

상호 협력 통신에서 릴레이의 위치에 따른 최적 전력 할당 및 성능 분석

*류현석, *박경미, **이희수, **이효진, *강중구
*고려대학교 공과대학 전기전자전파공학부
**한국전자통신연구원 이동통신연구소

Optimal Power Allocation and Performance Analysis for Transmission Protocols in Cooperative Signaling

*Hyun Seok Ryu, *Kyungmi Park, **Heesoo Lee, **Hyojin Lee, and *Chung Gu Kang
E-mail: {kor74ryu,jellymi,ccgkang}@korea.ac.kr

요약

릴레이 노드와 송수신 노드 간의 상호 협력 통신 방식을 통해 분산적으로 공간 다이버시티를 실현하기 위해 cooperative signaling 개념에 기반하는 다양한 전송 프로토콜들이 제안된 바 있다. 본 논문에서는 이와 같은 cooperative signaling를 구현하기 위해 가장 먼저 고려되어야 할 릴레이 노드의 선정과 최적의 전력 할당을 위한 물리 계층 관점에서의 분석을 수행한다. 상호협력 통신을 위한 다양한 전송 프로토콜에 대해 AF (Amplify-and-Forward)와 DF (Decode-and-Forward) 방식으로 구분하여 목적지 노드에서의 오류 성능을 최소화하는 전력 할당을 계산하고, 이를 통해 최적의 릴레이 노드 위치를 분석한다. 이를 통해 각 전송 프로토콜 방식 별로 릴레이 위치 선정에 필요한 특성을 규명할 수 있다. 또한 모의 실험을 통해 최적의 위치에서 그에 따른 전력 할당을 적용하여 각 전송 프로토콜 별로 BER 성능을 분석하였다.

I. 서론

최근 무선 통신 분야에서 공간 다이버시티 이득 (spatial diversity gain)을 얻기 위한 새로운 방식으로 cooperative diversity (collaborative diversity) 또는 cooperative signaling의 개념이 제안되었다. 이는 여러 사용자들이 서로의 안테나를 공유하여, 분산 방식으로 공간 다이버시티를 실현함으로써 가상의 MIMO 시스템을 구현할 수 있는 방식이다[1]. 지금까지 cooperative signaling을 사용하기 위한 여러 유형의 전송 프로토콜들이 제안된 바 있다. [2]에서는 하나의 릴레이 노드를 사용하였을 경우에 대해 수신 뿐 송신 다이버시티 기반의 전송 프로토콜들에 대해 AF (Amplify-and-Forward)와 DF (Decode-and-Forward) 방식으로 구분하여 ergodic capacity 성능을 각각 비교 분석하였다. 그러나, 이 분석에서는 릴레이 노드가 상위 계층에 의해 이미 선택되었고, 그에 따른 적절한 전력 할당이 이루어졌다고 가정하고 있다. 한편, [3]에서는 ad-hoc/sensor network 관점에서 DF 방식의 다양한 전송 프로토콜에 대해 각각의 outage 성능을 보여 주었지만 최적의 릴레이 노드 위치와 그에 따른 전력 할당을 고려하지 않고 있으며, AF 방식에 대한 성능은 다루지 않고 있다. 또한, [4]에서는 최적의 릴레이 노드 위치와 전력 할당을 고려하고 있으나, 수신 다이버시티 기반의 전송 프로토콜에만 분석을 국한하고 있다. 따라서 본 논문에서는 AF와 DF 방식에서 지금까지 제안된 각각 다른 다른 전송 프로토콜들을 모두 동일한 틀에서 분석함으로써 보다 총체적인 비교 분석을 수행하고자 한다.

II. 시스템 모델 및 전송 프로토콜

A. 시스템 모델

본 논문에서는 그림 1과 같은 무선 릴레이 시스템 모델을 고려한다. 릴레이 노드는 단순히 이전 시분할 슬롯에서 송신 노드(source station)로부터 수신한 정보를 릴레이 하는 역할만 수행하며, 하나의 송수신 노드 쌍(단일 사용자)만 고려한다. 그림 1에서 S, R, D는 각각 source station, relay station, destination을 나타낸다. 또한 모든 단말들은 하나의

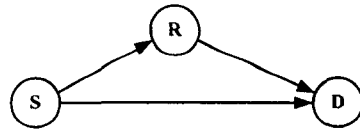


그림 1. 무선 릴레이 시스템 모델

안테나만을 가지고 있으며, 이해의 편의를 위해 심볼 단위로 전송이 수행된다고 가정한다. 송신 노드와 릴레이 노드는 다음과 같이 complex baseband amplitude를 갖는 discrete-time signal을 전송한다고 가정한다.

$$x_i = \sqrt{P_i}(\alpha_i + \beta_i), i \in \{S, R\} \quad (1)$$

여기서 P_i , α_i , β_i 는 각각 전송 전력, information 심볼의 complex amplitude, 채널 상의 잡음을 나타낸다. 또한 AF 방식의 경우에는 전송된 신호의 정보 부분과 잡음 부분은 다음과 같이 1로 정규화되었다고 가정하며,

$$|\alpha_i|^2 + E[|\beta_i|^2] = 1 \quad (2)$$

DF 방식의 경우에는 $\beta_i = 0$ 이라고 가정한다. AF 방식에서는 릴레이 노드가 릴레이 하는 신호들이 noise propagation을 겪는다고 가정하며, DF 방식에서는 error propagation을 고려한다. Frequency flat fading과 shadowing을 고려했으며 송신 노드, 릴레이 노드, 그리고 목적지 노드 사이에서 각각의 채널은 상호 독립적이라고 가정한다. 또한 오류 확률 분석의 편의를 위해 변조방식은 BPSK를 가정하였다.

릴레이 노드와 목적지 노드에서의 수신 신호는 다음과 같다.

$$r_{j,k} = \left(\delta_{j,k} \sqrt{\left(\frac{L_{j,k}}{d_{j,k}^p} \right)} R_{j,k} \right) \sqrt{P_j}(\alpha_j + \beta_j) + n_k \quad \begin{matrix} j \in \{S, R\} \\ k \in \{R, D\} \end{matrix} \quad (3)$$

여기서 $\delta_{j,k}^2$ 은 j 와 k 사이의 free space signal power attenuation factor, $d_{j,k}$ 은 j 와 k 사이의 거리, p 는 propagation