

6축 구조의 WiFi5/WiFi6 통신용 빔 방향탐색 및 빔포밍 시스템

조규남*, 윤원상**, 채상훈***

Beam Direction Finding and Beamforming System for WiFi5 /WiFi6 Communication with 6-Axes Structure

Kyu-Nam Jo*, Won-Sang Yoon**, and Sang-Hoon Chai***

본 연구는 2021년도 중소벤처기업부의 재원으로 산학연 Collabo 사업(S2909374)의 연구수행 결과임

요약

본 연구에서는 빔 방향탐색과 빔포밍을 동시에 하는 WiFi5 겸용 WiFi6 통신용 지향성 안테나 시스템을 구현하였다. 능동적인 WiFi6 신호의 빔 방향탐색과 빔포밍은 어레이 형태의 6개의 축을 갖는 지향성 안테나로 이루어진다. 가입자가 많이 존재하는 방향으로 전파를 더 많이 할당하기 위하여 수신부에는 빔 방향탐색 알고리즘을 사용하였으며, 송신부에는 RF 스위치에 의해 인접한 두 축 방향으로 인가되는 신호 전력을 On/Off로 제어하여 빔포밍하는 방법을 사용하였다. 제작된 6축 형태의 어레이 안테나 시스템을 통하여 실험해 본 결과 각 축은 6 ~ 8dBi의 최대 이득을 나타내었다. 또한 10° 이하의 해상도로 빔 방향탐색을 할 수 있었으며, 인접한 2축에 대하여 RF 신호를 0 또는 -45dBm로 각각 감쇠시킬 때 30°의 간격으로 360° 빔포밍이 가능한 것을 확인할 수 있었다.

Abstract

In this study, we implemented a directional antenna system for WiFi5 and WiFi6 communications with simultaneous beamforming and beam directional finding. The active beam directional finding and beamforming of WiFi6 signals consists of a directional antenna in the form of an array with six axes. In order to allocate more radio waves in the direction where there are many subscribers, a beam direction finding algorithm is used at the receiving end, and a beamforming method is used at the transmitting end by controlling the signal power applied in the direction of two adjacent axes by an RF switch. As a result of experimenting with the manufactured six axis array antenna system, each axis showed a maximum gain of 6 to 8dBi. In addition, beam direction search was possible with a resolution of 10° or less, and 360° beamforming was possible at intervals of 30° when RF signals were attenuated to 0 or -45dBm for two adjacent axes, respectively.

Keywords

antenna, beamforming, beam direction finding, WiFi6, communication, power detector, RF switch

* 호서대학교 전자공학과 석사과정

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7163-4471>

** 호서대학교 전자공학과 부교수

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1125-384X>

*** 호서대학교 전자융합공학 교수(교신저자)

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1189-8237>

· Received: Feb. 10, 2023, Revised: Mar. 20, 2023, Accepted: Mar. 23, 2023

· Corresponding Author: Sang-Hoon Chai

Division of Electronic Convergence Engineering, Hoseo University

20, Hoseo-ro 79 beon-gil, Baebang-eup, Asan-si, Chungnam-do, Korea

Tel.: +82-41-560-5665, Email: shchai@hoseo.edu

I. 서 론

휴대폰이나 WiFi 공유기 등 현재까지 주로 사용하는 무선통신 기기들은 다이폴(Dipole) 안테나를 사용하여 신호를 송수신한다. 다이폴 안테나는 지향 방향이 없으므로 일정 범위 내에 속해있는 이용자는 모두 접속할 수 있다. 그러나 전파 도달거리가 대체로 짧아서 장거리에 떨어져 있는 이용자는 불편함이 있고, 이용자의 수와 관계없이 항상 같은 양의 전파를 사용하므로 효율성에도 문제가 있다. 이를 해결하기 위해 모터를 사용하여 안테나의 방향을 변환하는 방법이 소개되고 있으나, 기능과 성능 대비 비싼 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 간단하고 효율적인 빔 방향탐색(Beam direction finding) 및 빔포밍(Beamforming) 안테나 시스템이 요구된다[1][2]. 따라서 이동통신에서는 효율적인 장거리 전파 송수신을 위하여 원하는 방향으로 빔을 보내고 받을 수 있는 어레이(Array) 안테나 등의 기술 확보가 꼭 필요하다[3][4].

