

위성통신 기술과 서비스 동향

황보 한* 이 명 수**

(*한국통신 위성사업단장, **한국통신 위성사업단 위성기술부장)

■ 차 례 ■

1. 서론	3. 미래의 위성통신 기술
2. 현재의 위성기술 동향	가. on-board processing 통신 payload
가. 위성통신기술의 발전과정	나. 위상 배열 안테나
나. 오늘날의 위성통신기술	다. 디멀티플렉싱 / 복조의 일괄처리 기술
1) 위성체 무게 및 전력과 기술수준	라. Subchannel Switched FDMA(SS / FDMA) 기술
2) 현재의 위성기술	마. on-board 스위칭
가) 안테나 기술	4. 기술발전에 따른 위성 서비스 전망
나) 신호 증폭부	가. 미래의 위성 서비스 고찰
(1) 저잡음 증폭부	나. ISDN 호환의 위성통신 시스템
(2) 송신 증폭부	다. Radio Telephone Service
다) 신호 routing	라. Private Mobile Radio Service
라) 위성체 버스 기술	5. 맺음말
마) 위성체 자세 제어	

1 서론

1964년 5월 위성통신 시대의 개막을 알리는 INTELSAT 1호의 성공적인 진수이후에 위성통신의 발전은 주로 해저 케이블에 의해 가능한 영역을 넘어서는 대양간의 국제 전화에 대한 수요에 따라서 이루어졌다. 즉 광역의 커버리지를 갖는 안테나를 탑재한 작은 위성으로 아주 외진 산골짜기에 위치한 크고 비싼 지상 터미널 사이에 미약한 신호를 전송하는 것이 고작이었다.

그러나 70년대와 80년대에 들어와서 이러한

양상은 점차 변하여 위성 통신 payload는 좀더 지향성있는 안테나를 이용하게 되었고 다중빔, 고출력 증폭기, 좀더 높은 주파수 대역의 이용이 가능하게 되면서 지상터미널의 크기와 가격을 상당히 줄이게 되었다. 기술의 발전은 2000년을 바라보면서 좀더 좁은 빔폭, 빔의 수와 위성출력의 증가, 디지털 신호의 재생을 위해서 on-board processing의 도입, 상하향 빔간의 신호에 대한 패킷 스위칭의 실현, 필요시 동적으로 hop 될 수 있는 위상배열 협대역 다중빔 안테나 (phased array narrow multibeam antenna)의

위상탐재, 많은 상향 반송파를 프로그램제어에 의해서 일괄적으로 디멀티플렉싱 / 복조할 수 있는 on-board 처리등의 방향으로 발전하고 있다. 모든 이러한 기술 발전은 지구상의 모든 곳에서 매우 작고 값싼 지상터미날을 이용하여 일대일의 지상링크에 방해를 주지 않고 통신을 제공하도록 고정 및 이동 터미날에 매우 효과적인 위성음성, 데이터 및 비디오 서비스를 제공코자 하는 목적을 갖는다.

아울러, 위성을 이용한 서비스 형태와 운용 주파수 대역, 채널당 전력, 위성 수명등이 현시하게 향상되면서 국가 및 지역 위성의 수가 증가하여 국가 및 지역 통신망 구축에 중요한 위치를 차지하게 되었다. 즉 위성당 트랜스폰더 채널 수, 트랜스폰더 채널당 회선 용량, 위성궤도 수명, 년간 회선당 전체 시스템 가격의 저하에 의해서 통신 위성의 역할은 급격하게 증가하고 있는 것이다. 국가 위성에 도입된 기술도 통신 payload, 위성체 버스의 설계, 지상 터미날 성능 분야에서 급격히 진보하였다. 보다 가벼운 중량의 구조, 보다 효율적인 전력변환 및 보다 높은 추진력은 payload 중량 부문과 운용 수명을 향상시켜서 트랜스폰더 채널 수와 전력 레벨의 증가를 가져오게 하였다. 지상 터미날 분야도 수신기 감도, 증폭기 신뢰도 및 모뎀효율이 증가하여 년간 회선당 시스템 운용비의 지속적인 절감을 가져오게 되었다.

본 고에서는 지역 및 통신 위성에서 현재 널리 활용되고 있는 위성기술중 위성체 기술과 관련하여 위성 기술의 발전 과정과 현재의 위성기술 수준등을 개략적으로 기술하고 향후 기술개발에 따라 위성 시스템도 도입될 새로운 기술 동향을 고찰한다. 그에 따른 위성서비스 조건을 기술발전과 연계하여 검토하고 미래에 수용 가능한 위성 서비스의 형태를 소개한다. 끝으로 맺음말에서는 국내의 낙후한 위성기술의 수용 방안을 검토하므로써 국내에도 1995년 4월을 시점으로 개막될 위성통신시대에 적극적으로 대처할 수 있도록 위성기술 축적에 일익을 담당코자 한다.

2. 현재 위성기술 동향

가. 위성통신기술의 발전과정

통신용 payload 기술의 개발은 계속적으로 증가하는 이용자 서비스의 수용을 가능토록 하는 정지 궤도 위성체 버스기술의 발달과 함께 이루어졌다. 초기 위성의 통신용 payload는 비교적 간단하고 유연성이 없는 트랜스폰더 중계기로 넓은 지역의 커버리지범 내의 지역에서의 상향신호를 받아 주파수변환 및 증폭하여 같은 범위의 지상터미날로 재전송하였다.

위성크기와 중량 및 방사체 설비 제한과 관계 있는 통신용 안테나는 초기에 C-band(6/4 GHz) 주파수를 이용하여 비교적 효율적인 범커버리지 지역을 수용할 수 있었다. 초기 C-band payload에 의해 발생하는 총 RF 전력은 100~150W 정도였다. 위성체 버스 시스템이 좀 더 큰 부기, 무게, 전력의 payload를 수용하게 되고 방사체 시설 제한이 완화되면서 보다 큰 안테나와 보다 큰 채널용량을 갖는 보다 높은 전력의 트랜스폰더가 개발되었다.

Ku-band 주파수를 이용하게 되면서 안테나시스템의 설계는 높은 이득, 좁은 빔폭의 커버리지를 수용하게 되어 이용자에게 보다 높은 중계기 유용성과 증가된 RF 전력을 제공하게 되었다. 오늘날의 Ku-band 통신 시스템은 이용자의 커버리지 요구에 맞도록 빔의 형태를 선택할 수 있게 되었으며 빔당 / 채널당 트랜스폰더를 재구성할 수 있게 되었다. 대개의 운용되는 Ku-band 시스템은 보통 800W 정도의 RF전력을 공급하게 되었다. 다음 세대의 통신 payload에는 on-board 프로세서에 의해서 운용되는 가변적인 spot-beam 커버리지를 갖는 높은 이득의 안테나가 탑재되어서 채널의 상호 연결 및 빔대 빔의 신호 routing은 물론 on-board 복조, 디지털 에리징징, 저장, 재변조 및 분배기능이 트래킹 밀도 또는 이용자 요구에 따라 이루어질 것이다.

