

분산 릴레이 시스템에서 계층적 변조를 이용한 성능 향상

정희원 최 두 환*, 강 동 관*, 박 재 현*, 종신회원 김 덕 경*

Performance Enhancement using Hierarchical Modulation in Distributed Relaying Systems

Du-hwan Choi*, Dong-kwan Kang*, Jae-hyun Park* *Regular Members,*
Duk Kyung Kim* *Lifelong Member*

요 약

기존의 무선 통신 시스템에서 신호의 수신 범위를 늘리고 수율을 증가시키기 위해 릴레이를 이용하는 방식이 다양하게 고려되고 있다. 하지만, 릴레이를 이용하는 방식은 변조 방식에 따라 제한된 수신 범위를 갖고 릴레이가 추가됨에 따라 추가적인 시간슬롯이 요구되는 단점이 있다. 본 논문에서는 계층적 변조방식과 두 개의 분산된 릴레이를 결합하여 2 홉 시스템을 구현하며, 수율과 최대 전송가능 영역을 모두 증대시킬 수 있는 방식을 제안한다. 제안된 방식에서는 단말의 위치에 따라 다른 레벨을 가지는 데이터의 수신이 가능함에 따라 최대수신가능 영역이 증대되고 수율이 약 2배 증가되는 이득을 얻을 수 있었다.

Key Words : Relay, Hierarchical modulation, Diversity, Multiplexing

ABSTRACT

Various relay technologies have been considered in wireless communication systems to enlarge the coverage and to enhance the system throughput. However, the coverage is limited by its modulation levels and additional time slot(s) is required for relaying. In the paper, by applying the hierarchical modulation to two-relay systems, two-hop relaying can be implemented instead of three hops, and both throughput and coverage can be enhanced. Throughout simulation analysis, the coverage extension is evaluated for different modulation levels and the total throughput is increased by up to two times.

I. 서 론

무선 통신 시스템에서 전송 가능영역과 수율은 시스템의 경제성, 확장성을 나타내는 중요한 척도로서, 이들을 향상시키기 위한 연구가 꾸준히 진행되어왔다. 최근 들어 무선통신 시스템에서 대용량 멀티미디어의 전송 가능 영역을 늘리고 수율을 증가시키기 위해 릴레이시스템의 연구가 활발해졌고, 기존 릴레이 시스템의 연구에서부터 릴레이가 다중안

테나를 이용해 신호를 재전송하는 방식, 확장되었다^{[1]-[4]}. 또한, 릴레이 그룹이 다중안테나를 이용하는 방식^[5], 릴레이 그룹과 다중 홉을 이용하는 방식^[6] 등의 연구도 진행되었다.

일반적으로 릴레이는 다중 홉 방식으로 신호를 중계하며, 홉의 수가 증가함에 따라 추가적인 시간 슬롯이 요구된다. 릴레이는 데이터 전달 방식에 따라 크게 증폭 후 전달방식과 복조 후 전달방식으로 구분되며, 최근에는 하나의 안테나를 갖는 릴레이들

* 이 논문은 2006년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2006-003-D00332)

* 인하대학교 정보통신공학부(baramsi@gmail.com, kang2kd@gmail.com, pakjjae@gmail.com, kdk@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-06-289, 접수일자 : 2008년 6월 27일, 최종논문접수일자 : 2008년 12월 3일

간의 협력을 통해 다이버시티와 다중화 효과를 얻는 방법이 연구되었다^{9,10)}.

본 논문을 통해 릴레이의 복잡도를 높이지 않으면서, 추가적인 시간 슬롯 요구를 최소화하고, 수율과 최대 전송 가능 영역을 증대시키기 위한 방식을 제안한다. 기지국에서 계층적 변조 방식을 이용해 신호를 전송하고, 분산된 두 개의 릴레이가 신호를 수신해 계층적 변조 방식으로 재 전송한다. 이때 분산된 두 릴레이는 같은 시간 슬롯에 동시에 신호를 수신하고, 재 전송한다. 계층적 변조 전송 방식은 수신 SNR의 크기에 따라 신호를 계층적으로 구분하여 변조하는 방식으로⁷⁾, 분산된 두 릴레이는 기지국과의 거리에 따라 수신 SNR의 크기가 다르기 때문에 다른 변조 레벨의 신호를 수신하게 된다. 이에 릴레이의 위치에 따라 낮은 변조 레벨 신호의 전송 가능 영역을 최대로 확장하면서, 고속의 전송 구간을 계층적으로 증대할 수 있다. 그리고 단말은 수신된 신호의 상대적인 세기에 따라 적절한 신호 검출을 한다. 제안된 시스템을 단일 변조 방식을 이용하는 릴레이 시스템과 비교하기 위해, 단말의 수신 가능범위와 수율을 시뮬레이션을 통해 분석한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 계층적 변조 방식에 대해 알아보고, III장은 계층적 변조 방식을 이용한 분산 릴레이 시스템을 제안한다. IV장에서 전체적인 모의실험 환경 및 결과를 소개하고 V장에서 결론을 맺는다.

