

두 개 이상의 소스 안테나를 갖는 HD DDF Relay MIMO 프로토콜에 대한 DMT 분석

김태영*, 임창호*, 윤은철^o

Diversity-Multiplexing Tradeoff Analysis for Half-Duplex Dynamic Decode and Forward Relay MIMO Protocol Using More than Two Source Antennas

Taeyoung Kim*, Changho Yim*, Eunchul Yoon^o

요약

본 논문에서는 두 개 이상의 안테나를 사용하는 소스 노드, 두 개의 안테나를 사용하는 릴레이 노드, 두 개의 안테나를 사용하는 목적지 노드로 구성된 특별한 경우의 half-duplex (HD) dynamic decode and forward (DDF) 릴레이 프로토콜에 대한 diversity multiplexing tradeoff (DMT) 함수를 유도하였다. 본 논문에서 유도한 프로토콜의 DMT 함수를 동일한 안테나 개수를 사용하는 노드들로 구성된 HD NAF 프로토콜에 대한 DMT 함수와 비교하였으며, 더불어 두 개의 안테나를 사용하는 소스 노드, 두 개 이상의 안테나를 사용하는 릴레이 노드, 두 개의 안테나를 사용하는 목적지 노드로 구성된 HD DDF 릴레이 프로토콜에 대한 DMT 함수와 비교하였다.

Key Words : Diversity-multiplexing tradeoff, relay, dynamic decode and forward, half duplex, MIMO

ABSTRACT

The diversity-multiplexing tradeoff (DMT) function of a special half-duplex (HD) dynamic decode and forward (DDF) relay protocol with more than two antennas at the source node, two antennas at the relay node, and two antennas at the destination node is derived. This protocol is compared to a HD NAF protocol with the same number of source antennas and a HD DDF relay protocol with two antennas at the source node, more than two antennas at the relay node, and two antennas at the destination node.

I. 서론

공간적으로 분산된 여러 노드들의 협력을 통해 높은 다이버시티 이득을 얻는 협력적인 방법 중의 하나로 소스, 릴레이, 목적지 노드들로 구성된 릴레이 프로토콜이 폭넓게 연구되어지고 있다^[1-3]. [3]은

단일 안테나로 구성된 릴레이 환경에서 amplify-and-forward (AF) 방식과 decode-and-forward (DF) 방식 각각에 대해 outage 확률의 추정치를 유도하였다. [4]는 각 노드에서 단일 안테나를 사용하는 half-duplex (HD) dynamic decode-and-forward (DDF) 릴레이 프로토콜을 사용할 경우 얻을 수 있는

※ 이 논문은 2012년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (No. 2010-0003080, 2012R1A1A2039925)

• 주저자 : 건국대학교 전자정보통신공학부 무선이동통신 연구실, haipu@konkuk.ac.kr, 학생회원

◦ 교신저자 : 건국대학교 전자정보통신공학부 무선이동통신 연구실, ecyoon@konkuk.ac.kr, 종신회원

* 건국대학교 전자정보통신공학부 무선이동통신 연구실, changho@konkuk.ac.kr, 학생회원

논문번호 : KICS2013-02-108, 접수일자 : 2013년 2월 28일, 최종논문접수일자 : 2013년 5월 2일

다이버시티 이득을 DMT 분석을 통해 유도하였다. 그러나 각 노드에서 다중 안테나를 사용하는 HD DDF 릴레이 프로토콜에 대한 일반적인 DMT 분석은 여전히 해결되지 못한 문제로 남아있다. [5]는 각 노드에서 다중 안테나를 사용하는 HD DDF 릴레이 프로토콜에 대한 DMT 함수 최적화 문제의 설정 방법을 소개하였다. 이를 통해 각 노드에서 다중 안테나를 사용하는 HD DDF 프로토콜에 대한 DMT 함수를 유도할 수 있게 되었다. [6]-[8]에서는 여러 가지 특별한 경우의 HD DDF 릴레이 프로토콜에 대한 DMT 함수들을 유도하였다. 최근에 [8]은 두 개, 두 개, 두 개 이상의 안테나를 사용하는 소스 노드, 목적지 노드, 릴레이 노드로 구성된 대칭 MIMO 채널의 HD DDF 릴레이 프로토콜에 대한 DMT 함수를 유도하였다.

