

다중 중계 노드 환경에서 선택적 협력 위상 조향 기법

이 상 구*, 윤 장 혁*, 정 방 철^o

A Selective and Cooperative Phase Steering Technique in Multi-Relay Node Environments

Sangku Lee*, Janghyuk Yoon*,
 Bang Chul Jung^o

요 약

본 논문은 기존의 협력 위상조향 기법의 성능을 향상시키기 위해 채널이 좋은 중계노드들만 통신에 참여하는 선택적 협력 위상조향 기법을 제안한다. 본 기법은 첫 번째 홉에서 복호에 성공한 중계노드들 중에서 두 번째 홉의 무선 채널 상태가 좋은 일정 개수의 중계노드들만이 위상조향 기법을 사용하여 신호를 전송하는 기법이다. 또한, 본 논문에서는 주어진 환경에서 선택되는 최대 중계노드 개수와 오류 확률 간의 최적관계를 확인하고, 기존 협력 중계통신 기법들과 제안하는 선택적 협력 위상조향 기법의 통신오류 확률 성능을 비교 분석한다.

Key Words : Cooperative communication, Phase steering, Outage probability, Opportunistic relay selection.

ABSTRACT

In this letter, we propose a novel selective cooperative phase steering technique for a cooperative wireless network with multiple relay nodes. In the proposed technique, only a certain

number of relays with a good channel condition send signals using a cooperative phase steering technique among the relay nodes that succeeded in packet decoding from the source node. We verify the relationship between the maximum number of transmitting relays and the error probability selected in given system parameters and compare the error probability performance of the proposed selective cooperative phase steering technique with the conventional cooperative relaying techniques in the literature.

I. 서 론

송신노드와 수신노드 사이에서 다중 중계노드들이 통신을 중계하는 협력 통신시스템은 공간 다이버시티 이득을 통해 시스템 성능을 향상할 수 있는 기법으로 알려져 있다^[1]. 이러한 시스템에 사용할 수 있는 대표적인 기법으로 기회적 중계노드 선택 기법^[2]과 협력 위상조향 기법^[3]이 있다. 기회적 중계노드 선택 기법은 중계노드들 중에서 수신노드와의 채널이 가장 좋은 중계노드 한 개를 선택하여 신호를 전송하는 기법이나, 선택된 중계노드와 수신노드 사이의 채널 상태가 좋지 않을 경우에 성능이 좋지 않다는 문제점이 있다. 협력 위상조향 기법은 중계노드들과 수신노드 사이의 채널을 이용하여 수신노드의 모든 수신 신호들이 동일한 위상으로 정렬되도록 중계노드에서 송신신호를 제어하는 기법으로, 여러 개의 중계노드들을 통해 다이버시티 이득을 얻어 성능을 향상시킬 수 있다. 그러나 복호에 성공한 중계노드 개수가 증가할수록 다이버시티 이득은 증가하는 반면, 통신에 참여하는 평균 중계노드의 개수만큼 송신전력이 정규화되어 채널이 좋은 중계노드들의 송신전력이 감소하여 성능이 저하되는 경향이 존재한다.

본 논문은 협력 위상조향 기법의 성능을 더욱 향상시키기 위해 채널이득이 좋은 일정 개수의 중계노드들만을 통신에 참여시키는 선택적 협력 위상조향 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 송신노드가 전송한

※ 이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임.(2019-0-00964-001, 스펙트럼 쉐어링을 통한 기존 무선국 보호 및 주파수 공유기술 개발)

• First Author : (ORCID:0000-0002-9618-4187)Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, sklee@cnu.ac.kr, 정회원

◦ Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-4485-9592)Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, bcjung@cnu.ac.kr, 중신회원

* (ORCID:0000-0002-7486-8270)Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, jhyoon@cnu.ac.kr, 학생회원
 논문번호 : 201906-104-A-LU, Received June 8, 2019; Revised July 18, 2019; Accepted July 24, 2019

신호의 복호에 성공한 각 중계노드가 수신노드 사이의 채널 이득 값에 반비례하는 유예시간 뒤에 자신이 신호를 전송할 것임을 다른 중계노드들에게 방송하여 두 번째 홉에서 신호를 전송할 자격을 얻는다. 신호를 전송할 자격을 얻은 중계노드 개수가 기 설정된 최대 중계노드 개수에 도달할 경우, 자격을 얻지 못한 중계노드들은 전송을 포기하고, 자격을 얻은 중계노드들은 최대 유예시간 이후에 신호를 동시에 전송한다. 이러한 과정을 통해 제안하는 기법은 분산적으로 채널이득이 좋은 일정 개수의 중계 노드들을 선택하여 신호를 전송하는 것이 가능하다.

