

# 양방향 중계 채널에서 네트워크 코딩을 이용한 분산 터보 부호 기법과 전력 할당의 성능 분석

정회원 임진수\*, 옥준호\*, 유철해\*\*, 종신회원 신동준\*

## Performance Analysis of Cooperative Network Error Correcting Scheme Using Distributed Turbo Code and Power Allocation

Jinsoo Lim\*, Jun-ho Ok\*, Chul-Hae Yoo\*\* *Regular Members,*  
Dong-Joon Shin\*<sup>o</sup> *Lifelong Member*

### 요약

양방향 중계 채널 (two-way relay channel)은 2개의 사용자 노드가 중계기 (relay node)의 도움을 받아 상호간에 정보를 주고 받는 통신 채널이다. 양방향 중계 채널에서는 중계기가 동일 자원을 사용하여 두 사용자 노드로 신호를 송신하므로 기존 협력 통신 기법보다 효율적인 자원의 사용이 가능하다. 본 논문에서는 양방향 중계 채널에서 네트워크 코딩을 이용한 새로운 분산 터보 부호 기법을 제시한다. 기존 기법과의 차이점은 중계 노드에서 네트워크 부호화를 처리하는 방식과 분산 터보 복호시 양 사용자 노드로부터 수신한 두 부호어를 처리하는 방법에 차이가 있다. 제안된 분산 터보 복호 기법을 이용하여 기존 기법 대비 시스템의 성능 향상을 확인하였으며 또한 채널 환경 변화에 따른 사용자 노드와 중계 노드의 전송 전력을 다르게 할당하여 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다는 것을 보인다.

**Key Words** : Distributed turbo code, network coding, power allocation, relay, two-way relay channel

### ABSTRACT

A two-way relay channel is a bidirectional cooperative communication channel between two nodes using a relay. In many cooperative communication schemes, a relay transmits its data to each node using separate channels. However, in the two-way relay channel, a relay can broadcast the network-coded signal to both nodes in a same time slot, which can increase the system throughput.

In this paper, a new cooperative network error correcting scheme using distributed turbo code in a two-way relay channel is proposed. The proposed scheme not only increases the system throughput using network code but also improves the performance by utilizing the LLR information from relay node and other user node through distributed turbo code. Also, a power allocation scheme is investigated for various channel conditions to improve the system performance.

### I. 서론

차세대 무선 통신 시스템에서는 다양한 멀티미디어

서비스를 위한 대량의 정보 전송이 필요하게 되었다. 이를 위해서는 시스템 용량을 증가시켜야 하며, 그에 따른 안정적인 정보의 전송이 필수적이다. 안정적으로

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

\* 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 부호및통신 연구실 ({jinsoo, ojh}@ccrl.hanyang.ac.kr, djshin@hanyang.ac.kr), (° : 교신저자)

\*\* (주) STX 엔진 (edwood4@hotmail.com)

논문번호 : KICS2010-06-288, 접수일자 : 2010년 6월 30일, 최종논문접수일자 : 2011년 2월 1일

대량의 정보를 전송하기 위하여 다양한 통신 요소 기법이 연구되었고, 그 중 최근에 가장 각광받는 기법이 협력 통신 기법이다. 협력 통신 기법은 협력 다이버시티 (cooperative diversity)를 얻기 위하여 무선 통신 네트워크 상의 단말기들이 안테나를 공유하여 공간 다이버시티 (spatial diversity) 이득을 얻을 수 있게 한 것이다. 한 쌍의 사용자가 서로 안테나를 공유함으로써 시스템 용량을 증대시킬 수 있음이 처음 제안된 후, 중계기의 협력 방식에 따른 다양한 프로토콜이 제안되었다<sup>1,2)</sup>.

다양한 협력 통신 기법의 이론적 성능 분석을 연구하는 것 이외에 시스템 성능 향상을 위한 채널 부호 기법을 적용하는 연구가 진행되었다<sup>3)</sup>.

무선 통신 환경을 고려한 단방향 중계 채널 상황에서 시공간 블록 부호와 터보 부호를 이용한 협력 통신 기법이 소개되었고<sup>4)</sup>, 단방향 중계 채널에서 터보 부호에 기반하여 SISO (single-input single-output) 와 MIMO (multiple-input multiple-output) 에 대한 성능을 분석한 연구 결과도 발표되었다<sup>5)</sup>.

또한 협력 통신 기법에서 특정 채널 부호인 RCPC (rate-compatible punctured convolution) 부호에 기반하여 성능을 분석한 연구 결과도 발표되었다<sup>6)</sup>.

