



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2019년07월12일  
 (11) 등록번호 10-1999589  
 (24) 등록일자 2019년07월08일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 H04B 10/532 (2013.01) H04B 10/50 (2013.01)  
 H04B 7/06 (2017.01)
- (52) CPC특허분류  
 H04B 10/532 (2013.01)  
 H04B 10/505 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2018-0037951
- (22) 출원일자 2018년04월02일  
 심사청구일자 2018년04월02일
- (56) 선행기술조사문헌  
 Vanessa C. Duarte et al., "Photonic True-Time Delay Beamforming System for a Phased Array Antenna Receiver," International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC) p. 1-5, (2015)\*  
 Arjan Meijerink et al., JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, VOL. 28, NO. 1, P. 3, (JANUARY 1, 2010)\*  
 Vanessa C. Duarte et al., JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, VOL. 34, NO. 23, P. 5566, (DECEMBER 1, 2016)\*  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자  
**명지대학교 산학협력단**  
 경기도 용인시 처인구 명지로 116 (남동, 명지대학교)
- (72) 발명자  
**유철우**  
 서울특별시 서초구 효령로72길 57(서초동, 서초트라팰리스), C동 1402호  
**김성철**  
 경기도 남양주시 도농로 34, 304동 902호  
**한사랑**  
 경기도 용인시 처인구 명지로 154-5(남동), 하임빌 404호
- (74) 대리인  
**이철희**

전체 청구항 수 : 총 5 항

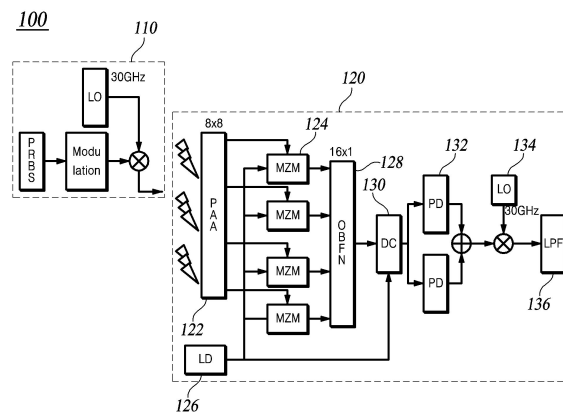
심사관 : 신상길

(54) 발명의 명칭 **고주파 대역용 광학빔 형성시스템**

**(57) 요약**

본 실시예는 mmWave 대역에서 사용하기 위한 빔포머 구현을 위해 OBFN 기술을 활용하되, 그 성능 및 타당성을 위해 칩 사이즈의 소형화 및 칩 내부에서 발생하는 광 손실이 감소될 수 있도록 하는 고주파 대역용 광학빔 형성시스템에 관한 것이다.

**대표도 - 도1**



(52) CPC특허분류

*H04B 7/0617* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2016R1A2B4009442

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 중견연구

연구과제명 이동하는 소형셀의 효율적 구현 및 동작을 위한 기술 연구

기 여 율 1/1

주관기관 명지대학교 산학협력단

연구기간 2016.06.01 ~ 2019.05.31

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

배열을 이루도록 형성된 복수의 단위 안테나를 구비한 위상 배열 안테나;

상기 위상 배열 안테나의 상기 단위 안테나별로 대응되어 구비되며, 단측파대 변조 방식에 기반하여 상기 단위 안테나로 입사된 밀리미터파(mmWave) 대역의 RF 신호를 광 반송파 신호에 변조하여 복수의 광 신호를 생성하되, 두 개의 푸시풀(Push-Pull)형의 광 변조기와 상기 두 개의 광 변조기의 양 끝에 정합되는 Y-브랜치를 포함하여 하나의 광 변조기로서 동작하도록 구성되며 상기 두 개의 광 변조기 중 하단에 위치한 광 변조기로 분배되는 RF 신호의 경우 90° 위상 변이되도록 구성되어 상기 광 반송파 신호의 양측파대 신호 중 광학빔 형성모듈에 동기화된 측파대 신호를 제외한 반대쪽 측파대 신호 및 상기 광 반송파 신호가 억제된 상기 광 신호가 생성되도록 구현되는 복수의 전광 변환모듈;

상기 밀리미터파 대역의 사용에 따라 SIN 기반 ORR(Optical Ring Resonator) 대비 작은 SI 기반 ORR로 구성되는 광 기반 빔포머(OBFN: Optical Beamforming Network)이며, 상기 배열에 따른 상기 복수의 광 신호의 위상변이를 보상하여 상기 복수의 광 신호를 하나의 합성 광신호로 정합하며, 상기 전광 변환모듈의 구성에 따른 상기 광 신호의 구현 형태에 따라 상기 반대쪽 측파대 신호의 제거를 위한 별도의 필터 수단을 미포함하는 형태로 구현되는 광학빔 형성모듈; 및

상기 합성 광신호를 RF 신호로 변환하는 광전 변환모듈

을 포함하는 것을 특징으로 하는 고주파 대역용 광학빔 형성시스템.

**청구항 2**

삭제

**청구항 3**

제 1항에 있어서,

상기 광 반송파 신호를 제공하는 레이저 다이오드; 및

상기 합성 광신호의 상기 광전 변환모듈로의 전송 경로를 제공하는 방향성 결합모듈을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 고주파 대역용 광학빔 형성시스템.

**청구항 4**

제 1항에 있어서,

상기 전광 변환모듈은,

역압 반송파 단측파대(Single Side-Band with Suppressed Carrier, SSB-SC) 변조 방식을 지원하는 마하-젠더 광 변조기인 것을 특징으로 하는 고주파 대역용 광학빔 형성시스템.

**청구항 5**

삭제

**청구항 6**

삭제

**청구항 7**

제 4항에 있어서,

상기 전광 변환모듈은,

상기 두 개의 광 변조기 모두에  $0.5V_{\pi}$ 만큼의 직류 전압이 인가되며, 상기 두 개의 광 변조기 중 상단에 위치한 광 변조기로 상기 광 반송파 신호가 입력되기 전에 상기 광 반송파 신호의 위상을  $-90^{\circ}$  변이시키도록 구성되는 것을 특징으로 하는 고주파 대역용 광학빔 형성시스템.

