

主 題

TDM/CDMA 방식 VSAT시스템 설계 기술

연세대학교 이 기 훈, 서 증 수 한국통신 이 갑 수, 구 분 양

차 례

- I. 개 요
- II. TDM/CDMA 방식 VSAT시스템의 구성 및 국내의 개발현황
- III. 전력 및 대역폭 효율적 번복조 기법
- IV. 시스템 설계
- V. TDM/CDMA VSAT 시스템 링크 설계
- VI. 결 론

I. 개 요

본 논문에서는 Ku-대역 무궁화위성의 통신용 중계기를 이용하여 한반도 전역에 음성 서비스와 특정 그룹간의 팩스, 텔렉스 등의 저속 데이터 서비스를 경제적으로 제공하기 위해 TDM/CDMA 방식 VSAT 시스템을 설계하였다.

위성 지구국의 소형화와 경제적인 위성통신 서비스를 제공하기 위해서는 전력 및 스펙트럼 효율적인 전송기술, 소출력의 전력증폭기와 초소형 안테나를 사용한 VSAT의 구현이 요구된다. 그러나 초소형 안테나의 사용은 인접위성으로의 축의방사 EIRP에 관한 권고를 만족할 수 없기 때문에 사용자 단말기의 소형화가 제한되며, VSAT을 이용한 음성 또는 저속 데이터 통신에서는 고속데이터 통신과 비교하여 국부 발전기의 위상잡음에 의한 수신성능 열화가 심각하다. 이와 같은 축의 방사 EIRP에 관한 권고와 협대역 신호에서의 위상잡음 문제는 대역확산 방식을 적용함으로써 해결할 수 있다. 즉, 대역확산 CDMA

방식은 자체 확산 전력 밀도 때문에 다른 시스템으로의 간섭이 적으므로 초소형 안테나를 사용하여 저속 데이터 또는 음성을 전송하는 VSAT Inbound 링크의 다중 접속방식으로 적합하다.

TDM/CDMA VSAT 위성망은 다수의 VSAT 사용자가 위성중계기의 전력과 스펙트럼을 효율적으로 사용하여 고품질의 저속 데이터 및 음성 통신이 가능하다. 위성중계기 접속자수와 traffic의 변화에 수월하게 대응하기 위해서, VSAT 단말기로부터 중심(HUB)국으로의 Inbound 전송에는 협대역(1MHz) CDMA/FDMA 다중접속방식을 채용하고, 중심국으로부터 VSAT 단말기로의 Outbound 전송은 TDM/FDMA 방식을 채용하여 단말 수신기의 설계를 대폭 단순화함으로써 사용자 단말기의 저렴화가 가능하다[1]. VSAT 위성망에 CDMA 역방향(Inbound) 링크 기술을 접목함에 따라 추가적으로 고려할 사항은 전력제어 문제이지만, 정지궤도위성을 이용하는 위성통신망에서는 지상 CDMA망에서 심각한 영향을 미치는 near/far 문제가 없기 때

문에 전력제어가 단순화된다.

본 논문의 II장에서는 TDM/CDMA VSAT 시스템의 구성요소를 고찰하고 CDMA VSAT 시스템의 국내외 개발현황을 소개하였다. III장에서는 위성 통신에 적합한 변복조 기술에 관하여 살펴보고 IV장에서는 VSAT시스템 설계상의 제반 고려 사항과 구체적인 설계안을 제시하였고 V장에서는 VSAT시스템의 링크 budget을 설계하였다.

II. TDM/CDMA 방식 VSAT 시스템의 구성 및 국내외 개발현황

1. TDM/CDMA VSAT 시스템의 구성

TDM/CDMA VSAT 위성 통신망은 star 토폴로지 형태의 중앙 제어형 시스템으로서 Ku-대역 정지궤도 통신 위성, 하나의 HUB국 그리고 다수의 VSAT들로 구성된다. HUB국은 중심국으로서 위성으로부터 신호를 PSTN 또는 PSDN으로 연결해 주는 관문국(gateway)의 역할과 함께 VSAT 간을 이중도약(double-hop)으로 연결하는 재생중계기로서의 역할을 수행한다. CDMA 다중 접속 방식은

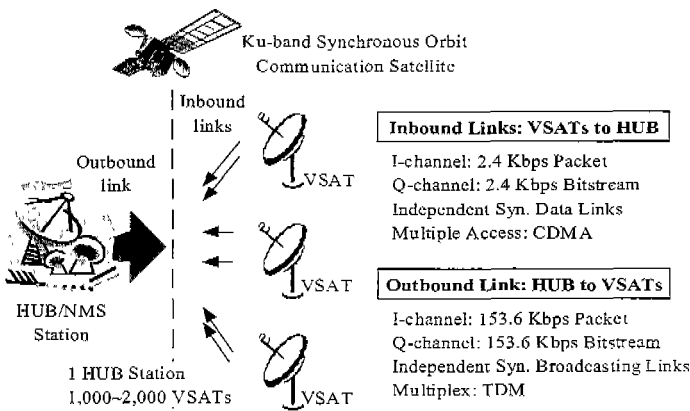


그림 1. TDM/CDMA 방식 VSAT 시스템의 구성

Inbound로 정의된 VSAT에서 HUB국으로의 링크에서, 그리고 TDM 다중화 방식은 HUB에서 VSAT으로의 Outbound 방송링크(broadcasting link)에 적용된다. 그림 1에는 TDM/CDMA 방식 VSAT 시스템의 구성을 보였다. TDM/CDMA VSAT 시스템의 Inbound 링크에서 전송 속도의 기본단위는 2.4Kbps로서 제한된 위성 재전송 전력을 고려하여 되도록 최대 용량을 제공하기 위한 것이다. 그리고 Outbound 링크의 전송속도는 Inbound 전송속도 단위의 배수로서, 예를 들면, 153.6Kbps의 Outbound 링크는 동시에 64채널의 2.4Kbps 데이터 전송이 가능하다[1, 2].

2. VSAT 시스템의 국내외 개발 현황

가. ETRI VSAT 시스템

한국전자통신연구원(ETRI)은 2000년에 TDM/CDMA 방식 양방향 위성 멀티미디어 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 하나의 단말을 통해 MPEG-2 A/V 서비스와 IP 기반의 데이터 방송 및 멀티캐스트, 그리고 고속의 인터넷 접속 서비스를 동시에 제공하는 통합 위성 멀티미디어 플랫폼으로서 하나의 중심 HUB국과 다수의 단말국으로 구성된다. 중심 HUB 국은 IP datagram을 MPEG-2/DVB-S 신호로 변환하는 위성 송신 시스템, 단말국으로부터의 DS-SS 신호를 복조하여 IP 데이터그램으로 재구성하는 위성 수신 시스템, NMS(Network Management System), 라우터, proxy 및 E-메일 서버를 포함한 다수의 서버, 그리고 RF/안테나 장비로 구성된다. 단말국은 STB(또는 PC 카드)와 RF/안테나 장비로 구성되며, 인터넷 인터넷 페이스를 통해 PC 또는 LAN에

접속된다. STB는 수신된 MPEG-2/DVB-S 신호를 복조하여 IP 데이터그램을 재구성한 후 PC에 전달하는 수신부와 PC로부터의 데이터그램을 DS-SS-CDMA 신호로 변환하여 송신하는 송신부로 구성된다. 표 1에는 ETRI VSAT 시스템의 기술 규격을 보였다.

나. 유럽공동체의 ARCANET 시스템

ARCANET은 고정형 또는 suitcase 형태의 이동형 단말기에 고품질의 음성, 데이터와 팩스 통신 서비스를 제공하기 위한 Ku-대역 VSAT 망으로 양방향 모두 CDMA 방식을 사용하고 있다. ARCANET은 ESA(European Space Agency)와 유럽 여러 기업의 참여로 대역-제한된 준 동기식 CDMA(Band-Limited Quasi Synchronous CDMA) 방식을 채택하고 있다. 대역-제한된 준 동기식 CDMA 방식은 한 짚 주기 1/10 이하의 정확

도를 갖는 코드 타이밍에 동기된 준-직교 확산 시퀀스를 사용함으로써 동일 채널상의 자기-잡음 영향을 제거할 수 있으며 다음과 같은 특성을 가지고 있다.

