

# 다중-홉 선박간 통신을 위한 네트워크 부호화 기법

도 푸 틸\*, 신 동 렬\*, 이 성 로\*\*, 정 민 아\*\*\*, 김 윤 희°

## A Network Coding for Multi-Hop Ship-to-Ship Communications

Thinh Phu Do\*, Dongryul Shin\*, Seong Ro Lee\*\*, Min-A Jeong\*\*\*, Yun Hee Kim°

### 요 약

본 논문에서는 다중 선박으로 구성된 해양 네트워크에서 선박 간 통신 거리를 확장하면서 전송률을 향상시키는 양방향 다중-홉 릴레이 기법을 제안한다. 제안 기법은 두 단계 디지털 네트워크 부호화를 기반으로 각 선박의 데이터 전송 순서와 네트워크 부호화 순서를 알맞게 설계하여 데이터 교환에 필요한 시간 슬롯 수를 줄인다. 모의실험 결과 제안하는 양방향 다중 홉 릴레이 기법은 기존 기법의 전송률을 약 5/3배 향상시킴을 볼 수 있다.

**Key Words** : Multi-hop communications, relay, network coding, throughput, ship-to-ship communications

### ABSTRACT

We propose a two-way multi-hop relaying scheme improving the throughput as well as enlarging the coverage for ship-to-ship communications in multi-ship marine networks. The proposed scheme reduces the time slots required for the data exchange by designing data transmission and network coding procedures in a sophisticated way based on two-phase digital network coding. Simulation results show that the proposed two-way multi-hop relaying scheme improves the throughput of the conventional one about 5/3 times.

### 1. 서 론

최근 다양한 육상 무선 통신의 발전과 함께 해양 환경을 고려한 해상 통신에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 해상에서는 전송거리가 긴 MF/HF 대역의 모뎀과 VHF 대역의 AIS(automatic identification system)을 주로 사용 중이다. AIS는 VHF 대역 중 156MHz, 162MHz 에서 SOTDMA (self-organized TDMA) 방식을 사용하여 선박관련 정보와 항해 안전 정보 등을 주고받아 선박간의 충돌 회피 및 원활한 항

해를 가능하게 하는 시스템이다<sup>1,2</sup>. MF/HF 대역의 모뎀은 전송거리가 길다는 장점을 가지지만, 낮은 전송 속도로 인해 효율적인 서비스를 제공하기에 부족함이 있다. 항만의 경우 기존의 육상 통신 시스템 기지국을 해안에 설치하여 최대 15km에 이르는 지역까지 고속 무선 통신을 제공하는 서비스를 제공할 수 있지만, 연안과 대양의 경우 육상의 기지국으로 네트워크를 구성하는 것이 불가능하다. 이러한 한계를 극복하기 위해 해상 위성통신(inmarsat)을 이용하기도 하지만<sup>3,4</sup>, 이는 많은 비용이 들기 때문에 중소형 선박

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT-융합 고급인력과정 지원사업(NIPA-2014-H0401-14-1009)과 정부(교육부) 및 한국연구재단의 일반연구자지원 사업으로 (2012R1A1A2040091) 수행된 연구임.

♦ First Author : Kyung Hee University, Department of Electronics and Radio Engineering, dopthinh@gmail.com, 학생회원  
 ° Corresponding Author : Kyung Hee University, Department of Electronics and Radio Engineering, yheekim@khu.ac.kr, 종신회원

\* 경희대학교 전자전파공학과, chrisdr84@khu.ac.kr, 학생회원

\*\* 목포대학교 정보전자공학과, srlee@mokpo.ac.kr, 정회원

\*\*\* 목포대학교 컴퓨터공학과, majung@mokpo.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2014-05-160, Received May 2 2014; Revised July 9, 2014; Accepted July 9, 2014

에 사용하기 어렵다. 따라서 군집해 있는 선박들이 저비용으로 상호 통신을 가능하게 하고 통신 서비스 영역을 넓힐 수 있는 새로운 방법이 필요하다<sup>5)</sup>.