다양한 채널 부호를 이용한 협력 통신 기법이 제안되었고 그 중 분산 터보 부호에 기반한 협력 통신 기법은 Zhao 와 Valenti에 의해 처음 제안되었다<sup>7)</sup>. 이 기법에서 소스 노드는 RSC (recursive systematic convolutional) 부호기에 의해 부호화된 부호어를 특정 시간 슬롯에 중계 노드와 상대 노드로 전송한다. 중계 노드에서는 사용자 노드 1에서 받은 메시지를 복호한 후 인터리빙하여 동일한 RSC 부호기를 통해 부호화된다. 부호기를 거치면서 발생된 패리티 비트들은 또 다른 시간 슬롯에 사용자 노드 2로 전송되어, 최종적으로 사용자 노드 2에서는 사용자 노드 1로부터 받은 RSC 부호와 중계 노드로부터 받은 인터리빙된 패리티를 통하여 터보 복호기로 복호하게 된다. 이를 분산 터보 부호 기법이라 부른다.

또 하나의 새로운 연구 분야로 네트워크 상에서 향상된 전송량을 얻을 수 있는 네트워크 코딩이 Ahlswede 등에 의해 제안 되었다<sup>8)</sup>. 네트워크 코딩의 기본적인 아이디어는 네트워크의 중간 노드에서 들어오는 정보들을 연산하여 연산된 결과 값을 라우팅 (routing) 하는 것이다. 최종 노드에서는 중간 노드에서 보낸 정보와 자신의 정보를 다시 연산하여 원하는 정보를 얻을 수 있게 된다.

앞으로 본 논문에서 다루게 될 양방향 중계 채널이

란 두개의 사용자 노드 사이에 정보의 전송을 돕는 중계 노드를 갖는 네트워크를 의미하여, 그림 1과 같이 사용자 노드 1, 사용자 노드 2 그리고 중계 노드로 구성된다. 기존의 점대점 (point-to-point) 통신과 비교하여, 사용자 노드에서 다른 사용자 노드의 정보뿐만 아니라 중계 노드에서 수신한 정보를 함께 처리함으로써 다이버시티의 효과를 얻을 수 있게 된다. 이것을 협력 다이버시티라고 한다.

두 사용자 노드 간의 정보 전송을 중계 노드가 도와주는 양방향 중계 채널에서, 앞서 소개한 분산 터보 부호화 기법을 이용하여 중계 노드에서 두 사용자 노드에게 보낼 각각의 패리티를 연결하여 보내는 것이 가능하다. 하지만 이 경우, 각 사용자 노드는 중계 노드에서 보낸 정보의 절반만을 이용하게 되는 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 양방향 중계 채널에서 네트워크 부호화를 이용한 분산 터보 부호 기법을 제시하였다<sup>9)</sup>.

본 논문에서는 기존에 제시된 기법과 달리 양방향 중계 채널에서 패리티 비트 이외에 정보 비트 간에도 XOR (exclusive OR) 연산이 이뤄지는 새로운 분산 터보 부호 기법을 제안한다. 새로 제안된 기법에서 중계 노드는 두 사용자 노드로부터 수신한 신호를 복호하여 얻은 정보 비트들에 XOR 연산을 하고 이를 인터리빙한 후 부호화한 부호어를 다음 시간 슬롯에 각 사용자 노드로 동시에 전송한다. 각 사용자 노드에서는 LLR (log likelihood ratio) 근사식을 이용하여 다른 사용자 노드의 정보 비트의 LLR 값을 얻어서 이를 터보 복호시 다른 사용자 노드에 대한 사전 정보로 사용할 수 있게 된다. 그럼으로써 기존에 제안된 패리티 연결 기법<sup>9)</sup>보다 좋은 성능을 보이게 된다. 또한 제안된 중계 프로토콜에서 양 노드와 중계 노드 간에 성능 향상을 위한 전력 할당 비율도 제시되었다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서는 그림 1 과 같은 시분할 양방향 중계 채널을 고려하며 두 사용자 노드와 하나의 중계 노드로 구성되어 있다.

그림 1에서  $u_1$ ,  $u_2$  그리고  $u_3$ 는 각각 사용자 노드 1, 사용자 노드 2 그리고 중계 노드의 정보 비트를 의미하며  $\oplus$ 는 XOR 연산을 의미한다.

첫번째와 두번째 시간 슬롯에서 사용자 노드 1과 사용자 노드 2가 각각 중계 노드와 상대 노드로 전송을 하고 세번째 시간 슬롯에서는 중계 노드가 사용자 노드 1과 사용자 노드 2로 동시에 전송한다. 각 노드

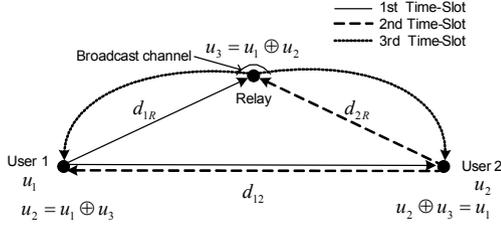


그림 1. 양방향 중계 채널

에서 수신한 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다<sup>10)</sup>.