나. 오늘날의 위성통신기술

1) 위성체 무게 및 전력과 기술수준

통신위성 payload에 사용되는 기술을 논하는데 있어 편의상 위성을 몇개의 기능 블록으로 나누어 보는 것이 바람직하다. 신호가 위성을 지나가는 경로에 따른 기능들은 수신안테나, 저잡음 증폭기, 주파수변환(대개 저잡음 증폭부와 함께 수신기로 통합), 다중화, 신호경로, 고전력증폭, 전송 안테나에 의한 신호 전송이다. 이러한 기능들은 크게 송수신 안테나부, 신호증폭부, 신호경로부로 대별할 수 있다.

payload에서의 기술이용을 평가하는데 위성가격을 대략적으로 짐사하는 것도 도움이 된다. 정지 궤도상의 위성가격을 좌우하는 것은 위성체 가격과 발사 가격이다. 통신위성을 설계, 제조, 조립 및 시험하는 비용은 주로 전체적인 위성무게와 밀접한 관계를 갖는다. 그러므로 위성체 무게의 효율적인 이용이 매우 중요하게 된다. 통신 payload는 보통 위성체 무게의 약 25%를 차지한다. 그림 1은 대표적인 통신위성의 여러 부속 시스템의 무게를 위성체 dry mass에 대한 백분율로 조사한 것이다. payload 무게와 위성체 발사 무게 사이의 관계를 예를 들어 조사하여 보면 payload 무게 1Kg을 줄이면 발사 무게는 약 8Kg을 줄이는 결과가 된다. 그림 2는 대표적인 통신위성 payload를 부속시스템 별로 무게를 나누어 도시한 것으로 안테나와 송신기가 가장 무거운 부분임을 알 수 있다. 그러므로 payload에 대한 기술적인 개선은 최소의 무게를 갖으면서 우수한 성능과 수명기간동안 높은 신뢰성을 유지하는 부속들을 설계하는 것이다.

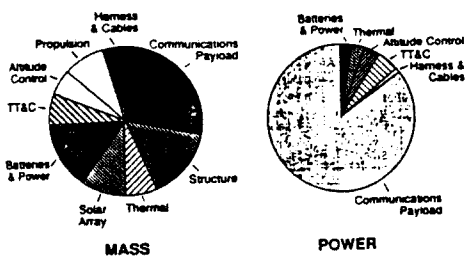


그림 1. 위성시스템 무게 및 전력 비율

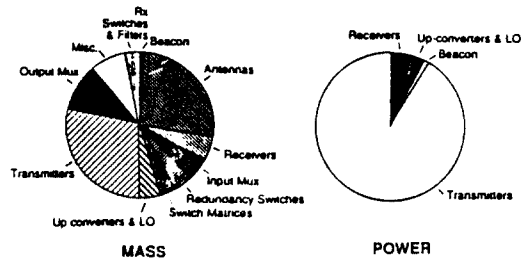


그림 2. payload의 무게 및 전력 비율

2) 현재의 위성기술

가) 안테나 기술

정지 궤도상에서 현재 이용하고 있는 안테나는 크게 global coverage를 제공하는 horn 안테나, 단일 offset reflector를 이용하여 서로 직교한 편파를 가지며 다중빔을 발생시키는 shaped-beam 안테나 그리고 하나 또는 2개 이상의 feed horn을 가지며 단일 reflector로 구성된 steerable spot beam 안테나로 구별된다. 만일 또는 이중편파(dual polarization)를 갖는 global horn의 설계는 이미 잘 해석되고 있고 이득에 있어서도 개선이 되어 구현되었다.

shaped-beam 안테나의 경우 단일 reflector 시스템이 현재 널리 사용되는데, 이것은 무게가 가볍고 위성체상에 간단하게 설치되고 focal plane이나 최적화된 feed locus 표면에 feed cluster를 위치시켜 가능하기 때문이다.

offset parabolic 단일 reflector는 가장 널리 사용되는데 이것은 편파순수도 문제를 야기시키는 blockage를 최소화하거나 이득, 빔폭, 측대파 및 편파성능을 감퇴시키는 바 이상적인 feed 위치로부터 야기되는 위성변이에 의한 scan 범의 제한을 없앨 수 있기 때문이다. 그러나 성능감퇴는 긴 focal length에 의해서 줄일 수 있지만은 궁극적으로 기계적 설치의 문제가 있고 안테나 전개 메카니즘이 필요하여 위성 dynamics가 더욱 조장하기 어렵게 된다.

shaped-beam 안테나는 대개 고체나 그물형상의 표면을 갖는 단일 parabolic reflector로 구현되어 빔이 feed 군집에 의해 방사된다. 저손실의

빔구멍(beam-forming network : BFN)은 이 feed 들에 위상과 크기에 있어 적당한 여기(excitation)을 제공한다. BFN은 대개 저손실에 대해 최적이지만 반면 질량과 부피가 큰 단점이 있다. 스위칭 가능한 BFN은 궤도에서 재구성을 위해 이용된다.

이 형태의 안테나 예로 1989년 발사된 INT-ELSAT VI 계열을 들 수 있다. 이것은 C밴드에 할당된 대역폭을 6배 가량 재사용하는데, 즉 두개의 반구빔과 4개의 지역빔(2개는 동, 2개는 서)이다. 아울러 이중 편파의 global 안테나와 ku-band에서의 이동 sopt beam을 이용하고 있다. 3680MHz의 대역폭을 동시에 2400회선의 쌍방향 전화호출은 물론 3개의 TV 채널까지 수용하도록 효과적인 이용이 가능하게 된다. 디지털 전송인 경우 120,000 회선의 쌍방향 전화 호출이 C-band에서 580MHz 대역, ku-band에서의 500MHz 대역에서 가능하다. 그러나 송신기에서 방사부까지의 감쇄 손실의 약 3~4dB로 유용한 송신 전력의 절반 이상이 낭비됨을 의미한다. 따라서 이러한 기술은 많은 수의 출력을 송출함에 적합치 못하므로 새로운 해결책을 모색하여야 한다.

나) 신호 증폭부

(1) 저잡음 증폭기

위성수신기는 현재 FET(Field Effect Transistor) 나 HEMT(High Electron Mobility Transistor)와 같은 discrete device를 이용한 저잡음 수신기를 사용하고 있으며 대개 MIC(Microwave Integrated Circuit)을 이용하여 구성된다.

FET는 이미 실제 위성체에 활용되고 있으나 HEMT는 space-qualified된 상태이다. FET를 사용하는 경우 동작온도 범위에서 수신기 noise figure는 C-band에서 3.0dB 이하 ku-band에서 4.5dB 이하를 나타내며 HEMT의 경우는 같은 조건하에 C-band와 ku-band에서 각각 2.0dB 와 3.5dB를 나타낸다.

(2) 송신 증폭기

현재 TWTA가 주로 송신증폭기로 널리 사용되고 있다. 튜브의 RF 출력전력은 C-band와 ku-band에서 50~80W까지 가능하다. 대표적인 65W의 ku-band TWTA의 무게는 3.2Kg 정도로 TWT가 1Kg, power supply가 2.2Kg 정도를 차지한다. 200~300W 정도 고전력 튜브가 방송용으로 개발되었지만 사용되고 있지는 않다. TWTA의 DC-TO-RF 효율은 40%까지 튜브효율은 60%까지 접근하고 있다.

그러나 TWTA가 허용 가능한 intermodulation 과 crossmodulation 레벨까지의 back-off에서 동작하는 경우 그 효율은 급격히 감소하게 된다. 증폭기당 하나의 반송파인 경우 포화점에서 증폭기 동작이 가능하지만 다중 반송파의 경우는 back-off가 요구되어 20~30dB의 two carrier C/I가 요구된다. 이것은 결과적으로 DC-TO-RF 효율을 10~20% 감소시킨다.

지난 과거 수년동안 SSPA(Solid-State Power Amplifier)는 C-band에서 10W까지의 출력을 갖도록 개발되었고 그 이후 SSPA는 많은 위성에서 이용되었으며 C-band에서 20W까지의 출력을 갖도록 개발되었다. ku-band에서는 RF 출력이 5~10W, 효율이 40%가 되는 SSPA가 개발되었다. 그 이상의 고출력 증폭기가 개발은 되었지만, 그 효율이 매우 낮으며 ku-band인 20GHz에서는 RF출력이 12W, 효율이 15.5% 되는 SSPA가 실험적으로 개발되었을 뿐이다. 그러나 SSPA가 그 효율이 낮지만 TWT에 비해 포화점 가까이에서 선형성이 좋고 낮은 전압에서 동작하며 신뢰성이 좋고 무게가 가벼운 잇점이 있다.