본 논문에서는 선박 간 통신 가능 영역을 확장하여 통신 연결성을 높이는 다중-홉 릴레이 통신 방식을 고려한다. 다중-홉 릴레이 통신은 송신 노드가 최종 목적 노드까지 데이터를 전달할 때 송신 노드와 목적 노드 사이에 위치한 다른 노드가 신호를 전달함으로써 전송 반경을 넓힐 수 있다. 이러한 다중-홉 릴레이 통신 방식에 대한 연구는 대부분 증폭-후전달(amplify-and-forward) 또는 복호-후전달(decode-and-forward) 방식을 기반으로 한 단방향 통신에 집중되었다<sup>6-9)</sup>. 그러나 이러한 단방향 다중-홉 릴레이 방식은 릴레이 전송 시 시간 슬롯이 추가로 소요되기 때문에 주파수 효율이 저하되는 문제가 발생한다.

이러한 주파수 효율 저하 문제를 극복하는 방법으로 이중-홉 환경에서 양방향 통신을 위한 두 단계 아날로그 네트워크 부호화<sup>10)</sup>, 세 단계 디지털 네트워크 부호화<sup>11)</sup>, 두 단계 디지털 네트워크 부호화 기법<sup>12,13)</sup> 등이 제안되어 활발한 연구가 진행되었다. 이에 최근에는 상기 방식을 다중-홉 환경에 적용하는 연구가 발표되고 있다. 먼저 두 단계 아날로그 네트워크 부호화를 다중-홉 릴레이 네트워크에 적용한 연구에서는<sup>14,15)</sup> 복잡성으로 인해 4-홉 환경에서 제한적으로 연구되었다. 이 방법은 홉 수가 증가하면 신호 증폭 효율이 나빠지고 다른 홉의 채널상태정보를 모두 알아야 간섭을 소거할 수 있기 때문에 실제적인 적용이 어렵다. 이러한 문제를 극복하기 위해 복호-후전달 기반 방식이<sup>16-17)</sup> 제안되었는데, 세 단계 디지털 네트워크 부호화를<sup>11)</sup> 기반으로 한 [17]의 제안 기법이 [16]의 제안 기법보다 향상된 전송률을 제공하였다.

이에 본 논문에서는 [17]보다 향상된 성능을 제공하도록 두 단계 디지털 네트워크 부호화를<sup>12,13)</sup> 다중-홉 환경에 알맞게 확장한 방식을 제안한다. 이후 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 고려하는 다중-홉 해양 통신 시스템 모형과 기존 및 제안 기법에 필요한

네트워크 부호화 기법을 설명한다. III장에서는 제안하는 다중-홉 양방향 릴레이 기법을 기존 기법과 비교 설명하고, IV장에서 레일리 페이딩 채널에서의 성능을 비교한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모형

그림 1은 2N-홉 양방향 해상 통신 시스템을 보인 것이다. 두 통신 선박  $R_1$ 과  $R_{2N+1}$ 은 릴레이 선박  $R_i$ ,  $i=2, \dots, 2N$ 의 도움으로 서로 정보를 교환한다. 시스템 내 모든 선박은 반-이중(half-duplex) 통신을 수행한다. 시스템 내 각 홉의 채널 진폭은 데이터 교환이 완료될 때까지 변하지 않는 블록 플랫 페이딩 특성을 띤다. 따라서  $R_i$ 에서  $R_{i+1}$ 로의 채널 진폭은  $h_i$ ,  $R_{i+1}$ 에서  $R_i$ 로의 채널 진폭은  $g_i$ 로 나타낼 수 있고, 각 채널 진폭은 서로 독립이고 레일리(Rayleigh) 분포를 가진다.

기존의 다중-홉 양방향 릴레이 기법<sup>17)</sup> 세 단계 디지털 네트워크 부호화를 기반으로 전송 방법을 설계하였다. 그림 2(a)는 세 노드  $R_{i-1}$ ,  $R_i$ ,  $R_{i+1}$ 에 대해 세 단계 디지털 네트워크 부호화 수행하는 방법을 보인 것이다. 노드  $R_{i-1}$ 와  $R_{i+1}$ 는 노드  $R_i$ 의 도움으로 데이터 교환을 수행하는 것을 보인 것이다. 첫 단계(시간 슬롯)에서  $R_{i-1}$ 가  $R_i$ 에게 정보 비트  $X \in \{0,1\}$ 를 전송하고, 두 번째 단계에서  $R_{i+1}$ 는  $R_i$ 에게 정보 비트  $Y \in \{0,1\}$ 를 전송한다. 이에 따라 노드  $R_i$ 가 두 단계 동안 수신한 신호는 다음과 같다.

$$y_i = \sqrt{P_{i-1}} h_{i-1} s_X + n_i \quad (1)$$

$$y_{i+1} = \sqrt{P_{i+1}} g_i s_Y + n_{i+1} \quad (2)$$

여기서  $P_m$ 은 노드  $R_m$ 의 송신 전력,  $s_B \in \{-1,1\}$ 는 정보 비트  $B \in \{0,1\}$ 의 BPSK 변조 심볼,  $n_m$ 는 평균이 0이고 분산이  $N_0$ 인 복소 정규 분포 잡음이다.

