

해상 통신을 위한 Alamouti 방식의 다중안테나 기반 최적 재전송 순서 기법

김 동 호*, 이 위 탁*, 이 정 훈**, 이 성 로^o

MIMO ARQ Systems Using Alamouti Coding with Optimal Retransmission Order for Maritime Communications System

Dong Ho Kim*, Weiduo Li*, Jung-hoon Lee**, Seong Ro Lee^o

요 약

최근 해상통신시스템의 성능개선을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 해상통신시스템의 전송 신뢰도 향상을 위해 본 논문에서는 다중안테나 재전송 기법을 고려하였다. 해상통신 환경 특히 조난을 당한 선박의 경우 무선채널은 변화가 상대적으로 적은 환경으로 재전송에 의해 시간 다이버시티를 얻기 어려운 환경이다. 전송 신뢰도 향상을 위해 재전송이 불가피한 환경이라면 별도의 다이버시티를 얻을 수 있는 방식이 필요하다. 본 논문에서는 다중안테나를 사용하는 해상통신시스템에서 Alamouti 방식의 신호를 구성하여 재전송하는 방식을 제안하고, 비트 오류확률과 패킷 수율 향상을 위해 최적의 재전송 신호 우선순위를 정하는 기준을 제시하였다. 제안한 방식은 Alamouti 방식의 재전송 신호를 랜덤하게 선택하는 방식과 단순하게 동일 신호를 재전송하여 Chase Combining을 수행하는 기존의 방식에 비해 비트 오류확률과 패킷 수율 성능에서 이득을 얻음을 확인하였다. 제안한 방식은 해상통신 특히 조난 상황에 긴급 정보를 신뢰도 높게 전송하는 것이 필요한 환경에 매우 적합한 방식으로 판단되며, 최근 활발히 논의되고 있는 해상통신시스템의 성능개선에 적용이 가능한 기술로 기대된다.

Key Words : maritime communications, MIMO ARQ, MIMO ARQ retransmission order

ABSTRACT

Recently there have been much interest in the performance improvement of maritime communication system. In the maritime communication system, the wireless channel is likely to be time-invariant and the retransmission scheme is not proper because it does not provide time diversity. For the improvement of reliability, we consider MIMO ARQ scheme using Alamouti-type signal which can provide space and time diversity. In this paper, we also propose the criterion of optimal retransmission order and provide its performance of error probability and packet throughput. The proposed MIMO ARQ scheme with optimal retransmission order has performance gain over random ordered MIMO ARQ and conventional Chase combining method. Therefore we expect that it can be adapted to the next generation maritime communication system.

※ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업으로 수행된 연구임(2009-0093828)

※ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2012R1A1A2044903)

♦ 주저자: 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과, 방송통신융합연구소, dongho.kim@seoultech.ac.kr, 종신회원

° 교신저자: 목포대학교 정보전자공학과, srlee@mokpo.ac.kr, 정희원

* 서울과학기술대학교 NID융합기술대학원, dalu0914@naver.com

** 목포대학교 컴퓨터공학과, moin123@naver.com

논문번호 : KICS2013-01-041, 접수일자 : 2013년 1월 14일, 최종논문접수일자 : 2013년 3월 8일

I. 서 론

국제해사기구 즉 IMO에서는 해상통신시스템의 운용 및 성능 등에 관한 표준을 제정하여 국제해상 조난안전시스템인 GMDSS(Global Maritime Distress & Safety System)를 1999년에 본격적으로 개발하였다. GMDSS는 해상안전을 위해 통신절차, 장비형태, 통신 프로토콜 등을 규정하여 세계 어느 해역에서도 신속한 조난 및 안전 경보와 통신이 가능하고 육상으로부터 해상 안전 정보 등을 수신할 수 있는 시스템이다. GMDSS가 개발된 이후 해상 통신에 커다란 변화가 일어났으나 여전히 조난 경보의 실패율이 높고, 운용이 복잡하며 위치 추적 거리가 짧은 단점이 문제가 되고 있다. 또한, 최근 멀티미디어의 발전에 따라 해상통신에서도 많은 데이터 정보량을 요구하고 있으나 제한된 주파수 자원으로 인해 고효율의 전송이 중요한 이슈가 되고 있다^[1]. 이와 같은 이유 때문에 최근 들어 GMDSS의 현대화에 대한 필요성이 제기되고 있으며 IMO는 2006년에 e-Navigation 전략을 수립하여 새로운 해상통신시스템 설계를 위한 작업을 진행하고 있다. 이에 따라 선박 간 통신, 선박과 육지의 해안국 간의 양방향 데이터 통신을 위한 통신 플랫폼 설계와 새로운 전송기술에 대한 연구 개발이 진행되고 있다.

