

주파수 효율 향상을 위한 무선 중계장치의 직교편파 간섭제거기에 관한 연구

서 경 환(徐京煥)

강남대학교 지식정보공학부

전화 : 031-280-3808 / 팩스 : 031-280-3884

A Study on the Cross-Polarization Interference Canceller of Radio Relay System for Spectral Efficiency Enhancement

Kyoung-Whoan Suh

College of Knowledge-Based Information Engineering, Kangnam University

e-mail : kwsuh@kns.kangnam.ac.kr

Abstract

In this paper, to eliminate a cross-polarization interference caused by co-channel dual polarization technique of digital radio relay system(DRRS), a cross-polarization interference canceller(XPIC) is analyzed in terms of the analytical modeling, digital design, and its performance. By virtue of a 13-tap adaptive equalizer and XPIC, about 23dB in XPIC improvement can be obtained by computer simulation. To show the operation of designed XPIC, some simulated results are reviewed under 64-QAM DRRS with co-channel dual polarization.

I. 서론

디지털 무선중계 장치에서는 스펙트럼 효율을 향상시키기 위해 가능한 다치(multi-level) 변조방식과 동일채널 이중편파(co-channel dual polarization) 즉, 주파수 재사용 기술을 채택한다. 주파수 재사용은 서로 다른 두 신호를 한 대역 내에서 백터적으로 직교하는 두 편파에 각각 실어 전송함으로써 주파수 효율을 배가시키는 방법이다[1,2]. 채널의 동적인 변화인 페이딩은 크게 균등(flat) 페이딩과 주파수 선택적(frequency selective) 페이딩으로 볼 수 있다. 전자는 신호 주파수 대역 내에서 전체적으로 신호의 레벨이 작아지는 경우이며, 자동이득 제어 증폭기를 써서 보상할 수 있다. 그러나 후자는 주파수 대역 내에서 부분적으로 신호전력이 작아지기도 하는데, 이런 경우에는 신호가 왜곡되어 상호심볼간섭(ISI)이 발생한다.

동일채널에 이중편파를 적용하면 두 편파간에 서로 간섭하게 되는데, 이를 직교편파간섭(Cross-Pol Interference: XPI) 이라고 한다. 직교 편파간섭을 일으키는 주 요인은 안테나의 직교 편파분리(Cross-pol Discrimination: XPD)의 불완전과 전파 경로에서 발생할 수 있는 편파의 depolarization 등이다. 따라서 상호심볼간섭과 직교편파간섭은 기후의 변화나 주위 환경의 변화에 영향을 받기 때문에 채널은 시간에 따라 변화하는 특성을 갖게 된다. 이렇게 시간에 따라 변화하는 채널의 영향은 고정 여파기로는 상쇄할 수 없고, 적응 여파기를 써서 보상할 수 있다[3]. 따라서 다중경로에 의한 ISI 및 동일채널 이중편파 적용에 따른 XPI를 제거하기 위해 적응 등화기가 적용된다. 이것은 디지털 유한 임펄스 응답(Finite Impulse Response: FIR) 여파기의 구조로써 선형과 비선형 형태가 있으며, 여파기의 탭 개수 적응을 위한 알고리즘으로는 ZF(zero forcing)과 LMS(least mean square)가 있다[4].

본 논문에서는 동일채널 이중편파를 적용하는 디지털 무선중계 장치에 필요한 직교편파간섭제거기의 이론적 모델링 및 디지털 설계에 대해 고찰하며, 설계된 간섭제거기의 성능분석을 위해 64-QAM 모델과 연동한 수치계산 결과를 제시한다.

II. 채널 모델링 및 등화기의 적응원리

동일채널 무선중계 장치의 채널 모델링은 그림 1과 같이 4개의 전달함수를 포함하는데, $H_{vv}(f)$, $H_{uu}(f)$ 는 수직 및 수평편파로 송신된 신호가 Rummmler의 2 경로를 갖는 전달함수를 의미한다[5]. 또한 $H_{vu}(f)$, $H_{uv}(f)$ 는 양 편파간의 교차 커플링 성분이며, 감쇄, 시간 및 위상지연을 내포한다.

