

DVB-S2 표준을 적용한 정지궤도복합위성 UHRIT 통신 개념설계

박덕중*, 임현수**, 안상일***

Conceptual Design of GK2A UHRIT Broadcasting using DVB-S2

Durk-Jong Park*, Hyun-Su Lim**, Sang-Il Ahn***

Abstract

In the communication between satellite and ground station, data rate can be determined from the data volume and required transmission time. Increasing data rate can be limited according to the available bandwidth. For the reason, it has been popularly studying on high spectral-efficient modulation scheme in large volume data application such as digital video broadcasting service. This paper presents the conceptual design of UHRIT broadcasting in GEO-KOMPSAT-2A (GK2A) mission by using DVB-S2 standard. Based on the recently determined data rate, UHRIT bandwidth was calculated at the various modulation schemes and code rates of DVB-S2 standard. Receiving performance of global user station was also evaluated thorough link analysis by considering that user station is located at the edge of beam coverage. Finally, maximum data rate was analyzed in a situation that COMS HRIT bandwidth should be alternatively applied for UHRIT downlink.

초 록

위성과 지상국 간의 데이터 전송속도는 전달해야 하는 데이터의 용량과 요구되는 전송 시간에서 계산되는데, 이러한 전송속도는 가용한 대역폭에 의해 제약을 받게 된다. 따라서 디지털 영상 서비스와 같은 대용량의 데이터 통신이 필요한 분야에서는 대역폭 효율이 우수한 전송 방식에 대해 많은 연구가 수행되었다. 본 논문에서는 정지궤도 복합위성 UHRIT 신호 전송의 개념 설계를 위하여 대역폭 효율이 우수한 통신 방식인 DVB-S2 표준을 적용한 결과를 설명한다. 최근에 결정된 UHRIT 전송속도에 31Mbps에 따라서, DVB-S2에서 지원되는 변조 방식 및 부호율에 대한 URIT 대역폭을 계산하였다. 또한 가능성 있는 주파수 대역의 조합에 대해 GK2A위성의 빔 커버리지 내에 위치하는 사용자 안테나 시스템의 수신 링크 마진을 분석하였다. 끝으로 천리안 위성에서 사용되는 L-Band HRIT의 대역폭인 5.2MHz을 대체 활용하여 UHRIT을 전송할 경우에 DVB-S2의 각 모드 별 최대 전송속도 및 사용자 안테나에서 요구되는 G/T를 산출하였다.

키워드 : GEO-KOMPSAT-2, GK2A, DVB-S2, UHRIT

접수일(2013년 9월 12일), 수정일(1차 2013년 10월 21일), 게재 확정일(2013년 11월 1일)

* 위성지상시스템개발팀/parkdj@kari.re.kr

** 위성지상시스템개발팀/hyunsu@kari.re.kr

*** 위성지상시스템개발팀/siahn@kari.re.kr

1. 서 론

정지궤도복합위성에서는 AMI (Advance Meteorological Imager)의 고성능 대기관측 탑재체로부터 기상 원시 데이터를 수신 받아 이에 대해 전처리 (pre-processing)를 수행한 후 다시 위성으로 전송하여 최종적으로 위성 송신 안테나의 빔 커버리지 내에 있는 사용자 안테나를 통해 UHRIT (Ultra High Rate Information Transmission) 데이터 방송을 고려중에 있다. 이는 천리안 위성에서 현재 서비스 중인 HRIT/LRIT (High/Low Rate Information Transmission) 방송과 유사하다. 하지만 AMI가 관측한 기상 데이터는 천리안 위성에 비하여 관측 데이터 채널의 수가 월등하게 많기 때문에 UHRIT의 데이터 크기가 비례적으로 증가하고 제한된 시간에 모든 데이터를 전송하기 위해서 고속의 전송속도가 요구된다. 이러한 고속의 전송속도는 넓은 대역폭을 요구하게 되어 주변 신호와의 간섭 문제가 발생될 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 다목적실용위성 3호 위성에서는 RHCP (Right-Handed Circular Polarization)와 LHCP (Left-Handed Circular Polarization)의 편파 분리 채널을 사용함으로써 전송속도를 2배 개선하는 효과를 얻을 수 있었으며, 5호 위성에서는 주파수 분리 채널을 사용하되 두 채널간의 간섭을 최소화하기 위해 대역폭 제한 기법을 적용하여 고속으로 데이터를 전송하고 있다^{[1], [2]}. 이러한 채널 분리 및 대역폭 제한 외에 고차의 변조기법을 활용하여 대역폭 효율을 개선하는 방법도 널리 연구되고 있다. 이러한 방법 중에 한정된 대역폭에서 HDTV

