



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년09월07일  
(11) 등록번호 10-1549780  
(24) 등록일자 2015년08월27일

- |  |  |
|--|--|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)<br/>H04B 17/00 (2015.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2014-0035645</p> <p>(22) 출원일자 2014년03월27일<br/>심사청구일자 2014년03월27일</p> <p>(56) 선행기술조사문헌<br/>KR1020110077157 A*<br/>KR1020120052654 A*<br/>KR1020110129481 A<br/>*는 심사관에 의하여 인용된 문헌</p> | <p>(73) 특허권자<br/>한국과학기술원<br/>대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)</p> <p>(72) 발명자<br/>김정찬<br/>대전 유성구 대학로 291<br/>한영남<br/>대전 유성구 대학로 291<br/>송유재<br/>대전 유성구 대학로 291</p> <p>(74) 대리인<br/>양성보</p> |
|--|--|

전체 청구항 수 : 총 6 항

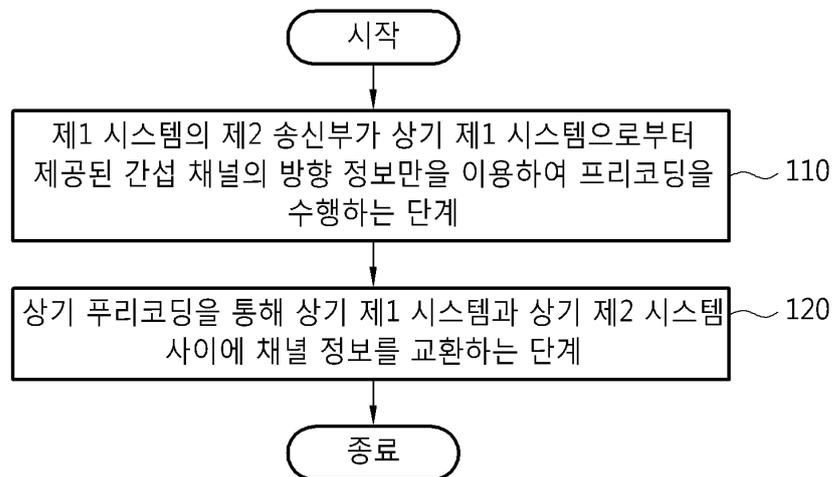
심사관 : 강철수

(54) 발명의 명칭 **다중 안테나 인지 라디오 시스템에서 간섭 채널 정보 교환을 바탕으로 한 효율적인 초기 백색화 전송 방법 및 장치**

(57) 요약

다중 안테나 인지 라디오 시스템에서 간섭 채널 정보 교환을 바탕으로 한 효율적인 초기 백색화 전송 방법 및 장치가 제시된다. 본 발명에서 제안하는 다중 안테나 인지 라디오 시스템에서 간섭 채널 정보 교환을 바탕으로 한 효율적인 초기 백색화 전송 방법은 제1 시스템과 제2 시스템 사이의 간섭 링크에 대한 채널 정보 공유가 가능할 경우, 상기 제2 시스템의 제2 송신부가 상기 제1 시스템으로부터 제공된 간섭 채널의 방향 정보만을 이용하여 프리코딩을 수행하는 단계, 상기 프리코딩을 통해 상기 제1 시스템과 상기 제2 시스템 사이에 채널 정보를 교환하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업  
과제고유번호 12-911-01-105  
부처명 방송통신위원회  
연구관리전문기관 방송통신전파진흥원  
연구사업명 방송통신기술개발사업(방송통신인프라원천기술사업)  
연구과제명 인지정보기반 인텔리전트 다중라디오 기술  
기여율 1/1  
주관기관 한국과학기술원  
연구기간 2013.05.01 ~ 2014.04.30

---

**특허청구의 범위**

**청구항 1**

다중 안테나 인지 라디오 시스템의 간섭 채널 정보 교환 방법에 있어서,  
 제1 시스템과 제2 시스템 사이의 간섭 링크에 대한 채널 정보 공유가 가능할 경우, 상기 제2 시스템의 제2 송신부가 상기 제1 시스템으로부터 제공된 간섭 채널의 방향 정보만을 이용하여 프리코딩을 수행하는 단계; 및  
 상기 프리코딩을 통해 상기 제1 시스템과 상기 제2 시스템 사이에 채널 정보를 교환하는 단계를 포함하고,  
 상기 제2 시스템의 제2 송신부가 상기 제1 시스템으로부터 제공된 간섭 채널의 방향 정보만을 이용하여 프리코딩을 수행하는 단계는,  
 정규화된 전송 신호를 이용하여 상기 프리코딩을 수행하는  
 다중 안테나 인지 라디오 시스템의 간섭 채널 정보 교환 방법.

**청구항 2**

삭제

**청구항 3**

제1항에 있어서,  
 상기 정규화된 전송 신호는 하기식과 같이 나타내고,

$$\mathbf{X}_{prop}^s = \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \boldsymbol{\Psi}^{-1} \mathbf{x}^s$$

여기에서,  $\boldsymbol{\Psi}$ 는 총 방향 행렬,  $\gamma$ 는 정규화 텀을 나타내는  
 다중 안테나 인지 라디오 시스템의 간섭 채널 정보 교환 방법.

**청구항 4**

제3항에 있어서,  
 상기 정규화 텀  $\gamma$ 는 하기식과 같이 나타내고,

$$\gamma = \mathbf{E} \left[ \left\| \boldsymbol{\Psi}^{-1} \mathbf{x}^s \right\|^2 \right] = \sum_{i=1}^M v_i^{-1}$$

여기에서,  $v_i$ 는 단위 벡터를 나타내고,  
 상기 정규화된 전송 신호는 간섭 채널의 방향 정보만을 이용하는  
 다중 안테나 인지 라디오 시스템의 간섭 채널 정보 교환 방법.

