

# 해상 무선 통신에서 결정 피드백을 이용한 시퀀스 등화 방법에 대한 연구

송경희\* · 지민기\*\* · 박정철\*\*\* · 정성윤\*\*\*\* · † 전태현

\*,\*\*위즈노바 엔지니어, \*\*\*,\*\*\*㈜지넬글로벌, † 서울과학기술대학교 전기정보공학과 교수

## Decision Feedback Sequence Equalization for Maritime Wireless Communication

**요약** : 해상 무선 통신에서 신호 다중 경로로 인하여 장거리 데이터 통신에 어려움이 있을 수 있다. 이를 해소하기 위하여 채널 등화 기술을 사용할 수 있다. 제안하는 채널 등화 기술은 비터비 알고리즘을 이용한 시퀀스 신호 검출로 구현의 복잡도를 낮추기 위하여 결정 피드백 방식을 이용하여 트래리스 상태의 개수를 줄였다. 16QAM과 심볼 속도 76.8kHz의 신호에 대하여 10usec와 30usec 지연 시간 차이를 갖는 2-way 신호 경로의 채널 모델에 대한 컴퓨터 모의 시험을 수행하였다. 제안한 등화 기술을 사용할 경우 고려한 다중 신호 경로에 대하여 수신 오류율에서 error flow가 관찰되지 않는 것을 확인하였다.

**핵심용어** : 해상 무선 통신, 채널 등화, 결정 피드백 시퀀스 등화, 주파수 도메인 등화

### 1. 서론

해상 통신 규격인 VHF Data Exchange System (VDES)는 선박과 선박 또는 선박과 해안국 사이의 무선 통신 방식을 정의하고 있다[1]. 높은 데이터 전송 속도를 얻기 위하여 16QAM 변조 방식과 76.8kHz 심볼 속도를 지원하고 있는데, 수십 km의 장거리에서는 신호 다중 경로로 인하여 통신이 어려워지는 문제가 발생할 수 있다[2]. 신호 다중 경로는 송신된 신호가 지연 시간이 서로 다른 여러 경로를 지나 수신기에 도달하는 것으로 인접한 송신 신호 간에 간섭을 일으켜 데이터 수신 성능을 열화시킨다. 여기에서는 신호 다중 경로로 인한 수신 성능 열화를 완화하기 위한 채널 등화 기술 중에서 결정 피드백을 이용한 시퀀스 등화 방법을 제안하고 컴퓨터를 이용한 모의 시험 결과를 제시한다.

아래에서는 제안된 등화 기술에 대하여 설명하고, 컴퓨터 모의 시험을 이용하여 얻은 수신기 성능을 제시한다.

### 2. 통신 선로 등화

제안하는 채널 등화기의 구조는 그림1과 같다.

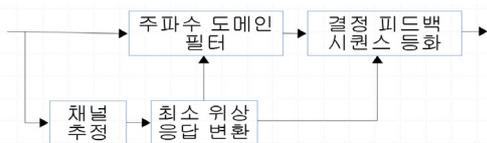


그림 1: 채널 등화기의 구조

채널 등화를 위해서는 채널 응답을 추정하여야 한다. VDES 신호의 알고 있는 Syncword와 추정의 정확도를 높이기 위하여 추가로 Link ID 신호를 사용한다[1]. 채널 응답은 Least Mean Square (LMS) 방식을 사용하여 계산한다[3].

결정 피드백을 이용하여 인접 신호의 간섭을 제거하는데 있어서 최적의 성능을 얻기 위해서는 채널 응답을 잡음의 증가 없이 최소 위상 응답으로 변환하여야 한다. 최소 위상 응답은 최소 시간 지연을 갖는 특징이 있다. 최소 위상 응답을 갖는 수신 신호로의 변환은 주파수 도메인 필터를 사용한다[7]. 이 필터는 수신 신호의 위상만을 조절하여 필터로 인한 잡음의 증가를 억제한다. 주파수 도메인 필터는 수신 신호를 Fast Fourier Transform (FFT)를 이용하여 주파수 축 신호로 변환하고, 주파수 축 신호의 위상을 조절하고, 그 결과를 Inverse Fourier Transform (IFFT)를 이용하여 시간 축으로 변환한다.

주파수 축에서 조절하여야 할 위상은 추정된 채널 응답을 최소 위상 채널 응답으로 변환하기 위하여 사용하는 위상 변화와 같다. 이 위상값의 계산 과정은 (1) 추정된 채널 응답을 FFT를 이용하여 주파수 축으로 변환하고; (2) 그 결과의 크기의 로그 값을 계산하고; (3) 그 결과를 IFFT를 이용하여 시간 축으로 변환하고; (4) 그 결과에 Hilbert transform을 적용하고; (5) 이 결과를 FFT를 이용하여 주파수 축으로 변환하면; (6) 최소 위상 응답으로 변화하기 위해 조절할 위상은 (5) 결과의 허수부에서 (1) 결과의 위상을 뺀 값이 된다[4]. 이 위상 값 (6)이 주파수 도메인 필터에서 사용된다. (1)의 결과에 (6)의 위상을 조절하고 그 결과를 IFFT를 이용하여 시간축으로 변환하여 최소 위

\* bellv@wiznova.com

† 교신저자 : thjeon@seoultech.ac.kr

상 응답을 얻는다. 이렇게 얻어진 응답을 결정 피드백 시퀀스 등화기에서 사용한다.

