

STBC와 ARQ를 이용한 1-2-1 부호화 협력 통신

1-2-1 Coded Cooperative Communication Using STBC and ARQ

홍성욱 · 공형윤

Seong-Wook Hong · Hyung-Yun Kong

요약

본 논문에서 무선 센서 네트워크에 적용 가능한 시공간 블록 부호(Space-Time Block Coding: STBC)와 ARQ를 이용한 1-2-1 부호화 협력 통신 방식을 제안한다. 부호화 협력 통신은 협력 통신에 채널 부호화를 접목시킨 기술로 본 논문에서는 컨볼루션 부호화기를 사용한다. ARQ 방식은 소스 노드로부터 수신한 신호를 우선적으로 목적지 노드에서 평가하여 만족되어질 경우, ACK 메시지를 소스 노드와 릴레이 노드로 전송하고 수신한 신호를 복구하므로 기존의 협력 통신에 비해 주파수 효율을 높일 수 있다. 중계 노드 1과 2는 소스로부터 수신한 신호를 평치링하여 목적지로 전송하는데, 이때 STBC 기술을 적용하여 프로토콜의 신뢰성을 높인다. 또한, 간단한 비교기를 통하여 우수한 BER 성능을 얻을 수 있다. 마지막으로 제안한 프로토콜을 레일리 페이딩과 AWGN를 고려한 Monte-Carlo 시뮬레이션을 통해 BER 성능을 검증하였다.

Abstract

This paper has proposed 1-2-1 coded cooperative communication that is a combination of STBC and ARQ. Coded cooperative communication is a protocol that integrates channel coding with cooperative communication. In this paper consider convolution encoder. ARQ method can increase the spectral efficiency than conventional cooperative communication because if the received signal from source node is satisfied by the destination preferentially, the destination transmits ACK message to both relay node and source node and then recovers the received signal. Where each relay 1, 2 forwards a punctured portion of receive data. When relay transmit to destination apply STBC the reliability to increase. Moreover this protocol can get better BER performance of receiver using simple comparator. We verified BER performance for the proposed protocol through Monte-Carlo simulation over Rayleigh fading plus AWGN.

Key words : WSN, Coded Cooperation, STBC, ARQ, Comparator

I. 서론

최근 무선 센서 네트워크는 센서 노드가 가진 물리적인 제약에도 불구하고, 대용량 고품질의 서비스가 가능한 통신 시스템의 개발이 요구되어지고 있다. 특히 고속의 데이터 전송과 높은 전송 효율은 현재 무선통신에서 중요한 부분이며, 많은 기술들이 활발히 연구되고 있다.

협력 통신 프로토콜은 단일 안테나를 가진 센서 노드를 이용하여 가상의 MIMO 환경을 구축함으로써 공간 다이버시티를 획득하는 기술로, 데이터를 주고받는 소스 노드와 목적지 노드의 사이에 위치한 노드를 중계 노드로 이용하여 소스 노드로부터 수신한 신호를 목적지 노드로 재전송한다. 목적지 노드는 소스 노드와 중계 노드로부터 각각의 신호를 수신하게 되고, 수신 신호의 합성을 통해 프로토콜의

「이 논문은 2007년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2007-000-20400-0).」
울산대학교 전기전자정보시스템공학부(Department of Electronic Engineering, University of Ulsan)

· 논문 번호 : 20090128-011

· 수정완료일자 : 2009년 5월 18일

신뢰성을 높이는 기술로 무선 센서 네트워크에서 요구되는 다양한 문제점을 해결할 수 있는 프로토콜로 많은 연구가 이루어지고 있다.

시공간 블록 부호화(STBC) 방식은 시공간 부호화된 신호를 다중 안테나를 통해 전송함으로써 수신단에서 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 대표적인 다중 안테나 기술로 Alamouti에 의해 처음 제안되었으며, 2개의 송신 안테나에만 적용이 가능하였으나, 이후 Tarokh에 의해 3개 또는 4개의 송신 안테나에 적용하도록 확장되었다. 직교 코드(orthogonal code)를 이용하여 간단한 선형 계산만으로 신호 검출이 가능하다는 장점이 있는 반면 안테나가 3개 이상인 경우 전송율이 감소한다는 단점이 있지만 현재까지 다양하게 연구되고 있는 분야이다^{[1]-[4]}.

