

디지털 LMDS 서비스를 위한 모뎀 기술

김기선

광주과학기술원 정보통신공학과

정보사회가 발전함에 따라 전송 용량의 계속적인 증가가 예측되면서, 이를 실현할 수 있는 디지털 정보 압축, 변조, 채널 코딩을 위한 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuits) 및 ASIC(Application Specific Integrated Circuits) 관련 기술의 급속한 발달과 함께, 고속 데이터 서비스나 압축된 디지털 비디오의 분배를 위한 디지털 LMDS(Local Multipoint Distribution System) 서비스는 현재 기술적으로도 구현 가능하며 상용화직전 단계에 와 있다^[1]. 이를 위해 미국에서는 98년 2월 18일 부로 시작된 전국 492 개의 기본구역(Basic Trading Area)에 대한 LMDS용 주파수 공매의 결과 3월 25일 마감시 약 5.7 억 달러의 경쟁이 있었으며, 우리나라에서는 광대역 가입자 회선용으로 상향(24.25-24.75 GHz) 및 하향(25.5-27.55 GHz) (준)밀리미터파 대역을 지정하는 등, 많은 나라에서 1999년 또는 2000년 실용 서비스를 목표로 기술 및 관련 법체를 정비중이다^[1, 2-4]. 하지만, 미국의 FCC를 대표하는 Susan Ness가 이번 공매에 앞서 "잠재력이 있는 무선 기술을 활성화시키기 위해, 앞으로 3년 동안은 기존의 지역 유무선망 사업자의 참여를 배제하고 새로운 경쟁자를 도입한다"에서 이야기한 바와 같이, 아직까지는 밀리미터 대역 무선 통신 시스템에 대한 설계나 제품화를 위한 주파수의 효율성과 구현에 따른 효과적인 비용 같은 몇 가지 요소에 대해서 충분한 고려가 되어 있지 않다. 이 중 밀리미터파대 주파수의 효율성은 LMDS 시스템의 구현과 설계에 있어서 상당히 중요한 이슈가 되고 있다. LMDS가 새로운 주파수 대역을 개척하는 새로운 서비스임을 감안할 때, 낮은 주파수

효율성으로 인해 초기에 네트워크가 포화되는 것은 서비스의 질을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 소비자를 경쟁이 되는 다른 미디어에 빼앗기는 결과를 초래할 수 있기 때문이다^[5, 6]. 마찬가지로, 광대역 고차 디지털 변조와 진보된 채널 코딩 및 이에 상응되는 고속의 에러 정정 기법들의 구현기술이 안정되지 않았고 즉각적으로 많은 고객을 유치할 수 있는 시스템의 구축 비용이 높기 때문에 기술적 이행 가능성이나 비용의 효율성이 아주 중요한 요소가 된다. 이외에도 밀리미터파 대역에서 주로 군사 및 우주 탐사용으로 개발된 MMIC의 상용화 수준으로의 가격저하 및 방송급 고출력 기능의 구현 문제와, GXI 등에서 주로 논의 되는 가입자망의 통합적 서비스를 위해서 셀 계획, 통합 가입자망 구조 정의, 망운용 등에 대한 논의가 보완됨으로서 본격적인 LMDS 서비스 시대가 시작될 것이다^[3]. 또한, 광대역 통합 서비스의 효율적 구현을 위해, ATM 전송열의 구성, 다중화 기법 및 계층화된 부호화 방식 등 채널의 상황에 적응적인 전송 관리기술의 확보가 요구된다^[3].

다음에서는 위와 같은 다양한 문제들 중 LMDS를 구현할 수 있는 여러 가지의 변조와 채널 코딩 기술관련 자료를 정리하고자 한다. 먼저 새로운 서비스로서의 LMDS의 응용분야를 정리하고, 이를 구현하기 위한 밀리미터파 채널의 특성을 고찰한다. 이를 바탕으로 LMDS 시스템 구현에 필요한 부호화 기술의 개념을 도입하고, 광대역 전송의 경쟁기술로서 논의 되는 다양한 변복조 방식에 대하여 기술한다. 그리고 나서 북미와 유럽에서 제정이 되고 있는 경쟁 및 비교 기술의 광대역 전송 표준화와 DAVIC (Digital Audio-Video Council)을

중심으로 추진되는 방식에 대해서 언급한다.

다:

I. LMDS 서비스 분류

LMDS의 창시자라 인정되는 CellularVision 사의 창업자인 Bernard Bossard는 일정한 지역(Local)을 서비스 대상으로하는 방송(Multipoint Distribution)을 전제로 LMDS사업을 시작하였으나, 사용하는 반송파가 (준)밀리미터 대역(30GHz)이고 따라서 가용한 대역폭이 GHz에 이른다는 특성을 활용하여 그 응용범위가 확장되는 추세이다^[4]. 서비스 측면에서 초기의 디지털 방송으로서 하향 디지털 영상 방송과 상향 제어 신호를 동시에 전송할 수 있는 것이 LMDS의 주 서비스 목표라 보았으나, 최근들어 인터넷의 활성화 및 LAN/Intranet의 용량 폭주에 따른 비즈니스 데이터 전송이 주요 서비스 대상으로 예측되는 상황으로 발전하고 있으며, 음성 가입자용 고급 서비스 또한 광대역 WLL 개념으로서의 LMDS영역에 속 한다. 기술적 측면에서는 LMDS는 궁극적으로 전 광(all-optical)망이 주축이 되는 초고속 가입자망의 과도기적 대안으로서, 또한 무선망이 갖는 이동성 및 유연성등 고유의 특성을 활용하는 유무선 통합망의 일부로서, 다양한 서비스를 제공하리라 예상된다. 현시점에서 광대역 서비스의 요구가 주로 디지털 영상과 고속 데이터를 감안하면, LMDS의 특징을 활용하는 서비스중 단기적으로 시장이 예상되는 부분은 표1과 같이 구분될 수 있

