

# 복호후 전달 방식 기반 다중 릴레이 협동통신망의 릴레이 선택 기법

\*김향란, \*\*진동섭<sup>0</sup>, \*\*노종선, \*\*\*신동준

\*동국대학교 정보통신공학과, 서울대학교 전기컴퓨터공학부, 뉴미디어통신공동연구소,

\*\*서울대학교 전기컴퓨터공학부, 뉴미디어통신공동연구소

\*\*\*한양대학교 전자전기공학부

jin\_xl@naver.com, carecano@ccl.snu.ac.kr, jsno@snu.ac.kr, djshin@hanyang.ac.kr

## Relay Selection Scheme for Decode-and-Forward Protocol With Multiple Relays

\*Xianglan Jin, \*\*Dong-Sup Jin<sup>0</sup>, \*\*Jong-Seon No, and \*\*\*Dong-Joon Shin

\*Department of Information and Communication Engineering, Dongguk University

\*\*Department of EECS, INMC, Seoul National University

\*\*\*Department of ECE, Hanyang University,

jin\_xl@naver.com, carecano@ccl.snu.ac.kr, jsno@snu.ac.kr, djshin@hanyang.ac.kr

### 요약

본 논문에서는 모든 노드에서 다중안테나를 갖는 다중 릴레이에 대한 복호후 전달 프로토콜의 쌍 오류 확률 (pairwise error probability: PEP)의 상한을 유도한다. 이런 PEP의 상한으로부터 복호후 전달 프로토콜의 새로운 릴레이 선택 방식을 제안한다. 평균 비트 오류 확률 (bit error probability: BEP)에 대한 모의 실험 결과는 제안한 릴레이 선택 기법이 기존의 릴레이 선택 기법보다 다중안테나 복호후 전달 프로토콜에서 좋은 성능을 가진다는 것을 보여 준다.

### 1. 개요

최근 협력통신망의 릴레이 선택 방식에 대한 연구가 많아 지고 있다 [1]-[8]. [1]에서는 소스-릴레이 (source-relay: SR) 채널 계수의 절대치가 경계치보다 큰 릴레이노드를 선택하는 복호후 전달 프로토콜의 릴레이 선택 기법을 제안하였다. [2]에서는 제일 가까운 릴레이를 선택하는 기법, 즉 소스 노드와 제일 가깝거나 목적 노드와 제일 가까운 릴레이를 선택하는 기법을 제안 하였다. 릴레이 선택 방식에 관한 다른 연구에는 신호대 잡음 비 (signal to noise ratio: SNR)을 최대화 [3], [4] 하거나, SR과 릴레이-목적 (relay-destination: RD) 채널의 계수의 절대치 값 중의 작은 값을 최대화 [5], [6] 하거나, 평균 심볼 오류 확률의 상한을 최소화 [7] 하는 기법들이 있다. 그러나 위와 같은 모든 기법은 단일 안테나에 대한 연구이다. 다중 안테나에 관해서 Fan과 Thompson [8] 은 네트워크 용량을 최대화하는 단일 릴레이를 선택하는 릴레이 선택 기법을 사용하였다. 하지만 대부분 다중안테나 시스템에 대하여 네트워크 용량을 최대화하는 릴레이 선택 기법은 오류 정정 성능을 최대화하지는 않을 것이다. 그래서 이 논문에서는

쌍 오류 확률 (pairwise error probability: PEP)을 최소화 하는 채널 정보 (channel state information: CSI)와 부호 구조에 기반한 릴레이 선택 기법을 제안한다.

본 논문에서는 하나의 소스 노드, 하나의 목적 노드와  $N$ 개의 릴레이 노드가 각각  $M_S$ ,  $M_D$ 과  $M_R$ 개의 안테나를 갖고 있는 협력통신네트워크를 고려한다. 먼저 [9]에서 제안한 near-ML (near maximum likelihood)복호 방식을 다중 릴레이 노드로 확장시키고 PEP의 상한을 유도한다. 그 PEP의 상한으로부터 CSI과 부호 구조에 기반하는 새로운 릴레이 선택 기법을 제안한다.

