

DVB-S2x 표준기반 다중빔 위성 전송기술 동향

Research Trends in Efficient Transmission Techniques Based on DVB-S2x Standard for Multi-beam HTS and Beam Hopping Satellite System

김판수 (P. Kim, pskim@etri.re.kr)
유준규 (J.-G. Ryu, jgryurt@etri.re.kr)
오덕길 (D.-G. Oh, dgoh@etri.re.kr)
염인복 (I.-B. Yom, ibyom@etri.re.kr)
이호진 (H.-J. Lee, hjlee@etri.re.kr)

위성기술연구그룹 책임연구원
위성기술연구그룹 책임연구원/PL
위성기술연구그룹 책임연구원/PL
위성기술연구그룹 책임연구원/그룹장
전파·위성연구본부 책임연구원/본부장

- I. 서론
- II. DVB-S2x 표준기반 SF 기술
- III. 다중빔 HTS 위성기반 전송기술 동향
- IV. 빔 호핑 HTS 위성기반 전송기술 동향
- V. 향후 발전 방향 및 결론

Current studies based on the DVB-S2x standard for the next-generation multi-beam HTS/BH satellite have been investigated. To enhance the efficiency of the transmission throughput and maximize the utilization of the satellite payload resources and bandwidth, the concepts of two advanced techniques, namely, precoding and BH, are described. Furthermore, state-of-the-art aspects currently under discussion, and future study items in the DVB TM-S standardization group, are summarized in this article.

* DOI: 10.22648/ETRI.2018.J.330304

* 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구 개발사업의 일환으로 수행하였음[R-20160225-002798, 동일 위성채널 전송 및 주파수 공유기술 개발].



본 저작물은 공공누리 제4유형
출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

I. 서론

DVB 표준은 유럽형 디지털 방송 표준단체로 ETSI (European Telecommunication Standard Institute) 산하에서 방송기술 관한 표준화 작업을 별도로 진행하고 있다. DVB 표준은 위성, 지상파, 케이블, IPTV(Internet Protocol Television)까지 대부분의 방송 매체를 포함하고 있는데, 그 중에서 위성 매체의 경우 전세계 85% 이상이 DVB 표준 또는 그와 매우 유사한 기술을 채택하고 있다. 2005년에 출판된 DVB-S2 표준은 기존 DVB-S 표준대비 전송효율이 30% 개선되어 위성 HD 방송 보편화 및 2세대 VSAT(Very Small Aperture Terminal) 제품 성능 향상에 크게 기여하였다[1], [2]. DVB-S2x (Digital Video Broadcasting-Satellite 2nd generation eXtension) 표준은 2010년 이후 주목을 받기 시작한 UHD(Ultra High Definition) 방송 서비스 출현 및 광대역 방송/통신 서비스 장비 시장에서 이스라엘 (주) Novelsat과 벨기에 (주) Newtec 사에서 새롭게 제작한 장비의 전송 성능 개선이라는 두 가지 사업적 요인에 의해 단기간으로 표준화 개정 작업이 이루어졌다. 따라서, 위성 DTH/VSAT(Direct To Home/Very Small Aperture Terminal)의 핵심 시장 분야에서 MODCOD(MODulation CODE rate) granularity 개선(SNR 0.5dB 간격), Professional broadband 서비스를 위한 MODCOD 생성 (~256APSK(Amplitude Phase Shift Keying)), Roll off factor 추가 등이 주요 기술에 해당한다[3]. 한편, 2010년 이후 KA-SAT, Viasat-1, Echostar-1 등 2세대 다중빔 HTS(High Throughput Satellite) 위성탑재체 발사 이후 기존 DVB-S2 표준 기반 서비스에서 발생한 동일 채널 간섭 문제를 완화하기 위해 현재 발사된 위성 수준에서의 기법 개정이 이루어졌다.

