

부분공간 간섭 정렬에서 합용량 향상을 위한 직교 레퍼런스 벡터 선정 방법

정희원 서종필*, 김현수*, 준회원 안재진*, 종신회원 정재학*

Orthogonal Reference Vectors Selection Method of Subspace Interference Alignment

Jong-pil Seo*, Hyun-soo Kim* *Regular Members*, Jae-jin Ahn* *Associate Member*, Jaehak Chung* *Lifelong Member*

요약

본 논문에서는 다중 셀 환경에서의 부분공간 간섭 정렬에서 레퍼런스 벡터간의 직교성을 통해 여러 개의 직교 레퍼런스 벡터 조합을 제공함으로써 전체 셀의 합 용량이 최대화되도록 레퍼런스 벡터를 선정하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 전체 셀의 채널용량을 최대화시키는 하나의 벡터를 선정하고 나머지 셀에서는 선택된 레퍼런스 벡터와 직교하는 벡터를 생성하여 채널 용량이 가장 큰 벡터를 각 셀의 레퍼런스 벡터로 선정한다. 제안된 방법은 주어진 채널에 적합한 레퍼런스 벡터를 선정 시 선택의 자유도를 높임으로써 기존보다 전체 셀 전송 용량을 증가시킨다. 전산 모의 실험을 통해 기존의 방법에 비해 높은 셀의 합용량 증대 성능을 보였다.

Key Words : Subspace Interference Alignment, Inter-cell Interference Management, Orthogonalization

ABSTRACT

This paper proposes the orthogonal reference vectors selection method of the subspace interference alignment. The proposed method selects multiple orthogonal reference vectors instead of using one reference vector for all users at the same time. The proposed scheme selects a reference vector which maximizes a sum-rate for a certain cell, generates orthogonal vectors to the previous selected vector and selects the one of orthogonal vectors whose sum rate is maximized for each cell. Larger channel gain and sum-rate than the previous method can be obtained by selection degree of freedom. The computer simulation demonstrates the proposed method gives higher sum-rate compared with that of the previous reference vector selection method.

I. 서론

미래 무선통신 시스템에서는 사용자의 고속 데이터 전송 속도를 충족시켜야 하기 때문에 인접 사용자 또는 셀에 의한 간섭을 효과적으로 관리하는 것이 중요한 문제로 인식되고 있다. 최근 연구가 활발히 진행되고 있는 간섭 정렬(interference alignment)^[1-3] 방법은 간섭 채널(interference channel) 내의 각 수신단에서

시간, 주파수, 안테나 등과 같은 주어진 자원 내의 특정 영역에 모든 간섭 신호가 정렬되도록 송신단에서 협력 통신을 통해 정보를 전송하는 방법이다. 이 방법은 간섭이 차지하는 공간과 전송하고자 하는 신호가 차지하는 공간이 다르기 때문에 간단한 수신 방법을 통해서 간섭 신호가 증가해도 일정한 신호 대 간섭 잡음 비(SINR: signal-to-interference plus noise ratio)를 얻을 수 있다. 그러나 간섭 정렬은 전체 송신기와

* 본 연구는 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2010-0016316)

* 인하대학교 전자공학과 무선이동통신 연구실(slavik@nate.com, dancingscv@inhaian.net, bsjin920@nate.com, jchung@inha.ac.kr)

논문번호: KIC2011-01-062, 접수일자: 2011년 1월 27일, 최종논문접수일자: 2011년 4월 20일

수신기 수가 동일해야 적용이 가능하고 각 송수신기는 네트워크 내의 모든 채널 정보를 알고 있어야 하는 단점이 있다.