**청구항 8**

삭제

**청구항 9**

제 1항에 있어서,

상기 광학빔 형성모듈은,

상기 단위 안테나에 도달하는 각각의 RF 신호의 위상 차이를 상기 ORR을 통해 개별적으로 딜레이시켜 상기 합성 광신호를 생성하는 것을 특징으로 하는 고주파 대역용 광학빔 형성시스템.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명의 실시예는 고주파 대역용 광학빔 형성시스템에 관한 것이다. 보다 자세하게는, 5G 이동통신에서 사용될 고주파 대역에서 OBFN을 이용하여 빔포밍을 수행하기 위한 광학빔 형성시스템에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 이 부분에 기술된 내용은 단순히 본 발명의 실시예에 대한 배경 정보를 제공할 뿐 종래기술을 구성하는 것은 아니다.

[0003] 최근 5G 이동통신 시스템을 위해 mmWave의 광대역 주파수의 활용과 Massive MIMO와 같이 많은 수의 안테나를 필요로 하는 전송 기술들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 3GPP에서는 고속의 Data Rate를 얻기 위해 5G의 주파수 대역으로 mmWave를 채택하였으나 mmWave대역은 직진성이 강하고 대기환경에 민감한 특성을 갖기 때문에 고성능 BF를 통해 송수신 방향에 대한 높은 이득을 얻을 필요가 있다. 이러한 이유로 mmWave 대역에서 많은 수의 안테나를 사용하는 고성능 빔포머의 소형화 구현 기술은 중요한 연구주제로 여겨지고 있다.

[0004] OBFN(Optical Beamforming Network) 시스템은 기존에 위성안테나 통신에 이용되어 왔으며, PAA(Phased Array Antenna)의 위상 변이나 딜레이를 이용하여 광 도메인에서 송수신하고자 하는 RF 빔을 원하는 방향으로 제어하는 기술을 말한다. 이러한, OBFN은 고주파 대역의 RF 신호를 광 도메인에서 빔포밍하기 위한 빔포머로서 적합한 다양한 특징들을 가지고 있다. 하지만, 종래의 OBFN에 대한 연구는 구성 요소의 성능이나 칩 디자인 등에 초점을 맞춘 경우가 대부분이다. 이처럼 OBFN에 관하여 이미 다양한 연구가 진행되어 있지만, mmWave 대역에서 OBFN의 이용한 빔포밍의 수행과 관련한 연구는 찾아보기 어려운 실정이다.

[0005] 이에 따라, 본 발명에서는 mmWave 대역에서 사용하기 위한 빔포머 구현을 위해 OBFN 기술을 활용하되, 그 성능 및 타당성을 위해 칩 사이즈의 소형화 및 칩 내부에서 발생하는 광 손실이 감소될 수 있도록 하는 새로운 방법을 제안한다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0006] 본 실시예는 mmWave 대역에서 사용하기 위한 빔포머 구현을 위해 OBFN 기술을 활용하되, 그 성능 및 타당성을 위해 칩 사이즈의 소형화 및 칩 내부에서 발생하는 광 손실이 감소될 수 있도록 하는 구조를 구현하는 데 그 목적이 있다.

**과제의 해결 수단**

[0007] 본 실시예는, 배열을 이루도록 형성된 복수의 단위 안테나를 구비한 위상 배열 안테나; 상기 위상 배열 안테나

의 상기 단위 안테나별로 대응되어 구비되며, 단측과대 변조 방식에 기반하여 상기 단위 안테나로 입사된 RF 신호를 광 반송파 신호에 변조하여 복수의 광 신호를 생성하는 복수의 전광 변환모듈; 상기 배열에 따른 상기 복수의 광 신호의 위상변이를 보상하여 상기 복수의 광 신호를 하나의 합성 광신호로 정합하는 광학빔 형성모듈; 및 상기 합성 광신호를 RF 신호로 변환하는 광전 변환모듈을 포함하는 것을 특징으로 하는 고주파 대역용 광학빔 형성시스템을 제공한다.

**발명의 효과**

[0008] 이상에서 설명한 바와 같이 본 발명의 실시예에 의하면, mmWave 대역에서 사용하기 위한 빔포머 구현을 위해 OBFN 기술을 활용함에 있어서 적절한 BW를 필터링하기 위해 OBFN 보다 더 큰 사이즈의 OSBF를 사용해야 하는 문제를 해결함에 따라 OBFN 칩 사이즈를 소형화할 수 있는 효과가 있다.

[0009] 또한, 본 실시예에 의하면, mmWave 대역에서 사용하기 위한 빔포머 구현을 위해 OBFN 기술을 활용함에 있어서 OBFN 칩 사이즈의 소형화가 가능함에 따라 칩 내부에서 발생하는 광 손실을 줄일 수 있는 효과가 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0010] 도 1은 본 실시예에 따른 고주파 대역용 광학빔 형성시스템을 개략적으로 나타낸 블록 구성도이다.

도 2는 본 실시예에 따른 위상 배열 안테나의 지연 패턴을 설명하기 위한 예시도이다.

도 3은 본 실시예에 따른 전광 변환모듈의 구조를 설명하기 위한 도면이다.

도 4a 및 도 4b는 본 실시예에 따른 광학빔 형성모듈의 구조를 설명하기 위한 도면이다.

도 5 및 도 6은 본 실시예에 따른 고주파 대역용 광학빔 형성시스템의 효과를 설명하기 위한 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0011] 이하, 본 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0012] 본 실시예에서는 mmWave 대역에서 동작 가능한 고성능 초소형 아날로그 빔포머(Beamformer) 구현 기술을 제안한다. 제안된 방식은 Si(silicon) 포토닉스(Photonics) 기술을 사용한다. 해당 기술은 대용량의 데이터를 빛의 속도로 처리할 수 있을 뿐 아니라 소형화가 가능하고 CMOS 공정과 호환되어 별도의 장비 교체가 필요하지 않다. 이와 같은 Si 포토닉스 기술로 구현된 빔포밍(Beamforming; BF)용 안테나 모듈 칩 중의 한 가지로 OBFN(Optical BeamForming Network) 칩을 들 수 있다.

