

# DVB-S2 시스템에서 상관 누적을 이용한 전송프레임 구조 검출

전한익\*, 오덕길\*\*

## Structure Detection of Transmission Frame Based on Accumulated Correlation for DVB-S2 System

Hanik Jeon\*, Deock-Gil Oh\*\*

### 요 약

프레임 동기화는 전송 프레임 헤더에 주기적으로 삽입되는 프리엠블(preamble) 패턴과 수신 심볼 간의 상관 연산을 통해 이루어지며 프레임의 시작점 및 구조 검출을 하는 것이 목적이다. 본 논문은 위성 기반 DVB-S2 시스템 요구사항에 부합하는 프레임 구조 획득 방법에 대해 기술하였다. DVB-S2 수신 신호는 매우 낮은 신호 대 잡음비를 가지며 심볼 속도 대비 20%에 상응하는 주파수 오프셋 성분이 포함되어 있다. 또한 규격은 프레임 당 심볼 수가 상이한 16가지의 프레임 구조를 지원하고 있다. 본 논문에서는 위의 환경에서 정확하고 빠른 프레임 동기화를 위해 프레임 헤더의 SOF와 PLSC 정보를 이용하여 상관 열을 발생시키고 상관 값 누적을 통해 프레임 동기 및 구조 검출을 실시하였다. 마지막으로 컴퓨터 모의실험을 통해 평균 획득 시간(mean acquisition time), 프레임 구조 검출 오류율에 대한 성능평가를 실시하였다.

**Key Words** : Frame synchronization, DVB-S2, satellite communication, structure detection, multi-frame detection

### ABSTRACT

Frame synchronization is achieved by correlation between received symbols and a preamble pattern which is periodically appended at a frame header. In this paper, we deal with a frame detection method complaint with satellite-based DVB-S2 system. In DVB-S2, frame synchronization is performed under the low signal-to-noise ratio(SNR), a large frequency offset which can be up to 20% of a symbol transmission rate and unknown modulation schemes ranging from QPSK to 32-APSK. In this environment, we propose a method combining differential correlation based on SOF and PLSC with an accumulated correlation method for the detection of frame structures. In addition, detection performances about mean acquisition time(MAT) and detection error probability are evaluated via computer simulations.

## I. 서 론

DVB-S2 시스템은 방송통신 서비스를 위한 위성 순방향 링크 규격으로 LDPC(Low Density Parity Check) 부호화, 고차 변조지원, 부호율과 변조방식을 채널환경에 따라 적응적으로 제어하는 ACM(Adaptive Coding & Modulation)기법 등을 도입하여 종전 규격인 DVB-S 대비 30% 이상의 채널 용량 확보를 이루어 냈다[1]-[2].

DVB-S2 수신 신호는 매우 낮은 신호 대 잡음비를 가지며

심볼 속도 대비 20%에 상응하는 주파수 오프셋 성분이 포함되어 있다. 프레임 동기 관점에서 볼 때, 낮은 신호 대 잡음비에서 동기 회로를 동작시키기 위해 기존 규격 대비 프리엠블 길이가 길어져야 하며 주파수 오프셋에 경건한 상관 메트릭(metric)이 고려되어야 한다. 또한 프레임 단위로 변조 및 부호화율이 가변 가능한 ACM 환경에서는 프레임 구조 검출이 고려되어야 한다. DVB-S2는 변조 방식과 파일럿 유무에 따라 길이가 상이한 16종의 프레임 구조가 존재하나 수신기는 변조방식을 알 수 없으므로 프리엠블을 이용한 프레임 시

\*이 논문은 미래창조과학부가 지원한 2015년 정보통신(ICT) 연구개발사업의 연구결과로 수행되었음.

\*\*과학기술연합대학원대학교 이동통신 및 디지털방송공학과 (hijeon@etri.re.kr),

\*\*한국전자통신연구원 위성광대역방송통신 연구실 (dgoh@etri.re.kr)

접수일자 : 2015년 5월 29일, 수정완료일자 : 2015년 6월 22일, 최종 게재확정일자 : 2015년 6월 26일

작업 획득 과정과 프레임 구조 검출이 함께 실시되어야 한다. 표 1은 변조방식, 파일럿 유무, long/short 프레임 적용에 따른 프레임 당 심볼 수를 나타낸다.

