

무선 양방향 비대칭 상호중계를 위한 네트워크 코딩 기법⁺

(Network Coding Technologies for Wireless Bidirectional Asymmetric Relay)

송 봉 섭^{1*}, 이 상 필²⁾, 이 충 희³⁾, 이 인 호⁴⁾, 남 인 중⁵⁾

(Bongseop Song, Sangpill Lee, Choong-Hee Lee, Inho Lee, and In-Joong Nam)

요약 다양한 형태의 차세대 무선 네트워크가 출현되면서 네트워크 노드에서 기존의 저장 및 전달(store and forward) 방식만으로는 네트워크 용량을 효율적으로 활용하지 못하는 한계가 있었다. 이러한 한계를 극복하기 위해 디코딩 및 전달(decode and forward) 방식의 다양한 네트워크 코딩 기술이 제안되었지만 중계할 노드 간의 비대칭 패킷 길이를 갖는 트래픽 환경에 초점이 맞추어져 있어 중계할 노드 간에 적용된 변조 및 코딩 스킴(modulation and coding scheme)이 상이할 경우 적용이 제한적이었다. 본 논문은 무선 네트워크 용량의 효율적 활용을 위해 동시에 양방향으로 상호중계하는 디코딩 및 전달 기술을 사용하면서, 개별 노드 간의 전송할 데이터와 상이한 무선채널 상태를 반영한 비대칭 변조 및 코딩 스킴의 트래픽을 양방향 상호중계하는 동시에 높은 주파수 효율성을 지원하는 중계 네트워크 코딩 방식을 제안한다. 또한 본 제안 방식을 통해 중계기에서 협력통신이 가능함을 보이고 통신 거리가 증대하는 효과를 살펴본다. 이후 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 비대칭 정보길이를 갖는 각 소스노드에서, 본 기술의 네트워크 코딩에 따른 성능 이득을 검증한다. 본 제안 기술은 소스노드 간 직접링크로 송수신이 가능한 이동노드 환경에서도 네트워크 코딩을 따르는 증가성 리던던시(incremental redundancy) 방식 수용으로 추가적인 비트 오류율에 대한 성능 이득이 있음을 보인다.

핵심주제어: 네트워크 코딩, 중계노드, 소스노드, 양방향 비대칭 중계기

Abstract With the emergence of various next-generation wireless networks, the traditional store and forward(SF) method at network nodes has faced limitations in efficiently utilizing network capacity. To overcome these limitations, various network coding techniques based on the decode and forward(DF) method have been proposed. However, these techniques have primarily focused on traffic environments with asymmetric packet lengths between relay nodes, limiting their applicability when different modulation and coding schemes(MCS) are applied to relay nodes. This paper proposes a relay network coding scheme that supports high frequency efficiency while simultaneously enabling bidirectional relaying using DF, considering asymmetric MCS traffic that reflects different transmission data and wireless channel conditions between individual nodes for efficient utilization of wireless network capacity. Additionally, this paper demonstrates the possibility of cooperative communication at the relay and examines the effect of increased communication distance. Subsequently, computer simulations are conducted to verify the performance gains of the proposed technique in terms of network coding for each source node with asymmetric information lengths. This proposed technique shows additional bit error rate(BER) performance gains by adopting an incremental redundancy(IR) scheme that follows network coding, even in mobile node environments where direct link transmission between source nodes is possible.

Keywords: Network Coding, Relay Node, Source Node, Mutual Asymmetric Relay

* Corresponding Author: bssong@sigworks.co.kr

+ 이 논문은 2022년도 정부(방위사업청)의 재원으로 국방기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 19-202-805-056 (KRIT-CT-22-065), 소형 다기능 모듈화 비행체 설계 기술 개발)
Manuscript received August 21, 2024 / revised September 20, 2024 / accepted September 27, 2024

1) ㈜시그웍스, 제1저자, 교신저자

2) LIG넥스원, 제2저자

3) LIG넥스원, 제2저자

4) LIG넥스원, 제2저자

5) 한국항공우주산업(주), 제2저자

1. 서론

과거 유선 중심의 통신 네트워크에서 통신 자원의 효율적 사용을 통해 전송 속도를 향상시키기 위해 개발되었던 네트워크 코딩 기술은 무선 통신 네트워크의 급속한 확장과 더불어 많은 노드로 구성되는 무선 센서 네트워크를 비롯하여 중계기를 사용하는 무선 통신 네트워크로 점차 그 활용성이 증가되고 있다(Cha et al., 2008).