- 1) 낮은 단일반송파 전송 밀도(Power Flux Density)를 가지므로 FDMA/TDMA 보다 큰 시스템 용량을 제공할 수 있다.
- 2) TDMA 시스템 보다 단말기와 중심국의 요구 EIRP가 낮다.
- 3) DS/SS 기술 적용을 통해 우수한 간섭제거 능력이 우수하다.
- 4) 저가 지구국 장치를 통해 소형 중심국의 상향 링크가 가능하다.
- 5) Coherent QPSK-FDMA 수준의 전력 효율
- 6) BPSK-FDMA 수준의 위상잡음 감도

VSAT망 동기는 NMS가 생성하는 네트워크 시간을 기준으로 사용하며 위성을 경유하는 긴(long) 루프를 통해서 획득된다. NMS와 함께 위치하고 있지 않은 다른 소형 HUB국들은 상향링크 트래픽 반송파의 주파수와 시간을 NMS 기준과 일치시켜야 하며, 소형 HUB국을 통해 통신하는 VSAT 모뎀은 NMS가 생성하는 대역확산 파일럿 기준을 단말기의 국부 주파수와 시간 기준으로 사용한다. 이 때 아직 남아 있는 상향 주파수 윗셋을 채널 전송속도의 10% 이내로 유지하도록 하기 위해 개루프와 폐루프 기술을 혼합 적용한다. BLQS-CDMA에서는 또한 심볼 주기가 정확하게 서명(signature) 시퀀스 주기의 정수배가 되도록 설정하여 동일한 칩속도를 유지하면서 더 낮은 전송속도의 할당이 가능하도록 하였다. 전송속도의 1/2만 사용하는 음성 모드에서는 동일 대역폭을 유지할 수 있도록 확산

표 1. ETRI VSAT 시스템의 기술 규격

Item	Spec.
망구조	성형망
프로토콜	TCP/IP, UDP/IP
주파수대역	Ku-대역(Ka-대역 optional)
OUTBOUND 데이터 율 변조 방식 오류정정 방식 길쌈부호/비터비 복호 부호화율 Rcccd-Solomon 부호화율	2-40 Mbps QPSK 1/2, 2/3, 3/4, 4/5 204/188
INBOUND 데이터 율 변조 방식 Chip rate 오류정정 방식 길쌈부호/비터비 복호 부호화율 Rcccd-Solomon 부호화율	9.6/19.2 Kbps QPSK 1.2288 Mcps 1/2 48/40, 121/105
단말국 안테나 크기	0.6-1.2 m

표 2. ARCANET의 기본 서비스

서비스	Item	Spec.
Voice	Vocoder	CCITT G-278(16 Kbps) TIA IS-54 VSELP(8 Kbp)
	Dialing	DTMF
	Physical interface	2 or 4 wire
	BER	$< 10^{-3}$
	Voice activation Echo cancellation	Yes Yes
Data	Data rate	2.4, 4.8 Kbps
	BER	$< 10^{-6}$
	Physical Layer	2 wire
Fax	Interface	G III
	Data rate	2.4 Kbps

표 3. ARCANET의 부가 서비스

서비스	Item	Spec.
Data	Data rate	upto 128 Kbps
Video	Still video	16 Kbps ~
	Normal video	64 or 128 Kbps(option)
Voice	Voice messaging	Option
	Audio conference	Option
Fax	Interface	G IV (64 Kbps)- option
	Store and forward	Option

시퀀스가 반복되며 시퀀스의 직교성이 유지된다. QPSK 변조는 동일 처리이득을 위한 점유 대역폭을 반으로 줄이며 I-Q 채널의 독립적인 확산은 I-Q간 누화(cross talk) 효과를 최소화한다. 표 2와 표 3에는 ARCANET의 기본 서비스와 부가 서비스를, 표 4와 표 5에는 ARCANET HUB과 이동 단말기의 규격을 각각 정리하였다 [3, 4].

Ⅲ. 전력 및 대역폭 효율적 변복조 기법

VSAT 시스템은 가용 전력 및 대역폭이 매우 제한되는 위성통신 시스템으로 VSAT과 HUB간의 Inbound 및 Outbound 링크에 적합한 전력 및 대역폭 효율적인 전송 방식의 채택이 요구된다. Ku 대

역 위성망은 신호의 자유공간손실이 매우 크고 대기 영향 특히 강우로 인한 신호 감쇠량이 매우 크게 나타나기 때문에 위성망 신뢰도에 심각한 영향을 미치게 된다. 위성통신 시스템에서 전력 효율을 극대화하기 위해서는 기지국의 고출력 증폭기 (HPA)와 위성중계기의 진행파관 증폭기 (TWTA)를 비선형 구간 즉, 포화영역에서 작동한다. 기존의 QPSK 또는 MSK 변복조 방식은 전력 스펙트럼의 부엽이 크며, 이들을 제한하기 위하여 대역제한 필터를 사용한다. 그러나, 송신 HPA를 포화 영역 부근에서 동작할 경우, 제거된 부엽 성분이 증폭기의 비선형 특성 때문에 스펙트럼 재확산되며, 이 재확산된 부엽들은 인접채널 신호에 심각한 간섭 영향을 주어 오류확률(BER) 성능을 저하시킨다.

위성통신 변복조 시스템에서 대역폭 효율을 개선하기 위한 방안으로는 대역-제한(band-limiting) 기법과 시간-제한(time-limiting) 기법이 있는데 전자는 저역통과

표 4. ARCANET HUB 규격

Item	Spec.
주파수 밴드	Tx : 14.00~14.50 GHz Rx : 11.70~12.75 GHz
점유 밴드(60 채널)	222 MHz
안테나 직경	2.4 m
SSPA 출력 전력	16.0 W
G/T	24.7 dB/K
HUB 용량	20 채널
소비 전력	1.5 W

표 5. ARCANET 이동 단말기 규격

Item	Spec.
안테나 직경	45 cm
출력 전력	2.0 W
G/T	10.7 dB/K
소비 전력	< 90 W
주파수 밴드	Tx : 14.00~14.50 GHz Rx : 12.20~12.75 GHz

필터를 사용하여 변조 신호의 대역폭을 제한시킨 것으로 Nyquist, Butterworth, Chebyshev, Bessel, Gaussian 필터 등이 있으며, 후자는 데이터 펄스를 성형하여 전력 스펙트럼을 제한하는 방법으로 대표적인 것으로 QORC(Quadrature Overlapped Raised Cosine), SQAM(Superposed Quadrature Amplitude Modulation) 필터 등이 있다. 다른 대역폭 개선 방법으로는 변조신호 공간의 차원을 증가하여 스펙트럼 사용 효율을 증가하는 방법이 있으며 1차원 신호인 BPSK 신호를 2차원 신호 공간으로 확장시킨 QPSK 변조방식이 그 예이다. 또 다른 예로는 Q^2 PSK(Quadrature Quadrature Phase Shift Keying) 방식과 같이 2차원 QPSK 신호를 4차원 신호 공간상에 mapping 하여 전송하는 방법이다. 그러나 Q^2 PSK 방식은 변조신호의 차원 공간 확장을 위해 free-ISI 와 free-ICI 신호 집합을 사용하므로 만일, 충분한 전송 대역이 주어지지 않을 경우, 확장 신호간의 직교성이 상실됨에 따라 BER 성능 저하가 일어나는 단점이 있다. 또한 변조신호의 차원 확장에도 불구하고 최대 2 bit/s/Hz의 전송 효율을 가지며 constant envelop을 유지하기 위해서는 추가적인 coding이 필요하다.

위성중계기 또는 지구국의 송신 HPA를 포화 영역에서 동작할 때 HPA는 AM/AM 및 AM/PM 변환의 비선형 특성을 가지게 되어 변조된 반송파 신호의 진폭과 위상을 왜곡함으로써 인접 심볼간 간섭(ISI)과 함께 반송파 신호의 스펙트럼 확산을 일으키며 인접 채널간 간섭(ICI)을 초래하여 BER 성능이 열화하게 된다. 따라서 compact한 주엽(main-lobe)과 낮은 부엽(side-lobe)의 출력 스펙트럼과 제한된 ISI 특성을 유지하며, 좋은 BER 성능을 유지할 수 있는 전력 및 대역폭 효율적인 변복조 기법의 채택이 요구된다.

SQAM은 전력 및 대역폭 효율적인 2차원 전송 방식으로 송신 출력에 인접심볼간 간섭(ISI) 및 jitter

가 나타나지 않으며, 연속적이고 완만한 위상천이를 가진 기저 대역 신호를 발생함으로써 협대역이고 낮은 부엽 레벨의 전력 스펙트럼을 갖는 장점이 있다 [5]. 그림 2는 hard-limited 채널에서 진폭 계수 A를 변화시킨 SQAM과 다른 변복조 기법의 총대역 전력 대비 대역외전력의 비율을 보여준다. 그림에서 SQAM은 기존의 QPSK 또는 MSK 방식과 비교하여 비선형 채널에서 우수한 스펙트럼 효율을 가짐을 알 수 있다.