II. 계층적 변조 방식

그림 1은 계층적으로 변조된 64QAM 성상도를 나타낸 것이다. 전송되는 데이터는 낮은 레벨 계층

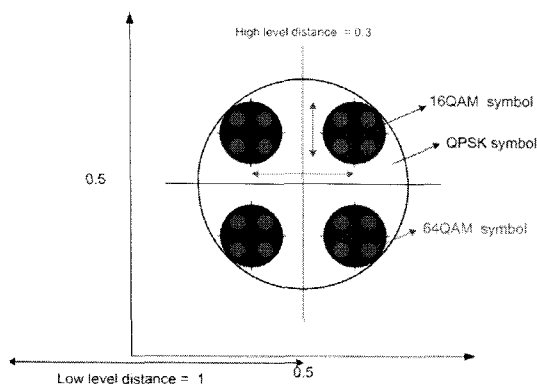


그림 1. $\alpha = 0.3$ 을 이용한 계층적 변조 방식의 64QAM 성상도

과 높은 레벨 계층으로 나뉘어 변조된다. 이때, 계층 변조율 α 는 각 계층의 거리의 비로 $0 < \alpha < 0.5$ 의 조건을 만족해야 한다. 값이 0.5인 경우 단일 64QAM 시스템이 되고, 값이 0.5보다 큰 경우 낮은 레벨 심볼간의 거리는 증가하고 높은 레벨 심볼간의 거리는 감소하게 되어 계층적 변조 방식으로 변조할 수 없다.

계층 변조 방식의 특징은 다음과 같다. 낮은 레벨의 계층 변조 데이터 스트림은 좀 더 넓은 전송 가능 영역을 제공하는 반면에, 높은 레벨의 계층 변조 데이터 스트림은 전송 가능 영역이 단일 변조 방식보다 작다⁸⁾. 또한 α 값에 따라 레벨 별로 다른 전송 가능 영역을 갖는다. α 값이 0.3과 0.5 사이인 경우 높은 레벨 데이터를 좀더 멀리 전송 가능하고 α 값이 0.1에서 0.3 사이인 경우 낮은 레벨 데이터를 좀더 멀리 전송 가능하다. 본 논문에서 제안하는 방식은 0.3을 이용해 낮은 레벨과 높은 레벨의 중간적인 입장에서 결과를 도출한다.

III. 제안하는 방식

그림 2는 단일 변조 방식을 이용하는 릴레이 시스템의 전송 가능 영역을 도시한 것이다. 단일 변조 방식으로는 64QAM과 16QAM, QPSK를 고려한다.

Case 1은 기지국이 64QAM으로 변조된 신호를 전송하고 릴레이도 64QAM으로 변조된 신호를 재 전송하는 것으로 고속 전송이 가능한 영역을 증대하기 위한 방법이다. 이때, 기지국에서 전송한 신호가 단말에 전달되는데 총 두 개의 시간슬롯이 요구된다. Case 2는 전송가능 영역을 크게 하기 위해 기지국에서 QPSK로 변조된 신호를 전송하고 릴레

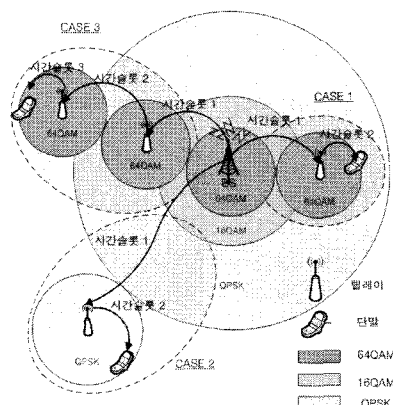


그림 2. 기존 릴레이 활용방식

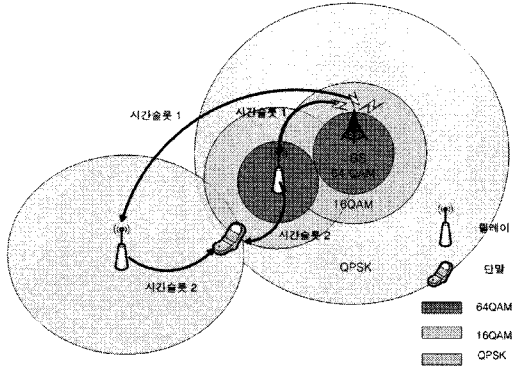


그림 3. 제안된 릴레이 활용방식

이도 기지국으로부터 수신한 QPSK 신호를 재전송하는 경우로 전송가능 영역은 크게 증가했으나 대용량 데이터 전송 요구를 충족시킬 수 없는 단점이 있다. Case 3은 하나의 릴레이를 이용하여 64QAM 신호를 전송하기에는 전송 가능영역이 작아서 추가적으로 한 개의 릴레이를 더 이용하는 경우이다. 릴레이의 추가에 따라 고속 전송 가능 영역이 넓어졌으나, 추가된 릴레이 수만큼 기지국에서 전송한 신호가 단말에 전달되는데 추가적인 시간슬롯이 요구되는 단점이 있다.

그림 3은 그림 2에서 설명한 단점들을 동시에 극복하고 최대 전송 가능 영역과 고속 전송을 동시에 증대시키기 위해 본 논문에서 제안하는 릴레이 활용 방안이다. 기지국은 계층적 변조 방식으로 변조된 64QAM 신호를 전송함으로써, 분산된 두 릴레이가 같은 시간슬롯에 신호를 수신하도록 하고 릴레이는 두 번째 시간슬롯에 재 전송한다. 이때, 가까이 위치한 릴레이는 송신된 신호를 모두 수신, 재전송하지만, 멀리 떨어진 릴레이는 낮은 레벨의 신호만 수신, 재전송하게 된다. 이 과정을 통해 2홉 내에 신호의 재전송이 완료되며, 최대 전송가능 거리를 늘리고 또한 기지국 주변의 대용량 데이터 신호의 요구를 만족시킬 수 있다.