〈표 1〉 LMDS 서비스 분류

서비스 분류		내 용
점 대 다점	단방향 방송	디지털 영상 방송 데이터 전송 서비스
	양방향 통신	대칭 데이터 서비스 비대칭 데이터 서비스
	고속 데이터 서비스	
	셀간 링크 서비스	
점 대 점		유무선 혼합망 연동 서비스

1. 디지털 영상 방송

디지털 영상 방송은 일반적으로 단방향 광대역 방송 시스템이다. 이와 관련 디지털 텔레비전 DTH(Direct-to-Home) 서비스(DVB-S, Direct-TV, DigiCipher), 미국과 유럽에서의 DTTB (Digital Television Terrestrial Broadcasting) 시스템, 미국 디지털 유선 텔레비전 표준, DAVIC LMDS 제안 등과 같은 많은 국제적 표준들이 있다^[7]. 시청당지불 (pay-per-view) 또는 제한된 양 방향성을 지원하기 위해서는 약간의 저속 상향링크가 필요하지만 필요시 공중전화망을 사용하여 처리할 수 있다. 현재 디지털 방송을 서비스하기 위해서 가장 비용이 절감되고 시간이 절약되는 방법은 QPSK 변조 방식과 연결 채널 부호화방식을 사용하고 있는 DVB-S 시스템의 개념을 사용하는 것으로 알려져 있다. 이때 요구되는 C/N의 값은 일반적으로 10 dB 수준으로 낮다. 적절한 주파수 효율을 위해서는 채널 롤오프 (roll-off)는 대략 35 % 정도 되어야 한다. DVB-S는 실제 증명되어 진 시스템으로 SA, TVCom, GI, DMV, PACE 등과 같은 여러 벤더들에서 구현한 저비용 수신기술을 이용하고, 적절한 주파수 변환부의 개선을 통해 디지털 영상 방송을 목표로 하는 LMDS 시스템을 쉽게 구성할 수 있다.

2. 단방향 데이터 전송 서비스

광대역 단방향 데이터 서비스는 망사업자에게 정보를 제공하는 ISP(Internet Service Providers)들에게 필요하다. 고속 인터넷 데이터를 필요한 위치에 전달하기 위해서 10 Mbps급 이상의 고속 데이터 단방향 링크가 필요하며, 이를 위해 현재 길쌈 부호화와 함께 QPSK 또는 DQPSK 변조를 사용하는 여러 벤더들의 모뎀들이 있으며, 일반적으로 10dB이하의 반송파대 잡음비(CNR)이 요구되는 동기 복조를 사용한다. DQPSK에 비동기 복조 방식을 사용할 수 있지만 이 방법은 3 dB의 추가적인 CNR 여유분을 요구한다. 비동기 복조 방식에서는 반송파 복원 회로가

필요없으며, 이는 저 비용으로 쉽게 제조할 수 있다. 비동기 복조의 또 다른 이점은 신호 페이딩과 산란등에 대해 강하다는 것이다.

3. 대칭 양방향 데이터 서비스

기업용 LAN이나 Intranet의 경우에서처럼 관련된 다수의 그룹간 데이터 왕래가 빈번한 경우, 대칭 양방향 데이터 서비스를 통해 양방향 점대점 1.5 Mbps(DS1) 서비스 또는 10 Mbps이상으로 서비스함이 필요하다^[8]. 길쌈 부호화, 블록 부호화 그리고 연접 부호화를 사용하는 QPSK 또는 DQPSK 변조를 이용하는 DS1 모뎀들이 이미 제안되어 있으며, 주로 보다 높은 데이터율을 제공할 수 있도록 64/256 QAM 변조 방식이 사용되는 경우도 있고, 이를 변형하여 LMDS용 QPSK, 8 PSK 또는 16 QAM 응용에 쉽게 적용할 수 있다.

4. 비대칭 양방향 데이터 서비스

데이터 베이스 접속, 인터넷 접속 등과 같은 데이터 서비스에서는 많은 양의 정보를 고속으로 전송하여야 하나 상향 트래픽 데이터는 상대적으로 낮은 속도가 요구된다. 이 경우 정보공급자와 정보 활용자간의 링크를 위해 비대칭 양방향 데이터 서비스가 사용될 수 있으며, 하향 데이터율은 10 Mbps링크를 사용하고, 상향은 0에서 10 Mbps 사이의 데이터율을 사용함이 예상된다. 때로는 상/하향 트래픽은 연접적으로 발생하기 때문에 넓은 대역폭을 사용하여 거의 실시간 응답을 할 수 있는 전송방법이 필요하다. 하향 링크를 위해서 주파수 효율이 가장 좋은 주파수분할다중화(FDM) 방식을 사용하여 가입자에게 서비스하고 있다. 일반적으로 상향 링크는 TDMA방식으로 구성되며 이를 위해 MAC(Media Access Control) 프로토콜이 필요하다. 상향 변조 방법으로는 가입자 장치의 간 결성 및 전력 제한을 고려하여 DQPSK 또는 $\pi/4$ QPSK 변조 방식을 사용하고 높은 데이터 전송량과 보다 좋은 주파수 효율을 위해 채널 부호화(TCM 또는 Turbo 부호화)를 한 8 PSK나 16 QAM 변조 방식 등이 고려된다.