(High-Definition Television) 위성 디지털 방송에서는 이미 DVB-S2 (Digital Video Broadcasting - Satellite Second Generation)이 표준으로 정립되어 운영 중에 있다^[3]. 정지궤도복합위성의 UHRIT는 기상 데이터를 취급함으로 기상위성 업무용으로 할당된 uplink 주파수 대역인 S-Band (2025-2110 MHz)와 X-Band (8175 MHz - 8215MHz)을 통해 지상국에서 위성으로

전송하게 된다. S-/X-Band 보다 주파수가 높은 대역은 한반도의 기후 특성 상 여름철에 시작되는 장마로 인한 강우 손실 영향이 크므로 24시간 운영해야 하는 필요성에 의해 고려대상에서 배제하였다. S-Band의 경우 현재 이미 저궤도 위성 관제용으로 할당되어 사용되고 있으며 X-Band의 경우도 저궤도 위성의 수신 대역과 겹치게 됨으로 상호간에 안정된 운영을 위해서는 최대 40 MHz의 가용한 대역폭보다도 상당히 좁은 대역폭을 통해 서비스를 해야 하는 제한이 있다. 이러한 상황을 고려할 때 앞서 다목적실용위성 3호나 5호에서처럼 편파나 주파수 분리를 통한 데이터 전송이 아닌 대역폭 효율이 우수한 DVB-S2을 이용한 UHRIT신호의 전송이 더 적합함을 알 수 있다. 참고로, 2015년 10월에 발사 예정인 미국의 차세대 기상위성인 GOES-R (Geostationary Operational Environmental Satellite R-Series)에서는 GRB (GOES-R Rebroadcast) 데이터를 31 Mbps로 전송하기 위해 DVB-S2 방식과 편파분리를 병행하여 적용할 예정이다.^[4] 본 논문에서는 DVB-S2 전송 기술로서 DVB-S2 자체 프레임 형식을 기술하였고, DVB-S2에서 제공하는 다양한 변조 방식과 부호율에 따른 예상되는 대역폭을 분석하였다. 또한 개념설계로서 DVB-S2방식의 UHRIT신호를 사용자 안테나를 통해 수신할 때 uplink/downlink의 주파수 조합에 따른 링크 마진을 분석하였다. 끝으로 천리안 위성의 L-Band HRIT 수신 대역폭인 5.2 MHz을 통해 UHRIT의 신호를 전송할 때 가능한 전송속도에 대해 분석하였다.

2. DVB-S2 전송 기술

DVB-S2는 가용한 위성 대역폭에 대해 신규 방송 서비스 제공을 위해 기존 DVB-S에 비하여 높은 전송 효율 및 고 신뢰 전송을 가능하게 하는 전송 방식이다. 이를 위하여 DVB-S2에서는 QPSK, 8PSK 뿐만 아니라 16APSK (Amplitude and Phase Shift Keying), 32APSK등의 고차 변조 방식과 데이터 오류 정정의 이론적 한계인 사