이와 같은 채널 정보 획득 문제와 다중 셀 환경에서의 적용이 어려운 점을 보완하기 위한 부분공간 간섭 정렬이 제안되었다^{[4],[5]}. 이 방법은 전체 신호 공간 내에 다차원의 부분공간을 형성하여 인접 셀로부터의 간섭을 그 부분공간에 정렬하는 방법이다. 부분공간 간섭 정렬은 모든 간섭 신호를 정확하게 정렬시키지만, 간섭 신호가 정렬되는 부분공간을 형성하기 위해 송신단에서 사용되는 레퍼런스 벡터(reference vector)는 전체 시스템에서 공통적으로 한 개만을 사용한다. 이 레퍼런스 벡터는 송신단에서 곱해지기 때문에 링크의 채널 용량을 최대화시키려면 채널에 따라 최적화되어야 하는데 다중 사용자 환경에서는 다중 링크의 채널을 동시에 최적화시키는 공통의 레퍼런스 벡터를 찾는 것은 불가능하다. 이를 보완하기 위해 다수의 벡터 집합 내에서 주어진 채널 환경에 가장 적합한 벡터를 레퍼런스 벡터로 선정하는 방법이 제안되었다^[6]. 그러나 이 방법은 단일 레퍼런스 벡터를 이용하여 전체 셀의 합용량(sum rate)을 최대화 시키는 것에 대해서만 고려하기 때문에 전체 셀의 채널 용량을 최대화 하는데 한계가 있다.

본 논문에서는 부분공간 간섭 정렬에서 여러 직교 레퍼런스 벡터를 이용하여 각 사용자가 채널에 적합한 레퍼런스 벡터를 선정할 때 선택의 자유도를 높임으로써 기존보다 높은 채널 이득을 얻고 전체 셀 전송 용량을 증가시키는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 전체 셀의 채널용량을 최대화 시키는 하나의 벡터를 선정하고 나머지 셀에서는 선택된 레퍼런스 벡터와 직교하는 벡터를 생성하여 채널 용량이 가장 큰 벡터를 각 셀의 레퍼런스 벡터로 선정하는 방법이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 부분공간 간섭 정렬에 대해 설명하고 III장에서 레퍼런스 벡터의 변화에 따른 합용량 변화를 기술한다. IV장에서는 본 논문에서 제안한 합용량 증대를 위한 레퍼런스 벡터 선정 방법을 보이고 V장에서 전산 모의 실험을 통해 제안된 방법을 적용했을 때의 합용량 변화를 확인하고 마지막 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 간섭 정렬

2.1 부분공간 간섭 정렬

부분공간 간섭 정렬은 3개 이상의 다중 셀이 존재하는 셀룰러 네트워크 환경에서 기존보다 간섭의 크

기를 줄여서 전체 합용량을 증대시키는 방법이다. 본 논문에서는 3셀 상황링크만을 고려하며 각 사용자는 네트워크 내의 모든 채널 정보를 필요로 하지 않고 오직 각 사용자가 인접 셀의 기지국에 미치는 채널 정보만을 알고 있다고 가정한다. 각 기지국은 유한한 차원을 갖는 수신 신호 공간을 설정하고 인접 셀의 사용자로부터 받는 간섭 신호를 한 곳으로 모으기 위해 다차원을 갖는 부분공간을 생성한다. 전체 셀이 3개이고 각 셀 내의 사용자 수가 각각 K 인 경우, 각 사용자가 할당 받은 채널을 n 개의 스펙트럼으로 나눈 뒤 인접 셀의 기지국에 미치는 간섭 신호를 $\sqrt{K}+1$ 개의 스펙트럼으로 정렬하면 $n = (\sqrt{K}+1)^2$ 이 된다. 기지국 j 에서 받은 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{y}^j = \sum_{k=1}^K \mathbf{H}_{1k}^j \mathbf{v}_{1k} x_{1k} + \sum_{k=1}^K \mathbf{H}_{2k}^j \mathbf{v}_{2k} x_{2k} + \sum_{k=1}^K \mathbf{H}_{3k}^j \mathbf{v}_{3k} x_{3k} + \mathbf{w}^j \quad (1)$$

여기서 $\mathbf{H}_{ik}^j \in \mathbb{C}^{n \times n}$ 는 채널 행렬로 각 대각 성분이 각 사용자와 기지국 사이의 채널의 주파수 응답으로 이루어진 대각 행렬이고 $i \in \{1,2,3\}$ 는 셀 인덱스를 의미하고 k 는 사용자 인덱스, $j \in \{1,2,3\}$ 는 각 기지국에 대한 셀 인덱스를 의미한다. $\mathbf{v}_{ik} \in \mathbb{C}^{n \times 1}$ 과 $x_{ik} \in \mathbb{C}$ 는 각각 셀 i 내의 사용자 k 의 송신 벡터와 전송 심볼이고 $\mathbf{w}^j \in \mathbb{C}^{n \times 1}$ 은 기지국 j 에서의 부가 가우시안 잡음이다.

