

XPIC 를 적용한 이중 편파 다중 채널 통신 시스템 성능 분석

김원용, 김병기, 유해선
코메스타

wykim@comesta.com, weapon@comesta.com, gotjs@comesta.com

Performance analysis of dual polarization multi-channel communication system using XPIC

Kim Wonyong, Kim Byounggi, Yu Haeseon
COMESTA, Inc.

요약

본 논문은 주파수 이용 효율화를 중심으로 이중 편파를 이용한 다중 채널 모델과 교차 편파의 간섭 및 간섭 제거 기술에 대해 논의 하였다. 파일럿을 반영한 프레임 구조를 설계하고 XPIC 알고리즘을 바탕으로 하드웨어 시험 환경을 구성하여 성능을 검증하였다. 분석 결과, XPIC 를 적용한 경우 교차 편파 간섭 채널 환경에서 PER(Packet Error Ratio) 성능이 향상된 것으로 나타났다.

I. 서론

무선 통신 기술은 현대 사회에서 핵심적인 역할을 하고 있으며, 더 빠르고 신뢰성 있는 데이터 전송을 위한 연구가 계속되고 있다. 특히, 무선 통신에서 주파수의 효율적인 이용은 중요한 과제로 인식되고 있다. 이는 주파수 자원이 한정되어 있고 대역폭 확보가 어려운 상황에서 더욱 중요해지고 있다. 따라서, 주파수 이용 효율화는 무선 통신 기술 발전의 핵심 과제 중 하나이며 주파수 고효율 달성을 위해 다양한 연구가 수행되고 있다.

본 논문에서는 주파수 이용 효율화를 중심으로 이중 편파를 이용한 다중 채널 모델과 교차 편파의 간섭 및 간섭 제거 기술에 대해 논의 하고자 한다. 주파수 스펙트럼의 효율적인 이용을 위해 다중 채널 모델은 다중 채널 간의 동시 전송과 수신을 지원하며, XPIC (Cross Polarization Interference Cancellation) 기술은 안테나 간의 교차 편파 간섭을 감소시켜 통신 성능을 향상시킨다.

본 논문에서는 이중 편파를 적용한 다중 채널 모델과 XPIC 구성에 대한 실험적인 구현과 성능 평가를 진행한다. II장에서는 이중 편파를 적용한 무선 통신 시스템을 설계하고 XPIC 의 원리에 대해 논의한다. III장에서 교차 편파 간섭 제거를 위해 프레임 구조를 설계하고 IV장에서 XPIC 알고리즘을 바탕으로 하드웨어 시험 환경을 구성하여 성능을 검증한다. V장에서 결론 및 향후 연구 방향에 대해 논의한다.

II. 이중 편파를 이용한 무선 통신 시스템의 설계

그림 1 은 이중 편파를 적용한 다중 채널 통신 시스템 모델이다. 각 채널은 동일한 주파수를 사용하여 편파 간직교성을 유지하여 송수신이 가능한 안테나를 적용한 시스템 모델로 이론적으로는 편파 간 간섭이 발생하지 않는다. 그러나 실제 통신 환경에서는 다양한 이유로 직교성이 손상되어 교차 편파 간섭이 발생할 수 있다. 교차 편파 간섭은 수직 극성과 수평 극성을 가진 신호가 서로 교차되면 발생한다. 예를 들어, 수직 극성으로

전송되는 신호가 수평 극성 안테나를 통해 수신되는 경우, 이는 교차 편파 간섭을 초래할 수 있다.

