

해양 VHF 대역 데이터 교환 시스템을 위한 동기부 설계

조용호*, 김승근*, 임용곤*, 고희림^o

Synchronization Design for Maritime VHF Data Exchange System

Yong-Ho Cho*, Seung-Geun Kim*,
 Yong-Kon Lim*, Hak-lim Ko^o

요약

본 논문은 해양 VDES 시스템을 위한 지상국용 동기부 설계를 다룬다. 지상국용 VDES 시스템에서는 최대의 주파수 오차를 가정한다. 본 논문에서는 최대 우도 기반 동기화 방식을 제안하고, 다양한 주파수 오차 실험값을 갖는 동기화 방식의 성능을 분석하였다. 성능 분석을 통해 적절한 계산량과 성능을 갖는 동기화 방식을 도출하였다.

Key Words : VDES, Synchronization, ITU-R M.2092-0

ABSTRACT

Start This paper propose a synchronization method for maritime VDES system. In the terrestrial station, maximum 6 ppm for the frequency offset can be occurred. In this paper, the synchronization method is derived based on the maximum likelihood principle, and its performance is analyzed with different sets of the frequency offset trial values. The analysis suggests the synchronization method showing good trade off between complexity and performance.

I. 서론

해상에서 선박간 안전과 충돌 방지 등의 목적으로

AIS (Automatic Identification System)^[1]이 2001년에 개발되어 지금까지 사용되고 있다. 하지만 AIS는 안전운항과 관련된 정보 전달을 목적으로 하기 때문에 디지털 데이터 전송은 적합하지 않다.

최근 해상에서 저비용으로 e-mail, SMS, 인터넷 연결 서비스 등 디지털 데이터 통신에 대한 요구 증가함에 따라 VHF(Vary High Frequency) 대역에서 디지털 통신 방식을 도입하는 방안이 논의 되었고, VDES(VHF Data Exchange System)라는 해상 디지털 이동통신 시스템을 제안되었다^[2].

지상국용 VDES 시스템은 세 개의 주파수 대역 25kHz, 50kHz, 100kHz를 지원하며, 접속방식은 TDMA (Time Division Multiple Access)를 사용한다. TDMA의 슬롯(slot)은 모두 동기화가 되어 있다고 가정하며, 이를 위해 훈련 시퀀스(training sequence)를 제공한다. 본 논문은 지상국용 VDES 시스템을 위한 최대 우도 기반 시간 및 주파수 동기화 방식을 제안하고, 컴퓨터 모의 실험을 통해 다양한 주파수 오차 실험값을 갖는 동기화 방식의 성능을 분석한다.

II. 시스템 모델

본 논문은 ITU-R M.2092-0^[2]에 명시된 지상국용 VDES 시스템을 고려한다. VDES 시스템은 시간 및 주파수 동기화를 위해 $K=27$ 개의 심볼로 이루어진 훈련 시퀀스를 제공한다. 훈련 시퀀스는 111111001101010000011001010이며, 1은

$\frac{1}{\sqrt{2}} + j\frac{1}{\sqrt{2}}$ 로 0은 $\frac{-1}{\sqrt{2}} - j\frac{1}{\sqrt{2}}$ 로 변조되어 전송된다. 그림 1은 25kHz 대역폭을 갖는 VDES 시스템의 슬롯 구조를 나타낸다.

해상에 위치한 선박과 육상에 위치한 지상국간의 채널은 한 개의 경로를 가진 Rician 감쇠로 모델링할 수 있다^[3]. 송신 신호를 $s(n)$ 이라 할 때, 수신 신호는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$r(n) = \alpha e^{j(2\pi\nu n + \theta)} s(n) + w(n) \quad (1)$$

이 때, α 는 Rician 채널이고, $\nu = f_{offset} T_s$ 는 대

* 본 논문은 한국해양과학기술진흥원의 국가R&D사업인 "해양 RF기반 선박용 Ad-hoc 네트워크 개발"에 의해 수행되었습니다(과제 고유번호:1525004641).

^o First Author : Hoseo University Oceanic IT Convergence Research Center, yhcho@hoseo.edu, 정희원

^{*} Corresponding Author : Hoseo University Department of Information and Telecommunication Eng., hlko@hoseo.edu, 정희원

^{*} Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering(KRISO), sgkim@moeri.re.kr, 종신희원, yklm@moeri.re.kr, 정희원

논문번호 : KICS2017-10-321, Received October 24, 2017; Revised November 20, 2017; Accepted December 15, 2017

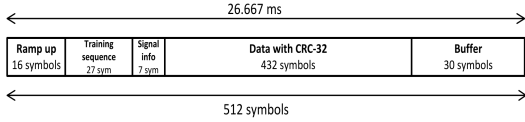


그림 1. 25kHz 대역폭을 갖는 VDES 시스템의 슬롯
Fig. 1. Slot of VDES system with 25kHz bandwidth

역폭으로 정규화된 주파수 오차이고, f_{offset} 은 실제 주파수 오차이고, T_s 는 심볼 간격이고, $\theta \in [0, 2\pi)$ 는 송신기와 수신기와의 임의의 위상차를 나타낸다. $w(n)$ 는 평균이 0이고 분산이 σ_n^2 인 대칭 복소 (complex) 가우시안 잡음이다.