5. 점대점 데이터 서비스

점대점 데이터 서비스는 DS1, DS3, 또는 이보다 고속의 전송선로를 이용하여 WAN, LAN, 비디오 스튜디오 공급, PCS 전송 응용과 같은 서비스를 제공한다. 이 서비스는 주로 높은 신뢰도를 요구하는 전문 사용자를 위한 것이기 때문에 주파수 효율을 높이기 위해서 개선된 채널 부호와 변조방법이 사용된다. 이러한 서비스를 위해서 방송급보다 고급 변복조 및 부호화가 필요하며, 따라서 LOS와 비LOS 링크에서의 LMDS 채널 특성에 대한 이해가 필요하다.

6. 셀간 링크 서비스

셀간 링크는 기본적으로 양방향 데이터 링크와 비슷하나, 한셀 내에서 발생할 수 있는 최대 데이터량을 처리하기 위해 GHz 대역폭을 제공할 수 있는 양방향 통신 백본을 제공하여야 하며, 특히 하향에서는 셀간 링크와 1 GHz 전 대역으로 인터페이스가 필요하다. 셀간 링크의 길이가 셀 반경의 두 배정도 되기 때문에 LOS를 보장하기 위하여 높은 안테나 이득이 필요하며 동일 채널 간섭과 다중 경로 왜곡을 제한하기 위해서 방해물이 없는 좋은 LOS를 확보하여야 한다.

7. 유무선 혼합망 연동 서비스

셀간 링크의 경우와 달리 혼합망 연동 서비스는 두 계층 망을 전제로 한다. 즉 피코셀 규모의 소형 셀을 상위 매크로 셀에서 2 계층 (2-tier) 서비스하는 구조에 있어서, 혼합망 서비스는 두 가지 경우가 있다. 즉 하위 계층 DSL/케이블 서비스와 상위 계층 LMDS 서비스, 또는 하위 계층 LMDS 서비스와 상위 계층 광섬유망 서비스가 그것이다. 첫 번째 경우는 점대 다점 서비스의 변태로 가입자의 대역폭이 셀간 링크보다는 작지만 일반 가입자보다 큰 경우이고, 두 번째의 경우는 광섬유를 통해 전송된 신호를 기저 대역까지의 변환이나 밀리미터 대역으로의 재 변조가 없이 직접 방사할 수 있는 기술들이 요구된다. 혼합망의 경우는 기저대역의 변조보다는 광파장 변조 신호의 밀리미터 대역으로의 광전변환 및 그 역과정인 전광

변환에 따른 새로운 소자 및 시스템 기술이 고려되어야 한다^[9].

II. LMDS 채널 특성 및 코딩 기법

LMDS를 위한 밀리미터 대역의 특성 연구로는 날씨와 기온의 변화에 따른 단기 및 장기 채널의 변화에 대한 보고서 등이 있다^[10]. 기본적으로 LMDS 대역은 가시거리 (LOS)를 위한 것이므로, 대기중의 가스와 비, 안개 및 눈 같은 다양한 형태의 물 증기에 의한 흡수, 분산, 굴절에 의해 발생하는 심한 신호 페이딩을 겪는 어려운 점이 있고, 적당한 서비스 질을 제공하기 위하여, 이러한 경로 손실을 보상하기 위해 적절히 효과적으로 방사전력을 보완해야 한다. 또한 이는 아주 높은 주파수 대역이기 때문에 LMDS 시스템 전송 수신안테나는 물리적으로 상당히 작고, 아주 높은 이득(20에서 40 dB)과 방향성(5에서 30도)을 가져야 한다. 기본적으로 비나 날씨의 변화에 의한 페이딩은 평坦하고 주파수 비선택적이지만 다른 셀로부터의 상호 채널 간섭과 비나 반사 혹은 부적당한 설치에 기인한 상호 편이 간섭등이 채널특성에 고려되어야한다. 송신기의 비선형성이나 부적절한 출력 백-오프에 의해 발생되는 상호 변조 왜곡은 시스템의 성능을 저하시킬 수도 있다. 이를 위해 LMDS는 내부변조 왜곡을 무시할만한 레벨로 유지하면서 전력 레벨 제어에 대한 충분한 여유분이 제공될 수 있도록 송신 전력을 제한하여야 한다. 이에 대응되는 변조시스템은 낮은 반송파 대 잡음비 (CNR)의 문턱값과 적절한 주파수 효율성을 가져야만 한다. 낮은 CNR 문턱값과 요구되어지는 높은 주파수 효율을 얻기 위해서 연접 채널 부호화를 이용하여 시스템이 구현되어 진다. 이와 같은 부호화 시스템에 대하여, 내부 변조 부호화와 외부 심벌 에러 정정 부호와 같은 두 레벨의 부호화가 사용되어진다. 내부 부호로는 길쌈 부호 또는 격자 부호가 사용된다. 일반적으로 길쌈 부호는 위성 DTH 시스템과 같이 QPSK 변조된 시스템에 적용