제안하는 방식에서 단말은 기지국과 릴레이들로부터 신호를 수신하기 때문에 송신하는 안테나의 수의 합과 단말의 안테나의 수를 같게 하기 위하여, 기지국과 릴레이가 한 개의 안테나를, 단말이 두 개의 안테나를 가진다고 가정한다. 단말이 가진 안테나 수보다 많은 다수의 릴레이 안테나들로부터 신호가 수신되는 경우 추가적인 다이버시티나 다중화 이득을 기대할 수 있으나 본 논문에서는 제안된 방식의 성능 분석에 초점을 맞추기 위하여 상기와 같

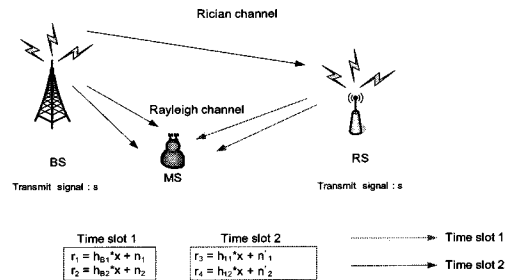


그림 4. 단일 변조방식 시스템의 동작원리와 수신되는 신호

표 1. 각 시간 슬롯에서 기지국과 릴레이에서 전송되는 신호

	기지국	릴레이
시간슬롯 1	s	-
시간슬롯 2	-	s

은 간단한 가정을 이용하였으며, 다른 경우로 손쉽게 확장될 수 있다.

3.1 단일 변조 방식 릴레이 시스템의 동작

단일 변조방식 시스템에서 기지국은 첫 번째 시간 슬롯에 단일 변조 방식으로 변조된 신호를 릴레이와 단말에게 전송하고, 두 번째 시간 슬롯에 릴레이는 기지국으로부터 수신한 신호를 단일 변조 방식으로 변조해 재전송한다. 각 시간 슬롯에 단말은 두 개의 안테나를 이용해 신호를 수신한다. <표 1>을 통해 각각의 시간 슬롯에 송신되는 신호를 확인할 수 있다.

그림 4는 단일 변조방식 시스템의 동작원리와 단말이 수신하는 신호를 도시한 것이다. 첫 번째 시간 슬롯에 단말의 첫 번째 안테나와 두 번째 안테나에 수신된 신호는 각각 r_1 과 r_2 로 나타내며, h_{B1} 과 h_{B2} 는 기지국(B)와 각 안테나 사이의 채널응답이다. n_1 과 n_2 는 단말의 두 개의 안테나에서 발생한 잡음으로 각각 독립이다. 이때, 단말이 수신하는 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_B = H_B x + n \quad x = \sqrt{L_{BM}} s$$

$$R_B = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix}, H_B = \begin{bmatrix} h_{B1} \\ h_{B2} \end{bmatrix}, n = \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

이때 s 는 송신 단에서 단일 변조 방식으로 변조된 신호를 의미하며, L_{BM} 은 기지국과 단말 사이의 경로 손실을 나타낸다.

두 번째 시간 슬롯에 단말의 각 안테나에 수신된 신호는 r_3 와 r_4 로 나타내고 h_{11} 과 h_{12} 는 각각 릴레이로부터 단말 안테나 1과 2사이의 채널응답을 나타낸다. n_1 와 n_2 는 단말의 두 개의 안테나에 발생한 잡음이다. 두 번째 시간 슬롯에 단말이 수신하는 신호는 다음과 같다.

$$R_1 = H_1 x + n \quad x = \sqrt{L_{1M}} s$$

$$R_1 = \begin{bmatrix} r_3 \\ r_4 \end{bmatrix}, H_1 = \begin{bmatrix} h_{11} \\ h_{12} \end{bmatrix}, n = \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

이때, L_{1M} 은 릴레이와 단말 사이의 경로 손실을 나타낸다. 단말은 두 개의 시간슬롯 동안 단일 변조 방식으로 변조된 신호 s 를 수신하게 된다. 이 신호 s 를 검출하기 위해 단말은 각 시간 슬롯에 수신한 신호에 각기 채널 응답의 Hermitian 값을 곱하며, 각 시간 슬롯에서 검출된 신호를 합하여 추가적인 이득을 얻는다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$y = H_B^H R_B + H_1^H R_1 \quad (3)$$

3.2 제안하는 릴레이 시스템의 동작

기지국은 첫 번째 시간 슬롯에 계층적 변조 방식으로 변조된 신호를 전송하고 두 번째 시간 슬롯에는 동작을 하지 않는다. 분산된 두 개의 릴레이는 기지국과의 거리에 따라 가까운 곳에 위치한 릴레이를 릴레이 1, 먼 곳에 위치한 릴레이를 릴레이 2라 부른다.