본 논문에서는 수신 심볼을 SOF(Start Of Frame)과 PLSC(Physical Layer Signaling Code)를 이용한 non-coherent 차등 상관 회로에 입력시켜 상관 열을 발생시키고 다수개의 프레임 상관 값을 누적하여 프레임 구조 검출을 수행하였다.

본 논문의 순서는 다음과 같이 구성되어 있다. I 장의 서론에 이어 II장에서 프레임 구조 및 신호 모델을 설명하고 III장에서 종전의 프레임 동기 방법을 기술하였다. IV장과 V 장에서는 본 논문에 적용된 프레임 동기 방법과 그에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 결과에 대해 기술하였으며 VI장에 결론을 내리고 논문의 끝을 맺는다.

표 1. 16가지 프레임 구조에 대한 프레임 당 심볼 수

index a	modulation	the number of bits per frame	the number of pilots per frame	# of symbol number ( $L_a$ )
15	QPSK	64800	792	33282
14	QPSK	64800	0	32490
7	QPSK	16200	180	8370
6	QPSK	16200	0	8190
13	8-PSK	64800	504	22194
12	8-PSK	64800	0	21690
5	8-PSK	16200	108	5598
4	8-PSK	16200	0	5490
11	16-APSK	64800	396	16686
10	16-APSK	64800	0	16290
3	16-APSK	16200	72	4212
2	16-APSK	16200	0	4140
9	32-APSK	64800	288	13338
8	32-APSK	64800	0	13050
1	32-APSK	16200	72	3402
0	32-APSK	16200	0	3330

## II. 프레임 구조 및 신호 모델

DVB-S2 물리 계층 전송 프레임은 그림 1과 같이 90심볼의 헤더 영역과 LDPC 부호화된 payload 영역으로 구성된다. SOF는 송수신기가 공유하는 유일 단어이며 PLSC 64심볼은 변조 방식, 부호화율, 파일럿(pilot) 유무에 따른 7비트 정보 데이터를 1차 RM(Reed-Muller) 부호화하여 얻어진다. DVB-S2 규격에서는 위의 정보데이터 가운데 5개의 비트를 MODCOD(modulation & coding) 데이터라고 하며 나머지 2개의 비트를 TYPE 데이터라고 부른다.

PLSC 홀수 부호는  $y_0, y_1, y_2, \dots, y_{31}$  는 6개의 정보데

이터를 (32,6,17) RM 부호기에 입력시켜 얻게 되며 짝수 부호는 홀수 데이터와 7번째 정보 데이터를 modulo-2 가산 연산을 수행하여 얻어진다. 최종 (64,7,34) RM 부호화기 출력  $C_{PLSC}$ 은 다음과 같다.

$$C_{PLSC} = (y_0, y_0 \oplus b_7, y_1, y_1 \oplus b_7, \dots, y_{31} \oplus b_7) \quad (1)$$

여기서  $\oplus$ 는 modulo-2 가산을 의미한다. SOF와 PLSC로 구성된 90심볼 물리계층 헤더는  $\pi/2$  bpsk로 변조되고 변조된 벡터를  $Z = (z_1, z_1, z_2, \dots, z_{90})$  라고 했을 때 다음과 같은 특성으로 인해 송수신이 공유하는 차등 계수로 사용된다.

$$c_{SOF} = z_k z_{k+1}^* = \pm j, \quad k = 1, 2, \dots, 24, 25 \quad (2)$$

$$c_{PLSC} = z_{2k-1} z_{2k}^* = \pm j, \quad k = 14, 15, \dots, 45 \quad (3)$$

여기서  $z$ 는  $\pi/2$  bpsk로 변조된 물리계층 헤더 심볼이며 \*는 공액 복소수를 의미한다. 또한  $c_{SOF}$ 와  $c_{PLSC}$ 는 SOF와 PLSC를 통해 얻어진 차등 계수이며 수신 차등 상관 연산에 사용된다.