협력 통신의 기본적인 전송 방식은 릴레이 방식에 따라 증폭 후 재전송(AF), 복호 후 재전송(DF), 선택적 릴레이(selection relaying), 부호화 협력 전송(coded cooperation)으로 분류할 수 있다. 이와 같은 전송 방식은 항상 릴레이를 사용하기 때문에 직접 전송에 비해 주파수 효율이 감소하는 단점을 가지고 있다. 따라서 참고문헌 [6]에서는 제안된 ARQ 개념을 도입하여 주파수 효율을 향상시킨 Incremental 릴레이 방식의 협력 통신이 제안되었다. 참고문헌 [5]에서는 협력 ARQ로 명명하였고 릴레이에서 목적지로부터 NACK 메시지를 수신할 경우 3가지 시나리오에 따라 중계 노드가 목적지 노드로 재전송하는 방식을 제안하였고, 아웃티지(outage) 확률 관점에서 기존 기법과 함께 성능을 분석하였다. 부호화 협력 통신은 물리층에서 이루어지는 부호화를 적용한 알고리즘으로 프로토콜의 신뢰성을 높일 수 있는 장점을 가지는 프로토콜로 David Chase에 의해서 처음으로 소개되었다^[7]. 또한, 기본적인 부호화 협력 통신 방법에서 중계 노드에 평처링 기법을 적용하여 주파수 효율을 높이는 기법과 STC 기술을 적용한 연구도 활발히 진행 중이다^{[8]-[10]}.

본 논문에서는 부호화 협력 통신을 사용하여 얻어진 여분의 시간 슬롯에 시공간 블록 부호화(STBC) 기술을 적용하여 향상된 BER을 획득하기 위하여 ARQ를 이용한 1-2-1 부호화 협력 통신 프로토콜을 제안한다. 두 개의 중계 노드는 STBC 기술을 사용하여 목적지 노드로 데이터를 전송하기 때문에 제안하는

프로토콜은 더 높은 다이버시티를 획득할 수 있다. 따라서 무선 채널에서 야기되는 페이딩 현상에 보다 강한 특성을 가지는 장점과 STBC를 적용하기 때문에 하나의 시간 슬롯을 더 사용한다는 단점을 가진다. 그렇기 때문에 본 논문에서는 STBC를 사용함에 따른 주파수 효율의 감소를 최소화할 수 있는 방법으로 ARQ 프로토콜과 중계기에서의 평처링을 사용한다. 또한, 목적지 노드에서는 비터비 복호기의 입력 데이터의 수를 감소시켜 데이터 복잡도를 낮추고, 복구 후 간단한 데이터의 비교를 통하여 프로토콜의 BER 성능을 향상시킨다.

이하 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 시공간 블록 부호화 및 부호화 협력 통신에 대해서 간단하게 설명한다. 3장에서는 제안한 프로토콜의 구성 및 동작 원리에 대해서 설명한다. 4장에서는 다양한 조건에서 제안한 프로토콜의 성능을 비교·분석하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. STBC 및 부호화 협력 통신

2-1 시공간 블록 부호화(STBC)

무선 채널은 전송 과정 중 채널의 상태가 다양하게 변화하고, 그에 따라 신호 감쇄를 초래하는 페이딩 현상을 겪게 된다. 이러한 페이딩 현상은 독립적인 경로를 통해 수신하는 다이버시티를 획득함으로써 극복할 수 있다. Alamouti 기술은 직교 코드를 이용함으로써 수신단에서 선형적인 계산만으로 신호의 복구가 가능하다는 장점을 가진다. Alamouti 방식은 송신 안테나가 2개인 경우에 적용할 수 있는 방법으로 심볼 s_1 과 s_2 에 대한 시공간 부호화 방식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} s_1 & s_2 \\ -s_2^* & s_1^* \end{bmatrix} \quad (1)$$

*는 공액 복수수를 나타내고, 행은 시간 슬롯, 열은 송신 안테나를 의미한다.

