

# 군 위성 탑재 OBP (On-Board Processing) 기술

문우식, 홍승모, 김종훈, 임성빈  
 승실대학교

## 요약

위성 통신 기술의 비약적인 발전에 따라 군용 통신위성도 정보를 중계해주는 단순한 역할로부터 네트워크 중심전을 지향하는 군전술통신망의 중추적인 역할을 담당하게 될 것이다. 이에 따라 군 통신위성은 고속대용량 전송, 접속성, 생존성, 보안성 등 전술통신의 다양한 기능이 요구되며, 이러한 기능을 효율적으로 수행하기 위한 핵심요소가 디지털화된 OBP (On-Board Processing) 기술이다. 본고에서는 위성탑재 OBP의 환경 및 이에 따른 요구조건과 군위성에 탑재되는 OBP의 주요 기능인 채널화 및 역채널화, 항재밍 기술, 자원할당 기술 등에 대해 소개한다.

계(Regenerative) OBP 와 비재생 중계 (Non-Regenerative) OBP 로 구별되는데 재생 중계형 OBP는 수신된 다중 대역내 부대역 신호들을 각각 복조 및 디코딩을 거쳐 재생된 신호를 다시 코딩 변조하여 전송하는 방식으로 연쇄된 링크(chain-link)에서의 성능 향상과 단말기의 단순화 등으로 다중 빔 안테나를 통해 대규모 모바일 네트워크를 형성할 수 있는 반면 OBP의 복잡도가 매우 크고 채널마다 모든 종류의 변복조, 코딩 및 디코딩 기능을 부여하기 힘들어 유연성이 떨어지는 단점이 있다. 비재생중계형 OBP는 부채널의 복조 및 디코딩을 수행하지 않고 그대로 전송하므로 성능이 떨어지나, 채널의 유연성이 높고, OBP의 복잡도가 낮으며 이로 인해 위성의 전원과 무게를 대폭 감소하여 경제적인 위성체계를 구축할 수 있다[1]. 본고에서는 위성탑재 OBP의 기능과 구조를 바탕으로 군통신위성에 필요한 OBP기술에 대해서 살펴본다.

## I. 서론

현재 위성 통신체계는 위성TV 및 해외 또는 장거리 국간 전화 통신 등의 전통적인 서비스로부터 이동통신 및 인터넷의 음성 비디오 데이터 방송망 등이 융합된 멀티미디어 망으로 진화하고 있으며, 이러한 추세에 따라 군통신위성은 지, 해, 공, 우주, 사이버 등의 5차원 공간에서 이루어질 미래 전장에서 필수적인 NCW (Network-Centric Warfare) 에서 핵심적인 역할을 담당하게 될 것이다. 한편 군위성통신체계는 고속 대용량 정보의 실시간 전송, 생존성, 상호운용성, 유비쿼터스 접속성, 적응성, 보안성 보장등의 전술 통신분야의 다양한 요구조건을 만족하여야 하며, 이러한 기능의 중추적인 역할을 담당하는 부분이 위성에 탑재된 OBP (On-Board Processing/Processor)이다. 최근의 OBP는 위성체계에 요구되는 조건과 특성을 만족하기 위하여 SDR (Software Defined Radio)기반의 재구성이 가능한 디지털 하드웨어 및 소프트웨어로 구성되어 있으며, 데이터 코딩 및 디코딩, 변복조, 채널화 및 역채널화, 주파수 변환, 스펙트럼 확산, 주파수도약 자동이득제어, 재밍제거, 기저대역 스위칭 등의 다양한 기능을 제공한다. 또한 위성의 기능에 따라 재생 중

