



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0134520

(43) 공개일자 2015년12월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04B 17/00 (2015.01) H04B 7/02 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0061220

(22) 출원일자 2014년05월21일

심사청구일자 없음

(71) 출원인

한국전자통신연구원

대전광역시 유성구 가정로 218 (가정동)

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

오진형

대전 유성구 전민로34번길 18, 401호 (전민동)

이현호

서울 서초구 서리풀4길 36, B동 203호 (서초동, 서초2차상지리츠빌)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

제일특허법인

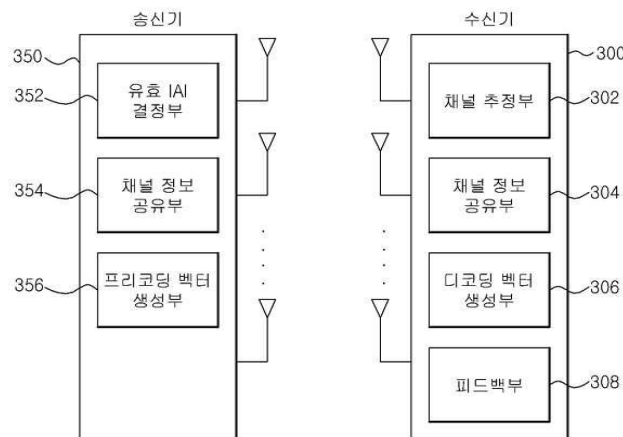
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 MU - MIMO 간섭 채널 네트워크 환경에서의 간섭정렬 송수신 신호처리 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 하나의 액세스 포인트와 다수의 이동국이 링크를 구성하는 MU-MIMO 링크가 다수 존재하는 네트워크 환경에서 수신 빔 포밍 행렬을 생성하는 방법으로서, 주변의 액세스 포인트에서 수신기가 지원하는 사용자 기기에 게 영향을 주는 적어도 하나 이상의 유효 IAI 채널을 결정하고, 사용자 기기에 오는 IAI 채널을 상기 결정된 유효 IAI 채널로 정렬하며, 정렬된 결과를 이용하여 상기 유효 IAI 채널 및 수신 빔 포밍 행렬을 생성하는 수신 빔 포밍 행렬 생성 방법을 제공한다.

대표도 - 도3



(72) 발명자

고영채

서울 송파구 잠실로 62, 327동 702호 (잠실동, 트리지움)

김명진

강원 철원군 김화읍 청양로 365

고광진

대전광역시 유성구 계산동 학하로 33 학의뜰아파트 101동 1602호

김이교르

대전광역시 유성구 신성남로 95번길 27 102호

송명선

대전 유성구 어은로 57 한빛아파트 101동1204호

명세서

청구범위

청구항 1

송신기에서 일정수의 유효 IAI 채널을 결정하는 단계와,
수신기에서는 상기 송신기에서 보낸 정보를 통해 채널 정보(H)를 추정하는 단계와,
상기 수신기에서 동일한 BSS에 속한 다수의 수신기간 채널 정보를 공유하는 단계와,
상기 채널 정보를 이용하여 유효 IAI 채널 정보(q)와 디코딩 벡터(u)를 계산하는 단계와,
상기 계산된 유효 IAI 채널 정보(q)와 디코딩 벡터(u), 채널 정보(H)를 상기 송신기로 피드백하는 단계와,
상기 송신기에서 상기 피드백된 유효 IAI 채널 정보(q)와 디코딩 벡터(u), 채널 정보(H)를 다수의 송신기간에 공유한 후, 송신 프리코딩 벡터를 계산하는 단계
를 포함하는 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
상기 유효 IAI 채널을 결정하는 단계는,
s 번째 상기 유효 IAI 채널을 아래의 수학적식으로 표현하며,
$$\mathbf{Q}^{(s)} = [\mathbf{q}_1^{(s)} \ \mathbf{q}_2^{(s)} \ \cdots \ \mathbf{q}_s^{(s)}]$$
 (d는 상기 사용자 기기가 수신하는 데이터 스트림 수),
m 번째 기저벡터 $\mathbf{q}_{i,m}^{(s)}$ 에 정렬되는 IAI 채널의 개수($n_{i,m}^{(s)}$)와 상기 유효 IAI 채널의 개수($l_{i,m}$)를 결정하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,
상기 유효 IAI 채널을 결정하는 단계는,
상기 주변의 액세스 포인트에서 첫 번째 사용자 기기에 미치는 IAI 채널부터 상기 수신기가 지원하는 $n_j^{(0)}$ 번째 사용자 기기에 미치는 IAI 채널까지의 총 IAI 채널을 상기 유효 IAI 채널 중 첫 번째 유효 IAI 채널($\mathbf{q}_{i,j,m}^{(0)}$)로 결정하며,
상기 수신기가 지원하는 $n_j^{(0)}+1$ 번째 사용자 기기에 미치는 IAI 채널부터 $n_j^{(0)}+n_j^{(1)}$ 번째 사용자 기기에 미치는 IAI 채널까지 총 $n_j^{(1)}$ 개의 IAI 채널들을 두 번째 유효 IAI 채널($\mathbf{q}_{i,j,m}^{(2)}$)로 결정하며,
상기 주변의 액세스 포인트에서 상기 수신기가 지원하는 사용자에게 영향을 주는 k_j 개의 IAI 채널들을 상기 $l_{i,j}$ 개의 유효 IAI 채널($\mathbf{q}_1^{(s)} \ \mathbf{q}_2^{(s)} \ \cdots \ \mathbf{q}_{l_{i,j}}^{(s)}$)로 결정시키는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4

다수의 송신기와 수신기가 링크를 구성하는 MU-MIMO 링크가 다수 존재하는 네트워크 환경에서 간섭정렬 송신신

호 처리 장치로서,

유효 IAI 채널을 결정하는 유효 IAI 결정부와,

상기 유효 IAI 채널 정보와 상기 수신기에서 피드백되는 채널 정보(H), 디코딩 벡터(u)를 다수의 수신기간 공유하는 채널정보 공유부와,

상기 유효 IAI 채널 정보, 채널 정보(H), 디코딩 벡터(u)를 이용하여 프리코딩 벡터를 생성하는 프리코딩 벡터 생성부

를 포함하는 간섭정렬 송신신호 처리장치.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 프리코딩 벡터는,

상기 송신기에서 상기 수신기로 전송되는 송신신호에 대한 프리코딩 수행에 사용되는 것을 특징으로 하는 간섭정렬 송신신호 처리장치.

청구항 6

다수의 송신기와 수신기가 링크를 구성하는 MU-MIMO 링크가 다수 존재하는 네트워크 환경에서 간섭정렬 수신신호 처리 장치로서,

상기 송신기로부터 수신된 신호를 바탕으로 채널 정보(H)를 추정하는 채널 추정부와,

상기 추정된 채널 정보를 동일한 BSS에 속한 다수의 수신기간 공유하는 채널정보 공유부와,

상기 채널 정보를 이용하여 디코딩 벡터(u)를 생성하는 디코딩 벡터 생성부와,

상기 채널 정보, 디코딩 벡터를 상기 송신기로 피드백 전송시키는 피드백부

를 포함하는 간섭정렬 수신신호 처리 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 무선 시스템에서의 송수신 신호 처리에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 하나의 액세스 포인트(AP : Access Point)와 휴대폰 등의 다수의 이동국(STA : STAtion)이 링크를 구성하는 MU-MIMO 간섭 채널 네트워크 환경에서의 간섭정렬 송수신 신호처리 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

최근들어, 무선 기기의 사용 증대 및 고화질 비디오 전송 등 대용량 트래픽을 야기하는 데이터 전송이 증가됨에 따라 이를 지원하기 위한 무선랜 액세스 포인트(AP : Access Point)의 설치가 많아지게 되면서 무분별하게 액세스 포인트가 다수 설치되는 문제가 발생하였다. 이로 인해 인접 액세스 포인트간에 신호 간섭이 발생하게 되면서 이러한 인접 액세스 포인트간의 간섭 문제 때문에 전체적인 시스템 성능이 저하됨을 확인할 수 있다.

