

채널 적응형 위성방송 전송에 적합한 전송구조

장대익*, 김내수*

*한국전자통신연구원 위성멀티미디어연구팀

e-mail : dchang@etri.re.kr

Transmission Structure for Channel Adaptive Satellite Broadcasting System

Dae-Ig Chang*, Nae-Soo Kim*

*Satellite Multimedia System Team, ETRI

요 약

본 논문은 광대역 적응형 위성방송 전송기술에서 전송채널의 환경변화에 적응적으로 대처하기 위한 방법에 국한하며 방송 서비스에 적합한 채널 적응형 전송구조로 계층적 변조방식과 시분할 ACM 전송구조를 제안하고 전송특성 및 구조를 분석하여 장단점을 비교한다.

1. 서론

주어진 위성중계기의 전송대역폭과 신호전력에서 기존 방식보다 훨씬 더 높은 전송용량을 확보하고, HDTV 와 대용량 멀티미디어통신 등 신규 서비스 확보 및 통신과 방송융합을 위해 다차변조방식의 전송기법이 요구되며, 광대역방송 서비스를 제공하기 위해 Ka 대역의 주파수 사용이 요구된다. 그런데 다차변조방식이나 Ka 대역 통신은 강우에 심각한 영향을 받아 가용도가 낮아지며, 현재 많이 사용되고 있는 Ku 대역의 경우 강우에 의한 시간율을 99%에서 99.9%로 0.9%(80 시간/년) 높이기 위해 6-8dB 이상의 링크마진을 높여 운용하며 위성전력의 반 이상이 1%이하의 가용도 개선을 위해 소비된다.^[1] 따라서 1년 중 99%인 대부분의 시간동안은 다차 변조방식으로 데이터를 전송하고 강우시 적응형 변조기법을 적용하여 전송효율을 약 30% 이상 높일 수 있다. Ka 대역에서는 Ku 대역에 비해 강우감쇠가 크기 때문에 이러한 효과가 더욱 커진다. 그런데 적응형 변조기법은 point to point 통신 환경에 적합한 구조이며 수신지역이 넓고 수신지역의 채널환경이 다양한 방송구조에는 부적합한 전송 구조이다.

본 논문에서는 대역폭 효율을 높이기 위한 고차 변조 방식을 사용하는 위성방송에서 방송채널의 상태에 적응적으로 대처함으로써 방송서비스 중단 확률을 낮추기에 적합한 위성방송 전송구조로 계층적 변조기법과 시분할 변조기법을 제안하고 분석하며 전송특성을 비교한다.

2. 강우감쇠 보상의 필요성 및 보상기법

2.1 강우감쇠 보상기법의 필요성

무선전파 자원 수요의 지속적인 증가로 전파자원이 고갈되고, HDTV, 3D-HDTV 등 고화질의 멀티미디어 통신 및 초고속 인터넷 등 광대역 통신을 위해 Ka 밴드나 밀리미터파의 주파수 활용이 증가하고 있다. 다행히 Ka 대역을 비롯한 고주파 대역은 기존 대역에 비해 아직까지 풍

부하나 강우나 대기가스 등에 의해 신호의 흡수가 잘되고 산란이 발생하며 특히 대기권 내에서 전파손실이 매우 크다. 특히 강우에 의한 신호감쇠는 심각할 경우 수십 dB 까지 발생하고 서비스의 품질저하는 물론 서비스 중단 사태 까지 발생할 수 있으며 링크 가용도를 크게 악화시키는 요인이기 때문에 강우의 영향에 대처하는 기술이 요구된다. 또한 멀티미디어 통신을 위해 위성 채널의 열악한 환경에도 불구하고 QEF(10^{-11} 이하)의 낮은 비트오율이 요구^[2]되고, 효율적인 대역폭 사용을 위해 다차변조방식이 요구^[3,4]된다. 따라서 열악한 통신환경에서 중단없는 통신 서비스가 가능하도록 강우감쇠 보상기법이 요구된다.