본 연구에서는 어레이 안테나를 응용하여 무지향성 및 지향성을 동시에 갖는 WiFi5 겸용 WiFi6 안테나 시스템을 구현하고자 한다.

II. 이동통신용 빔포밍 기술

현대의 이동통신에서는 빔포밍은 매우 중요한 통신기술이다. 한 개의 안테나는 단순한 방사 패턴을 보이나, 복수의 안테나를 조합하면 빔포밍을 통하여 공간적으로 여러 가지의 전파 방사 패턴을 얻을 수 있다. 두 개 이상의 입출력 안테나의 빔포밍을 위하여 RF 신호 감쇠기(Attenuator), 위상변환기(Phase shifter), 스위치를 사용하는 기술이 다양하게 연구되고 있다. 그런데 감쇠기 및 위상변환기에 의한 방법은 송수신기의 고가의 부품 및 높은 집적도가 요구될 뿐만 아니라 구조의 단순화도 쉽지 않다[5]-[7]. 반면에 RF 스위치를 이용하면 송수신기의 구조가 단순해지므로 설계가 쉽고 경제적이다[4].

본 연구에서는 수신기 안테나의 다수 축을 통하여 수신되는 RF 전파의 세기를 각각 측정하여 사용자가 있는 방향을 탐색하고, 송신기의 안테나 각 축에 배치된 RF 스위치의 On/Off 제어를 통하여 사용

자 방향으로 빔포밍을 하는 구조가 간단하고 경제적인 지향성 안테나 시스템을 구현하고자 한다.

III. 빔포밍 시스템의 구성

3.1 빔포밍 안테나 구성

WiFi5 겸용 WiFi6 RF 안테나의 구현을 위하여 2.4GHz WiFi5에 사용하는 다이폴형 옴니(Omni) 안테나 1개와 5.8GHz WiFi6에 사용하기 위한 다이폴 안테나 6개를 조합한 어레이 형태의 다중 안테나를 구현하였다. 6개의 다이폴 안테나에서 인접한 안테나 두 축을 통하여 수신된 RF 전력 값을 비교 분석하면 360°에 걸쳐서 수신 빔의 방향을 탐색할 수 있다. 또한 다이폴 안테나마다 연결된 6개의 RF 스위치를 이용하여 각 축을 On/Off 제어함으로써 빔이 탐색된 방향으로 빔 패턴을 집중하기 위한 송신 신호 빔포밍의 구현이 가능하다.

그림 1은 본 연구에서 사용한 두 개의 밴드를 갖는 안테나의 3D 도면으로 수직 방향의 다이폴 안테나(P0)는 WiFi5용 무지향성 안테나이며, 수평 방향 6개의 다이폴 안테나(P1 ~ 6)는 WiFi6용으로 각각의 지향성 안테나는 서로 60° 간격으로 배치된다. 안테나는 유전율 4.4의 FR4 재질을 사용하였다.

서로 대칭인 두 축 간의 거리는 9.5cm이며, 각 다이폴 안테나는 5.15 ~ 5.925GHz의 주파수를 송수신할 수 있도록 식 (1)에 따라 그림 2와 같이 패턴 길이 L을 설계하였다.