본 논문에서는 두 개 이상의 안테나를 사용하는 소스 노드, 두 개의 안테나를 사용하는 릴레이 노드, 두 개의 안테나를 사용하는 목적지 노드로 구성된 특수한 경우의 HD DDF 릴레이 프로토콜에 대한 DMT 함수를 유도한다. 본 논문의 연구는 소스와 목적지 노드가 서로 다른 개수의 다중 안테나를 사용하는 경우의 DMT 함수 유도로서, 기존 대칭 MIMO 채널에 대한 연구를 비대칭 MIMO 채널에 대한 연구로 확장했다는 의미를 갖는다. 본 논문에서 유도한 프로토콜의 DMT 함수를 동일한 안테나 개수를 사용하는 노드들로 구성된 [9]의 HD NAF 프로토콜에 대한 DMT 함수와 비교하였으며, 더불어 두 개의 안테나를 사용하는 소스 노드, 두 개 이상의 안테나를 사용하는 릴레이 노드, 두 개의 안테나를 사용하는 목적지 노드로 구성된 HD DDF 릴레이 프로토콜에 대한 DMT 함수와 비교하였다.

본 논문에서는 표기상의 편의를 위해 다음의 표현들을 사용한다. $(\cdot)^H$ 는 Hermitian 연산자를 나타낸다. $\lfloor x \rfloor$ 는 마이너스 무한대 방향으로 x 에 가장 가까운 정수, 즉 버림을 나타낸다. $(x)^+$ 는 x 와 0의 최댓값, $x \wedge y$ 는 x 와 y 의 최솟값을 나타낸다. \mathbb{R}^N 은 실제 N 개의 요소로 된 집합을 나타낸다. ε 은 0에 접근하는 매우 작은 양의 숫자를 나타낸다.

II. 문제 설정

p (≥ 2)개, 두 개, 두 개의 안테나를 사용하는 소스 노드, 목적지 노드, 릴레이 노드로 구성된 HD DDF MIMO 릴레이 프로토콜에 대한 DMT 함수의

최적화는 [6]과 [7]의 최소화 문제 표현을 사용하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$d = \inf_{(\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \gamma_1, \gamma_2) \in O} \sum_{i=1}^2 (p-2i+5)\alpha_i + \sum_{i=1}^2 (5-2i)\beta_i - 4 + (1-\alpha_1 - \beta_1)^+ + \quad (1)$$

$$(p+3)(2-r/f) - 2 \sum_{i=1}^2 i\gamma_i,$$

$$O = \{(\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \gamma_1, \gamma_2) \in \mathbb{R}^6 \mid 1-\alpha_2 \leq \beta_1, 1-\alpha_1 \leq \beta_2, 0 \leq \alpha_1 \leq \alpha_2 \leq 1, 0 \leq \beta_1 \leq \beta_2 \leq 1, 0 \leq \gamma_1 \leq \gamma_2 \leq 1, 0 < f = \frac{r}{\sum_{i=1}^2 (1-\gamma_i)} < 1, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^2 (1-\alpha_i) + (1-f) \sum_{i=1}^2 (1-\beta_i) \leq r\}, q = \lfloor (p \wedge m) - r/f \rfloor. \quad (3)$$

