

WiFi Ambient Backscatter 통신 시스템에서 간섭 완화를 위한 ESPAR 안테나의 적용 및 특성 평가

권형민*, 유흥균^o

Characteristic Evaluation and Application of an ESPAR Antenna for Interference Mitigation in the WiFi Ambient Backscatter System

Hyeong Min Kwon*, Heung-Gyoon Ryu^o

요약

본 논문에서는 WiFi Ambient Backscatter 통신을 위해 빔 조향이 가능한 ESPAR(Electronically Steerable Parasitic Array Radiator) 안테나를 설계하고 WiFi 주파수 대역인 2.45GHz에서 다양한 통신환경을 가정하여 시뮬레이션 하였다. 먼저 2.45GHz 대역에 맞는 ESPAR 안테나를 설계하고 기본 안테나 이득을 확인하였다. 이후 안테나를 구성하는 기생소자의 리액턴스 조절을 통해 빔포밍 또는 널링하여 간섭을 최소화하고 통신성능을 높인다. 간섭신호가 들어오는 방향으로는 널링하여 안테나 이득을 낮추고 통신신호가 들어오는 방향으로는 빔포밍하여 안테나 이득을 높이는 방식을 사용하였다. 본 논문에서는 간섭신호가 들어오는 상황을 다르게 설정하여 세 가지 통신환경에 따른 기생소자의 리액턴스를 조절하였다. 시뮬레이션 결과 다양한 통신환경에 맞춰 빔 조향이 가능하기 때문에 간섭신호 방향으로는 낮은 안테나이득으로 간섭의 영향을 덜 받을 수 있고 통신신호 방향으로는 높은 안테나이득으로 성능을 높일 수 있다.

Key Words : Ambient Backscatter, WiFi Backscatter, ESPAR antenna, beamforming, WiFi

ABSTRACT

In this paper, we design an ESPAR(Electronically Steerable Parasitic Array Radiator) antenna with beam steering for WiFi Ambient backscatter communication and simulate it assuming a variety of communication environments in the WiFi frequency band, 2.45 GHz. We first design an ESPAR antenna for the 2.45 GHz band and check the basic antenna gain. Thereafter, beamforming or nulling is performed by adjusting the reactance of parasitic elements constituting the antenna to minimize interference and improve communication performance. The antenna gain is lowered by nulling in the direction in which the interference signal is received, and the antenna gain is increased by beamforming in the direction in which the communication signal is received. In this paper, we adjust the reactance of parasitic elements according to three communication environments by setting different situations in which interference signals come in. As a result of the simulation, since the beam can be steered according to various communication environments, it can be less affected by interference with a low antenna gain in the direction of the interference signal, and the performance can be improved with a high antenna gain in the direction of the communication signal.

※ 이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구이고(NRF-2016R1D1A1B01008046), 이 논문은 2019년도 한국연구재단의 국제협력사업의 지원을 받아 연구되었음 (2019K1A3A1A39102995). 또한, 2020년도 한국연구재단의 국제협력사업의 지원을 받아 연구되었고(NRF-2020K2A9A2A08000106), 이 논문은 충북대학교 4단계 BK21사업(2021) 지원을 받아 작성되었음

• First Author : Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University, greentree814@naver.com, 학생회원

◦ Corresponding Author : Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University, ecomm@cnu.ac.kr, 정회원

논문번호 : 202106-139-A-RN, Received June 22, 2021; Revised August 17, 2021; Accepted August 24, 2021

I. 서론

스마트한 일상생활을 위해 사용되는 센서와 소형 전자기기의 수는 날마다 폭발적으로 늘어나고 있다. 이에 큰 도움을 주는 IoT(Internet of Things)기기의 수요가 늘어나면서 센서 네트워크와 센서 간 통신기술 관련 연구가 다양하게 진행되고 있다.^[1,2] 최근 주목받고 있는 통신방식 AmBC(Ambient Backscatter Communication)는 주변에 존재하는 무선 주파수 신호를 활용하여 초 저전력으로 통신을 할 수 있는 방식이다.^[3] 수많은 무선 센서를 사용하여 데이터를 관리하고 시스템을 유지해야 하는 센서네트워크에서 이 통신방식은 에너지 효율적으로 센서들의 전원관리를 할 수 있다.

