



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0147604
(43) 공개일자 2021년12월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/06 (2017.01) H04B 7/0408 (2017.01)
(52) CPC특허분류
H04B 7/0691 (2013.01)
H04B 7/0408 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0065063
(22) 출원일자 2020년05월29일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
한국전자통신연구원
대전광역시 유성구 가정로 218 (가정동)
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
(72) 발명자
노송
인천광역시 연수구 아카데미로 119, 7호관 221호
(74) 대리인
특허법인이상

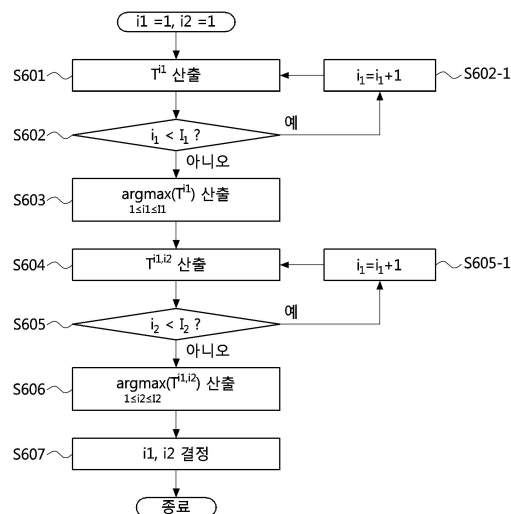
전체 청구항 수 : 총 1 항

(54) 발명의 명칭 하이브리드 빔포밍을 기초로 한 빔 탐색 방법 및 장치

(57) 요약

무선 통신 시스템에서 하이브리드 빔포밍(hybrid beamforming)을 지원하는 기지국의 동작 방법으로서, 제1 빔포머(beamformer)의 적어도 하나 이상의 서브어레이(subarray)를 통해 수신한 신호를 기초로 제1 어레이 팩터(array factor)를 생성하는 단계; 제2 빔포머(beamformer)의 적어도 하나 이상의 서브어레이(subarray)에 의해 상기 신호를 기초로 제2 어레이 팩터를 생성하는 단계; 상기 제1 어레이 팩터 및 상기 제2 어레이 팩터를 기초로 빔 패턴을 생성하는 단계; 및 상기 빔 패턴의 빔들 중, 상기 신호의 수신 상태를 기초로 하나의 빔을 탐색하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도6



(52) CPC특허분류

H04B 7/0617 (2013.01)

H04B 7/0682 (2013.01)

H04B 7/0695 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711103284
과제번호	2018-0-00218
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원(IITP)
연구사업명	ETRI연구개발지원사업
연구과제명	[전문연구실] 초고주파 이동통신 무선백홀 전문연구실
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한국전자통신연구원
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

하이브리드 빔포밍(hybrid beamforming)을 지원하는 기지국의 동작 방법으로서,

제1 빔포머(beamformer)의 적어도 하나 이상의 서브어레이(subarray)를 통해 수신한 신호를 기초로 제1 어레이 팩터(array factor)를 생성하는 단계;

제2 빔포머(beamformer)의 적어도 하나 이상의 서브어레이(subarray)에 의해 상기 신호를 기초로 제2 어레이 팩터를 생성하는 단계;

상기 제1 어레이 팩터 및 상기 제2 어레이 팩터를 기초로 빔 패턴을 생성하는 단계; 및

상기 빔 패턴의 빔들 중, 상기 신호의 수신 상태를 기초로 하나의 빔을 탐색하는 단계를 포함하는, 기지국의 동작 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 무선 통신 시스템에서의 빔 탐색 방법을 수행하는 기지국의 동작 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 하이브리드 빔포밍(hybrid beamforming)을 수행하는 기지국의 빔 탐색 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 폭발적으로 증가하는 모바일 트래픽을 이동통신 네트워크에서 수용하기 위해 보다 넓은 대역폭의 확보가 가능한 고주파수(예를 들어, 밀리미터파, 테라헤르쯔) 대역을 사용할 필요성이 높아졌다. 고주파수 대역은 전파 손실(경로 손실, 물체 침투 손실 등)이 심하여 수신 SNR(signal-to-noise ratio)이 저하되는 문제가 있으므로, 특정 방향으로 신호를 집중하여 전송하기 위한 빔포밍(beamforming) 기술의 적용이 필수적이다.

[0003] 아날로그 빔포밍은 위상 천이기(phase shifter)만으로 신호를 조향(steering)하기 때문에, 안테나 요소 별로 RF 체인이 요구되지 않아 비용 효율적인 구현이 가능하다. 그러나, 아날로그 빔포밍은 각 해상도(angular resolution)가 부정확한 단점이 있다. 한편, 디지털 빔포밍은 디지털 방식으로 신호의 위상과 진폭을 조절하여 빔의 방향을 조절하므로 높은 정확도를 가질 수 있다. 그런, 안테나 별로 ADC(analog-to-digital converter)/DAC(digital-to-analog converter)를 포함하는 RF체인이 필요하여, 대규모의 안테나를 사용하는 경우 하드웨어 복잡도와 전력소비의 증가에 의해 구현이 어려워지는 단점이 있다.

[0004] 따라서 디지털 빔포밍의 복잡도를 낮추고 아날로그 빔포밍의 정확도를 높일 수 있도록, RF 영역에서 아날로그 빔포밍을 사용하고, 기저대역(baseband)에서는 디지털 빔포밍을 사용하는 하이브리드 빔포밍 기술이 필수적이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 목적은, 최적의 빔을 짧은 시간 내에 검출하여 파일럿 오버헤드(pilot overhead)를 최소화하고, 초고속 데이터 전송을 위한 빔포밍 이득 및 데이터 전송 구간을 최대화하기 위한 빔 탐색 방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 통신 시스템에서 하이브리드 빔포밍(hybrid beamforming)을 지원하는 기지국의 동작 방법으로서, 제1 빔포머(beamformer)의 적어도 하나 이상의 서브어레이(subarray)를 통해 수신한 신호를 기초로 제1 어레이 팩터(array factor)를 생성하는 단계; 제2 빔포머

(beamformer)의 적어도 하나 이상의 서브어레이(subarray)에 의해 상기 신호를 기초로 제2 어레이 팩터를 생성하는 단계; 상기 제1 어레이 팩터 및 상기 제2 어레이 팩터를 기초로 빔 패턴을 생성하는 단계; 및 상기 빔 패턴의 빔들 중, 상기 신호의 수신 상태를 기초로 하나의 빔을 탐색하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0007] 본 발명에 의하면, 기지국은 아날로그 빔포머(analog beamformer) 및 디지털 빔포머(digital beamformer)를 모두 이용하는 하이브리드 빔포밍(hybrid beamforming) 방식을 통해 형성된 빔들을 탐색함으로써, 적은 OFDM(orthogonal frequency division multiplexing) 심볼을 통해 더 많은 빔들을 탐색할 수 있다.

[0008] 본 발명에 의하면, 기지국은 하이브리드 빔포밍 방식을 통해 형성된 빔들을 탐색함으로써, 적은 지연 시간(latency)과 낮은 연산 복잡도(computational complexity)에도 불구하고 정확한 빔 탐색 동작을 수행할 수 있다. 따라서 통신 시스템의 성능이 향상될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0009] 도 1은 통신 시스템의 제1 실시예를 도시한 개념도이다.
- 도 2는 통신 시스템을 구성하는 통신 노드의 제1 실시예를 도시한 블록도이다.
- 도 3은 하이브리드 빔포밍을 수행하는 통신 노드의 구조의 일 실시예를 도시하는 개념도이다.
- 도 4는 본 발명의 빔 탐색 방법에 따라 획득한 빔 패턴의 제1 실시예를 도시한 개념도이다.
- 도 5는 본 발명의 빔 탐색 방법에 따른 전체 영역의 중첩된 빔 패턴의 일 실시예를 도시한 개념도이다.
- 도 6은 OFDM 심볼의 수신 결과를 기초로 빔 탐색을 수행하는 통신 노드의 동작의 일 실시예를 도시한 흐름도이다.
- 도 7은 본 발명의 빔 탐색 방법을 포함하는 빔 탐색 방법들의 지연 시간 및 연산 복잡도의 비교 결과의 일 실시예를 도시한 도표이다.
- 도 8a는 본 발명의 빔 탐색 방법을 포함하는 빔 탐색 방법들의 지연 시간의 비교 결과의 일 실시예를 도시한 그래프이다.
- 도 8b는 본 발명의 빔 탐색 방법을 포함하는 빔 탐색 방법들의 연산 복잡도의 비교 결과의 일 실시예를 도시한 그래프이다.
- 도 9는 하이브리드 빔포밍을 수행하는 통신 노드의 구조의 제2 실시예를 도시하는 개념도이다.
- 도 10은 본 발명의 빔 탐색 방법에 따라 획득한 빔 패턴의 제2 실시예를 도시한 개념도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0010] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0011] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 및/또는 이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.
- [0012] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0013] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함

