

특집논문-10-15-2-08

계층변조를 적용한 협력 중계 통신시스템의 최적 전송기법

전민철^{a)}, 이수경^{a)}, 서보석^{a)†}

Optimal Transmission Method in Cooperative Relay Communication Systems with Hierarchical Modulation

Min-Cheol Jeon^{a)}, Su-Kyoung Lee^{a)}, and Bo-Seok Seo^{b)†}

요 약

이 논문에서는 OFDM(orthogonal frequency division multiplexing)의 부반송파에 계층변조를 적용한 협력 중계 통신시스템의 성능을 분석한다. 협력 중계 통신시스템의 전송구조는 두 개의 시간 슬롯으로 구성된다. 첫 번째 시간 슬롯에서는 송신단이 변조된 신호를 중계기와 수신단으로 동시에 전송한다. 중계기는 송신단으로부터 수신한 신호를 복조하고 재변조 하여 두 번째 시간 슬롯 동안 재변조된 신호를 수신단으로 전송한다. 협력 중계 통신시스템에서 송신단-중계기 채널과 송신단-수신단 채널의 SNR(signal to noise power ratio)은 다르다. 송신단은 두 채널의 SNR에 적합한 변조방식을 동시에 이용하기 위해 계층변조 방식을 사용한다. 계층변조를 사용하는 협력 중계 통신시스템의 비트 오류율(bit error rate)은 계층변조의 비균등 비율에 의해 달라진다. 이 논문에서는 기존의 계층변조 방식의 비균등 비율에 대한 비트 오류 값을 이용하여 계층변조를 적용한 협력 중계 통신시스템의 비트오율을 유도하고, 모의실험을 통해 최소 BER을 얻을 수 있는 계층변조의 최적 비균등 비율을 찾는다. 또한 중계기의 위치에 따라 제한한 시스템의 성능을 분석하고 이 결과를 바탕으로 시스템의 성능을 최대화할 수 있는 중계기의 위치를 찾는다.

Abstract

In this paper, we analyze the performance of the cooperative relay communication system which uses orthogonal frequency division multiplexing(OFDM) with hierarchical subcarrier modulation. In the cooperative relay communication system, data transmission is accomplished in two time slots. In the first time slot, the source broadcasts the signal to the relay and to the destination. The relay demodulates the received signal, remodulates and forwards it to the destination in the second time slot. The source uses hierarchical modulation for subcarriers to deal with the signal-to-noise power ratio (SNR) difference in the source-relay and source-destination links. The bit error rate (BER) of the relay transmission system with hierarchical modulation depends on the hierarchical modulation parameter. First, we derive the relationship between BER and the parameter, and find the optimal parameter giving the minimum BER through computer simulations. Then, we analyze the performance of the proposed cooperative relay communication system according to the relay location. From this results, we find optimal relay location to maximize the BER performance.

Keyword : cooperative relay communication system, hierarchical modulation, OFDM

a) 충북대학교 전자공학과

Department of Electronics Engineering, Chungbuk National University

b) 충북대학교 전자공학과 컴퓨터정보통신연구소

Research Institute for Computer and Information Communication, Chungbuk National University

† 교신저자 : 서보석(boseok@cbnu.ac.kr)

※ 이 논문은 2008년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

· 접수일(2009년12월31일), 수정일(2010년2월3일), 게재확정일(2010년2월3일)

1. 서론

최근 무선 통신 시스템에서 셀 커버리지 확대와 스펙트럼 효율을 늘리기 위해 중계기(relay)가 사용되고 있다. 일반적으로 협력 중계 통신시스템은 송신단(source), 중계기, 수신단(destination)으로 구성된다. 협력 중계 통신시스템의 기본적인 전송구조는 두 개의 시간 슬롯이 필요하다. 첫 번째 시간 슬롯에서는 송신단이 변조된 신호를 중계기와 수신단으로 동시에 전송한다. 중계기는 수신된 신호를 복조하고 재변조해서 두 번째 시간 슬롯에 재변조된 신호를 수신단으로 전송한다. 협력 중계 통신시스템은 추가적인 시간 슬롯이 필요하지만 송신단-중계기 채널과 중계기-수신단 채널의 신호 대 잡음 전력비(signal to noise power ratio, SNR)가 송신단-수신단 채널의 SNR보다 높기 때문에 송신단에서 수신단으로 직접 전송하는 방법보다 더 높은 처리율(throughput)을 나타낼 수 있다.