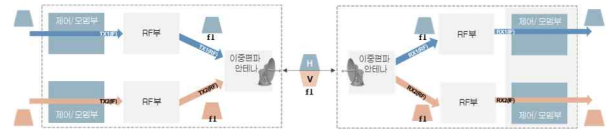
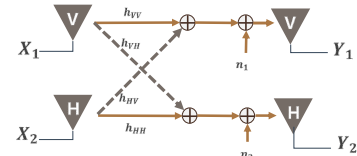


그림 1 이중편파 다중 채널 통신 시스템

그림 2 는 교차 편파 간섭 채널 모델과 그에 따른 수신 신호를 수식을 통해 나타낸다. [1]



$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{VV} & h_{HV} \\ h_{VH} & h_{HH} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix}$$

그림 2 교차 편파 간섭 모델

수신기의 각 채널에서 수신한 신호의 수식은 다음과 같다. 수신 신호 Y_1, Y_2 는 송신 신호 X_1, X_2 와 채널 계수 행렬 \underline{h} 로 표현이 가능 하다.

$$Y_1(k) = \hat{h}_{VV}(k)X_1(k) + \hat{h}_{HV}(k)X_2(k) + n_1(k)$$

$$Y_2(k) = \hat{h}_{VH}(k)X_1(k) + \hat{h}_{HH}(k)X_2(k) + n_2(k)$$

교차 편파 간섭은 무선 통신에서 주요한 성능 저하 요인 중 하나로, 데이터 전송의 신뢰성과 품질을 저하시킬 수 있다. 따라서 교차 편파 간섭을 효과적으로 관리하고 제거하는 기술은 무선 통신 시스템에서 중요한 역할을 한다. 이를 위해 사용되는 XPIC 기술은 교차 편파 간섭을 감지하고 제거하여 통신 성능을 향상시키는 방식으로 작동한다. XPIC 는 known pattern 의 심볼을 통해 각 수신 신호의 간섭량을 측정하고 XPI 를 제거하는 방식으로 수행한다. XPIC 를 효과적으로 수행하기 위해 파일럿을 포함한 구조로 프레임을 설계한다. 프레임은 파일럿과 데이터 심볼로 구성되며, 편파 간 파일럿은

서로 다른 패턴을 적용한다. XPIC 알고리즘은 파일럿 구간을 이용하여 편파 간 간섭을 측정하고, 측정된 채널 계수를 반영하여 데이터 구간의 간섭 신호를 제거한다. 본 논문에서 파일럿은 BPSK 심볼을 적용하며, 이는 16 심볼로 구성된다. 데이터 심볼은 QPSK 변조 방식을 반영하여 178 심볼로 구성된다.

III. XPIC 적용에 따른 성능 검토

XPIC 검증을 위하여 우선 송신 편파 경사각 변화에 따른 수신 편파 별 신호 파워 분석을 바탕으로 교차 편파 간섭의 변화량을 분석한다. 시험 방식은 송신 안테나의 경사각을 변화시켜 수신 안테나의 수직/수평 편파 신호 레벨을 측정하는 방식으로 송신안테나의 각도 변화는 0°, 45°, 90°로 설정하고 중심 주파수는 5.7GHz 기준으로 한다. 두 안테나 간의 거리는 약 5m 로 설정한다. 그림 3은 시험 구성도를 나타낸다.

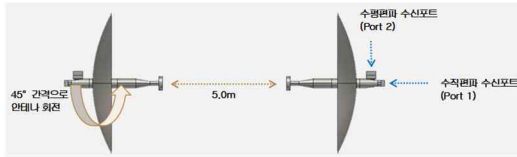


그림 3 경사각에 따른 수신신호세기 측정 시험 구성도

표 1 경사각에 따른 편파 별 수신 신호 세기

경사각 [deg.]	수평편파수신[dBm]	수직편파수신[dBm]
0	-82	-66
45	-71	-72
90	-67	-85

경사각 변화에 따른 수신 신호 세기 분석을 통해 안테나의 위상 변화가 수신포트별로 수신 신호 세기에 차이를 초래하고 수직 및 수평 편파 간 교차 간섭이 발생하는 것을 확인하였다.