된다. 격자 부호화는 고차원의 QAM과 VSB 변조에 사용될 때, 심볼율을 증가시키지 않고 심벌 성상수를 증가시킴으로써 CNR의 문턱값을 증가시킬 수 있다. 이는 부호화와 변조를 하나로 혼합하는 것이기 때문에 TCM(Trellis Coded Modulation)으로 불리기도 한다. 길쌈 부호화와 TCM은 잡음화 신호와 무선 페이딩 채널에서 좋은 성능을 갖기 위하여 연판정 복호화 알고리즘으로 구현될 수 있다. 일반적으로 리드-솔로몬(RS) 부호가 외부 부호로 사용된다. RS(204,188) 부호는 188 바이트 MPEG-2 전송열에 주로 사용된다. 이 부호는 16 바이트의 에러를 식별하고 8 바이트 에러를 정정할 수 있도록 각각의 188 바이트의 입력 데이터에 16 바이트의 패리티를 첨가 한다. 패리티 바이트가 발생되기 때문에 부호화된 데이터를 전송하기 위하여 부가적인 대역폭이 필요하다. 내부 부호로써 길쌈부호와 TCM 부호를 주로 사용하고 외부 부호로써 RS부호를 사용하는 이유는 길쌈 부호와 TCM 부호가 낮은 CNR 범위에서 좋은 잡음 에러 수행 능력이 있기 때문이지만, CNR의 증가에 따른 BER곡선의 감쇠가 상대적으로 느린다. 반면에, RS 부호는 부가적인 대역폭을 요구하기는 하지만 아주 빠른 BER 개선 특성을 갖는다. 연접 부호화 시스템에 있어서, 내부 부호에 요구되는 출력 BER은 약 10^{-1} 이고 반면에 외부 부호인 RS 부호는 내부 부호에 의해 발생되는 연접 에러를 다루게 되며 10^{-10} 또는 이보다 더 좋은 BER을 제공한다. 연접 부호 시스템의 결점은 매우 가파른 문턱값을 가진다는 것으로, LMDS 시스템과 같이 심각한 신호의 페이딩을 갖는 서비스에 대해서는 서비스의 질을 만족시키기 위하여 충분한 마진이 유지되어져야 한다.

III. LMDS용 변조 방식 비교

1. 왜 아날로그 변조가 부적절한가 ?

아날로그 변조에는 수십년 동안 위성 TV 전송에 사용되어진 주파수 변조(20 MHz FM)와 50년

이상 VHF/UHF 대역에서 텔레비전 방송에 사용된 진폭 변조(6MHz AM/VSB)의 두 가지가 있다. FM은 페이딩에 견딜 수 있게 하는 유연한 문턱값과 견실한 위상 잡음 성능 및 간섭과 잡음에 강한 면역성을 가지고 있다. 그러나 LMDS에서 요구되는 주파수 효율성은 적어도 1bit/s/Hz임을 고려하고, 압축된 디지털 영상이 4 Mbps급임을 생각하면, 아날로그 방식은 주파수 활용 측면에서 아주 비효율적이다. 상대적으로 AM-VSB 변조는 FM 보다 더 나은 주파수 효율성을 갖으나, AM 변조는 다중경로 손실이나 잡음 그리고 간섭에 상당히 민감한 단점이 있다. TOV(Threshold Of Visibility)에 대해 요구되어지는 CNR은 50 dB 정도이다. 심지어 CCIR 등급 3의 비디오 질도 28 dB 정도의 CNR을 요구한다. 그러므로 LMDS 서비스를 위하여 아날로그 변조를 이용하는 경우, 페이딩 마진을 유지하면서 안정적으로 CNR의 요구를 만족시킨다는 것은 어려운 일이다.

아날로그방식을 배제하면, 이동 또는 고정 통신 및 위성과 같은 디지털 무선 통신의 많은 분야에서 구현되어 온 QPSK 변조와 수년 동안 초고주파 디지털 라디오에 사용되어 온 QAM의 두 가지 종류의 디지털 변조 방식을 LMDS서비스를 위해 고려할 수 있다. 이외에도 무반송파 진폭 위상 (Carrierless Amplitude Phase : CAP) 변조, VSB 변조와 COFDM(Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 같은 다른 종

류의 디지털 변조 방식등 지상 디지털 TV 방송을 위해 제안되는 방식들이 고려될 수 있다.

2. LMDS용 QPSK 변조방식

QPSK변조는 위상 잡음에 대해 강할 뿐만 아니라 다중 경로 왜곡과 간섭 및 잡음에 강한 면역성을 가지고 있다. 또한 포락선이 일정하며 낮은 최대치 대 평균 전력비를 가지고 있어서 출력 백오프가 낮게 요구된다. 이러한 특징은 LMDS와 같이 전력 제한된 통신 시스템에 있어서는 아주 중요한 요소가 된다. QPSK는 지난 수년 동안에 걸쳐 디지털 위성 텔레비전 DTH 서비스를 위하여 성공적으로 적용되어 왔다. QPSK 변조에 기초를 둔 DVB-S, DirecTV, DigiCipher와 같은 세 가지 종류의 시스템이 있다. 이 세 가지 시스템에 대한 전송 시스템의 파라미터들이 표 2에 나와 있다. 서로 다른 내부 부호화율에 대하여, 시스템 E_b/E_o 문턱값은 5에서 8 dB정도이다. 1 bit/s/Hz를 요구하는 LMDS 주파수 효율성을 고려할 때 25%의 보호대역과, RS(204,188) 외부 부호의 사용을 가정하면, 내부 부호화율 R 이 $(0.5 * 1.25 * 204) / 188 = 0.68$ 보다 더 커야만 하므로, 부호화율이 3/4에서 7/8인 내부 부호가 필요하다. 이에 대응하여 요구되어지는 E_b/E_o (구현 마진을 포함해서)는 8에서 10 dB 정도이고 대응되는 CNR은 10에서 12 dB 정도이다. LMDS 서비스를 위해 위성 DTH 시스템의 방식을 이용할 때 주어지는 주요한