[7]에서는 d 와 r 을 각각 다이버시티 이득과 멀티플렉싱 이득으로 정의하였다. \mathbf{I}_2 는 2×2 항등 행렬, ρ 는 수신 SNR, \mathbf{H}_{SD} , \mathbf{H}_{RD} 과 \mathbf{H}_{SR} 는 각각 소스와 목적지 노드, 릴레이와 목적지 노드, 소스와 릴레이 간의 채널이라 나타낼 때, $\{\alpha_i\}$, $\{\beta_i\}$ 와 $\{\gamma_i\}$ 는 각각 $\mathbf{H}_{SD}\mathbf{H}_{SD}^H$, $\mathbf{H}_{RD}^H(\mathbf{I}_2 + \frac{\rho}{2}\mathbf{H}_{SD}\mathbf{H}_{SD}^H)^{-1}\mathbf{H}_{RD}$ 와 $\mathbf{H}_{SR}\mathbf{H}_{SR}^H$ 의 고유 값 역원의 지수 차수를 의미한다. 위 식에서 f 는 $f = \frac{r \log_2 \rho}{\log_2 \det(\mathbf{I}_2 + \rho \mathbf{H}_{SR} \mathbf{H}_{SR}^H)}$ 에 의해 정의된 매개 변수이다.

III. 다이버시-멀티플렉싱 관계 분석

식 (1), (2)에서 주어진 최소화 문제는 (1)의 $(1-\alpha_1 - \beta_1)^+$ 항에 대하여 두 가지 경우로 분리하여 해결할 수 있다.

3.1. $1-\alpha_1 - \beta_1 \geq 0$ 인 경우 :

변수 $w_i = 1-\alpha_i$ ($i=1, 2$)를 변화시켜 식 (1)과 (2)에 적용하면 최소화 문제는 다음과 같이 간추릴 수 있다.

$$d = \inf_{(w_1, w_2, \beta_1, \beta_2) \in O, 0 \leq \frac{r}{2} \leq f \leq 1} -(p+2)w_1 - (p+1)w_2 + 2\beta_1 + \beta_2 + 4p - 2 - (p-1)(r/f) + 2q(2-r/f) - q(q+1) \quad (4)$$

$$O = \{ (w_1, w_2, \beta_1, \beta_2) \in \mathbb{R}^4 \mid \begin{aligned} &0 \leq w_2 \leq \beta_1 \leq w_1 \leq \beta_2 \leq 1, \\ &w_1 \leq -w_2 + 2f + (1-f)(\beta_1 + \beta_2) - 2 + r \}. \end{aligned} \quad (5)$$

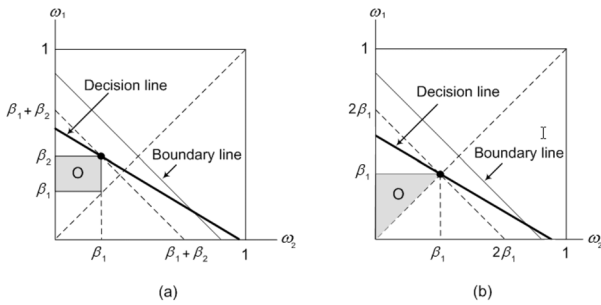


그림 1. (w_2, w_1) 영역에서 나타나는 O 의 제한 영역
Fig. 1. The region on (w_2, w_1) showing the constraints of O

식 (4)에서 w_1 과 w_2 의 계수는 β_1 과 β_2 의 계수보다 크기 때문에 w_1 과 w_2 는 β_1 과 β_2 보다 d 의 최소화 문제에 더 큰 영향을 미친다. 같은 이유로 w_1 은 w_2 보다 d 의 최소화 문제에 더 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 d 의 최소화를 위해 w_1 과 w_2 가 최댓값을 가져야 한다. (w_2, w_1) 의 최적 포인트는 β_1 과 β_2 가 $0 \leq \beta_1 \leq \beta_2 \leq 1$ 을 만족하는 몇 가지 상수로 고정되었다는 가정 하에 w_2w_1 평면에서 찾을 수 있다. d 를 최소화하는데 가장 중요한 것은 O 의 제한조건 하에서 w_1 을 우선적으로 최대화하는 것이라고 할 수 있다. 따라서 (4)로부터 주어지는 (4)의 결정선 $w_1 = -\frac{p+1}{p+2}w_2 - \frac{d}{p+2} + \frac{1}{p+2}\{2\beta_1 + \beta_2 - (p-1)(r/f) + 4p - 2 + 2q(2-r/f) - q(q+1)\}$ 을 O 로 주어지는 영역과 처음으로 하나의 포인트에서 만날 때까지 w_2w_1 평면의 위로부터 아래로 이동시킨다.

