

위성 통신망 운용 관리 기술

공남수, 고성찬, 황인관

(한국전자통신연구소 위성망연구실)

□ 차 례 □

I. 서 론

II. 위성 통신망 운용 관리 시스템 기술

III. 위성 중계기 운용 계획 수립 절차

IV. 결 론

I. 서 론

국내 최초의 통신/방송 위성인 무궁화 위성의 발사로 본격적인 위성 통신 서비스 시대를 맞게 되었다. 무궁화 위성으로 제공 예정인 서비스는 DBS, TV 중계, CATV 및 기업내 영상분배, SNG, 음성, 데이터 등 매우 다양하다. 한정된 위성 자원 (전력, 대역등)의 사용효율을 극대화하면서 오동작 없이 계속적으로 양질의 서비스를 제공하기 위해서는 위성 시스템에 대한 운용 및 관리가 필요하다. 위성 시스템의 운용 및 관리는 크게 위성체 버스 시스템을 중심으로한 위성 관제 기능과 위성 중계기를 중심으로한 위성 통신망의 감시 및 제어 기능으로 구분할 수 있다. 위성 관제 시스템은 TT&C(Tracking, Telemetry and Command) 서브시스템, 위성 제어 센터(Satellite Control Center) 및 임무 분석 서브시스템으로 나누어지며, 위성 통신망 감시 제어 시스템은 궤도내 시험 및 중계기 일상 감시를 위한 IOT(In Orbit Test) 서브시스템과 주파수 감시 및 트래픽 상태 감시를 포함한 통신 시스템의 상태 감시를 위한 CSM(Communications System Monitoring) 서브시스템 및 위성망 전체의 총괄적인 관리 기능을 수행하는 NCC(Network Control Center) 서브시스템으로 나누어진다. 또한 주파수 계획 및 간섭 분석 시스템은 NCC에 접속되어 초기 및 운용 도중의 지구국 설치시 주파수 계획에 사용되며, 검증된 데이

타는 지구국 설치 절차를 거쳐 NCC의 데이터 베이스에 저장되고, 지구국 운용 감시용 망구성 데이터로 사용된다. 각 중심 지구국은 NCC에 접속되어 각 지구국의 트래픽 및 장애 상태 등 각종 운용 및 상태 데이터를 NCC에 보고하며, NCC에서는 이러한 데이터를 기반으로 중장기적인 운용 계획을 수립하고, 장애시 고장 개소의 파악과 이에 대한 조치를 하게 한다. 위성망의 상태를 최적으로 하면서 주파수 자원의 효율적인 활용을 위해서는 중계기 운용 계획 수립이 필요하며, 이에 소요되는 기술로는 중계기 할당, 중계기 내의 주파수 배치, 중계기 동작점 설정 및 반송파별 전력 할당 기술이 필요하다. 위성 통신망의 운용 관리 기술은 망 사업자에 있어서 매우 중요하며, 이들중 서비스의 요구 품질, 망자원의 할당 등에 대한 계획 수립은 초기 운용 계획 수립 과정에서 특히 중요하다. 본 고에서는 위성 통신망 운용 및 관리 시스템에 관련된 기술과 중계기 운용 계획에 관련된 기술을 중심으로 기술하고자 하며, 서브 위성망 (VSAT, SCPC, 영상 분배망 등)들과 이들을 통합한 전체 위성 통신망에서의 망관리/운용 구조에 대한 일반적인 사항들을 기술하고, 망자원의 사용 효율을 극대화하기 위하여, 운용 계획 수립 과정에서 고려되어야 할 기술적인 내용들에 대해서 간단히 언급하고자 한다. II장에서는 위성망 운용 관리에 관련된 주요 시스템 요소와 관리 구조 및 기능 등을 살펴보고 III장에서 운용 계획

획 수립 절차와 이와 관련된 기술들을 알아보도록 한다.

II. 위성 통신망 운용 관리 시스템 기술

위성 시스템의 운용 및 관리는 크게 나누어 버스를 중심으로한 위성체 제어에 필요한 위성 관제 시스템과 위성 중계기를 중심으로 한 위성 통신망의 운용 관리 및 제어를 하는 위성 통신 감시 제어 시스템으로 나누어지며, 여기서는 위성 통신망의 운용 관리에 관련된 사항만 다루도록 한다. 그림 1은 그 개략적인 구성을 나타낸 것으로, 위성 관제 시스템은 안테나, TT&C(Tracking, Telemetry and Command), 위성 제어 센터(Satellite Control Center) 등의 요소로 구성되어 있다. 위성 통신 감시 제어 시스템은 안테나 및 RF 부분은 위성 관제 시스템과 공유하며, IOT(In Orbit Test), CSM(Communications System Monitoring) 및 NCC(Network Control Center) 등으로 구성된다. 그러나 CSM은 24시간 계속 감시를 하여야 하므로 특성에 따라 CSM용의 별도 안테나를 갖기도 한다. 또한 위성 통신 감시 제어 시스템의 NCC에는 주파수 계획 및 간섭 분석 시스템과 중심 지구국이 접속되어 있으며, 주파수 계획 및 간섭 분석 시스템으로 부터 지구국 설치에 필요한 주파수, 전력 등 제원 데이터를 받으며, 중심 지구국으로 부터는 운용중의 각종 운용 데이터를 보고 받는다.

