

기생소자를 사용한 밀리미터파 배열안테나의 패턴 널 억제 방법

Method of Suppressing Pattern Nulls of an MM-Wave Array Antenna Using Parasitic Elements

김도형¹ · 최재훈^{*2}

Do-Hyeong Kim¹ · Jae-Hoon Choi^{*2}

요약

본 논문에서는 60 GHz 2×4 마이크로스트립 패치 배열 안테나의 방사패턴에 발생하는 널(pattern-null)을 억제하는 방법으로 알려진 기생소자 사용방법이 갖는 교차편파 분리도 저하 문제를 분석하고, 다양한 기생소자 배치 형태에 따른 60 GHz 2×4 패치 배열 안테나의 널 억제 성능과 교차편파 분리도의 변화를 분석한다. 이를 통해 상당한 교차편파 분리도를 요구하는 시스템에서도 기생소자를 배치한 패턴 널 억제 방법의 적용 가능성을 제시한다.

Abstract

In this study, we analyze the reduction of a cross-polarization(X-pol) isolation by using parasitic elements to eliminate the pattern-nulls of a 60 GHz 2×4 microstrip patch antenna array. In addition, we investigate the changes of the pattern-null suppression and X-pol isolation resulting from different alignments of the parasitic elements mounted above the array antenna. Through this study, we demonstrate the feasibility of using parasitic elements to suppress the pattern-nulls of a patch array antenna in a system requiring an adequate X-pol isolation.

Key words: Millimeter-Wave, Patch Array Antenna, Null-Filling, Parasitic Element, Cross-Polarization Isolation

I. 서론

무선통신 기술의 급격한 발전으로 인해 다양한 무선 서비스와 스마트 디바이스들이 등장하였고, 네트워크를 통한 데이터 트래픽은 매년 기하급수적으로 증가하고 있다^[1]. 최근에는 5세대(5G) 이동통신, 고해상도 레이더, 사물인터넷 등과 같은 새로운 패러다임의 고품질 무선 서비스가 출현하면서 초고속/대용량 시스템에 대한 필요성

이 대두되었다. 이에 따라 넓은 주파수 대역폭을 통해 초고속 데이터 전송속도를 구현해낼 수 있는 밀리미터파 대역 기반의 시스템에 대한 관심이 커지고 있다. 특히, 60 GHz 대역은 7 GHz의 넓은 대역폭과 1 Gb/s 이상의 전송속도를 구현할 수 있어, 최근 활발히 연구되고 있다. 밀리미터파 대역에서는 마이크로파 대역에서와 달리 무선 채널에서의 전파의 경로 손실(propagation loss)이 상당히 크게 나타나는데^[2], 이를 보상하기 위해 밀리미터파 대역 시

「이 연구는 2019년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2017R1A2B4002811).」

한양대학교 전자컴퓨터통신공학과(Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University)

*한양대학교 융합전자공학부(Department of Electronic Engineering, Hanyang University)

1: 박사과정(<https://orcid.org/0000-0001-6586-6639>), 2: 교수(<https://orcid.org/0000-0003-0596-7934>)

· Manuscript received June 24, 2019 ; Revised July 29, 2019 ; Accepted July 30, 2019. (ID No. 20190624-060)

· Corresponding Author: Jae-Hoon Choi (e-mail: choijh@hanyang.ac.kr)