최근에는 6세대(6G) 이동통신 시스템과 다양한 형태의 무인 항공기(UAV) 간의 애드-혹 네트워크(Flying Ad-hoc Network: FANET)와 같은 다양한 차세대 무선 네트워크 환경에서 높은 주파수 효율성을 갖는 방식을 기반으로 하는 핵심 기술들이 지속적인 관심을 받고 있다. 그 기술 중의 하나로 전체 시스템 전송률을 증가시키기 위한 방식으로, 시스템 상호 간 양방향 중계를 지원하는 중계기에서 네트워크 코딩을 적용하여 전송하는 방식이 제안되었다(Robert et al., 2003; Rankov and Wittneben, 2007).

네트워크 코딩이 적용된 양방향 상호중계 기술은 중계기에서 각각의 개별 노드(S1과 S2)로부터 수신된 정보 비트열을 비트 단위 네트워크 코딩을 적용하여 하나의 합성된 패킷으로 구성한 후 각각의 개별 노드에 동시에 방송한다. 무선 네트워크 내에 각각의 개별 노드가 모두 동일한 전송 속도를 갖는 경우에 일반적인 양방향 상호중계를 위해 4개의 타임슬롯이 필요한 반면에, 네트워크 코딩 기술이 적용되는 경우 3개의 타임슬롯을 통해 동일 전송 속도를 갖는 패킷을 양방향으로 중계하여 33.33% (4/3)의 시스템 전송률 이득을 갖는다.

또한, 보다 높은 주파수 효율성을 갖는 다른 형태의 중계 기술로서, 최근 전이중 중계 기술(Goyal et al., 2015)과 함께 물리 계층 네트워크 코딩(Physical-layer Network Coding: PNC) 기술(Jung, 2010)과 같은 방식 등이 다양한 관심을 받고 있으나 현재 실용화 기술로서의 추가적인 검증이 필요한 상황이다. 따라서, 본 논문에서는 기존의 반이중 중계기를 사용하여 높은 주파수 효율성을 가질 수 있는 네트워크 코딩을 적용할 때, 실제 무선 통신 시스템에서 네트워

크 코딩의 활용성을 높이면서, 수신 성능을 개선할 수 있는 방식을 제안하고자 한다.

본 논문에서 양방향 상호중계를 지원하는 무선 네트워크에서 고려하고자 하는 환경은 상호중계 무선 네트워크 내에서 각각의 개별 노드의 데이터 전송률이 다른 경우로서 비대칭 길이의 정보 비트열을 전송하는 경우를 가정한다. 실제 환경에서 양방향 개별 노드 간 트래픽 부하가 서로 다른 대표적인 예로, 영상데이터를 전송하는 하향링크와 상대적으로 매우 작은 텔레메트리 명령(Telemetry Command)을 전송하는 상향링크로 구성된 FANET이 있고, 다양한 멀티미디어 데이터를 전달하기 위한 하향링크와 계층-2의 매우 작은 ACK/NACK 정보를 전송하기 위한 상향링크로 구성되는 이동통신 시스템 등이 있다.

양방향 무선 통신 환경에서 비대칭 길이의 정보 비트열을 갖는 경우는 상·하향 무선링크 별로 트래픽 부하가 다른 경우이거나, 무선링크 별 품질이 다른 경우로서 링크 별로 서로 다른 부호화율과 변조 레벨의 MCS(Modulation and Coding Scheme)를 사용하는 경우이다. 먼저, 중계를 지원하는 무선 네트워크 환경에서 무선링크 별 품질이 다른 경우(소스노드1-중계노드 링크와 중계노드-소스노드2 링크)에는 양방향 무선링크 모두 낮은 SNR의 무선링크에 대응되는 부호화율과 변조 방식을 사용할 때의 전송 속도로 제한된다. 이와 달리 개별 노드의 트래픽 부하가 다른 경우에는 낮은 트래픽 부하를 갖는 노드에 높은 신뢰도를 가질 수 있는 낮은 MCS가 적용된다.

또한, 실제 무선통신시스템에서 각 노드가 동일한 심볼 전송률(동일한 대역폭)로 전송하면서, 상위 계층의 자원(타임슬롯) 할당 알고리즘에 따라 무선 네트워크 참여 노드에 임의의 타임슬롯이 할당될 수 있는 환경을 고려할 때, 본 논문에서는 모든 타임슬롯이 동일한 심볼 길이를 갖는다고 정의한다.

이와 같이 양방향 상호중계를 지원하는 중계기가 네트워크 코딩을 적용하여 중계하는 환경에서, 노드 간 전송하는 패킷의 길이가 비대칭 길이를 갖는 경우에, 전송 패킷 길이 중 같은 길이 만큼만 네트워크 코딩을 적용하고 나머지

부분은 네트워크 코딩을 수행하지 않는 NaF (Network coding after Fragmentation) 방식과, 길이가 긴 패킷을 기준으로 짧은 패킷의 나머지 비트열에 “0” 또는 반복되는 데이터를 패딩하여 네트워크 코딩을 수행한 후 전송하는 NaP (Network coding after Padding) 방식 등이 제안되었다(Lee et al., 2010).