한편, 차세대 다중빔 기반 HTS 위성탑재체 개발 및 활용 로드맵의 일환으로 DVB-S2x 표준화 작업 과정에서 상기 기술 외에 유럽의 우주 연구기관 및 산업단체에

서는 ESA ARTES(European Space Agency Advanced Research in Telecommunication System) 프로그램 프로젝트의 결과물을 표준 기술에 반영하고자 Annex E에 SF(Super Frame) 기술을 제안하였다. 이는 단기간으로 프랑스 Eutelsat에서 발사예정인 Quantum 위성[4]의 발사 계획에 따른 표준 전송 기술 도입, 다중빔 위성탑재체의 진화에 따른 전송 throughput 개선 기술의 표준화 반영을 목표로 하였다[5]. 이러한 기술은 앞서 언급한 두 가지 주요 사업적 요인인 CR(Commercial Requirement)에 포함되지 않아 Mandatory 기술이 아닌 Optional 기술로 채택되었다. 본고에서는 DVB 표준 SF 기반 다중빔 HTS 및 BH(Beam Hopping) 기술과 관련된 연구 내용을 설명하고자 한다. II장에서는 DVB-S2x 표준기반 SF 기술을 소개하고 III장에서는 다중빔 HTS 위성기반의 DVB 표준 기술, IV장에서는 BH 위성기반의 DVB 표준기술을 설명하고 향후 표준기술의 발전방향에 대해 언급하고 마무리하고자 한다.

II. DVB-S2x 표준기반 SF 기술

1. 전송 규격

2014년 10월에 작성된 Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation Systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications; Part 2: DVB-S2 Extensions (DVB-S2X)의 (그림 E.1)의 SF 구조는 612,540 심볼의 길이를 가지며 SF의 시작을 나타내는 SOSF와 각 SF의 format 정보를 포함하는 SFFI가 초기 프레임의 헤더 위치 720 심볼이 존재하게 된다. 이후 611,820 심볼은 사용자 정의에 따라 구성할 수 있는 구조이다. 현재, 표준에서는 16개의 구조에서 총 5개의 구조에 대해 정의가 되어있고 향후 11개의 구조는 새롭게 정의가 가능하다. SF의 설계에 있어 가장 큰 핵심은 다

중 빔 위성의 사용에 따른 동일채널 간섭의 해결을 주요 목적으로 두었고 이를 위해서는 regular 한 프레임 길이가 필요한데 DVB-S2/S2x 표준의 경우 ACM(Adaptive Coding and Modulation) 기술 도입 시 PLframe 길이가 가변하는 현상이 발생한다. 이러한 문제를 해결하는 방안으로 SF Format #2, #3에서는 bundle PLframe 개념을 도입하였고 이는, DVB-S2 표준에서는 64,800 비트의 고정된 길이를 가지는 LDPC(Low Density Parity Check) 부호의 도입에 따른 것으로 길이가 다소 길어진 프레임 형태가 나오게 되었다.

2. 분석

SF 기술은 주로 DTH와 같은 방송 서비스보다 주로 VSAT 형태의 광대역 통신 서비스를 대상으로 한다. SF Format #0, #1의 경우 기존의 S2/S2x 표준기반으로 설계가 되어 있고 Format #2, #3, #4의 경우 특정 목적에 따라 설계가 되었다. 그 중에서 Format #2, #3은 다중빔 HTS 및 BH 기술, Format #4 기술은 BH 및 초광대역 기술을 수용할 수 있는 구조이다. Format #2 기술은 BH 기술보다 다중빔 기술을 위한 동일채널 간섭완화를 위한 구조에 더욱 적합하며 Format #4는 다양한 위성 탑재체 대역폭 및 beam switching에 따른 BH 기술에 적용이 가능하다. 기본적으로 SF 기술의 경우 다양한 flexibility 기능 지원에 따라 기존보다 다소 복잡한 송수신기 구현이 발생할 것으로 사료된다.