수신단에서 수신된 신호 r_0, r_1 은 다음과 같이 표현된다.

$$r_0 = r(t) = h_0 s_1 + h_1 s_2 + n_0 \quad (2)$$

$$r_1 = r(t+T) = -h_0 s_2^* + h_1 s_1 + n_1 \quad (3)$$

h_i 는 경로 i 의 페이딩 계수이고, n_i 은 경로 i 의 AWGN이다.

여기서 $\alpha(t) = \alpha(t+T) = \alpha$ 로 가정한다.

r_0, r_1 를 결합하여 심볼 s_1 과 s_2 로 나누면 다음과 같다.

$$\widehat{s}_1 = h_0^* r_0 + h_1 r_1^* \quad (4)$$

$$\widehat{s}_2 = h_1^* r_0 - h_0 r_1^* \quad (5)$$

식 (4)와 (5)를 ML 검출기를 이용하여 원 신호를 복구할 수 있다. 이와 같이 2개의 안테나를 이용한 STBC 기술은 간단한 선형적인 계산을 통하여 다이버시티를 획득할 수 있는 기술이다^{[1],[2]}.

2-2 부호화 협력 통신

부호화 협력 통신은 그림 1과 같이 협력 통신에 채널 코딩을 결합한 기술로 가장 기본적인 부호 결합 협력 통신의 동작 방법은 다음과 같다. 소스 노드는 보내고자 하는 정보 비트를 채널 부호화하여 부호화된 데이터 N 프레임을 가진다. a_n 은 RCPC(Rate-Compatible Punctured Convolutional Codes) 부호화된 코드워드이다^[1].

$$N = [a_1 a_2 \dots a_n], \quad n = 1, 2, 3 \dots$$

$$N_1 = [a_1 a_3 \dots a_{2n-1}]$$

$$N_2 = [a_2 a_4 \dots a_{2n}] \quad (6)$$

첫 번째 시간 슬롯에 소스 노드는 N 을 전송하고 목적지 노드와 중계 노드는 데이터를 수신한다. 중계 노드는 수신 데이터에 평처링을 통하여 N_1 또는 N_2 로 나눌 수 있다. 두 번째 시간 슬롯에서 중계 노드는 평처링된 데이터 N_1, N_2 또는 수신한 데이터 N 을 목적지 노드로 전송하게 되고 목적지 노드에서는 소스로부터 수신한 N 과 중계 노드로부터 수신한 N, N_1 또는 N_2 를 결합한 뒤 디코딩을 수행하여 원 데이터를 복구하게 된다. 부호화 협력 통신이 가지는 장점은 그림 2를 통하여 확인할 수 있다. 중계 노드가 목적지 노드로 재전송할 때 평처링된 N_1 또는 N_2 만을 목적지 노드로 전송하기 때문에 기존의 협력 통신 방식에 비하여 1/2의 시간만이 필요하다. 목적지 노드에서 N_1 또는 N_2 를 수신하여도 역부호화를 통하여 원 데이터 N 을 복구할 수

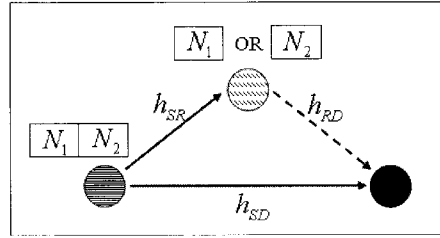
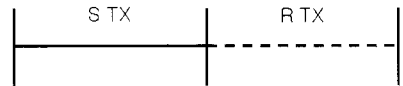
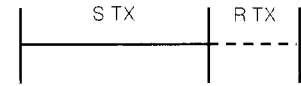


그림 1. 부호화 협력 통신
Fig. 1. Coded cooperative communication.



(a) 일반적인 협력 통신
(a) Conventional cooperative communication



(b) 일반적인 부호화 협력 통신
(b) Conventional coded cooperation

그림 2. 협력 통신과 부호화 협력 통신의 TDM 스케줄
Fig. 2. TDM scheduling for cooperative communication and coded cooperation.

있다^{[1],[2]}.