릴레이 1은 기지국으로부터 수신한 신호(s)를 계층적 변조방식을 이용해 재전송하고, 상대적으로 먼 곳에 위치한 릴레이 2는 기지국으로부터 수신한 신호 중 낮은 변조 레벨 신호(s_Q)만 재전송한다. 이때 s_Q 는 QPSK로 변조된 신호이다. <표 2>을 통해 각각의 시간 슬롯에 송신되는 신호를 확인할 수 있다.

그림 5는 제안된 시스템의 동작원리와 분산된 릴레이, 단말이 수신하는 신호를 도시한 것이다. 첫 번째 시간 슬롯에 단말의 각 안테나에 수신된 신호는 각각 $r^{(1)}_1$ 과 $r^{(1)}_2$ 로 나타내며 h_{B1} 과 h_{B2} 는 기지국(B)와 각 안테나 사이의 채널의 응답이다. 이때 단말이 수신하는 신호는 수식 (1)과 동일하게 나타난

표 2. 각 전송 시간에서 기지국과 첫 번째, 릴레이 2로부터 전송되는 신호

	기지국	릴레이 1	릴레이 2
시간 슬롯 1	s	-	-
시간 슬롯 2	-	s	s _Q

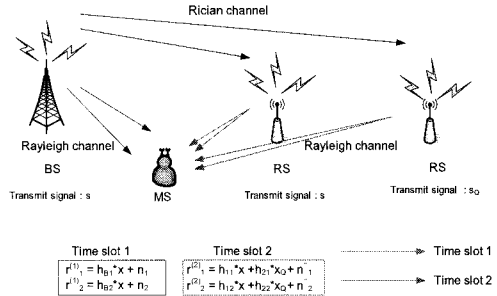


그림 5. 제안하는 시스템의 동작원리와 수신되는 신호

다. 단, 이때 s 는 단일 변조된 신호가 아니라 계층적으로 변조된 신호이다.

두 번째 시간 슬롯에 단말의 각 안테나에 수신되는 신호는 $r^{(2)}_1$ 과 $r^{(2)}_2$ 로 나타내고 h_{ij} 는($i, j = 1, 2$) 릴레이 i 로부터 단말의 안테나 j 사이의 채널 응답을 나타낸다. n''_1 과 n''_2 는 단말의 두 개의 안테나에 발생한 잡음 값으로 각각 독립적으로 존재한다. 두 번째 시간 슬롯에 단말이 수신한 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_2 = H_{12} X_{HQ} + n''$$

$$= H_1 x + H_2 x_Q + n'' \quad (4)$$

이때, R_2 는 수신된 신호 벡터, X_{HQ} 는 릴레이들로부터 단말로의 경로손실 L_{1M} 과 L_{2M} 을 고려한 수신된 신호 벡터를 나타내며 각기 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_2 = \begin{bmatrix} r^{(2)}_1 \\ r^{(2)}_2 \end{bmatrix}, X_{HQ} = \begin{bmatrix} x \\ x_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{L_{1M}} s \\ \sqrt{L_{2M}} s_Q \end{bmatrix}$$

이와 더불어 잡음 성분 및 채널 벡터 H_2 과 H_{12} 는 다음과 같다.

$$n'' = \begin{bmatrix} n''_1 \\ n''_2 \end{bmatrix}, H_2 = \begin{bmatrix} h_{21} \\ h_{22} \end{bmatrix}, H_{12} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{21} \\ h_{12} & h_{22} \end{bmatrix}$$

이때, 서로 다른 거리에 있는 두 개의 릴레이가 시간슬롯 2 구간에서 단말기로 재전송을 할 때, 프레임 동기 및 심볼 동기는 맞추어 있다고 가정한다.

3.3 선택적 검출 방안

기지국 및 두 개의 릴레이로부터 수신된 신호의 세기는 단말의 위치 및 채널 상황에 따라 상이하다. 이를 바탕으로 단말에서는 세 가지의 검출과정 (A, B, C)을 선택적으로 수행한다.

표 3. 검출 방안 선택 조건

검출 과정	조건
A	$P_{BS}, P_1 \gg P_2$
B	$P_1, P_2 \gg P_{BS}$
C	$P_2 \gg P_{BS}, P_1$

P_{BS} : 기지국으로부터의 신호 세기, P_1 : 릴레이1으로부터의 신호 세기

P_2 : 릴레이2으로부터의 신호 세기

표 3에 세 가지 검출 과정에 대한 조건을 정리하였다. 예로 A 검출 과정에서는 릴레이 2로부터의 신호가 약해서, 첫 번째 타임슬롯에 수신된 기지국으로부터의 신호와 두 번째 타임슬롯에 수신된 릴레이 1으로부터의 신호만을 이용하여 검출을 수행한다. 각 검출 방식에 대해서는 다음에 보다 상세히 설명한다. 본 논문에서는 검출 영역의 경계를 결정하는 문제를 단순화하기 위해 각 검출 방식을 모두 수행하여 가장 우수한 성능을 보이는 검출 방식을 선택하였다.

단말에서 수신되는 신호의 각 검출과정에서 이용되는 y 은 신호s의 결정 변수를, Y 은 신호 s와 s_Q 의 결정 변수 벡터를 의미한다.

