



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년07월27일
(11) 등록번호 10-1539533
(24) 등록일자 2015년07월20일

- | | |
|--|---|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/02 (2006.01) H04B 7/14 (2006.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2014-0030048</p> <p>(22) 출원일자 2014년03월14일
심사청구일자 2014년03월14일</p> <p>(56) 선행기술조사문헌
KR1020130090847 A*
KR1020140022727 A*
Ahmed Alkhateeb 외 3명, "Hybrid Precoding for Millimeter Wave Cellular Systems with Partial Channel Knowledge," Information Theory and Applications Workshop, p. 1, (2013.02.10-15)*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌</p> | <p>(73) 특허권자
한국과학기술원
대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)</p> <p>(72) 발명자
이용훈
대전 유성구 대학로 291
이준호
대전 유성구 대학로 291</p> <p>(74) 대리인
양성보</p> |
|--|---|

전체 청구항 수 : 총 10 항

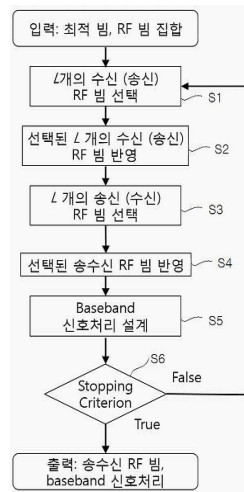
심사관 : 신상길

(54) 발명의 명칭 다중 안테나/반송파 시스템을 위한 증폭 후 전달 릴레이 방법 및 장치

(57) 요약

다중 안테나/반송파 시스템을 위한 증폭 후 전달 릴레이 방법 및 장치가 개시된다. 송신기와 수신기 사이에 AF(amplify-and-forward) 릴레이가 위치하는 릴레이 네트워크 환경에서, 안테나 수만큼의 RF 체인(full complexity RF chain)을 가정한 최적 빔포머 행렬을 설정하는 단계; 및 상기 최적 빔포머 행렬을 이용하여 송신 RF 빔과 수신 RF 빔 및 기저대역(baseband) 신호처리 행렬을 설계하는 단계를 포함하는 릴레이 네트워크에서의 하이브리드 빔포머 설계 방법을 제공한다.

대표도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1297204002

부처명 방송통신위원회

연구관리전문기관 한국방송통신전파진흥원

연구사업명 방송통신기술개발사업

연구과제명 4G 네트워크에 적용 가능한 안테나 일체형 (RF+Baseband+안테나) 초소형 기지국 핵심 기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 (주)케이엠티블유

연구기간 2012.05.01 ~ 2014.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

삭제

청구항 2

송신기와 수신기 사이에 AF(amplify-and-forward) 릴레이가 위치하는 릴레이 네트워크 환경에서,
 안테나 수만큼의 RF 체인(full complexity RF chain)을 가정한 최적 빔포머 행렬을 설정하는 단계; 및
 상기 최적 빔포머 행렬을 이용하여 송신 RF 빔과 수신 RF 빔 및 기저대역(baseband) 신호처리 행렬을 설계하는 단계
 를 포함하고,
 상기 설계하는 단계는,
 상기 송신 RF 빔과 상기 수신 RF 빔 및 상기 기저대역 신호처리 행렬 간의 상호영향을 고려하면서 상기 송신 RF
 빔과 상기 수신 RF 빔 및 상기 기저대역 신호처리 행렬을 동시에 설계하는 것
 을 특징으로 하는 릴레이 네트워크에서의 하이브리드 빔포머 설계 방법.

청구항 3

송신기와 수신기 사이에 AF(amplify-and-forward) 릴레이가 위치하는 릴레이 네트워크 환경에서,
 안테나 수만큼의 RF 체인(full complexity RF chain)을 가정한 최적 빔포머 행렬을 설정하는 단계; 및
 상기 최적 빔포머 행렬을 이용하여 송신 RF 빔과 수신 RF 빔 및 기저대역(baseband) 신호처리 행렬을 설계하는 단계
 를 포함하고,
 상기 설계하는 단계는,
 상기 송신 RF 빔과 상기 수신 RF 빔 및 상기 기저대역 신호처리 행렬 간의 상호영향을 고려하면서 상기 송신 RF
 빔, 상기 수신 RF 빔, 상기 기저대역 신호처리 행렬 순으로 또는 상기 수신 RF 빔, 상기 송신 RF 빔, 상기 기저
 대역 신호처리 행렬 순으로 상기 송신 RF 빔과 상기 수신 RF 빔 및 상기 기저대역 신호처리 행렬을 순차적으로
 설계하는 것
 을 특징으로 하는 릴레이 네트워크에서의 하이브리드 빔포머 설계 방법.

청구항 4

송신기와 수신기 사이에 AF(amplify-and-forward) 릴레이가 위치하는 릴레이 네트워크 환경에서,
 안테나 수만큼의 RF 체인(full complexity RF chain)을 가정한 최적 빔포머 행렬을 설정하는 단계; 및
 상기 최적 빔포머 행렬을 이용하여 송신 RF 빔과 수신 RF 빔 및 기저대역(baseband) 신호처리 행렬을 설계하는 단계
 를 포함하고,
 상기 설계하는 단계는,
 RF 빔포머의 제약구조가 반영된 RF 빔들의 집합에서 송신 RF 빔과 수신 RF 빔을 선택하는 것
 을 특징으로 하는 릴레이 네트워크에서의 하이브리드 빔포머 설계 방법.