III. 제안하는 프로토콜

본 논문에서 제안하는 프로토콜은 2-2절에서 설명한 부호화 협력 통신 방식을 기초로 하여, 목적지 노드에서 데이터의 수신 여부에 따라 ACK/NACK 메시지를 전송하는 ARQ 프로토콜과 시공간 블록 부호화 기술을 결합한다^[5]. 각 중계 노드에서는 목적지 노드로부터 재전송이 요구될 때, 소스로부터 수신한 데이터를 평처링하여 목적지 노드로 전송하는데, 이때 Alamouti에 의해서 제안된 시공간 블록 부호화(STBC) 방식을 사용한다. 결과적으로 목적지 노드는 소스와 두 개의 중계 노드로부터 데이터를 수신함으로써 기존의 부호화 협력 통신에 비하여 높은 다이버시티를 획득할 수 있다.

제안하는 1-2-1 부호화 협력 통신의 동작 모델은 그림 3과 같고, TDMA(Time Division Multiplexing Access) 방식으로 동작한다. 본 논문에서는 순방향

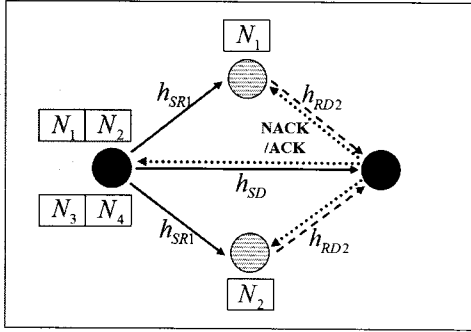


그림 3. 제안하는 1-2-1 부호화 협력 통신
Fig. 3. Proposed 1-2-1 coded cooperative communication.

에러 정정 코드(FEC)로서 많이 이용되는 콘볼루션 부호화 시스템을 고려한다. 현재의 입력과 과거의 데이터 간의 상호 연관성을 이용하여 에러를 검출 및 정정하는 기술로, k 개의 입력에 대해 n 개의 부호어를 생성하게 되는데, 이것은 k/n 으로 표현할 수 있고, 부호율이라 한다. 부호화 과정은 생성 함수(generating function)을 통하여 수행된다. 수신단에서는 ML 비터비 알고리즘을 적용한다. 비터비 복호 알고리즘의 복잡도는 구속장의 길이에 따라 지수적으로 증가하는 단점을 가진다.

협력 통신에서 사용되는 두 개의 시간 슬롯 중 두 번째 시간 슬롯에 STBC를 적용하여 데이터를 전송하기 때문에 총 세 개의 시간 슬롯을 필요로 한다. 첫 번째 시간 슬롯에서는 소스 노드가 중계 노드와 목적지 노드로 데이터를 전송한다. 이때 소스 노드가 전송하는 데이터는 부호를 k/n 로 콘볼루션 부호화된 데이터 프레임(N)이다. 두 개의 중계 노드와

표 1. 중계 노드 1, 2의 데이터 전송
Table 1. Transmit data at Relay 1, 2.

	시간 슬롯	
	두 번째, t	세 번째, $(t+T)$
Relay 1	N_1	$-N_2^*$
Relay 2	N_2	N_1^*

목적지 노드는 이를 수신하고 목적지 노드에서는 CRC를 이용하여 수신 데이터의 오류 여부를 확인한다. 만약 오류가 발생하였을 경우 중계 노드로 NACK(Negative Acknowledgement) 메시지를 전송하여 재전송을 요청하고, 오류가 발생하지 않았을 경우에는 ACK(Acknowledgement) 메시지를 전송함과 동시에 데이터 전송은 종료된다.

중계 노드에서는 스스로부터 수신한 데이터에 평치링하여 부호율 $2k/n$ 인 프레임 N_1, N_2 를 각각 생성한다. 본 논문에서 평치링은 스스로부터 수신한 신호의 N_1, N_2 비트를 선택하는 과정이다. 표 1과 같이 두 번째 시간 슬롯에서 STBC 기술을 적용하여 중계 노드 1은 평치링된 데이터를 프레임 N_1 을 전송하고, 중계 노드 2는 N_2 를 전송한다. 세 번째 시간 슬롯에 소스 노드는 $-N_2^*$ 을 중계 노드는 N_1^* 을 목적지로 전송한다. 목적지 노드에서는 MRC로 인한 복잡도를 고려하여 신호들을 결합하지 않는다.