변조된 헤더 심볼은 가산 백색잡음 채널을 통해 전송되며 수신 기저대역 샘플은 다음과 같이 표현된다.

$$r[k] = s[k] \exp(j(k\omega_0 T + \Phi_0)) + n[k] \quad (4)$$

여기서  $s[k]$ 는 변조된 심볼,  $T$ 는 심볼구간,  $\omega_0 = 2\pi f_0$ ,  $f_0$ 와  $\Phi_0$ 는 주파수 오프셋과 위상 오프셋을 각각 나타낸다.  $n$ 은 평균이 0이고 분산이  $\sigma^2 = N_0/2E_s$  인 복소 백색 가우시안 잡음(complex white gaussian noise) 샘플을 의미한다.

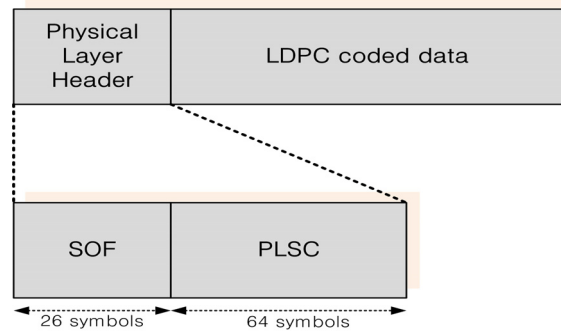


그림 1. DVB-S2 시스템 전송 프레임 구조

## III. 기존 프레임 동기 및 구조 검출 기법

참고문헌 [3]에서 제시한 프레임 동기회로는 그림 2와 같다. 여기서 회로의 시프트 레지스터는 2개의 영역으로 나뉜다. 길이가 89인 시프트 레지스터(shift register)에서 오른쪽

은 SOF 상관 연산을 수행하고 왼쪽은 PLSC에 관한 차등 상관연산을 수행한다. 따라서 회로는 총 57개의 tap으로 구성된다. 수신 차등 심볼은 길이가 89인 시프트 레지스터를 통해 이동하며 가장 오른쪽 레지스터에 샘플 값이 할당되면 미리 알고 있는 tap 계수와 상관연산을 수행하게 된다. 수식 (2)-(3)에 나타낸 것처럼 차등 심볼의 부호를 알 수 없기 때문에 시프트 레지스터 두 영역 곱셈기 출력의 합  $\alpha_1$ 과  $\alpha_2$ 는 가산, 감산 연산을 수행하여 2개의 결과를 출력한다. 마지막으로 2개의 출력에 대한 절대 값 최대 비교를 통해 상관  $A$ 을 발생시킨다.

단일 프레임만을 지원하는 통신 시스템인 경우 수신기는 프레임의 길이를 사전 정보로 가지고 있어 윈도우 내의 최댓값 탐색으로 프레임 시작점을 획득하면 프레임 동기가 종료되나, 길이가 다른 16가지 프레임 구조를 제공하는 DVB-S2에서는 다음 프레임의 위치를 알 수 없으므로 프레임 구조 획득 과정이 필수적이다. 참고문헌 [3]에서, 프레임 구조 검출을 위해 SOF와 PLSC가 적어도 한번 이상 포함될 수 있도록 윈도우 사이즈를  $L_{15} = 33282$ 로 설정하였다. 그 다음 아래와 같은 순서로 프레임 구조 검출을 수행한다.

- (1) 윈도우 탐색으로 최댓값  $\Gamma_{max}$  검출
- (2)  $\Gamma_{max}$ 을 시작점으로 가정하고 64심볼에 대한 PLSC 복호 실시
- (3) 복호된 추정 변조 및 부호화(MODCOD) 정보추출
- (4) MODCOD를 통해 다음 SOF 위치 추정
- (5) 다음 SOF 위치에서 상관 값  $\Gamma_e$ 과 문턱 값  $\Gamma_{th}$  비교
- (6)  $\Gamma_e > \Gamma_{th}$ , 프레임 동기 및 구조획득 성공
- (7)  $\Gamma_e < \Gamma_{th}$ , 다음 윈도우에서 (1)-(5) 반복

위의 방법을 통한 동기 및 구조 획득 방법은 비교적 낮은 복잡도로 구현이 가능하다. 그러나 낮은 신호 대 잡음비, 큰 주파수 오프셋 상황에서 PLSC 복호의 불확실성(uncertainty)으로 인해 평균 획득 시간(mean acquisition time)이 매우 길어지는 단점을 보인다. 또한 문턱 값  $\Gamma_{th}$ 에 따라 프레임 오경보율(false alarm rate)과 간과율(missed detection rate)등의 프레임 동기 성능이 달라지므로 최적의 문턱 값 설정이 매우 까다롭다는 단점이 있다. 위의 구조 검출 방법은 신호 대 잡음비  $E_s/N_0 = -2dB$ , 심볼 속도  $25Msps$  기준으로 99% 평균 획득 시간은 약 22ms가 되며 이는 프레임 길이  $L_{15} = 33282$  기준 17개의 프레임이 전송되는 시간에 해당한다.

