



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0138051
(43) 공개일자 2013년12월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04B 7/04 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2012-0061842

(22) 출원일자 2012년06월09일

심사청구일자 없음

(71) 출원인

삼성전자주식회사

경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (매탄동)

고려대학교 산학협력단

서울 성북구 안암동5가 1

(72) 발명자

강충구

서울특별시 성북구 인촌로17가길 64 삼성래미안아파트 110동 802호

추신

서울시 성북구 안암로 145 고려대학교 제2공학관 624

(74) 대리인

이정순, 권혁록

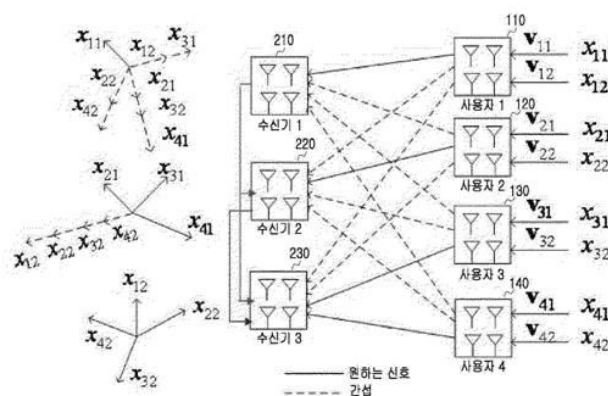
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 무선 통신시스템의 간섭 정렬 및 제거 장치 및 그를 위한 방법

(57) 요약

다중 사용자 통신 환경의 무선 통신시스템에서 사용하기 위한 간섭 정렬 및 제거 장치 및 방법을 제공하기 위한 것이다. 본 발명의 실시 예에 따르면, 간섭 정렬 및 제거 장치는, 다수의 안테나들을 구비하며, 다수의 송신기들로부터 전송된 신호를 상기 안테나들을 통해 수신하는 수신기들을 포함한다. 상기 각 수신기들은, 여러 사용자들의 신호를 설계된 순서에 따라 검출하고, 그 과정에서 나머지 신호들을 간섭 정렬한다. 또한, 상기 각 수신기들은, 상기 검출한 사용자 신호에 대한 정보를 다른 수신기들에게 전달함으로써 상기 다른 수신기들이 상기 전달받은 사용자 신호를 제거한 후 사용자 신호의 검출 및 간섭 정렬 동작을 수행할 수 있도록 한다. 본 발명에서는 다중 사용자 및 단일 사용자 송수신기 간의 간섭 환경 하에서 최대의 용량을 실현하면서 복잡도를 낮출 수 있는 여러 가지 형태의 송수신기 구조를 제시한다.

대표도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

무선 통신시스템의 간섭 정렬 및 제거 장치에 있어서,

다수의 안테나들을 구비하며, 다수의 송신기들로부터 전송된 신호를 상기 안테나들을 통해 수신하는 수신기들을 포함하고,

상기 각 수신기들은,

여러 사용자들의 신호를 설계된 순서에 따라 검출하고, 그 과정에서 나머지 신호들을 간섭 정렬하고,

또한, 상기 검출한 사용자 신호에 대한 정보를 다른 수신기들에게 전달함으로써 상기 다른 수신기들이 상기 전달받은 사용자 신호를 제거한 후 사용자 신호의 검출 및 간섭 정렬 동작을 수행할 수 있도록 하는, 간섭 정렬 및 제거 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 검출한 사용자 신호에 대한 정보를 다른 수신기들에게 전달하는 수신기들은 미리 결정되는, 간섭 정렬 및 제거 장치.

청구항 3

청구항 1에 있어서, 상기 수신기들의 수는 상기 송신기들의 수와 다른, 간섭 정렬 및 제거 장치.

청구항 4

청구항 1에 있어서, 상기 수신기들의 수는 상기 송신기들의 수와 동일한, 간섭 정렬 및 제거 장치.

청구항 5

청구항 3 또는 청구항 4에 있어서, 상기 송신기들의 안테나 수와 상기 수신기들의 안테나 수는 동일한, 간섭 정렬 및 제거 장치.

청구항 6

청구항 3 또는 청구항 4에 있어서, 상기 송신기들의 안테나 수와 상기 수신기들의 안테나 수는 다른, 간섭 정렬 및 제거 장치.

청구항 7

무선 통신시스템의 간섭 정렬 및 제거를 위한 처리 방법에 있어서,

노드들과 연결선들로 이루어지는 간섭정렬제어(IAC) 그래프들을 생성하는 과정과,

상기 생성된 IAC 그래프들 중에서 각 서브그래프에 있는 노드들이 최대 하나의 루프를 구성하는 IAC 그래프를 탐색하여 선택하는 과정과,

상기 선택된 IAC 그래프에 의해 제시되는 선형 방정식들로부터 패킷 검출과 제거 절차를 결정하는 과정을 포함하며,

상기 각 노드들은 패킷의 선처리 부호화 벡터를 나타내며, 상기 각 연결선은 해당 노드의 선처리 부호화 벡터간의 간섭 정렬 여부를 나타내는, 처리 방법.

청구항 8

청구항 7에 있어서, 상기 IAC 그래프를 탐색하여 선택하는 과정은,

상기 생성된 IAC 그래프들중에서 각 서브그래프에 있는 노드들이 최대 하나의 루프를 구성하고, 수신기들 사이에 교환될 패킷의 수를 최소화하는 송수신기 구조를 가지는 IAC 그래프를 탐색하여 선택하는 과정을 포함하는,

처리 방법.

청구항 9

청구항 7에 있어서, 상기 선택된 IAC 그래프에 의해 제시되는 선행 방정식들로부터 송신기의 선처리 부호화 벡터를 결정하는 과정을 더 포함하는, 처리 방법.

청구항 10

청구항 9에 있어서, 상기 결정된 선처리 부호화 벡터를 상기 송신기로 전송하는 과정을 더 포함하는, 처리 방법.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 무선 통신시스템에 관한 것으로, 특히 송수신 신호의 간섭을 정렬하고 제거하기 위한 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 무선 통신시스템에서 간섭 정렬(Interference Alignment: IA) 기술은 주변에 다수 개의 간섭원이 존재할 때, 다중 송수신 안테나에 의해 제공되는 전송 공간을 수신하고자 하는 사용자 신호와 간섭 신호가 서로 다른 공간을 사용하도록 함으로써 사용자 신호가 간섭의 영향을 받지 않도록 한다. 이때 제한적인 전송 공간에서 용량을 극대화하기 위해서는 간섭 신호들을 사용자 신호가 차지하는 공간을 제외한 나머지 공간에서 정렬을 시키게 된다. 기존 연구에서는 송신 및 수신 안테나가 각각 M 개인 송수신쌍이 K 개가 공존할 때(각 송수신쌍은 하나의 송신기와 수신기로 구성됨), 이 K 명의 사용하는 전체 시스템에서 실현 가능한 총 자유도(Degree of Freedom: DoF)의 최대값은 $2M - K / (K+1)$ 로 주어지는 것으로 알려져 있다. 특히, $K = 3$ 일 때는 그 최대값에 해당하는 용량을 실현할 수 있으며, 따라서 이는 $1.5M$ 으로 주어진다.