논 이론에 근접한 LDPC (Low Density Parity Check)의 오류정정코드가 연동되어 적용된다. 이로써 기존 DVB-S에 비하여 전송 용량이 30% 이상 증가 효과를 얻을 수 있다^[5]. DVB-S2 프레임 형식은 입력 데이터(CCSDS CADU, Channel Access Data Unit)를 입력받아 구성한 BBFRAME, 오류정정코딩 후의 FECFRAME, 그리고 물리 계층 출력인 PLFRAME으로 구분한다. 그림 1은 2048 bytes의 CADU형태의 입력 데이터를 받아 변조 (Modulation) 이전단계인 PLFRAME까지의 구성을 나타낸 것이다. 먼저 BBFRAME에서는 BBHeader가 80 bit로 되어 있으며 CADU 데이터는 사용자 데이터 필드인 DFL에 채우게 된다. DFL에 채워지는 데이터의 길이는 LDPC code rate에 따라 달라지는데 2/3의 rate에서는 42960 bits (= 43040 - 80)로 된다. BBHeader에는 data field에 대한 정보가 삽입된다. BBFRAME은 LDPC encoding을 위해 FFCFRAME의 BBFRAME에 채우게 되고 이후에 BCH coding 부호인 BCHFEC와 LDPC coding 부호인 LDPCFEC가 붙게 된다. BCHFEC와 LDPCFEC의 길이는 LDPC code rate 및 FECFRAME의 길이에 따라 달라지는데 2/3의 rate와 normal FECFRAME일 경우 각각 160bits (= 43200 - 43040)와 21600 bit (64800 - 43200)가 된다. FECFRAME의 길이는 2가지로 구분되는데 normal FECFRAME의 경우 64800 bits이고 short FECFRAME의 경우 16200 bits이다.

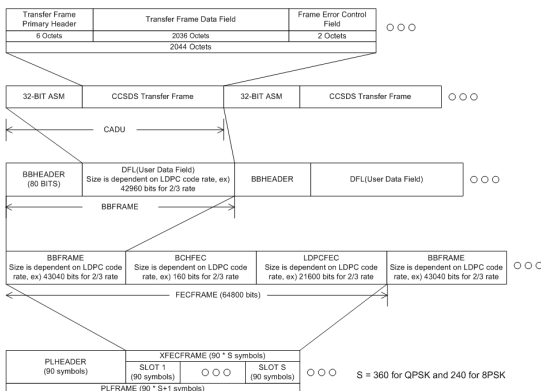


그림 1. DVB-S2 프레임 형식[5]

표 1은 normal FECFRAME에 대해 code rate 별 BBFRAME, BCHFEC, 그리고 LDPCFEC에 대한 각각의 길이를 정리한 것이다.

표 1 DVB-S2의 Code Rate에 따른 프레임 길이[5]

LDPC Code	DFL	BBFRAME (bits)	BCHFEC (bits)	LDPCFEC (bits)
1/4	15928	16008	192	48600
1/3	21328	21408	192	43200
2/5	25648	25728	192	38880
1/2	32128	32208	192	32400
3/5	38608	38688	192	25920
2/3	42960	43040	160	21600
3/4	48328	48408	192	16200
4/5	51568	51648	192	12960
5/6	53760	53840	160	10800
8/9	57392	57472	128	7200
9/10	58112	58192	128	6480

PLFRAME은 실제 전송을 위한 프레임 구성으로써 90심벌의 slot으로 구분된다. 따라서 변조 방식에 따라 slot의 개수가 가변적이다. 예로서, QPSK의 경우 심벌 당 2bit로 구성됨으로 64800 bit의 FECFRAME에 대해서는 360개의 slot으로 구성된다. 8PSK의 경우 심벌 당 3 bit로 구성됨으로 240개의 slot으로 구성된다. PLFRAME을 구성한 이후에는 root-raised cosine filter에 의한 filtering과 변조를 통해 위성으로 전송된다^[5].

3. 변조 방식에 따른 대역폭 조사

정해진 대역폭 내에서 전달할 수 있는 데이터의 용량이 비율인 대역폭 효율 (Spectral Efficiency, η_{tot})은 DVB-S2에서 지원될 수 있는 변조 방식 및 code rate에 따라 계산할 수 있다^[5].

$$\eta_{tot} = \text{Symbol} \times (\text{DFL}/64800) \times S / (S+1) \quad (1)$$