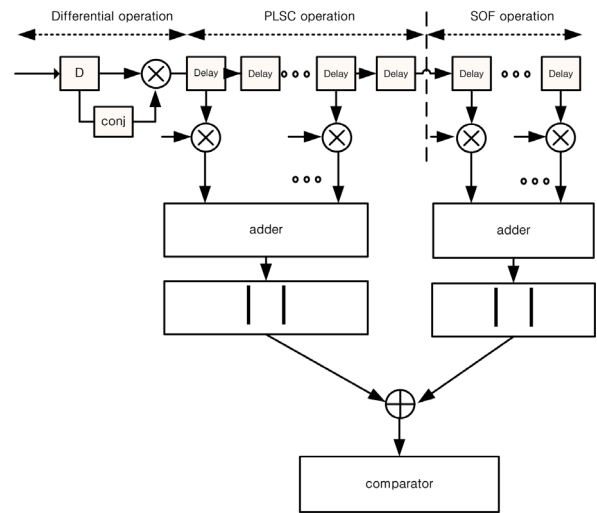


그림 2. 프레임 동기부 차등 상관기 구조

#### IV. 적용된 프레임 동기 및 구조 검출

차등 상관 매트릭은 기존 SOF와 PLSC를 결합한 형태로 사용한다. 참고문헌 [4]-[6]에서는 다양한 차등 상관 결정 매트릭을 제시 하였으나 비교적 많은 가산기와 곱셈기의 사용으로 복잡도가 높은 단점을 보인다. 또한 차등 상관을 SOF에 한정하여 사용하기 때문에 상대적으로 상관 값에 대한 신뢰가 떨어진다.

아래의 수식은 SOF 단독 사용 시 차등 상관  $A_{SOF}$ 와 SOF, PLSC를 같이 사용할 때 차등 상관  $A_{SOF+PLSC}$ 을 보여준다.

$$A_{SOF} = \left| \sum_{i=1}^{L_{SOF}-1} r_i^* r_{i+1} c_{SOF} \right| \tag{5}$$

$$A_{SOF+PLSC} = \left| \sum_{i=1}^{25} r_i^* r_{i+1} c_{SOF} + \sum_{j=14}^{45} r_{2j-1}^* r_{2j} c_{PLSC} \right| \tag{6}$$

여기서  $c_{SOF}$ ,  $c_{PLSC}$ 는 차등 SOF tap 계수, 차등 PLSC tap계수를 각각 의미한다.

상관 값 계산 이후 프레임 구조 획득을 위해  $N$ 개 프레임 상관 누적 방식을 사용하여 구조 검출을 실시하였다[7]. 상관 누적 방식은 실제 프레임 위치의 상관값을 누적하여 구조 오검출율을 낮출 수 있다. 아래의 그림 3은 상관누적에 대한 간단한 예제를 보여준다. 실제 프레임 길이가 4이고 MODCOD에 따라 예상 가능한 후보프레임 길이가 3, 4가 있을 때, 상관 누적방식은 예상되는 후보 프레임 위치에서 상관 값을 누적하고 이를 서로 비교하게 된다. 그 결과 가장 큰 값을 검색하여 프레임의 구조와 시작점 위치를 파악하게 된다. 이에 대한 자세한 알고리즘 순서는 아래의 (1)-(6) 순서와 같다.