$$Y_{ab} = \gamma \frac{X_a}{d_{ab}} + n_{ab} \quad (1)$$

여기서  $Y_{ab}$ 는 노드  $b$ 에서 수신한 노드  $a$ 의 신호를 의미한다. 예를 들어, 사용자 노드 1에서 수신한 중계 노드의 신호는  $Y_{R1}$ 이라 표현된다.  $X_a$ 는 노드  $a$ 에서 송신된 신호를 의미하고 양 사용자 노드의 정보 비트  $u_1, u_2, u_3$ 는 각각 전송 신호  $X_1, X_2, X_3$ 에 대응된다. 그리고  $d_{ab}$ 는 노드  $a$ 에서 노드  $b$ 간의 거리를 나타내며  $\gamma$ 는 전력 할당 계수를 나타낸다. 마지막으로  $n_{ab}$ 는 노드  $b$ 에서 수신한 노드  $a$ 의 신호에 더해지는  $N(0, \sigma^2)$  분포의 AWGN (additive white Gaussian noise)을 의미한다.

이를 고려하여 첫번째 시간 슬롯에 사용자 노드 2와 중계 노드에 수신된 사용자 노드 1의 신호는 아래와 같다.

$$Y_{12} = \alpha \frac{X_1}{d_{12}} + n_{12} \quad (2-1)$$

$$Y_{1R} = \alpha \frac{X_2}{d_{1R}} + n_{1R} \quad (2-2)$$

두번째 시간 슬롯에 사용자 노드1과 중계 노드에 수신 신호된 사용자 노드2의 신호는 아래와 같이 표현 된다.

$$Y_{21} = \alpha \frac{X_2}{d_{12}} + n_{21} \quad (3-1)$$

$$Y_{2R} = \alpha \frac{X_2}{d_{2R}} + n_{2R} \quad (3-2)$$

마지막 세번째 시간 슬롯에서 중계노드로부터 양 사용자 노드에 수신된 신호는 아래와 같다.

$$Y_{R1} = (\sqrt{\lambda - 2\alpha^2}) \frac{X_3}{d_{1R}} + n_{R1} \quad (4-1)$$

$$Y_{R2} = (\sqrt{\lambda - 2\alpha^2}) \frac{X_3}{d_{1R}} + n_{R2} \quad (4-2)$$

여기에서  $\lambda$ 는 시스템 전체 전력을 의미하며 수신 신호의  $a$ 와  $\sqrt{\lambda - \alpha^2}$ 은 전력 할당과 관련된 전력 할당 계수로써 이와 관련된 내용은 본문 III에서 다루게 된다.

우선 송신 신호  $X_1$ 과  $X_2$ 의 전력 할당 계수를 고려하지 않은 경우를 생각해 보면 사용자 노드 1에서 두번째 시간 슬롯과 세번째 시간 슬롯에 수신한 사용자 노드 2와 중계 노드의 신호를 각각 아래와 같이 LLR 값 연산을 할 수 있게 된다<sup>10)</sup>.

$$\begin{aligned} L(X_2) &= 2 \left( \frac{X_2}{d_{12}} + n_{21} \right) / \sigma_{21}^2 \\ &= \frac{2d_{12}(X_2 + d_{12}n_{21})}{d_{12}^2 \sigma_{21}^2} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} L(X_3) &= 2 \left( \frac{X_3}{d_{1R}} + n_{R1} \right) / \sigma_{R1}^2 \\ &= \frac{2d_{1R}(X_3 + d_{1R}n_{R1})}{d_{1R}^2 \sigma_{R1}^2} \end{aligned} \quad (6)$$

위 식에서  $L(X_n)$ 은 다음 식을 의미하게 된다.

$$L_x(X) = \ln \frac{P(X=+1)}{P(X=-1)} \quad (7)$$

식 (5)는 사용자 노드 1이 사용자 노드 2로부터 수신한 신호의 LLR 값이며  $N(0, \sigma_{21}^2)$  분포의 AWGN이 더해진 값이다. 그리고 식 (6)은 중계 노드에서 사용자 노드1로 보낸 신호의 LLR 값이며  $N(0, \sigma_{R1}^2)$  분포의 AWGN이 더해진 LLR 값이 된다. 사용자 노드 2에서 수신된 신호의 LLR 값도 같은 방법으로 구할 수 있다.

### III. 네트워크 코딩을 이용한 분산 터보 부호 기법

그림 2는 제안된 시스템의 전체 구조를 나타내며

$u_1$ 과  $u_2$ 는 각각 사용자 노드 1과 사용자 노드 2에서 전송한 정보 비트를 나타낸다. 그리고  $\hat{u}_1$ 과  $\hat{u}_2$ 는 각각 사용자 노드 1과 사용자 노드 2에서 최종 네트워크 코딩을 이용한 분산 터보 복호를 하여 얻은 정보 비트의 추정 값을 나타낸다. 각 노드는 시분할 다중화를 이용해 전송을 하며, 각 시간 슬롯에서 노드별 신호 전송 및 신호 처리 과정은 다음과 같으며 자세한 내용은 후에 설명한다.

