

고용량 전송을 위한 이중 편파 시스템에서 교차편파간섭제거기의 성능분석

이상윤, 이상현
한화시스템

Sangyoon.alex.lee@hanhwa.co.kr, tkgus4547@ hanhwa.co.kr

Performance Analysis of Cross Polarization Interference Canceller in dual polarization systems for high transmission capacity

Lee Sangyoon, Lee Sanghyeon
Hanwha Systems.

요 약

본 논문은 무선 이동통신 환경에서 주파수 사용 효율을 고려하여 동일 주파수 대역에 편파를 사용하여 주파수 재사용율을 높이는 방법으로 전송용량을 증대하기 위해 이중편파 안테나를 사용하는 환경에서 송수신 안테나간 편파 오정렬 시 발생하는 교차편파간섭에 대해서 기저대역 신호처리를 통한 성능개선과 편파를 통해 채널분리가 된 신호간 지연발생 시 교차편파간섭제거기의 성능에 미치는 영향성을 분석하였다.

I. 서 론

편파를 통해 채널을 분리하여 통신하는 기술이 태동하게 된 배경은 에지망에서 기간망으로 연결하기 위해 대용량 전송을 하는 백홀(backhaul)과 같이 고정된 상태의 점대점 통신하는 시스템에서 통신서비스 공급자가 할당 받은 주파수를 효율적으로 사용하며 사용자를 증가시키기 위해서였다[1]. 본 논문에서는 유한한 자원인 주파수를 무선 이동통신 환경에서도 편파를 사용하여 효율적으로 운용하기 위해 이중편파를 적용하여 전송속도를 증가시키는 무선통신 환경에서 편파 오정렬 시 편파간 cross talk 으로 인해 발생하는 간섭을 제거하기 위해 기저대역에서 적용 가능한 신호처리 알고리즘을 제시하고 알고리즘을 수행하는 교차편파간섭제거기의 성능을 분석한다.

II. 본론

이중편파를 통한 송수신 구조와 신호의 모델링은 그림 1 과 같다. 그림에서 수직/수평 편파가 송신안테나로 전송되는 각 경로는 단일안테나에 위치하며 $x_1(t)$, $x_2(t)$ 는

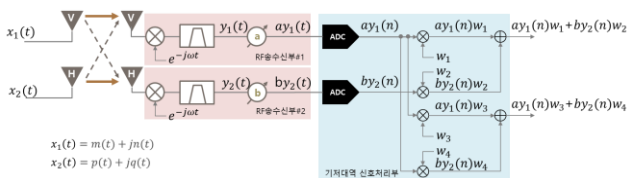


그림 1. 이중편파 송수신 구조

수직/수평 편파를 통해 송신되는 2 개의 웨이브폼을 통해 송수신간 약속된 패턴을 가지며 상호간 수직관계인 복소신호의 훈련심볼이 전송된다. 편파 오정렬이 발생하면 그림에서 점선의 경로로 편파간 Cross Talk 이 발생될 수 있으며 상호간의 간섭이 발생하면 신호품질이 저하된다.

수신 안테나를 통해 수신된 신호는 주파수 하향변환과 필터링을 통과한 후 AGC(Auto Gain Control)로 입력되며 수직/수평 편파 분할된 2 개 경로의 훈련심볼은 아래 수식과 같이 표현할 수 있다. 여기서 N 은 한번에 처리되어지는 훈련심볼 1set 내의 심볼 수를 나타낸다.

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} y_1(0) & y_2(0) \\ y_1(1) & y_2(1) \\ \vdots & \vdots \\ y_1(N) & y_2(N) \end{bmatrix}$$

$ay_1(n)$ 와 $ay_2(n)$ 은 AGC 를 통해 수신 이득이 조정되고 고속 ADC 를 통해 샘플링된 신호를 나타내며 훈련심볼 1set 를 표시하면 아래와 같다.

$$\tilde{\mathbf{Y}} = \begin{bmatrix} ay_1(0) & by_2(0) \\ ay_1(1) & by_2(1) \\ \vdots & \vdots \\ ay_1(N) & by_2(N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1(0) & y_2(0) \\ y_1(1) & y_2(1) \\ \vdots & \vdots \\ y_1(N) & y_2(N) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & b \end{bmatrix} = \mathbf{Y}\mathbf{S}$$

수신신호 \tilde{Y} 과 약속된 패턴인 훈련심볼간의 차이가 최소가 되도록 가중치 w_1, w_2, w_3, w_4 를 계산하여 신호를 복원하고 교차편파간섭제거기는 해당 기저대역 신호처리 알고리즘을 수행하는 기능을 담당하며 도출된 가중치는 아래의 수식과 같다.

$$W_{12} = (\tilde{Y}^H \tilde{Y})^{-1} \tilde{Y}^H X_1 = S^{-1} (Y^H Y)^{-1} S^{-1} (S Y^H) X_1 = S^{-1} (Y^H Y)^{-1} Y^H X_1$$

$$W_{34} = (\tilde{Y}^H \tilde{Y})^{-1} \tilde{Y}^H X_2 = S^{-1} (Y^H Y)^{-1} S^{-1} (S Y^H) X_2 = S^{-1} (Y^H Y)^{-1} Y^H X_2$$

아래의 조건으로 시뮬레이션을 수행하였으며 XPIC 기능의 On/Off 에 따라 성능을 분석하였고 시뮬레이션 결과는 그림 2 와 같다.

