

논문 2010-47TC-7-4

# 부분공간 간섭 정렬을 이용한 다중 셀 상향링크 시스템에서 합용량 향상을 위한 레퍼런스 벡터 다이버서티

(Reference Vector Diversity of Subspace Interference Alignment in  
Multi-cell Multi-user Uplink Systems)

서 종 필\*, 이 윤 주\*\*\*, 권 동 승\*\*\*, 이 명 훈\*\*\*, 정 재 학\*\*

(Jongpil Seo, Yoonju Lee, Dongseung Kwon, Myunghoon Lee, and Jaehak Chung)

## 요 약

본 논문은 다중 셀 상향링크 시스템의 셀 간 간섭을 완화시키기 위한 부분공간 간섭 정렬을 적용했을 때 높은 채널 이득과 높은 합용량을 얻기 위해 간섭 신호공간 형성에 사용되는 레퍼런스 벡터 설정 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 레퍼런스 벡터의 설정에 따라 채널과의 매칭이 달라지고 이로부터 셀의 합용량이 변화하는 레퍼런스 벡터의 다이버서티를 얻는 것이다. 각 셀의 처리량을 최대화시키기 위해 전송 전에 여러 개의 레퍼런스 벡터를 전송하고 이 중에서 최적의 레퍼런스 벡터를 선정함으로써 기존의 간섭정렬방식보다 높은 채널 이득과 높은 합용량을 얻을 수 있다. 전산 모의실험을 통해 제안된 방법을 적용한 경우 임의로 설정된 레퍼런스 벡터를 설정했을 때의 셀 합용량에 비해 약 60% 향상된 값을 얻었다.

## Abstract

We propose a reference vector diversity method in multi-cell multi-user uplink system with the subspace interference alignment to obtain higher sum rate capacity. The proposed method transmits several reference vectors before the data transmission, and selects the best reference vector to maximize the cell sum rate. The proposed method provides higher sum-rate capacity compared with the previous interference alignment. Simulation result exhibits the proposed method improves the sum-rate capacity by 60%.

**Keywords :** Interference Alignment, Reference Vector, Throughput Maximization

## I. 서 론

셀룰러 통신 환경에서 셀 경계에 위치한 사용자는 인접 셀 간 간섭(inter-cell interference)을 많이 받는다.

인접 셀 간 간섭은 해당 사용자에 대한 SINR을 낮추어 QoS(Quality of Service)와 채널 용량을 감소시킨다. 이러한 낮은 SINR로 인한 전체 시스템의 성능 저하를 극복하기 위해 주어진 자원 내의 특정 영역에 모든 간섭 신호를 정렬시킴으로써 시스템의 합용량을 향상시키는 간섭 정렬(interference alignment)의 개념이 제안되었다<sup>[1~3]</sup>. 이 방법은 간섭 신호를 가용한 자유도(degree of freedom)의 절반 내에 위치시키고 나머지 절반 내에서는 간섭이 전혀 없는 통신을 가능하게 하는 기술이다. 그러나 전체 송신 안테나 수와 수신 안테나 수가 동일해야 적용이 가능한 단점이 있고 각 송·수신기는 각각 모든 채널을 알고 있어야 하는 단점이 있다.

이와 같은 채널 정보 교환 문제와 다중 셀 환경에서

\* 학생회원, \*\*\* 정회원, 인하대학교  
(Inha University)

\*\* 정회원, 한국전자통신연구원  
(Electronics and Telecommunications Research  
Instituted)

※ 본 연구는 지식경제부와 방위사업청 및 민군겸용기술센터의 민군겸용기술개발사업의 일환으로 수행하였음.[06-DU-LC-01, 네트워크 기반 다목적 견마형 로봇 기술 개발]

접수일자: 2010년6월22일, 수정완료일: 2010년7월17일

의 적용이 어려운 점을 보완하기 위해 부분공간 간섭 정렬(subspace interference alignment) 방법이 제안되었다<sup>[4~5]</sup>. 이 방법은 전체 신호 공간 내에 다차원의 부분공간을 형성하여 인접 셀로부터의 간섭을 그 부분공간에 정렬하는 방법이다.