**청구항 5**

다중 안테나 인지 라디오 시스템의 간섭 채널 정보 교환 방법에 있어서,  
 제1 시스템과 제2 시스템 사이의 간섭 링크에 대한 채널 정보 공유가 가능할 경우, 상기 제2 시스템의 제2 송신부가 상기 제1 시스템으로부터 제공된 간섭 채널의 방향 정보만을 이용하여 프리코딩을 수행하는 단계; 및  
 상기 프리코딩을 통해 상기 제1 시스템과 상기 제2 시스템 사이에 채널 정보를 교환하는 단계

를 포함하고,

상기 제2 시스템의 제2 송신부가 상기 제1 시스템으로부터 제공된 간섭 채널의 방향 정보만을 이용하여 프리코딩을 수행하는 단계는,

상기 제1 시스템의 제1 수신부의 평균 간섭 전력은 하기 식과 같은 상계 값을 갖는

$$E[P_{int}^{Prop}] \leq \eta P_s$$

다중 안테나 인지 라디오 시스템의 간섭 채널 정보 교환 방법.

**청구항 6**

다중 안테나 인지 라디오 시스템의 간섭 채널 정보 교환 시스템에 있어서,

제2 시스템으로 간섭 링크에 대한 채널 정보를 송신하는 제1 시스템의 제1 송신부;

제2 시스템으로부터 간섭 링크에 대한 채널 정보를 수신하는 제1 시스템의 제1 수신부;

제1 시스템으로 간섭 링크에 대한 채널 정보를 송신하는 제2 시스템의 제2 송신부; 및

제1 시스템으로부터 간섭 링크에 대한 채널 정보를 수신하는 제2 시스템의 제2 수신부

를 포함하고,

상기 제1 시스템과 상기 제2 시스템 사이의 간섭 링크에 대한 채널 정보 공유가 가능할 경우, 상기 제2 송신부가 상기 제1 시스템으로부터 제공된 간섭 채널의 방향 정보만을 이용하여 프리코딩을 수행하고, 상기 프리코딩을 통해 상기 제1 시스템과 상기 제2 시스템 사이에 채널 정보를 교환하고,

상기 제2 시스템은 정규화된 전송 신호를 이용하여 상기 프리코딩을 수행하는

다중 안테나 인지 라디오 시스템의 간섭 채널 정보 교환 시스템.

**청구항 7**

삭제

**청구항 8**

제6항에 있어서,

상기 정규화된 전송 신호는 간섭 채널의 방향 정보만을 이용하는

다중 안테나 인지 라디오 시스템의 간섭 채널 정보 교환 시스템.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 다중 안테나 인지 라디오 시스템에서 간섭 채널 정보 교환을 바탕으로 한 효율적인 초기 백색화(Pre-whitening) 전송 방법 및 장치에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 주파수 자원 효율 증대를 위한 기술로서 인지 라디오(cognitive radio) 기술이 최근에 크게 주목 받고 있다. 이는 제2 시스템(secondary (unlicensed) system)과 제1 시스템(primary system)이 활용도가 낮은 라이선스 제1 주파수(used/underutilized licensed primary frequency) 자원을 기회적으로 이용 하는 것을 의미한다. 인지 라디오 모드는 주파수 자원 공유의 메커니즘에 따라 언더레이(underlay), 오버레이(overlay), 인터웨이브 모드(interweave mode)로 구분 할 수 있다. 이 중 언더레이(underlay mode)는 제2 시스템(secondary system)의 전송이 제1 시스템(primary system)의 성능에 크게 영향을 미치지 않는 범위 내에서 제1 시스템(primary system), 제2 시스템(secondary system) 사이에 주파수 자원 공유를 가능하게 하는 장점으로 인해 가장 주목 받고 있다. 이러한 언더레이 모드(underlay mode) 운용의 요구 사항들을 달성하기 위해서 다중 안테나 인지 라디오

오 환경에서의 다양한 간섭 완화(interference mitigation) 기법들이 연구되고 있다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0003] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 다중 안테나 인지 라디오 (MIMO-based cognitive radio) 환경에서 제1 시스템(primary system) 및 제2 시스템(secondary system)이 간섭 링크(interference link)에 대한 채널 정보 공유가 가능 할 때 간섭 완화(interference mitigation)를 위한 제2 송신부(secondary transmitter)의 프리코딩 방법 및 장치를 제공하는데 있다.

**과제의 해결 수단**

[0004] 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 다중 안테나 인지 라디오 시스템에서 간섭 채널 정보 교환을 바탕으로 한 효율적인 초기 백색화 전송 방법은 제1 시스템과 제2 시스템 사이의 간섭 링크에 대한 채널 정보 공유가 가능할 경우, 상기 제2 시스템의 제2 송신부가 상기 제1 시스템으로부터 제공된 간섭 채널의 방향 정보만을 이용하여 프리코딩을 수행하는 단계, 상기 프리코딩을 통해 상기 제1 시스템과 상기 제2 시스템 사이에 채널 정보를 교환하는 단계를 포함할 수 있다.

[0005] 상기 제2 시스템의 제2 송신부가 상기 제1 시스템으로부터 제공된 간섭 채널의 방향 정보만을 이용하여 프리코딩을 수행하는 단계는 정규화된 전송 신호를 이용하여 상기 프리코딩을 수행할 수 있다.

[0006] 상기 정규화된 전송 신호는 하기식과 같이 나타내고,

[0007] 
$$\mathbf{X}_{prop}^s = \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \mathbf{\Psi}^{-1} \mathbf{x}^s$$

[0008] 여기에서,  $\psi$ 는 총 방향 행렬,  $\gamma$ 는 정규화 텀을 나타낸다.