FM, AM, WiFi 등 다양한 주변 무선 주파수 신호를 사용하여 Backscatter 연구가 진행되었다.^[4-6] 이중에 2.45GHz WiFi 주파수 대역을 사용하는 AmBC 통신환경으로 연구를 진행하였다. WiFi 무선 주파수는 주변에서 쉽게 접할 수 있는 주파수이기 때문에 AmBC 통신을 하게 되면 많은 AP 신호들로 인해 간섭에 노출되기 쉬워서 정상적인 통신이 어려울 수 있다. 본 논문에서는 이러한 간섭환경을 위해 2.45GHz 대역에서 사용가능한 ESPAR(Electronically Steerable Parasitic Array Radiator) 안테나를 사용하여 데이터 신호가 들어오는 방향으로는 빔포밍을 하여 성능을 끌어올리고 간섭이 많이 들어오는 방향으로는 널링을 통해 간섭을 최소화 하는 방식을 연구하였다. ESPAR 안테나는 단일 RF를 대상으로 하며 DC 전력소모가 낮고 소형화 할 수 있는 장점을 가지고 있다.^[7] ESPAR 안테나의 장점들은 모두 IoT기기 또는 센서 네트워크를 구성할 때 유리한 요소들을 포함하고 있다. ESPAR 안테나 설계는 기존논문을 참고하였다.^[8,9] 안테나 디자인과 시뮬레이션은 CST Studio Suite 프로그램을 사용하였으며 먼저 2.45GHz 대역에서 사용 가능한 안테나를 구성하고 그 다음에는 빔 패턴 조절을 통해 빔포밍과 널링을 하여 통신성능을 높이고 간섭에 대한 성능열화를 줄이는 시뮬레이션을 진행한다.

II. WiFi Ambient Backscatter

WiFi Ambient Backscatter는 주변 WiFi 신호를 재 사용하여 각종 IoT기기와 센서들이 초 저전력으로 통신하는 방식이다. 통신하는데 필요한 전력이 기존 통신할 때 보다 매우 적으므로 센서나 IoT기기의 전원관리를 효율적으로 할 수 있고 해당 센서네트워크의

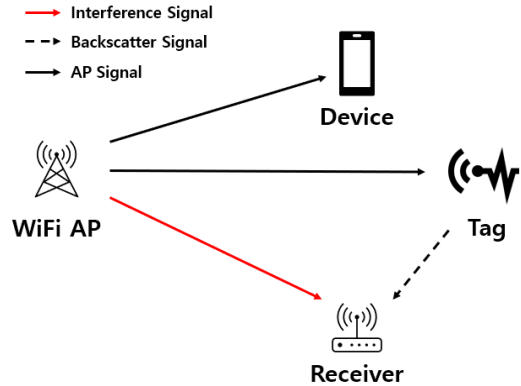


그림 1. WiFi Backscatter 시스템
Fig. 1. WiFi Backscatter system.

수명이 이전보다 더 오래 유지될 수 있다.

주변의 신호를 재사용하여 통신하기 때문에 저전력 통신이 가능하지만 그림 1 과 같이 AP에서 보내는 신호가 Tag와 Receiver에서 Backscatter 통신을 진행할 때 사용되는 신호와 매우 비슷한 신호이므로 간섭신호로 작용되어 정상적인 통신이 어려울 수 있다. 이를 보완하기 위해서 빔 조향이 가능한 ESPAR 안테나를 사용하여 통신성능을 높이는 방식을 연구하였다.

III. ESPAR 안테나의 적용 및 효과

ESPAR(Electronically Steerable Parasitic Array Radiator)안테나는 능동소자와 기생소자로 구성되어 있으며 가운데 능동소자를 기준으로 주변에 기생소자를 일정 거리, 각도마다 원모양으로 배치한다. 능동소자는 단일RF 인 v_{rf} 에 연결되어있고 기생소자는 각각의 리액턴스에 연결되어 있다. ESPAR 안테나는 더

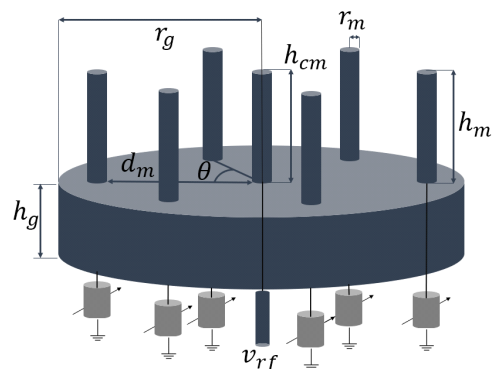


그림 2. ESPAR 안테나 구조
Fig. 2. ESPAR Antenna structure.