표 1. 시뮬레이션 조건

| 항목 | Value |
|-------------|---------------|
| Data Rate | 45.76Mbps |
| 변조 및 부호 방식 | 8PSK, CTC3/4, |
| Symbol Rate | 25.6MHz |
| 채널 환경 | AWGN |

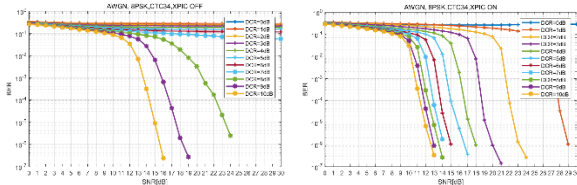


그림 2. BER 성능곡선 (좌:XPIC OFF, 우:XPIC ON)

DCR(Direct path to Cross path Ratio)은 수신신호와 교차편파간섭신호의 비율을 나타낸다. XPIC 를 Off 하였을 때 DCR 8dB 이상인 경우 SNR 증가에 따라 에러율이 감소하나 8dB 이하인 경우는 SNR 증가하여도 신호가 복원되지 않으며 XPIC 가 ON 인 경우 DCR 1dB 이상에서는 SNR 증가에 따라 에러율이 감소하였다.

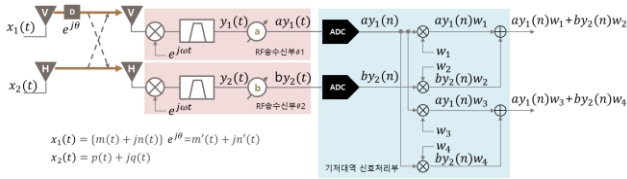


그림 3 편파간 지연 후 발생한 교차편파간섭 모델링

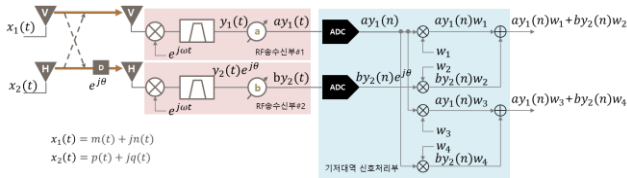


그림 4 교차편파간섭 발생 후 편파간 지연 모델링

그림 3 와 4 는 수직/수평 편파 경로간 지연이 발생한 후 안테나 오정렬로 인한 교차편파간섭이 발생한 경우와 교차편파간섭이 먼저 발생하고 경로간 지연 발생한 2 가지 경우에 대해서 수식으로 모델링한 것이다. 그림 3 은 수직편파로 전송될 훈련심볼에서 송신지연이 발생하여 대국에서 수신시 전체 훈련심볼에 동일한 위상지연이 발생하여 지연된 복조신호를 수신하게 되며 해당 신호의 일부는 Cross Talk 으로 수평편파 경로에 간섭을 발생하게 된다. 그림 4 는 대국에서 수신시 수평편파 경로에 지연이 발생하여 교차편파간섭 간에도

지연이 발생한 경우이다. 각 경우에 대해서 한 샘플의 지연 발생을 조건으로 시뮬레이션을 수행한 결과 그림 5 와 6 과 같은 결과를 도출하였다. 전자의 경우는 훈련심볼이 지연되었으나 원신호와 간섭신호 크기의 비가 오정렬과 연관성을 가지며 복원이 가능하나 후자의 경우는 교차편파간섭 이후에 발생한 지연으로 인해 원신호와 간섭신호 크기의 비가 오정렬과 연관성을 오염시켜 정확한 가중치를 산출하기가 어려워 상대적으로 성능이 저하되는 BER 성능곡선을 나타낸다.

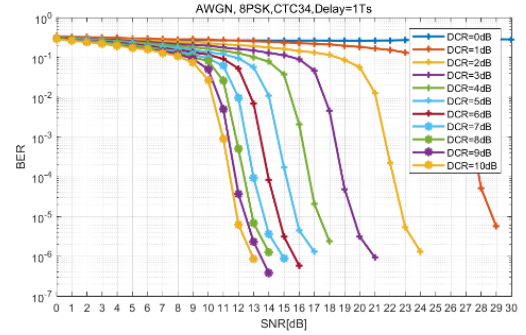


그림 5. BER 성능곡선 (편파간 지연 후 교차편파간섭 발생)

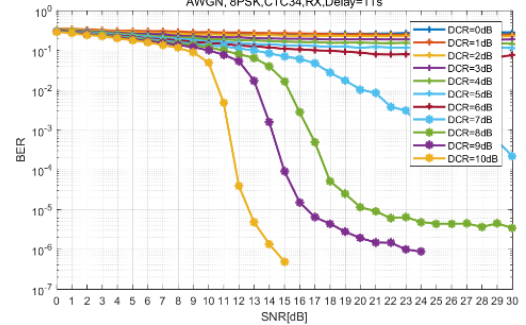


그림 6. BER 성능곡선 (교차편파간섭 발생 후 편파간 지연)

III. 결론

다중편파를 사용하여 전송용량을 증대하는 경우 기저대역에서 XPIC 를 적용하여 성능을 향상시킬 수 있다. 시뮬레이션 결과 수신단에서 각 경로의 지연을 최소화 시키는 것이 중요하다는 결과를 도출하였다. 상기 이유로 시스템 설계시 XPIC 를 적용하기 전 경로간 동기를 맞추는 로직을 적용한다면 신호를 효과적으로 복원할 수 있을 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023 년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방기술진흥 연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(KRIT-CT-23-051, 다목적·대용량 정보의 효율적 운용을 위한 공중플랫폼용 Gbps 급 데이터링크 개발)

참 고 문 헌

- [1] M. Klemes, "Adaptive Algorithm for Cross Polarization Interference Canceller" (<https://www.researchgate.net>).
- [2] Jaekil Kim, Gye Seok Gwak and Jae Min Ahn, "Structure of Dual Polarized System for Wireless Communication", The Journal of Korea Information and Communications Society '14-08 Vol39C No.08 , pp. 746-755, Aug. 2014.