하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

- [0014] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가진 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0015] 이하, 첨부한 도면들을 참조하여, 본 발명의 바람직한 실시예를 보다 상세하게 설명하고자 한다. 본 발명을 설명함에 있어 전체적인 이해를 용이하게 하기 위하여 도면상의 동일한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를 사용하고 동일한 구성요소에 대해서 중복된 설명은 생략한다.
- [0016] 본 발명에 따른 실시예들이 적용되는 통신 시스템(communication system)이 설명될 것이다. 본 발명에 따른 실시예들이 적용되는 통신 시스템은 아래 설명된 내용에 한정되지 않으며, 본 발명에 따른 실시예들은 다양한 통신 시스템에 적용될 수 있다. 여기서, 통신 시스템은 통신 네트워크(network)와 동일한 의미로 사용될 수 있다.
- [0017] 명세서 전체에서, 단말(terminal)은, 이동국(mobile station, MS), 이동 단말(mobile terminal, MT), 진보된 이동국(advanced mobile station, AMS), 고신뢰성 이동국(high reliability mobile station, HR-MS), 가입자국(subscriber station, SS), 휴대 가입자국(portable subscriber station, PSS), 접근 단말(access terminal, AT), 사용자 장비(user equipment, 단말), 기계형 통신 장비(machine type communication device, MTC device) 등을 지칭할 수도 있고, MT, MS, AMS, HR-MS, SS, PSS, AT, UE 등의 전부 또는 일부의 기능을 포함할 수도 있다.
- [0018] 또한, 기지국(base station, BS)은 진보된 기지국(advanced base station, ABS), 고신뢰성 기지국(high reliability base station, HR-BS), 노드B(node B), 고도화 노드B(evolved node B, eNodeB), 접근점(access point, AP), 무선 접근국(radio access station, RAS), 송수신 기지국(base transceiver station, BTS), MMR(mobile multihop relay)-BS, 기지국 역할을 수행하는 중계기(relay station, RS), 기지국 역할을 수행하는 중계 노드(relay node, RN), 기지국 역할을 수행하는 진보된 중계기(advanced relay station, ARS), 기지국 역할을 수행하는 고신뢰성 중계기(high reliability relay station, HR-RS), 소형 기지국[펨토 기지국(femto BS), 홈 노드B(home node B, HNB), 홈 eNodeB(HeNB), 피코 기지국(pico BS), 매크로 기지국(macro BS), 마이크로 기지국(micro BS) 등] 등을 지칭할 수도 있고, ABS, 노드B, eNodeB, AP, RAS, BTS, MMR-BS, RS, RN, ARS, HR-RS, 소형 기지국 등의 전부 또는 일부의 기능을 포함할 수도 있다.
- [0019] 기지국은 셀(cell)을 하나 혹은 여러 개로 구성하고, 단말은 해당 기지국이 갖고 있는 cell에 적어도 하나와 RRC connection을 맺는다. 여기서 RRC connection을 맺은 cell을 서빙 셀(serving cell)로 지칭한다.
- [0020] 도 1은 통신 시스템의 제1 실시예를 도시한 개념도이다.
- [0021] 도 1을 참조하면, 통신 시스템(100)은 복수의 통신 노드들(110-1, 110-2, 110-3, 120-1, 120-2, 130-1, 130-2, 130-3, 130-4, 130-5, 130-6)로 구성될 수 있다. 여기서, 통신 시스템(100)은 "통신 네트워크"로 지칭될 수 있다. 복수의 통신 노드들 각각은 적어도 하나의 통신 프로토콜(protocol)을 지원할 수 있다. 예를 들어, 복수의 통신 노드들 각각은 CDMA(code division multiple access) 기반의 통신 프로토콜, WCDMA(wideband CDMA) 기반의 통신 프로토콜, TDMA(time division multiple access) 기반의 통신 프로토콜, FDMA(frequency division multiple access) 기반의 통신 프로토콜, OFDM(orthogonal frequency division multiplexing) 기반의 통신 프로토콜, OFDMA(orthogonal frequency division multiple access) 기반의 통신 프로토콜, SC(single carrier)-FDMA 기반의 통신 프로토콜, NOMA(non-orthogonal multiple access) 기반의 통신 프로토콜, SDMA(space division multiple access) 기반의 통신 프로토콜 등을 지원할 수 있다. 복수의 통신 노드들 각각은 다음과 같은 구조를 가질 수 있다.
- [0022] 도 2는 통신 시스템을 구성하는 통신 노드의 제1 실시예를 도시한 블록도이다.
- [0023] 도 2를 참조하면, 통신 노드(200)는 적어도 하나의 프로세서(210), 메모리(220) 및 네트워크와 연결되어 통신을 수행하는 송수신 장치(230)를 포함할 수 있다. 또한, 통신 노드(200)는 입력 인터페이스 장치(240), 출력 인터페이스 장치(250), 저장 장치(260) 등을 더 포함할 수 있다. 통신 노드(200)에 포함된 각각의 구성 요소들은 버

스(bus)(270)에 의해 연결되어 서로 통신을 수행할 수 있다.

[0024] 프로세서(210)는 메모리(220) 및 저장 장치(260) 중에서 적어도 하나에 저장된 프로그램 명령(program command)을 실행할 수 있다. 프로세서(210)는 중앙 처리 장치(central processing unit, CPU), 그래픽 처리 장치(graphics processing unit, GPU), 또는 본 발명의 실시예들에 따른 방법들이 수행되는 전용의 프로세서를 의미할 수 있다. 메모리(220) 및 저장 장치(260) 각각은 휘발성 저장 매체 및 비휘발성 저장 매체 중에서 적어도 하나로 구성될 수 있다. 예를 들어, 메모리(220)는 읽기 전용 메모리(read only memory, ROM) 및 랜덤 액세스 메모리(random access memory, RAM) 중에서 적어도 하나로 구성될 수 있다.

[0025] 다시 도 1을 참조하면, 통신 시스템(100)은 복수의 기지국들(base stations)(110-1, 110-2, 110-3, 120-1, 120-2), 복수의 단말들(user equipment)(130-1, 130-2, 130-3, 130-4, 130-5, 130-6)을 포함할 수 있다. 제1 기지국(110-1), 제2 기지국(110-2) 및 제3 기지국(110-3) 각각은 매크로 셀(macro cell)을 형성할 수 있다. 제4 기지국(120-1) 및 제5 기지국(120-2) 각각은 스몰 셀(small cell)을 형성할 수 있다. 제1 기지국(110-1)의 커버리지(coverage) 내에 제4 기지국(120-1), 제3 단말(130-3) 및 제4 단말(130-4)이 속할 수 있다. 제2 기지국(110-2)의 커버리지 내에 제2 단말(130-2), 제4 단말(130-4) 및 제5 단말(130-5)이 속할 수 있다. 제3 기지국(110-3)의 커버리지 내에 제5 기지국(120-2), 제4 단말(130-4), 제5 단말(130-5) 및 제6 단말(130-6)이 속할 수 있다. 제4 기지국(120-1)의 커버리지 내에 제1 단말(130-1)이 속할 수 있다. 제5 기지국(120-2)의 커버리지 내에 제6 단말(130-6)이 속할 수 있다.

[0026] 여기서, 복수의 기지국들(110-1, 110-2, 110-3, 120-1, 120-2) 각각은 노드B(NodeB), 고도화 노드B(evolved NodeB), BTS(base transceiver station), 무선 기지국(radio base station), 무선 트랜시버(radio transceiver), 액세스 포인트(access point), 액세스 노드(node), 노변 장치(road side unit; RSU), RRH(radio remote head), TP(transmission point), TRP(transmission and reception point), 중계 노드(relay node) 등으로 지칭될 수 있다. 복수의 단말들(130-1, 130-2, 130-3, 130-4, 130-5, 130-6) 각각은 터미널(terminal), 액세스 터미널(access terminal), 모바일 터미널(mobile terminal), 스테이션(station), 가입자 스테이션(subscriber station), 모바일 스테이션(mobile station), 휴대 가입자 스테이션(portable subscriber station), 노드(node), 다바이스(device) 등으로 지칭될 수 있다.

[0027] 복수의 통신 노드들(110-1, 110-2, 110-3, 120-1, 120-2, 130-1, 130-2, 130-3, 130-4, 130-5, 130-6) 각각은 셀룰러(cellular) 통신(예를 들어, 3GPP(3rd generation partnership project) 표준에서 규정된 LTE(long term evolution), LTE-A(advanced) 등)를 지원할 수 있다. 복수의 기지국들(110-1, 110-2, 110-3, 120-1, 120-2) 각각은 서로 다른 주파수 대역에서 동작할 수 있고, 또는 동일한 주파수 대역에서 동작할 수 있다. 복수의 기지국들(110-1, 110-2, 110-3, 120-1, 120-2) 각각은 아이디얼 백홀(ideal backhaul) 또는 논(non)-아이디얼 백홀을 통해 서로 연결될 수 있고, 아이디얼 백홀 또는 논-아이디얼 백홀을 통해 서로 정보를 교환할 수 있다. 복수의 기지국들(110-1, 110-2, 110-3, 120-1, 120-2) 각각은 아이디얼 백홀 또는 논-아이디얼 백홀을 통해 코어(core) 네트워크(미도시)와 연결될 수 있다. 복수의 기지국들(110-1, 110-2, 110-3, 120-1, 120-2) 각각은 코어 네트워크로부터 수신한 신호를 해당 단말(130-1, 130-2, 130-3, 130-4, 130-5, 130-6)에 전송할 수 있고, 해당 단말(130-1, 130-2, 130-3, 130-4, 130-5, 130-6)로부터 수신한 신호를 코어 네트워크에 전송할 수 있다.

[0028] 복수의 기지국들(110-1, 110-2, 110-3, 120-1, 120-2) 각각은 OFDMA 기반의 다운링크(downlink) 전송을 지원할 수 있고, SC-FDMA 기반의 업링크(uplink) 전송을 지원할 수 있다. 또한, 복수의 기지국들(110-1, 110-2, 110-3, 120-1, 120-2) 각각은 MIMO(multiple input multiple output) 전송(예를 들어, SU(single user)-MIMO, MU(multi user)-MIMO, 대규모(massive) MIMO 등), CoMP(coordinated multipoint) 전송, 캐리어 애그리게이션(carrier aggregation) 전송, 비면허 대역(unlicensed band)에서 전송, 단말 간 직접(device to device, D2D) 통신(또는, ProSe(proximity services)) 등을 지원할 수 있다. 여기서, 복수의 단말들(130-1, 130-2, 130-3, 130-4, 130-5, 130-6) 각각은 기지국(110-1, 110-2, 110-3, 120-1, 120-2)과 대응하는 동작, 기지국(110-1, 110-2, 110-3, 120-1, 120-2)에 의해 지원되는 동작을 수행할 수 있다.