[0013] OBFN은 mmWave 대역의 RF 신호를 광 도메인에서 BF 하기 위한 빔포머로서 적합한 다양한 특징들을 가지고 있다. 먼저 RF 신호를 광 도메인에서 처리하면서 얻을 수 있는 장점들은 다음과 같다. RF 신호는 디지털화되지 않고 전송과 처리가 이루어지는 것이 좋지만 구리 케이블은 이러한 신호를 수용할 수 있는 충분한 BW를 제공하지 않는다. 광섬유는 RF 신호가 변조된 광 캐리어를 전송할 수 있는 전송매체로 특히 높은 주파수(mmWave)에서 기존의 전자시스템보다 효과적이고 비용이 저렴하다. 이렇게 RF 신호를 광섬유를 거쳐 광학 도메인에서 처리하는 방법을 RoF(Radio-Over-Fiber)라고 한다. 전기 도메인에 비해 광학 도메인에서 신호 처리를 할 경우 디바이스의 경량화와 소형화가 가능하고 큰 순시 BW를 낮은 손실로 처리할 수 있으며 전자파의 간섭에 영향을 받지 않는다. 물론 전기신호와 광신호의 변환 과정에서 잡음과 왜곡이 발생한다는 단점이 있지만, 광 영역의 신호는 고주파 필터링이나 주파수 변환, PAA의 BF 등 더 많은 처리 기능을 수행하는 것이 가능하다.

[0014] 또 다른 이유로는 mmWave 대역과 OBFN이 갖는 상호 이득을 들 수 있다. mmWave 대역의 주파수는 그 파장이 짧기 때문에 안테나 배열 요소 사이의 간격이 좁아져 안테나의 소형화가 가능하며 이것은 massive MIMO를 구현하기에 큰 장점으로 작용한다. 뿐만 아니라 광 도메인에서 RF 신호를 BF 하기 위해 보상해야만 하는 수신 신호 사이의 딜레이가 짧아지기 때문에 OBFN 칩을 구성하는 시간 지연 소자인 ORR(Optical Ring Resonator)의 크기도 작아지며 따라서 Si 기반 ORR의 문제점인 광 경로 손실도 줄어든다. 기존에 위성통신으로 사용하던 OBFN 칩은 loss로 인하여 SiN(Silicon Nitride) 기반의 ORR을 사용하였으나 mmWave의 높은 주파수 대역을 사용함으로써 Si 기반 ORR을 사용하여 더 작은 크기의 OBFN 칩을 설계하는 것이 가능하다. 추가적으로 SiN 기반의 ORR 대비 Si 기반 ORR은 SOI(Silicon On Insulator) 웨이퍼로 제작이 가능하기 때문에 절연벽이나 웰 형성 공정 등을 줄일 수 있다. 그 결과, 반도체 업체는 제품 개발 및 생산기간과 비용을 줄일 수 있고 또한 현재의 장비를 그대로 사용하거나 오히려 줄일 수 있어 설비투자에 대한 부담이 없다. SOI 웨이퍼의 가격이 기존 Si 웨이퍼에 비해 다소 비싸더라도 전체적인 생산 비용이 줄어들기 때문에 오히려 이익을 얻을 수 있다. 위의 이유들로 인해 본 실시예에

서는 기존에 위성통신에서 사용하던 OBFN 기술을 mmWave 대역에서 활용할 수 있도록 Si 기반 OBFN 칩으로 재디자인하여 제공한다.

