

DVB-T2 시스템에서 P1 심볼을 이용한 단일 및 이중 상관 검출의 소수 배 주파수 오프셋 추정

김호재, 강인웅, 옥규순, 김영민*, 서재현*, 김홍묵*, 김형남
부산대학교, *한국전자통신연구원

hnkim@pusan.ac.kr

Fractional Frequency Offset Estimation of Single and Double Correlation Detection in DVB-T2 Systems using P1 Symbol

Ho Jae Kim, In-Woong Kang, Kyu-Soon Ok, Youngmin Kim*, Jae Hyun Seo*,
Heung Mook Kim*, and Hyoung-Nam Kim

Dept. of Electronics Engineering, Pusan National University

*Broadcasting System Research Department, Electronics and Telecommunications
Research Institute

요약

본 논문에서는 차세대 유럽형 디지털 지상파 시스템으로 알려진 DVB-T2 시스템에서 P1 심볼을 사용하여 만들어진 상관 검출 블록도의 구조를 해석하고 소수 배 주파수 오프셋 추정 기술을 분석하였다. 기존에 제안된 이중 상관 검출 블록도의 단점을 보완하여 소수 배 주파수 오프셋 에러를 AWGN 채널에서 SNR에 따른 MSE를 측정하여 이중 상관 검출에서 주파수 오프셋 추정이 뛰어난 것을 확인하였다.

I. 서론

DVB-T2 (Digital Video Broadcasting - Second Generation Terrestrial)는 2세대 유럽 지상파 디지털 방송 표준이다 [1]. DVB-T2는 OFDM 기반의 물리계층을 사용하므로 다중경로 페이딩에 강하며 주파수 효율이 높다는 장점이 있다. 그러나 직교성을 유지해야 하기 때문에 시간 및 주파수 오프셋에 약하다는 단점이 있다. DVB-T2에서는 시간 및 주파수 오프셋을 잡기 위해 P1 심볼과 파일럿 심볼을 삽입하여 시간 및 주파수 오프셋 추정을 한다 [1].

본 논문에서는 소수 배 주파수 오프셋 추정을 위해 기존에 연구되었던 단일 상관 검출과 이중 상관 검출 구조를 [2] 해석하고 기존의 이중 상관 검출의 문제점을 보완하여 새로운 구조의 이중 상관 검출의 구조를 제안하고 소수 배 주파수 오프셋 추정 성능을 확인한다.

II. 시스템 설계

A. 단일 상관 검출

일반적인 A-B 구조에서 발생하는 문제점인 P1 심볼과 데이터 심볼의 길이가 같을 경우에 모든 심볼에서 파형이 검출되는 오 검출 현상, 지속과 간섭, 다중경로 상황에서 원하지 않는 파형이 검출되는 경우가 생기므로 DVB-T2에서는 식 (1)처럼 주파수 천이된 구조를 사용한다 [2].

$$x_n = \begin{cases} P_{1a}(n) & 0 \leq n < T_a \\ P_{1a}(n - T_a)e^{j2\pi f_{SH}nT_s} & T_a \leq n < T_a + T_b \end{cases} \quad (1)$$

주파수 천이된 구조는 구간 A의 일부를 f_{SH} 만큼 주파수 천이시켜 GI (Guard Interval)부분인 B 부분에 복사한

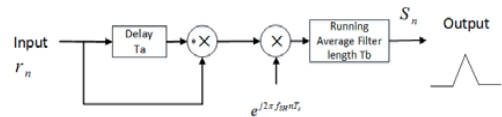


그림 1. 단일 상관 검출 블록도

구조이다. P_{1a} 는 P1 심볼의 구간 A를 구성하는 신호이다. T_a 는 구간 A의 길이, T_b 는 구간 B의 길이, T_s 는 샘플링 주기를 나타낸다.

검출 과정에서 다시 주파수 천이를 시킨 후 필터를 통과하면서 원하지 않는 파형을 제거해야 하므로 $f_{SH} = 1/(RAF_length \cdot T_s)$ 로 설정한다.