IOT/CSM은 위성이 정지궤도에 진입한 상태에서,

서비스 개시전에 위성 중계기의 초기 동작 상태를 기능과 성능 측면에서 검증하고, 서비스 개시후에는 위성망의 운용 상태를 최적으로 제역할 수 있도록 통신/방송 서비스의 상태 및 성능을 측정하여 NCC에 보고하는 기능을 가진다. NCC는 망전체에 관한망구성 데이터 및 각종 측정 데이터를 저장 관리하며, 수집 저장된 데이터를 근거로 하여 각종 운용 리포트의 작성과 중장기적인 위성망 운용 계획을 수립하고 전체 위성망 차원에서의 총괄적인 망제어를 한다.

2-1. 중계기 궤도 내시험(In Orbit Test) 및 일상 감시(Routine Payload Monitoring)

궤도(천이 또는 정지궤도) 진입후 2주-4주간 궤도 내시험이 수행된다. 궤도내 시험은 위성체 버스부분에 대한 시험과 위성 탑재 중계기에 대한 시험으로 나누어지며, 여기서는 위성 탑재 중계기에 대한 시험만을 언급한다. IOT는 위성 발사시의 열과 충격 등으로 인한 중계기의 손상 유무의 확인과 성능 저하 정도를 시험한다. IOT 시험 데이터는 발사전 시험 데이터와 비교 분석이 이루어지며, 중계기에 대한 성능 분석이 이루어진 후, 중계기에 대한 운용 계획이 수립된다. IOT 시험의 주요 측정 항목으로는 중계기의 포화 EIRP 또는 전속밀도, 이득 전달 특성, 안테나 G/T, 중계기 주파수 응답 특성, 변환 주파수 특성, 군지연 특성, G/T, Spurious Output, 편파 분리도, 송/수신 안테나 패턴 및 이득 특성 등이 있다.

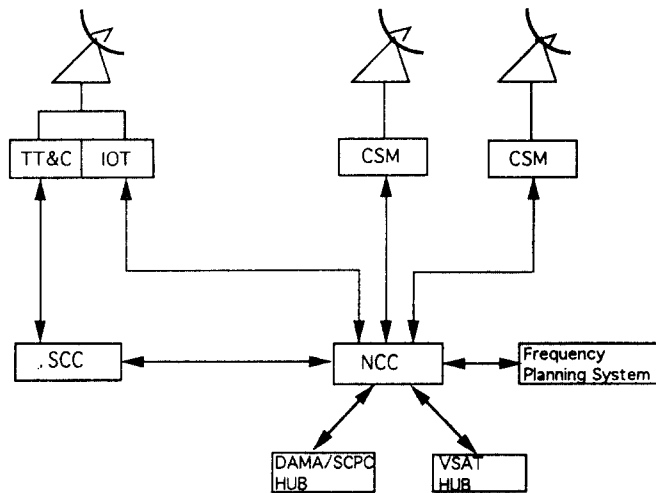


그림 1. 위성통신망의 관리운용 구조

중계기에 대한 IOT가 끝나면 곧 바로 서비스가 제공되며, 서비스가 제공되는 중에도 중계기의 특징에 대한 지속적인 일상 감시가 필요하다. 그러나 IOT 시험때와는 달리, 제공중인 서비스에 대한 영향이 없어야 하므로 시험 항목 및 방법에 상당한 제약이 따른다. 이러한 이유로 실질적으로는 시험이 잘 행해지지 않는 경우가 대부분이며, Telemetry 데이터의 지속적인 감시 분석과 중계기의 임대 계약 만료시 등 서비스 종료 시점을 기해 부분적 시험을 하는 것이 보통이다.

2-2. 통신 시스템 감시 (Communications System Monitoring)

위성 중계기가 서비스를 시작하면, 모든 다운-링크의 캐리어 주파수 등 주요 통신 파라메타는 지속적으로 측정 감시된다. 위성 통신망이 원만히 운용되고 제대로 성능을 발휘하기 위해서는 모든 지구국이 허가된 주파수, 대역폭 및 신호전력 등으로 운용되어야 하며, 다른 지구국에 대한 영향이 최소가 되도록 운용되어야 한다. 서비스의 연속성 보장과 신뢰성 있는 품질의 서비스를 제공하기 위해서는 24시간 지속적인 감시가 필요하다. 위성 통신 감시 기능은 위성 통신망의 구성과 제공되는 서비스에 따라 측정 파라메타가 달라진다. 파라메타 측정은 컴퓨터 제어에 의해 자동적으로 수행되며, 측정 데이터는 분석을 위하여 NCC에서 저장 관리된다. 가장 기본적인 측정 파라메타로는 반송파의 EIRP, 중심주파수, 대역폭, 변조 특성, TDMA Burst 등을 측정하며 이를 데이터베이스에 저장된 허용값과 비교/감시한다.

지구국이 설치된 후에는, 서비스에 들어가기 전에 반드시 허가된 사항대로 운용이 될 수 있는지에 대한 검증 과정이 필요한데, 이러한 확인 절차를 지구국 설치 시험이라한다. 지구국 설치 시험은 CSM 및 NCC 기능을 이용하여 이루어지며, 지구국에서 시험 방사되어 위성중계된 신호를 CSM에서 측정 분석하여 규정치대로 동작하는지를 확인하는 형태로 이루어진다.