III. 지상국용 VDES 시스템을 위한 동기화 기법

본 절에서는 지상국용 VDES 시스템을 위한 최대 우도 기반 시간 및 주파수 동기화 기법을 유도한다. 길이 K 인 수신 신호 벡터를 $\mathbf{r}_\tau = [r(\tau), r(\tau+1), \dots, r(\tau+K-1)]^T$ 의 확률 밀도 함수는 다음과 같다.

$$f_{\mathbf{r}_\tau}(\mathbf{r}_\tau; \alpha, \nu, \theta, \tau) = \frac{1}{(2\pi\sigma_n^2)^K} e^{-\frac{\|\mathbf{r}_\tau - \Phi_{\nu, \tau} \mathbf{s}_\tau\|^2}{2\sigma_n^2}} \quad (2)$$

여기서 $\Phi_{\nu, \tau}$ 는 i 번째 대각 성분이 $\alpha e^{j(2\pi\nu(i+\tau)+\theta)}$ 인 $K \times K$ 대각행렬이고, $\mathbf{s}_\tau = [s(\tau), s(\tau+1), \dots, s(\tau+K-1)]^T$ 는 송신 신호 벡터이다. 식 (2)에서 ν 와 τ 는 추정하고자 하는 변수이며, α 와 θ 는 모르는 변수이다. 상기 변수와 관계없는 항들을 제외한 로그 우도 함수(log-likelihood function)은 다음과 같다.

$$\Lambda(\tilde{\nu}, \tilde{\tau}; \tilde{\alpha}, \tilde{\theta}) = \text{Re} \left\{ \tilde{\alpha}^* e^{-j\tilde{\theta}} \sum_{k=0}^{K-1} e^{-j2\pi\tilde{\nu}k} s^*(\tilde{\tau}+k) r(\tilde{\tau}+k) \right\} \quad (3)$$

여기서 $\tilde{\alpha}, \tilde{\nu}, \tilde{\theta}, \tilde{\tau}$ 는 각각 $\alpha, \nu, \theta, \tau$ 의 시험 (trial) 값이다. ν 와 τ 의 최대 우도 추정은 $\Lambda(\tilde{\nu}, \tilde{\tau}; \tilde{\alpha}, \tilde{\theta})$ 가 최대값을 가질 때의 $\tilde{\nu}$ 와 $\tilde{\tau}$ 이다. 식 (3)에서 $z(\nu, \tau)$ 를 다음과 같이 정의하자.

$$z(\nu, \tau) = \sum_{k=0}^{K-1} e^{-j2\pi\nu k} s^*(\tau+k) r(\tau+k) \quad (4)$$

그러면 식 (3)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\Lambda(\tilde{\nu}, \tilde{\tau}; \tilde{\alpha}, \tilde{\theta}) = |\tilde{\alpha}| |z(\tilde{\nu}, \tilde{\tau})| \text{Re} \left\{ e^{j(\angle z(\tilde{\nu}, \tilde{\tau}) - \angle \tilde{\alpha} - \tilde{\theta})} \right\} \quad (5)$$

식 (4)를 살펴보면, 고정된 $\tilde{\nu}$ 와 $\tilde{\tau}$ 에 대해 $\angle z(\tau) - \angle \alpha - \theta = 0$ 을 만족할 때 $\Lambda(\tilde{\nu}, \tilde{\tau}; \tilde{\alpha}, \tilde{\theta})$ 가 최대가 됨을 알 수 있다. 이 경우 $\Lambda(\tilde{\nu}, \tilde{\tau}; \tilde{\alpha}, \tilde{\theta}) = |\tilde{\alpha}| |z(\tau)|$ 가 된다. 이 때 $|\alpha|$ 는 채널의 크기이며 상수로 취급할 수 있다. 따라서 ν 와 τ 의 결합 최대 우도 추정은 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$(\hat{\nu}, \hat{\tau}) = \arg \max_{\nu, \tau} |z(\tilde{\nu}, \tilde{\tau})|^2 \quad (6)$$

식 (6)에서 $\tilde{\tau}$ 는 이산 값이지만, $\tilde{\nu}$ 는 연속값이다. 일반적으로 최대 우도 추정 방식에서는 주파수 오차의 발생 범위를 양자화 하여 이산 값으로 사용한다. 본 논문에서는 주파수 오차의 시험값을 균등 (uniform) 양자화하여 사용하는 최대 우도 추정기를 고려한다. 양자화된 주파수 오차의 시험값은 다음과 같다.

$$\tilde{\nu} \in \{-\nu_m, -\nu_m + \Delta, -\nu_m + 2\Delta, \dots, \nu_m\} \quad (7)$$

이 때 ν_m 은 양자화된 주파수 오차 실험값의 최대 값이고, Δ 는 양자화 간격을 나타낸다.