그러나 부분공간 간섭 정렬 방법은 동일한 채널이라도 부분공간을 형성하는 송신단에서 곱해지는 레퍼런스 벡터에 따라 채널 이득이 변하기 때문에 간섭을 모두 제거하더라도 신호 성분의 세기가 매우 작아져서 링크의 전송 용량이 줄어드는 경우가 발생한다. 이와 같이 채널 이득이 작아지면 SNR이 감소하여 채널 용량이 줄어들고 기존보다 채널 용량이 줄어들어 효율적인 통신이 불가능해진다.

그러므로 본 논문에서는 기존의 다중 셀 상향링크 시스템에서 채널에 적합한 레퍼런스 벡터를 선정함으로써 기존보다 높은 채널 이득을 얻고 셀 전송 용량을 증가시키는 레퍼런스 벡터 설정 방법을 제안한다. 제안된 방법은 전송 전에 여러개의 레퍼런스 벡터를 전송하고 이중 전송 용량을 최대화시키는 레퍼런스 벡터를 선정함으로써 선택적 다이버시티에 의한 셀의 합용량 증대 방법이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 부분공간 간섭 정렬 방법에 대해 소개하고 III장에서 레퍼런스 벡터의 변화에 따른 합용량 변화를 설명하고 이를 보완하기 위해 본 논문에서 제안한 레퍼런스 벡터 설정 방법을 보였다. IV장에서 전산 모의실험을 통해 제안된 방법을 적용했을 때의 합용량 변화를 확인하고 마지막 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 부분공간 간섭 정렬

부분공간 간섭 정렬은 3개 이상의 다중 셀이 존재하는 셀룰러 네트워크 환경에서 적용 가능하다. 본 논문에서는 부분 공간 간섭정렬방법 중 상향링크만을 고려한다. 기존의 간섭정렬방법과 다르게 각 사용자는 오직 각 사용자가 인접 셀의 기지국에 미치는 채널 정보만을 알고 있어도 간섭 정렬방법을 적용할 수 있다.

각 기지국은 유한한 차원을 갖는 수신 신호 공간을 설정하고 인접 셀의 사용자로부터 받는 간섭 신호를 한 곳으로 모으기 위해 다차원을 갖는 부분공간을 생성한다. 이때 원하는 신호 공간의 차원과 전체 신호 공간의 차원의 비를 간섭 자유(interference-free) 자유도라 하

고 식 (1)과 같이 정의한다. 식 (1)에서 다중 셀과 사용자가 증가하여도 항상 통신을 할 수 있는 자유도가 있음을 알 수 있다.

$$\frac{K}{(G-1)\sqrt{K+1}^{G-1}} \rightarrow 1 \text{ as } K \rightarrow \infty. \quad (1)$$

여기서  $G$ 는 전체 셀의 개수,  $K$ 는 각 셀 내의 사용자 수를 의미한다.

만일 전체 셀이 기지국  $a, b, c$ , 3개인 경우, 각 사용자는 할당 받은 채널을  $n = (\sqrt{K+1})^2$ 개의 스펙트럼으로 나눈 뒤 인접 셀의 기지국에 미치는 간섭 신호를  $\sqrt{K+1}$ 개의 스펙트럼으로 정렬한다. 그러면 기지국에서 받은 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y^a = \sum_{k=1}^K \mathbf{H}_{ak}^a \mathbf{v}_{ak} x_{ak} + \sum_{k=1}^K \mathbf{H}_{bk}^a \mathbf{v}_{bk} x_{bk} + \sum_{k=1}^K \mathbf{H}_{ck}^a \mathbf{v}_{ck} x_{ck} + \mathbf{w}^a. \quad (2)$$

여기서  $K$ 는 각 셀 내의 사용자 수,  $\mathbf{H}_{ik}^j \in \mathbb{C}^{n \times n}$ 는 셀  $i$ 에 속한 사용자  $k$ 로부터 기지국  $j$ 로의 채널이고 각 대각 성분이 채널의 주파수 응답으로 이루어진 대각 행렬이다.  $\mathbf{v}_{ik} \in \mathbb{C}^{n \times 1}$ 는 셀  $i$ 에 속한 사용자  $k$ 의 송신 벡터이고  $x_{ik} \in \mathbb{C}$ 는 전송 심볼,  $\mathbf{w}^a \in \mathbb{C}^{n \times 1}$ 은 부가 가우시안 잡음이다.

