

양방향 중계 채널에서의 직교성을 이용한 네트워크 부호화 기법

정희원 옥준호*, 임진수*, 종신회원 신동준*

Network Coding Scheme using Orthogonality for Two-Way Relay Channel

Jun-ho Ok*, Jinsoo Lim*, *Regular Members*
Dong-Joon Shin*^o *Lifelong Member*

요약

본 논문은 양방향 중계 채널(Two-Way Relay Channel)에서 기존에 연구되었던 협력 통신(Cooperative Communication)에서 네트워크 부호화(Network Coding)에 대해 간단히 소개한다. 협력 통신 시스템에서의 직교성을 이용한 새로운 네트워크 부호화 기법을 제안한다. 제안된 직교 사상 네트워크 부호화 기법은 기존에 널리 사용되고 있는 DF(Decode-and-Forward) 모듈러 합 기법의 전송률을 유지하면서 DF 기법의 단점인 오류 전파(Error Propagation) 현상을 제거하여 향상된 BER(Bit Error Rate) 성능을 보인다.

Key Words : Cooperative Communication, Orthogonality, Turbo Code, Two-Way Relay Channel, Network Coding.

ABSTRACT

We introduce the network coding which cooperative communication for two-way relay channel. We propose a new network coding scheme using orthogonality for cooperative communication system. The proposed network coding scheme via orthogonal mapping shows better BER performance because proposed scheme weakens error propagation which is disadvantage of DF scheme. And proposed scheme maintains same throughput compared to conventional scheme.

I. 서론

무선 통신 시스템에서 송, 수신 노드의 채널 상황이 좋지 않을 경우 신호의 오류 발생률이 커진다. 이를 보완하기 위해 중계 노드를 이용한 협력 통신 기법에 대하여 현재 많은 연구가 이루어지고 있다. 무선 통신 시스템에서 다중 안테나를 사용하는 방법 외에, 협력 통신 기법을 이용하여 다이버시티(Diversity) 이득을 얻는 방법이 있다. 이 시스템은 송신 노드, 중계

(Relay) 노드, 수신 노드로 이루어져 있고, 시간슬롯 1에서는 송신 노드가 중계 노드와 수신 노드로 신호를 전송하고 시간슬롯 2에서 중계노드가 수신노드로 신호를 전송한다^[1,2]. 수신 노드는 송신 노드에서 온 정보뿐만 아니라 중계 노드로부터 수신된 정보를 함께 이용하여 복호할 수 있어 협력 다이버시티 효과를 얻을 수 있다.

중계 노드는 송신 노드로부터 받은 신호를 처리하게 되는데 그 처리 방법에 따라 디코딩 후 전송

* 본 연구는 한국연구재단 기초연구과제 (313-2008-2-D00693)와 BK 21의 연구 결과입니다.

* 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 부호및통신 연구실 (tjih, jinsoo@ccrl.hanyang.ac.kr, djsin@hanyang.ac.kr) (°:교신처)
논문번호 : KICS2010-06-271 접수일자 : 2010년 6월 15일, 최종논문접수일자 : 2011년 2월 15일

(Decode-and-Forward: DF), 증폭 후 전송 (Amplify-and-Forward: AF) 등의 기법으로 나누어진 다³⁾. DF 기법은 중계 노드에서 수신된 신호를 복호화 과정을 거친 후 재부호화 과정을 거쳐 새로운 부호어 (Codeword)를 재전송하는 것이며, 증폭 후 전송 기법은 수신된 신호를 복호화 과정을 거치지 않고 증폭 후 재전송 하는 것이다.

대용량의 멀티미디어 서비스 등으로 인하여 각각의 독립된 정보의 흐름(Information Flow)을 분리시켜 전송하는 라우팅 방법의 개선이 요구되었다. 이러한 이유로 독립된 정보의 흐름을 네트워크 내의 중계 노드에서 결합하여 수신 노드에 전송하는 네트워크 부호화라는 새로운 개념이 Cai, Li와 Yeung에 의해 제안되었다^{4,5)}.