설명의 편의를 위하여 다음과 같은 표기를 사용한다.  $I_n$ 는  $n \times n$  단위행렬을 의미하고  $\mathbb{C}^{n \times m}$ 는  $n \times m$  복소 행렬의 집합을 나타내고  $\|\cdot\|$ 과  $\text{tr}(\cdot)$ 는 각각 행렬의 Frobenius 노름과 행렬의 대각 합을 나타낸다.  $E[\cdot]$ 는 확률 변수의 결합 분포에 대한 기댓값을 의미하고  $(\cdot)^\dagger$ 는 복소 공액 전치행렬을 나타내고  $\text{Re}(\cdot)$ 은 복소수의 실수부를 나타낸다.  $A \in \mathbb{C}^{n \times m}$ 에 대하여  $A \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2 I_{nm})$ 는  $A$ 의 성분들이 평균이 0이고 분산이 1인 독립적이고 동일한 분포를 갖는 (independent and identically distributed: i.i.d.) 순환 대칭 복소 가우시안 확률 변수이다는 것을 의미한다.  $\lim_{\sigma^2 \rightarrow 0} P(a = b) = 1$ 는

$$\hat{x} = \arg \min_{x \in \mathcal{A}^L} \left\{ \|Y_{SD} - \sqrt{P_S} G X_S(x)\|^2 + \sum_{i=1}^N \min_{\hat{x}_{R_i} \in \mathcal{A}^L} \left[ \|Y_{R_i D} - \sqrt{P_R} F_i X_R(\hat{x}_{R_i})\|^2 - \sigma^2 \ln P_{SR_i}(x \rightarrow \hat{x}_{R_i}) \right] \right\} \quad (3)$$

$$m([Y_{SD}, Y_{R_1 D}, \dots, Y_{R_N D}], x | x, x_{R_1}, \dots, x_{R_N}) \approx \|N_{SD}\|^2 + \sum_{i=1}^N \min_{\hat{x}_{R_i} \in \mathcal{A}^L} \left[ \|\sqrt{P_R} F_i (X_R(x_{R_i}) - X_R(\hat{x}_{R_i})) + N_{R_i D}\|^2 + \frac{P_S}{4} \|K_i(X_S(x) - X_S(\hat{x}_{R_i}))\|^2 \right] \quad (7)$$

$$m([Y_{SD}, Y_{R_1 D}, \dots, Y_{R_N D}], \tilde{x} | x, x_{R_1}, \dots, x_{R_N}) \approx \|\sqrt{P_S} G (X_S(x) - X_S(\tilde{x})) + N_{SD}\|^2 + \sum_{i=1}^N \min_{\hat{x}_{R_i} \in \mathcal{A}^L} \left[ \|\sqrt{P_R} F_i (X_R(x_{R_i}) - X_R(\hat{x}_{R_i})) + N_{R_i D}\|^2 + \frac{P_S}{4} \|K_i(X_S(\tilde{x}) - X_S(\hat{x}_{R_i}))\|^2 \right] \quad (8)$$

$$P(x \rightarrow \tilde{x}) = \sum_{n_R=0}^N \sum_{S \in S(n_R)} \sum_{\substack{x_{R_i} \neq x \\ i \in S_N \setminus S}} P(x \rightarrow \tilde{x} | x_{R_i} = x, i \in S \text{ and } x_{R_i} \neq x, i \in S_N \setminus S) \prod_{i \in S} P_{SR_i}(x | x) \prod_{i \in S_N \setminus S} P_{SR_i}(x_{R_i} | x) \quad (9)$$

$a \stackrel{P}{=} b$ 으로 표현하고 동시에  $\stackrel{P}{\leq}$ ,  $\stackrel{P}{\geq}$ ,  $\stackrel{P}{\approx}$ ,  $\stackrel{P}{\lesssim}$ , and  $\stackrel{P}{\gtrsim}$ 의 표현도 사용한다.

## 2. 시스템 모델

이 논문에서는 반이중 통신방식의 복호후 전달 프로토콜을 고려한다. 릴레이는 SR 채널의 CSI를, 목적노드는 SR, SD와 RD 채널의 CSI를 알고 있다고 가정한다.

