

복잡한 초고주파 대역 통신시스템의 효율적인 빔 합성을 위한 최적화 방법

Optimization Method for efficient beam synthesis in complex mmWave communication systems

저자 (Authors)	윤현식, 조동근, 최계원 Hyun Sik Yoon, Dong Geun Jo, Kae Won Choi
출처 (Source)	한국통신학회 학술대회논문집 , 2020.2, 504-505(2 pages) Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences , 2020.2, 504-505(2 pages)
발행처 (Publisher)	한국통신학회 Korea Institute Of Communication Sciences
URL	http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE09346399
APA Style	윤현식, 조동근, 최계원 (2020). 복잡한 초고주파 대역 통신시스템의 효율적인 빔 합성을 위한 최적화 방법. 한국통신학회 학술대회논문집, 504-505
이용정보 (Accessed)	성균관대학교 자연과학캠퍼스 115.***.155.164 2021/01/20 11:44 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

복잡한 초고주파 대역 통신시스템의 효율적인 빔 합성을 위한 최적화 방법

윤현식, 조동근, 최계원
성균관대학교

a42000@skku.edu, donggeun07@skku.edu, kaewonchoi@skku.edu

Optimization Method for efficient beam synthesis in complex mmWave communication systems

Hyun Sik Yoon, Dong Geun Jo, Kae Won Choi
SungKyunKwan Univ.

요 약

본 논문에서는 아날로그 빔포밍을 활용하여 많은 제약 사항이 따르는 이동 통신시스템에 적용할 수 있는 빔 합성 및 관리를 위한 최적화 방법을 제안한다. 보내고 싶은 위치만을 지정함에 따라, 그 방향으로의 빔을 최대화해서 이중 빔, 멀티 빔, 와이드 빔을 이루는 최적의 급전계수를 찾아낼 수 있다. 또한 특정위치를 최소화할 수 있어, 원하지 않는 방향으로의 신호를 줄여 null을 만들어 부엽레벨 억제가 가능하고, 보다 복잡한 경우에 활용가능한 3d 형태의 직선형, 원형, 공간형의 빔도 만들 수 있다. 매틀랩을 통해 시뮬레이션 했으며, 5.8Ghz 대역의 배열 안테나를 활용해서 검증했다.

I. 서론

4G 통신 시스템 상용화 이후 증가 추세에 있는 무선 데이터 트래픽 수요를 충족시키기 위해 60GHz의 802.11ad WLAN이나 5G NR 표준이 의논 중이다. 또한 높은 데이터 전송률을 달성하기 위해, 5G 통신 시스템은 초고주파(mmWave) 대역에서 구현 중이다.

30GHz의 전파손실은 3GHz 대비 20dB나 크게 발생한다. 따라서 초고주파 대역에서의 전파의 경로손실 완화 및 전파의 전달 거리를 증가시키기 위해, 5G 통신 시스템에서는 보다 복잡한 여러 요구사항을 만족하여 빔을 자유롭게 조절하고, 다른 셀에 속해 있는 단말방향 등으로는 널을 통해 간섭을 최소화 시킬 수 있는 빔포밍(beamforming)을 이용해 안테나 이득을 높이는 것이 필요하다. 본 논문에서는 빔을 자유롭게 형성하는 급전계수를 구할 수 있는 경사하강법을 활용한 최적화 빔 합성 방법을 제안한다.

II. 본론

x 축을 따라 배치되는 N_x 개의 안테나는 d_x 의 간격을 가지고 배치되며, y 축을 따라 배치되는 d_y 의 간격을 가지고 배치될 평면 배열안테나 구조($N_x \times N_y$)에서, 안테나의 위치 벡터 \mathbf{l}_n 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{cases} \mathbf{l}_n = (d_x(n_x - 1), d_y(n_y - 1), 0)^T \\ n_x = ((n - 1) \bmod N_y) + 1 \\ n_y = \lfloor (n - 1) / N_x \rfloor + 1 \end{cases}$$

또한, 배열 안테나의 급전계수 \mathbf{x} 는 아래와 같다.