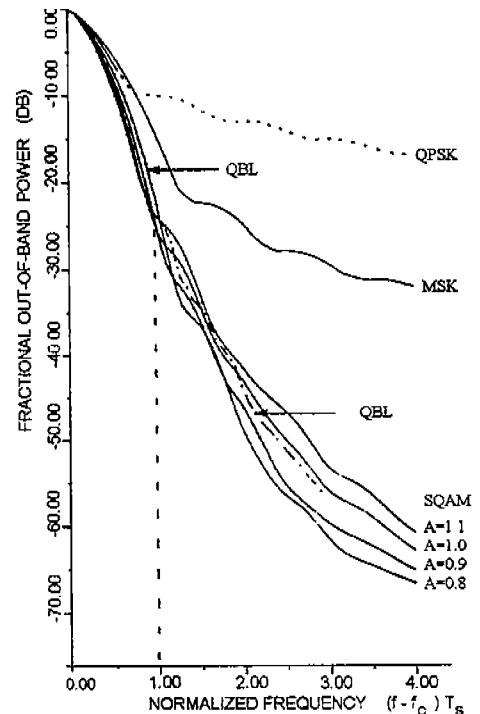


그림 2. 비선형(Hard-limited) 채널에서 SQAM, MSK, QBL, QPSK의 대역외전력 대 총대역전력 비율 [5]

IV. 시스템 설계

1. CDMA 위성망 방식

CDMA 위성망은 다중화 및 검출(detection) 방

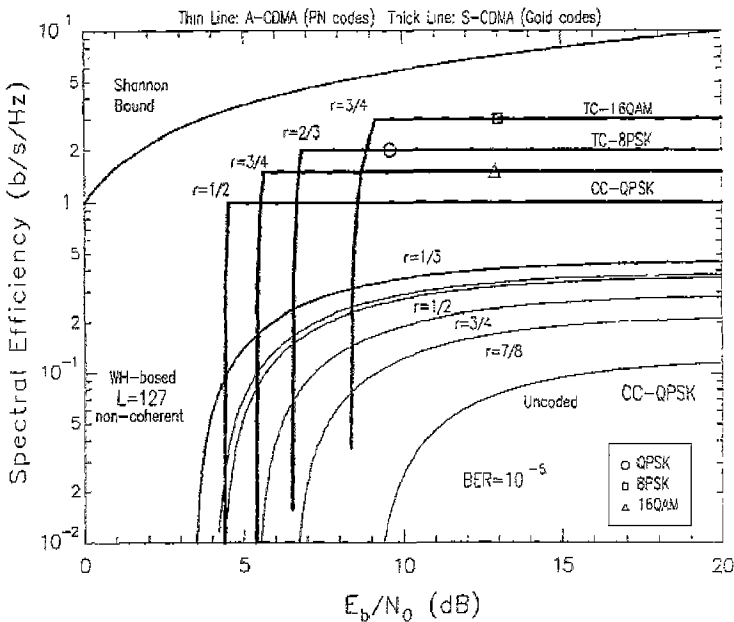


그림 3. CDMA 위성망의 시스템 효율

식에 따라 비동기식 동기 검출(asynchronous/coherent detection) 방식, 비동기식 비동기 검출(asynchronous/non-coherent detection) 방식, 그리고 동기식 동기 검출(synchronous/coherent detection) 방식으로 구분된다. 비동기식 동기 검출 방식은 AWGN 채널에서 변조 및 코딩을 위한 확산 및 역확산을 완벽하게 수행한다. 그러나 동기 검출 방식은 저속 전송률의 이동 위성통신 시스템에서 저주파 위상잡음에 의한 영향이 심각하여 수신 성능이 크게 저하되는 문제점이 있다. 심한 페이딩의 영향을 받는 이동 시스템의 역방향 링크에서도 이와 유사한 현상이 발생된다. 비동기식 비동기 검출 방식은 전력과 주파수 측면에서 매우 효율적인 비동기식 비동기 검출 방식을 지원하기 위해서 낮은 부호율의 코딩 그리고 DS/SS와 결합된 기존 변조 기술을 결합함으로써 앞서 언급된 제한 사항들을 보상한다. 동기식 동기 검출 방식은 비동기 모드에서 발견되는 다중접속 간섭을 줄여줌으로써 동일 위성 빔

내에서 각 사용자 신호간의 완벽한 분리를 가능하게 하여 위성채널의 전력과 대역폭 사용 효율성을 높인다.

비동기식과 비교할 때 동기식 CDMA 네트워크의 용량은 요구 BER에서 다중화 신호의 총 주파수 효율로서 정의되며, 위성 시스템의 종류(LEO 또는 GEO)와 전송빔의 특징(단일 빔 또는 다중 빔)에 따라 변한다. 동기식 CDMA는 비동기식처럼 자체 잡음에 민감하지 않으나 비동기 방식이 사용자 수가 증가함에 따라 완전한 성능 열화를 보이는 반면, 동기 방식은 가용한 사용자 코드 수를 초과하면 급격한 성능 열화를 보인다. 동기식

CDMA는 또한 빔의 가장자리나 중첩 빔을 가지는 non-GEO 위성군에서 코드 직교성 획득이 어려워질 수 있다. ESA의 ARCANET은 동기식 동기 검출 방식을 채택하고 있으며 다중 접속 간섭을 제거하기 위해 준-직교 코드를 사용한다. 또한 수신단에서 반송파 및 클럭 동기를 용이하게 하기 위해 대역내 시그널링 방식으로 확산 파일럿 반송파를 다중화하여 전송한다. 그러나 한 칩 이상 지연된 다중경로 성분 에 의해 발생될 수 있는 선택적 페이딩은 준-직교 코드의 사용으로 해결할 수 없으며 따라서 긴 코드의 칩 속도를 5Mcps까지 높임으로써, 선택적 페이딩을 근본적으로 비선택적 페이딩으로 전환시켜 신호 직교성을 유지할 수 있다.

그림 3은 CDMA 위성망의 채널 코딩/다중화/변복조 방식에 따른 시스템 효율을 비교한 것이다. 그림 3에서 보듯이 동기식(S)-CDMA가 시스템 효율상 월등하지만, 사용자 수가 증가(E_b/N_0 감소로 표현됨)되면서 비동기식(A)-CDMA는 부드럽고 우아

한 성능 열화 특성을 보여준다. 반면, S-CDMA는 일정 사용자 이상(가용한 사용자 코드가 없을 때)에서는 급격한 성능 열화가 발생함을 알 수 있다. 또한 1/3 부호화율을 갖는 M-ary 직교 윌쉬(WH) 코드를 사용하는 비동기 검출 A-CDMA가 동기 검출 A-CDMA에 비해 성능이 우수함을 알 수 있다. 반송파당 단일 채널을 사용할 때 다중화에 의해 얻을 수 있는 CDMA 위성망 시스템의 효율을 변조방식별로 16QAM, 8PSK, QPSK에 대해서 △, □, ○로 각각 보였다(6).

그러므로 TDM/CDMA 방식 VSAT 시스템 구현을 위한 다중화/검출 방식으로는 사용자 수가 늘어남에 따라서 부드럽고 우아한 성능 열화를 보이는 비동기식 다중화 방식과, 낮은 부호율의 코딩 그리고 DS/SS와 결합된 기존 변조기술의 조합을 통해 동기식 검출 방식의 단점을 보완할 수 있고 또한 시스템 구현이 저렴한 비동기식 검출 방식을 사용하는 비동기식 비동기 검출 방식의 CDMA 위성망 시스템이 추천된다. 비동기식 비동기 검출 방식 CDMA 위성망은 Qualcomm에 의해 제안되어 IS-95 미국 디지털 셀룰라 이동 무선 표준으로 채택되었고, Globalstar 저궤도 위성통신망의 역방향 링크 무선접속 방식으로 선정되었다(6, 7).

2. VSAT 네트워크 반송파

VSAT 시스템의 반송파는 망 감시 및 제어, 통신 자원의 요청 및 할당, 그리고 할당된 채널을 통한 트래픽 송수신을 위해 사용된다. VSAT 네트워크 반송파에는 시그널링 반송파와 트래픽 반송파가 있으며 시그널링 반송파는 다시 대역내(in band)와 대역외(out of band) 시그널링

으로 구분된다. 대역내 시그널링은 트래픽 반송파 상에서 시그널링이 이루어지는 경우이다. TDM/CDMA VSAT 시스템에서는 단위대역폭이 일정 수(예 : 1 MHz당 6개)의 Inbound 반송파로 구성되어 그중 하나의 Inbound 반송파가 초기화(initialization) 채널로 사용되는데, 네트워크 구성 및 호 설정에 필요한 파라미터 및 제어정보 등이 이 채널을 통해 전송된다. 그림 4에는 네트워크 반송파를 사용한 VSAT 시스템의 통신 개념도를 보였고, 그림 5에는 하나의 NMS, 두 개의 소형 HUB(MH : Mini-HUB), 그리고 각각의 MH에 속한 다수의 VSAT 그룹으로 구성된 VSAT 망 구조에서의 네트워크 반송파 운용 개념도를 보였다.