## II. 본론

### 1. 우주환경과 위성 탑재전자장비

우주 환경은 고진공 상태의 공간에서 주변 입자의 밀도가 낮기 때문에 태양에서 나오는 복사열에 의해 빛이 비추는 부분과 그늘진 부분의 온도 차이가 매우 크며, 지상 환경처럼 대기의 대류 현상에 의한 열전달이 이루어지지 않기 때문에 전자 장비 중에 열이 많이 발생하는 소자는 전도에 의해 열전달이 이루어질 수 있도록 설계되어야 한다. 이와 함께 전원자원이 제한되어 있으므로 소프트웨어 및 알고리즘의 관점에서는 열 발생과 전원소모를 최소화 하기 위해 연산량의 최소화가 필수적이다. 한편 위성이 동작하는 우주 궤도에는 우주 방사선이 존재해 반도체 소자에 개별적인 영향을 끼치게 된다. 이러한 우주 방사선 중에는 고에너지의 입자가 존재하고 이러한 고에너지 입자의 밀도는 태양풍이나 자기폭풍에 비해서는 높지 않지만 반도체 소자와 충돌할 때 메모리 또는 논리회로에 오류를 일으키며

이를 통칭하여 싱글 이벤트 영향(SEE: Single Event Effects)라 한다.

위성 탑재용 전자 장비의 설계는 다양한 싱글 이벤트의 영향을 고려해야 하고 이벤트의 발생에 따라 오류가 발생한 경우라도 복구가 가능한 경우에는 바로 복구가 가능하도록 설계가 이루어져야 한다. SEU (Single Event Upset)의 경우 고에너지 입자가 메모리 소자에 부딪쳐 기록된 정보가 1에서 0으로 혹은 0에서 1로 변환되는 싱글 이벤트를 말하며, 메모리 부분을 설계할 때 이러한 현상에 효율적으로 대처하기 위해 메모리에 기록된 정보를 부호화 하여 보호 코드를 갖도록 설계하고 시스템이 동작하는 동안 메모리에 기록된 내용과 보호 코드에 기록된 내용이 일치하는지를 주기적으로 검사하여 SEU의 영향을 최대한 감소 시켜야 한다. 보호회로 설계는 크게 소프트웨어적으로 에러를 수정하는 방법과 하드웨어적으로 에러를 수정하는 방법으로 나뉜다. 소프트웨어적 기법의 가장 대표적인 예로 프로세서 주변의 메모리 제어에 해밍코드 등을 사용한 오류 보호회로가 추가되는 방식이 있다. 이러한 시스템에서는 시스템에 필요한 메모리 소자 이외에 부가적인 에러 검출 및 정정용 메모리가 추가로 요구된다. 그리고 하드웨어 수준의 오류 정정을 위하여 사용되는 기법 중 가장 대표적인 예가 TMR (Triple Modular Redundancy)이다. TMR은 위성에서 고에너지 입자에 의해 발생할 수 있는 오류가 메모리 소자들의 한 개 영역에서 발생한다는 점에 기반을 두고 만들어진 회로이다. FPGA의 사용과 더불어 이러한 오류정정기법을 FPGA 내의 신호에 대해서도 D 플립플롭과 J-K 플립플롭을 이용해 적용시키는 연구가 진행되고 있으나 하나의 메모리 영역을 위해 필요한 부가 회로가 증가하는 단점이 존재한다. 그 외에 위성탑재용 반도체 회로의 오류 검출 및 정정회로들로는 통신과 관련하여 패리티, CRC (Cyclic Redundancy Check), 리드-솔로몬 코드, 컨볼루션 코드, overlying 프로토콜 등이 사용되고 있다. 패리티 방식은 여분의 비트를 이용하여 정보의 오류를 저장하는 방식으로 한 개 비트의 오류를 검출하는 경우 사용하는 방식이며 해밍 코드는 다양한 변수에 따라 검출되는 오류의 수와 복구되는 오류의 수를 달리하여 사용하는 방식이고, 리드-솔로몬 코드의 경우 burst 에러에 대한 복구를 효율적으로 수행할 수 있다. 컨볼루션 코드의 경우 통신 채널에서의 오류를 복구하는 방식이며 overlying 프로토콜의 경우 각 시스템 별 통신 규약에 따라 오류 복구를 수행하는 방식으로 ARQ (Automatic Request Queue) 등이 이에 해당한다.