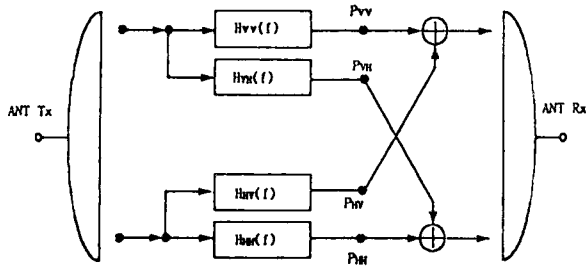


그림 1 동일채널 이중편파 장치의 채널모델링
Fig. 1 Channel modeling of co-channel dual polarization system

동일채널에 2개의 편파를 사용하는 무선중계 장치에서는 직교편파 간섭이 존재하는데, 이 또한 상호 심볼간의 간섭과 같은 방법으로 모델링할 수 있다. 결국 입,출력 신호사이의 관계를 수평 및 수직편파에 대해 각각 수식으로 나타내면 다음과 같다[6,7].

$$r_h(n) = \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} c_k s_h(n-k) + \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} d_k s_v(n-k) \quad (1)$$

$$r_v(n) = \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} e_k s_h(n-k) + \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} f_k s_v(n-k) \quad (2)$$

여기서 r_h, r_v 및 s_h, s_v 는 각각 수평 및 수직편파의 수신신호 및 송신신호를 나타낸다. 그리고 c_k, d_k 는 동일편파 채널 특성이며, e_k 및 f_k 는 직교편파 특성으로서 편파간의 간섭을 유발하는 신호가 된다. 무선전송 채널은 시간에 따라 동적인 특성을 갖고 있으나, 심볼율에 비해 채널의 특성이 매우 천천히 변화한다. 따라서, 수렴속도가 빠른 알고리즘의 적용은 상대적으로 구현이 복잡하여 배제하며, 비교적 구현이 쉽고 성능이 뛰어난 ZF 및 LMS 알고리즘을 주로 이용한다.

동일채널 무선중계 장치의 채널 모델링을 한 식(1) 및 (2)를 행렬로 나타내면 다음과 같다.

$$R_h = C.S_h + D.S_v \quad (3)$$

$$R_v = E.S_h + F.S_v \quad (4)$$

식 (1) 및 (2)를 살펴보면 이상적인 경우에는 $c_0 = d_0 = 1$ 이 되고, 나머지 c, d, e, f 의 계수들은 0 이 됨을 알 수 있다. 송신된 신호를 추출하기 위해 적응 여파기의 계수를 수평 편파 신호에 대한 경우를 살펴보자. 식 (3) 및 (4)의 양변에 각각 어떤 행렬 α, β 를 곱한 다음, 서로 더하여 왜곡되지 않은 본래의 송신신호, S_h 를 구한다면, 이때 α, β 는 다음과 같다.

$$\alpha = [C - D.F^{-1}.E]^{-1} \quad (5)$$

$$\beta = -\alpha.D.F^{-1} \quad (6)$$

이 된다. 따라서, α 와 β 의 한 열의 계수를 탭 계수로 하는 여파기를 써서 구현할 수 있다. 이때 탭 계수를 무한히 둘 수 없으므로 일정 수의 탭으로 근사화한다. 동일한 방법으로 수직편파 신호에 대해서도 전계가 가능하다.

III. 등화기 및 직교편파간섭제거기의 설계

적응 여파기와 연동하고자 하는 장치는 STM-1 신호를 40MHz RF 채널에 64-QAM 변조를 통해 전송한다. 약 3.8%의 순방향 오류 정정기의 비트 수를 포함하면, 전체 데이터 전송 속도는 약 162Mbps가 되어, 심볼율은 27MHz가 된다.