가. 역방향 링크(INBOUND) 반송파

역방향 링크 반송파는 트래픽용으로 사용되는 역방향 트래픽 CDMA 반송파(Traffic CDMA Carriers : TCC)와 함께, 대역내 시그널링 위성 접속 반송파(Satellite Access Carrier : SAC)가 TCC 반송파의 할당을 NMS에 요청하기 위해서 사용된다. SAC 복조기는 랜덤 주파수 확산 Aloha 버

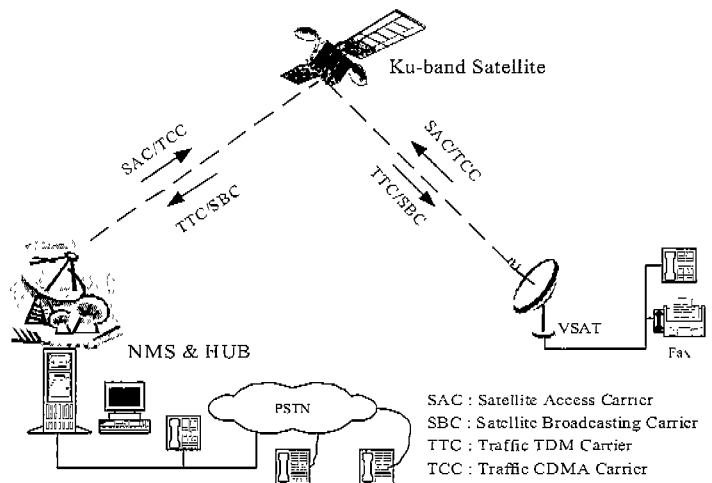


그림 4. 네트워크 반송파를 사용한 VSAT 시스템의 통신 개념도

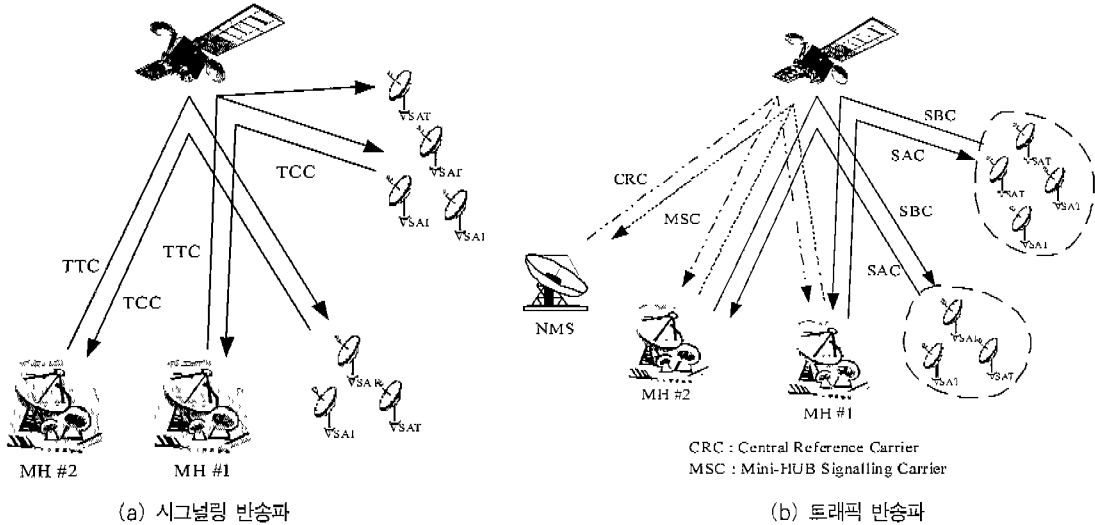


그림 6. 두개의 Mini-HUB을 이용한 분산제어 방식 VSAT 네트워크

스트 모드에서 작동하며 NMS가 용량 할당 요청을 수신하면, 위성 방송 반송파(Satellite Broadcasting Carriers : SBC)의 대역외 시그널링을 통해 VSAT에 요청을 성공적으로 수신했음을 통보해(ACK) 준다. ACK가 없을 때는 프로그램상의 timeout 만료 후에 VSAT은 SAC를 통해 요청 버스트를 재송신한다. NMS는 또한 네트워크 NMS 기준(reference)으로부터 코드 타이밍 오프셋을 측정하고 전력 불균형 상황을 검출한다.

서명 시퀀스(signature sequence)와 역방향 링크 반송파에 대한 정보는 SBC를 통해서 VSAT과 HUB로 전송된다. SAC는 비동기 CDMA 형태로 VSAT에 의해 생성되기 때문에 전송되는 정보는 감소된 $E_b/(N_o + I_o)$ 를 보상하기 위한 동기 TCC와 비교할 때 낮은 전송율로 전송된다. SAC는 전송신호의 짧은 길이와 버스트 특성 때문에 사실상 비동기로 전송된다. VSAT에서 사용될 SAC를 위한 확산용 시퀀스는 Outbound SBC를 통해 방송하며 Outbound SBC는 Inbound 반송파들과는 다른 주파수 슬롯을 점유하고 있다. NMS가 HUB국과 다른 기지에 위치할 경우, NMS는 할당된 Inbound 주

파수 슬롯 각각에서 사용될 낮은 EIRP의 Inbound SBC 기준을 송신한다. 이 경우 Inbound SBC는, HUB에 의해서, Inbound TTC 타이밍과 주파수 오차 생성을 위한 동기 기준으로서 사용되며 동기 정정은 TTC 시그널링 필드를 통해서 해당 VSAT으로 알려진다. NMS에 의한 TCC 코드 할당에 따라, HUB국은 VSAT으로부터 수신된 TCC를 Inbound SBC 기준과 비교한 후, 대역내 시그널링을 통하여 VSAT으로 보내는 주파수와 타이밍 정정을 생성한다. HUB와 NMS가 동일 기지에 위치하는 경우에는 Inbound SBC가 불필요하며, HUB국은 동기 정정 전송을 위해 별도의 방식을 채택하여야 한다.

나. 순방향 링크(OUTBOUND) 반송파

순방향 링크 반송파에는 Outbound SBC와 트래픽 TDM 반송파(Traffic TDM Carriers : TTC)가 있다. Outbound SBC는 모든 HUB 국과 VSAT이 동기 상태에 있도록, 타이밍과 반송파 주파수에 대한 순방향 링크 네트워크 기준을 제공하며, 이 때 공통 네트워크 기준점은 위성 중계기의 입력단

이다. Outbound SBC는 초기 안테나 포인팅과 신호 동기인식을 위해 사용되며 게시판(Bulletin Board : BB) 역할을 수행하는 부호화된 2.4 Kbps 데이터 열에 의해 변조된다. 게시판은 NMS와 위성 ID, 목표 BER, 그리고 방송 공중망 메시지와 같은 망 관련 일반 정보를 알려준다. Outbound SBC는 채널 자원 할당, 등록 인증, 호 해지 등의 링크 설정에 앞서 모든 형태의 Outbound 시그널링을 먼저 수행한다. TTC는 동일한 주파수 슬롯을 공유하는 HUB국들 중 어느 HUB국에 의해서나 또는 특정한 HUB국에 의해서 발생할 수 있다. TTC의 주요 기능은 트래픽 데이터 정보를 실어 나르는 것이며 대역내 시그널링과 타이밍, 주파수, 전력 제어 정보를 전송한다. 음성 송신의 경우, 위성파 단말기 전력을 절약하기 위해서 프레임 데이터 필드를 전송하지 않으며, 그 대신 통화 침묵 기간 동안 고유 워드(unique word)와 동기 및 전력 제어 비트들을 전송한다.