그림 1. (a)로부터 O 의 경계선 $w_1 = -w_2 + 2f + (1-f)(\beta_1 + \beta_2) - 2 + r$ 이 $\beta_1 + \beta_2$ 보다 크거나 같은 w_1 절편을 가질 때 $(w_2, w_1) = (\beta_1, \beta_2)$ 가 최적의 포인트로 됨을 알 수 있다. $w_2 = \beta_1, w_1 = \beta_2$ 와 $2f + (1-f)(\beta_1 + \beta_2) - 2 + r \geq \beta_1 + \beta_2$ 의 제한조건에서 최소화의 문제는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$d = \inf_{(\beta_1, \beta_2) \in O, 0 \leq \frac{r}{2} \leq f \leq 1} -(p+1)\beta_2 - (p-1)\beta_1 + 4p - 2 - (p-1)(r/f) + 2q(2-r/f) - q(q+1) \quad (6)$$

$$O' = \{ (\beta_1, \beta_2) \in \mathbb{R}^2 \mid 0 \leq \beta_1 \leq \beta_2 \leq 1, \beta_2 \leq -\beta_1 + 2 - \frac{2-r}{f} \}. \quad (7)$$

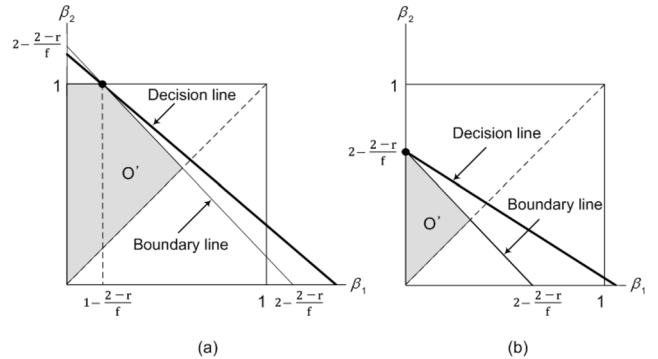


그림 2. (β_1, β_2) 영역에서 나타나는 O' 의 제한 영역
Fig. 2. The region on (w_2, w_1) showing the constraints of O'

다음으로 (β_1, β_2) 의 최적 포인트를 $\beta_1\beta_2$ 평면에서 찾는다. 이를 위해, (6)의 결정선 $\beta_2 = -\frac{p-1}{p+1}\beta_1 + \frac{1}{p+1}\{-d + 4p - 2 - (p-1)(r/f) + 2q(2-r/f) - q(q+1)\}$ 을 O' 로 주어지는 영역과 하나의 포인트를 가질 때까지 $\beta_1\beta_2$ 평면의 위로부터 아래로 이동시킨다. 최솟값 d 는 O' 경계선 $\beta_2 = -\beta_1 + 2 - (2-r)/f$ 의 β_2 절편에 따라 다른 포인트에서 발생하게 된다.

3.1.1. $2 - \frac{2-r}{f} \geq 1$ 인 경우 :

결정선, 경계선과 O' 의 영역을 그림 2. (a)에 나타내었다. f 의 두 가지 제한 조건 $2 - \frac{2-r}{f} \geq 1$ 과 $0 \leq \frac{r}{2} \leq f \leq 1$ 은 $\max\{\frac{r}{2}, 2-r\} \leq f \leq 1$ 로 표현할 수 있다. Fig. 2 (a)로부터 (β_1, β_2) 의 최적 포인트는 $(1 - \frac{2-r}{f}, 1)$ 로 주어짐을 알 수 있다. 이를 통해 d 의 최소화 표현을 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$d = 2(p-1) + 2(p-1)\frac{1-r}{f} + 2q(2-r/f) - q(q+1). \quad (8)$$