위성탑재 OBP에 사용되는 반도체소자는 우주환경에서도 소자에 물리적인 손상을 받지 않도록 우주규격을 만족하여야 하며 ADC/DAC, FPGA 및 마이크로 프로세서가 포함된다. 최근

표 1. 최근 궤도 및 탐사위성에 탑재된 OBP 용 프로세서

Flight Processor Usage		
Mission	Processor	
Cassini	1750A	MIL-STD 16 bit non-RISC CPU
Cluster (ESA)	1750A	"
EOS Terra	1750A (2)	"
SMEX	80386, 80387	INTEL
SWAS	80386, 80387	"
HealthSat-II	80c186 (2), 80c188	"
PoSAt-1	80c186, TMS320C25, TMS320C30	INTEL/TI
SPOT-4	F9450	1750A MMU
EO-1/WARP	Mongoose V	MIPS R3000 core
UARS	NSSC-1	NASA Standard Spacecraft Computer
EUVE	NSSC-1, 1750A	"
Coriolis	RAD6000	IBM
Deep Space-1	RAD6000	IBM
Gravity Probe B	RAD6000	IBM
HESSI	RAD6000	IBM
MightySat-II	TMS320C40	TI (DSP Processor)

의 디지털화된 OBP는 표본화율 100MSPS 이상의 고속 ADC/DAC를 사용하여 통신 시스템의 IF 단까지 디지털화 되어 있으며 이러한 디지털 IF 단의 고속 데이터를 병렬처리하기 위하여 FPGA를 사용하고, 저속의 기저대역 채널 신호 및 시스템 제어를 위하여 마이크로 프로세서를 사용한다. 현재 위성 및 우주선의 OBP에 사용되고 있는 우주규격의 FPGA는 Microsemi (구 Actel)사의 RTG4, RTAX, Xilinx사의 Virtex-4QV, Virtex-5QV 등이 있으며, INTEL, IBM, TI 등에서 위성 및 우주선용 마이크로 프로세서를 생산하고 있다. <표 1>은 최근 미국 및 유럽에서 발사한 위성에 탑재된 OBP용 마이크로 프로세서를 나 타낸 것이다.

## 2. OBP의 채널화기 및 역채널화기 (디지털 IF)

OBP는 IF로 변환된 수신기의 RF 신호를 하나의 고속ADC를 통해 표본화하여 디지털 IF로 변환하고 대역내의 각 부채널 신호들을 각각 추출하여 기저대역으로 변환해 주는 채널화기와 처리된 기저대역을 다시 정해진 대역의 신호로 변환하여 IF 출력신호를 형성하는 역채널화기를 사용한다(그림 1). 디지털 IF를 입력으로 하는 디지털 채널화기는 채널 별로 아날로그 기저대역으로 저속 ADC로 표본화하는 아날로그 채널화기 방식에 비해 훨씬 효율적인 다채널 수신기를 구현할 수 있는데 이는 아날로그 채널화기는 채널마다 동기획득에 필요한 클럭 동기

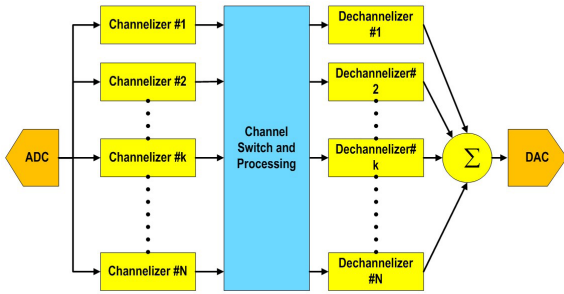


그림 1. OPB의 디지털 채널화기 및 역채널화기

PLL이 필요한 반면 디지털 IF 방식은 재표본화 (Resampling) 방식으로 하나의 시스템 클럭을 사용하여 모든 수신채널의 동기를 획득할 수 있기 때문이다.

