

UAV 통신에서 안테나 다이버시티 방법을 활용한 교차편파 간섭 제거 시스템

홍석진¹, 윤웅중¹, 이종수², 정의림^{1*}

¹국립한밭대학교, ²(주)코메스타

lf2net89@gmail.com, dndwhddl@naver.com, jslee@comesta.com, *erjeong@hanbat.ac.kr

Cross-Polarization Interference Canceller System Using Antenna Diversity Method in UAV Communication

Hong Seok Jin¹, Yun Woong Jong¹, Jong Su Lee², Jeong Eui Rim^{1*}

¹Hanbat National University, ²Comesta Inc.

요약

본 논문은 교차편파 간섭 제거(Cross Polarization Interference Canceller, XPIC) 기술을 통해 무인기(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)와의 데이터 링크 구축 시 통신 안정성을 높일 수 있는 안테나 다이버시티 방법을 제안한다. 고정된 안테나의 사용을 가정하는 일반적인 XPIC를 이동 중인 무인기와의 통신에 사용하면 송수신 안테나 사이의 각도 편차로 인해 간섭 제거가 불가능한 상황이 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 45° 각도 차이를 갖는 2개의 교차편파 안테나를 지상국에 설치하여 통신 두절을 해결하는 방법을 제안한다. 모의실험 결과 제안하는 안테나 다이버시티 방법을 활용하여 XPIC 방식을 사용할 경우 한 개의 안테나로 통신이 불가능한 상황에서도 안정적인 통신이 가능하다.

I. 서론

교차편파 간섭 제거(Cross Polarization Interference Canceller, XPIC) 기술은 데이터 링크의 용량과 스펙트럼 효율성을 높이기 위해 사용된다. 해당 기술을 사용하면 통신 경로 상의 수직 편파와 수평 편파에 모두 같은 주파수를 할당한다. 수신기 측에서 수신한 두 가지의 편파 신호를 잘 분리한다면 통신 용량을 두 배로 늘릴 수 있다. XPIC는 고정 송수신 안테나를 사용하는 환경에서 대용량 데이터 링크에 사용되어 왔다.[1] 일반적으로 XPIC는 수신한 신호의 파일럿으로 채널 행렬(H)을 추정하여 간섭 제거 행렬(W)을 계산한다. 교차편파 안테나를 고정하여 사용하는 경우, 송수신 안테나의 방향 및 각도가 고정되기 때문에 문제가 발생하지 않는다. 그러나 저궤도 위성이나 무인기(Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 등과의 통신에도 XPIC를 사용하는 경우 문제가 발생한다. [2] 이 경우 지상국이 이동할 수 있고 공중 노드도 이동하기 때문이다. 이러한 이동환경에서는 교차편파 송수신 안테나 간 빔 방향은 정확히 맞춘다고 하더라도, 송수신 안테나 간 각도에 편차가 발생할 수 있다. 특히, 이 편차가 45° 라면 채널 행렬(H)의 랭크가 1이 되어 역행렬을 계산할 수 없고 XPIC가 불가능한 문제가 발생한다. 따라서 UAV 환경과 같이 이동환경에서도 교차편파 안테나를 사용하여 통신용량을 늘리고 싶다면 이러한 문제를 해결할 수 있는 새로운 안테나 및 XPIC 기술이 필요하다.

본 논문에서는 안테나 다이버시티 기법을 활용한 UAV 환경에서의 XPIC 기술을 제안한다. XPIC가 불가능한 상황을 방지하기 위해 그림 1과 같이 지상국에 45°의 각도 차이를 가지는 2개의 교차편파 안테나를 설치한다. 수신한 신호를 바탕으로 지상 기지국은 각 안테나의 채널 행렬(H)을 추정된 뒤, 행렬식 절댓값을 계산하고 이 값이 더 큰 안테나를 선택하여 수신한다. 행렬식이 0에 가까울수록 랭크가 1에 가까워지기 때문이다. 모의실험 결과 제안하는 2개의 교차편파 안테나를 사용하는 방식이 XPIC가 불가능한 상황을 없앨 수 있어 기존의 안테나 1개의 경우보다 안정적인 통신을 가능하게 함을 보인다.

II. 제안하는 XPIC 시스템 모델

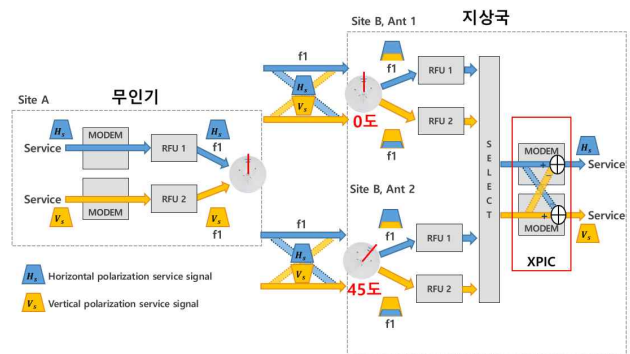


그림 1 제안하는 XPIC 시스템 블록도

그림 1은 제안하는 XPIC 시스템 블록도 이다. 무인기에서 송신한 교차편파 신호는 지상 기지국의 45° 각도차를 갖는 두 안테나에 동시에 수신된다. 기지국은 수신한 파일럿을 기반으로 채널을 추정하고, 수신 안테나를 선택한다.

