

Ka-band 위성 양방향 시스템에 관한 설계관점의 고찰

조원상¹, 김희동², 정승종³

¹LG전자 정보통신사업본부, ²한국외국어대학교 정보통신공학과, ³한국정보통신 기능대학

A Study on Ka-Band Satellite Multimedia System Design and Integration

Won-Sang Cho¹, Hee-Dong Kim², Seoung-Jong Jeong³

¹ Telecommunication Equipment & Handset Company LG Electronics Inc.

² Dept. Information and Communication Eng. Hankuk University of Foreign Studies

³ Korea Information and Communication Polytechnic College

Abstract

본 논문은 Ka 밴드(26.5GHz~40GHz)를 사용한 양방향 멀티미디어 시스템의 설계에 대해서 다루고 있다. 우선 무궁화 3호 위성을 이용한 시범사업의 구성 및 운영과정에 대해서 개괄하고, 시범운영에서 발견된 문제점을 소개한다. Ka 밴드 양방향 위성 시스템은 MF-TDMA(Multi-Frequency Time Division Multiple Access) 방식을 사용하여 최대 전송속도 2Mbps 이상이고, QOS(Quality of Service) 제공 등 다양한 기능을 갖추고 있으나 Ka 주파수 특성상 그 안정성에 있어서 어려움을 갖고 있다. 강우감쇄 및 전송 지연 등의 현상들을 소개하고 향후 위성 양방향 시스템의 구성과 응용 서비스를 구현할 때 고려해야 할 사항들에 대해 고찰해 보고, 해결방안을 제시하였다.

1 서론

위성 멀티미디어 양방향 서비스에 있어서 Ka 밴드의 사용은 고갈 되어 가는 주파수의 재사용, 새로운 서비스를 창출하는 의미가 있다. 국내에서 Ka 밴드 위성 멀티미디어 양방향 시스템을 구축하게 되었을 때 위성 양방향 서비스의 보급과 확산이라는 큰 기대가 있었으며, 더욱이 Ka 밴드 대역을 사용하여 사업화를 한다는 것은 세계적으로도 최초의 선례를 만드는 일이었다. 그런 상황에서 1999년 8월 처음으로 KT 주도하에 시험 시스템을 구축하였다. 시험 시스템 구축의 목적은 설계된 Ka-band 시스템의 성능과 기능을 시험하기 위한 것이었고 실제 현장에서 일어날 수 있는 문제점들을 파악해서 사업적인 위험 요소들을 줄이기 위한 것이었다.

하지만 시스템을 설계하고 실제 적용하는 과정에서 여러 가지 문제점들이 발생하였고 그런 문제점들을 해결하기까지 계획 했던 것 보다 1년의 기간이 소요되었다. 처음의 위성 양방향 시스템은 ATM 기술을 기반으로 한 시스템이었으나 MF-TDMA 방식의 모뎀 기술 구현을 하기 위한 경제적, 기술적 어려움으로 핵심 기술을 ATM에서 IP 기반으로 교체하였다. 이러한 경제적 기술적 어려움과 함께 Ka 밴드 대역 특성에 따른 여러 문제점들을 접할 수 있었다.

본 논문에서는 Ka-band 시스템의 특징과 사업을 시작하면서 설계 및 구현시의 문제점들을 고찰하고 해당 문제점들에 대한 가능한 해결 방안을 기술하며 향후 양방향 서비스의 발전 방향을 제시한다.

먼저 2장 1절에서는 시험 시스템의 특징에 대해서 간단히 설명할 것이다. 2장 2절에서는 문제점들을 나열할 것이며 2장 3절에서는 해결안을 정리해 볼 것이다.

2 Ka 밴드 위성 멀티미디어 시스템

2.1 시스템 특징

시험 시스템은 1개의 중심국 시스템과 3개의 단말 시스템으로 구성되었다. 단말 시스템들은 최초에 각각 0.9m, 1.2m, 1.8m 안테나를 사용하여 시험 되도록 계획 되었으나 Link Margin의 부족으로 1.2m 안테나 1개와 1.8m 안테나 2개로 구성하였다.