[0003] 그러나 기존의 문헌에서 논의된 간섭 정렬 및 제거 기법들은, 각 수신기가 단지 하나의 사용자와 통신이 이루어지는 것만을 가정하고 있다. 따라서, 각 수신기로 전송하는 송신기가 다수 개로 일반화된 다중 사용자 통신 환경을 고려한 간섭 정렬 및 제거 기법을 논의할 필요가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 따라서 본 발명의 일 실시예는 다중 사용자 통신 환경의 무선 통신시스템에서 사용하기 위한 간섭 정렬 및 제거 장치 및 방법을 제공함에 있다.

[0005] 본 발명의 다른 실시예는 무선 통신시스템에서 간섭 정렬 및 제거 기법을 이용하면서 하나의 수신기에 다수의 사용자가 동시에 전송할 때 다중 사용자 간섭 채널에서도 동작할 수 있는 장치 및 방법을 제공함에 있다.

[0006] 본 발명의 다른 실시예는 송신 및 수신 안테나의 수가 다른 다중 사용자 통신 환경의 무선 통신시스템에서 간섭 정렬 및 제거를 위한 장치 및 방법을 제공함에 있다.

[0007] 본 발명의 또 다른 실시예는 다중 사용자 통신 환경의 무선 통신시스템에서 송신 및 수신 안테나가 각각 M 개일 때 $2M$ 의 자유도를 보장할 수 있는 장치 및 방법을 제공함에 있다.

[0008] 본 발명의 또 다른 실시예는 무선 통신시스템에서 송신 및 수신 안테나가 각각 M 개일 때 $2M$ 의 자유도를 보장할 수 있는 송수신기 구조를 구현함에 있어 수신기간에 서로 교환해야 하는 패킷의 수를 최소화하기 위한 장치 및 방법을 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 무선 통신시스템의 간섭 정렬 및 제거 장치는, 다수의 안테나들을 구비하며, 다수의 송신기들로부터 전송된 신호를 상기 안테나들을 통해 수신하는 수신기들을 포함한다. 상기 각 수신기들은,

여러 사용자들의 신호를 설계된 순서에 따라 검출하고, 그 과정에서 나머지 신호들을 간섭 정렬하고, 또한, 상기 검출한 사용자 신호에 대한 정보를 다른 수신기들에게 전달함으로써 상기 다른 수신기들이 상기 전달받은 사용자 신호를 제거한 후 사용자 신호의 검출 및 간섭 정렬 동작을 수행할 수 있도록 한다.

[0010] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 무선 통신시스템의 간섭 정렬 및 제거를 위한 처리 방법은, 노드들과 연결선들로 이루어지는 간섭정렬제어(IAC) 그래프들을 생성하는 과정과, 상기 생성된 IAC 그래프들 중에서 각 서브그래프에 있는 노드들이 최대 하나의 루프를 구성하는 IAC 그래프를 탐색하여 선택하는 과정과, 상기 선택된 IAC 그래프에 의해 제시되는 선형 방정식들로부터 패킷 검출과 제거 절차를 결정하는 과정을 포함한다. 상기 각 노드들은 패킷의 선처리 부호화 벡터를 나타내며, 상기 각 연결선은 해당 노드의 선처리 부호화 벡터간의 간섭 정렬 여부를 나타낸다.

발명의 효과

[0011] 본 발명의 실시예들에 따르면, 시스템에서 간섭 정렬과 제거 기법을 구현할 때 항상 $2M$ 의 자유도를 실현할 수 있는 수신기 구조를 제시할 수 있으며, 이는 기존의 IA 기법에 의해 실현할 수 있는 자유도 $2M - K/(K+1)$ 보다 큰 값이다. 또한, 여기서 이 용량을 실현할 수 있는 다수의 가능한 수신기 구조 중에서 수신기들간의 패킷 교환에 필요한 오버헤드를 최소화하는 구조를 설계할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0012] 본 발명의 기술한 실시예 및 부가적인 실시예를 더욱 잘 이해하기 위하여, 도면 전체를 통하여 유사한 도면 부호가 대응 부분을 나타내는 이하의 도면과 함께, 실시예에 대한 설명을 참고하여야 한다.

도 1은 본 발명의 일 실시예가 적용되는 다중 사용자 송수신기쌍의 간섭 채널 환경에서 무선 통신시스템의 모델을 보여주는 도면.

도 2는 본 발명의 일 실시예가 적용되는 송신기 및 수신기에서의 간섭 정렬 및 제거 절차에 따라 사용자 신호를 검출하는 구조를 보여주는 도면.

도 3은 도 2에 도시된 송신기 및 수신기에 의한 간섭 정렬 및 제거 동작을 위한 IAC 그래프들을 보여주는 도면.

도 4는 도 2에 도시된 송신기와 수신기 사이의 간섭 정렬 및 제거를 위한 시그널링 동작을 보여주는 도면.

도 5는 본 발명의 다른 실시예가 적용되는 단일 사용자 송수신기쌍의 간섭 채널 환경에서의 무선 통신시스템의 모델을 보여주는 도면.

도 6은 본 발명의 다른 실시예에 간섭 정렬 및 제거 절차에 따라 사용자 신호를 검출하는 구조를 보여주는 도면.

도 7은 도 6에 도시된 송신기 및 수신기에 의한 간섭 정렬 및 제거 동작을 위한 IAC 그래프를 보여주는 도면.

도 8은 도 6에 도시된 송신기와 수신기 사이의 간섭 정렬 및 제거를 위한 동작 절차를 보여주는 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들이 상세하게 설명될 것이다. 본 발명의 실시예들을 설명함에 있어서 다수의 특정 세부 사항들이 상술될 것이지만, 본 발명이 이러한 특정 세부사항들 없이도 실시될 수 있음은 당업자에게 자명할 것이다. 또한 본 발명의 실시예들을 설명함에 있어서 주지의 방법, 절차, 컴포넌트, 회로 및 네트워크 등에 대해서는 상세하게 설명되지 않는다는 사실에 유의하여야 한다.

[0014] 하기에서 설명될 실시예들은 다수 개의 안테나를 사용하면서 상향 링크에서 하나의 수신기로 다수의 사용자가 동시에 전송할 때, 다수의 송수신쌍 간에 서로 간섭이 존재하는 가우시안 간섭 채널에서 간섭 정렬 및 제거 방식을 이용한 시스템의 용량을 극대화하기 위한 송수신기의 구조와 그에 따른 방법을 제안한다.

[0015] < 간섭 정렬 및 제거(Interference Alignment & Cancellation; IAC) 방식 >

[0016] A. MAC 시스템 모델

[0017] 도 1은 본 발명의 일 실시 예가 적용되는 다중 사용자 송수신기쌍의 간섭 채널 환경에서 무선 통신시스템의 모델을 보여주는 도면이다. 상기 도 1은 M개의 안테나를 사용하는 수신기(210, 220, ..., 290)가 K개 존재하며, 각 수신기(210, 220, ..., 290)는 각각 M개의 안테나를 사용하는 다수 개의 송신기(110, 120, ..., 160, ..., 180, 190)와 통신하는 기본적인 시스템 모델을 도시한 것이다. k번째 수신기(290)와 통신하는 사용자의 수가 N_k 라고 가정하며, j번째 사용자(190)는 d_j 개의 패킷을 다중화하여 동시에 전송한다. j번째 사용자(190)가 전송하는 패킷들을 $\{x_j\}_{d_j}^1$ 로 나타내며, 이 패킷들은 간섭 정렬을 위한 행렬 $\mathbf{V}_j$ 에 의해 선처리 부호화(pre-coding)가 수행된 후에 M개의 안테나에 의해 전송된다. 이와 같이 하나의 수신기에 다수의 사용자가 동시에 전송하는 다중접속 채널(Multiple Access Channel: MAC)에서 동작하는 전송 시스템을 MAC 시스템이라고 한다.

