

다중대역 FSK 변조를 지원하는 반아타배열 안테나 연구

정영배, 오명준*, 주경덕, 김용명, 임문철, 장갑석**, 김용선**,
국립한밭대학교 *성균관대학교, **한국전자통신연구원

*ybjung@hanbat.ac.kr, **{kschang,doori}@etri.re.kr

A Study on a Van Atta Array Antenna Supporting Multi-Band FSK Modulation

Y.-B. Jung, M.-J. Oh*, G.-D. Ju, M.-C. Lim, Y.-M. Kim, K. Chang** and Y. Kim**
Hanbat National Univ., *Sungkyunkwan Univ., **Electronics and Telecommunications Research Institute

요약

본 논문은 24GHz 대역 반아타배열(Van-Atta Array) 안테나에 주파수변이변조(FSK) 기능과 함께 백스캐터링(backscattering) 기능을 구현한 무선 태그 시스템의 설계 및 구현에 대해 기술한다. MCU(Micro Control Unit) 제어 회로를 활용하여 세 가지 주파수(1938 Hz, 1945 Hz, 2917 Hz)를 선택적으로 지원하며, 새로운 반아타 배열 안테나 구조는 전송선로를 기판 양면에 분산 배치하여 전송 손실을 기존 11.3 dB에서 2.68 dB로 대폭 감소시켰고, 90° 하이브리드 브랜치라인 커플러(Branchline coupler)와 PIN 다이오드를 결합한 180° 위상 제어기를 통해 저비용·저전력 FSK 변조를 수행해 백스캐터링하는 시스템을 구현하였다.

I. 서 론

차세대 mmWave 통신 및 레이다 시스템에서는 단말에 탑재된 반아타배열(Van-Atta Array, VAA) 안테나와 FSK(Frequency Shift Keying)가 임베디드된 백스캐터링(backscattering) 모듈로 구성되는 태그를 이용하여 기지국 측 레이더와 단말 간 초정밀·초절전 센싱(절대동기 포함)을 실현하는 연구가 진행되고 있다[1]-[5]. VAA 안테나는 입사한 전자파를 원래 온 방향으로 재귀반사하는 특성이 있으며 별도의 위상제어 없이 간단한 수동소자로 구현되므로 기지국 레이더와 태그 간의 비가시거리 링크를 최소화해 센싱 정확도를 높이게 할 수 있다. 그러나, 이러한 수동 태그의 표면에 반사되어 기지국을 돌아오는 클러터 노이즈(clutter noise)를 회피하기 위해 능동적인 FSK 변조되어 백스캐터링되는 태그가 요구된다. 이러한 요구사항을 만족하는 FSK 변조 방법으로, PIN 다이오드 등의 스위치를 활용한 RF 후방산란 방법이 연구되고 있다. 본 연구에서는 24 GHz 대역의 VAA를 구현하는 태그에 대하여 소형 MCU 기반 회로로 PIN 다이오드 바이어스를 제어함으로써 FSK 되어 입사되는 방향으로 백스캐터링되는 태그를 구현한다.

II. 삼중대역 FSK 변조-VAA 안테나

그림. 1은 제안된 Van-Atta 태그용 3중 대역 FSK 변조제어 회로의 블록 다이어그램을 보여준다. 전원부인 배터리로부터 공급된 전원은 레귤레이터를 통하여 수정발진기(VCXO)와 마이크로프로세서(MCU)에 공급되고, VCXO로부터 발생된 주파수($f_1 = 1938 \text{ Hz}$)를 직접 출력하거나,

신호를 MCU 옛서 입력받아, MCU 내부의 클록을 통하여 두 개의 주파수($f_2 = 1945\text{Hz}$, $f_3 = 2917\text{Hz}$)를 추가적으로 생성하도록 설계하였다.

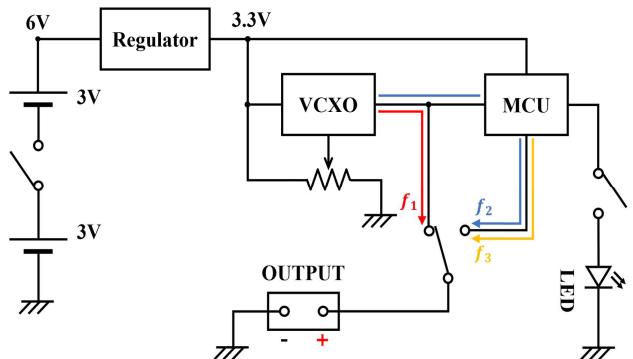


그림. 1 삼중대역 FSK 변조회로

특정 주파수를 가지는 FSK 변조회로의 출력전압은 VAA 안테나를 구성하는 위상제어 회로의 PIN 다이오드로 인가하며, PIN 다이오드가 연결된 VAA 안테나 소자로 수신된 고주파 신호와 합성되어 백스캐터링된다.