본 논문에서는 이런 점을 고려하여 선박과 선박 간의 통신, 선박과 육지의 해안국 간의 통신을 위해 다중안테나 기반의 시스템을 고려하고 전송의 신뢰성 보장을 위해 재전송 기법을 고려한다. 해상 통신 시스템에서는 전송률 개선도 물론 중요하지만 조난 경보 정보의 신뢰도 높은 전송이 무엇보다 중요한 요소이다. 특히 기존의 GMDSS의 문제점으로 지적되고 있는 조난 경보의 실패율이 상대적으로 높은 문제점을 개선하기 위해서는 재전송 기법을 활용한 전송 신뢰도의 개선이 필요하다. 그런데, 해상통신 채널의 경우 조난을 당한 선박과 인근 선박 및 해안국 간의 통신을 수행할 때 무선채널의 변화가 많지 않은 특징이 있으며, 이를 고려하면 재전송에 의해 시간 다이버시티를 얻는 것이 어려운 환경일 수 있다. 따라서 본 논문에서는 Alamouti 방식^[5]의 다중안테나 기반의 재전송을 고려하여 공간 다이버시티를 획득하여 문제를 해결하고자 한다.

선박의 물리적 크기를 고려하면 VHF나 HF 대역을 사용하는 해상 통신 주파수에서도 여러 개의 송수신 안테나 시스템을 구현하는 것이 가능한 환경

이다. 따라서 선박의 송신 안테나의 개수 $N > 2$ 인 환경을 고려한다. Alamouti 방식의 시공간 다이버시티 전송에서 $N > 2$ 인 경우에는 복소신호 전송과 함께 송신기와 수신기의 복잡도가 증가하는 문제점이 있다^[3-4]. 해상 통신 장비의 복잡도 등을 고려할 때, $N > 2$ 방식의 시공간 다이버시티 전송은 적합하지 않은 문제점이 있어 N 개 중 2개의 전송 안테나만 선택하여 전송하고, 전송 실패 시 다른 안테나를 선택하여 전송하는 방식이 효율적일 수 있다. 본 논문에서는 이와 같은 시스템 모델에서 재전송을 수행할 때 수신 오류확률을 최소화할 수 있는 재전송 신호를 선택하는 기준과 이에 따른 성능 분석을 수행한다. 재전송 신호의 선택 기준은 무선채널과 전송 신호의 선택에 따른 SNR을 최대로 하는 방법이 고려된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 해상 통신을 위한 다중안테나 재전송 시스템 모델에 대해 기술하고, 3장에서는 제안기법의 동작에 대해 자세히 설명한다. 4장에서 모의실험 환경 및 성능 분석 지표에 대해 정의하고 제안 기법의 성능을 도출하고 분석한 뒤, 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 해상통신을 위한 다중안테나 재전송 시스템 모델

2.1. 해양통신의 채널모델 특징 및 시공간 다이버시티를 활용한 재전송 기법의 필요성

해상에서 선박에 대해 안전 경보를 전송하는 경우나 선박이 조난을 당한 경우 인근 선박이나 해안국에 위급 상황을 전송하는 상황에서는 통신의 실패는 치명적인 상황을 초래할 수 있다. 따라서 통신의 신뢰도 개선을 위해 수차례에 걸친 재전송을 통해서라도 정보의 전송이 성공적으로 이뤄질 수 있는 환경이 반드시 필요하다.

일반적으로, 느리게 변하는 채널 환경에서는 재전송에 의해 시간 다이버시티(time diversity)를 얻기 어려우므로 재전송 방식은 적합하지 않다. 해상 통신에서는 선박의 움직임에도 불구하고 주변의 구조물이 많지 않은 환경이어서 무선 채널의 변화가 크지 않을 수 있다^[2]. 특히, 선박이 조난을 당한 상황에서는 선박이 움직일 수 없어 채널의 변화가 매우 적은 환경이 되어 재전송에 의해 시간 다이버시티 효과를 얻기 어려운 환경이 된다.