[0003]

이러한 간섭 문제를 해결하기 위한 방법 중의 하나로 간섭정렬 기술이 대두되고 있다. 간섭정렬 기술이란, 간섭 신호를 특정 자원, 예컨대 시간, 공간, 주파수에 정렬함으로써 원하는 신호가 보내질 수 있는 자원을 최대화 확보하는 기술을 의미한다. 예를 들어 무선랜 환경에서 다중 안테나를 사용하여 간섭정렬을 수행하는 경우, 이동국(STA : Station)에서 신호를 수신할 때 다른 액세스 포인트에서 도착하는 간섭 신호들을 특정 공간 자원에 정렬되도록 함으로써 원하는 신호가 보내질 수 있는 공간을 최대한 확보되도록 하여 간섭 신호와의 분리가 용이하

도록 하는 것이다. 이러한 간섭정렬 기술을 이용하면 간섭 채널 환경 안의 사용자 모두 자유도(DoF : Degrees of Freedom, 이하 'DoF' 라고 함)를 최대 안테나 자원의 절반까지 활용할 수 있다. 여기서 DoF란, MIMO 채널 환경에서 간섭 없이 신호를 전송할 수 있는 최대 스트림의 수를 의미한다.

[0004] 이렇게 간섭정렬 기술은 인접 액세스 포인트간의 간섭 문제를 해결할 수 있다는 점에서 많은 주목을 끌고 있다.

[0005] 하지만, 간섭정렬을 하기 위해 송수신단에 사용되는 프리코딩/디코딩 매트릭스(precoding/decoding matrix)를 구하기 위한 계산 복잡도가 심하고 각 노드가 알아야 하는 무선 채널 상태 정보의 양이 많으며, 간섭원의 수에 비례하여 정렬된 간섭을 널링(nulling)하기 위해 안테나 개수가 많아져야하는 단점도 존재한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 10-1094442호에는 시변 다중 사용자 다중 안테나 간섭 채널 환경에서의 적응형 간섭 정렬 방법에 대한 기술이 기재되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 MU-MIMO 링크가 다수 존재하는 네트워크 환경에서 SLNR(Signal to Leakage Interference and Noise Ratio) 간섭 정렬 기술을 기반으로 동작 SNR 대역에서의 성능을 향상시킬 수 있는 수신 빔 포밍 행렬 생성 방법 및 장치를 제공한다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명은, 일 관점에 따르면, 송신기에서 일정수의 유효 IAI 채널을 결정하는 단계와, 수신기에서는 상기 송신기에서 보낸 정보를 통해 채널 정보(H)를 추정하는 단계와, 상기 수신기에서 동일한 BSS에 속한 다수의 수신기간 채널 정보를 공유하는 단계와, 상기 채널 정보를 이용하여 유효 IAI 채널 정보(q)와 디코딩 벡터(u)를 계산하는 단계와, 상기 계산된 유효 IAI 채널 정보(q)와 디코딩 벡터(u), 채널 정보(H)를 상기 송신기로 피드백하는 단계와, 상기 송신기에서 상기 피드백된 유효 IAI 채널 정보(q)와 디코딩 벡터(u), 채널 정보(H)를 다수의 송신기간에 공유한 후, 송신 프리코딩 벡터를 계산하는 단계를 포함하는 MU-MIMO 간섭 채널 네트워크 환경에서의 간섭정렬 송수신 신호처리 방법을 제공한다.

[0009] 본 발명은, 다른 관점에 따르면, 다수의 송신기와 수신기가 링크를 구성하는 MU-MIMO 링크가 다수 존재하는 네트워크 환경에서 간섭정렬 송신신호 처리 장치로서, 유효 IAI 채널을 결정하는 유효 IAI 결정부와, 상기 유효 IAI 채널 정보와 상기 수신기에서 피드백되는 채널 정보(H), 디코딩 벡터(u)를 다수의 수신기간 공유하는 채널 정보 공유부와, 상기 유효 IAI 채널 정보, 채널 정보(H), 디코딩 벡터(u)를 이용하여 프리코딩 벡터를 생성하는 프리코딩 벡터 생성부를 포함하는 간섭정렬 송신신호 처리 장치를 제공한다.

[0010] 본 발명은, 또 다른 관점에 따르면, 상기 송신기로부터 수신된 신호를 바탕으로 채널 정보(H)를 추정하는 채널 추정부와, 상기 추정된 채널 정보를 동일한 BSS에 속한 다수의 수신기간 공유하는 채널정보 공유부와, 상기 채널 정보를 이용하여 디코딩 벡터(u)를 생성하는 디코딩 벡터 생성부와, 상기 채널 정보, 디코딩 벡터를 상기 수신기로 피드백 전송시키는 피드백부를 포함하는 간섭정렬 수신신호 처리 장치를 제공한다.

발명의 효과

[0011] 본 발명은 SLNR과 간섭정렬 기반의 송수신 신호처리 장치를 통해 MU-MIMO 링크가 다수 존재하는 MU-MIMO 환경에서의 간섭문제를 해결하고 시스템 전체 정전용량(sum-rate)도 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0012] 도 1은 본 발명의 실시 예가 적용되는 무선 통신 시스템의 구성을 도시한 도면,
 도 2는 본 발명에 적용되는 채널 개수 할당 알고리즘을 도시한 도면,
 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 송신기와 수신기에 구비되는 간섭정렬 송신신호 처리장치와 수신신호 처리장치의 블록 구성도,
 도 4는 본 발명의 통신 시스템에서 송수신기가 수신 빔 포밍 행렬과 송신 프리코딩 벡터를 생성하는 과정을 도시한 흐름도,
 도 5a 내지 도 5f는 본 발명의 실시예에 따른 통신 시스템에서 송신기와 수신기간 간섭 정렬을 위한 신호 처리 개념도,
 도 6은 본 발명의 실시 예가 적용되는 무선 통신 시스템과 기존 무선 통신 시스템의 성능을 비교한 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0013] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.
- [0014] 본 발명의 실시예들을 설명함에 있어서 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 그리고 후술되는 용어들은 본 발명의 실시예에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0015] 일반적으로 사용자간 간섭이 있는 통신 환경에서는 다른 사용자에게서 오는 간섭을 효과적으로 관리하고 제거하는 것이 매우 중요하다. 그렇지 않으면 간섭에 의해 높은 채널 용량을 얻기 어렵다. 이에 따라 종래에는 간섭을 회피하거나 완화하는 기법 등을 주로 연구하였다. 이에 대한 대표적인 예라고 할 수 있는 주파수 분할 다중 접속 방법이나 시분할 다중 접속 방법은 사용자간 주파수 또는 시간을 서로 직교하도록 분배하여 서로 간섭이 생기지 않도록 하였다.
- [0016] 한편, 차세대 무선 통신 시스템 커버리지(coverage)가 작은 기지국을 여럿 설치하여 사용자에게 높은 통신 용량을 제공하고자 하는 시스템이다.
- [0017] 이러한 시스템에서는 한 사용자가 여러 기지국에서 강력한 신호를 받게 된다. 다만, 기존의 간섭 회피, 완화 기술로는 무선 통신 시스템이 제공하는 높은 채널 용량을 얻을 수 없음이 알려져 있다.
- [0018] 이에 따라, 최근에는 간섭 정렬(interference alignment) 기술이 제안되어 무선 통신 시스템, 예컨대 램프셀 통신 시스템과 같은 간섭 채널에서 높은 채널 용량을 얻기 위한 방법으로 널리 연구되고 있다.
- [0019] 여기에서, 간섭 정렬 기술의 성능은 DoF 측면에서 측정한다. 여기에서, DoF란, MIMO 채널 환경에서 간섭 없이 통신할 수 있는 자원의 수를 의미한다. 용량(capacity) 관점에서 보면, DoF는 SNR-용량 그래프에서 용량 그래프의 기울기를 나타내기도 한다.
- [0020] 이러한 DoF는 아래의 수학적 1과 같이 SNR이 무한대로 증가 할 때의 메트릭(metric)인데, 상기에서 언급한 바와 같이 용량의 기울기가 중요한 측정요소 였기 때문에 용량 자체의 값은 크게 중요하지 않게 생각되었다. 또한, 기본적으로 간섭정렬 기술이 간섭 제한(interference limited) 환경에서 중요한(dominant) 요소인 간섭만을 고려했기 때문에 실제 통신시스템이 동작하는 대역인 동작 SNR(operating SNR) 대역에서의 성능 저하 문제가 발생한다. 그 이유는 동작 SNR에서는 간섭과 잡음이 둘 다 중요한 요소인데 간섭정렬 기술에서는 성능에 영향을 미치는 또 다른 요소인 잡음을 고려하지 않았기 때문이다.