네트워크 부호화 기법 중 parity sum 기법⁶⁾은 중계 채널의 상황이 좋지 않을 경우 오히려 나쁜 패리티 비트(Parity bit) 정보가 교환되기 때문에 성능이 좋지 않고, 모듈러 합 기법⁷⁾은 노드간 정보를 이용하지 않는 문제점이 있다. 또한 DF 기법은 중계 노드에서 복호화 과정을 수행할 때 오류 전파현상이 발생하게 되는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위하여 본 논문은 양방향 중계 채널에서 중계 채널 상태에 따른 DF 모듈러 합 기법과 본 논문에서 제안하는 직교성을 이용한 네트워크 부호화 기법의 성능을 비교하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같이 구성되어 있다. II장은 양방향 협력 통신 시스템 모델을 간략히 소개하고, III장에서 기존의 네트워크 부호화 기법을 소개하고, IV장에서는 본 논문에서 제안하는 기법을 소개하고, 모의 실험 결과를 V장에서 보여준다. 그리고 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

본 논문은 그림 1에서와 같이 노드 1, 노드 2 그리고 하나의 중계 노드가 있는 양방향 중계 채널을 고려한다. 그림 1에서 각 시간 슬롯별 정보의 전송 경로를 나타내고 있다.

양방향 중계 채널은 서로 다른 두 노드에서 각각 생성한 부호어를 시간 슬롯 1, 2 동안에 상대방 노드와 중계 노드로 전송하고, 시간 슬롯 3에서 중계 노드는 노드 1, 2로부터 수신한 신호를 처리 하여 노드 1, 2로 재전송한다. 중계 노드에서 신호를 처리하는 기법에 따라 AF, DF로 나누어지며, 본 논문은 DF 기법과 직교성을 이용한 AF기법을 중계 노드에서 각각 처리한다.

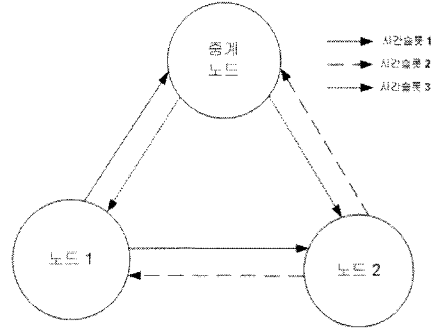


그림 1. 양방향 협력 통신 모델

시간슬롯 1, 2에서 각 노드들의 수신 신호는 식 (1)과 같이 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 y_{1,2} &= x_1 + n_1 \\
 y_{2,1} &= x_2 + n_2 \\
 y_{1,r} &= x_1 + n_3 \\
 y_{2,r} &= x_2 + n_4
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기에서 $y_{a,b}$ 의 b 는 수신노드 a 는 송신 노드를 뜻한다. 즉, 1, 2는 노드 1, 노드 2를 뜻하며, r 은 중계 노드를 뜻한다. x_1 과 x_2 는 노드 1과 노드 2에서 생성하여 송신한 부호어이며, n_i 는 $N(0, \sigma_i^2)$ 분포의 가우시안 잡음이다. 시간 슬롯 3에서는 본 논문에서 제안하는 네트워크 부호화 기법에 따라 부호화된 부호어를 노드 1과 노드 2로 동시에 전송하게 되며, 이때 수신된 신호는 시간 슬롯 1, 2에서 수신된 신호를 함께 이용하여 복호화 과정을 통해 상대 노드의 신호를 알아낼 수 있다.

III. DF를 이용한 네트워크 부호화 기법

그림 2는 기존의 DF 네트워크 부호화 기법을 나타낸다.