2-3. 위성망 제어 센터 (Network Control Center)

NCC 기능은 위성 통신망을 종합적으로 감시 및 제어하는 기능으로, 위성 통신 감시 장치(CSM)를 통하여 수집된 측정 데이터와 SCC를 통하여 수집된 중계기 관련 텔레메트리 메시지, 그리고 중심 지구국을 통하여 보고된 지구국 운용 데이터 등을 통하여, 위성 통신망의 상태를 종합 판단하고, 최종적인 제어 및 관

리를 수행한다. 측정 및 수집된 데이터를 통하여 위성 통신망 내에서의 간섭 및 이상 유무를 파악하며 일간, 주간, 월간 단위로 중계기의 성능 특징 및 사용에 대한 보고서를 작성한다. IOT 시험중 및 중계기 이상시 등, 중계기에 대한 제어 필요시에는 SCC를 통하여 위성 중계기에 대한 Telcommand 송출 요구 명령을 보낸다.

NCC 데이터 베이스는 크게 중계기 및 지구국을 포함한 위성 통신망에 관한 형상 및 자원 데이터 베이스, 측정 및 수집 데이터를 저장하는 측정 데이터 베이스, 운용 데이터 베이스 등으로 구성되며, 주요 데이터는 다음과 같다.

- 중계기 구성 및 자원 데이터
- IOT 및 CSM 측정 장치 구성 및 자원 데이터
- 측정 장치 보정 데이터
- 지구국 자원 및 구성 데이터
- 측정 데이터
- 중계기 관련 Telemetry 수신 data
- 위성망 운용 이력 데이터
- 트래픽 수집 데이터
- 장애 데이터

•형상 관리:

망의 구성 및 가입자 정보 관리를 지원하며 방사원과 운용 정보의 추가 및 삭제, 방사원 파라메타와 운용 정보 변경을 지원하는 기능으로 서브 위성망의 형상 관리는 각 서브 위성망의 중심 지구국이 대리 수행한다. 망형상 관리는 데이터 베이스에 의존하며 형상 파라메타의 변경/추가/삭제시마다 update된다.

•장애관리:

감시 대상 객체의 상태 변화를 실시간으로 보고하여 망운용자가 필요한 조치를 취하고 서비스의 연속성을 보장하도록 지원하는 기능으로서 장애 검출, 장애 격리 및 복구 등을 수행한다. 감시 대상 객체의 상태변화를 중 망운용에 미치는 영향의 정도를 분류하여 그 심각성의 정도에 따라 가시 및 가청 경보의 형태로 장애 검출을 알린다. 신속한 장애의 격리 및 복구를 위하여 장애 발생의 위치, 상태 등을 제공한다. 이종화 구조를 갖는 주요 요소의 장애 발생시에서는 망에서 자동으로 장애를 복구한다.

•과금 및 통계 데이터 관리:

과금 책정을 위하여 중앙 제어 관리 프로세서는 망

으로 부터 서비스의 사용 기록 정보를 추출하여 저장하며 주기적으로 또는 망운용자의 요구가 있을 때 이들 정보를 출력한다. 또한 운용중인 망으로 부터 사건 발생 정보들을 수집하여 통계 처리함으로써 망운용자가 이를 이용하여 각 단말/서브망에 인가되는 트래픽의 특성을 파악할 수 있도록 지원한다. 물론 장애 데이터 및 통계를 제공하여 위성망의 주요 요소들에 대한 운용 상태를 파악할 수 있도록 지원하기도 한다.

• 망성능감시 :

CSM을 통하여 위성망으로 부터 수집한 데이터를 근거로 망의 성능을 평가할 수 있도록 망 성능 파라메타를 제공한다.

2-4. 중계기 운용 계획

위성통신망을 설계할 때에는, 제공 예정인 서비스들중 어떠한 서비스가 특정 중계기에 할당되어 운용되더라도 일정한 성능 목표치에 이를 수 있도록 최악의 시스템 환경을 고려하여 설계한다. 그러나 위성이 발사되고 실질적인 운용이 시작되면 위성이 가지고 있는 여러 중계기에 서비스를 어떻게 배치하고, 반송파의 전력을 어떻게 하느냐에 따라 각 서비스에 상응하는 반송파들의 성능이 개선되고 주어진 일정한 중계기의 출력 전력 사용의 극대화가 가능하게 된다.

NCC의 기능은 통신망 관리 기능과 운용제어 기능으로 구별되어지는 데, 운용제어 기능은 고가의 일정한 용량을 갖는 위성중계기 활용을 최적화하여 성능과 활용을 극대화하기 위한 기능으로서, 인접위성망들의 반송파들에 기인되는 간섭신호 전력을 주파수 대역 별로 분석하여 반송파 신호대 간섭신호비가 가장 양호하도록 주위성과 예비위성의 각 중계기에 서비스를 배치하고, 간섭신호와 혼변조적을 고려하여 반송파 신호대 잡음비가 가장 양호하도록 각 반송파의 전력을 할당하게된다.

서비스별 운용계획이 NCC에 의해 수립되고 나면, 각 중심지구국들은 정해진 주파수 대역과 할당된 송신전력 범위내에서 혼변조적및 여러 시스템 요인들을 고려하여, 상황에 따라 단말지구국들의 주파수배치와 전력의 할당을 최적화할 수 있도록 통신망을 운용하게 된다. 이러한 위성중계기의 최적운용 계획을 위해서는 최적화 알고리즘이 수반된 매우 복잡한 기술적 분석이 이루어 져야하는데 보다 구체적인 사항들은 3장에서 다루고자 한다.