[0021] [수학식 1]

$$DoF = \lim_{SNR \rightarrow \infty} \frac{C(SNR)}{\log(SNR)}$$

[0022]

[0023] 즉, 간섭정렬 기술은 DoF관점에서 시스템 성능을 측정했기 때문에 용량을 향상시키는 연구가 부족하다. 특히 실제 시스템이 동작하는 대역인 동작 SNR 대역에서의 성능이 저하되는 문제가 존재한다.

[0024] 이렇게 실제 시스템의 동작 대역에서는 상기에서 언급한 것과 같이 간섭 이외에 잡음 또한 sum-rate에 영향을 미치게 되어 기존의 간섭만을 고려했던 간섭정렬 알고리즘들에서는 성능저하가 나타난다. 또한, 간섭정렬 알고리즘들은 High SNR 대역에서의 성능은 향상되지만 그 이하의 대역에서는 큰 성능향상을 이루지 못한다.

[0025] 하지만, 실제 시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 동작 SNR 대역에서의 성능이 향상되어야 한다.

[0026] 이를 위해 본 발명에서는 operating SNR 대역에서의 성능을 향상시켜주는 간섭 정렬 기술을 설명한다.

[0027] 한편, 간섭 정렬 기술에서 가장 중요한 부분은 수신단에서의 빔 포밍 형성과 이에 기반으로 한 송신단에서의 프리코딩 행렬 또는 벡터를 생성하는 기술이며, 차세대 무선 통신 시스템에서 셀 기지국을 설계하기 위한 핵심기술이라고 볼 수 있다.

[0028] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 수신기의 수신 빔 포밍 장치 및 빔 포밍 행렬을 생성하는 과정에 대해 설명한다.

[0029] 도 1은 본 발명의 실시 예가 적용되는 무선 통신 시스템의 구성을 도시한 도면이다.

[0030] 도 1에 도시된 바와 같이, 다중 안테나를 가진 하나의 액세스 포인트(AP : Access Point)(110)와 휴대폰 등의 여러 이동국(STA : STAtion)(120/1~120/k)이 하나의 MU-MIMO 링크를 이루고, MU-MIMO 링크가 다수 개 모여 간섭 채널 네트워크 환경이 구현된다. 여기에서, MU-MIMO는 송수신측, 즉 액세스 포인트와 여러 이동국이 다중 안테나를 사용함으로써, 한정된 주파수 자원 내에서 채널 용량을 증대하는 기술을 의미한다.

[0031] 이러한 간섭 무선 통신 시스템에서는 각각의 액세스 포인트(110)가 서로 같은 채널을 이용하여 통신하고 있기 때문에 서로 다른 액세스 포인트(110)가 다른 이동국(120/1~120/k)에게 간섭을 줄 수 있다.

[0032] 도 1의 각 액세스 포인트(110)가 M_i 개의 안테나를 구비하며, 각 이동국(120/1~120/k)이 N_i 개의 안테나를 구비하고 있다는 가정 하에 j 번째 액세스 포인트(110)에서 i 번째 셀의 k 번째 이동국(120/k)으로의 채널이 $\mathbf{H}_i^{[k,j]}$ 라고 하면, i 번째 셀의 k 번째 사용자 단말의 수신 신호는 아래의 수학식 2와 같다.

[0033] [수학식 2]

$$\mathbf{y}^{[k,j]} = \mathbf{H}_i^{[k,j]} \mathbf{v}^{[k,j]}_s + \sum_{l=1}^K \mathbf{H}_i^{[k,j]} \mathbf{v}^{[l,j]}_s + \sum_{j=1}^C \sum_{l=1}^K \mathbf{H}_j^{[k,j]} \mathbf{v}^{[l,j]}_s + \mathbf{n}^{[k,j]}$$

[0034]

[0035] 상기의 수학식 2에서 $\mathbf{H}_i^{[k,j]} \mathbf{v}^{[k,j]}_s$ 는 자신의 i 번째 액세스 포인트(110)에서 채널을 통과한 바람직한(desired) 신호를 의미하며, $\sum_{l=1}^K \mathbf{H}_i^{[k,j]} \mathbf{v}^{[l,j]}_s$ 는 j 번째 액세스 포인트(110)에서 같은 셀 내의 다른 사용자 단말과의 간섭 신호를 의미한다.

[0036] 또한, $\mathbf{n}^{[k,j]}$ 수신기에서의 잡음을 의미하며, $\mathbf{v}^{[k,j]}_s$ 는 송수신기에서 프리코딩(precoding)된 신호를 의미한다. 프리코딩된 신호는 아래의 수학식 3으로 나타낼 수 있다.

[0037] [수학식 3]

$$\mathbf{v}^{[k,i]} = \mathbf{V}^{[k,i]}_s \mathbf{s}^{[k,i]}$$

[0038]

[0039] 상기의 수학식 3에서 $\mathbf{V}^{[k,i]}$ 와 $\mathbf{s}^{[k,i]}$ 는 각각 i 번째 셀의 k 번째 사용자를 위한 프리코딩된 매트릭스(precoding matrix)($M_i \times d$)와 전송하고자 하는 신호이다. (d 는 액세스 포인트가 전송하고자 하는 스트림의 수)

한편, 수학적식 3을 이용하여 수학적식 2를 정리하면 아래의 수학적식 4와 같다.

[수학적식 4]

$$y^{[k,j]} = H_i^{[k,j]} x^{[k,i]} + \sum_{k=1}^K H_i^{[k,j]} x^{[k,i]} + \sum_{j=1}^C \sum_{k=1}^K H_j^{[k,j]} x^{[k,i]} + n^{[k,j]}$$

상기의 수학적식 4는 이동국(120/1~120/k)에서 수신 디코딩 처리과정(decoding process)을 거치기 전의 신호의 형태를 나타내며, 수신단에서 디코딩 매트릭스(decoding matrix)를 거친 뒤의 신호는 아래 수학적식 5와 같이 나타낼 수 있다. 여기에서 디코딩 매트릭스(Decoding matrix) $U^{[k,i]}$ 는 $N_i \times d$ 의 사이즈를 갖는 수신 신호 처리 매트릭스를 의미한다.

[수학적식 5]

$$y^{[k,j]} = U^{[k,i]} H_i^{[k,j]} x^{[k,i]} + U^{[k,i]} \sum_{k=1}^K H_i^{[k,j]} x^{[k,i]} + U^{[k,i]} \sum_{j=1}^C \sum_{k=1}^K H_j^{[k,j]} x^{[k,i]} + U^{[k,i]} n^{[k,j]}$$

상기의 수학적식 5을 반영한 i번째 수신기의 정전용량(sum-rate)은 아래의 수학적식 6과 같다.

[수학적식 6]

$$R_i^{[i]} = \sum_{i=1}^N \log \left(1 + \frac{\frac{1}{Kd} \|u^{[i]} H^T v^{[i]}\|}{\frac{1}{d} \|u^{[i]}\|^2 + \sum_{k=1}^K \frac{1}{Kd} \|u^{[i]} H^T v^{[i]}\| + \sum_{j=1}^C \sum_{k=1}^K \frac{1}{Kd} \|u^{[i]} H^T v^{[i]}\|} \right)$$

상기와 같은 도 1의 통신 시스템에서의 간섭 문제를 해결하고, 정전용량(sum-rate)도 향상시키기 위한 수신 빔 포밍 행렬을 생성하는 과정에 대해 도 2 및 도 3을 참조하여 설명한다.

도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 송신기와 수신기에 구비되는 간섭정렬 송신신호 처리장치와 수신신호 처리장치를 도시한 것이다. 도 3의 수신기(300) 휴대폰 등의 이동국(STA)이 될 수 있으며, 수신기(300)는 채널 추정부(302), 채널 정보 공유부(304), 디코딩 벡터 생성부(306), 피드백부(308) 등을 포함하는 간섭정렬 수신신호 처리장치를 구비할 수 있다.

채널 추정부(302)는 AP(access point) 등의 송신기(350)로부터 수신된 신호를 바탕으로 채널 정보(H)를 추정한다. 이때, 채널 정보라 함은 무선채널의 진폭(amplitude)과 위상(phase)을 의미할 수 있으며, 이러한 채널 정보가 있어야만 프리코더(precoder)와 디코더(decoder)를 생성할 수 있다.