다) 신호 Roting

현재 이중 모드(하나의 물리적인 cavity에 두 개의 전기적 mode가 존재하는) 필터가 운용 중인 위성체에 널리 사용되고 있다. 고속의 on-board 복조를 위해서 균지연이 equalized된 pulse-shaping 필터와 같이, 복잡한 필터 기능이 하나의 가벼운 무게 구조를 가지면서 실현되었다. 채널당 0.15Kg의 무게가 나가는 입력다중화기가 coaxial 구조로 사전 왜곡된 필터 기능을

이용하거나, quadruple mode 필터를 이용하여서 구현되었다. 이 기술을 이용한 출력 다중화기도는 이미 개발되었다.

RF matrix 스위치는 많은 위성프로그램에서 SS-TDMA를 위해 개발되었다. 개발된 RF 매트릭스 스위치에서는 MIC 기술을 이용하였으며, 매트릭스의 각 접점에 사용된 PIN 다이오드나 dual-gate FET 스위치는 고속의 driver에 의해서 제어된다. 그러나 신뢰성 및 조립 기술의 제한으로 15×15 이상의 매트릭스 구현은 어렵다.

베이스밴드에서의 빔을 상호 연결하기 위해서 RF 반송파는 먼저 복조되어야 한다. 전송율에 따라 on-board 디지털 신호는 복조되는 방법을 2가지로 대별한다. 50Mbps 이상의 고속 전송에 대해서는 마이크로웨이브 pulse-shaping 채널필터와 디지털 논리를 갖는 아날로그 다중화기로 구성되는 아날로그 회로가 사용된다. 저속의 경우는 채널필터와 저속의 디지털 회로를 거치면서 아날로그 방식에 의해 주파수변환되도록 구현되었다. NASA에서 진행중인 ACTS(Advanced Communication Technology Satellite) 프로그램에 따라서 110/27.5Mbps 급의 dual-rate 모뎀이 개발되었다. on-board 베이스밴드 처리기술도 미래의 통신위성에 사용되도록 유럽과 일본에서 개발중에 있다.

1990년에 발사된 이탈리아의 실험 통신위성인 ITALSAT에서는 9개의 복조기, 베이스밴드 스위치 매트릭스, 12개의 재변조기를 이용하여 147Mbps에서 SS-TDMA로 6개의 spot beam을 연결하는 베이스밴드 처리 페어로드를 탑재하고 있다.

라) 위성체 버스 기술

발사시 위성체 중량에 있어 가장 큰 비중을 차지하는 것은 위성 수명 기간동안 station-keeping 을 위해 사용되는 연료이다. 현재 두가지 종류의 액체연료(hydrazine과 nitrogen tetroxide)를 갖는 bi-propellant 시스템이 널리 사용되는데 두 액체연료는 분리 저장되어서 접합된다. 화학 에너지 보다 전기 에너지가 station-

keeping 을 위해 사용할 수 있다면 상당한 무게 감소가 이루어질 수 있다. ion beam을 이용하여 그러한 전기 thruster가 개발되고 있으며 일본의 실험위성 프로그램에서 제일 먼저 사용될 전망이다.

NiH2 배터리는 NiCd에 비해 7대 5 정도의 더 큰 'depth of discharge'를 허용하여서 NiCd 배터리보다 과충전으로 인해 해가 적다. 현재 NiCd 대신 NiH2가 널리 사용되고 있다. 하나의 CPV(Common Pressure Cavity)에 수용되는 NiH2 배터리의 도래로 그 활용이 가속화 될 것이다. NiCd CPV 배터리는 Kg당 3WH를 제공하는 NiCd 배터리에 비해 Kg당 4.2WH의 에너지 출력이 가능하다.

또 하나의 변화는 실리콘 solar cell 대신 GaAs 로의 대체이다. GaAs solar cell은 태양광을 전기로 변환하는 효율이 더 높다는 것이다. 이론적으로 실리콘이 22%, GaAs가 24%이다. 더우기 solar photon은 GaAs로의 침투 두께가 얇아서 solar cell 자체가 얇아지고 그로 인해 위성체 무게가 가벼워지는 것이다. 현재 solar cell panel은 위성 수명동안 Van Allen 방사 belt에 의한 손상의 보상을 위해서 10% 마진을 갖고 동작하도록 설계된다. 얇은 cell은 이온화에 의한 방사 손상이 작아 GaAs로의 대체는 우선적으로 군사 위성에 적용될 것이다.

마) 위성체 자세제어

초기의 위성은 omnidirectional antenna로 모든 방향으로 신호를 방사하였다. 오늘날 통신 위성은 지구의 한 지점에 방사전력을 협대역 빔으로 전송하는 안테나를 탑재하게 되었다. 위성의 방향은 위성체의 자세제어 부속시스템에 의해서 유지되는데 body-stabilized와 spin-stabilized 방식으로 대별된다. 그러한 자세제어 시스템에 대한 개념이 그림 3에 도시되었다. Pointing에 대한 오차는 센서에 의해서 검출되고, rotation wheel의 속도(또는 축)를 변화시켜서 교정한다. 만약 wheel의 속도가 한계에 다다르게 되면 thruster를 이용하여 wheel 속도를 줄일 수 있게 된다.

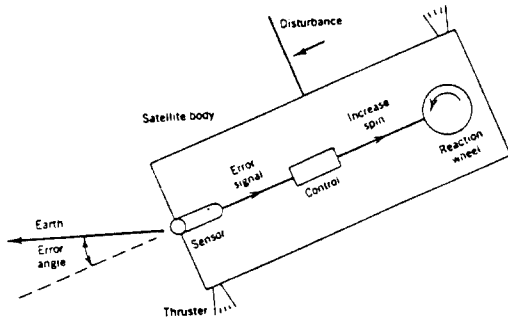


그림 3. body-stabilized 위성의 자세제어 시스템 개요도

자세 제어 시스템에 대한 요구되는 성능은 존재하는 disturbance torque와 요구되는 pointing accuracy에 의해서 설정된다. 정지위성에 대한 주요한 disturbance는 태양방사의 불균형 및 thruster의 오배열에 의한 torque이다. 자세제어를 위해서 사용된 주요 센서는 지구센서 또는 rf 센서이지만 태양센서, star tracker 및 gyroscope 등이 다른 장치가 자세제어를 위해서 사용된다. 양방향으로 회전할 수 있는 Reaction wheel과 한 방향으로만 회전하는 momentum wheel이 위성의 자세를 교정하기 위해서 사용된다. 이 때 Hydrazine thruster는 wheel이 더 이상 자세제어를 유지할 수 없을 때 주로 사용된다. 끝으로 제어시스템은 센서로 부터 정보를 얻어 wheel과 thruster에 적당한 정보를 보내게 된다.

자세제어에 사용되는 기본적인 물리적 개념이

표 1. 자세제어에 사용된 기본 물리개념

Quantity	Formula	Dimensions		Linear analog
		Metric	English	
Angle	θ	rad	rad	Distance
Angular velocity	$\omega = \dot{\theta}$	rad / sec	rad / sec	Speed
Torque ^a	$N = Fd$	N · m	ft · lb	Force
Angular momentum	$h = Nt$	N · m · sec	ft · lb · sec	Momentum
Moment of inertia	$I = h / \omega$	N · m · sec ²	ft · lb · sec ²	Mass
Radius of gyration	$r_g = \sqrt{I/m}$	kg · m ²	slug · ft ²	
		m	ft	

^aTorque N equal to force F times lever arm d , the perpendicular distance to center of rotation.