Fig. 1은 비대칭 길이의 패킷을 패딩을 통해 상호중계하는 방식을 나타내는 그림으로, 소스노드1(S1)은 트래픽 부하가 높고($K_d > K_u$) 하향링크로 중계노드(R)를 통해 소스노드2(S2)에 패킷을 전송하고, 소스노드2(S2)는 상향링크로 패킷을 중계 전송한다. 무선링크 별 전송 심볼($N_{d,sym}, N_{u,sym}, N_{r,sym}$)은 모두 동일하며, 소스노드 간 정보 비트인 m_d 와 m_u 길이가 비대칭이고, 링크 별 적용된 부호화율과 변조 방식에 따라 부호어 길이(N_d, N_u, N_r)가 다른 경우를 나타낸다. 중계노드는 소스노드 간 선택된 MCS 방식 중에서 고차(high-order) MCS를 적용하며, 중계기의 부호어 길이 N_r 은 N_d 와 동일하다.

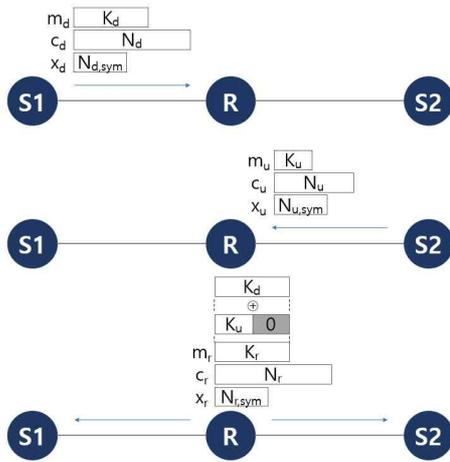


Fig. 1 Method for relaying asymmetric-length packets using padding

위의 조건에서 NaF 방식을 고려할 때, 중계기가 전송하는 타임슬롯을 나누어 네트워크 코딩이 적용되는 전송 심볼 구간과, 긴 패킷(하향링크) 기준으로 나머지 패킷(N_d-N_u)을 전송하는 전송 심볼 구간으로 나누어 전송하는 경우를 고려할 수 있으나, 상·하향 링크가 서로 다른 변

조 방식을 사용할 경우에는 적용하기 어려운 문제점이 있다.

또한, 단순히 0-패딩을 수행하는 NaP 방식을 적용할 때, 정보 비트열 단계에서 네트워크 코딩의 적용과 함께 중계기에서 전송하는 합성 패킷이 고차 변조 심볼로 구성되어 전송될 경우 소스노드2에서 전송하는 상향링크 정보 비트가 전송되는 유효 전송 심볼 수가 작아지는 효과에 의해 중계링크에서 소스노드1로 전달되는 중계상향링크의 성능이 크게 열화될 수 있는 문제점을 갖는다.

2. 시스템 모델

본 논문에서는 무선 중계 네트워크 내의 노드 간에 양방향 상호중계를 지원하는 DF(Decode and Forward) 반이중 중계기가 네트워크 코딩을 적용하여 합성한 송신 신호를 재구성한 후 무선채널을 통해 방송한다. Fig. 1에서와 같이 하향링크가 상향링크와 비교하여 트래픽 부하가 높은 환경이며, 하향링크는 데이터 전송률을 높이기 위해 높은 부호화율과 높은 수준의 변조 방식을 적용할 수 있다.

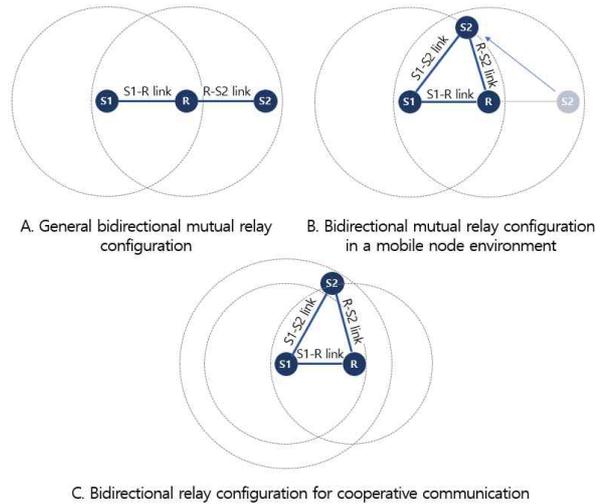


Fig. 2 Network topology incorporating relays that apply network coding for bidirectional relaying

Fig. 2는 본 논문에서 제안하는 네트워크 코딩이 적용된 중계기 중심의 네트워크 토폴로지를 나타내며, 비대칭 길이의 전송 데이터에 대한 상호중계 구성(A)과 이동노드 환경에서의 양방향 상호중계 구성(B) 및 네트워크 코딩을 활용한 양방향 상호중계와 이것을 지원하는 중계기의 협력통신을 통해 통신 거리가 증대될 수 있는 협력통신 양방향 상호중계 구성(C)을 나타낸다.