여기에서 Symbol은 심벌 당 bit의 수를 나타낸 것으로서, QPSK의 경우 2, 8PSK의 경우 3, 16APSK의 경우 4, 32APSK의 경우에는 5이다. DFL은 BBFRAEM의 data field 길이를 나타낸 것이다. 한편, S는 Slot의 개수를 나타낸 것으로서, 64800bit의 normal FECFRAME에 대해 QPSK의 경우 320, 8PSK의 경우 240, 16APSK의 경우 180, 그리고 32APSK의 경우 114를 의미한다. 예를 들어, 8PSK 2/3의 경우에는 Symbol=3, DFL=42960, S=240임으로 이를 계산하면 η_{tot} 는 약 1.98이 되는 것을 알 수 있다. 전송속도로부터 대역폭 효율 외에 baseband filtering에서 적용된 roll-off factor로부터 대역폭, B는 (2)처럼 계산할 수 있다^[6].

$$B = \text{Data Rate} \times (1/\eta_{tot}) \times (1 + \text{roll-off factor}) \quad (2)$$

DVB-S2 표준에서 roll-off factor는 0.2, 0.25, 그리고 0.35 중에 하나를 선택하여 사용하도록 되어 있다. 표 2는 UHRIT의 CADU 데이터를 31 Mbps의 속도로 표준에서 제시하고 있는 3가지 roll-off factor 중에서 중간 값인 0.25를 갖는 baseband filter를 통해 전송할 경우 DVB-S2에서 제공하는 각각의 변조 및 code rate에 따른 대역폭을 나타낸 것이다.

표 2의 결과로부터, spectral efficiency는 고차 변조 및 code rate가 클수록 값이 커지는 것을 알 수 있다. 한편, 대역폭은 spectral efficiency가 클수록 작아지는 것을 알 수 있다. 31 Mbps의 UHRIT CADU 데이터를 20 MHz 대역폭 이내에서 전송해야 한다면 표 2에서 나타낸 것처럼 최소한 8PSK 2/3 이상의 고차모드 변조에서 가능함을 알 수 있다.

표 2 변조 및 Code Rate에 따른 대역폭 (GK2 UHRIT 전송속도, 31 Mbps 기준)

Mode	Spectral Efficiency	대역폭 (MHz)
QPSK 1/4	0.49023	79
QPSK 1/3	0.656448	59
QPSK 2/5	0.789412	49.1
QPSK 2/3	0.988858	39.2
QPSK 3/5	1.188304	32.6
QPSK 2/3	1.322253	29.3
QPSK 3/4	1.487473	26.1
QPSK 4/5	1.587196	24.4
QPSK 5/6	1.654663	23.4
QPSK 8/9	1.766451	21.9
QPSK 9/10	1.788612	21.7
8PSK 3/5	1.779991	21.8
8PSK 2/3	1.980636	19.6
8PSK 3/4	2.228124	17.4
8PSK 5/6	2.478562	15.6
8PSK 8/9	2.646012	14.6
8PSK 9/10	2.679207	14.5
16APSK 2/3	2.637201	14.7
16APSK 3/4	2.966728	13.1
16APSK 4/5	3.165623	12.2
16APSK 5/6	3.300184	11.7
16APSK 8/9	3.523143	11
16APSK 9/10	3.567342	10.9
32APSK 3/4	3.703295	10.5
32APSK 4/5	3.951571	9.8
32APSK 5/6	4.11954	9.4
32APSK 8/9	4.397854	8.8
32APSK 9/10	4.453027	8.7

4. 링크 분석

가정된 위성과 지상국의 링크 파라미터를 이용하여 UHRIT 신호가 위성으로 uplink된 후 다시 빔 커버리지 내의 사용자 안테나로 downlink되는 시나리오에 따라 링크 분석을 수

행하였다. 링크 분석에서 가정한 링크 파라미터는 표 3과 같이 정리하였다. 가정된 파라미터에서 송신안테나는 대전에 있는 한국항공우주연구원의 지상국 안테나를 고려하였다. 위성에 대한 것은 현재 설계 중인 파라미터를 고려하였다.