협력 중계 통신시스템의 종류는 중계기의 역할에 따라 다양하다. 그 중 대표적인 전송 방법으로는 AF(amplify & forward)와 DF(decode & forward)가 있다^[1]. AF 방식은 첫 번째 시간 슬롯에서 송신단으로부터 수신한 신호를 중계기가 단순히 증폭만 하여 두 번째 시간 슬롯에 수신단으로 전송하는 간단한 구조이다. 하지만 중계기에서 수신신호와 함께 잡음도 같이 증폭되는 단점이 있다. DF 방식은 중계기가 수신신호를 재생하는 전송구조이다. 중계기는 송신단으로부터 수신한 신호를 복조와 복호 과정을 거쳐 데이터를 추정하고, 추정한 데이터를 재부호화와 재변조하여 두 번째 시간 슬롯동안 수신단으로 전송한다^[2]. 이 전송구조들은 중계기에서 서로 다른 알고리즘을 사용하고 있지만 추가적인 시간 슬롯이 필요하다는 공통점이 있다.

무선 브로드캐스트(broadcast)의 특성은 송신단이 중계기와 수신단에 동시에 신호를 전송할 수 있게 한다. 하지만 송신단-중계기 채널과 송신단-수신단 채널의 SNR은 다르다. 이로 인해 송신단은 변조레벨을 중계기와 수신단 중 어느 곳에 맞춰야 하는지를 결정해야 한다. 이 문제를 해결하기 위해 계층변조가 사용된다^[3]. 계층적으로 변조된 송신신호는 중계기에서 높은 변조레벨로 인식하고, 수신단에서는 낮은 변조레벨로 인식한다.

이 논문에서는 계층변조를 사용하는 협력 중계 통신시스

템의 비트 오류율(bit error rate, BER) 성능을 분석한다. 계층변조를 사용하는 시스템의 BER은 계층변조 파라미터의 값에 의해 달라진다. 이 논문에서는 협력 중계 통신시스템에서 BER과 계층변조 파라미터의 관계를 유도하고, 모의실험을 통해 최소 BER을 얻을 수 있는 최적 계층변조 파라미터 값을 찾는다. 또한 이를 바탕으로 분산된 여러 개의 중계기가 있는 경우 시스템의 성능을 높일 수 있는 중계기를 선택하고, 계층변조를 사용하는 송신단에서는 최적의 α 값을 찾는다.

II. 시스템 모델

이 논문에서는 OFDM(orthogonal frequency division multiplexing)의 부반송파에 계층변조를 적용한 협력 중계 통신시스템을 고려한다. 중계기는 반이중방식(half duplex)으로 동작한다고 가정한다. 중계기의 사용으로 인해 송신단에서 수신단으로 데이터를 전송하려면 두 개의 시간 슬롯이 필요하다. 첫 번째 시간슬롯에서 송신단은 중계기와 수신단으로 동시에 신호를 전송하며, 두 번째 시간 슬롯에서는 중계기가 송신단으로부터 수신한 신호를 수신단으로 재전송한다. 그림 1은 이 논문에서 사용하는 협력 중계 통신시스템의 전송구조를 나타낸다.

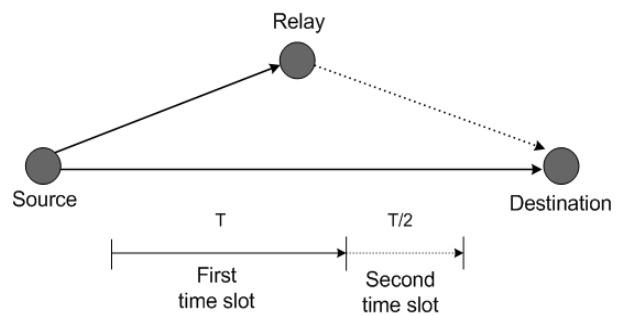


그림 1. 협력 중계 통신시스템의 전송 구조

Fig. 1. Transmission structure of the cooperative relay communication system

그림 2는 OFDM의 부반송파에 계층변조를 사용한 협력 중계 통신시스템의 블록도를 나타낸다. 그림 2에서 **d**는 송신단으로부터 수신단으로 전송되는 데이터 비트를 나타낸