[0029] 예를 들어, 제2 기지국(110-2)은 SU-MIMO 방식을 기반으로 신호를 제4 단말(130-4)에 전송할 수 있고, 제4 단말(130-4)은 SU-MIMO 방식에 의해 제2 기지국(110-2)으로부터 신호를 수신할 수 있다. 또는, 제2 기지국(110-2)은 MU-MIMO 방식을 기반으로 신호를 제4 단말(130-4) 및 제5 단말(130-5)에 전송할 수 있고, 제4 단말(130-4) 및 제5 단말(130-5) 각각은 MU-MIMO 방식에 의해 제2 기지국(110-2)으로부터 신호를 수신할 수 있다. 제1 기지국(110-1), 제2 기지국(110-2) 및 제3 기지국(110-3) 각각은 CoMP 방식을 기반으로 신호를 제4 단말(130-4)에 전송할 수 있고, 제4 단말(130-4)은 CoMP 방식에 의해 제1 기지국(110-1), 제2 기지국(110-2) 및 제3 기지국

(110-3)으로부터 신호를 수신할 수 있다. 복수의 기지국들(110-1, 110-2, 110-3, 120-1, 120-2) 각각은 자신의 커버리지 내에 속한 단말(130-1, 130-2, 130-3, 130-4, 130-5, 130-6)과 캐리어 애그리게이션 방식을 기반으로 신호를 송수신할 수 있다. 제1 기지국(110-1), 제2 기지국(110-2) 및 제3 기지국(110-3) 각각은 제4 단말(130-4)과 제5 단말(130-5) 간의 D2D 통신을 코디네이션(coordination)할 수 있고, 제4 단말(130-4) 및 제5 단말(130-5) 각각은 제2 기지국(110-2) 및 제3 기지국(110-3) 각각의 코디네이션에 의해 D2D 통신을 수행할 수 있다.

[0030] 도 3은 하이브리드 빔포밍을 수행하는 통신 노드의 구조의 일 실시예를 도시하는 개념도이다.

[0031] 도 3을 참조하면, 기지국은 광대역 하이브리드 빔포밍을 수행하여, 생성한 빔을 통해 OFDM 심볼을 송신할 수 있다. 기지국은 복수개의 서브어레이(subarray)들을 포함할 수 있고, 복수개의 서브어레이들 각각은 복수개의 안테나들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 기지국이 M개의 서브어레이들을 포함하고, N개의 안테나들을 포함하는 경우, 기지국의 서브어레이들 각각은 N/M개의 안테나를 포함할 수 있다. 기지국의 안테나들 각각은 반파장 배열 안테나일 수 있다.

[0032] 기지국은 단말로부터의 상향링크 신호를 수신할 수 있다. 기지국의 서브어레이들 각각은 아날로그 빔포밍을 수행할 수 있다. 기지국의 서브어레이들 각각은 수신 신호의 아날로그 빔포밍 결과를 기지국의 디지털 기저대역 처리부로 전달할 수 있다. 기지국의 기저대역 처리부는 서브어레이들 각각으로부터 획득한 아날로그 빔포밍 결과를 기초로 디지털 빔포밍을 수행할 수 있다. 기지국이 빔포밍 결과 획득한 신호는 수학식 1과 같이 표현될 수 있다.

수학식 1

$$y_k^{(i)} = \mathbf{f}_{BB,k}^{(i)H} \left(\mathbf{F}_{RF}^{(i)H} (\mathbf{h}_k x_k^{(i)} + \mathbf{v}_k^{(i)}) \right) = \mathbf{f}_{BB,k}^{(i)H} \left(\mathbf{F}_{RF}^{(i)H} \mathbf{h}_k x_k^{(i)} + \mathbf{n}_k^{(i)} \right) \\ = \mathbf{f}_k^{(i)H} \mathbf{h}_k x_k^{(i)} + z_k^{(i)}$$

[0033]

[0034] 수학식 1에서, $\mathbf{v}_k^{(i)} \sim \mathcal{CN}(\mathbf{0}_N, \sigma_n^2 \mathbf{I}_N)$ 는 평균이 0이고 분산이 σ_n^2 인 백색 잡음을 지시할 수 있다. 아날로그 빔포머 $\mathbf{F}_{RF}$ 는 빔 탐색 기간 동안 서로 다른 방향을 갖는 적어도 하나 이상의 빔을 탐색할 수 있다. 아날로그 빔포머 $\mathbf{F}_{RF}$ 의 m번째 열벡터는 수학식 2와 같이 표현될 수 있다.

수학식 2

$$\mathbf{f}_{RF,m}(\psi_m) = \left[\mathbf{0}_{(m-1)N/M}^T, \sqrt{M/N} \mathbf{u}_{N/M,d}^T(\psi_m), \mathbf{0}_{(M-m)N/M}^T \right]^T, \quad 1 \leq m \leq M$$

[0035]

[0036] 수학식 2에 따른 아날로그 빔포머는 m번째 서브어레이에서 ψ_m 방향의 빔을 탐색할 수 있다. ψ_m 방향의 빔을 탐색하는 아날로그 빔포머의 어레이 벡터는 수학식 3과 같이 표현될 수 있다.

수학식 3

$$\mathbf{u}_{L,d}(\varphi) = \left[1, e^{j\frac{2\pi d}{\lambda} \varphi}, \dots, e^{j\frac{2\pi d}{\lambda} \varphi(L-1)} \right]^T \in \mathbb{C}^L$$

[0037]

[0038] 수학식 3의 d는 기지국에 포함되는 반파장 배열 안테나들 간의 간격을 지시할 수 있으며, $\varphi = \cos(\phi) \in [-1, 1]$ 는 정규화된 빔들의 방향(및 각도)를 지시할 수 있다. 기지국이 빔을 통해 수신한 신호의 신호 대 잡음비(signal to noise ratio, SNR)은 수학식 4와 같이 표현될 수 있다.

수학식 4

$$SNR_k = \frac{\rho}{\sigma_n^2} \left| \mathbf{f}_k^{(i)H} \mathbf{h}_k \right|^2$$

광대역 통신을 수행하는 기지국은 단말과의 채널을 형성할 수 있다. 기지국과 단말 간의 채널은 적어도 하나 이상의 전달 경로들을 더 포함할 수 있다. 예를 들어, 기지국과 단말 간의 채널이 N_{cp} 개의 채널을 포함하는 경우, N_{cp} 개의 전달 경로들을 포함하는 채널은 수학식 5와 같이 표현될 수 있다.

수학식 5

$$\boldsymbol{\eta}(v) = \sum_{\ell=1}^{N_{cp}} \alpha_{\ell} p(vT_s - \tau_{\ell,v}) \text{diag}(\mathbf{r}(\theta_{\ell})) \mathbf{u}_{N,d}(\theta_{\ell}), \quad 0 \leq v < D$$

수학식 5의 α_{ℓ} 은 전달 경로들 각각의 채널 이득, $\tau_{\ell,v}$ 는 전달 경로들 각각의 경로 지연, θ_{ℓ} 는 전달 경로들 각각에 따른 채널 입사 각도를 지시할 수 있다. $p(\cdot)$ 은 통신 노드들 각각의 펄스 형성 필터, $\mathbf{r}(\cdot) = \mathbf{1}_M$ 은 전방향성 안테나 이득을 지시할 수 있다. 복수의 전달 경로를 포함하는 채널을 통해 단말로부터 신호를 수신한 기지국은 이산 푸리에 변환(discrete fourier transform, DFT)를 적용하여, 채널 벡터를 산출할 수 있다. 기지국의 이산 푸리에 변환 결과 산출된 주파수 영역에서의 채널 벡터는 수학식 6과 같이 표현될 수 있다.

수학식 6

$$\begin{aligned} \mathbf{h}_k &= \sum_{\ell=1}^{N_{cp}} \alpha_{\ell} g_{\ell,k} \mathbf{u}_{N,d}(\theta_{\ell}) \\ [g_{1,k}, \dots, g_{N_{cp},k}]^T &= (\mathbf{D}(k, :) [\mathbf{p}_1, \dots, \mathbf{p}_{N_{cp}}])^T \\ \mathbf{p}_{\ell} &= [p(-\tau_{\ell,0}), p(T_s - \tau_{\ell,1}), \dots, p((D-1)T_s - \tau_{\ell,D-1})]^T \in \mathbb{C}^D \end{aligned}$$

수학식 6에서, $\mathbf{D}(k, :)$ 는 DFT 행렬의 k번째 행벡터를 지시할 수 있다. 즉, 기지국은 수학식 6에 따라, DFT 변환을 수행하여, 채널 벡터를 획득할 수 있다.

주어진 채널 입사각(angle of arrival) θ 와 빔 탐색 각도 ψ 에 따른 선형 배열 안테나의 어레이 팩터(array factor)는 수학식 7과 같이 표현될 수 있다.

수학식 7

$$AF_{L,\delta}^{\psi}(\theta) := \frac{1}{\sqrt{L}} \mathbf{u}_{L,\delta}^H(\psi) \mathbf{u}_{L,\delta}(\theta) = e^{j \frac{\pi \delta}{\lambda} (\theta - \psi)(L-1)} \frac{\sin \left(L \frac{\pi \delta}{\lambda} (\theta - \psi) \right)}{\sqrt{L} \sin \left(\frac{\pi \delta}{\lambda} (\theta - \psi) \right)}$$

m번째 서브어레이에서 아날로그 빔포밍을 통해 획득한 신호 중 백색 잡음을 제외한 신호는 수학식 8과 같이 표현될 수 있다.