- (1) 구조 인덱스  $\alpha$ 를 0으로 초기화
- (2) 윈도우 사이즈를  $L_{15}N$ 로 설정하고 수식 6을 이용하여 차등 상관 열 ( $A_0, A_1, A_2, \dots, A_{L_{15}, N-1}$ ) 발생
- (3) 0부터  $L_{15}-1$ 까지  $L_a$  간격으로 상관 누적을 수행하고 최댓값  $\Gamma_0$ , 위치 인덱스  $i$ , 구조 인덱스  $\alpha$  저장
- (4)  $a$ 를 1씩 증가하여  $\alpha=15$ 까지 (3)를 반복
- (5)  $\max(\Gamma_0, \Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_{15})$ 의 위치 및 구조 인덱스  $i, \alpha$  통해 프레임 시작점, 프레임 구조 획득.
- (6) 프레임 동기 종료

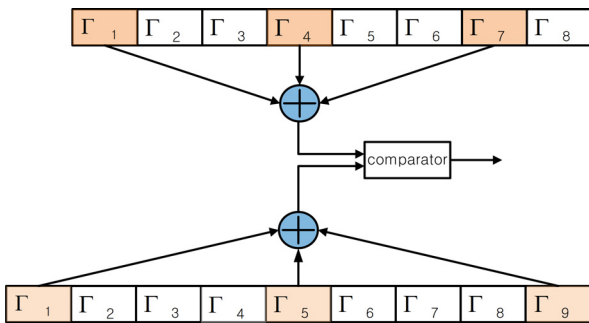


그림 3. 상관누적 개념 예시

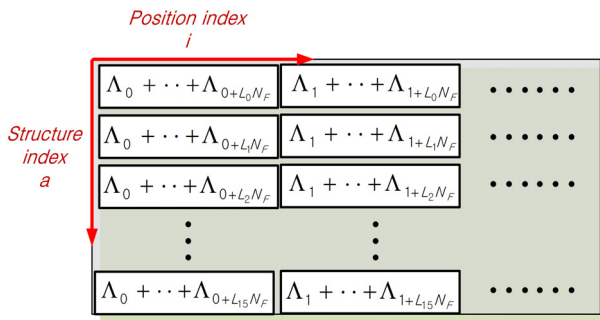


그림 4. 상관 값 저장 버퍼 구조

## V. 모의 실험

표 2. DVB-S2 모의실험 설정 파라미터

item	value
modulation scheme	QPSK
code rate $R_c$	1/2
# of symbols per frame	$L_{15} = 33,282$
required $E_s/N_0$	variable [그림 5]
	3dB [그림 6]
	-2.35dB [그림 7]
normalized frequency offset $\theta_n$ (max)	0.2 [그림 5]
	variable [그림 6]
	0.2 [그림 7]
symbol rate	25Msps
used frame number $N$	$N=1$ [그림 5,6]
	variable [그림 7]

프레임 구조 검출 성능을 위한 시뮬레이션 환경은 다음과 같이 설정하였다. 수신 신호는 복소 가산 백색 가우시안 잡음, 주파수 오프셋에 의해 왜곡되었다고 가정하였으며 전송 심볼의 변조는 QPSK, 전송하는 프레임의 프레임 당 심볼 길이는  $L_{15} = 33,282$  설정하였다. 전송 속도 25Msps에서 20%에 상응하는 주파수 오프셋은 최대 5MHz이며 정규화 주파수(normalized frequency) 0.2로 표현하였다. 또한 요구  $E_s/N_0$ 을 규격에 명시된 최소 스펙인 -2.35dB로 설정하였다.

그림 5는 단일 프레임 사용 시 프리엠프블 검출 오류율을 보여준다. x축은  $E_s/N_0$ [dB]을 나타내며, y축은 검출 오류 확률을 보여준다. 여기서 프리엠프블 검출 오류 확률은 단일 프레임 윈도우 내의 최댓값 위치를 실제 SOF의 위치 인덱스와 비교하여 일치하지 않을 확률로 정의하였다. 마찬가지로 그림 6는  $E_s/N_0$ 을 3dB로 고정하고 x축을 정규화된 주파수 오프셋으로 설정하였을 때 프리엠프블 검출 오류율을 보여준다. 그래프를 보면 신호 대 잡음비가 커질수록 PLSC와 SOF를 함께 사용한 결정 매트릭의 그래프 오류율이 SOF를 단독으로 사용한 경우에 비해 훨씬 낮음을 확인할 수 있다.  $E_s/N_0$  3dB를 기준으로 두 라인의 오차는  $10^{-3}$  이상으로 확인된다. 그러나 요구  $E_s/N_0$ 가 0dB 이하에서는 두 개의 그래프 모두 오류율이 매우 높아 결정 값에 대한 신뢰성이 매우 낮음을 볼 수 있다. 그림 5의 결과로부터 SOF를 단독으로 사용하는 것보다 PLSC 정보를 함께 사용하였을 때 검출 오류 확률이 낮음을 볼 수 있다. 또한 단일 프레임 사용 시 0dB 이하의 낮은  $E_s/N_0$ 에서는 원하는 성능을 기대하기 힘들다는 것을 볼 수 있다.