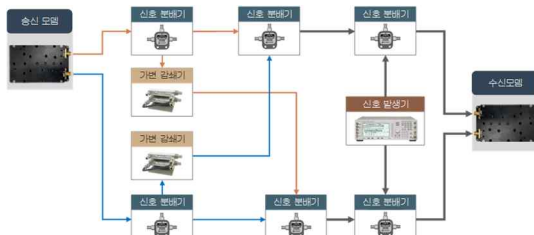


그림 4 XPIC 성능 분석 위한 시험 구성도

이러한 시험 결과를 바탕으로 이중 편파 다중 채널 시스템의 수신 채널에 교차 편파 간섭 신호를 각각 그림 4와 같이 인가하고, 수신기에서 교차 편파 간섭을 제거할 수 있는 알고리즘인 XPIC를 적용하여 기능을 검증한다. 그림 4에서 송신 모뎀 신호는 신호 분배기를 통해 분배되어 교차 편파 간섭 신호와 결합되어 수신모뎀으로 전송된다. 가변감쇄기를 통해 교차 간섭 신호 세기를 조절한다. XPIC 성능 검증은 XPIC의 적용 여부에 따라 데이터 전송 중 발생하는 패킷 오류율을 측정하여 평가한다.

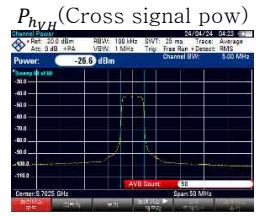
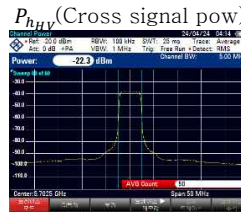
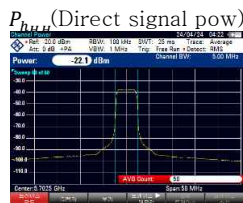
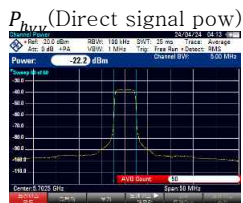


그림 5 수신 신호 전력 측정

$$DCR [dB] = 10 \log_{10} \frac{\text{Direct signal power}}{\text{Cross signal power}}$$

(Direct to Cross signal power ratio)

그림 5는 동일 편파 간 수신 신호(Direct signal) 파워 대비 교차 간섭 신호(Cross signal) 파워를 측정된 수신 전력 스펙트럼이다. P_{hvV} 와 P_{hHH} 는 동일 편파 수신 신호 파워이고 P_{hHV} 와 P_{hVH} 는 교차 간섭 신호의 세기이다.

이를 통해 XPIC 성능 검증 시에 수신 모뎀에서 발생하는 교차 간섭의 양을 시각화하여 분석 후 신호를 인가한다. 그림 6은 DCR = 3dB와 18dB를 기준으로 PER 성능을 도출하였다. 시험을 위한 채널 환경은 AWGN 환경을 기준으로 하였으며 채널 코덱은 CTC(Convolutional Turbo Code), 변조방식은 QPSK를 적용하였다. 시험 결과 DCR 별 XPIC 적용 여부에 따라 PER 성능 차이가 발생함을 확인하였다.

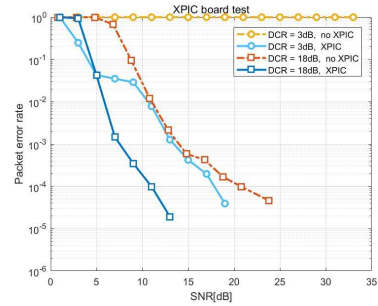


그림 6 XPIC 적용에 따른 성능 그래프

V. 결론

본 논문에서는 이중 편파 통신 시스템에서 XPIC 기술을 활용하여 시스템의 성능을 향상시키는 방법을 연구하였다. 시험 결과를 통해, XPIC를 적용함으로써 수신 모뎀에서 발생하는 교차 간섭의 양을 유의미하게 감소시킬 수 있음을 확인하였으며 이중 편파 무선 통신 시스템에서 교차 간섭을 효과적으로 제거하여 통신 신뢰성을 향상시킬 수 있을 것이라 판단된다. 앞으로의 연구에서는 다양한 통신채널환경에서의 시험과 분석을 통해 XPIC 기술의 적용 가능성을 더욱 확장시킬 필요가 있을 것으로 보인다.

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. Takanashi and T. Tanaka, "Cross Polarization Interference Canceler for Microcellular Mobile Communication Systems," in *Int. Conf. Commun., ICC95*, pp. 910-914, June 1995.