간섭정렬을 위해 각 사용자는 자신이 속한 셀의 채널과 인접 셀의 기지국과의 채널을 알고 있고 각 채널을 다음과 같이 채널을 분해한다.

$$\mathbf{H}_{ik}^j = \mathbf{H}_{ik}^{j,2} \otimes \mathbf{H}_{ik}^{j,1}. \quad (3)$$

여기서  $\otimes$ 는 크로네커(Kronecker) 곱을 의미하고 다음과 같은 연산을 수행한다.

$$\mathbf{A} \otimes \mathbf{B} = \begin{pmatrix} a_{11}\mathbf{B} & \dots & a_{1n}\mathbf{B} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1}\mathbf{B} & \dots & a_{nn}\mathbf{B} \end{pmatrix}$$

각 사용자는 간섭 정렬방식에서 간섭을 주지 않는 송신 벡터를 만들기 위해 식 (3)과 같이 채널을 분해한 후 식 (4)와 같이 송신 벡터를 만든다.

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_{ak}^1 &= (\mathbf{H}_{ak}^{b,1})^{-1} \mathbf{v}_r, & \mathbf{v}_{ak}^2 &= (\mathbf{H}_{ak}^{c,2})^{-1} \mathbf{v}_r, \\ \mathbf{v}_{bk}^1 &= (\mathbf{H}_{bk}^{c,1})^{-1} \mathbf{v}_r, & \mathbf{v}_{bk}^2 &= (\mathbf{H}_{bk}^{a,2})^{-1} \mathbf{v}_r, \\ \mathbf{v}_{ck}^1 &= (\mathbf{H}_{ck}^{a,1})^{-1} \mathbf{v}_r, & \mathbf{v}_{ck}^2 &= (\mathbf{H}_{ck}^{b,2})^{-1} \mathbf{v}_r. \end{aligned} \quad (4)$$

여기서  $\mathbf{v}_{ik} = \mathbf{v}_{ik}^2 \otimes \mathbf{v}_{ik}^1$  이고  $\mathbf{v}_r \in \mathbb{C}^{\sqrt{K} \times 1}$  은 임의의 레퍼런스 벡터이다. 식 (3)과 (4)를 식 (2)에 대입하면 상향 링크에서 기지국  $a$ 에서의 수신 신호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{y}^a = & \sum_{k=1}^K \left\{ \left[ \mathbf{H}_{\alpha k}^{a,2} (\mathbf{H}_{\alpha k}^{c,2})^{-1} \mathbf{v}_r \right] \otimes \left[ \mathbf{H}_{\alpha k}^{a,1} (\mathbf{H}_{\alpha k}^{b,1})^{-1} \mathbf{v}_r \right] \right\} x_{\alpha k} \\ & + \sum_{k=1}^K \left[ \mathbf{v}_r \otimes \left\{ \mathbf{H}_{\beta k}^{a,1} (\mathbf{H}_{\beta k}^{c,1})^{-1} \mathbf{v}_r \right\} \right] x_{\beta k} \\ & + \sum_{k=1}^K \left\{ \left[ \mathbf{H}_{\gamma k}^{a,2} (\mathbf{H}_{\gamma k}^{b,2})^{-1} \mathbf{v}_r \right] \otimes \mathbf{v}_r \right\} x_{\gamma k} + \mathbf{w}^a. \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)에서 두 번째 항과 세 번째 항은 인접 셀로부터 받는 간섭이다. 기지국  $a$ 에서의 각 사용자들과 연결된 유효 채널 벡터는 식 (6)과 같은 행렬로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \mathbf{H}^\alpha = & \left[ \left\{ \mathbf{H}_{\alpha 1}^{a,2} (\mathbf{H}_{\alpha 1}^{c,2})^{-1} \mathbf{v}_r \right\} \otimes \left\{ \mathbf{H}_{\alpha 1}^{a,1} (\mathbf{H}_{\alpha 1}^{b,1})^{-1} \mathbf{v}_r \right\}, \right. \\ & \left. \dots, \left\{ \mathbf{H}_{\alpha K}^{a,2} (\mathbf{H}_{\alpha K}^{c,2})^{-1} \mathbf{v}_r \right\} \otimes \left\{ \mathbf{H}_{\alpha K}^{a,1} (\mathbf{H}_{\alpha K}^{b,1})^{-1} \mathbf{v}_r \right\} \right] \\ \mathbf{H}^\beta = & \left[ \mathbf{v}_r \otimes \left\{ \mathbf{H}_{\beta 1}^{a,1} (\mathbf{H}_{\beta 1}^{c,1})^{-1} \mathbf{v}_r \right\}, \right. \\ & \left. \dots, \mathbf{v}_r \otimes \left\{ \mathbf{H}_{\beta K}^{a,1} (\mathbf{H}_{\beta K}^{c,1})^{-1} \mathbf{v}_r \right\} \right] \\ \mathbf{H}^\gamma = & \left[ \left\{ \mathbf{H}_{\gamma 1}^{a,2} (\mathbf{H}_{\gamma 1}^{b,2})^{-1} \mathbf{v}_r \right\} \otimes \mathbf{v}_r, \right. \\ & \left. \dots, \left\{ \mathbf{H}_{\gamma K}^{a,2} (\mathbf{H}_{\gamma K}^{b,2})^{-1} \mathbf{v}_r \right\} \otimes \mathbf{v}_r \right] \end{aligned} \quad (6)$$