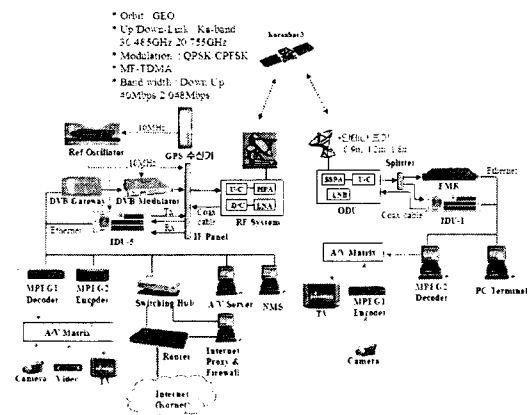
하향(Downstream)링크의 대역폭은 40Mbps, 상향(Upstream)이 2.4Mbps까지 가능하도록 되어있다. Downstream 데이터 전송 방식은 IP/DVB (Internet Protocol

over Digital Video Broadcasting)를 기반으로 하고 있으며 접속방식은 TDM(Time Division Multiplexing)방식을 사용한다. 변조 방식으로 하향에서는 QPSK (Quaternary Phase-Shift Keying)를 사용하는 반면 Upstream에서는 주파수 효율을 크게 할 수 있으며 많은 데이터를 전송할 수 있도록 CPFSK (Continuous Phase Frequency Shift Keying) 변조 방식을 사용하였다. 다중접속방식으로는 MF-TDMA(Multi-Frequency Time Division Multiple Access) 방식으로 접속하는 DAMA(Demand-Assigned Multiple Access)방식을 채택하고 있다. RF는 Downstream 시 100W까지 출력을 낼 수 있는 TWTA(Traveling Wave Tube Amplifier)를 사용하며 UPC(Uplink Power Control) 기능까지 갖추도록 구성하였다. Upstream은 1.7W의 출력을 내는 SSPA(Solid State Power Amplifier)를 사용하는 ODU를 구성하였다.

화상 시험은 MPEG2 영상을 Downstream으로 송출하는 것과 MPEG1과 H.323을 이용하여 Upstream으로 화상을 전송하도록 구성하였다. 그림1에는 시험 시스템 기본 구성도를 개략적으로 도시하였으며 표1에서는 시스템 특징을 정리해 보았다.

<표1> Ka 밴드 위성 멀티미디어 시스템 특징^[1]

Item	Hub Station		Terminal		
	8m		1.8m	1.2m	0.9m
안테나	직경	8m	1.8m	1.2m	0.9m
	Tx gain	64.63dBi	52.9 dBi	49.5 dBi	47.3 dBi
	Rx gain	62.15dBi	49.5 dBi	46.5 dBi	44.0 dBi
HPA	100W (TWTA)	UPC 장착	1.7W (SSPA)		
Data rate	40Mbps (하향)		최대 2.4Mbps (상향)		
변조 방식	QPSK		CPFSK		
Coding	Convolution R1/2-7/8, Reed Solomon (204,188)		Reed Solomon (60,50) Modulation index 방식 (4/16~7/16)		
전송 방식	IP/DVB		IP		
접속 방식	TDM		MF-TDMA		



(그림1) 시스템 구성도

2.2 시스템 구축의 문제점

2.2.1 위성통신상에서의 2Mbps 전송 속도 구현

양방향 위성 시스템 설계시 고려해야 할 것 중 하나는 위성과 지상 시스템 간의 거리에서 오는 지연 시간의 문제이다. 고궤도 위성일 경우는 지상국에서 위성까지 약 0.25초 정도 걸리는데 중심국에서 단말국까지는 약 0.5초 정도의 지연시간이 있는 셈이다. 특히 IP 기반의 시스템은 Three Way Hand Shaking을 채용한 TCP/IP를 사용하므로, 결국 0.5초 이상을 지연하게 된다. 물론 그 후에도 연결을 유지하기 위하여 패킷의 양을 조절하여 통신을 한다[2]. 위성 통신의 환경에서는 그러한 제어 신호를 자주 사용하게 되면 지연 시간 때문에 더욱 통신의 속도가 느려지는 결과를 가져오게 된다. 일반적인 경우 Windows NT나 Window 98 SE로 시험한 결과 약 800Kbps 정도의 속도로 파일 전송할 수 있다. 하지만 상용화를 하기 위해서는 적어도 1Mbps 이상의 속도를 내야 하기 때문에 적절한 대응 방법을 찾아서 이런 문제를 해결해야 했다.

