논문 2009-46TC-2-5

Duo-Binary 터보 부호를 이용한 협동 다이버시티 성능 분석

(Cooperative Diversity Performance Using Duo-Binary Turbo Codes)

여 성 문*, 김 수 영**

(Sungmoon Yeo and Sooyoung Kim)

요 약

본 논문에서는 duo-binary 터보 부호를 이용한 협동 다이버시티 기술을 소개하고 그 성능을 분석한다. 오류 정정 부호를 이용한 부호화 다이버시티 기술은 상대편 단말에서의 복호 및 재 부호화 전송을 이용하여 큰 협동 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 반면, 상대편 단말에서 복호가 실패할 경우에는 오히려 더 큰 성능 악화를 초래할 수도 있다. 본 논문에서는 IEEE WiMax 규격에서 오류 정정 부호 기술로 정의 되어 있는 duo-binary 터보 부호를 이용한 부호화 다이버시티 기술을 다양한 방식으로 적용하여 성능을 시뮬레이션 하고, 그 결과를 분석한다. 특히 본 논문에서는 duo-binary 터보 부호에 대한 부호율 호환 가능 부호를 이용하여 서로 다른 패리티를 전송하는 단말들끼리 협동 다이버시티를 이용하는 방법을 소개한다. 본 논문에서 제시한 시뮬레이션 결과에 따르면 적절한 신호대 잡음비 환경에서 제안한 방식이 매우 큰 협동 다이버시티 이득을 보일 수 있음을 알 수 있다.

Abstract

In this paper, we propose an efficient cooperative diversity technique, which partition the codewords of each mobile and transmit portions of each codeword through independent fading channels using duo-binary turbo codes. A coded diversity technique can achieve high cooperative diversity gain by decoding and transmitting of the re-encoded signal, while this can also cause high performance degradation due to failure of the decoding. In this paper, we introduce various coded diversity technique using duo-binary turbo codes which are defined as channel coding schemes in the IEEE WiMax specification, and also demonstrate performance simulation results with the analysis. We also propose a cooperative diversity technique using rate-compatible duo-binary turbo codes, where user terminals with different parity symbols cooperate each other. Simulation results investigated in this paper reveal that the proposed scheme show high diversity gain at a reasonal SNR range.

Keywords: Duo-Binary turbo codes, cooperation, coded diversity, iterative decoding

I. 서 론

이동통신 시스템에서의 다중 경로로 인한 페이딩 현상을 극복할 수 있는 가장 효과적인 방법 중 하나는 다중 안테나를 이용하여 다이버시티 이득을 얻는 방법이다. 그러나 소형 사용자 단말에 여러 개의 안테나를 탑재하기에는 어려움이 있기 때문에 사용자 단말에서 상향링크 전송 다이버시티를 얻기에는 여러 가지 현실적인 제약 조건이 존재하였다. 이러한 제약을 극복하기 위한 효과적인 대안으로써, 협동 다이버시티 기법이 소개되었다[1]. 이 협동 기술을 이용하는 사용자 단말들은 상대편 단말에서 수신된 신호들을 중계하는 방식으로 서로의 안테나를 공유하여 상향링크 전송 다이버시티를 수행하는 것이다.

최근에는 협동 다이버시티 기법에 다양한 오류 정정 부호화 기술들을 적용한 부호화 협동 다이버시티 기법들이 제안되었다[2~7]. 특히, 최근 반복 복호를 통하여 큰 부호화 이득을 얻을 수 있는 터보 부호화 기술 발전으로 여러 가지 차세대 이동통신 시스템 규격에 터보 부호가 정의 되었는데, 이러한 이유로 터보 부호를 이

* 학생회원, ** 정회원, 전북대학교 전자정보공학부
(Chonbuk National University Electronic & Information Engineering)
접수일자: 2008년7월7일, 수정완료일: 2009년2월17일

용한 다양한 부호화 협동 기술들이 제안되었다[2~5]. 예를 들어 참고문헌 [2]에서는 터보부호를 이용한 시공간 협동 (space-time cooperation) 기술을 소개하였다. 이를 좀 더 발전시켜, 터보 부호의 두 개의 내부 구성부호 중 하나는 사용자 단말에서 다른 하나는 상대편 중계 단말에서 분리하여 수행하는 형태로써 부호화 협동 기술에 적용시킨 분산 터보 부호에 시공간 부호(space time coding : STC)를 결합시킨 기술을 참고문헌 [3]에서 소개하였다. 그리고 참고문헌 [4]에서는 기존의 부호화 다이버시티 기법에 대해 여러 가지 환경에서 다양한 형태의 블록 부호, 길쌈 부호 또는 이 둘을 결합시킨 부호들을 적용해서 성능을 분석하였다. 또한 단일 송·수신 안테나 시스템(single-input single-output : SISO)과 다중 송수신 안테나 시스템(multi-input multi-output : MIMO)에서의 협동 터보 부호에 대한 다양한 부호 및 복호 기술이 참고문헌 [5]에 명시되어 있다. 참고문헌 [6]과 [7]은 low density parity check (LDPC) 부호를 사용한 부호화 협동 다이버시티 기술을 소개하였다.