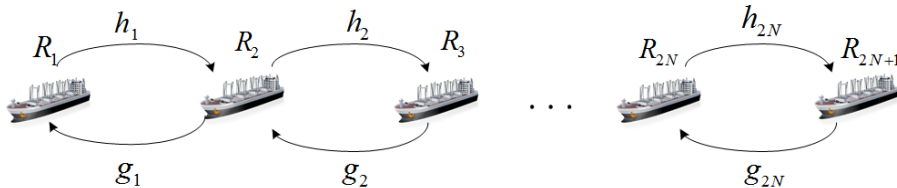


그림 1. 2N-홉 해상 통신 시스템.  
Fig. 1. 2N-hop ship-to-ship communication system.

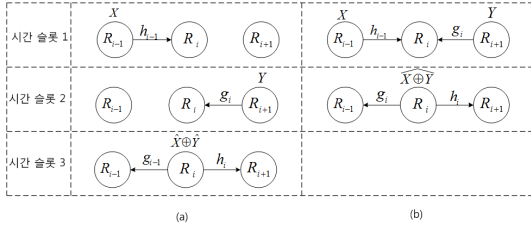


그림 2. 디지털 네트워크 부호화 기법: (a) 세 단계 디지털 네트워크 부호화 (b) 두 단계 디지털 네트워크 부호화  
 Fig. 2. Digital network coding (DNC): (a) Three-phase DNC (b) Two-phase DNC

노드  $R_i$ 는 수신 신호 (1)을 복조하여 정보 비트  $X$ 의 추정 값  $\hat{X}$ 을 얻고, 수신 신호 (2)를 복조하여 정보 비트  $Y$ 의 추정 값  $\hat{Y}$ 를 얻는다. 릴레이  $R_i$ 는 세 번째 단계에서 검출한 정보 비트  $\hat{X}$ 와  $\hat{Y}$ 의 배타 합  $\hat{X} \oplus \hat{Y} \in \{0, 1\}$ 를 노드  $R_{i-1}$ 와  $R_{i+1}$ 로 전송한다. 그러면,  $R_{i-1}$ 는  $\hat{X} \oplus \hat{Y}$ 를 검출하고 자신이 갖고 있는 정보 비트  $X$ 를 이용하여 상대방이 보낸 정보 비트  $Y$ 를 얻는다.  $R_{i+1}$ 도 같은 동작을 수행하여 상대방이 보낸 정보 비트  $X$ 를 얻는다.

한편 제안하는 다중-홉 양방향 릴레이 기법은 그림 2(b)의 두 단계 디지털 네트워크 부호화 기법을 기반으로 한다. 두 단계 디지털 네트워크 부호화 기법은 첫 단계에서  $R_{i-1}$ 와  $R_{i+1}$ 가 정보 비트  $X$ 와  $Y$ 를 동시에 전송하고  $R_i$ 가 수신 신호로부터  $X \oplus Y$  정보를 검출한다. 즉, 첫 단계에서  $R_i$ 가 수신한 신호는

$$y_i = \sqrt{P_{i-1}}h_{i-1}s_X + \sqrt{P_{i+1}}g_i s_Y + n_i \quad (3)$$

이고,  $R_i$ 는 수신 신호로부터  $X \oplus Y$ 의 추정 값을 다음과 같이 최대 우도비로 검출한다.

$$\hat{X} \oplus \hat{Y} = \begin{cases} 1, & \text{if } \sum_{(s_X, s_Y): \hat{X} \oplus \hat{Y} = 1} \exp\left\{-\frac{D^2(s_X, s_Y)}{N_0}\right\} \\ & > \sum_{(s_X, s_Y): \hat{X} \oplus \hat{Y} = 0} \exp\left\{-\frac{D^2(s_X, s_Y)}{N_0}\right\} \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (4)$$