〈그림 2〉는 채널화기 및 역채널화기의 내부구조를 도식적으로 나타낸 것이다. 채널화기에서 입력된 디지털 IF로부터 NCO (Numerically Controlled Oscillator)에 의해 선택된 대역의 신호가 기저대역 신호로 변환되고 신호의 대역폭에 따라 최적의 데이터율로 하향변환되며, 채널필터를 통과하여 신호처리부로 출력한다. 반대로 역채널화기는 처리된 기저대역 신호를 IF 데이터율로 상향표본화 되어 NCO에 의해 선택된 IF 주파수로 변환된다.

〈그림 1〉과 같이 OPB의 디지털 IF에 분포하는 다수의 부채널에 대해서 한 개의 부채널당 하나의 채널화기 및 역채널화기가 할당되는 방식을 퍼채널 (Per-Channel) 방식이라 한다. 한편 IF 대역을 N 개의 일정한 부대역으로 나누고 부대역 마다 한 개의 채널화기 및 역채널화기를 할당하는 방식을 필터뱅크 방식이라 하는데, 다상필터뱅크 (Polyphase filter bank) 방식[2]

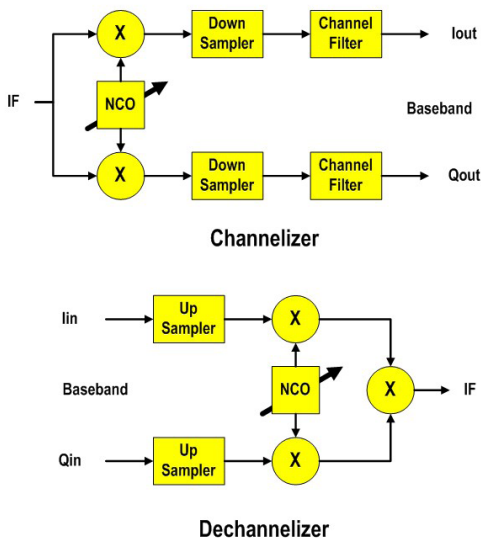


그림 2. 채널화기 및 역채널화기 구조

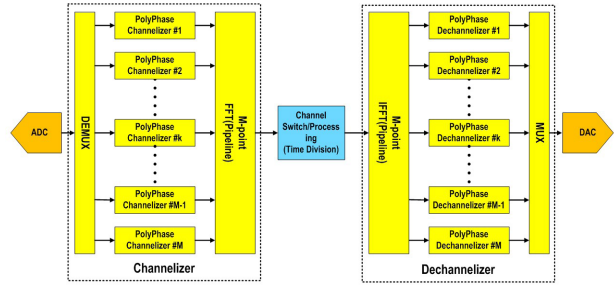


그림 3. 다상필터뱅크 방식의 채널화기 및 역채널화기

을 사용하여 연산량 및 연산자원이 대폭 감소되는 매우 효율적인 구현이 가능하다(그림 3).

퍼채널 방식은 부채널들의 대역폭과 중심주파수에 제약이 없이 채널화 및 역채널화가 가능한 장점이 있으나, 처리해야 할 부채널 수가 증가하면 채널화기 및 역채널화기 자원이 비례해서 증가하는 단점이 있다. 반면 다상필터뱅크 방식은 연산자원 소요가 부채널 수에 관계없이 일정하나, 필터뱅크의 수와 대역폭에 따라 부채널의 대역폭과 중심주파수의 위치에 제한이 정해진다.