스텝에서는 높은 이득을 갖는 배열 안테나를 주로 사용한다^{[3]~[5]}. 한편, 배열 안테나의 합성된 빔 패턴(*beam pattern*) 상에서는 원치 않는 부엽(*side lobe*)들과 함께 주엽(*main lobe*) 옆에서 깊은 널(*null*)이 형성되는데, 이러한 널의 형성은 차량용 레이다 시스템에서의 측방부 장애물 센싱에러나 통신 시스템에서의 커버리지 저하 등을 야기하는 주요한 요인 중 하나이다^{[6],[7]}. 이를 해결하기 위해 기존의 여러 연구진들은 신호처리단에서 배열 안테나 소자로 인가되는 신호의 크기분포를 변형하여 배열 안테나의 빔패턴 상에 널의 형성을 억제하는 기법들을 제시하였다^{[6]~[8]}. 반면, 참고문헌 [9]에서는 직렬 급전 패치 배열 안테나의 소자들 사이에 기생 소자(*parasitic element*)를 삽입하여 추가적인 신호처리 없이 밀리미터파 대역 패치 배열 안테나의 빔패턴 상에 널의 형성을 억제하는 방법을 제안하였다. 하지만 참고문헌 [9]에서는 교차편파 방사 성분에 대해서는 고려하지 않았으며, 결과적으로 참고문헌 [9]의 기법은 교차편파 분리도를 크게 저하시킨다.

본 논문에서는 참고문헌 [9]에서 제시된 기생소자 적용 기법의 교차편파 이득을 검증하고, 다양한 기생소자 배열 방법에 따른 60 GHz 2×4 패치 배열 안테나의 교차편파 분리도 성능과 널 억제 성능의 변화를 비교분석한다.

II. 시뮬레이션 및 측정 결과 분석

그림 1은 참고문헌 [9]에서 제안된 안테나 구조를 나타낸 것으로, 패턴 널 억제를 위한 기생 소자가 급전라인과 비대칭하게 수직으로 배열된 60 GHz 2×4 마이크로스트립 패치 배열 안테나의 형상을 나타낸다. 제안된 안테나는 Taconic TLY($\epsilon_r=2.2$, $\tan\delta=0.0009$, 두께=0.127 mm) 기판 2개가 적층된 3층 구조로, 아랫면은 접지면이고 중간면에는 마이크로스트립 선로, 패치 배열 안테나, $\lambda/4$ 임피던스 변환기가 위치한다. 윗면에는 직렬 급전 선로와 수직인 방향으로 놓인 4개의 기생 방사소자가 위치한다. 정사각형 패치의 한 변의 길이는 1.575 mm이며, 입력 포트는 총 4개이다. 안테나 배열 간격은 3.2 mm이다. 본 논문에서는 안테나 해석을 위해 Ansys사의 HFSS 시뮬레이션 툴을 사용하였다. 그림 2는 참고문헌 [9]에서 제안된 기생소자를 갖는 60 GHz 2×4 패치 배열 안테나의 기생소자 유무에 따른 동일편파(θ 성분)와 교차편파(ϕ 성분) 이

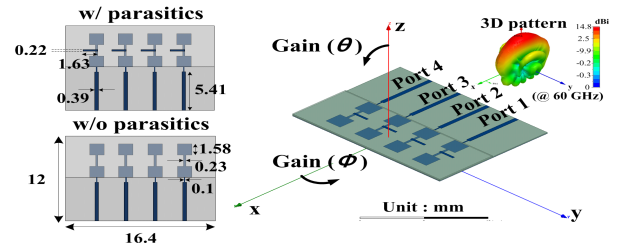


그림 1. 기생소자의 유무에 따른 60 GHz 패치 배열 안테나 구조 및 동일편파(θ 성분)와 교차편파(ϕ 성분) 이득 표현(기생소자가 급전라인과 비대칭하게 수직으로 놓여있는 경우)

Fig. 1. Configurations of the array antenna w/ and w/o parasitic elements and the definition for the θ - and ϕ -polarization gains(when the parasitic elements are placed asymmetrically and vertically to the feed line).