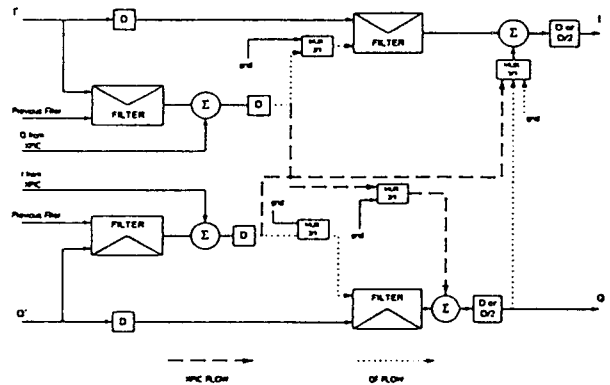


그림 2 설계된 적응 등화기의 구조
Fig. 2 Structure of designed adaptive equalizer

그림 2는 등화기 설계에 필요한 변수 즉, 탭 수 및 제어 알고리즘, 그리고 레지스터, 입출력 신호, A/D 변환기 등의 비트 수를 고려하여 설계한 baud-spaced T를 갖는 적응 여파기의 칩 구성도를 나타내었다. 비트 레벨의 동작을 설명하면 A/D 변환기의 출력인 10 비트 신호가 여파기로 입력되어 12 비트를 출력으로 내보낸다. I 및 Q 채널의 A/D 변환기의 출력신호는 두 여파기 뱅크의 입력이 되는데, 각 여파기 뱅크는 FIR 여파기 부분과 탭 계수 제어 부분으로 나누어 진다. 각 여파기 뱅크는 13탭으로 되어 있고, 각 탭에서 17 비트의 탭 계수 중에서 12 비트만이 연산에 사용된다. 탭을 지나면서 점점 누산되어, 최종 출력은 12 비트만 잘라서 XPIC 신호와 더해진 후 출력된다. 여파기 탭 계수 변화에는 입력신호나 출력신호 4 비트와 에러신호 4 비트를 곱해서 원래의 탭 계수에 누산하게 되는데, 이때 누산하는 위치를 조절함으로써 적응 속도를 변화시킬 수 있게 하였다. 일반적으로 탭 수가 적을 때는 수를 증가할수록 성능개선의 효과가 있으나, 어느 정도의 탭 수가되면 증가하더라도 시그너처 상의 변화는 거의 미약하다. 따라서, 현재의 구현 가능한 소자의 속도 및 기술, 그리고 비용을 고려하여 선택하는 것이 필요하며, 여기서는 적응 여파기의

탭 수를 13으로 선정하였다.

ATDE와 XPIC의 연동 구성은 복조부에서 병렬(PAR), 제거-등화(C-E), 등화-제거(E-C) 형태의 3 가지가 있다 [2]. PAR 구조는 ATDE와 XPIC를 병렬로 구성되며, 각각의 출력이 서로 더해진다. 따라서 더해진 신호는 결정회로에서 XPI 및 ISI가 최소가 되도록 알고리즘에 의해 제어된다. C-E 구조는 XPIC를 먼저 동작하여 XPI를 제거한 후, 그 출력이 ATDE의 주 경로의 신호와 함께 더해진다. 이 신호는 ATDE의 입력이 되어 최종적으로 다중경로 영향인 ISI를 제거하게 된다. 한편, E-C 구조는 C-E와 반대 구조로써 먼저 ISI를 제거한 후, XPI를 제거한다. 논문에서는 동기식 전송 방식에서 baud-spaced T 형태의 FIR 여파기로 구성된 ATDE와 XPIC의 연동을 구현상의 이유로 PAR 구조로 선택하였다.