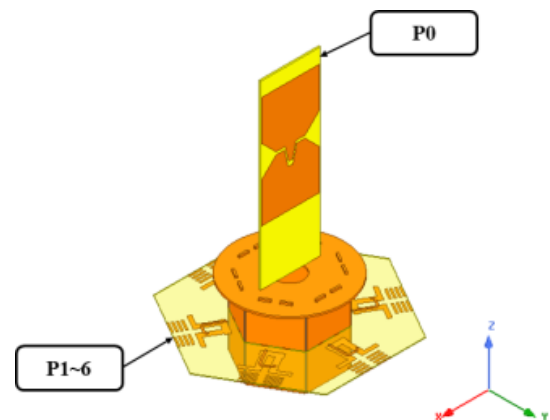


그림 1. WiFi5/WiFi6 이동통신용 안테나(3D)

Fig. 1. Antenna for WiFi5/WiFi6 mobile communication(3D)

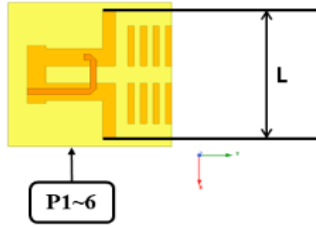


그림 2. WiFi6 이동통신용 안테나(2D)
Fig. 2. Antenna for WiFi6 mobile communication(2D)

$$L = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r}} - 2\Delta l \quad (1)$$

여기서 c 는 빛의 속도, f 는 전파의 주파수, ϵ_r 은 안테나 재질의 유전율이며, $2\Delta l$ 은 양쪽 가장자리에 의해 나타나는 프린지(Fringe) 효과를 포함한 것이다[2].

3.2 빔포밍 제어용 보드의 구성

그림 3은 WiFi6 안테나의 빔 방향탐색 및 빔포밍을 위한 시스템 구성도이다. 구현된 6축 어레이 안테나를 통하여 RF 신호가 유입되면 대역통과필터(Band pass filter)는 원하는 신호만 통과시키며, 저잡음 증폭기(Low noise amplifier)에 의해 신호를 증폭시킨다. 증폭된 RF 신호는 방향성 커플러(Directional coupler)를 거쳐 2:1 결합기(Combiner)와 RF 감지기(Detector)로 나누어져서 전송된다. 2:1 결합기로 전송된 RF 신호는 3:1 결합기를 거쳐 메인 시스템으로 전송되어 처리되며, RF 감지기로 전송된 6개의 신호는 ADC 변환을 거쳐 MCU로 유입된다. MCU

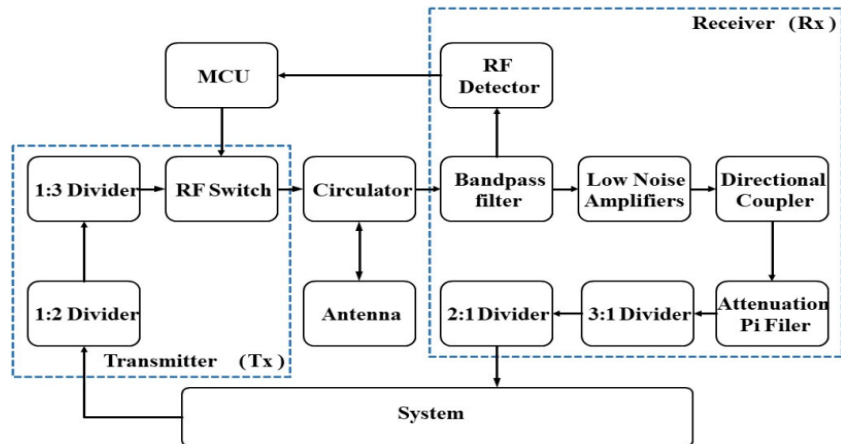


그림 3. WiFi6 안테나 시스템 구성도
Fig. 3. Block diagram of WiFi6 antenna system

에서는 준비된 알고리즘과 소프트웨어를 사용하여 6개의 신호에 대한 비교 및 연산을 수행하여 수신된 신호의 방향을 탐색하게 되며, 이를 기반으로 송신부에 있는 RF 스위치들을 제어하여 통신시스템에서 보내진 RF 송신 신호를 처리한다. 즉, 서로 인접한 축의 신호전력을 각각 On/Off 제어함으로써 빔 패턴을 변화시켜 빔포밍이 가능해진다.