각 사용자는 자신이 속한 셀의 채널과 인접 셀의 기지국과의 채널을 알고 있고 각 채널을 다음과 같이 채널을 분리한다.

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

여기서 \otimes 는 크로네커(Kronecker) 곱을 의미한다. 그러면 부분공간 간섭 정렬의 송신 벡터는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\mathbf{v}_{ik}^1 = (\mathbf{H}_{ik}^{b,1})^{-1} \mathbf{v}_r, \quad \mathbf{v}_{ik}^2 = (\mathbf{H}_{ik}^{c,2})^{-1} \mathbf{v}_r \quad (3)$$

$$\begin{aligned} b &= i \bmod 3 + 1 \\ c &= (i+1) \bmod 3 + 1 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $\mathbf{v}_{ik} = \mathbf{v}_{ik}^2 \otimes \mathbf{v}_{ik}^1$ 이고 $\mathbf{v}_r \in \mathbb{C}^{(\sqrt{K}+1) \times 1}$ 은 간섭 신호를 정렬하기 위한 부분공간을 형성하는 레퍼런스

벡터이다. 식 (2)와 (3)을 식 (1)에 대입하면 기지국 1에서의 수신 신호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{y}^1 = & \sum_{k=1}^K \left[\left\{ \mathbf{H}_{1k}^{1,2} (\mathbf{H}_{1k}^{3,2})^{-1} \mathbf{v}_r \right\} \otimes \left\{ \mathbf{H}_{1k}^{1,1} (\mathbf{H}_{1k}^{2,1})^{-1} \mathbf{v}_r \right\} \right] x_{1k} \\ & + \sum_{k=1}^K \left[\mathbf{v}_r \otimes \left\{ \mathbf{H}_{2k}^{1,1} (\mathbf{H}_{2k}^{3,1})^{-1} \mathbf{v}_r \right\} \right] x_{2k} \\ & + \sum_{k=1}^K \left[\left\{ \mathbf{H}_{3k}^{1,2} (\mathbf{H}_{3k}^{2,2})^{-1} \mathbf{v}_r \right\} \otimes \mathbf{v}_r \right] x_{3k} + \mathbf{w}^1 \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)에서 첫 번째 항은 각 사용자들과 해당 기지국 사이의 유효채널 벡터이고 두 번째 항과 세 번째 항은 인접 셀로부터 받는 간섭 신호의 유효채널 벡터이다. 각 기지국에서는 $\mathbf{v}_r^\perp \otimes \mathbf{v}_r^\perp$ 를 만족하는 벡터 $\mathbf{u} = \mathbf{v}_r^\perp \otimes \mathbf{v}_r^\perp$ 를 이용하여 인접 셀에 의한 간섭을 모두 제거하며 최종적인 수신 신호는 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{u}^H \mathbf{y}^i = & \sum_{k=1}^K \mathbf{u}^H \left[\left\{ \mathbf{H}_{ik}^{i,2} (\mathbf{H}_{ik}^{i,2})^{-1} \right\} \mathbf{v}_r \right. \\ & \left. \otimes \left\{ \mathbf{H}_{ik}^{i,1} (\mathbf{H}_{ik}^{b,1})^{-1} \right\} \mathbf{v}_r \right] x_{ik} + \mathbf{u}^H \mathbf{w}^i \end{aligned} \quad (6)$$

2.2 합용량 증대를 위한 레퍼런스 벡터 선정 방법

부분공간 간섭 정렬은 간섭 신호를 제거하여 여러 사용자들 중에서 링크 간의 자유도를 유지하는 것이 목적이므로 송신단에서 채널에 따라 최적화된 프리코딩(precoding) 형태의 레퍼런스 벡터 설정은 고려되지 않는다^[4,5]. 그러므로 임의의 고정된 레퍼런스 벡터가 주어졌을 때, 시간에 따라 변화하는 특정 채널 환경에서는 각각의 전송 심볼이 얻는 전체 채널 이득이 변화한다. 이 경우 인접 셀의 사용자로부터 받는 간섭은 제거되지만 레퍼런스 벡터가 각 채널에 최적화되지 못해 수신 신호 대 잡음 비(SNR: signal to noise ratio)이 낮아지고 링크간의 전송 용량이 줄어들어서 합용량이 최적화되지 못하는 단점이 있다.