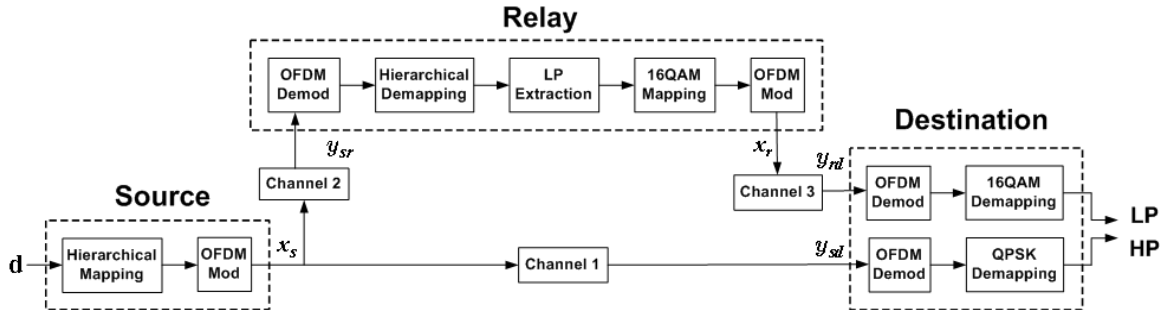


그림 2. 계층변조를 적용한 중계기 통신 시스템의 블록도
 Fig. 2. Block diagram of the cooperative relay communication from the source to the destination with hierarchical modulation

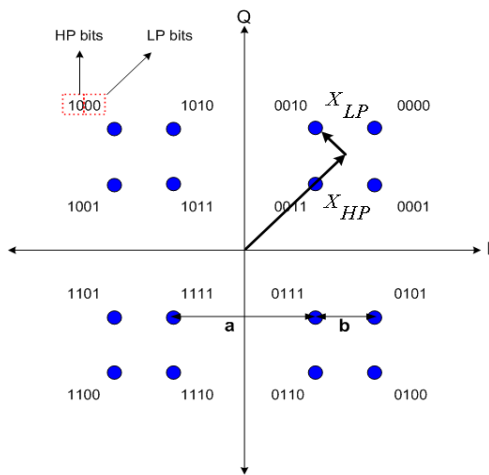


그림 3. 16-QAM 계층변조의 신호점
 Fig. 3. Signal constellations of the hierarchical modulated 16-QAM symbols

다. 송신단은 그레이 부호(Gray code)를 적용한 16-QAM (quadrature amplitude modulation) 계층변조를 사용하여 데이터 비트를 심볼로 매핑한다.

그림 3과 같이 계층적으로 변조된 16-QAM 심볼의 신호 점(signal constellation)에서 앞의 두 개 비트는 사분면의 위치를 결정하며, 뒤의 두 개 비트는 해당 사분면에서의 QPSK 심볼을 나타낸다. 중계기에서는 계층변조된 심볼을 16-QAM 심볼로 간주하여 복조하며, 수신단에서는 QPSK (quadrature phase-shift keying) 심볼로 간주하여 복조한다. 즉 중계기는 4개 비트 전부를 복조하며, 수신단은 앞의 두 비트만 복조한다. n번째 OFDM 심볼의 k번째 부반송파에 전송되는 16-QAM 계층변조 심볼은 다음과 같이 나타낼

수 있다.

$$X(n,k) = X_{HP}(n,k) + X_{LP}(n,k) \tag{1}$$

여기서, $X_{HP}(n,k)$ 는 HP(high priority) QPSK 심볼을 나타내며, $X_{LP}(n,k)$ 는 LP(low priority) QPSK 심볼을 나타낸다.

계층변조는 비균등한 신호점을 사용한다. 비균등 비율을 $\alpha = (a/b)$ 로 표현하기로 한다. 그림 3과 같이 a 는 인접 사분면의 심볼 사이의 최소거리를 나타내고, b 는 한 사분면에서 인접한 심볼 사이의 최소거리를 나타낸다. α 가 커질수록 b 가 작아져 각 사분면에 QPSK 신호점이 서로 모이게 된다. 만약 주어진 CNR(carrier to noise ratio)에서 α 가 커진다면 a 가 커져 HP 데이터의 BER은 감소하는 반면에 b 는 작아져 LP 데이터의 BER은 증가한다^{[4][5]}.

