

GPR 송수신 안테나 간의 직접 커플링 감소를 위한 안테나 배치 기법

°권준홍, 김강욱

광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부
junhong0708@gm.gist.ac.kr; mkkim@gist.ac.kr

I. 서론

최근 광주과학기술원 마이크로웨이브 센싱 및 이미징 연구실에서는 linear frequency modulation (LFM) 기반 크레바스 탐지용 지표투과레이더 (GPR; ground-penetrating radar) 시스템을 개발하였다. 해당 시스템은 한 쌍의 antipodal Vivaldi antenna를 송수신 안테나로 사용하며, air-launched 방식을 사용한다. 최근 남극 장보고 기지 인근의 Browning Pass에서 snow profiling을 성공적으로 수행한 바 있다.

해당 연구는 최종적으로는 다중 배열 GPR 시스템을 목표로 한다. 그런데, 개발된 LFM 레이더 시스템은 안테나 간의 직접 커플링으로 인해 동적 범위의 제한이 크다. 직접 커플링은 송수신 안테나 간의 거리를 증가시킴으로써 극복할 수 있다. 그러나, 다중 배열을 위해서는 다수의 송수신 안테나를 주어진 공간에 배치해야 한다. 따라서, 송수신 안테나를, 가까우면서도 커플링이 작게 배치하는 방법을 개발해야 한다.

II. 본론

그림 1은 0.8 mm 두께의 FR-4 기판($\epsilon_r=4.4$)에 구현된 안테나 방사체와 발룬이 결합된 구조를 보인다. 해당 안테나는 기판 양면에 금속이 프린팅된 형태이다[1].

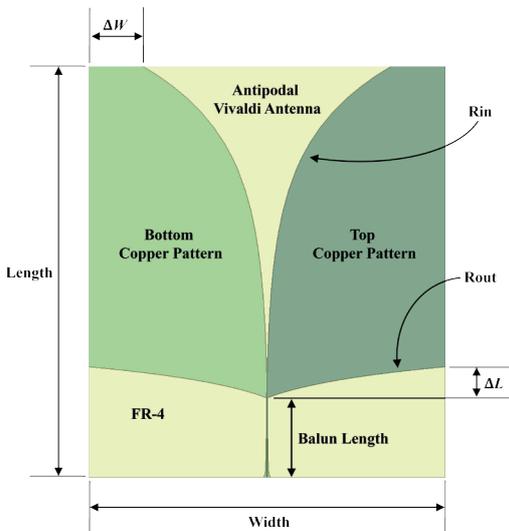


그림 1. 송수신 안테나의 구조

Ansoft사의 HFSS 소프트웨어를 통해 최적화한 결과, Width = 400 mm, Length = 375 mm, $\Delta W = 60$ mm, $\Delta L = 35$ mm, Rin = 0.012, Rout = 0.04의 값을 가진다[2]. 발룬은 50Ω의 마이크로스트립 라인에서 100Ω의 parallel strip line으로 트랜지션되는 exponential tapered 구조이다[3]. 발룬의 길이는 90 mm이며, 따라서 발룬을 포함한 안테나의 전체적인 크기는 $400 \times 465 \times 0.8$ mm³이다. 안테나 반사계수와 이득은 그림 2의 빨간색 선과 파란색 선으로 각각 나타내었으며, 0.5 - 2 GHz 동작 대역 내에서 각각 -10 dB 이하, 4.7 dB 이상의 값을 가짐을 볼 수 있다.

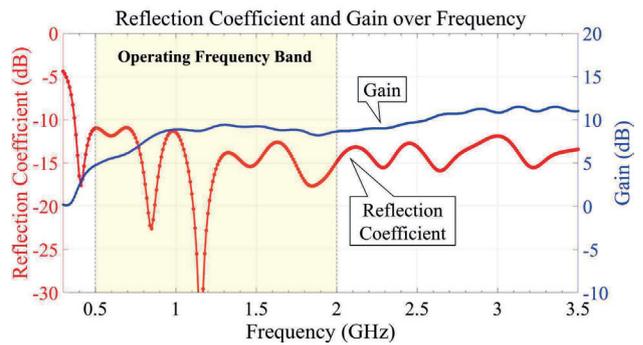


그림 2. 발룬과 결합된 안테나의 성능

본 논문에서는 안테나를 수직 및 수평 방향으로 이격하여 배치함으로써 송수신 안테나가 가까우면서도 커플링이 작게 배치하는 방법을 제안한다. 그림 3과 같이 송수신 안테나 간 수평 거리를 dx , 수직 거리를 dz 만큼 이격시킨다. 직접 커플링의 대포갠으로써, 작동 대역 내 S21의 최댓값을 조사하였다. 그림 4는 dx 와 dz 에 따른 커플링을 10 dB 스케일의 등고선 그래프로 나타낸 것이다.

