

인지 통신을 위한 상관도 기반의 암맹 프레임 동기 기술

이동근, 길용성, 김상호*
성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과

{gas0621, gys0730, iamshkim*}@skku.edu

Correlation Based Blind Frame Synchronization for Cognitive Radio Communication

Dong Geun Lee, Yong-Sung Kil, and Sang-Hyo Kim*

Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University

요 약

본 논문은 수신단이 송신단의 통신 파라미터 정보없이 신호를 수신하는 암맹 신호 수신 환경에서 프레임 동기 문제를 다룬다. 암맹 프레임 동기 기술은 프레임 길이, 동기 신호와 같은 프레임 정보가 없는 수신기가 프레임 동기를 위해 프레임 정보와 프레임 시작점을 추정하는 기술이다. 선행연구에서는 수신 신호의 자기 상관도를 이용한 암맹 프레임 동기 기술을 제안하였다. 하지만 비주기 자기 상관 특성이 우수하지 못한 동기 신호에 대해서 암맹 프레임 동기 오류 성능에 오류 마루 (error floor) 현상이 발생하였다. 본 논문에서는 주기 샘플 평균의 자기 상관도를 이용하여 프레임 정보를 추정하는 방법을 제시하고 모의실험을 통해 오류 마루 현상이 개선됨을 보인다.

I. 서 론

프레임 동기 기술은 송수신단간에 사전에 공유된 프레임 길이, 동기 신호 등의 통신 프레임 정보를 이용하여 프레임의 시작점을 추정하는 기술이다. 인지 무선 (cognitive radio) 통신 시스템과 같이 수신단이 송신 환경 및 파라미터를 인지해야 하는 암맹(blind) 통신 환경에서는 프레임 동기를 위해 프레임 정보 추정이 선행되어야 한다[1]. 본 논문에서는 암맹 통신 환경에서 프레임 정보를 추정하고 프레임 동기문제를 다룬다.

선행연구에서는 수신 신호의 상관도를 이용한 동기 신호 추정 방법을 제시하였다[2],[3]. 비주기 자기 상관 특성이 우수한 m-시퀀스 동기 신호를 포함한 프레임의 경우 알고리즘 추정 성능은 우수하였지만, 비주기 자기 상관 특성이 우수하지 못한 동기 신호에 대해서는 암맹 프레임 동기 오류 성능에 오류 마루 현상이 발생하였다[3]. 본 논문에서는 추정된 프레임 길이 배수를 주기로 샘플링된 신호 평균의 자기 상관도를 이용한 암맹 프레임 동기 기술을 제안한다. 그리고 모의실험을 통해 선행연구와 제안 기술의 오류 성능을 비교한다.

II. 시스템 모델

본 절에서는 송수신 신호와 프레임 구조를 정의한다. 송신단은 BPSK(binary phase shift keying) 변조 신호 $\mathbf{x} = (x_0, x_1, \dots)$, $x_i \in \{-1, 1\}$, 를 송신한다. 수신단은 길이 M 의 신호 $\mathbf{y} = (y_0, \dots, y_{M-1})$ 를 수신 받는다. 송신단은 데이터를 프레임화하여 전송하며 한 프레임은 길이 L 의 동기 신호 $\mathbf{s} = (s_0, \dots, s_{L-1})$ 와 길이 $N - L$ 의 데이터로

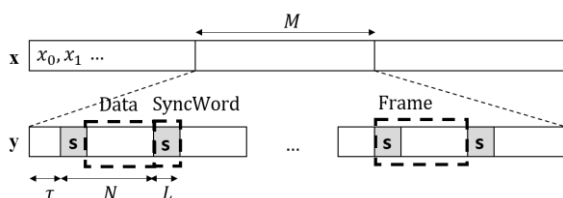


그림 1. 송수신 신호와 프레임 구조

구성된다고 가정한다. 이때 데이터의 각 비트는 -1 또는 1 을 각각 0.5 의 확률로 갖는 이항확률변수이다. 수신 신호의 지연은 τ 로 표기하며 수신 신호의 시작점에서 다음 프레임의 시작점까지의 길이로 정의한다. 수신단은 프레임 길이 N , 동기 신호 길이 L 및 동기 신호 \mathbf{s} 를 추정하여 프레임 시작점 τ 를 추정한다.