[0018] 한편, 간섭 정렬 및 제거 방식의 수신 기법에서는 도 1의 수신기들이 서로 검출된 패킷(심볼들)을 어떤 방식으로든 서로 교환할 수 있다고 가정한다. 이와 같이 수신기들이 검출된 패킷들을 서로 교환할 수 있다면, 한 수신기에 검출된 신호를 전달 받은 다른 수신기에서는 이를 제거함으로써 다중 안테나에 의해 제공될 수 있는 공간에서 보다 더 유연하게 간섭을 정렬할 수 있고, 결과적으로 자유도를 향상시킬 수 있는 근거가 된다.

[0019] 상기 도 1의 시스템에서 간섭 정렬과 제거 기법을 구현할 때 항상 $2M$ 의 자유도를 실현할 수 있는 수신기 구조를 제시할 수 있으며, 이는 기존의 IA 기법에 의해 실현할 수 있는 자유도 $2M \cdot K / (K+1)$ 보다 큰 값이다. 또한, 여기서 이 용량을 실현할 수 있는 다수의 가능한 수신기 구조 중에서 수신기들간의 패킷 교환에 필요한 오버헤드를 최소화하는 구조를 설계할 수 있다.

[0020] B. IAC 기법의 구현 예시

[0021] 도 2는 본 발명의 일 실시예가 적용되는 송신기 및 수신기에서의 간섭 정렬 및 제거 절차에 따라 사용자 신호를 검출하는 구조를 보여주는 도면이다. 상기 도 2는 $K = 3$, $M = 4$, $J = 4$ 인 경우에 간섭 정렬 및 제거를 수행하는 수신 과정을 예시한 것이다. 여기서 각 수신기(210, 220, 230)에서의 패킷 검출과 간섭 정렬 절차를 살펴보면 다음과 같다. 이 구조에서는 수신기 1(210)에서 패킷 $\mathbf{x}_{11}$ 만을 검출할 수 있도록 하고, 나머지 3개의 dimension에 걸쳐 나머지 패킷들이 정렬되도록 하였다. 이렇게 검출된 $\mathbf{x}_{11}$ 는 수신기 2(220)와 수신기 3(230)으로 각각 전송된다. 수신기 2(220)는 수신된 신호에서 $\mathbf{x}_{11}$ 에 해당하는 신호를 제거한 후에 각기 다른 dimension으로 전송되는 $\mathbf{x}_{21}, \mathbf{x}_{31}, \mathbf{x}_{41}$ 를 검출하고, 나머지 간섭 신호들은 남은 하나의 dimension으로 정렬된다. 여기서 검출된 패킷 $\mathbf{x}_{21}, \mathbf{x}_{31}, \mathbf{x}_{41}$ 들은 모두 수신기 3(230)으로 전송되며, 수신기 3(230)에서는 이를 제거한 후에 지금까지 검출되지 않은 패킷들 $\mathbf{x}_{12}, \mathbf{x}_{22}, \mathbf{x}_{32}, \mathbf{x}_{42}$ 을 마지막으로 검출한다. 여기서 검출된 패킷 중에서 $\mathbf{x}_{12}$ 은 수신기 1(210)이 수신해야 할 패킷이므로 수신기 1(210)으로 전송되고, $\mathbf{x}_{22}$ 는 수신기 2(220)가 수신해야 할 패킷이므로 수신기 2(220)로 전송된다. 이 송수신 구조에서 볼 수 있는 바와 같이 전체 시스템에서 총 8개의 패킷이 동시에 전송될 수 있으며, 따라서 총 8의 자유도가 구현될 수 있음을 예시했다. 기존의 IA 방식에서는 총 6의 자유도를 제공할 수 있으므로, 이에 비해서 보다 IAC 방식은 보다 높은 용량을 제공할 수 있음을 알 수 있다. 한편, 이 수신 구조에서는 수신기간에 서로 교환해야 하는 패킷의 수는 총 7개임을 확인할 수 있다.

[0022] 도 2에서 예시한 바와 같이, 각 수신기는 자신이 수신해야 할 패킷을 검출할 수도 있지만, 다른 수신기에서 대신 검출한 후에 자신에게 전달될 수도 있다. 또한, 어떤 수신기가 어떤 패킷을 검출하느냐에 따라 각 수신기에서 정렬되어야 간섭이 달라지며, 또한 검출된 패킷이 다른 수신기로 전달되는 구조에 따라 간섭 제거 효과도 달라지게 된다. 즉, 각 수신기에서의 신호 검출과 간섭 제거 과정에 따라 간섭 정렬의 가능성이 결정되고, 또한 간섭 정렬이 이론적으로 가능하다고 하더라도 실제 실현 가능성 자유도가 달라질 수 있다. 본 발명은 도 1의 시스템에서 간섭 정렬과 제거 기법을 사용할 때 간섭 정렬이 가능하면서, 한편 수신기의 수와 상관 없이 항상 $2M$ 의 자유도를 실현할 수 있는 송수신기 구조를 설계하는 방법을 제시하고자 한다. 또한, 이렇게 설계된 송수

신기 구조들 중에서 수신기간에 교환해야 하는 패킷의 수를 최소화할 수 있는 송수신기 구조를 제시한다.

[0023] C. 구현 가능한 IAC 수신기의 설계 방법

[0024] 도 1의 시스템에서 IAC가 구현되기 위해 만족해야 할 수신 구조를 결정하기 위해서 송신기에서의 선처리 부호화 벡터(pre-coding vector), 그리고 수신기에서 사용자 신호 검출과 간섭 정렬 절차가 동시에 결정되어야 한다. 수신기 k에서 간섭 정렬을 위해 만족해야 할 조건들을 Φ_k 로 나타내고, 이 간섭 정렬 조건들은 다수 개의 선형 방정식으로 주어진다. 우선 도 1에서 사용자 j의 안테나와 수신기 k의 안테나간 채널을 $M \times M$ 행렬 H_{kj} 로 나타내고, 사용자 j의 ℓ_j 번째 패킷 $x_{j\ell_j}$ 는 $M \times 1$ 벡터 $v_{j\ell_j}$ 에 의해 선처리 부호화된다. 우선 동일한 사용자의 패킷들은 동일한 수신기에서는 정렬될 수 없어야 하므로, 다음 <수학식 1>의 방정식을 만족해야 한다.