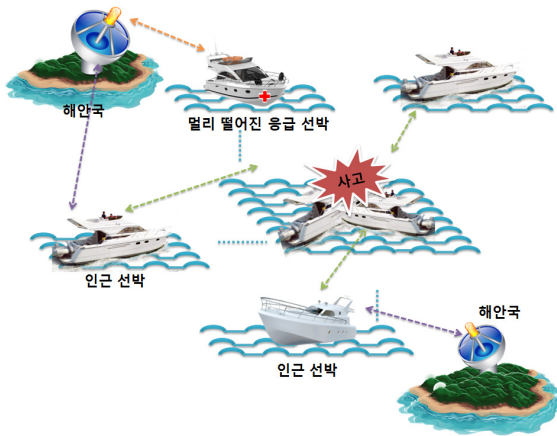


그림 1. 선박 간 통신 및 선박-해안 통신 시나리오
 Fig. 1. Scenario of Ship-to-Ship and Ship-to-Shore Communications

이와 같이 느리게 변하는 SISO 페이딩 채널 환경의 한계를 극복하고자 해상통신시스템에서 다중안테나 기반의 재전송을 통해 시공간 다이버시티를 얻는 기법이 요구된다. 즉, 다중안테나를 사용하는 송수신기 환경을 고려하고, 다중안테나를 고려한 재전송을 수행하여 전송 신뢰도를 개선하는 방법이 효과적일 수 있다.

본 논문에서는 이와 같은 환경에서의 송수신을 위해 $N \times M$ ($N > 2$) MIMO 시스템을 가정한다. 일반적으로 다중안테나 간의 독립성 확보를 위해서는 안테나 간 간격이 일정 간격 이상으로 떨어져 있는 것이 요구된다. 선박의 크기를 고려하면, 해양통신에서 사용하는 HF 대역이나 VHF 대역과 같이 신호의 파장이 상대적으로 큰 주파수 대역에서도 다중안테나 시스템이 가능한 환경이라고 볼 수 있다.

2.2. Alamouti 방식의 시공간 다이버시티 전송

일반적으로 다중안테나 시스템에서 Alamouti 방식의 신호 구성을 통해 재전송을 수행하는 경우 직교 신호를 구성하여 전송하므로 수신단에서 복호 복잡도를 줄일 수 있는 장점이 있다. 2개의 송신 안테나를 사용하고 Alamouti 방식의 신호를 구성하여 재전송하면 매 재전송 신호 수신 과정마다 간섭 신호에 해당하는 주대각선 외의 성분이 0이 되는 특징을 가질 수 있다. 앞서 설명한 바와 같이 선박 간 통신과 선박과 지상 기지국 간의 통신에서는 송신 안테나의 개수 N 이 2개 이상인 환경이 될 수 있다. 이 때, 수신기의 복잡도 등을 고려하여 실제 2개의 실효 송신 안테나만 선택하여 전송하는

방식을 고려하고자 한다.

본 논문에서는 이와 같은 특징을 고려하여 전송 과정과 수신 과정을 수행한다. 그림 2에서는 해상통신을 위한 다중안테나 기반의 신호 재전송 및 신호의 결합을 통한 신호 검파 절차를 나타내고 있다.

최초 전송에서 N 개의 송신안테나에서 전송하는 신호 벡터를 $\mathbf{s}^{(1)}$ 라고 할 때,

$\mathbf{s}^{(1)} = [s_1, s_2, \dots, s_N]^T$ 로 나타낼 수 있으며 공간적으로 다중화된 신호 벡터를 전송한다고 할 수 있다. 최초 전송에서 전송한 신호를 수신기에서 성공적으로 수신하면 재전송은 발생하지 않는다. 하지만, 최초 수신에서 신호를 복호하는데 실패하면 재전송이 요구되며, 매 재전송 수행 시 송신기는 채널 추정 결과를 바탕으로 최적의 재전송 순서를 결정하고, 순서에 기반하여 N 개의 송신 안테나 중 2개의 송신 안테나만을 선택하여 Alamouti 방식의 신호를 구성하여 재전송을 수행한다.

예를 들어, 송신 안테나의 개수 N 과 수신 안테나의 개수 M 이 각각 3인 경우를 가정해보자. 처음 전송에서 전송하는 송신 신호는 다음과 같이 구성된다.

$$\mathbf{s}^{(1)} = \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

앞서 언급한 바와 같이 본 시스템에서는 i 번째 전송($i > 1$)에서 송신기는 2개의 안테나를 선택하여 Alamouti 방식의 시공간 다이버시티를 획득할 수 있는 신호 구성을 진행하며 전송하는 것을 고려한다. 이 경우 식 (2)와 같이 세 가지 종류의 송신 신호가 구성될 수 있다.