III. 다중빔 HTS 위성기반 전송기술 동향

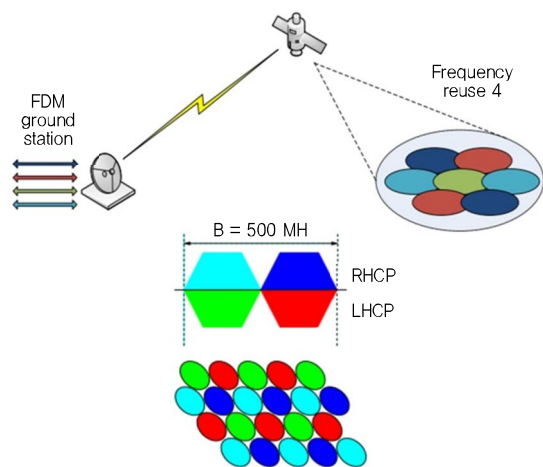
1. 배경

한정된 위성 주파수 자원 활용의 극대화를 위해 기존 FSS(Fixed Satellite Service) 서비스 대비 일반적으로 20배 이상 throughput을 제공하기 위해 HTS 위성이 북미, 유럽 사업자를 중심으로 발사되어 왔다. 이러한

HTS 기술은 (그림 1)와 같이 주파수 재사용 기술과 더불어 향상된 위성 탑재체 RF 부품 및 안테나 기술, 디지털 신호처리 기술 등에 의해 점점 진화해가고 있다. 특히, flexible TWTA(Travelling Wave Tube Amplifier) 기술과 MPA(Multi-Port Amplifier) 기술의 발달은 beam 커버리지 및 출력전력의 유연성을 높이게 되었다. 특히, 갈수록 spot beam 의 개수가 증가하게 되어 주파수 재사용 기술과 더불어 HTS위성이 VHTS(Very High Throughput Satellite) 위성으로 진화하고 있으며 위성 발사 후에도 TT&C(Telemetry and TeleCommand)를 통해 위성 beam을 재구성할 수 있는 배열 급전 반사판 안테나 및 beam 성형 기술 등이 사용되고 있다. 아울러 beam 간 주파수 사용효율을 올릴 수 있는 대역폭 재할당 및 스위칭 기술은 트래픽 자원의 발생에 따라 자원을 최적으로 할당할 수 있는 유연한 위성 탑재체 기술로 진화할 수 있게 되었다.

2. 기존 연구[1], [2], [5]-[9]

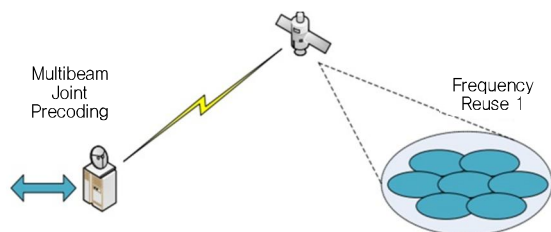
HTS 기술의 경우 주로 (그림 1)와같이 2개 다른 편파와 2개의 다른 주파수를 사용하는 4 color 기반의 주파수 재사용 기술이 사용되고 있다. 이러한 망의 구조에서는 beam 간의 동일채널 간섭의 문제가 크게 부각되지



(그림 1) 다중빔 위성통신망 개념도[7], [8]

않았고(일반적으로 전력대비간섭비율이 8~20dB 수준) 특이한 경우 beam 간의 전력 불균형에 따라 동일채널 간의 간섭문제를 해결하고자 DVB-S2x 표준에서는 서로 다른 스크램블링 코드를 사용하여 간섭의 효과를 완화하려고 하였다. 최근 다수의 배열 소자로 하나의 beam/cluster를 형성하는 MFPB(Multiple Feeder Per Beam) 안테나 기술의 도입에 따라 자원활용의 유연성을 증대시킬 수 있지만 인접한 spot beam은 일부 array 요소를 공유하기 때문에 채널 간 간섭문제는 더욱 커질 수 있게 된다.