첫 번째 시간 슬롯에서 소스는  $x = (x_1, x_2, \dots, x_L) \in \mathcal{A}^L$ 에 포함된  $L$ 개의 심볼로 구성된  $M_S \times T_1$  부호어  $X_S(x)$ 를 릴레이와 목적노드에 전송한다. 그래서  $i$ 번째 릴레이와 목적노드가 받은 신호는 각각 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Y_{SR_i} &= \sqrt{P_S} K_i X_S(x) + N_{SR_i} \\ Y_{SD} &= \sqrt{P_S} G X_S(x) + N_{SD} \end{aligned} \quad (1)$$

위식에서  $P_S$ 는 소스 노드의 평균 전송 전력이고  $K_i \in \mathbb{C}^{M_R \times M_S}$ 과  $G \in \mathbb{C}^{M_D \times M_S}$ 는 각각  $i$ 번째 SR과 SD 채널 계수 행렬들인데  $K_i \sim \mathcal{CN}(0, \sigma_{SR}^2 I_{M_R M_S})$ 과  $G \sim \mathcal{CN}(0, \sigma_{SD}^2 I_{M_D M_S})$ 의 분포를 가진다.  $N_{SR_i} \in \mathbb{C}^{M_R \times T_1}$ 과  $N_{SD} \in \mathbb{C}^{M_D \times T_1}$ 는 분포가 각각  $N_{SR_i} \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2 I_{M_R T_1})$ 과  $N_{SD} \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2 I_{M_D T_1})$ 인 잡음 행렬이다.

두 번째 시간 슬롯에서,  $i$ 번째 릴레이 노드는  $x_{R_i} = (x_1^{R_i}, x_2^{R_i}, \dots, x_L^{R_i}) \in \mathcal{A}^L$ 에 포함된  $L$ 개의 심볼로 구성된 부호어  $X_R(x_{R_i}) \in \mathbb{C}^{M_R \times T_2}$ 를  $N$ 개의 직교 채널을 통하여 목적노드로 전송한다. 즉 목적노드가  $i$ 번째 직교 채널을 통하여 받는 신호는 다음과 같다.

$$Y_{R_i D} = \sqrt{P_R} F_i X_R(x_{R_i}) + N_{R_i D} \quad (2)$$

$P_R$ 는 릴레이 노드의 평균 전송 전력이고  $F_i \in \mathbb{C}^{M_D \times M_R}$ 는  $i$ 번째 RD 채널 계수 행렬이고  $F_i \sim \mathcal{CN}(0, \sigma_{RD}^2 I_{M_D M_R})$ 의 분포를 가지고  $N_{R_i D} \in \mathbb{C}^{M_D \times T_2}$ 는  $N_{R_i D} \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2 I_{M_D T_2})$ 의 분포를 가지는 잡음 행렬이다.

## 3. PEP 분석

이 논문에서는 [9]에서 제안한 near-ML복호기를 사용하는데 이는 (3)와 같다. 이 논문에서는 또한 [9]의 정리 1를 이용하여 PEP을 분석한다.

릴레이 노드는 복호 오류로 인해 임의의 메시지 벡터의 전송이 가능하기 때문에 목적노드에서의  $x$ 과  $\tilde{x}$ 사이의 PEP는 다음과 같다.

$$P(x \rightarrow \tilde{x}) = \sum_{x_{R_1} \in \mathcal{A}^L} \dots \sum_{x_{R_N} \in \mathcal{A}^L} P(x \rightarrow \tilde{x} | x, x_{R_1}, \dots, x_{R_N}) \cdot \prod_{i=1}^N P_{SR_i}(x_{R_i} | x) \quad (4)$$

