

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2012년 12월 13일 (13.12.2012)



(10) 국제공개번호
WO 2012/169745 A2

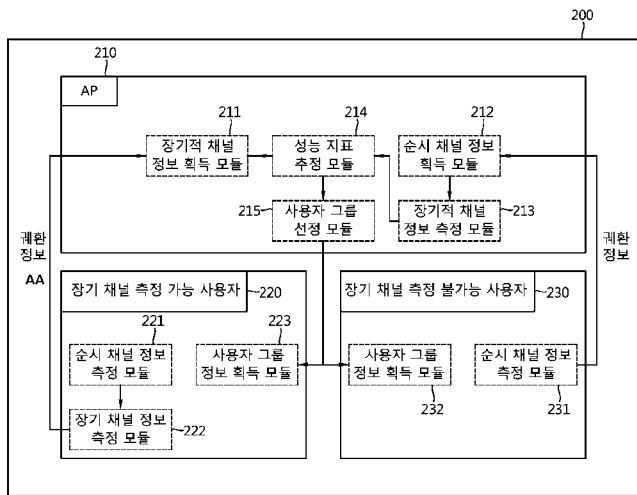
- (51) 국제특허분류: H04B 7/26 (2006.01) H04W 84/12 (2009.01) H04B 7/02 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2012/004335
- (22) 국제출원일: 2012년 6월 1일 (01.06.2012)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보: 61/494,394 2011년 6월 7일 (07.06.2011) US
- (71) 출원인 (US 을(를) 제외한 모든 지정국에 대하여): 엘지전자 주식회사 (LG ELECTRONICS INC.) [KR/KR]; 서울 영등포구 여의도동 20, 150-721 Seoul (KR). 서울대학교 산학협력단 (SNU R&DB FOUNDATION) [KR/KR]; 서울 관악구 신림동 산 56-1, 151-742 Seoul (KR).
- (72) 발명자; 겸
- (75) 발명자/출원인 (US 에 한하여): 손일수 (SOHN, Ill Soo) [KR/KR]; 경기도 안양시 동안구 호계 1동 533 엘지연구개발연구소, 431-749 Gyeonggi-do (KR). 최성현 (CHOI, Sung Hyun) [KR/KR]; 경기도 안양시 동안구 호계 1동 533 엘지연구개발연구소, 431-749 Gyeonggi-do (KR). 유승민 (YOO, Seung Min) [KR/KR]; 경기도 안양시 동안구 호계 1동 533 엘지연구개발연구소, 431-749 Gyeonggi-do (KR). 이해원 (LEE, Hye Won) [KR/KR]; 경기도 안양시 동안구 호계 1동 533 엘지연구개발연구소, 431-749 Gyeonggi-do (KR). 최문환 (CHOI, Mun Hwan) [KR/KR]; 경기도 안양시 동안구 호계 1동 533 엘지연구개발연구소, 431-749 Gyeonggi-do (KR). 석용호 (SEOK, Yong Ho) [KR/KR]; 경기도 안양시 동안구 호계 1동 533 엘지연구개발연구소, 431-749 Gyeonggi-do (KR). 이옥환 (LEE, Ok Hwan) [KR/KR]; 경기도 안양시 동안구 호계 1동 533 엘지연구개발연구소, 431-749 Gyeonggi-do (KR).

[다음 쪽 계속]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR CHANNEL MEASUREMENT IN A WIRELESS LAN SYSTEM

(54) 발명의 명칭 : 무선랜 시스템에서 채널 측정 방법 및 장치

[Fig. 7]



- AA ... Feedback information
- 210 ... AP
- 211 ... Long-term channel information obtaining module
- 212 ... Present channel information obtaining module
- 213 ... Long-term channel information measuring module
- 214 ... Performance index estimating module
- 215 ... User group selecting module
- 220 ... User capable of long-term channel measurement
- 221 ... Present channel information measuring module
- 222 ... Long-term channel information measuring module
- 223 ... User-group information obtaining module
- 230 ... User incapable of long-term channel measurement
- 231 ... Present channel information measuring module
- 232 ... User-group information obtaining module

(57) Abstract: The present invention relates to a method and device for channel measurement in a wireless LAN system. A station (STA) receives a plurality of sounding frames from an access point (AP), estimates the plurality of sounding frames in order to generate long-term channel state information (LCSI), provides the generated LCSI to the AP as feedback, and receives from the AP a group identifier (ID) management frame comprising information on a group ID determined on the basis of the LCSI.

(57) 요약서: 무선랜 시스템에서 의한 채널 측정 방법 및 장치가 제공된다. 스테이션(STA; station)은 접속 지점(AP; access point)으로부터 복수의 사운드링 프레임(sounding frame)들을 수신하고, 상기 복수의 사운드링 프레임들을 추정하여 장기 채널 상태 정보(LCSI; long-term channel state information)을 생성하고, 상기 생성된 장기 채널 상태 정보를 상기 AP로 피드백 하고, 상기 장기 채널 상태 정보를 기반으로 결정된 그룹 ID(identifier)에 관한 정보를 포함하는 그룹 ID 관리 프레임(group ID management frame)을 상기 AP로부터 수신한다.



(74) **대리인: 양문옥 (YANG, Moon Ock)**; 서울 강남구 역삼동 735-10 삼호역삼빌딩 2층 에센트허법률사무소, 135-080 Seoul (KR).

(81) **지정국** (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **지정국** (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서 없이 공개하며 보고서 접수 후 이를 별도 공개함 (규칙 48.2(g))

명세서

발명의 명칭: 무선랜 시스템에서 채널 측정 방법 및 장치 기술분야

[0001] 본 발명은 무선랜에 관한 것으로, 보다 상세하게는 무선랜 시스템에서 채널 측정 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 최근 정보통신 기술의 발전과 더불어 다양한 무선 통신 기술이 개발되고 있다. 이 중에서 무선랜(WLAN; wireless local area network)은 무선 주파수 기술을 바탕으로 개인 휴대용 정보 단말기(PDA; personal digital assistant), 랩탑 컴퓨터, 휴대용 멀티미디어 플레이어(PMP; portable multimedia player)등과 같은 휴대용 단말기를 이용하여 가정이나 기업 또는 특정 서비스 제공지역에서 무선으로 인터넷에 접속할 수 있도록 하는 기술이다.

[0003] 무선랜에서 취약점으로 지적되어온 통신 속도에 대한 한계를 극복하기 위하여, 비교적 최근에 제정된 기술 규격으로써 IEEE(institute of electrical and electronics engineers) 802.11n이 있다. IEEE 802.11n은 네트워크의 속도와 신뢰성을 증가시키고, 무선 네트워크의 운영 거리를 확장하는데 목적을 두고 있다. 보다 구체적으로, IEEE 802.11n에서는 데이터 처리 속도가 최대 540Mbps 이상인 고처리율(HT; high throughput)을 지원한다. 또한 전송 에러를 최소화하고 데이터 속도를 최적화하기 위해 송신부와 수신부 양단 모두에 다중 안테나를 사용하는 MIMO(multiple-input and multiple-output) 기술에 기반을 두고 있다.

[0004] WLAN의 보급이 활성화되고 또한 이를 이용한 어플리케이션이 다양화됨에 따라, 최근에는 IEEE 802.11n이 지원하는 데이터 처리 속도보다 더 높은 처리율을 지원하기 위한 새로운 WLAN 시스템에 대한 필요성이 대두되고 있다. 초고처리율(VHT; very high throughput)를 지원하는 차세대 무선랜 시스템은 IEEE 802.11n 무선랜 시스템의 다음 버전으로서, MAC(media access control) 서비스 접속 포인트(SAP; service access point)에서 1Gbps 이상의 데이터 처리 속도를 지원하기 위하여 최근에 새롭게 제안되고 있는 IEEE 802.11 무선랜 시스템 중의 하나이다.

[0005] 차세대 무선랜 시스템은 무선 채널을 효율적으로 이용하기 위하여 복수의 비 AP 스테이션(STA)들이 동시에 채널에 접근하는 MU(multi user)-MIMO 방식의 전송을 지원한다. MU-MIMO 전송 방식에 따르면, AP가 MIMO 페어링(pairing)된 하나 이상의 STA에게 동시에 프레임 전송할 수 있다.

[0006] MU-MIMO 전송을 수행하기 위하여 각 사용자의 채널을 정확하고 효율적으로 측정할 필요가 있다.

발명의 요약

기술적 과제

[0007] 본 발명의 기술적 과제는 무선랜 시스템에서 채널 측정 방법 및 장치를 제공하는 데에 있다. 본 발명은 MU-MIMO 전송을 수행하기 위하여 복수의 사용자들 그룹핑(grouping)함에 있어서, 각 사용자의 장기(long-term) 정보를 이용하여 복수의 사용자들 그룹핑하는 방법을 제안한다.

과제 해결 수단

[0008] 일 양태에 있어서, 무선랜 시스템에서 스테이션(STA; station)에 의한 채널 측정 방법이 제공된다. 상기 채널 측정 방법은 접속 지점(AP; access point)으로부터 복수의 사운드 프레임(sounding frame)들을 수신하고, 상기 복수의 사운드 프레임들을 추정하여 장기 채널 상태 정보(LCSI; long-term channel state information)를 생성하고, 상기 생성된 장기 채널 상태 정보를 상기 AP로 피드백하고, 상기 장기 채널 상태 정보를 기반으로 결정된 그룹 ID(identifier)에 관한 정보를 포함하는 그룹 ID 관리 프레임(group ID management frame)을 상기 AP로부터 수신하는 것을 포함한다.

[0009] 상기 장기 채널 상태 정보는 수학적 식 $E_T[\mathbf{H}_k^* \mathbf{H}_k]$ 에 의하여 계산될 수 있다. 이때 E_T 는 시간 T에 대한 평균을 나타내며, \mathbf{H}_k 는 k번째 사용자의 채널 행렬(channel matrix), \mathbf{H}_k^* 는 \mathbf{H}_k 의 공액 전치(conjugate transpose) 행렬을 나타낸다.

[0010] 상기 복수의 사운드 프레임들은 상기 스테이션으로 전송되는 사운드 프레임들을 포함할 수 있다.

[0011] 상기 복수의 사운드 프레임들은 상기 스테이션으로 전송되는 사운드 프레임들 및 상기 스테이션과 다른 제2 스테이션으로 전송되는 오버히어 사운드 프레임(overhear sounding frame)들을 포함할 수 있다.

[0012] 상기 장기 채널 상태 정보는 VHT(very high throughput) 액션 프레임(action frame) 내의 LCSI 보고 필드를 통해 전송될 수 있다.

[0013] 다른 양태에 있어서, 무선랜 시스템에서 접속 지점(AP; access point)에 의한 그룹 ID(identifier) 관리 방법이 제공된다. 상기 그룹 ID 관리 방법은 복수의 스테이션(STA; station)들로 복수의 사운드 프레임(sounding frame)들을 전송하고, 상기 각 스테이션에서 생성된 장기 채널 상태 정보(LCSI; long-term channel state information)를 수신하고, 상기 수신한 장기 채널 상태 정보를 기반으로 시간 평균한(time-averaged) MU(multi user)-MIMO(multiple-input multiple-output) 합 용량(sum capacity)의 경계(bound)를 계산하고, 상기 계산된 시간 평균한 MU-MIMO 합 용량의 경계를 기반으로 결정된 그룹 ID에 관한 정보를 포함하는 그룹 ID 관리 프레임(group ID management frame)을 상기 복수의 스테이션들로 전송하는 것을 포함한다.

[0014] 상기 장기 채널 상태 정보는 수학적 식 $E_T[\mathbf{H}_k^* \mathbf{H}_k]$ 에 의하여 계산될 수 있다. 이때 E_T 는 시간 T에 대한 평균을 나타내며, \mathbf{H}_k 는 k번째 사용자의 채널 행렬(channel matrix), \mathbf{H}_k^* 는 \mathbf{H}_k 의 공액 전치(conjugate transpose) 행렬을 나타낸다.

[0015] 상기 시간 평균한 MU-MIMO 합 용량의 경계는 수학적

$$\begin{aligned} \overline{C}_{MU-MIMO_{SUM}} &\leq C_{MU-MIMO_{bound}} \\ &= \log_2 \det \left(\mathbf{I} + \frac{SNR}{N_t} \sum_{k=1}^K \mathbf{E}_T \left[\mathbf{H}_k^* \mathbf{H}_k \right] \right) \end{aligned}$$

에 의하여 계산될 수 있다. 이때 \mathbf{I} 는 간섭 행렬, SNR(signal to noise ratio)는 신호 대 잡음비, K 는 총 사용자의 수를 나타낸다.

[0016] 상기 장기 채널 상태 정보는 VHT(very high throughput) 액션 프레임(action frame) 내의 LCSИ 보고 필드를 통해 전송될 수 있다.

[0017] 또 다른 양태에 있어서, 무선랜 시스템에서 접속 지점(AP; access point)에 의한 그룹 ID(identifier) 관리 방법이 제공된다. 상기 그룹 ID 관리 방법은 복수의 스테이션(STA; station)들로 빔포밍(BF; beamforming) 피드백 요청을 전송하고, 상기 복수의 스테이션들로부터 상기 BF 피드백 요청에 대한 응답인 BF 피드백 프레임을 수신하고, 상기 수신한 BF 피드백 프레임을 기반으로 장기 채널 상태 정보(LCSI; long-term channel state information)를 생성하고, 상기 생성된 장기 채널 상태 정보를 기반으로 시간 평균한(time-averaged) MU(multi user)-MIMO(multiple-input multiple-output) 합 용량(sum capacity)의 경계(bound)를 계산하고, 상기 계산된 시간 평균한 MU-MIMO 합 용량의 경계를 기반으로 결정된 그룹 ID에 관한 정보를 포함하는 그룹 ID 관리 프레임(group ID management frame)을 상기 복수의 스테이션들로 전송하는 것을 포함한다.