3. 비대칭 패킷 길이와 비대칭 MCS를 갖는 양방향 상호중계를 위한 네트워크 코딩 방식

본 논문에서 제안하는 양방향 중계를 위한 비대칭 길이의 네트워크 코딩 방식은 중계기가 소스노드로부터 전달된 메시지 기반으로 재 부호화를 수행하는 방식을 기반으로 한다.

서로 비대칭 길이를 갖는 상·하향 수신 신호에 대해 중계노드는 Fig. 3과 같이 각 타임슬롯에 전송되는 수신 신호의 MCS에 따라 복조 및 복호를 수행하여 정보 비트 m_d 와 m_u 를 획득하고 재 부호화 과정을 수행한다. 이때 부호어 길이는 모두 N_d 길이를 갖도록 상향링크 부호화율을 $R_u = R_d \times N_u / N_d$ 로 조정한다. 동일한 길이를 갖는 부호어에 대해 네트워크 코딩을 적용하며, 하향링크에서 사용한 변조 방식을 적용하여 심볼을 구성한 후에 무선채널로 방송한다.

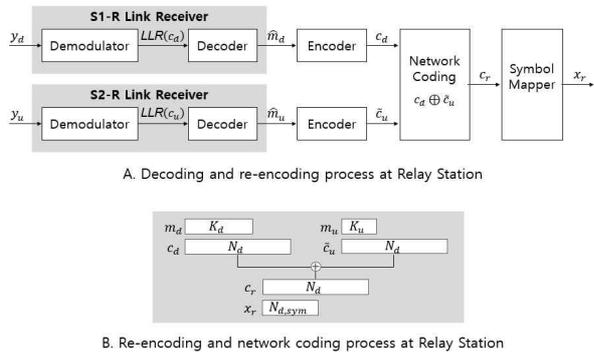


Fig. 3 Network coding for bidirectional relaying of asymmetric-length packets

Fig. 4는 개별 소스노드(S1, S2)에서의 수신기 구조를 나타낸다. 각 소스노드는 중계노드로부터 수신된 신호 y_r 에 대해 복조를 수행하여 중계노드의 전송 부호어에 대한 LLR(Log Likelihood Ratio)를 계산하고, 자신의 정보 시퀀스에 대한 중계노드에서의 부호화 방식과 동일한 방식으로 얻어진 시퀀스를 바탕으로 네트워크 코딩에 대한 복호 과정을 통해 상대 송신 노드의 부호어에 대한 LLR을 획득하여 복호 과정을 수행한다.

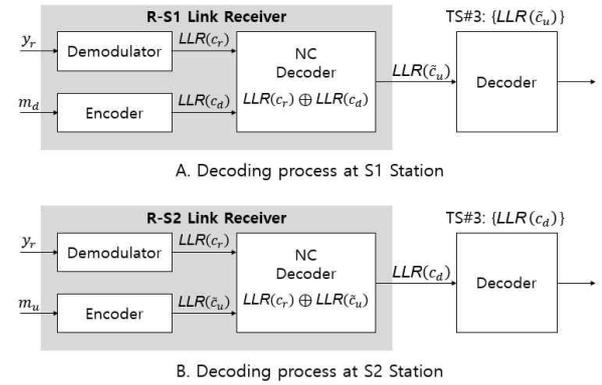


Fig. 4 Receiver at each node using bidirectional relaying

Fig. 5는 이동환경(Fig. 2의 협력통신 환경)에서의 양방향 상호중계 시 네트워크 코딩의 추가적인 이득을 얻기 위한 방법으로 중계노드가 소스노드로부터 전달된 정보 비트열 기반으로 재 부호화를 수행하여 부호어를 얻을 때, 소스노드로부터 전달된 패리티 부분과 서로 다른 부분의 패리티를 포함하는 새로운 버전의 부호어를 기반으로 네트워크 코딩을 수행한 후에 방송한다. 이와 같이 부호어의 다른 부분의 패리티를 전송하는 방식은 3GPP TS 36.212에서 정의된 HARQ (Hybrid Automatic Repeat and request) 기능과 같은 방식으로 ACK/NACK 피드백 신호를 바탕으로 부호어의 새로운 RV(Redundancy Version)의 패리티 부분을 전송하고, 수신 측에서는 새로운 RV의 부호어에 대해 기존의 수신된 패리티 부분과 결합하여 IR 기반의 복호를 수행하는 방식과 동일하다. 단 본 논문에서 제안하는 방식에서는 피드백 신호 없이 중계기는 새로운 RV의 패리티 부분을 전송한다.