식 (4)에서  $D(s_X, s_Y)$ 는 후보 심볼 사이의 거리  $|y_i - \sqrt{P_{i-1}}h_{i-1}s_X - \sqrt{P_{i+1}}g_i s_Y|$ 이다. 두 번째 단계에서  $R_i$ 는 검출한  $\hat{X} \oplus \hat{Y}$ 의 정보를  $R_{i-1}$ 과  $R_{i+1}$ 로 전송한다. 그러면  $R_{i-1}$ 과  $R_{i+1}$ 는 수신 신호로부터  $\hat{X} \oplus \hat{Y}$ 를 검출하고,  $R_{i-1}$ 는 검출한 비트에 자가

정보 비트  $X$ 를 배타 합하여 정보 비트  $Y$ 를 얻고  $R_{i+1}$ 는 검출한 비트에 자가 정보 비트  $Y$ 를 배타 합하여 정보 비트  $X$ 를 얻는다.

### III. 다중-홉 양방향 릴레이 전송 기법

#### 3.1 기존의 다중-홉 양방향 릴레이 기법[17]

그림 3은 기존의 다중-홉 양방향 릴레이 기법의 데이터 교환 절차를 6-홉 ( $N=3$ ) 환경에서 설명한 것이다. 노드  $R_1$ 과  $R_7$ 은 그림 2(a)의 세 단계 디지털 네트워크 부호화를 활용하여 데이터를 교환한다. 먼저 첫 시간 슬롯에서  $R_1$ 은 정보 비트  $X_1$ 을  $R_2$ 로 전송하고,  $R_7$ 은 정보 비트  $Y_1$ 을  $R_6$ 로 전송한다. 둘째 시간 슬롯에서  $R_2$ 와  $R_6$ 는 각각  $X_1$ 과  $Y_1$ 에 대한 검출 값을  $R_3$ 와  $R_5$ 에게 전송한다. 이 때 설명이 용이하도록 추정 값  $\hat{X}$ 을 실제 값  $X$ 와 같다고 가정하였다. 셋째에서 다섯째 시간 슬롯까지 ( $R_3, R_4, R_5$ )는 그림 2(a)의 세 단계 네트워크 부호화 기법으로 정보를 교환한다. 한편, 다섯째에서 일곱째 시간 슬롯까지 ( $R_1, R_2, R_3$ )과 ( $R_5, R_6, R_7$ )가 동시에 세 단계 네트워크 부호화 기

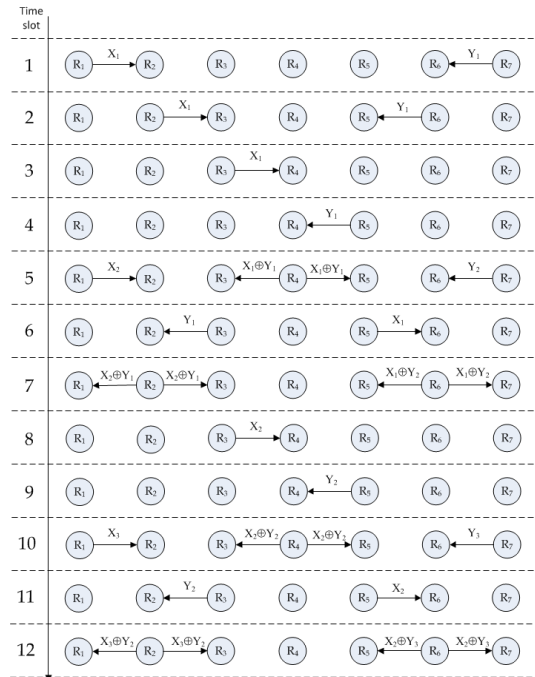


그림 3. 6-홉 네트워크에서 기존의 양방향 다중-홉 릴레이 전송 기법의 전송 절차  
 Fig. 3. Transmission procedure of the conventional two-way multi-hop relaying scheme in a 6-hop network.

법으로 정보를 교환한다. 이와 같은 과정을 수행할 경우 안정 상태에서는 ( $t \geq 2$ ) ( $5t-5$ )째 시간 슬롯마다 새로운  $X_t$ 와  $Y_t$ 의 전송이 시작된다. 따라서 두 정보를 교환하기 위해 평균 다섯 시간 슬롯이 필요하고 신호대잡음비가 클 경우 시간 슬롯 당 최대 2/5 비트 전송률을 제공한다. 이러한 전송 절차를  $N > 3$ 인 경우로도 쉽게 확장할 수 있으며 평균 전송률은 홉 수에 상관없이 시간 슬롯당 최대 2/5 비트이다.