수학식 8

$$\tilde{\mathbf{h}}_k^{\psi_m}(m) := (\mathbf{f}_{RF,m}(\psi_m))^H \mathbf{h}_k = \sum_{\ell=1}^{N_{cp}} \alpha_{\ell} g_{\ell,k} e^{j\pi\theta_{\ell}\frac{N}{M}(m-1)} AF_{N/M,\lambda/2}^{\psi_m}(\theta_{\ell})$$

본 발명의 일 실시예에 따른 기법에서 아날로그 서브어레이들 각각의 빔 탐색 각도는 모두 동일할 수 있다. 수신 신호의 SNR을 최대화하는 채널 경로($\mathbf{h}_k = \alpha_1 g_{1,k} \mathbf{u}_{N,\lambda/2}(\theta_1)$)에 따른 최적의 빔을 탐색하는 하이브리드 빔포머는 수학식 9와 같이 표현될 수 있다.

수학식 9

$$\mathbf{f}_{RF,m} = \mathbf{e}_M(m) \otimes \sqrt{\frac{M}{N}} \mathbf{u}_{M,\frac{\lambda}{2}}(\theta_1)$$

$$\mathbf{f}_{BB,k} = \frac{1}{\sqrt{M}} \mathbf{u}_{M,\frac{\lambda}{2M}}(\theta_1)$$

수학식 9의 $\mathbf{e}_M(m)$ 은 $M \times M$ 단위 행렬의 m 번째 열벡터를 지시할 수 있다. 수학식 9에 의해 정의된 바에 따르면, ξ 방향의 빔을 탐색하는 디지털 빔포머는 수학식 10과 같이 표현될 수 있다.

수학식 10

$$\mathbf{f}_{BB,k}(\xi) := \frac{1}{\sqrt{M}} [1, e^{j\pi\xi\frac{N}{M}}, \dots, e^{j\pi\xi\frac{N}{M}(M-1)}]^T \in \mathbb{C}^M$$

디지털 빔포머는 수신한 신호에 수학식 10의 연산을 적용할 수 있다. 디지털 빔 포머의 가상 서브어레이에서 수학식 10에 따라 디지털 빔포밍을 적용한 수신 신호는 수학식 11과 같이 표현될 수 있다.

수학식 11

$$\mathbf{y}_k^{\psi,\xi} := \mathbf{f}_{BB,k}(\xi)^H (\tilde{\mathbf{h}}_k^{\psi} x_k + \mathbf{n}_k) = \tilde{h}_k^{\psi,\xi} x_k + z_k$$

수학식 11에서의 채널 $\tilde{h}_k^{\psi,\xi}$ 은 아날로그 빔포머의 서브어레이의 어레이 팩터와 디지털 빔포머의 가상 서브어레이의 어레이 팩터의 곱일 수 있다. 즉, 채널 $\tilde{h}_k^{\psi,\xi}$ 은 수학식 12와 같이 표현될 수 있다.

수학식 12

$$\tilde{h}_k^{\psi,\xi} = \sum_{\ell=1}^{N_{cp}} \alpha_{\ell} g_{\ell,k} AF_{N/M,\lambda/2}^{\psi}(\theta_{\ell}) AF_{M,\frac{\lambda}{2M}}^{\xi}(\theta_{\ell})$$

채널 경로의 수가 하나인 경우($\mathbf{h}_k = \alpha_1 g_{1,k} \mathbf{u}_{N,\lambda/2}(\theta_1)$), 본 발명의 빔 탐색 방법에 따른 제안된 기법은 수학식 13을 만족할 수 있다.

수학식 13

[0058]
$$|\tilde{h}_k^{\psi, \xi}|^2 \leq |\tilde{h}_k^{\psi, \theta_1}|^2 \leq |\tilde{h}_k^{\theta_1, \theta_1}|^2 = N |\alpha_{1g1,k}|^2$$

[0059] 즉, 수학식 13에 따르면, 본 발명의 빔 탐색 방법에 따르면, $\psi = \xi = \theta_1$ 일때에, 기지국은 하이브리드 빔포밍을 통한 빔 탐색 방법을 적용하여, 기존의 아날로그 빔포밍 방식에 따라 획득할 수 있는 최대값 N과 동일한 빔포밍 이득을 획득할 수 있다.

[0060] 기지국은 빔 방향을 탐색하기 위한 범위인, 전체 연속 탐색 각도 공간을 이산 각도 공간으로 정의할 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 빔 탐색을 수행하는 기지국의 아날로그 빔포머의 서브어레이는 하나의 OFDM 심볼을 사용하여 하나의 방향(ψ)의 빔을 탐색할 수 있다. 그리고 기지국의 디지털 빔포머의 가상 서브어레이는 별도의 OFDM 심볼을 사용하지 않고 하나의 방향(ξ)의 빔을 탐색할 수 있다. 디지털 빔포머의 가상 서브어레이는 아날로그 빔포머의 서브어레이의 수신 결과에 대하여 디지털 신호 처리를 통해 ξ 방향의 빔을 탐색할 수 있다.

[0061] 본 발명의 빔 탐색 방법에서 사용되는 탐색 대상 빔 방향은 아래에 설명한 바와 같이 설정될 수 있다. 아날로그 빔포머의 서브어레이들 각각의 탐색 대상 빔 방향들의 집합 B_{I_1} 은 $2/I_1$ 간격으로 균일하게 배치되는 탐색 방향들을 포함할 수 있다. 즉, 아날로그 빔포머의 서브어레이들 각각의 탐색 대상 빔 방향들의 집합 B_{I_1} 은 수학식 14와 같이 표현될 수 있다.

수학식 14

[0062]
$$B_{I_1} = \left\{ \psi(i_1) = -1 + \frac{2}{I_1} \left(i_1 - \frac{1}{2} \right) \middle| i_1 = 1, \dots, I_1 \right\}$$

[0063] 디지털 빔포머의 가상 서브어레이의 탐색 대상 빔 방향들의 집합 B_{I_1, I_2} 은 $2/(I_1 I_2)$ 간격으로 균일하게 배치되는 탐색 방향들을 포함할 수 있다. 즉, 디지털 빔포머의 가상 서브어레이의 탐색 각도들의 집합 B_{I_1, I_2} 는 수학식 15와 같이 표현될 수 있다.

수학식 15

[0064]
$$B_{I_1, I_2} = \left\{ \xi(i_1, i_2) = \psi(i_1) + \frac{2(i_2 - 1 - (I_2 - 1)/2)}{I_1 I_2} \middle| \psi(i_1) \in B_{I_1}, i_1 = 1, \dots, I_1, i_2 = 1, \dots, I_2 \right\}$$

[0065] N/M 개의 안테나를 포함하는 아날로그 빔포머의 서브어레이는 모든 직교 방향들을 탐색하기 위하여, $I_1 \geq N/M$ 를 만족하는 I_1 개의 OFDM 심볼을 기초로 빔 탐색을 수행하고, 디지털 빔포머의 가상 서브어레이에서 빔 탐색 시 전체 빔 예측 정확도를 $2/N$ 이상으로 확보하기 위하여, $I_2 \geq M$ 를 만족하는 I_1 번의 빔 탐색 동작을 수행할 수 있다.

[0066] 도 4는 본 발명의 빔 탐색 방법에 따라 획득한 빔 패턴의 제1 실시예를 도시한 개념도이다.

[0067] 도 4의 빔 패턴을 생성하는 기지국은 2개의 서브 어레이들을 포함할 수 있고, 서브어레이들 각각은 8개의 반파장 배열 안테나를 포함할 수 있다. 즉, N은 16일 수 있고, M은 2일 수 있다.

[0068] 도 4(a)는 N개의 안테나를 사용한 기지국의 90° 방향 탐색 결과 획득한 아날로그 빔포밍 패턴을 도시한 개념도일 수 있다. 그리고 도 4(b)는 N/M개의 안테나를 사용한 아날로그 빔포머의 서브어레이의 90° 방향 탐색 결과 획득한 빔 패턴을 도시한 개념도일 수 있다. 안테나의 수가 절반으로 줄어든 만큼 빔 폭은 넓어질 수 있으며, 빔 이득은 3dB 가량 감소할 수 있다.

[0069] 도 4(c)는 아날로그 빔포머의 서브어레이를 제외하고, 디지털 빔포머의 가상 서브어레이의 M개의 RF 체인을 통

해 획득한 빔포밍 패턴일 수 있다. 디지털 빔포머의 서브어레이의 M 개의 RF 체인들 간의 간격($\lambda N/(2M)$)으로 인하여, 디지털 빔포머의 가상 서브어레이는 나이키스트 샘플링 속도보다 느린 속도로 공간을 샘플링할 수 있다. 따라서, 디지털 빔포머의 가상 서브어레이에 의한 빔포밍 패턴은 N/M 개의 주 빔을 포함하는 그랜팅 로브(Grating-lobe)와 같은 방사 패턴일 수 있다.

[0070] 도 4(d)는 본 발명의 빔 탐색 방법을 적용한 기지국의 빔 패턴을 도시한 개념도일 수 있다. 기지국의 아날로그 빔포머의 서브어레이 및 디지털 빔포머의 가상 서브어레이를 사용하여 얻어진 빔 패턴일 수 있다. 도 4(d)의 빔 패턴에 따라 생성된 빔의 폭은 도 4(a)의 아날로그 빔포밍 결과 획득한 빔의 폭과 동일할 수 있다. 그리고 기지국은 아날로그 빔포머의 서브어레이에 의해 획득한 빔 패턴과 디지털 빔포머의 가상 서브어레이에 의해 획득한 빔 패턴을 결합하여, 디지털 빔포머의 가상 서브어레이에 의해 획득한 빔 패턴의 그레이팅 로브들을 상쇄할 수 있다.