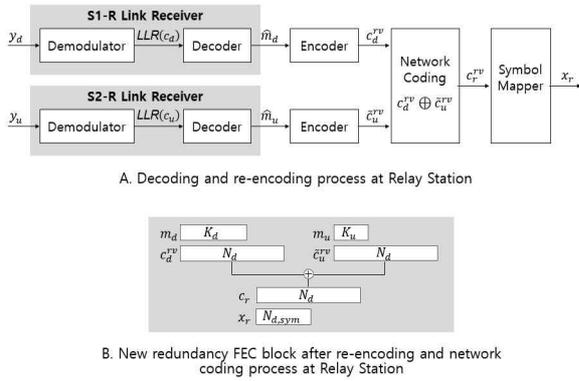


Fig. 5 Network coding for bidirectional relaying with novel codewords

Fig. 6은 중계노드 수신신호 기반 노드별 수신기에서의 복호 과정을 나타낸다. 개별 노드는 Fig. 2의 중계 환경 A와 같은 조건으로서 합성 신호 전송 타임슬롯(3번째 타임슬롯)의 중계노드 신호만 수신될 경우 본 그림과 같은 복호 과정을 수행한다. 수신기 구조는 Fig. 4에서의 구조와 동일하나 패리티 부분이 새로운 RV에 해당하는 패리티 부분인 점만 상이하다.

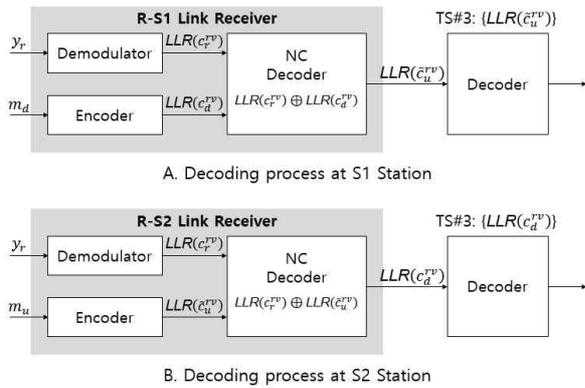


Fig. 6 Node-specific receiver based on relay node's received signal

Fig. 7은 이동환경에 따라 Fig. 2의 협력통신 환경(C)이 가능한 경우로서 상대측 전송 타임슬롯 내에 신호가 수신되는 경우, 직접링크로 수신되는 타임슬롯과 중계기의 합성신호가 전송되는 타임슬롯 2개의 수신 신호를 바탕으로 얻어지는 LLR에 대해 패리티 부분을 누적하는 IR

복호화 방식에 따라 복호를 수행하여 중계노드의 재전송에 따른 수신 성능 이득을 얻는다.

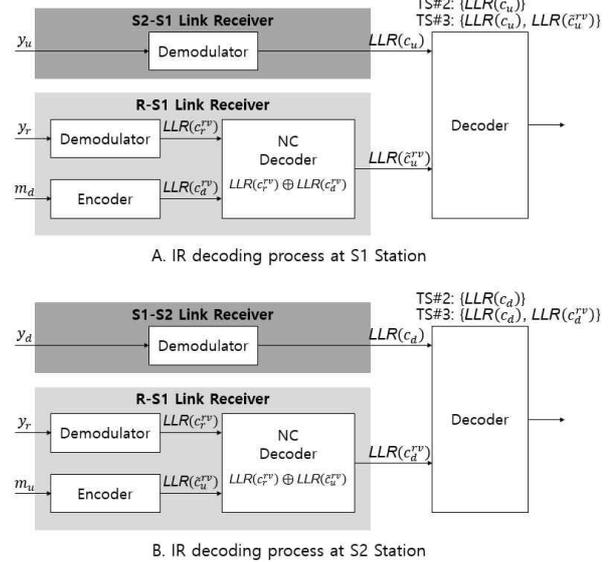


Fig. 7 Node-specific receiver based on the received signals of the corresponding node and relay node in a mobile node environment

Fig. 7과 같이 IR 복호화 방식에 따라 복호를 수행하는 경우 중계노드의 협력통신을 바탕으로 얻어지는 수신 성능 이득은 통신 환경 증대 효과를 갖는다. 중계노드를 사용하지 않는 경우로서 3번째 타임슬롯 자원을 절반씩 상·하향 링크에 할당하여 1.5 타임슬롯을 사용하는 경우와 비교하는 경우에도 네트워크 코딩이 적용되는 타임슬롯은 네트워크 코딩을 통해 각 소스노드에 모두 추가적인 부호어가 전달되는 효과에 의해 2 타임슬롯 길이의 부호어가 사용되는 효과로 상대적인 수신 이득을 갖게 된다.