IV. 제어 보드 제작과 측정 분석

4.1 WiFi6 빔포밍용 안테나 측정 결과

그림 4는 설계 제작된 수평 방향의 지향성 다이폴 안테나의 1축이 갖는 리턴 로스(Return loss)이며, 5.15GHz ~ 5.925GHz의 WiFi6 주파수 대역에서 -12 ~ -32dB의 양호한 값을 나타내고 있다.

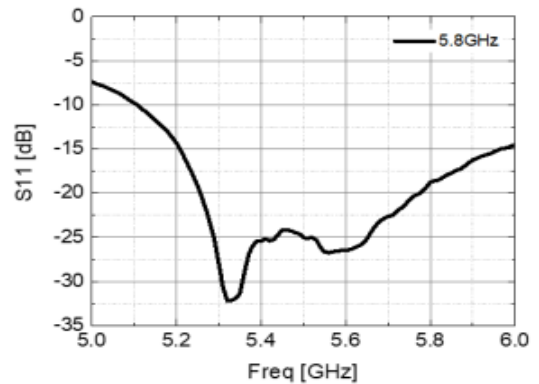


그림 4. 제작된 안테나의 P1 축 리턴 로스(S11)
Fig. 4. Return loss of fabricated antenna P1(S11)

그림 5는 P1 축 방향의 지향성 다이폴 안테나의 주파수에 따른 이득을 나타낸 그래프이다. 5.8GHz에서 전방 방사 4.57dBi, 후방 방사 0.31dBi으로 이득이 나타났다. 192 ~ 288° 사이에서의 시뮬레이션과 측정값의 차이는 측정 과정에서 이 방향에 안테나 시스템에 전력을 공급하거나 제어를 위한 선들이 배치되기 때문에 일어나는 현상으로 분석된다.

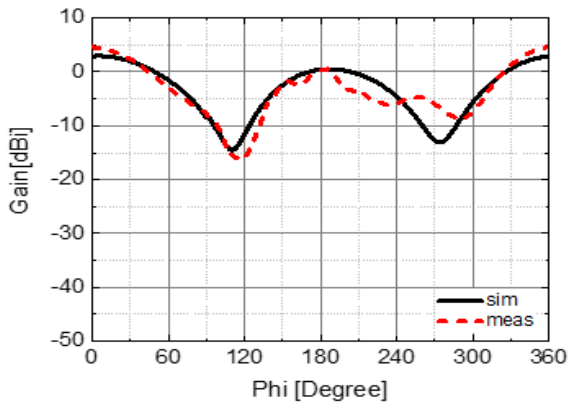


그림 5. 제작된 안테나의 P1 상대이득
Fig. 5. Normalized gain of fabricated antenna P1

그림 6은 설계 제작된 WiFi6용 다중 안테나의 평면도이며, 수직 방향으로는 무지향성 안테나(P0)가, 수평 방향으로는 지향성 안테나(P1 ~ P6) 6개가 60° 간격으로 배치된다. 각 다이폴 안테나의 뒤쪽에는 금속으로 된 반사판을 배치해 수신효율을 높였으며, 180° 반대 방향에서 오는 신호도 차단하였다[8].

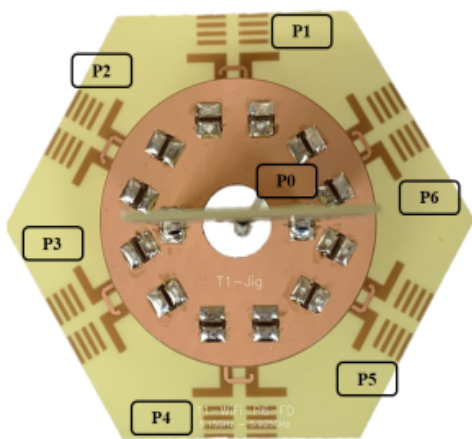


그림 6. 제작된 WiFi5/WiFi6 안테나
Fig. 6. Fabricated antenna for WiFi5/WiFi6 communication