[0018] 상기 BF 피드백 요청과 상기 BF 피드백 프레임은 주기적으로 전송되고 수신될 수 있다.

발명의 효과

[0019] MU-MIMO 전송 수행 시에 효율적으로 복수의 사용자들을 그룹핑할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 무선랜(WLAN; wireless local area network) 시스템의 구성의 일 예를 나타낸다.

[0021] 도 2는 IEEE 802.11n의 PCLP 프레임 구조를 나타낸다.

[0022] 도 3은 IEEE 802.11ac의 PCLP 프레임 구조의 일 예를 나타낸다.

[0023] 도 4는 그룹 ID 관리 프레임의 구조의 일 예를 나타낸다.

[0024] 도 5는 IEEE 802.11ac에서 NDP를 이용한 채널 사운딩 방법을 나타내는 도면이다.

[0025] 도 6은 MIMO 채널 모델에서의 각도 파라미터(angle parameter)를 나타낸다.

[0026] 도 7은 제안된 채널 측정 방법이 구현되는 무선랜 시스템의 블록도이다.

[0027] 도 8은 제안된 채널 측정 방법의 일 실시예를 나타낸다.

[0028] 도 9는 제안된 채널 측정 방법의 또 다른 실시예를 나타낸다.

[0029] 도 10은 제안된 채널 측정 방법의 또 다른 실시예를 나타낸다.

[0030] 도 11은 제안된 채널 측정 방법의 또 다른 실시예를 나타낸다.

[0031] 도 12는 그룹 오버로드 방법과 그룹 선택 방법의 성능을 비교하는 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

[0032] 도 13은 본 발명의 실시예가 구현되는 무선 장치의 블록도이다.

발명의 실시를 위한 형태

[0033] 이하의 기술은 CDMA(code division multiple access), FDMA(frequency division multiple access), TDMA(time division multiple access), OFDMA(orthogonal frequency division multiple access), SC-FDMA(single carrier frequency division multiple access) 등과 같은 다양한 무선 통신 시스템에 사용될 수 있다. CDMA는 UTRA(universal terrestrial radio access)나 CDMA2000과 같은 무선 기술(radio technology)로 구현될 수 있다. TDMA는 GSM(global system for mobile communications)/GPRS(general packet radio service)/EDGE(enhanced data rates for GSM evolution)와 같은 무선 기술로 구현될 수 있다. OFDMA는 IEEE 802.11(Wi-Fi), IEEE 802.16(WiMAX), IEEE 802-20, E-UTRA(evolved UTRA) 등과 같은 무선 기술로 구현될 수 있다. IEEE 802.16m은 IEEE 802.16e의 진화로, IEEE 802.16e에 기반한 시스템과의 하위 호환성(backward compatibility)를 제공한다. UTRA는 UMTS(universal mobile telecommunications system)의 일부이다. 3GPP(3rd generation partnership project) LTE(long term evolution)은 E-UTRA(evolved-UMTS terrestrial radio access)를 사용하는 E-UMTS(evolved UMTS)의 일부로써, 하향링크에서 OFDMA를 채용하고 상향링크에서 SC-FDMA를 채용한다. LTE-A(advanced)는 3GPP LTE의 진화이다.

[0034] 설명을 명확하게 하기 위해, IEEE 802.11을 위주로 기술하지만 본 발명의 기술적 사상이 이에 제한되는 것은 아니다.

[0035] 도 1은 무선랜(WLAN; wireless local area network) 시스템의 구성의 일 예를 나타낸다.

[0036] 도 1을 참조하면, WLAN 시스템은 하나 또는 그 이상의 기본 서비스 세트(BSS; basic service set)를 포함한다. BSS는 성공적으로 동기화를 이루어서 서로 통신할 수 있는 스테이션(STA; station)의 집합으로써, 특정 영역을 가리키는 개념은 아니다.

[0037] 인프라스트럭처(infrastructure) BSS는 하나 또는 그 이상의 비AP 스테이션(non-AP STA), 분산 서비스(distribution service)를 제공하는 AP(access point) 및 다수의 AP를 연결시키는 분산 시스템(DS; distribution system)을 포함한다. 인프라스트럭처 BSS에서는 AP가 BSS의 비AP STA들을 관리한다. 반면, 독립 BSS(IBSS; independent BSS)는 애드-혹(ad-hoc) 모드로 동작하는 BSS이다. IBSS는 AP를 포함하지 않기 때문에 중앙에서 관리 기능을 수행하는 개체(centralized management entity)가 없다. 즉, IBSS에서는 비AP STA들이 분산된 방식(distributed manner)으로 관리된다. IBSS에서는 모든 STA이 이동 STA으로 이루어질 수 있으며, 분산 시스템으로의 접속이 허용되지 않아서 자기

완비적 네트워크(self-contained network)를 이룬다.

- [0038] STA는 IEEE 802.11 표준의 규정을 따르는 MAC(media access control)과 무선 매체에 대한 물리 계층(physical layer) 인터페이스를 포함하는 임의의 기능 매체로서, 보다 넓은 의미로 AP와 비AP 스테이션을 모두 포함한다.
- [0039] 비AP STA는 AP가 아닌 STA로, 비 AP STA는 이동 단말(mobile terminal), 무선 기기(wireless device), 무선 송수신 유닛(WTRU; wireless transmit/receive unit), 사용자 장비(UE; user equipment), 이동국(MS; mobile station), 이동 가입자 유닛(mobile subscriber unit) 또는 단순히 user 등의 다른 명칭으로도 불릴 수 있다. 이하에서는 설명의 편의를 위하여 비 AP STA을 STA으로 지칭하도록 한다.
- [0040] AP는 해당 AP에게 결합된(associated) STA을 위하여 무선 매체를 경유하여 분산 시스템에 대한 접속을 제공하는 기능 개체이다. AP를 포함하는 인프라스트럭처 BSS에서 STA들 사이의 통신은 AP를 경유하여 이루어지는 것이 원칙이나, 직접 링크(direct link)가 설정된 경우에는 STA들 사이에서도 직접 통신이 가능하다. AP는 집중 제어기(central controller), 기지국(BS; base station), NodeB, BTS(base transceiver system), 또는 사이트 제어기 등으로 불릴 수도 있다.
- [0041] 도 1에 도시된 BSS를 포함하는 복수의 인프라스트럭처 BSS는 분산 시스템을 통해 상호 연결될 수 있다. 분산 시스템을 통하여 연결된 복수의 BSS를 확장 서비스 세트(ESS; extended service set)라 한다. ESS에 포함되는 AP 및/또는 STA들은 서로 통신할 수 있으며, 동일한 ESS에서 STA은 끊임 없이 통신하면서 하나의 BSS에서 다른 BSS로 이동할 수 있다.
- [0042] IEEE 802.11에 따른 무선랜 시스템에서, MAC의 기본 접속 메커니즘은 CSMA/CA(carrier sense multiple access with collision avoidance) 메커니즘이다. CSMA/CA 메커니즘은 IEEE 802.11 MAC의 분배 조정 기능(DCF; distributed coordination function)이라고도 불리는데, 기본적으로 “listen before talk” 접속 메커니즘을 채용하고 있다. 이러한 유형의 접속 메커니즘 따르면, AP 및/또는 STA은 전송을 시작하기에 앞서 무선 채널 또는 매체(medium)를 센싱(sensing)한다. 센싱 결과, 만일 매체가 휴지 상태(idle status)인 것으로 판단되면, 해당 매체를 통하여 프레임 전송을 시작한다. 반면, 매체가 점유 상태(occupied status)인 것으로 감지되면, 해당 AP 및/또는 STA은 자기 자신의 전송을 시작하지 않고 매체 접근을 위한 지연 기간을 설정하여 기다린다.
- [0043] CSMA/CA 메커니즘은 AP 및/또는 STA이 매체를 직접 센싱하는 물리적 캐리어 센싱(physical carrier sensing) 외에 가상 캐리어 센싱(virtual carrier sensing)도 포함한다. 가상 캐리어 센싱은 히든 노드 문제(hidden node problem) 등과 같이 매체 접근상 발생할 수 있는 문제를 보완하기 위한 것이다. 가상 캐리어 센싱을 위하여, 무선랜 시스템의 MAC 은 네트워크 할당 벡터(NAV; network allocation vector)를 이용한다. NAV는 현재 매체를 사용하고 있거나 또는 사용할 권한이 있는 AP 및/또는 STA이, 매체가 이용 가능한 상태로 되기까지 남아 있는 시간을 다른 AP 및/또는 STA에게 지시하는 값이다. 따라서 NAV로 설정된 값은 해당

프레임을 전송하는 AP 및/또는 STA에 의하여 매체의 사용이 예정되어 있는 기간에 해당된다.

- [0044] AP 및/또는 STA은 매체에 접근하고자 함을 알리기 위해 RTS(request to send) 프레임 및 CTS(clear to send) 프레임을 교환하는 절차를 수행할 수 있다. RTS 프레임 및 CTS 프레임은 실질적인 데이터 프레임 전송 및 수신 확인 응답(acknowledgement)이 지원될 경우 수신 확인 프레임(acknowledgement frame, ACK frame)이 송수신 되는데 필요한 무선 매체가 접근 예약된 시간적인 구간을 지시하는 정보를 포함한다. 프레임을 전송하고자 하는 AP 및/또는 STA으로부터 전송된 RTS 프레임을 수신하거나, 프레임 전송 대상 STA으로부터 전송된 CTS 프레임을 수신한 다른 STA은 RTS/CTS 프레임에 포함되어 있는 정보가 지시하는 시간적인 구간 동안 매체에 접근하지 않도록 설정될 수 있다. 이는 시간 구간 동안 NAV가 설정됨을 통하여 구현될 수 있다.
- [0045] 기존 무선랜 시스템과 달리 차세대 무선랜 시스템은 보다 높은 처리율을 요구한다. 이를 VHT(very high throughput)라 하며, 이를 위하여 차세대 무선랜 시스템에서는 80MHz, 연속적인 160MHz(contiguous 160MHz), 불연속적인 160MHz(non-contiguous 160MHz) 대역폭 전송 및/또는 그 이상의 대역폭 전송을 지원하고자 한다. 또한, 보다 높은 처리율을 위하여 MU(multi user)-MIMO(multiple input multiple output) 전송 방법을 제공한다. 차세대 무선랜 시스템에서 AP는 MIMO 페어링된 적어도 하나 이상의 STA에게 동시에 데이터 프레임을 전송할 수 있다. 도 1과 같은 무선랜 시스템에서 AP(10)는 자신과 결합(association)되어 있는 복수의 STA들(21, 22, 23, 24, 30) 중 적어도 하나 이상의 STA을 포함하는 STA 그룹에게 데이터를 동시에 전송할 수 있다. 이 때, 각각의 STA으로 전송 되는 데이터는 서로 다른 공간 스트림(spatial stream)을 통하여 전송될 수 있다. AP(10)가 전송하는 데이터 프레임은 무선랜 시스템의 물리 계층(PHY; physical layer)에서 생성되어 전송되는 PPDU(PLCP(physical layer convergence procedure) protocol data unit)라 할 수 있다. 본 발명의 예시에서 AP(10)와 MU-MIMO 페어링 된 전송 대상 STA 그룹은 STA1(21), STA2(22), STA3(23) 및 STA4(24)라고 가정한다. 이 때 전송 대상 STA 그룹의 특정 STA에게는 공간 스트림이 할당되지 않아 데이터가 전송되지 않을 수 있다. 한편, STAa(30)는 AP와 결합되어 있으나 전송 대상 STA 그룹에는 포함되지 않는 STA이라고 가정한다.
- [0046] 도 2는 IEEE 802.11n의 PCLP 프레임 구조를 나타낸다.
- [0047] 도 2-(a)는 IEEE 802.11n의 레거시(legacy) PLCP 프레임의 일 예를 나타낸다. IEEE 802.11n high throughput (HT) 시스템은 레거시에 해당하는 IEEE 802.11a, IEEE 802.11b 및 IEEE 802.11g를 지원하는 레거시 PLCP 프레임을 지원한다. 즉, 레거시 PLCP 프레임은 레거시 노드들을 지원한다. 도 2-(a)를 참조하면, 레거시 PLCP 프레임은 L-STF(legacy short training field), L-LTF(legacy long training field), L-SIG(legacy signal) 및 데이터를 포함한다. 레거시 PLCP 프레임에서 L-SFT,

L-LTF, L-SIG 및 데이터가 순서대로 전송될 수 있다. L-STF는 프레임 타이밍 획득(frame timing acquisition) 및 자동 이득 제어 집중(automatic gain control convergence)를 위하여 사용될 수 있다. L-LTF는 L-SIG와 데이터를 복조(demodulation)하기 위한 채널 추정(channel estimation)의 용도로 사용될 수 있다. L-SIG는 데이터를 복조하고 디코딩(decoding)하기 위한 정보를 포함할 수 있다.