2-5. 중심 지구국

서브 위성망들에 대한 지역적인 운용 관리는 중심국(Hub국)에서 이루어지며, 주기적으로 혹은 사건 발생시 NCC에 보고한다. 여기서는 SCPC/DAMA 위성망과 VSAT 망의 중심 지구국에서 수행하는 망관리 기능에 대해서 언급한다.

가. SCPC/DAMA중심 지구국 운용 관리 기능

행정 통신/도서벽지 통신을 제공하는 SCPC 망에서 위성 회선의 할당 및 망자원/요소들의 감시/제어는 DMS(DAMA Master Station)에서 수행한다. DMS에서 수행하는 주요 기능은 다음과 같다. 초기에는 기지국(DRS) 동작에 필요한 정보들의 다운 로딩 및 운용 파라메타 설정을 담당하며 운용시에는 계속해서 기지국의 성능을 감시한다. 망형상 파라메타의 관리 및 모든 망자원을 감시하여 장애 발생시 망운용에 영향이 없도록 이중화 제어 등을 통하여 장애를 격리/ 복구한다. 기지국에서 호개시 요청이 있을때, 사용 가능한 회선을 선택해서 동적으로 위성 회선을 할당하며 과급 정보를 추출하여 저장한다. DMS는 이들 기능을 DOP(DAMA Operation Processor), DMP(DAMA Management Processor)로 분할하여 수행하며 이외에 수행 기능은 다음과 같다.

- 망동기 유지 (기준 클럭 방송): 위성 중계기 오실레이터 드리프트 보상
- DRS 폴링 : 모든 기지국들의 상태 감시 및 관리된 정보 구축(현재 연결된 회선들의 수, 운용중인 Channal Unit수, 사용중인 주파수와 사용가능한 주파수, 현재 등록중인 지구국의 수 등)
- 트래픽의 주기적인 감시 : 시스템 레벨 파라메타 도출(중계기 점유율, 트래픽량, 호차단 확률 등)
- 시스템의 오동작 및 장애 검출/경보, 사건 logging, 타함선(oderwire) 제공
- NCC와의 망제어 데이터 통신

나. VSAT 중심 지구국 운용 관리 기능

VSAT 망에서도 DAMA/SCPC 위성망에서와 같이 다수의 단말국(VRS)들을 하나의 중심국(HUB:VCS)에서 NMS(Network Management System)을 통하여 중앙 집중 제어를 수행한다. 초기에는 시스템 동작에 필요한 파라메타, 망정보 등을 이용하여 각 단말국을 초기화 시킨다. 운용시에는 단말국의 상태를 감시하고, 과부하방지를 위한 흐름 제어 및 장애 발견, 격리, 복구기능 등을 수행한다. 또한 NMS는 데이터 베이스

관리/운용, VRS의 전력 제어 그리고 통계 처리 (망 및 사용자 식별자, 사용자 프로토콜, 송/수신 정보 프레임/바이트수 등) 기능을 수행하며, 기능별로 다음과 같은 서브 시스템을 갖는다.

• **DIE(Data Interface Equipment) 제어 서브 시스템 :**

이중화 제어, 경보, 장애 격리, 진단 루틴, 운용 파라메타의 설정/감시/변경, 사용 통계 추출 등의 기능을 수행한다. 여기서 운용 파라메타는 망형상, 사용 프로토콜, 데이터 전송 속도, 라우팅 테이블 등을 포함한다.

• **VRS/VCS 모뎀 운용 및 RF 제어 서브↓ 시스템 :**

모뎀 및 RF부에 요소들에 대한 경보, 장애 격리, 진단 루틴, 파라메타 설정/감시/변경, RF muting, 과부하 처리 등의 기능을 수행한다. 여기서 파라메타는 전송/수신 채널 번호 (RF 주파수), 채널 액세스 테이블, 최대 트래픽 모드, EIRP 등을 포함하며, 과부하 처리는 VRS의 재전송 타이머 값 조정 등을 통하여 수행된다. 또한 이런 모든 정보를 처리하기 위한 데이터 베이스를 관리한다.

• **시스템 관리 서브 시스템 :**

시스템의 확장/축소시 현재 제공되고 있는 서비스에 방해없이 on-line으로 데이터 베이스 내용 변경만을 통하여 VRS의 추가/삭제가 가능토록 지원한다. 이를 위해 이중화에 대한 형상 데이터 관리, 이중화 절차 및 진단 계획 및 시스템 logging 기능을 수행한다.

III. 위성통신 중계기 운용 계획 수립 절차

위성통신망의 초기 시스템 설계 단계에서는 강우에 의한 신호품질 열화를 고려하여 우선적으로 가용도(장비 및 회선 가용도)를 정의하며 가용도에 따른 서비스별 요구품질(BER)을 결정한다. 이후 링크계산에 의해 개략적인 시스템 파라메타(기준수안테나 크기, 송출전력, 수신 G/T등)를 설정하며 링크계산에 대한 확인과정을 기한다. 링크계산 확인단계에서는 링크계산시 수치해석으로 나올 수 없었던 여러 효과들을 포함하여 보다 상세한 성능을 평가하기 위해서 S/W 시뮬레이션을 수행하게 된다. 이러한 과정을 거쳐 시스템 파라메타들이 결정되면 시스템 설계단계로 진행되며 설계 및 시스템 전개가 완료되면 수립된 운용계획에 따라 위성통신 서비스를 제공하게 된다.