3. HUB국 구성

HUB국은 기능상 크게 RF부, IF부, 트래픽 채널부, 위성접속채널 제어부, 지상망 접속부, 그리고 망관리 시스템부의 6개 부분으로 구성되며, 실내장치(IDU : In-Door Unit)와 옥외장치(ODU : Out-Door Unit)도 구분하기도 한다. 실내장치는 인(아웃)바운드 구현회로와 low-level call 프로토콜을 포함하는 채널 장치, IF 결합 및 분배 장치, 망관리 하드웨어 및 소프트웨어로 구성되며, 옥외장치는 파라볼릭 안테나, 고출력 증폭기

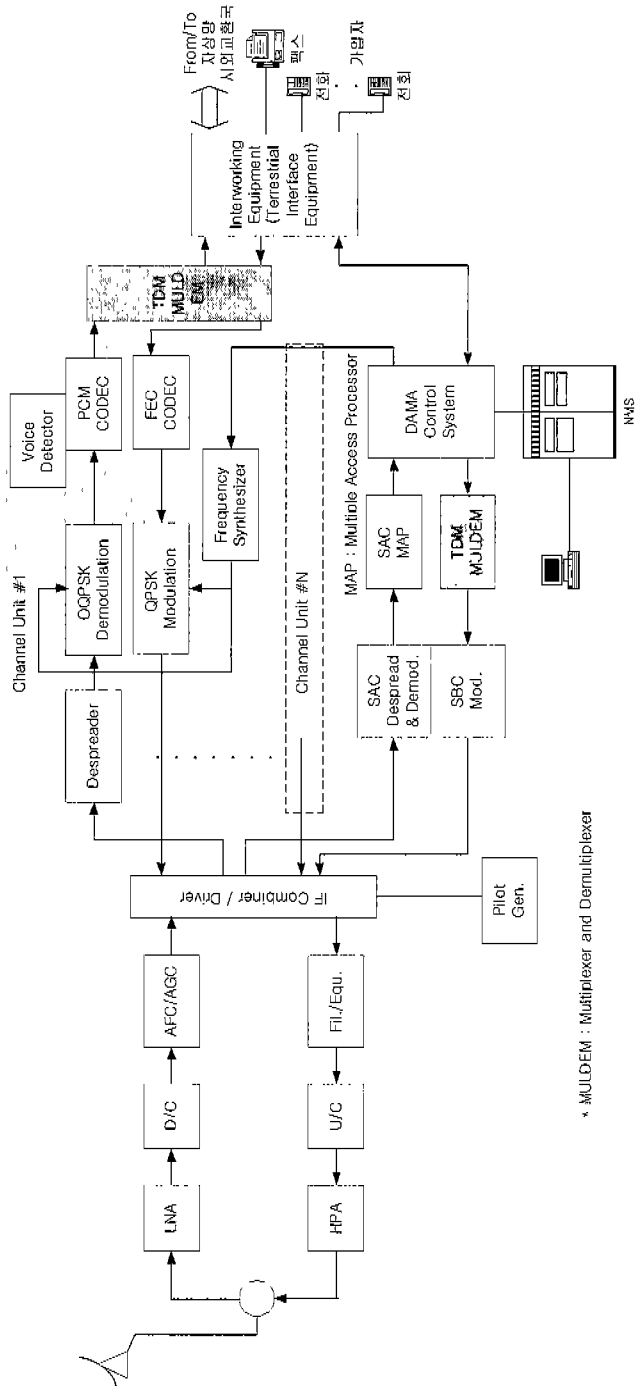


그림 6. HUB국의 시스템 구성도

(HPA), 저잡음 증폭기(LNA), diplexer 로 구성된다. 그림 6에는 TDM/CDMA 방식 VSAT 시스템의 HUB국 구성도를 보였다.

4. VSAT 단말기 구성

VSAT 단말기는 CDMA 기술을 채택함으로써 기존의 직경 1.22 m급보다 소형화된 안테나, 축외방사 전력밀도에 관한 제약 완화에 따른 기존의 2Watt급보다 현저히 낮은 출력의 SSPA를 사용할 수 있으며, LNB (Low Noise Block down converter), 위성 모뎀, IF 제어 및 감시부, 위성 접속부와 사용자 접속부를 포함하는 기저대역 처리 서브 시스템(BBP : BaseBand Processor) 등과 함께 구성된다. 소형화된 단말기의 이동 설치 및 운용이 용이하도록 VSAT 안테나의 자동 위성 추적(pointing) 기능이 포함되어야 하며 또한 DSP 칩 구현기술을 적용하여 IF 신호 하단부를 디지털 구현함으로써 생산원가절감, 성능개선은 물론 단말기 경량화가 가능하다. 그림 7에는 VSAT 단말기의 시스템 구성도를 보였다.

5. 네트워크 Topology 및 제어방식

위성통신망의 토폴로지에는 크게 star 구조와 mesh 구조가 있다. Star 구조는 RF와 안테나 장치를 공유하고 NMS와 동일기지에 위치한 하나의 HUB국을 중심으로 구성된 가장 단순한 구조로서 보통 단말기 안테나 크기가 작기 때문에 VSAT-VSAT간 통신은 HUB국을 통해 이중도약으로 이루어진다. Mesh 구조는 VSAT-VSAT간, VSAT-HUB간, HUB-HUB간에 위성을

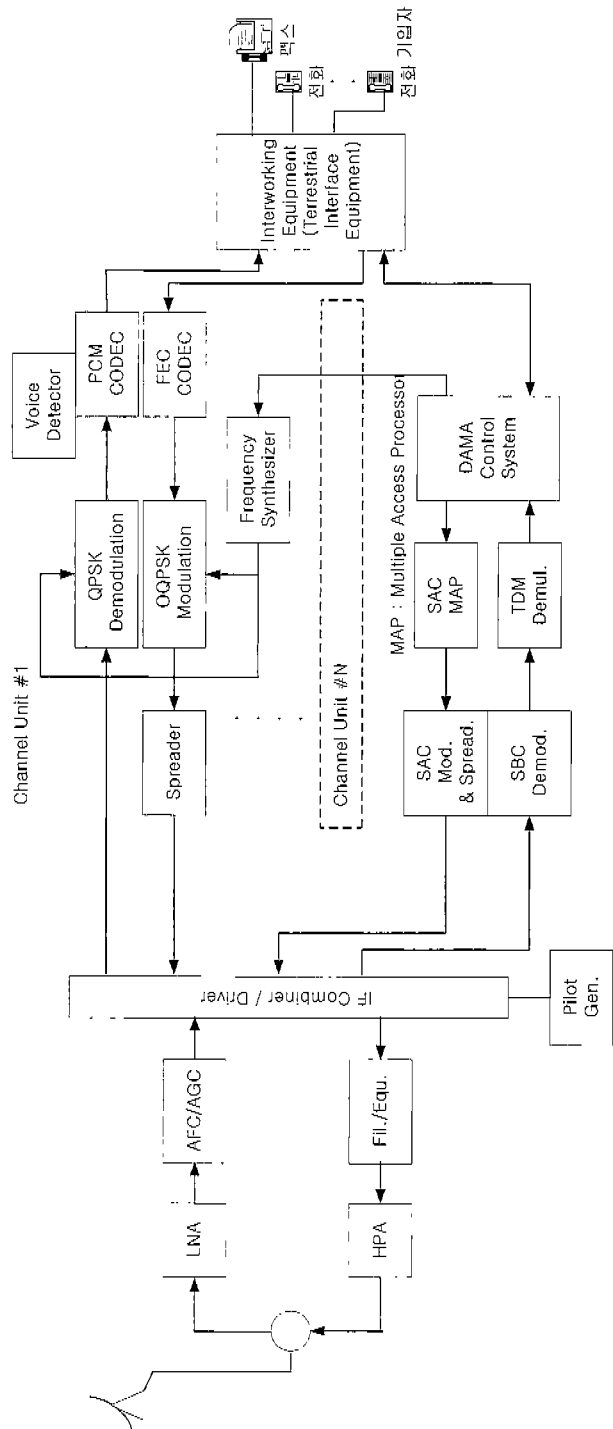


그림 7. VSAT 단말 지구국의 시스템 구성도

통한 직접 통신이 허용되나 이러한 네트워크 요소들 간의 직접 연결 가능성은 링크버짓에 따라 좌우된다.

따라서 VSAT 위성통신망은 먼저 star 구조로 구축하고 사용자 증가에 따라 통신망의 확장이 요구될 때 Multi-star 또는 Interconnected multi-star 구조로 확장할 수 있다. 망관리국(NMS : Network Management Station)은 위성통신의 자원관리 및 감시, 그리고 다른 망 구성요소의 제어를 포함하는 망관리를 수행하며 시그널링을 위한 전용 방송링크를 통해 이들 망 구성요소들(관문국 허브국 : Gateway HUB Earth Station(GHES)), VSAT 단말기)과 통신한다. Interconnected multi-star 네트워크는 Multi-star 토폴로지에서의 이중도약 링크처럼, 여러 GHES들이 존재하며 각각의 GHES는 VSAT 단말기 그룹과 연결되어 있다. VSAT 단말기간에는 위성을 통한 직접 통신은 허용되지 않으나 GHES간에는 직접 통신이 가능하다. 이는 다른 VSAT 단말기 그룹들이 네트워크 내에서 상호 연결되어 있기 때문이며 두 단말기간의 통신(즉, 동일 그룹내의 단말기-GHES-단말기, 다른 두 그룹간의 단말기-GHES1/GHES2-단말기)이 요구될 때에는 이중도약 링크가 필요하다.