수학식 1

$$\Phi_k = \left\{ \text{span}(H_{kj}v_{j\ell_j}) = \text{span}(H_{kp}v_{p\ell_p}), j \neq p \right\}$$

[0025]

[0026] 도 2에서 예시한 MAC 시스템에서는 수신기 1(210)에서 x_{12} 와 x_{31} 를 동일한 공간으로 정렬시켰으므로 $\text{span}(H_{11}v_{12}) = \text{span}(H_{13}v_{31})$ 의 방정식을 만족해야 한다. 한편, 수신기 1(210)에서 x_{21} , x_{32} , x_{41} 는 또 다른 공간에서 정렬되므로 $\text{span}(H_{12}v_{21}) = \text{span}(H_{13}v_{32})$ 와 $\text{span}(H_{12}v_{21}) = \text{span}(H_{14}v_{41})$ 의 방정식을 동시에 만족해야 한다. 마지막으로 수신기 1(210)에서 x_{22} and x_{42} 가 마지막 남은 하나의 공간에서 정렬되므로 $\text{span}(H_{11}v_{12}) = \text{span}(H_{13}v_{31})$ 의 방정식을 만족해야 한다. 마찬가지로, 수신기 2(220)에서는 x_{21} , x_{31} , x_{41} 검출되고, 남은 하나의 공간에서 x_{12} , x_{22} , x_{32} , x_{42} 가 정렬되어야 하므로 3개의 방정식, $\text{span}(H_{21}v_{12}) = \text{span}(H_{22}v_{22})$, $\text{span}(H_{22}v_{22}) = \text{span}(H_{23}v_{32})$, $\text{span}(H_{23}v_{32}) = \text{span}(H_{24}v_{42})$ 을 동시에 만족해야 한다. 또한, 수신기 3(230)에서는 4개의 공간에서 4개의 심볼이 전송되므로 별도의 간섭 정렬이 필요 없다.

[0027] <수학식 1>에 의해 주어진 선형방정식들의 집합 $\Psi \cap \{\Phi_i\}_{i=1}^K$ 을 동시에 만족하는 해가 존재할 경우에 원하는 IAC 수신기를 구현할 수 있으며, 이 해에 의해서 구현된 송수신 구조는 2M의 자유도를 보장한다. 여기서, 2M의 자유도를 보장하기 위한 해가 존재하는 수신기 구조는 그래프를 이용하여 결정할 수 있다. 즉, 그래프는 노드와 연결선으로 구성되며, 이때 각 노드는 각 패킷의 선처리 부호화 벡터를 나타내고, 연결선은 해당 노드의 선처리 부호화 벡터간에 간섭 정렬 여부를 나타낸다. 즉, 서로 간섭이 정렬되는 패킷들에 대해서 해당 노드간에 연결선을 두게 된다. 이러한 간섭 정렬 과정을 반복하게 되어 생성된 그래프를 IAC-그래프라고 지칭한다. IAC-그래프는 다수의 subgraph들로 구성될 수 있다(subgraph는 서로 연결되지 않고 독립적으로 존재하는 그래프를 의미함). 이와 같이 생성된 IAC-그래프의 각 서브그래프(subgraph)에 있는 노드들이 하나의 루프(loop)를 구성하도록 설계되면, 이 IAC-그래프에 따라 구성되는 간섭 정렬과 제거 기법은 실현 가능하고 2M의 자유도를 제공한다. 이렇게 설계된 IAC-그래프에 의해 제시되는 선형 방정식들을 풀어서 송신기의 선처리 부호화 벡터를 결정할 수 있고, 또한 각 수신기에서의 패킷 검출과 제거 절차가 결정된다.

[0028] D. IAC 그래프의 구성 예

[0029] 도 3은 도 2에 도시된 송신기 및 수신기에 의한 간섭 정렬 및 제거 동작을 위한 IAC 그래프들을 보여주는 도면이다. 도면에서 실선은 수신기 1을 나타내고, 파선은 수신기 2를 나타낸다.

[0030] 도 3의 (a)는 도 2에서 예시한 수신기 구조에 대한 IAC-그래프이다. 이 경우에는 수신기 1(210)에서 x_{11} 을 검출

하고, 수신기 2(220)에서는 x_{21}, x_{31}, x_{41} 를 검출하며, 마지막으로 수신기 3(230)에서는 $x_{12}, x_{22}, x_{32}, x_{42}$ 를 검출하는 것을 알 수 있다. 그러나, 자유도 2M을 실현할 수 있는 수신기 구조는 단 하나만 존재하지 않을 수 있다. 예를 들어, 도 3의 (b)는 실현 가능한 수신기 구조에 해당하는 또 다른 IAC-그래프라는 것을 확인할 수 있다(즉, IAC-그래프가 하나의 subgraph로 구성되며, 그 subgraph는 단 하나의 loop만으로 구성되어 있음). 이 수신기의 경우에는 수신기 1(210)에서 x_{11}, x_{21} 를 검출하고, 수신기 2(220)에서 x_{21}, x_{22} 를 검출하며, 마지막으로 수신기 3(230)에서는 $x_{31}, x_{32}, x_{41}, x_{42}$ 를 검출하는 것을 알 수 있다.

[0031]

E. MAC 시스템 동작을 위한 시그널링

[0032]

도 4는 도 2에 도시된 송신기와 수신기 사이의 간섭 정렬 및 제거를 위한 시그널링 동작을 보여주는 도면이다.

[0033]

상기와 같이 동작하는 MAC 시스템이 동작하기 위해서는 송신기(110, 120, 130) 및 수신기(210, 220, 230) 사이에 시스템 파라미터인 K, J, M값과 더불어 사용자 별 다중화 인자 $\{d_j\}_{j=1}^K$ 를 교환해야 한다. 또한, 수신기에서는 상기의 설계 절차에 의해 결정된 선처리 부호화 벡터들을 해당 송신기로 전송해야 한다. 이 과정을 예시하면 도 4와 같다.

[0034]

F. 수신기간의 최소 정보 교환을 고려한 수신기 설계

[0035]

도 3의 예시에서도 알 수 있는 바와 같이 동일한 조건의 MAC 시스템에서 IAC 송수신 구조를 설계할 때 2M의 자유도를 실현할 수 있는 구조는 여러 가지 형태로 존재할 수 있다. 이러한 다수의 송수신 구조 중에서 어떤 것을 선택하는 것이 좋은지에 대한 기준을 고려할 수 있다. 본 발명에서는 다수의 송수신 구조 중에서 각 수신기간에 서로 검출된 패킷을 교환해야 하는 횟수가 최소가 되는 것을 선택한다. 예를 들어, 도 3의 예시에서 제시된 2개 구조 중에서 도 3의 (a)에 해당하는 수신기 구조에서는 총 7번의 패킷 교환이 이루어져야 하며, (b)에 해당하는 수신기 구조에서는 총 6번의 패킷 교환이 이루어져야 한다. 따라서, 그림 (b)의 구조가 더 작은 수의 패킷 교환을 요구하므로, 이를 선택할 수 있다. 실제로는 모든 실현 가능한 송수신 구조 중에서 수신기간에 교환되어야 할 패킷의 수를 최소화하는 구조를 탐색하여 선택할 수 있다.

[0036]

한편 임의의 MAC 시스템에 대해 2M의 자유도를 실현할 수 있는 IAC 송수신 구조는 무수히 많이 존재할 수 있으며, 그 구조 중에서 가장 작은 수의 패킷 교환이 필요한 구조를 탐색하는 복잡도가 매우 클 수 있다. 만일에 MAC 시스템의 파라미터(수신기의 수와 수신기에 동시에 접속되는 사용자의 수)가 동적으로 변하는 상황에서 매번 이러한 구조를 탐색하는 것은 실시간으로 불가능하다. 본 발명에서는 이와 같은 탐색의 복잡도를 낮출 수 있는 방법을 제시한다.