DC 전력소모가 작고 안테나크기를 소형으로 구성할 수 있는 장점이 있다. 또한 기생소자에 연결된 리액턴스를 조절하여 빔 조향이 가능하다. 이를 이용하여 선택적으로 빔포밍 혹은 널링을 하여 통신성능을 향상시킨다.

그림 3과 같이 ESPAR 안테나를 사용하여 Receiver에 간섭이 되는 신호의 방향으로는 빔 조향을 통해 널링하여 간섭으로 인한 성능저하를 최대한 낮추고 Tag와 Backscatter 통신하는 방향으로는 빔포밍하여 통신성능을 향상시킨다. 안테나의 빔을 조향할 때 각도의 세분화를 위해 기생소자의 개수를 그림 4와 같이 12개로 구성하였다. 1번부터 12번까지는 기생소자이고 13번은 능동소자이다.

그림 5는 13 소자 ESPAR 안테나 S-parameter 이며 기생소자와 능동소자는 그림 4와 같이 배치되어있다. WiFi 주파수 대역 2.4GHz ~ 2.45GHz 에 맞추어 설계되었음을 보인다.

그림 6은 13 소자 ESPAR 안테나의 3D Farfield

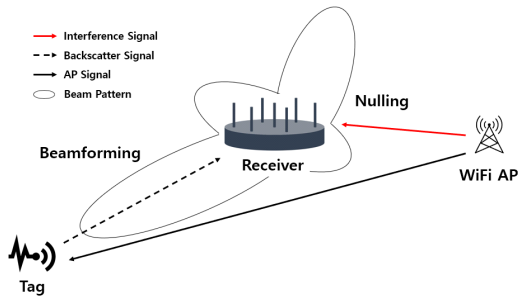
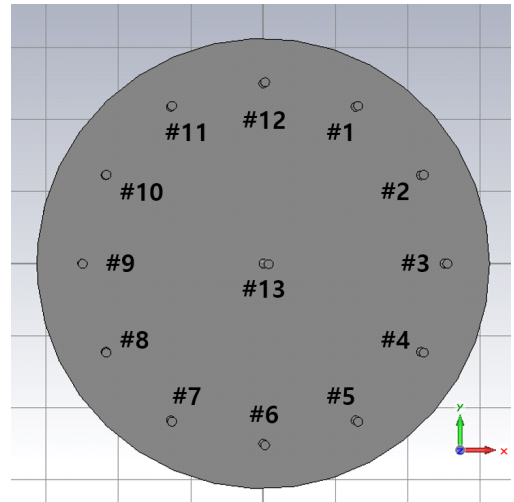


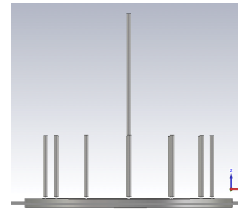
그림 3. ESPAR 안테나의 빔포밍과 널링을 활용한 시스템
Fig. 3. Using beamforming and nulling of ESPAR antenna system.

표 1. 13 소자 ESPAR 안테나 설계 변수
Table 1. 13-element ESPAR antenna design parameters.

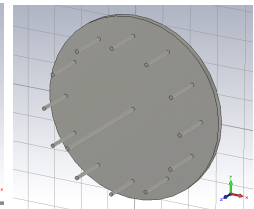
Parameters	Length / Size
Ground Radius(r_g)	Lambda / 2
Ground Height(h_g)	4 mm
Center Monopole Height(h_{cm})	88 mm
Monopole Radius(r_m)	Lambda / 100
Monopole Height(h_m)	Lambda / 4
Monopole Distance(d_m)	50 mm
Monopole Angle(θ)	30 °
Target Freq	2.45 GHz



(a) front



(b) side



(c) perspective

그림 4. 13 소자 ESPAR 안테나
Fig. 4. 13-element ESPAR antenna.