3.3.1 A 검출과정

릴레이 2로부터 수신되는 신호가 약해서, 기지국과 릴레이 1로부터 수신한 신호들만으로 검출하는 경우이다. 일반적으로 단말이 기지국과 릴레이 1 사이에 존재한다. 검출된 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y = H_B^H R_B + H_1^H R_1 \\ = (|h_{B1}|^2 + |h_{B2}|^2 + |h_{11}|^2 + |h_{12}|^2)x \\ + H_1^H H_2 x_Q + H_B^H n + H_1^H n'' \quad (5)$$

식 (5)의 맨 위의 첫째 항은 첫 번째 시간슬롯에서 검출된 신호, 두 번째 항은 두 번째 시간슬롯에서 검출된 신호이다. 두 번째 항에서 릴레이 1로부터 수신된 채널 값만을 이용하여 신호를 검출하였다. 따라서 각 시간슬롯에 수신된 신호는 MRC 결합되며, 릴레이 2로부터 수신된 신호는 간섭이 된다.

3.3.2 B 검출과정

기지국으로부터 수신한 신호가 약해서, 타임슬롯 2에서 분산된 두 개의 릴레이로부터 수신한 신호만

으로 검출한다. 채널의 의사 역 행렬(H^H)을 이용한 검출 과정은 다음과 같이 나타낼 수 있다^[11].

$$Y = H_{12}^H R_2 \\ = X_{HQ} + H_{12}^H n'' \quad (6)$$

릴레이 1를 통해 수신되는 신호 중에 제일 낮은 레벨의 신호는 릴레이 2로부터 수신되는 x_Q 신호와 동일하다. 따라서, 이 두 신호를 자기 검출한 후 EGC (Equal Gain Combining)방식으로 결합 검출하였다.

3.3.3 C 검출과정

기지국으로부터 수신되는 신호와 릴레이 1로부터 수신된 신호가 약해서, 릴레이 2로부터 수신된 신호만으로 검출하는 경우이다. 일반적으로 단말이 릴레이 2보다 먼 위치에 존재한다. 검출된 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y = H_2^H R_2 \\ = (|h_{21}|^2 + |h_{22}|^2)x_Q + H_2^H H_1 x + H_2^H n'' \quad (7)$$

릴레이 2로부터의 신호만 이용하며 릴레이 1로부터의 신호는 간섭이 된다.

IV. 모의실험 결과

기존 방식에서는 다양한 단일 변조 레벨 (64QAM, 16QAM, QPSK)을 이용해 신호를 변조하고 변조레벨에 따라 음영영역을 발생시키지 않는 최대한의 범위를 찾아 릴레이를 위치시킨다. 단말은 변조 레벨 변화에 따른 송신 가능 범위와 수율을 측정한다.

제안하는 방식에서는 계층적 변조 방식을 이용한 신호 전송을 고려하여 릴레이 1와 릴레이 2의 위치를 선정한다. 단말은 제안된 방식에 따라 적절히 수신된 신호를 검출하고, 계층적 변조 방식을 이용함에 따른 송신 가능 범위와 거리에 따른 수율을 측정한다. 두 방식 모두 두 개의 시간슬롯을 이용하며, 첫 번째 시간슬롯에서는 기지국이 전송하고, 두 번째 시간슬롯에서는 릴레이들이 전송하는 방식에 따른다. 두 방식의 비교는 1차원과 2차원환경을 통해 확인한다.

4.1 실험 파라미터

다음과 같은 실험 파라미터를 가지고 시뮬레이션을 수행하였다.

표 4. 실험 파라미터

파라미터	값
전송파워 (주 송신단, 릴레이)	43dBm
잡음전력	-104dBm
Rician K Factor	10
신호 감쇄 모델 기지국과 릴레이들 사이의 직진파, [12]	$23.8 \log_{10}(d[m]) + 41.6$
신호 감쇄 모델 (기지국, 릴레이들) 과 단말 사이의 비 직진파, [12]	$40.2 \log_{10}(d[m]) + 27.7$
직진파 감쇄 모델의 쇄도인[12]	4dB
비 직진파 감쇄 모델의 쇄도인[12]	8dB
단일 변조 모델	QPSK, 16QAM, 64QAM
계층적 변조 모델	64 QAM, 변조 지수 0.3

4.2 1차원 결과 분석

그림 6은 기지국에서 단일 변조 방식 QPSK를 이용해 신호를 전송하고 릴레이가 재전송했을 때 릴레이의 위치를 직선상에서 변경하며 신호의 비트 오류율을 도식한 것이다. 일정 간격으로 릴레이의 위치를 늘려가며 최대 10^{-2} 의 수신비트 오류율을 만족하는 릴레이의 위치가 1700미터임을 찾아내었다.