그림 5는 두 번째, 세 번째 시간 슬롯에서 목적지 노드가 수신한 데이터의 처리과정이다. 목적지 노드에서는 두 번째, 세 번째 시간 슬롯에 수신한 데이터는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$r_0 = r(t) = \alpha_{R1D}N_1 + \alpha_{R2D}N_2 + n_0 \quad (7)$$

$$r_1 = r(t+T) = -\alpha_{R2D}N_2^* + \alpha_{R1D}N_1 + n_1 \quad (8)$$

이때 r_0 와 r_1 을 수신한 시간 t 와 $t+T$ 는 동일하다고 가정한다. α_{ij} 는 i 와 j 사이의 페이딩 계수이고, n_{ij} 는 i 와 j 사이의 AWGN이다.

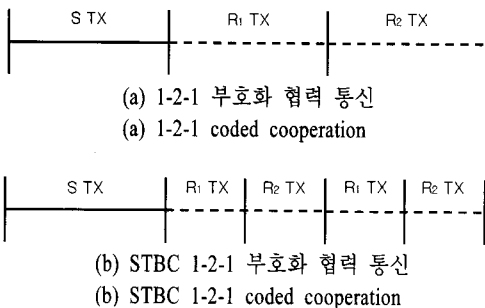


그림 4. 1-2-1 부호화 협력 통신과 제안한 프로토콜의 TDM 스케줄

Fig. 4. TDM scheduling for 1-2-1 coded cooperation and proposed protocol.

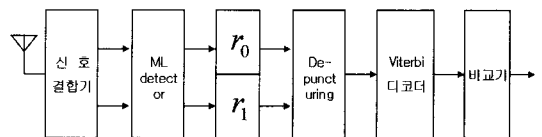


그림 5. 목적지 노드의 블럭도
Fig. 5. Block diagram of destination.

두 시간 슬롯에서 다음과 같이 r_0, r_1 을 결합하여 N_1, N_2 를 구할 수 있다.

$$\widehat{N}_1 = \alpha^*_{R1D} r_0 + \alpha_{R2D} r_1^* \quad (9)$$

$$\widehat{N}_2 = -\alpha^*_{R2D} r_0 + \alpha_{R2D} r_1^* \quad (10)$$

다음으로 디펄처링을 통하여 N_1, N_2 를 결합하여 원래의 데이터와 동일한 데이터 프레임 N_R ($N_R = N_1 + N_2$)을 생성한다. 결론적으로 N_R 은 부호율 k/n 으로 소스가 전송한 원 데이터와 동일한 부호율을 가진다. 그리고 비터비 복호기를 사용하여 원 데이터를 복구한다. 제안한 프로토콜은 기존 부호화 협력 통신과 다르게 목적지 노드에서 부호율 k/n 인 수신 신호가 비터비 복호기의 입력이 되므로 기존의 프로토콜에 비하여 구축장의 길이가 짧기 때문에 목적지 노드에서 비터비 복호기의 복잡도가 낮아지는 장점을 가진다. 다음으로 CRC 부호를 이용한 비교기를 거치게 된다. 이 비교기의 동작은 중계 노드 1, 2로부터 수신된 데이터를 복구하였을 때의 오류 발생 여부를 비교하여 오류가 발생하지 않은 쪽의 데이터를 최종 선택한다. 비교기를 통과하는 이유는 부호화 협력 통신의 특성상 각 중계 노드로부터 수신한 N_1 또는 N_2 만으로도 원래의 N 을 복구할 수 있기 때문이다. 이때, 두 개의 중계 노드로부터 수신한 데이터에 모두 오류가 발생하였을 경우에는 중계 노드로부터 수신한 데이터를 결합하여 복구한다. 비교기의 사용 유/무에 대한 프로토콜의 성능은 4장에서 언급한다. 본 프로토콜은 두 개의 중계 노드를 사용함으로써 수신단에서는 최소 2 이상의 다이버시티 계수를 획득할 수 있으며, 협력 통신에서 많이 사용되는 MRC, EGC, SC 등의 신호 결합 기법을 사용하지 않음으로써 수신단의 복잡도를 낮출 수 있다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 장에서는 제안한 프로토콜의 시뮬레이션을 통한 성능을 분석한다. 제안한 프로토콜은 일반적인 협력 전송과 마찬가지로 소스 노드와 목적지 노드 사이의 거리를 $d_{SD}=1$ 로 일반화하였으며, 중계 노드와 목적지 노드간의 거리는 $d_{RD}=1-d_{SR}$ 로 나타내었다. 본 논문에서는 경로 손실 $\beta=3$ 인 경우를