참고문헌 [4]에서 제시한 레일레이 페이딩 채널 (Rayleigh fading channel) 에서의 협동율에 따른 성능 비교 분석을 살펴보면, 협동율이 높아질수록 더 좋은 성능을 보여주고 있다. 따라서 중계기 즉 상대편 단말에서 더 좋은 복호 성능을 낼 수 있는 부호를 협동 부호화 방식으로 사용한다면 최종단에서 기존의 부호화 협동 기술보다는 더 좋은 성능을 가질 것이라는 것은 쉽게 예상할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 상대 단말에서도 복잡도의 증가를 감수하는 대신 단순한 복호 방식이 아닌 반복적인 복호를 사용하여 복호 성능을 향상시킬 수 있도록 송신 비트를 구성하여 전송함으로써 성능 향상을 기대하고자 한다.

이러한 방식에서 사용자 단말은 시스터매틱 (systematic) 정보와 함께 패리티 (parity) 정보의 일부를 전송하고 상대편 단말에서는 전송된 부호어에 대한 반복적인 복호 과정을 통해서 정보를 복원 후 복원된 정보에 새로운 패리티를 추가하는 재 부호화 과정을 거쳐 사용자 단말이 보내지 않은 새로운 패리티를 전송할 수 있을 것이다. 본 논문에서는 이러한 방식에 착안하여 부호율 호환 가능 (rate compatible) duo-binary 터보 부호를 사용한 터보 부호화 협동 다이버시티 기술을 제안한다.

본 서론에 이어 Ⅱ장에서는 참고문헌 [2]에서 소개된 기존의 부호화 다이버시티 기술의 기본 개념을 살펴본다. Ⅲ장에서는 duo-binary 터보 부호를 사용한 제안한 부호화 다이버시티 기술을 소개하고 Ⅳ장에서 기존의 기술과 제안한 기술의 성능 시뮬레이션 결과를 살펴보고 비교 분석한 후 마지막으로 Ⅴ장에서 결론을 맺기로 한다.

Ⅱ. 부호화 다이버시티 기술

무선 단말기 간의 서로 협력하는 사용자들은 두 사용자의 안테나들을 서로 공유하여 정보를 보내는 기술을 통해서 무선 시스템의 상향링크에서 다이버시티 이득을 얻는다. 사용자는 서로 다른 페이딩 채널을 통해 각 사용자들의 부호 비트 부분을 기지국에 전송하기 위해 서로의 안테나를 공유해서 협력하는 것이다. 그림 1은 시분할다중화 (time division duplexing : TDD) 기법에서 사용할 수 있는 부호화 다이버시티 기술의 기본 개념을 나타낸 것이다[2].

각 사용자는 정보어의 길이가 K, 모부호의 길이가 N이고, 부호화율이 R인 오류 정정 부호를 사용하여 부호화된 N 비트 부호어를 2개의 시간 구역이나 프레임으로 나누어 전송함으로서 협력한다. 사용자 i, j는 기지국과 각각의 상대편 단말 즉 사용자 i는 사용자 j에게 사용자 j는 사용자 i에게 N(N= 첫 번째 프레임의 비트 블록 N_1 + 두 번째 프레임의 비트 블록 N_2) 비트 중 첫 번째 프레임에 해당하는 자신의 비트 블록 N_1을 보낸다. 다시 말해서, 사용자 i와 j는 첫 번째 프레임에 $N_1 = K/R_1$ 비트의 부호어를 상대 단말에 전송한다. 이렇게 되면 N_1은 전체 모부호의 길이 N보다 적기 때문에, R_1은 모부호의 부호율 R보다 클 것이다.

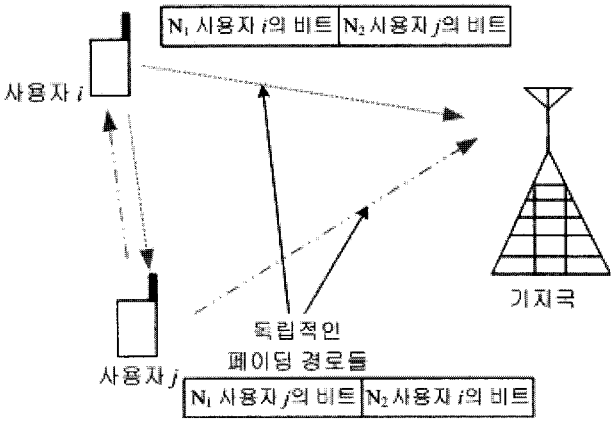


그림 1. 부호화 협동 다이버시티의 예[1]
Fig. 1. An example of coded cooperative diversity.