채널 정보 공유부(304)는 채널 추정부(302)에서 추정된 채널 정보를 각 BSS(Basic service set)에 속한 다수의 수신기간 상기 채널 정보를 공유하여, 유효 IAI 채널(q)과 디코딩 벡터(u)의 계산이 가능하도록 한다. 이때, 위 BSS는 셀룰러 네트워크에서의 셀(cell)과 같은 개념으로써 무선랜 표준에서 사용하는 용어이다.

디코딩 벡터 생성부(306)는 디코딩 벡터(u)를 생성한다. 즉, 디코딩 벡터 생성부(306)는 송신기(350)로부터 전송된 프리앰블(preamble) 데이터를 바탕으로 만들어진 채널정보를 이용해서 디코딩 벡터(u)와 유효 IAI 채널(q)을 생성한다.

피드백(308)부는 디코딩 벡터 생성부(306)를 통해 생성된 디코딩 벡터(u)와 유효 IAI 채널(q), 채널 정보(H)를 송신기(350)로 피드백 전송한다.

이러한 본 발명의 실시 예에 따른 수신기(300)는 네트워크(무선 통신 네트워크) 전체 자유도(DOF) 또는 다중화 이득(multiplexing gain)을 최대화시키기 위하여 IAI 채널을 정렬시키는 수신 빔 포밍 행렬을 생성할 수 있다.

먼저, j 번째 액세스 포인트(110)이 지원하는 사용자들에게 오는 IAI 채널은 총 $(C-K)$ 개고, 이를 S_j 개의 유효 IAI 채널로 정렬시킨다.

한편, $(i \neq j)$ 번째 액세스 포인트(110)에서 번째 액세스 포인트(110)이 지원하는 사용자들에게 미치는 유효 IAI 채널의 개수를 I_{ij} 라고 하면 K_j 개의 IAI 채널은 I_{ij} 개의 유효 IAI 채널로 정렬될 수 있다.

i 번째 액세스 포인트(110)에서 j 번째 액세스 포인트(110)이 지원하는 사용자들에게 미치는 j 번째 유효 IAI 채널은 아래의 수학식 7에 의해 표현될 수 있다.

[수학식 7]

$$\mathbf{Q}^{(j)} = [\mathbf{q}_1^{(j)} \mathbf{q}_2^{(j)} \cdots \mathbf{q}_{l_j}^{(j)}]$$

상기의 수학식 7에서 l_j 는 각 사용자들이 받게 될 데이터 스트림의 개수를 의미한다.

한편, m 번째 기저벡터 $\mathbf{q}_{i,m}^{(S)}$ 에 정렬되는 IAI 채널의 개수는 $n_{ij}^{(0)}$ 개라고 하면, 하나의 유효 IAI 채널에 너무 많은 수의 IAI 채널이 정렬되어 안테나의 불필요한 증가가 일어나지 않도록 l_{ij} 와 $n_{ij}^{(0)}$ 을 효과적으로 결정해야 한다.

이때, 송신기(350)는 유효 IAI 채널의 개수(l_{ij})와 m 번째 기저벡터 $\mathbf{q}_{i,m}^{(S)}$ 에 정렬되는 IAI 채널의 개수($n_{ij}^{(0)}$)를 IAI 채널 할당 알고리즘에 의해 결정할 수 있다. 이러한 채널 할당 알고리즘의 대표적인 예로는 도 2에 도시된 바와 같으나, 이에 한정되지는 않는다.

그런 다음, 수신기(300)는 i 번째 액세스 포인트(110)에서 j 번째 액세스 포인트(110)이 지원하는 사용자들에게 미치는 IAI 채널을 유효 IAI 채널에 정렬시킨다. 정렬 과정에 대해 설명하면 아래와 같다.

먼저, 정렬 결과는 아래의 수학식 8에 의해 표현될 수 있다.

[수학식 8]

$$\begin{aligned} \text{span}(\mathbf{q}_1) &= \text{span}(\mathbf{H}_1 \mathbf{u}_1) = \cdots = \text{span}(\mathbf{H}_1 \mathbf{u}_{l_1}) \\ \text{span}(\mathbf{q}_2) &= \text{span}(\mathbf{H}_1 \mathbf{u}_1 + \mathbf{u}_2) = \cdots = \text{span}(\mathbf{H}_1 \mathbf{u}_1 + \mathbf{u}_{l_1} + \mathbf{u}_2) \\ &\vdots \\ \text{span}(\mathbf{q}_{l_j}) &= \text{span}(\mathbf{H}_1 \mathbf{u}_1 + \mathbf{u}_2 + \cdots + \mathbf{u}_{l_1}) = \cdots = \text{span}(\mathbf{H}_1 \mathbf{u}_1) \end{aligned}$$

상기의 수학식 8에서와 같이, i 번째 액세스 포인트(110)에서 j 번째 액세스 포인트(110)이 지원하는 첫 번째 사용자에게 미치는 IAI 채널 $\mathbf{H}_1 \mathbf{u}_1$ 부터 j 번째 액세스 포인트(110)이 지원하는 $n_{ij}^{(0)}$ 번째 사용자에게 미치는 IAI 채널 $\mathbf{H}_1^{l_1+1} \mathbf{u}_{l_1+1}$ 까지 총 $n_{ij}^{(0)}$ 개의 IAI 채널들은 첫 번째 유효 IAI 채널 $\mathbf{q}_{i,m}^{(0)}$ 로 정렬된다. j 번째 액세스 포인트(110)이 지원하는 $n_{ij}^{(0)+1}$ 번째 사용자에게 미치는 IAI 채널 $\mathbf{H}_1^{l_1+1} \mathbf{u}_{l_1+1}$ 부터 $n_{ij}^{(0)} + n_{ij}^{(1)}$ 번째 사용자에게 미치는 IAI 채널 $\mathbf{H}_1^{l_1+1} \mathbf{u}_{l_1+1}$ 까지 총 $n_{ij}^{(1)}$ 개의 IAI 채널들은 두 번째 유효 IAI 채널 $\mathbf{q}_{i,m}^{(2)}$ 로 정렬된다. 이와 같이 i 번째 AP에서 j 번째 AP가 지원하는 사용자들에게 미치는 K_j 개의 IAI 채널들을 모두 l_{ij} 개의 유효 IAI 채널 $\mathbf{q}_1^{(j)}, \mathbf{q}_2^{(j)}, \cdots, \mathbf{q}_{l_j}^{(j)}$ 로 정렬시키게 된다. 상기의 수학식 8을 아래의 수학식 9로 표현할 수 있다.

[수학식 9]

$$\begin{aligned} \mathbf{q}_1 &= \mathbf{H}_1 \mathbf{u}_1 = \cdots = \mathbf{H}_1 \mathbf{u}_{l_1} \\ \mathbf{q}_2 &= \mathbf{H}_1 \mathbf{u}_1 + \mathbf{u}_2 = \cdots = \mathbf{H}_1 \mathbf{u}_1 + \mathbf{u}_{l_1} + \mathbf{u}_2 \\ &\vdots \\ \mathbf{q}_{l_j} &= \mathbf{H}_1 \mathbf{u}_1 + \mathbf{u}_2 + \cdots + \mathbf{u}_{l_1} = \cdots = \mathbf{H}_1 \mathbf{u}_1 \end{aligned}$$

상기의 수학식 9를 행렬식으로 표현하면 아래의 수학식 10과 같다.