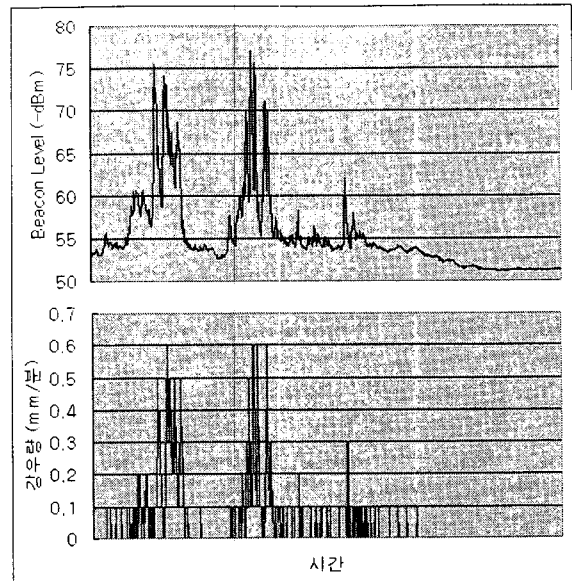
2.2.2 강우 감쇄 문제

Ka 밴드에서 가장 큰 단점이 강우감쇄 일 것이다. 그것은 높은 주파수 일수록 비에 영향을 받기 때문인데 특히 Ka 밴드 양방향 멀티미디어 시스템에서도 그러한 내용은 문제점으로 드러났다. 강우와 감쇄의 식은 $A = aR^b$ (R: 강우강도 (mm/h))로 표현되는데, 여기서 a와 b는 감쇄 계수이며, 주파수와 온도의 함수이다. 주파수가 10KHz에서는 강우량이 시간당 25mm일 때 Km당 약 0.5dB가 감소하는 반면 20KHz에서는 시간당 5mm의 강우량일 때 Km당 0.5dB가 감소한다[3]. 그만큼 주파수의 차이가 강우감쇄에 큰 영향을 미친다고 할 수 있겠다.

실제 시험 데이터에서 확인한 바에 의하면 하늘에 구름이 끼고 비가 소량 오게 되면 Beacon의 level 차이가 2~3db 정도로 나타나게 되고 분당 0.1mm 정도씩 내리게 되면 순간 순간의 경우에 따라 정도의 차이는 있지만 3dB~5dB까지 level이 흔들리게 된다. 분당 0.1mm~0.2mm 사이로 계속해서 비가 오는 경우는 심하면 10dB까지도 level이 떨어진다. 분당 0.2mm~0.3mm로 비가 내리게 되면 15dB ~ 20dB까지 level이 떨어지게 되고 0.4mm이상 계속해서 비가 온다면 24dB까지 떨어지게 되는데 그 정도면 모든 위성링크가 완전히 끊어 졌다고 볼 수 있다.

ITU CCIR 모델을 적용하여 한국을 K 지역(42mm/hour)으로 놓고 Availability를 99.9%로 했을 때 Ka band일 경우 강우 감쇄가 Uplink에서 -19.06dB, Downlink에서 -10.41dB이다[2]. 시험 시스템에서는 평균 0.2mm/분 이상의 강우량에서 단말의 uplink신호가 끊어지고 0.4~0.5mm/분에서 중심국 Downlink 신호가 끊어 졌다. Link 분석에서 계산된 시험 시스템의 Link Margin은 Downlink의 경우는 UPC (uplink power control) gain을 포함하여 25.13dB, Uplink의 경우는 14.15dB정도가 된다[4]. 시험 시스템에서는 21.195 GHz의 Beacon 신호로 측정하였다. 실제 시험 시스템에 대한 절대적인 신호 값을 단순히 Beacon level로 적용할 수는 없지만 Beacon level의 상대적인 값을 비교하여 결과를 조심스럽게 추정할 수 있다.