첫번째 시간 슬롯에서 사용자 노드 1은 Turbo Decoder Using Network Coding 블록에 저장한 뒤 나중에 터보 복호시 이용한다. 또한  $u_1$ 을 Channel Encoder 1 블록에 입력하여 생성된 RSC 부호어를 상대 노드와 중계 노드로 전송한다.

두번째 시간 슬롯에서 같은 방법으로 사용자 노드 2는 사용자 노드 1과 중계 노드로 신호를 전송한다.

마지막으로 세번째 시간 슬롯에서 중계 노드는 첫번째, 두번째 시간 슬롯 동안 수신한 양 사용자 노드의 RSC 부호어를 각각 연평정 비터비 복호하여 출력한 경관정 정보 비트를 그림 3과 같이 XOR 연산 후 정보 비트는 그대로 출력하고 패리티 비트는 인터리빙하여 각 사용자 노드와 동일한 RSC 부호기를 통해 생성한다. 이 정보 비트와 패리티 비트를 네트워크 부호화된 부호어라 정의하고 이것을 사용자 노드 1과 사용자 노드 2로 전송된다.

각 사용자 노드에서는 첫번째 시간 슬롯에서 수신한 상대 사용자 노드의 RSC 부호어를 임시로 저장해 두었다가 세번째 시간 슬롯에 수신한 중계 노드의 네트워크 부호화된 부호어를 통해 분산 터보 복호를 한다.

아래 단락부터는 각 그림 2의 각 요소에 대한 자세한 설명을 서술하고 있다.

그림 3은 제안된 시스템 전체 구조에서 중계 노드의 네트워크 부호기의 구조를 나타낸다. 네트워크 부호기에서  $\hat{u}_1$ 과  $\hat{u}_2$ 은 각각 사용자 노드 1과 사용자 노드 2에서 중계 노드로 전송한 RSC 부호어를 비터비

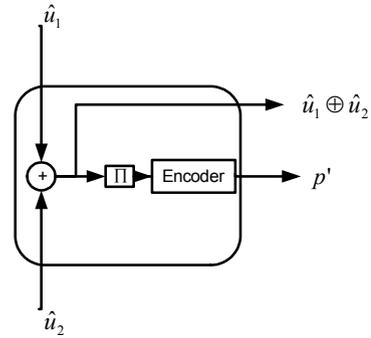


그림 3. 중계 노드의 네트워크 부호기 (Network Encoder) 구조.

복호하여 얻은 정보 비트의 추정 값이며 추정된 두 정보 비트의 XOR 연산을  $\hat{u}_1 \oplus \hat{u}_2$ 로 표현하였다. 또한  $\pi$ 는 인터리버 (interleaver)를 의미하고 Encoder는 각 사용자 노드의 RSC 부호기와 같은 역할을 한다. XOR 연산된 정보 비트  $\hat{u}_1 \oplus \hat{u}_2$ 와 인터리버, RSC 부호기를 거친 패리티 비트  $p'$ 가 연결되어 양 사용자 노드로 전송되게 된다.

정보를 수신한 각 사용자 노드에서는 터보 복호를 수행한다. 하지만 수신 노드에서의 터보 복호를 위해 LLR 값 연산 과정이 필요하고, 그 과정은 다음과 같은 방법으로 수행하게 된다. 각 사용자 노드에서 중계 노드로부터 수신한 XOR 연산된 정보로부터 상대 사용자 노드의 LLR 값을 추출하기 위해 아래와 같은 연산이 필요하다<sup>[11]</sup>.

$$\begin{aligned}
 L(X_1 \oplus X_2) &= \log \frac{1 + e^{L(X_1)} e^{L(X_2)}}{e^{L(X_1)} + e^{L(X_2)}} \\
 &\approx \text{sign}(L(X_1)) \cdot \text{sign}(L(X_2)) \cdot \min(|L(X_1)|, |L(X_2)|) \\
 &\approx \text{sign}(L(X_1)) \cdot \text{sign}(L(X_2)) \cdot \min(\infty, |L(X_2)|) \\
 &\approx \text{sign}(L(X_1)) \cdot \text{sign}(L(X_2)) \cdot |L(X_2)| \\
 &\approx \text{sign}(L(X_1)) \cdot L(X_2)
 \end{aligned} \tag{8}$$

위 식 (8)을 이용하여 사용자 노드가 필요로 하는 상대 사용자 노드의 정보 비트 LLR 값을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$L(X_2) \approx \text{sign}(L(X_1)) \cdot L(X_1 \oplus X_2) \tag{9}$$

최종 수신단에서 터보 복호시 반복적으로 부가 정보(extrinsic information)를 교환하는 과정에서 식 (9)

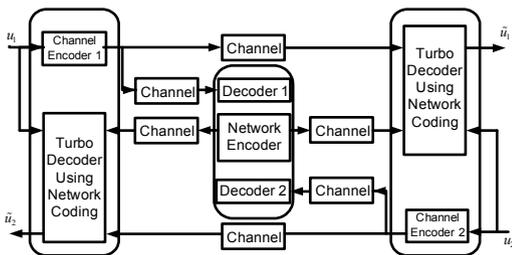


그림 2. 제안된 기법의 구조.