그림 2에서와 같이 기존의 DF 네트워크 부호화 기법은 시간슬롯 1, 2에서 노드 1, 2로부터 각각 수신한 부호어 $\hat{P}1$, $\hat{P}2$ 를 각각 복호화기를 통하여 복호화 과정을 거쳐 $\hat{P}1$, $\hat{P}2$ 을 얻는다. 여기서 $\hat{P}1$, $\hat{P}2$ 는 각 노드에서 생성한 정보 비트이며, $P1$, $P2$ 는 각 노드의 부호화기에서 생성된 패리티 비트이다. 새롭게 얻어진 정보 비트 $\hat{P}1$, $\hat{P}2$ 를 네트워크 부호화 기법을 이용하여 다음과 같이 새로운 정보 비트 $I = (\hat{P}1 \oplus \hat{P}2)$ 를 생성할 수 있다. 여기서 \oplus 는 모듈러 합을 의미한다. 새

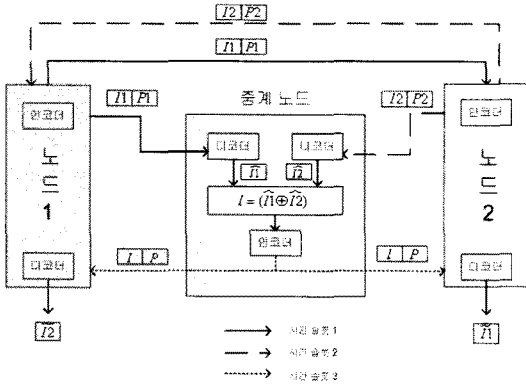


그림 2. DF 네트워크 부호화 기법

롭게 생성된 정보 비트 I 는 각 노드와 동일한 부호화 기를 통하여 새로운 부호어 IP 를 생성하게 되고 이렇게 생성된 부호어는 시간 슬롯 3에서 노드 1과 2에 동시에 전송된다. 이렇게 전송된 부호어는 시간슬롯 1,2와 3에 수신한 정보를 이용하여 각각 터보 복호화 기를 통해 복호화 과정을 거침으로써 상대 노드의 정보를 알아낼 수 있다. 이렇게 네트워크 부호화 기법을 이용함으로써 전송시간을 줄일 수 있지만 복호화 과정에서 에러전파 현상이 발생하게 되어 수신단에서 복호화 과정시 나쁜 영향을 미치게 되므로 성능 열화가 발생한다.

IV. 직교성을 이용한 네트워크 부호화 기법

그림 3은 본 논문에서 제안하는 기법을 나타낸다. 여기서 I 과 P 는 노드 1과 노드 2에서 생성한 정보 비트이며, $P1$ 과 $P2$ 는 각 노드의 부호화기에서 생성된 패리티 비트이다. 그리고 I 와 P 는 중계 노드에서 직교 사상을 이용한 네트워크 부호화된 부호어이다. 즉, 각 노드는 시간 슬롯 1,2에서 BPSK(Binary Phase Shift Keying)로 신호를 각각 전송하고, 중계 노드는 양쪽 노드로부터 수신한 BPSK 신호를 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)로 직교하도록 사상하여 시간 슬롯 3에서 양쪽 노드에 동시에 전송한다. 기존의 네트워크 부호화의 경우 복호화 과정을 거친 후 모듈러 합 연산을 수행하고 노드 1과 노드 2로 재전송하지만 본 논문에서 제안하는 기법은 복호화 과정을 거치지 않고 신호의 직교성만을 이용하여 신호를 재전송하게 된다. 이처럼 복호화 과정을 거치지 않기 때문에 복호화 과정에서 발생하는 오류 전파 현상을 제거함으로써 성능 향상을 얻을 수 있다.

그리고 각 수신단에서는 복호화 과정을 진행할 때

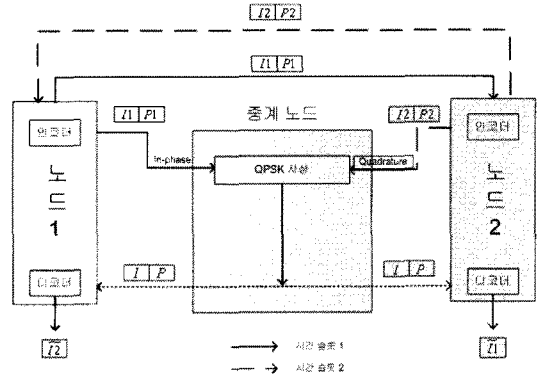


그림 3. 네트워크 부호화 기법

노드 2는 In-phase 신호 성분만을 이용하고, 노드 1은 Quadrature 신호 성분만을 이용하여 시간 슬롯 1,2에서 각각 수신한 상대 노드의 신호와 함께 복호화 과정을 수행한다.