상대 단말의 정보를 수신하여 복호하게 되면, 순환검사 체크 (cyclic redundancy check; CRC) 부호를 이용하여 복호가 성공적으로 수행되었는지를 검사한다. 성공적으로 상대편 단말의 부호어 N_1을 복호하였음이 판명되면, 사용자는 두 번째 프레임에 상대편 단말의 N_2의 크기를 갖는 데이터에 대한 패리티 비트를 계산해서 전송한다. 그러나 상대편 단말의 부호어 N_1에 대한 복호가 실패하였을 경우에는 그 자신의 데이터에 대한 패리티 비트 N_2를 계산하고 전송함으로써 비협동 모드로 돌아간다. 따라서 기지국은 두 번째 프레임에서 각 사용자가 전송한 비트가 누구의 것인지 알아야 최종 복호를 할 수 있다.

표 1은 그림 1에 나타낸 두 사용자 단말 간의 협동 다이버시티에서 발생할 수 있는 4 가지 경우를 나타낸 것이다. 경우 1은 두 사용자 모두 성공적으로 서로 상대편 단말의 첫 번째 프레임을 복호했기 때문에 두 번째 프레임에서 상대편 단말에 대한 나머지 비트를 전송하는 완전 협동 모드에서의 동작을 나타낸다. 경우 2는 두 사용자가 모두 상대편 단말의 첫 번째 프레임을 성공적으로 복호하지 못해서, 각자 자신들의 나머지 패리티를 전송하게 되는 비협동 모드에서의 동작을 나타낸다. 경우 3은 사용자 2가 사용자 1의 첫 번째 프레임을 성공적으로 복호하였으나 사용자 1은 사용자 2의 것을 성공적으로 복호하지 못한 경우다. 결과적으로, 사용자 둘 다 사용자 2에 대한 두 번째 프레임의 두 번째 부호 비트 세트는 전송하지 못하고, 두 사용자 모두 사용자 1에 대한 두 번째 프레임만을 전송하는 경우에 해당한다. 경우 4는 경우 3에서 사용자 1과 사용자 2가 서로 바뀐 경우로서 성능은 동일하게 나타날 것이다.

표 1에 나타나 있는 여러 가지 경우를 고려하여 부호화 협동 다이버시티 기법에 다양한 오류 정정 부호 기술을 적용시킬 수 있다. 예를 들어, 그림 2는 터보부호

표 1. 첫 번째 프레임 복호의 결과에 따른 두 번째 프레임 전송시 4가지 협동 경우

Table 1. Four cooperative cases for second frame transmission based on the first frame decoding results.

	사용자 1 복호	사용자 2 복호
경우 1	성공	성공
경우 2	실패	실패
경우 3	성공	실패
경우 4	실패	성공

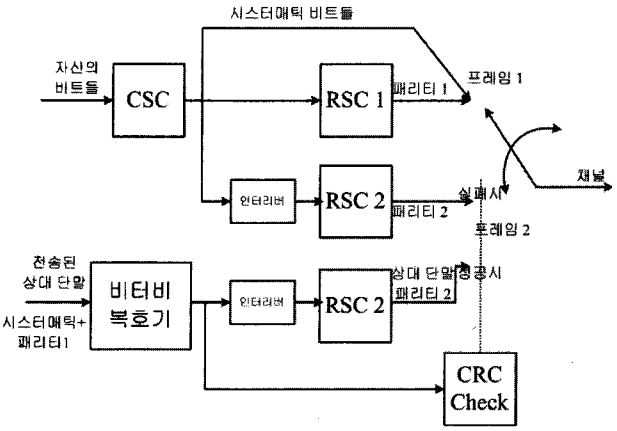


그림 2. 터보 부호를 이용한 협동 다이버시티 예제[2]

Fig. 2. An example of coded diversity using turbo codes.

를 부호화 협동 다이버시티에 적용시킨 예제로써[2], 메모리 크기가 4이고 모부호의 부호화율이 1/4, 내부구성부호의 생성 다항식이 G(23, 35, 27, 33)인 터보부호를 사용한 방식이다[8]. 위 터보 부호는 내부 인터리버와 함께 두 개의 recursive systematic convolutional (RSC) 부호를 내부 구성부호로 사용한다[9]. 참고문헌 [2]에서의 협동 기법에서, 첫 번째 프레임에는 정보어와 첫 번째 RSC 부호에서 생성된 패리티를 전송하고, 상대편 단말에서 전송된 부호어의 성공적인 복호 후에 두 번째 프레임에는 두 번째 RSC 부호에 대한 패리티를 기지국에 전송한다. 만약 상대편 단말에서 전송된 부호어가 성공적으로 복호가 되지 않았다면 사용자는 자신의 정보어에 대한 RSC 부호어의 패리티를 두 번째 프레임에 담아 기지국에 전송시킬 것이다.

그러나 일반적으로 터보 부호 내부에 있는 개별 RSC 부호는 매우 간단한 길쌈 부호이기 때문에 RSC 부호에 대한 비터비 복호 성능은 반복 복호를 사용한 터보 부호 전체에 대한 복호 성능보다는 매우 낮을 것이다. 따라서 위의 방법에서 나타낸 것처럼 각 단말에서 RSC 1 또는 RSC 2에 해당하는 패리티를 전송하는 방식보다는 부호화율 호환 가능 터보 부호를 적용하여 별개의 천공된 패리티를 보낸다면 상대편 단말에서는 반복적인 복호로부터 더욱 높은 부호화 이득을 얻을 수 있게 될 것이다.