4.2 빔 방향탐색 보드 제작 및 측정 분석

그림 7은 WiFi6 신호의 빔 방향탐색을 위한 수신부(Rx) 보드이다. 각 축으로 수신되는 신호는 매우 약하므로 5.8GHz의 대역폭에서 약 25dB 이상의 높은 이득을 갖는 LNA를 선택하였다. 수신부는 60° 간격으로 배치된 안테나에 수신된 신호가 RF 검출기(Analog Devices 사의 ADL5906)를 통하여 DC 값으로 변환되도록 설계하였다. 설계된 수신부 보드에 제작된 6축 어레이 안테나를 탑재하여 수신안테나를 구성한 다음 이동통신 가입자에 해당하는 송신안테나를 2.0m 떨어진 곳에 배치한 다음 수신안테나 주위를 같은 반경을 유지하면서 주위를 360° 회전할 때 수신안테나 각 축의 RF 전력감지기에서 감지되는 DC 전압을 측정하였다.

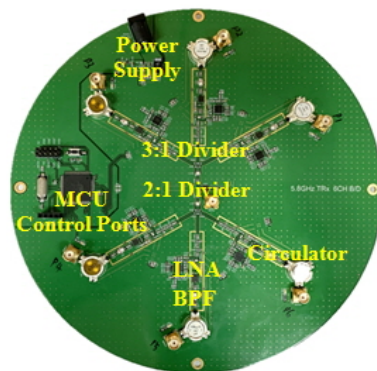


그림 7. 제작된 수신부(Rx) 보드
Fig. 7. Fabricated board for receiver(Rx)

표 1은 그 결과로써 P1 ~ P6 각 안테나로부터 유기되는 전압은 송신안테나와의 각도 차이가 0°로 일치할 때(P1: 0°, P2: 60°, P3: 120°, P4: 180°, P5: 240°, P6: 300°) 가장 최대치(밀줄 표시)로 나타났으며, 그 외에는 각도의 차이만큼 전압이 줄어들고 있음을 알 수 있다. 따라서 인접한 두 축씩을 비교하면 60° 내에서 10° 이하의 해상도로 수신 신호의 방향을 알 수 있고, 이를 전체 6축으로 확장하면 360° 범위에서 수신 신호의 방향을 알 수 있다. 안테나 각 축의 값이 차이가 있는 것은 PCB 상에서 안테나 간에 차폐 구조물이 없어서 전파간섭으로 인해 나타나는 현상으로 분석되며, 이를 개선하면 균일한 값을 얻을 수 있을 것으로 본다.

표 1. RF 감지기 측정 결과
Table 1. Result of RF detector measurement

Ant port Angle[°]	Voltage[V]					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
0	<u>0.51</u>	0.33	0.03	0.32	0.19	0.49
30	0.37	0.42	0.03	0.14	0.19	0.25
60	0.31	<u>0.43</u>	0.22	0.24	0.3	0.26
90	0.27	0.33	0.35	0.2	0.29	0.21
120	0.32	0.22	<u>0.39</u>	0.26	0.12	0.35
150	0.03	0.24	0.33	0.38	0.2	0.36
180	0.35	0.2	0.31	<u>0.48</u>	0.39	0.28
210	0.24	0.17	0.15	0.42	0.42	0.26
240	0.03	0.2	0.22	0.35	<u>0.49</u>	0.39
270	0.03	0.31	0.03	0.28	0.47	0.46
300	0.03	0.19	0.03	0.11	0.4	<u>0.56</u>
330	0.43	0.23	0.23	0.26	0.26	0.49

그림 8은 수신부에 적용된 빔 방향탐색 알고리즘으로 RF 감지기로부터 MCU에 입력된 신호를 사용하여 각 Port의 DC 값을 비교하며, 식 (2)를 이용하여 서로 인접한 Port의 합산 값 중에서 가장 큰 값만 역환산하여 RF 신호 전력비를 구한다[6].