그림 7은  $E_s/N_0$ 을 -2.35dB, 정규화 주파수 오프셋을 2.0으로 고정하고 x축을 사용한 프레임 개수로 설정하였을 때 프레임 구조검출 실패 확률을 보여준다. 여기서 구조검출 실패확률은 프레임의 시작점 인덱스, 구조 인덱스 둘 중에 하나라도 오류가 발생할 확률로 정의하였다. 그림의 x축 변수는 구조 검출에 사용한 프레임 수를 나타내며 y축은 구조검출 오류 확률을 나타낸다. 시스템 목표 오검출율  $10^{-5}$ 을 기준으로 할 때 사용 프레임 개수  $N=5$ 로 설정하면 프레임 오검출율은  $10^{-5}$ 이하로 나타나며 이때 구조 획득 시간은  $T_s L_0 N \approx 6.5ms$ 가 된다. 기존 프레임 구조 검출 알고리즘을 사용하였을 때 프레임 획득 시간은 22ms로 적용된 방법을 사용하면 15ms 이상 빠른 프레임 구조검출이 가능함을 보여준다.

## VI. 결론

본 논문에서는 매우 낮은 SNR, 매우 큰 주파수 오프셋 상황에서 고속 전송을 수행해야 하는 DVB-S2 시스템 환경에 적합한 프레임 동기 및 구조 검출에 대한 성능 분석을 실시하였다. 프레임의 구조 검출을 위해 결정 매트릭을 SOF와 PLSC를 함께 사용하여 복잡도가 크게 늘어나지 않는 상태로 상관 값의 신뢰성을 향상시켰으며 프레임 유일단어의 반복성을 이용한 누적 상관 방법을 사용하여 프레임 구조를 획득하였다. 본 논문에서 사용되는 프레임의 수가 늘어날수록 버퍼 사용 메모리 공간이 늘어나지만 반대로 프레임 오 검출 확률도 상당히 감소함을 보였다. 따라서 목표 오 검출율을 설정하여 적절한 trade-off를 실시하면 기존 방법에 비해 빠른 프레임 동기가 가능하다.