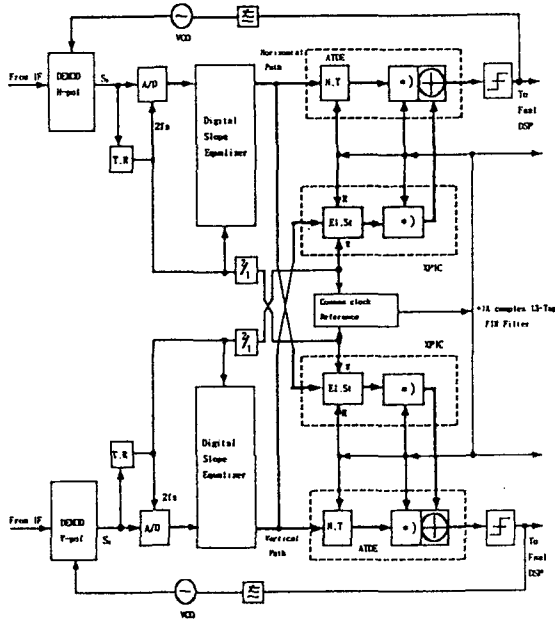


그림 3 동일채널 이중편파 장치의 복조부
Fig. 3 Block diagram of demodulator with co-channel dual polarization system

그림 3은 앞에서 설계된 그림 2를 이용하여 동일채널 이중편파를 적용하는 무선 중계장치의 복조부에서 ATDE와 XPIC의 연동을 나타내었다. 상호심볼간섭을 제거하는 ATDE와 적교편파간섭을 제거하는 XPIC 칩을 각각 병렬(PAR)로 실장된 경우이며, 각 칩은 13 탭을 갖는 FIR 여파기로 볼 수 있다. 입력신호 S_H 와 S_V 는 이미 기저대역의 신호로 변환되었다. 각각의 복조부에 수신되는 신호는 수평편파 신호 S_H 와 수직편파 신호 S_V 이며, 이들은 안테나에서 OMT를 거쳐, 각각의 수직 및 수평 편파의 수신기에 의해 수신된다. 또한 신호 S_{VH} 와 S_{HV} 는 각각 S_V 및 S_H 신호를 복사한 것이다. S_{VH} 는 송신된 S_V 의 신호가 다중경로 페이딩 및 depolarization을 거쳐 복조부의 S_H 신호로 들어가는 것을 의미하며, S_{HV} 는 이와 반대이다.

IV. 수치해석 및 검토

앞에서 설계된 그림 3의 ATDE와 XPIC의 연동 시에 동작 여부를 확인하기 위해 그림 4는 복조부의 최종 결정회로의 출력 에러가 클럭에 따라 변화하는 동작을 나타내었다. 계산에 적용된 조건은 심볼율 27MHz, 노치깊이 22dB, 롤-오프인자 0.5, 지연시간 6.3nsec, 적교편파간섭(XPI) 10.45dB, 노치 주파수는 채널의 중심에서 12MHz에 존재하는 경우이다. 4가지 결과는 XPIC 및 ATDE를 연동하고, ATDE의 출력 난인 수직편파(V-pol) 및 수평편파(H-pol) 채널에서 각각 동위상(I-rail) 및 적교위상(Q-rail)에 대한 에러 신호를 나타내며, 약 80,000 클럭이 지난 후에 전체적으로 수렴함을 알 수 있다.

