

중파 R-Mode 수신기의 위상 모호성 해결 방안에 대한 연구

신장환, 한영훈+, 이삭*, 안재민

충남대학교 전파정보통신공학과, 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소+,
국립해양측위정보원*

jhshin@o.cnu.ac.kr, +yhhan@kriso.re.kr, *issac1015@korea.kr, jmahn@cnu.ac.kr

A Study on Phase Ambiguity Resolution of MF R-Mode Receiver

Shin Jang Hwan, +Han Younghoon, *Lee Sak, Ahn Jae Min

Chungnam National Univ., +Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering, *National
Maritime PNT Office

요약

본 논문은 지상과 통합 항법시스템의 구성 요소 중 중파(MF, Medium Frequency) 대역 R(anging)-Mode 신호의 전파 도달 지연시간 추정 시 발생하는 위상 모호성을 해결하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 Low 및 High CW(Continuous Wave) 신호에 영교차(Zero Crossing) 검출기를 적용하여 R-Mode 신호가 수신되기까지의 파형의 정수 주기를 계산할 수 있어 위상 모호성 문제를 해결할 수 있다.

I. 서론

우리나라의 중파 위성항법보정시스템(DGNSS, Differential GNSS)은 283.5~325 kHz 대역에서 서비스 중이다. 중파 DGNSS 신호는 GNSS 수신기에 보정 정보와 무결성 정보를 제공하기 위해 최소편이변조(MSK, Minimum Shift Keying) 변조되어 전송된다. 중파 R(anging)-Mode 시스템은 GNSS 백업 PNT(Positioning, Navigation, and Timing) 기술로서 측위 정보를 얻기 위해 GNSS에 전적으로 의존하던 상황에서 벗어나고자 하는 흐름에 맞추어 유럽을 중심으로 개발 중이다. 중파 R-Mode 신호는 수신기에서 전파 도달 지연시간 추정 시 발생하는 위상 모호성 문제를 극복하도록 설계되는데 이를 위해 중파 R-Mode 송신국에서는 기존 중파 DGNSS 비콘 변조기를 교체하여 MSK 주파수 스펙트럼의 null 지점에 Low와 High 연속파(CW, Continuous Wave) 신호를 삽입함으로써 중파 R-Mode 신호를 생성한다[1].

본 논문에서는 지상과 통합 항법시스템의 구성 요소 중 중파 R-Mode 시스템의 수신기에서 영교차 검출기를 통해 전파 도달 지연시간 추정 시 발생하는 위상 모호성 문제의 해결 방안에 대하여 서술한다.

II. 영교차 검출기

유럽연합(EU)은 기존 중파 DGNSS에서 사용하는 데이터 전송률 100 bps의 MSK 신호 이외에 MSK 반송파 중심주파수로부터 ± 225 Hz 떨어진 스펙트럼 null 지점에 Low와 High CW 신호를 삽입하여 중파 R-Mode 신호를 구성하였다. 우리나라가 시험 중인 중파 R-Mode 시스템은 유럽과 달리 MSK의 데이터 전송률로 200 bps를 사용하기 때문에 CW 신호가 삽입될 수 있는 null 주파수 오프셋은 ± 250 Hz와 ± 450 Hz이며 현재는 ± 450 Hz로 시험 송출 중이다. 중파 R-Mode 수신기는 전파 도달 지연시간 추정 시 수신된 신호의 위상을 추정하고 이를 거리로 환산하여 송신국과 이용자 간의 거리를 측정한다. 수신기는 영교차 검출기를 동작시키기 전에 추정된 위상의 정확도를 향상시키고 추정된 위상이 안정화되

기까지 소요되는 시간을 줄이기 위한 목적으로 수신된 신호에 Notch 필터를 적용하여 MSK와 CW 성분을 분리한다[2].

영교차 검출기는 기저대역 신호를 대상으로 동작하도록 설계되어 수신된 신호가 검출기의 입력에 도달하기 전 주파수 하향변환이 선행행된다. 주파수 하향변환기의 입력 신호는 Notch 필터를 통과하여 분리된 Low와 High CW 성분의 합으로 표현되고 아래의 식으로 나타난다.

$$s(t-\tau) = \sin\{2\pi(f_c - 450)(t-\tau)\} + \sin\{2\pi(f_c + 450)(t-\tau)\} \quad (1)$$

위 식은 전파 도달 지연시간 τ 가 반영된 Low와 High CW 성분의 합을 나타내며 f_c 는 MSK 반송파 중심주파수로서 여기선 300 Hz로 가정한다. 주파수 하향변환기는 입력 RF 신호에 대하여 국부 발진기에서 발진한 MSK 반송파 중심주파수와 주파수 합성하고 저역통과필터를 통과시켜 기저대역 I/Q 채널로 분리한다[3]. 분리된 I/Q 채널은 다시 합성되어 영교차 검출기의 입력으로 인가되며 이는 아래의 식으로 나타난다.

$$y(t-\tau) = \cos\{2\pi \cdot 450(t-\tau)\} e^{j(2\pi f_c \tau)} \quad (2)$$

전파 도달 지연시간의 추정은 2 단계의 과정으로 나뉜다. 먼저 식 (2)의 위상을 취하여 MSK 반송파가 수신되기까지의 정수배 주기는 고려되지 않은 순시(instantaneous) 위상을 계산한다. 여기서 취한 순시 위상(θ)은 아래의 식으로 나타난다.