III. 제안한 방법

1. 기본 개념

본 장에서는 부호율 호환 가능 duo-binary 터보 부호를 적용한 부호화 협동 기술을 소개한다. 이때, 기존의 기술에서와 같이 TDD 모드로 가정한다. 이때, 사용하는 duo-binary 터보 부호는 부호율 호환가능 부호로써 시스터메틱 정보와 두 개로 구분되는 패리티 1 및 패리티 2로 구성되어 있는 모부호를 가진다고 가정한다. 따라서 이 부호는 천공 패턴에 따라 시스터메틱 정보와 패리티 1 또는 시스터메틱 정보와 패리티 2를 가지고 천공 부호를 구성할 수 있다.

이러한 부호를 이용하여, 첫 번째 프레임에서 사용자들은 상대편 단말과 기지국에 전체 N 비트의 모부호어 중 첫 번째 프레임에 시스터메틱 정보와 패리티 1로 구성된 N_1 비트를 전송한다. 또, 각 사용자들은 상대편 단말의 첫 번째 프레임을 복호한다. 이때, 상대편 단말의 첫 번째 프레임이 성공적으로 복호되었다면 두 번째 프레임에는 상대 단말에 대한 시스터메틱 정보와 패리티 2를 기지국에 전송한다. 반면에 상대편 단말의 첫 번째 프레임이 성공적으로 복호가 되지 않는다면 두 번째 프레임에는 자신에 대한 패리티 2를 기지국에 전송한다. 각 사용자들은 항상 두 개의 프레임을 합쳐 N 비트를 전송하게 된다.

다음 절에서는 먼저 첫 번째로 duo-binary 터보 부호의 기본 구조 및 개념을 소개하고, 이를 기존의 부호화 협동 기술에 적용한다. 그 후 제안한 부호화 협동 기술에 duo-binary 터보 부호를 적용한다.

2. Duo-Binary 터보 부호

Duo-Binary 터보 부호는 double binary circular RSC를 사용한다. 이것은 양방향 위성방송 규격(Digital Video Broadcasting - Return Channel via Satellite;DVB-RCS) 와 IEEE 802.16e[10~11]에 대한 채널 부호화 기술로서 정의가 되어 있다. "double binary"란 의미는 두 비트 단위로 전 부호화 과정이 처리되고, 복호시에도 두 비트 단위로 복호가 수행된다는 것이다. 그림 3은 duo-binary 터보 부호의 부호기 다이어그램을 나타낸 것이다. 터보 부호기는 2개의 recursive systematic convolutional 부호가 동시에 연결 되어 있다. 부호기에서는 정보어 "AB" 비트에 대해서 첫 번째 RSC는 패리티 비트 "Y1W1"를 만들고, 두 번째 RSC는 정보어가 인터리버를 거쳐서 만들어진 비트에 대해 패리티 비트 "Y2W2"를 만들다.

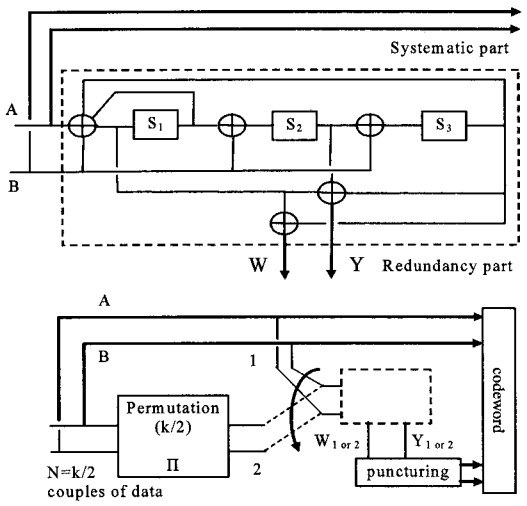


그림 3. Duo-binary 터보 부호의 부호기 구조
Fig. 3. Encoder structure of duo-binary turbo codes.

3. duo-binary 터보 부호를 적용시킨 기존의 기술

먼저, 참고문헌 [2]에 제시되어 있는 기존의 방법에 위의 duo-binary 터보 부호를 적용해보자. 그림 4에는 사용자 1과 사용자 2가 서로 협력하여 통신하는 동작 원리가 나타나 있는데, 첫 프레임에 대한 부호어는 첫 RSC 부호를 사용해서 얻을 수 있다. 먼저 사용자 1은 자신에 대한 "A_1B_1" 소스 비트와 첫 RSC 부호에 대한 출력인 "Y_11W_11" 패리티 비트를 사용자 2에 전송한다. 사용자 1에 의해 전송된 부호어가 사용자 2의 단말기에서 성공적으로 복호되었다면, 사용자 2은 K 비트 블록을 갖는 사용자 1의 "A_1B_1" 소스 비트를 인터리빙 한 후 두 번째 RSC 부호에 대한 출력인 "Y_12W_12"의 패리티 비트를 사용자 2 자신의 "$A_2B_2Y_21W_21$"과 같이 기지국으로 전송한다. 이렇게 되면 기지국에서는 사용자 1