V. 모의 실험

모의 실험은 그림 2와 같이 노드 1, 노드 2와 하나의 중계 노드를 가정하였고, 사용한 채널 부호는 터보 부호^[8]이며, 부호율은 1/2이고 정보 길이는 600, 복호화기에서의 반복 부호 횟수는 8회로 진행하였다. E_b/N_0 은 정보 비트 대 잡음비의 평균 출력력으로 이번 모의 실험에서는 중계 채널이 노드간 채널 보다 3.0 dB, 0.5 dB 안 좋은 경우와 모든 채널 이 동일한 경우로 가정하였고, AWGN (Additive White Gaussian Noise) 환경에서 모의 실험을 진행하였다.

그림 4는 중계 채널이 노드간 채널보다 3.0 dB 좋지 않은 경우의 모의 실험 결과이다. DF 모듈러 합 기법과 제안된 기법을 비교해 보면 제안된 기법의 성능이 기존 기법보다 성능이 향상된 것을 확인할 수 있다.

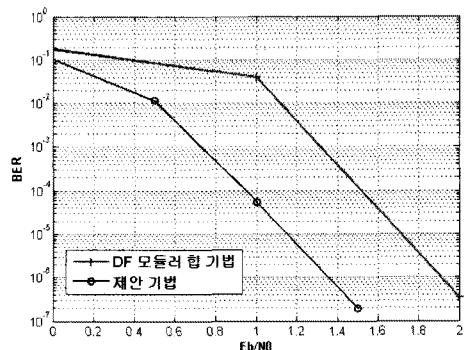


그림 4. 중계 채널이 3.0 dB 안 좋은 경우

DF 모듈러 합 기법은 중계 노드에서 복호화 과정에서 오류 전파 현상이 발생하게 되어 수신단에서의 복호화 과정에 나쁜 영향을 미쳐 성능 열화 현상이 발생하지만 제안한 기법은 중계 노드에서 복호화 과정을 수행하지 않기 때문에 수신단에서 복호화 과정을 수행할 때 DF 모듈러 합 기법보다 더 좋은 성능을 보임을 확인할 수 있다.

그림 5는 중계 채널이 노드간 채널보다 0.5 dB 좋지 않은 경우에 모의 실험을 결과이다. 이 또한 중계 채널이 좋지 않기 때문에 제안된 기법이 기존에 널리 사용되고 있는 DF 모듈러 합 기법보다 성능이 좋음을 확인할 수 있다.

그림 6의 경우 모든 채널 상황이 동일한 경우에 모의 실험을 수행한 결과이다. 모든 채널 상황이 동일하여도 DF기법과 비교하여 제안된 기법의 성능이 좋음을 확인할 수 있다. 그리고 채널 상황이 어느 기준 이상으로 좋아질 경우 DF 모듈러 합 기법과 제안기법은 수렴할 것으로 예상된다.