중계기는 송신단으로부터 수신한 신호 y_{sr} 를 복조한 후 LP 데이터 비트만 추출한다. 추출한 LP 데이터 비트를 16-QAM으로 변조한 후 OFDM 변조기를 통해서 첫 번째 시간슬롯 길이의 절반만 사용하여 두 번째 시간슬롯에서 수신단으로 전송한다. 16-QAM으로 전송가능한 이유는 중계기-수신단이 서로 가까워서 채널의 SNR이 높기 때문이다.

수신단은 두 개의 시간 슬롯을 통해서 두 개의 신호를 수신한다. 그림 2와 같이 y_{sd} 는 첫 번째 시간 슬롯에서 송신단으로부터 수신된 신호이며, y_{rd} 는 두 번째 시간슬롯동안 중계기로부터 수신된 신호이다. 수신단은 y_{sd} 를 QPSK 변조된 OFDM 심볼로 간주하므로 y_{sd} 로부터 HP 데이터 비트만 추정한다. LP 데이터 비트는 y_{rd} 로부터 OFDM 복

조와 16-QAM 디매핑 과정을 통하여 추정된다. 즉, 수신단은 첫 번째 시간슬롯에서는 송신단으로부터 HP비트만 수신하고, 나머지 LP 비트는 두 번째 시간슬롯동안 중계기로부터 수신한다.

그림 2에서 channel 1, channel 2, channel 3은 각각 송신단과 수신단, 송신단과 중계기, 중계기와 수신단 사이의 채널을 나타낸다. 이 논문에서는 이 채널을 모두 AWGN(additive white Gaussian noise) 채널이라고 가정한다. 각 채널의 경로손실지수(path-loss exponent)는 2.7로 가정했으며, 중계기의 위치는 송신단과 수신단의 가운데에 있다고 가정한다. 이로부터 송신단-중계기 채널과 중계기-수신단 채널의 SNR을 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} SNR_{sr} &= SNR_{rd} = SNR_{sd} + (10)(2.7)\log_{10}(2) \\ &= SNR_{sd} + 8.13 \text{ (dB)} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, SNR_{sd} 는 송신단-수신단 채널의 SNR을 나타낸다.

III. 협력 중계 통신시스템의 성능분석

앞 절에서 설명하였듯이 송신단은 계층변조를 사용하여 중계기와 목적지로 송신신호를 브로드캐스팅 한다. 본 절에서는 계층변조를 사용하는 협력 중계 통신시스템의 BER을 유도하고, 이를 바탕으로 협력 중계 통신시스템의 성능을 분석한다.

1. 협력 중계 통신시스템의 BER

계층변조를 사용하여 송신단에서 수신단으로 직접 전송하는 시스템의 BER은 많은 논문에서 연구되었다. 이 절에서는 AWGN 채널에서 16-QAM 계층변조 시스템의 성능에 대한 기존의 연구^{[6][7]}를 바탕으로 계층변조를 협력 중계 통신시스템에 적용한 경우의 BER을 유도한다. 계층변조는 첫 번째 시간슬롯 동안 송신단이 신호를 수신단과 중계기로 동시에 전송할 때 사용된다. 계층변조의 HP와 LP 데이터의 BER을 아래와 같이 α 에 대한 식으로 나타낼 수 있다^{[6][7]}.

$$P_{HP}(\alpha) = \frac{1}{2} Q \left(\sqrt{\frac{SNR}{2 \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha^2} \right)}} \right) \quad (3)$$

$$P_{LP}(\alpha) = Q \left(\sqrt{\frac{SNR}{\alpha^2 + 2\alpha + 2}} \right) \quad (4)$$

여기서 $Q(\cdot)$ 는 Q-함수를 의미한다. 이로부터 제시한 협력 중계 통신시스템의 BER은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_b(\alpha) = \frac{1}{2} [P_{srd}(\alpha) + P_{sd}(\alpha)] \quad (5)$$

여기서 $P_{srd}(\alpha)$ 는 두 개의 시간 슬롯 동안 송신단에서 중계기를 통하여 수신단으로 전송되는 LP 데이터의 BER을 나타내며, $P_{sd}(\alpha)$ 는 첫 번째 시간 슬롯동안 송신단에서 수신단으로 직접 전송되는 HP 데이터의 BER을 나타낸다. 중계기에서는 16-QAM 계층변조 신호를 QPSK 신호로 간주하므로 $P_{sd}(\alpha)$ 는 $P_{HP}(\alpha)$ 와 같다. 따라서 다음과 나타낼 수 있다.