2.2 강우감쇠 보상기법

10GHz 이상의 주파수 대역을 이용하는 위성링크에서는 강우에 의한 신호 감쇠가 매우 심하게 발생하나 음성통신이 주를 이루던 시기 10^{-3} 이하의 BER 을 요구하고, 이러한 신호 감쇄 현상은 매우 짧은 기간 동안에 발생하는 것으로 대부분의 경우 링크마진으로 대처해왔다. 정적인 대체 방법으로 실패 방사 전력(EIRP)의 충분한 증대, 수신 설비의 G/T 개선, UPC 방법, Diversity 방법 등은 비교적 열화량이 적은 경우에 유효하며 심각한 신호 감쇠가 발생하는 연중 시간율이 상대적으로 매우 낮다는 점과 낮은 보상을 고려할 때 비효율적이며 설치비용이 많아지는 문제점이 있다. 따라서 강우 시간율은 연중 1% 이내이므로 고정된 마진으로 대처하는 것은 시스템 자원의 효율적인 이용면에서 비경제적이며, 강우가 발생하는 기간에만 신호를 보상하는 적응형 방법이 효율적이다.

채널 적응형 강우감쇠 해결방법으로는 적응형 다중 접속방법, 적응형 변복조 및 부복호방법, 계층적 변조방법, PDMA 방법, ACM 방법 등이 있으며 적응형 변조는 위성채널의 상태에 적응적으로 요구성능을 만족시키고 높은 전송효율을 보장하도록 함에 목적이 있다. 따라서 비강우 동안 채널효율을 극대화시키는 장점을 갖는다.

2.3 방송 서비스에 적합한 채널 적응형 전송특징

점 대 점 통신환경은 단일 전송로를 구성하며 송·수신지역의 채널상태에 국한하여 전송환경이 결정된다. 따라서 일반적인 적응형 변조방식으로 전송채널을 보장할 수 있다. 그러나 방송환경에서는 수신지역이 넓고 수신지역의 채널환경이 다양할 수 있기 때문에 동일한 전송방식에 의한 적응형 변조방식으로는 모든 지역의 통신환경을 만족시킬 수 없는 특징이 있다. 따라서 방송환경에서는 송신기의 경우 다양한 전송방식을 제공하는 구조로 전송하고 수신기에서는 전송채널환경에 적합한 최적의 변조방식을 선택할 수 있는 전송구조가 적합하며, 계층적 변조방식과 변형된 ACM(Adaptive Coding and Modulation) 방식을 선정한다.

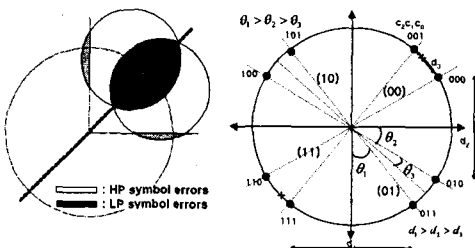
3. 채널 적응형 위성방송에 적합한 전송구조

3.1 계층적 변조기반 적응형 방송 전송구조

송신전력이나 대역폭의 증가 없이 정보의 중요도에 따라 차등적으로 심볼의 신뢰도를 다르게 할당하여 전송하는 방법이며, 수신지역의 채널환경에 따라 심볼위치를 결정하는 방법으로 신호품질이 급격히 악화될 때 서비스 품질을 희생하는 대가로 서비스 중단 확률을 낮추는 방법이다. 이 방법은 강우감쇠가 높은 지역에서는 낮은 품질의 방송서비스를 제공받고, 동시에 강우감쇠가 낮은 지역에서는 고품질 방송서비스를 제공 받을 수 있게 함으로써 서비스 중단 확률을 낮추도록 한다.

3.1.1 Non-uniform 성좌점 구조에 의한 성능차등

그림 1(a)와 같이 성좌점의 위상을 차등적으로 배치함으로써 각 비트의 오류확률을 다르게 할당할 수 있다. 그림 1(b)에서 HP 정보를 위해 θ_1 과 같이 성상도 간 거리를 멀어지도록 할당하고 멀어진 성상도간 거리만큼 θ_3 와 같이 LP 정보는 성상도간 거리를 가깝게 위상 할당함으로써 위상거리가 가까운 동일상한 내의 LP 정보보다 위상거리가 먼 인접 상한으로 성상도 매핑되는 HP 정보의 신뢰도가 커지도록 변조한다. 따라서 HP 정보에 보다 중요한 정보를 전송함으로써 강우에 의해 각 상한내의 성좌점이 실어 나르는 정보를 손실하더라도 동일 상한내의 포인트가 속해있던 성단의 정보는 남아있기 때문에 최악의 경우라도 서비스 중단은 방지할 수 있다. 각 위상관계는 식 (1)과 같으며, 따라서 식 (2)와 같이 저 우선권 비트와 중 우선권 비트 그리고 고 우선권의 순서로 오류확률이 낮다.