II. 선택적 협력 위상 조향 통신 시스템

그림 1은 제안하는 선택적 협력 위상조향 기법의 시스템 모델을 보여준다. 전체 시스템은 송신노드(s)와 수신노드(d), 그리고 K 개의 중계노드로 구성되어 있으며, 모든 노드는 단일 안테나를 가진다. 송신노드와 수신노드 사이 채널 환경은 열악하여 송신노드는 오직 중계노드를 통해 수신노드와 통신한다고 가정하고, 두 홉 동안 모든 무선 채널은 변하지 않는다고 가정한다. 또한, 모든 중계노드들은 수신노드로부터 퍼일렛 신호를 수신하여 중계노드와 수신노드 사이의 채널을 알고 있다고 가정한다.

첫째 홉에서 송신노드는 무선통신채널을 통해 모든 중계노드들에게 신호를 전송한다. 이때, 각 k 째 중계노드에서 수신한 신호는 다음과 같다.

$$y_k = h_{s,k}x_s + n_k, \quad (1)$$

여기서 x_s 는 송신노드에서 전송한 송신신호이다. y_k 는 $k \in \{1, 2, \dots, K\}$ 째 중계 노드의 수신 신호이고, $h_{s,k}$ 는 송신 노드와 k 째 중계 노드들 사이의 무선채널이며, $\mathcal{CN}(0, \sigma_{s,r}^2)$ 를 따른다고 가정한다. n_k 는 k 째 중계 노드가 수신한 신호에 더해진 잡음을 의미하며, $\mathcal{CN}(0, N_0)$ 를 따른다고 가정한다.

두 번째 홉에서 중계노드들이 위상 정렬을 수행하기 위하여 잡음이 없는 원 신호를 알고 있어야 한다. 따라서 첫 번째 홉에서 모든 중계 노드들은 수신한 신호의 복호를 진행하며, 복호에 성공한 중계 노드의 집합을 다음과 같이 정의한다.

$$D = \left\{ k : |h_{s,k}|^2 \geq g = \frac{2^{2R} - 1}{\rho} \right\}, \quad (2)$$

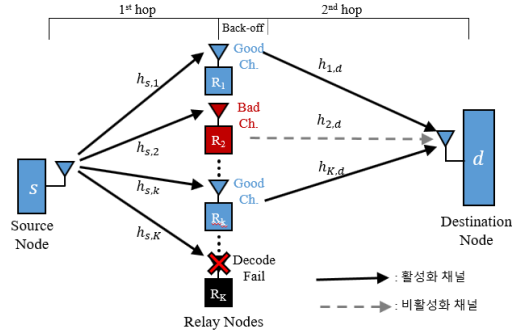


그림 1. 선택적 협력 위상 조향 기법
Fig. 1. Selective Cooperative Phase Steering Scheme

여기서 R 은 송신노드에서 수신노드까지 요구되는 전송률을 의미하며, 두 홉 동안 통신하는 시스템은 주파수 효율이 감소되는 것을 보상하기 위해 송신노드와 수신노드가 직접 통신하는 시스템보다 두 배 높은 전송률 $2R$ 이 요구된다. 또한, ρ 는 송신전력 대 잡음비 (송신 SNR)을 나타낸다.

D 에 속한 모든 중계 노드들은 두 번째 홉에서 표 1과 같은 과정을 통해 각 중계노드들의 유예 시간을 계산하고, 신호 전송 여부를 방송한다. 표 1에서 T_{\max} 는 중계노드의 최대 유예시간을 의미하며, $h_{m,d}$ 는 m 째 중계노드와 수신노드 사이 무선채널을 의미하며, $\mathcal{CN}(0, \sigma_{r,d}^2)$ 의 분포를 따른다고 가정한다. 표 1과 같은 과정을 통해 채널이득이 큰 중계노드는 유예시간이 짧아져 송신 여부를 일찍 방송하여 신호 전송 자격을 획득하며, 수신노드에 전송할 수 있는 최대 중계노

표 1. 중계 노드의 두 번째 홉 알고리즘
Table 1. Second hop algorithm of relay nodes

1. m 째 중계노드는 $h_{m,d}$ 를 이용하여 채널 이득 $|h_{m,d}|$ 를 계산한다. ($m \in D$)
2. m 째 중계노드의 유예시간 T_m 를 다음과 같이 계산한다.

$$T_m = \frac{T_{\max}}{1 + |h_{m,d}|}. \quad (3)$$

3. T_m 의 시간 뒤에 m 째 중계노드는 신호 전송 여부를 다른 중계노드들에게 방송하며, 방송에 성공한 중계노드는 집합 K'_i 에 포함된다.
4. 지속적인 센싱을 통해 각 중계노드는 다른 중계노드의 전송 여부를 확인하며, 전송 여부를 방송한 중계노드 수가 $|K'_i| = K_{\max}$ 이면 방송하지 못한 중계노드들은 전송을 포기한다.

드의 수를 K_{\max} 개로 제한함으로써 채널이득이 좋은 K_{\max} 개의 중계노드를 분산적으로 선택하는 것이 가능하다.