표 1에 열거되어 있다. 이 개념들은 전체 위성에 적용되거나 위성의 wheel에 적용되기도 한다.

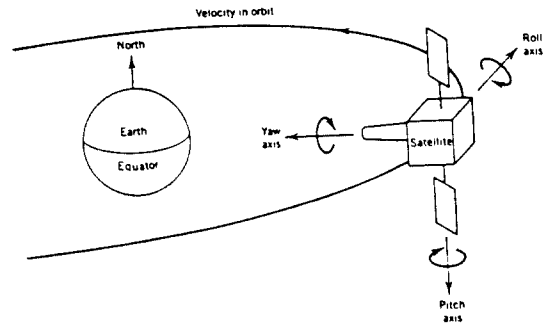


그림 4. 위성자세제어를 위한 좌표계

위성의 자세를 정의하는데 사용된 좌표계가 그림 4에 도시되었다. 좌표계는 위성의 구조에 대해서 고정되어 있다. 좌표계의 원점은 위성의 무게중심이 된다. 대개의 위성자세제어에서 yaw 축은 좌표계의 원점과 지구 무게 중심을 지나는 선으로 지구 방향이 양의 값을 갖으며 pitch 축은 궤도평면과 수직인 축이며 보통 남쪽이 양의 방향이며, roll 축은 yaw와 pitch축에서로 직교한 축으로 움직이는 방향이 양의 방향으로 속도 벡터가 된다. 이 축들에 대한 회전은 오른손 법칙에 따라 정의되는데 즉 축을 따라 오른 손가락을 돌릴 때 엄지손이 양의 방향을 가리키며 다른 손가락의 방향이 양의 회전 방향이 되는 것이다. 따라서 양의 pitch 회전은 빔을

동쪽으로, 양의 roll 회전은 빔을 북쪽으로 그리고 양의 yaw 회전은 빔을 시계방향으로 돌리게 하는 효과를 갖는다.

[3] 미래의 위성기술

향후 많은 기술 개발이 위성 수명의 연장, 신뢰성 향상을 위해 진행되고 있다. 그리고 위성체 무게의 감소는 물론, 지상 부문에서도 수신기 안테나 및 고속 디지털 전송등의 여러 분야에 대해 개발이 이루어지고 있지만 본 고에서는 위성체 분야에 대해 국한하여 고찰한다.

가. On-board Processing Communication Payload

향후 통신 payload의 설계는 그림 5와 같이 on-board 통신 / 정보 처리가 가능한 다중의 spot beam 위성의 방향으로 진행될 것이다.

다중 spot beam은 기본적으로 주파수 재사용의 의미가 크지만 더욱 중요한 것은 작은 지상 안테나로 수신이 가능하다는 것이다. 또한 빔 중의 하나를 위성간의 링크 연결로 사용할 수

있다는 것이다. 상향 신호가 디지털 데이터를 전송하는 경우 payload는 복조 및 디코딩을 하여 원래의 베이스밴드 데이터비트를 복원하게 된다. 이 때 비트 레벨의 채널은 스위치에 의해서 사용자의 요구에 따라 그 경로가 재 설정되어 상하향 빔간의 트래픽 경로배정을 새로이 할 수가 있는 것이다. 스위치의 구동은 지상에서의 명령에 따라 회전 스위치내의 관례적인 signaling에 의해서 제어된다. 디지털 신호는 복조에 의해 재생된 후 재변조될 때 에러율은 상하향 링크상의 손상이 존재할 경우 3dB 정도 감소된다. 더우기 상하향 링크의 다중화와 변조형식이 전체적으로 독립적이고 다를 수 있다. 즉 작은 지상터미널은 저속으로 연속적인 FDMA 반송파를 전송하고 단일의 고속 TDM 반송파를 수신한다. 이러한 on-board 처리 payload는 기존의 bent-pipe 형태의 트랜스폰더를 갖는 위성체 상에서 탑재될 수도 있으며 on-board payload에 cross-strapped 될 수 있다.

나. 위상 배열 안테나(Phased Array Antenna)

다중의 좁은 빔을 갖는 위성에서 전기적으로

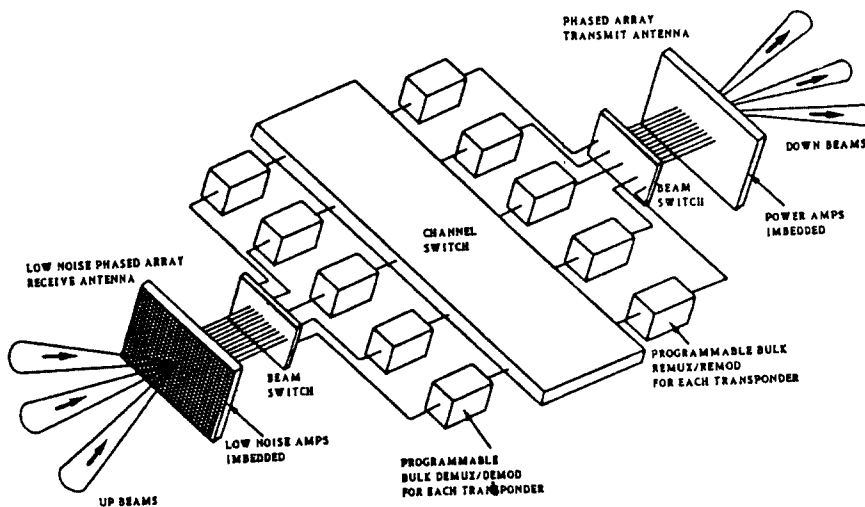
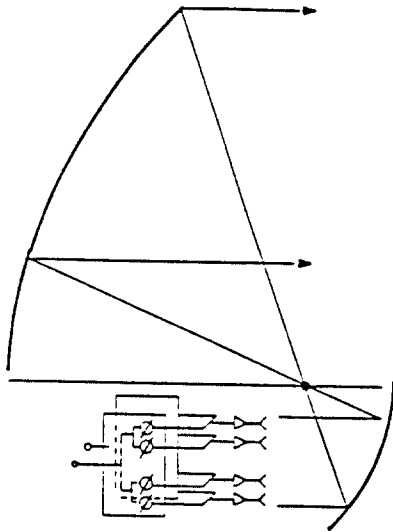


그림 5. 온보드 처리의 통신 payload



조정 가능한 빔의 구성은 위상 배열 안테나에 의해서 가능하다. 정지궤도로 부터의 scan angle (+ / -8도)이 작으면 안테나의 설계를 간단히 할 수 있는데 이것은 array element가 충분한 간격(예를 들어 반파장 이상)을 가져 feed가 크고 element 수가 적어져 상호 결합 문제를 줄일 수 있기 때문이다. 10도 이하의 빔을 발생시키기 위해서 직접적인 방사 array를 이용하면 큰 array의 사용을 요구하게 된다. 이것은 기술적으로 가능하지만 더 좋은 방법으로 그림 6과 같이 Gregorian 배열을 이용하면 작은 array로 구현할 수 있다. 그림 6의 구조에서는 10개의 element가 좁은 빔을 발생하기 위해서 이용되었다. 빔은 이웃 element에 대해서 신호를 위상 변화시키도록 조정된다. 이것은 각 feed element의 바로 뒤에 최종 전력 증폭기를 두어서 쉽게 구현될 수 있다. 주 element당 요구되는 전력이 1~2 와트정도로 작아 이미 개발된 SSPA(Solid State Power Amplifier)로 가능하기 때문이다. 신호는 감쇄기와 위상천이기를 통해 전력증폭기로 가해지는데 이 때 array내의 element group에 의해서 각각의 빔들이 발생된다.

array element에 대한 예비기는 각 빔을 발생

시키기 위해 사용된 element와 위성수명동안 실패 할 기대치의 곱에 의해서 구성된다.