$$\begin{cases} \mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)^T \\ x_k = m_k \exp(jP_k) \end{cases}$$

x_k 는 각 k 번째 안테나(index=k)의 급전 계수를 나타내며, m_k 은 k 번째 안테나의 대응되는 급전 전류의 크기, P_k 는 k 번째 안테나에 대응되는 위상을 나타낸다.

$$\begin{aligned} AF &= \sum_{n=1}^N x_n \exp(jk\mathbf{l}_n \cdot \mathbf{s}(\theta, \phi)) \\ &= \sum_{n=1}^N \hat{h}_n(\theta, \phi) x_n \\ &= \mathbf{h}(\theta, \phi)^T \mathbf{x} \end{aligned}$$

$$\hat{h}_n(\theta, \phi) = \exp(jk\mathbf{l}_n \cdot \mathbf{s}(\theta, \phi))$$

$$\mathbf{h}(\theta, \phi) = (\hat{h}_1(\theta, \phi), \dots, \hat{h}_n(\theta, \phi))^T$$

$$k = 2\pi/\lambda$$

$$\mathbf{S}(\theta, \phi) = (\sin \theta \cos \phi, \sin \theta \sin \phi, \cos \theta)^T$$

(θ, ϕ) 는 구면 좌표계에서의 방사 방향(방위각, 고도각)을 나타내는 파라미터이며, $\mathbf{S}(\theta, \phi)$ 는 (θ, ϕ) 방사 방향에 대한 단위벡터를 나타낸다.

산출된 패턴 함수를 기반으로 특정방향 또는 영역에 대한 지향성 함수가 정의된다. 즉, 안테나의 위치벡터 \mathbf{l}_n 및 급전 계수 \mathbf{x} 을 갖는 배열 안테나의 (θ, ϕ) 방향에 대한 지향성 함수 $D(\theta, \phi; \mathbf{x})$ 는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} D(\theta, \phi; \mathbf{x}) &= \frac{4\pi |AF(\theta, \phi)|^2}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi |AF(\theta, \phi)|^2 \sin \theta d\theta d\phi} \\ &= \frac{\mathbf{x}^H \mathbf{h}(\theta, \phi)^* \mathbf{h}(\theta, \phi)^T \mathbf{x}}{\mathbf{x}^H \frac{1}{4\pi} \left(\int_0^{2\pi} \int_0^\pi \mathbf{h}(\theta, \phi)^* \mathbf{h}(\theta, \phi)^T \sin \theta d\theta d\phi \right) \mathbf{x}} \\ &= \frac{\mathbf{x}^H \mathbf{H}(\theta, \phi) \mathbf{x}}{\mathbf{x}^H \Phi \mathbf{x}} \end{aligned}$$

$$\mathbf{H}(\theta, \phi) = \mathbf{h}(\theta, \phi)^* \mathbf{h}(\theta, \phi)^T$$

$$\Phi = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \mathbf{h}(\theta, \phi)^* \mathbf{h}(\theta, \phi)^T \sin \theta d\theta d\phi$$

$$B(\mathcal{A}^+; \mathbf{x}) = \frac{1}{|\mathcal{A}^+|} \int_{(\theta, \phi) \in \mathcal{A}^+} D(\theta, \phi; \mathbf{x}) \sin \theta d\theta d\phi$$

$$B(\mathcal{A}^-; \mathbf{x}) = \frac{1}{|\mathcal{A}^-|} \int_{(\theta, \phi) \in \mathcal{A}^-} D(\theta, \phi; \mathbf{x}) \sin \theta d\theta d\phi$$

$$V(\mathcal{A}^+; \mathbf{x}) = \frac{1}{|\mathcal{A}^+|} \int_{(\theta, \phi) \in \mathcal{A}^+} (D(\theta, \phi; \mathbf{x}) - B(\mathcal{A}^+; \mathbf{x}))^2 \sin \theta d\theta d\phi$$

$$V(\mathcal{A}^-:x) = \frac{1}{|\mathcal{A}^-|} \int_{(\theta,\phi) \in \mathcal{A}^-} (D(\theta, \phi; x) - B(\mathcal{A}^-:x))^2 \sin \theta d\theta d\phi$$