청구항 5

송신기와 수신기 사이에 AF(amplify-and-forward) 릴레이가 위치하는 릴레이 네트워크 환경에서,
 안테나 수만큼의 RF 체인(full complexity RF chain)을 가정한 최적 빔포머 행렬을 설정하는 단계; 및
 상기 최적 빔포머 행렬을 이용하여 송신 RF 빔과 수신 RF 빔 및 기저대역(baseband) 신호처리 행렬을 설계하는
 단계
 를 포함하고,
 상기 설계하는 단계는,
 적어도 하나 이상이고 실제 RF 체인 수 이하인 개수만큼 송신 RF 빔과 수신 RF 빔을 선택하는 것
 을 특징으로 하는 릴레이 네트워크에서의 하이브리드 빔포머 설계 방법.

청구항 6

송신기와 수신기 사이에 AF(amplify-and-forward) 릴레이가 위치하는 릴레이 네트워크 환경에서,
 안테나 수만큼의 RF 체인(full complexity RF chain)을 가정한 최적 빔포머 행렬을 설정하는 단계; 및
 상기 최적 빔포머 행렬을 이용하여 송신 RF 빔과 수신 RF 빔 및 기저대역(baseband) 신호처리 행렬을 설계하는
 단계
 를 포함하고,
 상기 설계하는 단계는,
 상기 송신 RF 빔과 상기 수신 RF 빔을 이용하여 상기 최적 빔포머 행렬과의 오차가 가장 작은 기저대역 신호처
 리 행렬을 설계하는 것
 을 특징으로 하는 릴레이 네트워크에서의 하이브리드 빔포머 설계 방법.

청구항 7

송신기와 수신기 사이에 AF(amplify-and-forward) 릴레이가 위치하는 릴레이 네트워크 환경에서,
 안테나 수만큼의 RF 체인(full complexity RF chain)을 가정한 최적 빔포머 행렬을 설정하는 단계; 및
 상기 최적 빔포머 행렬을 이용하여 송신 RF 빔과 수신 RF 빔 및 기저대역(baseband) 신호처리 행렬을 설계하는
 단계
 를 포함하고,
 상기 설계하는 단계는,
 전체 부반송파에 대하여 공통된 송신 RF 빔과 수신 RF 빔을 설계하고 각 부반송파에 해당하는 기저대역 신호처
 리 행렬을 설계하는 것
 을 특징으로 하는 릴레이 네트워크에서의 하이브리드 빔포머 설계 방법.

청구항 8

송신기와 수신기 사이에 AF(amplify-and-forward) 릴레이가 위치하는 릴레이 네트워크 환경에서,
 안테나 수만큼의 RF 체인(full complexity RF chain)을 가정한 최적 빔포머 행렬을 설정하는 단계; 및
 상기 최적 빔포머 행렬을 이용하여 송신 RF 빔과 수신 RF 빔 및 기저대역(baseband) 신호처리 행렬을 설계하는
 단계
 를 포함하고,
 상기 설계하는 단계는,
 전체 부반송파에 대하여 공통된 송신 RF 빔과 수신 RF 빔을 설계하는 것

을 특징으로 하는 릴레이 네트워크에서의 하이브리드 빔포머 설계 방법.

청구항 9

송신기와 수신기 사이에 AF(amplify-and-forward) 릴레이가 위치하는 릴레이 네트워크 환경에서,
 안테나 수만큼의 RF 체인(full complexity RF chain)을 가정한 최적 빔포머 행렬을 설정하는 단계; 및
 상기 최적 빔포머 행렬을 이용하여 송신 RF 빔과 수신 RF 빔 및 기저대역(baseband) 신호처리 행렬을 설계하는
 단계
 를 포함하고,
 상기 설계하는 단계는,
 전체 부반송파에서 선택된 일부 부반송파에 대하여 공통된 송신 RF 빔과 수신 RF 빔을 설계하는 것
 을 특징으로 하는 릴레이 네트워크에서의 하이브리드 빔포머 설계 방법.

청구항 10

송신기와 수신기 사이에 AF(amplify-and-forward) 릴레이가 위치하는 릴레이 네트워크 환경에서,
 안테나 수만큼의 RF 체인(full complexity RF chain)을 가정한 최적 빔포머 행렬을 설정하는 단계; 및
 상기 최적 빔포머 행렬을 이용하여 송신 RF 빔과 수신 RF 빔 및 기저대역(baseband) 신호처리 행렬을 설계하는
 단계
 를 포함하고,
 상기 설계하는 단계는,
 상기 송신 RF 빔과 상기 수신 RF 빔을 이용하여 전체 부반송파에 대하여 개별적인 기저대역 신호처리 행렬을 설
 계하는 것
 을 특징으로 하는 릴레이 네트워크에서의 하이브리드 빔포머 설계 방법.

청구항 11

송신기와 수신기 사이에 AF(amplify-and-forward) 릴레이가 위치하는 릴레이 네트워크 환경에서,
 안테나 수만큼의 RF 체인(full complexity RF chain)을 가정한 최적 빔포머 행렬을 설정하는 단계; 및
 상기 최적 빔포머 행렬을 이용하여 송신 RF 빔과 수신 RF 빔 및 기저대역(baseband) 신호처리 행렬을 설계하는
 단계
 를 포함하고,
 상기 설계하는 단계는,
 상기 송신 RF 빔과 상기 수신 RF 빔을 이용하여 전체 부반송파에서 선택된 일부 부반송파에 대하여 개별적인 기
 저대역 신호처리 행렬을 설계한 후 보간법을 이용하여 전체 부반송파에 대하여 개별적인 기저대역 신호처리 행
 렬을 설계하는 것
 을 특징으로 하는 릴레이 네트워크에서의 하이브리드 빔포머 설계 방법.