4. 제안하는 양방향 상호중계를 위한 네트워크 코딩 방식 적용 시 복잡도와 시스템 구현 시 고려사항

양방향 상호중계를 지원하기 위해 기존의 4개의 타임슬롯을 사용하는 DF 반이중 중계기를 사용하는 경우와 비교하여 본 논문에서 제안하

는 3개의 타임슬롯을 사용하는 네트워크 코딩 방식은 전송효율이 증가하는 반면에 중계노드와 개별 소스노드 송수신기의 복잡도가 증가하게 된다. 제안하는 방식의 복잡도 증가를 개별 소스노드 송수신기와 중계노드 송수신기에 대해서 살펴보면 다음과 같다.

중계노드 송수신기는 기존의 DF 기능을 위한 복호와 재 부호화 과정에 추가하여 양방향 데이터에 대한 재 부호화 및 네트워크 코딩을 위한 연산이 추가되며(비트레벨 XOR 연산), 개별 소스노드의 수신기는 중계노드로부터 전달되는 수신 신호에 대한 복조와 복호 기능에 추가하여 이전 타임슬롯에 전송한 데이터에 대한 재 부호화 및 네트워크 부호에 대응되는 복호 기능을 처리하기 위한 연산이 증가한다. 다만 네트워크 부호에 대한 복호 기능은 비트레벨 시퀀스에 대해 연관성 복조기로부터 전달되는 LLR의 부호를 바꿔주는 연산이다. 따라서, 재 부호화된 비트시퀀스에 따라 LLR 부호를 반전하기 위한 수신기 연산 증가량은 크지 않지만 송신기의 경우 재 부호화를 위한 부호기가 추가되어야 한다.

각 노드의 하드웨어 복잡도 증가와 함께 네트워크 부호를 실제적인 네트워크에 적용하기 위한 다양한 고려 사항이 존재할 수 있다. 우선 DF 중계노드를 사용할 때의 공통된 문제점으로 복호 과정에 필요한 처리지연시간에 따라 일반적으로 타임슬롯 단위의 지연을 가질 수 있으며, 본 논문에서 제안하는 방식의 비대칭 MCS 정보를 전체 양방향 상호중계 시 모든 노드에 공유하기 위한 시그널링 메시지 등이 증가될 수 있다. 이와 같은 시스템 오버헤드의 증가는 네트워크 부호를 통해 얻어질 수 있는 최대 주파수효율 증가를 감소시킬 수 있는 요인이 될 수 있다.

마지막으로 본 논문에서 제안하고 있는 네트워크 코딩 방식의 확장을 위해, 2개의 개별 소스노드에 커버리지 개선 목적의 다중 릴레이 홉을 지원하는 다중 중계노드를 포함시켜 네트워크에서의 시스템 전송효율 증가 및 수신성능 개선을 위한 확장 기술을 향후에 추가적으로 논의할 수 있다.

5. 시뮬레이션 결과

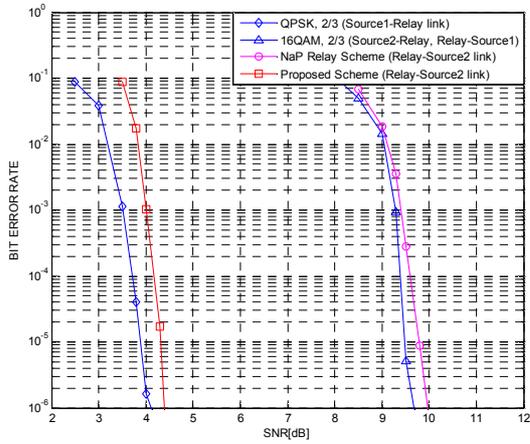
본 논문에서 제안하는 비대칭 정보 길이를 갖는 개별 소스노드의 상호중계 방식을 비교하기 위하여, 소스노드 1번은 QPSK 변조 방식에 부호화율 2/3 rate를 사용하고, 정보 길이 K는 2114, 부호어 길이 N은 3168, QPSK 심볼 수는 1584를 사용하고, 소스노드 2번은 16QAM 변조 방식에 부호화율 2/3 rate, 정보 길이 K는 4224, 부호어 길이 N은 6336, 16QAM 심볼 수는 1584를 사용한다.

상호중계를 지원하는 중계노드는 네트워크 코딩 방식에 따라 부호어 길이 6336을 구성한 후에 16QAM 변조 방식을 사용하여 방송한다.