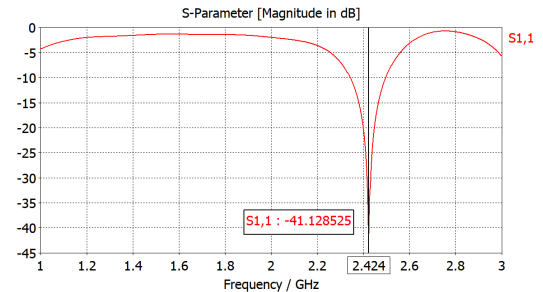
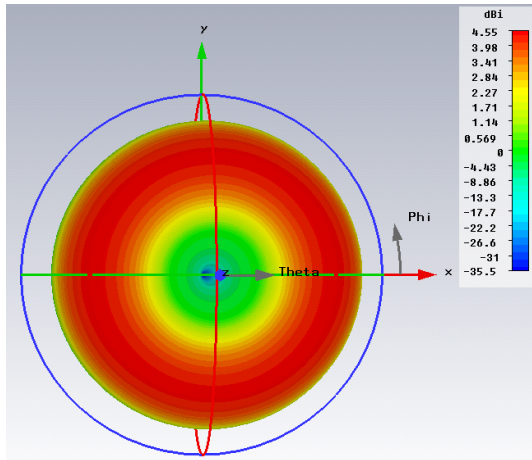


그림 5. 13 소자 ESPAR 안테나 S-Parameter
Fig. 5. 13-element ESPAR antenna S-Parameter.

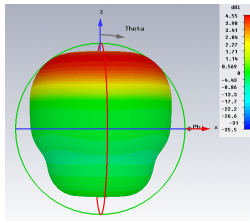
beam pattern이며 전파가 z축 방향을 제외하고 모든 방향으로 방사되고 있다. 각 기생소자의 리액턴스는 모두 100j로 설정된 상태이며 최대 안테나 이득은 4.55dBi 이다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 평가

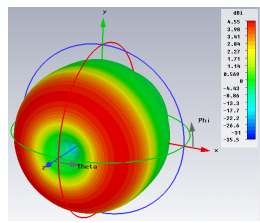
WiFi 주파수 대역 2.4GHz ~ 2.45GHz 에 맞추어



(a) front



(b) side



(c) perspective

그림 6. 13 소자 ESPAR 안테나 3D Farfield 빔패턴
Fig. 6. 13-element ESPAR antenna 3D Farfield beam pattern.

설계된 13 소자 ESPAR 안테나의 기생소자 리액턴스를 조절하여 빔포밍 또는 널링한다.^[10] 이미 13 소자 ESPAR 안테나를 사용하여 DoA 추정 알고리즘으로 데이터 신호의 방향을 추정하고 안테나 방사 패턴을 조절하여 802.11p 주파수 대역에서 V2X 통신 시 거의 동일한 링크 품질을 유지할 수 있다는 내용의 연구 결과가 있다.^[11] 이와 다르게 본 논문에서는 간섭신호의 방향을 고려하여 간섭이 오는 방향에 대해서는 빔포밍하여 통신성능을 높인다. 다양한 통신환경을 고려하여 3가지 유형으로 구분하여 시뮬레이션 하였다. 기생소자의 리액턴스를 표 2와 같이 설정하여 단방향 빔포밍 A 유형, 양방향 빔포밍 B 유형, 3방향 빔포밍 C 유형을 보였다.

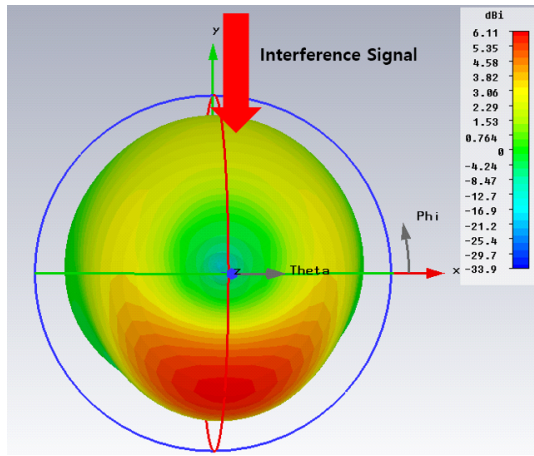
A 유형은 단방향 빔포밍을 하였으며 12번 소자방향에서 간섭신호가 들어오는 통신환경을 가정하여 시뮬레이션 하였다. 단방향 빔포밍을 할 때 해당 방향의 기생소자 리액턴스 값을 100jΩ로 유지하여 빔포밍 한다. 반대로 널링이 필요한 경우에는 해당 방향의 기생소자 리액턴스 값을 0jΩ로 변경하여 널링한다. 간