표 3 가정된 링크 파라미터

Data rate	31Mbps
DVB-S2 모드	8PSK 2/3 모드 적용
Uplink/Downlink Frequency	S - B a n d / S - B a n d , S - B a n d / X - B a n d , X-Band/X-Band
송신안테나 크기	13m for S-Band Uplink, 5.4m for X-Band Uplink
송신안테나 EIRP	61.78 dBW for S-Band Uplink, 66.10dBW for X-Band Uplink
위성 on-board 수신 안테나 크기	0.42m
위성 on-board 송신 출력	100W
위성 on-board 송신 안테나	0.42m for S-Band, 0.16m for X-Band (Global Service를 위해 빔 커버리지 영역이 사용자 수신 안테나의 설치 위치에서 EL 10도를 만족하는 것을 고려함)
사용자 안테나 위치	아부다비 (빔 커버리지 경계 에 위치하는 경우를 고려함)

표 4는 UHRIT신호의 uplink와 downlink 주파수에 따른 링크 분석 결과를 정리한 것이다.

Uplink와 downlink의 C/No를 비교하면, S-Band up/S-Band down의 경우 uplink의 지상국 EIRP (Effective Isotropic Radiated Power)을 높이거나 위성 on-board의 수신 안테나 크기를 증가하는 것이 링크 마진을 높이는 데 효과적임을 알 수 있다. S-Band up/X-Band down과 X-Band up/X-Band down의 경우 위성 on-board의 송신 EIRP를 늘리거나 사용자 안테나의 크기를 증가시키는 것이 링크 성능을 향상하는데 효과적인 것을 알 수 있다.

표 4 UHRIT의 Up/Downlink 주파수에 따른 링크 분석 결과 (99.9% rainfall rate 고려)

	S-Band Up/S-Band Down	S-Band Up/X-Band Down	X-Band Up/X-Band Down
Uplink C/No [dB]	83.72	83.72	86.88
Downlink C/No [dB]	84.50	81.14	81.14
Overall C/No [dB]	81.08	79.23	80.12
Link Margin [dB] @5.4m	1.02	-0.83	1.35

UHRIT 전송을 위해 20 MHz의 비교적 넓은 대역폭의 확보가 용이하지 않을 경우, 31 Mbps의 전송속도를 조절하던지 혹은 DVB-S2에서 지원되는 8PSK 2/3 모드보다 고차 모드를 사용해야 한다.

한편, 주파수 대역 확보가 문제되어 기존 천리안 위성으로 할당된 주파수 대역을 활용한다면, L-Band의 HRIT Downlink 주파수 대역을 고려할 수 있다. 현재 HRIT신호는 east-west 방향의 선형편파를 사용하고 있다. 편파 분리를 통해 UHRIT를 north-south방향의 선형편파로서 전송한다면 5.2 MHz의 HRIT신호 대역을 사용하는 것은 가능할 것으로 예상된다. 표 5는 S-Band uplink로 UHRIT을 위성으로 전송해서 L-Band의 HRIT 신호 대역인 5.2 MHz를 사용할 경우 DVB-S2에서 제공되는 모드에 따른 가용한 전송 속도 및 link margin, 3 dB link margin 확보를 위한 사용자 안테나의 수신시스템 G/T, 그리고 해당 G/T를 만족하는 아부다비 기준의 안테나의 크기를 정리한 것이다.

분석 결과 10 Mbps이상의 전송속도를 확보하기 위해서는 8PSK 5/6이상의 고차 모드가 필요하며 아부다비 위치를 기준으로 G/T는 13.59 dB/K 이상, 안테나 크기는 5.7m 이상이 필요함을 알 수 있다.