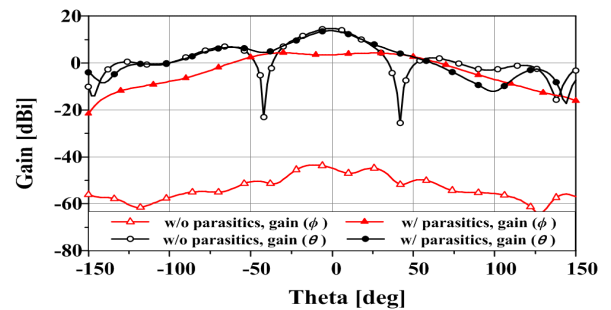


그림 2. 기생소자 유무에 따른 설계된 안테나의 동일 및 교차편파 이득에 대한 xz 평면 방사패턴

Fig. 2. Radiation pattern of the designed 60 GHz array antenna w/ and w/o parasitic elements.

득에 대한 xz 평면 방사패턴 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 기생소자가 없는 경우에는 θ 성분 이득이 $\pm 45^\circ$ 에서 -20 dBi 이하로, 방사패턴 상에 깊은 널이 형성된다. 기생소자가 배치된 경우에는 동일한 θ 각에서 θ 성분 이득이 +4 dBi이고, 방사패턴 상에서 θ 각 $\pm 100^\circ$ 내에 널이 형성되지 않음을 보인다. 반면, ϕ 성분 이득은 기생소자가 없을 때와 있을 때 θ 각 0° 에서 각각 -42 dBi와 2 dBi이며, 교차편파 분리도는 각각 58 dB와 12 dB이다. 즉, 참고문헌 [9]의 비대칭 기생소자 배치는 교차편파 분리도를 46 dB 만큼 저하시킨다. 그림 3은 기생소자 유무에 따라 설계된 배열 안테나에 대해 기생 소자와 평행한 yz 평면에서의 60 GHz 전계 분포를 나타낸 것이다. 기생소자가 없

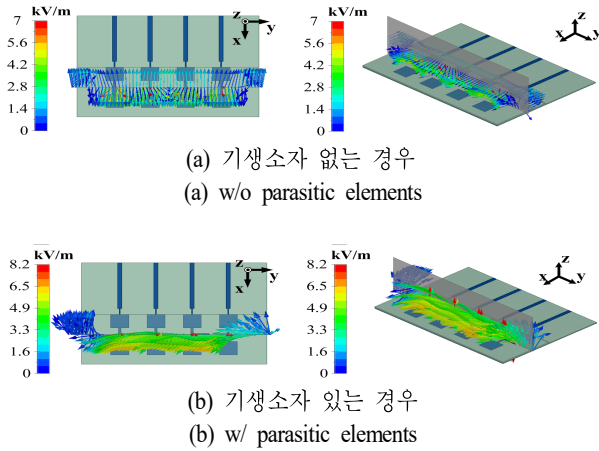


그림 3. 기생소자가 배치된 위치에서의 전기 벡터 분포 (@ 60 GHz)

Fig. 3. E-field vector distributions on the reference planes.

는 경우에는 그림 3(a)를 통해 전기의 ϕ 성분에 비해 θ 성분이 지배적인 것을 볼 수 있다. 기생소자가 있는 경우에는 그림 3(b)를 통해 전기의 ϕ 성분이 상당히 증가함을 볼 수 있다. 그림 4는 기생소자의 다양한 배치 형태와 그에 따른 60 GHz 2×4 마이크로스트립 패치 배열안테나의 xz 평면 이득 방사패턴의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 그림 4(a)는 기생소자가 직렬로 연결된 패치 소자들 사이에 위치한 선로들을 기준으로 좌우 대칭이면서 수직으로 배치된 구조에 대한 방사패턴 결과를 나타낸 것이며, 그림 4(b)와 그림 4(c)는 그림 4(a)의 구조에서 기생소자가 y 축을 기준으로 각각 45° 와 90° 회전된 구조에 대한 방사패턴 결과를 나타낸 것이다. 그림 4(a)의 경우, 안테나의 이득이 θ 각 $\pm 45^\circ$ 에서 각각 -9 dBi, -6 dBi로, 기생소자가 없는 경우와 비교하였을 때 16 dB의 널 억제성능을 갖는다. 마찬가지로, 그림 4(b)와 그림 4(c)의 경우에는 안테나의 전체 이득이 θ 각 $\pm 45^\circ$ 에서 각각 -6 dBi, -2 dBi와 -17 dBi, -5 dBi이며, 기생소자가 없는 경우와 비교하였을 때 각각 19 dB와 8 dB의 널 억제성능을 갖는다. 안테나의 ϕ 성분 이득은 그림 4(a)~그림 4(c)의 경우에 θ 각 0° 에서 각각 -35 dBi, -7 dBi, -37 dBi이다. 그림 5는 기생소자의 세 가지 배치 형태에 따른 배열 안테나의 반사계수 시뮬레이션 결과를 비교한 것으로, 기생소자가 y 축을 기준으로 90° 회전된 경우에는 임피던스 부정합이 발생한다. 그림 6은 기생소자의 대표적인 세 가지