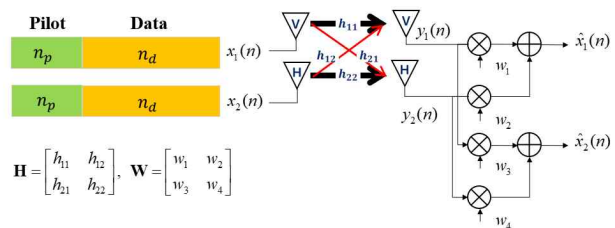


그림 2 전송 프레임과 송수신 구조

그림 2는 XPIC의 전송 프레임과 송수신 구조를 보인다. 전송 프레임의 파일럿의 길이는 n_p , 데이터의 길이는 n_d 로 나타낸다. 따라서 한 개의 전송 프레임 $x(n)$ 중 $0 \leq n \leq n_p - 1$ 일 경우는 파일럿에 해당하고,

$n_p \leq n \leq n_p + n_d - 1$ 의 경우는 데이터 부분에 해당한다. 수신기 수직 편파 수신 안테나에 수신되는 한 개의 전송 프레임을 $y_1(n)$ 이라고 정의한다. $y_1(n)$ 은 h_{11} 채널 계수의 영향을 받은 $x_1(n)$ 와 함께 h_{12} 채널 계수의 영향을 받은 $x_2(n)$ 역시 간섭의 형태로 섞여서 수신된다. 채널을 추정하는 과정은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_1(0) & x_2(0) \\ x_1(1) & x_2(1) \\ \dots & \dots \\ x_1(p-1) & x_2(p-1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{h}_{11} \\ \hat{h}_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1(0) \\ y_1(1) \\ \dots \\ y_1(p-1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$X \times \hat{h}_1 = y_1$$

$$X\hat{h} = y_1 \rightarrow X^H X \hat{h}_1 = Y^H y_1 \rightarrow \hat{h}_1 = (X^H X)^{-1} X^H y_1 \quad (2)$$

$$D_1 = \left| \hat{h}_{11}^1 \hat{h}_{22}^1 - \hat{h}_{12}^1 \hat{h}_{21}^1 \right|, \quad D_2 = \left| \hat{h}_{11}^2 \hat{h}_{22}^2 - \hat{h}_{12}^2 \hat{h}_{21}^2 \right| \quad (3)$$

$$X H = Y \rightarrow Y H^{-1} = X \rightarrow W = H^{-1} \quad (4)$$

수식 1은 수직 편파 수신 안테나에서의 수신신호를 행렬로 보인다. \hat{h}_{11} 과 \hat{h}_{12} 는 추정하고자 하는 채널 계수를 나타낸다. 수식 2에서 X^H 는 X 행렬의 켤레 전치(Conjugate transpose)를 의미한다. 수식 2를 통해 수신 측 수직 편파 수신 안테나에 대한 채널 계수를 추정할 수 있고, 이를 똑같이 수평 편파 수신 안테나에 적용하면 채널 계수 행렬(H)을 구할 수 있다. 제안하는 시스템 모델에서는 2개의 교차편파 안테나 모두 채널 추정을 진행한다. 2개의 안테나 중 어떤 안테나를 선택해 수신할지는 채널 계수 행렬(H)의 절댓값을 통해 결정한다. 수직 편파 수신 안테나의 행렬식 절댓값을 D_1 , 수평 편파 수신 안테나의 행렬식 절댓값을 D_2 라고 가정한다면, 수식 3과 같이 계산할 수 있다. 기지국은 D_1 과 D_2 중 더 큰 값의 안테나를 수신 안테나로 선택한다. 수신 안테나를 선택한 후, 데이터의 교차편파를 제거하는 과정을 거친다. 간섭 제거 행렬(W)을 구하는 수식은 수식 4와 같다. 수식4는 간섭 제거 행렬(W)이 채널 계수 행렬(H)의 역행렬과 같음을 보인다. 이때, 채널 계수 행렬(H)의 역행렬을 구할 수 없는 상황이 바로 XPIC가 불가능한 경우이다. 제안하는 방법을 사용하면 D 의 값이 큰 안테나를 고를 수 있어 역행렬을 구하기 쉽고, 간섭 제거가 불가능한 경우가 생기지 않는다.

