

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국



PCT



(10) 국제공개번호
WO 2012/015279 A2

(43) 국제공개일
2012년 2월 2일 (02.02.2012)

- (51) 국제특허분류:
H04B 7/06 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2011/005629
- (22) 국제출원일: 2011년 7월 29일 (29.07.2011)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2010-0073236 2010년 7월 29일 (29.07.2010) KR
- (71) 출원인 (US 을(를) 제외한 모든 지정국에 대하여): **삼성전자주식회사 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.)** [KR/KR]; 경기도 수원시 영통구 매탄동 416, 443-742 Gyeonggi-do (KR). **서울대학교산학협력단 (SNU R&DB FOUNDATION)** [KR/KR]; 서울시 관악구 신림동 산 56-1, 151-015 Seoul (KR).
- (72) 발명자: **김**
- (75) 발명자/출원인 (US 에 한하여): **이용환 (LEE, Yong-Hwan)** [KR/KR]; 서울시 서초구 잠원동 신반포 20 차 아파트 339 동 807 호, 137-797 Seoul (KR). **이승환**

(LEE, Seung-Hwan) [KR/KR]; 경기도 수원시 장안구 조원동 한일타운 118 동 604 호, 440-709 Gyeonggi-do (KR). **김형신 (KIM, Hyung-Sin)** [KR/KR]; 서울시 양천구 목 1 동 현대 하이페리온 2 201 동 401 호, 158-051 Seoul (KR).

(74) 대리인: **권혁록 (KWON, Hyuk-Rok)** 등; 서울시 종로구 신문로 2 가 1-96 서광빌딩 2 층, 110-062 Seoul (KR).

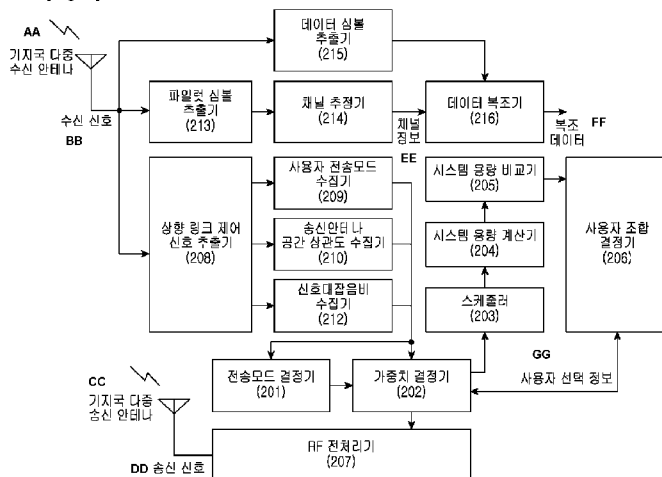
(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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.

[다음 쪽 계속]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR SEND BEAMFORMING AND MULTIPLE USER SCHEDULING FOR MULTIPLE SECTOR COOPERATIVE TRANSMISSION IN A MULTIPLE ANTENNA SYSTEM

(54) 발명의 명칭: 다중안테나 시스템에서 다중 섹터 협력 전송을 위한 송신 빔포밍과 다중 사용자 스케줄링 방법 및 장치

[Fig. 2]



AA ... Base station multiple receive antenna
BB ... Receive signal
CC ... Base station multiple send antenna
DD ... Transmit signal
EE ... Send information
FF ... Demodulation data
GG ... User selection information

213 ... Pilot symbol extractor
208 ... Uplink control signal extractor
201 ... Transmission mode determining device
215 ... Data symbol extractor
214 ... Channel estimator
209 ... User transmission mode collector
210 ... Send antenna space correlation collector
212 ... Signal-to-noise ratio collector
202 ... Weighted value determining device
207 ... RF pre-processor
216 ... Data demodulator
205 ... System capacity comparing device
204 ... System capacity calculator
203 ... Scheduler
206 ... User combination determining device

(57) Abstract: A send beamforming method for multiple sector cooperative transmission in a multiple antenna system makes it possible to improve the overall system capacity and comprises the steps of: determining the transmission mode of sector edge users in accordance with the channel environment; determining a multiple sector cooperative send beam which is able to support multiple users, based on the user transmission mode; determining a user combination for multiple sector cooperative beamforming, by referring to the determined multiple sector cooperative send beam; and carrying out sector cooperative send beamforming, using the determined user combination.

(57) 요약서: 다중안테나 시스템에서 다중 섹터 협력 전송을 위한 송신 빔포밍 방법에 있어서, 채널 환경에 따라 섹터 경계 사용자들의 전송모드를 결정하는 과정과, 상기 사용자들의 전송모드를 기반으로, 다중 사용자들을 지원할 수 있는 다중 섹터 협력 송신 빔을 결정하는 과정과, 상기 결정된 다중 섹터 협력 송신 빔을 고려하여, 다중 섹터 협력 빔포밍을 위한 사용자 조합을 결정하는 과정과, 상기 결정된 사용자 조합으로, 섹터 협력 송신 빔포밍을 수행하는 과정을 포함하여, 전체 시스템 용량을 향상시킬 수 있다.

WO 2012/015279 A2



(84) **지정국** (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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: 다중안테나 시스템에서 다중 섹터 협력 전송을 위한 송신 빔포밍과 다중 사용자 스케줄링 방법 및 장치

기술분야

- [1] 본 발명은 다중안테나 시스템에 관한 것으로, 특히 다중 안테나를 사용하는 무선통신 시스템에서 다중 섹터 협력 전송을 위한 송신 빔포밍과 다중 사용자 스케줄링 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 다중 섹터 무선통신 시스템에서 섹터 경계의 하향링크 시스템 성능은 인접 섹터 간섭에 의해 심각하게 저하되므로 인접 섹터 간섭을 제거하는 것이 필수적이다. 기지국은 섹터 경계 사용자의 순시 또는 평균 채널 정보를 기반으로 하는, 다중 섹터 협력 정합 빔포밍(multi-sector cooperative coherent beamforming) 또는 다중 섹터 협력 고유 빔포밍(multi-sector cooperative eigen beamforming) 기법을 통해 인접 섹터 간섭을 제거함으로써 성능 이득을 얻을 수 있다. 하지만, 상기 다중 섹터 협력 정합 빔포밍이나 상기 섹터 협력 고유 빔포밍과 같은 단일 빔 형성 기법은 두 섹터가 협력하여 다중 섹터 내에서 오직 한 명의 사용자만을 서비스하기 때문에 섹터 당 지원 가능한 사용자 수가 절반으로 감소하여 전체 시스템 성능이 저하되는 단점이 있다.
- [3] 따라서 섹터 내 여러 명의 사용자를 동시에 지원할 수 있는 영강압(Zero-Forcing: 이하 ZF) 또는 최소자승오차(Minimum Mean Square Error: 이하 MMSE) 기반의 다중 사용자 다중 섹터 협력 빔포밍 기법이 최근 많이 고려되고 있다. 상기 ZF 혹은 상기 MMSE는 다중 섹터 협력 전송을 통해 섹터 간섭 영향은 줄이면서도 공간 다중화(spatial multiplexing) 이득을 얻음으로써 기존 다중 섹터 협력 정합 빔포밍이나 고유 빔포밍이 갖는 문제점을 해결할 수 있다는 장점이 있다. 하지만, 상기 ZF 또는 상기 MMSE 기반 섹터 협력 빔포밍 기법은 오직 순시 채널 정보를 기반으로 하고 있기 때문에, 사용자의 속도 및 사운딩 오차로 인한 채널 불일치 문제(channel mismatch problem)에 상당히 취약하다는 단점이 있다. 따라서 사용자의 속도 등 채널 환경이 서로 상이한 섹터 경계 사용자들에게 이 기법을 일률적으로 적용할 경우 고속 사용자들이 빔포밍 이득을 얻지 못할 뿐만 아니라 전송 지연 또는 채널 추정 오차에 비례하여 증가되는 다중 빔 잔류 간섭(multi-beam residual interference)으로 인해 다중 사용자 공간 다중화 이득이 감소한다. 이 때문에 채널 불일치 문제로 인한 성능 저하를 고려하지 않고 다중 사용자 다중 섹터 협력 전송을 위한 스케줄링을 수행할 경우 시스템 용량이 최대화되는 최적 사용자 수 및 사용자 조합을 선택할 수 없게 되고 이로 인해 다중 섹터 협력 전송 성능이 상당히 저하되게 된다.
- [4] 따라서, 다중안테나 시스템에서 사용자의 속도 및 사운딩 오차로 인한 채널

불일치 문제(channel mismatch problem)로 인한 시스템 성능 저하를 줄이기 위한 다중 섹터 협력 전송 방법 및 장치가 필요하다. 또한, 다중안테나 시스템에서 시스템 용량을 최대화하는 다중 사용자 다중 섹터 협력 전송을 위한 스케줄링 방법 및 장치가 필요하다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [5] 본 발명의 목적은 다중안테나 시스템에서 다중 섹터 협력 전송을 위한 송신 빔포밍과 다중 사용자 스케줄링 방법 및 장치를 제공함에 있다.
- [6] 본 발명의 다른 목적은 다중안테나 시스템에서 사용자의 속도 및 사운드 오차로 인한 채널 불일치 문제(channel mismatch problem)로 인한 시스템 성능 저하를 줄이기 위한 다중 섹터 협력 전송 방법 및 장치를 제공함에 있다.
- [7] 본 발명의 또 다른 목적은 다중안테나 시스템에서 시스템 용량을 최대화하는 다중 사용자 다중 섹터 협력 전송을 위한 스케줄링 방법 및 장치가 필요하다.