를 이용하여 전달하게 된다. 자세한 설명은 그림 4와 함께 아래에서 설명한다.

그림 4는 각 사용자 노드의 분산 터보 복호기 구조를 나타낸다. 제안된 터보 복호기와 기존 터보 복호기의 첫 번째 차이점은 복호를 시작할 때 기존 터보 복호기는 정보 비트들에 대한 사전 정보의 LLR 값을 0으로 설정하는 반면 네트워크 코딩을 이용한 터보 복호기의 경우, 중계 노드로부터 수신한 정보 비트와 XOR 연산된 패리티 비트를 이용하여 부가적인 LLR 값을 얻은 뒤 사전 LLR 값으로 사용하게 된다. 두 번째 차이점은 각 SISO (soft-input soft- output) 요소 복호기 간에 부가 정보를 교환할 때 네트워크 코딩을 이용한 터보 복호기의 경우는 부가 정보 값의 교환을 위해 사용자 자신의 정보 비트의 부호를 곱해주는 과정이 필요하다. 이 과정에서 그림 4의  $\text{sgn}$ 은 정보 비트에 따라 0은 -1로 1은 +1로 변환해 주는 역할을 하고 앞 단락에서 설명한 것과 같이 반복 복호시 식 (9)를 이용하여 부가 정보를 교환하게 된다.

제안된 터보 복호기는 새로운 연산 과정이 필요하여 기존 터보 복호기에 비하여 복잡도는 증가하지만 복호하고자 하는 상대 노드 정보 비트들의 LLR 값을 XOR 연산된 정보로부터 부가적으로 이용하기 때문에 성능이 향상될 수 있게 된다.

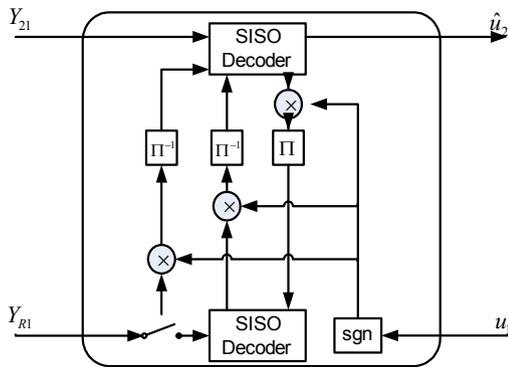


그림 4. 사용자 노드의 분산 터보 복호기 구조

#### IV. 전력 할당 기법

본 논문에서는 양 사용자 노드에서 같은 전력으로 중계 노드로 신호를 전송하고 송신 신호의 동기를 맞춰서 전송하는 비교적 단순한 상황을 가정한다. 동기식 CDMA (code division multiple access) 시스템의 경우가 이에 해당된다. CDMA 시스템의 경우 near-far 문제 때문에 기지국에서 단말기로부터 수신된 신호의

표 1. 중계 노드와 사용자 노드의 전력 할당 비율

사용자 노드 전력 $\alpha$	중계 노드 전력 $\sqrt{\lambda-2\alpha^2}$	전력 비율 $\alpha/(\sqrt{\lambda-2\alpha^2})$
0.8	1.4	0.57
0.9	1.2	1.76
1.0	1.0	1
1.1	0.8	1.375
1.2	0.6	2
1.3	0.4	3.25
1.4	0.2	7
1.5	중계 노드 없음	-

전력이 같도록 조정하는 과정이 필요하듯이 본 논문에서도 같은 가정을 하였다.

본 논문에서 제안하는 전력 할당 기법이란 중계 노드의 위치 변화에 따른 최적의 전력 할당 기법을 말한다. 시스템 전체 전력을  $\lambda$ 로 가정하고 사용자 노드 1과 사용자 노드 2는 서로 같은 전력 할당 계수  $\alpha$ 를 사용하고 중계 노드는  $\sqrt{\lambda-2\alpha^2}$ 의 전력 할당 계수를 사용한다. 중계 노드 위치 변화에 따라 사용자 노드의 송신 전력량에 변화를 주며 그것에 의한 성능 변화를 관찰하여 최적의 성능을 보이는 전력 할당 계수를 확인하였다. 시스템 전체 전력 제한 조건 하에서 신호 전송시 표 1과 같이 최적의 전력 할당 계수를 채널 상황에 맞춰 적용하게 된다. 사용자 노드의 전력 할당 계수  $\alpha$ 가 1.5인 경우는 중계 노드에 전력 할당을 하지 않은 경우에 해당된다.