(a) 위상편이 계층변조의 BER 특징 (b) 심볼 매핑
그림 1. 위상편이 계층변조의 특징 및 심볼 매핑

$\theta_1 > \theta_2 > \theta_3, \theta_1 > 45^\circ, \theta_3 < 45^\circ$ (1)

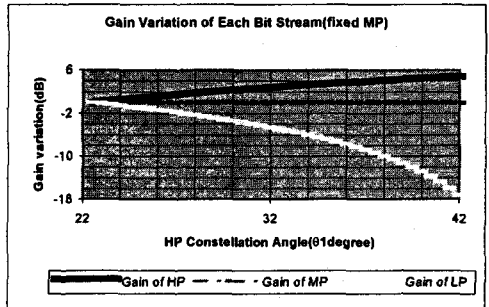
$P_e(c_0) < P_e(c_1) < P_e(c_2)$ (2)

성좌점 간의 거리는 식 (3)과 같으며 비트 스트림에 따른 성좌점의 거리차이로부터 비트스트림 간 성능차이는 식(4)와 같다.

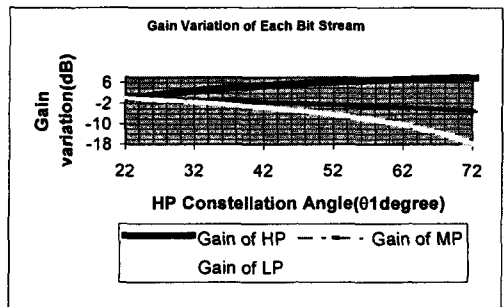
$d = 2\sin(\theta)$ (3)

$G = 20 \cdot \log \frac{(\sin \theta_x)}{(\sin \theta_{REF})}$ (4)

그림 2(a)는 MP 에 해당하는 성좌점을 22.5 도로 고정하고 HP 에 해당하는 성좌점의 각도 θ_1 을 변화시켰을 때 HP 의 비트 스트림 이득과 LP 의 비트 스트림 손실값을 나타낸다. 그림 2(b)는 HP 성좌점 각도 θ_1 를 변화시키면서 MP와 LP에 해당하는 성좌점 각 θ_2 와 θ_3 를 1:2 비율로 줄일 때 각 비트 스트림의 이득과 손실값을 나타낸다.



(a) HP 성좌점 변화에 따른 이득변화(MP 고정)



(b) HP 성좌점 변화에 따른 이득변화(MP:LP=1:2)

그림 2. 8PSK의 Uniform 성상도 기준 HP 성좌점 이득

3.1.2 계층적 변조방식의 구조

그림 3 은 계층적 변조부의 기능 블록도를 나타낸다. 데이터의 중요도에 따라 계층화된 데이터는 데이터의 보호도를 계층에 따라 다르게 제공할 수 있으며 부호화 방식을 분리하여 신뢰도가 다른 부호화 방식과 계층적 변조 방식에 의해 계층간 차이로 높일 수 있다. 여기서 데이터의 중요도에 따라 계층적 변조구조의 성상도 매핑에 의해 계층간 데이터의 보호도를 다르게 할당한다.