과제 해결 수단

- [8] 상기한 목적들을 달성하기 위한 본 발명의 제 1 견지에 따르면, 다중안테나 시스템에서 다중 섹터 협력 전송을 위한 송신 빔포밍 방법에 있어서, 채널 환경에 따라 섹터 경계 사용자들의 전송모드를 결정하는 과정과, 상기 사용자의 전송모드를 기반으로, 다중 사용자들을 지원할 수 있는 다중 섹터 협력 송신 빔을 결정하는 과정과, 상기 결정된 다중 섹터 협력 송신 빔을 고려하여, 다중 섹터 협력 빔포밍을 위한 사용자 조합을 결정하는 과정과, 상기 결정된 사용자 조합으로, 섹터 협력 송신 빔포밍을 수행하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [9] 상기한 목적들을 달성하기 위한 본 발명의 제 2 견지에 따르면, 다중안테나 시스템에서 다중 섹터 협력 전송을 위한 송신 빔포밍 장치에 있어서, 채널 환경에 따라 섹터 경계 사용자들의 전송모드를 결정하는 전송모드 결정기와, 상기 사용자의 전송모드를 기반으로, 다중 사용자들을 지원할 수 있는 다중 섹터 협력 송신 빔을 결정하는 가중치 결정기와, 상기 결정된 다중 섹터 협력 송신 빔을 고려하여, 다중 섹터 협력 빔포밍을 위한 사용자 조합을 결정하는 사용자 조합 결정기와, 상기 결정된 사용자 조합으로, 섹터 협력 송신 빔포밍을 수행하는 RF 전처리를 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [10] 상술한 바와 같이, 본 발명은 이러한 특성을 이용하여 섹터 경계 사용자들을 속도, 사운드 오차 및 송신 안테나 공간 상관도에 따라, 순시 채널 섹터 협력(Instantaneous channel Sector Cooperation: 이하 ISC) 사용자와 평균 채널 섹터 협력(Statistic channel Sector Cooperation: 이하 SSC) 사용자들로 나누고, 속도 및 송신 안테나 공간 상관도가 상이한 사용자들을 동시에 지원할 수 있는 다중의 송신 빔을 형성하여 신호를 전송함으로써, 전체 시스템 용량을 향상시킬 수

있다.

- [11] 또한 상기 다중 송신 빔을 통해 ISC 및 SSC 사용자의 구분 없이 다중 섹터 협력 빔포밍을 수행할 최적의 사용자 수와 사용자 조합을 결정함으로써, 채널 환경이 서로 상이한 다중 사용자 환경에서 높은 시스템 용량을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [12] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 다중안테나 시스템에서 다중 섹터 협력 전송을 위한 시스템 환경을 나타내는 도면,
 [13] 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 다중안테나 시스템에서 다중 섹터 협력 전송을 위한 기지국 장치도,
 [14] 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 다중안테나 시스템에서 다중 섹터 협력 전송을 위한 기지국 동작 흐름도,
 [15] 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 다중안테나 시스템에서 다중 섹터 협력 전송을 위한 단말 동작 흐름도,
 [16] 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 송신 안테나 공간상관도 크기에 따른 전송 모드 별 성능을 나타내는 그래프,
 [17] 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 사용자 속도에 따른 전송 모드 별 성능을 나타내는 그래프 및,
 [18] 도 7을 본 발명의 실시 예에 따른 사용자 수 K에 따른 제안 기법의 성능을 나타내는 그래프.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [19] 이하 본 발명의 바람직한 실시 예를 첨부된 도면의 참조와 함께 상세히 설명한다. 그리고, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단된 경우 그 상세한 설명은 생략할 것이다. 그리고 후술되는 용어들은 본 발명에서의 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.
- [20] 이하, 본 발명은 다중안테나 시스템에서 다중 섹터 협력 전송을 위한 송신 빔포밍과 다중 사용자 스케줄링 방법 및 장치에 대해 설명하기로 한다.
- [21] 특히, 본 발명은 섹터 경계 사용자의 속도, 사운딩 오차 및 송신 안테나 공간 상관도에 따라 순시 채널 섹터 협력(Instantaneous channel Sector Cooperation: 이하 ISC) 사용자와 평균 채널 섹터 협력(Statistic channel Sector Cooperation: 이하 SSC) 사용자들로 구분하고, 상기 사용자 속도 및 상기 송신 안테나 공간 상관도가 상이한 사용자들을 동시에 지원할 수 있는 다중의 송신 빔을 형성하여 신호를 전송하는 기법에 대해 설명한다. 또한 상기 다중 송신 빔을 통해 ISC 및 SSC 사용자의 구분 없이 다중 섹터 협력 빔포밍을 수행할 최적의 사용자 수와 사용자 조합을 결정하는 기법에 대해 설명하기로 한다.

[22] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 다중안테나 시스템에서 다중 섹터 협력 전송을 위한 시스템 환경을 도시하고 있다.

[23] 상기 도 1을 참조하여, 송신 안테나 채널 상관도가 존재하는 다중 안테나를 사용하는 다중 섹터 다중 사용자 셀룰러 시스템의 하향 링크를 고려한다. 섹터 경계에 단일 수신 안테나를 장착한 K명의 사용자 단말이 분포되어 있고, 기지국의 각 섹터는 M개의 송신 안테나를 갖는다고 가정한다. 또한, 상기 기지국은 인접한 두 개 섹터의 협력을 통해 임의의 스케줄링 시간에 총 K명의 사용자 단말 중 $L(\leq 2M)$ 명의 사용자를 스케줄링하여 송신한다고 가정한다.

[24] $\alpha_{l,s} (0 \leq \alpha_{l,s} \leq 1)$ 을 섹터 s 와 사용자 단말 l 사이의 채널 경로감쇠(path loss) 값이라 정의하면, 섹터 협력을 수행하는 두 개의 섹터 s' 와 사용자 단말 l 사이의 채널 벡터 h_l 은 하기 <수학식 1>과 같이

표현된다.

[25] 수학식 1

$$h_l = [\alpha_{l,s} h_{l,1} \cdots \alpha_{l,s} h_{l,2M}]$$

[26] 특히 기지국과 사용자 단말

l

사이의 채널에 송신 안테나 채널 상관 행렬

R_l

로 표현되는 상관도가 존재할 경우 채널 벡터 은 <수학식 2>와 같이 나타낼 수 있다.

[27] 수학식 2

$$h_l = \tilde{h}_l R_l^{1/2}$$

[28] 여기서,

$$\tilde{h}_l = [\alpha_{l,s} \tilde{h}_{l,1} \cdots \alpha_{l,s} \tilde{h}_{l,2M}]$$

은 독립적이고 동일한 분포를 갖는(independent and identically distributed: 이하 i.i.d) 복소 가우시안 채널 벡터이다. 또한 송신 안테나 채널 상관 행렬

R_l

은 하기 <수학식 3>과 같이 나타낼 수 있다.

[29] 수학식 3

$$R_l = \begin{bmatrix} E\{h_{l,1}h_{l,1}^*\} & \cdots & E\{h_{l,1}h_{l,2M}^*\} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ E\{h_{l,2M}h_{l,1}^*\} & \cdots & E\{h_{l,2M}h_{l,2M}^*\} \end{bmatrix}$$

[30] 이때,

$$A^*$$

는 행렬 A의 복소 전치 행렬(Hermitian matrix)을 나타내고,

$$E\{A\}$$

는 A의 기대 값을 나타낸다.

[31] 기지국은 상기 채널벡터

$$h_l$$

을 사용자 단말

$$I$$

이 전송한 채널 사운드 신호를 통해 얻을 수 있으며 이때, 기지국과 사용자 단말

$$I$$

사이의 채널추정벡터

$$\hat{h}_l$$

는 하기 <수학식 4>와 같이 나타낼 수 있다.

[32] 수학식 4

$$\hat{h}_l = h_l + \sigma_l z_l R_l^{1/2}$$

[33] 여기서

$$\sigma_l$$

은 사용자 단말

$$I$$

의 사운드 채널추정 평균자승오차(Mean Squared Error: 이하 MSE) 나타내며

$$z_l$$

은 평균이 0이고 분산이 1인 i.i.d 복소 가우시안 벡터이다. 또한 시변 채널(time varying channel) 환경에서 사용자 단말

$\mathbf{I}$

의 지연 채널(delayed channel) 벡터

$\mathbf{h}_{\tau,l}$

는 하기 <수학식 5>와 같이 나타낼 수 있다.

[34] 수학식 5

$$\hat{\mathbf{h}}_{\tau,l} = \rho_{\tau,l} \mathbf{h}_l + \sqrt{1 - \rho_{\tau,l}^2} \mathbf{z}'_l R_l^{1/2}$$

[35] 여기서

$\mathbf{z}'_l$

은 평균이 0이고 분산이 1인 (1×2M) i.i.d 복소 가우시안 벡터,

$\rho_{\tau,l}$

은 전송 지연 시간 로 인한 사용자 단말

$\mathbf{I}$

의 채널 벡터

$\mathbf{h}_l$

와 지연 채널 벡터

$\mathbf{h}_{\tau,l}$

간 시간 상관 계수를 나타내며 이는 k차 베셀 함수(Bessel function)

$J_k(\cdot)$

를 이용하여 하기 <수학식 6>과 같이 나타낼 수 있다.

[36] 수학식 6

$$\rho_{\tau,l} = J_0\left(\frac{2\pi f_c \mathbf{v}_l \tau}{c}\right) + J_2\left(\frac{2\pi f_c \mathbf{v}_l \tau}{c}\right)$$

[37] 여기서

f_c

는 전송 반송파 주파수(carrier frequency),

$\mathbf{v}_l$

은 사용자 속도를 나타내며

c

는 빛의 속도($3 \times 10^8 = \text{m/s}$)를 나타낸다. 상기 <수학식 4>와 상기 <수학식 5>로부터 사용자 단말

$\mathbf{I}$

의 지연 채널 벡터

$h_{\tau,l}$

는 사운딩 오차

$\mathbf{p}_l$

, 전송 시간 지연 및 송신 안테나 공간 상관도

R_l

를 모두 고려하여 <수학식 7>과 같이 나타낼 수 있다.

[38] 수학식 7

$$h_{\tau,l} = \rho_{\tau,l} \left(\frac{\alpha_l^{-2}}{\alpha_l^{-2} + \sigma_l^2} \hat{h}_l + \frac{\alpha_l \sigma_l}{\sqrt{\alpha_l^{-2} + \sigma_l^2}} z_l R_l^{1/2} \right) + \alpha_l^{-2} \sqrt{1 - \rho_{\tau,l}^2} z_l' R_l^{1/2}$$

[39] $\alpha_l^{-2} = (\alpha_{l,s}^2 + \alpha_{l,s'}^2) / 2$

[40] 여기서,

$\alpha_{l,s}$

는 섹터

$\mathbf{S}$

와 사용자 단말

$\mathbf{I}$

사이의 채널 경로감쇠(path loss) 값이다. 본 발명은 사운딩 오차

$\mathbf{p}_l$

, 전송 시간 지연

τ

및 송신 안테나 공간 상관도

$$R_l$$

를 모두 고려한 지연 채널 벡터

$$h_{\tau,l}$$

을 활용하여 다중 섹터 협력 전송을 통해 섹터 경계 사용자가 얻을 수 있는 빔포밍 이득 및 간섭량을 분석하고 이를 통해 다중 섹터 협력 전송을 위한 송신 빔포밍과 다중 사용자 스케줄링 방법 및 장치를 제안한다.