여기서  $\mathbf{H}^\alpha$ 는 원하는 수신 신호 벡터들로 이루어진 행렬이고  $\mathbf{H}^\beta$ 와  $\mathbf{H}^\gamma$ 는 간섭 신호 벡터들로 이루어진 행렬이다.  $\mathbf{H}^\alpha$ 의 열벡터는  $\otimes$  양쪽의 벡터가 모두 임의성 (randomness)를 가지고 있기 때문에 rank로  $K$ 를 갖는다. 반면  $\mathbf{H}^\beta$ 와  $\mathbf{H}^\gamma$ 의 열벡터는  $\otimes$  양쪽의 벡터 중 하나만 임의성을 가지고 있기 때문에 rank가  $\sqrt{K}+1$ 이 된다. 그러므로  $n = (\sqrt{K}+1)^2$  차원을 갖는 전체 신호 공간 내에서 간섭 신호는  $\sqrt{K}+1$  차원 부분공간으로 정렬되고 원하는 신호는  $K$ 차원 공간으로 수신되어 식 (1)을 만족하게 된다.

### III. 레퍼런스 벡터 설정 방법

#### 1. 레퍼런스 벡터와 합용량(Sum-rate) 변화

II장에서 소개한 부분공간 간섭 정렬 방법은 레퍼런스 벡터를 이용해서 인접 셀의 사용자로부터 영향을 받는 간섭 신호를  $\sqrt{K}+1$ 차원 부분공간으로 정렬하는 방법이다. 각 기지국에서는 임의의 레퍼런스 벡터를 설정하고 이와 직교(orthogonal)하는 벡터를 이용하여 수신단에서는 간섭 신호를 다음과 같이 제거할 수 있다.

$$\mathbf{u}^H \mathbf{y}^a = \sum_{k=1}^K \mathbf{u}^H \mathbf{H}_{\alpha k}^a \mathbf{v}_{\alpha k} x_{\alpha k} + \mathbf{u}^H \mathbf{w}^a. \quad (7)$$

$$\mathbf{u} = \mathbf{v}_r^\perp \otimes \mathbf{v}_r^\perp$$

식 (7)에서 각 사용자의 전송 심볼이 겪게 되는 채널과 송·수신 벡터를 나타내면 다음과 같다.

$$\left\{ (\mathbf{v}_r^\perp)^H \mathbf{H}_{\alpha k}^{a,2} (\mathbf{H}_{\alpha k}^{c,2})^{-1} \mathbf{v}_r \right\} \otimes \left\{ (\mathbf{v}_r^\perp)^H \mathbf{H}_{\alpha k}^{a,1} (\mathbf{H}_{\alpha k}^{b,1})^{-1} \mathbf{v}_r \right\} \quad (8)$$

이 방법은 간섭 신호 제거하여 여러 사용자들 중에서 링크 간의 자유도를 유지하는 것이 목적이므로 송신단에서 채널에 따라 최적화된 프리코딩 형태의 레퍼런스 벡터의 설정은 고려되지 않는다. 그러므로 임의의 레퍼런스 벡터가 주어졌을 때, 시간에 따라 변화하는 특정 채널 환경에서는 각각의 전송 심볼이 얻는 전체 채널 이득이 작아질 수 있다. 이 경우, 인접 셀의 사용자로부터 받는 간섭은 모두 제거되지만 전송되는 신호의 강도가 약화되어 수신 SNR(Signal to Noise Ratio : 신호 대 잡음비)이 낮아지고 결국 링크간의 전송 용량이 줄어들어서 합용량이 최적화 되지 못하는 단점이 있다.