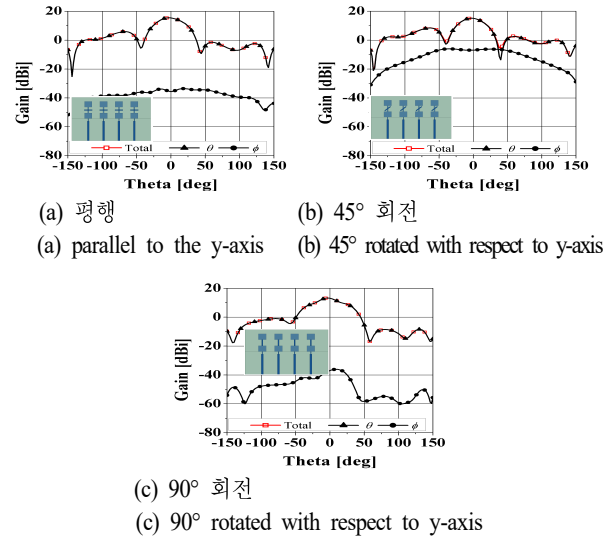


그림 4. 기생소자의 세 가지 배치 형태에 따른 배열 안테나의 형상과 xz 평면 이득 방사패턴(@ 60 GHz): y 축 기준으로

Fig. 4. Simulated radiation patterns of the designed arrays by different placements of the parasitic elements.

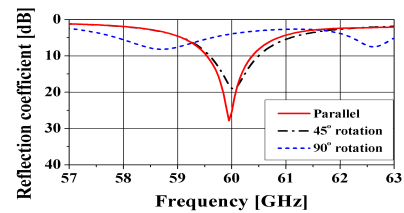


그림 5. 기생소자의 세 가지 배치 형태에 따른 배열 안테나의 반사계수

Fig. 5. Simulated reflection coefficients of the designed arrays with three different parasitic elements.

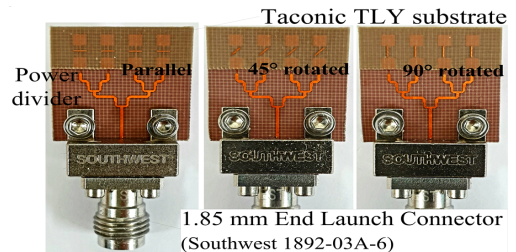


그림 6. 기생소자의 세 가지 배치 형태에 따른 배열 안테나의 제작된 실물 사진

Fig. 6. Photograph of the fabricated prototypes for the arrays with three different parasitic elements.

표 1. 기생소자의 배치 형태에 따른 설계된 60 GHz 패치 배열 안테나의 널 억제 성능과 교차편파 분리도 비교

Table 1. Comparison for null-filling levels and cross polarization isolations of the designed 60 GHz patch array antennas by several placements of the parasitic elements.