시퀀스 등화를 위해 사용하는 비터비 디텍터는 2개의 심볼 메모리를 갖는 채널을 가정하여 구성된다. 즉 이전 심볼의 결정을 이용하여 채널 응답 길이가 3이 되도록 과거 심볼로 인한 간섭을 수신 신호에서 제거한다[6]. 16QAM의 경우 트래리스 상태의 개수를 줄이기 위하여 16개 신호 성상을 4개의 그룹으로 구분하여 트래리스 상태가 16개가 되게 만든다. 그룹으로의 신호 성상 구분은 각 그룹내에서 신호 성상 간 거리가 최대가 되도록 만든다. 각 그룹내에서의 심볼 선택은 경관정 방식으로 결정한다. 비터비 디텍터에서 출력되는 등화된 신호는 각 트래리스 상태에 저장된 결정 심볼을 이용하여 신호 간섭이 제거된 수신 신호가 출력된다. 최적의 경로 매트릭을 갖는 트래리스 상태에서 등화된 신호가 출력된다.

등화된 수신 신호로부터 log-likelihood ratio (LLR)를 계산하여 비트의 신뢰도로 출력한다. 이 소프트 비트가 터보 디코더에 입력되어 수신 오류 정정 복호가 수행된다. 터보 코드는 규격에서 정한 부호율 3/4를 갖는다.

### 3. 모의 시험 결과

16QAM과 심볼 속도 76.8kHz 신호의 컴퓨터를 이용한 수신 성능 모의 시험 결과는 그림2와 같다. 잡음만을 갖는 채널(AWGN)과 2개 신호 경로 모델에서 간섭 사이에 10usec와 30usec 지연을 갖는 채널을 시험하였다. 10usec 지연의 경우 두 번째 채널 응답의 크기가 첫 번째 응답 대비 3, 6, 10dB의 평균 감쇄를 갖는 경우와 30usec에서는 20dB 감쇄를 갖는 경우를 가정하였다[2]. 신호대 잡음의 크기가 커지면 모든 채널 모델에서 수신 패킷 오류율이 error flow 없이 감소하는 것을 볼 수 있다.

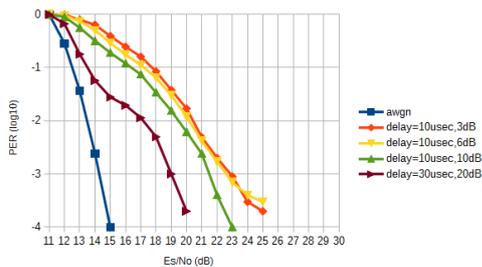


그림 2: 수신 패킷 수신 오류율 모의 시험 결과

### 4. 결 론

해상 무선 통신에서 신호 다중 경로로 인한 수신 성능 열화를 완화하기 위하여 결정 피드백 시퀀스 등화 방법을 제안하였다. 이 등화 방법을 VDES 규격에 따른 신호의 수신기에 적용하여 신호대 잡음 비가 증가할 때 수신 패킷 오류율이 error flow 없이 감소하는 것으로 확인하였다.

## 사 사

본 논문은 2023년도 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(1525014258, 초고속해상무선통신망 무선설비 다각화 및 통신연계 기술개발 연구)

## 참 고 문 헌

- [1] ITU-R Recommendation M.2092-1: Technical characteristics for a VHF data exchange system in the VHF maritime mobile band, 2022.
- [2] K. Bronk, P. Koncicki, A. Lipka, D. Rutkowski, B. Wereszko (2019), "Simulation and Measurement Studies of the VDES System's Terrestrial Component", Vol. 26, pp. 95-106, Polish Maritime Research.
- [3] S. Haykin (1991), *Adaptive Filter Theory*, Second Edition, Prentice Hall.
- [4] N. Damera-Venkata, B. L. Evans, and S. R. McCaslin (2000), "Design of Optimal Minimum-Phase Digital FIR Filters using Discrete Hilbert Transforms", *IEEE Trans. on Signal Processing*, Vol. 48, pp.1491-1495.
- [5] G. D. Forney, Jr.(1972) "Maximum-Likelihood Sequence Estimation of Digital Sequence in the Presence of Intersymbol Interference", *IEEE Trans. on Information Theory*, Vol 18, pp. 363-378.
- [6] M. V. Eyuboglu and S. U. H. Qureshi (1988), "Reduced-state Sequence Estimation with Set Partitioning and Decision Feedback", *IEEE Trans. on Communications*, Vol. 36, pp. 13-20.
- [7] A. V. Oppenheim and R. W. Schaffer (1989), *Discrete Signal Processing*, Prentice Hall.