방운용 사업자 측면에서는 한정된 사원의 사용효율을 극대화하는 것이 최대의 목표가 된다. 이를 위해서는 무엇보다도 중계기의 주파수 계획/전력할당이 최적화되어야 한다. 중계기의 주파수 계획은 다시 중계기 안방, 중계기내에서의 주파수 배치, 보호(guard)대의 설정 문제로 세분화할 수 있으며, 전력할당 문제는 중계기의 동작점 결정 문제와 반송파별(또는 서비스별) 전력할당 문제로 세분화된다. 본 장에서는 각각에 대해서 보다 자세한 문제를 정의하고 여기에 소요되는 기술들을 언급하도록 한다.

3-1. 중계기 운용 계획 수립 절차

위성통신 중계기의 운용 계획 수립 절차과정을 그림(2)에 보았다.

각각의 세부 절차에 대해서는 3.2절 부터 자세히 언급하도록 한다.

3-2. 중계기 할당

서비스에 대한 수요조사 및 이에 따른 제공계획이 수립되면 각 서비스들을 12기의 위성중계기를 중 어떤 중계기를 이용하여 서비스를 제공할 것인가를 결정하여야 한다. 이 과정에서 고려해야할 파라메타로는 위성중계기 요소(특히 선형화기와 자동이득조절기(ALC))들의 구성형태, 인접 위성망에서의 주파수 계획 또는 서비스 운용현황, 주위성과 예비위성간의 동일채널간섭(CCI) 등을 들 수있다.

• **위성중계기 요소구성의 고려**

다수의 SCPC, VSAT 반송파들은 한 중계기에 의해서 공동 증폭되어 중계된다. 이때 증폭기의 비선형 특성 때문에 발생하는 혼변조잡음(Inter modulation Products Noise)에 의해 이들 신호는 크게 왜곡된다. 이 효과를 줄이기 위한 방법으로 Input-Backoff를 크게 하여 증폭기의 동작점을 선형지역으로 낮추거나 선형화기를 사용하는 방법들을 들 수 있다. 무궁화 위성은 선형화기가 부착된 중계기를 총 9기(예비 제외) 탑재하고 있으므로 SCPC, VSAT과 같은 소전력 신호들은 우선적으로 선형화기가 부착된 중계기로 서비스를 제공하여야 한다.

한편, 비선형 증폭되는 반송파가 1개일 경우 변조전달 등의 비선형 증폭효과가 무과되기는 하지만 그 효과가 크지 않고 또 혼변조잡음이 발생하지 않으므로, 전력 사용 효율면에서 다소 손해가 되는 선형화기 부착 중계기를 사용하는 것 보다는 상우감쇠시 신호

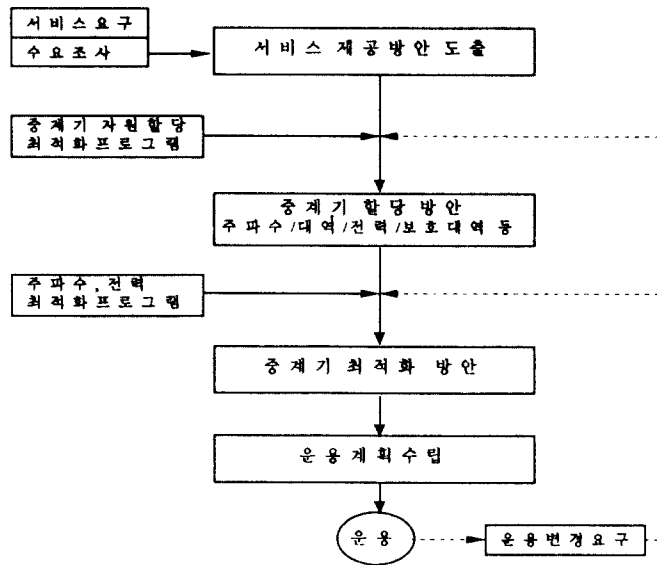


그림 2. 중계기의 운용 계획 수립 절차과정

의 전체레벨에 이득을 줄 수 있는 ALC 부착 중계기로 서비스하는 것이 바람직하다.

• 동일 채널 간섭효과의 고려

무선신호는 강우시 그 레벨이 감소되고, 또 수신 지구국 안테나 서비스 시스템의 증가된 잡음온도에 의해서 더욱 열화될 뿐만아니라 신호의 편파분리도가 열화되므로, 동일채널 간섭량이 크게 증가하게 된다. 특히 소전력신호와 동일 대역에서 중계되는 신호의 전력이 큰 경우, 동일 채널 간섭효과는 매우 심각해진다. 예를 들어 TV/FM 신호는 평균적으로 약 0.6% 시간율 동안은 EDS(Energy Dispersal Signal) 신호만 전송되고, 이 경우 TV/FM 신호의 전전력이 동일 채널 간섭을 유발하므로, EDS 대역과 동일한 주파수 대역 내에서 전송되는 소전력 신호는 심한 열화를 겪게 된다. 따라서 소전력 신호들은 TV/FM 신호대역과 다른 주파수 대역에 있는 중계기로 할당하여 서비스하여야 할 것이다. 이렇듯 주파수 계획 수립시 동일채널 간섭효과를 최소화할 수 있는 중계기 할당방안이 강구되어야 한다.