청구항 12

삭제

발명의 설명

기술분야

본 발명의 실시예들은 다중 안테나/반송파 시스템에서의 릴레이 동작에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 릴레이가 RF 체인(chain)보다 많은 수의 안테나를 갖고 있는 상황에서 RF단과 baseband(기저대역)단의 신호처리 동작을

[0001]

설계하는 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 들어 밀리미터파(millimeter wave) 무선통신 시스템이 차세대 이동통신의 후반기술로 많은 관심을 받고 있다. 밀리미터파 시스템은 급격히 증가되고 있는 요구 데이터 전송용량을 지원할 수 있는 넓은 가용대역을 제공할 뿐만 아니라 많은 안테나들을 작은 공간에 집적화하는 것을 가능케 하는 강력한 이점을 안고 있다. 이런 이점들로 인해 무선 LAN, PAN과 같은 실내 및 근거리 통신 방법으로서 활용되기 시작하였다.

[0003] 하지만 기존 이동통신 대역에 비해 상당히 높은 전파 감쇄를 경험하게 되면서 이를 극복하기 위한 다수의 안테나 어레이(antenna array)를 활용한 빔포밍(beamforming) 기술이 필수적으로 사용되어야 한다. 빔포밍의 이득을 최대화 하기 위해서는 안테나마다 RF 체인(chain)이 구성되어야 하는데 저전력을 특징으로 하는 릴레이와 단말기에게는 상당한 부담감으로 작용하게 된다. RF 체인은 증폭기(amplifier), 믹서(mixer), ADC(analog-to-digital converter)/DAC(digital-to-analog converter) 등으로 구성되는 부분으로서 높은 가격, 높은 파워소모를 특징으로 한다. 그러므로 밀리미터파 무선통신의 송수신기 구조는 많은 수의 안테나들과 이보다는 훨씬 적은 RF 체인으로 구성되고 이 구조를 일반적으로 하이브리드 빔포머(hybrid beamformer)라고 정의한다.

[0004] 예컨대, 한국공개특허공보 제10-2013-0127376호(공개일 2013년 11월 22일) "아날로그 및 디지털 하이브리드 빔포밍을 통한 통신 방법 및 장치"에는 단말과 기지국의 신호 송수신에 있어 아날로그 빔포밍과 디지털 빔포밍의 조합을 통한 하이브리드 빔 포밍 구조에 대한 내용이 개시되어 있다.

[0005] 이동통신 시스템에서 밀리미터파 통신이 활용되기 위해 필요한 새로운 송수신기 구조 이외에 전파 감쇄가 심한 환경에서 기지국의 커버리지(coverage)를 마이크로파 무선통신 대비 유지 또는 확장시키기 위해서는 빔포밍 함께 릴레이 기술이 필수적이다. 릴레이도 역시 하이브리드 빔포머로 구성되면서 RF단과 baseband(기지대역)단의 신호처리 동작이 설계되어야 한다. 반양방(Half-duplex) 프로토콜로 동작되는 릴레이 네트워크에서의 증폭 후 전달(amplify-and-forward, AF) 릴레이는 첫 번째 구간에서 송신기로부터 신호를 전달 받는다. 그 후 두 번째 구간에서 전달 받은 신호를 증폭하여 수신기로 전달한다. 따라서, 릴레이는 기존 송수신기들의 하이브리드 빔포머의 신호처리 동작 설계들과는 달리 수신 RF단과 basedband단, 그리고 송신 RF단의 신호처리 설계가 요구된다.

[0006] 하이브리드 빔포머 설계는 RF단이 설계 및 동작이 유용한 위상 배열(phased array) 빔포머로 구성되었을 때 가능한 RF 빔들의 집합으로부터 RF 빔을 RF 체인 개수만큼 고르면서 baseband단을 설계하는 문제로 치환하여 찾게 된다. 그러므로 릴레이에서의 하이브리드 빔포머 설계는 송수신 RF 빔들을 선택하면서 basedband 신호처리를 설계하는 문제로 정의된다. 이 문제에 대한 기본적인 접근은 릴레이가 첫 번째 구간의 수신 채널과 두 번째 구간의 송신 채널을 알 때 가능한 RF 빔들 중에 빔 이득을 높일 수 있는 (채널과 상관성이 큰 RF 빔) RF 빔들을 각각 독립적으로 RF 체인 개수만큼 한번에 고른 뒤 최적의 basedband를 설계하는 방법이 있지만 이럴 경우 선택되는 수신 RF 빔, 송신 RF 빔 그리고 basedband 간의 상호영향들이 무시되면서 설계되기 때문에 좋은 성능을 보장받기 힘들다. 또한, 다중 반송파 시스템으로 인해 송수신 RF단의 신호처리는 모든 부반송파에 대해 동일하여야 하는 제약이 고려되어야 한다. 이 문제점을 해결하기 위해 본 발명은 송수신 RF 빔들의 선택과 basedband 신호처리 동작을 동시에 고려하면서 모든 부반송파에 대해 설계하는 증폭 후 전달 릴레이의 하이브리드 빔포머 설계에 관한 것이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 다중 반송파 시스템에서의 릴레이 하이브리드 빔포머 설계에 관한 것으로서 아래의 두 가지를 목적으로 한다.

[0008] 첫째, 릴레이의 하이브리드 설계 시 송신 RF 빔, 수신 RF 빔, 그리고 baseband 신호처리 동작들의 상호영향을 고려하면서 동시 또는 순차적으로 설계하는 방식을 제안한다.

[0009] 둘째, 전체 부반송파에 대하여 공통된 송신 RF 빔, 수신 RF 빔을 설계하는 방식과 각 부반송파에 대한 baseband 신호처리 동작들을 설계하는 방식을 제안한다.