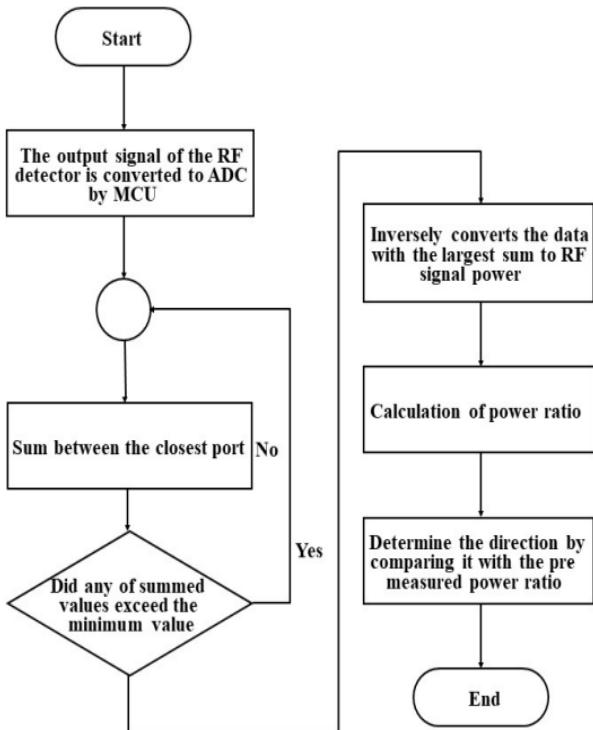


그림 8. 방향탐색 알고리즘
Fig. 8. Direction finding algorithm

$$R = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad (2)$$

측정 결과 전력비가 수신되는 방향마다 일정 범위 내로 계산되는 것이 확인되었으며, 이를 기반으로 전력비를 Lookup table로 알고리즘에 미리 반영해 둔 다음 이를 이용하여 방향을 탐색한다.

4.3 빔포밍 보드의 제작 및 측정 분석

그림 9는 빔포밍을 위한 송신부(Tx) 보드이며 그림 5의 수신부 보드 반대쪽 면에 배치된다. 1:2 분배기(Splitter)와 1:3 분배기(Splitter) 및 45dB의 격리도를 갖는 6개의 RF 스위치(Mini-Circuits HSWA2-63DR+)로 이루어진다. 수신부에서 탐색된 신호 방향으로 송신 신호를 송출하기 위하여 6개의 안테나에 배치된 스위치를 이용하여 RF 전력을 On/Off 제어하여 빔 패턴 형성과 빔 방향을 조절한다.

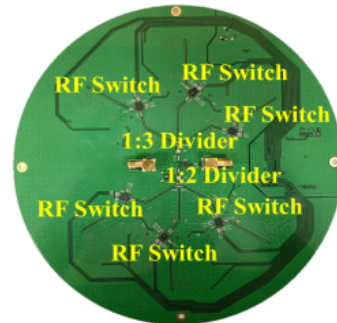


그림 9. 제작된 송신부(Tx) 보드
Fig. 9. Fabricated board for transmit(Tx)

그림 10은 RF 스위치를 이용하여 P1 측은 On, P2 측은 Off시켜 빔 방향을 P1 측 0° 방향으로 제어하였을 때의 결과이다. 안테나 최대 이득은 0°에서 6.01dBi이다.

그림 11은 P1 측과 P2 측을 모두 On시켜 빔 방향을 P1 측에서 +30° 방향으로 제어하였을 때 나타난 결과이다. 빔 방향을 0°로 제어한 그림 10에 비해 +30° 방향만큼 빔이 회전한 것을 확인할 수 있다. 이때 안테나 최대 이득은 7.89dBi이다.

그림 12는 P1 측은 Off, P2 측은 On시켜 빔 방향을 P1 측으로부터 +60° 방향으로 제어하였을 때 나타난 결과이다.