[0048] 도 2-(b)는 IEEE 802.11n의 HT 그린 필드(green field) PCLP 프레임을 일 예를 나타낸다. 무선 통신 시스템이 IEEE 802.11n HT STA들로만 구성된 경우, HT STA를 위하여 효율적으로 설계된 HT 그린 필드 PLCP 프레임이 사용될 수 있다. 도 2-(b)를 참조하면, HT 그린 필드 PLCP 프레임은 HT-GF-STF(HT green field short training field), HT-LTF(HT long training field), HT-SIG(HT signal) 및 데이터를 포함한다. HT 그린 필드 PLCP 프레임에서 HT-GF-STF, HT-LTF, HT-SIG 및 데이터가 순서대로 전송될 수 있다. HT-GT-STF는 프레임 타이밍 획득 및 자동 이득 제어 집중을 위하여 사용될 수 있다. HT-LTF는 HT-SIG와 데이터를 복조하기 위한 채널 추정의 용도로 사용될 수 있다. HT-LTF는 데이터 HT-LTF와 확장(extension) HT-LTF를 포함할 수 있다. HT-SIG는 데이터를 복조하고 디코딩하기 위한 정보를 포함할 수 있다. HT 그린 필드 PLCP 프레임은 프리코딩 되어 전송될 수 있다.

[0049] 도 2-(c)는 IEEE 802.11n의 HT 혼합 모드(mixed mode) PCLP 프레임을 일 예를 나타낸다. 레거시 노드들과 IEEE 802.11n HT STA들을 모두 포함하는 무선 통신 시스템에서, IEEE 82.11n HT를 지원하기 위하여 HT 혼합 모드 PLCP 프레임이 사용될 수 있다. 도 2-(c)를 참조하면, HT 혼합 모드 PLCP 프레임은 도 2-(a)의 레거시 PLCP 프레임의 요소와 도 2-(b)의 HT 그린 필드 PLCP 프레임의 요소를 포함할 수 있다. 즉, HT 혼합 모드 PLCP 프레임은 L-STF, L-LTF, L-SIG, HT-SIG, HT-STF, HT-LTF 및 데이터를 포함한다. 레거시 노드들이 HT 혼합 모드 PLCP 프레임을 수신할 수 있도록 L-STF, L-LTF 및 L-SIG가 먼저 전송될 수 있다. 그리고 데이터를 복조하고 디코딩하기 위한 정보를 포함하는 HT-SIG가 전송되고, IEEE 802.11n HT STA들을 위한 HT-STF, HT-LTF와 데이터가 차례대로 전송될 수 있다. 이때 L-STF부터 HT-SIG까지는 레거시 노드들을 포함한 다양한 STA들이 정보를 수신할 수 있도록 논빔포밍(non-beamforming) 방식으로 전송될 수 있고, HT-STF부터 데이터까지는 프리코딩을 통하여 전송될 수 있다. 프리코딩을 하여 정보를 수신하는 STA는 HT-STF를 통하여 프리코딩에 의하여 파워가 변화하는 것을 고려할 수 있다.

[0050] IEEE 802.11에서 주어진 채널을 효율적으로 사용하기 위하여, 동시에 여러 개의 STA들을 스케줄링 하여 데이터를 전송하는 MU-MIMO 기술이 적용될 수 있다. MU-MIMO는 IEEE 802.11ac에 도입될 수 있다. MU-MIMO를 지원하기 위하여 AP는 해당 STA들에게 특정 공간 스트림(spatial stream)을 통하여 데이터를 전송한다는 사실을 알려줄 필요가 있으며, 해당 STA들은 해당 공간

스트림을 통하여 실제로 데이터를 수신할 수 있어야 한다.

- [0051] 이를 위하여 MU-MIMO로 전송되는 각 프레임들의 PLCP 프리앰블 헤더(preamble header) 내의 VHT 특정 신호에, MU-MIMO로 수신해야 하는 STA들을 지시하는 신호와 해당 STA들이 수신해야 하는 신호에 대해서 공간 스트림 위치 별로 공간 스트림의 개수를 지시하는 신호를 포함시킬 수 있다. 상기 MU-MIMO로 수신해야 하는 STA들을 지시하는 신호를 그룹 ID(identifier) 지시자, 공간 스트림의 개수를 지시하는 신호를 공간 스트림 지시자라 할 수 있다.
- [0052] 도 3은 IEEE 802.11ac의 PCLP 프레임 구조의 일 예를 나타낸다.
- [0053] 도 3의 VHT 혼합 모드 PLCP 프레임은 도 2-(c)의 HT 혼합 모드 PLCP 프레임에 대하여 VHT-SIG를 더 포함할 수 있다. VHT-SIG는 그룹 ID 지시자 및 공간 스트림 지시자를 포함할 수 있다. 일반적으로 그룹 ID 지시자는 어떠한 STA들이 AP에서 전송된 MU-MIMO 전송을 수신해야 하는지에 대한 정보를 나눌 수 있으며, 각 그룹 ID와 STA는 논리적으로 연결될 수 있다. AP는 MU-MIMO 전송을 수행하기 전에 그룹 ID 관리 프레임을 통하여 특정 그룹 ID와 연결된 STA들을 알려줄 수 있다.
- [0054] 도 4는 그룹 ID 관리 프레임의 구조의 일 예를 나타낸다.
- [0055] 도 4-(a)는 그룹 ID 관리 프레임의 구조의 일 예를 나타낸다. 그룹 ID 관리 프레임은 하나 이상의 그룹 ID에 대응되는 사용자 위치를 할당 또는 변경하기 위하여 AP에 의해서 전송될 수 있다. AP는 그룹핑된 STA들에게 각각 유니캐스트(unicast) 방식으로 그룹 ID 관리 프레임을 전송할 수 있다. 그룹 ID 관리 프레임은 그룹 ID 관리 정보 요소를 포함한다. 도 4-(b)는 그룹 ID 관리 정보 요소의 구조의 일 예를 나타낸다. 그룹 ID 관리 정보 요소는 요소 ID, 길이, 각 그룹 ID에 대한 공간 스트림 위치를 포함한다.
- [0056] 그룹 ID 관리 프레임은 전체 그룹 ID에 대하여 해당 STA이 각 그룹에 속했는지 여부와 해당 그룹에 속한 경우 공간 스트림 위치가 몇 번째인지를 지시한다. 예를 들어 STA이 수신한 그룹 ID 관리 정보 요소에서 공간 스트림 위치의 값이 0,1,2,4,0,0,0,...,0,0,0인 경우, 해당 STA는 그룹 ID 2, 그룹 ID 3 및 그룹 ID 4에 속해 있음을 지시한다. 또한, 그룹 ID 2에서는 공간 스트림의 위치가 첫 번째, 그룹 ID 3에서는 공간 스트림의 위치가 2번째, 그룹 ID 4에서는 공간 스트림의 위치가 4번째임을 지시한다. 공간 스트림 위치는 STA이 해당 그룹 ID를 가지는 프레임을 수신할 때, 해당 공간 스트림 위치에 해당하는 위치의 신호를 수신해야 함을 의미한다. 따라서, STA가 그룹 ID 3을 가지는 프레임을 수신하는 경우, 해당 STA는 2번째 공간 스트림에 해당하는 신호를 수신한다. STA가 그룹 ID 4를 가지는 프레임을 수신하는 경우, 해당 STA는 4번째 공간 스트림에 해당하는 신호를 수신한다. STA가 그룹 ID 4를 가지는 프레임을 수신하는 경우, 해당 STA는 그룹 ID 1에 속하지 않았으므로 해당 프레임을 무시한다.
- [0057] 한편, MU-MIMO 전송을 수행하는 AP 및/또는 STA은 전송 대상 STA 각각에

대한 채널 정보를 필요로 하므로, 채널 정보 획득을 위한 채널 사운딩(channel sounding) 절차가 요구된다. 채널 사운딩 절차로 크게 두 가지 방식이 지원될 수 있다. 하나는 데이터 필드가 포함된 일반적인 PPDU를 통한 방식이며, 남은 하나는 데이터 필드가 포함되지 않은 NDP(null data packet)을 통한 방식이다. 이하에서 NDP는 사운딩 프레임(sounding frame)이라고 불릴 수 있다.

- [0058] 도 5는 IEEE 802.11ac에서 NDP를 이용한 채널 사운딩 방법을 나타내는 도면이다. 본 예시에서 AP는 3개의 전송 대상 STA으로 데이터를 전송하기 위하여 3개의 전송 대상 STA에 대하여 채널 사운딩을 수행하는 것을 예시로 설명하나, 이에 제한되는 것은 아니다. AP는 하나의 STA에 대하여 채널 사운딩을 수행할 수도 있다.
- [0059] 도 5를 참조하면, 단계 S50에서 AP(100)는 STA1(111), STA2(112), STA3(113)에게 NDPA 프레임을 전송한다. NDPA(NDP announcement) 프레임은 이어서 전송되는 NDP에 대응하여 피드백 프레임을 전송할 STA를 식별하기 위한 정보를 알려주기 위함이다. AP(100)는 NDPA 프레임에 사운딩 대상 STA에 대한 정보를 포함하는 STA 정보 필드를 포함시켜 전송한다. STA 정보 필드는 사운딩 대상 STA마다 하나씩 포함될 수 있다. NDPA 프레임은 사운딩 알림 프레임(sounding announcement frame)이라 불릴 수 있다.
- [0060] AP(100)는 도 5에 도시된 것과 같이, MU-MIMO 채널 사운딩을 위하여 적어도 하나 이상의 사운딩 대상 STA으로 NDPA 프레임을 전송하는 경우, NDPA 프레임을 브로드캐스팅 한다. 반면, SU-MIMO 채널 사운딩을 위하여 하나의 사운딩 대상 STA으로 NDPA 프레임을 전송하는 경우, NDPA 프레임에 포함된 수신자 주소 정보를 해당 사운딩 대상 STA의 MAC 주소로 설정하여 유니캐스트로 전송할 수 있다.
- [0061] 표 1은 NDPA 프레임에 포함되는 STA 정보 필드 포맷의 일례를 나타낸다.
- [0062]

[Table 1]

서브필드	설 명
AID	사운딩 대상 스테이션의 AID를 포함
피드백 타입	사운딩 대상 스테이션에 대한 피드백 요청 타입 지시 SU-MIMO인 경우 '0' MU-MIMO인 경우 '1'
Nc 인덱스	요청되는 피드백 차원을 지시 MU-MIMO인 경우 : Nc = 1 이면 '0'으로 설정 Nc = 2 이면 '1'로 설정 Nc = 3이면 '2'로 설정 Nc = 4 이면 '3'으로 설정 Nc = 5 이면 '4'로 설정 Nc = 6 이면 '5'로 설정 Nc = 7 이면 '6'으로 설정 Nc = 8 이면 '7'로 설정 SU-MIMO인 경우 예비 서브 필드(0으로 설정)

- [0063] 표 1에 있어서, Nc는 NDP를 수신하고 이에 대한 응답으로 사운딩 대상 STA이 AP로 전송하는 피드백 정보 중 빔포밍 피드백 행렬(beamforming feedback matrices)의 열(column) 개수를 지시한다.
- [0064] NDPA 프레임을 수신한 STA들은 STA 정보 필드에 포함된 AID 서브 필드 값을 확인하고, 자신이 사운딩 대상 STA인지 여부를 확인할 수 있다. 도 5의 실시예에서 NDPA 프레임에는 STA1(111)의 AID를 포함하는 STA 정보 필드, STA2(112)의 AID를 포함하는 STA 정보 필드 및 STA3(113)의 AID를 포함하는 STA 정보 필드가 포함될 수 있다.
- [0065] 단계 S160에서, AP(100)는 NDPA 프레임 전송에 이어 NDP 프레임을 사운딩 대상 STA으로 전송한다. NDP 프레임은 AP(310)에 의하여 빔포밍 되고, 적어도 하나 이상의 공간 스트림을 통하여 사운딩 대상 STA으로 전송된다. 따라서, 사운딩 대상 STA들(111, 112, 113)은 NDP의 VHT-LTF를 기반으로 채널을 추정할 수 있다.
- [0066] NDP 프레임 전송시 NDP 프레임에 포함된 제어 정보로서, 데이터 필드에 포함된 PSDU(PHY service data unit) 길이, 또는 상기 PSDU에 포함된 A-MPDU(aggregate-MAC protocol data unit)의 길이를 지시하는 길이 정보는 0으로 설정되고, NDP 프레임의 전송 대상 STA의 수를 지시하는 정보는 1로 설정될 수 있다. NDP 프레임의 전송을 위해 사용된 전송 기법이 MU-MIMO인지 SU-MIMO인지를 지시하고 전송 대상 STA 그룹을 지시하는 그룹 ID는

SU-MIMO 전송을 지시하는 값으로 설정될 수 있다. 전송 대상 STA에게 할당되는 공간 스트림 개수를 지시하는 정보는 MU-MIMO 또는 SU-MIMO를 통해 전송 대상 STA에게 전송되는 공간 스트림의 개수를 지시하도록 설정될 수 있다. NDP 프레임의 전송을 위해 사용되는 채널 대역폭 정보는 NDPA 프레임 전송을 위해 사용된 대역폭 값으로 설정될 수 있다.