$$\begin{matrix} \mathbf{s}^{(1)} & \mathbf{s}_1^{(i)} & \mathbf{s}_2^{(i)} & \mathbf{s}_3^{(i)} \\ \text{Tx1} & s_1 & -s_2^* & s_3^* & 0 \\ \text{Tx2} & s_2 & s_1^* & 0 & -s_3^* \\ \text{Tx3} & s_3 & 0 & -s_1^* & s_2^* \end{matrix} \quad (2)$$

i 번째 전송에서 실제로 어떤 송신 안테나를 선택하여 전송할 지는 다양한 기준에 따라 결정될 수 있다. 3장에서는 재전송 시 어떤 송신 안테나를 선택하여 전송할 지에 대해 선택 방식을 제시하며, 구체적인 성능 등에 대해 알아본다.

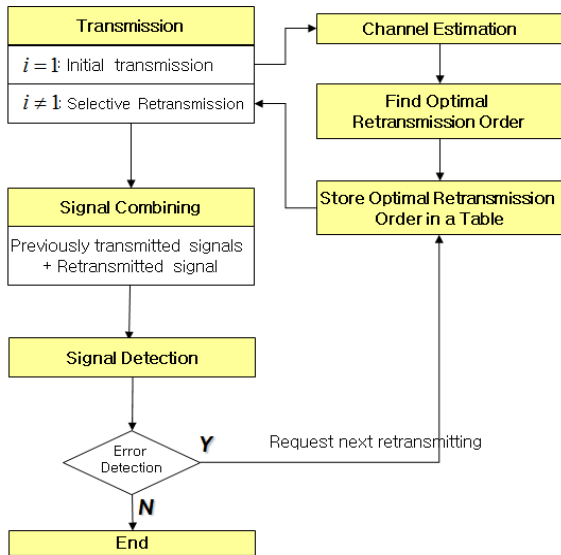


그림 2. 해상통신을 위한 다중안테나 기반 신호 재전송 및 신호 검파 절차
 Fig. 2. Procedure of Alamouti-type signal retransmission and signal detection for maritime communications

III. 다중안테나 기반의 Alamouti 타입 재전송 신호 선택 방법 및 성능 분석

본 장에서는 선박 간 통신 및 선박과 육지 지상국 간의 통신에서 발생할 수 있는 통신 실패를 고려하여 다중안테나 기반의 재전송을 구체적으로 고려하고 통신 신뢰도 향상을 위한 재전송 신호의 선택 기준에 대해 알아본다. 이를 위해 우선 수신기의 복조 과정에서 수신 신호가 어떻게 구성되는지를 분석하고, 이를 기반으로 효율적인 재전송 신호 선택 기준을 제안한다. 또한 제안한 방법에 따라 성능 변화가 어떻게 발생하는지에 대해 알아본다.

3.1. 수신기 복호 절차

송신기에서 최초 송신한 신호 $s(1)$ 이 수신기에 도착한 경우 수신 신호 $r(1)$ 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r(1) &= H^{(1)}s(1) + n(1) \\ &= Hs(1) + n(1) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 $H^{(i)}$ 는 i 번째 전송 시 송수신 안테나 간의 채널을 나타내며, 3×3 안테나 구조를 가정할 때 다음과 같이 나타낼 수 있다. 본 논문에서는 재전송 상황에서도 채널의 변화가 없는 것을 가정하므로 $H^{(i)} = H$ 로 일정하다고 가정한다.

$$H^{(i)} = H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \quad (4)$$

수신기에서 정합 필터를 통과한 신호 $y^{(i)}$ 는 수식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} y^{(1)} &= H^+ Hs^{(1)} + H^+ n^{(1)} \\ &= C_{(1)}s^{(1)} + H^+ n^{(1)} \end{aligned} \quad (5)$$

제안하는 방식의 이해를 돕기 위해 우선 3×3 안테나 구조를 가정하여 설명하고자 한다. 3×3 송수신 안테나 구조를 가정할 때 $C_{(i)} = H^+ H$ 는 구체적으로 다음과 같이 나타난다.

$$C_{(i)} = H^+ H = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{12}^* & a_{22} & a_{23} \\ a_{13}^* & a_{23}^* & a_{33} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$a_{ii} = \sum_{j=1}^3 |h_{ji}|^2, \quad a_{ij} = \sum_{k=1}^3 h_{ki}^* h_{kj} \quad (7)$$

수신기에서 정합 필터를 통과한 신호 $y^{(i)}$ 를 zero-forcing detection을 수행하면

$$\hat{s}^{(1)} = C_{(1)}^{-1}y^{(1)} = s^{(1)} + H^+ n^{(1)} \quad (8)$$

수신기에서 수신 오류가 발생하면 재전송 요청이 이뤄진다. 식 (2)에서 설명한 바와 같이 제안하는 방식에서는 2개의 송신안테나를 사용하는 Alamouti 방식의 시공간 신호를 구성하여 재전송하므로 수신기에서 주대각선 이외의 성분은 0이 된다. 3개의 송신 안테나를 가정하면 재전송 후보가 될 수 있는 신호는 $\binom{N}{2} = \binom{3}{2} = 3$ 개가 된다.