$$P_{sd}(\alpha) = \frac{1}{2} Q \left(\sqrt{\frac{SNR_{sd}}{2 \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha^2} \right)}} \right) \quad (6)$$

$P_{srd}(\alpha)$ 는 중계기에서 오류가 발생한 데이터가 수신단에서의 오류로 인해 정정이 되지 않는다는 가정 하에 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{srd}(\alpha) &= 1 - [(1 - P_{sr}(\alpha)) \cdot (1 - P_{rd}(\alpha))] \\ &= P_{sr}(\alpha) + P_{rd}(\alpha) - P_{sr}(\alpha) \cdot P_{rd}(\alpha) \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 $P_{sr}(\alpha)$ 는 송신단으로부터 중계기로 전송되는 LP 데이터의 BER을 나타내며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{sr}(\alpha) = Q \left(\sqrt{\frac{SNR_{sr}}{\alpha^2 + 2\alpha + 2}} \right) \quad (8)$$

여기서 SNR_{sr} 은 송신단-중계기 채널의 SNR을 나타낸다.

식 (7)에서 $P_{rd}(\alpha)$ 는 중계기로부터 수신단으로 전송되는 LP 데이터의 BER을 나타낸다. 중계기는 일반적인 16-QAM을 사용하여 수신단으로 신호를 전송하므로 $P_{rd}(\alpha)$ 는 아래와 같이 주어진다^[8].

$$P_{rd}(\alpha) \simeq \frac{3}{4} Q\left(\sqrt{\frac{SNR_{rd}}{5}}\right) \quad (9)$$

식 (8)과 (9)를 이용하여 $P_{srd}(\alpha)$ 를 나타내는 식 (7)을 정리하면 다음과 같다.

$$P_{srd}(\alpha) \simeq Q\left(\sqrt{\frac{SNR_{sr}}{\alpha^2 + 2\alpha + 2}}\right) + \frac{3}{8} Q\left(\sqrt{\frac{SNR_{rd}}{5}}\right) \quad (10)$$

다시 식 (5), (6), (10)을 이용하여 시스템 전체의 BER을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_b(\alpha) = \frac{1}{4} Q\left(\sqrt{\frac{SNR_{sd}}{2\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha^2}\right)}}\right) + \frac{1}{2} Q\left(\sqrt{\frac{SNR_{sr}}{\alpha^2 + 2\alpha + 2}}\right) + \frac{3}{8} Q\left(\sqrt{\frac{SNR_{rd}}{5}}\right) \quad (11)$$

식 (11)로부터 $P_b(\alpha)$ 는 계층변조의 비균등 비율 α 에 의존한다는 것을 알 수 있다. 이를 바탕으로 협력 중계 통신시스템에서 최소 BER을 나타내는 α 값을 찾을 수 있다. 하지만 식 (11)은 닫힌 형태(closed-form)가 아니므로 식으로부터 직접 최적의 α 값을 구하는 방법은 매우 어렵다. 그러므로 모의실험을 통하여 최소 BER을 나타내는 α 값을 찾고, 분산된 여러 개의 중계기가 있을 경우 최적의 위치에 있는 중계기를 선택하는 방법을 알아본다.

2. 시스템의 성능분석

그림 4에서는 앞 절에서 유도한 성능 분석방법을 증명하기 위해 모의실험 결과와 유도한 결과를 비교한다. 그림 4는 $\alpha=3$ 인 경우 각 채널과 수신단에서의 BER을 나타내고 있다. SR link, SD link, RD link는 각각 송신단-중계기 채널, 송신단-수신단 채널, 중계기-수신단 채널을 의미하며, total은 수신단에서 두 개의 시간슬롯동안 수신한 데이터의 BER을 나타낸다. 점선은 (11)의 이론적인 결과를 나타내며 실선은 모의실험 결과를 나타낸다. SNR은 송신단-수신단 채널의 SNR을 나타낸다. 그림 4를 살펴보면 모의실험과 이론적인 결과가 5dB 이하의 SNR 일부 구간을 제외하고 거의 일치함을 알 수 있다.

그림 4는 $\alpha=3$ 인 경우 각 채널에 대한 협력 중계통신시스템의 성능을 나타낸다. 점선은 (11)의 이론적인 결과를 나타내며 실선은 모의실험 결과를 나타낸다. SNR은 송신단-수신단 채널의 SNR을 나타낸다. 그림 4를 살펴보면 모의실험과 이론적인 결과가 5dB 이하의 SNR 일부 구간을 제외하고 거의 일치함을 알 수 있다.