- [41] 앞서 언급한 바와 같이 순시 채널 정보 기반의 다중 섹터 협력 빔포밍 기법은 사용자의 속도가 저속이거나 사운딩 오차로 인한 채널 불일치 문제가 없을 경우 최대 $2M$ 배의 빔포밍 이득을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 그러나 사용자의 속도가 고속이거나 사운딩 오차로 인한 채널 불일치 문제가 발생할 경우에는 빔포밍 이득 저하는 물론 전송 지연 및 채널 추정 오차에 비례하여 증가되는 다중 빔 잔류 간섭으로 인해 성능이 상당히 저하된다는 문제점이 있다. 반면 평균 채널 정보 기반의 다중 섹터 협력 빔포밍 기법은 사용자의 채널 불일치 문제에 강인하며 송신 안테나 상관 행렬

$$R_l$$

을 고유치 분해(Eigen-Value Decomposition: 이하 EVD) 했을 때 나타나는 고유치

$$(\lambda_{l,1}, \dots, \lambda_{l,2M})$$

값들 중 최대 고유치

$$\lambda_{l,\max}$$

만큼의 빔포밍 이득을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 그러나 평균 채널 정보 기반의 다중 섹터 협력을 통해 얻을 수 있는

$$\lambda_{l,\max}$$

값의 크기가 $2M$ 보다 같거나 작기 때문에 사용자의 속도가 저속이거나 사운딩 오차로 인한 채널 불일치 문제가 없을 경우에는 순시 채널 정보 기반의 다중 섹터 협력 기법보다 얻을 수 있는 용량이 제한되는 단점이 있다.

- [42] 따라서 본 발명은 사용자의 채널 환경에 따라 최적의 전송 성능을 얻기 위해 상기 도 1과 같이 섹터 경계의 사용자 단말들을 사운딩 오차

$$\rho_l$$

, 전송 시간 지연

$$\tau$$

및 송신 안테나 공간 상관도

R_i

를 고려하여, ISC 모드와 SSC 모드로 분류한다. 이때 본 발명은 각 사용자가 ISC 모드 또는 SSC 모드로 동작할 때 얻을 수 있는 최대 수신 신호 대 간섭 잡음비(Signal-to-Interference plus Noise Ratio: 이하 SINR)의 기대 값을 기준으로 각 사용자들의 전송모드를 결정한다.

- [43] 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 다중안테나 시스템에서 다중 섹터 협력 전송을 위한 기지국 장치를 도시하고 있다.
- [44] 상기 도 2를 참조하면, 파일럿 심볼 추출기(213), 채널추정기(214), 데이터 심볼 추출기(215), 데이터 복조기(216), 상향링크 제어신호 추출기(208), 사용자 전송모드 수집기(209), 송신안테나 공간 상관도 수집기(210), 신호대잡음비 수집기(212), 시스템 용량 비교기(205), 시스템 용량 계산기(204), 스케줄러(203), 전송모드 결정기(201), 가중치 결정기(202), 사용자 조합 결정기(206), RF 전처리(207)를 포함하여 구성된다.
- [45] 상기 파일럿 심볼 추출기(213)는 수신신호로부터 파일럿 심볼 혹은 사운딩 심볼을 추출하여 상기 채널추정기(214)로 제공하고, 상기 채널추정기(214)는 상기 파일럿 심볼 추출기(213)로부터의 파일럿 심볼 혹은 사운딩 심볼을 이용하여, 채널추정을 수행하여, 그 결과를 상기 데이터 복조기(216)로 제공한다.
- [46] 상기 데이터 심볼 추출기(215)는 수신신호로부터 데이터 심볼을 추출하여, 상기 데이터 복조기(216)로 제공하고, 상기 데이터 복조기(216)는 상기 채널추정기(214)로부터의 채널추정 결과를 기반으로, 상기 데이터 심볼 추출기(215)로부터의 데이터 심볼들을 복조한다.
- [47] 상기 상향링크 제어신호 추출기(208)는 수신신호로부터 상향링크 제어신호를 추출하여, 사용자 전송모드 수집기(209), 송신안테나 공간 상관도 수집기(210), 신호대잡음비 수집기(212) 등으로 상기 상향링크 제어 정보(CQI, ACK/NACK, HARQ 등)를 제공한다. 본원발명에 더하여, 상기 상향링크 제어신호 추출기(208)는 상기 전송모드 결정기(201)에 의해 결정된 사용자의 전송모드(ISC, SSC) 정보를 제공받아, 이를 상기 사용자 전송모드 수집기(209)로 제공한다. 구현에 따라서, 상기 사용자 전송모드 수집기(209)는 직접 상기 전송모드 결정기(201)로부터 사용자별 전송모드 정보를 제공받을 수 있다. 그리고, 상기 상향링크 제어신호 추출기(208)는 상기 채널추정기(214)로부터 채널행렬 정보를 제공받아, 상기 송신안테나 상관도 수집기(210)로 제공한다. 구현에 따라서, 상기 송신안테나 상관도 수집기(210)는 직접 상기 채널추정기(214)로부터 사용자별 채널행렬 정보를 제공받을 수 있다. 또한, 상기 상향링크 제어신호 추출기(208)는 사용자별로 수신신호의 세기와 측정된 잡음의 세기의 비를 결정하여, 그 결과를 상기 신호대잡음비 수집기(212)로 제공한다.
- [48] 또한, 상기 상향링크 제어신호 추출기(208)는 사용자 단말의 속도를 결정하여

그 결과를 상기 전송모드 결정기(201)로 제공한다. 여기서, 상기 상향링크 제어신호 추출기(208)는 도플러 주파수를 이용하여 사용자 단말의 속도를 측정할 수 있고, 그 외에 잘 알려진 통상적인 단말 속도 측정 기법을 이용할 수 있다.

- [49] 상기 사용자 전송모드 수집기(209)는 사용자별 전송모드를 수집하여, 수집된 사용자 전송모드 정보를 상기 가중치 결정기(202)로 제공하고, 상기 송신안테나 공간 상관도 수집기(210)는 채널행렬을 기반으로 사용자별 송신 안테나 공간 상관도를 결정하여, 그 결과를 상기 가중치 결정기(202) 및 상기 전송모드 결정기(201)로 제공하고, 그리고, 상기 신호대잡음비 수집기(212)는 사용자별로 수신신호의 세기와 측정된 잡음의 세기의 비를 수집하여, 수집된 사용자의 신호대잡음비를 상기 가중치 결정기(202)로 제공한다.
- [50] 상기 전송모드 결정기(201)는 섹터 경계의 사용자 단말들에 대해 사운딩 오차

$$P_I$$

, 전송 시간 지연

$$\tau$$

및 송신 안테나 공간 상관도

$$R_I$$

를 고려하여, ISC 모드와 SSC 모드로 분류한다. 이때 본 발명은 각 사용자가 ISC 모드 또는 SSC 모드로 동작할 때 얻을 수 있는 최대 수신 신호 대 간섭 잡음비(Signal-to-Interference plus Noise Ratio: 이하 SINR)의 기대 값을 기준으로 각 사용자들의 전송모드를 결정한다.

- [51] 여기서, 사운딩 오차

$$P_I$$

, 전송 시간 지연

$$\tau$$

및 송신 안테나 공간 상관도

$$R_I$$

을 모두 고려할 경우 사용자 단말

$$I$$

이 ISC 모드로 동작할 때 최대로 얻을 수 있는 SINR의 기대 값

$$-ISC$$

$$\gamma_I$$

은 하기 <수학식 8>과 같다.

[52] 수학식 8

$$\begin{aligned}\bar{\gamma}_l^{\text{ISC}} &= \gamma_{0,l} E \left\{ \left| \mathbf{h}_{\tau,l} \frac{\hat{\mathbf{h}}_l^*}{\sqrt{\|\hat{\mathbf{h}}_l\|^2}} \right|^2 \right\} \\ &= \gamma_{0,l} \left(\frac{4\bar{\alpha}_l^4 \rho_{\tau,l}^2 M^2 + \bar{\alpha}_l^2 \left(\rho_{\tau,l}^2 \sigma_l^2 + (1 - \rho_{\tau,l}^2) (\bar{\alpha}_l^2 + \sigma_l^2) \right) \sum_{i=1}^{2M} \lambda_{l,i}^2}{2M (\bar{\alpha}_l^2 + \sigma_l^2)} \right)\end{aligned}$$

[53] 여기서

$E[X]$

는 랜덤 변수 X의 기대값이며

$\gamma_{0,l}$

은 사용자 단말

$\mathbf{I}$

의 평균 SINR 값을 나타낸다.

[54] 반면 사용자 단말

$\mathbf{I}$

이 SSC 모드로 동작할 때 최대로 얻을 수 있는 SINR의 기대 값

- SSC

γ_l

은 하기 <수학식 9>와 같다.

[55] 수학식 9

$$\begin{aligned}\bar{\gamma}_l^{\text{SSC}} &= \gamma_{0,l} E \left\{ \left| \mathbf{h}_{\tau,l} \mathbf{u}_{l,\max} \right|^2 \right\} \\ &= \gamma_{0,l} \text{tr} \left(\mathbf{R}_l \mathbf{u}_{l,\max} \mathbf{u}_{l,\max}^* \right) \\ &= \gamma_{0,l} \lambda_{l,\max}\end{aligned}$$

[56] 여기서

$u_{l,\max}$

는 송신 안테나 상관 행렬

R_l

을 EVD 할 경우 나타나는 고유치값들 중 최대 고유치

$\lambda_{l,\max}$

에 일치하는 고유 벡터를 나타내며 $\text{tr}(A)$ 는 행렬 A 의 대각합 연산자(trace operator)를 나타낸다.

- [57] 따라서, 상기 전송모드 결정기(201)는 다중의 사용자들이 ISC 모드 또는 SSC 모드로 동작할 때 얻을 수 있는 최대 SINR의 기대 값을 기준으로 <수학식 10>과 같이 각 사용자의 전송모드를 결정한다.

- [58] 수학식 10

$$\bar{\gamma}_l^{\text{ISC}} \leq \sum_{\text{ISC}}^{\text{SSC}} \bar{\gamma}_l^{\text{SSC}}$$

- [59] 즉, 상기 전송모드 결정기(201)는

– ISC

γ_l

과

– SSC

γ_l

를 비교하여 사용자 단말

I

의 전송모드를 결정한다.