- [0082] 프리코딩 벡터 생성부(356)는 수신기(300)로부터 피드백된 정보가 위의 채널정보 공유부(354)를 통해 다수의 송신기간에 공유가 이루어진 후, 프리코딩 벡터를 생성한다.
- [0083] 한편, 낮은 SNR 구간에서는 잡음 구간(noise term)의 전력이 시스템 전체 sum rate 성능에 크게 영향을 미치기 때문에 다중 사용자 다중 안테나 시스템에서 송신기(300)는 이에 대한 대안으로 누설 전력(leakage power)와 잡음 전력(noise power)을 함께 고려하는 SLNR(signal-to-leakage-interference-and-noise power ratio) 기반의 프리코딩 벡터 또는 행렬을 생성한다. 여기에서, 집음 전력은 송신기가 원하는 수신기로 신호를 전송할 때 나머지 사용자들에게 미치는 모든 간섭 신호를 의미한다.
- [0084] 이에 따라, 송신기(300)는 액세스 포인트(110)에서의 프리코딩 매트릭스 설계에 SLNR을 고려하여 낮은 SNR 구간에서의 성능 향상을 목표로 한다. 즉, l 번째 액세스 포인트(110)이 지원하는 l 번째 사용자가 m 번째 데이터 스트림을 전송할 때 사용하는 송신 프리코딩 벡터는 아래의 수학적 식 12를 만족시키는 $\mathbf{v}_m^{(k,l)}$ 을 생성함으로써 구할 수 있다.
- [0085] [수학적 식 12]
- [0086]
$$\mathbf{v}_m^{(k,l)} = \underset{\mathbf{v}}{\text{max eigvec}} \left[\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^L \mathbf{H}_i^H \mathbf{u}_i \mathbf{u}_i^H \mathbf{H}_i^H + \sum_{i=1}^L \mathbf{H}_i^H \mathbf{u}_i \mathbf{u}_i^H \mathbf{H}_i^H + \sum_{i=1}^L \mathbf{Q}_i \mathbf{Q}_i^H + \sigma^2 \mathbf{I} \end{pmatrix} \mathbf{H}_i^H \mathbf{u}_i \mathbf{u}_i^H \mathbf{H}_i^H \right]$$
- [0087] 상기와 같은 수학적 식 12를 만족하는 송신 프리코딩 벡터를 생성함으로써, 사용자 간 간섭 신호(inter-user interference, 이하 'iUi'로 칭함), 액세스 포인트간 간섭 신호(inter-AP interference), 또한 한 사용자에게 다수의 데이터 스트림을 전송할 경우 야기될 수 있는 스트림 간 간섭 신호(inter-stream interference)를 제거시킬 수 있다.
- [0088] 상기와 같은 구성을 갖는 송수신기가 신호 송수신을 위해 수신 빔 포밍 행렬과 송신 프리코딩 벡터를 생성하는 과정에 대해서도 도 4를 참조하여 설명한다.
- [0089] 도 4는 본 발명의 통신 시스템에서 송수신기가 수신 빔 포밍 행렬과 송신 프리코딩 벡터를 생성하는 과정을 도시한 흐름도이다.
- [0090] 먼저, 송신기(350)는 일정수의 유효 IAI 채널을 결정한다. 이와 같이 송신기에서 유효 IAI 채널이 결정되는 경우, 이동국(STA)등의 수신기(300)에서는 AP 등의 송신기(350)에서 보낸 정보를 통해 채널 정보(H)를 추정한다.
- [0091] 이어, 수신기(300)에서는 같은 BSS에 속한 다수의 수신기간 채널 정보를 공유하고, 채널 정보의 공유가 이루어진 후, 채널 정보를 이용하여 유효 IAI 채널 정보(q)와 디코딩 벡터(u)를 계산한다.
- [0092] 그런 후, 수신기(300)는 위와 같이 계산된 유효 IAI 채널 정보(q)와 디코딩 벡터(u), 채널 정보(H)를 송신기(350)로 피드백한다.
- [0093] 이에 따라, 송신기(350)에서는 수신기(300)로부터 피드백된 유효 IAI 채널 정보(q)와 디코딩 벡터(u), 채널 정보(H) 등을 다수의 송신기간에 공유한 후, 송신 프리코딩 벡터를 계산한다.
- [0094] 도 5a 내지 도 5f는 본 발명의 실시예에 따른 통신 시스템에서 송신기와 수신기간 간섭 정렬을 위한 신호 처리 개념을 도시한 것이다.
- [0095] 먼저, 도 5a에서 보여지는 바와 같이 간섭정렬에 참여하는 AP, 즉 송신기(550, 560, 570)는 NDP(Null Data Packet)라고 불리는 채널 추정 패킷을 이동국(station : STA), 즉 수신기(500, 510)로 송신한다.
- [0096] 그러면, 수신기(500, 510)는 송신기(550)가 전송한 채널 추정 패킷을 이용하여 채널 정보(H)를 추정하고, 각각 자신이 추정한 채널 정보(H)를 도 5b에서 보여지는 바와 같이 각각의 수신기(500, 510)와 연결되는 송신기(550)로 전송한다. 이때, $\mathbf{H}_k^{[m,n]}$ 은 k 번째 AP에서 n번째 AP에 속해있는 m번째 이동국(STA)으로의 채널 정보(H)를 의미하고, $\mathbf{H}_1^{[1,2]}$ 는 1번 AP(560)에서 2번 AP(550)에 속해있는 1번 이동국(500)으로의 채널 정보를 의미할 수 있다.
- [0097] 그러면, 2번째 AP인 송신기(550)는 수신기(500, 510)로부터 수신한 채널 정보(H)를 도 5c에서와 같이 서로 다른

수신기(500, 510)에게 전송한다.

- [0098] 이어, 채널 정보(H)를 교환한 수신기(500, 510)는 유효 IAI 채널(q)와 디코딩 벡터(u)를 생성하여 각각의 수신기(500, 510)와 연결되는 송신기(550)로 전송한다.
- [0099] 그러면, 송신기(550)는 도 5e에서 보여지는 바와 같이 전송받은 유효 IAI 채널(q)을 인접한 다른 AP들(560, 570)로 전송하여 준다.
- [0100] 이후, 송신기(550)는 도 5f에서와 같이 인접한 AP들(560, 570)로부터 유효 IAI 채널(q)을 수신한 후, 수신기(500, 510)와 간접 정렬 통신을 수행한다.
- [0101] 상기와 같은 통신 시스템이 동작 SNR(operating SNR) 대역에서의 성능 향상됨을 도 6에 도시된 그래프를 통해 알 수 있다. 즉, 도 6은 3개의 액세스 포인트와 각 액세스 포인트에 속한 2개의 이동국(총 6개의 이동국)가 존재하는 환경에서 각 액세스 포인트는 6개의 안테나와 이동국은 3개의 안테나를 갖는 환경에서 성능을 측정한 것이다. 이때, 액세스 포인트가 보내려는 데이터 스트림 수는 1개로 고정한다.
- [0102] 본 발명에서 설명한 동작 SNR 대역의 성능을 향상시켜주는 max-SLNR Transmitter 그래프(600)가 기존의 Zero-Forcing 기반의 Nullifying Transmitter 그래프(610)으로 표시보다 동작 SNR 대역에서 성능이 더 향상됨을 확인할 수 있으며, SNR이 향상될수록 DoF는 종래의 것과 동일하게 유지됨을 확인할 수 있다.
- [0103] 한편, 본 발명에 첨부된 블록도의 각 블록과 흐름도의 각 단계의 조합들은 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들에 의해 수행될 수도 있다. 이들 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들은 범용 컴퓨터, 특수용 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비의 프로세서에 탑재될 수 있으므로, 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비의 프로세서를 통해 수행되는 그 인스트럭션들이 블록도의 각 블록 또는 흐름도의 각 단계에서 설명된 기능들을 수행하는 수단을 생성하게 된다. 이들 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들은 특정 방식으로 기능을 구현하기 위해 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비를 지향할 수 있는 컴퓨터 이용 가능 또는 컴퓨터 판독 가능 메모리에 저장되는 것도 가능하므로, 그 컴퓨터 이용가능 또는 컴퓨터 판독 가능 메모리에 저장된 인스트럭션들은 블록도의 각 블록 또는 흐름도 각 단계에서 설명된 기능을 수행하는 인스트럭션 수단을 내포하는 제조 품목을 생산하는 것도 가능하다. 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들은 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비 상에 탑재되는 것도 가능하므로, 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비 상에서 일련의 동작 단계들이 수행되어 컴퓨터로 실행되는 프로세스를 생성해서 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비를 수행하는 인스트럭션들은 블록도의 각 블록 및 흐름도의 각 단계에서 설명된 기능들을 실행하기 위한 단계들을 제공하는 것도 가능하다.
- [0104] 또한, 각 블록 또는 각 단계는 특정된 논리적 기능(들)을 실행하기 위한 하나 이상의 실행 가능한 인스트럭션들을 포함하는 모듈, 세그먼트 또는 코드의 일부를 나타낼 수 있다. 또, 몇 가지 대체 실시 예들에서는 블록들 또는 단계들에서 언급된 기능들이 순서를 벗어나서 발생하는 것도 가능함을 주목해야 한다. 예컨대, 잇달아 도시되어 있는 두 개의 블록들 또는 단계들은 사실 실질적으로 동시에 수행되는 것도 가능하고 또는 그 블록들 또는 단계들이 때때로 해당하는 기능에 따라 역순으로 수행되는 것도 가능하다.
- [0105] 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 발명에 개시된 실시 예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시 예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