[0009] 상기 정규화 텀  $\gamma$ 는 하기식과 같이 나타내고,

[0010] 
$$\gamma = \mathbf{E} \left[ \left\| \mathbf{\Psi}^{-1} \mathbf{x}^s \right\|^2 \right] = \sum_{i=1}^M v_i^{-1}$$

[0011] 여기에서,  $v_i$ 는 단위 벡터를 나타내고,

[0012] 상기 정규화된 전송 신호는 간섭 채널의 방향 정보만을 이용한다.

[0013] 상기 제2 시스템의 제2 송신부가 상기 제1 시스템으로부터 제공된 간섭 채널의 방향 정보만을 이용하여 프리코딩을 수행하는 단계는 상기 제1 시스템의 제1 수신부의 평균 간섭 전력은 하기 식과 같은 상계 값을 가질 수 있다.

[0014] 
$$\mathbf{E}[P_{int}^{Prop}] \leq \eta P_s$$

[0015] 또 다른 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 다중 안테나 인지 라디오 시스템에서 간섭 채널 정보 교환을 바탕으로 한 효율적인 초기 백색화 전송 시스템은 제2 시스템으로 간섭 링크에 대한 채널 정보를 송신하는 제1 시스템의 제1 송신부, 제2 시스템으로부터 간섭 링크에 대한 채널 정보를 수신하는 제1 시스템의 제1 수신부, 제1 시스템으로 간섭 링크에 대한 채널 정보를 송신하는 제2 시스템의 제2 송신부, 제1 시스템으로부터 간섭 링크에 대한 채널 정보를 수신하는 제2 시스템의 제2 수신부를 포함할 수 있다.

[0016] 상기 제1 시스템과 상기 제2 시스템 사이의 간섭 링크에 대한 채널 정보 공유가 가능할 경우, 상기 제2 송신부가 상기 제1 시스템으로부터 제공된 간섭 채널의 방향 정보만을 이용하여 프리코딩을 수행하고, 상기 프리코딩을 통해 상기 제1 시스템과 상기 제2 시스템 사이에 채널 정보를 교환할 수 있다.

**발명의 효과**

[0017] 본 발명의 실시예들에 따르면 제2 송신부(secondary transmitter)에서의 프리코딩을 위해 오직 제1 시스템(primary system)으로부터 제공된 간섭 채널(interference channel)의 방향(direction) 정보만을 이용하는 새로운 초기 백색화(pre-whitening) 기법을 통해 종래기술의 초기 백색화(pre-whitening) 기법에 비해 채널 정보 교환에 있어 피드백 양을 줄이면서 거의 유사한 시스템 성능을 발휘할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0018] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 안테나 인지 라디오 시스템에서 간섭 채널 정보 교환을 바탕으로 한 효율적인 초기 백색화 전송 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 MIMO 기반 CR 네트워크 시스템을 위한 시스템 모델을 나타내는 도면이다.

도 3은 종래 기술과 본 발명의 일 실시예에 따른 ST의 전송 전력의 변화에 따른 PR에서의 평균 성취 비율을 비교한 그래프이다.

도 4는 종래 기술과 본 발명의 일 실시예에 따른 ST의 전송 전력의 변화에 따른 PR에서의 평균 수신 간섭 전력을 비교한 그래프이다.

도 5는 종래 기술과 본 발명의 일 실시예에 따른 SIR을 비교한 그래프이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 안테나 인지 라디오 시스템에서 간섭 채널 정보 교환을 바탕으로 한 효율적인 초기 백색화 전송 시스템의 구성을 나타내는 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0019] 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0020] 다중 안테나 인지 라디오(MIMO-based cognitive radio) 환경에서 제1 시스템(primary system) 및 제2 시스템(secondary system)이 간섭 링크(interference link)에 대한 채널 정보 공유가 가능 할 때의 간섭 완화(interference mitigation) 방법에 관한 것이다. 본 발명에서는 초기 백색화(pre-whitening) 기법을 제안 하고, 이는 제2 시스템의 제2 송신부(secondary transmitter)에서의 프리코딩을 위해 오직 제1 시스템(primary system)으로부터 제공된 간섭 채널(interference channel)의 방향(direction) 정보 만을 이용하게 된다. 이를 통해 채널 정보 교환에 있어 피드백 양을 줄이면서 평균 간섭 전력(average interference power) 등과 같은 시스템 성능을 유지 하거나 줄일 수 있는 방법이 요구 되고 있다.

[0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 안테나 인지 라디오 시스템에서 간섭 채널 정보 교환을 바탕으로 한 효율적인 초기 백색화 전송 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0022] 다중 안테나 인지 라디오 시스템에서 간섭 채널 정보 교환을 바탕으로 한 효율적인 초기 백색화 전송 방법은 제 2 시스템의 제2 송신부가 제1 시스템으로부터 제공된 간섭 채널의 방향 정보만을 이용하여 프리코딩을 수행하는 단계(110), 상기 프리코딩을 통해 제1 시스템과 제2 시스템 사이에 채널 정보를 교환하는 단계(120)를 포함할 수 있다.

[0023] 단계(110)에서, 제2 시스템의 제2 송신부가 제1 시스템으로부터 제공된 간섭 채널의 방향 정보만을 이용하여 프리코딩을 수행할 수 있다. 이때, 상기 제2 시스템의 제2 송신부가 상기 제1 시스템으로부터 제공된 간섭 채널의 방향 정보만을 이용하여 프리코딩을 수행하는 단계는 정규화된 전송 신호를 이용하여 상기 프리코딩을 수행할 수 있다. 먼저, 도 2를 참조하여 MIMO 기반 CR 네트워크 시스템을 위한 시스템 모델을 설명한다.

[0024] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 MIMO 기반 CR 네트워크 시스템을 위한 시스템 모델을 나타내는 도면이다.

