

다중 단말 협력 네트워크를 위한 공정 기회 중계

*김진수 **이재홍

서울대학교 전기·컴퓨터공학부 뉴미디어통신공동연구소

*jskim97@snu.ac.kr

Fair Opportunistic Relaying for a Multi-source Cooperative Network

*Kim, Jinsu **Lee, Jae Hong

Department of Electrical Engineering, Seoul National University

요약

본 논문은 차세대 양방향 이동통신의 상향링크 전송용량 증대를 위한 다중 단말 기회 중계 (opportunistic relaying) 기법을 제안한다. 제안된 기법은 단일 안테나(single antenna) 기지국과 다수의 단일 안테나 단말이 있는 협력 네트워크(cooperative network)에서 시간블록 단위로 라운드 로빈(Round-Robin)과 동일한 공정성(fairness)을 보장하면서 높은 불능확률 성능 이득을 제공한다. 컴퓨터 모의 실험결과를 통해 제안된 기법의 성능 이득 크기를 보이며, 기존의 중계 기법보다 높은 다이버시티 차수를 가짐을 확인한다.

I. 서론

기회 중계(opportunistic relaying) 기법은 불능확률(outage probability)을 최소화하는 최적 협력 중계 기법이다[1]. 저속 페이딩(slow fading) 채널 환경에서 깊은 페이딩(deep fading)에 의한 시스템 성능 열화를 공간 다이버시티(spatial diversity)를 통해 저감시킴으로써 통신의 효율성을 제고한다.

본 논문에서는 차세대 양방향 이동통신을 서비스 구현을 위해 그 중요성이 증대되고 있는 상향링크 통신을 위한 다중 단말 기회 중계(multi-source opportunistic relaying) 기법을 제안한다. 컴퓨터 모의실험을 통해 제안된 기법이 다중 단말 환경에서 자원 할당의 공정성을 보장하면서 향상된 불능 확률 성능을 제공함을 보인다.

II. 시스템 모델

단일 안테나 단말 K 개와 단일 안테나 기지국(BS)이 있는 그림 1의 무선 협력 네트워크를 고려한다. 모든 단말은 반이중(half-duplex) 시분할다중접속 방식으로 각 r_0 비트의 정보블록(information block)을 기지국에 전송한다. 공정한 채널 사용을 위해 각 단말은 매 K 시간슬롯(time slot) 동안 L 개 심볼 구간 길이의 한 시간슬롯을 사용하여 자신의 한 정보블록을 기지국에 전송한다[3].

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 IT산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [KI001809, Intelligent Wireless Communication Systems in 3 Dimensional Environment].

