz 대역폭을 사용하는 MD-CDMA가 필터링을 위한 여유대역폭을 0.3으로 할 때, 동일한 성능으로 TDMA/QPSK는 MD-CDMA에서 사용하는 대역폭에서 36 채널을 사용할 수 있고 MD-CDMA는 비동기 방식에서 43 채널을 채널 동기 방식에서 63 채널을 운용할 수 있다. 그러므로, TDMA/QPSK와 비교해서 비동기방식은 약 19.4 %가 채널 동기 방식에서는 약 75 %의 채널 효율을 얻을 수 있다. 그리고, 동일한 대역폭에서 전체 운용 가능한 채널수를 보면 TDMA/QPSK가 36 채널, MD-CDMA가 128 채널로 약 3.6배 증가하는 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 LMDS 역방향 채널에 Multicarrier DS-SS 시스템에 의식적인 채널동기방식을 사용한 송수신방식을 제안하였다. 128개의 부채널을 사용하며 확산이득은 128로 구성하였다. 현재의 LMDS 상향 채널에 적용된 TDMA/QPSK와 비교하여 MD-CDMA 방식은 동일한 채널에서 가변적인 채널환경의 운용이 가능한 장점을 갖는다. 그리고, 상대적으로 페이딩에 강한 특성을 보였다. 그러나, 각 사용자가 역방향 채널에 비동기적으로 데이터를 전송하면 확산부호의 상관특성이 저하되어 전체적인 성능의 저하로 채널 효율이 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로, 이상적인 상관특성을 얻기 위해서 채널 동기 전송으로 확산부호의 유효 가변율을 줄여야 한다. 그리고, 이러한 이상적인 상관특성에 의해 채널의 역확산 성능이 개선되어 최적의 시스템의 구성할 수 있음을 확인할 수 있다. MD-CDMA에 채널동기 방식은 채널동기를 사용하지 않은 것보다 약 30% 정도의 채널 성능의 향상을 보였다. 동일한 조건에서 TDMA/QPSK 방식의 LMDS 상향 채널에 비해서 MD-CDMA가 가우시안 채널에서는 약 38.9 %의 채널 효율의 향상이 가능하였고, 페이딩 채널에서는 약 75 %의 채널 효율의 증가가 가능하였다. 그리고, 전체 운용가능 채널수는 약 3.6배가 증가하였다. 그러므로 LMDS 상향 채널에 채널동기 방식을 적용한 MD-CDMA로 구성할 경우, 더 많은 사용자를 수용할 수 있음을 알 수 있다.

추가적으로, 주파수 에러 제어에 의한 동기성능이 라든가 확산부호의 동기추적 알고리즘 그리고, 각

부채널에 따라 채널의 전달 특성이 다르기 때문에 채널 등화에 대한 부분도 더 연구되어야 할 것이다.

감사의 글

본 논문은 2000년도 정보통신부의 대학기초 연구 지원사업비에 의하여 지원되었습니다.

참고 문헌

- [1] 김평수, 이재율, "DAVIC 표준화 동향," 한국통신학회지 제13권 제12호, pp.1334-1355, 1996년 12월.
- [2] 권장안, 정영식, 이근섭, 김주완, "디지털 LMDS 시스템 개발 동향," KMT Technology, pp.62-71, 1. 1997.
- [3] R. Prasad, and S. Hara, "An Overview of Multicarrier CDMA," Proc. of IEEE ISSSTA '96, pp.107-114, 1996.
- [4] Shinsuke Hara, and Ramjee Prasad, "Overview of Multicarrier CDMA," IEEE Comm. Magazine, pp.126-133, Dec. 1997.
- [5] DAVIC, "DAVIC 1.3 Specification Part 8 - Lower Layer Protocols And Physical Interfaces Rev 6.3," Digital Audio Visual Council, 1997.
- [6] Seiichi Sampei, "Application of Digital Wireless Technologies to Global Wireless Communications," Prentice Hall PTR, 1997.

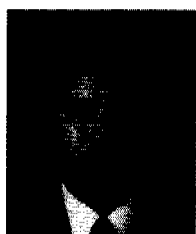
조 병 록(Cho, Byung Lok)



1987년 2월: 성균관대학교
전자공학과(공학사)
1990년 2월: 성균관대학교 대학원
전자공학과(공학석사)
1994년 2월: 성균관대학교 대학원
전자공학과 (공학박사)

1987년 1월~1988년 3월: 삼성전자 (주)종합연구소
1994년 3월~현재: 순천대학교 전자공학과 부교수
<주관심 분야> 디지털 통신이론, 디지털 통신시스템
ASIC설계, 무선멀티미디어용 고속 모뎀 설계, 무선망 성능분석

강성준(Kang, Seong Jun)



1978년 2월 : 이주대학교
전자공학과(공학사)
1981년 2월 : 연세대학교 대학원
전자공학과(공학석사)
1987년 6월 : (불)랑그독과학
기술대(U.S.T.L) D.E.A
1990년 3월 (불)랑그독과학
기술대 Doctorat (Ph. D)

1980년 4월~1994년 2월 : 한국전자통신연구원 책임
연구원, 과제 책임자

1994년 3월~현재 : 목포대학교 정보통신공학과
부교수

<주관심 분야> 디지털 통신 시스템 적외선 영상기술,
광통신용 광전소자, 적외선 통신

임형래(Lim, Hyung Rae)

1997년 2월 : 순천대학교 전자공학과 (공학사)

1997년 3월~1999년 2월 : 순천대학교 대학원
전기공학과(공학석사)

1999년 2월~현재 : Teleware Network Systems에
근무

<주관심 분야> 디지털 통신 시스템, 인터넷 시스템,
Router