고려하였다. 프레임당 BPSK 변조된 128 비트의 정보를 가진다. 부호어 생성 함수로는 부호율 1/2에 자유거리(d_{free}) 6인 $G=[15\ 17]$ 콘볼루션 부호기를 사용하였고, 부호화되어 한 프레임에 256 비트가 전송된다. 목적지 노드에서는 비터비(viterbi) 복호기를 이용한다. 비교되어지는 프로토콜들과의 공정한 비교를 위하여 모든 프로토콜의 총 전송 전력은 P_T 로 하였다. 제안한 프로토콜 경우 전송 전력 P_T 를 기준으로 소스 노드의 전송 전력은 $P_S = P_{R_1} = P_{R_2} = P_T/2$ 로 하였고, 중계 노드는 두 개의 시간 슬롯동안 각각 두 번씩 전송하므로 $P_{R_1} = P_S/4$ 로 하였다. 모든 경로에 대한 채널 환경은 한 심볼 주기 동안 변하지 않고 심볼 주기에 따라 독립적으로 변하는 느린 레일리 페이딩과 거리에 따른 경로 손실의 영향을 고려한 경로 이득을 함께 고려하였으며 상호 독립적이다. 그리고 CRC는 완벽하다고 가정한다. 간단한 표기를 위하여 본 절에서는 S, R, D로 각 노드를 표현한다.

그림 6에서는 제안한 프로토콜과 직접 전송, AF, DF를 사용한 1-1-1 부호화 협력 통신, AF를 사용한 1-2-1 부호화 협력 통신의 BER 성능을 비교하였다 ($d_{SR}=0.5$). AF를 사용한 1-2-1 부호화 협력 통신은 중계 노드 1, 2에서 펄처링된 데이터 N_1, N_2 를 각각 한 번씩 전송한다.

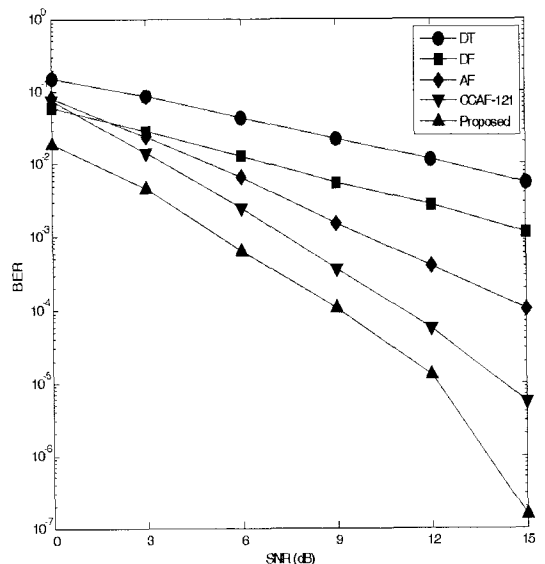


그림 6. 제안한 프로토콜의 BER 성능 곡선
Fig. 6. BER performance comparison of proposed protocol and DT, DF, AF, CCAF 1-2-1.

D에서는 소스로부터 수신한 N_S 와 R로부터 수신한 N_R 를 결합하여 부호율 1/4인 데이터를 비터비 복호기를 이용하여 복구한다. BER이 10^{-3} 인 지점에서 제안한 프로토콜은 하나의 중계 노드를 사용한 DF, AF와 비교하였을 때 5 dB 이상의 전력 이득을 가진다. 또한, CCAF-121 프로토콜에 비하여 약 2 dB의 전력 이득을 가진다. 제안한 프로토콜이 더 나은 성능을 보이는 이유는 두 개의 중계 노드가 각각 평처링된 데이터를 STBC 기술을 적용하여 목적지로 데이터를 전송하기 때문이다. 2 dB의 성능 향상을 보이지만 목적지 노드의 복잡도 관점에서 본다면, 기존의 부호화 협력 통신에 비하여 구축장의 길이가 짧아지기 때문에 제안한 프로토콜은 충분한 효율성을 가진다고 볼 수 있다.