이러한 단점을 해결하기 위해 각 셀의 채널 용량을 최적화하면서 동시에 모든 셀의 채널 용량을 최적화하는 방법을 생각할 수 있다. 그러나 기존의 부분공간 간섭 정렬 방법은 모든 셀에 대해서 동일한 레퍼런스 벡터를 사용하는 제한 때문에 전체 셀의 채널 용량을 최대화하는 최적의 레퍼런스 벡터를 찾는 방법은 쉽지 않다. 그러므로 레퍼런스 벡터 공간을 일정하게 나누어 놓는 방법^[7]을 이용한 lookup 표를 사용하여 레퍼런스 벡터를 선정하면 유한한 집합 내에서 선택하기 때문에 부최적(suboptimal) 값을 구할 수 있다.

레퍼런스 벡터 선택 방법은 위와 같이 생성된 레퍼

런스 벡터를 사용자와 기지국이 미리 알고 있는 lookup 표를 가지고 있다. 그리고 기지국에서 짧은 파일럿 데이터를 전송하면 셀 i 의 기지국은 Q 쌍의 벡터 중에서 q 번째 레퍼런스 벡터에 따르는 셀 합용량 $C_{i,q}$ 를 계산한다.

$$C_{i,q} = \log_2 \left(1 + \frac{\sum_{k \in \{1, \dots, K\}} P \| \mathbf{u}_q^H \mathbf{H}_{ik}^i \mathbf{v}_{ik,q} \|^2}{N_0} \right) \quad (7)$$

여기서 P 는 각 사용자의 송신전력이다. 수신벡터 \mathbf{u}_q 와 송신벡터 $\mathbf{v}_{ik,q}$ 는 다음과 같다.

$$\mathbf{u}_q = \mathbf{v}_{r,q}^\perp \otimes \mathbf{v}_{r,q}^\perp \quad (8)$$

$$\mathbf{v}_{ik}^1 = (\mathbf{H}_{ik}^{b,1})^{-1} \mathbf{v}_{r,q}, \quad \mathbf{v}_{ik}^2 = (\mathbf{H}_{ik}^{i,2})^{-1} \mathbf{v}_{r,q} \quad (9)$$

식 (9)에서 $\mathbf{v}_{r,q}$ 는 벡터 집합 내의 q 번째 벡터이다. 나머지 셀에서도 위와 같은 방법으로 각 레퍼런스 벡터에 따르는 합용량을 계산한다.

$$C_{sum} = \sum_i C_{i,q} \quad (10)$$

각 기지국은 가장 큰 합용량을 가지는 q 번째의 레퍼런스 벡터를 선정하여 인덱스를 서로 교환한다. 그리고 이 레퍼런스 벡터의 인덱스를 각 사용자에게 전송하면 각 사용자는 이를 이용하여 기지국과 통신을 하게 된다^[6].

각 기지국에서 해당 셀 내 모든 사용자의 채널을 알고 있고 한 프레임 내에서의 채널은 변하지 않는다고 가정할 수 있다. 이 경우 각 기지국과 사용자간의 채널 정보는 시분할 다중화 방법(TDD: time division duplex)와 같은 시스템에는 채널의 상호교환 성질에 의해 쉽게 양쪽 채널 정보를 알 수 있다.

시간에 따라 채널이 변화하는 경우 상관시간의 길이에 맞도록 전송 프레임을 설정하고 위와 같은 방법으로 주기적으로 레퍼런스 벡터를 변경하면 시간 변화에 따라 채널 용량을 주어진 레퍼런스 벡터 집합 내에서 최적화시킬 수 있다. 이 방법은 다양하게 설정된 여러 개의 레퍼런스 벡터를 사용함으로써 선택적 다이버시티(diversity) 효과를 얻기 때문에 기존의 고정 레퍼런스 방식보다 높은 셀의 합용량을 얻을 수 있다.

그러나 특정 채널 환경에서는 합용량 성능이 증대되더라도 선정된 레퍼런스 벡터와 특정 셀의 채널이

서로 매칭되지 않는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우 한 셀의 셀의 합용량은 증가폭이 매우 커지나 다른 셀의 셀 합용량은 오히려 감소하는 문제가 발생할 수 있다. III장에서는 이러한 문제를 보완하기 위한 셀 마다 직교하는 다수의 레퍼런스 벡터를 이용한 전송 방법을 제안한다.