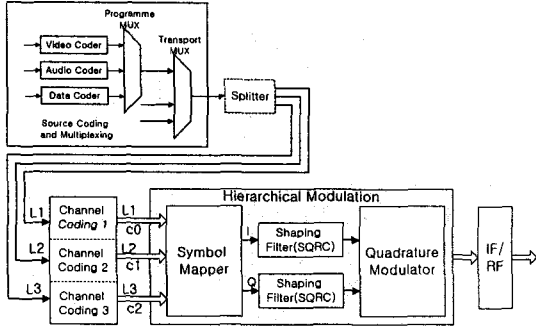


그림 3. 계층적 변조부의 기능 블록도

3.2 시분할 ACM 기반 적응형 방송 전송구조

수신측의 데이터 수신성능에 따라 송신부에서 적응적으로 부호화, 변조방식을 변경하고 부호방식과 변조방식 정보인 MODCOD 정보와 함께 데이터를 전송하며 수신측에서는 MODCOD 정보에 의해 수신신호의 복조, 복호방식을 변경하여 데이터를 복원하는 방법으로 데이터의 신뢰도를 유지하도록 한다. 따라서 ACM 변조방식은 수신성능정보를 리턴채널을 통해 제공받아야 하고 MODCOD 정보는 중요성에 비추어 강력한 채널로 보장해야 한다. 따라서 ACM 변조방식은 Unicast의 통신환경에 적합한 구조이나 프레임 구조를 변경하여 방송의 환경에 적용한다.

3.2.1 ACM 변조의 기본특성

적응형 부호화 방식은 강우감쇠 발생기간 동안 위성 링크의 처리용량(throughput)을 낮추어 강우 감쇠를 보상하는 유용한 방법이다. 즉, 강우 감쇠가 발생하는 기간 동안 채널을 통해 전송되는 심볼을 일정하게 유지하면서 오류 정정을 위한 redundancy를 증가시킴으로써(데이터 전송률 희생) 강우 감쇠를 보상하는 방식이다. 적응형 부호화 방식을 이용할 경우 기대되는 C/N 비의 향상은 다음과 같다.

$$\Delta(C/N) = 10 \log \frac{R_o}{R_a} + G_a - G_o \quad (5)$$

여기서, R_o, G_o : clear sky에서 부호율과 coding gain, R_a, G_a : 강우시 부호율과 coding gain

적응형 변복조 방식은 채널상태에 따라 변조레벨을 가변하여 전송하는 방식으로 스펙트럼 효율과 요구 SNR을 적절하게 조화시켜 통신 가용도를 증가시키는 방법이며, 위성통신 시스템에서 강우와 대기의 Scintillations에 의한 신호감쇠를 극복하기 위해 MPSK 변조방식을 신호감쇠에 적응적으로 가변 전송하는 기법이다.

3.2.2 ACM 변조방식의 구조

ACM 변조방식에서는 수신측의 채널환경에 적합한 부호화 방식과 변조방식으로 데이터를 전송함으로써 요구되는 수신성능을 만족시키는 방법으로 전송되는 데이터에 앞서 MODCOD 정보가 요구된다. 그림 4는 ACM 방식에 적합한 전송프레임 구조이다. 그런데 방송환경에서는 시청이 가능한 모든 방송영역에 동일한 방송 데이터가 전송되고 수신기는 전송되는 방송서비스를 수신기의 채널

상태에 무관하게 재생하여야 하지만 수신지의 통신환경이 매우 다양하기 때문에 동일한 화질의 수신은 불가능하다. 따라서 방송구조에 적합한 변형된 ACM의 프레임 전송구조를 제안한다.

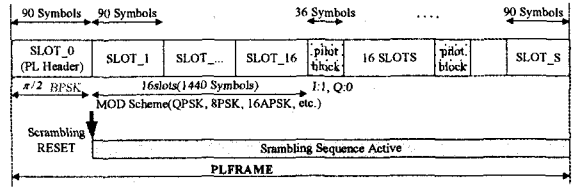
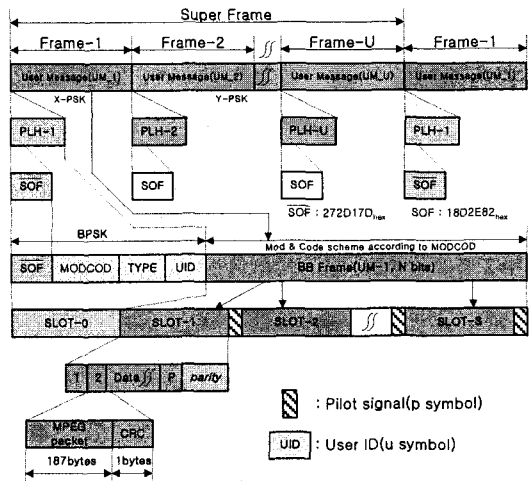
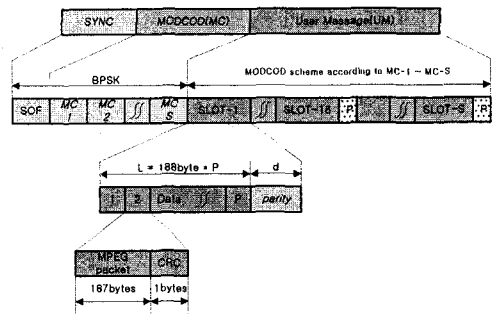