- [0067] 단계 S171에서 STA1(111)은 피드백 프레임을 AP(100)에게 전송한다. 피드백 프레임 전송에 사용되는 채널 대역폭 정보는 NDPA 프레임 전송을 위해 사용된 채널 대역폭 보다 좁거나 같게 설정될 수 있다.
- [0068] 단계 S181에서, AP(100)는 STA1(111)로부터 피드백 프레임을 수신한 후 피드백 폴 프레임(feedback poll frame)을 STA2(112)에게 전송한다. 피드백 폴 프레임은 수신 STA으로 하여금 피드백 프레임 전송을 요청하기 위한 프레임이다. 피드백 폴 프레임은 피드백 프레임 전송을 요청할 STA에게 유니캐스트 방식으로 전송된다. 단계 S172에서 피드백 폴 프레임을 수신한 STA2(112)는 AP(100)에게 피드백 프레임을 전송한다. 이어 단계 S182에서 AP(100)는 STA3(113)에게 피드백 폴 프레임을 전송하고, 단계 S173에서 STA3(113)은 피드백 폴 프레임에 대응하여 피드백 프레임을 AP(100)에게 전송한다.
- [0069] 무선랜 시스템에서 데이터를 전송하는 채널 대역폭은 다양할 수 있다. 다양한 대역폭에 대하여 채널을 추정하기 위하여 다양한 대역폭에 대한 채널 정보를 피드백할 수 있다. 차세대 무선랜 시스템에서는 20MHz, 40MHz, 80MHz, 연속적인 160MHz(contiguous 160Mhz) 및 불연속적인 160(80+80)MHz(noncontiguous 160Mhz) 대역폭을 지원한다. 따라서, 각 대역폭에 대한 채널 정보를 피드백 하므로 채널 피드백 정보가 많아질 수 있다.
- [0070] 본 발명에서 STA에 의해 수행되는 채널 추정에 따른 채널 정보는 STA이 AP로 전송하는 피드백 프레임에 포함되어 전송된다. 피드백 프레임은 채널 정보 필드 및 채널 정보 제어 필드를 포함한다. 표 2 및 표 3은 채널 정보 제어 필드 및 채널 정보 필드의 포맷을 나타낸다.
- [0071]

[Table 2]

서브 필드	설 명
Nc 인덱스	빔포밍 피드백 행렬의 열(column)의 수를 지시 Nc = 1 이면 0 Nc = 2 이면 1 ... Nc = 8 이면 7
Nr 인덱스	빔포밍 피드백 행렬의 행(row)의 수를 지시 Nr = 1 이면 0 Nr = 2 이면 1 ... Nr = 8 이면 7
채널 대역폭	추정된 채널의 대역폭 지시 20MHz 이면 0 40MHz 이면 1 80MHz 이면 2 160MHz 또는 80+80MHz 이면 3
그룹핑 (grouping, Ng)	그룹핑을 위한 캐리어(carrier)의 수 Ng=1 이면 0 Ng=2 이면 1 Ng=4 이면 2 (3은 예비로 설정)
코드북 (codebook) 정보	코드북 엔트리(entries)의 사이즈를 지시
MU-방식	SU-MIMO에 대한 빔포밍 피드백인지 MU-MIMO에 대한 빔포밍 피드백인지 여부를 지시
사운딩 시퀀스	피드백을 요청하는 NDPA에서부터 시퀀스 숫자

[0072]

[Table 3]

서브 필드	설 명
공간 스트림 1의 SNR(signal to noise ratio)	제1 공간스트림에 대한 수신자에서 서브캐리어들상의 평균 SNR
...	...
공간 스트림 Nc의 SNR	제Nc공간스트림에 대한 수신자에서 서브캐리어들상의 평균 SNR
빔포밍 피드백 행렬 (서브 캐리어 인덱스 0)	해당 서브캐리어에 대한 빔포밍 피드백 행렬의 각도의 오더
빔포밍 피드백 행렬 (서브 캐리어 인덱스 1)	해당 서브캐리어에 대한 빔포밍 피드백 행렬의 각도의 오더
...	...
빔포밍 피드백 행렬 (서브 캐리어 인덱스 Ns)	해당 서브캐리어에 대한 빔포밍 피드백 행렬의 각도의 오더

- [0073] 이하, MU-MIMO 전송의 성능을 향상시키기 위한 사용자 그룹핑(user grouping)에 대하여 설명한다.
- [0074] IEEE 802.11ac에서 MU-MIMO를 위한 그룹 ID로 6비트가 사용될 수 있다. 이 중 SU-MIMO로 사용되는 그룹 ID를 제외하면, MU-MIMO를 위한 그룹 ID는 최대 63개로 제한된다. 한편, 사용자의 수에 따라 가능한 그룹의 조합의 개수는

$$\sum_{k=2}^4 \binom{N}{k}$$

이 된다. 즉, 사용자의 개수가 증가함에 따라 필요한 그룹 ID의 개수는 기하급수적으로 증가하게 되고, 그룹 ID의 개수가 부족할 수 있다. AP는 MU-MIMO 스케줄링 시에 직교(orthogonal)한 프리코딩을 사용하는 사용자를 선택하여 스케줄링을 수행할 수 있다. 예를 들어 PU2RC(per user unitary rate control) 기법으로 스케줄링을 수행할 수 있다.

- [0075] MU-MIMO 전송을 위한 사용자 그룹핑 시에 다양한 요소들이 고려될 수 있다. 사용자 그룹핑 시에 고려되는 다양한 요소들은 STA의 용량(capacity), 간섭(interference), 경로 손실(pathloss) 등을 포함할 수 있다. 상기 다양한 요소들은 기준을 중심으로 정확히 추정되어야 하며, 사용자 그룹핑은 상기 다양한 요소들을 고려하여 정확도를 유지하면서 적은 오버헤드로 구현되어야 한다. 또한, 사용자 그룹핑은 정해진 표준 안에서 프로토콜적으로 구현될 수 있어야 한다.
- [0076] 한편, IEEE 802.11n의 채널 모델에 따르면, 사용자 그룹핑 시에 사용자 간의 위치가 가장 중요하게 고려되어야 하는 요소일 수 있다. IEEE 802.11n에서

MIMO 채널 모델은 상관 행렬(correlation matrix)의 함수로 표현할 수 있다. 수학식 1은 상관 행렬의 함수로 표현되는 채널 모델을 나타낸다.

[0077] <수학식 1>

$$[0078] \quad H_n = \sqrt{\eta} \sqrt{R_{rx}} W_n \sqrt{R_{tx}}$$

[0079] 수학식 1에서, η 는 선형 스케일(linear scale)의 경로 손실, R_{rx} 는 수신 안테나 상관 행렬, R_{tx} 는 전송 안테나 상관 행렬, W_n 은 평균이 0이고 분산이 1인 임의의 복소 가우시안(Gaussian) 행렬이다.

[0080] 도 6은 MIMO 채널 모델에서의 각도 파라미터(angle parameter)를 나타낸다.

[0081] 상관 행렬은 사용자의 위치에 영향을 크게 받을 수 있다. 특히 상관 행렬은 사용자 위치에 따라 결정되는 θ_{BS} 와 θ_{MS} 에 큰 영향을 받을 수 있다. 수학식 2는 전송 안테나 상관 행렬 및 수신 안테나 상관 행렬을 계산하는 식을 나타낸다.

[0082] <수학식 2>

$$[0083] \quad R_{tx} = [r_{BS}(i, j)]_{1 \leq i, j \leq N_{tx}}$$

$$R_{rx} = [r_{MS}(i, j)]_{1 \leq i, j \leq N_{rx}}$$

where

$$r_{BS}(p, q) = \frac{1}{20} \sum_{k=1}^{20} \exp \left\{ j \frac{2\pi d_{BS}}{\lambda} (p - q) \sin(AOD + \Delta_k AS_{BS} + \theta_{BS}) \right\}$$

$$r_{MS}(p, q) = \frac{1}{20} \sum_{k=1}^{20} \exp \left\{ j \frac{2\pi d_{MS}}{\lambda} (p - q) \sin(AOA + \Delta_k AS_{MS} + \theta_{MS}) \right\}$$

[0084] 수학식 2에서 N_{tx} 는 전송 안테나의 개수, N_{rx} 는 수신 안테나의 개수를 나타낸다.

[0085] 한편, MU-MIMO 용량 영역(capacity region)은 수학식 3으로 표현될 수 있다.

[0086] <수학식 3>

$$[0087] \quad \mathcal{C}_{MU-MIMO} = \bigcup_{\{R_k \geq 0, \text{Tr}(R_k) \leq P_k \quad \forall k\}} \left\{ (C_1, \dots, C_K): \sum_{k \in S} C_k \leq \log_2 \det \left(\mathbf{I} + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^* \mathbf{R}_k \mathbf{H}_k \right) \quad \forall S \subseteq \{1, \dots, K\} \right\}$$

[0088] 수학식 3에서 K 는 사용자의 최대 수, \mathbf{R}_k 는 k 번째 사용자 공분산(covariance) 행렬, \mathbf{H}_k 는 k 번째 사용자 채널 행렬을 나타낸다. \mathbf{H}_k^* 는 \mathbf{H}_k 의 공액 전치(conjugate transpose) 행렬을 나타낸다.

[0089] 또한, MU-MIMO 합 용량(sum capacity)의 경계(bound)는 동일 전력 할당(equal power allocation)과 프리코딩 행렬을 유니터리 행렬(unitary matrix)로 가정할 경우, 수학식 4와 같이 표현할 수 있다.

[0090] <수학식 4>

[0091]

$$\begin{aligned}
 C_{MU-MIMO_{SUM}} &\leq \log_2 \det \left(\mathbf{I} + \sum_{k=1}^K \mathbf{H}_k^* \mathbf{R}_k \mathbf{H}_k \right) \\
 &= \log_2 \det \left(\mathbf{I} + \frac{SNR}{N_t} \sum_{k=1}^K \mathbf{H}_k^* \mathbf{H}_k \right)
 \end{aligned}$$

[0092] 이때 $\mathbf{R}_k = SNR/N_t \bullet \mathbf{I}$ 이다.

[0093] 페이딩 채널의 성능 분석을 위하여 시간 평균(time-average)한 MU-MIMO 합 용량의 경계를 이용하여 평균적으로 높은 성능을 가진 사용자 조합을 선택할 수 있다. 수학적 식 5는 시간 평균한 MU-MIMO 합 용량의 경계를 나타낸다.

[0094] <수학적 식 5>

$$\bar{C}_{MU-MIMO_{SUM}} \leq \mathbf{E}_T \left[\log_2 \det \left(\mathbf{I} + \frac{SNR}{N_t} \sum_{k=1}^K \mathbf{H}_k^* \mathbf{H}_k \right) \right]$$

[0096] 수학적 식 5에서 \mathbf{E}_T 는 시간 T 동안의 평균값을 나타낸다.

[0097] 시간 평균한 MU-MIMO 합 용량을 이용하여 평균적으로 높은 성능을 가진 사용자 조합을 선택할 수 있으나, 시간 평균한 MU-MIMO 합 용량은 측정하기 어렵다. 우선, 모든 시간 단위에 대하여 모든 사용자 조합에 대한 정보가 필요하므로 많은 정보량이 요구되고, 이에 따라 계산량이 과도하게 많아질 수 있다. 또한, 같은 그룹 내의 사용자들은 같은 시간에 측정되는데, 현실적으로 각 사용자가 채널 사운딩을 수행하는 시점이 다를 수 있으므로 정확한 계산에 영향을 미칠 수 있다. 그리고 사용자들 간의 협력 없이 독립적으로 얻어진 정보를 이용할 수 없으므로 비효율적이고, 프로토콜 구현의 어려움도 존재할 수 있다.

[0098] 따라서, 본 발명은 보다 효율적으로 시간 평균한 MU-MIMO 합 용량의 경계를 구하는 방법을 제공한다. 본 발명은 쥘센 부등식(Jensens' inequality)를 이용하여 새로운 시간 평균한 MU-MIMO 합 용량의 경계를 구하는 방법을 제공한다. 새로운 시간 평균한 MU-MIMO 합 용량의 경계는 수학적 식 6과 같이 표현될 수 있다.

[0099] <수학적 식 6>

$$\begin{aligned}
 \bar{C}_{MU-MIMO_{SUM}} &\leq C_{MU-MIMO_{bound}} \\
 &= \log_2 \det \left(\mathbf{I} + \frac{SNR}{N_t} \sum_{k=1}^K \mathbf{E}_T \left[\mathbf{H}_k^* \mathbf{H}_k \right] \right)
 \end{aligned}$$

[0101] 수학적 식 6을 참조하면, 시간 평균한 MU-MIMO 합 용량의 경계를 계산하기 위하여 각 사용자의 $\mathbf{E}_T[\mathbf{H}_k^* \mathbf{H}_k]$ 의 정보가 필요하다. 이는 k번째 사용자의 시간 T에 대한 평균값이므로 장기적으로 측정된 채널 상태 정보일 수 있다. 이를 LCS(long-term channel state information)이라 할 수 있다. 수학적 식 6에 의하여 모든

사용자 조합에 대한 정보 없이 각 사용자 별로 독립적으로 정보를 얻어 시간 평균한 MU-MIMO 합 용량의 경계를 계산할 수 있다. 또한, 본 발명을 적용할 경우 보다 적은 프로토콜 오버헤드로 동작이 가능하며, 오버헤드 대비 상대적으로 높은 정확도를 얻을 수 있다.

[0102] 도 7은 제안된 채널 측정 방법이 구현되는 무선랜 시스템의 블록도이다.

[0103] 도 7을 참조하면, AP(210)는 장기적 채널 정보 획득 모듈(211), 순시 채널 정보 획득 모듈(212), 장기적 채널 정보 측정 모듈(213), 성능 지표 추정 모듈(214) 및 사용자 그룹 선정 모듈(215)을 포함한다. AP(210)는 장기 채널 측정 가능 사용자(220)로부터 장기 채널 정보를 획득하고 이를 기반으로 성능 지표를 추정하여 사용자 그룹을 선정할 수 있다. 또는, AP(210)는 장기 채널 측정 불가능 사용자(230)로부터 순시 채널 정보를 획득하고, 이를 기반으로 장기적 채널 정보를 측정하여 성능 지표를 추정하고, 사용자 그룹을 선정할 수 있다. 장기 채널 측정 가능 사용자(220)는 순시 채널 정보 측정 모듈(221), 장기 채널 정보 측정 모듈(222) 및 사용자 그룹 정보 획득 모듈(223)을 포함한다. 장기 채널 측정 가능 사용자(220)는 순시 채널 정보 및 장기 채널 정보를 측정하여 이를 AP(210)로 피드백하고, AP(210)로부터 사용자 그룹 정보를 획득한다. 장기 채널 측정 불가능 사용자(230)는 순시 채널 정보 측정 모듈(231) 및 사용자 그룹 정보 획득 모듈(232)을 포함한다. 장기 채널 측정 불가능 사용자(230)는 순시 채널 정보를 측정하여 이를 AP(210)로 피드백하고, AP(210)로부터 사용자 그룹 정보를 획득한다.