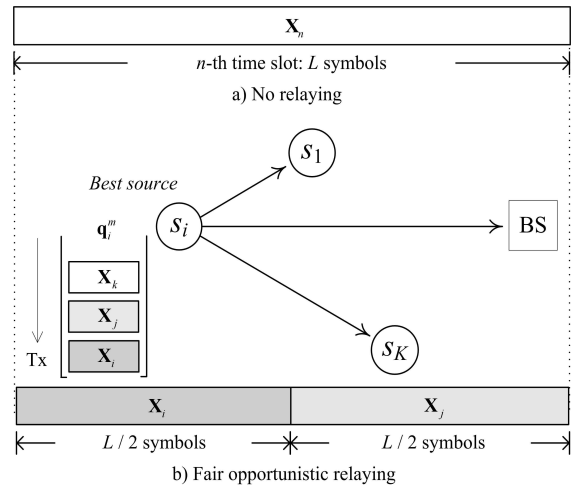


그림 1. 정보 블록 전송 개념도

모든 단말의 집합을 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_K\}$, 단말 집합 S 의 지수 집합(index set)을 $S = \cup \{s_i\}_{i \in I}$ 라 할 때, 단말 s_i 는 처음 K 시간슬롯동안 한 정보블록 $X_i (i \in I)$ 를 기지국에 전송한다. 모든 무선 채널은 각 시간슬롯 동안 일정한 이득을 갖는 준정적 레일리 페이딩(quasi-static Rayleigh fading)을 가정한다. 시간슬롯 n 번째에서 단말 사이 채널 이득 계수를 $f_{i,j}(n)$, 단말과 기지국 사이의 채널 이득 계수를 $h_i(n)$ 으로 표현할 때 $f_{i,j}(n)$, $h_i(n)$ 은 평균이 0이고 분산이 각 $\eta_{i,j}$, σ_i 인 원형 대칭 복소 가우시안 확률 변수(circularly symmetric complex Gaussian random variable)로 가정한다.

III. 제안된 다중 단말 기회 중계 기법

제안된 기법에서는 협력 다이버시티(cooperative diversity) 이득을 얻기 위해 각 시간슬롯을 두 개의 부 시간슬롯(sub-time slot)으로 나눈다. 매 부 시간슬롯에서 선택되어진 하나의 최적 단말(b^m)이 기지국에 하나의 정보블록을 $L/2$ 심볼을 사용하여 전송한다.

각 단말은 K 개의 정보블록을 저장할 수 있는 큐(queue)를 가지고 있다고 가정한다. m ($m = 1, 2, \dots, 2K$) 번째 부 시간슬롯의 시작 시점에서 단말 s_i 의 큐에 대한 지수 벡터를 $\mathbb{Q}_i^m = [\varphi_{i,1}^m, \varphi_{i,2}^m, \dots, \varphi_{i,K}^m]$ 라 정의한다. 지수 벡터의 컴포넌트(component) $\varphi_{i,k}^m$ 는 k 번째로 저장된 정보블록의 지수를 나타내며, 저장된 정보블록이 없는 경우 0으로 표시한다. 따라서 첫 번째 부 시간슬롯($m = 1$)에서의 지수 벡터는 $\mathbb{Q}_i^1 = [i, 0, \dots, 0]$ 로 표현된다.

부 시간슬롯 m 번째에서 활성 단말(active sources) 집합을 $A^m \equiv \{j \in I: \varphi_{j,1}^m \neq 0\}$ 로 정의하면 최적 전송 단말은 수식 (1)과 같이 결정되고, 복호화 집합은 수식 (2)로 표현된다.

$$b^m = \arg \max_{i \in A^m} \frac{|h_i(\lceil m/2 \rceil)|^2}{\tau} \quad (1)$$

$$D_m = \left\{ j \in I: j \neq b^m, \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0} |h_{b^m,j}|^2 \right) \geq R \right\} \cup \{b^m\} \quad (2)$$

여기서 P 는 각 단말의 송신전력, N_0 는 각 단말에서의 백색 가우시안 잡음에 대한 분산을 나타낸다. 또한, τ 는 마이크로초(microsecond) 크기의 상수로 가정한다.

무선 채널의 방송(broadcast) 특성에 따라 최적 전송 단말 이외의 단말들도 매 시간슬롯동안 기지국으로 전송한 정보블록을 동시 수신하게 된다. 이 단말들은 수신된 심볼을 통해 정보블록을 복호화하게 되고, 복호화가 성공한 경우 해당 정보블록을 자신의 큐에 순차적으로 저장한다. 또한, 자원 사용의 공정성을 위해 매 $2K$ 개의 부 시간슬롯 동안 정보블록 전송 발생 인디케이터(indicator) 변수($c_i^m, c_i^m \in \{0, 1\}, \forall i \in I$)의 합을 2로 제한한다.