위 식에서  $P(x \rightarrow \tilde{x} | x, x_{R_1}, \dots, x_{R_N})$ 는 조건부 PEP를 의미하고 조건  $x$ 를 생략하기로 한다. 메시지 벡터  $x$ 의 심볼로 구성된 부호어가 소스 노드에서 첫 번째 시간 슬롯에서 보내지고 두 번째 시간 슬롯에서는  $i$ 번째 릴레이가 수신된 신호를 복호한 신호들로 구성된 부호어를 목적 노드로 송신한다고 가정하면 조건부 PEP는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} &P(x \rightarrow \tilde{x} | x_{R_1}, \dots, x_{R_N}) \\ &= P\left(m([Y_{SD}, Y_{R_1 D}, \dots, Y_{R_N D}], x | x, x_{R_1}, \dots, x_{R_N}) > m([Y_{SD}, Y_{R_1 D}, \dots, Y_{R_N D}], \tilde{x} | x, x_{R_1}, \dots, x_{R_N})\right) \end{aligned} \quad (5)$$

위식에서  $m([Y_{SD}, Y_{R_1 D}, \dots, Y_{R_N D}], x | x, x_{R_1}, \dots, x_{R_N})$ 와  $m([Y_{SD}, Y_{R_1 D}, \dots, Y_{R_N D}], \tilde{x} | x, x_{R_1}, \dots, x_{R_N})$ 는 (3)에서의 메트릭을 의미한다. [9]에서 처럼

$$P_{SR_i}(x \rightarrow \hat{x}_{R_i}) = Q\left(\sqrt{\frac{P_S}{2\sigma^2}} \|K_i(X_S(x) - X_S(\hat{x}_{R_i}))\|\right)^2 \quad (6)$$

과  $Q(x) \approx \frac{\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-\frac{x^2}{2})}{(1 - \frac{1}{\pi})x + \frac{1}{\pi}\sqrt{x^2 + 2\pi}}$ ,  $0 < x < \infty$ 를 이용하면 (5)의 메트릭들은 (7)과 (8)로 근사화된다. 수식 (7)과 (8)의 최소값을 구하는 부분때문에 계산이 매우 어렵다. 그러므로 (4)에서의 심볼  $x_{R_i}$ 을  $x_{R_i} = x$ 과  $x_{R_i} \neq x$ 의 두가지로 나누어 생각한다.

$S_N = \{1, \dots, N\}$ 이고  $S(n_R) = \{S | S \subseteq S_N, |S| = n_R\}$ ,  $0 \leq n_R \leq N$ 이라고 가정한다. 그리고  $n_R$ 개의 릴

$$m\left([Y_{SD}, Y_{R_1D}, \dots, Y_{R_N D}], \tilde{x}|x, x_{R_1}, \dots, x_{R_N}\right) \stackrel{P}{\approx} \left\| \sqrt{P_S} G(X_S(x) - X_S(\tilde{x})) + N_{SD} \right\|^2 + \sum_{i \in S_N \setminus S} \|N_{R_i D}\|^2 + \sum_{i \in S} \min \left[ \left\| \sqrt{P_R} F_i(X_R(x) - X_R(x_{F_i}^{\min})) + N_{R_i D} \right\|^2, \|N_{R_i D}\|^2 + \frac{P_S}{4} \|K_i(X_S(\tilde{x}) - X_S(x))\|^2 \right] \quad (11)$$

$$P(x \rightarrow \tilde{x} | x_{R_i} = x, i \in S \text{ and } x_{R_i} \neq x, i \in S_N \setminus S) \prod_{i \in S} P_{SR_i}(x|x) \prod_{i \in S_N \setminus S} P_{SR_i}(x_{R_i}|x) \stackrel{P}{\approx} P \left( \|N_{SD}\|^2 + \sum_{i=1}^N \|N_{R_i D}\|^2 + \sum_{i \in S_N \setminus S} \frac{P_S}{4} \|K_i(X_S(x) - X_S(x_{R_i}))\|^2 > \left\| \sqrt{P_S} G(X_S(x) - X_S(\tilde{x})) + N_{SD} \right\|^2 + \sum_{i \in S_N \setminus S} \|N_{R_i D}\|^2 + \sum_{i \in S} \min \left[ \left\| \sqrt{P_R} F_i(X_R(x) - X_R(x_{F_i}^{\min})) + N_{R_i D} \right\|^2, \|N_{R_i D}\|^2 + \frac{P_S}{4} \|K_i(X_S(\tilde{x}) - X_S(x))\|^2 \right] \right) \cdot \exp \left( - \sum_{i \in S_N \setminus S} \frac{P_S}{4\sigma^2} \|K_i(X_S(x) - X_S(x_{R_i}))\|^2 \right) \quad (12)$$