III. 암맹 프레임 동기 기술

1) 수신 신호의 윈도우 상관도

선행연구에서는 수신 신호의 상관도를 이용하여 프레임 길이 배수 p 를 추정하고 주기 샘플 평균 함수 $D_p(l)$ 을 이용하여 프레임 정보를 추정하는 알고리즘을 제안하였다[3]. 수신 신호의 상관도는 식(1)과 같다.

$$C_w(q) = \frac{1}{W} \sum_{i=0}^{W-1} w_{0,i} w_{q,i} \quad (1)$$

여기서 $\mathbf{w}_q = (w_{q,0}, \dots, w_{q,W-1}) = (y_q, \dots, y_{q+W-1})$ 는 수신 신호의 시작점부터 q 비트 이동한 윈도우이다. 이때 윈도우 길이는 추정 가능한 최대 프레임 길이 N_{max} 를 고려하여 $W = M - N_{max}$ 로 설정된다. 또한, 상관도를 이용한 프레임 길이 배수의 추정은 (2)와 같다.

$$p = \arg \max_{q \in [1, N_{max}]} C_w(q) \quad (2)$$

마지막으로 프레임 정보 추정을 위한 주기 샘플 평균 함수 $D_p(l)$ 는 (3)으로 정의된다. 여기서 $d = \lfloor \frac{M}{p} \rfloor$ 는 수신된 신호의 샘플 비트 수다.

$$D_p(l) = \frac{1}{d} \sum_{i=0}^{d-1} y_{l+ip} \quad (3)$$

선행기술 [3]에서는 반복적으로 수신 신호의 자기 상관도 첨두치를 이용하여 프레임 정보를 추정하였다. 하지만 동기 신호의 비주기 자기 상관도 $R_s(t) = \sum_{i=0}^{L-t-1} s_i s_{i+t}$ 에 대해 첨두치와의 차이 $|R_s(0) - R_s(t \neq 0)|$ 가 상대적으로 작은 동기 신호의 경우, $C_w(q)$ 를 이용한 프레임 길이 배수 p 의 추정 오류 성능에 오류 마루 현상이 발생한다. 이를 개선하기 위해 본 연구에서는 주기 샘플 평균의 상관도를 통한 암맹 프레임 동기기술을 제안한다.

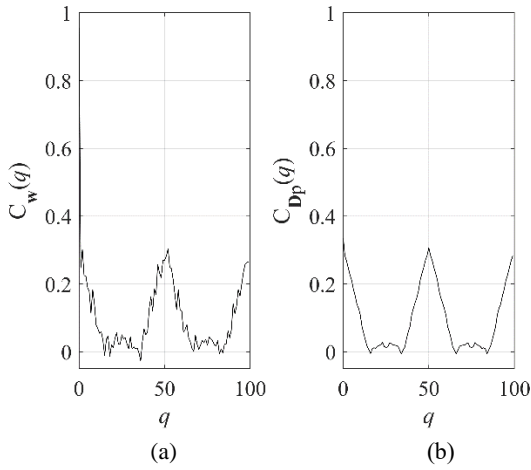


그림 2. (a) 수신 신호의 자기 상관도 (b) 주기 샘플 평균의 자기 상관도

2) 제안하는 상관도 기반 암맹 프레임 동기

제안 기술 소개에 앞서 $D_p(l)$ 을 원소로 가지는 벡터 $\mathbf{D}_p = (D_p(0), \dots, D_p(p-1))$ 와 이를 q 만큼 순환 이동시킨 $\mathbf{D}_p^{(q)} = (D_p((q)_p), \dots, D_p((p-1+q)_p))$ 를 정의한다. 또한 정수 a, b 에 대해 모듈로 연산 $(a)_b = a \bmod b$ 와 내적 연산 (\cdot) 을 정의한다. 주기 샘플 평균의 자기 상관도는 식 (4)와 같다.