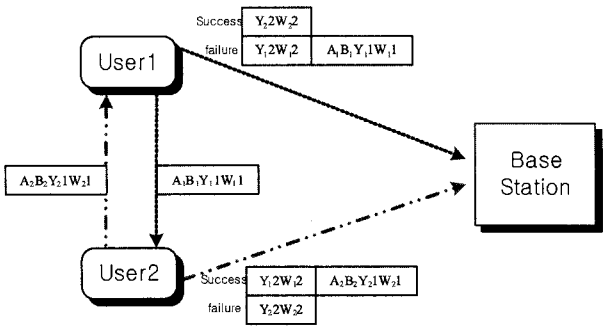


그림 4. duo-binary 터보 부호를 사용한 기존의 부호화 다이버시티
Fig. 4. Conventional coded diversity using duo-binary turbo codes.

이 직접 전송한 "A_1B_1" 및 "Y_11W_11"과 사용자 2가 전송해 준 "Y_12W_12"를 이용하여 부호화율 1/3의 부호로 반복적인 복호를 실시할 수 있게 된다.

그러나 만약 사용자 1에 의해 전송된 부호어가 사용자 2의 단말기에서 성공적으로 복호되지 못하면, 사용자 2는 자신의 소스 비트를 인터리빙 시키고 그것을 부호화한 후 기지국으로 자신의 소스 비트와 두 번째 RSC에서 얻어진 "Y_22W_22"를 보낼 것이다. 이렇게 되면, 기지국에서는 사용자 1에 대한 수신 신호로써, 사용자 1이 직접 전송한 "A_1B_1" 및 "Y_11W_11"밖에 수신할 수 없게 되므로, 부호화율 1/2로 일반적인 비터비 복호 방법으로 복호를 하게 된다. 대신 사용자 2는 자신의 모든 정보를 전송하게 되므로 사용자 2에 대해서는 1/3의 부호화율로 복호를 할 수 있게 된다.

4. duo-binary 터보 부호를 적용시킨 제안한 기술

성능을 향상시키기 위해서 이 논문에서 기존의 협동 다이버시티에 수정된 방법을 적용하였다. 기존의 방법에서 첫 번째 RSC로부터 얻어진 "Y_11W_11"을 전부 보내는 대신 첫 번째 RSC에서 얻어진 패리티 "Y_11"과 사용자 1의 소스 비트를 인터리빙 시킨 것에 대응하는 두 번째 RSC에서 얻어진 "Y_12"을 사용자 1의 소스 비트와 함께 "$A_1B_1Y_11Y_12$" 형태의 부호어로 사용자 2와 기지국에 보낸다. 위의 "$A_1B_1Y_11Y_12$"는 전체 모부호 "$A_1B_1Y_11Y_12W_11W_12$"에 대한 천공 부호가 되므로, 반복 복호 방식으로 복호를 할 수 있게 된다.

따라서 이 방법에서는 사용자 2의 단말기에서 사용자 1이 전송한 부호어를 반복적인 복호 방식을 이용하여 복호하게 된다. 이 때, 복호가 성공적으로 수행되게 되면, 사용자 2는 사용자 1에 대한 "A_1B_1" 소스 비트를 재 부호화 한 후, 사용자 1이 천공하여 전송하지 않은 나머지 패리티 비트 "W_11W_12"를 두 번째 프레임에 담아 기지국에 전송한다. 이렇게 되면 기지국에서는 사용자 1이 직접 전송한 "A_1B_1" 및 "Y_11Y_12"과 사용자 2가 전송해 준 "W_11W_12"를 이용하여 전체 모부호를 수신할 수 있으므로 부호화율 1/3의 부호로 반복적인 복호를 실시할 수 있게 된다.

그러나 만약 사용자 1의 첫 프레임이 사용자 2의 복호기에서 성공적으로 복호되지 않았다면 사용자 2는 자신의 첫 번째 프레임에서 천공하여 전송하지 않았던 나머지 패리티 부분을 두 번째 프레임에 담아 전송하게 된다. 이 경우, 기지국에서는 사용자 1에 대한 정보는

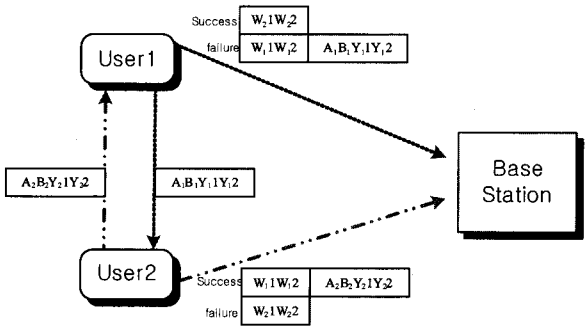


그림 5. duo-binary 터보 부호를 사용한 제안한 부호화 다이버시티

Fig. 5. Proposed coded diversity using duo-binary turbo codes.

"$A_1B_1Y_11Y_12$"만 존재하게 되므로 사용자 1에 대해서는 1/2의 부호로 반복적인 복호를 실시하게 된다.