레이에 대하여  $x_{R_i} = x$ 이고 나머지  $N - n_R$ 에 대하여  $x_{R_i} \neq x$ 일 경우를 생각한다. 그러면 (4)의 PEP는 (9)과 같이 다시 쓸 수 있다. 즉  $P(x \rightarrow \tilde{x})$ 은 (9)의 summand을 유도하는 것을 통하여 얻을 수 있다.

먼저  $x_{R_i} = x, i \in S$ 과  $x_{R_i} \neq x, i \in S_N \setminus S$ 의 상황하에서 (7)과 (8)에 있는 두 메트릭을 고려한다. [9]의 정리 1로부터 (7)의 메트릭의 상한을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$m\left([Y_{SD}, Y_{R_1D}, \dots, Y_{R_N D}], x|x, x_{R_1}, \dots, x_{R_N}\right) \stackrel{P}{\approx} \|N_{SD}\|^2 + \sum_{i \in S_N} \|N_{R_i D}\|^2 + \sum_{i \in S_N \setminus S} \frac{P_S}{4} \|K_i(X_S(x) - X_S(x_{R_i}))\|^2 \quad (10)$$

그리고 비슷한 방식으로 (8)의 하한은 (11)처럼 얻을 수 있다. (11)에서  $x_{F_i}^{\min} = \arg \min_{\hat{x}_{R_i} \neq x} \|F_i(X_R(x) - X_R(\hat{x}_{R_i}))\|^2$ 이다.

$P_{SR_i}(x|x) \leq 1, i \in S, P_{SR_i}(x_{R_i}|x) \leq P_{SR_i}(x \rightarrow x_{R_i}), i \in S_N \setminus S$ , (6),  $Q(x) \leq \exp(-x^2/2)$ , (10) 그리고 (11)을 이용하면 (9)의 summand는 (12)과 같은 상한을 가진다. 그리고 (12)을 (9)에 대입하면 다음의 정리를 얻을 수 있다.

**정리 1:**  $N$ 개의 릴레이가 존재하고 다중안테나를 사용하는 복호후 전달 프로토콜의  $L$ 개의 심볼로 구성된 벡터  $x$ 과  $\tilde{x}$ 사이의 PEP는 다음과 같은 상한을 가진다.

$$P(x \rightarrow \tilde{x}) \stackrel{P}{\approx} 2(M^L + 1)^N \exp \left( - \frac{P_S}{4\sigma^2} \|G(X_S(x) - X_S(\tilde{x}))\|^2 \right) \exp \left( - \frac{1}{4\sigma^2} \sum_{i \in S_N} \min \left[ \frac{P_S}{2} \|K_i(X_S(x) - X_S(x_{R_i}^{\min}))\|^2, P_R \|F_i(X_R(x) - X_R(x_{F_i}^{\min}))\|^2 \right] \right) \quad (13)$$

위 식에서  $x_{K_i}^{\min} = \arg \min_{\tilde{x} \neq x} \|K_i(X_S(x) - X_S(\tilde{x}))\|^2$ 이고  $x_{F_i}^{\min} = \arg \min_{\hat{x}_{R_i} \neq x} \|F_i(X_R(x) - X_R(\hat{x}_{R_i}))\|^2$ 이며  $M$ 은 심볼 성좌의 포인트 개수이다.

*Proof:* 이 정리의 증명은 논문 [10]를 참조하면 된다.  $\square$

#### 4. 복호후 전달 프로토콜의 릴레이 선택 기법

일반적으로 다중안테나를 사용하는 복호후 전달 프로토콜의 릴레이 선택 기법의 유도는 쉽지 않다. 하지만 최대 PEP는 비트 오류 확률 (big error probability: BEP)의 유니언 상한의 값을 결정하기 때문에 최대 PEP값은 비교적 좋은 릴레이 선택 기법의 유도에 사용할 수 있다. 하지만 복호후 전달 프로토콜의 정확한 PEP의 유도는 또한 매우 어려운 일이다. 이 논문에서는 정리 1에서 유도한 PEP의 상한을 이용한다.