#### V. 모의 실험 결과

모의 실험을 통하여 기존에 제안된 분산 터보 기법을 양방향 중계 채널로 확장한 패리티 연결 기법<sup>[9]</sup>의 성능과 본 논문에서 제안한 기법의 성능을 비교하였다. 패리티 연결 기법에서 중계 노드는 첫번째와 두번째 시간 슬롯에 두 사용자 노드로부터 수신한 RSC 부호어를 각각 복호한 후 인터리빙하여 두 사용자 노드의 부호기와 동일한 RSC 부호기를 이용하여 각 사용자 노드의 정보 비트에 해당하는 패리티 비트를 생성한다. 생성된 두 사용자 노드의 패리티 비트만을 연결하여 사용자 노드 1과 사용자 노드 2로 전송한다. 각 사용자는 중계 노드로부터 수신한 연결된 패리티 비트와 자신의 정보 비트를 이용하여 분산 터보 복호를 한다.

본 모의 실험에서 두 사용자 노드와 하나의 중계

노드를 가정하였고 신호 전송시 변조방식은 BPSK (binary phase shift keying)를 사용하였다. 채널 부호는 분산 터보 부호를 사용하였으며 터보 부호의 부호어 길이는 600 비트이며 중계 노드에서는 연관정 비터비 복호를 통하여 경관정 출력 값을 XOR 연산하고 양측 수신 노드에서는 체이스 결합 (Chase combining)을 이용한 터보 복호를 하며, 터보 복호의 반복 횟수는 8회다.

두 사용자 노드와 중계 노드 사이의 채널은 중계 채널 (relay channel)이라 하고, 사용자 노드 1과 사용자 노드 2사이의 채널은 사용자간 채널 (inter-user channel)이라 부른다.

그림 5는 제안한 기법과 패리티 연결 기법<sup>[9]</sup>의 BER (bit error rate) 비교 성능을 보여주고 있다. 두 기법 모두 물리 계층상에서 정보 비트들에 대한 XOR 연산을 한다는 가정 하에 성능 비교를 하였다. 기존 패리티 연결 기법은 앞서 설명한 제안된 기법과 첫번째, 두번째 시간 슬롯 동안은 신호 처리 방법이 같지만 세번째 시간 슬롯에서 처리 방법이 다르다. 중계 노드는 양 사용자로부터 부호어를 수신하여 정보 비트를 추정 후 각각 동일한 인터리버를 거친 후 RSC 부호기를 통해 패리티 비트를 생성하여 연결한 뒤 양 사용자로 연결한 패리티 비트만을 다시 보내게 된다. 그것을 수신한 사용자 노드에서는 이전에 받았던 상대 노드의 부호어를 이용하여 터보 복호를 하게 된다. 하지만 제안된 기법의 경우 세번째 시간 슬롯에서 그림 3과 같이 양 사용자로부터 수신한 부호어를 추정한 후 네트워크 부호기를 거친 후 패리티 비트와 정보 비트를 생성하게 된다. 생성된 부호어를 수신한 양 사용자 노드에서는 상대 노드로부터 수신한 부호어와

중계 노드로부터 수신한 네트워크 부호화된 부호어를 통해 터보 복호를 수행하게 된다. 두 기법 모두 중계 노드에서 상대 노드로 보내는 정보량은 동일하지만 제안된 기법은 새로운 복호 기법을 통해 좋은 성능을 얻을 수 있게 된다.

두 기법 모두 중계 노드는 각각의 사용자 노드로부터 오는 부호율 2/3의 RSC 부호를 비터비 복호한다. 이 경우 중계 노드에서 각 사용자 노드가 보낸 부호어를 비터비 복호하는 과정에서 오류가 발생하게 되고 그에 따른 오류 전파 (error propagation)가 발생하게 된다.

두 기법의 성능 차이는 그림 5를 보게 되면 사용자간의 채널 상황이 -3 dB에서 0 dB로 순차적으로 좋아짐에 따라 패리티 연결 기법이 제안된 기법과 성능이 급격히 비슷해지는 경향을 보여주고 있다. 그러나 0 dB 이후부터는 패리티 연결 기법이 점차 오류 마루 (error floor)가 생기는 현상을 보여주는 반면 제안된 기법은 선형적으로 감소하여 높은 SNR (signal-to-noise ratio)에서 보다 좋은 BER 성능을 보여주고 있다. 제안된 기법은 기존 기법에 비하여 낮은 SNR 및 높은 SNR에서 모두 좋은 성능을 보이게 되며 오류 마루가 발생하지 않는 특징을 갖게 된다.

이와 더불어 제안된 기법에 노드별 적합한 전력을 할당하여 그것에 따른 성능의 변화를 알아보았다. 중계 채널 SNR이 사용자간 채널 SNR보다 6 dB 좋은 경우와 동일한 경우의 두가지 상황을 고려하였고 채널 상황마다 전력 할당 계수를 변화시키며 성능 변화를 확인하였다. 전체 시스템에서 사용할 수 있는 전력 크기를  $\lambda$ 로 가정하였으며 각 사용자 노드와 중계 노드가 1씩 전력 계수를 할당하게 되면 동일한 전력으로 전송되는 것을 의미한다.