그림 1은 각 사용자의 채널 값이 주어졌을 때 임의의 레퍼런스 벡터의 변화에 따른 셀의 합용량의 변화를 나타낸 예이다. 이 그림으로 부터 동일한 채널 환경이라도 레퍼런스 벡터에 따라 채널에 매칭되는 값이 변화하므로 전체 시스템의 합용량 성능이 저하될 수도 있음을 보였다.

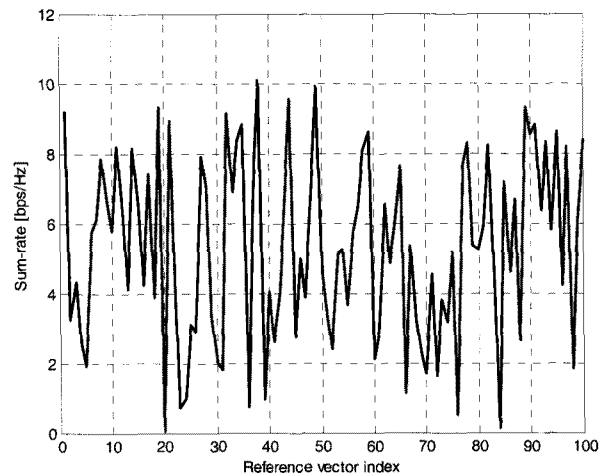


그림 1. 레퍼런스 벡터의 변화에 따른 합용량 변화  
Fig. 1. Sum-rate variation due to the variation of the reference vector.

## 2. 합용량 성능 개선을 위한 레퍼런스 벡터 설정

앞 절에서 설명한 바와 같이 부분공간 간섭 정렬 방법을 이용했을 때 전체 시스템의 합용량 성능은 송신단에서 곱해지는 레퍼런스 벡터의 영향을 받는다. 그림 1에서 보이는 바와 같이 동일한 채널 환경에서 특정 레퍼런스 벡터를 사용하면 합용량이 0에 가까워지는 경우도 발생하여 각 사용자와 기지국 간 통신이 불가능해짐을 확인할 수 있다. 본 절에서는 이러한 단점을 극복하고 합용량 성능을 향상시키기 위한 레퍼런스 벡터 설정 방법을 제안한다. 제안한 방법은 각 기지국에서 해당 셀 내의 셀 처리량(cell throughput)을 최대화시키는 레퍼런스 벡터를 설정하는 방법이다.

각 사용자의 기지국에 대한 채널에 따라 각 사용자마다 직교하는 최적의 레퍼런스 벡터를 찾는 방법은 쉬운 방법이 아니다. 그러므로 본 논문에서는 보다 실제적으로 사용이 가능하도록 레퍼런스 벡터를 설정하는 방법에 대해서 제안을 한다. 제안한 방법은 셀 개수가  $n$  일 경우  $C^n$ 의 차원을 가지는  $Q$  쌍의 직교 벡터쌍을 생성한다. 직교 벡터를 설정하는 방법은 unitary matrix를 일정하게 나누는 방법<sup>[6]</sup>을 사용할 수도 있다. 이렇게 생성된 레퍼런스 벡터는 사용자와 기지국이 미리 알고 있는 lookup 표를 가지고 있다. 기지국에서 데이터를 전송하면 각 사용자는 채널을 분리하고 이에 따라서  $Q$  쌍 중에서 자신에 해당되는  $q$ 개의 레퍼런스 벡터에 따르는 전송용량을 다음과 같이  $q$ 개의 전송용량을 계산한다.

$$C_q = \log_2 \left( 1 + \frac{P \| \mathbf{u}_j^H \mathbf{H}_{ak}^a \mathbf{v}_{ak,q} \|^2}{N_0} \right), \quad 1 \leq q \leq Q$$

그리고 이중 제일 큰 전송용량을 가지는  $q$  번째의 레퍼런스 벡터를 선정하여 데이터를 전송하게 된다. 이 때 데이터 전송 전에 각 사용자가 전송하는  $q$  번째 레퍼런스 벡터의 인덱스를 전송하여 주면 기지국에서는 이를 이용하여 수신 벡터를 선정하고 수신을 하게 된다.