〈표 2〉 QPSK 기반 DTH시스템의 주요 규격

파라미터	규격		
시스템	DVB-S	DirecTV	DigiCipher
변조	QPSK		
영상 부호화	MPEG-2 MP/ML		
RS outer code	(204,188)	(146,130)	(204,188)
심볼율	가변	고정	가변
심볼율 범위	20.5-42.5 Mbaud	20 Mbaud	19.5-29.5 Mbaud
-25dB BW	25.7-53.3 MHz	25.1 MHz	1.33, 1.55 x 심볼율
roll-off factor	0.35	0.20	0.55, 0.33

장점은 이 방식이 이미 완성되어져 있고 증명된 기술이므로 LMDS 대역에서의 구현을 매우 쉽고 저렴하게 할 수 있고, 따라서 가입자용 수신기를 적당한 가격으로 구성할 수 있다는 점이다. 반면, LMDS 서비스를 위해 위성 DTH 시스템의 방식을 이용할 때 주어지는 주요한 단점은 주파수 효율이 아주 낮다(단지 1.1에서 1.3bit/s/Hz)는 것으로, 서비스 등급을 낮출 수 있는 경우 고차 QAM등 주파수 효율이 높은 변조가 고려 되어야한다.

3. LMDS용 16 QAM 변조방식

최근 디지털 텔레비전의 전송을 위해 QAM 방식이 제안되었으며 여기에는 DVB(Digital Video Broadcasting)-C와 DAVIC 및 SCTE(Society of Cable Television Engineers)등의 디지털 TV 표준이 완료되었거나 개발중에 있다. 위성 시스템의 경우 하향 전송은 전력이 제한되어 있고 수신단은 제한된 CNR을 가지고 있어서 QPSK 변조 방식이 바람직하나, 케이블 시스템에서는 가입자의 측에서 최소한 36dB의 CNR을 규정하기 때문에 CNR은 문제가 되지 않는다. 이러한 이유로 QPSK 변조방식은 위성채널 전송을 위하여 광범위하게 이용되고 있는 반면, QAM은 케이블 전송을 위하여 제안되고 있다. 또한, 케이블 시스템은 유선이기 때문에 신호 패이딩이 없는 반면 위성 신호는 악천후의 조건하에서 심한 신호 패이딩을 야기시키므로, 케이블 시스템 필터의 roll-off(20% 이하)는 위성 시스템의 roll-off(20에서 35% 사이) 보다 작게 설정된다. 가입자 측에 도달하기 전에 케이블 신호는 수십 개의 중폭기를 거치기 때문에 케이블 수신기는 위상 잡음과 비선형 왜곡 같은 것들에 대하여 강해야 한다. 케이블 시스템과 LMDS 시스템은 위상 잡음에 취약하며 다중경로 왜곡에 직면하게 된다는 유사점이 있다. 이 두 시스템간의 두드러진 차이점은 LMDS 시스템은 신호 패이딩을 겪는다는 것이다. 그러므로, 16 QAM과 같은 적은 차수의 QAM이 사용된다면, 케이블 전송 시스템을 LMDS에 응용할 수 있다. 이는 위성 전송 시스템에서 얻었던 것 보다 더 큰 주파수 효율성을 제공해 준다. 또한, 열악한 기후 환경에

서의 신호 왜곡이 가장 큰 문제로 예상되는 경우 송신기의 전력제어 또는 작은 차수의 변조, 예를 들면 QPSK를 대안으로 사용하여 해결할 수 있다.

4. LMDS용 VSB 변조방식

VSB는 수학적으로 오프셋 QAM과 동일하므로 VSB는 LMDS 변조부로서 쉽게 변형 될 수 있다. 그러나, 원래 VHF/UHF 육상 방송이나 케이블 TV를 위해 디자인되었기 때문에 몇 가지 수정이 요구된다. 예를 들면, 11.5 %의 채널 roll-off 계수가 8/16 VSB 시스템에서 사용된다. LMDS 구현에 있어서는 채널 페이딩 때문에 이보다 큰 roll-off 계수가 사용될 것이다. 표준으로 논의되는 8/16 VSB 시스템과 DVB 또는 DAVIC 시스템 사이에는 채널 부호화 방식에 있어 공통되는 부분이 거의 없다는 점은 VSB칩을 LMDS칩으로 변형하는데 문제점을 갖게 한다.

5. LMDS용 COFDM 변조방식

직교 주파수 분할 다중화(Orthogonal Frequency Division Multiplexing : OFDM)는 다중 반송파 변조 방식의 형태로서, 각 부반송파는 협대역 QAM 또는 QPSK로 변조되고 서로간의 직교성이 유지할 수 있도록 부반송파 사이의 거리를 잘 선택함으로써 주파수가 중복됨에도 불구하고 반송파 간 간섭이 없다. 모든 부반송파들이 QAM으로 변조될 경우, OFDM은 QAM에 해당하는 주파수 효율을 갖으나, OFDM 신호가 별별로 전송되는 다수의 저속 부반송파들로 구성되어 있으므로, 부반송파간 거리의 역수로 표현되는 심볼 전송율은 상당히 낮다. 따라서, OFDM 신호는 임펄스 간섭과 단기 패이딩에 강한데, 이 특성은 LMDS 구현에 있어서 장점이 된다. OFDM 시스템의 장점들 가운데 하나는 톤 간섭에 적용하기 위한 스펙트럼 모양을 조절하여 특정한 부반송파를 억제할 수 있다는 점이다. 또한, 각각의 부반송파의 전력 레벨은 비평탄 주파수를 갖는 간섭이나 비평탄 응답을 갖는 채널에 적용하도록 조정될 수 있다. OFDM 시스템의 또 하나의 장점은 적절한 채널 부호화를 사용할 경우 심한 다경로 왜곡을 견뎌낼 수 있다.