- [0015] 도 1은 본 실시예에 따른 고주파 대역용 광학빔 형성시스템(OBFN 시스템)을 개략적으로 나타낸 블록 구성도이다.
- [0016] 본 실시예에 따른 고주파 대역용 광학빔 형성시스템(100)은 송신단(110) 및 수신단(120)을 포함한다. 한편, 이하, 도 1에서는 고주파 대역용 광학빔 형성시스템(100)의 송신단(110) 및 수신단(120) 중 실질적으로 빔포밍 동작이 이루어지는 수신단(120)의 구성요소 및 그 구현 형태에 대해서 중점적으로 설명하도록 한다.
- [0017] 먼저 송신단(110) 측에서는 PRBS(Pseudo-Random Bit Sequence) Generator를 통해 생성된 Random data에 대하여 변조(Modulation)를 수행한 후 이를 수신단(120)으로 송신한다.
- [0018] 수신단(120)은 위상 배열 안테나(122), 전광 변환모듈(124), 레이저 다이오드(126), 광학빔 형성모듈(128), 방향성 결합모듈(130) 및 광전 변환모듈(132)을 포함한다. 실시예에 따라 수신단(120)은 국부 발진기(134) 및 저역 통과 필터(136)를 구성요소로서 추가로 포함할 수 있다.
- [0019] 위상 배열 안테나(PAA: Phased Array Antenna, 122)는 복수의 단위 안테나를 포함하여 구성될 수 있다. 이때, 복수의 단위 안테나는 일정 패턴의 배열을 이루도록 형성될 수 있으며, 적어도 하나 이상의 복사체(Source)로부터 RF 신호를 수신하도록 구성될 수 있다.
- [0020] 한편, 본 실시예의 경우 5G 이동통신에서 사용될 고주파 대역에서 OBFN을 이용하여 빔포밍을 수행하는 방법에 관한 것으로서, 이에, 위상 배열 안테나(122)의 단위 안테나가 수신하는 RF 신호가  $f_c=30\text{GHz}$ 의 밀리미터파(mmWave) 신호인 것으로 예시하여 설명하나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0021] 이하, 도 2를 함께 참조하여, 본 실시예에 따른 위상 배열 안테나(122)의 구조에 대해 보다 자세하게 설명하도록 한다. 한편, 도 2는 본 실시예에 따른 위상 배열 안테나의 지연 패턴을 설명하기 위한 예시도이다.
- [0022] 위상 배열 안테나(122)에 수신된 신호는 수신된 신호의 방향을 나타내는  $\theta$ 와  $\phi$ 에 따라 각 안테나 요소마다 각기 다른 딜레이를 갖는다. 도 2는 본 실시예에서 가정하고 있는 8x8 위상 배열 안테나(122)의 구조와 특정  $\phi$ 에서 각 위상 배열 안테나(122) 요소들이 갖는 딜레이의 예들을 보여준다. 여기서 딜레이란 위상 배열 안테나(122)의 안테나 요소들 중 특정 안테나를 통해 먼저 수신된 신호와 이후 안테나 간격만큼 떨어진 인접한 안테나를 통해 수신된 신호 사이의 시간 차이를 의미하며,  $\theta$ 와  $\phi$ 에 따라 각각 다른 딜레이를 갖는다. 도 2와 같은 구조의 위상 배열 안테나(122)를 사용할 경우 신호가  $\phi=0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$  인 방향에서 수신될 때 딜레이가 가장 크기 때문에  $T_1$ 은 하나의 ORR이 보상해야 하는 인접한 안테나 요소들 사이의 최대 딜레이를 의미한다. 또한 각 안테나 요소들이 갖는 딜레이  $N \times T_1$ 의  $N$ 은 정수이며, 신호가 가장 먼저 도달한 안테나 요소와 각 안테나 요소들 사이의 딜레이가 수신 방향에 따라  $N$  배수만큼 커지는 것을 의미한다.  $N$ 은 가장 먼저 수신된 신호가 가장 늦게 수신된 신호와 정합되기 위해 거쳐야 하는 ORR의 개수와 같다.
- [0023] 전광 변환모듈(124)는 위상 배열 안테나(122)의 단위 안테나별로 대응되어 복수 개가 구비되며, 단위 안테나로 입사된 RF 신호를 광 반송파 신호에 변조하여 복수의 광 신호를 생성한다. 즉, 전광 변환모듈(120)은 위상 배열 안테나(122)로 수신되는 RF 신호를 광 도메인에서 빔포밍하기 위해 광 신호로 변환하는 기능을 수행한다. 한편, 본 실시예의 경우 8x8 위상 배열 안테나(122)를 통해 수신된 16개의 RF 신호가 각각의 전광 변환모듈(124)을 통해 16개의 광 신호로 변환된 후 광학빔 형성모듈(128)에 입력되도록 구성된다.
- [0024] 본 실시예에 따른 전광 변환모듈(124)은 전기 신호를 광 반송파 신호  $f_o$ 에 변조함으로써 전광 변환이 이루어질 수 있도록 동작한다. 이를 위해, 본 실시예의 경우, 하나의 레이저 다이오드(126)에 나온  $f_o$ 가 분광기(Optical Splitter)를 통해 안테나 요소의 개수만큼 분배되어 각 전광 변환모듈(124)로 입력되도록 구성될 수 있다.
- [0025] 본 실시예에 따른 전광 변환모듈(124)은 단측과대 변조 방식에 기반하여, 단위 안테나로 입사된 RF 신호를 광 반송파 신호에 변조하여 복수의 광 신호가 생성될 수 있도록 구현된다. 이를 위해, 본 실시예의 경우 전광 변환모듈(124)로서 억압 반송파 단측과대(Single Side-Band with Suppressed Carrier, SSB-SC) 변조 방식을 지원하는 마하-젠더 광 변조기(MZM)가 사용될 수 있다.
- [0026] 이러한, 본 실시예에 따른 전광 변환모듈(124)에 의하는 경우 광 반송파 신호를 RF 신호를 이용하여 변조하며, 변조 이후 광 반송파 신호의 양측과대 신호 중 광학빔 형성모듈(128)에 동기화된 측과대 신호를 제외한 반대쪽



측파대 신호 및 광 반송파 신호가 억제된 광 신호가 생성될 수 있다.

[0027] 한편, 종래의 위성안테나 통신에서 사용되어 왔던 광학빔 형성시스템의 경우 전광 변환모듈로서 양 측파대 억압 반송파(DSB-SC, Double Side Band - Suppressed Carrier) 변조 방식을 지원하는 마하-젠더 변조기가 사용되어 왔다. 이러한, DSB-SC MZM에 의한 변조가 이루어지는 경우  $f_0$ 을 중심으로 양쪽에 RF 신호(=양측파대 신호)가 실린다. 하나의 예로서 30GHz의 RF 캐리어를 사용한다면, OBFN은 60GHz의 BW(Band Width)를 처리해야하기 때문에 해결방법으로 OSBF(Optical Sideband Filter)를 이용하여 OBFN이 동작하는 측파대 신호만을 필터링하는 방법을 사용하였다. 하지만, 이 경우, OSBF가 추가되기 때문에 생기는 칩 사이즈와 광 손실의 증가라는 문제점이 존재한다. 이는 곧, mmWave 대역에서 많은 수의 안테나를 사용하는 고성능 빔포머의 소형화에 있어서 한계로서 작용한다.

[0028] 이 점에 기인하여, 본 실시예의 경우 전광 변환모듈(124)로서 억압 반송파 단측파대 변조 방식을 지원하는 마하-젠더 광 변조기를 사용함에 따라 별도의 OSBF를 통한 측파대 신호의 제거 과정이 생략될 수 있도록 하였으며, 이를 통해, 적절한 BW를 필터링하기 위해 OBFN(=광학빔 형성모듈) 보다 더 큰 사이즈의 OSBF를 사용해야하는 문제점이 해결될 수 있도록 하였다. 결과적으로, 본 실시예에 따른 전광 변환모듈(124)에 의하는 경우 OBFN 칩 사이즈를 소형화 하는것이 가능하며, 이로 인해 OBFN 칩 내부에서 발생하는 광 손실을 줄일 수 있는 효과를 야기할 수 있다.