이 때 각 기지국은 해당 셀 내 모든 사용자의 채널을 알고 있고 한 프레임 내에서의 채널은 변하지 않는다고 가정한다. 각 기지국과 사용자간의 채널 정보는 TDD (time division duplex)와 같은 경우에는 채널의 상호교환 성질에 의해 쉽게 양쪽에서 채널 정보를 알 수 있다.

이와 같은 방법을 사용하면 각 기지국은 인접 셀에 속한 사용자로부터 받는 간섭을 모두 제거할 수 있으므로 특정  $q$  번째 레퍼런스 벡터가 선택되었을 때 셀 처

리량은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$C_{\alpha,j} = \log_2 \left( 1 + \frac{\sum_{k \in \{1, \dots, K\}} P \| \mathbf{u}_j^H \mathbf{H}_{ak}^a \mathbf{v}_{ak,j} \|^2}{N_0} \right) \quad (9)$$

여기서  $C_{\alpha,j}$ 는 벡터 집합 내의  $j$  번째 벡터를 사용했을 때의 셀  $\alpha$ 의 처리량이고  $P$ 는 각 사용자의 송신전력이다.  $\mathbf{u}_j$ 와  $\mathbf{v}_{ak,j}$ 는 다음과 같다.

$$\mathbf{u}_j = \mathbf{v}_{r,j}^\perp \otimes \mathbf{v}_{r,j}^\perp \quad (10)$$

$$\mathbf{v}_{ak,j}^1 = (\mathbf{H}_{ak}^{b,1})^{-1} \mathbf{v}_{r,j}, \quad \mathbf{v}_{ak,j}^2 = (\mathbf{H}_{ak}^{c,2})^{-1} \mathbf{v}_{r,j}$$

식 (10)에서  $\mathbf{v}_{r,j}$ 는 벡터 집합 내의  $j$  번째 벡터이다. 사용자마다 다른 레퍼런스 벡터를 사용하여도 이들 벡터는 직교하므로 각 기지국에서 수신하는 데이터는 상호간에 간섭을 주지 않는다.

채널이 변화하는 경우 상관시간의 길이에 맞도록 전송 프레임을 설정하고 위와 같은 방법으로 전송하면 간단하게 임의로 레퍼런스 벡터를 생성하여 전송하는 경우보다 높은 데이터 전송률을 얻을 수 있다.

본 논문에서 제안하는 방법은 다양하게 설정된 여러 개의 레퍼런스 벡터를 사용함으로써 선택적 다이버시티 효과를 얻을 수 있기 때문에 기존의 고정 레퍼런스 방식보다 높은 시스템 합용량을 얻을 수 있다.

## IV. 전 산 모 의 실 험

본 장에서는 제안된 레퍼런스 벡터 설정 방법을 적용했을 때 SNR 변화에 따른 합용량 변화를 알아보기 위해 전산 모의실험을 수행하였다.

전체 3개의 다중 셀 환경에서 각 셀 내의 사용자 수는 3명으로 가정하였다. 동일한 평균 수신 SNR을 위해 모든 사용자는 3개의 셀의 경계에 위치한다고 가정하였다. 채널은 레일리 페이딩 채널(Rayleigh fading channel)을 가정하였고 모든 사용자는 각 기지국으로의 채널을 완벽히 알고 있다고 가정한다. 그리고 각 기지국은 해당 셀에 속한 사용자의 채널을 알고 있다고 가정한다. 그리고  $C^n$ 의 차원을 가지는  $Q$ 쌍의 레퍼런스 벡터를 생성하기 위해 본 논문에서는 임의로 랜덤하게 생성된 직교 함수 조합을 사용하였다. 그리고  $Q$ 의 크기는 20개로 설정을 하였다. 이 레퍼런스 벡터를 생성할 때 참고문헌 [6]과 같은 방법으로 생성할 수도 있다.