• 중계기 할당을 위해 요구되는 기술

인접 위성망 또는 주/예비 위성간의 동일채널 간섭계산 기술

그림(2)에서와 같이 희망 위성망내에서 뿐만아니라 위성망들간에도 간섭이 발생되는 데, 이러한 간섭을 고려하여 최적으로 중계기를 할당하기 위해서는 식 (1)에 근거한 간섭계산이 수행되어야 한다.

$$C/I = 10 \log [10^{-(C/I)_{up}} + 10^{-(C/I)_{dn}}] \quad (1)$$

$$(C/I)_{up} = P_1 + g_1 + g_2(\theta) - (P'_1 + g'_1(\delta) + g_2(\psi) + F) - \Delta L_{\alpha} + Y_{\alpha}$$

$$(C/I)_{dn} = P_3 + g_3(\theta) + g_1 - (P'_3 + g'_3(\rho) + g_1(\phi) + F) - \Delta L_{\beta} + Y_{\beta}$$

여기서 아래첨자 1, 2, 3, 4는 각각 송신지구국, 수신위성, 송신위성, 수신지구국을 표시하고 prime은 간섭 위성망의 요소를 표시한다. 또한 P,g는 송신 EIRP와 수신안테나 이득을 표시한다. 그리고 F = 10log(BW1/BW2)로 정의된다. BW1과 BW2는 각각 희망 및 간섭 위성의 전송신호대역을 의미한다. 그리고 L은 경로 손실차이를 의미하며, Y는 편파분리이득차를 의미한다.

- 중계기 할당 알고리즘

각 위성망에서의 중계기 할당안이 그림(4)와 같다면 중계기 할당 최적화 절차는 다음과 같다.

단계1 : 간섭행렬의 작성

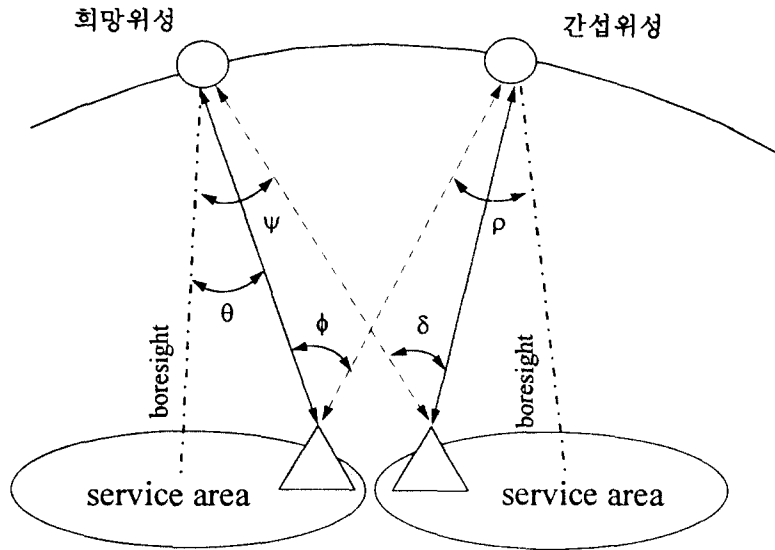


그림 3. 위성방간에 발생하는 동일채널 간섭

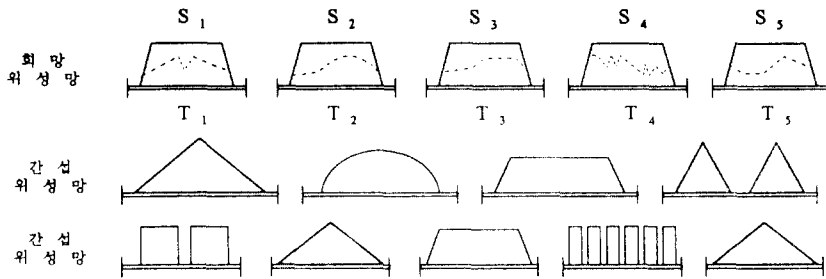


그림 4. 각 위성망에 대한 중계기 할당안

각 서비스 유형에 따른 동일채널 간섭을 계산하여, 다음과 같이 중계기 할당에 따른 간섭 행렬을 작성한다. 여기에서 최적화에 대한 기준 (Link Margin에 의한 기준, 절대 간섭량에 의한 기준, C/I 비에 의한 기준 등) 설정에 유의하여야 한다.

	T1	T2	T3	T4	T5
S1	3	2	2	6	7
S2	5	9	3	3	10
S3	10	3	9	9	12
S4	7	6	6	8	6
S5	3	8	4	6	9

단계 2: 최적화 알고리즘 적용

Min-Max, average Max 등 여러가지 기준에 의한 최적화가 가능하다. Min-Max 적용에 대한 예는 다음과 같다.

$$\text{Min } \sum_{i=1}^n d_i x_i$$

subject to $\sum_{i=1}^n x_i = 1$ for all i

단계 3: 최적할당 방안 도출

서비스 ID	중계기 할당 방안
S1	→ 중계기 1번
S2	→ 중계기 4번
S3	→ 중계기 2번
S4	→ 중계기 5번
S5	→ 중계기 3번

3-3. 중계기내의 주파수 배치

단일 반송파가 아닌 다중 반송파 전송시 특히 혼변조 잡음에 의한 신호열화가 두드러진다. 혼변조잡음 효과는 비선형 증폭기의 동작점과 반송파 주파수들의 함수이므로 동작점을 최적화시킨 상태에서도 중계기내의 주파수 배치를 최적화함으로써 그 효과를 최소화할 수 있다.