그림 7은 제안한 프로토콜의 거리에 따른 BER 성능 곡선이다. 일반적으로 협력 통신은 S-R의 거리가 0.3일 경우에 가장 좋은 성능을 나타낸다. 본 프로토콜 역시 S-R이 0.3인 경우의 BER 성능이 가장 뛰어난 성능을 보인다. $d_{SR}=0.5$ 인 경우와 비교하였을 때 약 3dB 가량 성능이 나아짐을 확인할 수 있고 SNR이 높아질수록 $d_{SR}=0.3$ 인 경우의 성능이 확연히 좋아짐을 볼 수 있다. 그 이유는 일반적으로 협력 통신은 S-R의 채널 환경에 따라 프로토콜의 성능은 매우 민감하기 때문에 d_{SR} 가 가까울수록 S-R 사이

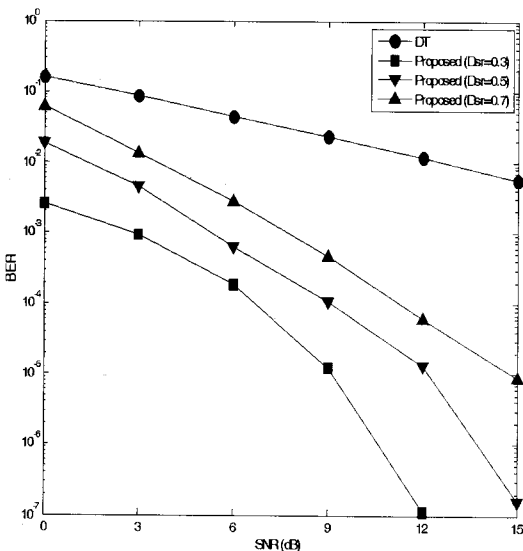


그림 7. 제안한 프로토콜의 거리에 따른 BER 성능 곡선

Fig. 7. BER performance comparison of d_{SR} .

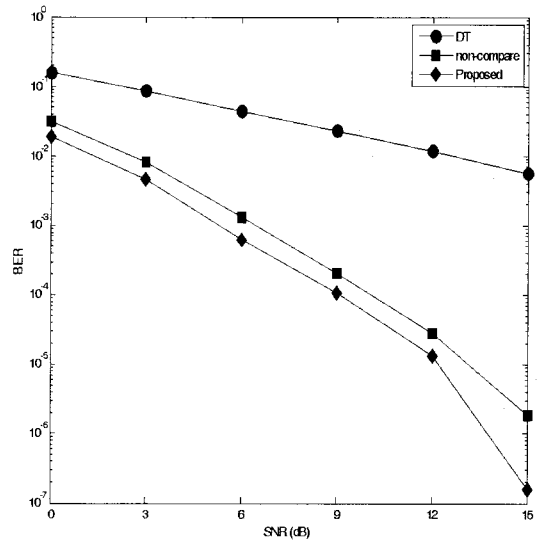


그림 8. 비교기 사용에 따른 BER 성능 곡선

Fig. 8. BER performance comparison of comparator at destination.

의 채널 환경이 더 좋다는 것을 의미하기 때문이다.