각 최종 증폭기 / feed element 쌍의 앞단에 있는 감쇄기와 위상 천이기를 하나 이상 이용하였을 때 같은 array element 군으로부터 하나 이상의 빔을 발생시키는 것이 가능하기도 하고, 중첩되는 element group을 이용하여 빔을 발생시키도록 array element를 배열할 수 있다.

Phased array 안테나는 quasi-stationary 하고 재구성될 수 있는 다중의 매우 좁은 빔이나 여러 가지 모양을 갖는 빔을 형성하기 위해 사용될 수 있다.

COMSAT 연구소에서 설치된 64개의 array element를 갖는 Ku 밴드 위상 배열 안테나는 array의 각 feed horn이 orthomode transducer를 통해 feed 되는데 이 transducer의 각 부분에는 5 비트의 위상 천이기, 완충 증폭기(buffer amplifier), 5비트 감쇄기 및 구동 증폭기를 포함한 전자 패키지와 심합되어 있다.

다. 디멀티플렉싱 및 복조의 일괄처리

FDMA 위성통신에서 많은 지상 터미날은 많은 저속의 협대역 반송파를 이용하여 위성을 액세스 하게 된다. 이 때 반송파의 크기는 경우에 따라 다르고 트래픽요구에 따라 변한다. 그러한 반송파에 대한 on-board 복조를 위해서는 수백개의 복조기를 요구하게 되고 전송율마다 다른 복조기가 필요하게 되어 더욱 시스템 구성이 복잡하게 된다.

이 문제에 대한 해결이 디지털 기술에 의해서 일괄적으로 처리되는 on-board 디멀티플렉서 및 복조기이다. 그러한 장치는 FFT(Fast Fourier Transform) 프로세서에 의해서 가능하게 된다. 주 수백개의 협대역 채널이나 수십개의 광대역 채널 또는 다른 대역폭을 갖는 혼합채널로부터의 데이터 복원이 가능하게 된다. 이것은 지상으로 부터 프로그래밍되어서 중심 주파수, 대역폭 및 처리되는 채널에 대한 변조방법 등의 종류를 변화시킬 수 있게 된다. 이 방법에서는 Nyquist rate로 복조되는 모든 채널을 포함하는

입력신호가 샘플되고 디지털화된다. 샘플들은 반송파를 선택하는데 요구되는 주파수 해상도에 의해 결정되는 시간영역에서 처리된다. 이렇게 함으로써 모든 채널의 주파수영역에 대한 주기적인 DFT(Dicrete Fourier Transform)가 생성된다. 각 채널은 디지털채널에 따른 가중치를 FFT 계수에 가하여 선택된다. 가중치를 갖는 계수는 inverse FFT에 의해서 베이스밴드 신호로 변환된다. 이 때 디지털 복조기는 데이터비트를 복원하게 된다. 이 방법은 많은 수의 Fourier 계수를 처리할 때 큰 효율을 갖게 된다. 그러한 장치를 구성하기 위해서 요구되는 디지털 구성 소자는 이미 구현되어 있으며, 장차 많은 개선이 이루어질 것으로 예상된다.

라. SS / FDMA(Subchannel Switched FDMA)

SS / FDMA 시스템은 다중 빔 위성통신 시스템의 빔 가운데 개별적인 FDMA 부채널을 스위칭하기 위해서 제안된 새로운 방식이다. SS / FDMA 시스템에서 각 위성 채널은 여러개의 부 채널로 분할되며 각각은 약 10KHz 이하의 대역폭을 갖게 된다. 부채널에 포함된 주파수

다중화된 반송파는 부 채널을 단위로 하여 부 채널상의 상하향 빔들 사이에 상호 연결된다. 즉 고도의 빔 상호 연결을 제공하는것으로 그 구성이 그림 7에 도시되었다.

그림에서 가변의 대역폭을 갖는 SAW(Surface Acoustic Wave) 필터 매트릭스가 부 채널 분리를 위해 사용되었다. 실험적인 SAW 필터뱅크가 KDD 연구소에 의해 구성되어 그 개념을 시험하고 입증하였다. SAW Chirp 변환과 디지털 처리를 결합한 다른 방법이 고찰되고 있는데 그것은 특히 주파수 다중화된 디지털 시스템이 다중빔 위성에서 발사되는 협대역빔에 의해서 커버되는 작은 지구국으로 운영되도록 하는데 유용하다. 이것의 대표적인 미래 활용의 예로 INTELSAT의 IDR(Intermediate Data Rate) 및 IBS(Intelsat Business Service) 시스템을 들 수 있다.

마. On-board Switching

NASA ACTS는 위성에 온보드 T-S-T(Tim-e-Space-Time) 스위치를 장착하도록 설계한 최초의 위성이다. Motorola에 의해서 구성된

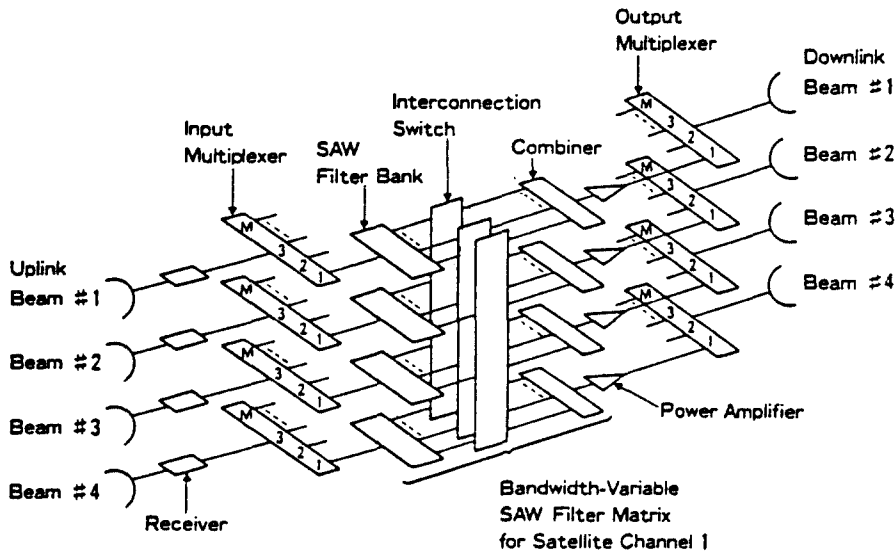


그림 7. SS / FDMA 온보드 스위치

이 스위치는 1728개의 64Kbps 전화채널을 상향의 TDMA hopping 빔 반송파에서 하향의 TDMA hopping 빔 반송파로 경로 설정을 하게 된다. 두 개의 hopping 빔이 상하향 링크에 각각 이용된다. 상향 TDMA burst 심볼율은 작은 (VSAT 크기) 지상 터미날의 경우에는 27.5/13.75 Msymbol/s, 큰 지상 터미날의 경우는 110/55Msymbol/s이다. TDMA의 한 프레임 주기는 1ms이다. T-S-T 스위치의 입출력 메모리는 ping-pong 구조로 각각 구성되며 각 TDMA 프레임의 내용을 저장하고 재분배하게 된다. 각 빔에 대해 하나의 입력과 출력 메모리가 있으며 이것들은 space 스위치에 의해서 상호 연결된다. 스위치는 온보드 SPC(Stored Program Control)에 의해서 제어되며 지상의 주 제어 스위칭 센터로 부터 명령을 받는다.