III. 셀 마다 직교하는 다수의 레퍼런스 벡터 선정 방법

부분공간 간섭 정렬은 앞에서 설명한 바와 같이 모든 셀이 동일한 레퍼런스 벡터를 이용하여 인접 셀에 의한 간섭을 제어한다. II장에서 설명한 합용량 증대를 위한 레퍼런스 벡터 선정 방법도 선택된 한개의 레퍼런스 벡터를 모든 셀에서 사용한다. 이 방법은 특정 셀의 경우 선택적 다이버시티 이득을 얻음으로써 셀 합용량 향상을 기대할 수 있지만 나머지 셀은 상대적으로 선택된 레퍼런스 벡터와 채널이 매칭될 확률이 적어질 수 있기 때문에 나머지 셀에서는 기존의 방법과 비교했을 때 합용량 향상이 크지 않다.

이러한 문제를 보완하기 위해 본 장에서는 셀 마다 직교하는 다수의 레퍼런스 벡터를 사용하여 전체 합용량을 증가시키는 방법을 제안한다.

부분공간 간섭 정렬은 모든 셀에서 동일한 레퍼런스 벡터를 사용하고 레퍼런스 벡터와 직교하는 제로 포싱(ZF:zero-forcing) 수신기를 사용한다. 만일 다른 셀에서 특정 셀과 다른 임의로 선정된 레퍼런스 벡터를 사용하면 ZF 수신기를 이용하여 인접 셀에 의한 간섭이 제거할 수 없다. 그러나 임의로 선정된 레퍼런스 벡터가 아닌 셀 마다 서로 직교(orthogonal)하는

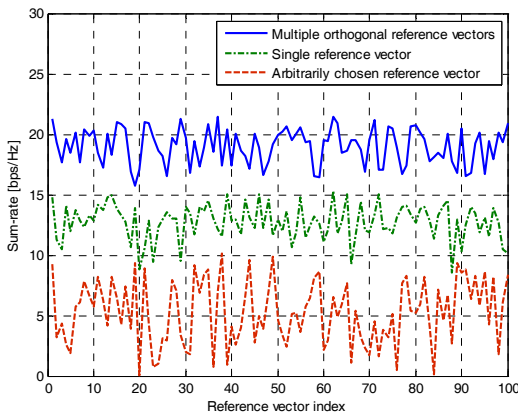


그림 1. 동일한 채널 환경에서 레퍼런스 벡터 선정 방법에 따른 합용량

레퍼런스 벡터를 사용하면 각 셀이 서로 다른 레퍼런스 벡터를 사용하더라도 인접 셀에 의한 간섭을 제거할 수 있기 때문에 부분공간 간섭 정렬을 수행할 수 있게 된다. 따라서 본 논문에서 제안하는 방법은 레퍼런스 벡터 간의 직교 특성을 이용하여 셀 마다 직교하는 다수의 레퍼런스 벡터를 선정함으로써 특정 셀의 합용량 뿐만 아니라 나머지 셀의 합용량을 동시에 증가시키는 방법이다.

제안하는 방법의 핵심인 직교하는 다수의 레퍼런스 벡터에 대한 수신 간섭 신호를 살펴본다. 각 셀이 서로 직교하는 레퍼런스 벡터를 사용하므로, 기지국 1에서의 수신신호는 다음 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y^1 = \sum_{k=1}^K \left[\left\{ \mathbf{H}_{1k}^{1,2} (\mathbf{H}_{1k}^{3,2})^{-1} \mathbf{v}_{r,1} \right\} \otimes \left\{ \mathbf{H}_{1k}^{1,1} (\mathbf{H}_{1k}^{2,1})^{-1} \mathbf{v}_{r,1} \right\} \right] x_{1k} + \sum_{k=1}^K \left[\mathbf{v}_{r,2} \otimes \left\{ \mathbf{H}_{2k}^{1,1} (\mathbf{H}_{2k}^{3,1})^{-1} \mathbf{v}_{r,2} \right\} \right] x_{2k} \tag{11}$$

$$+ \sum_{k=1}^K \left[\left\{ \mathbf{H}_{3k}^{1,2} (\mathbf{H}_{3k}^{2,2})^{-1} \mathbf{v}_{r,3} \right\} \otimes \mathbf{v}_{r,3} \right] x_{3k} + \mathbf{w}^1$$