는 점이다. 채널 부호화가 사용된 OFDM은 부호화된 OFDM(COFDM)이라고 불린다. 일반적으로, TCM을 내부부호로, RS 부호를 외부부호로 사용하는 연접 채널 부호화가 사용된다. COFDM 심볼 사이에 보호구간이 삽입될 수 있기 때문에 COFDM은 다경로 왜곡에 강하다. 보호구간의 길이가 최대 다경로 지연시간보다 크기만 하면 심볼 간 간섭은 존재하지 않는다.

COFDM의 단점은 바로, COFDM 신호가 1에서 20 KHz 간격으로 떨어져 있는 다수의 저속 디지털 반송파들로 구성되어 있기 때문에, 이 정도 크기의 주파수 오프셋은 전송 오류를 유발시킬 수 있다. 따라서, 좋은 품질의 국부발진기와 좋은 성능의 자동 주파수 제어 회로가 요구된다. 또한, COFDM 신호는 단일 반송파 시스템보다 수 dB 높은 최대치 대 평균 전력비를 가지고 있고 이에 따른 인접 채널 간섭의 발생을 막기 위해서는 송신기의 선형성이 추가로 요구된다. 다행히도 LMDS의 경우에 있어서는 완전한 디지털 시스템이 구현된다면, 인접 채널 간섭은 큰 문제가 되지 않을 것으로 예상된다.

IV. 광대역 전송 모뎀 관련 표준화

DVB-C 표준 : EBU(European Broadcasting Union)가 표준화한 일련의 DVB중에서 DVB-C 규격이 8 MHz 폭에서 디지털 TV 신호의 단방향 전송에 대한 것이다^[11]. DVB-C 표준은 ETSI (European Telecommunication Standards Institute)로부터 1994년에 ETSI 300429 표준으로 승인 받았으며, ITU-T(International Union Telecommunications Bureau)도 역시 ITU-T 권고안 J.83 조항 A(8 MHz 시스템)와 조항 C(6 MHz 시스템)를 승인했다. DVB-C는 16 QAM 부분과 관련 LMDS의 응용에 직접 이용될 수 있다.

SCTE 표준 : 미국에서는 SCTE에서 제정한 케이블 텔레비전에 대한 비디오 전송 표준은 6 MHz 채널에 대해 모드 1(64 QAM, 심볼율 5.057

Msp, 26.86 Mbps)과 모드 2 (64QAM, 심볼율 5.361 Msp, 38.31Mbps) 두 개의 모드로 정의하고 있다. 연접 채널부호는 내부 부호로는 격자 부호를 사용하며 외부 부호로는 RS(128, 122, t = 3) 부호를 사용하고 있다. SCTE 표준은 높은 차수의 QAM 변조방식과 상대적으로 약한 채널 부호화 방식을 사용하고 있는데 이는 LMDS 환경의 페이딩 하에서는 견디기 힘든 것이다. SCTE 표준은 기본적으로 ITU-T J.83 조항 B의 확장된 형태이다.

ITU-T 권고안 J.83 : J.83 "TV 사운드를 위한 디지털 다중 프로그램 시스템과 케이블 분배에 관한 데이터 서비스"은 네 개의 조항을 가지고 있다. 각각의 조항들은 디지털 케이블 단방향 시스템이며 표3에 이 네 개의 시스템이 요약되어 있다^[11]. 여기서 조항 B가 확장되어 US SCTE 표준이 된다. 조항 D는 Zenith 16VSB 시스템이고 조항 A와 C는 각각 8 MHz와 6 MHz의 채널 스페이스를 위한 DVB-C 표준이다.

ATSC(Advanced Television System Committee) A-53 표준 : VSB 변조는 VHF/UHF 대역에서의 미국 DTV/HDTV 육상 방송 표준인 ACATS (Advanced Television Service) 규격으로 선택되었다. 이방식은 하위 밴드 끝부분에 삽입된 파일럿 톤을 포함 8-레벨 VSB 변조하여 사용한다. 이러한 디자인의 장점은 아날로그 TV 서비스와의 간섭이 최소가 되도록 유지하면서 동채널 아날로그 TV의 심한 간섭에서도 반송파를 복원할 수 있다는 점이다. 채널 부호화는 내부 부호로써 12 개의 병렬 격자 부호화기를 갖고 외부 부호로써 RS(207,187) 부호를 갖는 연접 부호화이다. 8 VSB 시스템에서의 데이터 처리율은 19.3 Mbps이다. 8 VSB와 16 VSB 시스템 사이의 주된 차이점은 후자가 RS(207,187) 부호를 추가되고 격자 부호화를 없앰으로써, 16 VSB의 데이터 처리율은 대략 38.6 Mbps로서 8 VSB 처리량의 두 배가된다.

COFDM 표준 : COFDM 변조를 이용하는 공중파 방송용 국제 표준으로는 DAB 시스템과 DVB-T 시스템의 두 가지가 있다^[12]. 이중 DVB-T 시

〈표 3〉 ITU-T J.83 규격 특성

항 목		조항 A	조항 B	조항 C	조항 D
입력 신호		수정된 MPEG-2 전송열.			MPEG-2 전송열
프레임 구조		6 심볼 X 7 bit SYNC + 60 X 128 X 7 bit	MPEG-2 전송 패킷 구조		
채널 코딩	랜덤화 식	3-word 다항식:	15-bit 다항식:	16-bit 다항식:	
	연접부호	예	없음	없음	
	RS코드	RS(128,122)	RS(204,188)	RS(207,187)	
	길쌈 인터리빙	depth: I=128	depth: I=12	depth: I=52	
변조	차동 코딩	예	예	없음	
	격자 코딩	예	없음		
	대역폭	6 MHz	8MHz	6MHz	
	성상도	64 QAM	16-64 QAM	64 QAM	16 VSB
	롤 오프	0.18	0.15	0.13	0.115