그림 6의 상황은 중계 채널 조건이 사용자간 채널 조건과 동일한 경우이다. X축은 각 사용자 노드에서의 전력 할당 계수  $\alpha$ 를 의미하고, Y축은  $E_b/N_0$  [dB], 그리고 Z축은 BER을 나타낸다.

그림 6을 보면 중계 채널과 사용자간 채널 환경이 같은 경우 더 많은 전력을 사용자 노드간 전송에 할당해야 좋은 결과를 얻는다는 것을 확인할 수 있다. 주목할 점은 사용자 노드의 전력 할당 계수  $\alpha$ 가 모든 구간에서 1.4로 동일하다는 것이다. 중계 채널 SNR과 사용자간 채널 SNR이 동일한 경우, 중계 채널 조건이 일반적인 중계 채널과 비교하여 채널 조건이 좋지 못한 경우이기 때문에 중계 노드에서 연관정 비터비 복호를 하는 분산 터보 부호의 경우 사용자 노드 신호에 더 많은 전력을 할당하여 중계 노드에서의 오류 전파

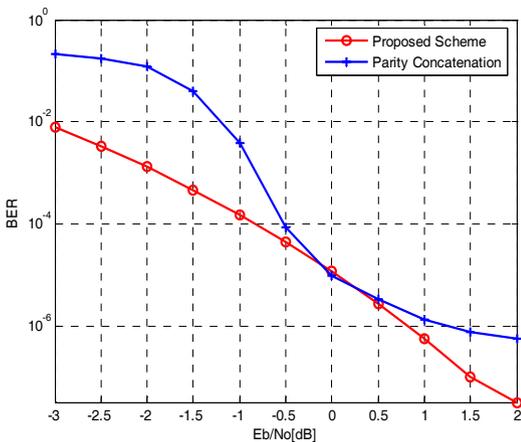


그림 5. 제안된 기법과 패리티 연결 기법 성능 비교

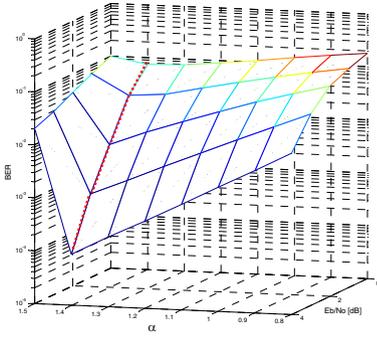


그림 6. 중계 채널 SNR이 사용자간 채널 SNR과 같은 상황.

를 막는 것이 시스템 전체 성능 향상에 이득이 있기 때문으로 분석된다.

중계 채널 SNR이 사용자간 채널 SNR보다 6 dB 좋은 그림 7의 경우를 보면, 그림 6의 양 채널 SNR이 동일한 상황과 비교하여 사용자 노드 전력 할당 계수를 보다 상황에 맞춰 변화시켜야 한다는 것을 확인할 수 있다. 그것은 시스템 전체 성능에서 가장 좋은 성능을 보이는 전력 할당 계수  $\alpha$ 가 1.1에서부터 1.3까지 다양하게 나타나는 것을 통해 확인할 수 있다.

중계 채널 환경이 좋아질수록 사용자 노드에서 전력 할당 계수를 상황에 맞게 변화시켜 전력 조절을 하는 것이 시스템 전체 성능에 좋은 결과를 가져오는 것을 확인할 수 있다. 그것을 확인하기 위하여 SNR이 변화하는데 따른 최적의 전력 할당 계수를 적용하여 시스템의 전체 성능을 높이기 위한 모의 실험을 진행하였고 아래와 같은 결과를 얻게 되었다.

그림 8은 제안된 분산 터보 부호에 채널 상황에 맞는 전력 할당을 통해 성능을 향상 시킨 분산 터보 부호와 전력 할당을 하지 않은 경우의 성능 차이를 보여주는 모의실험 결과다. 네트워크 코딩을 이용한 양방

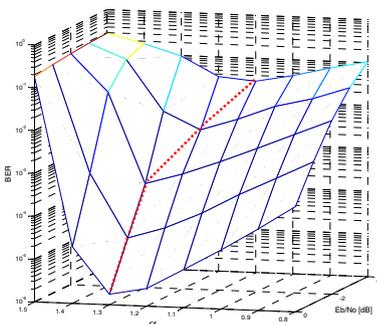


그림 7. 중계 채널 SNR이 사용자간 채널 SNR보다 6 dB 좋은 상황.