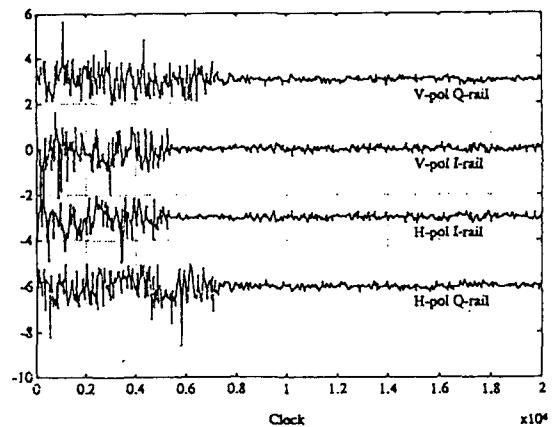


그림 4 I, Q 채널의 오차 특성
Fig. 4 Error behavior of I and Q channels

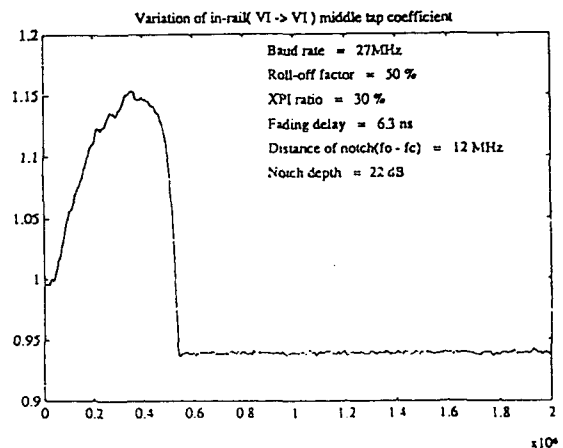


그림 5 중간 탭 계수의 수렴
Fig. 5 Convergence of center tap coefficient

한편, 그림 5는 그림 4와 같은 에러의 특성이 주어질 때, 수평편파 ATDE의 동위상 채널인 I-rail의 중심 탭 계수의 변화를 클럭에 따라 그린 것이다. 그림 4에서와 같이 클럭이

약 58,000에서 수렴한 결과와 동일한 의미를 갖는다. 초기에 적응 등화기의 I-rail 및 Q-rail의 중심 탭은 각각 1.0을 가지며, 나머지 탭의 초기 값은 전부 0을 갖는다. 최종적으로 적응 여파기가 안정상태에 이르면 중심 탭의 계수가 약 0.945가 됨을 알 수 있다.