[0037]

수신기 k에서 검출하는 신호 패킷들의 집합을 D_k 로 나타내자. 그리고, 사용자 j가 전송한 패킷 중에서 수신기 k에서 아직 검출되지 않은 신호 패킷의 수를 $s_k^{[j]}$ 로 나타내자. 또한, 각 수신기간에 교환되어야 하는 패킷의 수는 IAC 송수신 구조에 의해 결정되며, 이는 $\{D_k\}_{k=1}^K$ 의 함수이다. 따라서, 각 수신기간에 교환되어야 하는 패킷의 수를 $C_{\text{ex}}(D_1, D_2, \dots, D_{K-1}, D_K)$ 로 나타내자. $C_{\text{ex}}(D_1, D_2, \dots, D_{K-1}, D_K)$ 를 최소화하는 IAC 송수신 구조 $\{D_k\}_{k=1}^K$ 를 결정하는 것은 탐색 복잡도가 너무 높기 때문에, 본 발명에서는 대신에 다음과 같이 단순화된 절차에 따라 IAC 송수신 구조를 결정한다.

수학식 2

$$D_k^* = \arg \min_{D_k} C_{\text{sum}}(D_1^*, D_2^*, \dots, D_{k-1}^*, D_k)$$

$$\text{s.t. } \max_{j=1,2,\dots,J} \{s_k^{[k,j]}\} \leq \text{dim}(\mathbf{I}_k)$$

[0038]

[0039]

상기 <수학식 2>에서 $\mathbf{I}_k$ 는 수신기 k에서의 간섭 신호가 존재하는 공간을 나타내며, $\text{dim}(\mathbf{I}_k)$ 는 그 공간의 dimension을 나타낸다.

[0040]

전술한 본 발명의 일 실시예에 따르면, 시스템에서 간섭 정렬과 제거 기법을 구현할 때 항상 $2M$ 의 자유도를 실현할 수 있는 수신기 구조를 제시할 수 있으며, 이는 기존의 IA 기법에 의해 실현할 수 있는 자유도 $2M - K/(K+1)$ 보다 큰 값이다. 또한, 여기서 이 용량을 실현할 수 있는 다수의 가능한 수신기 구조 중에서 수신기들간의 패킷 교환에 필요한 오버헤드를 최소화하는 구조를 설계할 수 있다.

[0041]

즉, 본 발명의 일 실시예는 간섭 정렬 및 제거 기법을 이용하면서 하나의 수신기에 다수의 사용자가 동시에 전송할 때 다중사용자 간섭 채널에서도 동작할 수 있는 송수신 시스템을 제공한다. 이때 송신 및 수신 안테나의 수가 다른 경우에도 동일한 방법으로 개념이 확장될 수 있다. 또한, 본 발명의 실시예는 송신 및 수신 안테나가 각각 M개일 때, 2M의 자유도를 보장할 수 있는 수신기 구조를 설계하기 위한 조건을 제공한다. IAC-그래프의 각 subgraph가 최대 1개의 loop를 갖도록 송수신 구조를 설계하면 2M의 자유도를 실현할 수 있다. 또한, 본 발명의 실시예는 다수의 실현 가능한 IAC 송수신기 구조 중에서 수신기간에 서로 교환해야 하는 패킷의 수를 최소화하기 위한 송수신기 구조를 제공한다. 또한, 본 발명의 실시예는 <수학식 2>에 의해 송수신기 구조를 탐색하기 위한 복잡도를 낮출 수 있다. 또한, 본 발명의 실시예는 2M의 자유도를 가지면서 수신기간에 서로 교환해야 하는 검출된 패킷의 수를 최소화할 수 있다. 또한, 본 발명의 실시예는 J, K, M값이 바뀌더라도 동적으로 송수신기 구조를 변경할 수 있다.

[0042]

< 간섭 정렬 및 부분 간섭 제거(Interference Alignment & Partial Cancellation; IAPC) 방식 >

[0043]

A. MIMO 간섭 채널 및 시스템 모델

[0044]

도 5는 본 발명의 다른 실시예가 적용되는 단일 사용자 송수신기쌍의 간섭 채널 환경에서의 무선 통신시스템의 모델을 보여주는 도면이다.

[0045]

본 발명에서는 도 5에서 보는 바와 같이 각 수신기(410, 420, 430, ..., 490)는 하나의 사용자(310, 320, 330, ..., 390)와 통신이 이루어지는 단일 사용자 간섭 채널 환경에서 간섭 정렬 및 제거 기법을 적용했을 때 2M의 자유도를 실현할 수 있는 송수신 구조를 고려한다. 도 5에서 j번째 사용자(송신기)에서도 전송하는 패킷들을 $\mathbf{d}_j \times 1$ 벡터 $\mathbf{x}_j$ 라고 나타내며, 이는 사용자는 $\mathbf{d}_j$ 개의 패킷 $\{x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jd_j}\}$ 으로 주어진다. 한편, 각 패킷 $\mathbf{x}_j$ 는 $M \times \mathbf{d}_j$

행렬 $\mathbf{V}_j$ 에 의해 선처리 부호화된 후에 M개의 안테나로 송신된다. 일반적으로 간섭 정렬 및 제거 기법을 적용한 수신기에서는 수신기들간에 검출된 정보를 상호 교환해야 하는 복잡도 문제가 연루된다. 또한, 이러한 신호 정보 교환을 최소화하기 위해서는 주어진 시스템 파라미터에 따라 최적의 구조를 도출해야 하며, 그 설계에 따른 복잡도는 또한 시스템 파라미터에 따라 달라지게 된다. 본 발명에서는 도 5의 시스템에서 시스템 파라미터와 상관 없이 수신간의 정보 교환에 있어서 항상 일정한 수준의 복잡도를 갖는 구조를 제시한다. 보다 구체적으로, 본 발명에서는 전체 수신기의 수와 상관 없이 항상 단 2개의 수신기(410, 420)에서 검출된 패킷들만을 다른 수신기(430, ..., 490)로 전달함으로써 2M의 자유도를 실현할 수 있는 송수신 구조를 제시한다.

[0046]

도 5의 시스템에서 간섭 정렬과 제거 기법을 구현할 때, 시스템 파라미터가 바뀔 때마다 새로운 송수신 구조를 적용하지 않고 항상 일정한 복잡도를 가지면서 동일한 송수신 구조를 이용할 수 있기 때문에 최대 가능한 자유도(2M)를 실현하면서 복잡도가 낮은 시스템을 구현할 수 있다.

[0047] 자신의 사용자 패킷을 검출한 수신기들 중에서 그 검출된 패킷을 다른 수신기로 전송하는 특정 수신기를 IAPC (Interference Alignment with Partial Cancellation) 수신기(410,420)라고 명명하며, 전체 시스템에서 IAPC 수신기의 수를 k_{IAPC} 로 나타낸다. 도 5에서는 $k_{IAPC}=2$ 인 경우를 예시하고 있다.

[0048] B. 간섭 정렬 및 제거 기법 예시

[0049] 도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 간섭 정렬 및 제거 절차에 따라 사용자 신호를 검출하는 구조를 보여주는 도면이다.