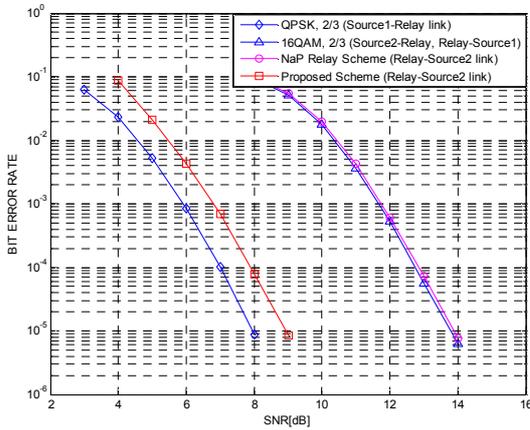
각 개별 링크는 무인 항공기(UAV) 간 FANET 환경을 가정하여 AWGN 채널과 Rician Fading 채널 환경(K=15dB)을 고려하였으며, 채널 코딩 방식은 터보 부호를 사용하였다.

Fig. 8에서는 AWGN 채널환경과 Rician Fading 채널환경에서 소스노드1-중계노드 링크(QPSK, 2/3)와 소스노드2-중계노드 링크(16QAM, 2/3)의 개별 BER 성능과, 상호중계를 지원하는 중계기가 짧은 길이의 소스노드1의 데이터에 단순히 0-패딩을 수행하는 NaP를 적용하여 중계할 때 중계노드-소스노드2 링크의 BER 성능과, 본 논문에서 제안하는 방식으로 복호된 메시지 기반으로 재 부호화를 수행하여 부호어를 구성하는 방식의 BER 성능 차이를 보여준다.

Fig. 8에서 2가지 종류의 채널 모델에 대해 중계노드가 NaP 방식으로 소스노드 1번의 데이터를 중계하여 소스노드 2번에 전달할 경우, 0-패딩에 의해 16QAM 성능을 따라가는 경우에 비해 제안하는 방식을 적용할 때는 부호화율이 낮아지는 효과에 의해 QPSK 성능에 근접하여 신뢰성 높은 중계가 가능해진다. 여기에서 소스노드2의 데이터 중계에 대한 BER 성능은 소스노드2-중계노드 간 무선링크와 중계노드-소스노드1간 무선링크의 수신 성능이 동일하다.



A. Performance in AWGN channel



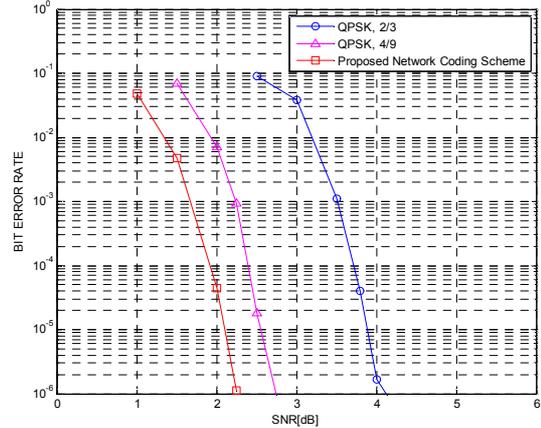
B. Performance in Rician Fading channel

Fig. 8 Reception performance of with asymmetric information length according to network coding methods in two wireless channel environments

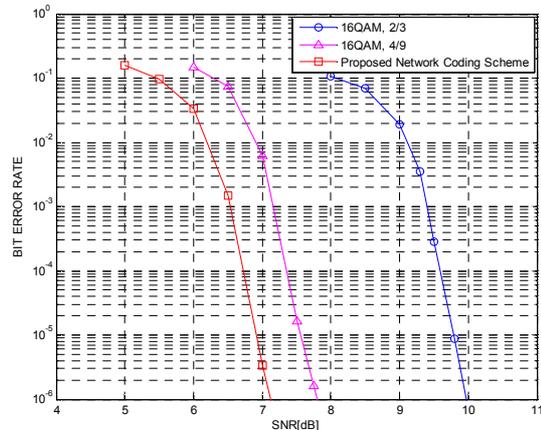
Fig. 9에서는 본 논문에서 제안하는 방식으로 상호중계를 위한 중계기가 재 부호화를 수행하여 새로운 RV의 패리티 부분을 부호어로 구성하여 전송하는 방식의 성능 비교를 나타낸다.

성능 비교를 위해 Fig. 8에서 사용한 소스노드1과 소스노드2의 동일한 MCS 조건(소스노드 1: QPSK, 2/3 rate, 소스노드 2: 16QAM, 2/3 rate)에서 중계기로부터 수신되는 신호와 각각의 소스노드 전송 타임슬롯에 전송되는 신호가 동일 전력로 수신되는 경우에 3개 타임슬롯을 사용한다고 가정하였고, 본 논문에서 제안하는

방식의 네트워크 코딩을 적용하는 경우와 상호중계를 위한 중계노드 없이 각각의 소스노드가 중계노드 타임슬롯의 절반씩 추가로 사용하는 경우로서 1.5배 타임슬롯을 사용하여 전송하는 경우에 대한 BER 성능 차이를 보여준다.