$q=0$ 에서 f 의 조건은 $r/2 \leq f \leq r$ 로 제한되며, f 의 범위는 $\max\{\frac{r}{2}, 2-r\} \leq f \leq \min\{r, 1\}$ 로 주어진다. f 의 상한선과 하한선은 $1 \leq r \leq 2$ 에서 정해진다. $q=0$ 에서 식 (8)의 d 는 다음과 같이 정

리할 수 있다.

$$d = 2(p-1) \left(1 + \frac{1-r}{f} \right). \quad (9)$$

d 는 f 의 주어진 범위에서 f 의 증가함수이기 때문에 d 의 최솟값은 $f = \max\{\frac{r}{2}, 2-r\}$ 에서 발생한다. 이를 식 (9)에 대입한 결과는 다음과 같다.

$$d = \begin{cases} \frac{2(p-1)(3-2r)}{2-r}, & 1 \leq r \leq \frac{4}{3} \text{ 일 때} \\ \frac{2(p-1)(2-r)}{r}, & \frac{4}{3} \leq r \leq 2 \text{ 일 때} \end{cases} \quad (10)$$

$q=1$ 에서 f 의 범위는 식 (3)에 따라 $f \geq r$ 로 더욱 제한된다. 따라서 f 의 범위는 $\max\{r, 2-r\} \leq f \leq 1$ 로 주어진다. 하지만, 이 경우는 r 에 해당하는 범위가 존재하지 않기 때문에 무시할 수 있다.

3.1.2. $0 \leq 2 - \frac{2-r}{f} \leq 1$ 인 경우 :

결정선, 경계선, O' 의 영역을 그림 2. (b)에 나타내었다. 두 가지 제한 조건 $0 \leq 2 - \frac{2-r}{f} \leq 1$ 과 $0 \leq \frac{r}{2} \leq f \leq 1$ 은 $\max\{\frac{r}{2}, 1 - \frac{r}{2}\} \leq f \leq \min\{1, 2-r\}$ 로 표현한다. 그림 2. (b)로부터 (β_1, β_2) 의 최적 포인트는 $(0, 2 - (2-r)/f)$ 로 주어짐을 알 수 있다. 이를 통해 d 의 최소화 표현을 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$d = 2(p-2) + \frac{2(p+1) - 2pr}{f} + 2q(2-r/f) - q(q+1). \quad (11)$$

$q=0$ 에서 f 의 조건은 식 (3)에 따라 $r/2 \leq f \leq r$ 로 제한되며, f 의 범위는 $\max\{\frac{r}{2}, 1 - \frac{r}{2}\} \leq f \leq \min\{1, 2-r, r\}$ 로 주어진다. f 의 상한선과 하한선은 $\frac{2}{3} \leq r \leq \frac{4}{3}$ 에서 정해진다. $q=0$ 에서 식 (11)의 d 는 다음으로 정리할 수 있다.

$$d = 2(p-2) + \frac{2(p+1) - 2pr}{f}. \quad (12)$$

d 는 f 의 주어진 모든 범위에서 f 의 단조 증가 또는 감소함수이기 때문에 d 의 최솟값은 $f = \max\{r/2, 1-r/2\}$ 또는 $f = \min\{1, 2-r, r\}$ 에서 발생한다. 이를 식 (12)에 대입하고 정리한 결과는 다음과 같다.

$$d = \begin{cases} \frac{2(p+1-2r)}{r}, & \frac{2}{3} \leq r \leq 1 \\ \frac{6-4r}{2-r}, & p=2, 1 \leq r \leq \frac{4}{3} \\ \frac{(p-1)(6-4r)}{2-r}, & p \geq 3, 1 \leq r \leq \frac{p+1}{p} \\ \frac{4(p+1) - 2(p+2)r}{r}, & p \geq 3, \frac{p+1}{p} \leq r \leq \frac{4}{3} \end{cases} \quad (13)$$