[0025] 이때 제2 시스템(220)의 제2 송신부 ST(221)(secondary transmitter)의 송신(transmission)은 제1 시스템(210)의 제1 송신부 PR(212)(primary receiver)에 간섭(interference)으로 작용하는 반면에 제1 시스템(210)의 제1 송신부 PT(211)(primary transmitter)의 송신(transmission)은 제2 시스템(220)의 제2 수신부 SR(222)(secondary receiver)에 간섭(interference)으로 작용 하지 않는다고 가정한다. 이러한 모델은 MIMO-Z

채널로 알려져 있고 스펙트럼 셰어링 환경(spectrum-sharing environment)에서 널리 사용되고 있는 모델이다. 또한 간섭 링크(interference link)의 CSI(channel state information)은 PR이 평가할 수 있고, 제2 시스템(secondary system)으로 이 정보의 피드백(feedback)은 제1 시스템(primary system)이 담당한다고 가정한다.

[0026] 이러한 시스템 모델에서의 PR과 SR에서의 수신된 신호 벡터(received signal vector)( $y_p, y_s$ )는 수학식1로 표현 할 수 있다.

$$y_p = \sqrt{\rho_p P_p} \mathbf{H}^p \mathbf{X}^p + \sqrt{\eta P_s} \mathbf{H}_p^s \mathbf{X}^s + \mathbf{n}_p$$

[0027]  $y_s = \sqrt{\rho_s P_s} \mathbf{H}^s \mathbf{X}^s + \mathbf{n}_s,$  수학식1

[0028] 이때  $P_i$ 는 송신부(transmitter)의 송신 전력(transmission power),  $X_i$ 은 정규화된 신호 벡터(normalized transmitted signal vector)를 의미하고  $X^i = T^i x^i / |T^i x^i|$  같이 표현 할 수 있다.  $T^i$ 는 송신부(transmitter)  $i$ 의 프리코딩 매트릭스(precoding matrix),  $x^i$ 는 독립적 가우시안 데이터 스트림(independent Gaussian data stream)을 의미하며 이는  $E[x^i (x^i)^\dagger] = \mathbf{I}_M$ 를 만족 한다.  $n_i$ 은  $N \times 1$ 노이즈 벡터를 의미하며 i.i.d.를 따르며, 벡터의 각 요소(element)들은  $CN(0, N_0)$ 를 따른다.  $H^p, H^s$ 는 각각 PT와 PR 사이의 채널 게인(channel gain), ST와 SR 사이의 채널 게인(channel gain)을 나타낸다. 또한  $H$ 는 ST와 PR 사이의 채널 게인(channel gain)을 의미한다. 전송 및 수신 안테나의 수는  $M$ 으로 가정하고, P슈도 인벌스(pseudo-inverse) 방법을 이용함으로써 쉽게 일반적 케이스(general case) (즉, 다른 수의 송수신 안테나)로 확장 할 수 있다.  $\rho_i, \eta$ 는 각각  $H^p, H_p^s$ 의 평균 채널 게인(average channel gain)을 의미한다.

[0029] 프리코딩 매트릭스(precoding matrix)의 성질을  $T^p (T^p)^\dagger = \mathbf{I}_M$ 로 가정 한다면, PR와 SR의 성취 비율(achievable rate) ( $C^p, C^s$ )을 수학식2로 표현 할 수 있다.

$$C^p = \log_2 \det \left( \mathbf{I}_M + \frac{\rho_p P_p}{M} \mathbf{H}^p (\mathbf{H}^p)^\dagger \mathbf{R}_p^{-1} \right)$$

$$C^s = \log_2 \det \left( \mathbf{I}_M + \frac{\rho_s P_s}{N_0} \mathbf{H}^s \mathbf{R}_s (\mathbf{H}^s)^\dagger \right),$$

[0030] 수학식2

[0031] 이때  $R_p$ 는 PR에서의 간섭 플러스 노이즈 벡터(interference plus noise vector)의 공분산 행렬(covariance matrix),  $R_s$ 는 ST에서의 정규화된 송신 신호 벡터(normalized transmitted signal vector)의 공분산 행렬(covariance matrix)를 의미한다.

[0032] 종래 기술에 따른 제로-포커싱 기준(zero-forcing criterion)을 바탕으로 하는 기존의 초기 백색화(pre-whitening) 기법은 ST에서 간섭 링크(interference link)의 CSI를 요구 한다. 이때 ST에서의 정규화된 송신 신호(normalized transmitted signal)은 수학식3과 같이 표현 된다.

$$\mathbf{X}^s = \frac{\mathbf{T}^s \mathbf{x}^s}{\|\mathbf{T}^s \mathbf{x}^s\|} = \frac{1}{\sqrt{\gamma}} (\mathbf{H}_p^s)^{-1} \mathbf{x}^s$$

[0033] 수학식3

[0034] 여기에서 정규화 텀  $\gamma$ 는 수학식 4와 같이 표현된다.

$$\gamma = \mathbf{E} \left[ \left\| (\mathbf{H}_p^s)^{-1} \mathbf{x}^s \right\|^2 \right] = \sum_{i=1}^M \lambda_i^{-2}$$

[0035] 수학식4

[0036] 여기에서,  $\lambda_i$ 은  $H_p^s$ 의 특이 값(singular value)를 의미한다.