표 2. 기생소자 리액턴스 (jΩ)
Table 2. parasitic elements reactance. (jΩ)

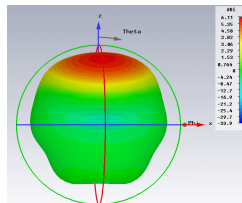
	#1	#2	#3	#4	#5	#6
Type A	0	0	100	100	100	100
Type B	0	0	100	100	0	0
Type C	0	0	100	100	0	0
	#7	#8	#9	#10	#11	#12
Type A	100	100	100	0	0	0
Type B	100	100	100	0	0	0
Type C	100	100	100	0	100	100

섭신호가 12번 소자방향으로 들어오기 때문에 3번~9번 소자의 리액턴스를 100jΩ로 유지하여 6번 소자방향으로 빔포밍하고 반대쪽 소자들은 0jΩ로 설정하여 최대한 널링한다.

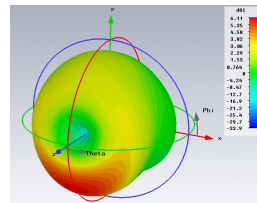
B 유형은 양방향 빔포밍을 하였으며 3번 소자방향에서 간섭신호가 들어오는 통신환경을 가정하였다. 양방향 빔포밍을 할 때는 단방향 빔포밍 할 때와 다르게 해당 방향의 기생소자 리액턴스 값을 0jΩ로 변경하여 빔포밍 한다. 널링이 필요한 방향은 리액턴스 값을 100jΩ로 유지하여 안테나 이득을 낮춘다. 3번 소자방



(a) front

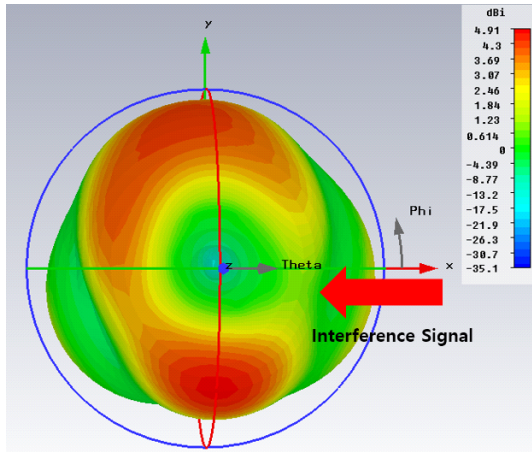


(b) side

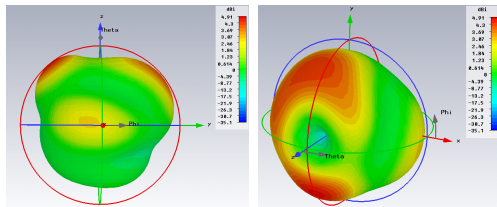


(c) perspective

그림 7. 단방향 빔포밍 A 유형 빔패턴
Fig. 7. Unidirectional beamforming beam pattern (Type A).



(a) front



(b) side

(c) perspective

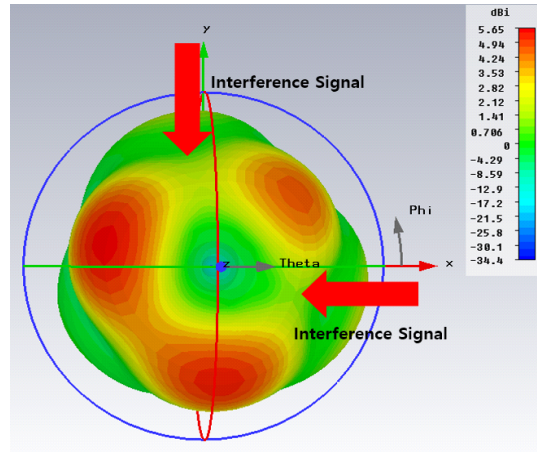
그림 8. 양방향 빔포밍 B유형 빔패턴
Fig. 8. Bidirectional beamforming beam pattern (Type B).