그림 4 ACM 전송구조의 전송프레임

3.2.3 방송을 위한 시분할 ACM의 전송프레임 구조



(a) 슈퍼 프레임기반 시분할 ACM 프레임



(b) 프레임 기반 시분할 ACM 프레임

그림 5. 변형된 시분할 ACM의 전송 프레임 포맷

방송의 경우 수신지역의 채널환경이 다를 수 있으며 중단 없는 방송서비스를 제공하기 어렵다. 따라서 시분할 ACM의 전송프레임 구조 개념을 도입하였으며, 송신국에서는 동일한 방송 프로그램에 대해 방송품질을 몇 개로 계층화하여 송신하고, 수신측에서는 할당된 전송방식을 선택하게 함으로써 중단 없는 서비스가 가능하도록 한다. 그림 5(a)는 슈퍼 프레임기반 시분할 ACM 프레임으로 슈퍼프레임 단위로 전송계층을 구성하며, 그림

5(b)는 프레임 기반 시분할 ACM 프레임으로 프레임내의 SLOT 을 기반으로 전송계층을 구분하여 전송한다. 따라서 본 시분할 ACM 전송방식에 의해 방송 서비스를 강우 환경에서도 제공할 수 있다.

4. 계층적 변조방식과 ACM 변조방식의 방송적용 특징

4.1 계층적 변조방식의 특징

변조시 심볼 매핑의 위치에 의해 성능을 다르게 할당하여 서비스 신뢰도를 다르게 제공하는 방법이다.

- 방송에 적합한 전송 구조로 강우환경에서도 중단 없는 방송 서비스 제공 가능
- 수신기에서 데이터 수신성능을 검출하여 최적의 복조 계층을 선택함으로써 QoS 실현함 → 리턴링크 채널이 필요 없으며, 송신부에서 채널의 상태에 대한 별도의 대책이 요구되지 않기 때문에 구조가 간단함
- 기존 방송 시청자(DVB-S)를 보호하면서 부가정보 데이터 전송이 가능한 호환성 위성방송이 용이함
- NBC 로 전환이 쉬우며, FEC 의 Un-equal Protection 기법 채용으로 비트 스트림의 성능 차등화 효과를 높일 수 있음
- 강우 적응형 변조를 위한 Signalling 등 부가정보가 필요 없기 때문에 스펙트럼 효율이 높음
- 송신부와 수신기의 구현이 용이함
- 계층적 변조방식의 저층변조(BPSK 또는 QPSK)는 ACM 변조방식의 저층변조에 비해 성능이 낮음
- 계층마다 필요한 대역폭 할당이 제한됨 → 계층별로 필요한 대역의 할당 운용성이 제한적이어서 HP 와 LP 의 비트 스트림 배치 비율의 성정이 쉽지않음

4.2 ACM 변조방식의 특징

입력 스트림을 제공 서비스의 신뢰도에 따라 계층적으로 분류하여 각 계층마다 일정단위의 프레임에 할당하고 프레임 앞의 PL 헤더에 변조 및 부호화 방식의 정보를 전송하며, 수신측에서는 PL 헤더의 전송방식 정보에 의해 복조하는 방법이다.