이 논문은  $N$ 개의 릴레이에서  $m$ 개의 릴레이를 선택하여 PEP의 최대 상한을 최소화한다.  $i$ 번째 릴레이의 릴레이 경로 메트릭  $\gamma_i$ 을 다음과 같이 정의한다.

$$\gamma_i = \min \left[ \frac{P_S}{2} \min_{x, \tilde{x} \neq x} \|K_i(X_S(x) - X_S(\tilde{x}))\|^2, P_R \min_{x, \tilde{x} \neq x} \|F_i(X_R(x) - X_R(\tilde{x}))\|^2 \right] \quad (14)$$

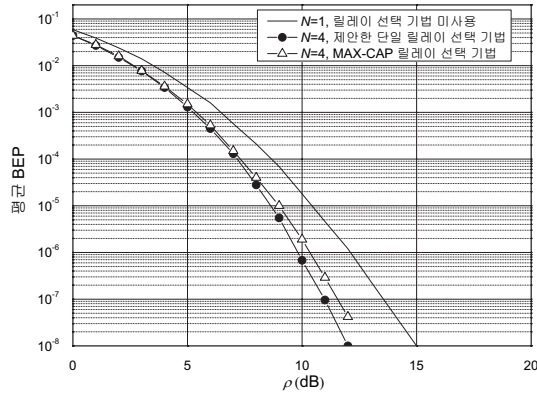
정리 1로부터 알 수 있는 바와 같이  $N$ 개의 릴레이에서  $\gamma_i$ 가 제일 큰  $m$ 개의 릴레이를 선택하면 복호후 전달 프로토콜의 PEP의 최대상한을 최소화한다. 그래서 우리는  $\gamma_i$ 가 제일 큰  $m$ 개의 릴레이를 선택하는 릴레이 선택 기법을 제안한다. 이 기법은  $\min[N, m \lceil \log_2 N \rceil]$  비트의 피드백 메시지가 필요하다.

#### 5. 모의실험 결과

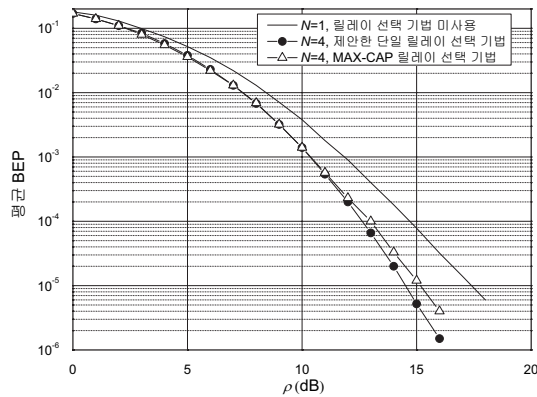
이 논문에서는 제안한 릴레이 선택 기법을 사용한 복호후 전달 프로토콜의 몇가지 응용을 보여준다.  $M$ -ary 심볼들이 모두 1의 평균 전력을 가진다고 가정한다. 먼저 Alamouti 부호화된 복호후 전달 프로토콜을 고려한다. 즉  $M_S = M_R = M_D = 2$ ,

$$X_S(x) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} x_1 - x_2^* \\ x_2 \quad x_1^* \end{bmatrix}, \quad X_R(x_{R_i}) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} x_1^{R_i} - x_2^{R_i*} \\ x_2^{R_i} \quad x_1^{R_i*} \end{bmatrix}.$$