표 5 천리안 위성의 L-Band HRIT 대역 (5.2 MHz)
활용 시 예상되는 Data Rate 산출

Mode	Available Data rate (Mbps)	Link Margin (dB)	3dB 마진을 위한 G/T (dB/K)	안테나 크기 (m)
QPSK 1/4	2.12	14.28	1.89	1.5
QPSK 1/3	2.84	13.17	3.00	1.7
QPSK 2/5	3.42	12.23	3.94	1.9
QPSK 2/3	4.29	10.93	5.24	2.2
QPSK 3/5	5.15	9.70	6.47	2.5
QPSK 2/3	5.73	8.83	7.34	2.8
QPSK 3/4	6.45	7.90	8.27	3.1
QPSK 4/5	6.88	7.25	8.92	3.3
QPSK 5/6	7.17	6.75	9.42	3.5
QPSK 8/9	7.65	5.73	10.44	3.9
QPSK 9/10	7.75	5.51	10.66	4
8PSK 3/5	7.71	6.43	9.74	3.6
8PSK 2/3	8.58	5.31	10.86	4.1
8PSK 3/4	9.66	4.02	12.15	4.8
8PSK 5/6	10.74	2.58	13.59	5.7
8PSK 8/9	11.47	1.24	14.93	6.6
8PSK 9/10	11.61	0.95	15.22	6.8
16APSK 2/3	11.43	2.96	13.21	5.4
16APSK 3/4	12.86	1.72	14.45	6.3
16APSK 4/5	13.72	0.90	15.27	6.9
16APSK 5/6	14.3	0.32	15.85	7.4
16APSK 8/9	15.27	-0.96	17.13	8.5
16APSK 9/10	15.46	-1.20	17.37	8.8
32APSK 3/4	16.05	-0.80	16.97	8.4
32APSK 4/5	17.12	-1.71	17.88	9.3
32APSK 5/6	17.85	-2.35	18.52	10
3 2 A P S K 8/9	19.06	-3.76	19.93	11.8
3 2 A P S K 9/10	19.3	-4.12	20.29	12.3

5. 결 론

본 논문에서는 대역폭 효율이 우수하고 고 신뢰 전송을 제공하는 DVB-S2표준을 이용하여 정지궤도복합위성의 UHRIT 전송에 대한 개념설계 결과를 기술하였다. DVB-S2의 프레임 형식을 분석하여 변조방식과 LDPC의 code rate로 구성된 각각의 모드에 따라 spectral efficiency를 산출한 후에 이로부터 예상되는 대역폭을 산출하였다. 또한 uplink와 downlink의 주파수 대역에 의한 3 종류의 조합에서 링크 분석 결과 S-Band downlink의 경우 uplink의 지상국 EIRP를 높이거나 위성 on-board의 수신 안테나 크기를 증가하는 것이 링크 마진을 높이는데 효과적임을 알 수 있다. 한편, X-Band downlink의 경우 위성 출력 성능 개선 또는 사용자 안테나의 크기를 증가함으로써 통신링크 마진 향상에 효과적인 것을 확인할 수 있었다. 그리고 UHRIT의 대역폭을 신규로 확보하는 것이 어려울 경우 기존 천리안 위성의 HRIT대역을 활용할 수 있는데 DVB-S2에서 제공하는 각 모드 별 가용한 data rate을 산출하였다. 그 결과 8PSK 5/6모드 이상에서는 10 Mbps의 data rate을 확보할 수 있으나, 고차모드일 경우 사용자 안테나 수신 시스템의 성능이 높아져야 함을 확인하였다. 본 논문의 결과는 추후 DVB-S2 송·수신 모형을 통하여 implementation loss 추정 및 다양한 BER에서의 요구되는 Eb/No을 산출한 후, 이로부터 위성/지상국 통신링크 정밀 설계에 활용할 예정이다.

참 고 문 헌

1. Durk-Jong Park, Sang-Il Ahn, Yong-Sik Chun, and Eun-Kyou Kim, "Analysis of X-Band Link Performance Degradation Caused by Adjacent Satellite" JASS, 28(4), pp. 299-304, 2011.
2. Durk-Jong Park, Chi-Ho Kang, Sang-Il Ahn, "Analysis on Receiving Performance for

- KOMPSAT-5 X-Band Image Data", International Symposium on Remote Sensing 2008, Daejeon, Korea, Oct. 29 - 31, 2008.
3. 박선규, "SkyLife의 위성방송시스템 구축현황", 전자공학회지 제 28권 제 11호, pp. 50-54, 2001.
 4. Jim Valenti, "Product Definition and User's Guide, Vol. 4: Goes-R Rebroadcast", which is available at GOES-R official website, <http://www.goes-r.gov/>
 5. ESTI, "Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite application (DVB-S2)", which is available at <http://www.esti.org>.
 6. Bernard Sklar, "Digital Communications", Prentice Hall, 2001.