그림 8은 분산제어 다중 HUB 환경에서 각각의 HUB가 소그룹 VSAT망을 제어하는 네트워크 환경을 보이고 있다.

분산제어 방식은 중앙 제어 방식과 비교하여 HUB국들의 규모가 큰 경우 복잡하고 비용이 많이 드는 점이 있으나 네트워크 운영의 유연성과 용이성 가맹단체들(INTELSAT의 경우 가맹국가들)간 관리의 용이성 등 장점을 가진다. 더욱이, 분산제어 방식은 네트워크에 redundancy를 제공함으로써 네트워크의 신뢰성과 유용성을 향상시킨다. 각 HUB국은 다른 HUB국들과는 독립적인 VSAT 네트워크 사용

자 community를 지원한다. INTELSAT의 경우 하나의 community는 하나의 INTELSAT 지구국에 등록된 VSAT 네트워크 사용자들로 구성되나, community들의 지역적 중복과 VSAT 사용자의 등록 중복이 가능하다. 각 HUB국은 VSAT 사용자들의 요구에 따른 용량 할당, 호 설정, 지상망 연동, 사용자 과금, 그리고 서비스 제공자와의 계정 조정을 수행한다.

6. VSAT 망의 프로토콜

VSAT 시스템에서는 전송 데이터에 대한 신뢰도와 효율을 높이기 위해 위성 링크 프로토콜(Satellite Link Protocol)을 사용한다. VSAT과 위성망을 통해 연결되는 PSTN, 패킷 교환 망, ISDN 등 다른 통신 시스템과의 상호 연결은 시스템을 open 상태로 유지하기 위해서 OSI 계층 구조가 적용된다. 대부분의 위성링크 프로토콜들은 ISO에서 제안하는 HDLC(High-level Data Link Control) 프로토콜을 위성 링크에 알맞게 수정하여 사용하며, 그 중 X.25는 세 개의 하위 계층 프로토콜에 대한 직접적인 기준으로 사용될 수 있다. X.25는 강력한 정정 기능을 가진 패킷교환 프로토콜로서 강우로 인한 신호 감쇠량이 매우 커서 신뢰도에 심각한

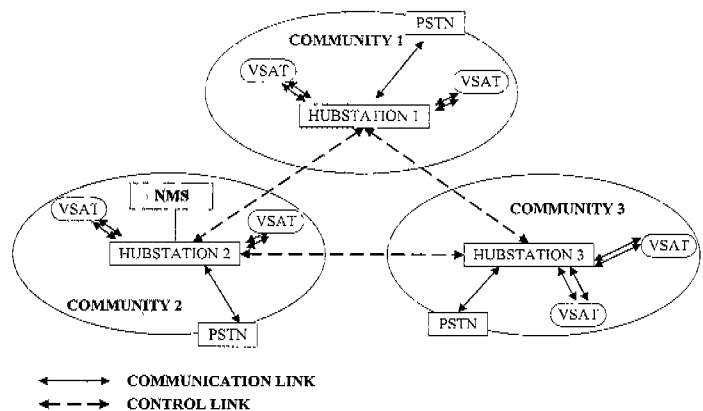


그림 8. 분산제어 다중 HUB 환경의 Interconnected multi-star 네트워크

영향을 미칠 수 있는 위성망의 접속 링크나 중 소 규모의 데이터 파일 전송에 적합하다. X.25 플랫폼에 기초를 두는 상위 레벨 프로토콜에는 패킷 교환 프로토콜(PSP), bitstream 서비스를 위한 시그널링 프로토콜(SP), 그리고 망관리 프로토콜(NMP) 세 가지 형태이며 그림 9에는 VSAT망의 기본 프로토콜 구조를 보였다. 프로토콜 포맷에 포함되는 내용은 주로 다음과 같다[1].

PSP	SP	NMP
Packet	Signalling	Manage
Upper Layer		
Packet	Signalling	Manage
Transport Layer		
Packet	Signalling	Manage
Network Layer		
Link Layer		
Physical Layer		

*접선부분은 각 레벨에서의 다른 서비스를 위한 서브-프로토콜을 의미함

그림 9. VSAT 망의 기본 프로토콜 구조

- Frame flag field
- Source(HUB/VSAT) and destination (VSAT/HUB) address field
- Error control information field
- Frame sequence information field
- Flow control information field
- User port information field
- Transparent user data field

7. VSAT망의 접속제어 및 호설정

위성 통신시스템에서는 자원의 효율적인 사용을 위해 NCS(Network Coordination Station)를 통하여 자원 요청 및 할당이 이루어진다. VSAT 네트워크 반송파는 시그널링과 트래픽을 위한 반송파로 나뉘어 운용되며 HUB국과 VSAT 단말기 시그널링

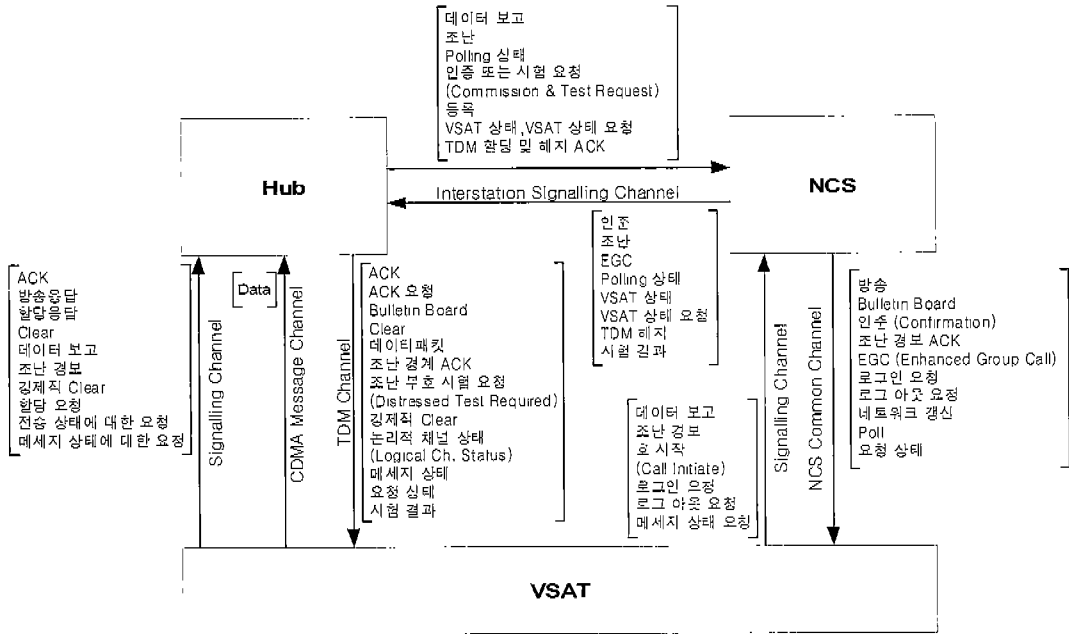


그림 10. TDM/CDMA VSAT 위성망의 접속제어와 호설정을 위한 각 채널의 기능

및 통화 채널을 처리하기 위한 장치들이 포함된다. TDM/CDMA VSAT 시스템에 적용할 수 있는 접속제어 및 호 설정 관련 채널과 각 채널의 기능들은 실제 서비스 중인 Inmarsat B, C 시스템을 참고하고, NCS에서는 Interconnected multi-star 망 토폴로지에서 운용되는 분산제어 방식의 경우를 가정하여 그림 10에 도시하였다. NMS가 HUB국과 함께 위치하는 Star 망 토폴로지에서 운용되는 중앙제어 방식의 경우는 NCS와 HUB국간 채널과 NCS와 VSAT간 채널들은 모두 VSAT과 HUB국간의 채널로 단순화 되고, NCS와 HUB국간 채널을 통화 정보교환은 중심국의 LAN상에서 이루어지게 된다.

V. TDM/CDMA VSAT 시스템 링크 설계

1. 링크버짓 설계

TDM/CDMA VSAT 위성 시스템을 설계하기 위해서는 먼저 VSAT 사용자 단말기와 HUB국의 전송방식과 각종 제원의 최소 요구값을 도출하고 설계 타당성을 확인하기 위한 링크버짓을 설계하여야 한다. 무궁화위성의 단일빔으로 한반도 및 주변 지역을 서비스 커버리지로 한다는 것을 전제로 하였으며, 요구 BER 성능은 1×10^{-7} , 링크 가용도와 주파수별 강우감쇠의 관계는 ITU 모델을 사용하였다[8]. Inbound CDMA 링크 설계에는 DS-SS-CDMA 네트워크의 최대 동시 접속자 수와 처리 이득(processing gain), DS-SS-CDMA 네트워크의 throughput, 축의 복사 전력밀도에 관한 ITU-R 권고 [9],

그리고 중계기당 VSAT 수 등을 고려하였다.