### 3.2 제안하는 기법

그림 4는 본 논문에서 제안하는 다중-홉 양방향 릴레이 기법을 6-홉 ( $N=3$ ) 환경에서 설명한 것이다. 처음 두 시간 슬롯은 기존의 기법과 동일하나, 셋째 시간 슬롯부터 각 노드가 다르게 동작함을 볼 수 있다. 셋째 시간 슬롯에서 홀수 노드  $R_{2m+1}$  ( $R_1, R_3, R_5, R_7$ )은 각각의 정보를 동시에 이웃 노드  $R_{2m}$ 과  $R_{2m+2}$ 로 전달한다. 이에 짝수 노드  $R_{2m+2}$ 는 이웃 노드들이 전송한 정보 비트의 배타 합을 식 (4)의 최대 우도비로 검출하여 저장한다. 즉,  $R_2$ 는  $X_1 \oplus X_2$ ,  $R_4$ 는  $X_1 \oplus Y_1$ ,  $R_6$ 는  $Y_1 \oplus Y_2$ 의 추정 값을 검출하고,  $R_2$ 와  $R_5$ 는 이미 보유한 정보를 이용하여  $X_2 = X_1 \oplus (X_1 \oplus X_2)$ 와  $Y_2 = Y_1 \oplus (Y_1 \oplus Y_2)$ 를 통해 상대 노드가 보낸 정보를 얻는다. 넷째 시간 슬롯에서

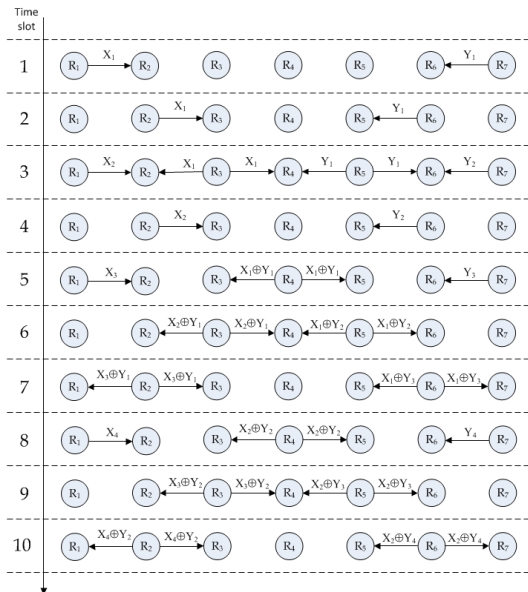


그림 4. 6-홉 네트워크에서 제안하는 양방향 다중-홉 릴레이 기법의 전송 절차  
Fig. 4. Transmission procedure of the proposed two-way multi-hop relaying scheme in a 6-hop network.

는  $R_2$ 가  $R_3$ 로 정보 비트  $X_2$ 를  $R_6$ 는  $R_5$ 로 정보 비트  $Y_2$ 를 전송한다.

다섯째 시간 슬롯에서는  $R_1$ 과  $R_7$ 이 각각 새로운 정보를 전송하는 동시에  $R_4$ 가 검출된  $X_1 \oplus Y_1$ 를 이웃 노드에게 전달한다. 그러면  $R_3$ 와  $R_5$ 는 각각 새로운 정보  $Y_1$ 과  $X_1$ 을 얻을 수 있다. 여섯째 시간 슬롯에서는 이전에 검출된 정보를 이용하여  $R_3$ 는  $X_2 \oplus Y_1$ 를  $R_5$ 는  $X_1 \oplus Y_2$ 를 각각 생성하여 이웃에게 전달한다. 그러면  $R_2$ 와  $R_6$ 는 새로운 정보 비트  $Y_1$ 과  $X_1$ 를 각각 검출할 수 있다. 일곱 번째 슬롯에서는  $R_2$ 는  $X_3 \oplus Y_1$ ,  $R_6$ 는  $X_1 \oplus Y_3$ 를 전송한다. 이러한 다섯째에서 일곱째 시간 슬롯 동안의 데이터 전송 방법은 새로운 정보 비트를 전송할 때마다 매번 반복된다.