$$\theta[\text{rad}] = 2\pi f_c \tau_i \sim [0, 2\pi] \quad (3)$$

위 식의 순시 위상은 $[0, 2\pi]$ 의 값을 가지기에 전파 도달 지연시간으로 환산한다 하더라도 R-Mode 신호의 실제 지연시간을 온전히 추정할 수 없다. 두 번째 단계에는 식 (2)의 전파 도달 지연시간이 포함된 정현파가 처음으로 영점을 교차하는 지점의 시간(\hat{t})을 추정한다. 정수(n)배 주기는 영교차 지점으로 추정된 시간(\hat{t})과 지연시간이 없고 중심주파수가 450 Hz인 정현파의 1/4 주기에서의 시간 차이를 계산하고 이를 MSK 반송파의 주기로 나누어 구한다.

$$\hat{t} = \tau + \frac{1}{450 \times 4} [\text{sec}] \quad (4)$$

$$n = \text{fix} \left\{ \left(\hat{t} - \frac{1}{450 \times 4} \right) / \frac{1}{f_c} \right\} \quad (5)$$

최종적으로 R-Mode 신호의 실제 전파 도달 지연시간은 식 (3)의 순시 위상(θ)에 식 (5)로 구한 정수(n) 만큼의 위상($2n\pi$)을 보상하여 정수배 주기가 반영된 위상(ϕ)을 구하고 이를 $2\pi f_c$ 로 나누어 추정한다. 아래의 식은 이 과정을 설명한다.

$$\phi [\text{rad}] = \theta + 2n\pi \quad (6)$$

$$\hat{\tau} = \phi / 2\pi f_c [\text{sec}] \quad (7)$$

지금까지 서술한 중파 R-Mode 신호 수신기의 주파수 하향변환기와 영교차 검출기의 동작 구조를 아래의 그림으로 나타내었다.

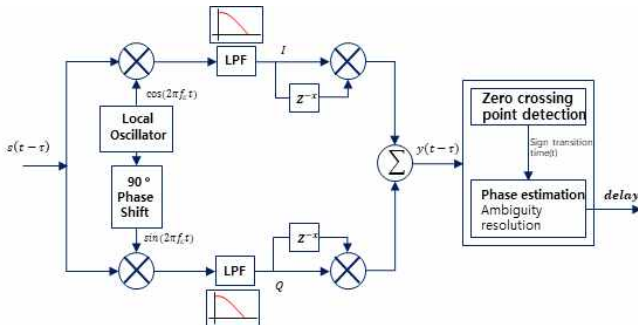


그림 1. 주파수 하향변환기 및 영교차 검출기

III. 성능 검증

지금까지 서술한 중파 R-Mode 신호의 위상 모호성 문제를 해결하는 방안에 대한 성능 검증을 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 파라미터로는 MSK 데이터 전송률과 반송파 중심주파수를 각각 200 bps와 300 kHz로, 중심주파수로부터 Low와 High CW이 삽입되는 스펙트럼 지점은 ± 450 Hz 떨어진 것으로 하였으며 신호의 초기 지연시간은 98 usec로 주어 영교차 검출기가 이를 정상적으로 추정할 수 있는지 확인하였다. 그 외 중파 R-Mode 신호 생성 시 필요한 기타 파라미터를 포함하여 시뮬레이션 수행을 위한 파라미터 설정값을 아래의 표로 정리하였다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Parameter	Value
Data rate	200 bps
Sampling rate	10 MHz
Center frequency	300 kHz
CW frequency offset	± 450 Hz
input delay	98 usec
Simulation time	1 sec
Channel	noiseless

그림 2는 영교차 검출기가 초기 지연시간을 정상적으로 추정하고 있음을 보여준다.

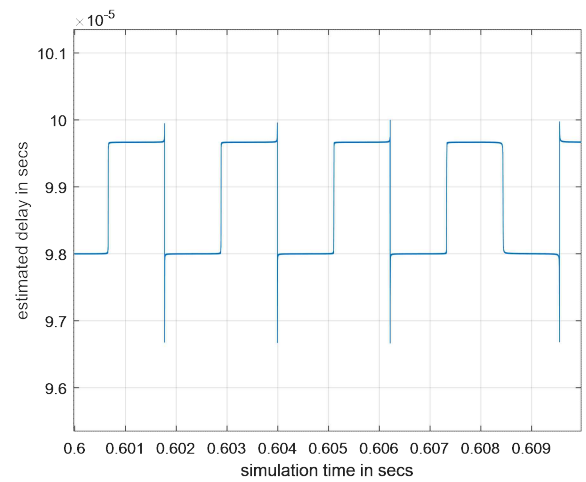


그림 2. 전파 도달 지연시간의 추정값

IV. 결론

본 논문에서는 GNSS 백업 PNT 기술인 지상과 통합 항법시스템 요소 중 하나인 중파 R-Mode 신호의 전파 도달 지연시간 추정시 발생하는 위상 모호성 문제의 해결 방안에 대하여 제안하였다. 시뮬레이션을 통하여 제안하는 영교차 검출기가 초기 지연시간을 정상적으로 추정하는 것을 확인하였다. 이는 중파 R-Mode 수신기 제작에 있어 새로운 방향성을 제시할 것으로 기대한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 해양수산부 재원으로 국가연구개발사업인 “지상과 통합 항법시스템 (R-Mode) 기술개발”에 의해 수행되었습니다 (1525012261).

참고 문헌

- [1] Johnson, G., & Swaszek, P. "Feasibility Study of R-Mode combining MF DGNSS, AIS, and eLoran Transmissions," German Federal Waterways and Shipping Administration, Final Report, 2014.
- [2] Rizzi, F. G. "Phase Locked Loop for R-Mode navigation system," Politecnico di Torino, April 2020.
- [3] Tse, D., & Viswanath, P. "Fundamentals of Wireless Communication," Cambridge University Press, 2005.