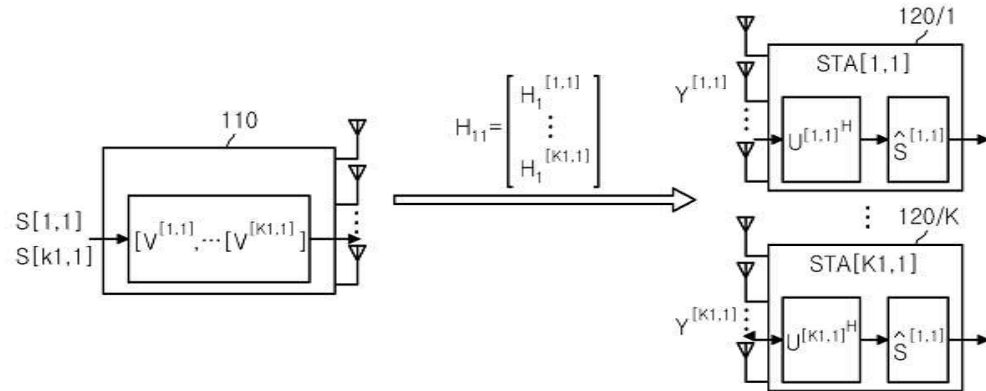
- [0106]
- | | |
|----------------|-------------------|
| 110 : 송신기 | 120/1~120/k : 수신기 |
| 300 : 수신기 | 302 : 채널 추정부 |
| 304 : 채널정보 공유부 | 306 : 디코딩 벡터 생성부 |
| 308 : 피드백부 | 350 : 송신기 |

352 : 유효 IAI 결정부
356 : 프리코딩 벡터 생성부

354 : 채널정보 공유부

도면

도면1



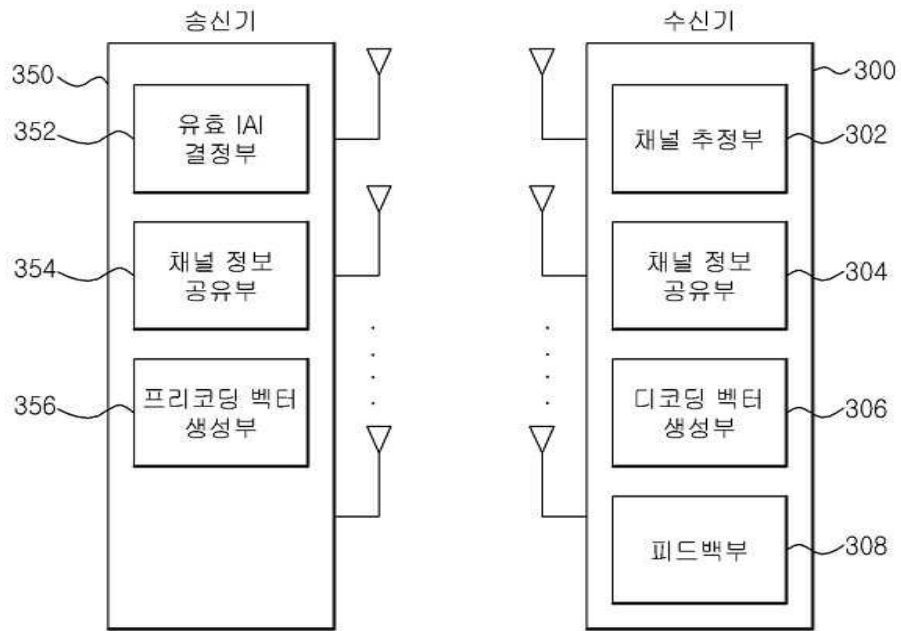
도면2

```

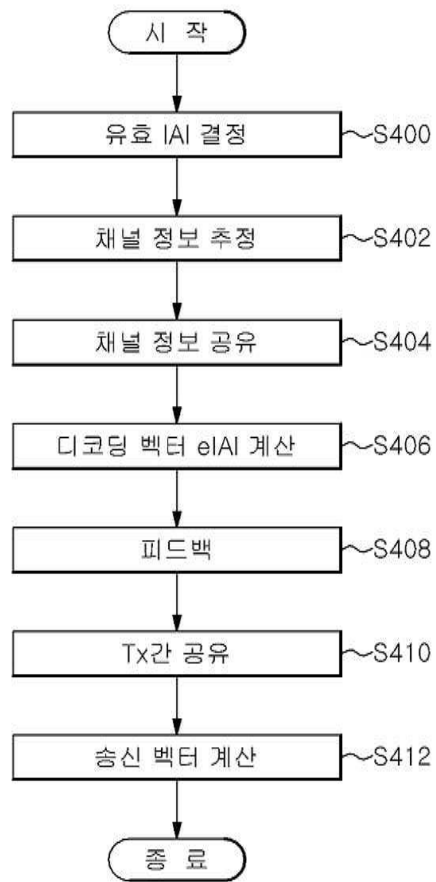
For j=1:C
    If  $S_j/(C-1)$  is a natural number
         $t_{j,i}=S_j/(C-1)$  for  $i=1,2,\dots,C$  and  $i \neq j$ 
    Else
        Initialize  $t_{j,i}$  as  $t_{j,i} = \text{ceil}(S_j/(C-1)) - 1$  for  $i=1,2,\dots,C$  and  $i \neq j$ 
        Initialize  $Z=\{1,2,\dots,C\}$ 
        For loop=1:  $S_j - (C-1)(\text{ceil}(S_j/(C-1)) - 1)$ 
             $i_{\max} = \text{argmax}_{i \in Z, i \neq j} K_i$ 
             $Z = Z - \{i_{\max}\}$ 
             $t_{j,i_{\max}} = t_{j,i_{\max}} + 1$ 
        End
    End
End
idx=1
For i=1:C and  $i \neq j$ 
    Initialize  $n_{j,i}^{(s)}=1$  for  $s=1,2,\dots,t_{j,i}$ 
    Set  $n_{j,i}^{(\text{idx})} = n_{j,i}^{(\text{idx})} + (K_i - t_{j,i})$ 
     $\text{idx} = \text{idx} + (K_j - t_{j,i})$ 
End
End