[0037] 기존 기법을 널-스페이스(null-space) 관점에서 재해석하기 위해  $H_p^s$ 의  $i$ 의 로우(row)를  $H_p^s(i)$ 로 정의 한다. 그러면 이를  $H_p^s(i) = \sigma_i \mathbf{V}_i$ 로 표현이 가능하다. 여기서  $\sigma_i$ 는  $\sigma_i = |H_p^s(i)|$ 만족하는 크기 텀(magnitude term), 방향 벡터(direction vector)  $\mathbf{V}_i$ 는 단위 벡터(uni-norm vector)를 의미한다. 이를 바탕으로 하여 간섭 채널  $H_p^s$ 의 역행렬 값은 수학식5와 같이 표현 된다.

$$(\mathbf{H}_p^s)^{-1} = \Psi^{-1} \Lambda_{\text{diag}}^{-1} = \left( [\mathbf{v}_1^?, \dots, \mathbf{v}_M^?]^\dagger \right)^{-1} \Lambda_{\text{diag}}^{-1}$$

[0038] 수학식5

[0039] 이때  $\Psi$ 는  $\mathbf{V}_i$ 로 구성되어 있는 총 방향 행렬(aggregate direction matrix),  $\Lambda_{\text{diag}}$ 는  $\Lambda_{\text{diag}} = \text{diag}(\sigma_1, \dots, \sigma_M)$ 를 의미한다.  $\Psi$ 의 역행렬은 수학식6과 같이 표현 할 수 있다.

$$\Psi^{-1} = \left[ \mathbf{V}_1^0 (\mathbf{V}_1 \mathbf{V}_1^0)^{-1}, \dots, \mathbf{V}_M^0 (\mathbf{V}_M \mathbf{V}_M^0)^{-1} \right] = \mathbf{V}_{\text{null}} \mathbf{V}_{\text{in}}^{-1}$$

[0040] 수학식6

[0041] 이때 널-스페이스 벡터(null-space vector)는 수학식7과 같이 표현 할 수 있으며

$$\mathbf{v}_i^0 = \text{null} \left( [\mathbf{v}_1^\dagger, \dots, \mathbf{v}_{i-1}^\dagger, \mathbf{v}_{i+1}^\dagger, \dots, \mathbf{v}_M^\dagger]^\dagger \right)$$

[0042] 수학식7

[0043]  $\mathbf{V}_{\text{null}}$ 은  $\mathbf{V}_{\text{null}} = [\mathbf{V}_1^0, \dots, \mathbf{V}_M^0]$ ,  $\mathbf{V}_{\text{in}}$ 은  $\mathbf{V}_{\text{in}} = \text{diag}(\mathbf{V}_1 \mathbf{V}_1^0, \dots, \mathbf{V}_M \mathbf{V}_M^0)$ 로 표현 할 수 있다.

[0044] 앞서 널-스페이스(null-space) 관점에서  $H_p^s$ 의 역행렬을 재해석 할 수 있었으므로 정규화 텀(normalizing term)은 수학식8과 같이 새롭게 표현 할 수 있다.

$$\gamma = \mathbf{E} \left[ \left\| \Psi^{-1} \Lambda_{\text{diag}}^{-1} \mathbf{x}^s \right\|^2 \right] = \sum_{i=1}^M \sigma_i^{-2} \nu_i^{-1}$$

[0045] 수학식8

[0046] 이때  $\nu_i = |V_i V_i^*|^2$ 이고  $0 \leq \nu_i \leq 1$  를 만족 한다.

[0047] 이를 수학식4와 수학식8을 이용하게 되면 PR에서의 수신된 간섭 전력(received interference power)는 수학식9와 같이 표현 할 수 있다.

$$P_{\text{int}}^{\text{PrW}} = \eta P_s M \gamma^{-1} = \eta P_s H_s^M \lambda_i^2 = \eta P_s H_s^M \sigma_i^2 \nu_i$$

[0048] 수학식9

[0049] 여기서,  $H_{x_i}^M = M \left( \sum_{i=1}^M x_i^{-1} \right)^{-1}$  는 조화 평균(harmonic mean)을 의미한다.

[0050] 본 발명에서 제안하는 초기 백색화(pre-whitening) 기법은 간섭 채널(interference channel)의 크기(magnitude) 정보를 이용하지 않고 오직 방향(direction) 정보만을 이용한다. 특히, 제안하는 기법은 오직 총 방향 행렬(aggregate direction matrix)  $\Psi$  만을 이용하고 그 결과 ST는 채널 크기(channel magnitude)  $\Lambda_{\text{diag}}$  를 알 필요가 없어진다.

[0051] 제안하는 기법에서는 수학식10과 같이 정규화된 송신 신호(normalized transmit signal)를 구성한다.

$$\mathbf{X}_{\text{prop}}^s = \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \Psi^{-1} \mathbf{x}^s$$

[0052] 수학식10

[0053] 이때 정규화 텀(normalizing term)  $\gamma$  는 아래와 같이 표현 할 수 있다.

$$\gamma = \mathbf{E} \left[ \left\| \Psi^{-1} \mathbf{x}^s \right\|^2 \right] = \sum_{i=1}^M \nu_i^{-1}$$

[0054] 수학식11

[0055] 위의 수학식10 및 수학식11을 통해서도 알 수 있듯이 제안하는 기법에서는  $H_p^s$ 의 방향(direction) 정보만을 이용하여 프리코딩(precoding)을 하게 된다.

[0056] 제안하는 기법을 적용 했을 경우 PR에서의 수신된 간섭 전력(received interference power)은 수학식12와 같이 표현 할 수 있다.

$$P_{int}^{Prop} = \frac{\eta P_s \text{trace}(\Lambda_{\text{diag}}^2)}{\sum_{i=1}^M \nu_i^{-1}} = H_{\nu_i}^M P_{int}^{PoW}$$

[0057] 수학식12

[0058] 위의 수학식을 통해  $P_{int}^{prop}$ 는 내적(inner product)의 조화 평균(harmonic mean)과 초기 백색화 기법(post-whitening scheme)의 간섭 전력(interference power)의 두 가지의 파트로 나누어 표현 할 수 있다.