$$\mathbf{v}_{r,1} \perp \mathbf{v}_{r,2} \perp \mathbf{v}_{r,3} \tag{12}$$

각 기지국은 해당 셀 내의 사용자의 레퍼런스 벡터와 동일한 수신 벡터를 사용한다. 따라서 식 (12)의 직교 특성에 따라 식 (11)에서 두 번째 항과 세 번째 항의 간섭 신호는 모두 제거된다. 예를 들어 수신 벡터 $\mathbf{u}_i = \mathbf{v}_{r,i} \otimes \mathbf{v}_{r,i}$ 를 사용하면 각 기지국의 수신 신호는 다음의 식 (13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{u}_i^H y^j = \sum_{k=1}^K \left[\left\{ (\mathbf{v}_{r,i})^H \mathbf{H}_{ik}^{i,2} (\mathbf{H}_{ik}^{c,2})^{-1} \mathbf{v}_{r,i} \right\} \otimes \left\{ (\mathbf{v}_{r,i})^H \mathbf{H}_{ik}^{i,1} (\mathbf{H}_{ik}^{b,1})^{-1} \mathbf{v}_{r,i} \right\} \right] x_{ik} + \mathbf{u}_i^H \mathbf{w}^i \tag{13}$$

다음은 제안된 방법의 과정을 나타내었다.

- 1) 크기가 $(\sqrt{K}+1) \times 1$ 인 Q 개의 벡터 집합 $\{\mathbf{v}_1, \dots, \mathbf{v}_q, \dots, \mathbf{v}_Q\}$ 을 생성.
- 2) 식 (14)와 같이 $i \in \{1, 2, 3\}$, $q \in \{1, \dots, Q\}$ 에 대한 합용량 $C_{i,q}$ 를 계산.

$$C_{i,q} = \log_2 \left(1 + \frac{\sum_{k \in \{1, \dots, K\}} P \|\mathbf{v}_{ik,q}^H \mathbf{H}_{ik}^i \mathbf{v}_{ik,q}\|^2}{N_0} \right) \tag{14}$$

3) $\max_{i \in \{1,2,3\}, q \in \{1, \dots, Q\}} C_{i,q}$ 를 갖는 셀 인덱스 i^* 와 벡터 인덱스 q^* 를 선택하고 $\mathbf{v}_{r,i} = \mathbf{v}_q$ 로 설정.

4) 셀 i^* 내의 사용자의 송신 벡터 계산

$$\mathbf{v}_{i^*,k,q^*}^1 = (\mathbf{H}_{i^*,k}^{1,1})^{-1} \mathbf{v}_q, \quad \mathbf{v}_{i^*,k,q^*}^2 = (\mathbf{H}_{i^*,k}^{2,2})^{-1} \mathbf{v}_q.$$

5) 선택된 \mathbf{v}_q 와 직교하는 벡터 $\{\mathbf{v}_{\alpha,1}, \dots, \mathbf{v}_{\alpha,\sqrt{K}}\}$ 계산.

6) 연산된 $\{\mathbf{v}_{\alpha,1}, \dots, \mathbf{v}_{\alpha,\sqrt{K}}\}$ 를 이용하여 $i \neq i^*, q \in \{1, \dots, \sqrt{K}\}$ 에 대해서 $C_{i,q}$ 계산.

7) $\max_{i \neq i^*, q \in \{1, \dots, \sqrt{K}\}} C_{i,q}$ 를 갖는 i 와 q 를 선택하고 $\mathbf{v}_{r,i} = \mathbf{v}_{\alpha,q}$ 로 설정.

8) 셀 i 내의 사용자의 송신 벡터 선택

9) 6)-8) 방법을 나머지 셀에 대해서 수행한다.

제안된 다수의 직교 레퍼런스 벡터 선정 방법은 한 특정 셀에 대한 레퍼런스 벡터만 아니라 나머지 다른 셀에 대한 레퍼런스 벡터 또한 주어진 벡터 집합 내에서 가장 적합한 벡터를 찾는 방법이다. 그러므로 제안된 방법은 다른 셀에 대해서도 레퍼런스 벡터가 매칭될 확률을 높이는 선택의 자유도를 제공한다.