III. 모의실험 파라미터 및 결과

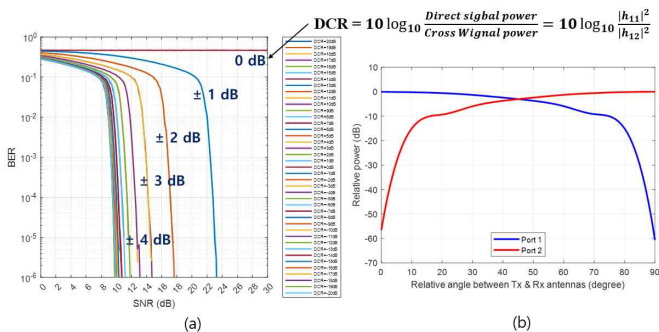


그림 3 (a) XPIC 적용시 SNR에 따른 BER (b) 송수신기 각도 편차에 따른 port 별 수신 전력

채널 환경은 다중 경로가 존재하지 않는 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 채널을 가정한다. 지상의 기지국과 UAV가 서로 방향은

잘 맞춘다고 가정하며, UAV의 회전은 매번 0도에서 360도 사이에서 랜덤하게 결정된다. 전송 프레임에서 파일렛의 길이는 16 심볼이고, 데이터의 길이는 178 심볼이다. 심볼 속도는 10Mbps로 가정하기 때문에 한 전송 프레임을 보내는데 19.4μs의 시간이 걸린다. 따라서 19.4μs마다 안테나 선택 및 XPIC가 이루어진다. 반송파 주파수는 8GHz, 변조 방식은 8PSK를 사용하며, BE-CDL(Bandwidth Efficient Common Data Link) 전송 방식을 반영하여 코드 비율 3/4인 CTC(Convolutional Turbo Code) 인코딩을 사용한다. 그림 3의 (a)는 XPIC를 적용했을 때, 수신 대 잡음비 (Signal-to-Noise Ratio, SNR)에 따른 비트 오류율(Bit Error Rate, BER)을 보인다. DCR(Direct to cross signal power ratio)이 0dB일 경우는 수신 안테나에 직접적으로 들어오는 신호와 간섭으로 들어오는 신호의 세기가 일치함을 나타낸다. 이 경우를 제외하면 최소 1dB의 차이만 존재 하더라도 SNR 23dB 이상에서 10만 비트 중 1개의 비트만 오류 날 정도의 성능을 보장받을 수 있으며, DCR이 커질수록 더욱 원활한 통신이 가능하다. 그림 3의 (b)에 따르면 DCR이 0dB가 되는 경우가 송수신기 각도 편차가 45°인 경우임을 확인할 수 있다.

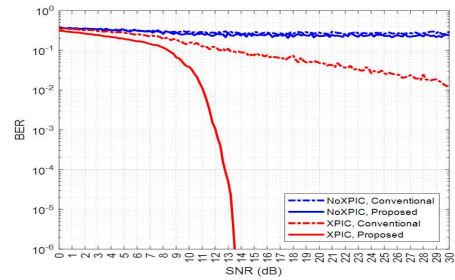


그림 4 안테나 다이버시티 활용시 BER 성능

그림 4에서 교차편파를 제거하지 않고 수신할 경우 아예 통신이 되지 않는 상황임을 보인다. 기존의 방식으로 교차편파 간섭을 제거할 경우 SNR 30dB의 환경에서도 BER 10^{-2} 의 성능조차 보장받기 어렵다. 하지만 제안하는 방법의 경우 SNR 14dB 이상에서 BER 10^{-6} 이상의 성능을 보장 받을 수 있다. 그림 3을 참고하면 DCR ±4dB 정도의 성능임을 확인할 수 있다. 본 논문을 통해 무인기와 지상 기지국 간 대용량 데이터 링크를 XPIC로 구축함에 있어 통신 안정성을 더욱 높일 수 있을 것으로 기대한다. 향후 계획으로는 다중 경로를 고려하여 무인기가 옴니(전 방향) 안테나를 사용하는 경우의 성능을 검증할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2024년 대한민국 정부(산업통상자원부 및 방위사업청) 재원으로 민군협력진흥원에서 수행하는 “민·군 주파수 고효율 이용을 위한 공용데이터링크 기술” 과제의 연구비 지원으로 수행되었습니다. (과제번호: 22-CM-TN-31)

참고 문헌

- [1] M. Takahashi, H. Takahashi and T. Tanaka, "Cross polarization interference canceler for microcellular mobile communication systems," Proceedings IEEE International Conference on Communications ICC '95, Seattle, WA, USA, 1995, pp. 910-914 vol.2
- [2] Xiangnan Liu, Ming Chen, Peiwen Jiang and Jingwen Wang, "Research and implementation of high data rate full digital XPIC technique," 2016 15th International Conference on Optical Communications and Networks (ICOON), Hangzhou, 2016, pp. 1-3