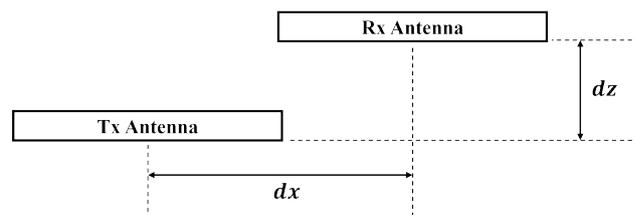


그림 3. 제안하는 송수신 안테나의 배치 방법

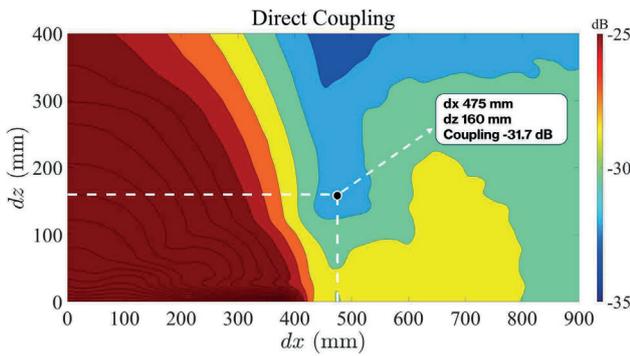


그림 4. 직접 커플링 그래프

조사된 범위 내에서, $dx = 500$ mm, $dz = 400$ mm의 경우에 커플링이 -33.8 dB로 가장 낮은 커플링 값을 가진다. 그러나, 이 경우 다중 배열 GPR 시스템에 적용 시 최저 주파수인 0.5 GHz에서 그레이팅 로브가 발생할 수 있다. 따라서, 그레이팅 로브를 피할 수 있는 범위 내인 $dx = 475$ mm, $dz = 160$ mm의 경우에 커플링이 -31.7 dB로 가장 낮으므로 최적 배치임을 알 수 있다. 이는 일반적으로 사용되는 수직, 수평 평면상 배치, $dx = 0$ mm, $dz = 160$ mm의 경우에 비해서 16 dB 이상 낮고, $dx = 475$ mm, $dz = 0$ mm의 비해서도 2.9 dB 이상 낮다는 것을 알 수 있다. 수직, 수평 평면상 배치 방식으로 -31.7 dB 커플링을 달성하기 위해서는, $dz = 0$ mm일 경우, $dx = 1275$ mm 이상일 경우부터 가능하며, $dx = 0$ mm일 경우 $dz = 600$ mm 이상일 경우부터 가능하다. 따라서, 제안하는 기법을 통해 동적 범위의 개선이 가능하며, 향후 다중 배열 GPR 시스템 개발 시 고밀도 안테나 배열에 응용할 수 있다.

그림 5는 최적 배치, $dx = 475$ mm, $dz = 160$ mm의 경우와 동일 평면상 배치, $dx = 0$ mm, $dz = 160$ mm의 경우에 얻어지는 시영역 수신 파형 그래프이다. 안테나 피드를 기준으로 2 m 지점에 타겟으로 PEC plane을 배치하였으며, $0.5 - 2$ GHz 대역을 사용하는 파형이 입력 펄스일 때의 수신 파형을 나타낸다.

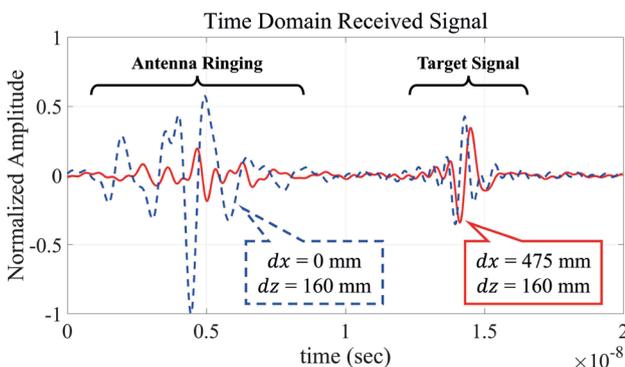


그림 5. 시영역 수신 신호 그래프

시영역 수신 파형 그래프를 이용해, 두 시점에 주목할 만한 데이터를 찾을 수 있다. 약 1 ns 시점부터 10 ns 시점 이전에 얻어지는 직접 커플링에 의한 파형과, 10 ns 이후에 얻어지는 타겟에 의한 반사 신호 파형이다. 각 배치에 따른 타겟 반사 신호 파형은 유사한 양상을 갖는 반면, 직접 커플링에 의한 파형은 큰 진폭 차이를 보인다. 최적 배치의 경우, 진폭의 최댓값을 기준으로 동일 평면 배치에 비해 80.5% 감소한 크기를 볼 수 있다. 따라서, 최적 안테나 배치는 시영역 수신 파형에서도 우수한 성능을 가진다.