$q=1$ 에서 f 의 범위는 식 (3)에 따라 $f \geq r$ 로 더욱 제한되며, f 의 범위는 $\max\{r, 1 - \frac{r}{2}\} \leq f \leq \min\{1, 2-r\}$ 로 주어진다. f 의 상한선과 하한선은 $0 \leq r \leq 1$ 로 정해진다. $q=1$ 에서 식 (11)의 d 는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$d = \frac{2(p+1)(1-r)}{f} + 2(p-1). \quad (14)$$

d 는 f 의 주어진 모든 범위에서 f 의 단조 감소 함수이기 때문에 d 의 최솟값은 $f = \min\{1, 2-r\} = 1$ 에서 발생한다. 이를 식 (14)에 대입하고 정리한 결과는 다음과 같다.

$$d = 4p - 2(p+1)r \quad 0 \leq r \leq 1 \text{ 일 때.} \quad (15)$$

3.2. $1 - \alpha_1 - \beta_1 < 0$ 인 경우 :

(1)과 (2)의 변수 $w_i = 1 - \alpha_i (i=1, 2)$ 를 변화시켜 표현하면 최소화 문제는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} \inf \\ d = &_{(w_1, w_2, \beta_1, \beta_2) \in O, 0 \leq \frac{r}{2} \leq f \leq 1} (p+3)w_1 \\ & - (p+1)w_2 + 3\beta_1 + \beta_2 + 4p - 2 \\ & - (p-1)(r/f) + 2q(2-r/f) - q(q+1), \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} O = & \{(w_1, w_2, \beta_1, \beta_2) \in \mathbb{R}^4 \mid \\ & 0 \leq w_2 \leq w_1 \leq \beta_1 \leq \beta_2 \leq 1, \\ & w_1 \leq -w_2 + 2f + (1-f)(\beta_1 + \beta_2) - 2 + r\}. \end{aligned} \quad (17)$$

d 의 최솟값을 찾기 위하여 이전 장과 유사하게 최적 포인트는 β_1 과 β_2 가 $0 \leq \beta_1 \leq \beta_2 \leq 1$ 을 만족하는 몇 가지 상수라는 가정 하에 우선적으로 $w_2 w_1$ 평면에서 검색되어진다. 이를 위해, (16)의 결정 선 $w_1 = -\frac{p+1}{p+3}w_2 + \frac{1}{p+3}(-d+3\beta_1+\beta_2+4p-2-(p-1)(r/f)+2q(2-r/f)-q(q+1))$ 을 O 영역과

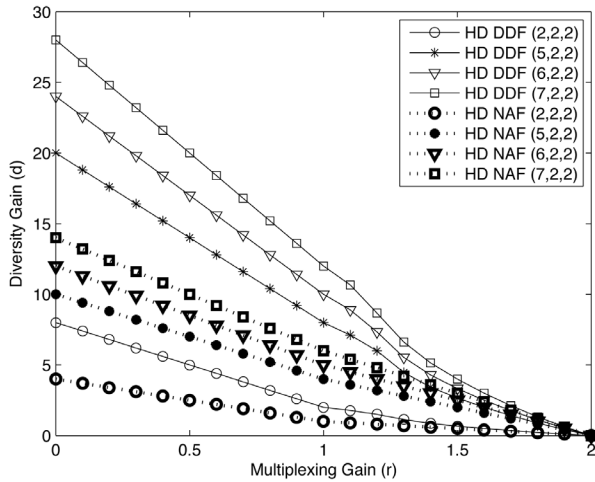


그림 3. 소스 안테나의 변하는 개수에 따른 HD NAF 릴레이 프로토콜과 HD DDF의 DMT 함수들
Fig. 3. The DMT functions of HD DDF relay protocols and HD NAF relay protocols for various numbers of source antennas.

하나의 포인트에서 만날 때까지 $w_2 w_1$ 평면 위에서 부터 아래로 이동시킨다. 그림 1. (b)로부터 O 의 경계선 $w_1 = -w_2 + 2f + (1-f)(\beta_1 + \beta_2) - 2 + r$ 이 $2\beta_1$ 보다 크거나 같은 w_1 절편을 가질 때 $(w_2, w_1) = (\beta_1, \beta_2)$ 가 최적의 포인트가 됨을 알 수 있다.