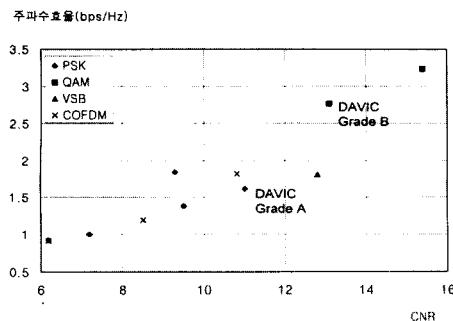
〈표 4〉 BER=1E-5 일 때 AWGN에서의 CNR 요구치

변조 방식	CNR @BER=1E-5 (dB)	주파수 효율 (bps/Hz), roll-off = 0.3
QPSK	14	1.6
8PSK	19.8	2.5
16 QAM	22	3.2
64 QAM	28.8	5.0

스템은 시뮬캐스팅 환경에서 VHF/UHF 대역에 걸쳐 고정 단말기와 휴대 단말기를 위한 디지털 텔레비전 지상 방송용으로 유럽에서 개발되었다. RS(204,188) 부호를 외부 부호로 사용하고 천공 길쌈 부호를 내부 부호로 사용하는 연접 채널 부호화가 이용된다. 부반송파 변조에는 QPSK나 16 QAM 또는 64 QAM을 사용한다. 이 시스템은 2K 모드와 8K 모드의 두 가지 동작 모드를 정의하고 있다. 8K 모드는 6817개의 반송파를 사용하며, 8K FFT가 요구된다. 2K 모드는 1705개의 반송파를 가지고 있고, 2K FFT를 사용한다. 2K 모드는 단일 송신기 동작과 송신기간 거리가 제한된 소규모망에 적합하다. 보호구간의 길이는 7, 14, 28, $56\mu s$ 중에서 선택할 수 있다. 8K 모드는 2K 모드에 필적하는 주파수 효율을 유지하면서, 대규

모 망 환경에서 사용될 수 있다. 8K 모드는 반송파간 거리가 1 KHz 정도로 작기 때문에 위상 잡음과 주파수 편이에 더욱 민감하다. 이 모드는 평坦한 지형에서 50-70 Km까지의 송신기 간격을 갖는 대규모 망 동작을 위해 설계되었다. 2K 모드는 반송파간 간격이 약 4 KHz 이기 때문에 위상 잡음에 보다 강하다. 이 모드는 20 Km까지 송신 기의 거리를 허용한다. DVB-T 시스템에서는 세 가지 종류의 파일럿 부반송파가 구현된다. 대역내 산란 파일럿은 채널 추정과 채널 변화에 대한 추적에 사용된다. 일련의 파일럿 부반송파는 채널 추정과 위상 잡음 추적을 위해 구현된다. 전송 파라미터 신호 파일럿은 동기를 위해 QAM 성상도, 길쌈 부호화율, 보호구간 길이, 프레임 번호 등의 정보를 전달하는 데에 사용된다.

DAVIC 규정 LMDS용 변조방식 : 표4에 BER = 10^{-5} 에서의 가산백색잡음에 대하여 서로 다른 변조 방식에 대한 2 dB의 구현 마진을 고려한 요구되는 CNR의 값이 나와 있다. QPSK 변조에 대해서도 매우 높은 값의 CNR이 요구되어짐을 알 수 있다. 그러므로 CNR의 문턱값을 낮추고 페이딩과 산란 등에 의한 잡음을 제거하기 위해서 채널 부호화가 반드시 사용되어야 한다. 표 5는 BER = 10^{-6} 일 때, 앞서 고려된 관련규격에서의



〈그림 1〉 대표적 모뎀방식의 주파수효율과 요구되는 CNR ($BER = 10^{-6}$)

다양한 부호화와 변조 방식에 대해 요구되는 측정된 CNR의 값과 채널 간격이 포함되지 않은 주파수 효율에 관련된 표준과 LMDS 서비스에 적합한지에 대한 설명이 나타나 있다. 길쌈 복호화 또는 TCM 복호화에 대해서는 항상 연관정 복호화를 사용함을 가정한다. 신호 페이딩과 산란 잡음등을 고려하여 약 1.5 dB 정도의 마진이 CNR 값에 더해져 있다. 이 표를 살펴보면 LMDS 구현에 내부 부호로 길쌈 부호 또는 TCM 부호를 사용하고 외부

부호로 RS 부호를 사용하는 연접 채널 부호화가 적합함을 알 수 있다. 이때 적합한 변조 방식은 QPSK 또는 8 PSK나 16 QAM이다. 앞에서 언급된 것과 같이 서로 다른 서비스를 위해서 서로 다른 구현이 필요하다. 이를 기반으로 제안된 LMDS의 DAVIC규격이 표 6에 요약되어 있으며 [13], 이는 연접 부호화된 QPSK중 고효율을 구할 수 있는 방식으로 A등급 (Grade A), 연접 부호화된 QAM방식중 낮은 CNR이 요구되는 방식을 B 등급으로 선택했음을 그림 1에서 볼 수 있다.