그림 2와 표 2에 강우가 내렸던 최근 하루 동안의 강우 데이터와 무궁화 3호 Beacon 신호 레벨의 변화를 예로 나타내었다. 각 강우 데이터는 APM Korea의 RDL-201을 KT에서 설치하여 측정된 것이다. 강우계는 1분 단위로 0.1mm씩 측정되기 때문에 1분씩 실시간으로 처리되는 Beacon level 신호와는 약간의 측정 오차가 있을 수 있다. 하지만 강우량과 신호 감쇄의 관계를 확인하는 것은 가능할 것이다.



(그림2) 강우량에 따른 Beacon 신호 변화

<표2> 강우량에 따른 Beacon Level 평균값

강우량 (분당)	Level 평균값 (dBm)
0.1mm 미만	-53.19
0.1mm	-57.88
0.2mm	-63.44
0.3mm	-67.26
0.4mm	-68.54
0.5mm	-69.49
0.6mm 이상	-72.8

2.2.3 동영상 전송시의 패킷에러 문제

위성 네트워크는 유선망과는 달리 주파수와 대역폭에 더욱 제한을 받는다. 그렇기 때문에 주파수를 공유하여 사용하게 된다. 시험 시스템의 경우도 대역폭을 공유하는 방식인 DAMA방식을 사용한다. DAMA방식에서는 단말 시스템의 정확성과 민첩성을 요구하는데 고정 할당 방식에 비해서 위성 주파수 용량의 효율성이 뛰어나다. 즉 고정된 위성 채널에 대해 여러 개의 단말을 추가하여 사용이 가능하다[5]. 하지만 DAMA 방식의 경우는 동영상 전송 같은 대용량 전송이 필요할 경우는 많은 단말이 소수의 채널을 공유하기 때문에 문제가 된다. 즉 각 단말에서 동영상을 전송할 때 적절한 대역폭을 확보하는 것이 필요한데 그렇지 않으면 영상 전송시 에러가 생기든지 아니면 상당한 시간의 지연이 생기게 된다. 시험시스템에서 보통 MPEG(Motion Picture Experts Group) 1으로 인코딩하여 전송할 때 약 700Mbps~1.2Mbps의 대역이 필요한데 3개 이상의 단말을 사용할 경우 화질이나 대역폭 확보에 문제가 생기게 된다. 깨끗한 화질의 동영상을 받기 위해서는 QOS를 적용하는 것이 필요하다. 동영상 데이터는 UDP를 기반으로 하는데 QOS를 활성화하여 QOS가 활성화 된 패킷이 가장 우선하여 전달하게 되는 방식이다.

2.2.4 안정성에 관한 문제

Ka밴드 시험 시스템의 가장 중요한 문제 중의 하나가 안정성의 문제이다. 안정성의 문제는 여러가지 경우가 있겠지만 System Integration의 문제, 제품의 문제들로 크게

나눌 수가 있겠다. Ka band 시험 시스템의 경우는 RF 시스템에 있어서 상용화가 된 적이 없는 제품들도 포함하고 있었기 때문에 가격적 문제, 안정성 문제가 있었고 또한 장기간 시험에 대해 검증이 된 적이 없었다는 점도 문제점으로 나타났다.

한 예로 Ka band용 ODU(Outdoor Unit)는 시험 시스템 구축 당시 가격적인 어려움 때문에 내부에 PLL회로가 없는 free run 방식으로 구현하였는데, 추후에 CPFSK 위성 모뎀에 적용했을 때 500kHz정도씩 drift되는 현상이 발견되었다.

2.3 문제점들에 대한 해결 방안

2.3.1 2Mbps 전송 속도 구현 문제 해결

전송 속도의 문제의 해결을 하기 위해서는 먼저 네트워크 설계가 투명해야 하고 성능에 있어서 최적화가 되어 있어야 한다. 즉 네트워크 각 장비들 마다 병목의 원인이 되지 않도록 설계되어야 하는데 그것은 각 장비간에 인터페이스가 잘 이루어져야 함을 말한다. 장비간의 패킷이 제대로 전달되는지, 패킷은 적절한 라우팅 경로를 거치는 지, 또한 다양한 응용 프로그램도 처리해낼 수 있는지를 시험한 후에야 순수하게 전송 속도 시험을 시도할 수 있었다. 위성 IP망에서의 최적화된 인터넷 전송 속도를 구하기 위해서는 RFC1323 (TCP Extensions for High Performance), RFC2001 (TCP Slow Start, Congestion Avoidance, Fast Retransmit, and Fast Recovery Algorithms), RFC2018 (TCP Selective Acknowledgment Options)등을 적용해야 한다[1]. 실제 시험에서는 Window 98 SE만이 세가지 모두의 알고리즘을 수용할 수 있었는데, 그것도 RFC1323의 경우만 특정 소프트웨어 없이 가능하고 RFC2001과 RFC2018은 Onnet Kernel 4.0같은 특정 소프트웨어를 적용해야만 가능하였다. NT나 리눅스는 적용할 수 있는 소프트웨어가 한정되어 있어 실망스러운 결과를 보였다.