다음으로는 MIMO 복호후 전달 프로토콜을 고려한다. 즉  $T_1 = T_2 = 1$ 이고  $M_S = M_R = L$ 이다. 이 논문에서



(a) Alamouti 부호화한 복호후 전달 프로토콜



(b) MIMO 복호후 전달 프로토콜

그림 1: 제안한 릴레이 선택 기법과 기존의 릴레이 선택 기법의 비교

서는 간단하게  $M_S = M_R = M_D = L = 2$ 만 고려한다. 즉

$$X_S(x) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}, \quad X_R(x_{R_i}) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} x_1^{R_i} \\ x_2^{R_i} \end{bmatrix}.$$

모의실험 결과로 제안한 릴레이 선택 기법과 [8]에서 사용한 최대의 네트워크 용량을 갖는 단일 릴레이를 선택하는 기법을 비교하였다. 본 논문에서 최대 네트워크 용량을 갖는 단일 릴레이를 선택하는 기법을 MAX-CAP 릴레이 선택기법이라고 한다. 그림 1은  $P_S = P_R = 1$ 과 QPSK의 조건하의 평균 BEP 비교 그래프이다. 그림 1로부터 알 수 있는바와 같이 본 논문에서 제안한 릴레이 선택 기법은 기존의 다중안테나 시스템에서의 릴레이 선택 기법보다 좋은 성능을 가진다는 것을 알 수 있다.

## 6. 결론

본 논문에서는 모든 노드에서 다중안테나를 갖는 다중 릴레이 복호후 전달 프로토콜의 PEP의 상한을 유도고. 이런 PEP의 상한으로부터 복호후 전달 프로토콜의 새로운 릴레이 선택 기법을 제안하였다. 평균 BEP에 대한 모의 실험 결과는 제안한 릴레이 선택 기법이 기존의 릴레이 선택 기법보다 다중안테나 복호후 전달 프

로토콜에서 좋은 성능을 가진다는 것을 보여주었다. 또한 후속 연구로 제안한 릴레이 선택 기법에 대한 성능 분석을 진행하려고 한다.

## 7. 감사의 글

본 연구는 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원 [No. 2009-0081441]과 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음 [2008-F-007-02, 3차원 환경에서의 지능형 무선통신 시스템].

## 8. 참고문헌

- [1] J. N. Laneman and G. W. Wornell, "Distributed space-time-coded protocols for exploiting cooperative diversity in wireless networks," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 49, no. 10, pp. 2415–2425, Oct. 2003.
- [2] V. Sreng, H. Yanikomeroglu, and D. D. Falconer, "Relayer selection strategies in cellular networks with peer-to-peer relaying," in *Proc. of IEEE VTC'03*, pp. 1949–1953, Oct., 2003.
- [3] Y. Zhao, R. Adve, and T. J. Lim "Symbol error rate of selection amplify-and-forward relay systems," *IEEE Commun. Letters*, vol. 10, no. 11, pp. 757–759, Nov. 2006.
- [4] Y. Jing and H. Jafarkhani, "Single and multiple relay selection schemes and their diversity orders," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, no. 3, pp. 1414–1423, Mar. 2009.
- [5] A. Bletsas, A. Khisti, D. P. Reed, and A. Lippman, "A simple cooperative diversity method based on network path selection," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 24, no. 3, pp. 659–672, Mar. 2006.
- [6] Z. Yi and I.-M. Kim, "Diversity order analysis of the decode-and-forward cooperative networks with relay selection," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 7, no. 5, pp. 1792–1799, May 2008.
- [7] A. S. Ibrahim, A. Sadek, W. Su, and K. J. R. Liu, "Cooperative communications with relay selection: when to cooperate and whom to cooperate with?," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 7, no. 7, pp. 2814–2827, Jul. 2008.
- [8] Y. Fan and J. S. Thompson, "MIMO configurations for relay channels: theory and practice," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 6, no. 5, pp. 1774–1786, May 2007.
- [9] 김향란, 진동섭, 노종선, 신동준, "다중안테나를 사용하는 복호후 전달 프로토콜의 다이버시티," 제 19회 통신정보보호학술대회 (JCCI2009).
- [10] X. Jin, J.-S. No, and D.-J. Shin, "Relay Selection for Decode-and-Forward Cooperative Network With Multiple Antennas," submitted to *IEEE Trans. Wireless Commun.*