[0029] 이하, 도 3을 함께 참조하여, 본 실시예에 따른 전광 변환모듈(124)의 구조에 대해 보다 자세하게 설명하도록 한다. 본 실시예에 따른 전광 변환모듈(124)은 SSB-SC로 동작하는 병렬연결 푸시풀(Push-Pull)형의 광 변조기 구조로 구현될 수 있다.

[0030] 이를 위해, 본 실시예에 따른 전광 변환모듈(124)은 두 개의 Push-Pull MZM과 두 MZM의 양 끝에 정합되는 Y-브랜치를 포함하여 하나의 MZM로 동작하도록 구성되며 하단에 위치한 MZM로 분배되는 RF 신호의 경우 90° 위상 변이되도록 구성된다.

[0031] 또한, 본 실시예에 따른 전광 변환모듈(124)은 두 개의 MZM 모두에 0.5V $\pi$  브만큼의 직류 전압을 인가시키고, 상단에 위치한 MZM로 광 반송파 신호가 입력되기 전에 광 반송파 신호의 위상을 -90° 변이시키도록 구성될 수 있다.

[0032] 이러한, 본 실시예에 따른 전광 변환모듈(124)의 출력은 수학식 1과 같다.

**수학식 1**

$$E(t) = E_o / \sqrt{2} \left[ \sin\left(\frac{\pi V_m}{2 V_\pi} \cos(\omega_m t)\right) \cos(\omega_c t) + \sin\left(\frac{\pi V_m}{2 V_\pi} \cos(\omega_m t + \Delta\Phi)\right) \cos(\omega_c t + \Delta\phi) \right]$$

[0033] .

[0034] 여기서  $V_\pi$ 는  $f_0$ 가 억제되는 조건으로 사용하였고  $\Delta\Phi$ 는 두 MZM에 인가된 전기 신호 사이의 위상 차이,  $\Delta\phi$ 는  $f_0$ 들 사이의 위상 차이를 말한다. 수학식 1을 Bessel Function을 통해 정리하면, 수학식 2와 같다.

수학식 2

$$\begin{aligned}
 E(t) = E_o / \sqrt{2} J_1 \left( \frac{\pi V_m}{2 V_\pi} \right) & \left\{ \cos [(\omega_c + \omega_m) t] \right. \\
 & + \cos [(\omega_c + \omega_m) t + \Delta\phi + \Delta\Phi] \\
 & + \cos [(\omega_c - \omega_m) t] \\
 & \left. + \cos [(\omega_c - \omega_m) t + \Delta\phi - \Delta\Phi] \right\} \\
 & + \text{high order terms}
 \end{aligned}$$

[0035]

[0036] 여기서  $J_1()$ 은 1차 Bessel Function 이며,  $\Delta\Phi$ 와  $\Delta\phi$ 를  $\pm 90^\circ$  로 했을 때 양쪽의 측대역 중 하나가 제거되는 것을 알 수 있다. 한편, 본 실시예에서는 193.444THz를 제외한 나머지 주파수 성분을 제거하기 위하여  $-90^\circ$  를 선택하였다.

[0037] 광학빔 형성모듈(128)은 mmWave 대역의 RF 신호를 광 도메인에서 BF 하기 위한 빔포머로서의 기능을 수행하는 장치로서, 전광 변환모듈(124)로부터 생성된 복수의 광 신호의 위상변이를 보상하여 복수의 광 신호를 하나의 합성 광신호로 정합하는 기능을 수행한다.

[0038] 본 실시예에 있어서, 광학빔 형성모듈(128)은 반도체 공정을 이용한 광도파로 기반 OBFN(Optical Beamforming Network) 칩 즉, SI 기반 ORR(Optical Ring Resonator)로 구성된 광 기반 빔포머의 형태로 구현될 수 있다. 한편, 기존에 위성통신으로 사용하던 OBFN 칩은 loss로 인하여 SiN(Silicon Nitride) 기반의 ORR을 사용하였으나 본 실시예에 따른 광학빔 형성모듈의 경우 mmWave의 높은 주파수 대역을 사용함으로써 Si 기반 ORR을 사용 가능하며, 이로 인해, 더 작은 크기의 OBFN 칩을 설계할 수 있도록 하는 효과가 있다.

[0039] 이와 더불어, 본 실시예에 따른 광학빔 형성모듈(128)의 경우 전광 변환모듈(124)의 구성에 따른 광 신호의 구현 형태에 따라 광학빔 형성모듈(128)에 동기화된 측대역 신호를 제외한 반대쪽 측대역 신호의 제거를 위한 별도의 필터 수단(ex: OSBF)의 구비가 불필요하며, 이에, 종래 대비 더 작은 크기로 설계 가능하다는 효과가 있다.

[0040] 이하, 도 4a 및 도 4b를 함께 참조하여, 본 실시예에 따른 광학빔 형성모듈(128)의 구조에 대해 보다 자세하게 설명하도록 한다. 본 실시예에 따른 광학빔 형성모듈(128)은 위상 배열 안테나(122)의 단위 안테나에 도달하는 각각의 RF 신호의 위상 차이를 ORR을 통해 개별적으로 딜레이시켜 합성 광신호를 생성한다.

[0041] 도 4a는 본 실시예에 따른 광학빔 형성모듈(128) 내 다중 링 지연을 위한 ORR의 구조를 도시한 도면이다.

[0042] 도 4a 도시하듯이, 본 실시예에 따른 광학빔 형성모듈(128)의 경우 BW 800Mhz에 동일한 GD와 loss를 주기 위하여 동작 주파수가 다른 2개의 ORR을 마치 하나의 ORR처럼 사용한다. 이때, 두 ORR은 각기 다른 파장에서 최대 GD를 갖도록 설정되어있어 RF 신호로 변조된  $f_o$ 의 두 측 대역 중 원하는 측 대역 범위에서 동일한 GD가 생성된다. 다중 링(multi-ring)을 사용하는 경우의 딜레이에 대한 연구는 이미 많이 이루어졌는데, 중요한 특성 중의 하나는 다중 링 딜레이 소자를 사용할 경우 최대 GD, loss, optical BW, 딜레이 ripple 그리고 ORR의 개수 사이에 트레이드오프가 존재한다는 것이다.