이러한 과정을  $N (> 3)$  홉 환경으로 일반화하면 그림 5와 같이 나타낼 수 있다. 처음에서  $2(N-1)$  짝 시간 슬롯까지는 초기화 단계이고,  $(2N-1)$  짝 시간 슬롯에서  $(2N+1)$  짝 시간 슬롯까지의 데이터 전송이 반복된다. 따라서 제안 기법의 전송률은 안정 상태인 경우 시간 슬롯 당 최대 2/3 비트 전송률을 얻을 수 있다.

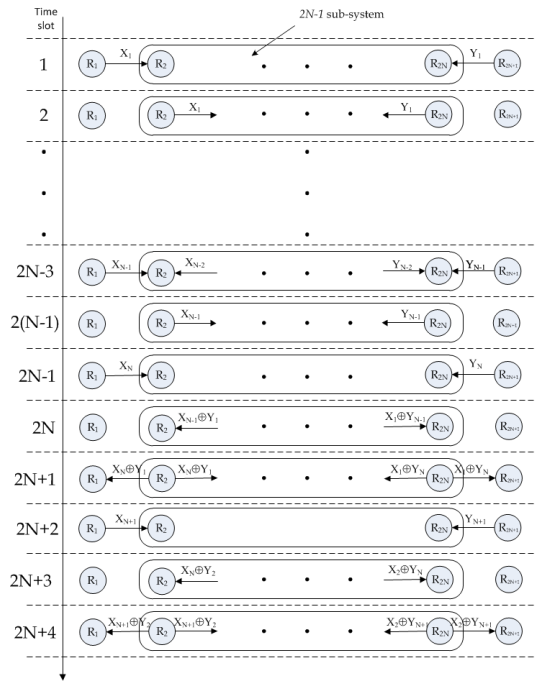


그림 5. 제안하는 양방향 다중-홉 릴레이 기법의 일반화된 모형.  
Fig. 5. Generalized model for the proposed two-way multi-hop relaying scheme.

#### IV. 성능 도출

본 절에서는 제안하는 다중-홉 양방향 릴레이 기법의 성능을 심볼 오류율과 전송률을 살펴본다. 성능 도출 시  $N=3$ 인 6-홉 환경을 가정하고, BPSK 변조 방식을 가정하였다. 선박의 송신 전력은  $P=P_i, i=1,2,\dots,2N+1$ 로 동일하며, 각 홉에서의 평균 신호대잡음비는  $SNR=P\frac{E\{h_i^2\}}{N_0}=P\frac{E\{g_i^2\}}{N_0}$ 로

같은 경우를 고려하였다. 제안 기법에서 두 단계 디지털 네트워크 부호화에 대한 두 정보 비트의 배타 합 검출은 식 (4)의 최대 우도 검출 기법을 적용하였다.

그림 6은  $R_1$ 과  $R_7$  사이의 데이터 교환에서 최종 노드에서의 심볼 오류율 성능을 보인 것이다. 기존의 단방향 다중-홉 릴레이 기법 ('one-way'), 기존의 양방향 다중-홉 릴레이 기법 ('conventional two-way'), 그리고 제안하는 양방향 다중-홉 릴레이 기법 ('proposed two-way') 성능을 비교한 결과 심볼 오류율은 세 기법 모두 동일한 성능을 보였다.

그림 7은  $R_1$ 과  $R_7$  사이의 데이터 교환에서 시간 슬롯당 전송률을 (bits/time slot) 보인 것이다. 세 기법의 심볼 오류율은 비슷하나 데이터를 교환하는 데 필요한 시간 슬롯에 있어서 제안 기법이 가장 적게 필요하므로 제안 기법의 전송률이 가장 높음을 볼 수 있다. 특히 신호대잡음비가 커지면 전송률이 기존의 단방향 다중-홉 릴레이 기법인 경우 시간 슬롯당 1/6 비트로, 기존의 양방향 릴레이 기법은 시간 슬롯당 2/5 비트로, 제안 기법은 시간 슬롯당 2/3 비트로 수렴함을 볼 수 있다. 즉, 기존 기법 대비 제안 기법은 평균