- [60] 한편, 기지국은 사용자들의 속도, 사운딩 오차 및 송신안테나 공간 상관도를 고려하여 동종 모드 뿐만 아니라, 이종 모드 사용자들을 동시에 서비스할 수 있는 다중의 송신 빔을 결정한다. 다중 사용자들 동시에 서비스할 경우, 각 사용자가 얻을 수 있는 빔포밍 이득은 최대화하면서도 다중 빔으로 인해 유발될 수 있는 빔 간 간섭은 최소화되도록 다중 송신 빔을 결정하는 것이 중요하다. 따라서 본 발명은 사용자 단말

I

의 송신 빔

w_l

을 통해 사용자 단말

I

이 얻을 수 있는 빔포밍 이득은 최대화하면서도

w_i

이 유발하는 다중 사용자 간섭량은 최소화되도록

w_i

을 결정한다. 각 사용자들의 전송모드와 관계없이 L명의 사용자를 동시에 서비스하고, 이 중

N_{SSC}

는 SSC 모드 사용자의 수,

N_{ISC}

는 ISC 모드 사용자의 수,

$J_i(L)$

을 동시에 서비스되는 명의 다른 사용자들에게 유발하는 총 간섭량이라 가정하자. 서술의 편의를 위해 사용자 1부터

N_{ISC}

는 ISC 모드 사용자, 사용자

$(N_{ISC}+1)$

부터 L은 SSC 모드 사용자라고 가정할 때,

$J_i(L)$

은 하기 <수학식 11>과 같이 나타낼 수 있다.

[61] 수학식 11

$$\begin{aligned}
J_l(L) &= \sum_{i=1, i \neq l}^{N_{\text{ISC}}} \mathbf{w}_l^* \mathbf{h}_i^* \mathbf{h}_i \mathbf{w}_l + \sum_{j=N_{\text{ISC}}-1, j \neq l}^L E \left\{ \mathbf{w}_l^* \mathbf{h}_j^* \mathbf{h}_j \mathbf{w}_l \right\} \\
&= \mathbf{w}_l^* \left(\sum_{i=1, i \neq l}^{N_{\text{ISC}}} \mathbf{h}_i^* \mathbf{h}_i + \sum_{j=N_{\text{ISC}}-1, j \neq l}^L E \left\{ \mathbf{h}_j^* \mathbf{h}_j \right\} \right) \mathbf{w}_l \\
&= \mathbf{w}_l^* \left(\sum_{i=1, i \neq l}^{N_{\text{ISC}}} \mathbf{h}_i^* \mathbf{h}_i + \sum_{j=N_{\text{ISC}}-1, j \neq l}^L \mathbf{R}_j^* \right) \mathbf{w}_l
\end{aligned}$$

[62] 이때 ISC 사용자

$\mathbf{I}$

의 송신 빔

$\mathbf{w}_l$

은

$\mathbf{w}_l$

로 인한 순시 빔포밍 이득

$$\mathbf{w}_l^* \mathbf{h}_l^* \mathbf{w}_l \mathbf{h}_l$$

과 상기 <수학식 11>의 빔 채널 잡음 값을 고려하여 하기 <수학식 12>와 같이 구할 수 있다.

[63] 수학식 12

$$\begin{aligned}
\mathbf{w}_l &= \arg \max_{\mathbf{w}_l: \|\mathbf{w}_l\|_F=1} \frac{\mathbf{w}_l^* \mathbf{h}_l^* \mathbf{h}_l \mathbf{w}_l}{J_l(L) + N_0} \\
&= \arg \max_{\mathbf{w}_l: \|\mathbf{w}_l\|_F=1} \frac{\mathbf{w}_l^* \mathbf{h}_l^* \mathbf{h}_l \mathbf{w}_l}{\mathbf{w}_l^* \left(\sum_{i=1, i \neq l}^{N_{\text{ISC}}} \mathbf{h}_i^* \mathbf{h}_i + \sum_{j=N_{\text{ISC}}-1, j \neq l}^L \mathbf{R}_j \right) \mathbf{w}_l + N_0} \\
&= \zeta_{\max} \left(\left(\sum_{i=1, i \neq l}^{N_{\text{ISC}}} \mathbf{h}_i^* \mathbf{h}_i + \sum_{j=N_{\text{ISC}}-1, j \neq l}^L \mathbf{R}_j + N_0 \mathbf{I}_{2M} \right)^{-1} \mathbf{h}_l^* \mathbf{h}_l \right)
\end{aligned}$$

[64] 여기서

$$N_0$$

는 잡음 전력 밀도(noise power spectral density),

$$\mathbf{I}_{2M}$$

은 $2M \times 2M$ 단위 행렬(Identity matrix)을 나타내며

$$\xi_{\max}(\mathbf{A})$$

는 행렬 $\mathbf{A}$ 의 최대 고유값에 대응하는 고유벡터를 나타낸다. 반면 SSC 사용자

$$\mathbf{I}$$

의 송신 빔

$$\mathbf{w}_l$$

은

$$\mathbf{w}_l$$

로 인한 평균 빔포밍 이득

$$\mathbf{w}_l^* E\{\mathbf{h}_l^* \mathbf{h}_l\} \mathbf{w}_l = \mathbf{w}_l^* \mathbf{R}_l \mathbf{w}_l$$

과 하기 <수학식 11>의 을 고려하여 하기 <수학식 13>과 같이 구할 수 있다.

[65] 수학식 13

$$\begin{aligned} \mathbf{w}_l &= \arg \max_{\mathbf{w}_l: \|\mathbf{w}_l\|_F=1} \frac{\mathbf{w}_l^* \mathbf{R}_l \mathbf{w}_l}{J_l(L) + N_0} \\ &= \arg \max_{\mathbf{w}_l: \|\mathbf{w}_l\|_F=1} \frac{\mathbf{w}_l^* \mathbf{R}_l \mathbf{w}_l}{\mathbf{w}_l^* \left(\sum_{i=1, i \neq l}^{N_{\text{ISC}}} \mathbf{h}_i^* \mathbf{h}_i + \sum_{j=N_{\text{ISC}}-1, j \neq l}^L \mathbf{R}_j \right) \mathbf{w}_l + N_0} \\ &= \xi_{\max} \left(\left(\sum_{i=1, i \neq l}^{N_{\text{ISC}}} \mathbf{h}_i^* \mathbf{h}_i + \sum_{j=N_{\text{ISC}}-1, j \neq l}^L \mathbf{R}_j + N_0 \mathbf{I}_{2M} \right)^{-1} \mathbf{R}_l \right) \end{aligned}$$

[66] 즉, 상기 가중치 결정기(202)는 상기 전송모드 결정기(201)에 의해 결정된 사용자 단말의 전송모드를 기반으로, 셀 경계에 있는 모든 단말에 대해 상기 <수학식 12> 및 상기 <수학식 13>을 이용하여 다중의 송신 빔을 결정한다. 그리고, 상기 가중치 결정기(202)는 하기 <수학식 16>의 사용자 조합

$$\Omega_{j2}$$

에 대한 다중의 송신 빔을 하기 <수학식 12> 및 하기 <수학식 13>과 같이 결정하여, 그 결과를 상기 RF 전처리(207)로 제공한다.

- [67] 본 발명은 각 사용자가 얻을 수 있는 빔포밍 이득과 다중 사용자 간섭량을 고려하여 상기 <수학식 12> 또는 상기 <수학식 13>과 같이 빔포밍 가중치를 결정하며, 특히 SSC 사용자의 경우 평균 채널 정보

$$R_i$$

을 활용하여 빔포밍 가중치를 결정하므로 사용자 속도 및 사운드 오차로 인한 채널 불일치 문제에 상당히 강인하다.

- [68] 상기 RF 전처리(207)는 상기 가중치 결정기(202)로부터 최적 스케줄링 사용자 조합(

$$\Omega_{ji}$$

)에 일치하는 다중 송신빔을 통해 데이터 신호를 전송한다.

- [69] 상기 스케줄러(203)는 전송모드와 가중치가 결정된 사용자 단말들에 대해, 사용자 단말을 스케줄링하여 그 결과를 상기 시스템 용량 계산기(204)로 제공한다.

- [70] 즉, 임의의 스케줄링 시간에 명의 사용자들 중 명의 사용자를 선택할 수 있는 조합의 수는

$${}_K C_L$$

이며, 여기서

$${}_K C_L \doteq K! / ((K-L)! L!)$$

이고

$$L! \doteq \prod_{i=1}^L C_L$$

을 나타낸다. 따라서 각 사용자들의 전송 모드와 관계없이 K명의 사용자들 중 시스템 채널 용량을 최대화하는

$$L(1 \leq L \leq 2M)$$

명의 사용자 수와 사용자 조합을 선택하는 경우의 수는 총

$$N = \sum_{L=1}^{2M} {}_K C_L$$

개이며, 이러한 사용자의 조합을 원소로 가지는 집합이다.

- [71] 상기 시스템 용량 계산기(204)에서는 이를 바탕으로 상기 다중 송신 빔을 적용할 경우에 스케줄링 사용자 조합(

$$\Omega_{\mathcal{R}}$$

)과 스케줄링 사용자 수(L)에 따른 시스템 채널 용량을 <수학식 14>과 같이 계산하고 이를 상기 시스템 용량 비교기(204)에 전달한다.

- [72] 수학식 14

$$C(\Omega_n) = \sum_{l=1}^{N_{ISC}} \log_2 \left(1 + \gamma_{\tau, \pi_l}^{ISC}(L) \right) + \sum_{k=1}^{N_{SSC}} \log_2 \left(1 + \bar{\gamma}_{\tau, \pi'_k}^{SSC}(L) \right)$$

- [73] 여기서

$$\pi_l$$

은

$$\Omega_{\mathcal{R}}$$

내

$$l$$

번째 ISC 모드 사용자의 인덱스(index)를 나타내며,

$$\pi'_k$$

는

$$\Omega_{\mathcal{R}}$$

내 k번째 SSC 모드 사용자의 인덱스를 나타낸다.

- [74] L명의 사용자를 동시에 서비스할 때, ISC 모드 사용자

$$l$$

의 SINR 값은 하기 <수학식 15>와 같이 나타낼 수 있다.