[0104] 이하, 각종 실시예를 통하여 본 발명에서 제안되는 채널 측정 방법에 대해서 설명하도록 한다. 먼저 장기 채널 측정이 가능한 사용자의 경우를 설명한다.

[0105] 도 8은 제안된 채널 측정 방법의 일 실시예를 나타낸다.

[0106] AP는 제1 STA(STA1)로 사운드 프레임을 전송하고(S300), 제2 STA(STA2)로 사운드 프레임을 전송한다(S301). STA1은 상기 사운드 프레임을 장시간 동안 추정하여 $E_T[H^*H]$ 를 생성하고(S310), 마찬가지로 STA2은 상기 사운드 프레임을 장시간 동안 추정하여 $E_T[H^*H]$ 를 생성한다(S311). STA1과 STA2는 생성한 $E_T[H^*H]$ 를 AP로 피드백한다(S320, S321). AP는 수신한 $E_T[H^*H]$ 를 기반으로 시간 평균한 MU-MIMO 합 용량 경계를 계산한다(S330). AP는 계산된 시간 평균한 MU-MIMO 합 용량 경계를 기반으로 결정된 사용자 그룹핑에 대한 정보를 그룹 ID 관리 프레임을 통해 STA1 및 STA2로 전송한다(S340, S341).

[0107] 또는, 각 사용자는 자신에게 전송된 사운드 프레임 외에 다른 사용자에게 전송되는 사운드 프레임을 엿듣고(overhear) 채널 추정에 이용할 수 있다. 이에 따라 더욱 빠르게 채널을 추정하여 AP에 피드백할 수 있다.

[0108] 도 9는 제안된 채널 측정 방법의 또 다른 실시예를 나타낸다.

[0109] AP는 STA1로 사운드 프레임을 전송하고(S400), STA2로 사운드 프레임을 전송한다(S401). STA1은 자신에게 전송되는 사운드 프레임 및 STA2로 전송되는 오버히어 사운드 프레임을 장시간 동안 추정하여 $E_T[H^*H]$ 를 생성하고(S410),

마찬가지로 STA2도 자신에게 전송되는 상기 사운딩 프레임 및 STA1로 전송되는 오버헤어 사운딩 프레임을 장시간 동안 추정하여 $\mathbf{E}_T[\mathbf{H}^*\mathbf{H}]$ 를 생성한다(S411). STA1과 STA2는 생성한 $\mathbf{E}_T[\mathbf{H}^*\mathbf{H}]$ 를 AP로 피드백한다(S420, S421). AP는 수신한 $\mathbf{E}_T[\mathbf{H}^*\mathbf{H}]$ 를 기반으로 시간 평균한 MU-MIMO 합 용량 경계를 계산한다(S430). AP는 계산된 시간 평균한 MU-MIMO 합 용량 경계를 기반으로 결정된 사용자 그룹핑에 대한 정보를 그룹 ID 관리 프레임을 통해 STA1 및 STA2로 전송한다(S440, S441).

[0110] 도 8 및 도 9와 같이 각 STA이 사운딩 프레임을 추정하여 $\mathbf{E}_T[\mathbf{H}^*\mathbf{H}]$ 를 생성하고 이를 AP에 전송하기 위하여 새로운 프레임과 프로토콜이 정의될 필요가 있다. $\mathbf{E}_T[\mathbf{H}^*\mathbf{H}]$ 는 허미시안(hermitian) 행렬이므로 상삼각(upper triangle) 행렬만 전송하면 된다. 이때 상삼각 행렬의 대각(diagonal) 부분은 실수이므로 하나의 값을 표현할 때 N_b 비트가 사용된다 가정하면, 총 $N_b \cdot N_t$ 비트가 필요하다. 또한, 복소수 부분은 총 $N_b \cdot (N_t - 1) / 2$ 의 원소가 있으므로 총 $N_b \cdot N_t \cdot (N_t - 1)$ 비트가 필요하다. 이에 따라 표 4와 같이 LCSi 보고 필드를 정의하고, 이를 VHT 액션 프레임을 통해 전송할 수 있다.

[0111] [Table 4]

필드	크기 (bits)
LCSI matrix for carrier -28	$N_b \cdot N_t \cdot (N_t - 1) + N_b \cdot N_t$
...	...
LCSI matrix for carrier 28	$N_b \cdot N_t \cdot (N_t - 1) + N_b \cdot N_t$

[0112] 이제 장기 채널 측정이 불가능한 사용자의 경우를 설명한다.

[0113] 도 10은 제안된 채널 측정 방법의 또 다른 실시예를 나타낸다.

[0114] AP는 STA1로 BF 피드백 요청을 전송하고(S500), STA2로 빔포밍(BF; beamforming) 피드백 요청을 전송한다(S501). STA1은 상기 BF 피드백 요청에 대한 응답으로 BF 피드백 프레임을 AP로 전송하고(S510), 마찬가지로 STA2도 상기 BF 피드백 요청에 대한 응답으로 BF 피드백 프레임을 AP로 전송한다(S511). BF 피드백 프레임은 순시 채널 정보라 할 수 있다. AP와 STA들은 BF 피드백 요청과 BF 피드백 응답을 주기적으로 교환한다. AP는 각 STA로부터 수신한 BF 피드백 프레임을 기반으로 $\mathbf{E}_T[\mathbf{H}^*\mathbf{H}]$ 를 생성한다(S520). AP는 $\mathbf{E}_T[\mathbf{H}^*\mathbf{H}]$ 를 기반으로 시간 평균한 MU-MIMO 합 용량 경계를 계산한다(S530). AP는 계산된 시간 평균한 MU-MIMO 합 용량 경계를 기반으로 결정된 사용자 그룹핑에 대한 정보를 그룹 ID 관리 프레임을 통해 STA1 및 STA2로 전송한다(S540, S541).

[0115] 또는, AP는 채널 대칭(symmetry)를 가정하고 상향링크(UL; uplink) 사운딩 프레임을 통해 $\mathbf{E}_T[\mathbf{H}^*\mathbf{H}]$ 를 얻을 수 있다.

[0116] 도 11은 제안된 채널 측정 방법의 또 다른 실시예를 나타낸다.

- [0117] STA1는 AP로 UL 사운드 프레임 전송하고(S600), AP는 수신한 UL 사운드 프레임을 장시간 동안 추정하여 $E_r[H^*H]$ 를 생성한다(S610). AP는 수신한 $E_r[H^*H]$ 를 기반으로 시간 평균한 MU-MIMO 합 용량 경계를 계산한다(S620). AP는 계산된 시간 평균한 MU-MIMO 합 용량 경계를 기반으로 결정된 사용자 그룹핑에 대한 정보를 그룹 ID 관리 프레임을 통해 STA1로 전송한다(S630).
- [0118] 한편, MU-MIMO에 할당되는 그룹 ID의 최대 개수가 63개이므로, 사용자의 수가 많아짐에 따라 그룹 ID를 관리하는 방법이 요구된다. 그룹 ID 관리 방법으로 그룹 오버로드(overload of groups) 방법과 그룹 선택(group selection) 방법의 2가지 방법이 존재할 수 있다. 그룹 오버로드 방법은 다중 사용자 그룹을 하나의 그룹 ID에 할당함으로써 63개 이상의 사용자 그룹의 조합을 관리하는 방법이다. 그룹 선택 방법은 최적의 63개의 사용자 그룹을 선택하여 관리하는 방법이다. 그룹 오버로드 방법은 사용자의 수가 늘어남에 따라 모든 그룹 ID에 대부분의 사용자가 포함될 가능성이 높으며, 이에 따라 대부분의 사용자가 수신하는 데이터 스트림을 디코딩해야 하므로 효율성 측면에서 적합하지 않다.
- [0119] 도 12는 그룹 오버로드 방법과 그룹 선택 방법의 성능을 비교하는 시뮬레이션 결과를 나타낸다.
- [0120] 1개의 AP가 4개의 전송 안테나를 가지고, 10개의 사용자가 2개의 전송 안테나를 가지는 시뮬레이션 환경을 가정한다. 도 12를 참조하면, 그룹 선택 방법은 평균적으로 단위 시간에 3.2명의 사용자가 데이터 스트림을 수신하고, 그룹 오버로드 방법은 평균적으로 단위 시간에 8.57명의 사용자가 데이터 스트림을 수신한다. 즉, 효율성 측면에서 그룹 선택 방법이 보다 효율적임을 알 수 있다. 또한, 상대적으로 전송 수율이 높은 사용자 그룹의 조합을 선택하므로, 네트워크 성능 측면에서도 더 높은 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다.
- [0121] 도 13은 본 발명의 실시예가 구현되는 무선 장치의 블록도이다. 무선 장치는 AP 또는 STA일 수 있다.
- [0122] 무선 장치(900)는 프로세서(910), 메모리(920) 및 송수신부(930; radio frequency unit)를 포함한다. 프로세서(910)는 제안된 기능, 과정 및/또는 방법을 구현한다. 무선 인터페이스 프로토콜의 계층들은 프로세서(910)에 의해 구현될 수 있다. 메모리(920)는 프로세서(910)와 연결되어, 프로세서(910)를 구동하기 위한 다양한 정보를 저장한다. 송수신부(930)는 프로세서(910)와 연결되어, 무선 신호를 전송 및/또는 수신한다.
- [0123] 프로세서(910)는 ASIC(application-specific integrated circuit), 다른 칩셋, 논리 회로 및/또는 데이터 처리 장치를 포함할 수 있다. 메모리(920)는 ROM(read-only memory), RAM(random access memory), 플래쉬 메모리, 메모리 카드, 저장 매체 및/또는 다른 저장 장치를 포함할 수 있다. 송수신부(930)는 무선 신호를 처리하기 위한 베이스밴드 회로를 포함할 수 있다. 실시예가 소프트웨어로 구현될 때, 상술한 기법은 상술한 기능을 수행하는 모듈(과정, 기능 등)로 구현될 수 있다. 모듈은 메모리(920)에 저장되고, 프로세서(910)에 의해 실행될 수 있다.

메모리(920)는 프로세서(910) 내부 또는 외부에 있을 수 있고, 잘 알려진 다양한 수단으로 프로세서(910)와 연결될 수 있다.

[0124] 상술한 예시적인 시스템에서, 방법들은 일련의 단계 또는 블록으로써 순서도를 기초로 설명되고 있지만, 본 발명은 단계들의 순서에 한정되는 것은 아니며, 어떤 단계는 상술한 바와 다른 단계와 다른 순서로 또는 동시에 발생할 수 있다. 또한, 당업자라면 순서도에 나타낸 단계들이 배타적이지 않고, 다른 단계가 포함되거나 순서도의 하나 또는 그 이상의 단계가 본 발명의 범위에 영향을 미치지 않고 삭제될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

[0125] 상술한 실시예들은 다양한 양태의 예시들을 포함한다. 다양한 양태들을 나타내기 위한 모든 가능한 조합을 기술할 수는 없지만, 해당 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자는 다른 조합이 가능함을 인식할 수 있을 것이다. 따라서, 본 발명은 이하의 특허청구범위 내에 속하는 모든 다른 교체, 수정 및 변경을 포함한다고 할 것이다.

청구범위

- [청구항 1] 무선랜 시스템에서 스테이션(STA; station)에 의한 채널 측정 방법에 있어서,
 접속 지점(AP; access point)으로부터 복수의 사운드링 프레임(sounding frame)들을 수신하고,
 상기 복수의 사운드링 프레임들을 추정하여 장기 채널 상태 정보(LCSI; long-term channel state information)을 생성하고,
 상기 생성된 장기 채널 상태 정보를 상기 AP로 피드백 하고,
 상기 장기 채널 상태 정보를 기반으로 결정된 그룹 ID(identifier)에 관한 정보를 포함하는 그룹 ID 관리 프레임(group ID management frame)을 상기 AP로부터 수신하는 것을 포함하는 채널 측정 방법.
- [청구항 2] 제 1 항에 있어서,
 상기 장기 채널 상태 정보는 수학적식 $\mathbf{E}_T[\mathbf{H}_k^* \mathbf{H}_k]$ 에 의하여 계산되는 것을 특징으로 하는 채널 측정 방법. 이때 \mathbf{E}_T 는 시간 T에 대한 평균을 나타내며, \mathbf{H}_k 는 k번째 사용자의 채널 행렬(channel matrix), \mathbf{H}_k^* 는 \mathbf{H}_k 의 공액 전치(conjugate transpose) 행렬을 나타낸다.
- [청구항 3] 제 1 항에 있어서,
 상기 복수의 사운드링 프레임들은 상기 스테이션으로 전송되는 사운드링 프레임들을 포함하는 것을 특징으로 하는 채널 측정 방법.
- [청구항 4] 제 1 항에 있어서,
 상기 복수의 사운드링 프레임들은 상기 스테이션으로 전송되는 사운드링 프레임들 및 상기 스테이션과 다른 제2 스테이션으로 전송되는 오버히어 사운드링 프레임(overhear sounding frame)들을 포함하는 것을 특징으로 하는 채널 측정 방법.
- [청구항 5] 제 1 항에 있어서,
 상기 장기 채널 상태 정보는 VHT(very high throughput) 액션 프레임(action frame) 내의 LCSI 보고 필드를 통해 전송되는 것을 특징으로 하는 채널 측정 방법.
- [청구항 6] 무선랜 시스템에서 접속 지점(AP; access point)에 의한 그룹 ID(identifier) 관리 방법에 있어서,
 복수의 스테이션(STA; station)들로 복수의 사운드링 프레임(sounding frame)들을 전송하고,
 상기 각 스테이션에서 생성된 장기 채널 상태 정보(LCSI; long-term channel state information)를 수신하고,
 상기 수신한 장기 채널 상태 정보를 기반으로 시간 평균한(time-averaged) MU(multi user)-MIMO(multiple-input multiple-output) 합 용량(sum capacity)의 경계(bound)를 계산하고,

상기 계산된 시간 평균한 MU-MIMO 합 용량의 경계를 기반으로 결정된 그룹 ID에 관한 정보를 포함하는 그룹 ID 관리 프레임(group ID management frame)을 상기 복수의 스테이션들로 전송하는 것을 포함하는 그룹 ID 관리 방법.