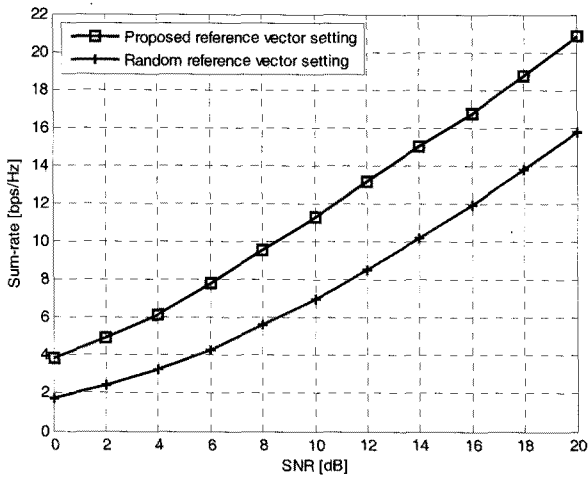


그림 2. 제안된 레퍼런스 벡터 설정 방법을 적용했을 때의 합용량 변화

Fig. 2. Sum-rate capacity with the proposed method.

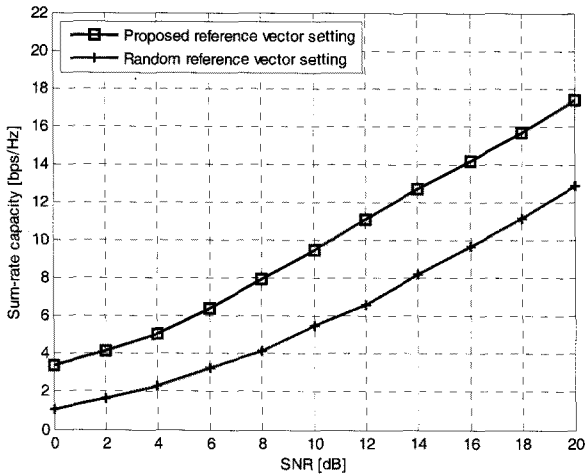


그림 3. 셀 당 사용자가 2명일 때 제안된 레퍼런스 벡터 설정 방법을 적용했을 때의 합용량 변화

Fig. 3. Sum-rate capacity with the proposed method.

그림 3은 제안된 레퍼런스 벡터 설정 방법을 적용했을 때 전체 셀의 합용량을 나타낸 것이다. 가로 축은 각 사용자가 전송한 신호에 대한 평균 수신 SNR이고 세로 축은 세 개의 셀의 각각의 상향링크 합용량의 합을 나타낸다. 평균 수신 SNR이 10dB일 때, 레퍼런스 벡터를 프레임 마다 임의로 설정한 경우 합용량은 약 7bps/Hz이다. 반면 제안된 방법을 사용할 경우 합용량은 약 11.3bps/Hz로 합용량 성능이 약 61% 증가한다.

그림 3은 셀 당 사용자가 2명일 때 전체 셀의 합용량을 나타낸 것이다. 평균 수신 SNR이 10dB일 때, 레퍼런스 벡터를 프레임마다 임의로 설정한 경우 합용량은 약 5.5bps/Hz이다. 반면 제안된 방법을 사용할 경우 합용량은 약 9.5bps/Hz로 합용량 성능이 약 73% 증가

한다.

실험에서 살펴본 바와 같이 제안된 방법을 이용하여 레퍼런스 벡터를 설정하면 임의로 설정할 때 보다 약 4~6dB의 성능 향상을 기대할 수 있다. 그림 1에서 보인 바와 같이 임의의 레퍼런스 벡터를 사용하는 경우 특정 채널 값과 레퍼런스 벡터에 따라 합용량이 0에 가까워짐으로써 원활한 통신이 불가능한 경우가 발생한다. 그러나 제안된 방법을 적용하면 채널 값이 주어졌을 때 셀마다 처리량이 최대가 되는 레퍼런스 벡터를 사용하기 때문에 임의의 레퍼런스 벡터를 사용했을 때에 비해 평균 합용량이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이렇게 합용량이 증가하는 것은 공간 다이버시티에 의한 선택적 다이버시티에 의한 것임을 알 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 상향링크 부분공간 간섭 정렬 방법에서 채널의 특성에 관계없이 임의로 선정하는 레퍼런스 벡터에 따라 합용량이 감소하는 단점을 보완하기 위한 레퍼런스 벡터 다이버시티 설정 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 채널 값이 주어졌을 때 셀 처리량이 최대가 되는 레퍼런스 벡터를 설정함으로써 각각의 셀 처리량을 최대화시키고 결과적으로 전체 합용량을 증가시킨다. 전산모의실험을 통해 제안된 방법을 적용했을 때, 임의의 레퍼런스 벡터를 사용하는 것 보다 높은 합용량을 얻을 수 있음을 보였다.