• 중계기내의 주파수 배치를 위해 요구되는 기술

- 혼변조잡음 계산기술

TWTA의 비선형 증폭효과에 의해 발생하는 혼변조 잡음을 계산하는 과정은 매우 복잡하다. 여기에서는 접근방법에 대해서만 간단히 소개하도록 한다. N

개의 반송파가 있을때 TWTA의 입력신호와 출력신호는 각각 다음과 같다.

$$S_1(t) = \text{Re} \left[\sum_{k=1}^M A_k(t) \exp[j(\omega_c t + \omega_k t) + \theta_k(t)] \right]$$

$$S_o(t) = \exp(j\omega_c t) \sum_{k_1=-\infty}^{\infty} \sum_{k_2=-\infty}^{\infty} \dots \sum_{k_N=-\infty}^{\infty} \prod_{i=1}^N$$

$$\exp(jk_i(\omega_i t + \phi_i)) \cdot M(k_1, k_2, \dots, k_n)$$

$$M(k_1, k_2, \dots, k_n) = \int_{\rho} \int_{\gamma} \left[\prod_{i=1}^N J_{k_i}(A_i \gamma) \right] \rho G(\rho)$$

$$\exp(jF(\rho)) J_1(\rho \gamma) d\rho d\gamma$$

여기서 $M(k_1, k_2, \dots, k_N)$ 이 혼변조 잡음이다. 아래와 같이 비선형 특성을 1종 1차 Bessel 함수로 Fitting하면 다소 쉽게 혼변조잡음을 계산할 수 있다.

$$G(\rho) \exp(jF(\rho)) = \sum_{s=1}^L b_s J_1(\alpha s \rho)$$

$$M(k_1, k_2, \dots, k_N) = \sum_{s=1}^L b_s \prod_{i=1}^N J_{k_i}(\alpha s \rho)$$

- 주파수배치 알고리즘

혼변조 잡음은 그림(5)에 나타난 바와 같이 반송파

경우	조합형태	주파수	전력
A	$k_1 = 1, k_2 = 1, k_3 = 1$	$\omega_s = 80$ [MHz]	$0.5 \cdot M(1, 1, -1) ^2$
B	$k_1 = 1, k_2 = 1, k_3 = 1$	$\omega_s = 120$ [MHz]	$0.5 \cdot M(1, -1, 1) ^2$
C	$k_1 = -1, k_2 = 1, k_3 = 1$	$\omega_s = 220$ [MHz]	$0.5 \cdot M(-1, 1, 1) ^2$
D	$k_1 = -1, k_2 = 0, k_3 = 2$	$\omega_s = 240$ [MHz]	$0.5 \cdot M(-1, 0, 1) ^2$
E	$k_1 = -1, k_2 = 1, k_3 = 0$	$\omega_s = 200$ [MHz]	$0.5 \cdot M(-1, 2, 1) ^2$
F	$k_1 = 2, k_2 = -1, k_3 = 0$	$\omega_s = 50$ [MHz]	$0.5 \cdot M(2, -1, 0) ^2$
G	$k_1 = 0, k_2 = 2, k_3 = -1$	$\omega_s = 130$ [MHz]	$0.5 \cdot M(0, 2, -1) ^2$

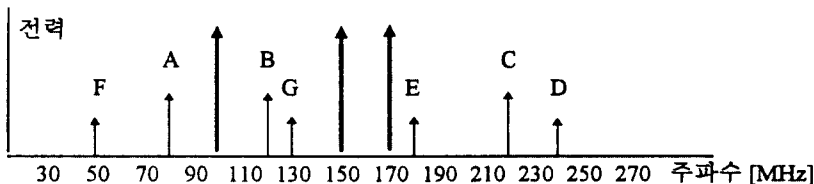


그림 5. 혼변조 잡음의 주파수

들의 주파수 함수이므로 중계기 내에서 반송파들의 주파수를 적절히 배치함으로써 혼변조 잡음효과를 최소화 할 수 있다. 주파수가 각각 100, 150, 170 [MHz]인 3개의 반송파가 TWTA에 입력된 경우의 혼변조잡음의 주파수 및 전력 혼변조 잡음을 고려한 주파수 배치 알고리즘에서 closed form의 알고리즘은 현재까지 알려진 것이 없고 주로 Hueristic 알고리즘들만 제안되어 있는 실정이다. 이들 알고리즘으로는 DELINS, INSDEL, DVINS, DIRIC, TDTI 등이 있다. 본 고에서는 Hueristic 알고리즘들에 대한 내용은 언급하지 않는다.

- 보호대역의 설정

위성통신 자원중 중계기 내역은 매우 중요하므로 각 서비스들이 요구품질을 만족한다면, 보호대역을 최소화해서 유용한 대역을 최대한 확장해야 한다. 유용한 대역폭이 확장된 경우에도, 비선형증폭이 소신호 전력신호를 억압하여 증폭하는 효과가 있기 때문에 확장된 대역을 이용해서, 다른 신호에 비해 전력레벨이 아주 작은 소신호를 증폭하는 것의 의미가 없을 수도 있다. 보호 대역 설정시 무엇보다도 중요한 것은 인접채널간의 간섭효과 (중계기 동작점과 채널필터 특성의 함수)를 정확히 예측하는 것이다. 이는 S/W 시뮬레이션에 의해 평가될 수 있다.