표3은 시험 결과를 정리하였는데 실제 시험 상으로는 3.2M 이상의 전송 속도를 보이기도 하였다. 분명한 것은 이러한 전송 속도를 유지 하기 위해서는 송신측과 수신측 사이의 장비들에도 모두 RFC1323, RFC2001, RFC2018등이 적용 되어야 한다는 것이다. 10Mbps의 전송 속도를 내기 위해서는 LCDC Telecom사의 SkyX Gateway같은 기술을 이용하면 가능할 수도 있겠다[6].

<표3> 단말 장치 별 전송 속도 시험 결과

구 분	조 건	결과 (전송 속도 bps)
Terminal NT	RFC1323 적용	max:1.25M
		end:1.15M
Terminal #1 (win 98, Onnet)	RFC1323,2001, 2018 적용	max:2.6M
		end:1.9K
Terminal #2 (win 98)	RFC1323 적용	max:1.35M
		end:1.25M
Linux	RFC1323 적용	720K

2.3.2 강우 감쇄의 문제 해결방안

강우 감쇄의 문제를 해결하는 것은 위성 시험 시스템에서 가장 어려운 것이라고 할 수 있다. 특히 한국의 강우 감쇄가 높고 있기 때문에 더욱 문제가 심각하다. 현재 시험 시스템의 Link Margin으로는 해결할 수 있는 방법은 없는 것으로 보인다. 다만 Ka 밴드에 대한 새로운 대안을 제시하는 업체들이 나오고 있고 그러한 대안으로는 Ka 밴드 위성 중계기의 성능 및 기능을 향상시키는 방안을 제시하고 있다. 이러한 방법들을 정리해 보면 다음과 같다.

- 1) User Terminal의 SSPA출력과 중심국의 송신측의 출력을 증가 시킨다.
- 2) Forward와 Return link를 다른 중계기로 사용하여 중계기의 ALC(Automatic Level Control) 기능의 효과를 살린다.
- 3) Adaptive Rain Fade compensation등의 기능을 추가하여 중계기 성능 및 기능을 향상시킨다[7].
- 4) Multi Beam 안테나 같은 안테나의 성능을 향상시킨다[8].

이러한 방법 외에도 Backup망을 사용한 보상 방법, 이중화를 통한 보상 방법 등이 있지만 그러한 방법은 실제적인 문제해결이기보다는 보조적인 방법이라고 할 수 있다. 또한 이러한 방법을 사용하기 위해서는 추가적인 비용이 크기 때문에 실제로 시스템에 적용하기 까지는 여러가지 시험을 통해서 정확하고 실제적인 Link Margin을 구하는 것이 필요하다.

2.3.3 동영상 전송시 패킷 에러 문제 해결

동영상 전송시 패킷 에러의 문제를 해결하기 위해서 시험 시스템에 QOS 기능을 활성화 시키고 시험을 하였다. 처음에 시도 할 때는 단순히 위성 모뎀에만 기능을 활성화 시켰는데 별다른 변화가 없었다. QOS를 만족하기 위해서는 송신측 인코더에서 QOS 기능을 적용해서 패킷을 보내야 한다. 즉 인코더에서 화상을 인코딩 할 때 RFC 2474 (Definition of Differentiated Services Field(DS Field) in the IPv4 and IPv6 headers)에 정의되어 있는 대로 IP 헤더의 DS Field를 사용하여 QOS를 활성화를 시킨다. 그러면 위성 모뎀에서 해당 패킷을 수신할 때 QOS 패킷으로 인식하여 Best Effort로 처리하지 않고 DiffServ로 동작하여 화상의 화질을 유지 시킨다. 표4에 위성 모뎀에서 QOS로 분류하는 Class들을 정리하였다. Premium 서비스로 분류되어있는 DiffServ Class와 같은 bit 구성을 취하면 위성 모뎀 장비에서 해당 bit를 QOS로 인식하고 처리하도록 되어 있다[9].