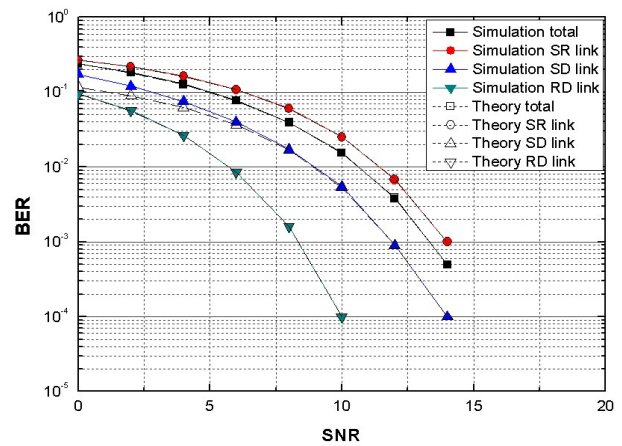


그림 4. $\alpha=3$ 인 경우 각 채널에 대한 협력 중계통신시스템의 성능
Fig. 4. Performance of each link in cooperative relay communication system with $\alpha=3$

그림 5는 협력 중계 통신시스템에서 다른 α 값을 사용했

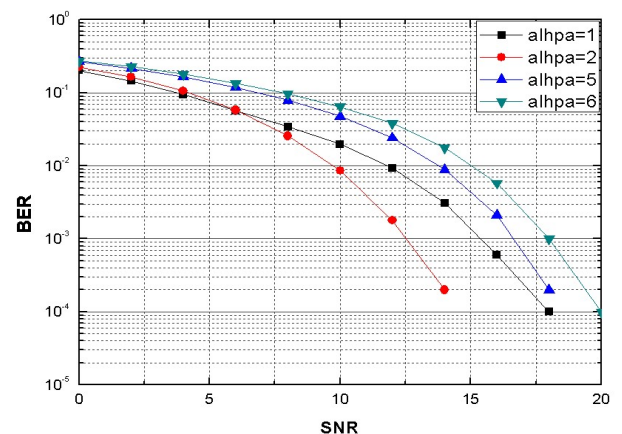


그림 5. α 값이 다른 경우 시스템의 성능 비교
Fig. 5. Performance of cooperative relay communication system for different hierarchical modulation parameter α

을 때 시스템의 BER을 나타낸다. $\alpha=1$ 인 경우는 신호점 사이의 거리가 일정하다는 것을 의미한다. α 가 1, 2, 5, 6인 경우 중, $\alpha=2$ 인 경우가 다른 경우보다 BER이 낮게 나타난다. 그림 5의 결과로부터 α 에 따라 협력 중계 통신시스템의 성능이 달라진다는 것을 알 수 있다. 그러므로 협력 중계 통신시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 최소 BER을 나타내는 최적의 α 값을 찾을 필요가 있다.

그림 6은 송신단-수신단 채널의 SNR이 14dB인 경우 α 에 따른 협력 중계 통신시스템의 BER을 나타낸다. 전체 BER은 HP와 LP 데이터의 BER의 합의 형태로 나타난다. 그림 6을 통해 시스템의 전체 BER은 낮은 SNR 구간에서는 HP 데이터의 BER에 의존하고, 높은 SNR 구간에서는 LP 데이터의 BER에 의존한다는 것을 알 수 있다.

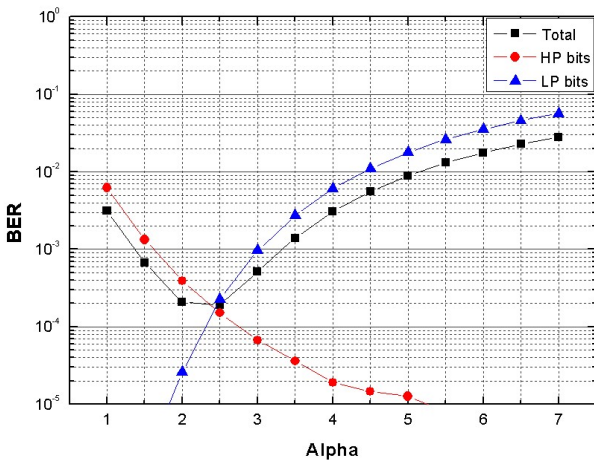


그림 6. $SNR_{sd}=14\text{dB}$ 인 경우 α 대한 시스템의 성능
 Fig. 6. Performance of cooperative relay communication system versus α when $SNR_{sd}=14\text{dB}$