그림 7는 단일 변조 방식에서 릴레이를 사용하는 경우 변조 레벨에 따른 단말의 수신 가능 영역을 도식한 것이다. 릴레이의 위치는 그림 6에서 수행한 실험을 변조방식에 따라 반복 수행해서 결정하였다. 64QAM을 이용해 기지국에서 신호를 전송하는 경우 릴레이는 600미터에

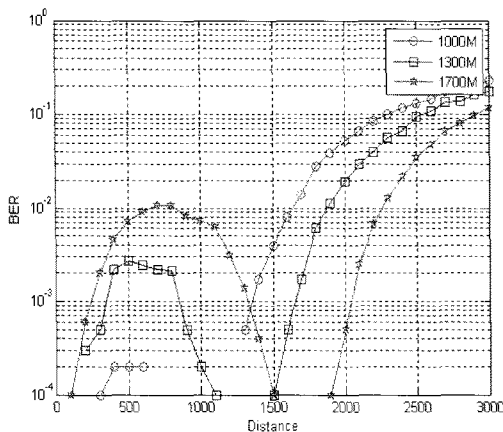


그림 6. QPSK를 이용한 단일 변조 방식에서 릴레이 위치에 따른 단말의 수신 비트 오류율

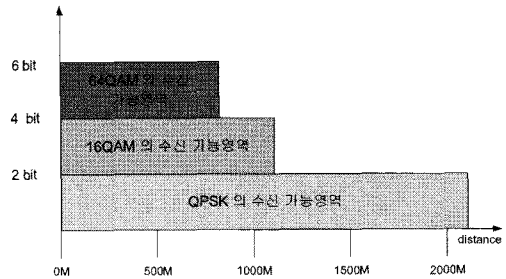


그림 7. 단일 변조 방식에서 변조 레벨에 따른 수신 가능 영역

위치하고 최대 800미터까지 전송이 가능하다. 16QAM과 QPSK의 경우 릴레이는 각각 800미터와 1700미터에 위치하고, 최대 1150미터와 2250미터까지 전송 가능하다

그림 8는 기지국에서 계층적 변조 방식을 이용해 신호를 전송하고 릴레이 1과 2가 재전송했을 때 각 변조 레벨 신호의 비트 오류율을 거리에 따라 도식한 것이다. 릴레이 1는 재 전송되는 신호가 10^{-4} 이상의 비트 오류율로 재 전송 가능한 곳에 위치시켰다. 릴레이 2의 위치는 릴레이 1의 위치를 고정시킨 후 릴레이 2의 위치를 점차 멀리 변경하면서 10^{-2} 의 수신비트 오류율을 만족하는 최대 거리로 하였다. 실험을 통해 분산된 두 개의 릴레이는 각각 1000미터와 1850미터에 위치한다. 이와 같이 릴레이를 위치한 경우 전송 범위가 최대로 되며, 단말의 위치에 따라 수신 가능한 변조 레벨을 그림 9 (a)에 나타내었다.

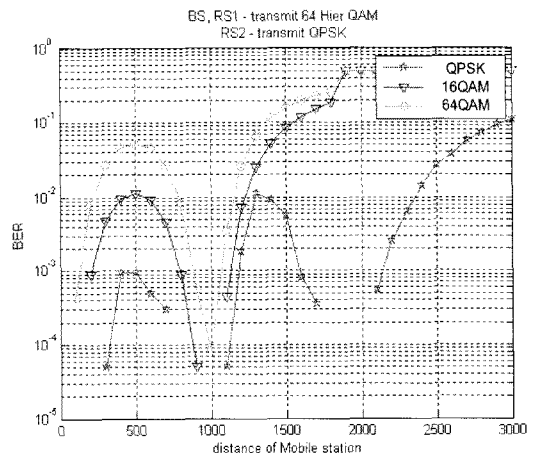


그림 8. 제안하는 방식에서 거리에 따른 단말의 수신 비트 오류율

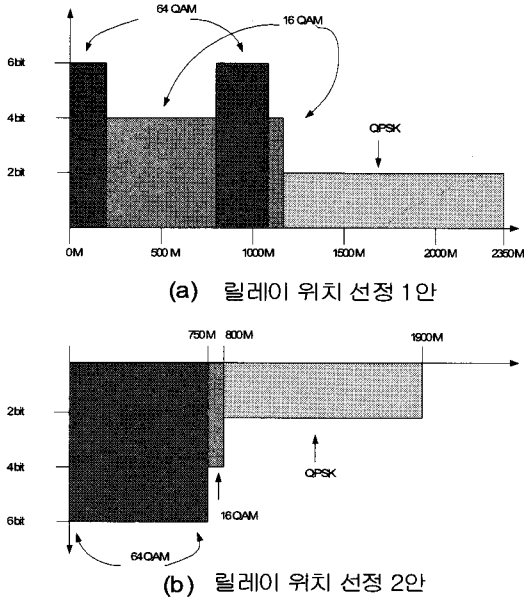


그림 9. 제안하는 방식의 수신 가능영역

그림 9 (a)에서 보듯이 기지국과 릴레이 1 주변에서 64QAM 수신이 가능한 반면, 기지국과 릴레이 사이에는 16QAM레벨까지만 수신 가능하다. 그림 9 (b)에서는 기지국에 가까울수록 높은 변조 레벨의 신호 수신이 가능하도록 두 개의 릴레이의 위치를 변경한 경우 단말의 위치에 따른 수신 신호 레벨을 나타낸다. (a)의 경우 릴레이 1가 1000m에 위치한 반면 (b)의 조건을 만족시키기 위해서는 릴레이가 650m에 위치해야 했다. 또한, 특이한 점은 두 릴레이 사이에서는 계층적 변조된 신호를 전송하는 릴레이 1와 QPSK신호를 전송하는 릴레이 2간 간섭으로 인해 16QAM 전송 가능 영역은 상당히 좁게 나타난다는 것이다.