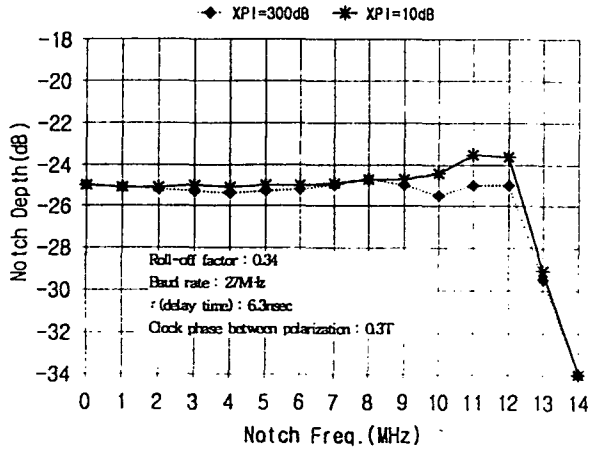


그림 6 XPI에 대한 장치의 시그니처
Fig. 6 System signature for XPI

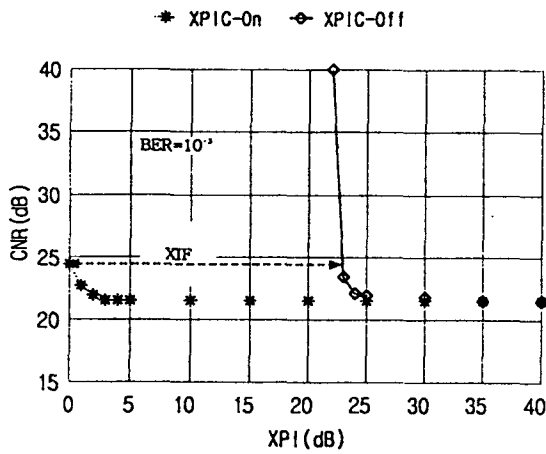


그림 7 XPIC 개선인자에 대한 수치결과
Fig. 7 Numerical result for XPI improvement factor

그림 6에서는 XPI가 존재할 때 설계한 여파기로 주파수 선택적 감쇠를 보상하는 시그니처를 나타내었다. 여기서 수직 및 수평 편파 신호는 각각 다중경로를 겪으며, 두 편파간에는 직교편파간섭인 XPI를 갖는 것으로 하였다. XPI가 300dB 인 경우에는 물리적으로 간섭이 전혀 없는 양으로 간주할 수 있다. 비록 XPIC 및 ATDE가 연동하지만 이런 경우에는 순수히 다중경로에 따른 ISI의 영향만 있는 것으로 볼 수 있다. 그러나, XPI가 10dB 인 경우에는 앞의 경우와 달리 XPIC 및 ATDE가 연동하여 전체 특성을 얻게 된다.

그림 7에서는 XPIC 개선인자인 XIF(XPIC Improvement

Factor)를 나타내었다. XIF는 XPIC 성능의 척도로써 주어진 BER에 대해 XPIC의 ON, OFF 동작에 대해 XPI의 변화에 따라 C/N을 나타낸 것이다. XIF는 그림에서 보여 주듯이 동일한 C/N에 대해 XPIC의 ON, OFF 동작에 따른 XPI 값의 차이를 의미한다. 따라서 그림에서는 64-QAM 모델과 연동한 XPIC의 XIF는 C/N 24.5 dB 에서 약 23.0 dB 이상 됨을 보여준다.

V. 결론

본 논문에서는 동일채널 이중편파를 적용하는 디지털 무선중계 장치에 적용할 목적으로 직교간섭제거기의 이론적 모델링, 디지털 설계 및 성능분석을 위해 64-QAM 모델과 연동한 수치계산 결과를 고찰하였다. 설계된 XPIC 및 ATDE의 연동으로 약 25dB 이상의 시그니처와 XPIC 개선인자인 XIF는 약 23dB 이상으로 얻을 수 있음을 보였다. 궁극적으로 하나의 ASIC 또는 FPGA 칩 설계에 적용할 수 있도록 하였으며, 또한 주파수 효율 향상을 위해 동일한 설계 개념을 타 무선통신 장치에 적용할 수 있을 것으로 여겨진다.

참고 문헌

- [1] Klaus Vogel, "Orthogonal co-channel operation for high spectrum efficiency based on the example of 16-QAM 140 Mbits/s system using roll off 0.19." *IEEE J. Sel. Areas Comm.*, vol. SAC-5, no. 3, pp. 321-328, April 1987.
- [2] B. Lankl, "Cross-polarization interference canceller for QAM digital radio systems with asynchronous clock and carrier signals", *Proc. IEEE Globecom*, pp. 523-529, 1986.
- [3] G. Sebald, B. Lankl, and J. A. Nossek, "Advanced time- and frequency-domain adaptive equalization in multilevel QAM digital radio systems", *IEEE J. Sel. Areas Comm.*, vol. SAC-5, no. 3, pp. 448-456, April 1987.
- [4] S. U. H. Qureshi, "Adaptive equalization," *Proc. IEEE*, vol. 73, no. 9, pp. 1349-1387, Sep. 1985.
- [5] W. D. Rummler, R. P. Coutts, and M. Liniger, "A new selective fading model: Application to propagation data," *Bell Sys. Tech. J.*, vol 58, no. 5, pp. 1037-1071, May-June 1979.
- [6] 서 경환, "동기식 디지털 계위의 동일채널 무선 전송장치 구현 및 성능분석," *대한전자공학회 논문지*, 제 35권 D편 11호, pp. 10-22, 1998.
- [7] K. W. Suh, C. Y. Park et al., "Implementation of a single multi-task chip: ATDE, XPIC, and DF applicable to multi-level QAM digital radio system," *Proc. IEEE Globecom*, pp. 1463-1467, Nov. 1995.