III. 결론

본 논문에서는 안테나를 어긋나게 배치하는 기법을 통하여 직접 커플링 감소 방법을 제안한다. dx 는 0 mm ~ 900 mm, dz 는 0 mm ~ 400 mm 범위를 조사한 결과, $dx = 475$ mm, $dz = 160$ mm에서 가장 작은 직접 커플링값을 얻었다. 해당 배치 방법을 통해, 직접 커플링을 감소시킴으로써 GPR 시스템의 동적 범위를 확보할 수 있을 것이다. 또한, 추후 다중 배열 안테나를 사용한 지표투과레이더 시스템에서, 주어진 공간에 더욱 많은 배열 안테나 소자를 집적할 수 있을 것으로 보인다.

ACKNOWLEDGMENTS

이 연구는 해양수산부의 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행되었습니다. (과제번호: KIMST-20210629)

참고문헌

- [1] E. Gazit, "Improved design of the Vivaldi antenna," *IEE Proceedings H (Microwaves, Antennas and Propagation)*, Vol. 135, No. 2, pp. 89-92, 1988.
- [2] J. Shin and D. H. Schaubert, "A parameter study of stripline-fed Vivaldi notch-antenna arrays," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 47, No. 5, pp. 879-886, 1999.
- [3] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 4th ed., John Wiley & Sons, 2011.



2024년 한국전자파학회 동계종합학술대회

2024. 2. 14(수) ~ 2. 17(토)
ICC JEJU (제주국제컨벤션센터)



<https://conf.kiees.or.kr>

주 최 KIEES 사단 법인 한국전자파학회

후 원 제주컨벤션뷰로

협 찬 에이티엠아이앤씨

대영유비텍, 안리쓰코퍼레이션, 엘아이지닉스원, 롯데렌탈, 한화시스템

LPKF Korea, RFHIC, 벨루션네트웍스, 브로드, 스마트레이더시스템, 와이테크, 이랑텍, 이스트포토닉스, 케이엠더블유, 코모텍, 한솔테크닉스, 화합물반도체센터

담스테크, 로데슈바르즈코리아, 모아소프트, 볼스아이, 수산이앤에스, 에이치시티, 올포랜드, 태진티엔에스, 피플아이, 하이게인안테나, 성균관대학교 아날로그/RF회로및시스템연구센터, 한국전자기술연구원

RF머트리얼즈, RF코어, 나인플러스IT, 넥스웨이브, 두산전자, 브이이엔지, 성산전자통신, 성원포밍, 씨앤지마이크로웨이브, 아이넥스스, 아이스팩, 알티테크, 이너트론, 차세대 전자파 융합 시스템 소프트웨어 연구센터, 티씨엔, 한국전자진흥협회, 한국전자진흥협회 전자파기술원

KIEES 사단 법인 한국전자파학회

구두 발표

안테나 이론 및 기술 III

2/15(목), 16:40~18:40, 402B(ICC 4층)

좌장 : 김강욱 교수(광주과학기술원)

구두 발표 K-III	시간	논문 제목	모든 저자(소속)
K-III-1	16:40~16:55	Pioneering a New Class of Cross-Polarization Mitigation to Establish Canonical Arrangement: Examining Current Imbalance Perspectives in Patch Antennas from Elements to Arrays	윤태영°, 이상훈, 김민제, 오정석 (서울대학교)
K-III-2	16:55~17:10	GPR 송수신 안테나 간의 직접 커플링 감소를 위한 안테나 배치 기법	권준홍°, 김강욱(광주과학기술원)
K-III-3	17:10~17:25	지능형 반사표면(IRS)을 통한 다양한 환경에서 통신 품질 개선	김수정°, 김예원, 박승근*, 권혜연*, 문정익*, 김동호(세종대학교, 한국전자통신연구원*)
K-III-4	17:25~17:40	Liquid Crystal-Based Reconfigurable Intelligent Surface for Sub-THz 6G Communications With Simultaneous and Dual Polarization Convertibility	문병주°, 방승우, 오정석(서울대학교)
K-III-5	17:40~17:55	광학기반 수치해석을 통한 기울어진 광각 빔 차량용 레이더 도로 시뮬레이션	강윤수°(에이치엘클레무브)
K-III-6	17:55~18:10	기계적 복잡성을 낮추기 위해 subdivision 개수를 최소화한 위성용 전개형 메쉬 리플렉터 안테나 설계	임창현°, 엄성식*, 박슬기*, 김기훈*, 박성균*, 추호성(홍익대학교, 한화시스템*)
K-III-7	18:10~18:25	주파수 대역 선택을 위한 세그먼트형 저항성 V-dipole 설계	최재욱°, 김강욱(광주과학기술원)
K-III-8	18:25~18:40	광역 재난환경 인명탐지 레이더를 위한 이중 편파 렌즈 배열 안테나	김정욱°, 이자열, 김형주, 박경환 (한국전자통신연구원)