VAA 안테나의 구조 설계에서는 전송선로에 의한 전파 손실 최소화에 중점을 두었다. 기존의 평면 VAA 구현에서는 모든 페이즈 연동 전송선로를 하나의 면에 배치하였고, 교차하는 선로들 간에 강한 커플링이 발생하여 최대 -11.3 dB의 높은 삽입손실이 나타났다. 반면, 본 연구에서는 일부 전송선로를 기판 후면으로 배치하는 양면 전송선로 구조를 채택함으로써 이러한 손실을 -2.68 dB 수준까지 크게 저감하였다. 전송선로 손실이 약 8.62 dB 줄어듦에 따라 안테나 배열의 전체 방사

효율이 향상되었고, 전송선로별 손실 편차도 감소하여 방사 패턴 열화가 완화되었다. 그 결과 태그 안테나의 레이더 단면적(Radar Cross-Section)과 전방위 반사 특성이 향상되어, 동일한 입력전력에서 더 강한 backscattering(후방산란) 신호를 확보할 수 있게 된다.

안테나 배열의 각 페어(pair)에 대해서는 브랜치라인 하이브리드 커플러 기반의 180° 위상 변조회로가 구성된다. 90° 하이브리드 coupler의 두 출력 포트에 PIN 다이오드로 구성된 반사회로(반사부하)를 접속하여, PIN 다이오드의 온/오프 상태에 따라 반사되는 신호의 위상을 180° 전환시킨다. PIN 다이오드가 오프(OFF)될 경우 반사부하의 임피던스가 무한대로 되어 해당 포트들은 개방(open) 상태로 신호를 백스캐터링하고, 온(ON)될 경우에는 포트가 0에 가까운 임피던스로 접지에 연결되어 180° 위상 반전된 신호를 백스캐터링한다. 이처럼 PIN 다이오드의 스위칭을 통해 빠른 위상 반전이 가능하므로, 입력 신호에 대한 반사파의 위상을 시간적으로 FSK의 주파수변이값(i.e., f1, f2, f3)에 비례해 교차 전환함으로써 효과적으로 FSK 신호를 생성할 수 있다. 즉, PIN 다이오드를 높은 속도로 온/오프 제어하면 반사파에 두 개의 상이한 주파수 성분이 나타나게 하는 FSK 기능과 VAA 기능을 통해 태그가 기지국으로 비가시거리를 최소화해 원하는 센싱 신호를 클러트 노이즈를 회피해 백스캐터링할 수 있다.

III. 결 론

제작된 24GHz 반아타 안테나 시제품에 FSK 변조회로를 연결하여 주파수 변조 성능을 실험적으로 검증하였다. 생성된 주파수는 최대 $1\sim2\text{Hz}$ 편이 오차를 갖는다. 이러한 결과는 PIN 다이오드 스위칭을 통한 반사파 주파수 편이 변조가 기대대로 구현되었음을 보여준다. 또한 전송선로 구조 개선으로 안테나 반사 효율이 향상되어, 동일 거리에서 기존 대비 더 강한 반사 신호를 수신할 수 있음을 확인하였다.

이상의 설계를 통해 제안한 태그 시스템은 mmWave 레이더와 연동한 저전력 후방산란 통신 및 센싱 분야에서 활용 가능성을 입증하였으며, 향후 고속 데이터 전송이나 다중 비트 정보 전송을 위해 FSK 대역폭을 확대하는 연구가 진행될 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2018-II180218, 초고주파 이동통신 무선백홀 전문연구실)

참 고 문 현

- [1] D. Bharadia, K. R. Joshi, M. Kotaru, and S. Katti. 2015. BackFi: High Throughput WiFi Backscatter. SIGCOMM Comput. Commun. Rev. 45, 4 (October 2015), 283–296.
- [2] Y. Ma, N. Selby, and F. Adib, "Minding the Billions: Ultra-Wideband Localization for Deployed RFID Tags," ACM MobiCom 2017, pp. 248–260.
- [3] 장갑석, 김용선, 조원철, 고영조, 김일규, "6G 초정밀-초절전 센싱 시스템 기술에 관한 연구," KICS 하계통신학술대회, June, 2024.
- [4] 장갑석, 김용선, 조원철, 김경표, 김근영, 고영조, 김일규, "6G 초정밀 초절전 센싱 시스템기술에 관한 개념검증," JCCI2025, April, 2025.
- [5] 장갑석, 김용선, 조원철, 윤찬호, 김경표, 김근영, 고영조, 김일규, "초정밀 초절전 센싱을 위한 통신센싱 통합시스템 검증," KICS 하계통신학술대회, June, 2025.