$$C_{D_p}(q) = \frac{1}{p} \mathbf{D}_p \cdot \mathbf{D}_p^{(q)} = \frac{1}{p} \sum_{j=0}^{p-1} D_p(j) D_p((j+q)_p) \quad (4)$$

그림 2는 비주기 자기 상관특징이 열악한 동기 신호 $\mathbf{s} = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)$ 에 대한 수신 신호의 자기 상관도 $C_w(q)$ 와 주기 샘플 평균의 자기 상관도 $C_{D_p}(q)$ 를 나타낸다. 그림 2의 (a)보다 (b)에서 데이터에 의한 잡음의 영향이 적어 첨두치 구분이 명확하다. 이는 데이터 영역에서 수신 신호의 표본 평균의 분산(a)보다 (b)의 주기 샘플 평균 $D_p(l)$ 의 표본 평균의 분산(b)이 작기 때문이다. 따라서 $C_{D_p}(q)$ 를 통한 프레임 길이 추정 시 오율 성능이 향상될 수 있다.

본 논문에서 제안하는 암맹 프레임 동기 기술은 알고리즘 1에 제시되며 [3]의 Algorithm 2의 변형이다. 제안 알고리즘은 수신 신호 \mathbf{y} 와 N_{max} 를 입력 받으며 1-2 번째 줄에서는 $C_w(q)$, $D_p(l)$ 를 계산한다. 3 번째 줄에서는 [3]의 Algorithm 2와 동일하게 $D_p(l)$ 의 상승, 하강 엣지 인덱스 집합 \mathcal{R} 과 \mathcal{F} 의 추정을 위한 문턱값 최적화 및 엣지 인덱스를 추정한다. 4-8 번째 줄에서는 $|\mathcal{R}| > 1$ 일 경우 $|\mathcal{R}| = 1$ 가 될 때까지 반복적으로 $C_{D_p}(q)$ 를 통해 프레임 길이 배수를 추정하며, $|\mathcal{R}| = 1$ 이라면 8 번째 줄에서 프레임 파라미터를 추정한다.

알고리즘 1: 자기 상관도를 이용한 암맹 프레임 동기

입력: \mathbf{y}, N_{max}

출력: $\hat{N}, \hat{L}, \hat{t}, \hat{s}$

- 1: $W \leftarrow M - N_{max}$, (1)에 따라 $C_w(q)$ 를 계산
- 2: $p \leftarrow \arg \max_{q \in [1, N_{max}]} C_w(q)$, (2)에 따라 $D_p(l)$ 를 계산
- 3: $\eta \leftarrow \arg \max_{\eta'} \Lambda_S(\eta') \Lambda_D(\eta')$, $(\mathcal{R}, \mathcal{F}) \leftarrow \text{EdgeDetection}$
- 4: **while** $(|\mathcal{R}| > 1)$ **do**
- 5: (3)에 따라 $C_{D_p}(q)$ 를 계산
- 6: $p^* \leftarrow \arg \max_{q \in [1, p-1]} C_{D_p}(q)$, $D_{p^*}(l)$ 를 계산
- 7: $(\mathcal{R}, \mathcal{F}) \leftarrow \text{EdgeDetection}$, $p \leftarrow p^* - 1$
- 8: $\hat{N} \leftarrow p$, $\hat{L} \leftarrow (\min \mathcal{F} - \min \mathcal{R})_p$, $\hat{t} \leftarrow \min \mathcal{R}$,
 $\hat{s}_l \leftarrow \text{sgn}(D(\hat{t} + l)_p)$, $l \in [0, \hat{L} - 1]$