<표4> 시험 시스템 QOS Class¹⁰⁾

DiffServ Class	위성 모뎀 Class
00000000b	Best Effort
00100000b	Premium
01000000b	Premium
01100000b	Premium
10000000b	Premium
10100000b	Premium
11000000b	Premium
11100000b	Premium
00000001b	Premium

2.3.4 안정성에 관한 문제 해결

Ka 밴드 위성 멀티미디어 시스템은 위성 시스템 사업에 있어서 선구자적인 시스템이었다. 이 때문에 구축시 해당 장비들의 안정성 문제를 완벽하게 검증 받고 구축을 할 수가 없었다. 시간이 무한정 있는 것이 아니기 때문이었다. 특히 ODU의 안정성 문제가 크게 대두되었는데 그것은 PLL회로가 없이 Free Run하게 제작 되었기 때문이었다. 이 문제를 해결하기 위해서 우리는 LNB 제조사와 협력하여 기존의 LNB에 동기 주파수를 공급하여 drift현상을 없애게 하였다. 물론 시간과 소요 경비가 많이 필요했던 조치였지만 그러한 조치를 통하여 LNB의 문제를 해결할 수 있었다. Ku 밴드나 C 밴드의 LNB는 이미 상용화 되어 있었고 다소 큰 시장도 형성되어있었기 때문에 저가로서 PLL회로가 내장 되어있는 LNB를 제작할 수가 있는 것이다. Ka 밴드도 사업화가 진행되고 물량이 많이 필요하게

되면 가격도 저렴하게 될 것이고 아울러 성능도 좋아지게 될 것이다.

3 결론

위성 기술은 지상망 기술의 급속한 발전에도 불구하고 미래 기술 사회를 이끌고 국가간 경쟁력을 키우는 반드시 필요한 기술이다. 현재 많은 사람들이 Skylife의 서비스를 통해 가정에서도 다양한 서비스를 받고 있으며 군 통신망에도 다양한 위성 기술이 쓰이고 있다. Ka 밴드 위성 양방향 서비스는 아직 완전하게 상용화 되어있지는 않다. 현재 방송통신대학교에서 화상 원격 강의에 적용하여 시험 서비스 중에 있기는 하지만 좀더 널리 보급화 되려면 지상망과의 차별화 된 서비스를 모색해야 할 것이며 현재의 단점을 수용하고도 반드시 필요한 응용 서비스들을 개발해야 할 것이다.

시험 시스템을 통해서 우리는 많은 문제점들을 겪었지만 그것은 문제점들을 위한 문제점이기 보다는 보다 발전하기 위한 밑거름으로의 문제점들이었다고 본다.

4 참고문헌

- [1] Young-Wan, Cheol-Woo Kim, Young-Joong Yoon and Han Hwangbo. "Koreasat Ka-band System for Multimedia Services". Korea Telecom, 2001.
- [2] James F. Kurose and Keith W. Ross, "Computer Networking A Top-Down Approach Featuring the Internet". Addison Wesley, Pp.(240-258, 522-528), 2001.
- [3] 홍완표. "인공위성과 위성통신", Ohm사, pp.214-282. 1998.
- [4] "Ka-band Satellite Link Analysis". Korea Telecom, 2001.
- [5] Tri T. Ha. "Digital Satellite Communications Second Edition". McGraw-Hill, Pp. 586-614, 1990.
- [6] "SkyX Gateway Technology White Paper". LCDC Telecom, (<http://www.lcdc.fr/uk/whitep.htm>)
- [7] Youyu Feng. "Resource Allocation in Ka-band Satellite Systems". Master's Thesis. 2001.
- [8] "무궁화 3호 Ka-Band Link Budget", Space BroadBand. 2002
- [9] "FreedomIP Quality of Service Phase 0 High-Level Overview", Comtier Technical Manual, 2000.
- [10] RFC 문서. <ftp://ftp.rfc-editor.org/in-notes/>