그림 8은 제안한 프로토콜에서 비교기의 사용 유무에 따른 BER 성능 곡선이다. 3절에서 언급한 중계 노드 1, 2로부터 수신한 N_1, N_2 를 결합하여 비터비 디코딩을 수행하지 않고, 각각 디코딩된 데이터를 CRC를 이용한 오류를 검사를 통하여 오류가 발생하지 않은 쪽의 데이터를 최종 선택한 경우의 성능이 작게나마 향상됨을 알 수 있다. 제안한 프로토콜의 비교기는 아주 간단한 알고리즘으로 동작되기 때문에 아주 효율적이라고 볼 수 있다. 제안한 프로토콜이 높은 SNR에서 성능이 더 좋아지는 이유 역시 데이터 복구시 최종적으로 거치는 비교기의 영향으로 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 STBC와 ARQ를 이용한 1-2-1 부호화 협력 통신을 제안하였다. 제안하는 프로토콜은 중계 노드에서 STBC를 사용하기 때문에 하나의 시간 슬롯을 더 사용하지, STBC 기술은 수신단에서 선형적인 계산만으로 신호의 복구가 가능하다는 장점을 가지고, 수신 데이터의 오류 여부에 따라 재전송을 요구하는 ARQ를 사용함으로써 동일한 전송전력을 사용하였을 때 기존의 부호화 협력 통신 방식

보다 신뢰성 높은 데이터 전송이 가능하게 하였다. 또한, 일반적인 협력 통신에서 사용되는 MRC, SC, EGC 등의 결합 기법을 사용하지 않고 수신단에서 디펄처링을 통하여 데이터를 복구하는 방법을 사용한다. 기존의 부호화 협력 통신에 비하여 구축장의 길이가 짧아지기 때문에 목적지 노드에서 비터비 복호를 수행함에 있어 복잡도가 낮아지고 간단한 비교기를 사용함으로써 BER 성능을 높이는 결과를 얻을 수 있다는 것을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

참 고 문 헌

[1] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. R. Calderbank, "Space-time block coding for wireless communications: performance results", *IEEE Trans. on Selected Areas in Commun.*, vol. 17, Issue 3, pp. 451-460, Mar. 1999.

[2] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 16, no. 8, pp. 1451-1458, Oct. 1998.

[3] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity-Part I: system description", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, pp. 1927-1938, Nov. 2003.

[4] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity-Part II: Implementation aspects and performance analysis", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, pp. 1939-1948, Nov. 2003.

[5] J. N. Laneman, David N. C. Tse, and Gregory W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior", *Comm., 2006 ICC '06.*, vol. 8, pp. 3608-3614, Jun. 2006.

[6] S. LIN, D. J. Costello, and M. J. Miller, "Automatic repeat-request error control schemes", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 12, pp. 5-17, Dec. 1984.

[7] David Chase; "Code-combining a maximum likelihood decoding approach for combining an arbitrary number of noisy packets", *IEEE Transactions on Communications*, vol. com-33, no. 5, pp. 385-393, May, 1985.

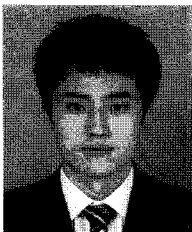
[8] M. Janani, A. Hedayat, T. E. Hunter, and A. Nosratinia, "Coded cooperation in wireless communications: Space-time transmission and iterative decoding", *IEEE Transaction on Signal Processing*, vol. 52, pp. 362-371, Feb. 2004.

[9] Z. Yi, I. -M. Kim, "Single-symbol ML decodable distributed stbcs for cooperative networks", *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 53, no. 8, pp. 2977-2985, Aug. 2007.

[10] H. Mheidat, M. Uysal, and N. Al-Dhahir, "Equalization techniques for distributed space-time block codes with amplify-and-forward relaying", *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 55, no. 5, pp. 1839-1852, May 2007.

[11] J. Hagenauer, "Rate-compatible punctured convolutional codes(RCPC codes) and their applications", *IEEE Trans. on Communications*, vol. 36, no. 4, pp. 389-400, Apr. 1988.

홍 성 욱



2008년 2월: 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 (공학사)
 2008년 3월~현재: 울산대학교 전기전자정보시스템공학과 석사학위과정
 [주 관심분야] 변복조 기술, 부호화 기술, 협력 통신, MIMO

공 형 윤



1989년 2월: New York Institute of Technology 전자공학과 (공학사)
 1991년 2월: Polytechnic University 전자공학과 (공학석사)
 1996년 2월: Polytechnic University 전자공학과 (공학박사)
 1998년~현재: 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수

[주 관심분야] 모듈레이션, 채널 부호화, 검파 및 추정 기술, 협력 통신, 센서 네트워크