Ku-대역 위성통신시스템에서 신호 감쇠의 주요인은 강우감쇠로서 같은 주파수 대역을 사용할지라도 시스템 가용도에 따라 많은 차이를 보인다. 강우감쇠량은 초과 강우 시간율과 지역별 강수량에 대한 측정 통계값으로부터 구하거나 ITU 강우강도 지형도로부터 국내(K지역)에서 연평균 0.01%를 초과하는 강우감쇠를 계산할 수 있다.

그림 11은 가용도(99.95% 경우)와 주파수 대역에 따른 서울지역에서 무궁화 위성의 강우감쇠 특성을 보인다.

표 6은 TDM/CDMA VSAT 시스템의 링크분석을 위한 기본 파라미터를 정리하였고, 표 7은 표 6의 시스템 파라미터를 기준으로 설계한 VSAT 위성망 시스템의 링크버짓을 보였다. HUB국과 VSAT의 안테나 크기는 각각 5.5 m와 0.6 m로, HPA 송신 전력의 크기는 각각 3.0 Watt와 0.1 Watt로 설정하였다 [10, 11].

Rain Attenuation v Frequency (ITU Model)

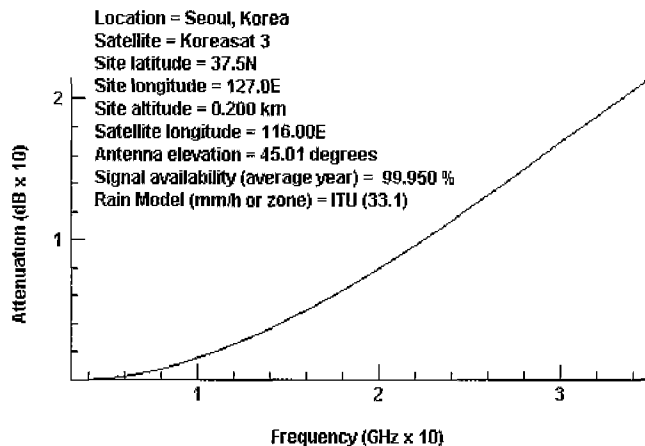


그림 11. 주파수에 따른 강우감쇠 (시스템 가용도 99.95%, 안테나 양각 = 45.01°)

표 6. TDM/CDMA VSAT 시스템 링크분석을 위한 기본 파라미터

Parameter	Spec.
Uplink Frequency	14 GHz
Downlink Frequency	12.5 GHz
Slant range	37397.4 km
Data bit rate	4.8 Kbps
FEC(Convolutional Coding, Viterbi decoding)	$K=7, R=1/2$
목표 BER	1×10^{-7}
Modulation 방식	QPSK
사용자 수	12
Chip rate	617.4 Kcps
시스템 가용도	99.95%
Satellite	
Saturation flux density (dBm/m ²)	-90.0
Saturation EIRP (dBW)	50.4
G/T (dB/K)	13.5
TWTA Output Back-off (dB)	4.3
HUB Station	
Antenna Diameter (m)	5.5
HPA Transmit Power (W)	4.0
Receiver Noise Temperature (K)	260.0
Remote VSAT	
Antenna Diameter (m)	0.6
HPA Transmit Power (W)	0.1
Receiver Noise Temperature (K)	370.0

표 7. TDM/CDMA VSAT 시스템의 링크버젝

Parameter	Spec.			
Data bit rate	4.8 Kbps			
FEC code rate	1/2			
VSAT HPA power	0.1 W			
HUB HPA power	3.0 W			
VSAT ant. Diameter	0.6 m			
VSAT uplink gain	36.67 dB			
VSAT downlink gain	35.68 dB			
HUB ant. diameter	5.5 m			
HUB uplink gain	55.91 dB			
HUB downlink gain	54.92 dB			
	Outbound(HUB-to-VSAT)		Inbound(VSAT-to-HUB)	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
EIRP (dBW)	60.68	14.40	26.67	7.19
Total Path Loss (dB)	207.82	206.26	207.82	206.26
G/T (dB/K)	13.5	35.68	13.5	28.21
k (dBW/K-Hz)	-228.6	-228.6	-228.6	-228.6
C/N ₀ (dB/Hz)	94.96	72.08	60.94	57.40
C/I ₀ (dB/Hz)	73.69			
C/(N ₀ +I ₀) (dB/Hz)	65.87		52.74	
최소요구 E _b /N ₀ (dB) @ clear sky	6.53		6.53	
Rain and implementation margin (dB)	8.90		6.39	
E _b /N ₀ (dB)	15.43		12.92	

가. Inbound CDMA

Link 가용도 99.95%를 목표로 VSAT 시스템의 링크를 설계하였을 때 강우 감쇠는 6.332 dB가 되고, 실제 E_b/N_o 는 최소요구 E_b/N_o (그림 12에서 실선)보다 강우감쇠를 고려한 시스템 margin 만큼 큰 값(그림 12에서 점선)을 필요로 하게 된다. 그림 12에는 요구 E_b/N_o 와 VSAT 안테나 크기에 따른 VSAT HPA의 최소 요구 전력을 보였다. 예를 들어 직경 0.45m 안테나를 사용하는 VSAT은 최소 0.1Watt의 HPA 전력이 필요하며 3dB back-off를 감안 할 경우 약 0.2Watt의 전력이 필요하다.

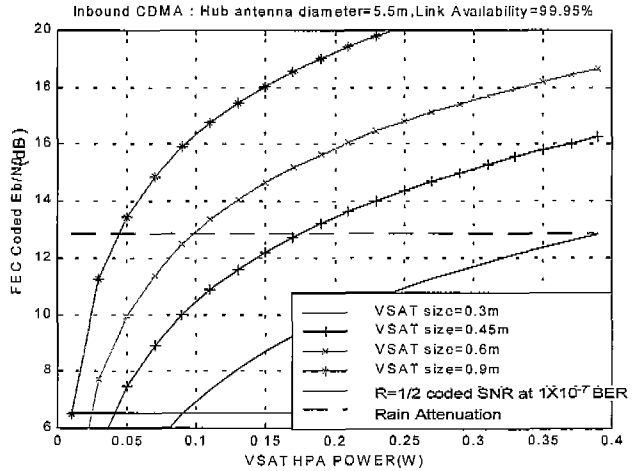


그림 12. 요구 E_b/N_o 와 VSAT 안테나 직경에 따른 VSAT HPA의 최소 요구 전력 (가용도 : 99.95%)

나. Outbound TDM

Outbound 링크에서 HUB국의 안테나 크기에 따른 HUB HPA의 최소 요구 전력을 그림 13에 보였다. VSAT 안테나의 직경 0.6m와 링크 가용도 99.95%를 가정하였을 때 HUB 안테나의 직경은 5.5m, 동시 사용자 수가 12명일 때 최소 2.5Watt의 전력으로 VSAT 시스템을 운용할 수 있음을 알 수 있다.

에서 VSAT으로의 실제 경로 손실(파/또는 전송 속도)에 반비례하는 각각 다른 비트 에너지를 가지므로 (위성)중계기는 모든 VSAT 수신기에서의 SNR을 가능한 일정하게 유지하기 위해서 VSAT 사용자에게 송신되는 신호 크기를 제어한다. 그러나 자기-잡음 효과를 무력화시키기 위해 직교 확산 기술을 사용

2. Uplink 전력제어

위성 링크에서 전력 효율을 최대로 유지하기 위해서는 전력 버짓에서 요구되는 시스템 마진을 최소로 유지해야 한다. 이것은 순방향(Outbound)과 역방향(Inbound) 링크의 각 트래픽 반송파에 대하여 적응적 전력 제어 기법을 적용함으로써 가능하다.