[0059] 제안하는 초기 백색화 기법을 ST에서 사용 했을 때, PR의 평균 간섭 전력(average interference power)은 수학식13과 같은 상계(upper-bound) 값을 가짐을 입증 하였다. (아래의 lemma 2를 참조)

[0060] Lemma 2: 제안하는 초기 백색화 기법을 ST에 적용할 경우, PR의 평균 간섭 전력은 아래와 같은 상계 값을 갖는다.

$$\mathbf{E}[P_{int}^{Prop}] \leq \eta P_s$$

[0061] 수학식13

[0062] 증명:

$$\begin{aligned} \mathbf{E}[P_{int}^{Prop}] &= \eta P_s \mathbf{E}[A_{\sigma_i^2}^M] \mathbf{E}[H_{\nu_i}^M] \\ &\leq \eta P_s M \mathbf{E}[A_{\nu_i}^M] = \eta P_s \end{aligned}$$

[0063] 수학식14

[0064] 또한 아래의 종래기술에 따른 초기 백색화 기법과 제안하는 초기 백색화 기법 사이의 신호-간섭 비율(signal to interference ratio) 비교를 통해 제안하는 초기 백색화 기법의 효과적인 우위 대비를 보여 줄 수 있다. (아래의 proposition 1을 참조)

[0065] Proposition 1: PT 및 ST가 일반적 상황에서 같은 송신 전력을 사용하고, 제안된 초기 백색 기법을 사용할 경우, 수학식15의 등식이 항상 성립한다.

$$\frac{\mathbf{E}[\text{SIR}_{PrW}]}{\mathbf{E}[\text{SIR}_{Prop}]} = 1 + \frac{1}{M}$$

[0066] 수학식15

[0067] 증명: PR의 수신된 신호 전력은  $P_{sig}$  로 나타내고, 수학식16과 같이 주어질 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{sig} &= \rho_p P_p \mathbf{E} \left[ \|\mathbf{H}^P \mathbf{x}^P\|^2 \right] \\ &= \rho_p P_p \text{trace} \left( \mathbf{H}^P (\mathbf{H}^P)^\dagger \right) = \rho_p P_p \sum_{i=1}^M \sigma_i^2 \end{aligned}$$

[0068] 수학식16

[0069] 그러면,  $P_{sig}$ 의 평균은 수학식 17과 같고,

$$\mathbf{E}[P_{sig}] = \rho_p P_p \mathbf{E}[\chi] = \rho_p P_p M^2$$

[0070] 수학식17

[0071] 여기에서  $\chi = \sum_{i=1}^M \sigma_i^2$  는  $2M^2$  자유도와  $\mathbf{E}[\chi] = M^2$  를 갖는 카이-스퀘어(chi-squared)로 알려져 있다.  $\chi$ 의 pdf는 수학식18과 같이 주어진다.

$$f_{\chi}(x) = \frac{1}{\Gamma(M^2)} x^{M^2-1} e^{-x}$$

[0072] 수학식18

[0073] 그러면, 종래기술의 초기 백색화 기법에 따른 PR의 SIR 평균은 수학식19와 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} E[SIR_{PrW}] &= E[P_{sig}]E[(P_{int}^{PrW})^{-1}] \\ &= \frac{\rho_p P_p M}{\eta P_s} E\left[\frac{1}{\sigma_i^2}\right] E\left[\sum_{i=1}^M \frac{1}{\nu_i}\right] \end{aligned}$$

[0074] 수학식20

[0075] 수학식9와 가우시안 함수의 특성으로부터  $E[\sigma_i^{-2}]$  은 쉽게 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} E[\sigma_i^{-2}] &= \int_0^{\infty} x^{-1} f_{\sigma_i^2}(x) dx \\ &= \frac{\Gamma(M-1)}{\Gamma(M)} = \frac{1}{M-1} \end{aligned}$$

[0076] 수학식21

[0077] 그러면, 수학식21을 사용하여 수학식22와 같이 나타낼 수 있고,

$$E[SIR_{PrW}] = \frac{\rho_p P_p M}{\eta P_s (M-1)} E\left[\sum_{i=1}^M \frac{1}{\nu_i}\right]$$

[0078] 수학식22

[0079] 한편, 제안하는 초기 백색화 기법에 따른 PR의 평균 SIR 은 수학식23과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} E[SIR_{Prop}] &= E[P_{sig}]E[(P_{int}^{Prop})^{-1}] \\ &= \frac{\rho_p P_p M^2}{\eta P_s} E[\chi^{-1}] E\left[\sum_{i=1}^M \frac{1}{\nu_i}\right] \end{aligned}$$

[0080] 수학식23

[0081] 또한, 수학식18과 가우시안 함수의 특성으로부터,  $\chi^{-1}$ 의 평균은 수학식24와 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} E[\chi^{-1}] &= \int_0^{\infty} x^{-1} f_{\chi}(x) dx \\ &= \frac{\Gamma(M^2-1)}{\Gamma(M^2)} = \frac{1}{M^2-1} \end{aligned}$$

[0082] 수학식24

[0083] 그러므로, 수학식24를 사용하면,

$$E[SIR_{Prop}] = \frac{\rho_p P_p M^2}{\eta P_s (M^2-1)} E\left[\sum_{i=1}^M \frac{1}{\nu_i}\right]$$

[0084] 수학식25

[0085] 따라서, 수학식22와 수학식25에 의해 증명된다.