[0071] 따라서 본 발명의 빔 탐색 방법에 따르면, 본 발명의 빔 탐색을 수행하는 기지국은 적은 수(예를 들어, I_1)의 OFDM 심볼을 사용하고, 디지털 신호 처리를 추가로 수행하여, 다양한 빔 패턴들(예를 들어, $I_1 I_2$ 개)을 획득할 수 있다. 따라서 본 발명의 빔 탐색 방법에 따르면 기지국은 빔 패턴을 형성함에 있어, 전체 탐색 공간을 적은 빔 탐색 지연을 가지고도 높은 추정 정확도를 획득할 수 있다.

[0072] 도 5는 본 발명의 빔 탐색 방법에 따른 전체 영역의 중첩된 빔 패턴의 일 실시예를 도시한 개념도이다.

[0073] 도 5를 참조하면, 도 5(a)는 N 개의 안테나를 사용하여 얻은 N 개의 중첩된 아날로그 빔포밍 패턴을 도시한 개념도일 수 있다. 도 5(b)는 아날로그 빔포머의 서브어레이의 빔포밍 결과 획득한 8개(즉, $I_1=8$)의 중첩된 아날로그 빔포밍 패턴을 도시한 개념도일 수 있다. 도 5(b)의 실시예에 따르면, 기지국은 도 5(a)의 실시예에 비하여, 적은 수의 빔으로도 전체 공간을 탐색할 수 있다. 다만, 도 5(b)의 실시예에 따른 기지국이 생성한 빔 패턴의 빔들 각각은 도 5(a)의 실시예에 비하여, 넓은 폭을 가질 수 있으며, 빔 이득이 3dB 감소할 수 있다.

[0074] 도 5(c)는 본 발명의 빔 탐색 방법에 따른 디지털 빔포머의 가상 서브어레이의 하이브리드 빔포밍을 통해 획득한 중첩된 64개($I_1 I_2=64$)의 빔 패턴을 도시하는 개념도일 수 있다. 도 5(c)의 실시예에 따른 빔 패턴에 포함된 빔들 각각의 빔 넓이와 빔 이득 값은 도 5(a)의 실시예에 따른 빔 패턴의 빔들 각각의 빔 넓이, 빔 이득 값과 유사할 수 있다. 도 5(a)의 실시예에 따르면, 기지국은 16개의 OFDM 심볼을 사용하여 도 5(a)에 도시된 빔 패턴을 획득할 수 있다. 반면, 본 발명의 빔 탐색 방법을 수행하는 기지국은 8개의 OFDM 심볼을 사용하여 도 5(c)에 도시된 빔 패턴을 획득할 수 있다. 따라서 제안된 빔 탐색 기법에 따르면, 기지국은 적은 수의 OFDM 심볼을 사용하여 높은 추정 정확도를 확보할 수 있다. 기지국이 OFDM 심볼을 수신하고, OFDM 심볼의 수신 결과를 기초로 빔을 탐색하는 구체적인 방법은 아래에 설명한 바와 같을 수 있다.

[0075] 도 6은 OFDM 심볼의 수신 결과를 기초로 빔 탐색을 수행하는 통신 노드의 동작의 일 실시예를 도시한 흐름도이다.

[0076] 도 6을 참조하면, 기지국은 OFDM 심볼의 수신 결과를 기초로 빔포밍 동작을 통해 생성한 빔들 중 하나의 빔을 탐색할 수 있다. 기지국의 아날로그 빔포머의 서브어레이는 i_1 번째 OFDM 심볼의 수신 신호 세기를 측정할 수 있다(S601). 기지국의 아날로그 빔포머의 서브어레이는 1 번째 내지 I_1 번째 OFDM 심볼의 수신 신호 세기를 측정할 수 있다(S602). 즉, 기지국의 아날로그 빔포머의 서브어레이는 I_1 번 서로 다른 OFDM 심볼의 수신 신호 세기를 측정할 수 있다. 기지국은 아날로그 빔포머의 서브어레이의 수신 신호 세기 측정 정보를 기초로, 최대의 수신 신호 세기를 갖는 i_1 값을 결정할 수 있다(S603).

[0077] 기지국의 디지털 빔포머의 가상 서브어레이는 i_2 에 따른 OFDM 심볼의 수신 신호 세기를 측정할 수 있다(S604). 기지국의 디지털 빔포머의 가상 서브어레이는 1 번째 내지 I_2 번째 OFDM 심볼의 수신 신호 세기를 측정할 수 있다(S605). 즉, 기지국의 디지털 빔포머의 가상 서브어레이는 I_2 번 서로 다른 OFDM 심볼의 수신 신호 세기를 측정할 수 있다. 기지국은 디지털 빔포머의 가상 서브어레이의 수신 신호 세기 측정 정보를 기초로, 최대의 수신 신호 세기를 갖는 i_2 값을 결정할 수 있다(S606). 따라서, 기지국은 OFDM 심볼의 최대 수신 전력 값을 갖는 i_1 및 i_2 의 조합을 결정할 수 있다(S607). 기지국은 결정된 i_1 및 i_2 의 조합을 기초로 빔을 형성하여 다른 통신 노드로 신호를 송수신할 수 있다.

[0078] 본 발명의 빔 탐색 방법을 적용한 기지국은 디지털 빔포머의 가상 서브어레이를 통해 N/M 의 주 빔을 포함하는 빔 패턴을 획득할 수 있다. 따라서, 최대 수신 신호 세기를 활용한 채널 경로를 탐색하는 기지국은 N/M 개의 빔 방향 중 하나를 선택할 수 있어, 빔 탐색의 불확실한 상황이 발생할 수 있다. 즉, 디지털 빔포머의 가상 서브어레이에서 $\hat{\xi}$ 채널 각도를 예측했을 때, 그레이팅 로브에 해당하는 $\xi + i' \frac{2M}{N} \in [-1, 1)$ 의 채널 각도에서도 높은 수신 신호 세기를 갖게될 수 있다.

[0079] 디지털 빔포머의 가상 서브어레이에서 높은 수신 신호 세기를 가진 빔 각도 $\hat{\xi}$ 를 예측된 채널 입사각으로 가정한다. 그레이팅 로브에 해당하는 채널 각도의 $\xi + i' \frac{2M}{N} \in [-1, 1)$ 어레이 팩터는 수학적 식 16의 관계를 만족할 수 있다.

수학적 식 16

$$[0080] \quad \left| AF_{N/M, \lambda/2}^{\xi'}(\theta_\ell) \right|^2 \leq \left(\frac{\pi}{2} \right)^4 \left(\frac{1}{2I_2 - 1} \right)^2 \left| AF_{N/M, \lambda/2}^{\hat{\xi}}(\theta_\ell) \right|^2$$

[0081] 따라서, 본 발명의 빔 탐색 방법에 따르면, 기지국은 $\xi' = \hat{\xi} + i' \frac{2M}{N} \in [-1, 1), i' \neq 0$ 방향의 그레이팅 로브에 해당하는 빔들을 효율적으로 상쇄시킬 수 있다($I_2 \geq 2$).

[0082] 빔 탐색 지연 시간과 연산 복잡도 분석

[0083] 도 7은 본 발명의 빔 탐색 방법을 포함하는 빔 탐색 방법들의 지연 시간 및 연산 복잡도의 비교 결과의 일 실시예를 도시한 도표이고, 도 8a는 본 발명의 빔 탐색 방법을 포함하는 빔 탐색 방법들의 지연 시간의 비교 결과의 일 실시예를 도시한 그래프이며, 도 8b는 본 발명의 빔 탐색 방법을 포함하는 빔 탐색 방법들의 연산 복잡도의 비교 결과의 일 실시예를 도시한 그래프이다.

[0084] 본 발명에 따른 빔 탐색 방법과 종래의 빔 탐색 방법에 따른 지연 시간 및 연산 복잡도의 분석을 위하여, 종래의 아날로그 빔포밍 방법에 따른 지연 시간을 $N_{res} (\geq N)$ 로 정의할 수 있다. 그리고 빔 탐색의 요구 정확도는 $2/N_{res} = \Delta_{angle}$ 로 정의될 수 있다. 본 발명에 따른 빔 탐색 방법에 따르면, $N_{res} = I_1 I_2$ 로 정의될 수 있으며, 요구 정확도는 $\Delta_{angle} = |\xi(i_1, i_2) - \xi(i_1, i_2 + 1)|$ 로 정의될 수 있다. 빔 탐색 방법의 연산 복잡도는 아날로그 빔포밍 및 디지털 빔포밍을 수행하기 위하여 필요한 복소수 연산의 횟수를 지시할 수 있다.

[0085] 도 7 및 도 8을 참조하면, 아날로그 빔포밍 방식에 따른 빔 탐색 방법 및 상관성(correlation) 연산을 통한 빔 탐색 방법에 따르면, 빔 탐색 시간은 N_{res} 에 비례하여 증가할 수 있다. HDAPA 및 본 발명의 빔 탐색 방법에 따르면, 빔 탐색 시간은 N_{res} 에 무관한 일정한 값일 수 있다. 그리고 본 발명의 빔 탐색 방법의 지연 시간은 HDAPA에 따른 빔 탐색 방법의 지연 시간보다 적을 수 있다. 따라서 본 발명의 빔 탐색 방법의 지연 시간이 가장 적을 수 있다.

[0086] 도 7 및 도 8을 참조하면, 본 발명의 빔 탐색 방법에 따르면, 디지털 빔포머의 가상 서브어레이는 병렬 고속 푸리에 변환(fast Fourier transform)을 적용하여 디지털 빔 탐색을 수행할 수 있다. 즉, 기지국의 안테나 및 서브어레이들이 $N_{res} \geq N^2/(KM)$ 및 $M > 2$ 조건을 충족하는 경우, 본 발명의 빔 탐색 방법은 가장 적은 연산 복잡도를 요구할 수 있다. 따라서 본 발명의 빔 탐색 방법의 연산 복잡도가 가장 적을 수 있다.