[청구항 7]

제 6 항에 있어서,

상기 장기 채널 상태 정보는 수학적식 $\mathbf{E}_T[\mathbf{H}_k^* \mathbf{H}_k]$ 에 의하여 계산되는 것을 특징으로 하는 그룹 ID 관리 방법. 이때 \mathbf{E}_T 는 시간 T에 대한 평균을 나타내며, \mathbf{H}_k 는 k번째 사용자의 채널 행렬(channel matrix), \mathbf{H}_k^* 는 \mathbf{H}_k 의 공액 전치(conjugate transpose) 행렬을 나타낸다.

[청구항 8]

제 6 항에 있어서,

상기 시간 평균한 MU-MIMO 합 용량의 경계는 아래의 수학적식에 의하여 계산되는 것을 특징으로 하는 그룹 ID 관리 방법.

$$\begin{aligned} \overline{C}_{MU-MIMO_{SUM}} &\leq C_{MU-MIMO_{bound}} \\ &= \log_2 \det \left(\mathbf{I} + \frac{SNR}{N_t} \sum_{k=1}^K \mathbf{E}_T \left[\mathbf{H}_k^* \mathbf{H}_k \right] \right) \end{aligned}$$

이때 \mathbf{I} 는 간섭 행렬, SNR(signal to noise ratio)는 신호 대 잡음비, K 는 총 사용자의 수를 나타낸다.

[청구항 9]

제 6 항에 있어서,

상기 장기 채널 상태 정보는 VHT(very high throughput) 액션 프레임(action frame) 내의 LCSi 보고 필드를 통해 전송되는 것을 특징으로 하는 그룹 ID 관리 방법.

[청구항 10]

무선랜 시스템에서 접속 지점(AP; access point)에 의한 그룹 ID(identifier) 관리 방법에 있어서,

복수의 스테이션(STA; station)들로 빔포밍(BF; beamforming) 피드백 요청을 전송하고,

상기 복수의 스테이션들로부터 상기 BF 피드백 요청에 대한 응답인 BF 피드백 프레임을 수신하고,

상기 수신한 BF 피드백 프레임을 기반으로 장기 채널 상태 정보(LCSI; long-term channel state information)를 생성하고,

상기 생성된 장기 채널 상태 정보를 기반으로 시간

평균한(time-averaged) MU(multi user)-MIMO(multiple-input

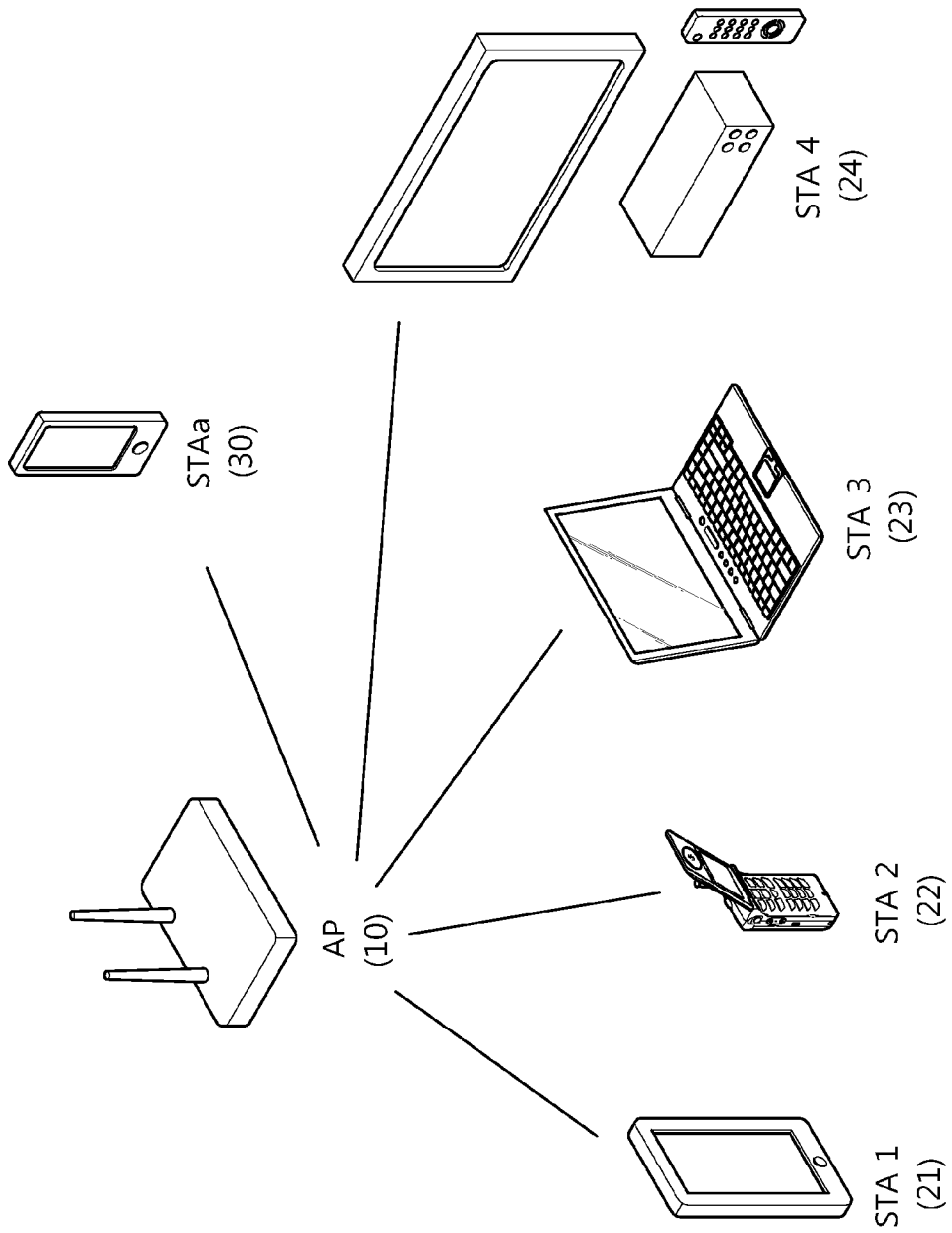
multiple-output) 합 용량(sum capacity)의 경계(bound)를 계산하고,

상기 계산된 시간 평균한 MU-MIMO 합 용량의 경계를 기반으로 결정된 그룹 ID에 관한 정보를 포함하는 그룹 ID 관리

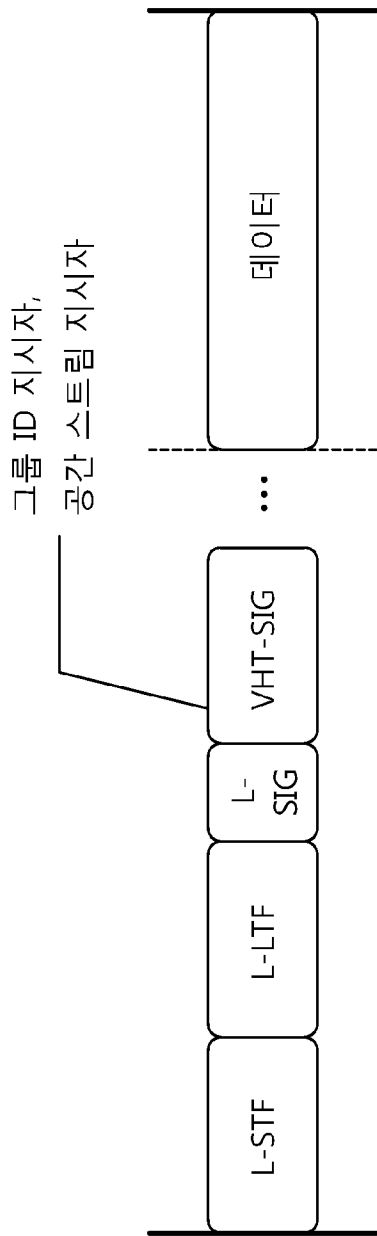
프레임(group ID management frame)을 상기 복수의 스테이션들로 전송하는 것을 포함하는 그룹 ID 관리 방법.

- [청구항 11] 제 10 항에 있어서,
 상기 장기 채널 상태 정보는 수학적식 $\mathbf{E}_T[\mathbf{H}_k^* \mathbf{H}_k]$ 에 의하여 계산되는 것을 특징으로 하는 그룹 ID 관리 방법. 이때 \mathbf{E}_T 는 시간 T에 대한 평균을 나타내며, \mathbf{H}_k 는 k번째 사용자의 채널 행렬(channel matrix), \mathbf{H}_k^* 는 \mathbf{H}_k 의 공액 전치(conjugate transpose) 행렬을 나타낸다.
- [청구항 12] 제 10 항에 있어서,
 상기 시간 평균한 MU-MIMO 합 용량의 경계는 아래의 수학적식에 의하여 계산되는 것을 특징으로 하는 그룹 ID 관리 방법.
- $$\begin{aligned} \overline{C}_{MU-MIMO_{SUM}} &\leq C_{MU-MIMO_{bound}} \\ &= \log_2 \det \left(\mathbf{I} + \frac{SNR}{N_t} \sum_{k=1}^K \mathbf{E}_T \left[\mathbf{H}_k^* \mathbf{H}_k \right] \right) \end{aligned}$$
- 이때 \mathbf{I} 는 간섭 행렬, SNR(signal to noise ratio)는 신호 대 잡음비, K 는 총 사용자의 수를 나타낸다.
- [청구항 13] 제 10 항에 있어서,
 상기 BF 피드백 요청과 상기 BF 피드백 프레임은 주기적으로 전송되고 수신되는 것을 특징으로 하는 그룹 ID 관리 방법.

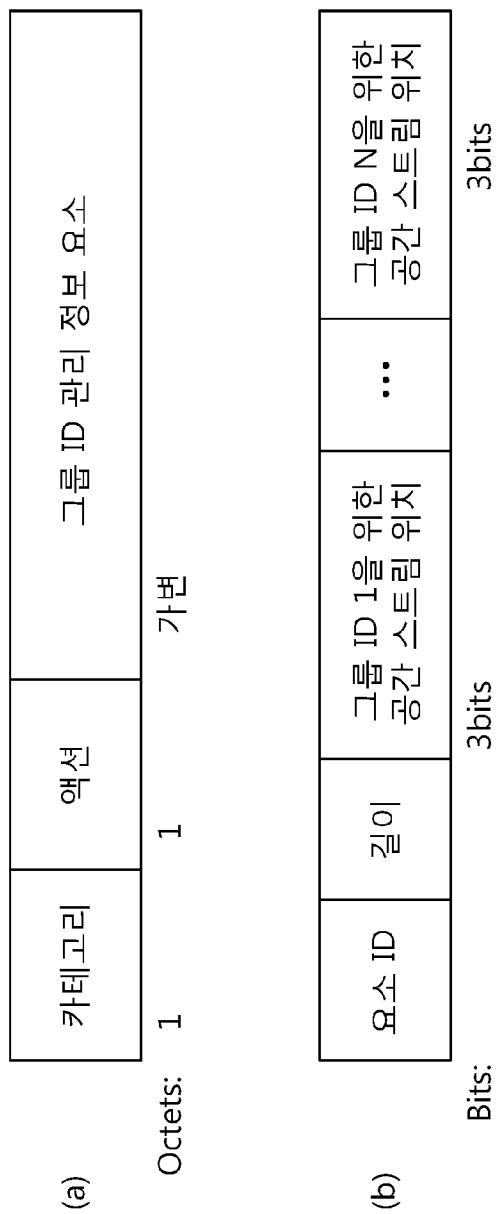
[Fig. 1]