그림 5는 제안한 방법의 동작 원리 보여주고 있다. 기존의 방법과 제안한 방법의 주요 차이점은 각 사용자 단말기에서의 복호 복합도이다. 기존의 방법에서는 상대편 단말이 보낸 정보어를 복구시키는데 단순한 비터비 복호기만을 사용하지만, 제안한 방법에서는 반복 복호기를 사용하기 때문에 복잡도와 지연을 감수하는 대신에 성능의 향상을 얻을 수 있다. 또한, 상대 단말기에서 복호가 실패하여 기지국에서 시스터메틱 정보와 패리티의 반만을 수신하게 되는 경우에도 기존의 방식에서는 비터비 복호기를 사용하게 되지만, 제안 방식에서는 반복적인 복호 수행이 가능하므로 더 큰 성능 향상이 있을 수 있다.

Ⅳ. 시뮬레이션 성능 결과 및 분석

본 장에서는 Ⅲ장에서 설명한 두 방법들의 성능을 비교하기 위하여 레일레이 페이딩 채널에서 비트 오류율 (BER)과 프레임 오류율 (FER) 성능 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 시뮬레이션에서는 모부호의 부호화율이 1/3인 duo-binary 터보 부호를 사용하여, 각 단말기에서는 시스터메틱 정보와 또 시스터메틱 정보와 길이가 동일한 양 만큼의 패리티를 전송함으로써 부호화율이 1/2이 되게 하였고, 상대 단말에서 복호의 성공 유무에 따라 상대편에 대한 패리티 또는 자신의 나머지 패리티를 동일한 양만큼 전송하게 되므로, 단말에서 기지국으로 전송하는 부호의 부호화율은 1/3이 되도록 하였다.

그러나 단말에서 기지국에 전송하는 부호화율이 1/3이라 하더라도 상대 단말에서의 복호 성공 유무에 따라

기지국에서 사용하는 실제 복호 방식에서의 유효한 부호화율은 달라지게 된다. 즉, 상대 단말에서 자신에 대한 복호가 실패하게 되면 자신에 대한 정보는 자신이 보낸 부호화율이 1/2인 부호에 대한 정보밖에 없기 때문에 복호는 부호화율 1/2인 부호를 사용하여 수행하게 되는 것이다.

모든 시뮬레이션에서 K=212 비트를 사용하였다. 모든 방법에 대한 기지국에서의 복호의 반복 횟수는 8번으로 고정시키고 제안한 방법에 대한 사용자의 단말에서의 복호 반복 회수도 역시 8번으로 행하였다. QPSK 변조된 신호가 레일레이 페이딩 채널을 통해 전송되며, 수신기에서 완벽한 채널 추정이 가능할 경우를 가정하였다.

그림 6과 7은 duo-binary 터보 부호를 사용한 기존

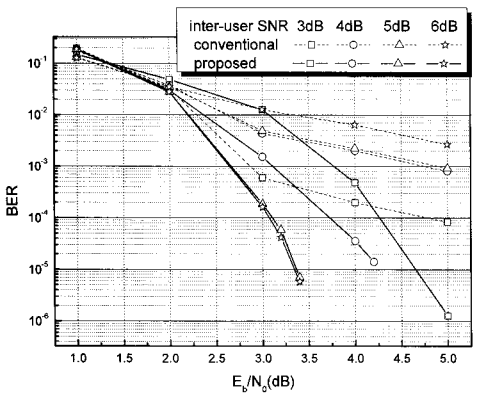


그림 6. 기존의 방법과 제안한 방법의 BER 성능 비교
Fig. 6. BER performance comparison of the conventional method with proposed method.

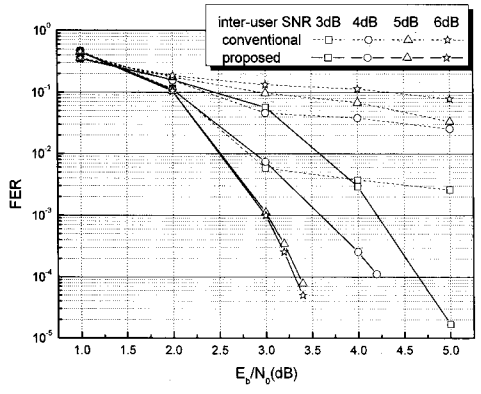


그림 7. 기존의 방법과 제안한 방법의 FER 성능 비교
Fig. 7. FER performance comparison of the conventional method with proposed method.