### 참고 문헌

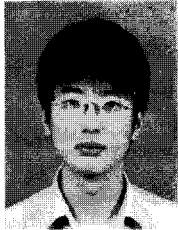
- [1] V. R. Cadambe, S. A. Jafar, "Interference Alignment and Degrees of Freedom of the K-user Interference Channels," *IEEE Trans. Information Theory*, Vol. 54, No. 8, pp. 3424-3441, Aug. 2008.
- [2] V. R. Cadambe, S. A. Jafar, "Interference Alignment and Degrees of Freedom of Wireless X Networks," *IEEE Trans. Information Theory*, Vol. 55, No. 9, pp. 3893-3908, Aug. 2009.
- [3] K. Gomadam, V. R. Cadambe, S. A. Jafar, "Approaching the Capacity of Wireless Networks through Distributed Interference Alignment," in *Proc. of IEEE GLOBECOM*, Dec. 2008.
- [4] C. Suh, D. Tse, "Interference Alignment for Cellular Networks," in *Proc. of Communication, Control and Computing 2008*, 46th Annual

- Allerton Conference, Sep 2008.
- [5] C. Suh, M. Ho, D. Tse, "Downlink Interference Alignment," available at <http://www.eecs.berkeley.edu/~chsuh/DownlinkIA.pdf>, Mar. 2010
- [6] D. J. Love, R. W. Heath, Jr., and T. Strohmer, "Grassmannian Beamforming for Multiple-Input Multiple Output Wireless Systems", IEEE Transactions on Information Theory. 49, pp. 2735 - 2747, Oct. 2003.

---

 저 자 소 개
 

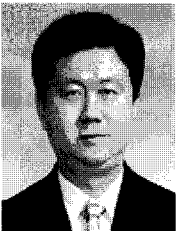
---



서 종 필(학생회원)  
 2009년 인하대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 2009년~현재 인하대학교  
 전자공학과 석사  
 <주관심분야 : OFDM, MIMO,  
 LTE-Advanced>

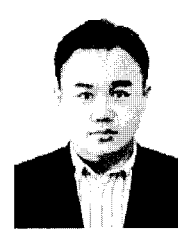


이 윤 주(정회원)  
 1974년 숭실대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 1989년 숭실대학교 전자공학과  
 석사 졸업.  
 1998년 숭실대학교 전자공학과  
 박사 졸업.  
 1975년~1978년 (주) 대한통신  
 1979년~현재 한국전자통신연구원  
 <주관심분야 : 디지털 스위칭, 데이터 통신, 차세대 이동통신>



권 동 승(정회원)  
 1985년 연세대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 1987년 연세대학교 전자공학과  
 석사 졸업.  
 1988년~현재 한국전자통신  
 연구원

2004년 연세대학교 전자공학과 박사 졸업  
 <주관심분야 : 이동통신시스템>



이 명 훈(정회원)  
 2004년 순천대학교 정보통신  
 공학과 학사 졸업.  
 2006년 순천대학교 정보통신  
 공학과 석사 졸업.  
 2005년~2010년 순천대학교 ITRC  
 연구원

2010년~현재 한국전자통신연구원  
 <주관심분야 : WMN, USN, WiBro>



정 재 학(정회원)  
 1988년 연세대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 1990년 연세대학교 전자공학과  
 석사 졸업.  
 2000년 University of Texas at  
 Austin 전기전산학과 박사

2000년~2005년 삼성종합기술원 수석연구원  
 2005년~현재 인하대학교 부교수  
 <주관심분야 : Cognitive radio, 차세대 무선 이동통신, MIMO-OFDM, UWB, Cross layer 설계>