[0043] 도 4b는 본 실시예에 따른 광학빔 형성모듈(128)의 전체 구조를 도시한 도면이다. 한편, 도 4b의 경우 본 실시예에서 다루고 있는 8x8 사이즈의 위상 배열 안테나(122)를 통해 수신한 신호를 위상 정합하기 위한 16X1 OBFN의 구조를 도시하였다.

[0044] 도 4b에 도시하듯이, 본 실시예에 따른 광학빔 형성모듈(128) 즉, OBFN 칩의 최종적인 형태는 모든 브랜치에 ORR과 전극이 포함되어있는 형태로 구현된다. 이때, 도 4b에 도시된 하나의 ORR은 도 4a의 두 ORR을 의미한다. RF 신호의 수신 방향이  $\Phi=45^\circ$  라면 도 4b에 해당하는 ORR이 동작하지만 수신되는 신호의 방향에 따라 동작하는



ORR과 인가되는 전압이 달라진다. 광 신호는 하나의 ORR을 지나며 안테나 간격만큼의 딜레이  $T_2$ 를 겪고 인접한 브랜치의 신호와 합쳐지며 전력이득을 얻을 수 있다. 또한 광도파로에 열을 가함으로써 광 캐리어가 느끼는 광도파로의 길이나  $f_0$ 의 위상을 조절할 수 있다.

- [0045] 이렇게 빔포밍이 이루어진 광 신호는 다시 전기신호로 돌아가야 하기 때문에, 광전 변환모듈(132) 예컨대, PD(Photo Diode)를 통해 광-전 변환된다. 본 실시예의 경우, 광학빔 형성모듈(128)의 영향을 받지 않은 레이저 다이오드(126)의  $f_0$ 와 빔포밍이 수행된 광 신호를 함께 방향성 결합모듈(130) DC(Directional Coupler)를 통과시킨 후 각각의 광전 변환모듈(132)을 지나면 전기 신호가 출력될 수 있다.
- [0046] 두 개의 출력 중 하나의 신호에 -1을 곱한 후 두 신호를 합하면 광 신호에 실려있던 30GHz의 RF 신호를 얻을 수 있다. 여기에 최종적으로 국부 발진기(134)로부터의 30GHz 신호는 변환된 RF 신호에 곱해지고, 곱해진 신호를 저역 통과 필터(136)를 통과시켜 최종적으로 400 Mbps의 데이터를 얻을 수 있다.
- [0047] 도 5 및 도 6은 본 실시예에 따른 고주파 대역용 광학빔 형성시스템의 효과를 설명하기 위한 도면이다.
- [0048] OBFN 칩을 구성할 때 다중 링을 사용하는 목적 중의 한 가지는 넓은 BW를 얻기 위한 것인데, 하나의 ORR을 구성하는 다중 링의 개수를 늘릴수록 BW는 증가하지만 최대 딜레이나 loss, 딜레이 ripple 등에서 트레이드오프가 존재하게 된다. Si 기반 광도파로가 갖는 loss와 OBFN 칩의 소형화를 고려하면 가능한 ORR이 커버해야 하는 BW를 줄이는 것이 좋다.
- [0049] 도 5는 종래의 위상안테나 통신에서 사용되어 왔던 광학빔 형성시스템에서 DSB-SC방식의 전광 변환모듈을 통해 193.414Thz의  $f_0$ 가  $f_0=30\text{GHz}$ 로 변조된 스펙트럼을 예시한 예시도이다.
- [0050] 도 5를 참조하면,  $f_0=193.414\text{Thz}$ 를 기준으로 30GHz 주기로 신호 성분이 있는 것을 확인할 수 있다. 따라서 OBFN이 커버해야 할 BW는 60GHz가 된다. 하지만 이만큼의 BW를 다중 링 방식의 Si 기반 ORR로 커버하는 것은 loss로 인해 불가능하며, SiN 기반 ORR의 경우에도 ORR의 개수가 너무 많이 필요하여 비효율적이다. 또한 SiN의 effective index는 Si에 비해 낮은 값을 갖기 때문에 같은 GD를 갖는 ORR을 SiN 기반으로 제작할 경우 ORR의 사이즈가 Si 기반 ORR에 비하여 커진다. 따라서 어떤 경우에도 BW를 줄이는 것이 가장 바람직하다. OSBF는 BW를 줄여 이러한 문제를 해결하는데 효과적으로 도움을 준다. OSBF를 사용하여 양 측 대역 중 하나를 필터링함으로써 60GHz의 BW를 30 GHz로 줄일 수 있으며 전광 변환모듈을 DSB-SC로 동작하게 함으로써  $f_0$ 가 억제되어 ORR을 통해 GD를 주어야 하는 구간은 193.444GHz를 중심 주파수로 0.8GHz로 줄어든다. 즉, OSBF를 적용할 경우 적은 수의 다중 링으로도 ORR을 구성할 수 있기 때문에 OBFN의 복잡성과 loss를 줄일 수 있다. 이에 따라, 종래의 광학빔 형성시스템의 경우 OBFN 칩 내 OSBF가 필수적으로 구현될 수 밖에 없었으며, 이는 칩 사이즈의 소형화에 있어서 한계로서 동작하였다.
- [0051] 도 6은 본 실시예에 따른 광학빔 형성시스템에서 SSB-SC 방식의 전광 변환모듈을 사용에 따른 주파수 응답을 예시한 예시도이다.
- [0052] 도 6에서 도시하듯이, 본 실시예에 따른 SSB-SC 방식의 전광 변환모듈에 의하는 경우 광 반송파 신호를 RF 신호를 이용하여 변조하며, 변조 이후 광 반송파 신호의 양측파대 신호 중 광학빔 형성모듈(128)에 동기화된 측파대 신호를 제외한 반대쪽 측파대 신호 및 광 반송파 신호가 억제된 광 신호가 생성되는 것을 확인할 수 있다.
- [0053] 이러한, SSB-SC 방식의 전광 변환모듈의 사용에 따른 가장 큰 장점은 DSB-SC로 동작하는 전광 변환모듈을 사용한 디자인에서 BW를 줄이기 위해 반드시 필요했던 OSBF가 필요 없다는 점이다. SiN 기반 광도파로는 광 손실이 거의 없기 때문에 크기나 ORR 개수에 영향을 받지 않지만, Si 기반 광도파로의 경우 약 3dB/cm의 광 손실이 있기 때문에 가능한 광 신호가 지나는 경로의 길이를 짧게 하는 것이 중요하다. 30GHz로 변조된 측 대역 중 하나와  $f_0$ 를 제거할 수 있을 만큼 큰 OSBF는 Si 기반 OBFN에 사용하기에는 loss가 크기 때문에 비효율적이다. 본 실시예의 경우 SSB-SC로 동작하기 위해 push-pull 전광 변환모듈을 이중 구조로 사용했기 때문에 Si 포토닉스 칩의 크기를 DSB-SC 대비 소형화 할 수 있고 그 영향으로 OSBF에 의한 추가적인 광 손실을 줄일 수 있다는 점에서 효과가 있다.
- [0054] 이상의 설명은 본 실시예의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 실시예가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 실시예의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 실시예들은 본 실시예의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 실시예의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 실시예의 보호