과제의 해결 수단

- [0010] 송신기와 수신기 사이에 AF(amplify-and-forward) 릴레이가 위치하는 릴레이 네트워크 환경에서, 안테나 수만큼의 RF 체인(full complexity RF chain)을 가정한 최적 빔포머 행렬을 설정하는 단계; 및 상기 최적 빔포머 행렬을 이용하여 송신 RF 빔과 수신 RF 빔 및 기저대역(baseband) 신호처리 행렬을 설계하는 단계를 포함하는 릴레이 네트워크에서의 하이브리드 빔포머 설계 방법을 제공한다.
- [0011] 일 측면에 따르면, 상기 설계하는 단계는, 상기 송신 RF 빔과 상기 수신 RF 빔 및 상기 기저대역 신호처리 행렬 간의 상호영향을 고려하면서 상기 송신 RF 빔과 상기 수신 RF 빔 및 상기 기저대역 신호처리 행렬을 동시에 설계할 수 있다.
- [0012] 다른 측면에 따르면, 상기 설계하는 단계는, 상기 송신 RF 빔과 상기 수신 RF 빔 및 상기 기저대역 신호처리 행렬 간의 상호영향을 고려하면서 상기 송신 RF 빔, 상기 수신 RF 빔, 상기 기저대역 신호처리 행렬 순으로 또는 상기 수신 RF 빔, 상기 송신 RF 빔, 상기 기저대역 신호처리 행렬 순으로 상기 송신 RF 빔과 상기 수신 RF 빔 및 상기 기저대역 신호처리 행렬을 순차적으로 설계할 수 있다.
- [0013] 또 다른 측면에 따르면, 상기 설계하는 단계는, RF 빔포머의 제약구조가 반영된 RF 빔들의 집합에서 송신 RF 빔과 수신 RF 빔을 선택할 수 있다.
- [0014] 또 다른 측면에 따르면, 상기 설계하는 단계는, 적어도 하나 이상이고 실제 RF 체인 수 이하인 개수만큼 송신 RF 빔과 수신 RF 빔을 선택할 수 있다.
- [0015] 또 다른 측면에 따르면, 상기 설계하는 단계는, 상기 송신 RF 빔과 상기 수신 RF 빔을 이용하여 상기 최적 빔포머 행렬과의 오차가 가장 작은 기저대역 신호처리 행렬을 설계할 수 있다.
- [0016] 또 다른 측면에 따르면, 상기 설계하는 단계는, 전체 부반송파에 대하여 공통된 송신 RF 빔과 수신 RF 빔을 설계하고 각 부반송파에 해당하는 기저대역 신호처리 행렬을 설계할 수 있다.
- [0017] 또 다른 측면에 따르면, 상기 설계하는 단계는, 전체 부반송파에 대하여 공통된 송신 RF 빔과 수신 RF 빔을 설계할 수 있다.
- [0018] 또 다른 측면에 따르면, 상기 설계하는 단계는, 전체 부반송파에서 선택된 일부 부반송파에 대하여 공통된 송신 RF 빔과 수신 RF 빔을 설계할 수 있다.
- [0019] 또 다른 측면에 따르면, 상기 설계하는 단계는, 상기 송신 RF 빔과 상기 수신 RF 빔을 이용하여 전체 부반송파에 대하여 개별적인 기저대역 신호처리 행렬을 설계할 수 있다.
- [0020] 또 다른 측면에 따르면, 상기 설계하는 단계는, 상기 송신 RF 빔과 상기 수신 RF 빔을 이용하여 전체 부반송파에서 선택된 일부 부반송파에 대하여 개별적인 기저대역 신호처리 행렬을 설계한 후 보간법을 이용하여 전체 부반송파에 대하여 개별적인 기저대역 신호처리 행렬을 설계할 수 있다.
- [0021] 송신기와 수신기 사이에 위치하여 상기 송신기로부터 신호를 전달받아 전달 받은 신호를 증폭하여 상기 수신기로 전달하는 AF(amplify-and-forward) 릴레이를 포함하고, 안테나 수만큼의 RF 체인(full complexity RF chain)을 가정한 최적 빔포머 행렬을 이용하여 송신 RF 빔과 수신 RF 빔 및 기저대역(baseband) 신호처리 행렬을 설계함으로써 릴레이 하이브리드 빔포머를 구성하는 것을 특징으로 하는 무선 통신 시스템을 제공한다.

발명의 효과

- [0022] 릴레이의 하이브리드 설계 시 송신 RF 빔, 수신 RF 빔, 그리고 baseband 신호처리 동작들의 상호영향을 고려하면서 동시 또는 순차적으로 설계하는 다중 반송파 시스템에서의 릴레이 하이브리드 빔포머 설계 기술을 제공한다.
- [0023] 전체 부반송파에 대하여 공통된 송신 RF 빔, 수신 RF 빔을 설계하는 방식과 각 부반송파에 대한 baseband 신호처리 동작들을 설계하는 다중 반송파 시스템에서의 릴레이 하이브리드 빔포머 설계 기술을 제공한다.

도면의 간단한 설명

- [0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 있어서, 다중 안테나/반송파 증폭 후 전달(AF) 릴레이 네트워크를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 있어서, 릴레이의 송수신 RF 빔 선택 및 baseband 신호처리 설계 순서도를 도시

한 것이다.