향으로는 최대한 널링하여 안테나 이득을 낮추고 6번, 11번 소자 두 방향으로 빔포밍하여 양쪽에서 높은 안테나 이득을 가진다.

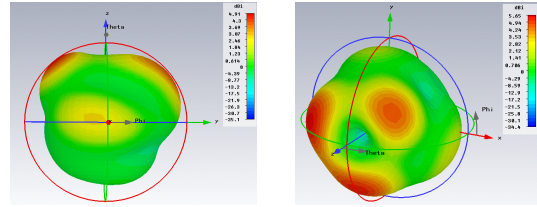
C 유형은 3방향 빔포밍을 하였으며 12번, 3번 소자 방향에서 간섭신호가 들어오는 통신환경을 가정하였다. 3방향 빔포밍을 할 때는 양방향 빔포밍과 같은 방식으로 리액턴스를 조절하여 빔포밍 한다. 따라서 같은 방식으로 간섭신호가 들어오는 12번, 3번 소자방향으로 널링하여 안테나 이득을 낮추고 나머지 방향은 최대한 안테나 이득을 높게 하여 통신성능을 높인다.

시뮬레이션 이후 빔 조향을 하지 않은 안테나와 다양한 간섭신호의 통신환경을 고려한 A, B, C 유형의 안테나를 비교하여 분석하였다.

빔 조향을 하지 않은 정상시의 안테나이득은 모든 방향으로 4.55dBi 이고 이때 통신신호와 간섭신호 모두 같은 안테나이득을 받고 들어오게 된다. 통신성능을 높이기 위해 단방향 빔포밍을 진행한 A유형의 경우에는 최대 안테나이득이 6.11dBi 이고 간섭신호가 들어오는 방향 안테나이득은 2.29dBi 로 간섭신호방향 안테나 이득과 통신신호방향 안테나 이득이



(a) front



(b) side

(c) perspective

그림 9. 3방향 빔포밍 C유형 빔패턴
Fig. 9. 3-way beamforming beam pattern (Type C).

3.82dBi 만큼 차이난다. B유형의 경우 다른 유형에 비해 최대 안테나이득 4.91dBi 로 낮지만 널링되는 부분과 빔포밍되는 부분의 안테나이득 차이가 4.3dBi 로 세 가지 유형 중에 가장 크게 나타났다. C유형의 경우 최대 안테나 이득은 5.65dBi 이고 간섭신호 방향 안테나이득은 1.41dBi 로 최대와 최소 차이가 4.24dBi 로 나타났다.

A, B, C유형과 같이 리액턴스 조절을 통해 원하는 방향으로 빔포밍 또는 널링을 할 수 있다. 연구 초기 목표인 간섭신호방향의 완벽한 널링은 힘들었지만 안테나이득 조절을 통해 간섭신호의 영향을 줄이고 통신성능을 향상시킬 수 있다. 간섭신호방향이 주어진 환경에서 일반적으로 설계된 ESPAR 안테나보다 빔

표 3. 유형별 dBi 차이 (dBi)
Table 3. dBi difference by type. (dBi)

	Max	Min	Difference
Normal	4.55	4.55	0
Type A	6.11	2.29	3.82
Type B	4.91	0.61	4.3
Type C	5.65	1.41	4.24

포밍과 널링으로 빔 조향이 된 A, B, C 유형 ESPAR 안테나가 간섭신호를 비교적 낮은 안테나이득을 통해 최대한 덜 영향 받고 통신신호는 높은 안테나이득으로 수신할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 WiFi Backscatter를 위한 ESPAR 안테나를 설계하고 WiFi 주파수인 2.45GHz에서 다양한 통신환경을 가정하여 시뮬레이션 하였다. ESPAR 안테나는 기생소자에 연결된 리액턴스 조절을 통해 빔 조향이 가능하여 선택적으로 빔포밍 또는 널링이 가능하다. 이를 통해 간섭신호가 들어오는 방향으로는 널링하고 통신신호가 들어오는 방향으로는 빔포밍하여 안테나 이득을 조절하였다. 통신환경에 따라 빔포밍과 널링된 안테나를 A, B, C 유형으로 나누어 시뮬레이션해본 결과 빔포밍된 방향은 빔 조향되지 않은 ESPAR 안테나 이득 4.55dBi 보다 높은 6.11dBi, 4.91dBi, 5.65dBi 안테나 이득을 보였고 널링된 방향은 2.29dBi, 0.61dBi, 1.41dBi 로 빔 조향되지 않은 안테나보다 간섭의 영향을 덜 받았다. 다른 참고논문 ESPAR 안테나보다 기본이득이 낮게 설계되었지만 리액턴스를 조절하고 빔 조향을 통해 상황에 맞춰 안테나 이득을 높이거나 낮추어서 다양한 WiFi 주파수 대역 통신환경에 적용할 수 있다.