방식 및 제안한 방식에서의 BER 및 FER 성능을 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 일반적으로 제안한 방법이 기존의 방법에 비해서 우수한 성능을 보여 주고 있다. 그러나 사용간의 SNR이 3dB이고 사용자와 기지국간의 SNR이 3dB일 경우에는 기존의 방법이 제안한 방법보다 더 좋은 성능을 보인다. 그 이유는 본 논문에서 사용한 협동 다이버시티 방법에서 그 원인을 찾아볼 수 있다. 본 논문에서 분석한 협동 다이버시티 방법에서 가장 성능이 나쁜 경우는 서로 협동하는 두 단말 즉, 단말 1, 2 중 어느 하나의 단말에서만 복호가 실패하는 경우이다. 예를 들어 단말 1에서는 복호가 실패하고, 단말 2에서는 복호가 성공했을 경우, 단말 1은 복호가 실패했으므로 단말 2에 대한 추가 정보를 보내지 않고 자신에 대한 추가 정보만을 전송하게 된다. 반면에 단말 2에서는 복호가 성공했으므로 단말 1에 대한 추가 정보를 전송할 것이다. 따라서 기지국에서는 단말 1에 대한 추가 정보만 2개가 존재하게 되고, 단말 2에 대한 추가 정보는 존재하지 않게 된다. 그러므로 단말 2에 대한 정보는 복호 성능이 매우 낮아지게 되고, 전체 시스템 성능을 좌우하게 되는 것이다.

그림 8은 일반적인 레일레이 페이딩 채널에서 duo-binary 터보부호의 성능을 나타낸 것인데, SNR 이 약 3dB일 경우 사용자 단말에서 부호화율 1/2로 전송하게 되면 FER이 약 50%가 된다. 이는 어느 한쪽 단말에서만 복호가 성공하게 되어 전체 성능에 가장 악영향을 끼칠 가능성이 커지게 됨을 의미한다. 반면에 기존의 방식을 사용할 경우 할 경우 SNR이 약 3dB일 경우 하

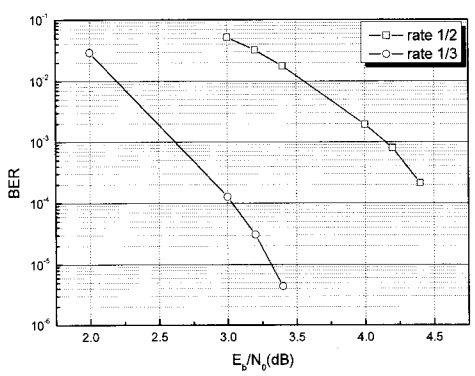


그림 8. 레일레이 페이딩 채널에서의 duo-binary 터보 부호의 BER 성능
Fig. 8. BER performance of the duo-binary turbo codes over a Rayleigh fading channel.

나의 RCS 부호에 대한 FER은 90% 이상이 되므로 거의 모든 경우에 상대 단말에서의 복호가 실패하게 되어 각 단말은 서로 자신의 추가 정보를 전송하게 되므로 결과적으로 기지국에서는 두 단말에 대한 추가 정보를 모두 확보할 수 있게 되어 성능은 더 우수하게 되는 경우가 발생하는 것이다.

이러한 이유를 보다 정량적으로 분석하기 위하여 표 2에는 표 1에서 제시한 각 경우가 차지하는 비율을 시뮬레이션 한 결과를 나타내었다. 표 2에서 사용자 간의 SNR 3dB일 경우를 살펴보면 기존의 방법은 경우 1과 경우 3 · 4는 전혀 없고, 경우 2가 대부분을 차지해서 협동 과정의 거의 모두 경우를 두 번째 프레임에 자신의 추가 패리티 비트를 기지국에 전송한다. 이에 반해서 제안한 방법은 경우 2가 가장 적고 경우 1과 경우 3 · 4가 대부분을 차지해서 두 번째 프레임에 반은 상대방의 추가 패리티 비트를 나머지 반은 자신의 추가 패리티 비트를 기지국에 전송하게 되는 것이다.

또, 표 1의 각 네 가지 경우에 대하여 기지국에서 수행하게 되는 복호 방식이 정해지기 때문에 그림 8에 나타나 있는 레일레이 페이딩 채널에서의 BER 성능을 이용하여 전체 시스템의 평균 BER 성능을 얻을 수 있다. 표 3은 이러한 분석적인 방법을 이용하여 사용자간 및 사용자와 기지국간의 SNR이 모두 3dB일 때의 BER을 분석적으로 계산한 결과와 시뮬레이션한 결과를 비교해 본 것이다. 표 3의 결과로부터 계산 결과와 시뮬레이션 결과가 거의 일치한다는 것을 알 수 있다.

그리고 기존의 방법은 SNR이 낮을수록 더 좋은 성능을 보여주고 있는데, 이 역시 위에 언급한 바와 동일한 이유에서이다. 표 2에서 나와 있는 기존의 방법인 합동 경우의 확률을 살펴보면 SNR이 낮을수록 경우 2가 대부분을 경우를 차지하고 있기 때문에 이 경우 두 단말 모두 자신의 패리티를 보내게 되고, 상대적으로 한쪽 단말만 성공하게 될 경우 추가 패리티가 전송되지 못하는 단말의 정보에 대한 복호 성능이 열화됨으로써 기존의 방식에 비해 성능이 열화되게 된다. 그러나 이러한 경우 대부분 BER 성능이 10^{-3} 이상으로써 정상적인 서비스가 어려운 경우이므로 고려대상에서 제외되어야 할 것이다.