- [75] 수학식 15

$$\gamma_{0,l}^{ISC}(L) = \frac{\gamma_{0,l} \left(\frac{\bar{\alpha}_l^4 \rho_{\tau,l}^2}{(\bar{\alpha}_l^2 + \sigma_l^2)^2} \left| \hat{\mathbf{h}}_l \mathbf{w}_l \right|^2 + \bar{\alpha}_l^2 \left(\frac{\rho_{\tau,l}^2 \sigma_l^2}{\bar{\alpha}_l^2 + \sigma_l^2} + 1 - \rho_{\tau,l}^2 \right) \text{tr}(\mathbf{R}_l \mathbf{w}_l \mathbf{w}_l^*) \right)}{\gamma_{0,l} \sum_{i=1, i \neq l}^L \left(\frac{\bar{\alpha}_i^4 \rho_{\tau,i}^2}{(\bar{\alpha}_i^2 + \sigma_i^2)^2} \left| \hat{\mathbf{h}}_i \mathbf{w}_i \right|^2 + \bar{\alpha}_i^2 \left(\frac{\rho_{\tau,i}^2 \sigma_i^2}{\bar{\alpha}_i^2 + \sigma_i^2} + 1 - \rho_{\tau,i}^2 \right) \text{tr}(\mathbf{R}_i \mathbf{w}_i \mathbf{w}_i^*) \right) + 1}$$

- [76] 여기서 $\text{tr}(\mathbf{A})$ 는 행렬 $\mathbf{A}$ 의 대각합 연산자(trace operator)를 나타낸다. 반면 L명의 사용자를 동시에 서비스할 때, SSC 모드 사용자

I

이 얻을 수 있는 SINR의 기대 값은 <수학식 16>와 같이 나타낼 수 있다.

[77] 수학식 16

$$\bar{\gamma}_l^{\text{SSC}}(L) = \frac{\gamma_{0,l} \sum_{m=1}^{2M} \lambda_{l,m} \cos^2 \angle(\mathbf{u}_{l,m}, \mathbf{w}_l)}{\gamma_{0,l} \sum_{i=1, i \neq l}^L \sum_{m=1}^{2M} \lambda_{l,m} \cos^2 \angle(\mathbf{u}_{l,m}, \mathbf{w}_i) + 1}$$

[78] 여기서

$$\angle(\mathbf{u}_{l,m}, \mathbf{w}_l)$$

은 벡터

$$\mathbf{u}_{l,m}$$

와

$$\mathbf{w}_l$$

간의 각도 차이를 나타낸다. 본 발명은 이 같은 분석 결과를 바탕으로 다중 섹터 협력 빔포밍을 수행할 최적의 사용자 수와 사용자 조합을 결정한다.

기지국에서는 <수학식 14>와 <수학식 15>를 이용해 K명의 사용자 중 시스템 채널 용량을 최대화하는 사용자 수 L과 사용자 조합을 선택한다.

[79] 상기 시스템 용량 비교기(205)는 스케줄링 사용자 조합과 스케줄링 사용자 수에 따른 시스템 채널 용량을 비교하여 그 결과를 상기 사용자 조합 결정기(206)로 제공한다.

[80] 상기 사용자 조합 결정기(206)는 이를 이용해 <수학식 17>과 같이 시스템 채널 용량을 최대화하는 스케줄링 사용자 조합

$$\Omega_{\hat{n}}$$

과 스케줄링 사용자 수를 결정한다. 여기서, 시스템 용량을 최대화하는 사용자 조합

$$\Omega_{\hat{n}}$$

은 하기 <수학식 17>과 같이 표현될 수 있다.

[81] 수학식 17

$$\Omega_{\hat{n}} = \arg \max_{\Omega_n \in G} C(\Omega_n)$$

[82] 상술한 바와 같이, 본 발명은 상기 <수학식 14>과 상기 <수학식 17>을 통해

시스템 채널 용량을 최대화하는 사용자 수 및 사용자 조합

$\Omega_{\vec{n}}$

을 결정하고 속도 및 송신 안테나 공간 상관도가 상이한 사용자들을 동시에 지원할 수 있는 다중의 송신 빔을 통해 신호를 전송함으로써 속도 및 송신 안테나 공간 상관도가 상이한 사용자들을 지원함과 동시에 전체 시스템 용량의 성능을 높일 수 있다.

[83] 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 다중안테나 시스템에서 다중 섹터 협력 전송을 위한 기지국 동작 흐름도를 도시하고 있다.

[84] 상기 도 3을 참조하면, 기지국은 300단계에서 단말로부터 사운드 신호를 수신하고, 302단계에서 사운드 오차, 전송시간 지연, 송신안테나 공간 상관도를 결정한다.

[85] 이후, 상기 기지국은 304단계에서 빔포밍 모드에 따른 신호대잡음비를 결정한다. 즉, 상기 기지국은 사용자 단말

I

이 ISC 모드로 동작할 때 최대로 얻을 수 있는 SINR의 기대 값

$- I_{SC}$

γ_l

과 사용자 단말

I

이 SSC 모드로 동작할 때 최대로 얻을 수 있는 SINR의 기대 값

$- SSC$

γ_l

을 결정한다(<수학식 8>, <수학식 9> 참조).

[86] 이후, 상기 기지국은 306단계에서 빔포밍 모드에 따른 신호대잡음비를 기반으로, 사용자별 빔포밍 모드를 결정한다. 예를 들어,

$- I_{SC}$

γ_l

이

$- SSC$

γ_l

보다 크면 사용자 단말

I

을 ISC 모드로 결정하고,

$- I_{SC}$

γ_l

이

- SSC

γ_l

보다 작으면 사용자 단말

I

을 SSC 모드로 결정한다.

- [87] 이후, 상기 기지국은 308단계에서 빔포밍 모드가 결정된 사용자 단말들에 대해, 다중 사용자를 동시에 서비스할 경우, 각 사용자가 얻을 수 있는 빔포밍 이득은 최대화하면서도 다중 빔으로 인해 유발될 수 있는 빔 간 간섭은 최소화되도록 가중치를 결정한다.

- [88] 이후, 상기 기지국은 310단계에서 L명의 사용자를 동시에 서비스할 때, ISC 모드 사용자

I

의 SINR 값, L명의 사용자를 동시에 서비스할 때, SSC 모드 사용자

I

의 SINR 값을 기반으로, 시스템 채널 용량을 최대화하는 사용자 수 및 사용자 조합

$\Omega_{\hat{n}}$

을 결정한다(상기 <수학식 14>과 상기 <수학식 17> 참조).

- [89] 이후, 상기 기지국은 312단계에서 최적 스케줄링 사용자 조합($\Omega_{\hat{n}}$

$\Omega_{\hat{n}}$

)에 일치하는 다중 송신빔을 통해 데이터 신호를 전송한다.

- [90] 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 다중안테나 시스템에서 다중 섹터 협력 전송을 위한 단말 동작 흐름도를 도시하고 있다.

- [91] 상기 도 4를 참조하면, 단말은 400단계에서 사운딩 신호를 서빙 기지국(혹은 서빙 섹터 및 인접 섹터들)으로 전송하고, 402단계에서 사운딩 오차, 전송 시간 지연, 송신안테나 공간 상관도를 고려한 빔포밍 모드의 하향링크 데이터를 수신한다.

- [92] 이후, 상기 단말은 404단계에서 상기 하향링크 데이터를 디코딩한다.

- [93] 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 송신 안테나 공간상관도 크기에 따른 전송 모드 별 성능을 나타내는 그래프이다.

- [94] 상기 도 5를 참조하면, 모드 별 성능 분석 결과에 따른 각 전송 모드들의 교차 지점과 모드 별 실험 결과에 따른 각 전송 모드들의 교차 지점이 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다. 분석 결과 및 실제 실험 결과 모두 송신 안테나의 공간 상관도의 크기가 약 0.3 이상일 경우, 평균 채널 섹터 협력 모드로 전송하는 것이

- 순시 채널 섹터 협력 모드로 전송할 때보다 성능이 우수한 것을 알 수 있다.
- [95] 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 사용자 속도에 따른 전송 모드 별 성능을 나타내는 그래프이다.
- [96] 상기 도 6을 참조하면, 상기 도 3과 마찬가지로 모드 별 성능 분석 결과에 따른 각 전송 모드들의 교차 지점과 모드 별 실험 결과에 따른 각 전송 모드들의 교차 지점이 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다. 분석 결과 및 실제 실험 결과 모두 사용자의 속도가 약 35 km/h 이상일 경우, 평균 채널 섹터 협력 모드로 전송하는 것이 순시 채널 섹터 협력 모드로 전송할 때보다 성능이 우수한 것을 알 수 있다.
- [97] 도 7을 본 발명의 실시 예에 따른 사용자 수 K에 따른 제안 기법의 성능을 나타내는 그래프이다.
- [98] 상기 도 7을 참조하면, 본 발명의 성능이 순시 채널 정보만을 활용하는 MMSE 기반 섹터 협력 빔포밍 기법에 비해 우수함을 알 수 있다. 이는 본 발명이 각 사용자들의 전송모드 및 궤환 채널 정보를 바탕으로 ISC 및 SSC 모드 사용자들을 동시에 지원할 수 있는 다중 섹터 협력 송신 빔을 형성하고, 이를 통해 ISC 및 SSC 사용자의 구분없이 다중 섹터 협력 빔포밍을 수행할 최적의 사용자 수와 사용자 조합을 결정함으로써 전체 시스템 용량을 향상시킬 수 있기 때문이다. 그러나 MMSE 기반 섹터 협력 빔포밍 기법은 순시 채널 정보를 기반으로 하기 때문에 사용자의 속도 및 사운드 오차로 인한 채널 불일치 문제에 상당히 취약하며, 채널 불일치 문제로 인한 성능 저하를 고려하지 않고 다중 사용자 스케줄링을 수행할 경우 시스템 용량이 최대화되는 최적 사용자 수 및 사용자 조합을 선택할 수 없기 때문에 다중 섹터 협력 전송 성능이 상당히 저하된다.
- [99] 한편 본 발명의 상세한 설명에서는 구체적인 실시 예에 관해 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 아니 되며 후술하는 특허청구의 범위뿐만 아니라 이 특허청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