### 3. OBP에서의 항재밍 기술

위성은 공간의 제약을 벗어나 정보를 전달할 수 있어 군 기간 통신망의 역할을 수행하지만 그 위치가 노출되어 있어 재밍에 취약하다. 그래서 재밍의 간섭을 줄이고 위성을 보호할 수 있는 항재밍 기술이 요구된다. 재밍 신호는 어떤 시스템을 공격하는가에 따라 다르며, 일반적으로 광대역 재밍 (Broadband jamming), 부분대역 재밍 (Partial-band jamming), 톤 재밍 (Tone jamming), 펄스 재밍 (Pulse jamming) 등의 재밍 신호가 있다. 이 중에서 톤 재밍은 특정 주파수를 갖는 하나의 정현파로 나타나고 톤의 개수에 따라 단일 톤 재밍과 다중 톤 재밍으로 나뉜다[3]. 〈그림 4〉는 다중 톤 재밍을 전력 스펙트럼 측면에서 나타낸 것이다. 부분대역 재밍은 대역폭이 제한된 가우

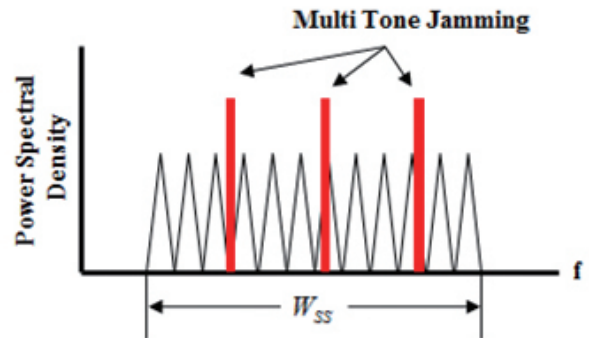


그림 4. 다중 톤 재밍 신호

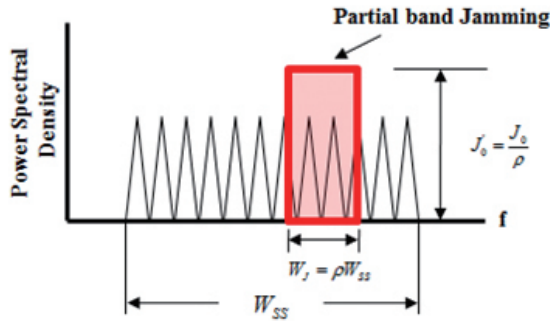


그림 5. 부분대역 재밍 신호

시안 잡음과 같은 특성을 갖는다[4]. 재밍 대역이 시스템 대역의 일부분일 때 부분대역 재밍이라고 한다. <그림 5>는 부분대역 재밍 신호를 파워 스펙트럼 측면에서 보여준다.

항재밍 기술은 이러한 재밍으로부터 시스템을 보호하는 기술이며 통신 방식과 프로토콜, 채널 코딩, 안테나, 신호처리 등 여러 분야에서 재밍 신호의 간섭을 제거한다. 과거서부터 군 위성통신은 재밍에 강한 특성이 있는 SS (Spread Spectrum) 기반의 통신 방식을 많이 이용하였다. SS 방식은 주파수 축에서 신호를 확산시킨 후 다시 역확산하는 과정에서 신호는 협대역이 되고 잡음 및 간섭은 평균화되어 이득을 얻는다. SS 방식 중에서 DSSS (Direct Sequence SS)은 대역 잡음 재밍에는 강인하지만 펄스 재밍에는 취약한 면을 보이고, FHSS (Frequency Hopping SS)은 펄스 재밍에는 강인하지만 대역 잡음 재밍에는 취약하다[5]. 그리고 인터리빙을 통해 재밍의 영향을 분산하고, 재밍으로 인한 오류를 정정하기 위한 채널 부호화를 사용하는 것이 기본적인 항재밍 기술이다.

OBP에서 신호처리를 통해 적극적으로 재밍 신호를 제거하는 기술로는 먼저 다중 안테나를 이용하는 방식이 있다. 재밍 신호의 방향을 탐지하여 공간상에서 널링 (nulling) 하고 원하는 방향으로 신호의 세기를 집중시키는 빔형성 기술, 안테나 소자의 배치와 시간 지연을 통해 재밍 신호를 제거하는 STAP (Space-Time Adaptive Processing) 기술[6], 다중 안테나 수신 신호를 주파수 영역에서 처리하는 SFAP (Space-Frequency Adaptive Processing) 기술 등이 대표적인 배열 안테나를 이용한 적응형 신호처리 기법이다[7]. STAP는 <그림 6>과 같이 각 안테나에 FIR 필터가 달려있는 구조로 공간-지연 신호 벡터로부터 필터계수를 구한다. SFAP 방식은 FFT 길이만큼 버퍼를 두어 신호를 처리한다. <그림 7>과 같이 신호를 주파수 도메인으로 변환하고 공간-주파수 신호 벡터를 이용해 적응필터의 계수를 결정하는 방식이다[8].