송신 여부를 방송하여 송신 자격을 획득한 각 중계노드들은 T_{\max} 이후에 협력 위상조향 기법을 사용하여 수신노드에 신호를 동시에 전송하며, 수신 노드에 수신된 신호 y_d 는 다음과 같다.

$$y_d = \frac{1}{N} \sum_{i \in K_t} |h_{i,d}| x_i + n_d, \quad (4)$$

x_i 는 i 째 중계노드가 전송한 신호를, n_d 는 수신노드가 수신한 신호에 더해진 잡음을 의미하며, $\mathcal{CN}(0, N_0)$ 를 따른다고 가정한다. N 은 두 번째 홉에서 복호에 성공하고 중계에 참여하는 중계노드 수 $|K_t|$ 의 평균으로 다음과 같이 주어진다.

$$N \triangleq \sum_{k=1}^K \min\{k, K_{\max}\} \binom{K}{k} (e^{-g/\sigma_i^2})^k (1 - e^{-g/\sigma_i^2})^{K-k}. \quad (5)$$

결론적으로, 수신 신호로부터 최대 중계노드 개수에 대한 수신노드에서의 유효 수신 SNR은 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$\gamma = \frac{\rho}{N} \left(\sum_{i \in K_t} |h_{i,d}| \right)^2. \quad (6)$$

III. 시뮬레이션 결과

그림 2는 주어진 환경에서 선택되는 최대 중계노드 개수와 오류 확률 간의 최적 관계를 확인하기 위한 시뮬레이션 결과이다. 실험 결과에 따르면 주어진 조건에서 송신 SNR이 높아질수록 최대 중계노드 개수 (K_{\max})가 3개 일 때 최적의 오류 확률 성능을 달성하는 것을 확인할 수 있다.

그림 3은 제안하는 선택적 협력 위상조향 기법과 기존의 협력 중계통신 기법인 기회적 중계노드 선택 기법, 협력 위상 조향 기법의 통신오류 확률 성능을 비교 분석한 결과이다. 그림 2의 실험 결과를 활용하여 제안하는 기법의 최대 중계노드 개수(K_{\max})를 3개로 설정하여 비교한 결과 낮은 송신 SNR에서 세 가지 기법의 오류 확률이 큰 차이를 보이지 않으나, 송신 SNR이 높아질수록 제안하는 기법은 다른 두 개의

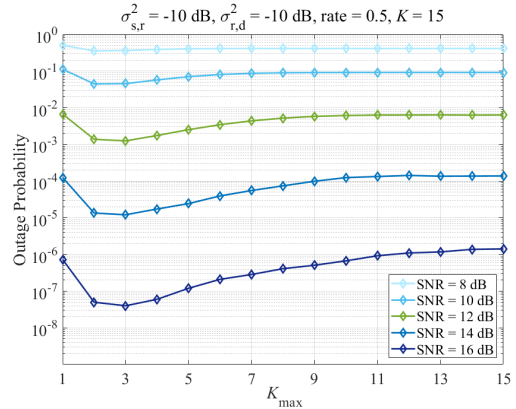


그림 2. K_{\max} 대비 오류 확률
Fig. 2. Outage probability with K_{\max}

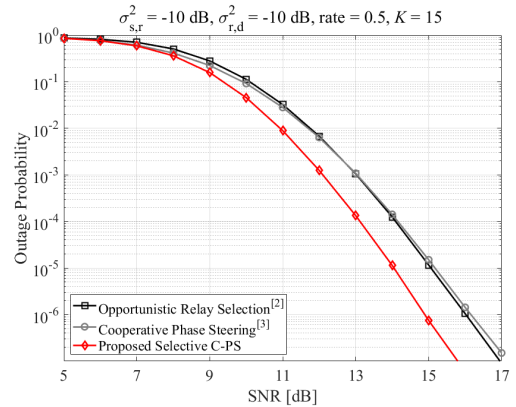


그림 3. 송신 SNR 대비 오류 확률, $K_{\max} = 3$
Fig. 3. Outage probability with transmit SNR, $K_{\max} = 3$

기법들보다 우수한 성능을 달성하는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 다중 중계노드가 존재하는 통신 환경을 위한 선택적 협력 위상조향 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 송신노드로부터 전송된 신호의 복호에 성공한 중계노드 중에서 일정 개수의 중계노드가 위상조향기법을 이용하여 수신노드로 신호를 전송하는 기법으로, 최적의 성능을 달성할 수 있는 최대 중계노드 개수가 존재한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 최적의 최대 중계노드 개수를 확인하였으며, 이때 기존의 협력 통신 기법보다 우수한 오류 확률 성능을 달성하는 것을 확인하였다.

References

- [1] J. N. Laneman, D. Tse, and G. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 50, no. 12, pp. 3062-3080, Dec. 2004.
- [2] T. W. Ban, B. C. Jung, D. K. Sung, and W. Choi, "Performance analysis of two relay selection schemes for cooperative diversity," in *Proc. IEEE PIMRC*, Sep. 2007.
- [3] T. W. Ban, W. Choi, B. C. Jung, and D. K. Sung, "A cooperative phase steering scheme in multi-relay node environments," *IEEE Trans. Wireless Commun.* vol. 8, no. 1, pp. 72-77, Jan. 2009.