표 5는 (a)조건에서 전송 가능 영역 내 총수율을 계산하고 단일 변조방식을 이용한 경우의 총수율과 비교한 결과이다. 이때, 전송가능 영역에서 단위 m 당 한 개의 단말이 존재한다고 가정하고 결과를 도출하였다. 단일 변조 방식의 경우 변조 레벨에 따라 비슷한 수율을 얻을 수 있었다. 제안하는 방식의 경우에는 낮은 레벨의 데이터 수신가능 영역이 증가

표 5. 단일 변조 방식과 조건 (a)의 총수율 비교

단일 변조 방식	제안하는 방식	이득
QPSK	4500bps	2200bps
16QAM	4600bps	2700bps
64QAM	4800bps	3000bps
	합계	7900bps

표 6. 단일 변조 방식과 조건(b)의 총수율 비교

단일 변조 방식	제안하는 방식	이득
QPSK	4500bps	2200bps
16QAM	4600bps	2000bps
64QAM	4800bps	4500bps
	합계	6900bps

함과 동시에 릴레이 주변에서는 높은 레벨의 데이터 수신이 가능하기 때문에 단일 변조 방식을 이용한 시스템과 비교하여 최소 약 1.7 배의 이득을 얻을 수 있었다.

표 6은 (b)조건에서 전송 가능 영역 내 총수율을 계산하고 단일 변조방식을 이용한 경우의 총수율과 비교한 결과이다. 제안된 방식의 경우 64QAM영역은 기존 시스템과 비슷한 수율을 제공할 수 있었다. 단일 변조 레벨 16QAM과 QPSK를 개별적으로 이용하는 경우와 비교하여 해당 변조 레벨의 전송 영역은 감소했다. 그러나 제안된 방식은 세 가지 변조 수준이 동시에 활용됨에 따라 총 수율은 단일 변조 방식을 이용한 시스템과 비교하여 최소 약 1.43 배 증가하는 이득을 얻을 수 있었다.

4.3 2차원 결과 분석

그림 10은 단일 변조 방식에서 변조 레벨에 따른 단말의 수신 가능 영역을 2차원으로 도시한 그림이다. 1차원상의 실험을 바탕으로 릴레이를 위치시켰기 때문에 릴레이와 기지국 사이에 잘록한 부분이 발생하였다. 이때, 유의할 점은 단일 변조 방식에서는 각각의 경우가 단일 릴레이를 통해 서비스되는 것으로 상기 세 개의 변조 레벨이 동시에 서비스되는 것은 아니다.

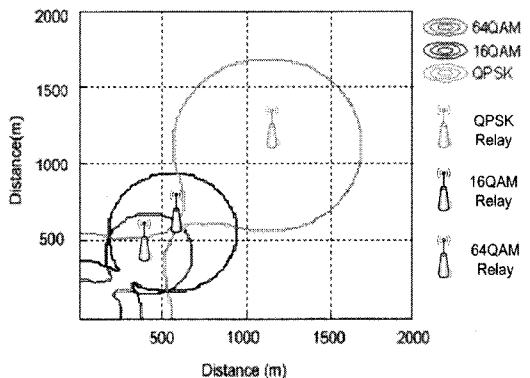


그림 10. 단일 변조 방식에서 변조 레벨에 따른 단말의 수신 가능영역

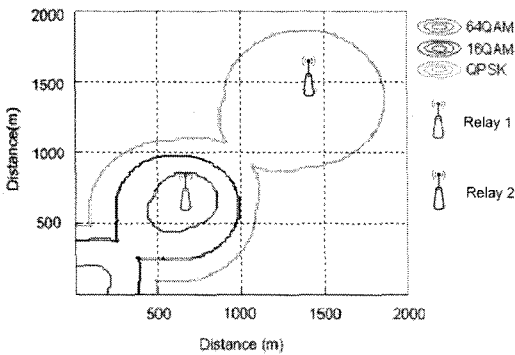


그림 11. 제안된 방식에서 단말의 수신 가능영역

그림 11는 계층적 변조 레벨에 따른 단말의 수신 가능영역을 2차원으로 도식한 그림이다. 릴레이 1와 릴레이 2 사이에 QPSK 수신가능영역은 두 신호의 간섭이 기지국과 릴레이 1 사이의 영역보다 큰 이유로 상대적으로 줄어든 것을 확인할 수 있다

표 7는 변조 방식에 따른 수신 가능넓이를 나타낸 것이다. 단일 변조 방식에서 QPSK를 이용하는 경우 가장 넓은 영역에 전송 가능하였다. 제안하는 방식을 이용하는 경우 분산된 두 개의 릴레이와 계층적 변조 방식의 적용으로 인해 최대 수신가능 넓이가 1.48배 증가하는 이득이 발생함을 확인할 수 있었다.