A. QPSK reception performance at S2 node



B. 16QAM reception performance at S1 node

Fig. 9 Reception performance comparison between applying network coding and increasing individual source node time slots by 1.5 times in relay networks

본 시뮬레이션에서 하나의 타임슬롯에 부호화율 2/3 rate을 사용할 때와 비교하여 동일한 정보길이에서 1.5 타임슬롯 길이의 부호어 길이를 사용할 때의 부호화율은 $2/(3 \times 1.5)$ 로서 4/9이다.

Fig. 7에서 제안한 수신 방식에 따라 상호중

계를 위한 네트워크 코딩을 적용할 때 비대칭 정보 길이를 갖는 각각의 소스노드가 QPSK 2/3과 16QAM 2/3 rate 전송 시 네트워크 코딩에 따른 추가적인 SNR 이득(0.5~1 dB)을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 양방향 상호중계를 지원하는 반이중 DF 중계기에서, 중계 네트워크의 각각의 소스노드가 비대칭 길이의 전송 데이터에 대해 서로 다른 변조 방식과 부호화율을 사용하여 전송하는 경우에 대하여 재 부호화와 소스노드의 패리티와 서로 다른 패리티로 구성된 부호어를 구성하여 네트워크 코딩을 적용하는 방식을 제안하였다. 제안하는 방식에 따라 상호중계를 위한 네트워크 코딩을 적용함으로써 트래픽 부하가 낮은 노드의 데이터가 상대적으로 높은 신뢰성을 갖는 전송이 요구되는 환경에서 제안하는 방식이 우수한 BER 수신 성능을 보였다. 또한 이동노드 환경에서 소스노드 간 직접링크가 수신되는 환경에서도 제안하는 네트워크 코딩 방식에 따른 IR 방식의 수신 방식에 의해 추가적인 BER 성능 이득을 얻을 수 있으며, 협력통신 기반의 커버리지 확장 효과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

References

Cha, J. W., Kim, I. H., Kim, C. H. and Kwon, Y. J. (2008). A High Speed Code Dissemination Protocol for Software Update in Wireless Sensor Network, *Journal of Korea Society of Industrial Information Systems*, 13(5), 168-177.

Goyal, S., Liu, P., Panwar, S. S., DiFazio, R. A., Yang, R. and Bala, E. (2015). Full Duplex Cellular Systems: Will Doubling Interference Prevent Doubling Capacity?, *IEEE*

Communications Magazine, 53(5), 121-127.

Jung, B. C. (2010). A Physical-Layer Network Coding for Fading Channels, *International Journal of KIMICS*, 8(6), 655-659.

Lee, J. S., Ryu, H. S. and Kang, C. G. (2010). Network Coding for Turbo-coded System in Asymmetric Two-way Relay, *Journal of Korean Institute of Communication and Information Sciences*, 2010(6), 362-363.

Rankov, B. and Wittneben, A. (2007). Spectral Efficient Protocols for Half-Duplex Fading Relay Channels, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 25(2), 379-389.

Robert, S. Y., Yeung, W. and Cai, N. (2003). Linear Network Coding, *IEEE Transactions of Information Theory*, 49(2), 371-381.



송 봉 섭 (Bongseop Song)

- 정회원
- 충남대학교 전자공학과 공학사
- 충남대학교 전자공학과 공학석사
- 한국과학기술원 정보통신공학과 공학박사
- (현재) ㈜시그웍스 대표이사
- 관심분야: UAV Datalink System, Digital Communication System, Modem



이 상 필 (Sangpill Lee)

- 광운대학교 전자공학과 공학사
- 광운대학교 통신공학과 공학석사
- (현재) LIG넥스원 팀장
- 관심분야: UAV Datalink System Design & Optimization, Satellite Communication System



이 충 희 (Choong-Hee Lee)

- 아주대학교 전자공학과 공학사
 - 아주대학교 전자공학과 공학 석사
 - 아주대학교 전자공학과 공학 박사
 - (현재) LIG넥스원 수석연구원
- 관심분야: Communication Networks, MAC Protocol Design & Optimization, UAV Datalink



이 인 호 (Inho Lee)

- 국민대학교 전자공학부 공학사
- (현재) LIG넥스원 선임연구원
- 관심분야: UAV Datalink System, Digital Communication System, Modem



남 인 중 (In-Joong Nam)

- 세종대학교 전자공학과 공학사
- 세종대학교 전자공학과 공학 석사
- (현재) 한국항공우주산업(주) 선임연구원
- 관심분야: 무선통신 시스템, 전자기장/전자파 측정, 능동형 안테나