순방향 링크에서 각각의 VSAT 사용자가 수신하는 트래픽 채널은 위성

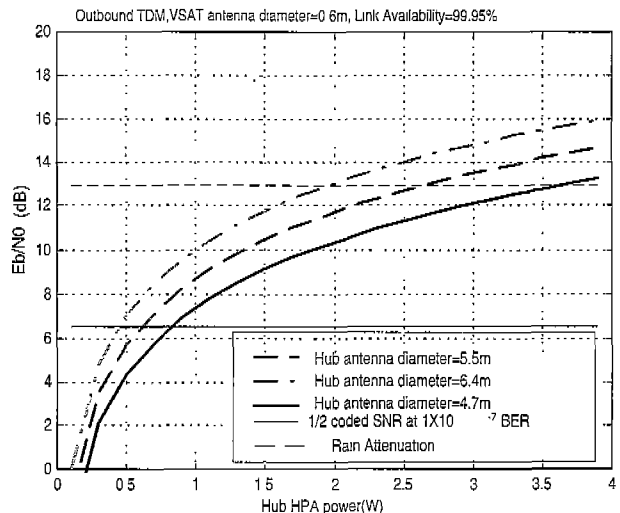


그림 13. 요구 E_b/N_o 와 HUB 안테나 직경에 따른 HUB HPA의 최소 요구 전력 (가용도 : 99.95%)

하는 칩-동기(chip-synchronous) 시스템에서는 사용자 신호들간에 발생하는 전력 불균형이 허용된다. TDM/CDMA VSAT 시스템에서는 Inbound 링크에만 CDMA 방식을 채택하므로 순방향 전력제어는 고려하지 않았다. 역방향 링크에서 (위성)중계기가 수신하는 트래픽 채널의 수신 CNR을 일정하게 유지하기 위해서 각 사용자는 자신의 신호 전력을 조정하여 송신 전력을 최적화함으로써 반송파 내(inter-carrier) 간섭과 인접 반송파간(adjacent-carrier) 간섭을 최소화한다.

이러한 접근 방법을 통해 slow-shadowing 특성을 갖는 정지궤도 위성 통신 시스템에서의 near-far 문제를 해결할 수 있다. GEO 위성에서는 위성 안테나 빔의 불규칙적인 모양과 관련된 신호 감쇠의 변화가 발생하고, 빔 커버리지 내의 사용자 위치에 따라서 전체 손실이 변화하게 된다. 또한 한 칩 이내의 차동 지연을 갖는 다중경로 성분에 의한 flat fading에 의해서 수신 신호의 레벨 변동이 발생된다. 이상에 언급된 수신 신호 레벨 변화에 영향을 미치는 요인들을 종합하여 볼 때, 수신 신호의 전체 변화량이 지상 이동통신망에서 보다 작다. 수신 신호의 전체 전력 변화량이 지상 이동통신망의 경우 80dB 까지 이르는 반면, 위성 이동통신망의 육의 사용자경우 15dB로 작다[12].

일반적으로 사용되는 CDMA VSAT 망의 전력제어 방식은 초기 접속채널을 통한 호설정 과정에서 채널 상태를 추정하고, 할당된 통화채널에서 통화 시작에서 종료까지 추정된 채널 상태에 따라 결정되는 VSAT 송신 HPA의 전력 값을 유지하도록 한다.

VI. 결 론

본 논문에서는 Ku-대역 무궁화위성 중계기를 이용하여 음성 서비스와 특정 그룹간의 팩스, 텔렉스 등의 저속 데이터 서비스를 한반도 전역에 경제적으로

로 제공하기 위해 초소형 위성 단말기(VSAT)와 HUB국으로 구성되는 이동 위성통신 시스템으로서 TDM/CDMA 방식 VSAT 시스템을 제안하고 시스템의 설계 기술에 관하여 논하였다. 또한 시스템 구성요소 및 국내외 CDMA-VSAT 시스템의 기술 현황을 고찰하고 비선형 위성통신 채널에 적합한 전력 및 대역폭 효율적인 변복조 기법을 소개하였다. CDMA 위성망 방식, 중심국 및 단말기, 그리고 VSAT 네트워크 반송파, 네트워크 토폴로지 및 제어, VSAT망 프로토콜과 망 접속제어 및 호설정을 포함하는 시스템 설계 방안을 제시하고, VSAT 시스템 링크 버짓 설계를 통해 TDM/CDMA 방식 VSAT 시스템의 타당성을 확인하고 중심국 및 단말기의 최소요구 사양을 제시하였다. 본 연구의 결과는 근해지역에서 항해 및 조업을 하고 있는 선박들에 고품질의 저속 데이터 서비스를 경제적으로 제공하기 위한 VSAT 시스템 등의 특수목적 VSAT 시스템 설계 자료로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구는 한국통신 위성운용단의 연구비 지원으로 수행되었음

※참고 문헌

- [1] Jin Yei, "Specification and Simulation of TDM/CDMA VSAT Integrated Service Satellite Communication Network 43", Internet draft <http://www.informatik.hu-berlin.de/Institut/struktur/systemanalyse/preprint/gesamt95.html>
- [2] Haige Xiang, et al., "A TDM/CDMA VSAT network integrating voice/data service and its operation management", *ICCS/ISITA '92*, pp. 476-480, 1990.

- [3] De Gaudenzi, R.; Guzman, L.; Zarembowitch, A., "ARCANET: A Ku-band CDMA VSAT network for high quality telephony to portable terminals", *IEEE 4th ISSSTA Proceedings '96*, Vol. 3, pp. 920-925, 1996.
- [4] Orpi, J., "CDMA Ku-band network for portable terminals", *Tenth International Conference on Digital Satellite Communications '95*, Vol.1, pp. 366-373, 1994.
- [5] J. S. Seo, K. Feher, "SQAM - A New Superposed QAM Modem Technique", *IEEE Trans. on Comm.*, Vol. COM-33, Mar. 1985.
- [6] Viterbi, A.J., "Very low rate convolution codes for maximum theoretical performance of spread-spectrum multiple-access channels", *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, Vol. 8, pp. 641-649, May 1990.
- [7] P. Monte and S. Carter, "The Global Air Interface", *Proc. AIAA 1994 Satellite Comm. Conf., San Diego, CA*, pp. 1614-1621, Mar. 1994.
- [8] ITU-R Rec. P. 838, Specific Attenuation Model for Rain for Use in Prediction Methods, 1992.
- [9] ITU-R Rec. S. 728-1, Maximum Permissible Level of Off-Axis e.i.r.p. density from VSAT.
- [10] Hayes, D.P. and Ha, T.T., "A performance Analysis of DS-CDMA and SCPC VSAT Network", *IEEE Trans. on Aerospace and Electronics Systems*, Vol. 26, No.1, pp. 12-21, Jan. 1990.
- [11] Gilhousen et al., "Increased Capacity using CDMA for Mobile Satellite Communication", *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, Vol. 8, No.4, pp. 503-514, May 1990.
- [12] De Gaudenzi, R.; Giannetti, F.; Luise, M., "Advances in satellite CDMA transmission for mobile and personal communications", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 84 Issue: 1, pp: 18-39, Jan. 1996.



이 기 훈

1987년 3월 공군사관학교 항공공학과(공학사), 1996년 8월 Univ. of Dayton, U.S.A 전기공학과(공학석사), 1999년 3월~현재 연세대학교 전기컴퓨터 공학과(박사과정), 1987년 3월~현재

공군 정보통신 장교, (주관심분야) 위성통신시스템, 시각/주파수 등기 기술, 대역확산통신

이 갑 수

1992년 2월 충북대학교 전자공학과(공학사), 1995년 2월 충북대학교 전자공학과(공학석사), 2001년 8월 고려대학교 전자공학과(공학박사 수료), 1995년 2월~2001년 9월 한국통신 위성운용단 선임, 2001년 9월~현재 한국통신 기술조사평가단 선임

구 분 양

1983년 2월 인하대학교 전기공학과(공학사), 1986년 8월 연세대학교 전자공학과(공학석사), 1987년~

1989년 8월 금성사 중앙연구소 연구원, 1989년 8월~1992년 7월 한국통신 기간통신연구본부 전임, 1992년 7월~1995년 5월 무궁화위성 기술전수요원(위성중계기분야 : 미국, 로키드마틴사 및 영국, 마트라 마르코니사), 1995년 5월~현재 한국통신 위성운동단 부장



서종수

1975년 2월 연세대학교 전자공학과(공학사), 1983년 12월 Univ. of Ottawa, Canada, 전기공학과(공학석사), 1988년 6월 Univ. of Ottawa, Canada, 전기공학과(공학박사), 1975년 4월~

1981년 12월 LG정밀 중앙연구소, 1982년 1월~1987년 7월 Univ. of Ottawa, 디지털통신 연구실, 1987년 7월~1989년 12월 IDC, Canada, 1990년 1월~1992년 3월 삼성 종합기술원 정보시스템 연구소, 1992년 4월~1995년 2월 CAL, Canada, 1995년 3월~현재 연세대학교 공과대학 전기·전자 공학과, 교수, <주관심분야> 디지털 위성통신, 디지털 방송시스템, 디지털 전송방식