[0087] 인터리브드 어레이 안테나 구조의 기지국의 빔 탐색 방법

[0088] 도 9는 하이브리드 빔포밍을 수행하는 통신 노드의 구조의 제2 실시예를 도시하는 개념도이다.

[0089] 기지국은 광대역 하이브리드 빔포밍을 수행하여, 생성한 빔을 통해 OFDM 심볼을 송신할 수 있다. 도 9를 참조하면, 기지국은 인터리브드 어레이 안테나(interleaved array antenna)일 수 있다. 기지국은 복수개의 서브어레이들을 포함할 수 있고, 복수개의 서브어레이들 각각은 복수개의 안테나들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 기지국이 M 개의 서브어레이들을 포함하고, N 개의 안테나들을 포함하는 경우, 기지국의 서브어레이들 각각은 N/M 개의 안테나를 포함할 수 있다. 기지국의 안테나들 각각은 반파장 배열 안테나일 수 있다. 서브어레이 간 간격은 $\lambda/2$ 일 수 있다. 인터리브드 어레이 안테나 구조의 기지국의 아날로그 빔포머 및 디지털 빔포머는 수학적 식 17과 같이

표현될 수 있다.

수학식 17

$$\mathbf{f}_{RF,m}(\psi) = \sqrt{\frac{M}{N}} \mathbf{u}_{\frac{N}{M}, M\frac{\lambda}{2}}(\psi) \otimes \mathbf{e}_M(m)$$

$$\mathbf{f}_{BB,k}(\xi) = (1/\sqrt{M}) \mathbf{u}_{M, \lambda/2}(\xi)$$

$\mathbf{e}_M(m)$ 은 $M \times M$ 단위 행렬의 m 번째 열 벡터를 지시할 수 있다. 수학식 19에 따른 빔포머는 수신 신호의 신호 대 잡음비를 최대화할 수 있다. 아날로그 빔포머의 서브어레이 및 디지털 빔포머의 가상 서브어레이를 통해 수신되는 신호들은 수학식 18과 같이 표현될 수 있다.

수학식 18

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{h}}_k^\psi(m) &= (\mathbf{f}_{RF,m}(\psi_m))^H \mathbf{h}_k = \sum_{\ell=1}^{N_{cp}} \alpha_\ell g_{\ell,k} e^{j\pi\theta_\ell(m-1)} AF_{\frac{N}{M}, M\frac{\lambda}{2}}^\psi(\theta_\ell) \\ y_k^{\psi, \xi} &= \mathbf{f}_{BB,k}(\xi)^H (\tilde{\mathbf{h}}_k^\psi x_k + \mathbf{n}_k) \\ &= \left(\sum_{\ell=1}^{N_{cp}} \alpha_\ell g_{\ell,k} AF_{\frac{N}{M}, M\frac{\lambda}{2}}^\psi(\theta_\ell) AF_{M, \frac{\lambda}{2}}^\xi(\theta_\ell) \right) x_k + z_k = \tilde{h}_k^{\psi, \xi} x_k + z_k \end{aligned}$$

본 발명에 따른 빔 탐색 방법은 인터리브드 어레이 안테나 구조의 기지국에 적용 가능할 수 있다. 수학식 13에 따르면, $\psi = \xi = \theta_1$ 인 경우, 기지국은 하이브리드 빔포밍을 통한 빔 탐색 방법을 적용하여, 기존의 아날로그 빔포밍 방식에 따라 획득할 수 있는 최대값 N 과 동일한 빔포밍 이득을 획득할 수 있다.

이때 전체 공간을 탐색하기 위해 사용되는 양자화된 탐색각도 집합 $\tilde{B}_I$ 은 수학식 19와 같이 주어진다.

수학식 19

$$\tilde{B}_I = \left\{ \psi(i_1) = -1 + \frac{2}{I_1 M} \left(i_1 - \frac{1}{2} \right) \middle| i_1 = 1, \dots, I_1 \right\}$$

I_1 개의 양자화된 탐색 방향은 $\left[-1, -1 + \frac{2}{M}\right)$ 부분 공간을 고르게 분할하며, 나머지 $[-1, 1) \setminus \left[-1, -1 + \frac{2}{M}\right)$ 부분 공간은 아날로그 빔포머의 서브어레이의 그레이팅 로브를 사용하여 탐색할 수 있다. 그리고 디지털 빔포머의 가상 서브어레이에서 사용하는 탐색각도 집합 $\tilde{B}_{I_1, I_2}$ 는 수학식 20과 같이 표현될 수 있다.

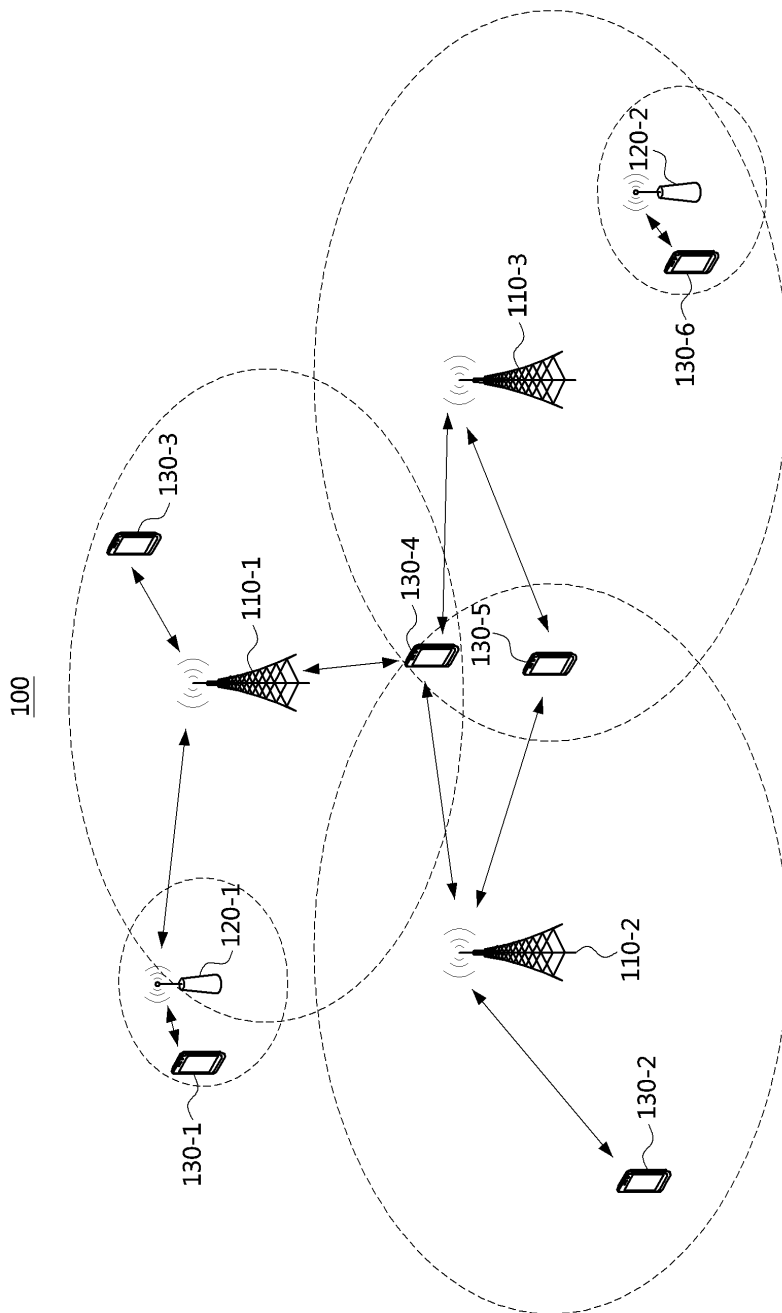
수학식 20

$$\begin{aligned} \tilde{B}_{I_1, I_2} &= \left\{ \xi(i_1, i_2', i_2'') = \psi(i_1) + \frac{2}{I_1 I_2} \left(i_2' - \frac{1}{2} \left(\frac{I_2}{M} + 1 \right) \right) + \frac{2}{M} (i_2'' - 1) \middle| \psi(i_1) \in \tilde{B}_I, \right. \\ &\quad \left. i_1 = 1, \dots, I_1, i_2' = 1, \dots, \frac{I_2}{M}, i_2'' = 1, \dots, M \right\} \end{aligned}$$

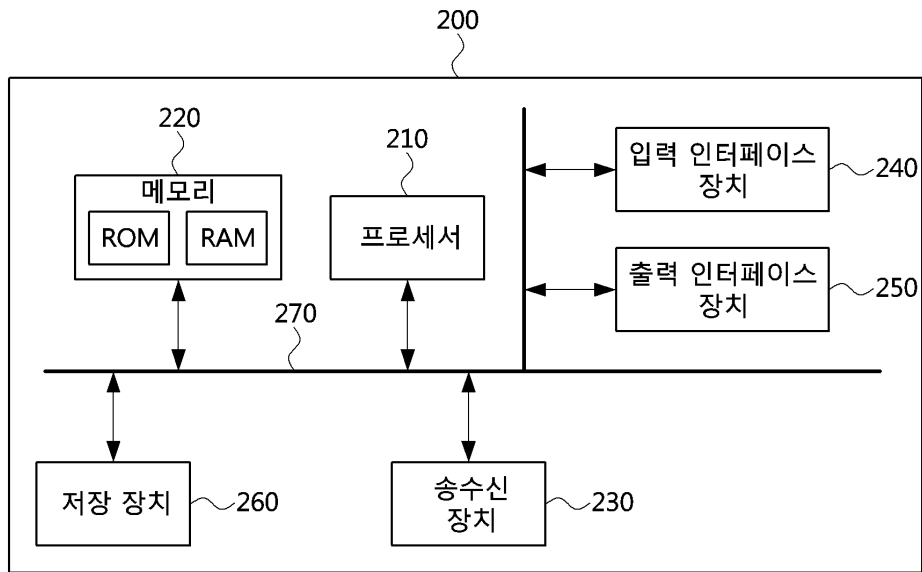
수학식 20에서, i_2' 빔 인덱스는 $\psi(i_1)$ 빔 방향에 I_2/M 의 탐색 정확도를 가지는 빔 방향을 지시할 수 있다. 그리고 i_2'' 빔 인덱스는 디지털 빔포머의 가상 서브어레이의 주 빔을 지시할 수 있으며, 또한, 아날로그 빔포머의 서브어레이의 i_2'' 번째 그레이팅 로브 빔 방향을 지시할 수 있다.