현재는 이러한 문제를 주파수 재사용으로 해결하고 있지만 이러한 문제를 포함하여 DVB-S2x 표준에서는 궁극적인 목표인 (그림 2)과 같이 precoding 기법을 이용하여 주파수 재사용률이 1인 경우에 대해 적용할 수 있는 표준기술로 SF 규격화 작업을 수행하였다. 이러한 공격적인 주파수 재사용률을 구현하기 위해서는 심각한 동일채널 간섭 문제를 해결하는 것이 필요하며 기본적인 아이디어는 지상 셀룰라망에서 사용되고 있는 multi-user MIMO(Multiple Input Multiple Output) 기술개념과 흡사하다. spot beam 안테나 패턴에 따라 다중안테나 사이의 빔 간 간섭이 존재하게 되고 [3]의 (그림 9)에서 나타낸 것 처럼 다중빔으로 구성된 위성 탑재체에서 feeder link인 gateway 송신기로부터 위성 payload chain까지의 채널성분, 위성 payload 안테나 beamforming matrix 채널성분, user link인 위성 payload에서부터 사용자 단말까지의 채널 성분으로 구성된 채널 성분이 존재하게 되는 것을 사용자 단말에서



(그림 2) 주파수 재사용률 1 기반 다중빔 전송기법개념[7]

추정하게 된다. 사용자 단말에서 추정된 채널정보를 ACM 개념과 같이 중심국으로 전달하는 링크가 존재하게 되고 중심국(gateway)에서 채널 precoding 행렬을 계산하여 전치왜곡을 적용하여 전송하는 기술이다. 여기서 사용되는 precoding 계산 기술은 주로 선형 모델인 ZF(Zero Forcing)과 MMSE(Minimize Mean Square Error) 알고리즘이 사용된다. 지상망과 상이한 부분은 채널 행렬을 계산하는 알고리즘이 아니라 적용하는 방식으로 지상망에서는 unicast 기반의 precoding 기법이 사용되는 데 반해 DVB-S2x 표준에서는 multicast 방식이 사용된다. 이유는 DVB-S2x 표준에서 PL(Physical Layer) frame 단계에서 명확히 사용자(단말)별로 RB(Resource Block)에 대한 구분이 없는 TDM 형태의 전송방식이고 PLframe 길이가 가변하는 ACM 방식이 사용되는 경우 빔간 적용되는 precoding matrix가 복잡하게 된다. 아울러, 적용되는 정지궤도 위성망의 특성상 RTT(Round Trip Time)가 500msec 정도 되므로 채널 추정과 실제 채널상태(특히, 위상잡음 등에 의한 위상변화)가 latency에 따라 가변할 수 있는 특성을 가진다. 따라서, 차선책으로 PLframe 단위로 빔(클러스터) 사용자에게 동일하게 적용되는 구조의 precoding 기법을 사용하게 된다. 이는 프레임 내에서 사용자 수가 증가하게 되면 throughput 성능 측면에서 다소 열화되는 구조일 수밖에 없다[5], [8], [9].

한편 단말에서도 정확한 CSI(Channel State Information) 정보 추출을 위해 다중사용자 검출(다중빔 복조) 기법이 필요하며 복잡도 증가가 발생하게 된다. 따라서, 어떤 신호대 간섭비율까지 채널추정을 할지 여부에 따라 throughput 개선과 단말의 수신기 복잡도가 결정된다. Precoding 기법 도입을 통한 throughput 증가는 시스템 파라미터에 따라 매우 가변적이며 구체적인 예로 유럽지역이 245개의 spot beam으로 구성시키고 이상적인 단일 precoding 기능을 가진 gateway 망으

로 구성한다면 현재, HTS 기술 수준대비 평균 84~95% 수준까지 throughput이 증가하는 것이 관찰되었다.