[0086] 단계(120)에서, 상기 프리코딩을 통해 제1 시스템과 제2 시스템 사이에 채널 정보를 교환할 수 있다. 상기 제2 시스템의 제2 송신부가 상기 제1 시스템으로부터 제공된 간섭 채널의 방향 정보만을 이용하여 프리코딩을 수행한 후, 상기 프리코딩을 통해 채널 정보를 교환함으로써, 종래기술의 초기 백색화(pre-whitening) 기법에 비해 피드백 량을 줄이면서도 우수한 시스템 성능을 유지할 수 있다. 이러한 제안하는 초기 백색화 기법의 우수한 성능을 도 3 내지 도 5를 참조하여 시뮬레이션 결과로 확인한다.

- [0087] 도 3은 종래 기술과 본 발명의 일 실시예에 따른 ST의 전송 전력의 변화에 따른 PR에서의 평균 성취 비율을 비교한 그래프이다.
- [0088] 제안하는 초기 백색화 기법과 종래기술의 초기 백색화 기법의 시뮬레이션 결과 비교에 있어서도, 제안하는 초기 백색화 기법은 종래기술의 초기 백색화 기법과 매우 유사한 성능을 확인 할 수 있다.
- [0089] 도 3은 종래기술의 초기 백색화 기법(CSI-PRW)과 제안하는 초기 백색화 기법(CDI-PRW) 적용 시, ST의 전송 전력(transmission power)  $P_s$ 의 변화에 따른 PR에서의 평균 성취 비율들(average achievable rate)(310, 320, ..., 360)을 비교한 결과 그래프이다. 결과적으로 두 기법의 성능은 매우 유사함을 확인 할 수 있으며, 대조군으로 비교를 한 초기 백색화 기법(PoW: post-whitening)과 비교 시에도 PR의 성능을 더욱 향상 시키는 것을 확인 할 수 있다. 이는 ST가 PR를 위하여 간섭을 제어함으로써 PR의 평균 수신된 간섭 전력(average received interference power)이 줄어드는 것에 기인한 것이다.
- [0090] 도 4는 종래 기술과 본 발명의 일 실시예에 따른 ST의 전송 전력의 변화에 따른 PR에서의 평균 수신 간섭 전력을 비교한 그래프이다.
- [0091] 도 4는 종래기술의 초기 백색화 기법과 제안하는 초기 백색화 기법 적용 시, ST의 전송 전력(tranmission power)의 변화에 따른 PR에서의 평균 수신된 간섭 전력들(average received interference power)(410, 420, ..., 460)의 비교를 보여준다. 도 4에서 확인 할 수 있듯이, 평균 수신된 간섭 전력들(average received interference power) 비교에 있어서도 종래기술의 초기 백색화 기법과 제안하는 초기 백색화 기법의 성능이 매우 유사함을 확인 할 수 있다. 또한 Lemma 2에서 입증하였듯이 상계 값(upper bound)보다 낮은 간섭량을 가짐을 확인 할 수 있다. 또한, 안테나 개수를 34개까지 증가시키에 따라 간섭량이 낮아지는 것으로 보아 안테나의 개수가 증가함에 따라 간섭량은 더 낮아질 수 있음을 예측할 수 있다.
- [0092] 도 5는 종래 기술과 본 발명의 일 실시예에 따른 SIR을 비교한 그래프이다.
- [0093] 도 5는 proposition 1에서 증명하였던 종래기술의 초기 백색화 기법과 제안하는 초기 백색화 기법의 SIR 비교를 한 결과 그래프이다. 그래프(510)은 몬테카를로(Monte-Carlo) 시뮬레이션 결과 이고, 그래프(520)은 분석(analysis) 결과이다. 이를 통해, 몬테카를로(Monte-Carlo) 시뮬레이션을 통해 이론적인 증명을 확인 할 수 있다. 결과 그래프를 통해 안테나 개수가 증가함에 따라 두 기법의 성능 차는 더욱 유사해짐을 확인 할 수 있다.
- [0094] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 안테나 인지 라디오 시스템에서 간섭 채널 정보 교환을 바탕으로 한 효율적인 초기 백색화 전송 시스템의 구성을 나타내는 도면이다.
- [0095] 다중 안테나 인지 라디오 시스템에서 간섭 채널 정보 교환을 바탕으로 한 효율적인 초기 백색화 전송 시스템은 제1 송신부(611) 및 제1 수신부(612)를 포함하는 제1 시스템(610)과, 제2 송신부(621) 및 제2 수신부(622)를 포함하는 제2 시스템(620)을 포함한다.
- [0096] 제1 송신부(611)는 제2 시스템으로 간섭 링크에 대한 채널 정보를 송신할 수 있다. 제1 수신부(612)는 제2 시스템으로부터 간섭 링크에 대한 채널 정보를 수신할 수 있다.
- [0097] 제2 송신부(621)는 제1 시스템으로 간섭 링크에 대한 채널 정보를 송신할 수 있다. 제2 수신부(622)는 제1 시스템으로부터 간섭 링크에 대한 채널 정보를 수신할 수 있다.
- [0098] 상기 제1 시스템과 상기 제2 시스템 사이의 간섭 링크에 대한 채널 정보 공유가 가능할 경우, 상기 제2 송신부가 상기 제1 시스템으로부터 제공된 간섭 채널의 방향 정보만을 이용하여 프리코딩을 수행하고, 상기 프리코딩을 통해 상기 제1 시스템과 상기 제2 시스템 사이에 채널 정보를 교환할 수 있다. 그리고, 상기 제2 시스템은 정규화된 전송 신호를 이용하여 상기 프리코딩을 수행하고, 상기 정규화된 전송 신호는 간섭 채널의 방향 정보만을 이용한다.
- [0099] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로

세서, 컨트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPA(field programmable array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 컨트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(configuration)도 가능하다.