[0050] 도 6은 $K=4$ 이고 $M=4$, 그리고 $d_1=d_2=d_3=d_4=1$ 일 때 간섭 채널에서의 간섭 정렬 및 제거 기법을 예시하고 있으며, $k_{IAPC}=2$ 인 예를 들고 있다. K 개의 수신기 중에서 1번째부터 k_{IAPC} 번째 수신기를 IAPC 수신기로 지정 해도 일반적인 설명에는 문제가 없기 때문에, 다음 설명에서는 처음 k_{IAPC} 개의 수신기가 IAPC 수신기로 동작한다고 가정하겠다. 이에 따라 도 6에서는 수신기 1(410)과 수신기 2(420)가 IAPC 수신기에 해당하며, 따라서 나머지 수신기 3(430)과 수신기 4(440)는 어떠한 검출된 패킷도 다른 수신기로 전송할 필요가 없다. 이 예시에서는 4개의 패킷이 동시에 전송될 수 있으며, 따라서 4의 자유도가 실현된 것을 볼 수 있다. 이는 일반적인 IAC 수신 구조에서 실현 가능한 최대 자유도 $2M$ 과 일치하는 값이다. 즉, IAPC 수신기를 잘 지정하고 적절한 송수신 구조를 설계하게 되면 최대 자유도를 실현하면서도 수신기간에 교환해야 할 패킷의 수를 일정 수준 이하로 유지할 수 있게 된 것이다.

[0051] 사용자 j 의 안테나와 수신기 k 의 안테나간 채널을 $M \times M$ 행렬 H_{kj} 로 나타내자. 수신기 k 는 자신의 송신기 k 를 제외한 나머지 송신기로부터 오는 신호가 간섭으로 작용하며, 이들이 차지하는 공간을 $\mathcal{I}_k = \{H_{kj}v_j\}_{j \neq k}$ 로 나타낸다($j=1,2,\dots,d_j$). 한편, 송신기 k 의 신호 공간은 $\mathcal{S}_k = \{H_{kk}v_k\}$ 으로 나타낸다($k=1,2,\dots,d_k$).

[0052] C. 구현 가능한 IAC 수신기의 설계 방법

[0053] 도 5의 시스템에서 IAC가 구현되기 위해 만족해야 할 수신 구조를 결정하기 위해서 송신기에서의 선처리 부호화 벡터(pre-coding vector), 그리고 수신기에서 사용자 신호 검출과 간섭 정렬 절차가 동시에 결정되어야 한다. 수신기 k 에서 간섭 정렬을 위해 만족해야 할 조건들을 Φ_k 로 나타내고, 이 간섭 정렬 조건들은 다수 개의 선형 방정식으로 주어진다. 우선 도 5에서 사용자 j 의 안테나와 수신기 k 의 안테나간 채널을 $M \times M$ 행렬 H_{kj} 로 나타내고, 사용자 j 의 d_j 번째 패킷 x_{j,d_j} 는 $M \times 1$ 벡터 v_{j,d_j} 에 의해 선처리 부호화된다. 우선 동일한 사용자의 패킷들은 동일한 수신기에서는 정렬될 수 없어야 하므로, 다음 <수학식 3>의 방정식을 만족해야 한다.

수학식 3

[0054]
$$\Phi_k : \{ \text{span}(H_{kj}v_{j,d_j}) = \text{span}(H_{kp}v_{p,d_p}), j \neq p \}$$

[0055] 본 발명에서는 도 5의 시스템에서 $k_{IAPC}=2$ 일 때 송수신쌍의 수와 상관 없이 항상 2개의 IAPC 수신기만 (410,420)을 가지고 $2M$ 의 자유도를 실현할 수 있는 송수신기의 구조를 제시한다. 본 송수신기의 구조는 전체 자유도 $2M$ 중에서 IAPC 수신기들에 의해 제공되는 자유도가 M 이고, 나머지 수신기들에 의해 제공되는 자유도가 M 일 때를 가정한다. 즉, IAPC 수신기와 나머지 수신기들에 의해 제공되는 자유도를 각각 DOF_1 과 DOF_2 라고 하면 $DOF_1=M$ 과 $DOF_2=M$ 이며, 따라서 전체 자유도는 $DOF_1+DOF_2=2M$ 이 된다.

[0056] 상기 <수학식 3>에 의해 주어진 선형방정식들의 집합 $\Psi = \{\Phi_i\}_{i=1}^K$ 을 동시에 만족하는 해가 존재할 경우에 원하는 IAC 수신기를 구현할 수 있으며, 이 해에 의해서 구현된 송수신 구조는 $2M$ 의 자유도를 보장한다. 여기서, $2M$ 의 자유도를 보장하기 위한 해가 존재하는 수신기 구조는 그래프를 이용하여 결정할 수 있다. 즉, 그래프는 노드와 연결선으로 구성되며, 이때 각 노드는 각 패킷의 선처리 부호화 벡터를 나타내고, 연결선은 해당 노드의 선처리 부호화 벡터간에 간섭 정렬 여부를 나타낸다. 즉, 서로 간섭이 정렬되는 패킷들에 대해서 해당 노드간에 연결선을 두게 된다. 이러한 간섭 정렬 과정을 반복하게 되어 생성된 그래프를 IAC-그래프라고 지칭한다. IAC-그래프는 다수의 subgraph들로 구성될 수 있다(subgraph는 서로 연결되지 않고 독립적으로 존재하는 그래프를 의미함). 이와 같이 생성된 IAC-그래프의 각 서브그래프(subgraph)에 있는 노드들이 하나의 루프(loop)를 구성하도록 설계 되면, 이 IAC-그래프에 따라 구성되는 간섭 정렬과 제거 기법은 실현 가능하고 $2M$ 의 자유도를 제공한다. 이렇게 설계된 IAC-그래프에 의해 제시되는 선형 방정식들을 풀어서 송신기의 선처리 부호화 벡터를 결정할 수 있고, 또한 각 수신기에서의 패킷 검출과 제거 절차가 결정된다.

[0057] D. 간섭 정렬 및 제어 기법의 송수신 구조에서 $2M$ 의 자유도를 실현할 수 있는 IAC 그래프

[0058] 도 7은 도 6에 도시된 송신기 및 수신기에 의한 간섭 정렬 및 제거 동작을 위한 IAC 그래프를 보여주는 도면이다. 상기 도 7에서 실선은 수신기 1에서 만족해야 할 IA 방정식을 나타내고, 파선은 수신기 2에서 만족해야 할 IA 방정식을 나타낸다.

[0059] 상기 <수학식 3>에 의해 주어진 선형방정식 $\Psi = \{\Phi_i\}_{i=1}^K$ 과 $DOF_1 + DOF_2 = 2M$ 의 조건을 함께 만족하면서 $2M$ 의 자유도를 실현할 수 있는 송수신기 구조는 도 7의 IAC-그래프로 주어진다. 여기서 확인할 수 있는 바와 같이, 도 7에서 모든 subgraph들이 최대 하나의 loop를 가지고 있으므로, 이 IAC-그래프에 따라 설계된 송수신기는 $2M$ 의 자유도를 실현할 수 있다.

[0060] E. 간섭 정렬 및 제거 수신기 설계 및 동작 절차

[0061] 도 8은 도 6에 도시된 송신기와 수신기 사이의 간섭 정렬 및 제거를 위한 동작 절차를 보여주는 도면이다. 상기 도 7의 IAC-그래프에 의해 송수신기 구조는 도 8의 설계 절차에 따라 선처리 부호화 벡터가 결정되고, 또한 간섭 정렬 및 제거가 수행된다.

[0062] 상기 도 8의 단계 510에서는 $d_{k_1} + d_{k_2} = M$ 를 가지는 임의의 2개 수신기(k_1 과 k_2)가 선택된다. 상기 선택된 수신기들 k_1 및 k_2 는 각각 수신기 1 및 수신기 2로 다시 라벨되고, 다른 $(K-2)$ 수신기들은 3, 4, ..., K 수신기들로 순차적으로 다시 라벨된다.