- [0099] 도 10은 본 발명의 빔 탐색 방법에 따라 획득한 빔 패턴의 제2 실시예를 도시한 개념도이다.
- [0100] 도 10(a)를 참조하면, 첫번째 아날로그 서브어레이의 빔포밍 결과, 빔 패턴은 M개의 그레이팅 로브를 포함할 수 있다. 그리고, 도 10(b)를 참조하면, 디지털 빔포머의 가상 서브어레이의 빔포밍 결과, 빔 패턴은 하나의 주 빔을 포함할 수 있다. 본 발명의 빔 탐색 방법은 M개의 아날로그 빔포머의 서브어레이마다 N_g 개의 연속된 안테나가 $N/(N_g M)$ 그룹으로 나뉘어진 구조에도 적용할 수 있다. 예를 들어, $N_g \in \{N/M, 1\}$ 인 경우, 도 10의 서브어레이 안테나 구조는 도 5의 서브어레이 안테나 구조와 동일할 수 있다. 주어진 조건($1 < N_g < N/M$)에 따르면, 본 발명의 빔 탐색 방법을 수행하는 기지국은 디지털 빔포머의 가상 서브어레이의 빔 탐색 결과 생성되는 그레이팅 로브를 상쇄하기 위하여, 추가적인 혼련 신호를 요구할 수 있다.
- [0101] 본 발명에 따른 방법들은 다양한 컴퓨터 수단을 통해 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위해 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다.
- [0102] 컴퓨터 판독 가능 매체의 예에는 롬(rom), 램(ram), 플래시 메모리(flash memory) 등과 같이 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러(compiler)에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터(interpreter) 등을 사용해서 컴퓨터에 의해 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상술한 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 적어도 하나의 소프트웨어 모듈로 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.
- [0103] 이상 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