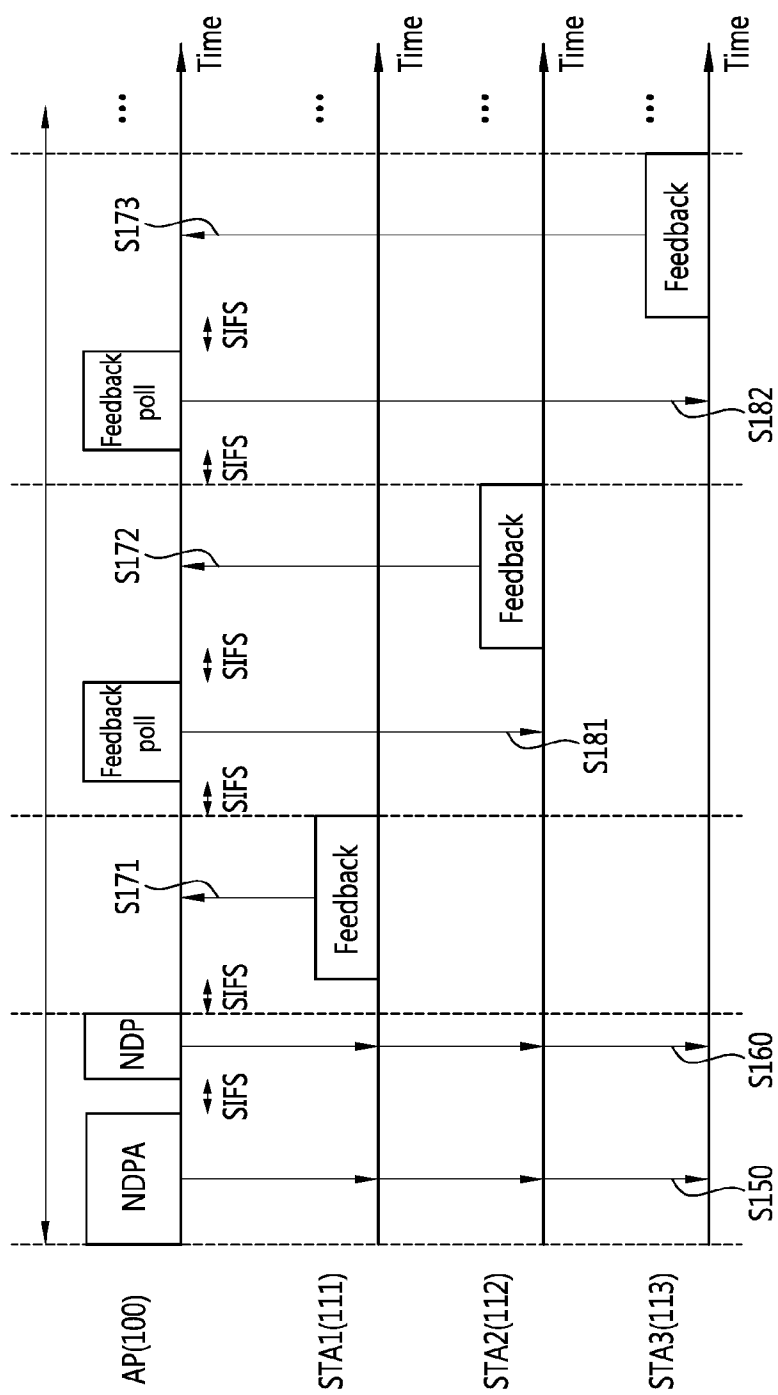
[Fig. 3]



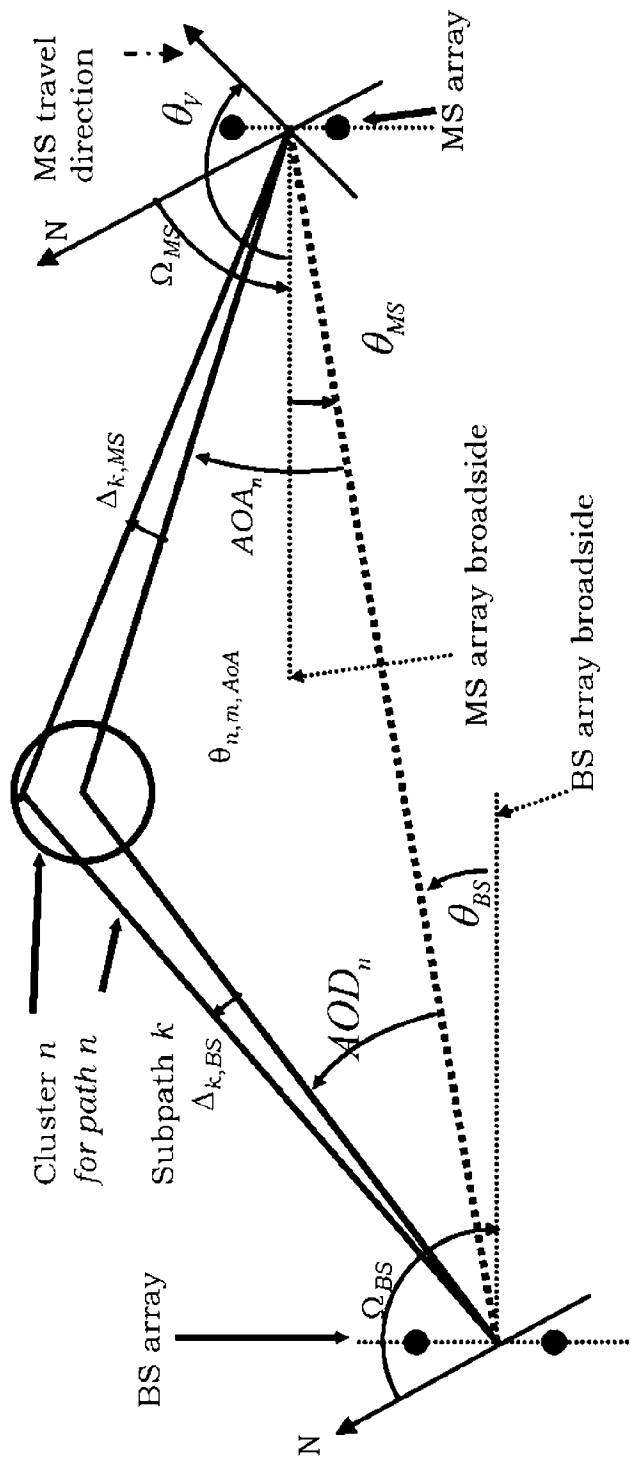
[Fig. 4]



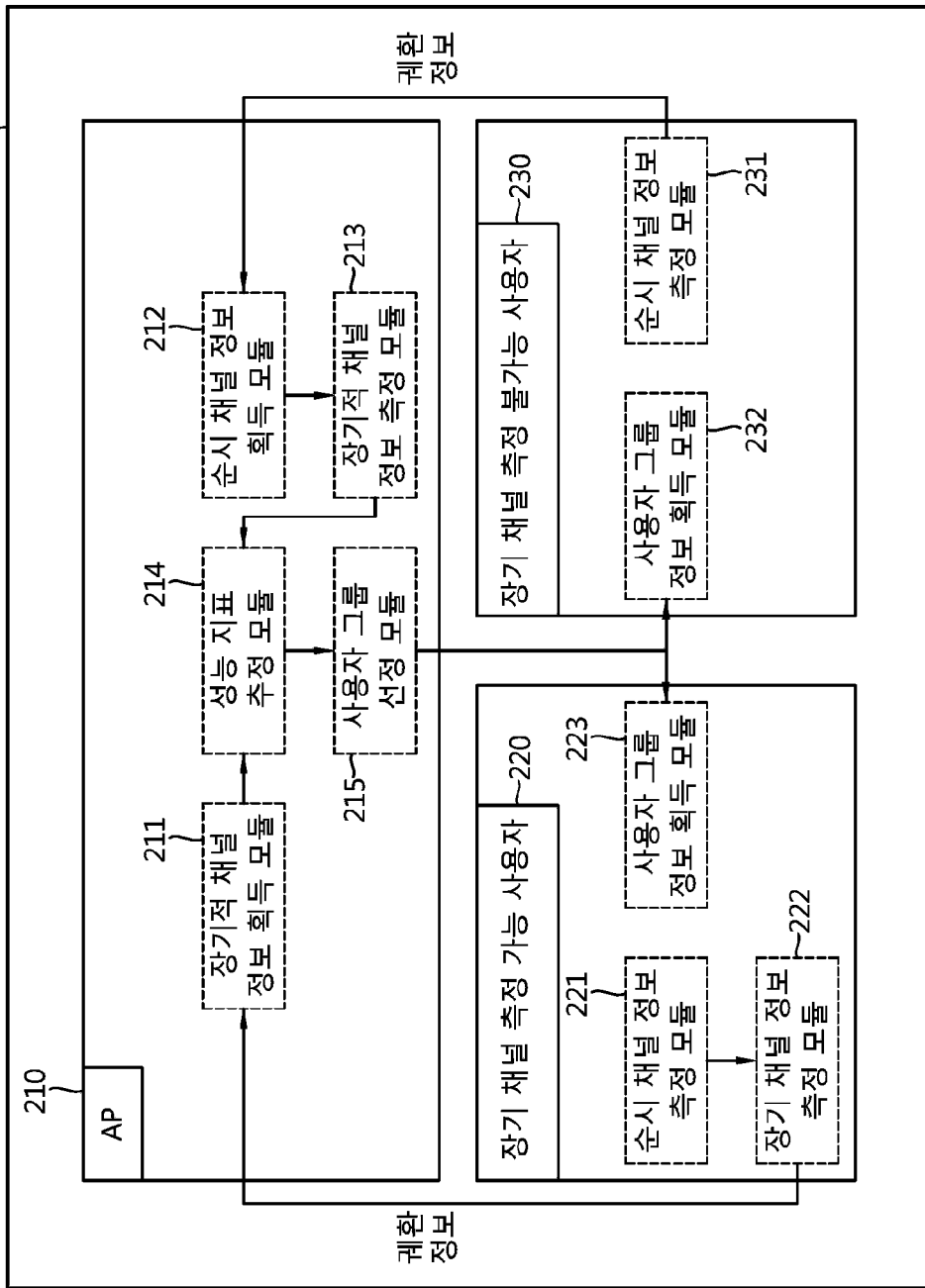
[Fig. 5]



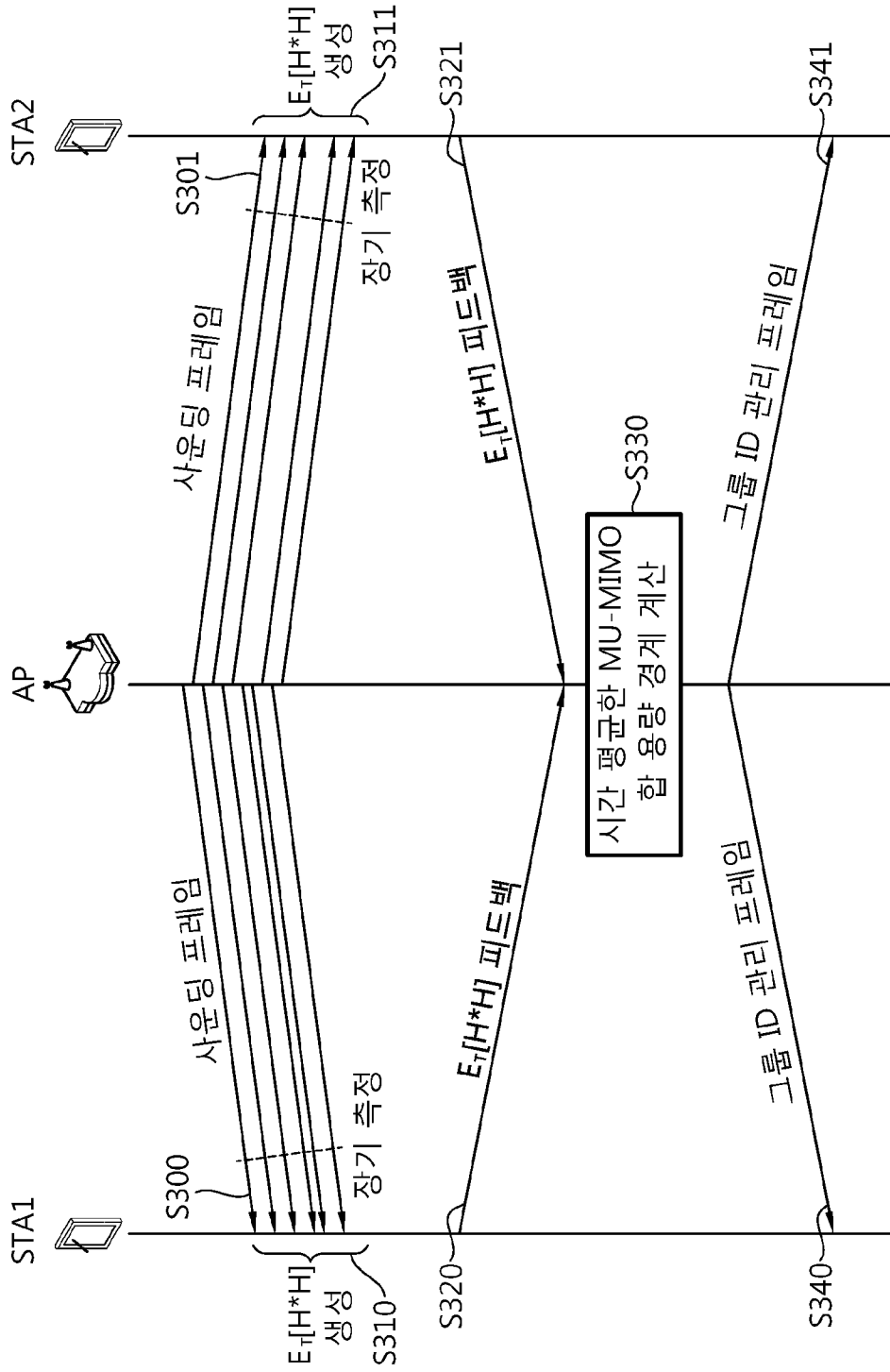
[Fig. 6]