IV. 전산 모의 실험

본 절에서는 제안된 레퍼런스 벡터 설정 방법을 적용했을 때 SNR 변화에 따른 합용량 변화를 알아보기 위해 전산 모의 실험을 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. 이때 각 기지국의 평균 신호 대 간섭비 (SIR: signal to interference ratio)은 1/2이다. 채널은 레일리 페이딩 채널(Rayleigh fading channel)을 가정하였고 모든 사용자는 각 기지국으로의 채널을 완벽히 알고 있다고 가정하였다. 부가 가우시안(Gaussian) 잡음의 전력은 1로 가정한다. 그리고 각 기지국은 해당 셀에 속한 사용자의 채널을 알고 있다고 가정하였다. 그리고 $\sqrt{K}+1$ 의 차원을 가지는 Q쌍의 레퍼런스 벡터를 생성하기 위해 본 절에서는 임의로 불규칙(random)하게 생성된 직교 함수 조합을 사용하였다. Q의 크기는 20개로 설정하였다.

그림 1은 동일한 채널 값을 갖는 환경에서 레퍼런

스 벡터의 선정 방법에 따른 합용량 성능을 나타내었다. 임의로 선택된 레퍼런스 벡터를 사용하는 경우 부분공간 간섭 정렬 방법의 특성상 인접 셀에 의한 간섭은 모두 제거할 수 있으나 신호 성분에 대한 이득이 작아져서 전송 링크의 전송 용량이 0에 수렴하는 경우가 생긴다. 또한 채널 값과 전송 용량을 최적화시킬 수 있는 레퍼런스 벡터가 매칭될 확률이 낮기 때문에 평균적인 합용량 성능 또한 크게 향상되지 않는다.

단일 레퍼런스 벡터 선정 방법을 적용하는 경우 전체 채널 값에서 가장 우수한 레퍼런스 벡터를 선정하기 때문에 기존의 방법에 비해 합용량 성능이 향상되었다. 그러나 이 방법은 특정 셀의 합용량을 최대화시키고 나머지 셀의 합용량은 고려하지 않는 문제가 발생하여 전체 합용량 증가가 크지 않다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 제안된 직교 레퍼런스 벡터 선정 방법은 각 셀의 합용량을 최대화시키는 다수의 레퍼런스 벡터를 선정함으로써 합용량 성능을 개선하였다.

그림 2는 제안된 셀 마다 직교하는 다수의 레퍼런스 벡터 설정 방법을 적용했을 때 전체 셀의 합용량을 나타낸 것이다. 가로 축은 각 사용자가 전송한 전력이고 세로축은 세 개의 셀의 각각의 상향링크 합용량의 합을 나타낸다. 송신 전력이 10dB일 때, 레퍼런스 벡터를 프레임마다 임의로 설정한 경우 합용량은 약 7bps/Hz이다. 반면 제안된 방법을 사용할 경우 합용량은 약 15bps/Hz로 합용량 성능이 약 117% 증가한다. 또한 단일 레퍼런스 벡터 선정 방법을 적용했을 때와 비교했을 때 성능이 32.7% 향상된다.

그림 3은 제안된 방법에서 lookup table에 생성한 벡터의 개수 Q를 변화시켰을 때의 합용량 성능 비교를 나타내었다. 생성된 벡터 쌍이 많아질수록 주어진 채널 환경에 매칭될 확률이 높아지고 이는 생성된 벡