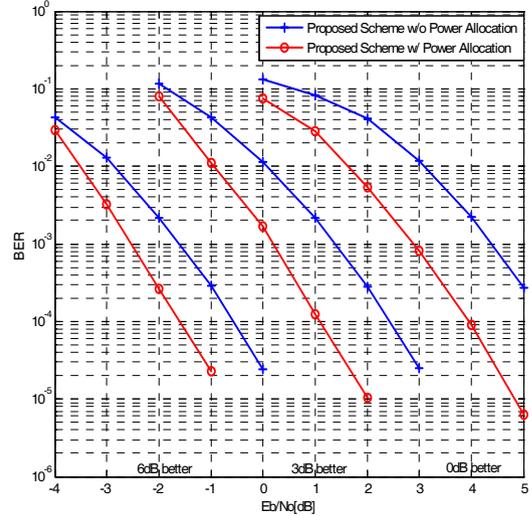


그림 8. 전력 할당 유무에 따른 다양한 환경에서 네트워크 부호화된 분산 터보 부호의 성능 비교

향 중계 채널에서 분산 터보 부호를 이용한 경우 SNR 변화에 따른 전력 할당을 하였을 경우 기존의 시스템 성능에서 약 1 dB에서 1.5 dB 정도의 SNR 이득을 얻을 수 있다.

## VI. 결론

본 논문은 양방향 중계 채널에서 중계 노드로부터 네트워크 부호화된 정보를 받아 사전 정보로 사용하는 새로운 분산 터보 부호 기법을 제안하였다. 모의 실험을 통해서 제안한 기법이 기존 패리티 연결 기법보다 성능이 향상되었음을 확인하였다. 또한 양방향 중계 채널에서 네트워크 코딩을 이용한 분산 터보 부호를 사용한 경우, 채널 환경 변화에 따른 최적 전력 할당이 전체 성능 향상의 결과를 낳는다는 것을 확인할 수 있었고, 그에 따른 최적의 전력 할당 비율을 제시하였다.

## 참고 문헌

- [1] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity Part I System description," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.51, No.11, pp. 1927-1938, Nov. 2003.
- [2] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage

behavior,” *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol.50, No.12, pp.3062-3080, Dec. 2004.

[3] T. E. Hunter and A. Nosratinia, “Performance analysis of coded cooperation diversity,” in *Proc. ICC*, Vol.4, pp.2688-2692, May 2003.

[4] M. Janani, A. Hedayat, T.E. Hunter, and A. Nosratinia, “Coded cooperation in wireless communications: space-time transmission and iterative decoding,” *IEEE Trans. Signal Process.*, Vol.52, pp.362-371, Feb. 2004

[5] Zheng Zhang and T.M. Duman, “Capacity-approaching turbo coding and iterative decoding for relay channels,” *IEEE Trans. Commun.*, Vol.53, pp.1895-1905, Nov. 2005.

[6] T.E. Hunter and A. Nosratinia, “Diversity through coded cooperation,” *IEEE Trans. Wireless Commun*, Vol.5, pp.283-289, Feb. 2006.

[7] B. Zhao and M. Valenti, “Distributed turbo coded diversity for the relay channel,” *IEEE Electron. Lett.*, Vol.39, pp.786-787, May 2003.

[8] R. Ahlswede, N. Cai, S-Y. R. Li, and R. W. Yeung. “Network information flow,”. *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol.46, No.4, pp.1204-1216, Jul. 2000.

[9] C. Hausl and J. Hagenauer, “Iterative network coding and channel decoding for the two-way relay channel,” in *Proc. ICC*, Vol.4, pp.1568-1573, Jun. 2006.

[10] G. Kramer, I. Maric and R. D. Yates, *Cooperative Communications*, Now Publishers, 2007.

[11] J. Hagenauer, E. Offer, and L. Papke, “Iterative decoding of binary block and convolutional codes”, *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol.42, pp.429-445, Mar. 1996.

임진수 (Jinsoo Lim)

정회원



2008년 2월 중앙대학교 전기공학부 학사  
2010년 8월 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석사  
2010년 9월~현재 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사과정

<관심분야> 디지털 통신, 오류정정부호, OFDM

옥준호 (Jun-ho Ok)

정회원



2007년 2월 경남대학교 정보통신공학과 학사  
2009년 2월 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석사  
2009년 3월~현재 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사과정

<관심분야> 디지털 통신, 오류정정부호, 릴레이 시스템

유철해 (Chul-Hae Yoo)

정회원



2007년 2월 한양대학교 전기공학부 학사  
2009년 2월 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석사  
2009년 8월~현재 STX 엔진  
<관심분야> 디지털 통신, 오류정정부호

신동준 (Dong-Joon Shin)

종신회원



1990년 2월 서울대학교 전자공학과 학사  
1991년 12월 Northwestern University 전기공학과 석사  
1998년 12월 University of Southern California 전기공학과 박사

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

2000년 9월~현재 한양대학교 융합전자공학부 부교수  
<관심분야> 디지털 통신, 오류정정부호, 시퀀스, 이산수학