IV. 지상국용 VDES 시스템 동기부 성능 분석

본 장에서는 25kHz 대역폭과 157MHz 중심 주파수를 갖는 VDES 시스템에서 시간 및 주파수 동기 기법의 성능을 확인한다. ITU-R M.2092-0^[2] 표준은 최대 6ppm의 주파수 오차를 가정한다. 주파수 오차 시험값의 양자화 방식에 따른 최대 우도 기반 동기 기법의 성능을 분석하기 위해 표 1에서와 같이 6개의 양자화 방식을 고려하였다. 이 때 주파수 오차 실험값은 ppm 단위로 설정하였다. Rician 채널의 K 값은 15dB로 설정하였다^[3]. 시간 동기화와 주파수 동기화의 성능 분석 지표는 각각 프리앰블의 시작 심볼 위치

표 1. 각 양자화 방식별 주파수 오차 실험값
Table 1. Frequency offset trial values with different quantization steps

주파수 오차 실험값 (ppm)	개수
$\tilde{\nu} \in \{-6, -5, -4, \dots, 5, 6\}$	13
$\tilde{\nu} \in \{-6, -4, -2, \dots, 4, 6\}$	7
$\tilde{\nu} \in \{-6, -3, 0, 3, 6\}$	5
$\tilde{\nu} \in \{-5, -2, 1, 4\}$	4
$\tilde{\nu} \in \{-4, 0, 4\}$	3
$\tilde{\nu} \in \{-2, 2\}$	2

검출 실패 확률과 정규화된 주파수 오차와 추정 주파수 오차의 평균 자승 오차 (Mean-Square Error; MSE)를 사용하였다.

그림 2에 각 양자화 방식별 주파수 오차 실험값에 따른 시간 동기화의 성능을 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 주파수 오차 실험값의 개수가 많을수록 시간 동기화의 성능이 향상됨을 알 수 있다. 특히 주파수 오차 실험값의 개수가 2개인 경우와 3개인 경우 사이에 큰 성능 차이를 갖는 반면, 주파수 오차 실험값의 개수가 13개와 7개 사이에는 매우 작은 성능 차이를 보임을 알 수 있다.

그림 3에는 각 양자화 방식별 주파수 오차 실험값에 따른 주파수 동기화의 성능을 나타내었다. 주파수 동기화 성능 역시 시간 동기화 성능과 유사한 경향을 보인다. 주파수 오차 추정 시 SNR이 증가함에 따라 각 양자화 방식에서 후보 주파수 오차 실험값의 절반에 해당하는 오차의 MSE로 수렴하게 된다.

일반적으로 최대 우도 기반 동기부 구현 시 주파수 오차 실험값의 개수만큼 상관기(correlator)가 필요하다.

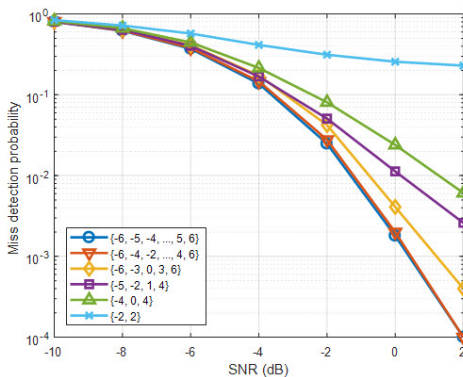


그림 2. 각 양자화 방식별 주파수 오차 실험값에 따른 시간 동기화의 성능
Fig. 2. Performance of timing synchronization for different sets of frequency offset trial values

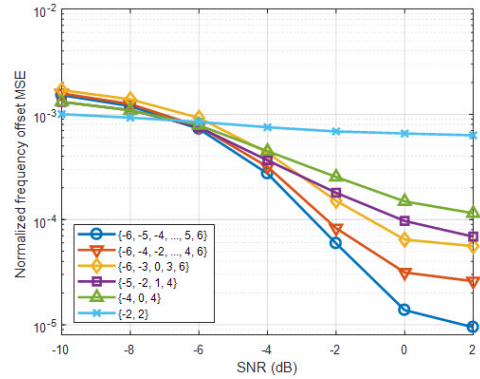


그림 3. 각 양자화 방식별 주파수 오차 실험값에 따른 주파수 동기화의 성능
Fig. 3. Performance of frequency synchronization for different sets of frequency offset trial values

다. 즉 복잡도와 성능은 trade-off 관계를 가진다. 성능 분석 결과 계산량과 성능을 고려할 때 최대 우도 기반 동기부의 주파수 오차 실험값은 3개에서 4개가 적절한 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 논문에서는 최대 우도 기반 해양 VDES 시스템을 위한 동기부를 제안하고 해상 채널 환경에서 성능을 분석하였다. 분석 결과 3개 혹은 4개의 주파수 오차 실험값을 갖는 최대 우도 기반 동기 방식이 적절한 계산량과 성능을 가짐을 확인하였다.

References

- [1] ITU-R M.1371-1, *Technical characteristics for a universal shipborne automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile band*, 2001.
- [2] ITU-R M.2092-0, *Technical characteristics for a VHF data exchange system in the VHF maritime mobile band*, 2015.
- [3] D. H. Kim, "Development of maritime digital VHF system based on ITU-R WP5B M.1842-1," Feb. 2011