다음은 채널에 의한 지연이 생겼을 때 주파수 오프셋 추정 과정이다.

$$r_n = x_{n-\theta} e^{j2\pi\epsilon(n-\theta)/T_a} \quad (2)$$

$$S_n = \frac{1}{T_b} \sum_{k=0}^{T_b-1} |P_{1a}(n-k-T_a-\theta)|^2 e^{j2\pi\epsilon} e^{-j2\pi f_{SH}\theta T_s} \quad (3)$$

ϵ 은 소수 배 주파수 오프셋을, θ 은 채널에 의한 시간 지연을 나타낸다. 식 (2)처럼 수신단에서 지연이 생겼을 때, 식 (3)의 검출 과정에서 $f_{SH}\theta T_s$ 만큼의 다른 주파수가 추가되어 주파수 오프셋 추정이 어려워진다.

B. 기존에 제안된 이중 상관 검출

$$x_n = \begin{cases} P_{1a}(n)e^{j2\pi f_{SH}nT_s} & 0 \leq n < T_c \\ P_{1a}(n - T_c) & T_c \leq n < T_a + T_c \\ P_{1a}(n - T_c - T_b)e^{j2\pi f_{SH}nT_s} & T_a + T_c \leq n < T_a + T_b + T_c \end{cases} \quad (4)$$

단일 상관 검출의 주파수 오프셋 추정의 어려움을 보완하기 위해 식 (4)와 같이 구간 A의 앞 부분을

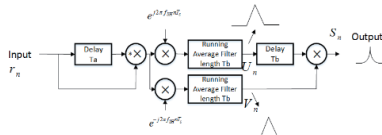


그림 2. 기존 이중 상관 검출 블록도

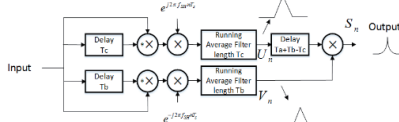


그림 3. 제안하는 이중 상관 검출 블록도

주파수 천이 시켜 구간 C 를, 구간 A 의 뒤 부분을 주파수 천이 시켜 구간 B 를 생성한다.

그림 2 처럼 기존에 제안된 이중 상관 검출은 $T_a = T_b = T_c$ 일 경우에만 P1 심볼 검출이 가능하다. 이는 심볼의 GI 를 고정 시킬 수 밖에 없는 형태이므로 변형 된 형태에는 적용이 불가능하다.

$$S_n = \frac{1}{T_b} \sum_{k=0}^{T_b-1} |P_{1a_{n-k-T_b-\theta}}|^2 |P_{1a_{n-k-2T_b-\theta}}|^2 e^{j4\pi\epsilon} \quad (5)$$

식 (5)에서 이중 상관 검출로 인해 원하지 않는 위상은 제거되나 소수 배 주파수 오프셋의 위상이 두 배로 늘어나는 것을 알 수 있다. 이는 소수 배 주파수 오프셋 추정을 할 때 추정 값에 2 를 나누더라도 다른 소수 배 주파수가 검출되는 경우가 생긴다.

C. 제안하는 이중 상관 검출

제안하는 이중 상관 검출 방법은 그림 3 과 같이 C-A 부분 검출과 A-B 부분 검출의 지연 값을 다르게 설정 하면서 $T_b \neq T_c$ 인 경우에도 상관 추출이 가능하며, 실제 P1 심볼의 구조를 보면 구간 A 의 모든 정보를 두 부분으로 나누어 GI 로 다 쓰는 것과 달리, 구간 A 의 일부만 사용하더라도 주파수 오프셋 추정이 가능하다.

$$S_n = \frac{1}{T_c} \sum_{k=0}^{T_b-1} |P_{1a_{n-k-T_c-\theta}}|^2 \frac{1}{T_b} \sum_{k=0}^{T_b-1} |P_{1a_{n-k-T_b-\theta}}|^2 \times e^{j2\pi\epsilon(T_b+T_c)/T_a} \quad (6)$$

일반적인 심볼 구조는 GI 구간이 데이터 구간의 길이보다 작게 설정 하기 때문에 식 (6)에서 추정한 소수 배 주파수 오프셋 위상이 기존의 오프셋 위상보다 작다. 이 경우 주파수 오프셋 추정 값에 $T_a/(T_b + T_c)$ 만큼 다시 곱하여 주파수 오프셋을 검출 할 수 있다.