도 3은 본 발명에 따른 다중 반송파 시스템에서의 릴레이 하이브리드 빔포머 설계를 통한 평균 전송량 성능을 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0025] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0026] 본 발명에서는 다중 안테나/반송파 시스템에서의 릴레이 하이브리드 빔포머 설계를 제안한다. 릴레이의 하이브리드 빔포머 설계 시 송수신 RF 빔포머와 baseband 빔포머의 상호영향을 고려한 설계 방법과 다중 반송파 시스템에서 모든 부반송파에 대해 공통된 RF 빔포머와 각 부반송파별 개별적인 빔포머를 설계하기 위해 전체 또는 일부분의 부반송파들의 영향을 고려한 설계 방법을 제안한다.
- [0027] 본 발명에 따른 다중 안테나/반송파 시스템에서의 릴레이 하이브리드 빔포머 설계 방법은 무선통신 시스템에서 다중 안테나를 활용하는 모든 기지국과 단말에 적용할 수 있다.
- [0028] 릴레이는 전파 감쇄가 심한 채널환경에서 충분한 빔포밍 이득을 얻기 위해 많은 수의 안테나들을 갖는다. 그리고, 저전력 동작을 특징으로 하기 때문에 안테나 수보다 적은 RF 체인을 갖는다. 이런 구조는 하이브리드 빔포머라고 정의되며 빔포밍을 위해 RF단과 baseband단의 신호처리 동작이 설계되어야 한다. 기존 송수신기들의 하이브리드 빔포머의 설계는 송신 또는 수신 RF 빔에 대한 설계와 baseband 신호처리로 구성된다.
- [0029] 본 발명에서 제안하는 릴레이 하이브리드 빔포머는 송신 RF 빔, 수신 RF 빔, 그리고 baseband 신호처리의 설계를 요구한다. 따라서, 제안하는 바는 송신 RF 빔, 수신 RF 빔, 그리고 baseband 신호처리 설계 시 서로의 상호영향을 고려하여 동시 또는 순차적으로 설계하는 방식이다. 동시 설계 방식은 송수신 RF 빔들과 baseband 신호처리를 독립적으로 설계하는 것이 아니라 서로 상호영향을 동시에 고려하며 설계하는 방식이다. 순차적 설계 방식은 설계된 송신 RF 빔은 수신 RF 빔 설계 시 반영되는 방식과 반대로 설계된 수신 RF 빔은 송신 RF 빔 설계 시 반영되는 동작이 포함된다. 그리고, 설계된 송신 및 수신 RF 빔들은 baseband 신호처리 설계 시 반영되는 동작이 포함된다.
- [0030] 다중 반송파 시스템에서 릴레이 하이브리드 빔포머 설계 방식은 전체 부반송파에 대해 공통된 송수신 RF 빔들의 적용을 요구하고 각 부반송파에 대해 개별적인 baseband 신호처리들의 설계를 요구한다. 본 발명에서 제안하는 바는 전체 부반송파를 고려하여 공통된 송신 RF 빔 및 수신 RF 빔을 설계하는 방식과 전체 부반송파에 대해 개별적인 baseband 신호처리 동작들을 설계하는 방식이다. 그리고, 일부 부반송파들을 선택한 뒤 선택된 부반송파들만을 고려하여 공통된 송신 RF 빔 및 수신 RF 빔을 설계하는 방식과 일부 선택된 부반송파들에 대해 개별적인 baseband 신호처리 동작들을 설계한 뒤 보간법을 이용하여 전체 부반송파에 대한 개별적인 baseband 신호처리 동작들을 설계하는 방식을 포함한다.
- [0031] 이하의 실시예는 다중 반송파 시스템에서의 송수신 RF 빔과 baseband 신호처리에 대한 상호영향을 고려하여 순차적으로 설계하는 릴레이 하이브리드 빔포머 방식이다. 순차적인 방법은 DMP(orthogonal matching pursuit) 알고리즘을 기반으로 제안된 것이다.
- [0032] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 있어서, 다중 안테나/반송파 증폭 후 전달(AF) 릴레이 네트워크를 설명하기 위한 도면이다.
- [0033] 증폭 후 전달 릴레이는 커버리지 확장을 목적으로 송수신 사이에 위치한 도 1과 같은 릴레이 네트워크를 예로 들 수 있다.
- [0034] 릴레이 및 송수신기들은 하이브리드 빔포머 구조를 갖는 것을 특징으로 한다. 즉, 송신기(Source), 릴레이(Relay), 수신기(Destination)들은 N개의 안테나로 구성되고 안테나 수보다 훨씬 적은 수의 $N_{RF} (\ll N)$ 개의 RF 체인으로 구성된다.
- [0035] 그리고, K개의 다중 반송파 시스템을 가정한다. 반양방 프로토콜을 따르는 릴레이 네트워크는 첫 번째 구간에서 송신기가 신호를 릴레이로 전달한다. 송신기로부터의 신호는 수학식 1과 같이 정의될 수 있다.

[0036] [수학식 1]

[0037]
$$\mathbf{x}_k = \mathbf{F}_{\text{RF}} \mathbf{F}_{\text{BB},k} \mathbf{s}_k$$

[0038] $N \times N_{\text{RF}}$ 크기의 행렬 \mathbf{F}_{RF} 는 송신기의 RF 신호처리를 정의하고, $N_{\text{RF}} \times N_{\text{S}}$ 크기의 행렬 $\mathbf{F}_{\text{BB},k}$ 는 k번째 부반송파에 대한 baseband 신호처리를 정의하고, $N_{\text{S}} \times 1$ 크기의 벡터 \mathbf{s}_k 는 k번째 반송파를 이용해 보내게 될 N_{S} 개의 데이터를 정의한다.

[0039] 두 번째 구간에서는 릴레이가 송신기로부터 수신한 신호를 증폭한 후 수신기로 전달한다. 수신기가 전달받은 신호는 수학식 2와 같이 정의될 수 있다.