[0063] 단계 520에서는, 수신기 1부터 디코딩이 시작되고, $|l_1| = M + d_2$, $\dim(l_1) = d_2$ 로서 정해진다. 단계 530에서는, l_1 에서의 모든 간섭 벡터들이 d_2 디멘존의 간섭 공간 내에 정렬된다. 이러한 정렬 동작은 다음의 <수학식 4>에 의해 결정된다.

수학식 4

$$\text{span}(\mathbf{H}_{1j} \mathbf{v}_{j\ell_j}) = \text{span}(\mathbf{H}_{12} \mathbf{v}_{2\ell_2})$$

$$\text{where } \ell_2 = \begin{cases} \ell_j \bmod(d_2), & j=3 \\ \left(\sum_{i=3}^{j-1} d_i + \ell_j \right) \bmod(d_2), & j \geq 4 \end{cases}$$

[0065] 단계 540에서는, l_1 이 디코딩되고, 제거를 위해 다른 수신기들로 송신된다.

[0066] 단계 550에서는, 수신기 2에서 디코딩 동작이 수행되고, $|l_2| = M$, $\dim(l_2) = M - d_2$ 로서 결정된다. 단계 560

에서는, l_2 에서 전체 M 간섭 벡터들이 $(M-d_2)$ 디멘존의 공간내에 정렬된다. 한편, 정렬 기법은 각 독립적인 서브그래프(subgraph)에서 기껏해야 하나의 루프를 형성할 수 있어야 한다.

[0067] 단계 570에서는, x_2 가 디코딩되고, 다른 수신기들 3,4, $\dots$, K 로 송신된다.

[0068] 단계 580에서는, $\dim(S_k) + \dim(l_k) = M$ 의 관계가 성립하고, 수신기들 3, 4, $\dots$, K 가 동시에 디코딩되고, $x_3, x_4, \dots, x_K$ 가 디코딩 완료된다. 단계 590에서는, $DOF = 2M$ 가 달성된다.

[0069] 전술한 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 간섭 채널에서 간섭 정렬 및 제거 기법으로 동작하는 송수신 구조에서 일정한 수의 수신기를 선별하고, 그 수신기들에서 검출된 패킷들만 나머지 수신기로 전달함으로써 검출된 패킷들을 수신기간에 서로 교환해야 하는 복잡도를 일정한 수준으로 낮출 수 있다. 즉, 간섭 정렬과 제거 기법을 구현할 때, 시스템 파라미터가 바뀔 때마다 새로운 송수신 구조를 적용하지 않고 항상 일정한 복잡도를 가지면서 동일한 송수신 구조를 이용할 수 있기 때문에 최대 가능한 자유도($2M$)를 실현하면서 복잡도가 낮은 시스템을 구현할 수 있다.

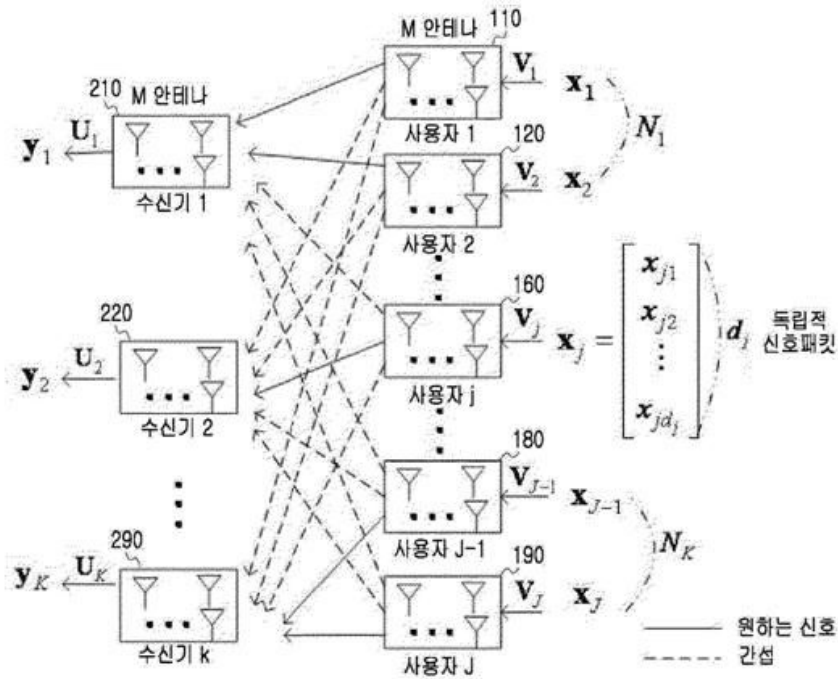
[0070] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예컨대, 본 발명의 실시예에 따른 동작은 다양한 컴퓨터로 구현되는 동작을 수행하기 위한 프로그램 명령을 포함하는 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD-ROM이나 DVD와 같은 광기록 매체, 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드 뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 본 발명에서 설명된 기지국 또는 릴레이의 전부 또는 일부가 컴퓨터 프로그램으로 구현된 경우 상기 컴퓨터 프로그램을 저장한 컴퓨터 판독 가능 기록 매체도 본 발명에 포함된다. 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위 뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

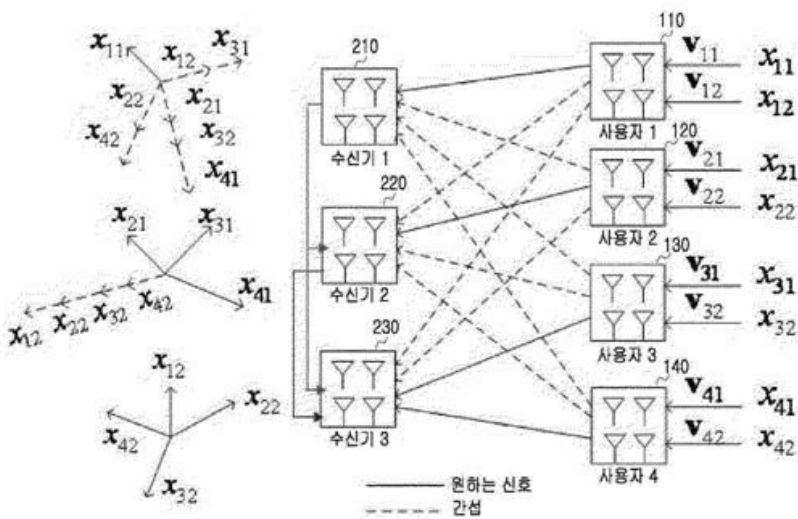
[0071] 110, 120, 130, 140, 160, 180, 190, 310, 320, 330, 340, 390 : 송신기
210, 220, 230, 290, 410, 420, 430, 440, 490 : 수신기