4. 기술발전예 따른 위성서비스 전망

가. 미래의 위성 서비스 고찰

과거 20년 동안 통신 위성기술은 급속히 발전하였다. 통신 용량에 대한 수요가 급속히 진화하는 기술이 제공할 수 있는 공급보다 컸었다. 동시에 위성의 수명과 신뢰도가 실질적으로 증가하게 되므로써 많은 국가 위성조직 및 국가 나름대로의 위성을 운영하도록 촉진케 하였다. 이에 따라 위성 트래픽에 변화가 생긴 바 미국의 경우 전화에서 TV 중계 및 데이터망으로 트래픽 형태가 변화하고 있는 것이다. 국제적으로는, INTELSAT 위성이 세계의 국제 전화 회선의 대부분을 수용하게 된 것이다. 그러나 해저 광케이블의 도래와 함께 과거의 위성 트래픽 성장 패턴에 변화를 주게 되었다. 통신 위성 시스템이 발달하고 광 케이블이 확산됨에 따라 경제적인 요인이 중요한 논점이 된 것이다. 위성은 가격 효율적으로 커버리지를 수용해야 하고 기술은 미래의 위성을 좀더 효율적으로 제작하도록 이용되어야 한다. 즉 payload의 단위무게당 전달되는 트래픽이 증가되어야 한다. 위성 payload 설계는 트래

픽의 성질과 분배 원칙에 따라 좌우된다. 설계에서 발사까지 수년이 소요되고 설계수명도 12~15년까지 증가하였다. 그러므로 위성용량의 포화가 수명이 끝나는 시점에서 이루어지기 때문에 앞으로 20년 후의 트래픽 요구를 예상할 필요가 있다. 그러한 예상은 필연적으로 부정확하게 되어 신중한 위성설계가 요구되어 위성이 대역폭과 전력을 위성 수명기간 동안 융통성있게 지상 명령에 따라 할당되어 위성의 사용형태에 있어서의 변화가 수용되도록 하고 위성 용량을 항상 완전히 이용되도록 할 수 있어야 한다.

비록, 오늘날의 통신 위성에 사용된 하드웨어에 직접적으로는 관계하지는 않는다 해도 발생된 정보의 전송과 처리에 사용된 변조 및 코딩 기술은 갈수록 더욱 중요하게 된다. 현재 위성을 통해 전달되는 트래픽의 대부분은 음성이다. 위성에서 음성채널당 사용된 대역폭은 약 20~200KHz 사이에서 변한다. 현재/미래에 사용될 대역폭 효율적인 기술은 companding, 디지털 LRE(Low-Rate speech Encoding), DSI(Digital Speech Interpolation)등이다. 이미 음성 인코딩은 toll-quality 음성용으로 PCM을 이용해서 64Kbps에서 부터 ADPCM(Adaptive Differential PCM)을 이용해서 32Kbps까지 줄어들었다. 16Kbps의 toll-quality 음성도 거의 개발 완성단계에 이르고 있다. 사용된 처리 알고리즘이 구현도 DSP(Digital Signal Processing)칩의 가격 저하와 LSIC의 등장으로 크게 가격 효율적으로 되고 있다. 더 좋은 CAD/CAM 시설과 실리콘 주조비용의 감소, 칩개발기간의 감소가 매년 향상되면서 음성 회선가격을 점차 저하시키는 또 하나의 요인이 되고 있다. TV 인코딩 기술도 트랜스폰더 당 다중의 TV 중계가 가능하도록 개발되었다. 현재 방송 품질수준으로 하나의 트랜스폰더로 3개의 TV 중계가 가능하여 앞으로 더 많은 개선이 기대된다.

위성이 다른 매체에 비해 장점을 지닌 것으로 보이는 한편 이동 통신에 대해서는 몇가지 문제점을 극복해야 한다. 이동 통신을 위한 최적의 대역은 UHF 및 L 밴드로 다양한 상업 서비스,

특히 INMARSAT을 통한 해상 통신에 이용되었다. 그러나 이 대역에서 공중 이동 통신을 위해 할당된 대역폭만으로는 충분히 큰 시장을 수용하기에는 부적합하게 된다. 대역폭 결핍은 개선된 터미널 기술과 주파수 재사용을 할 수 있는 큰 위성 안테나를 통해 부분적으로 개선될 수 있다. 1990년대 내에는 toll-quality 음성 전달을 8Kbps 까지의 전송율로 가능토록 기술개발이 되겠지만 이 기간동안 수익성있는 시장은 데이터 서비스, locating 서비스를 제공하는 현재의 위성파와 지상셀룰라 이동통신에 의해 점유될 것이다. 셀룰라 이동통신의 경우는 터미널 가격이 매우 싸져서 위성 터미널 가격이 경쟁할 수 있을 것 같지는 않아 보인다. 시간이 점차 흐르는 동안 기간망으로써 PSTN(Public Switched Telephone Network)을 이용하여 생기는 연결성 및 가격장점의 결여는 위성이 새로운 경로와 처리를 수행할 때 사라질 것으로 예상된다.

최소 가격의 서비스를 제공하도록 위성시스템을 최적화하기 위해서 우주 및 지상 부문을 고려해야 한다. 과거에는 INTELSAT 표준 A와 같은 큰 안테나를 갖는 지구국이 지배적으로 이용되었다. 그러한 시스템은 모든 트래픽이 몇 개의 지구국으로 통합될 때 가격 효율적이다. 반면 매우 작고 저가이면서 낮은 전송출력을 갖고 운용되는 지구국의 경우는 상대적으로 큰 이득을 갖으며 높은 EIRP를 갖는 위성을 요구하게 된다. 그러한 위성은 매우 비싸게 된다. 그러나 지구국 부분과 위성부분 사이의 가격균형이 수용될 때 많은 수의 작은 지구국에 가격 효율적인 서비스가 제공될 수 있는 것이다. 이러한 제약은 위성이 큰 트래픽 용량과 할당된 대역폭의 상당한 재사용을 갖도록 한다. 이것은 다시 위성의 송수신 안테나가 높은 이득을 갖도록 요구하게 되고 이중 편파 및 공간분리를 이용하여 요구되는 주파수 재사용을 구현하기 위해 많은 수의 빔을 요구하게 된다. 안테나 빔의 수가 증가함에 따라 많은 주파수 재사용에 생기는 자기간섭에 대한 가능성이 증가한다. 특히 아나로그 반송파를 갖는 주파수 interleaving이

이 문제를 완화하기 위해 사용된다. 온보드 복조 및 재변조와 결합된 변조 방식을 보상하도록 설계된 코딩을 이용하는 새로운 대역폭 효율적인 디지털 변조형식으로 좀 더 궁극적으로 간섭을 줄일 수 있다. 또한 온보드 처리 및 트래픽 경로 설정은 위성의 스위치 보드를 통해 융통성을 갖게 된다. 큰 트래픽의 이용자와 위성 링크간의 연결은 개별적으로 최적화된 이용자와 위성 링크를 통해 설정될 수 있으며 작은 이용자 그룹은 자신의 몇몇 음성 채널을 값싼 지구국을 통해서 큰 이용자 그룹과 연결을 설정할 수 있다.

이상의 사실을 근간으로 하여 통신위성이 미래의 경쟁력을 갖도록 하기 위해서는 아래의 몇가지 방안을 고려하여서 기술발전이 이루어져야 하겠으며, 미래에 적합한 서비스개발도 이와 함께 이루어져야 하겠다.