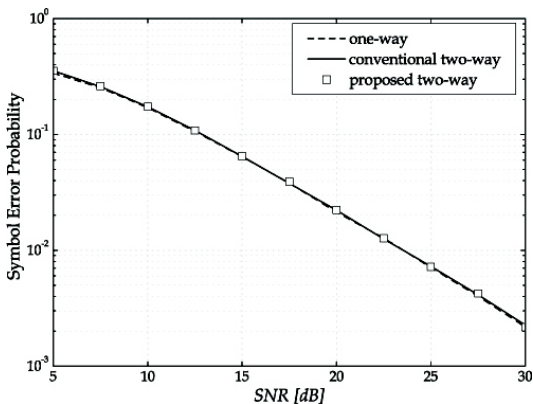


그림 6. 6-홉 환경에서 양방향 다중-홉 릴레이 기법의 심볼 오류율  
Fig. 6. Symbol error probability of two-way multi-hop relaying schemes in the 6-hop relay network.

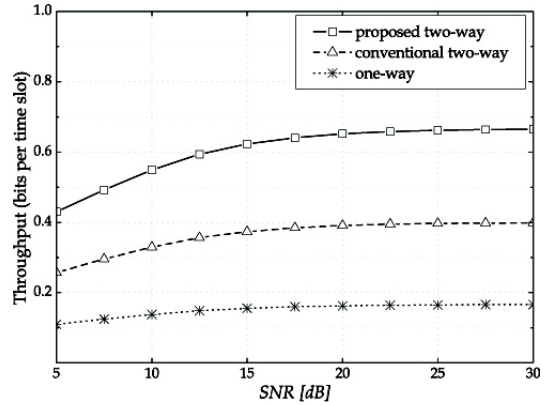


그림 7. 6-홉 양방향 릴레이 기법의 시간 슬롯당 전송률  
Fig. 7. Throughput of two-way multi-hop relaying schemes in the 6-hop relay network.

5/3배 향상된 전송률을 제공한다.

#### V. 결론

본 논문에서는 선박간 통신에서 기기간의 연결성을 높이고 통신 반경을 넓히기 위한 다중-홉 양방향 릴레이 통신기법을 제안하였다. 기존의 다중-홉 양방향 릴레이 통신은 세 단계 네트워크 부호화를 적용하나 제안 기법은 두 단계 네트워크 부호화를 적용하고 네트워크 부호화 전송과 릴레이 전송의 순서를 적절하게 배치함으로써 양방향 데이터 전송에 있어서 기존 기법보다 평균 두 시간 슬롯을 줄일 수 있다. 따라서 기존 기법은 전송률이 시간 슬롯당 최대 2/5 비트 전송률을 제공하는 반면 제안 기법은 시간 슬롯당 최대 2/3 비트 전송률을 제공함에 따라 거리가 먼 선박의 데이터 교환 효율을 향상시키는 방법으로 적용 가능 하리라 기대된다.

#### References

- [1] S. J. Chang, "Development and analysis of AIS applications as an efficient tool for vessel traffic service," in *Proc. Oceans*, pp. 2249-2253, Kobe, Japan, Nov. 2004.
- [2] A. R. M. Sidek and A. Z. Sha'ameri, "Evaluation of modulation coding schemes for adaptive HF data communication system," in *Proc. IEEE Nation. Conf. Telecom. Mal. Comf. Phot. (NCTT-MCP)*, pp. 267-272, Putrajaya, Malaysia, Aug. 2008.