첫 번째 재전송, 즉 두 번째 전송에서 선택되어 전송되는 신호를 $s_k^{(2)}$ 라고 하자. 여기서 k 는 $\binom{N}{2}$ 중 선택된 송신 신호를 나타내는 인덱스이다. 수신기에서 앞서 수행한 바와 같이 재전송된 신호를 정합 필터링을 수행한다. 그리고 최초 전송에서 수신한 신호와 재전송 신호의 정합 필터링 결과 신호를

결합한 신호를 zero-forcing하게 되면 다음과 같은 수식을 얻을 수 있다.

$$\hat{s}_k^{(1,2)} = s + C_{(2),k}^{-1} (H^+ n^{(1)} + \gamma_k^T H^T n^{(2)*}) \quad (9)$$

여기서 $C_{(2),k} = C_{(1)} + \gamma_k^T C_{(1)}^* \gamma_k$ 이고, γ_k 는 permutation 행렬을 의미한다. $C_{(2),k}$ 는 첫 번째 전송과 두 번째 전송 시 채널을 정합 보상하여 결합한 값이며, 본 논문의 채널 모델에 따르면 첫 번째 전송과 두 번째 전송에서의 채널은 변화가 없다고 가정하였으므로 전송 신호의 선택에 따른 permutation matrix에 영향을 받는 결과로 나타난다.

3.2. 재전송 신호의 선택 알고리즘

식 (9)에서 나타난 바와 같이 첫 번째 재전송 후 수신단의 오류확률 성능은 재전송에 선택된 신호에 따라 결정된다. 즉, 수신단의 성능 향상을 위해서는 채널의 상황에 따라 재전송 신호를 적절하게 선택하는 것이 무엇보다도 중요하다. 본 절에서는 재전송 신호를 선택하는 기준을 제시한다. 재전송 신호의 선택 기준에 있어 본 논문에서는 신호의 오류확률 최소화를 고려하며, 이를 위해 수신신호의 SNR을 최대로 만드는 permutation matrix 선택을 고려한다. SNR은 $C_{(2),k}$ 의 determinant에 의존하므로 우리는 $s_k^{(2)}$ 중 최대의 determinant를 갖는 k를 선택하여 재전송한다.

$$\begin{aligned} &\text{select and retransmit } s_{k'}^{(2)} \\ &\text{s.t. } k' = \arg \max_k \det(C_{(1)} + \gamma_k^T C_{(1)}^* \gamma_k) \quad (10) \end{aligned}$$

만약 재전송을 수행했음에도 불구하고 여전히 검출 오류가 발생하게 되면 또 다른 재전송 신호가 SNR criterion에 의해 선택되고 세 번째 전송 (두 번째 재전송)이 진행된다. 이 경우 수신기에서 정합 필터 통과와 신호 결합, zero-forcing이 이뤄진 신호의 구성은 다음과 같이 구성된다.

$$\hat{s}_k^{(1,2,3)} = s + C_{(3),l}^{-1} (H^+ n^{(1)} + \gamma_k^T H^T n^{(2)*} + \gamma_l^T H^T n^{(3)*}) \quad (11)$$

여기서 $C_{(3),l} = C_{(1)} + \gamma_k^T C_{(1)}^* \gamma_k + \gamma_l^T C_{(1)}^* \gamma_l$ 이고, γ_k 와 γ_l 은 각각 첫 번째와 두 번째 재전송 과정에 선택된 신호에 따라 결정되는 채널의

permutation 행렬을 의미한다.