\mathcal{A}^+ 는 빔의 강도를 증가시키고자 하는 제 1 영역에 대응되며, \mathcal{A}^- 는 빔의 강도를 감소시키고자 하는 제 2 영역에 대응되며, 각각 제 1 영역 및 제 2 영역에 대한 방위각(θ) 및 고도각(ϕ)을 기반으로 설정될 수 있다. 그리고 $B(\mathcal{A}^+:x)$ 는 급전 계수 x 를 갖는 배열 안테나의 제 1 영역 (\mathcal{A}^+)에 대응되는 방향으로의 지향성을 노멀라이징(normalizing)한 값이고, $B(\mathcal{A}^-:x)$ 는 급전 계수 x 를 갖는 배열 안테나의 제 2 영역(\mathcal{A}^-)에 대응되는 방향으로의 지향성을 노멀라이징(normalizing)한 값이다. 따라서, $V(\mathcal{A}^+:x)$ 는 제 1 영역(\mathcal{A}^+)에 대응하는 방향으로의 지향성의 분산을 나타내며, $V(\mathcal{A}^-:x)$ 는 제 2 영역(\mathcal{A}^-)에 대응하는 방향으로의 지향성의 분산을 나타낼 수 있다. 빔합성을 위해 이 논문에서 제시하는 목적함수 $J(x)$ 는 빔의 강도를 증가시키고자 하는 제 1 영역(\mathcal{A}^+) 및 빔의 강도를 감소시키고자 하는 제 2 영역(\mathcal{A}^-)에 대한 지향성 함수 및 분산 함수를 기반으로 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$J(x) = B(\mathcal{A}^+:x) - B(\mathcal{A}^-:x) - \lambda(V(\mathcal{A}^+:x) + V(\mathcal{A}^-:x))$$

λ : weight

상술한 제 1 영역 및 제 2 영역, 그리고 그에 대응되는 $B(\mathcal{A}^+:x)$ 및 $B(\mathcal{A}^-:x)$ 정의에 따라, 목적 함수를 구성함에 있어서 $B(\mathcal{A}^+:x)$ 는 그 값을 증가시키고자 하는 요소, 그리고 $B(\mathcal{A}^-:x)$ 는 그 값을 감소시키고자 하는 요소로서 설정될 수 있다. 그리고 제 1 영역(\mathcal{A}^+) 및 제 2 영역(\mathcal{A}^-)이 복수 개의 고도각(θ) 및 방위각(ϕ)에 대응하거나, 고도각(θ) 및 방위각(ϕ)의 범위로 설정되는 경우, 각 영역 내에서의 빔 형성이 균일하지 않을 수 있기 때문에 각 영역에 대응하는 방향에서 지향성의 분산을 나타내는 $V(\mathcal{A}^+:x)$ 및 $V(\mathcal{A}^-:x)$ 는 목적 함수를 구성함에 있어서 그 값을 감소시키고자 하는 요소로서 설정될 수 있다.

경사하강법은 함수를 미분한 결과에 임의의 값에서 시작해서 최적의 위치를 찾아 나아가는 방법이다. 경사하강법을 이용하여 다음과 같이 급전 계수를 구성하는 급전 전류의 크기 m 및 P 를 갱신하고, 이에 대응하는 다음 급전계수 $x^{(i+1)}$ 을 계산할 수 있다.

$$m^{(i+1)} = m^{(i)} + \eta \nabla_m J|_{m=m^{(i)}, P=P^{(i)}}$$

$$P^{(i+1)} = P^{(i)} + \eta \nabla_P J|_{m=m^{(i)}, P=P^{(i)}}$$

η : learning rate

η (learning rate)는 경사법을 이용한 최적화에 있어서 기울기가 증가 또는 감소되는 방향으로 이동하는 간격을 나타낸다.

지금까지 제안한 방법에 따라, 최적화를 진행한 후 시뮬레이션과 측정 결과를 비교해서 아래에 나타냈다.