도면

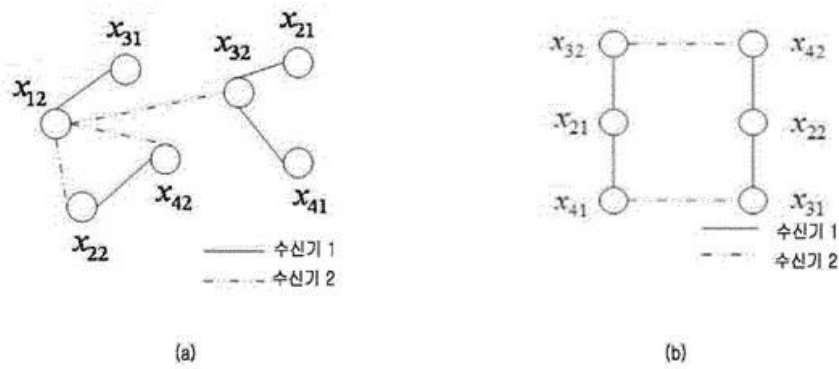
도면1



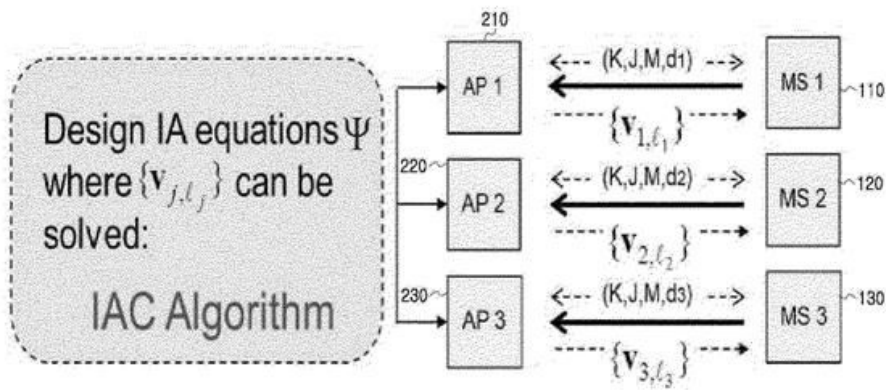
도면2



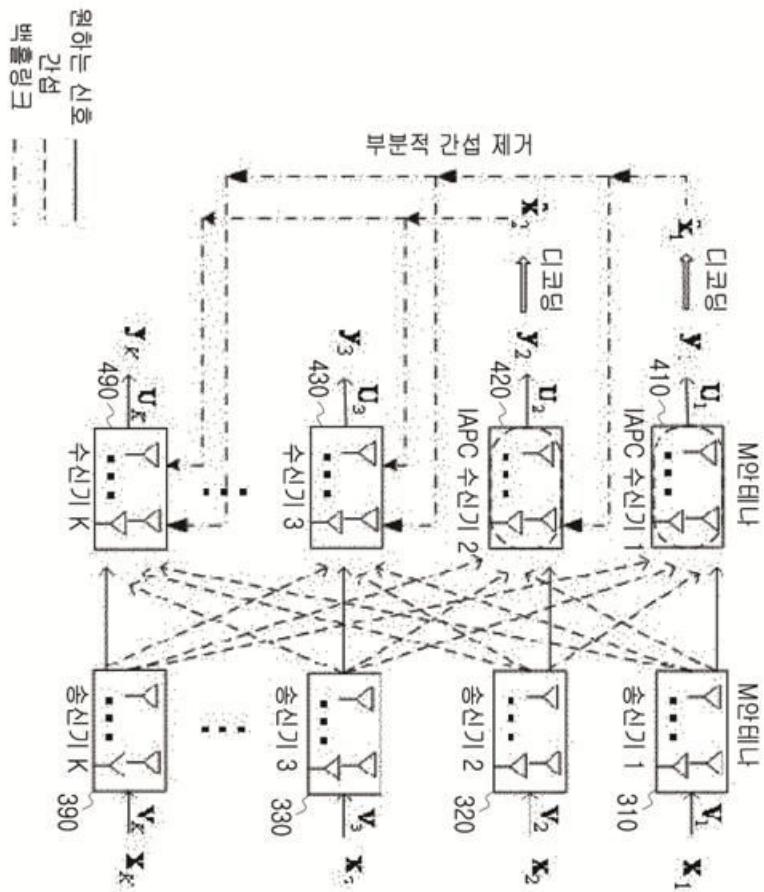
도면3



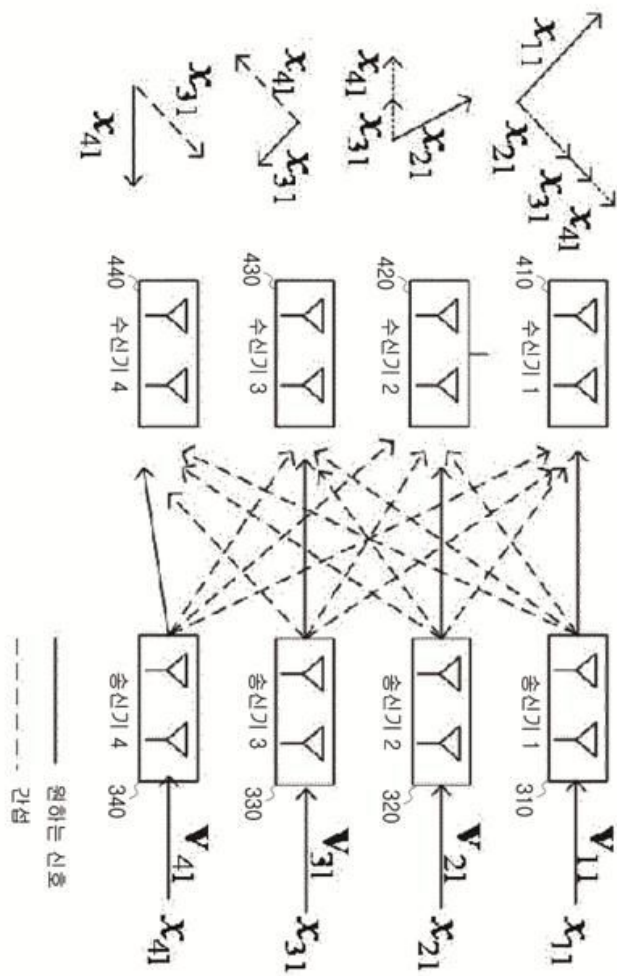
도면4



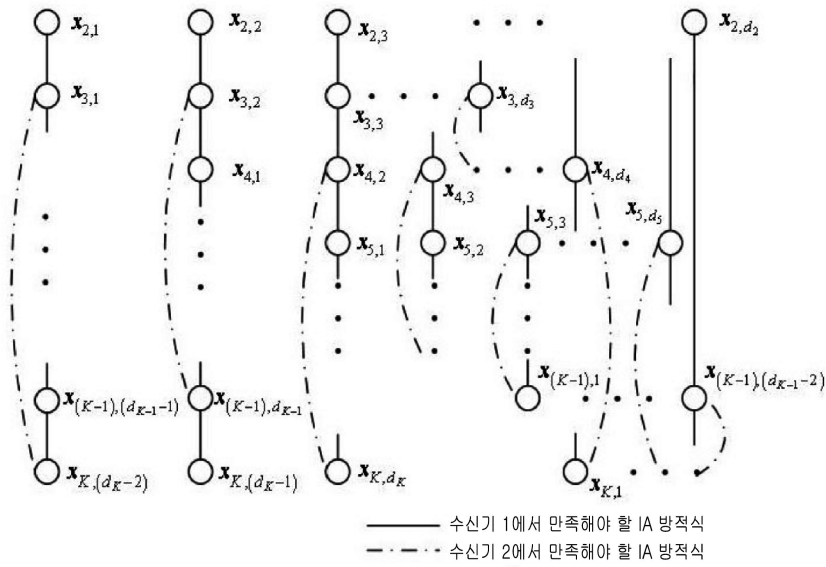
도면5



도면6



도면7



도면8