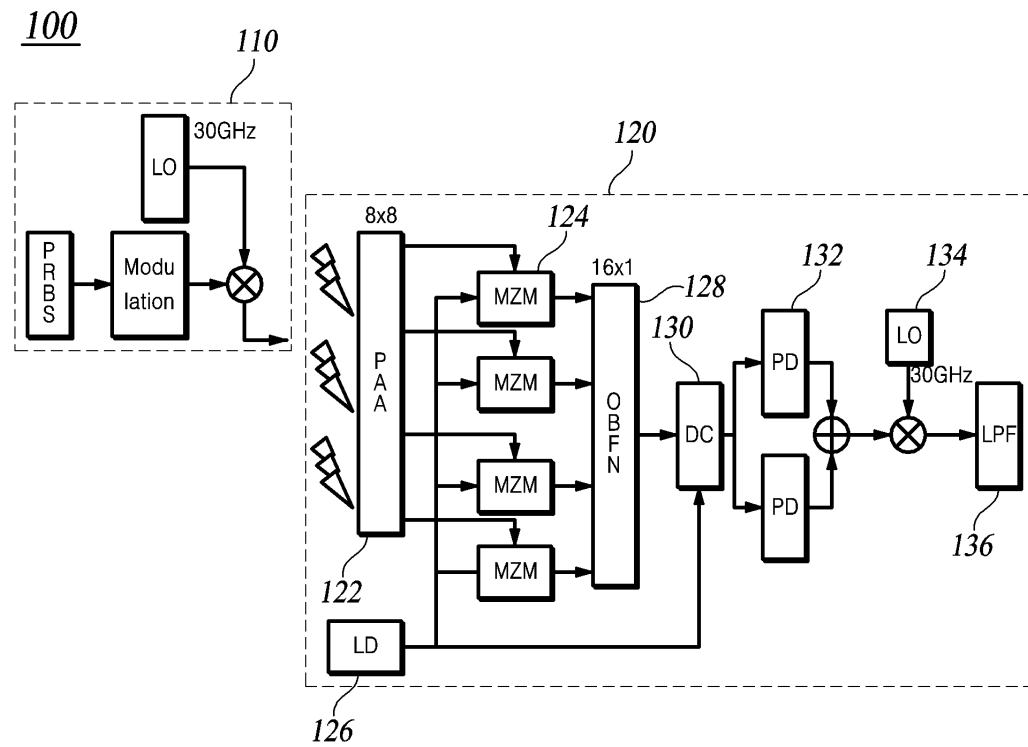
범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 실시예의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

**부호의 설명**

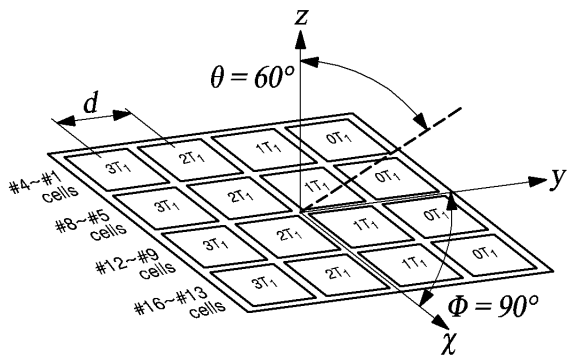
- 100: 광학빔 형성시스템
- 110: 송신단
- 120: 수신단
- 122: 위상 배열 안테나
- 124: 전광 변환모듈
- 126: 레이저 다이오드
- 128: 광학빔 형성모듈
- 130: 방향성 결합모듈
- 132: 광전 변환모듈
- 134: 국부 발진기
- 136: 저역 통과 필터

**도면**

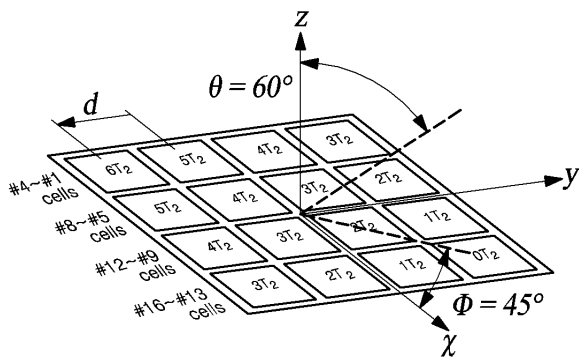
**도면1**



도면2

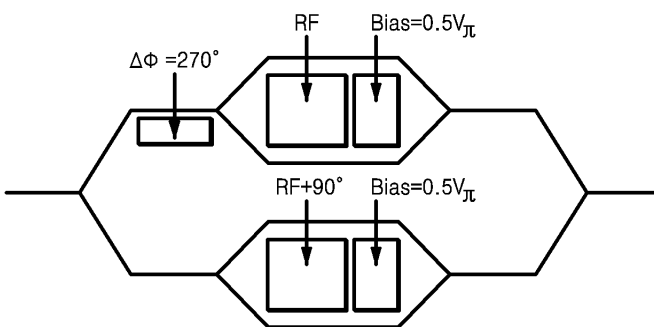


(a)