SNR 값이 점점 커지게 되면 제안 방법에서 한쪽 단말에서는 실패하는 경우의 비율이 급격하게 줄게 되어 궁극적으로는 제안 방식의 성능이 더 우수하게 된다. 본 논문에서 제시한 시뮬레이션 결과에서는 SNR이 4dB 이상이 되면 제안 방식의 BER 성능이 더 우수하게 됨을 알 수 있다.

표 2. 사용자간의 SNR에 따른 3가지 협동 경우 확률
Table 2. Probability of the three cooperative cases by inter-user's SNR.

	기존의 방법			
사용자간의 SNR / 경우	3dB	4dB	5dB	6dB
경우 1	0 %	0 %	5.7 %	32.0 %
경우 3 · 4	2 %	20.3 %	48.5 %	56.0 %
경우 2	97.9 %	79.6 %	45.7 %	11.9 %
	제안한 방법			
경우 1	33.8 %	95.1 %	99.9%	100 %
경우 3 · 4	49.2 %	4.8 %	0.1%	0 %
경우 2	16.9 %	0 %	0 %	0 %

표 3. 계산 결과와 시뮬레이션 결과 비교
Table 3. Comparison of the calculation result with simulation result.

	계산식결과	시뮬레이션결과
기존의 방법	6.41×10^{-4}	5.97×10^{-4}
제안한 방법	1.27×10^{-2}	1.27×10^{-2}

V. 결 론

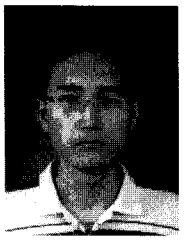
이 논문에서는 duo-binary 터보 부호를 사용한 부호화 협동 기술을 소개하였다. 본 논문에서 제안한 방식에서는 기지국에서 협동적인 작업을 할 수 있도록 하기 위해서 사용자는 자신과 상대편 단말의 서로 다른 패리티 정보를 부호율 호환 가능 터보 부호를 사용해서 보낸다. 제안한 부호화 다이버시티 기술은 기존의 기술보다 더 좋은 성능 향상을 보이고 이 성능 향상은 각 사용자 터미널에서 복호기 복잡도의 손실에서 얻을 수 있다. 또한, 본 논문에서는 서로 협동하는 단말에서의 복호 성공과 실패 확률에 따라 전체 시스템의 성능의 변화를 분석하고, 적절한 운용 SNR 범위를 선정할 수 있도록 하였다.

참 고 문 헌

[1] F. M. J. Willems, "The discrete memoryless multiple access channel with partially

cooperating encoders," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-29, no. 3, pp. 441-445, May 1983.
[2] M. Janani, A. Hedayat, T. E. Hunteer, and A. Nosratinia, "Coded cooperation in wireless communications: Space-time transmission and iterative decoding," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 52, no. 2, pp. 362-371, Feb 2004.
[3] B. Zhao and M. C. Valenti, "Distributed turbo coded diversity for relay channel," *Electronics Letters*, vol. 29, no. 10, pp. 786-787, May 2003.
[4] Todd E. Hunter and Aria Nosratinia, "Diversity through coded cooperation," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 5, no. 2, pp. 283-289, Feb. 2006.
[5] Z. Zhang and T. M. Duman, "Capacity-approaching turbo coding and iterative decoding for relay channels", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 53, no. 11, pp. 1895-1905 Nov. 2005.
[6] A. Chakrabarti, A. de Baynast, A. Sabharwal, and B. Aszhang, "Low Density Parity Check Codes for the Relay Channel," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 25, no. 2, pp. 280-291, Feb. 2007.
[7] Peyman Razaghi, and Wei Yu, "Bilayer Low-Density Parity-Check Codes for Decode-and-Forward in Relay Channels," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 53, no. 10, pp. 3723-3739, Oct. 2007.
[8] J. Hagenauer, "Rate-Compatible punctured convolutional codes (RCPC codes) and Their applications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 36, no. 4, pp. 389-400 Apr. 1998.
[9] C. Berrou and A. Glavieux, "Near optimum error correcting coding and decoding : Turbo codes," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 44, no. 10 pp. 1261-1271, Oct. 1996.
[10] ETSI EN 201-790, "Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction channel for satellite distribution systems", V1.4.1, Sep. 2005.
[11] IEEE 802.16 Standard - Local and Metropolitan Area Networks - Part 16, IEEE Std 802. 163-2005.

저 자 소 개



여 성 문(학생회원)
2005년 전북대학교 전자정보 공학부 학사 졸업.
2007년 전북대학교 전자공학과 석사 졸업.
2007년~현재 전북대학교 전자 정보공학부 박사과정.
<주관심분야 : 위성통신, 디지털 통신, 오류정정 부호화방식>

김 수 영(정회원)
1990년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사 졸업.
1990년~1991년 ETRI 연구원.
1992년 Univ. of Surrey, U.K 공학석사.
1995년 Univ. of Surrey, U.K 공학박사.
1994년~1996년 Research Fellow, Univ. of Surrey, U.K
1996년~2004년 ETRI 광대역무선전송연구팀장
2004년~현재 전북대학교 전자정보공학부 부교수
<주관심분야 : 오류정정부호화방식, 이동/위성통신 전송방식>