3.3. 4x4 MIMO 시스템을 고려한 재전송

3.2절에서 설명한 3x3 MIMO 시스템의 결과를 4x4 MIMO 환경으로 확장할 수 있다. 4x4 MIMO 시스템에서 i번째 전송 시 신호의 구성은 식 (12)와 같다. 이 경우 재전송 후보가 될 수 있는 신호의 개수는 $\binom{M}{2} = \binom{4}{2} = 6$ 개가 되며 채널 상태에 따라 i번째 전송에서 송신할 신호 $s_k^{(i)}$ 순서 k를 구성하게 된다.

$$\begin{matrix} s^{(1)} & s_1^{(i)} & s_2^{(i)} & s_3^{(i)} & s_4^{(i)} & s_5^{(i)} & s_6^{(i)} \\ s_1 & -s_2^* & 0 & 0 & s_3^* & 0 & -s_4^* \\ s_2 & s_1^* & -s_3^* & 0 & 0 & s_4^* & 0 \\ s_3 & 0 & s_2^* & -s_4^* & -s_1^* & 0 & 0 \\ s_4 & 0 & 0 & s_3^* & 0 & -s_2^* & s_1^* \end{matrix} \quad (12)$$

송신 순서를 구성하는데 있어 채널 추정 정보를 활용하게 되는데, (i+1)번째 전송에 사용할 신호 구성을 위한 채널 정보는 식 (13)과 식 (14)와 같이 구성된다.

$$C_{(i+1)} = \left(C_{(1)} + \sum_{n=1}^i \gamma_n^T C_{(1)}^* \gamma_n \right) \quad i = 1, \dots, 6 \quad (13)$$

$$C_{(1)} = H^+ H = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{12}^* & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{13}^* & a_{23}^* & a_{33} & a_{34} \\ a_{14}^* & a_{24}^* & a_{34}^* & a_{44} \end{bmatrix} \quad (14)$$

IV. 모의실험 및 성능분석

IV장에서는 선박 간 통신 및 선박과 해안국 간의 통신 무선채널을 가정하고, 제안한 방식의 성능 검증을 모의실험을 통해 수행하고 그 결과에 대해 분석한다.

4.1. 모의실험 환경

제안한 방식의 성능 검증을 위해 해상통신 무선 채널은 i.i.d complex Gaussian 채널을 가정하였고 채널의 값은 모든 재전송 구간 동안 변하지 않는다

고 가정하였다. 또한 선박과 해안국이 각각 동일한 수의 송수신 안테나를 사용한다고 가정하였으며 모의실험은 3x3 MIMO 송수신 환경에서 수행하였다. 정보 데이터 비트의 길이는 3x3 MIMO 시스템에서 513 bit를 사용하였고, 채널부호화 기법은 $(n,k,K)=(2,1,3)$ 컨볼루션 부호를 사용하고 오류검출을 위해 16bit CRC 부호를 사용하였다.

4.2. 모의실험 결과 및 성능 분석

앞서 III장에서 설명한 바와 같이 제안한 방식은 다중안테나를 통해 수신된 신호 구성과 채널의 상태를 기반으로 SNR을 측정하여 재전송 우선순서를 정하는 방식이다. 제안한 방식의 성능 우수성 검증을 위해 재전송 신호를 식 (2) 에서 정의한 신호 후보를 랜덤하게 선택하여 재전송하는 방식과 비교하였으며 실험 결과를 그림 3에 나타내었다. 실험 결과 그래프 중 R은 전송 회수를 나타내며, R=1일 때는 최초 전송을 의미한다. 첫 번째 재전송 즉 R=2일 때와 두 번째 재전송 즉 R=3일 때 모두 제안한 방식은 랜덤하게 선택한 방식에 향상된 성능을 보이고 있으며, R=4일 때는 제안 방식이나 랜덤 선택 방식 모두 식 (2)의 후보 신호 모두를 전송하기 때문에 동일한 성능을 얻게 된다. BER 성능이 10⁻³일 때 제안한 재전송 순서를 SNR에 기반하여 구성하는 경우 랜덤하게 순서를 정하는 방식에 비해 2dB 가량의 성능 향상을 얻을 수 있음을 확인하였다. 이를 통해 채널의 상태를 고려하여 다중안테나를 선택하여 신호를 재전송하는 제안 방식의 우수성을 확인할 수 있었다.

또한 다중안테나를 사용하는 해양통신 시스템에서 Alamouti 방식의 신호 구성을 통해 재전송을 수행하는 제안 방식이 단순히 동일한 신호를 재전송하여 Chase combining을 통해 성능 이득을 얻는 방식에 비해 어떤 성능을 보이는지 알아보는 것이 필요하다. 그림 4에서 두 방식의 비트오류확률 성능을 모의실험을 통해 검증하였으며, 그림 5에서는 패킷 수율의 성능을 나타냈다. 제안 방식은 단순히 Chase combining을 수행하는 방식에 비해 월등한 성능 이득을 보임을 알 수 있다. 이는 채널의 상황이 재전송에도 변하지 않는 환경에서 단순 재전송과 Chase combining을 수행하는 것은 시간 다이버시티를 얻기 어렵고 SNR 이득만을 얻을 수 있음을 보여준다.