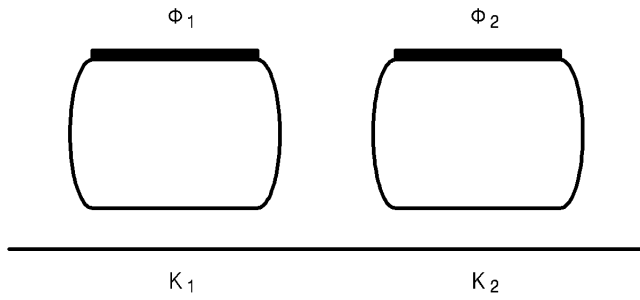


(b)

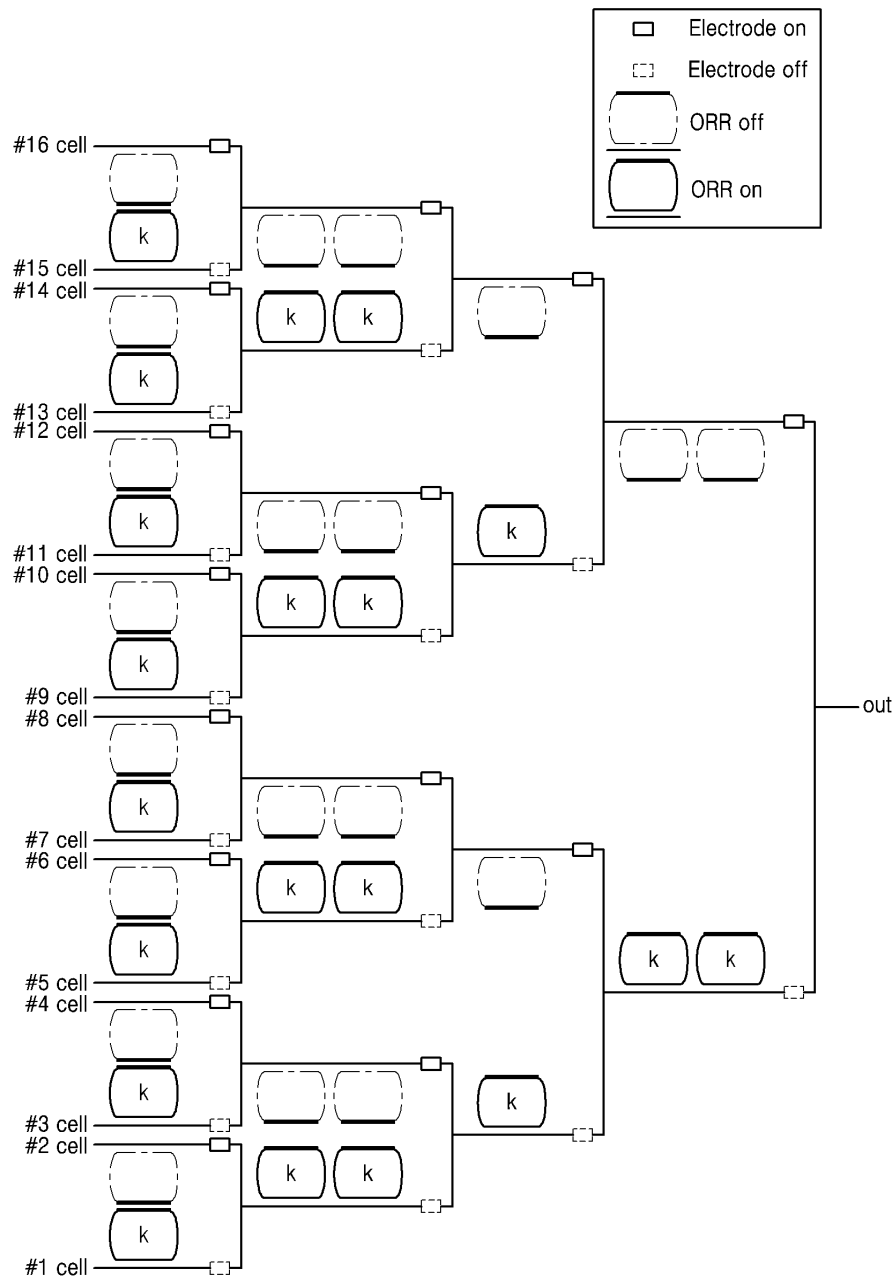
도면3



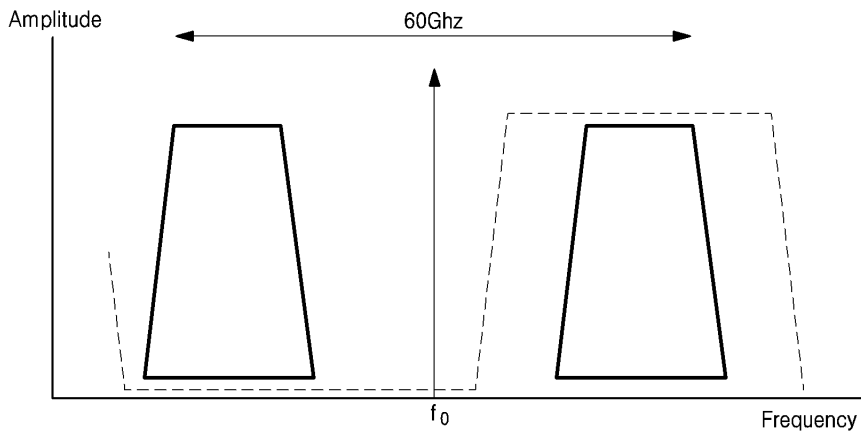
도면4a



도면4b



도면5



도면6