III. 모의실험 결과

DVB-T2 시스템에서 P1 심볼은 T2 프레임의 시작부분에 존재 하므로 그림 4 처럼 검출 과정에서 하나의 P1 심볼을 검출할 수 있도록 두 번째 T2 프레임에만 P1 심볼이 존재하도록 설계하였다. 표 1 은 실험에 사용되는 매개변수이다.

먼저 각 실험에 사용 된 P1 심볼의 길이는 단일 상관 검출에서 $T_a = 1024, T_b = 512$, 기존에 제안된 이중 상관 검출에서 $T_a = T_b = T_c = 1024$, 본 논문에서 제안하는 이중 상관 검출에서 $T_a = 1024, T_b = 512, T_c = 256$ 으로 실험을 진행하였다. 채널상황은 지연 $\theta = 20$ 인 AWGN 채널에서 실험을 진행하였다. 소수 배 주파수 오프셋은 $\epsilon = 0.3$ 로 설정하여 각 SNR 에 따라 MSE (Mean Square Error)를 추정하였다.

그림 5 와 같이 단일 상관 검출에서는 검출 과정에서 다른 주파수가 추가되어서 위상을 추정하지 못하는 것을 알 수 있다. 다음으로 기존에 제안된 이중 상관 검출에서는 $\epsilon = 0.3$ 인 상황에서 추정한 값은 $2\epsilon = 0.6$ 이 된다. 하지만 소수 배 주파수의 추정 범위는 $-0.5 \sim 0.5$

매개변수	값
데이터 심볼의 길이	2048
GI 의 길이	512
T2 프레임의 데이터 개수	4
데이터 심볼과 P1 심볼의 변조방식	QPSK

표 1. 모의 실험 매개 변수



그림 4. 모의 실험 심볼 구조

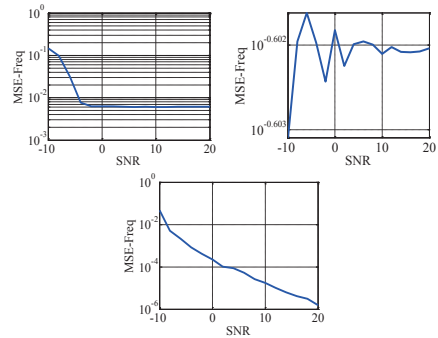


그림 5. SNR 에 따른 소수 배 주파수 오프셋 에러 추정
 왼쪽 위: 단일 상관 검출
 오른쪽 위: 기존에 제안된 이중 상관 검출
 아래: 제안하는 이중 상관 검출

사이 이므로 실제 추정되는 위상은 $2\epsilon = -0.4$ 가 되어 추정된 위상 값은 $\epsilon = -0.2$ 가 되어 소수 배 주파수 오프셋 추정이 어려워진다. 마지막으로 제안하는 이중 상관 검출에서는 $T_b \neq T_c$ 인 상황에서도 충분히 소수 배 주파수 오프셋 추정이 가능하다.

IV. 결론

본 논문에서는 단일 상관 검출과 이중 상관 검출 구조를 분석하고 소수 배 주파수 오프셋 추정 성능을 확인하였다. DVB-T2 구조의 P1 심볼은 구간 A 의 모든 정보가 GI 로 사용되지만 향후 표준화 예정인 Bootstrap에서는 구간 A 의 일부만 GI로 사용되기 때문에 기존에 제안된 이중 상관 검출에서 소수 배 주파수 오프셋 추정의 문제점을 보완하여 좀 더 다양한 GI 길이에서도 소수 배 주파수 오프셋 추정이 가능하다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발 사업의 일환으로 수행하였음. [14-000-02-002, 융합형 실감방송 서비스 및 전송 기술 개발]

참고 문헌

[1] Digital Video Broadcasting (DVB), "Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)," European Telecommunications Standards Institute (ETSI) TS 102 831 V1.2.1, Aug. 2012.
 [2] Md. S. Morshed, "Synchronization Performance in DVB-T2," M.S. thesis, Dept. Communications Eng., Tampere Univ. of Technology, Tampere, Finland, 2009