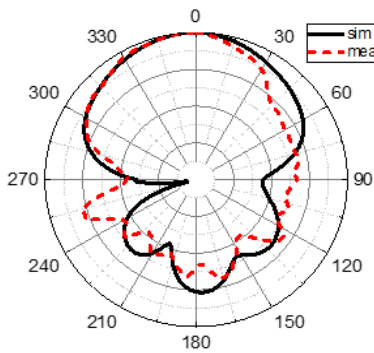


그림 10. 0° 빔 방향 제어
Fig. 10. 0° beam direction control

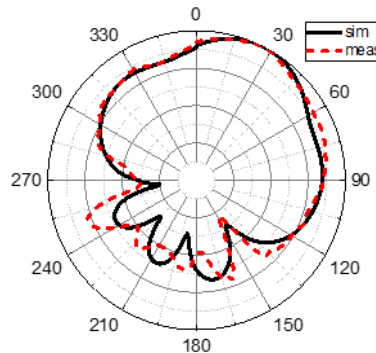


그림 11. 30° 빔 방향 제어
Fig. 11. 30° beam direction control

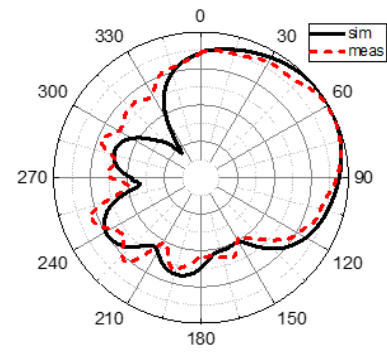


그림 12. 60° 빔 방향 제어
Fig. 12. 60° beam direction control

빔 방향을 0°로 제어한 그림 10에 비하여 +60° 방향만큼 빔이 회전한 것을 확인할 수 있다. 이때 안테나 최대 이득은 6.12dBi이다. 이 같은 방법으로 P1 ~ P6 축을 이웃 2개씩 제어하면 360° 전 방향으로 빔포밍을 할 수 있다. 본 연구에서는 P1 ~ P6 축을 On/Off 제어하여 360° 모든 방향으로 빔 방향 탐색과 30° 간격으로 빔포밍 방향제어가 가능하도록 설계하였으며, 시뮬레이션 및 측정 결과를 통하여 설계대로 나타나는 것을 확인하였다. 다만 이 방법은 RF 스위치를 통하여 On/Off 제어하기 때문에 빔포밍 해상력이 RF 감쇠기(Attenuator) 또는 위상변환기에 의한 방법에 비하여 떨어지는 단점이 있다. 따라서 RF 스위치 대신에 RF 감쇠기 또는 위상변환기를 사용하는 방법도 고려할 필요가 있다[8].

V. 결 론

WiFi5 및 WiFi6 이동통신용 빔 방향탐색 및 빔포밍 안테나 시스템을 구현하였다. 설계 제작된 안테나 시스템은 다이폴 형태의 1개의 축을 갖는 무지향성 안테나와 어레이 형태의 6개의 축을 갖는 지향성 안테나로 구성된다. 지향성 안테나에서는 서로 인접한 축으로부터 수신되는 빔의 전력을 감지하여 방향을 탐색하며, 역시 서로 인접한 축에 설치된 RF 스위치를 이용하여 신호 전력을 On/Off 제어하여 빔의 송신 방향을 제어한다. 6축 어레이 형태의 안테나 시스템을 제작하여 측정해 본 결과 360° 방향으로 빔 방향탐색이 가능하였으며, 역시 360° 방향으로 30° 간격으로 빔포밍도 가능함을 확인하

였다. 앞으로는 알고리즘을 더 개선하여 빔 방향 탐색을 하고, RF 스위치 대신에 감쇠기 또는 위상변환기를 사용하여 빔포밍을 구현하여 안테나의 성능을 최적화할 계획이다.