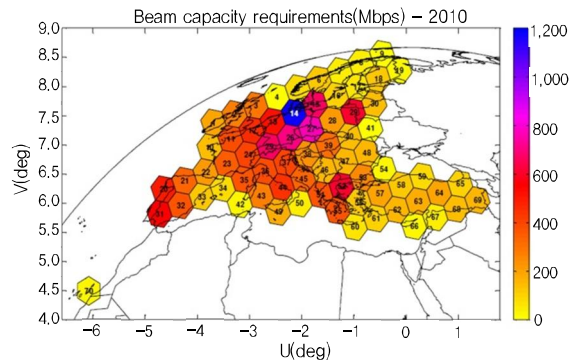
3. 최근 기술 동향

이러한 문제를 개선하고자 최근 ESA ARTES 프로그램에서는 OPTIMUS 프로젝트에서는 기존의 DVB-S2x 표준기반의 reference 모델인 multicast precoding 기법 대신에 unicast precoding 기법에 관한 연구를 수행하였다. 앞서 언급했듯이 multicast 기법의 경우 각 빔에서 cluster 사용자들이 1개의 PLframe에 다중화되어 있기 때문에 MODCOD 선택 시, 가장 열악한 SINR 사용자에 의해 결정되기 때문에 multicast 차수가 높아질수록 throughput 또는 대역폭당 전송효율이 낮아지는 문제가 발생하였다. 그러나 unicast precoding 기법의 도입시 사용자당 dedicated PLframe이 할당이 되므로 전송 latency 문제가 발생하게 된다. 따라서, 현재의 DVB-S2x PLframe 대신에 짧은 길이의 PLframe을 대체하는 형태와 64K LDPC 부호에서 얻은 coding gain과 비슷한 수준을 유지하기 위해 3GPP(Third Generation Partnership Project) 5G NR(New Radio)에서 설계된 2K, 4K, 8K 길이의 LDPC 부호를 적용하여 성능 비교를 수행하였다. 216개 MODCOD와 72개 PLframe 생성을 통해 throughput 성능개선 및 latency 문제를 같이 해결할 수 있는 방안을 제시하였다[10].

IV. 빔 호핑 HTS 위성기반 전송기술 동향

1. 배경

빔 호핑(BH) 기술은 다중 빔 위성 전송 환경에서 전력 과 대역폭의 유연한 할당을 통해서 데이터 트래픽의 수요를 충족시키는 HTS 기술에 시간 자원이라는 요소를 추가하여 자원할당의 유연성을 더욱 높이는 기술이다. 아울러, 기존의 다중빔 환경에서 주로 발생하는 간섭 문



(그림 3) 지정학적 위치에 따른 트래픽 분포량[11]

제 및 위성 탑재체 oversize 문제에 대한 대안으로 등장했다. 빔 호핑 기술은 2000년대 초 중반에 미국에서 이동위성서비스에 적용되었던 기술로 광대역인 Ku/Ka 대역에서의 연구는 2010년 초 ESA ARTES 프로그램을 통해 상위 수준의 연구 결과가 발표되기 시작하였다. 유럽에 DDSO(Digital Divide Satellite Offer) 연구에 따르면 데이터 발생 분포가 (그림 3)과 같이 지역 및 시간에 따라서 아주 일정하지 않아 이는 기존의 HTS 기술보다 효율적인 기술의 필요성이 부각되었다[11]. 실질적으로 이러한 기술의 Ku/Ka 대역에서의 최초 시도는 프랑스 Eutelsat에서 2019년 하반기 발사 예정인 Quantum satellite 위성이다. 이론적으로 동일한 자원 환경에서는 다중빔 HTS 기법과 BH 기법의 전체 capacity는 동일하다[12]. 그러나 자원의 효율적인 활용 측면에서는 BH 기술이 우수할 수 있다. BH 기술 도입 시 기대되는 효과는 가령, 1개 MPA 로 다른 timeslot 구간에서 다중빔을 illumination하는 경우 on-board 증폭기 수 감소, 순시적인 트래픽 과다발생에 따른 대처 기능, DC(Direct Current) 전력소비 감소, 자원요청에 따른 불충족한 서비스 경우 감소 등이 있으며 수치적으로 유럽지역을 기반으로 한 70개의 다중빔 환경을 모델로 시스템 시뮬레이션을 수행한 결과 자원 용량 15% 증가, 자원의 효율적인 사용 가능성이 20%까지 증가, DC전력 50% 이하 감소 등의 결과를 제시하였다[2], [11].