재밍 신호에 대한 정보 없이 간단하면서 효과적인 항재밍 기

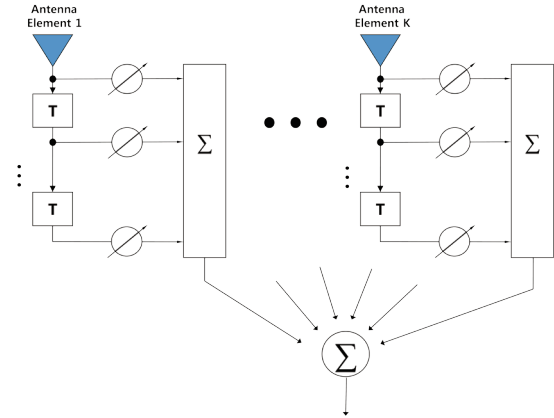


그림 6. STAP 방식의 항재밍 구조

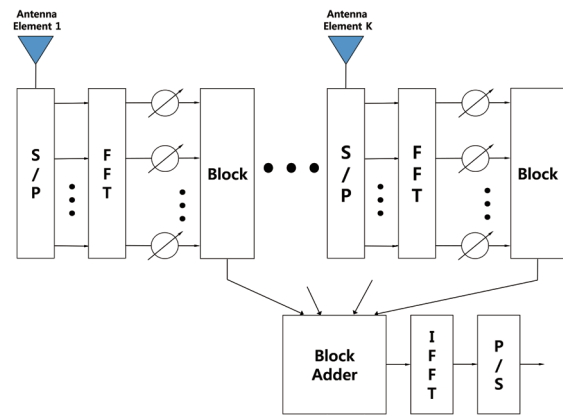


그림 7. SFAP 방식의 항재밍 구조

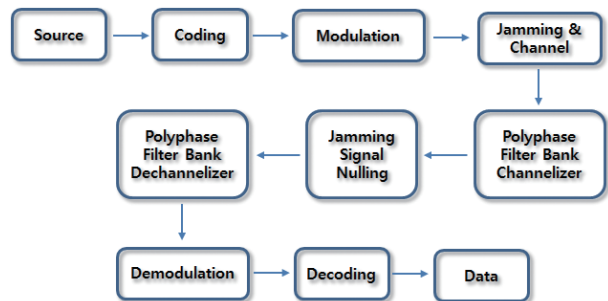


그림 8. 다상필터뱅크를 이용한 널링 기법의 시스템 모형

술로 클리핑과 널링이 있다. 정해진 문턱값을 넘는 신호에 대해 값을 제한하는 방식이 클리핑이고, 문턱값이 넘는 불분명한 신호를 아예 배제하는 방식이 널링이다. 일반적으로 FFT와 IFFT를 통해 신호를 주파수 영역으로 변환하고 주파수 별로 파워를 측정하여 문턱값 이상일 경우 값을 제한하거나 0으로 교체한다. 특히 이 방식은 OBP의 채널화기와 결합하여 구현에 이득이 있다. 다상 필터 बैं크 방식의 채널화기는 FFT와 IFFT를 추가

적으로 구현하지 않고 클리핑과 널링이 가능하다.

시간영역에서의 항재밍 기법은 변복조 유무에 따라 달라진다. 만약 변복조 기능이 있는 OBP라면 Matched 필터, MMSE, Decision feedback 등의 더 다양한 간섭 제거 기법을 사용할 수 있다. 시간 영역에서는 추정 알고리즘을 이용하여 간섭을 제거하는 것이 일반적이다. 가장 폭넓게 사용되는 알고리즘으로는 LMS 알고리즘이 있다. 간섭에 대한 사전 정보가 없는 점에서 Blind LMS 알고리즘의 적용이 가능하다. 재밍 신호에 대한 통계적인 특성을 안다면 필터링을 통해 항재밍 능력을 향상시킬 수 있다.