```

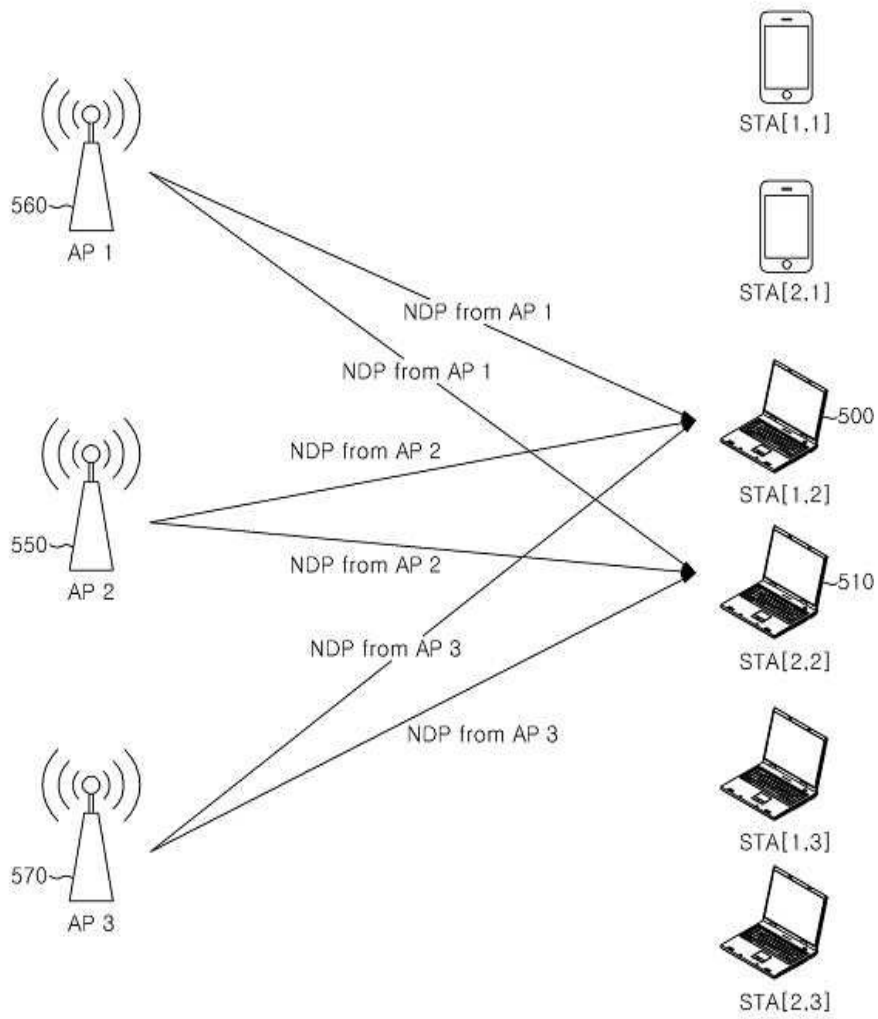
도면3



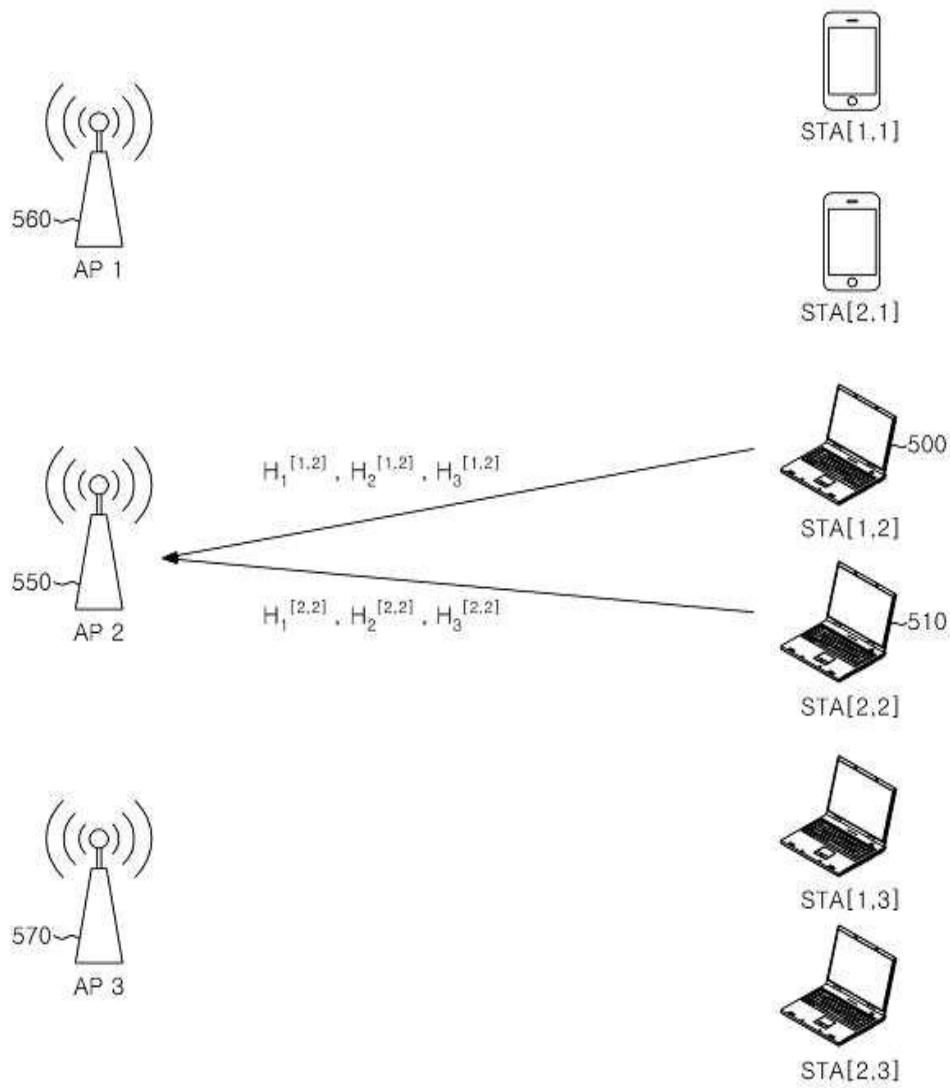
도면4



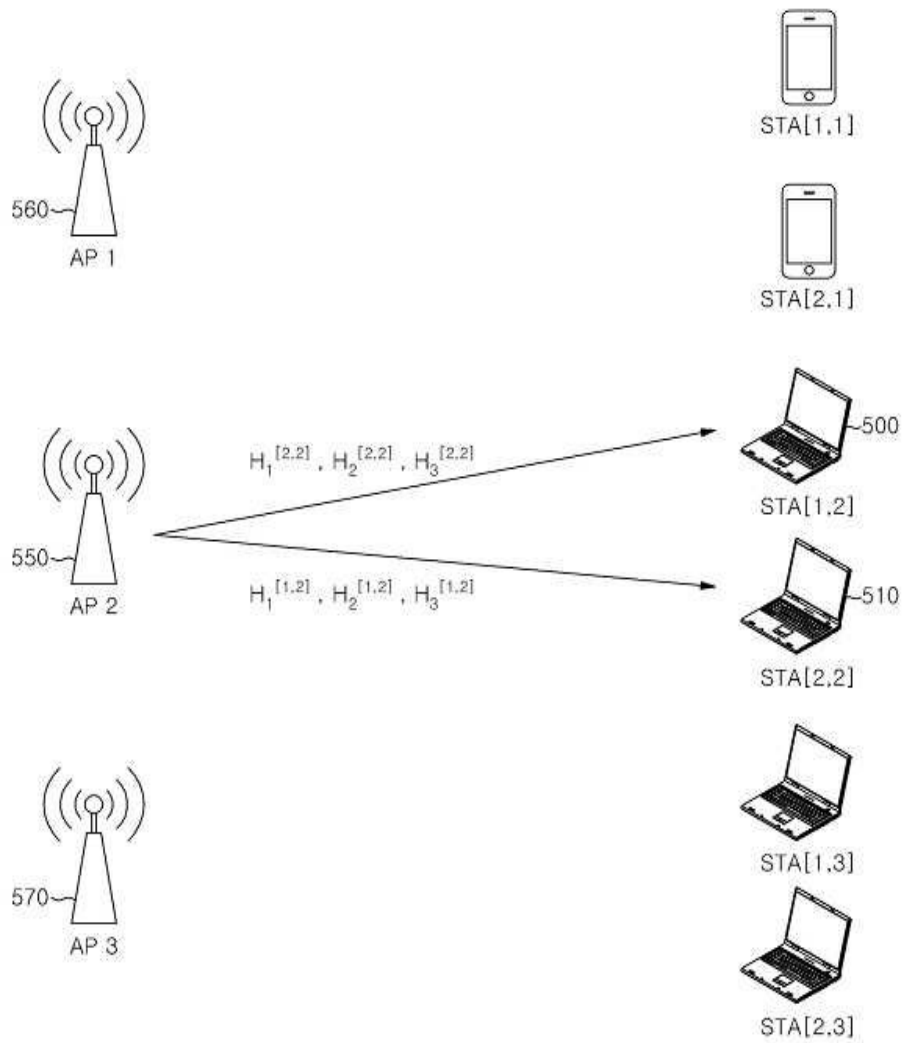
도면5a