- 위성 무게와 가격을 크게 증가하지 않으면서 위성용량을 증가시키는 방안.
- 위성 이용을 증가 : 이것은 TASI(Time-Assigned Speech Interpolation) 및 DSI와 같은 방식을 도입하는 것이다. 이 방식들은 대화중의 중단사이에 추가의 음성이나 데이터 트래픽을 전송하는 것이다. 4~5배의 효과적인 협대역 디지털 음성과 관련하여 이 방식들은 채널 용량을 증가시키기 위해서 사용되었다. 또한 위성 수명 기간을 증가시키는 방안도 수용한다.
- 대체의 지상 링크가 없을 때 위성을 활용할 방안 강구.

이러한 관점에서 현재 지상에서 운용되고 있는 기존의 네트워크와 연동하여 함께 이루어질 수 있는 몇가지 미래의 가능한 위성 서비스 형태를 고찰한다.

나. ISDN(Integrated Services Digital Network) 호환의 위성통신 시스템

음성 및 데이터 전송을 통합(integrated)하는 방안이 확대되면서 ISDN과 위성을 연결하고자 하는 연구가 현재 수행되고 있다. NASA에서는 ISDN과 호환성이 있는 위성 시스템 개발을

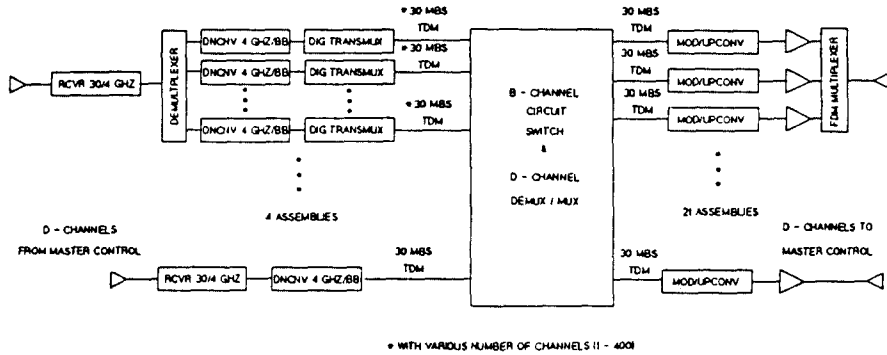


그림 8. LORAL 세안의 ISDN 호화 위성의 구성

위해 Ford Aerospace(현재는 인수되어서 LORAL)에 연구지원을 하고 있다. 목적은 위성 시스템이 ISDN의 B채널 및 D채널을 갖는 ISDN 서비스를 제공토록 하는 것이다. LORAL에 의해서 제안된 개념은 2B+D(144Kbps), 11B+D(768Kbps) 및 23B+D(1536Kbps)의 ISDN 계층을 수용하는 것이다.

간략화된 개념에 대한 구성도가 그림 8에 도시하였다. LORAL은 모든 D채널이 패킷 스위칭을 위해 주 네트워크 제어 장치에 연결되어 위성의 복잡도를 줄이도록 설계를 하였다.

많은 수의 협대역 액세스로 인해 생기는 복잡도를 줄이기 위해서 LORAL은 디지털 FFT 기술의 이용을 권고하여 transmultiplexing 과정을 간략화하였다. 현재 검토중인 위성 시스템은 15,000개의 양방향 64Kbps 채널 용량을 갖게 된다. ISDN에서 국제 위성링크를 운용하기 위해서는 CCITT의 에러율 권고와 부합하여야 한다. CCIR SG4에서는 CCITT ISDN 목적에 부합하는 위성 링크 성능용으로 권고 614(보고서 997)을 개발하였다. CCIR 권고에서는 맑은 하늘의 경우 에러율이 $10E-7$ 이하여야 하고 악천후의 경우는 $10E-3$ 이하여야 하며, 99.96% 이상의 가용도를 가져야 한다고 정의하고 있다.

다. Radio Telephone Service(RTS)

그림 9는 RTS 시스템 구성을 나타낸 것으로

위성, K밴드에서 동작하는 이동체, K밴드에서 동작하는 네트워크 운용센터 그리고 K 밴드에서 운용되는 gateway 지구국으로 구성되며 각각은 유선 루프로 국부 전화 교환기에 연결되어 있다. 통신은 이동체와 기존의 전화 사이에 gateway와 교환기 연결을 통해서 이루어지며 이때 네트워크 운용 센터는 지정된 signalling 채널을 통해 이동체와 gateway에 할당된 RF 채널을 이용하게 한다. 호출과 경로 설정을 위해 이동체는 목적지 전화번호와 함께 자신의 번호를 다이얼링한다. 네트워크 운용 센터는 이동체에 L밴드 RF채널을 할당하고 원하는 고정 상대전화국과 가장 가까운 gateway에 해당 K밴드 채널이 할당되어 정상적인 전화 signalling 발생하여 호출이 설정된다. 네트워크 운용 센터에서는 경로 정보, 호출자, 통화 시간 등을 기록한다. 일단 호출이 설정되면 음성변환, in-band 데이터, 메시지 패킷, 위치 또는 paging 등이 이루어진다.

라. 사실 이동 라디오 서비스(Private Mobile Radio Service : PMRS)

그림 10은 사실이동 라디오 시스템의 구성을 나타낸 것으로 위성, 이동체, 이용자 장치가 있는 지구국으로 구성된다. 지구국은 RTS에 비해서 간단한 gateway로 구성된다.