[0040] [수학식 2]

[0041]
$$\mathbf{y}_k = \mathbf{W}_{\text{BB},k}^H \mathbf{W}_{\text{RF}}^H \mathbf{H}_{2,k} \mathbf{G}_{\text{Tx-RF}} \mathbf{G}_{\text{BB},k} \mathbf{G}_{\text{Rx-RF}} (\mathbf{H}_{1,k} \mathbf{x}_k + \mathbf{z}_k) + \mathbf{W}_{\text{BB},k}^H \mathbf{W}_{\text{RF}}^H \mathbf{w}_k$$

[0042] $N \times N_{\text{RF}}$ 크기의 행렬 \mathbf{W}_{RF} 는 수신기의 RF단 신호처리를 정의하고, $N_{\text{RF}} \times N_{\text{S}}$ 크기의 행렬 $\mathbf{W}_{\text{BB},k}$ 는 k번째 부반송파에 대한 baseband 신호처리를 정의한다. $N \times N_{\text{RF}}$ 크기의 행렬 $\mathbf{G}_{\text{Tx-RF}}$ 는 릴레이의 송신 RF단 신호처리를 정의하고, $N_{\text{RF}} \times N_{\text{RF}}$ 크기의 행렬 $\mathbf{G}_{\text{BB},k}$ 는 k번째 부반송파에 대한 baseband 신호처리를 정의하고, $N_{\text{RF}} \times N$ 크기의 행렬 $\mathbf{G}_{\text{Rx-RF}}$ 는 수신 RF단 신호처리를 정의한다. $N \times N$ 크기의 행렬 $\mathbf{H}_{1,k}$ 와 $\mathbf{H}_{2,k}$ 는 송신기와 릴레이, 릴레이와 수신기 사이의 무선 채널을 정의하고, $N \times 1$ 크기의 벡터 \mathbf{z}_k 와 \mathbf{w}_k 는 각각 릴레이와 수신기에서의 잡음을 정의한다.

[0043] 도 1의 릴레이 네트워크에서 하이브리드 빔포머로 구성된 릴레이의 모든 부반송파에 대한 송수신 RF단과 baseband 신호처리 동시 설계문제는 수학식 3과 같이 정의할 수 있다.

[0044] [수학식 3]

[0045]
$$\begin{aligned} (\mathbf{G}_{\text{Tx-RF}}^{\text{opt}}, \mathbf{G}_{\text{BB},k}^{\text{opt}}, \mathbf{G}_{\text{Rx-RF}}^{\text{opt}}) &= \arg \min_{\mathbf{G}_{\text{Tx-RF}}, \mathbf{G}_{\text{BB},k}, \mathbf{G}_{\text{Rx-RF}}} \sum_{k=1}^K \left\| \mathbf{G}_{\text{opt},k} - \mathbf{G}_{\text{Tx-RF}} \mathbf{G}_{\text{BB},k} \mathbf{G}_{\text{Rx-RF}} \right\|_F \\ \text{s.t. } \mathbf{G}_{\text{Tx-RF}}^{(j)} &\in \mathcal{S}_{\text{TxRF beam}}, (\mathbf{G}_{\text{Rx-RF}}^T)^{(j)} \in \mathcal{S}_{\text{RxRF beam}}, \text{ and} \\ &\left\| \mathbf{G}_{\text{Tx-RF}} \mathbf{G}_{\text{BB},k} \mathbf{G}_{\text{Rx-RF}} (\mathbf{H}_{1,k} \mathbf{x}_k + \mathbf{z}_k) \right\|_F^2 = P \end{aligned}$$

[0046] $N \times N$ 크기의 행렬 $\mathbf{G}_{\text{opt},k} = \tilde{\mathbf{V}}_{2,k} \Sigma_{\mathbf{G},k}^{1/2} \tilde{\mathbf{U}}_{1,k}^H$ 는 k번째 부반송파에 대한 full complexity RF chain(모든 안테나에 대한 RF 체인)을 가정한 최적의 릴레이 빔포머 동작을 정의한다. $N \times N_{\text{S}}$ 크기의 행렬 $\tilde{\mathbf{V}}_{2,k}$ 와 $\tilde{\mathbf{U}}_{1,k}$ 는 각 채널행렬의 $\mathbf{H}_{p,k} = \mathbf{U}_{p,k} \mathbf{\Sigma}_{p,k} \mathbf{V}_{p,k}^H$ (여기서, $p=1,2$, SVD(singular value decomposition)을 통해 N_{S} 개 만큼의 높은 특이 값(singular value)에 해당하는 열들을 선택하여 얻을 수 있다. 그리고, $N_{\text{S}} \times N_{\text{S}}$ 크기의 행렬 $\Sigma_{\mathbf{G},k}$ 는 N_{S} 개의 데이터에 대한 파워(power)를 할당하는 역할을 한다. 가능한 송수신 RF 빔들의 집합은 각각 $\mathcal{S}_{\text{TxRF beam}}$ 와 $\mathcal{S}_{\text{RxRF beam}}$ 으로 정의된다. 또한, $\mathbf{G}_{\text{Tx-RF}}^{(j)}$ 는 송신 RF 빔 행렬의

j번째 열을 정의하고 P는 릴레이 파워를 정의한다.

[0047] 다중 반송파 시스템에서의 릴레이 하이브리드 빔포머 설계(수학식 3)의 목적 함수는 전체 부반송파(K)에 대하여 full complexity RF chain을 가정한 최적 빔포머와 설계된 하이브리드 빔포머의 오차가 가장 작아지게 만드는 송수신 RF빔과 baseband를 설계하는 것을 목적으로 한다. 수학식 3의 첫 번째 제한은 송수신 RF빔은 가능한 RF 빔들의 집합에서 선택되어야 한다는 것이다. 가능한 RF 빔 집합은 RF 빔포머의 제약이 반영된 빔들의 집합으로, 예로는 양자화 된 위상(phase) 조절만이 가능한 제약 구조, 양자화 된 크기(magnitude)와 위상들의 조절이 가능한 제약구조 등이 있다. 두 번째 제한은 릴레이의 파워 제약에 해당된다.

[0048] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 있어서, 릴레이의 송수신 RF 빔 선택 및 baseband 신호처리 설계 순서도를 도시한 것이다. 수학식 3의 해를 찾기 위한 발명의 순서도는 도 2와 같다.