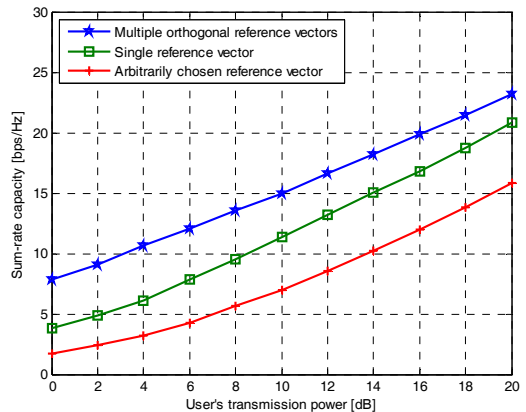


그림 2. 제안된 방법과 기존 방법의 합용량 성능 비교

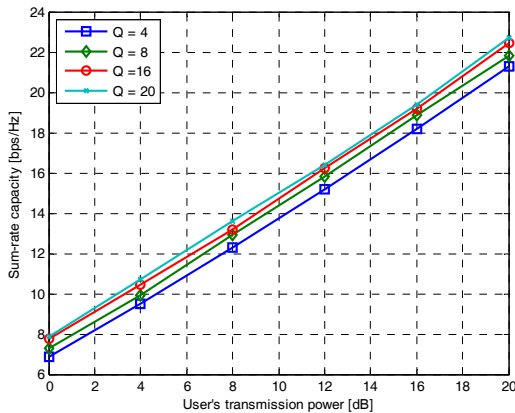


그림 3. 제안된 방법에서 생성된 벡터의 개수에 따른 합용량 성능 비교

터 쌍의 개수에 따라 다이버시티 이득을 얻음을 의미한다.

V. 결 론

본 논문에서는 부분공간 간섭 정렬 방법에서 채널의 특성에 관계없이 임의로 선정하는 레퍼런스 벡터에 따라 합용량이 감소하는 단점을 보완하기 위한 다중 직교 레퍼런스 벡터 선정 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 단일 레퍼런스 벡터의 단점을 보완하기 위한 셀마다 직교하는 다수의 레퍼런스 벡터 선정하고 각 셀의 합용량이 최대화되는 레퍼런스 벡터를 선정하는 방법이다. 전산 모의 실험을 통해 기존의 방법 및 단일 레퍼런스 벡터 선정 방법에 비해 합용량 성능이 향상됨을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] V. R. Cadambe and S. A. Jafar "Interference Alignment and Degrees of Freedom of the K-User Interference Channel," *IEEE Trans. on Information Theory*, Vol.54, No.8, pp.3424-3441, Aug. 2008.

[2] V. R. Cadambe and S. A. Jafar "Interference Alignment and Degrees of Freedom of Wireless X Networks," *IEEE Trans. on Information Theory*, Vol.55, No.9, pp.3893-3908, Aug. 2009.

[3] K. Gomadam, V. Cadambe and S. Jafar, "Approaching the Capacity of Wireless

Networks through Distributed Interference Alignment," in *Proc. of Global Communications Conference 2008*, Dec. 2008.

[4] C. Suh and 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 and D. Tse "Downlink Interference Alignment," available at <http://arxiv.org/abs/1003.3707/DownlinkIA.pdf>, Mar. 2010.

[6] J. Seo, D. Choi, J. Ahn and J. Chung "Selection Diversity of Subspace Interference Alignment in Uplink Systems," in *Proc. of International Conference on Information and Communication Technology Convergence 2010*, Nov. 2010.

[7] D. Love, W. Heath Jr. and T. Strohmer "Grassmannian Beamforming for Multiple-Input Multiple-Output Wireless Systems," *IEEE Trans. on Information Theory*, Vol.49, No.10, pp.2735-2747, Oct. 2003.

서 종 필 (Jong-pil Seo)

정회원



2009년 2월 인하대학교 전자공학과
2011년 2월 인하대학교 전자공학과 석사
2011년 3월~현재 인하대학교 전자공학과 박사과정
<관심분야> OFDM시스템, MIMO,

Cognitive radio, LTE-Advanced

김 현 수 (Hyeon-soo Kim)

정회원



2008년 2월 인하대학교 전자공학과
2011년 2월 인하대학교 전자공학과 석사
2011년 3월~현재 인하대학교 전자공학과 박사과정
<관심분야> 수중 음향 통신,

IMT-Advanced, cooperative MIMO, IPTV

안 재 진 (Jae-jin Ahn)

준회원



2009년 8월 인하대학교 전자공학과
2009년 8월~현재 인하대학교 전자공학과 석사과정
<관심분야> 디지털 스위칭, 데이터 통신, 차세대 이동통신

정 재 학 (Jae-hak Chung)

종신회원



1988년 2월 연세대학교 전자공학과
1990년 2월 연세대학교 전자공학과 석사
2000년 University of Texas at Austin 전기전산 학과 박사
2000년~2001년 post doctoral fellow, University of Texas at Austin
2001년~2005년 수석연구원, 삼성종합기술원
2005년~현재 인하대학교 부교수
<관심분야> Cognitive radio, 차세대 무선 이동 통신, MIMO-OFDM, UWB, Cross layer설계