3-4. 중계기 동작점 설정

위성링크의 총 신호대 잡음비는 다음과 같이 결정되므로 중계기의 동작점은 상/하향 일잡음과 신호대 간섭비를 종합 고려했을 때 그림(6)에서와 같이 신호대 잡음비가 최대가 되는 지점으로 설정하여야 한다.

$$(C/N)_T = 1 / [\frac{1}{(C/N)_{up}} + \frac{1}{(C/N)_{dn}} + \frac{1}{(C/I)}]$$

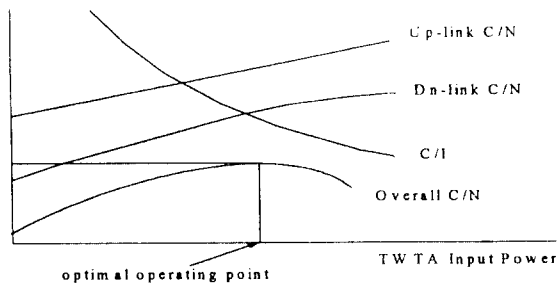


그림 6. 중계기의 동작점 설정

중계기 동작점 설정을 위해서는 링크계산 기술과 혼변조잡음/변조전달 계산 등의 기술이 요구된다.

3-5. 반송파별 전력할당

그림 (7)에서와 같이 각 반송파들이 받는 간섭량 (강유효과, 인접채널간섭, 동일채널간섭, 혼변조잡음 등)은 일반적으로 서로 다른 데, 이들간의 차이가 특히 심한 경우에는 반송파레벨에서의 전력할당을 통하여 지미스 잡음을 균등화할 수 있다.

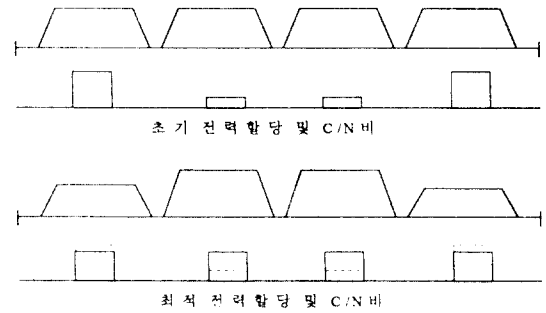


그림 7. 전력제어에 의한 C/N비의 조절

특정 반송파에 대한 전력제어는 반송파들 상호간에 매우 민감한 영향을 초래하므로, 전력제어 이후에 초래되는 영향을 매우 정확히 예측해 본 후, 반송파별 전력할당 방안을 수립해야 한다.

IV. 결 론

본 고에서는 위성통신망의 방관리 및 운용에 대한 개략적인 구조와 방용용 계획 수립시 고려되어야 할 기술적 내용들을 간단히 언급하고 살펴본다. 본 고에서 언급된 요소들을 고려하여 위성망의 운용 과라 메타를 설정하면 안정된 위성망 자원의 사용효율을 극대화하는 운용계획을 수립할 수 있을 것이다. 부분화 위성의 운용을 눈앞에 둔 시점에서, 초기계획 뿐만 아니라 특히 운용중에 직접 활용할 수 있는 기술개발은 매우 시급한 실정이다. 현재 ETRI 위성망 연구실에서는 방용용 최적화를 지원하기 위한 제반 기술들을 분석/개발하고 있으며 위성망 운용중에 직접 적용할 수 있는 기술들에 대해서도 계속 연구를 수행하고 있다. 이러한 기술들은 차후 국내에 축적될 부분화 위성의 운용기술/ 경험들과 종합하여 차세대 위성망 구

축서 시스템의 설계 단계에서 부터 고급기술이 반영 될 수 있도록 꾸준히 개발되어야 할 것이다.



공 남 수

- 1979년 2월 : 부산대학교 전기공학과 학사
 - 1990년 2월 : 충북대학교 전자계산기 공학과 석사
 - 1980년 4월 : 한국전자통신 연구소 입소
 - 1992년 10월 ~ 1994년 12월 : 위성망제어 연구실장
 - 1995년 10월 ~ 현재 : 위성통신기술 연구단 책임연구원
- ※ 관심분야 : IOT/CSM 및 Network Monitoring 위성 기반 광대역 종합통신망 구조



고 성 찬

- 1987년 2월 : 성균관대학교 전자공학 학사
 - 1989년 2월 : 성균관대학교 전자공학 석사
 - 1993년 2월 : 성균관대학교 전자공학 박사
 - 1993년 3월 : 한국전자통신연구소 입소
 - 1993년 ~ 현재 : 위성망연구실 선임연구원
- ※ 관심분야 : 위성통신망 최적설계, 위성통신망 성능 분석



황 인 관

- 1979년 : 아주대학교 전자공학 학사
 - 1989년 : Polytechnic University 전기공학 석사
 - 1990년 : Polytechnic University 전기공학 박사
 - 1982년 ~ 현재 : 한국전자통신연구소 위성망연구실장
- ※ 관심분야 : 위성통신망 최적설계, 이동위성 통신시스템, 디지털 통신시스템