V. 결론 및 논의

본 논문에서는 LMDS용으로 사용 가능한 변조 방식과 채널 부호화 기술에 대하여 알아보았다. QPSK, QAM, VSB, COFDM 등의 변조방식들을 살펴보았고, 북미지역과 유럽에서 이들의 표준화 작업의 진척상황과 사용한 장치와 현재의 기술 단

〈표 5〉 LMDS용 변조 방식 구조

변조 방식		채널 코딩	CNR (dB)	주파수 효율 (bps/Hz)	표준	비고
PSK	QPSK	1/2	7.2	1.00	DVB-S	디지털 TV 방송
		7/8	12.3	1.75		
		1/2+RS(204,188)	6.2	0.92		
		7/8+RS(204,188)	11.0	1.61		
	8PSK	2/3+RS(204,188)	9.3	1.84		
QAM	16QAM	3/4+RS(204,188)	13.1	2.76	DVB-C DVB-T DVB-C	고속 데이터, 점대점 서비스
		7/8+RS(204,188)	15.4	3.23		
	RS(204,188)	19.2	3.69			
	64QAM	2/3+RS(204,188)	17.5	3.69		
		RS(204,188)	25.5	5.53		
VSB	2VSB	RS(207,187)	12.8	1.81	ATSC A-53	
	8VSB	RS(207,187)	25.3	5.42		
		2/3+RS(204,188)	17.5	3.69		
COFDM	COFDM-QPSK	1/2+RS(204,188)	6.2	0.89	DVB-T	
	COFDM-16QAM	1/2+RS(204,188)	10.8	1.82		

〈표 6〉 LMDS용 DAVIC 변복조 규격

		하 향	상 향
변조방식	Grade A	QPSK, roll-off = 0.2, 0.35	DQPSK, roll-off = 0.3
	Grade B	QPSK and 16QAM	
부호화	RS 부호	단축 RS(204, 188)	단축 RS(63, 53)
	길쌈부호	Punctured 길쌈부호, (K=7, 1/2 code)	
채널 대역폭		20MHz 또는 40MHz	Grade A: 1-2.5MHz Grade B: 1-26MHz
IF 신호 레벨		-60에서 -30dB	-40에서 -10dBm
근접 채널 레벨 변동폭		±3dB	—
재귀 손실			≥13dB(in-band)
인-밴드 평탄성		±0.5dB	—

제로 LMDS모뎀의 구현에 가장 적합한 방법 등을 알아보았다. LMDS에서 사용하기에 가장 적당한 채널 부호는 내부 부호로 길쌈부호 또는 TCM 부호를 사용하고 외부 부호로 RS 부호를 사용하는 연접 부호화 방식이 적당하고, 변조 방식으로는 QPSK, 8PSK, 16QAM 방식 등이 가장 적합하다. 디지털 영상 방송과 인터넷 데이터 서비스 등의 저가 상용 서비스를 위하여는 빠르게 보급할 수 있는 QPSK/DPSK 모뎀이 적당하고, 비즈니스 건물간의 통신, 단방향 데이터 전송, 셀간 데이터 링크 등 고속 데이터 링크에는 8PSK, 16QAM등의 변조방법에 진보된 채널 부호화를 함으로 주파수 효율을 높일 수 있는 모뎀이 적절하다. LMDS의 광대역 특성을 더욱 개발하고, 휴대성이나 복합적인 채널상황의 고려등 부가적 서비스를 위해서는 COFDM-QAM 및 COFDM-QPSK등의 변조방식들이 계속 논의 되어야한다.

참 고 문 헌

[1] IEEE MTT-S, The Emergence of Multipoint Distribution Systems(MMDS, LMDS), Int. Microwave Symposium, 1997.6.

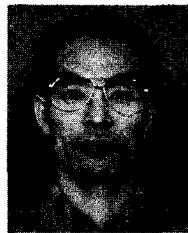
- [2] 가입자회선(WLL)용 주파수 분배, 정보통신부 공고 제 1997-49호, 1997.4.
- [3] 박계영외 7인, LMDS(광대역 가입자용 디지털 무선 CATV) 기술 개요, 해태텔레콤, 1997.10.
- [4] LMDS: Answers to Frequently Asked Questions, <http://www.ajs2.com/lmds/faq.htm>
- [5] 김기선 A. Ahmad, "Full Services Access Networks Using LMDS," 제4회 이동통신 기술 워크샵, 1998.2.
- [6] 박순, "한국에서의 무선 가입자망 발전 방향," 제1회 초고속 액세스망 워크샵, 1997.8.
- [7] 차세대 이동통신 회로 부품설계 및 디지털 방송 기술워크숍, 1996.9.
- [8] 이재원, 이석호, 정한우, "광대역 무선 가입자망 (LMCS) 시스템 구현방향" 정보통신연구, 제 11권 3호, 1997.9.
- [9] G. Song, "Principles of Millimeter-wave over Fiber technology," KJIST UFON Workshop, 1998.2.
- [10] CCIR Report 721-3, Attenuations by Hydrometeors, in Particular Precipitation and other Atmospheric Particles, 1990.
- [11] <http://www.iwaysol.com/ieee-oc/cable/tsld007.htm>, <http://www.m4.com/about/>

dvb.html.

[12] <http://www.drb.crc.doc.ca/Testbed/cofdm.htm>, <http://www.bbc.co.uk/validate/paper-17.htm>.

[13] DAVIC 1.3 Specifications, Part 8, "Lower Layer protocol and Physical Interfaces," 1997.9.

저자소개



金基宣

1978年2月 서울대학교 電子工學科 學士. 1980年2月 서울대학교 電子工學科 碩士. 1987年12月 Univ. of Southern Cal. 博士. 1988年~1991年: Schlumberger Inc. Senior Development Engineer. 1991年~1994年: Superconducting Super Collider Lab, Computer Comm. Specialist. 1994年~현재: 光州科學技術院 情報通信工學科 教授. 주관심분야: 디지털 통신시스템 설계 및 구현