2. 기술적인 요구사항

앞서 언급한 BH 위성의 도입 시 개선되는 점 외에 새로운 기술도입으로 지상통신 장비 측면에서 해결해야 할 문제도 발생하는데 기술적 요구사항은 다음과 같다. 첫째, 대부분의 현재 위성통신 단말들은 순방향 링크(gateway에서 단말로의 전송)의 경우 연속적인 스트림의 수신기술로 설계되어 있다. 그러나 BH 위성을 위해서는 시분할 접속 방식인 버스트 형태의 수신기술로 변경이 필요하다. 둘째, payload는 switching을 통해 전송하고자 하는 beam으로 illumination을 하기 위해서 payload 동작 시각과 gateway 동작 시각 사이의 시간적 동기화 과정과 추가적인 gateway와 단말 간의 시각 동기가 이루어져야 한다. 셋째, 지상장비 제조업체 외에 위성사업자 관점에서는 기존의 사업모델은 wide band/global beam 형태로 대역폭 측면에서 고정된 capacity 기반인 데 반해 beam hopping 기술의 위성망 사업자는 기존 서비스 사업자와 망관리 측면에서 새로운 협의가 필요하며 관련 reference를 위해 ETSI SCN(Satellite Communication and Networking) 그룹에서 서비스 및 망 사업자 간의 프로토콜 규격과 망 사업자의 TT&C 시스템 관련 표준화 작업으로 진행 중에 있다.

3. DVB 표준화 요소

DVB-S2x 표준화 당시 HTS 및 BH 기술에 관한 명확한 CR이 없었기 때문에 Annex E에서 SF이라는 기술로 BH를 지원하기 위한 전송방식 및 프레임 구조만 연구가 수행되었다. 현재, SF 구조에서 Format#2, #3, #4가 BH 기술만 SF termination 기능이 포함되어 있기 때문에 적용이 가능하다. 현재, DVB-S2x 표준기술에서 제안하고 있는 SF 구조는 서비스 종류에 따라 적용가능성에 대한 분석이 필요하다는 요청사항이 제기되고 있다. 기술적인 사항으로는 latency, 자원할당의 효율성, 전력

절약, 주파수 공유에 관한 부분이다. 이러한 기술적인 보완사항은 서비스, 즉 구체적인 use case 별로 표준화 그룹에서 검토 진행 중에 있으며 commercial requirement 초안이 만들어진 상황이다[13].

V. 향후 발전 방향 및 결론

본고에서는 유럽형 디지털 위성방송/통신 전송규격인 DVB-S2x SF 기술을 중심으로 차세대 다중빔 HTS 위성기반 효율적인 전송구조에 관해 설명하였다. 지상 셀룰라망의 진화에 따라 위성기반 서비스의 효율성을 높이기 위해서 위성 payload 및 지상 전송 기술 모두 flexibility와 재구성(reconfigurable)이 가능한 구조로 발전되고 있음을 소개하였다. 향후, 궁극적으로 VHTS (Very High Throughput Satellite) 기술 및 테라급 위성 기술의 실현을 위해서는 Q/V 대역 발굴 및 optical feeder 링크 기술 개발과 더불어 flexible 위성 payload 기술 진화, 지상국 gateway의 precoding 및 단말의 다중 사용자(빔) 검출 기술의 발전이 필요하며 BH 기술도 이를 보완할 수 있는 요소 기술로 발전되리라 사료된다.

약어 정리

ACM	Adaptive Coding and Modulation
APSK	Amplitude Phase Shift Keying
ARTES	Advanced Research in Telecommunication System
BH	Beam Hopping
CR	Commercial Requirement
CSI	Channel State Information
DC	Direct Current
DDSO	Digital Divide Satellite Offer
DVB-S2x	Digital Video Broadcasting-Satellite 2nd generation eXtension
DTH	Direct To Home
ESA	European Space Agency
ETSI	European Telecommunication Standard Institute