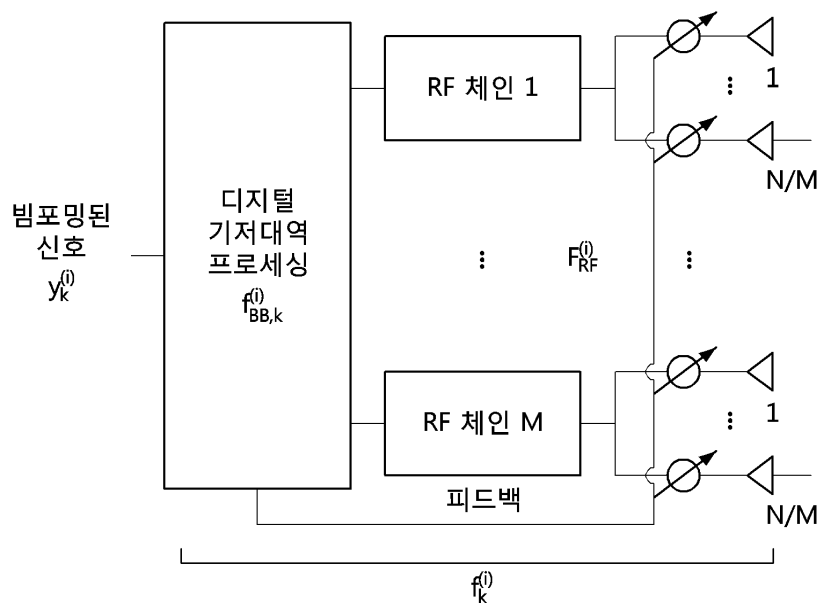
도면
도면1



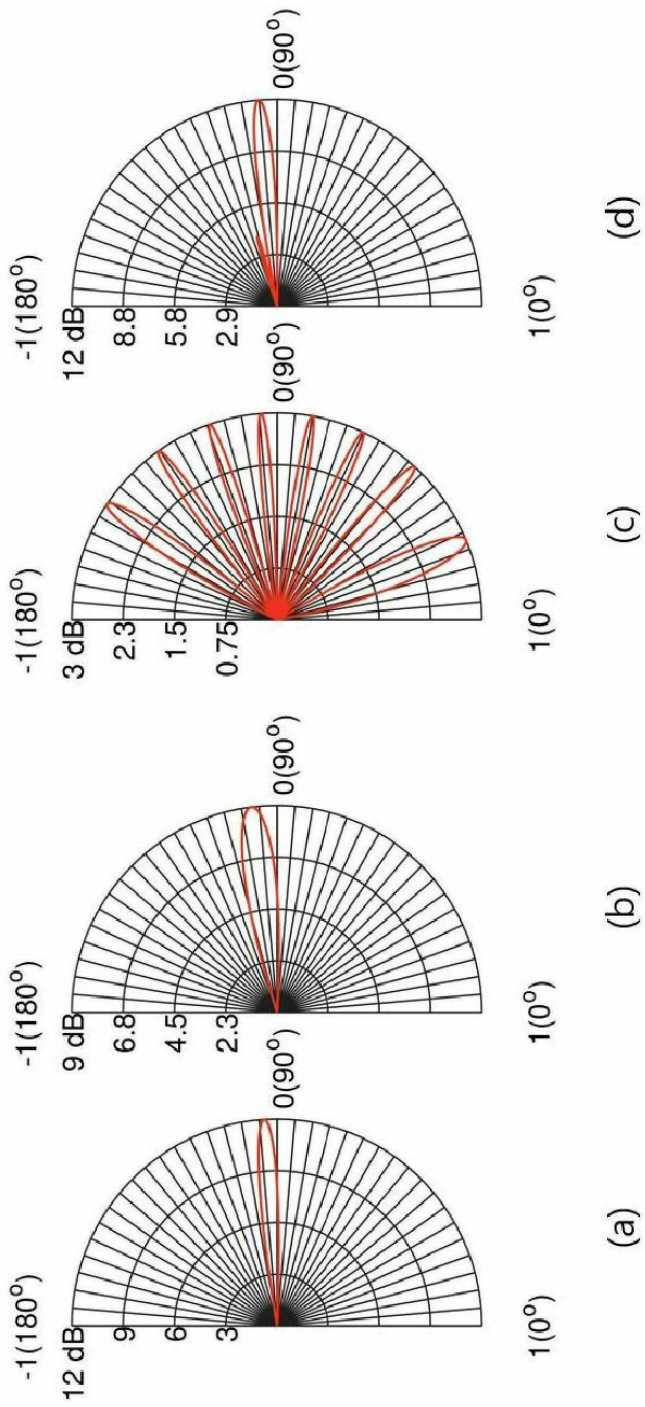
도면2



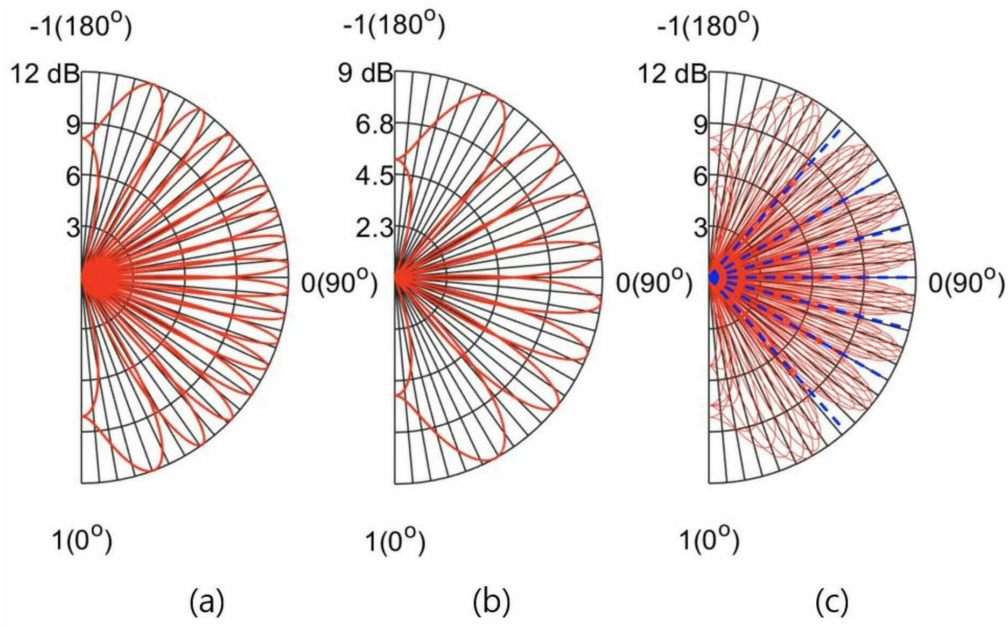
도면3



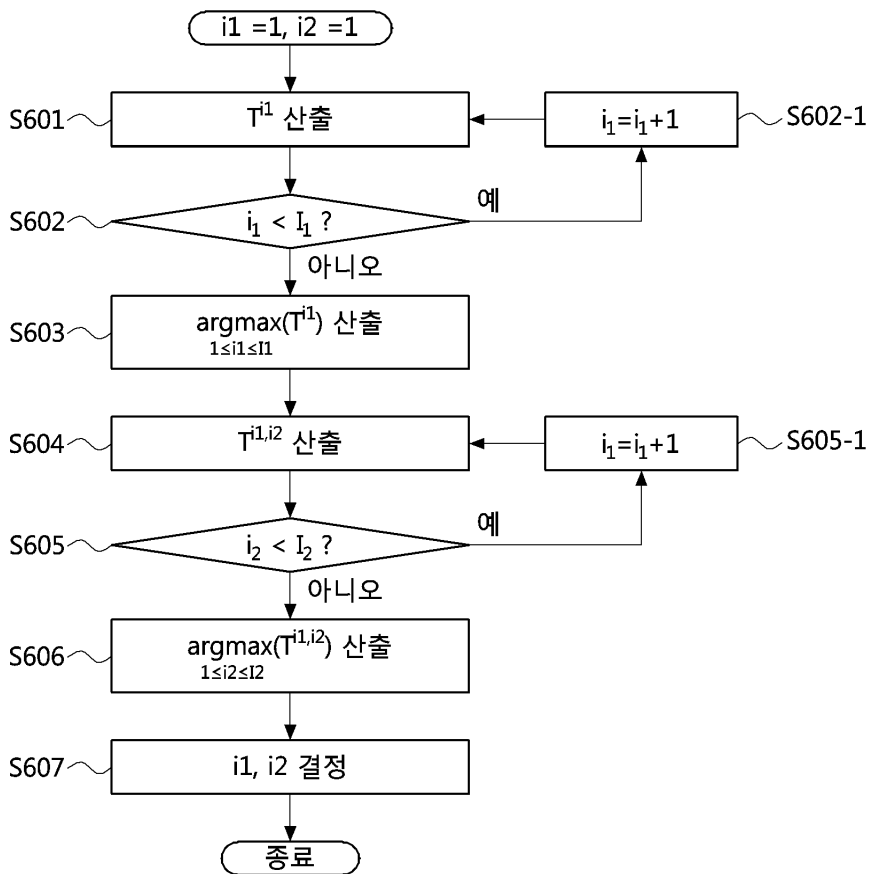
도면4



도면5



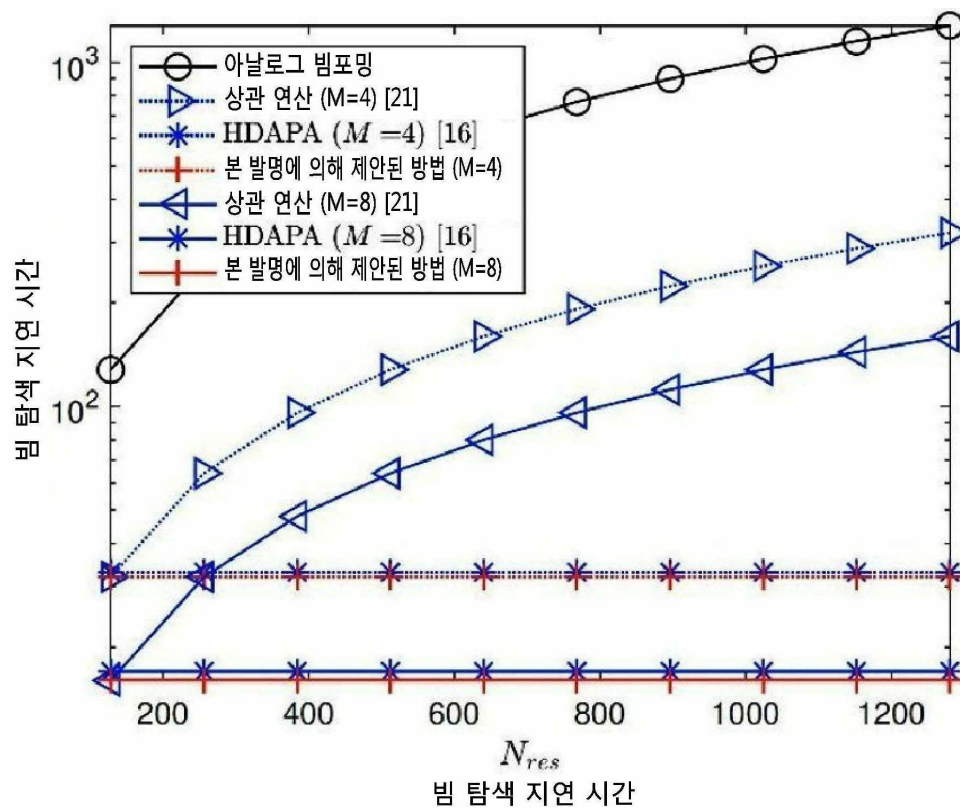
도면6



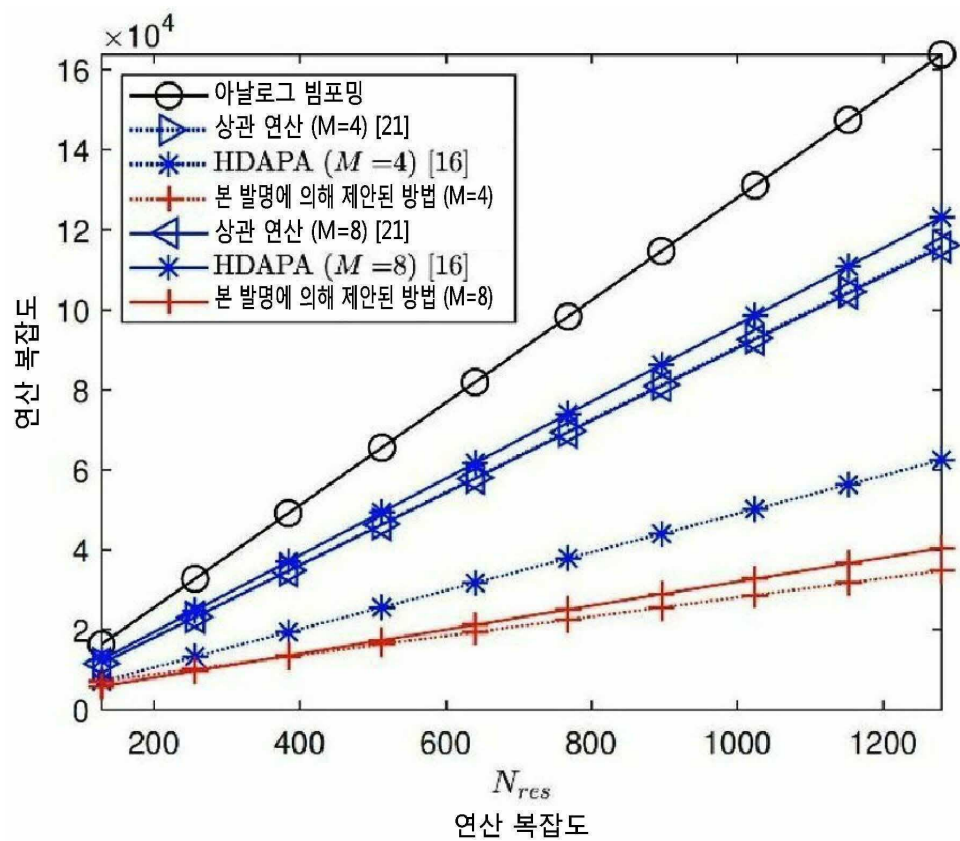
도면7

방법	빔 탐색 지연 시간 (N_P)	연산 복잡도
아날로그 빔포밍	N_{res}	$N_{\text{res}}N$
상관 연산 [21] ($K = M, \Delta_i = I/2$)	$\frac{N_{\text{res}}}{M}$	$N_{\text{res}} \left(\frac{N}{M} + \frac{3}{2} K \frac{M-1}{M} \right) + N_{\text{res}} \left(K + K \log_2 M + K \frac{M-1}{M} + \frac{1}{M} \right)$
HDAPA [16] ($L = 1$)	$\frac{N}{M} + 1$	$N_{\text{res}} K M + \left(\frac{N}{M} \right)^2$
본 발명에 의해 제안된 방법 ($I_1 = N/M$)	$\frac{N}{M}$	$N_{\text{res}} K \left(1 + \frac{\log_2 M}{2} \right) + \frac{N^2}{M}$

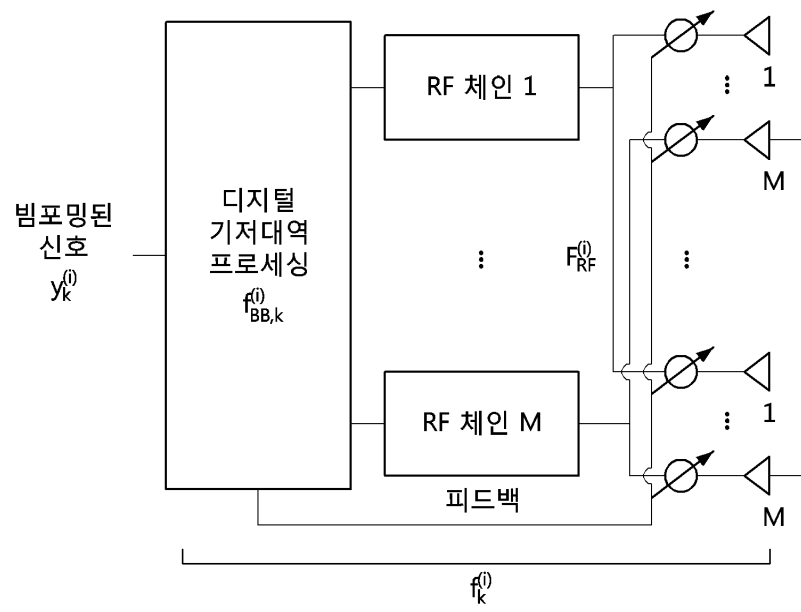
도면8a



도면8b



도면9



도면10