그림 7은 다른 SNR에서 α 에 대한 협력 중계 통신시스템의 BER을 나타내고 있다. 송신단-수신단 채널의 SNR이 10dB에서 15dB로 증가함에 따라 최소 BER을 나타내는 α 값이 2.0에서 2.5로 달라진다. 이것은 높은 SNR 구간에서 LP 데이터의 BER이 HP 데이터의 BER보다 빠르게 감소하기 때문에 최적의 α 값이 채널의 SNR에 따라 달라진다는 것을 의미한다.

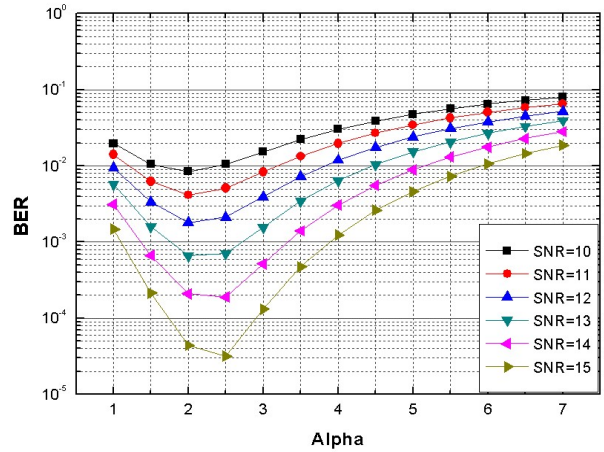


그림 7. SNR_{sd} 이 다른 경우 α 에 따른 BER 성능 비교
 Fig. 7. Performane of cooperative relay communication versus α for different hierarchical modulation parameter α

그림 8은 송신단-수신단 채널의 SNR이 14dB인 경우 중계기의 위치에 따라 최소 BER을 3차원 그래프로 나타낸 것이다. 표 1은 각 중계기의 위치마다 최소 BER을 나타내는 계층변조의 비균등 비율을 나타낸 것이다. 그림 8의 결과 그래프는 여러 개의 중계기가 분산되어 있을 경우 중계기 선택의 기준이 된다. 예를 들어 그림8과 같이 3개의 중

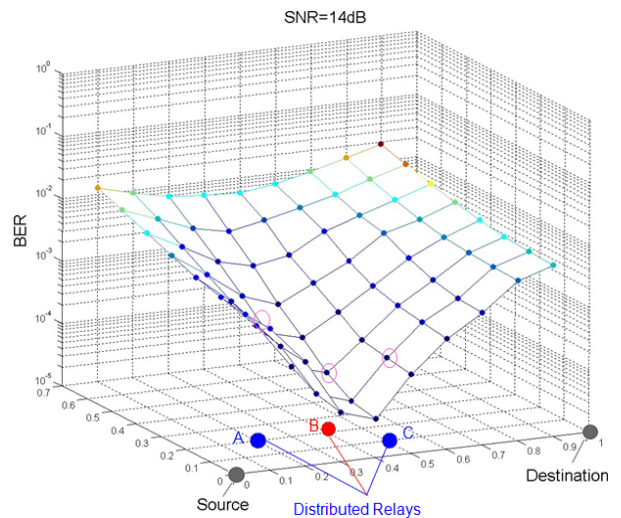


그림 8. $SNR_{sd}=14\text{dB}$ 인 경우 중계기의 위치에 따른 시스템의 성능
 Fig. 8. Performance of cooperative relay communication system for different relay location

계기 A, B, C 가 있는 경우 최소 BER을 나타내는 B를 선택하여 협력 중계 통신 시스템의 성능을 향상 시킬 수 있다.