- [3] S. D. Ilcev, *Global Mobile Satellite Communications for Maritime, Land and Aeronautical Applications*, Springer, Netherlands, 2005.
- [4] Y. Lee, S. R. Lee, and S. Yoon, "A novel BOC(n,n) correlation function for maritime satellite communications," *J. KICS*, vol. 38C, no. 3, pp. 296-302, Mar. 2013.
- [5] S. M. Mun, J. Y. Son, W. R. Jo, and W. B. Lee, "An implementation of AIS-based ad hoc routing protocol for maritime data communication networks," in *Proc. IEEE Int. Conf. Comp. Net. Commun. (ICNC)*, pp. 1007-1010, Chongqing, China, May 2012.
- [6] M. Hasna and M.-S. Alouini, "Outage probability of multihop transmission over Nakagami fading channels," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 7, no. 5, pp. 216-218, May 2003.
- [7] Asaduzzmman and H. Y. Kong "Outage analysis of a cooperative multi-hop wireless network for Rayleigh fading environment," *J. KICS*, vol. 36, no. 2, pp. 133-138, Feb. 2011.
- [8] H. Jung, S. Kim, and D. Kim "Energy efficient relay selection in multi-hop Ad-hoc environment," *J. KICS*, vol. 37B, no. 5, pp. 327- 337, May 2012.
- [9] K. Dhaka, R. Mallik, and R. Schober, "Optimization of power allocation for asymmetric relay placement in multi-hop relay systems," *IET Commun.*, vol. 7, no. 2, pp. 128 -136, Jan. 2013.
- [10] B. Rankov and A. Wittneben, "Spectral efficient protocols for half-duplex fading relay channels," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 25, no. 2, pp. 379-389, Feb. 2007.
- [11] P. Popovski and T. K-Akino, *Coded Bidirectional Relaying in Wireless Networks in New Directions in Wireless Communications Research*, NY: Springer, 2009.
- [12] Q. Zhou, Y. Li, F. Lau, and B. Vucetic, "Decode-and-forward two-way relaying with network coding and opportunistic relay selection," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 58, no. 11, pp. 3070-3076, Nov. 2010.
- [13] E. S. Lo and K. B. Letaief, "Design and outage performance analysis of relay-assisted two-way wireless communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 59, no. 4, pp. 1163-1174, Apr. 2011.
- [14] P. Popovski and H. Yomo, "Bi-directional amplification of throughput in a wireless multi-hop network," in *Proc. IEEE VTC*, pp. 588-593, Melbourne, Australia, May 2006.
- [15] S. K. Kuek, C. Yuen, and W. H. Chin, "Four-node relay network with bi-directional traffic employing wireless network coding with precancellation," in *Proc. IEEE VTC*, pp. 1201-1205, Singapore, May 2008.
- [16] S. Kim, N. Devroye, and V. Tarokh, "A class of bi-directional multi-relay protocols," in *Proc. IEEE ISIT*, pp. 349-353, Seoul, Korea, 2009.
- [17] Y. Qimin, C. Zhuo, and L. Yonghi, "A multihop transmission scheme with detect-and-forward protocol and network coding in two-way relay fading channels," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 61, no. 1, pp. 433-438, Jan. 2012.

도 푸 틴 (Thinh Phu Do)



2010년 2월: HoChiMinh City University of Technology  
통신공학과 공학사  
2010년 9월~현재: 경희대학교 전자전파공학과 석박통합과정  
<관심분야> WBAN, 채널추정

신 동 렬 (Dongryul Shin)



2012년 2월: 경희대학교 전자공학과 졸업  
2012년 3월~현재: 경희대학교 전자전파공학과 석사과정  
<관심분야> 가상 MIMO, Factor graph 기반 최적화 문제

**이 성 로 (Seong Ro Lee)**



1987년 2월 : 고려대학교 전자공학과 공학사  
1990년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사  
1996년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사  
1997년 9월~현재 : 목포대학교

공과대학 정보전자공학과 교수

<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시스템, USN/텔레매틱스응용분야, 임베디드시스템

**정 민 아 (Min-A Jeong)**



1992년 2월 : 전남대학교 이학사  
1994년 2월 : 전남대학교 이학석사  
2002년 2월 : 전남대학교 이학박사  
2002년 4월~2003년 2월 : 광주과학기술원정보통신공학과 Post-Doc

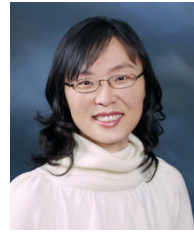
2003년 4월~2005년 2월 : 전남대학교 전자통신기술연구소 Post-Doc

2011년 9월~2013년 2월 : Cleveland Clinic Research

2005년 3월~현재 : 목포대학교 컴퓨터공학과 부교수

<관심분야> 데이터베이스/데이터마이닝, 생체인식시스템, 무선통신응용분야, 임베디드시스템

**김 윤 희 (Yun Hee Kim)**



1995년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학사  
1997년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사  
2000년 1월~2000년 4월, 2011년 1월~2012년 1월 : UCSD 방문 연구원

2000년 8월 : 한국과학기술원 전자전산학과 박사

2000년 9월~2004년 8월 : 한국전자통신연구원 선임연구원

2004년 9월~현재 : 경희대학교 전자전파공학과 교수

2006년 1월~현재 : IEEE 준석학회원, 한국통신학회 논문지 편집위원

<관심분야> 이동/무선 통신, 통신이론, 통계학적신호처리, 부호이론