#### 4. 네트워크 자원 할당

군 위성통신은 미래 NCW 전장환경에 맞추어 고속대용량, IP 통신, 기동성과 생존성을 보장하는 방향으로 발전하고 있다. 차세대 위성은 네트워크 관점에서 Mesh/Star 망을 지원하고, MF-TDMA (Multi Frequency-Time Division Multiple Access) 다중접속 기법을 사용한다[9]. 그리고 자원을 할당하는 방식에는 크게 3가지가 있다. PAMA (Permanently Assignment Multiple Access)는 사전에 자원을 할당하고 고정적으로 사용하는 방식으로 한정된 위성 주파수 자원을 고정시켜 다량의 데이터가 발생할 때 처리율을 떨어뜨리고 사용자가 증가했을 때 자원을 재분배 해야 하는 문제가 있다. DAMA (Demand Assignment Multiple Access)는 자원을 계속 사용할 필요가 없을 때 사용자의 요구에 기초하여 자원을 할당하는 방식으로 PAMA 보다 주파수 효율이 좋고 많은 사용자를 수용할 수 있는 장점이 있다. RAMA (Random Assignment Multiple Access)는 전송할 정보가 발생하였을 때 정보를 전송하는 방식으로 전송 정보의 발생과 정보량을 불특정 할 때 유리한 방식이다.

이러한 할당 방식을 사용하는 위성운영 방식으로 PAMA는 현재 군 위성통신 체계인 ANASIS (Army Navy Air force Satellite Information System)의 일반링크 자원 할당에 사용

되고 있다. MF-TDMA를 사용하는 위성체계로는 DVB-RCS (Digital Video Broadcast-Return Channel via Satellite)와 WIN-T NCW (Warfighter Information Network-Tactical Network Centric Waveform)이 있다. 두 체계 모두 DAMA 자원 할당 방식과 Star/Mesh 망을 지원한다. DVB-RCS2 표준에는 RAMA 방식의 DSA (Diversity Slotted ALOHA) 방식이 들어가 있다[10].

기존의 통신위성 체계에서는 라우팅 관련 정보, 자원 할당 정보, QoS 관리 등 대부분을 제어국에서 집중하여 정적 (static)으로 처리한다. 이는 기존의 위성망이 정적인 특성이 있기 때문이다. 미래 전장의 단말이 다양하고 기동성을 가지며 실시간 처리를 요구할 것이다. 그래서 실시간 변하는 망 특성을 라우팅에 반영하여야 하고 Dynamic 라우팅 방식이 통신위성 연동망에 적용될 필요가 있다. 이에 대한 연구가 더 진행되어야 한다. OBP에서도 패킷의 IP를 확인하여 라우팅을 수행할 수 있다. OBP를 활용한 통신위성 연동망의 라우팅 기법도 연구가 진행되었지만 아직은 미흡한 실정이다.

### III. 결론

본고에서는 차세대 군통신위성에 탑재될 OBP의 환경 및 이에 따른 요구조건과 OBP의 주요 기능인 채널화 및 역채널화, 항재밍 기술, 자원할당 기술 등에 대해 소개하였다. 군전술통신망의 우주체계를 담당하고 있는 군위성통신체계는 정보 정찰 감시체계 (ISR), 정밀유도무기체계 (PGM) 및 지휘통제체계 (C4I)를 실시간으로 통합하는 핵심통신체계로 진화하고 있으며 이를 위한 디지털 OBP기술은 상용 통신기술 및 IT기술의 발전과 더불어 비약적으로 진화하고 있다.