- 수신기의 채널환경에 적응적으로 변조 및 부호화를 변경함으로써 신뢰성있는 서비스 제공
- 일대일 통신에 적합한 전송 구조이며 방송을 위해서는 프레임 구조의 변경이 요구됨
- 수신기의 데이터 수신성능을 실시간으로 모니터링하여 송신부에 제공하기 위한 리턴링크 통신환경 구비 요구됨 → 수신성능 모니터링 및 지연 없는 QoS 보상 알고리즘이 복잡함
- 기존 방송 시청자(DVB-S)와 호환이 불가능함
- ACM 방법은 변조 및 복조가 복잡함. 특히 프레임내의 변조방식 변경에도 시각 및 방송파를 유지하기 위한 알고리즘이 요구됨. FEC 와 변조방식 결정 및 변경을 위한 CPU의 제약이 정교해야 함
- FEC 및 변복조 방식 정보, SOF 정보, TYPE 정보 등 Signalling 정보의 삽입에 의해 스펙트럼 효율 낮음
- 계층마다 각 계층간 필요 대역폭 할당이 유연함
- 각 사용자별로 최적의 통신채널 할당이 가능함
- FEC 및 변조방식 결정과 변경에 대한 시스템의 안정화 시간이 요구되며 초고속의 데이터 전송에는 적절하지 않음

5. 계층적 변조방식과 ACM 변조방식의 방송적용 특징

본 논문에서는 채널 적응형 위성방송 전송에 적합한 전송구조로 계층적 변조방식과 시분할 ACM 전송구조를 제안하였고 특성 및 구조를 분석하여 장단점을 비교하였다. 계층적 변조방식은 데이터의 중요도에 따라 채널 신뢰도를 달리 할당하여 전송하는 방법으로 강우에 의해 신호품질이 급격히 악화될 때 서비스 품질을 다소 희생하더라도 서비스 중단 확률은 줄일 수 있도록 고안된 변조방식이며, 성상도 간 위상거리에 차등을 두어 매핑함으로써 데이터의 성능을 다르게 할당하는 방법이고, ACM 변조방식은 채널상태에 따라 부호율과 변조레벨을 달리하여 전송하는 방식으로 스펙트럼 효율과 서비스 중단확률을 적절하게 조화시켜 통신 가용도를 증가시키는 방법이다.

계층적 변조방식과 ACM 변조방식은 각각 장단점을 갖고 있으며 특징적으로 계층적 변조방식은 기존의 DVB-S 와 호환을 이루고, 구조가 간단하며, 비대칭 성상도 매핑에 의해 비트 스트림의 성능을 가변적으로 차등화 할 수 있고, 리턴링크가 필요 없는 장점을 가지고 있어 방송환경에 유리하나 계층별로 필요한 대역의 할당 운용성이 제한적이어서 HP 와 LP 의 비트 스트림 배치가 쉽지않은 단점을 가지고 있다.

ACM 변조방식은 계층마다 각 계층간 필요한 대역폭 할당이 자유로워 계층별로 필요한 대역의 할당 운용성이 용이하고 unicast 통신환경에 적합한 전송구조를 가지고 있는 장점을 갖고 있으나, 계층이 다른 프레임에 의해 변조방식이 다른 환경에서도 시각동기와 방송파 동기를 유지하는 기술이 요구되고, Frame Signalling 정보의 삽입에 의해 스펙트럼 효율이 떨어지며, FEC 및 변조방식 결정과 변경에 의해 시스템의 안정화 시간이 요구되어 초고속의 데이터 전송에는 적절하지 않을 수 있고, DVB-S 위성방송 서비스 호환이 불가능하며 송신부와 수신기의 구현이 복잡한 단점이 있다.

참고문헌

- [1] Alberto Morello, "Turbo Codes & Higher Order Modulations in Satellite Digital Broadcasting and News Gathering", RAI-ESA, March, 2003.
- [2] DVBS2-74r8, "2nd Generation framing structure, channel coding and modulation system for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications", ETSI, August, 2003.
- [3] ITU-R BO.1408, "Transmission System for Advanced Multimedia Services Provided by Integrated Services Digital Broadcasting in a Broadcasting-satellite Channel," ITU Radiocommunication Assembly, 1999.
- [4] L. Hanzo, W. Webb, and Keller, Single and Multi-carrier Quadrature Amplitude Modulation, John Wiley & Sons, 2000.