표 1. $SNR_{sd}=14dB$ 인 경우 각 중계기 위치마다 최소 BER을 나타내는 비균등 비율

Table 1. Optimal α value of cooperative relay communication system for different relay location

$\begin{matrix} y\text{축} \\ \diagdown \\ x\text{축} \end{matrix}$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.1	7	7	6.5	4	3	2	2	1.5
0.2	7	6.5	5	3.5	2.5	2	1.5	1.5
0.3	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1.5
0.4	3	3	2.5	2.5	2	1.5	1.5	1
0.5	2.5	2	2	2	1.5	1.5	1.5	1
0.6	2	2	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1
0.7	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1	1	1
0.8	1.5	1	1	1	1	1	1	1
0.9	1	1	1	1	1	1	1	1

IV. 결론

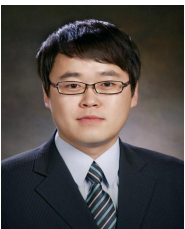
이 논문에서는 계층변조를 사용하는 협력 중계 통신시스템의 성능을 분석하였다. 우선 협력 중계 통신시스템의 BER을 유도하고 모의실험 결과를 통하여 유도한 BER의 타당성을 입증하였다. 이를 바탕으로 계층변조를 사용하는 협력 중계 통신시스템의 BER은 계층변조의 비균등 비율을 나타내는 α 에 의존한다는 것을 확인 할 수 있었으며 제시한 시스템에서 최소 BER을 나타내는 최적의 α 값을 찾을 수 있었다. 또한 중계기의 위치를 변경하여 중계기의 각 위

치에 따라 협력 중계 통신시스템의 성능을 분석하였다. 이 결과는 여러 개의 중계기가 분산되어 있을 경우 중계기 선택의 기준이 된다. 중계기가 선택이 되면 송신단에서는 시스템의 성능을 가장 높일 수 있는 α 값을 사용할 수 있다. 이 결과들은 각 채널마다 채널의 SNR이 다른 협력 중계 통신시스템의 처리율 향상을 기대할 수 있다.

참고 문헌

- [1] A. Nosratinia, T.E. Hunter and A. Hedayat, "Cooperative Communication in Wireless Networks," IEEE Commun. Magazine, vol. 42, no. 10, pp 74-80, Oct. 2004
- [2] J. Nicholas Laneman, David N. C Tse and Gregory W. Wornell, "Cooperative Diversity in Wireless Networks: Efficient Protocols and Outage Behavior," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 50, no. 12, pp. 3062-3080, Dec. 2004.
- [3] Christoph Hausl and Joachim Hagenauer, "Relay Communication with Hierarchical Modulation," IEEE Commun. Letters, vol. 11, no. 1, pp. 64-66, Jan. 2007.
- [4] Hong Jiang and Paul A. Wilford, "A Hierarchical Modulation for Upgrading Digital Broadcast Systems," IEEE Trans. Broadcasting, vol. 51, no. 2, pp. 223-229, June 2005.
- [5] Sung-Hoon Kim, Yang-Su Kim, Jong-Soo Lim, Chieteuk Ahn, Un-Rak Choi, and Bo-Seok Seo, "Design of the Channel Estimation Algorithm for Advanced Terrestrial DMB System," IEEE Trans. Broadcasting, vol. 54, no. 4, pp. 816-820, Dec. 2008.
- [6] Pavan. K. Vitthaladevuni and Mohamed Slim Alouini, "A Recursive Algorithm for the Exact BER Computation of Generalized Hierarchical QAM Constellations," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 49, no. 1, pp. 297-307, Jan. 2003.
- [7] 최운락, 서보석, "계층변조 시스템에서 신호의 우선순위를 이용한 블라인드 등화," 한국콘텐츠학회논문지, 제7권, 제 12호, pp. 254-261, 2007년 12월.
- [8] John G. Proakis, Digital communications, Mc Graw Hill, Fourth Ed. 2001.

저 자 소 개



전민철

- 2008년 2월 : 충북대학교 전자공학과(공학사)
 - 2008년 2월 ~ 현재 : 충북대학교 전자공학과 석사과정
 - 주관심분야 : OFDM, 적응신호처리, 협력통신

저 자 소 개



이 수 경

- 2005년 2월 : 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부(공학사)
- 2009년 9월 ~ 현재 : 충북대학교 전자공학과 석사과정
- 주관심분야 : OFDM, 적응신호처리



서 보 석

- 1987년 2월 : 서울대학교 전자공학과(공학사)
- 1989년 2월 : 서울대학교 전자공학과(공학석사)
- 1997년 2월 : 서울대학교 전자공학과(공학박사)
- 1998년 3월 ~ 1999년 8월 : 삼성전자
- 1999년 9월 ~ 2004년 8월 : 고려대학교 연구교수
- 2004년 9월 ~ 현재 : 충북대학교 전자공학과 부교수
- 주관심분야 : OFDM, 디지털 TV, 채널등화