### 참고문헌

[1] B. Tian, D. Sun, Z. Liu, and K. Yi, "Non-regenerating Processing in Next Generation Satellite Communication Networks", ICSP2012 Proceeding, pp. 1350-1352.

[2] P. P. Vaidyanathan, Multirate Systems and Filter Banks, Prentice Hall, Ch.4.

[3] L. Milstein, S. Davidovici, and D. Schilling, "The Effect of Multiple-Tone Interfering Signals on a

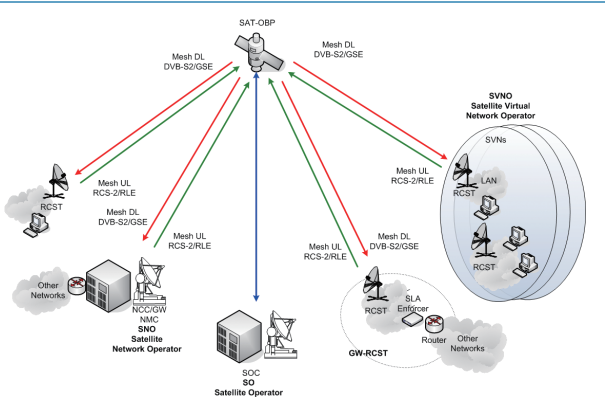


그림 9. DVB-RCS2에서 mesh 네트워크 개요

Direct Sequence Spread Spectrum Communication System,” IEEE Trans. Commun., vol. 30, no. 3, pp. 436 – 446, Mar. 1982.

[4] Bernard Sklar, Digital Communications 2/E, Prentice-Hall, 2004.

[5] R. Pickholtz, D. Schiling, and L. Milstein, “Theory of spread-spectrum communications—a tutorial,” IEEE Trans. Commun., vol. 30, pp.855–884, May. 1982.

[6] W. Liao and J. Xiang, “Study of an new signal processing algorithm for satellite receiver based on STAP,” IEEE, TMEE proceeding, pp. 2421–2424, 2011.

[7] I. J. Gupta and T. D. Moore, “Space-frequency adaptive processing (SFAP) for radio frequency interference mitigation in spread-spectrum receivers,” IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 52, no. 6, pp. 1611–1616, June 2004.

[8] J. Han, K. Kim, S. Kim, H. Kim, H. Choi, “Analysis of Adaptive Digital Signal Processing for Anti-Jamming GPS System,” J. KICS, vol. 32, no. 8, pp. 745–757, Aug. 2007.

[9] J. Wiss and R. Gupta, “The WIN-T MF-TDMA Mesh Network Centric Waveform,” IEEE MILCOM 2007, pp. 1–6.

[10] ETSI TS 101 545-1, “Second Generation DVB Interactive Satellite System (DVB-RCS2); Part 1: Overview and System Level specification,” 2012.

약 력



문우식

2007년 송실대 정보통신전자공학부 학사  
 2009년 송실대 정보통신학과 석사  
 2015년 송실대 정보통신학과 박사  
 관심분야: 채널 모델링, 비선형 신호처리, 위성통신



홍승모

1999년 송실대 공학사  
 2001년 송실대 공학석사  
 2008년 송실대 정보통신전자공학부 공학박사  
 2013년~현재 인덕대 겸임교수  
 2013년~현재 송실대학교 연구마을 연구원  
 관심분야: 디지털 신호처리, 무선통신 시스템



김종훈

1984년 서울대학교 공학사  
 1986년 서울대학교 공학석사  
 1998년 Northwestern University Ph.D, (EECS)  
 2012년~현재 ㈜썬리드 연구위원  
 2004년~현재 송실대학교 전자정보공학부 교수  
 관심분야: 디지털 신호처리, 무선통신 시스템



임성빈

1986년 서울대학교 전자공학과 학사  
 1988년 서울대학교 전자공학과 석사  
 1994년 Univ. of Texas at Austin  
 전기및컴퓨터공학과 박사  
 1995년~현재 송실대학교 전자정보공학부 교수  
 관심분야: 비선형 신호처리, 통신 시스템