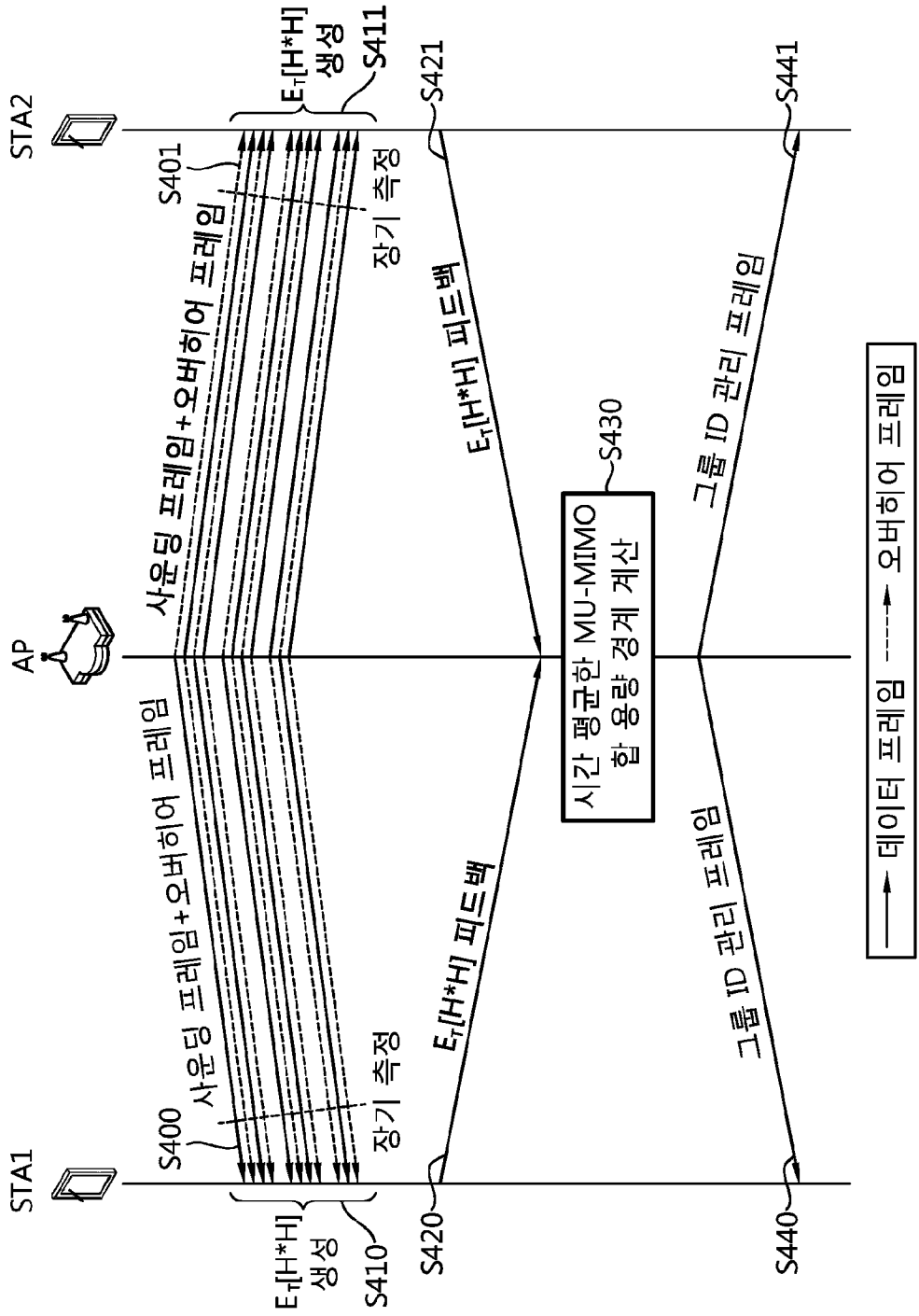
[Fig. 7]



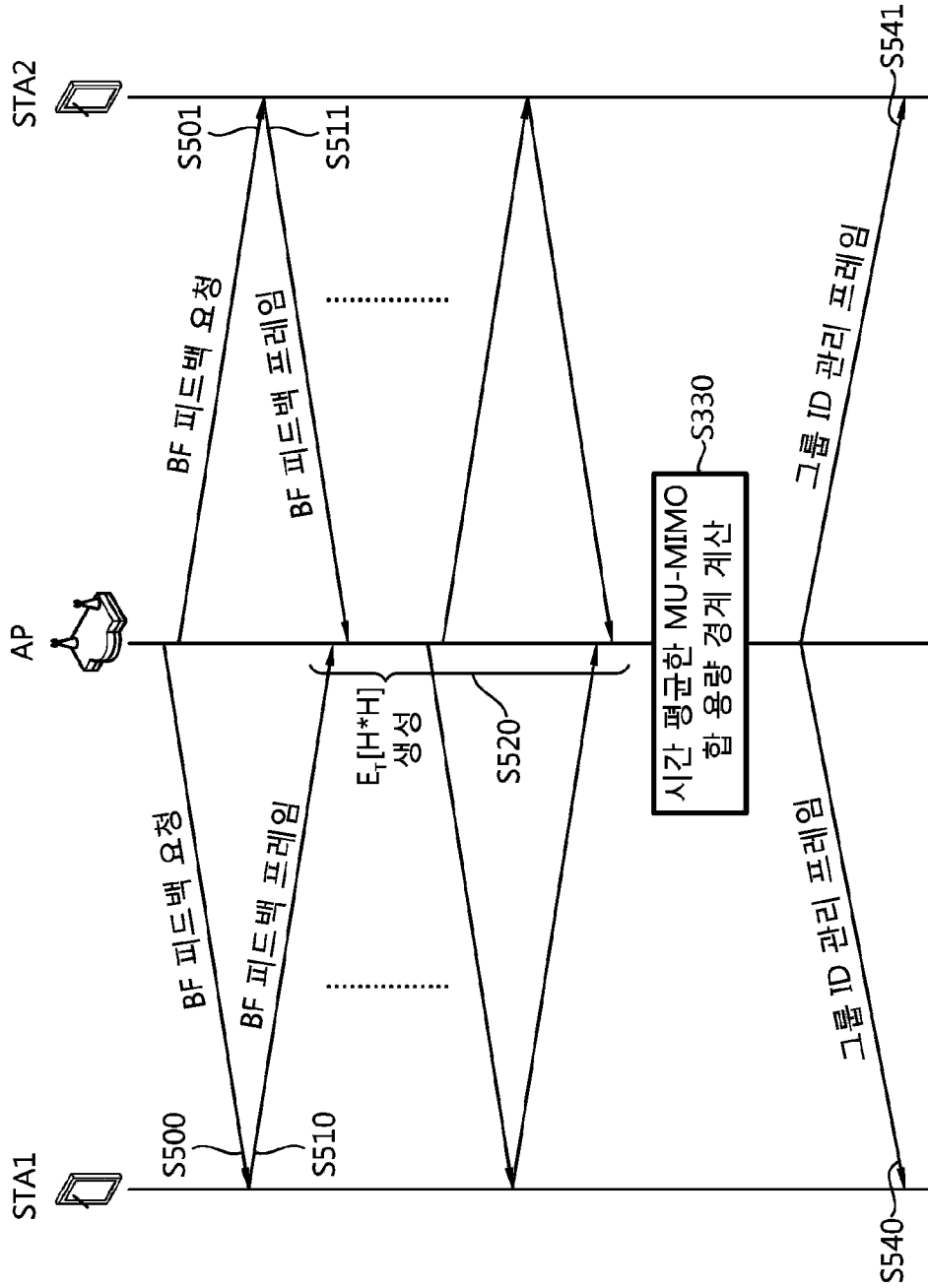
[Fig. 8]



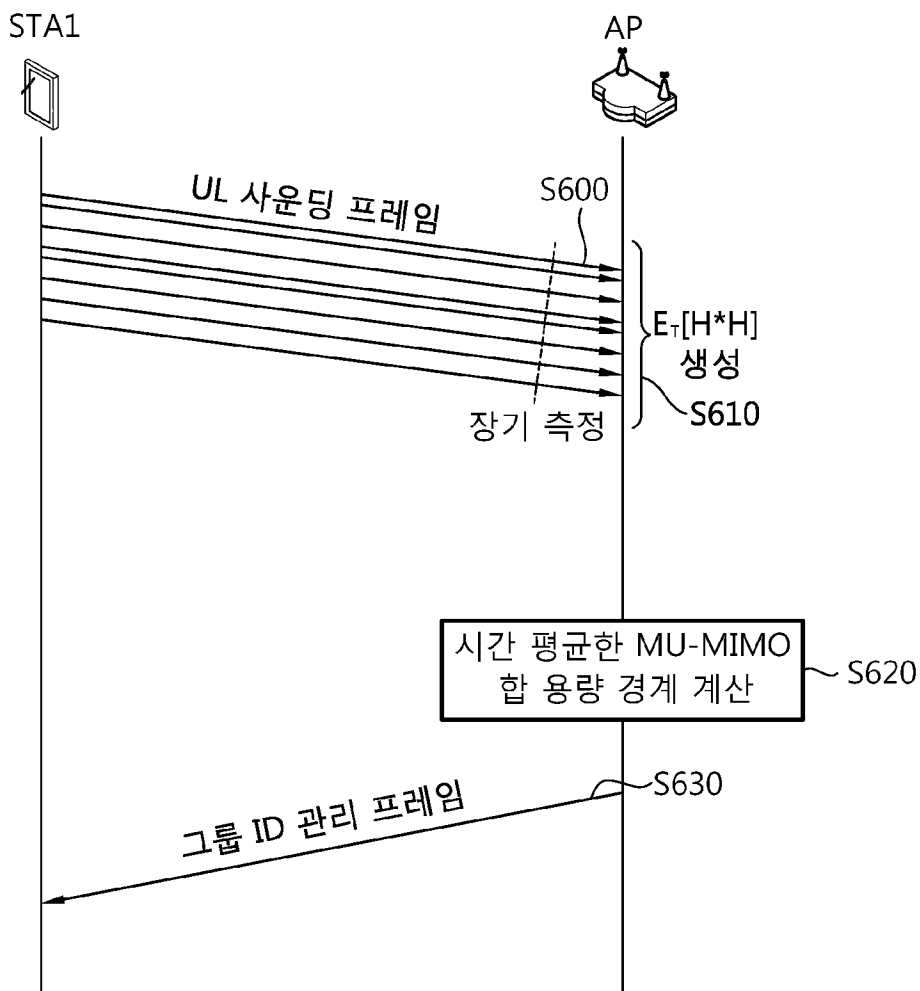
[Fig. 9]



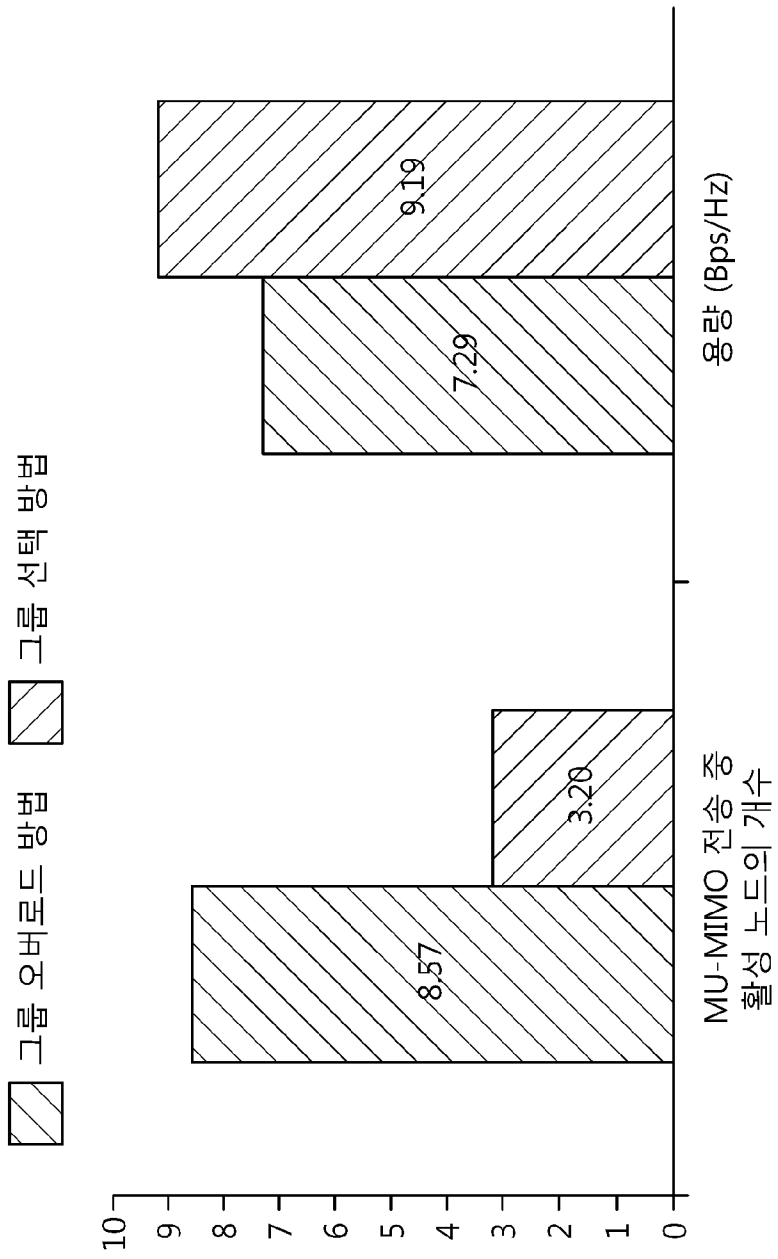
[Fig. 10]



[Fig. 11]



[Fig. 12]



[Fig. 13]