만약 w_1 절편 $2f + (1-f)(\beta_1 + \beta_2) - 2 + r \geq 2\beta_1$ 이 제거되고 $w_2 = \beta_1, w_1 = \beta_1$ 조건이 $w_2 \geq \beta_1$ 로 대체되면 결과 d 는 DMT의 하한선에 해당하게 된다. 식 (2)와 $w_2 \geq \beta_1$ 의 제한조건에서 식 (1)의 최소화 문제는 이미 이전 장에서 다루었다. 그러므로 이번 장에서는 $w_1 \leq \beta_1$ 에 대한 고려는 생략될 수 있다. 결론적으로 마지막 DMT 함수는 (10), (13)과 (15)를 비교하여 결정지을 수 있다. 최종 결과는 표 1에 정리하였다.

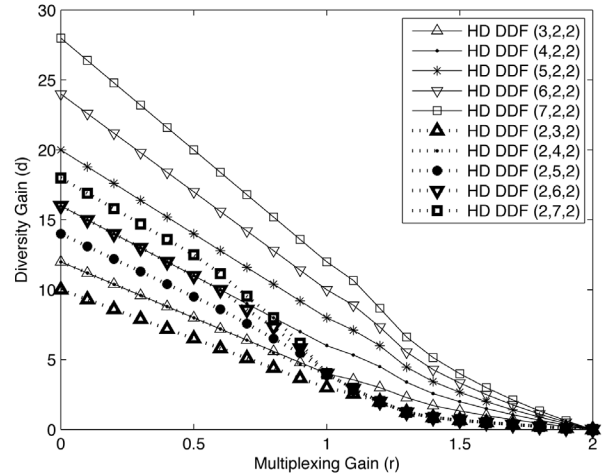


그림 4. 다중 안테나의 개수가 변함에 따른 HD DDF 릴레이 프로토콜의 DMT 함수
Fig. 4. The DMT functions of HD DDF relay protocols for various numbers of multiple antennas.

표 1. p 값의 변화에 따른 다이버시티 이득
Table 1. The diversity gain for various values of p

p	The range of r	d
= 2	$0 \leq r \leq 1$	$8 - 6r$
	$1 \leq r \leq 4/3$	$(6 - 4r)/(2 - r)$
	$4/3 \leq r \leq 2$	$(4 - 2r)/r$
≥ 3	$0 \leq r \leq 1$	$4p - 2(p+1)r$
	$1 \leq r \leq (p+1)/p$	$(p-1)(6-4r)/(2-r)$
	$(p+1)/p \leq r \leq 4/3$	$-2(p+2) + 4(p+1)/r$
	$4/3 \leq r \leq 2$	$(p-1)(4-2r)/r$

IV. 분석

표기상의 편의를 위해 p 개 안테나를 사용하는 소스 노드, m 개 안테나를 사용하는 릴레이 노드, n 개 안테나를 사용하는 목적지 노드가 구성하는 릴레이 프로토콜은 (p, m, n) 으로 표현한다. 그림 3에서는 $L=2, 5, 6, 7$ 에 대하여 HD DDF $(L, 2, 2)$ 의 DMT 함수들과 HD NAF $(L, 2, 2)$ [9]의 DMT 함수들을 비교하였다. 모든 멀티플렉싱 이득에서 HD DDF $(L, 2, 2)$ 의 다이버시티 이득이 HD NAF $(L, 2, 2)$ 의 다이버시티 이득보다 더 높음을 보여준다. 그림 4에서는 $L=3, 4, 5, 6, 7$ 에 대하여 HD DDF $(L, 2, 2)$ 의 DMT 함수들과 HD DDF $(2, L, 2)$ [8]의 DMT 함수들을 비교하였다. 모든 멀티플렉싱 이득에서 HD DDF $(L, 2, 2)$ 의 다이버시티 이득이 HD DDF $(2, L, 2)$ 의 다이버시티 이득보