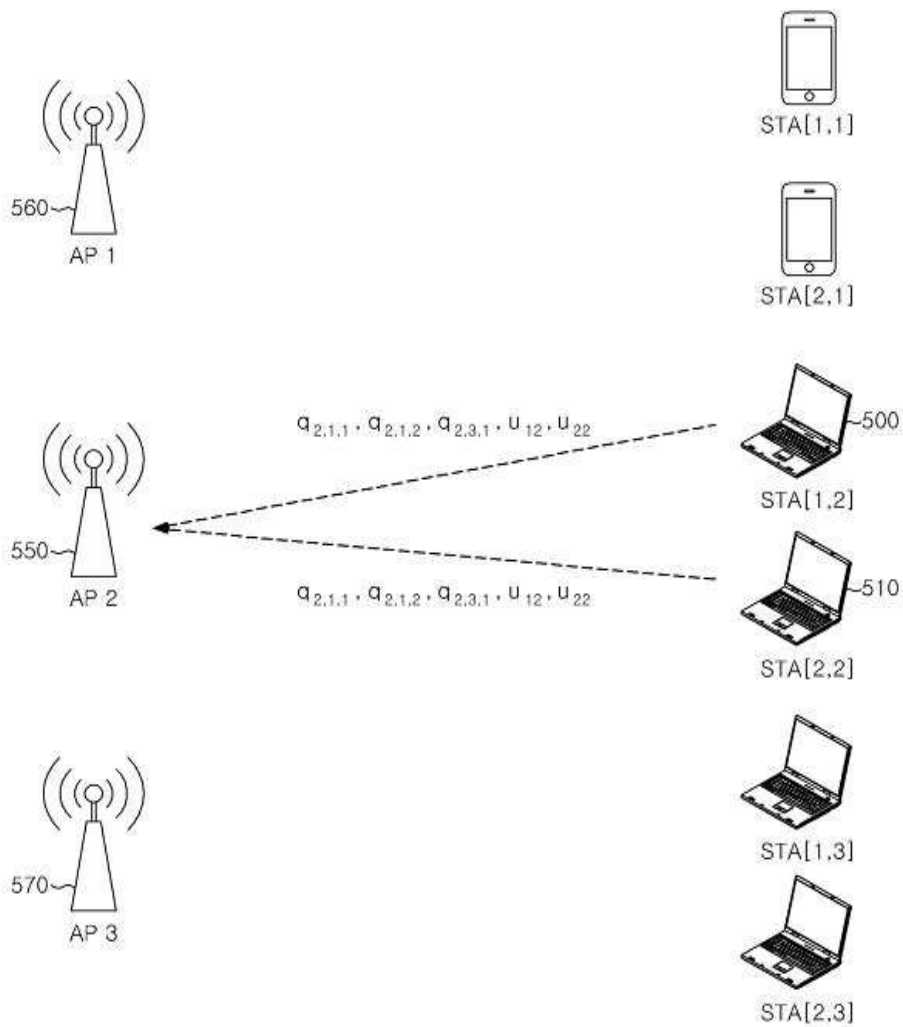
도면5b



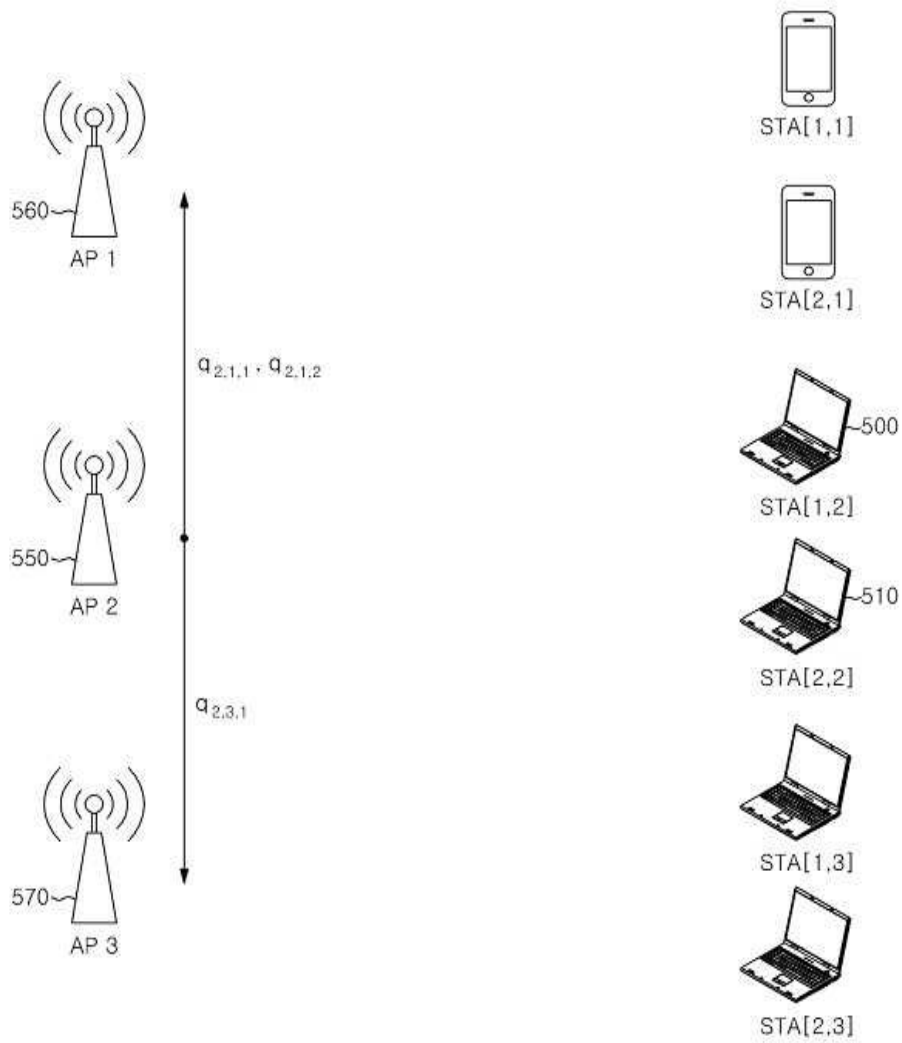
도면5c



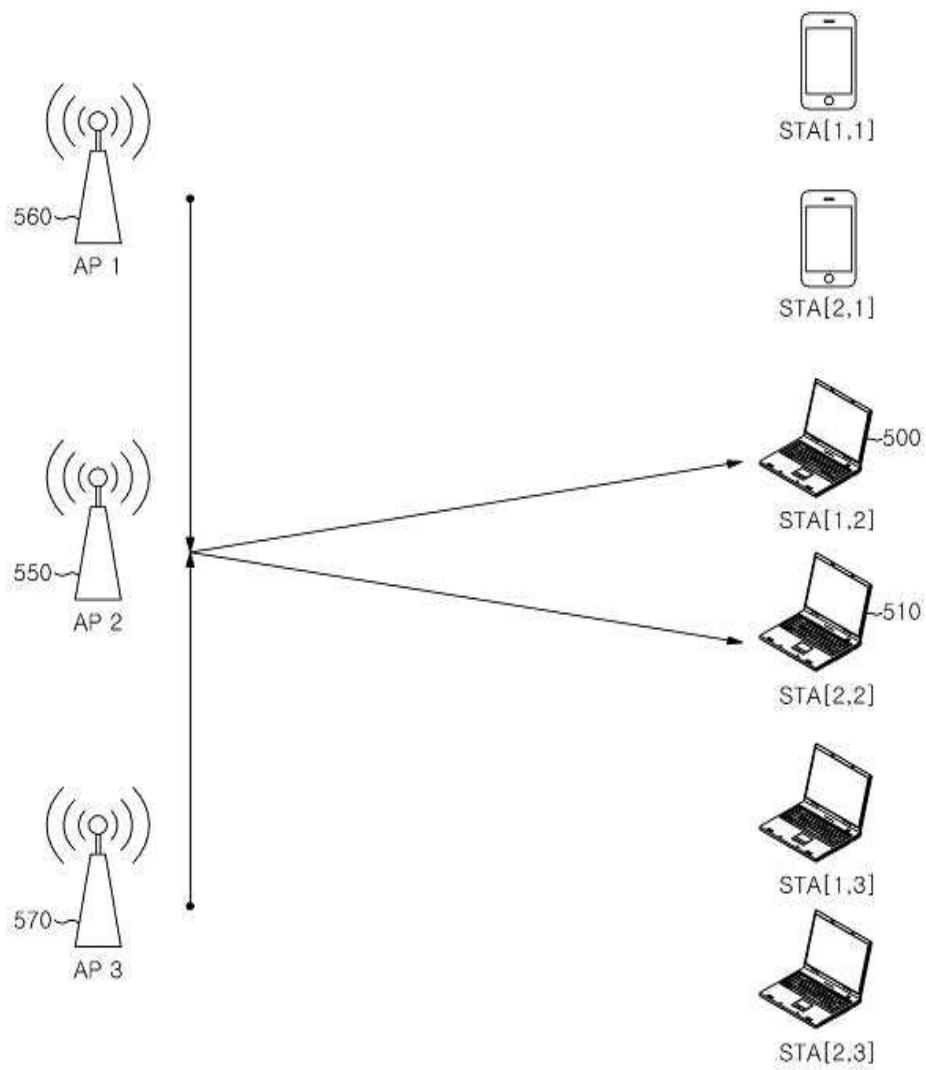
도면5d



도면5e



도면5f



도면6