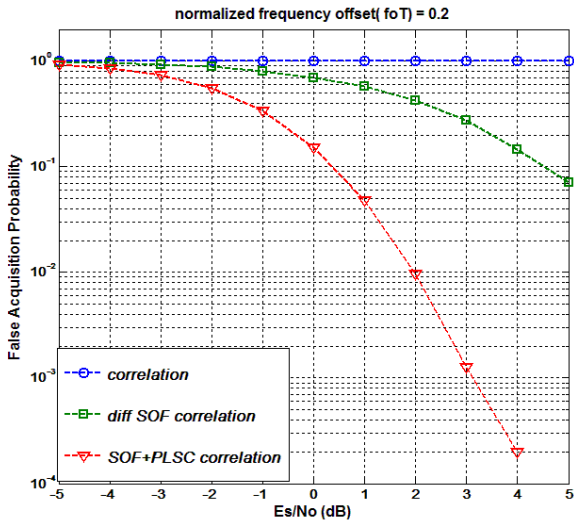


그림 5. 단일 프레임 윈도우에서 프리엠블 검출 오류율 대 신호 대 잡음비

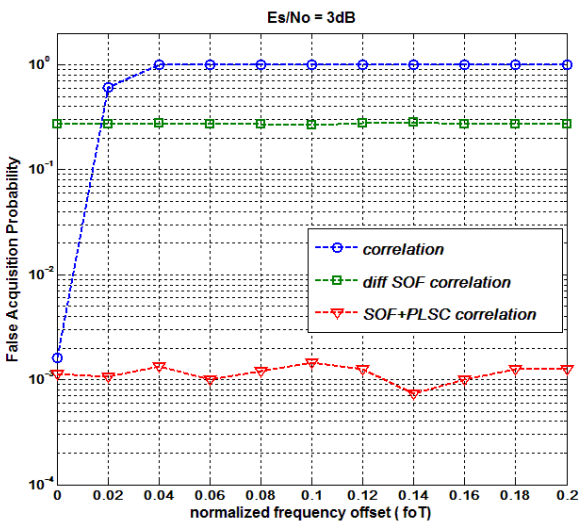


그림 6. 단일 프레임 윈도우내에서 정규화된 주파수 오프셋에 대한 프리엠블 검출 오류율

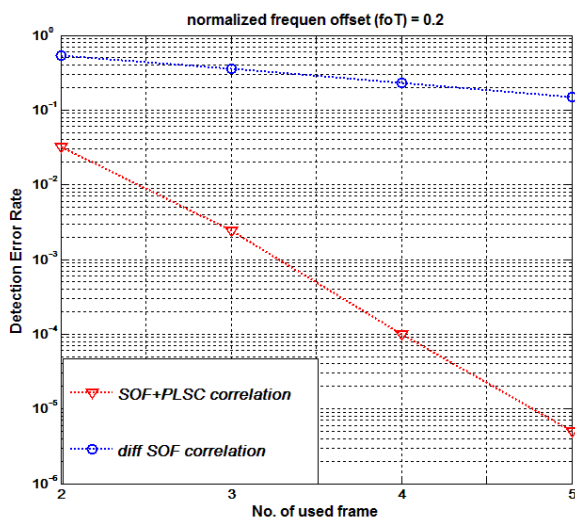


그림 7. 사용되는 프레임 수에 대한 프레임 구조 검출 오류율

## 참고 문헌

- [1] ETSI EN 302-307, "Digital Video Broadcasting (DVB) - Second Generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting Interactive Service, News Gathering and other broadband satellite application", V1.1.2, July 2006.
- [2] Alberto Morello and Vittoria Mignone, "DVB-S2: The Second generation standard for satellite broad-band services," Proceedings of the IEEE, vol. 94, pp. 210-227, January 2006.
- [3] F.W. sun, Y. Jiang, and L. N. Lee " Frame Synchronization and Pilot Structure for Second Generation DVB via Satellites," International Journal of Satellite Communications and Networking, vol. 22, June 2004, pp. 319-339.
- [4] Zae Yong Choi, Yong H. Lee, "Frame synchronization in the presence of frequency offset," IEEE Transactions on communications, vol. 50, pp. 1062-1065. July 2002.
- [5] Gianni Albertazzi, Stefano Cloni, Giovanni E, Corazza, Massimo Neri, Raffaella Pedone, Paola Salmi, Alessandro Vanelli-Coralli, and Marco Villanti, " IEEE Wireless Communications, vol. 12, pp. 62-68, December 2005.
- [6] Pan-soo Kim, Raffaella Pedone, Marco Villanti, Alessandro Vanelli-Coralli, Giovanni Emanuele Corazza, Dae-Ig Chang and Deock-Gil Oh, " Robust frame synchronization for the DVB-S2 system with large frequency offsets," International Journal of Satellite Communications and networks, vol 27, pp. 35-52. February 2009.
- [7] Sangtae Kim, Seokheon Kang, and Wonjin Sung, " Performance Analysis of Frame Synchronization and structure Detection Utilizing Multiple Frame of the DVB-S2 Satellite Broadcasting System," The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences (J-KICS), vol. 2, pp. 139-147, February 2008.



## 저자

### 전 한 익(Hanik Jeon)



- 2014년 2월 : 금오공과대학교 전자공학부 학사졸업
- 2014년 3월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교 이동통신 및 디지털방송공학 석사과정

<관심분야> : 위성통신, 디지털 통신

### 오 덕 길(Deock-Gil Oh)

### 종신회원



- 1980년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학사
- 1984년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학석사
- 1996년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사

- 1982년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 위성광대역방송통신 연구실 실장
- 2005년 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교 이동통신 및 디지털방송공학 전공 교수

<관심분야> : 위성통신 및 방송시스템, 광대역 변복조, 오류 정정부호