FSS	Fixed Satellite Service
HTS	High Throughput Satellite
IPTV	Internet Protocol Television
LDPC	Low Density Parity Check
MODCOD	MODulation CODE rate
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MFPB	Multiple Feeder Per Beam
MMSE	Minimize Mean Square Error
MPA	Multi-Port Amplifier
NR	New Radio
PL	Physical Layer
RB	Resource Block
RTT	Round Trip Time
SCN	Satellite Communication and Networking
SF	Super Frame
TM-S	Technical Module-Satellite
TT&C	Telemetry and TeleCommand
TWTA	Travelling Wave Tube Amplifier
3GPP	Third Generation Partnership Project
VHTS	Very High Throughput Satellite
VSAT	Very Small Aperture Terminal
UHD	Ultra High Definition
ZF	Zero Forcing

참고문헌

- [1] ETSI EN 302 307-2, "Digital Video Broadcasting (DVB), Second Generation Framing Structure, Channel Coding and Modulation Systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other Broadband Satellite Applications; Part 2: DVB-S2 Extensions (DVB-S2X)," Oct. 2014.
- [2] ETSI TR 102 376 v1.1.1., "Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation Guidelines for the Second Generation System for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other Broadband Satellite Applications; Part 2: S2 Extensions (DVB-S2X)," Feb. 2005.
- [3] DVB, "DVB-S2x_highlights: White Paper on the use of DVB-S2X for DTH applications, DSNG & Professional Services, Broadband Interactive Services and VL-SNR applications," DVB Document A172, Mar. 2015.
- [4] H. Fenech and S. Amos, "Eutelsat Quantum: A Game Changer," *In proc. AIAA Int. Commun. Satellite Syst. Conf. Exhibition*, Queensland, Australia, Sept. 7-10, 2015. <https://doi.org/10.2514/6.2015-4318>
- [5] P.D. Arapoglou, A. Ginesi, S. Cioni, S. Erl, F. Clazzer, S. Andrenacci, and A. Vanelli-Coralli, "DVB-S2x-Enabled Precoding for High Throughput Satellite Systems," *Int. J. Satell. Commun. Netw.*, vol. 34, no. 3, 2015, pp. 413-438.
- [6] C. Rohde, R. de Gaudenzi, H. Stadali, and G. Mocker, "Super-Framing: a Powerful Physical Layer Frame Structure for Next Generation Satellite Broadband Systems," *Int. J. Satell. Commun. Netw.*, vol. 34, no. 3, 2015, pp. 439-455.
- [7] G. Zheng, S. Chatzinotas, and B. Ottersten, "Generic Optimization of Linear Precoding in Multibeam Satellite Systems," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 11, no. 6, June 2012, pp. 2308-2320.
- [8] D. Christopoulos, S. Chatzinotas, and B. Ottersten, "Multicast Multigroup Precoding and User Scheduling for Frame-Based Satellite Communications," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 14, no. 9, Sept. 2015, pp. 4695-4707.
- [9] M.A. Vazquez et al, "Precoding in Multibeam Satellite Communications: Present and Future Challenges," *IEEE Wireless Commun. Mag.*, vol. 23, no. 6, Dec. 2016, pp. 88-95.
- [10] DVB TM-S0395, "Optimized Transmission Technique for Satellite Communication Unicast Interactive Traffic," Nov. 2017.
- [11] J. Anzalchi, A. Couchman, P. Gabellini, G. Gallinaro, L. D'Agostina, N. Alagha, and P. Angeletti, "Beam Hopping in Multi-Beam Broadband Satellite System," *In Proc. ASMS Conf. SPSC workshop*, Cagliari, Italy, Sept. 1-15, 2010, pp. 248-255.
- [12] H. Meric and G. Lesthievant, "On the Use of Dummy Frames for Receiver Synchronization in a DVB-S2(X) Beam Hopping System," *AIAA Int. Commun. Satellite Syst. Conf.*, Trieste, Italy, Oct. 16-19, 2017.
- [13] DVB CM-S00042r1, "Review of Use cases for Beam Hopping Principle for CM-S Activity, Use Cases and Technical Issues," Nov. 2017.