[0049] 알고리즘의 입력은 full complexity RF chain을 가정한 최적 빔포머 행렬 $G_{opt,k}$ 와 가능한 모든 송수신 RF빔들의 열들로 구성된 행렬 A_{Rx-rel} 와 A_{Tx-rel} 들이다. 초기화 작업으로 오차 행렬은 최적 빔포머 행렬과 같도록 설정하고, $G_{res,k} = G_{opt,k}$, 송수신 RF 빔 행렬들은 $G_{Rx-RF} = G_{Tx-RF} = \text{Empty Matrix}$ 로 설정한다. RF 빔 선택 시 송신 빔, 수신 빔의 순서는 변경이 가능하다. 그리고, 한번에 L개의 송수신 RF 빔들을 선택할 수 있지만, 아래의 알고리즘 예에서는 수신 RF 빔을 먼저 선택하는 경우와 한번에 하나의 송수신 RF 빔을 선택하는 경우를 고려한다.

[0050] 단계(S1): 오차 행렬과 가능한 수신 RF 빔들 간의 상관 관계를 측정하여(수학식 4) 가능한 수신 RF 빔들의 집합에서 가장 큰 상관도를 보이는 수신 RF 빔의 인덱스(index)를 선택할 수 있다(수학식 5).

[0051] [수학식 4]

[0052]
$$\Psi_{Rx,k} = G_{res,k} A_{Rx-rel}^H, \text{ for all } \{k | 1 \leq k \leq K\}$$

[0053] [수학식 5]

[0054]
$$q = \arg \max_{m=1, \dots, |S_{Rx RF beam}|} \left(\sum_{k=1}^K \Psi_{Rx,k}^H \Psi_{Rx,k} \right)_{m,m}$$

[0055] 단계(S2): 가능한 RF 빔들의 집합에서 선택된 RF 빔을 수신 RF 빔으로 반영할 수 있다(수학식 6).

[0056] [수학식 6]

[0057]
$$G_{Rx-RF} = \left[G_{Rx-RF} \mid (A_{Rx-rel}^T)^{(q)} \right]^T$$

[0058] 단계(S3): 선택된 수신 RF 빔을 반영하여 오차 행렬과 가능한 송신 RF 빔들 간의 상관 관계를 측정하여(수학식 7) 가능한 송신 RF 빔들의 집합에서 가장 큰 상관도를 보이는 송신 RF 빔의 인덱스(index)를 선택할 수 있다(수학식 8).

[0059] [수학식 7]

[0060]
$$\Psi_{Tx,k} = A_{Tx-rel}^H G_{res,k} G_{Rx-RF}^H, \text{ for all } \{k | 1 \leq k \leq K\}$$

[0061] [수학식 8]

[0062]
$$v = \arg \max_{m=1, \dots, |S_{Tx RF beam}|} \left(\sum_{k=1}^K \Psi_{Tx,k} \Psi_{Tx,k}^H \right)_{m,m}$$

[0063] 단계(S4): 가능한 RF 빔들의 집합에서 선택된 RF 빔을 송신 RF 빔으로 반영할 수 있다(수학식 9).

[0064] [수학식 9]

$$\mathbf{G}_{\text{Tx-RF}} = \left[\mathbf{G}_{\text{Tx-RF}} \mid \mathbf{A}_{\text{Tx-rel}}^{(v)} \right]$$

[0065]

[0066] 단계(S5): 선택된 송신 RF 빔과 수신 RF 빔을 반영하여 baseband 신호처리를 설계할 수 있다(수학식 10).

[0067] [수학식 10]

$$\mathbf{G}_{\text{BB},k} = \left(\mathbf{G}_{\text{Tx-RF}}^H \mathbf{G}_{\text{Tx-RF}} \right)^{-1} \mathbf{G}_{\text{Tx-RF}}^H \mathbf{G}_{\text{opt},k} \mathbf{G}_{\text{Rx-RF}}^H \left(\mathbf{G}_{\text{Rx-RF}} \mathbf{G}_{\text{Rx-RF}}^H \right)^{-1}, \text{ for all } \{k \mid 1 \leq k \leq K\}$$

[0068]

[0069] 송수신 RF 빔과 baseband 신호처리를 고려하여 오차 행렬을 업데이트 할 수 있다(수학식 11).

[0070] [수학식 11]

$$\mathbf{G}_{\text{res},k} = \frac{\mathbf{G}_{\text{opt},k} - \mathbf{G}_{\text{Tx-RF}} \mathbf{G}_{\text{BB},k} \mathbf{G}_{\text{Rx-RF}}}{\left\| \mathbf{G}_{\text{opt},k} - \mathbf{G}_{\text{Tx-RF}} \mathbf{G}_{\text{BB},k} \mathbf{G}_{\text{Rx-RF}} \right\|_F}, \text{ for all } \{k \mid 1 \leq k \leq K\}$$

[0071]

[0072] 선택된 송신 RF 빔, 수신 RF 빔의 수가 RF 체인의 수(L)에 도달하였을 때(S6) 알고리즘이 되면서 출력 값으로 송수신 RF 빔포머 행렬 $\mathbf{G}_{\text{Tx-RF}}$, $\mathbf{G}_{\text{Rx-RF}}$ 들과 전체 부반송파에 대한 baseband 신호처리 행렬 $\{\mathbf{G}_{\text{BB},k} \mid 1 \leq k \leq K\}$ 들을 얻는다.

[0073] 본 발명에 따른 다중 반송파 시스템에 대한 릴레이 하이브리드 빔포머의 성능 검증은 도 3과 같다.

[0074] 도 3을 참조하면, 본 발명의 성능이 full complexity RF chain을 가정한 최적 환경(Optimal)의 빔포머 성능에 근접함을 확인할 수 있다. 그리고, 송수신RF 빔, baseband 신호처리를 독립적으로 설계한 방법(beam steering)과 비교할 때 본 발명은 개선된 성능을 보이고 더불어 RF 체인의 수가 줄어들 때의 성능 저하의 정도도 비교 방법보다 현저히 작음을 확인할 수 있다.