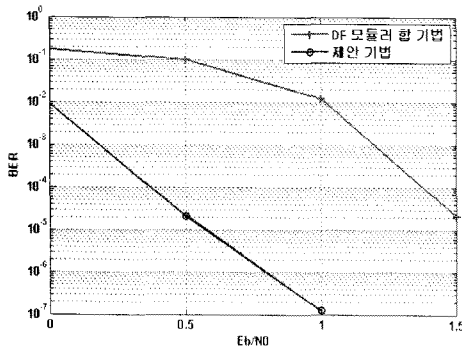


그림 5. 중계 채널이 0.5 dB 안 좋은 경우

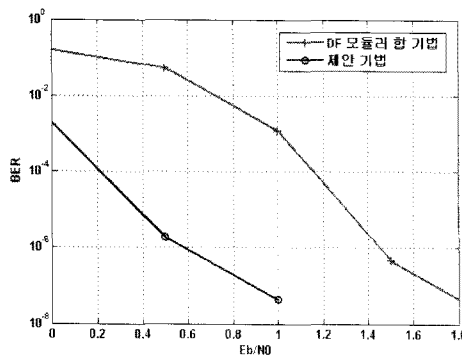


그림 6. 모든 채널 상태가 동일한 경우

VI. 결 론

본 논문은 양방향 중계 채널에서 기존에 연구되었던 협력 통신기법과 네트워크 부호화 기법에 대해 간단히 소개하였고, 협력 통신에서 직교성을 이용한 네트워크 부호화 기법을 제안하였다. 제안된 AF 직교 사상 네트워크 부호화 기법은 기존에 널리 사용되고 있는 DF 모듈러 합 기법과 동일한 전송률을 유지하면서 DF 기법의 단점인 오류 전파 현상을 제거하여 향상된 BER 성능을 보임을 확인할 수 있었다. 하지만 고차원 변조(High-order modulation) 기법으로 확장할 경우 중계 노드에서 신호를 결합하기가 매우 어렵다.

본 논문은 두 개의 노드와 하나의 중계 노드에서 연구를 진행 하였지만 확장된 N개의 노드와 M개의 중계 노드상에서도 직교성을 이용한 네트워크 부호화 기법 연구를 진행할 것이다.

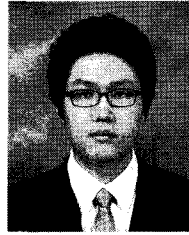
참 고 문 헌

- [1] A. Sendonaris, E. Erkipis, and B. Aazhang, "User cooperation diversity. Part I : System description," *IEEE Trans. on Commun.*, Vol.51, No.11, pp.1927-1938, Nov. 2003.
- [2] A. Sendonaris, E. Erkipis, and B. Aazhang, "User cooperation diversity. Part II : Implementation aspects and performance analysis," *IEEE Trans. on Commun.*, Vol.51, No.11, pp.1939-1948, Nov. 2003.
- [3] G. Kramer, I. Maric, and R. D. Yates, *Cooperative Communications, Foundations and Trends in Networking*, Vol.1, 2006.
- [4] R. Ahlswede, N. Cai, S.-Y. R. Li, and R. W. Yeung, "Network Information Flow," *IEEE Trans. on Info. Theory*, Vol.46, No.4, pp. 1204-1216, Jul. 2000.
- [5] C. Fragouli and E. Soljanin, *Network Coding Fundamentals, Foundations and Trends in Networking* Vol.2, No.1, pp. 1-133, 2007.
- [6] C. Hausl and J. Hagenauer, "Iterative Network and Channel Decoding for the Two-Way Relay Channel," in *Proc., IEEE ICC'06*, pp. 1568-1573. Jun. 2006.

- [7] K. Narayanan, M. P. Wilson, and A. Sprintson, "Joint Physical Layer Coding Network Coding for Bi-Directional Relaying," in *45th Allerton Conf. Commun, Control, and Computing*, Sept. 2007.
- [8] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima, "Near Shannon limit Error-Correcting Coding and Decoding: Turbo-Codes," in *Proc., IEEE ICC'93*, pp. 1064-1070, May 1993.

임진수 (Jinsoo Lim)

정회원



2008년 2월 중앙대학교 전자
전기공학부 학사
2010년 8월 한양대학교 전자컴
퓨터통신공학과 석사
2010년 9월~현재 한양대학교
전자컴퓨터통신공학과 박사
과정

<관심분야> 디지털 통신, 오류정정부호, OFDM

옥준호 (Jun-ho Ok)

정회원



2007년 2월 경남대학교 정보통
신공학과 학사
2009년 2월 한양대학교 전자컴
퓨터통신공학과 석사
2009년 3월~현재 한양대학교
전자컴퓨터통신공학과 박사
과정

<관심분야> 디지털 통신, 오류정정부호, 릴레이 시스템

신동준 (Dong-Joon Shin)

종신회원



1990년 2월 서울대학교 전자
공학과 학사
1991년 12월 Northwestern
University 전기공학과 석사
1998년 12월 University of
Southern California 전기공
학과 박사

1999년 4월~2000년 8월 Hughes Network Systems, MTS

2000년 9월~현재 한양대학교 융합전자공학부 부교수

<관심분야> 디지털 통신, 오류정정부호, 시퀀스, 이산수학