청구범위

- [청구항 1] 다중안테나 시스템에서 다중 섹터 협력 전송을 위한 송신 빔포밍 방법에 있어서,
채널 환경에 따라 섹터 경계 사용자들의 전송모드를 결정하는 과정과,
상기 사용자의 전송모드를 기반으로, 다중 사용자들을 지원할 수 있는 다중 섹터 협력 송신 빔을 결정하는 과정과,
상기 결정된 다중 섹터 협력 송신 빔을 고려하여, 다중 섹터 협력 빔포밍을 위한 사용자 조합을 결정하는 과정과,
상기 결정된 사용자 조합으로, 섹터 협력 송신 빔포밍을 수행하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.
- [청구항 2] 제 1항에 있어서,
상기 채널 환경에 따라 섹터 경계 사용자들의 전송모드를 결정하는 과정은,
상기 사용자가 제1 전송모드로 동작할 때의 제1 최대 신호대간섭잡음비(Signal-to-Interference plus Noise Ratio: SINR)를 결정하고, 상기 사용자가 제2 전송모드로 동작할 때의 제2 최대 SINR를 결정하는 과정과,
상기 제1 최대 SINR과 상기 제2 최대 SINR를 비교하여 전송모드를 결정하는 과정을 포함하며,
상기 제1 최대 SINR이 상기 제2 최대 SINR보다 크면, 상기 제1 전송모드를 선택하고, 상기 제1 최대 SINR이 상기 제2 최대 SINR보다 작으면, 상기 제2 전송모드를 선택하는 것을 특징으로 하는 방법.
- [청구항 3] 제 2항에 있어서,
제1 전송모드는 순시 채널 섹터 협력(Instantaneous channel Sector Cooperation: ISC) 모드이고, 제2 전송모드는 평균 채널 섹터 협력(Statistic channel Sector Cooperation: 이하 SSC) 모드인 것을 특징으로 하는 방법.
- [청구항 4] 제 2항에 있어서,
상기 제1 최대 SINR과 상기 제2 최대 SINR은 사운딩 오차, 전송 시간 지연 및 송신 안테나 공간 상관도 중 적어도 하나 이상이 고려되어 결정되는 것을 특징으로 하는 방법.
- [청구항 5] 제 2항에 있어서,
상기 제1 최대 SINR $= \gamma_l^{ISC}$ 과 상기 제2 최대 SINR $= \gamma_l^{SSC}$ 은
하기 수학식으로 추정되는 것을 특징으로 하는 방법.

$$\begin{aligned}\bar{\gamma}_l^{\text{ISC}} &= \gamma_{0,l} E \left\{ \left| \mathbf{h}_{\tau,l} \frac{\hat{\mathbf{h}}_l^*}{\sqrt{\|\hat{\mathbf{h}}_l\|^2}} \right|^2 \right\} \\ &= \gamma_{0,l} \left(\frac{4\bar{\alpha}_l^4 \rho_{\tau,l}^2 M^2 + \bar{\alpha}_l^2 (\rho_{\tau,l}^2 \sigma_l^2 + (1 - \rho_{\tau,l}^2)(\bar{\alpha}_l^2 + \sigma_l^2)) \sum_{i=1}^{2M} \lambda_{l,i}^2}{2M(\bar{\alpha}_l^2 + \sigma_l^2)} \right)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{\gamma}_l^{\text{SSC}} &= \gamma_{0,l} E \left\{ \left| \mathbf{h}_{\tau,l} \mathbf{u}_{l,\max} \right|^2 \right\} \\ &= \gamma_{0,l} \text{tr}(\mathbf{R}_l \mathbf{u}_{l,\max} \mathbf{u}_{l,\max}^*) \\ &= \gamma_{0,l} \lambda_{l,\max}\end{aligned}$$

여기서, M 은 섹터당 송신안테나 개수이고, $E[X]$ 는 랜덤 변수 X 의 기대 값이며, $\gamma_{0,l}$ 은 사용자 단말 l 의 평균 SINR 값을

나타내고, $\hat{h}_l$ 는 기지국과 사용자 단말 l 사이의

채널추정벡터이고, $\mathbf{A}^*$ 는 행렬 $\mathbf{A}$ 의 복소 전치 행렬(Hermitian

matrix)이고, $h_{\tau,l}$ 는 사운드 오차 ρ_l , 전송 시간 지연 및 송신

안테나 공간 상관도 $\mathbf{R}_l$ 가 고려된 사용자 단말 l 의 지연 채널

벡터이고, $\bar{\alpha}_l^2 = (\alpha_{l,s}^2 + \alpha_{l,s'}^2)/2$ 은 섹터 협력을 수행하는 인접한 두

섹터와 사용자 사이 채널 경로 감쇠 값들의 평균 값이고, 상기 $\alpha_{l,s}$ 는 섹터 s 와 사용자 단말 l 사이의 채널 경로감쇠(path

loss)이고, M 은 송신 안테나 수, σ_l 은 사용자 단말 l 의 사운드

채널추정 평균자승오차(Mean Squared Error: 이하 MSE), $\rho_{\tau,l}$ 은

전송 지연 시간 로 인한 사용자 단말 l 의 채널 벡터 h_l 와 지연

채널 벡터 $h_{\tau,l}$ 간 시간 상관 계수이고, $\lambda_{l,i}$ 는 송신 안테나 상관

행렬 R_l 을 고유치 분해(Eigen-Value Decomposition: 이하 EVD)

했을 때 나타나는 고유치 값이다.

여기서 $u_{l,\max}$ 는 송신 안테나 상관 행렬 R_l 을 EVD 할 경우

나타나는 고유치값들 중 최대 고유치 $\lambda_{l,\max}$ 에 일치하는 고유

벡터를 나타내며 $\text{tr}(A)$ 는 행렬 A의 대각합 연산자(trace operator)를 나타냄.

[청구항 6]

제 5항에 있어서,

상기 $\rho_{\tau,l}$ 는 k차 베셀 함수(Bessel function)를 이용하여 하기

수학식으로 정의되는 것을 특징으로 하는 방법.

$$\rho_{\tau,l} = J_0\left(\frac{2\pi f_c v_l \tau}{c}\right) + J_2\left(\frac{2\pi f_c v_l \tau}{c}\right)$$

여기서 f_c 는 전송 반송파 주파수(carrier frequency), v_l 은

사용자 속도를 나타내며 c 는 빛의 속도(3×10^8 m/s)임.

[청구항 7]

제 1항에 있어서,

상기 사용자의 전송모드를 기반으로, 다중 사용자들을 지원할 수 있는 다중 섹터 협력 송신 빔을 결정하는 과정은,

상기 다중 사용자가 얻을 수 있는 빔포밍 이득은 최대화하면서도 다중 빔으로 인해 유발될 수 있는 빔 간 간섭은 최소화되도록 제1 전송모드 및 제2 전송모드 사용자의 송신 빔을 결정하는 것을 특징으로 하는 방법.

[청구항 8]

제 7항에 있어서,

상기 제1 전송모드 및 상기 제2 전송모드 사용자의 송신 빔은 하기 수학식으로 결정하는 것을 특징으로 하는 방법.

$$\mathbf{w}_l = \zeta_{\max} \left(\left(\sum_{i=1, i \neq l}^{N_{\text{ISC}}} \mathbf{h}_i^* \mathbf{h}_i + \sum_{j=N_{\text{ISC}}-1, j \neq l}^L \mathbf{R}_j + N_0 \mathbf{I}_{2M} \right)^{-1} \mathbf{h}_l^* \mathbf{h}_l \right)$$

$$\mathbf{w}_l = \zeta_{\max} \left(\left(\sum_{i=1, i \neq l}^{N_{\text{ISC}}} \mathbf{h}_i^* \mathbf{h}_i + \sum_{j=N_{\text{ISC}}-1, j \neq l}^L \mathbf{R}_j + N_0 \mathbf{I}_{2M} \right)^{-1} \mathbf{R}_l \right)$$

여기서 N_0 는 잡음 전력 밀도(noise power spectral density), L 은

동시에 서비스되는 사용자 수, N_{ISC} 는 L명의 사용자 중 동시에 서비스되는 제1 전송모드 사용자, I_{2M} 은 단위행렬(Identity matrix)을 나타내며, $\zeta_{\max}(A)$ 는 행렬 A의 최대 고유값에 대응하는

고유벡터, R_l 과 송신 안테나 채널 상관 행렬임.

[청구항 9]

제 8항에 있어서,

상기 R_l 은 하기 수학식으로 정의되는 것을 특징으로 하는 방법.

$$R_l = \begin{bmatrix} E\{h_{l,1}h_{l,1}^*\} & \cdots & E\{h_{l,1}h_{l,2M}^*\} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ E\{h_{l,2M}h_{l,1}^*\} & \cdots & E\{h_{l,2M}h_{l,2M}^*\} \end{bmatrix}$$

이때, A^* 는 행렬 A의 복소 전치 행렬(Hermitian matrix)을

나타내고, $E\{A\}$ 는 의 기대 값임.

[청구항 10]

제 1항에 있어서,

상기 결정된 다중 섹터 협력 송신 빔을 고려하여, 다중 섹터 협력 빔포밍을 위한 사용자 조합을 결정하는 과정은,

상기 다중 섹터 협력 송신 빔포밍을 수행할 모든 스케줄링 사용자 조합과 스케줄링 사용자 수에 따른 시스템 채널 용량을 계산하는 과정과,

상기 계산된 시스템 채널 용량을 비교하는 과정과,

상기 비교 결과로부터, 상기 시스템 채널 용량을 최대화하는 최적 스케줄링 사용자 조합과 스케줄링 사용자 수를 결정하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

[청구항 11]

제 10항에 있어서,

상기 시스템 채널 용량을 계산 과정은,

$G = \{\Omega_1, \dots, \Omega_N\}$ 가 K명의 사용자들 중 선택 가능한 모든

스케줄링 사용자 수와 사용자 조합을 나타내는 집합에서, Ω_N 을

집합 G의 n번째 원소라 할 때, Ω_N 에 따른 시스템 채널 용량은

하기 수학식으로 결정되는 것을 특징으로 하는 방법.

$$C(\Omega_n) = \sum_{l=1}^{N_{ISC}} \log_2 \left(1 + \gamma_{\tau, \pi_l}^{ISC}(L) \right) + \sum_{k=1}^{N_{SSC}} \log_2 \left(1 + \bar{\gamma}_{\tau, \pi'_k}^{SSC}(L) \right)$$

여기서 π_l 은 Ω_n 내 l 번째 ISC 모드 사용자의 인덱스(index)를

나타내며, π'_k 는 Ω_n 내 k 번째 SSC 모드 사용자의 인덱스를

나타내고, γ_l 는 L 명의 사용자를 동시에 서비스할 때, 제1

전송모드 사용자 l 의 SINR 값이고, $\bar{\gamma}_l$ 는 L 명의 사용자를

동시에 서비스할 때, 제2 전송모드 사용자 l 이 얻을 수 있는 SINR임.

$$\gamma_l^{ISC}(L) = \frac{\gamma_{0,l} \left(\frac{\bar{\alpha}_l^4 \rho_{\tau,l}^2}{(\bar{\alpha}_l^2 + \sigma_l^2)^2} |\hat{\mathbf{h}}_l \mathbf{w}_l|^2 + \bar{\alpha}_l^2 \left(\frac{\rho_{\tau,l}^2 \sigma_l^2}{\bar{\alpha}_l^2 + \sigma_l^2} + 1 - \rho_{\tau,l}^2 \right) \text{tr}(\mathbf{R}_l \mathbf{w}_l \mathbf{w}_l^*) \right)}{\gamma_{0,l} \sum_{i=1, i \neq l}^L \left(\frac{\bar{\alpha}_i^4 \rho_{\tau,i}^2}{(\bar{\alpha}_i^2 + \sigma_i^2)^2} |\hat{\mathbf{h}}_i \mathbf{w}_i|^2 + \bar{\alpha}_i^2 \left(\frac{\rho_{\tau,i}^2 \sigma_i^2}{\bar{\alpha}_i^2 + \sigma_i^2} + 1 - \rho_{\tau,i}^2 \right) \text{tr}(\mathbf{R}_i \mathbf{w}_i \mathbf{w}_i^*) \right) + 1}$$

$$\bar{\gamma}_l^{SSC}(L) = \frac{\gamma_{0,l} \sum_{m=1}^{2M} \lambda_{l,m} \cos^2 \angle(\mathbf{u}_{l,m}, \mathbf{w}_l)}{\gamma_{0,l} \sum_{i=1, i \neq l}^L \sum_{m=1}^{2M} \lambda_{i,m} \cos^2 \angle(\mathbf{u}_{i,m}, \mathbf{w}_i) + 1}$$

여기서, $\text{tr}(\mathbf{A})$ 는 행렬 $\mathbf{A}$ 의 대각합 연산자(trace operator)를 나타내고, $\angle(\mathbf{u}_{l,m}, \mathbf{w}_l)$ 은 벡터 $\mathbf{u}_{l,m}$ 와 $\mathbf{w}_l$ 간의 각도

차이를 나타냄.