[0075] 이와 같이, 본 발명에서는 다중 반송파 시스템의 릴레이 하이브리드 빔포머를 설계할 수 있다. 더욱이, 부반송파마다 공통적으로 적용되는 송신 RF 빔, 수신 RF 빔과 각 부반송파마다의 baseband 신호처리들을 서로의 상호영향을 고려하면서 동시 또는 순차적으로 설계할 수 있다.

[0076] 본 발명에 따르면, 다중 반송파 시스템에서 하이브리드 빔포머의 성능이 안테나 수만큼의 RF 체인(full complexity RF chain)을 가정한 최적 빔포머 성능에 근접할 수 있다. 따라서, 저전력의 동작을 특징으로 하는 릴레이의 구성요소 중 파워의 소비가 많고 값비싼 RF 체인의 수를 줄일 수 있는 이점이 있다.

[0077] 기존의 기술들은 단일 사용자 환경만을 고려하고 있거나, 높은 구현 복잡도를 가지는 하드웨어 구조를 한정하고 있기 때문에 상용으로의 구현에 아직 부담이 존재한다. 이에 반하여, 다중 사용자 환경을 고려하며 낮은 구현 복잡도를 가지는 본 발명을 다수의 안테나를 활용하는 통신 시스템에 적용할 경우, 시스템의 적용 범위나 구현 효율 측면에서 높은 경쟁력을 기대할 수 있다. 또한, 본 발명에서 고려되고 있는 송수신 RF 빔 설계 방식은 상용 통신부터 차세대 이동통신이 될 mmWave 통신까지 다중 안테나/반송파를 사용하는 시스템 분야에서 높은 잠재 시장을 가진다.

[0078] 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, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(field programmable gate 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 설

명된 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 (processing configuration)도 가능하다.

[0079] 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.

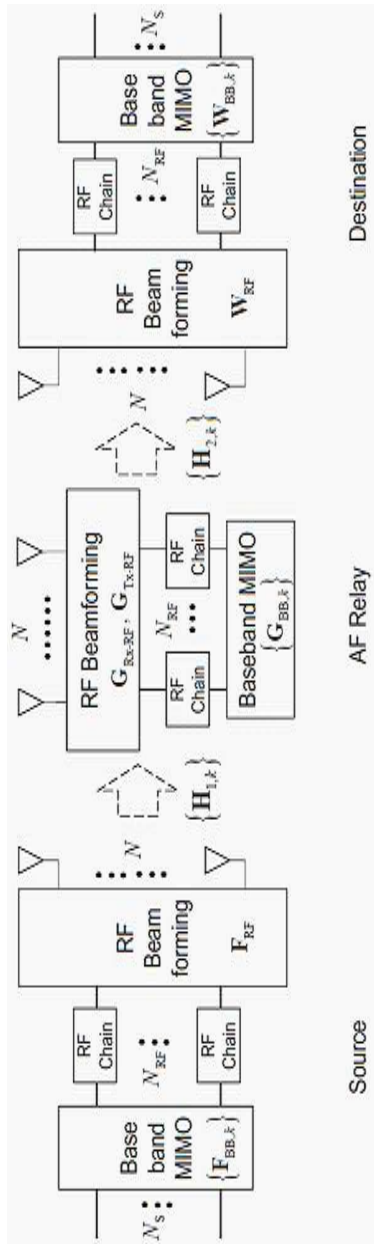
[0080] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체 (magnetic 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.

[0081] 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.

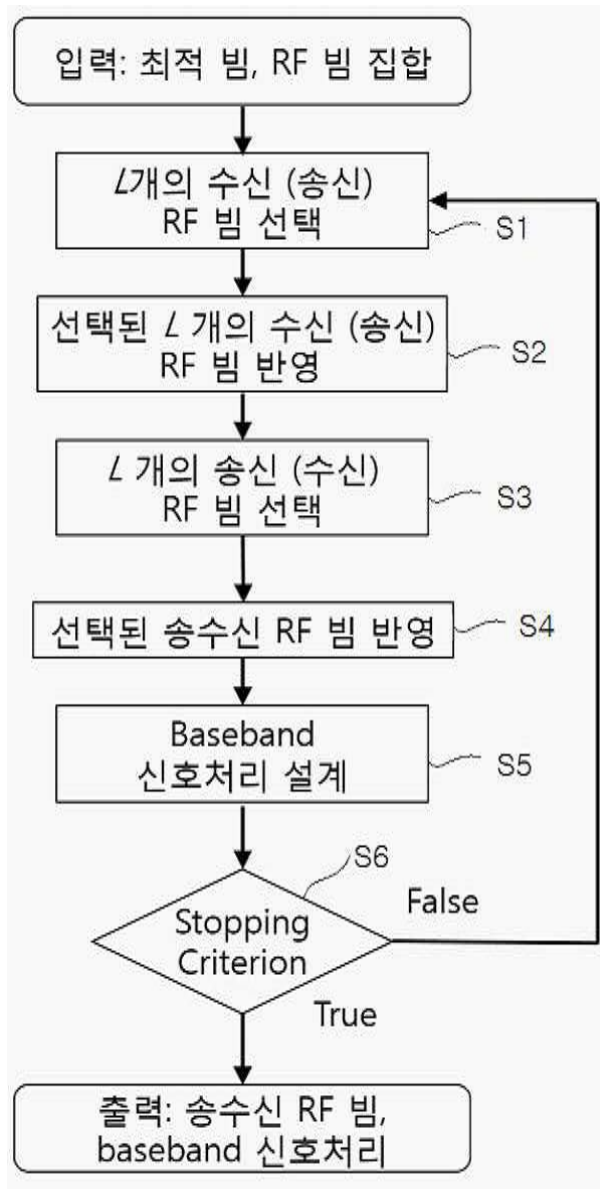
[0082] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

도면1



도면2



도면3