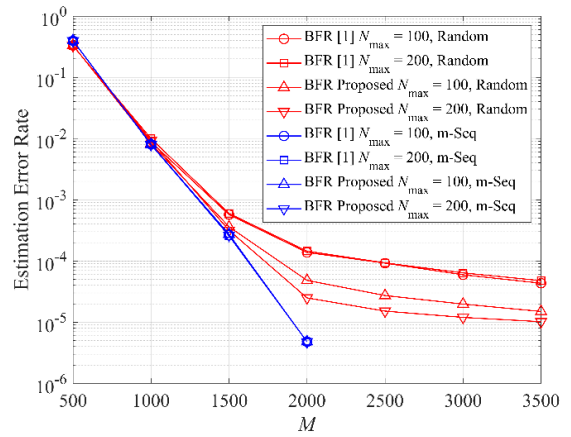


그림 3. 선행연구와 제안 기술 프레임 추정 오율

3) 모의 실험

제안 알고리즘의 암맹 동기 오율 성능을 모의실험을 통해 제시하며 실험환경은 다음과 같다. 길이 $l = 15$ 의 동기 신호를 가지는 길이 $N = 50$ 의 프레임을 이용하였다. 전송 채널은 신호대 잡음비가 $E_s/N_0 = 10\text{dB}$ 인 백색 가우시안 잡음 채널을 고려하였다. 또한 매 실험 무작위적으로 생성된 동기 신호(Random)와 m-시퀀스(m-Seq)가 사용된 환경을 고려하였으며 추정 가능한 최대 프레임 길이 N_{max} 는 100과 200 비트에 대해 모의실험을 수행하였다.

모의 실험 결과 동기 신호의 비주기 자기 상관 특징이 우수한 m-시퀀스일때, 기존 기법과 제안 기법은 비슷한 오율 성능을 보였다. 하지만 가능한 동기 신호 패턴이 매 실험마다 랜덤하게 생성되는 경우 자기 상관도의 첨두치 구분이 보다 명확한 제안 기술이 더 낮은 오율을 보였으며 수신 신호 길이가 길어짐에 따라 발생하는 오류 마무 현상이 개선되었다. 또한 N_{max} 가 증가함에 따라 프레임 길이 배수 추정을 위한 상관도 첨두치 후보 수가 증가하여 오율 성능이 향상되었다. 위 모의실험을 통해 다양한 동기 신호에 대한 암맹 동기 오율 평균 성능이 주기 샘플 평균의 자기 상관도를 이용할 경우(제안 기술) 수신 신호의 자기 상관도를 이용할 경우(선행 기술[3])보다 향상됨을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 암맹 신호 수신 상황에서 프레임 동기를 위한 프레임 정보 추정 및 프레임 시작점 추정 방법을 제시하였다. 선행연구에서 수신 신호의 자기 상관도를 활용하는 것과 달리 제안 기술은 수신 신호의 주기 샘플 평균의 자기 상관도를 이용하였으며 모의 실험을 통해 제안 기술이 우수함을 보였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 연구는 방위사업청 및 국방과학연구소의 지원에 의해 설립된 신호정보 특화연구센터 사업의 지원을 받아 수행되었음.

참고 문헌

- [1] M. Marazin, R. Gautier, and G. Burel, "Blind recovery of k/n rate convolutional encoders in a noisy environment," *EURASIP J. Wireless Commun. Net.*, pp. 1186-1687, Dec. 2011.
- [2] P. P. Brahma and K. Bandyopadhyay, "Non-cooperative denial of communication after synchronizing with repeating sequences," in *Proc. DSR*, Aug. 2011.
- [3] Y. S. Kil, H. J. Lee, and S.-H. Kim, "Analysis of blind frame recognition and synchronization based on sync word periodicity," *IEEE ACCESS*, in press.