변수 ρ_i^m 을 지수 벡터 \mathbb{Q}_i^m 에서 0이 아닌 컴포넌트의 수로 정의하고, $\omega_i^m = \max\{1, \rho_i^m\}$ 이라 나타내면 최적 전송 단말의 전송 이후 지수 벡터는 $m+1$ 번째 부 시간슬롯에서 수식 (3)과 같이 갱신된다.

$$\varphi_{i,k}^{m+1} = \begin{cases} (1 - \mu_{i,k}^m) \varphi_{i,k}^m + \mu_{i,k}^m \varphi_{i,k+1}^m, & 1 \leq k \leq \omega_i^m \\ (1 - \mu_{i,k}^m) \varphi_{i,k}^m + \mu_{i,k}^m \chi_i^m \varphi_{i,k+1}^m, & \omega_i^m < k \leq K \end{cases} \quad (3)$$

$$\chi_i^m = \left[1 - \sum_{k=1}^m c_{\varphi_{i,1}^k}^k / 2 \right] \mathbb{I}_{D_m}(i),$$

$$\mu_{i,k}^m = \frac{1}{2\pi} \sum_{l=1}^k \int_0^{2\pi} \cos(\varphi_{i,1}^m z - \varphi_{i,l}^m) dz$$

여기서 $\mathbb{I}_A(\cdot)$ 은 인디케이터 함수(indicator function)를 나타낸다.

IV. 컴퓨터 모의실험 결과

복호화재전송 (decode-and-forward)을 사용하여 주파수 효율 1bit/sec/Hz에서, 공정성을 보장하는 라운드 로빈(round-robin), 최대수율을 갖는 기회(opportunistic) 전송, 고정 복호화재전송(Fixed DaF)[2] 기법과 비교한다.

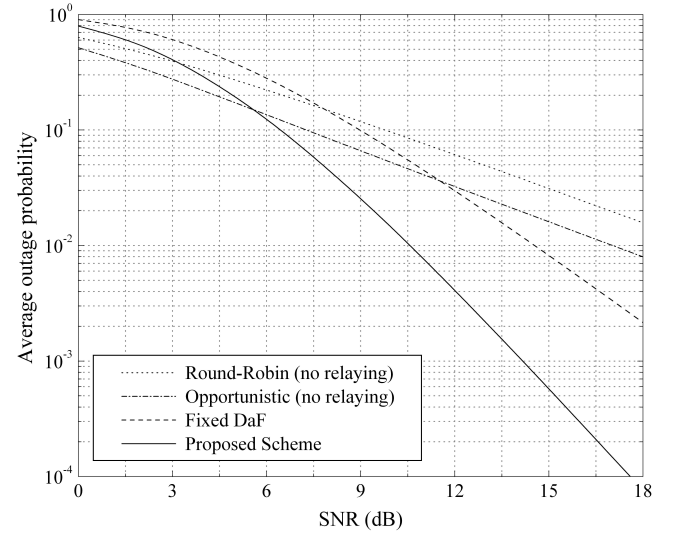


그림 2. 대칭 채널 환경에서 신호대잡음비(signal to noise ratio)에 따른 평균 불능 확률 비교 ($K=2, \sigma_1 = \sigma_2 = 1$).

IV. 결론

본 논문에서는 공정성 제한이 존재하는 다중 단말 상호링크 채널에서 불능확률 성능을 향상 시키는 기회 중계 기법을 제안하였다. 컴퓨터 모의실험을 통해 제안된 기법이 라운드 로빈과 동일한 공정성을 보장하면서도 높은 성능 이득을 얻음을 확인하였다. 또한, 큐를 이용함으로써 단말의 수와 동일한 다이버시티 차수(diversity order)를 갖는 고정 복호화재전송 기법보다 높은 다이버시티 차수를 가짐을 확인한다.

참고문헌

- [1] A. Bletasas, H. Shin, and M. Z. Win, "Cooperative communications with outage-optimal opportunistic relaying," *IEEE Trans. Wireless Commun.* vol. 6, no. 9, pp. 3450-3460, Sep. 2007.
- [2] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocol and outage behavior," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 50, no. 12, pp. 3062-3080, Dec. 2004.
- [3] G. Caire, R. R. Muller, and R. Knopp, "Hard fairness versus proportional fairness in wireless communications: The single-cell case," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 53, no. 4, pp. 1366-1385, Apr. 2007.