반면에 제안한 방식은 Alamouti 방식의 신호 구성을 통해 재전송을 통해 시공간 다이버시티를 얻

을 수 있는 장점이 있다. 그림 5에 나타난 바와 같이, 제안하는 방식은 패킷 수율 측면에서도 월등한 성능 이득을 보임을 알 수 있다.

앞서 언급한 바와 같이 해상통신 시스템의 채널 환경, 특히 조난 상황에 처한 선박의 경우 채널의 변화가 크지 않다는 가정 하에 제안하는 방식은 기존의 방식에 비해 월등한 성능 개선을 통해 신뢰도 높은 해상통신 성능을 제시할 수 있을 것으로 예상된다.

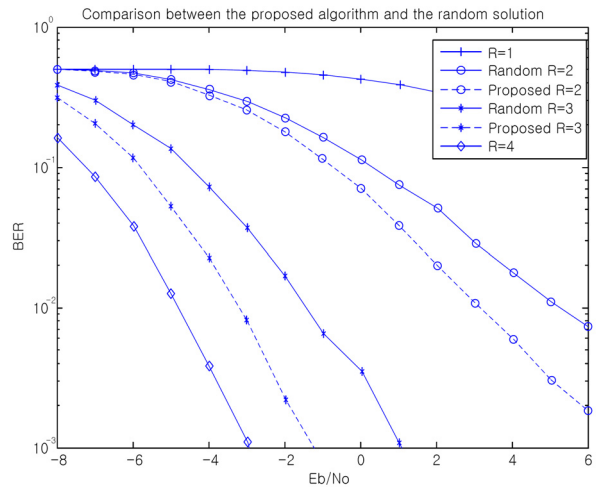


그림 3. 제안 방식과 랜덤 순서 선택 방식의 비트오류확률 성능 비교
Fig. 3. Performance comparison between the proposed approach using optimal retransmission ordering selection and the random transmission selection.

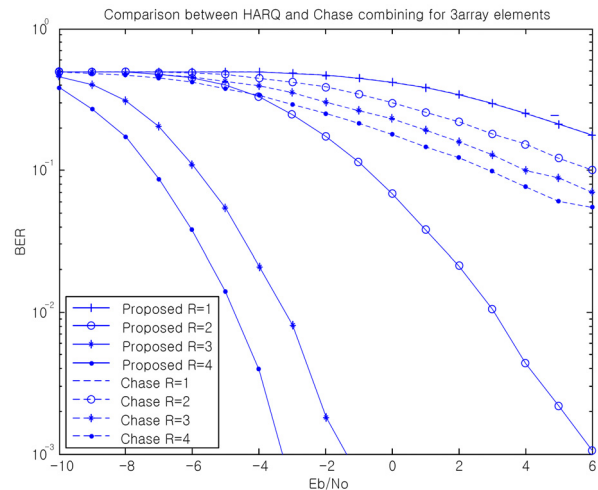


그림 4. 제안 방식과 Chase 결합방식의 비트오류확률 성능 비교
Fig. 4. Performance comparison between the proposed approach and the Chase combining for different total number of transmission.

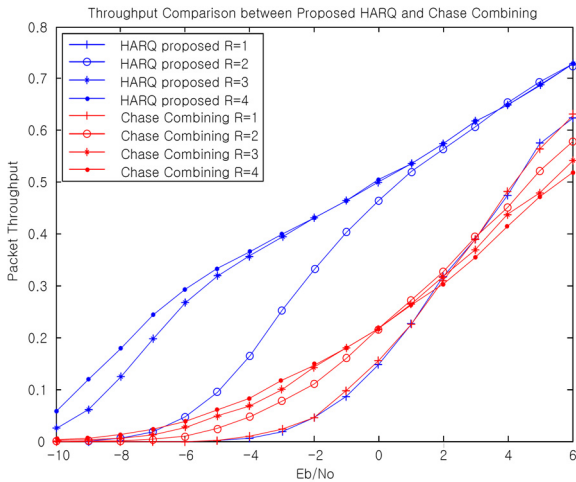


그림 5. 제안 방식과 Chase 결합방식의 패킷 수율 성능 비교

Fig. 5. Throughput performance comparison between the proposed approach and the Chase combining for different total number of transmission.