다 더 높음을 보여준다. HD DDF $(L, 2, 2)$ 의 다이버시티 이득은 L 을 증가시켜도 수렴하지 않고 증가한다. 그러나 멀티플렉싱 이득이 $4/3$ 보다 큰 경우 HD DDF $(2, L, 2)$ 의 다이버시티 이득은 L 을 증가시켜도 증가하지 않는다. 멀티플렉싱 이득이 1보다 큰 경우 HD DDF $(3, 2, 2)$ 가 얻을 수 있는 다이버시티 이득은 HD DDF $(2, \infty, 2)$ 가 얻을 수 있는 다이버시티 이득보다 높음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 두 개 이상의 소스 안테나, 두 개의 목적지 안테나와 두 개의 릴레이 안테나를 사용하는 HD DDF 릴레이 프로토콜에 대한 DMT 함수를 분석적으로 유도하였다. 소스노드에서 다중안테나를 사용하는 HD DDF 릴레이 프로토콜은 동일한 개수의 소스 안테나를 사용하는 HD NAF 릴레이 프로토콜과 동일한 개수의 릴레이 안테나를 사용하는 HD DDF 릴레이 프로토콜보다 확연히 높은 다이버시티 이득을 가짐을 발견할 수 있었다.

References

[1] T. M. Cover and A. El Gamal, "Capacity theorems for the relay channel," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 25, no. 5, pp. 572-584, Sep. 1979.

[2] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity part I, part II," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 11, pp. 1927-1948, Nov. 2003.

[3] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: Effective protocols and outage behavior," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 50, no. 12, pp. 3062-3180, Dec. 2004.

[4] K. Azarian, H. El Gamel, and P. Schniter, "On the achievable diversity multiplexing tradeoff in half-duplex cooperative channels," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 51, no. 12, pp. 4152-4172, Dec. 2005.

[5] S. Karmakar and M. K. Varanasi, "Optimal DMT of dynamic decode and forward protocol on a half-duplex relay channel with arbitrary number of antennas at each node," in *Proc. IEEE Asilomar Conf.*, pp. 1543-1547, Pacific Grove, U.S.A., Nov. 2009.

[6] S. Karmakar and M. K. Varanasi, "Diversity-multiplexing tradeoff of the dynamic decode and forward protocol on a MIMO half-duplex relay channel," in *Proc. IEEE ISIT 2009*, Seoul, Korea, pp. 1443-1447, June 2009.

[7] H. Yoon and E. Yoon, "The diversity multiplexing tradeoff for multiple antenna adaptive decode and forward relay protocols exploiting imperfect CSIT," *J. KICS*, vol. 36, no. 9, pp. 776 - 783, Sep. 2011.

[8] T. Kim, S. Kim and E. Yoon, "Diversity multiplexing tradeoff analysis for a dynamic decode and forward relay protocol with MIMO channels," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E95-B, no. 1, pp. 329-332, Jan. 2012.

[9] S. Yang and J. Belfiore, "Optimal space time codes for the MIMO amplify and forward cooperative channel," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 53, no. 2, pp. 647-663, Feb. 2007.

김 태 영 (Taeyoung Kim)



2010년 2월 건국대학교 전자공학부 공학사
 2012년 2월 건국대학교 전자정보통신공학 석사
 <관심분야> 이동통신시스템, 펌토셀, 통신신호처리, MIMO-OFDM

임 창 호 (Changho Yim)



2012년 2월 건국대학교 전자공학부 공학사
 2012년 2월~현재 건국대학교 전자정보통신공학 석사과정
 <관심분야> 협력 다이버시티, 펌토셀, 이동통신 시스템, 통신시스템 설계

윤 은 철 (Eunchul Yoon)



1993년 2월 연세대학교 공학사

1995년 2월 연세대학교 공학석
사

1995년~2000년 삼성전자
네트워크사업부 책임연구원

2006년 미국 스탠포드대학 전
기공학과 공학박사

2006년~2008년 삼성전자 통신연구소 책임연구원

2008년~현재 건국대학교 전자공학부 부교수

<관심분야> 이동통신, 무선통신시스템 설계, 홈 네
트워크, 협력 다이버시티