Arrangement configuration	Null-filling level [dB]		X-pol isolation [dB]	
	Sim.	Meas.	Sim.	Meas.
Ref. [9]	29	27.5	12	—
Fig. 4(a)	16	15.6	51	32.2
Fig. 4(b)	19	18	23	20.4
Fig. 4(c)	8	7	53	34.4

배치 형태에 따른 제작된 배열 안테나의 실물 사진을 나타낸 것이다. 급전을 위해 전력 분배기를 삽입하여 안테나 소자들과 연결된 각각의 급전선로들을 결합하였으며, V대역 커넥터를 장착하였다. 최종적으로, 참고문헌 [9]에서 제안된 구조와 본 논문에서 고려된 세 가지 서로 다른 기생소자 배치 형태에 따른 구조들에 대하여 교차편파 분리도와 널 억제 성능의 시뮬레이션 및 측정 결과를 정리하여 표 1에 기술하였다. 일부 교차편파 결과를 제외한 대부분의 결과에서 시뮬레이션 계산치와 측정치가 거의 일치함을 확인하였다. 참고문헌 [9]의 배치 형태는 다른 배치 형태들과 비교하였을 때 월등히 높은 널 억제성능을 가진다. 반면, 교차편파 분리도는 그림 4(a)와 그림 4(c)의 구조가 30 dB 이상의 높은 교차편파 분리도를 갖는 것을 확인하였다.

III. 결 론

본 논문에서는 참고문헌 [9]에서 제시된 기생소자 적용 기법의 교차편파 이득을 검증하고, 다양한 기생소자 배치방법에 따른 60 GHz 2×4 패치 배열 안테나의 교차편파 분리도 성능과 널 억제 성능의 변화를 비교분석하였다. 결과적으로, 일정 수준의 교차편파 분리도가 요구되는 시스템에서는 널 억제를 위해 참고문헌 [9]의 기생소자 배치방법을 적용하기에는 제약이 있으며, 성능 수준을 고려하여 기생소자를 적절히 배치시켜할 것으로 사료된다.

References

- [1] S. C. Bang, S. E. Hong, J. T. Song, I. K. Kim, A. S. Park, and M. S. Moon, et al., "5G mobile communication technology direction," *Information and Communications Magazine*, vol. 30, no. 12, pp. 25-36, Nov. 2013.
- [2] J. Zhang, X. Ge, Q. Li, M. Guizani, and Y. Zhang, "5G millimeter-wave antenna array: Design and challenges," *IEEE Wireless Communications*, vol. 24, no. 2, pp. 106-112, Apr. 2017.
- [3] C. Y. Cheng, J. P. Chen, H. L. Su, and K. H. Lin, "A wideband square-slot antenna array with superstrate and electromagnetic bandgap reflector for 60-GHz applications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, no. 9, pp. 4618-4625, Sep. 2017.
- [4] J. Bang, J. Choi, "A SAR reduced mm-Wave beam-steerable array antenna with dual-mode operation for fully metal-covered 5G cellular handsets," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 17, no. 6, pp. 1118-1122, Jun. 2018.
- [5] J. Bang, Y. Hong, and J. Choi, "MM-wave slot array antenna backed by AMC reflector for 5G smartwatch applications," in *12th European Conference on Antennas and Propagation(EuCAP 2018)*, London, Apr. 2018, pp. 1-4.
- [6] D. H. Shin, K. B. Kim, J. G. Kim, and S. O. Park, "Design of null-filling antenna for automotive radar using the genetic algorithm," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 13, pp. 738-741, Apr. 2014.
- [7] M. Yamamoto, H. Arai, Y. Ebine, and M. Nasuno, "Simple design of null-fill for linear array," in *2016 International Symposium on Antennas and Propagation(ISAP)*, Okinawa, 2016, pp. 410-411.
- [8] J. A. Rodriguez, F. Ares, "Synthesis of shaped beam antenna patterns with null-filling in the sidelobe region," *Electronics Letters*, vol. 33, no. 24, pp. 2004-2005, Nov. 1997.
- [9] Y. Hong, J. Choi, "60 GHz patch antenna array with parasitic elements for smart glasses," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 17, no. 7, pp. 1252-1256, Jul. 2018.