[청구항 12]

제 10항에 있어서,

상기 시스템 채널 용량을 최대화하는 최적 스케줄링 사용자

조합과 스케줄링 사용자 수를 결정하는 과정은,

다중 섹터 협력 전송 시스템 채널 용량을 최대화하는 사용자 수

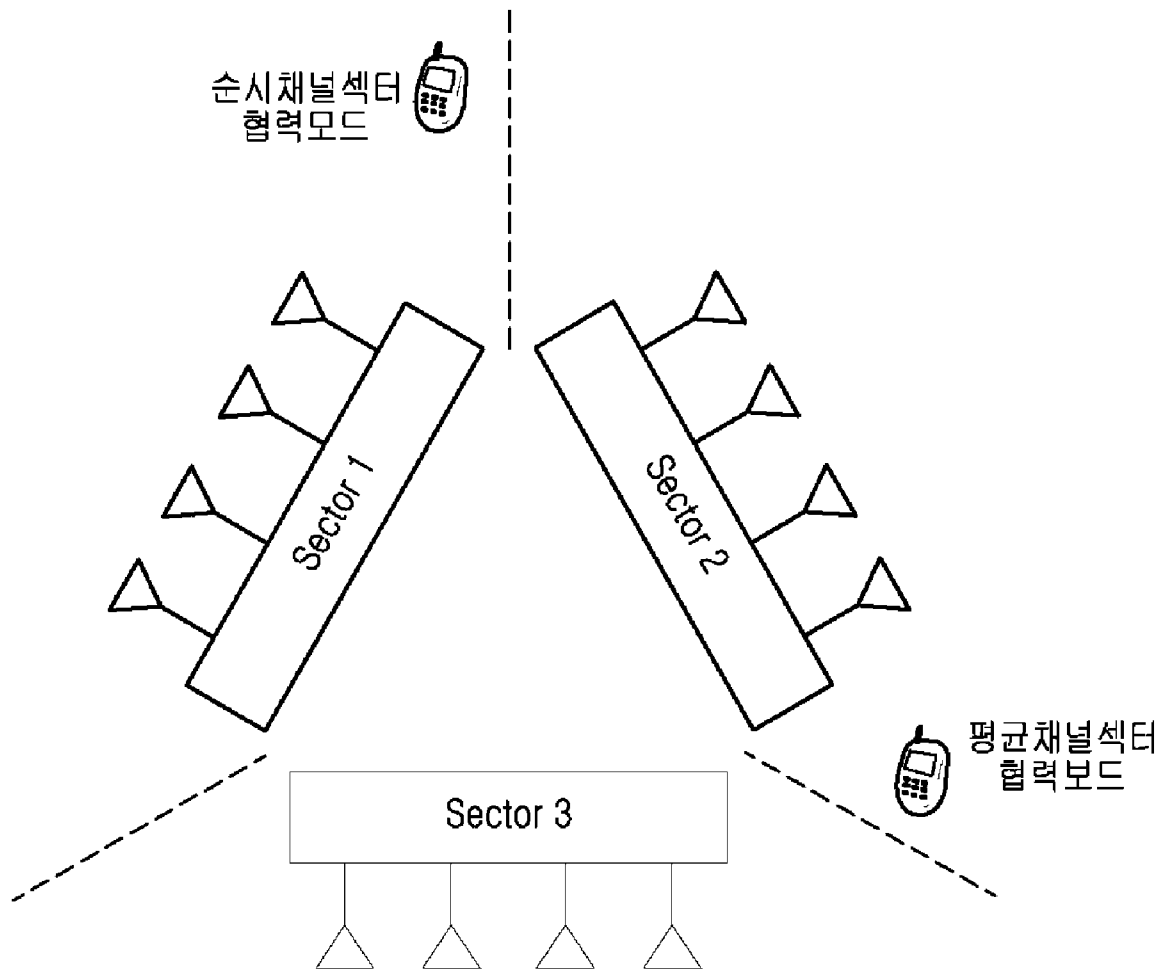
$\hat{L}$ 과 사용자 조합($\Omega_{\hat{n}}$)을 하기 수학적식과 같이 결정하는 것을

특징으로 하는 방법.

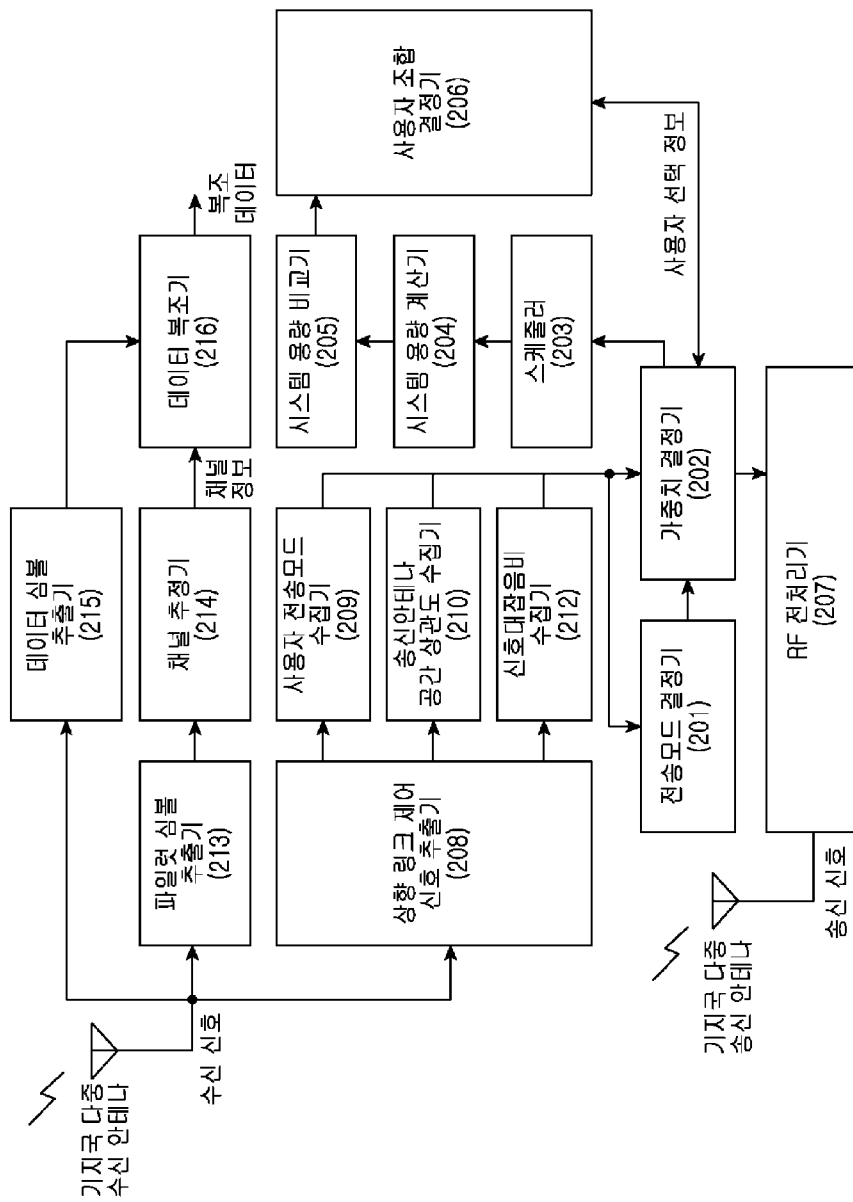
$$\Omega_{\hat{n}} = \arg \max_{\Omega_n \in G} C(\Omega_n)$$

- [청구항 13] 다중안테나 시스템에서 다중 섹터 협력 전송을 위한 송신 빔포밍 장치에 있어서,
채널 환경에 따라 섹터 경계 사용자들의 전송모드를 결정하는 전송모드 결정기와,
상기 사용자의 전송모드를 기반으로, 다중 사용자들을 지원할 수 있는 다중 섹터 협력 송신 빔을 결정하는 가중치 결정기와,
상기 결정된 다중 섹터 협력 송신 빔을 고려하여, 다중 섹터 협력 빔포밍을 위한 사용자 조합을 결정하는 사용자 조합 결정기와,
상기 결정된 사용자 조합으로, 섹터 협력 송신 빔포밍을 수행하는 RF 전처리를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.
- [청구항 14] 제 13항에 있어서,
상기 전송모드 결정기는,
상기 사용자가 제1 전송모드로 동작할 때의 제1 최대 신호대간섭잡음비(Signal-to-Interference plus Noise Ratio: SINR)를 결정하고, 상기 사용자가 제2 전송모드로 동작할 때의 제2 최대 SINR를 결정하고,
상기 제1 최대 SINR과 상기 제2 최대 SINR를 비교하여 전송모드를 결정하며,
제1 전송모드는 순시 채널 섹터 협력(Instantaneous channel Sector Cooperation: ISC) 모드이고, 제2 전송모드는 평균 채널 섹터 협력(Statistic channel Sector Cooperation: 이하 SSC) 모드이고,
상기 제1 최대 SINR과 상기 제2 최대 SINR은 사운딩 오차, 전송 시간 지연 및 송신 안테나 공간 상관도 중 적어도 하나 이상이 고려되어 결정되는 것을 특징으로 하는 장치.
- [청구항 15] 제 13항에 있어서,
상기 사용자 조합 결정기는,
상기 다중 섹터 협력 송신 빔포밍을 수행할 모든 스케줄링 사용자 조합과 스케줄링 사용자 수에 따른 시스템 채널 용량을 계산하는 계산기와,
상기 계산된 시스템 채널 용량을 비교하는 비교기와,
상기 비교 결과로부터, 상기 시스템 채널 용량을 최대화하는 최적 스케줄링 사용자 조합과 스케줄링 사용자 수를 결정하는 스케줄러를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