References

[1] S. Chen, H. Xu, D. Liu, B. Hu, and H. Wang, "A vision of IoT: Applications, challenges, and opportunities with china perspective," in *IEEE Internet of Things J.*, vol. 1, no. 4, pp. 349-359, Aug. 2014.

[2] Z. Sheng, C. Mahapatra, C. Zhu, and V. C. M. Leung, "Recent advances in industrial wireless sensor networks toward efficient management in IoT," in *IEEE Access*, vol. 3, pp. 622-637, 2015.

[3] V. Liu, A. Parks, V. Talla, S. Gollakota, D. Wetherall, and J. R. Smith, "Ambient backscatter: Wireless communication out of thin air," *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 43, no. 4, pp. 39-50, Oct. 2013.

[4] N. Van Huynh, D. T. Hoang, X. Lu, D. Niyato, P. Wang, and D. I. Kim, "Ambient

backscatter communications: A contemporary survey," in *IEEE Commun. Surv. & Tuts.*, vol. 20, no. 4, pp. 2889-2922, Fourthquarter 2018.

[5] D. Bharadia, K. R. Joshi, M. Kotaru, and S. Katti, "BackFi: High throughput wifi backscatter," in *Proc. ACM Conf. Special Interest Group on Data Commun.*, vol. 45, pp. 283-296. Aug. 2015.

[6] B. Kellogg, A. Parks, S. Gollakota, J. R. Smith, and D. Wetherall, "Wi-fi backscatter: Internet connectivity for RF-powered devices," *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 44, no. 4, pp. 607-618, Oct. 2014.

[7] O. N. Alrabadi, A. Kalis, C. B. Papadias, and A. G. Kanatas, "Spatial multiplexing by decomposing the far-field of a compact ESPAR antenna," *2008 IEEE 19th Int. Symp. Pers., Indoor and Mob. Radio Commun.*, pp. 1-5, 2008.

[8] A. Kausar, et al., "Espar antenna system designing & simulation," in *Proc. 2014 First Int. Conf. Systems Informatics, Modelling and Simulation*, vol. 14, 2014.

[9] R. Schlub, J. Lu, and T. Ohira, "Seven-element ground skirt monopole ESPAR antenna design from a genetic algorithm and the finite element method," *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, vol. 51, no. 11, pp. 3033-3039, Nov. 2003.

[10] K.-T. Lee and J.-G. Ki, "Proposal and analysis of the orthogonal beam forming using reactance control," *The J. Inst. Internet, Broadcasting and Commun.*, vol. 14, no. 5, pp. 81-86, Oct. 2014.

[11] D. Duraj, et al., "RSS-based DoA estimation using ESPAR antenna for V2X applications in 802.11p frequency band," *2020 14th EuCAP*, Copenhagen, Denmark, Mar. 2020.

권형민 (Hyeong Min Kwon)



2020년 2월 : 충북대학교 전자
공학과 (공학사)

2020년 3월~현재 : 충북대학교
전자공학과 (석사과정)

<관심분야> 무선통신 시스템,
WiFi 시스템, 안테나 설계,
5G/6G 이동통신 시스템

[ORCID:0000-0001-8845-0951]

유흥균 (Heung-Gyoon Ryu)



1988년~현재 : 충북대학교 전자
공학부 교수

2002년 3월~2004년 2월 : 충북
대학교 컴퓨터정보통신연구
소 소장

<관심분야> 무선통신시스템,
위성통신, B5G/6G 이동통신
시스템, 통신회로 설계 및
통신 신호처리

[ORCID:0000-0002-7368-9860]