Acknowledgment

본 연구를 위하여 도움을 주신 IDEC와 (주)블루웨이브텔에 진심으로 감사드립니다.

References

- [1] I. K. Choi, C. I. Yae, Y. S. Song, S. J. Lee, and D. S. Kwon, "Trend of multiple transmit and receive antenna transmission technology for mobile communication", ETRI, Electronic Communication Trend Analysis, Vol. 21, No. 3, pp. 46-58, Nov. 2007. <https://doi.org/10.1049/ic.2007.1522>.
- [2] C. H. Moon, T. H. Lee, and S. H. Chai, "A Study on beamforming of 5G antenna using 4 pole array structure", JKIIIT, Vol. 18, No. 3, pp. 89-95. Mar. 2020. <http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2020.18.3.89>.
- [3] K. H. Jeon, H. Bing, K. H. Jang, H. S. Park, and Y. O. Park, "Beyond 4G technology trends; polarized antenna technology", The Magazine of IEIE, Vol. 39, No. 3, pp. 200-207, Mar. 2012.
- [4] J. Lee, J. Lee, J. Lyu, S. Kum, and S. Hong, "All digital beamforming technology for B5G

mobile communication", IITP, Weekly Technology Trend, No. 1847, pp. 2-15, May 2018.

- [5] N. H. Noordin and Z. Khalidin, "Beamforming algorithms for adaptive array antenna", 2014 2nd International Conference on Electronic Design, Penang, Malaysia, pp. 5-9, Aug. 2014. <https://doi.org/10.1109/ICED.2014.7015761>.
- [6] B. J. Chang, "Direction Finding Technology; Tutorial, Review, and Research Projects", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 30, No. 8, pp. 607-617, Aug. 2019. <http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2019.30.8.607>.
- [7] O. Manu, M. Dimian, and A. Graur, "Analysis of beamforming in phased antenna arrays", Proceedings of the 10th International Conference on Development and Application Systems, Suceava, Romania, pp. 294-298, May 2010.
- [8] K. N. Jo, W. S. Yoon, and S. H. Chai, "Beam Direction Finding and Beamforming System for 4G and 5G Mobile Communication using 4-Axes Structure", JKIIIT, Vol. 21, No. 10, pp. 89-95, Oct. 2022. <https://doi.org/10.14801/jkiit.2022.20.8.61>.

저자소개

조 규 남 (Kyu-Nam Jo)



2022년 2월 : 호서대학교
전자디스플레이공학부(공학사)
2023년 2월 : 호서대학교
전자융합공학부(공학석사)
관심분야 : 5G/WiFi6 안테나, RF
전력제한기, LED 조명시스템

윤 원 상 (Won-Sang Yoon)



1997년 2월 : 고려대 전파공학과
(공학사)
1999년 2월 : 고려대 대학원
통신시스템공학과(공학석사)
2010년 8월 : 고려대 대학원
컴퓨터·전파통신공학과(공학박사)
1999년 3월 ~ 2015년 8월 :
한화탈레스(現 한화시스템) 통신연구소 수석연구원
2015년 9월 ~ 현재 : 호서대학교 전자공학과 부교수
관심분야 : RF/Microwave transceivers, Reconfigurable
antenna systems, Wireless sensor systems,
RF/Microwave components

채 상 훈 (Sang-Hoon Chai)



1981년 2월 : 경북대학교
전자공학과(공학사)
1983년 2월 : 부산대학교
전자공학과(공학석사)
1992년 2월 : 부산대학교
전자공학과(공학박사)
1983년 3월 ~ 1997년 8월 :
한국전자통신연구원 반도체연구단 책임연구원
2004년 9월 ~ 2006년 8월 : University of Florida
연구교수
1997년 9월 ~ 현재 : 호서대학교 전자공학과 교수
관심분야 : RF 아날로그 ASIC 설계, RF 전력제한기,
5G/WiFi6 안테나 시스템, 태양전지, LED 조명시스템