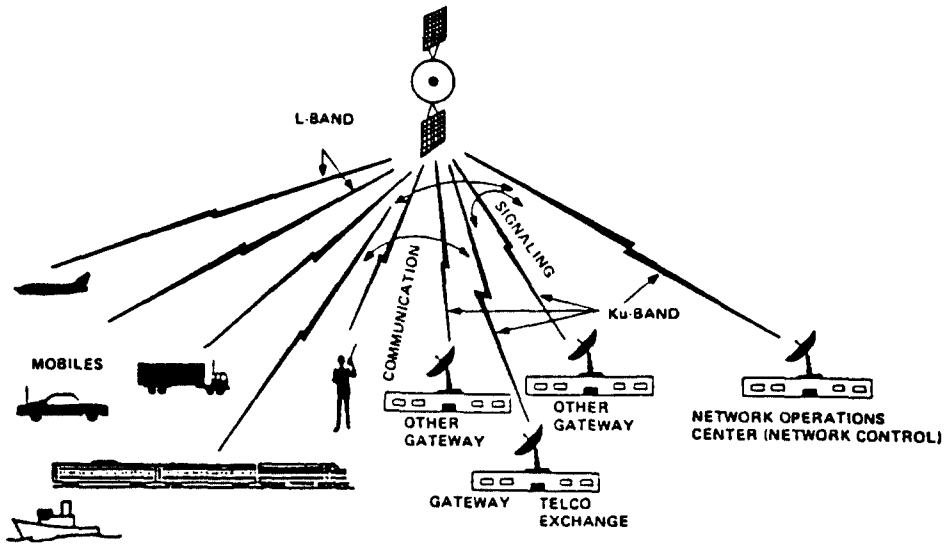


그림 9. RTS 시스템 구성도

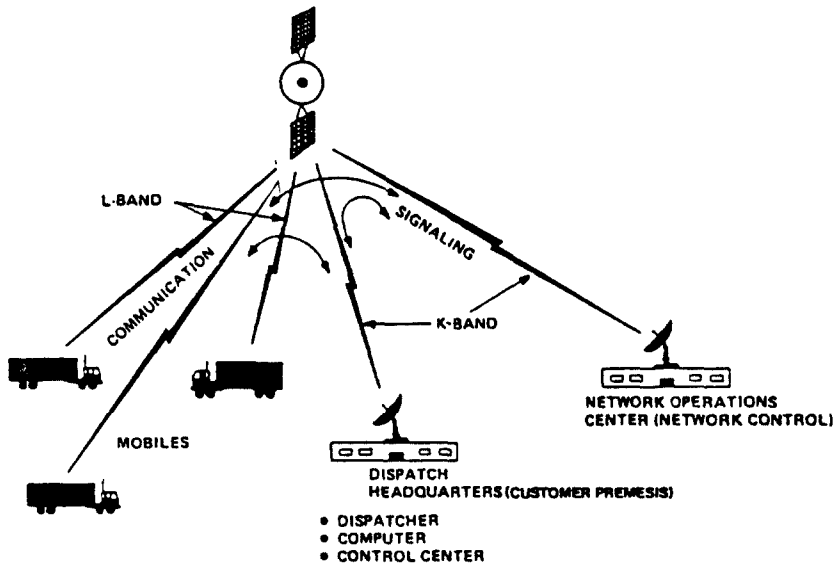


그림 10. 사설 이동 라디오 서비스 시스템 구성도

통신은 항상 발신자와 사설이동체 사이에서 이루어진다. 통신의 요구에 따라 간단한 push-to-talk 방식이나 여러 목적의 여러 이용자에게 시간을 할당하기 위해 좀 더 복잡한 스위치 배열을 이용하여서 하나 이상의 회선이 사설 시스템

에 할당된다. 제공되는 서비스는 발송 음성, 여러 종류의 데이터, 배제치 패킷, 위치 및 paging으로 써 이동체 당 하나의 라디오에 의해서 제공될 수 있다.

5. 맺음말

위성통신은 지난 25년간 지속적인 발전을 거듭한 끝에 국제통신망이나 국가통신망에서 상당부분의 전화 서비스를 제공하여 왔으며 최근에 들어서는 비즈니스 데이터, 음성, teleconference, 이동통신 및 TV/데이터 방송에 까지 그 영역을 확대하고 있다. 현재 광통신 시스템이 널리 확산됨에 따라서 국제 전화시장에서 위성통신이 위협을 받고는 있지만 위성통신 자체가 지니고 있는 성질, 즉 커비지내의 임의 두 점간을 요구에 따라 용통성있게 서비스를 제공할 수 있는 점이나 통신의 신뢰성 등으로 인해 현재의 위성통신의 위치는 앞으로도 보장될 수 있을 것으로 전망된다. 특히 위성 시스템이 지상의 어느 곳에서도 작은 고정 및 이동 지상 터미날을 통해서 음성, 데이터, 이미지 및 location 서비스를 제공할 수 있게 됨에 따라 위성을 이용한 새로운 통신 시장 개척이 활발히 이루어질 것으로 예상된다.

이러한 통신 서비스 시장의 확보를 위성 통신이 점유할 수 있는 원동력은 바로 기술의 발전에 기인하는 것으로, 우선 가까운 장래에 다중 액세스 및 작은 지상터미날 능력의 확장이 가능하게 될 것이며, 장기적으로는 높은 G/T 및 EIRP와 on-board processing을 처리하는 위성의 등장과 함께 작고 값싼 가격의 지상 터미날을 통하여 음성, 데이터 및 teleconferencing 서비스가 가능하도록 기술발전이 진행될 것이다. 이것은 위성 음성 데이터 및 패킷 스위칭하여 새로운 네트워크의 구성을 갖도록 진화함을 의미하는 것이다.

그러나 지금 국내의 위성에 관련한 기술 수준은 거의 전무한 상태라 해도 과언이 아닐 정도로 낙후해 있다. 물론 지상 안테나의 제작 및 설치, 직접위성 방송 수신기의 제작등 지상 부문에 관련한 몇가지의 기술은 국산화되어 수출에 기여하고는 있지만 위성통신을 위한 핵심 기술인 위성체 버스, payload의 전자장치, 위성 안테나 등 첨단분야는 전무한 상태이다.

따라서 1995년 4월에 발사를 목표로 하고 있는

제 1 세대 무궁화호 사업은 여러가지로 의미가 있다고 할 수 있다. 무궁화호 위성 사업의 성공적인 수행을 통해 사회 전반에 걸친 영향, 즉 문화, 교육, 정치, 경제에 획기적인 전환점이 되어서 앞으로의 정보화 사회(telematic society)의 근간 통신망으로 한 역할을 담당할 것 임에는 틀림이 없는 사실이며 아울러 국내의 첨단 위성 기술 축적을 위해서도 매우 중요한 기회가 될 수 있는 것이다. 그것은 무궁화호 위성 구매의 과정에 기술전수 및 교육훈련이 함께 포함되어 있기 때문이다.

현재 한국 통신에서는 국내의 위성기술의 축적을 위해서 한국전자통신연구소 및 한국항공우주 연구소에 상당 비용의 연구비를 출연하여 위성체 버스, 위성 중계기, 위성망 설계, 관제소 및 위성망 제어센터 운용 S/W, 지상장비(SCPC(Single Channel Per Carrier) 및 VSAT(Very Small Aperture Terminal))의 개발을 주도함으로써 국내 위성기술축적에 크게 기여하고 있다. 그러나 국내 업체와 한국전자통신연구소가 공동 개발을 추진하고 있는 지상장비를 제외한 나머지 분야는 현재 외국의 수준과 비교하면 기본 설계 수준에 불과하다고 할 수 있다. 이러한 국내의 기술 여건을 능률적이고 효과적으로 극복하기 위해서는 무궁화호 위성 사업을 통해 위성체 전반에 걸친 기술을 체계적으로 전수받는 것이 상당히 중요하게 된다. 다시 말하면 각 기술분야에 대해서 국내 여건을 고려하여 분야별로 설계, 시험, 제작, 조립기술의 습득은 물론 교육 및 훈련을 종합적으로 수용할 수 있도록 한국통신이 주체가 되어 산업체 및 연구소가 합심이 되어 종합적인 방안을 수립하여 시행하는 것이다. 산업체는 산업체 나름대로의 국제경쟁력이 있으며 경제성이 있는 분야에 대해서는 물론 활용가능성이 있는 분야에 대해서 아낌없는 인력 및 비용을 투자해야 하며 연구소는 연구소 나름대로 설계 및 개발분야에서 현신적인 노력을 경주해야 할 것이며, 한국통신을 비롯한 정부에서는 정책적인 차원에서 지원을 아끼지 말아야 할 것이다.



항보 한

저자약력

- 1938년 2월 2일생
- 1960년 2월 : 서울대학교 공과대학 화학공학과 학사
- 1968년 2월 : 경북대학교 대학원 물리학과 석사
- 1970년 6월 : 미국 CONNECTICUT 대학원 기계공학 박사
- 1968년 9월 ~ 1970년 12월 : 미국 CONNECTICUT 대학 유체 및 열역학 시험소 연구원
- 1971년 1월 ~ 1978년 4월 : 미국 FAIRCHILD 항공사 인공위성 시스템 설계
- 1978년 5월 ~ 1989년 11월 : 미국 MRJ INC. DOD 통신 위성설계, 제작, 시험 기술고문 및 발사 감리
- 1989년 11월 ~ 1990년 11월 : 한국기계연구소 부설 항공우주연구소 소장
- 1990년 11월 ~ 현재 : 한국통신 위성사업단장

저자약력

이 명 수

- 1957년 5월 7일생
- 1983년 2월 : 연세대학교 공과대학 전자공학과 학사
- 1985년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 석사
- 1989년 8월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 박사
- 1987년 3월 ~ 1990년 2월 : 연세대학교 전자공학과 강사
- 1987년 3월 ~ 1990년 8월 : 건국대학교 전자공학과 강사
- 1990년 4월 ~ 1990년 8월 : 한국통신 연구개발단 선임 연구원
- 1990년 8월 ~ 현재 : 한국통신 위성사업단 위성기술부장