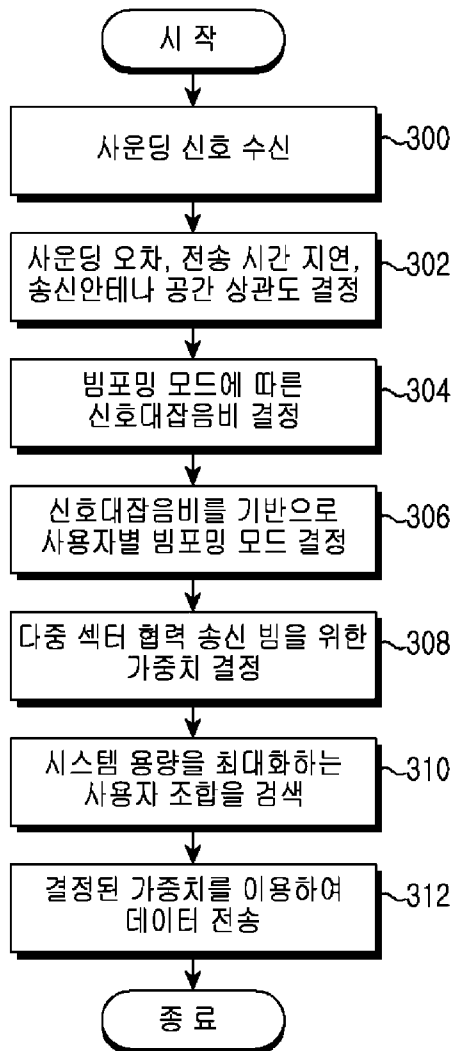
[Fig. 1]



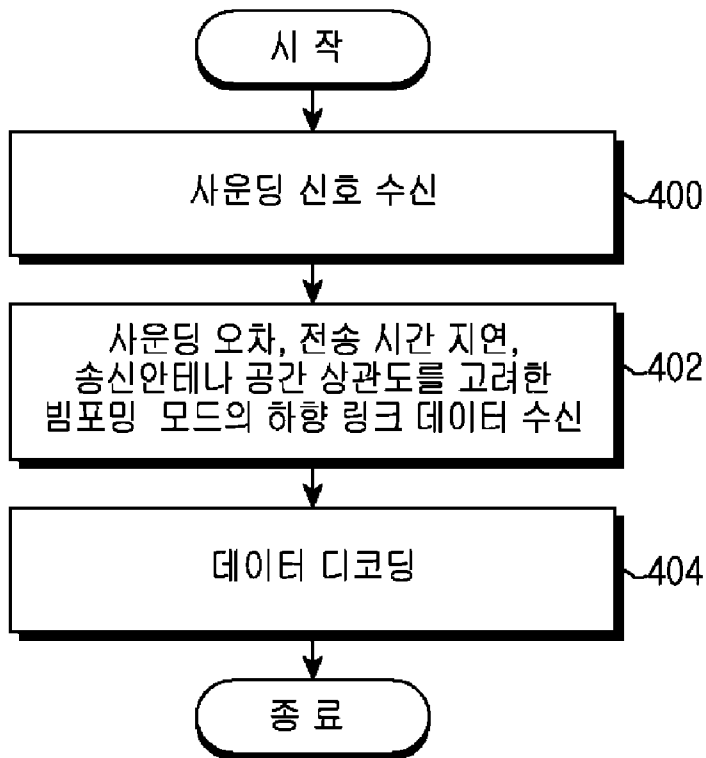
[Fig. 2]



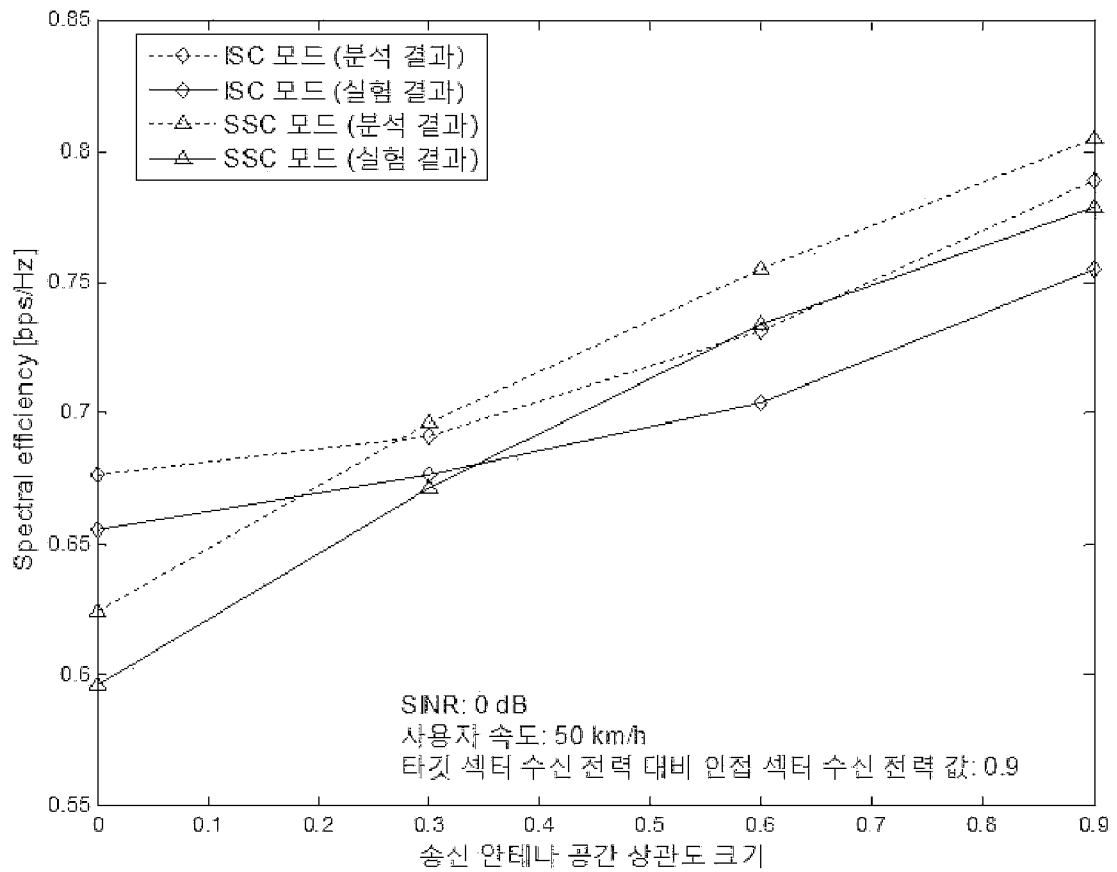
[Fig. 3]



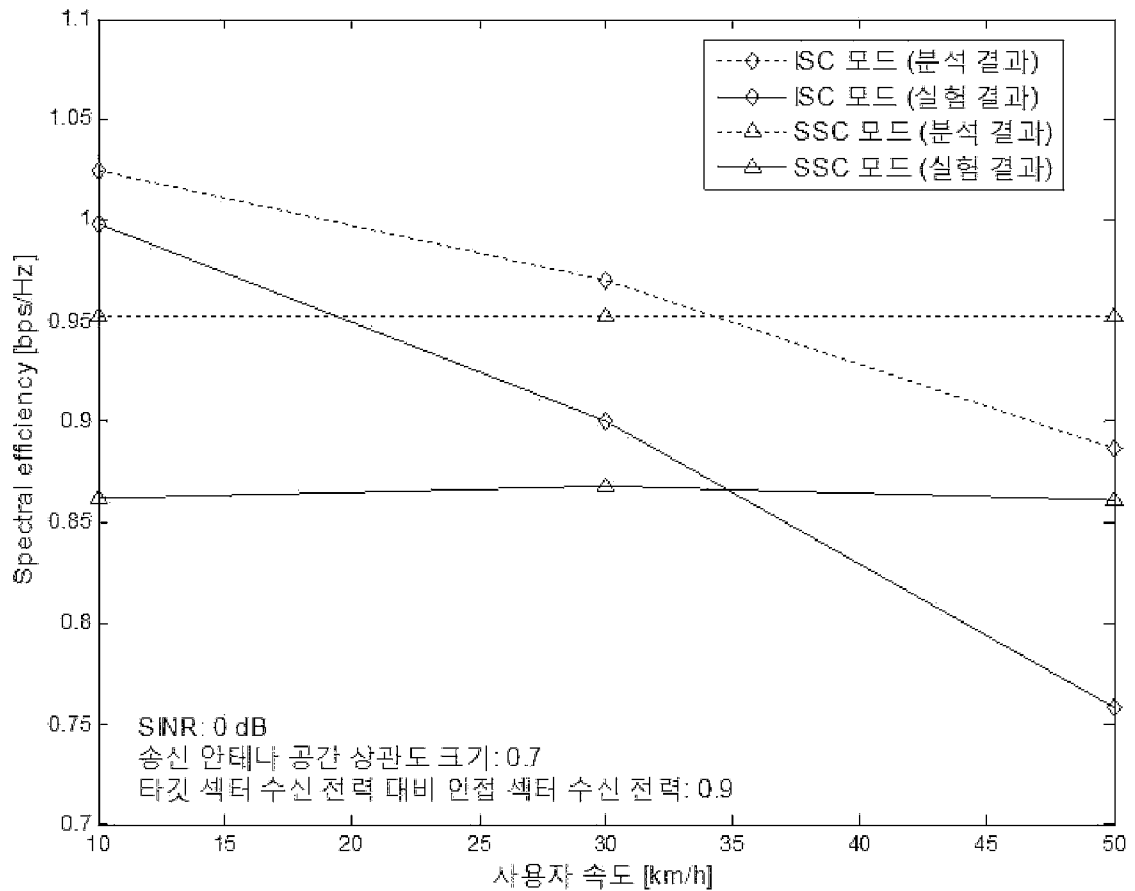
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



[Fig. 7]