표 8는 제안하는 방식에서 전송가능 영역 내 총 수율을 계산하고 단일 변조방식을 이용한 경우의 총수율을 비교한 결과이다. 이때, 총수율은 전송가능 영역 내 단위 m²당 한 개의 단말이 존재한다고 가정하고 계산하였다. QPSK 단일 변조 방식을 이용한 경우 외곽으로 확장된 넓은 전송 영역으로 인해 총수율이 64QAM과 16QAM보다 매우 높게 나타났다. 제안된 방식의 경우 계층적으로 높은 레벨의 데이터 수신이 가능하고 전체적인 수신 가능 영역이 증가하였기 때문에 총수율은 단일 변조 방식에 이

표 7. 변조 방식에 따른 수신 가능 영역 비교(m²)

단일 변조 방식	제안하는 방식	이득
QPSK	1187900 m ²	579200 m ²
16QAM	537610 m ²	1229490 m ²
64QAM	245440 m ²	1521660 m ²

표 8. 변조 방식에 따른 총 수율 비교

단일 변조 방식	제안하는 방식	이득
QPSK	2375800bps	2577020bps
16QAM	2150440bps	2802380bps
64QAM	1472640bps	3480180bps

용한 시스템과 비교하여, 최소 약 2배 증가하는 이득을 얻을 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 계층적 변조방식과 두 개의 분산된 릴레이를 결합하여 추가적인 시간슬롯의 요구없이 수율과 최대 전송가능 영역을 증대시킬 수 있는 방안을 제시하였다. 시뮬레이션을 통하여 QPSK 단일 변조 방식으로 전송한 경우보다 48% 증가된 전송 가능 범위를 제공하고, 전체적인 수율에서도 약 2배 이득이 가능함을 알 수 있었다. 추후 프로토콜, 스케줄링 및 다중 안테나 도입, 향상된 신호 검출 방식을 고려하고 있으며, 프레임 동기 및 심볼 동기를 포함한 구체적인 구현에 대한 연구를 계획 중이다.

참 고 문 헌

- [1] J. Boyer, H.yanikomeroğlu, and D. Falconer, "Multihop diversity in wireless relaying channels," *IEEE Trans. Communi.*, Vol.52, No.10, pp.1820-1830, Oct. 2004.
- [2] V. Morgenshtern and H. Bolcskei, "On the value of cooperation in interference relay networks," in *CD Record Allerton Conference*, Dec. 2005.
- [3] S. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *JSAC*, Vol.16, No.8, pp.1451-1458, Oct. 1998.
- [4] IEEE C802.16-05/013, "Mobile multi-hop relay networking in IEEE 802.16," July 2005.
- [5] A. Adinoyi and H. Yanikomeroğlu, "Cooperative relaying in multi-antenna fixed relay networks," *IEEE Trans. Wireless communi.*, Vol.6, No.2, pp533-544, Feb. 2007
- [6] T. Miyano, H. Maurata and K. Araki, "Cooperative Relaying scheme with space time code for multihop communications among single Antenna Terminals" in the *Proc. IEEE Globecom*, pp.3763-3767, 2004.
- [7] C. Hausi and J. Hagenauer, "Relay Communication with Hierarchical Modulation" *IEEE Communi. Letters*, Vol.11, No.1 pp 64-66, Jan. 2007.
- [8] A. Schertz and C. Weck, "Hierarchical

Modulation the transmission of two independent DVB-T multiplexes on a single frequency," IRT, EBU Technical Review, Apr. 2003.

- [9] R.U. Nabar and H.bolcskei, and F.W. Kneubuhler, "Fading Relay Channels: Performance Limits and Space-Time Signal Design," IEEE JSAC, Vol.22, No.6, pp.1099-1109, Aug. 2004.
- [10] IEEE C802.16j-07/242r2, "Clarifications on cooperative relaying," Mar. 2007.
- [11] A. Paulraj, R. Nabar, and D. Gore, *Introduction to Space-time Wireless Communications*, Cambridge, 2003.
- [12] "Final Report on Link Level and System Level Channel Models" WINNER D.5.4 V.1.4.
- [13] J. Laneman, D. Tse, and G. Womell, "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior," IEEE Trans. Inform. Theory, Vol.50, pp.3062-3080, Dec. 2004.
- [14] <http://www.ieee802.org/16/relay>
- [15] <http://www.ieee802.org/16/sg/mmr>

최 두 환 (Du-hwan Choi)

정회원



2006년 2월 인하대학교 정보통신 공학과 졸업
2008년 8월 인하대학교 정보공학과 석사
<관심분야> 무선통신공학, relay system, 4G

강 동 관 (Dong-kwan Kang)

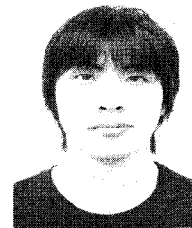
정회원



2007년 2월 인하대학교 정보통신공학과 졸업
2008년 8월~현재 인하대학교 정보공학과 석사 과정
<관심분야> 무선통신공학, TD-SCDMA, relay system, 4G

박 재 현 (Jae-hyun Park)

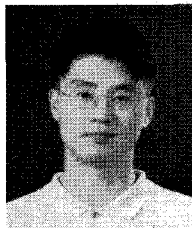
정회원



2006년 2월 인하대학교 정보통신공학과 졸업
2008년 8월 인하대학교 정보공학과 석사
2008년 3월~현재 인하대학교 정보공학과 박사과정
<관심분야> 무선통신공학, TD-SCDMA, Cognitive Radio, 4G

김 덕 경 (Duk Kyung Kim)

중신회원



1992년 2월 연세대학교 전기공학과 졸업
1994년 2월 KAIST 전기 및 전자 공학과 석사
1999년 2월 KAIST 전기 및 전자 공학과 박사
2002년 3월~인하대학교 정보통신공학과 교수

신공학과 교수

<관심분야> UWB, OFDM, Cognitive radio, Relay, 무선자원관리