V. 결론

최근 해상통신시스템의 성능개선을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 선박 간의 통신 또는 선박-해안국 간의 통신에서 안전 경보 정보, 조난 상황에 처한 선박이 전송하는 정보 등은 인명과 관련된 정보로서 전송 신뢰도가 매우 중요한 요소라고 할 수 있다. 이와 같은 해상통신시스템의 전송신뢰도 향상을 위해 본 논문에서는 Alamouti 방식의 다중안테나 재전송 기법을 고려하였다. 해상통신 환경 특히 조난을 당한 선박의 경우 무선채널은 변화가 상대적으로 적은 환경으로 재전송에 의해 시간 다이버시티를 얻기 어려운 환경이다. 전송 신뢰도 향상을 위해 재전송이 불가피한 환경이라면 별도의 다이버시티를 얻을 수 있는 환경이 필요하다. 본 논문에서는 다중안테나를 사용하는 해상통신시스템에서 Alamouti 방식의 신호를 구성하여 재전송하는 방식을 제안하고, 비트오류확률과 패킷 수율 향상을 위해 최적의 재전송 신호 우선순위를 정하는 기준을 제시하였다. 제안한 방식은 Alamouti 방식의 재전송 신호를 랜덤하게 선택하는 방식에 비해 비트오류확률 10-3에서 2dB 가량의 성능 이득을 얻을 수 있음을 확인하였다. 또한, 해상통신 환경에서 단순하게 동일 신호를 재전송하여 Chase combining을 수행하는 기준의 방식과 비교하여 월등한 비트오류확률 성능 및 패킷 수율 성능을 보임을 확인하였다. 제안한 방식은 해상통신 특히 조난 상황에 긴급 정보를 신뢰도

높게 전송하는 것이 필요한 환경에 매우 적합한 방식으로 판단되며, 최근 활발히 논의되고 있는 해상통신시스템의 성능개선에 적용이 가능한 기술로 기대된다.

References

- [1] O. S. Park and D. H. Kim, "Technical trends in maritime radio communications for e-Navigation," *Electron. Telecommun. Trends*, vol. 27, no. 2, pp.51-58, Apr. 2012.
- [2] K. Jeon, B. Hui, K. Chang, S. Kim, S. Kim, and Y. Lim, "Performance analysis of channel compensation and channel coding techniques based on measured maritime wireless channel in VHF-band ship ad-hoc network," *J. KICS*, vol. 36, no. 5, pp. 517-529, May, 2011.
- [3] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. R. Calderbank, "Space-time block coding for wireless communications: performance results," *IEEE J. Sel. Areas Comm.*, vol. 17, pp. 451-459, Mar. 1999.
- [4] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. Calderbank, "Space-time block codes from orthogonal designs," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 45, no. 5, pp. 1456 - 1467, July 1999.
- [5] S. Alamouti, "A simple transmitter diversity scheme for wireless communications," *IEEE J. Sel. Areas Comm.*, vol. 16, pp. 1451-1458, Oct. 1998.

김 동 호 (Dong Ho Kim)



1997년2월 연세대학교 전자공학과 학사
 1999년2월 KAIST 전기및전자공학과 석사
 2004년8월 KAIST 전기및전자공학과 박사
 2004년9월~2007년 2월 삼성기술원 삼성전자 책임연구원

2007년3월~현재 서울과학기술대학교 전자HT미디어공학과 부교수
 <관심분야> 무선통신시스템, 통신이론, 오류정정부호

이 위 탁 (Weiduo Li)



2011년 8월 서울과학기술대학교
매체공학과 졸업
2011년 3월 서울과학기술대학교
NID융합기술대학원 석사
과정
<관심분야> 무선통신시스템,
MIMO 송수신 기술

이 정 훈 (Jung-hoon Lee)



2010년 2월 동신대학교 컴퓨
터학과 졸업
2010년 3월~현재 목포대학교
컴퓨터공학과 석사과정
<관심분야> 무선센서네트워
크, 임베디드시스템

이 성 로 (Seong Ro Lee)



1987년 2월 고려대학교 전자
공학과 공학사
1990년 2월 한국과학기술원
전기및전자공학과 공학석사
1996년 8월 한국과학기술원
전기및전자공학과 공학박사
1997년 9월~현재 목포대학교
공과대학 정보전자공학과 교수
<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시
스템, USN/텔레매틱스응용분야, 임베디드시스템