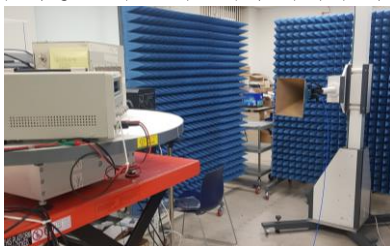
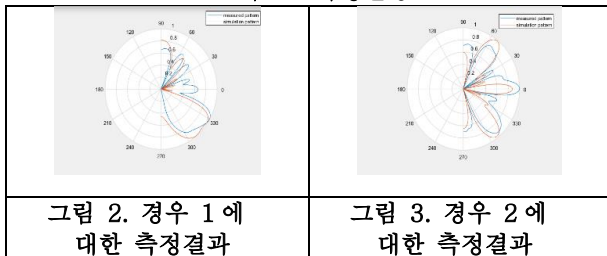


그림 1. 측정환경



경우 1 은 와이드 빔을 합성하였고, 목적은 다음과 같다.

목적: 최대화 ($\theta = -60^\circ \sim -30^\circ, \phi = 90^\circ$)

경우 2 는 멀티 빔을 합성하였고, 목적은 다음과 같다.

목적: 최대화 ($\theta = -45^\circ, \phi = 90^\circ$),
 ($\theta = 0^\circ, \phi = 90^\circ$), ($\theta = 0^\circ, \phi = 90^\circ$)
 최소화 ($\theta = 23^\circ, \phi = 90^\circ$)

또한, 빔 형성 시 인체 및 장애물 회피 및 간섭감소를 위해 특정구역에 널(null) 형성 및 부엽레벨(side lobe)을 억제하기 위한 기술이 요구된다. 따라서 그림 4 와 같이 빔 널(null) 형성 및 부엽레벨 억제(side lobe suppression)를 실시하였다.

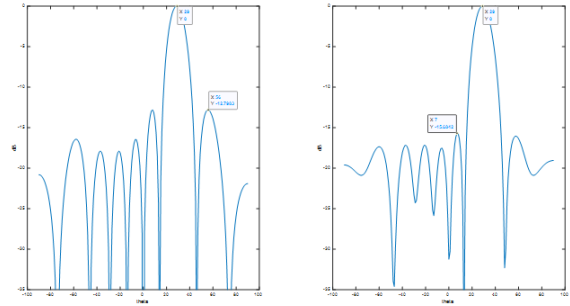


그림 4. 빔 형성 방법의 부엽레벨 억제비교 결과

보다 복잡한 통신시스템에서의 initial access 등의 활용을 위한 3D 빔 패턴 또한 직선형, 원형, 영역형 3 가지로 나누어 그림 5,6,7 과 같이 합성을 실시하였다.

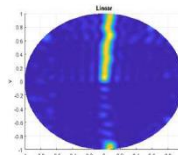


그림 5. 직선형 빔 UV 복사패턴

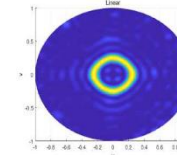


그림 6. 원형 빔 UV 복사패턴

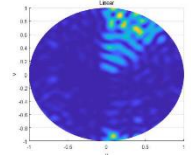


그림 7. 영역형 빔 UV 복사패턴

III. 결론

본 논문에서는 초고주파 통신시스템에서의 효율적인 빔 합성에 대한 연구를 진행했다. 5G 기지국 등에서 활용가능한 복잡한 여러 요구사항을 만족시킬 수 있는 3D 빔 형성을 위해 경사하강법을 활용하여 원하는 위치로의 방사를 최대화하고 원하지 않는 위치로의 방사를 최소화하는 최적화 방법을 제안했다.

본 논문에서 제안한 방법을 활용해서 효과적인 빔 정렬 알고리즘 연구와 설치장소에 최적화된 빔 형성 방법 등의 연구 등에 도움이 될 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

[1] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory analysis and design, Forth edition"
 [2] Dan P. Scholnik, "A Parameterized Pattern-Error Objective for Large-Scale Phase-Only Array Pattern Design," IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, VOL. 64, NO. 1, JANUARY 2016