[0100] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치, 또는 전송되는 신호 파(signal wave)에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

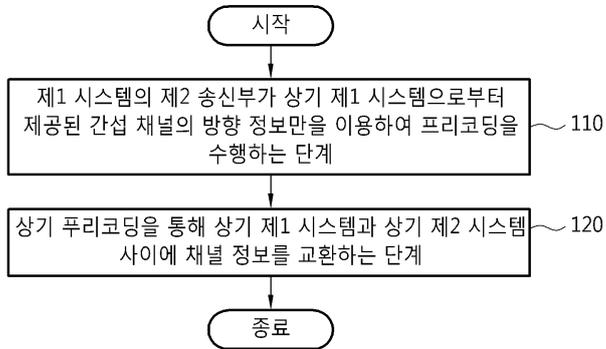
[0101] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0102] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

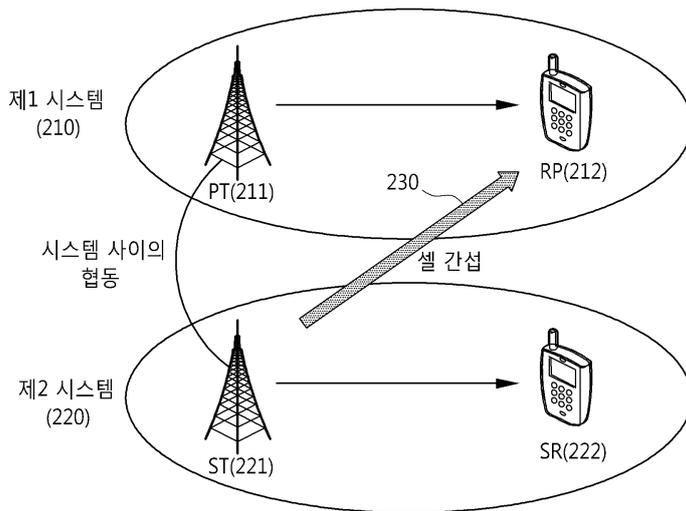
[0103] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

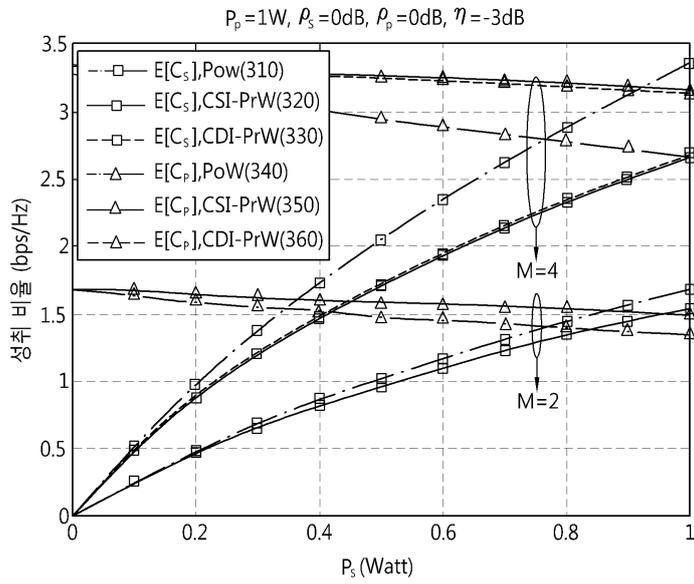
도면1



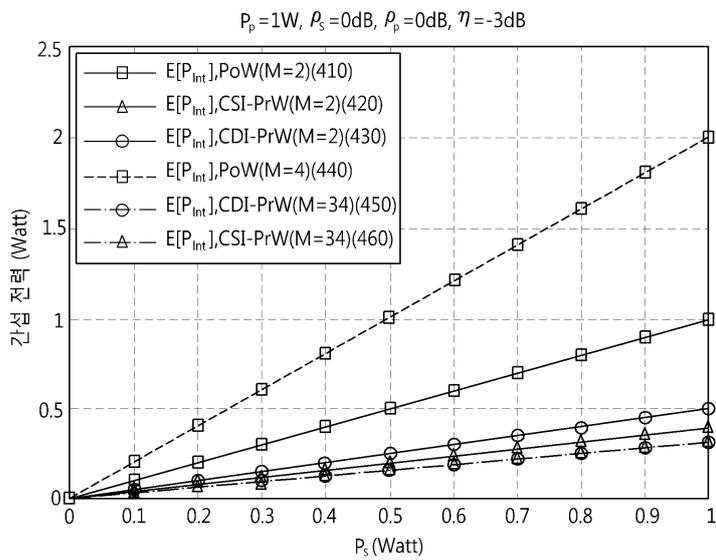
도면2



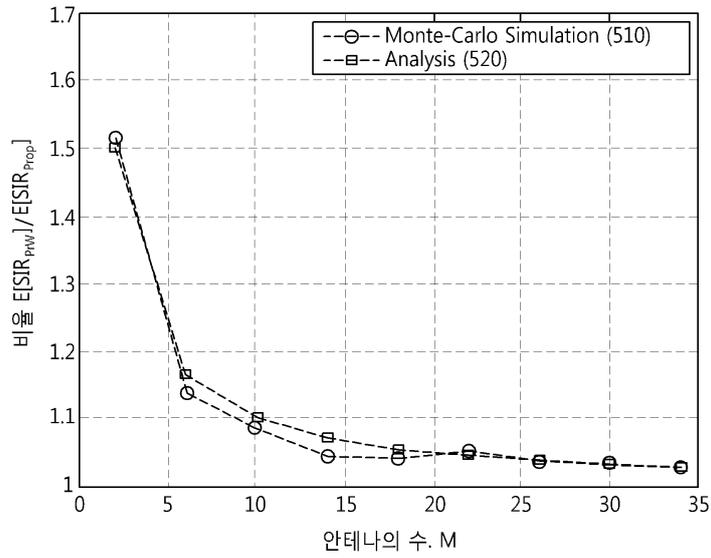
도면3



도면4



도면5



도면6

