

pp-9

색분산이 광섬유 밀리미터웨이브 링크 성능에 미치는 영향

Influence of Chromatic Dispersion on Performance of Fiber-Optic Millimeter-Wave Links

곽성훈\*, 최우영  
연세대학교 전기·컴퓨터 공학과

The influence of fiber chromatic dispersion on the performance of fiber-optic millimeter-wave links is analyzed. It is shown that the chromatic dispersion of single-mode fiber induces carrier-to-noise(CNR) penalty, phase noise increase, and increase of intersymbol interference(ISI) on detected digital millimeter-wave signals.

광섬유 밀리미터웨이브 시스템은 광섬유 링크와 무선 접속 링크를 결합한 것으로 30 GHz 이상의 반송파 주파수를 갖는 고주파 신호의 장거리 저손실 전송을 가능케 하므로 최근 많은 관심을 불러 일으키고 있다. 광섬유 링크는 저손실 전송의 장점과 함께 신호 왜곡을 일으키는 단점을 갖는다. 가장 심각한 신호 왜곡은 단일모드 광섬유의 색분산에 의한 것으로 광섬유 밀리미터웨이브 링크 구현 방식에 따라 다르게 나타난다.

본 논문에서는 Intensity Modulation and Direct Detection(IM-DD) 링크에서 색분산의 영향과 Remote Heterodyne Detection(RHD) 링크에서 M-ary PSK 시스템 및 M-ary FSK 시스템에서의 색분산의 영향을 분석하였다.

그림 1과 같은 단일모드 광섬유 IM-DD 링크에서는 색분산에 의한 CNR penalty가 시스템 성능에 심각한 영향을 미친다. CNR penalty는 세기변조에 의해 광반송파 좌우에 발생한 측대파 성분이 색분산에 의해 갖게 되는 위상 변화의 크기가 다르기 때문에 발생한다. 그림 2는  $f_c = 45, 60$  GHz일 때 전송거리에 따른 CNR penalty를 보여준다. 신호 전력이 완전히 사라지는 전송거리가 주기적으로 나타나며 그 주기는 다음과 같다[1].

$$\Delta L = \frac{c}{D\lambda^2 f_c} \quad (1)$$

(L: 전송거리,  $D=17$  ps/km·nm,  $\lambda=1550$  nm, c: 광속,  $f_c$ : 밀리미터웨이브 반송파 주파수)

IM-DD 링크에서 색분산으로 인한 CNR penalty의 크기는 밀리미터웨이브 신호 변조 방식과 레이저의 선폭에 무관하므로 단일 측대파 변조기(single sideband modulator)나 분산 천이 광섬유(dispersion shifted fiber)의 사용을 고려하여야 할 것이다.

그림 3과 같은 RHD 링크에서는 각각  $f_1, f_2$ 의 주파수( $f_c=f_1-f_2$ )를 갖는 2개의 phase correlated 광신호가 전송된다. 색분산으로 인한 시간지연,  $\Delta\tau (= D \cdot L \cdot \lambda^2 \cdot f_c / c)$ 는 신호의 phase decorrelation을 유발한다. 이로 인해 광검출기의 출력 밀리미터웨이브 신호는 CNR penalty와 위상잡음을 갖게 된다. 하나의 광신호가 갖는 선폭이  $\Delta\nu$ 일 때 시간지연에 의한 CNR penalty, 위상잡음의 분산은 각각 식(2), (3)과 같다.[2]

$$CNR\ penalty_{RHD} = 10 \log \left( \frac{1}{e^{-2\pi\Delta\nu\Delta\tau}} \right) \quad (2)$$

$$\sigma_\phi^2 = 2\pi\Delta\nu B_n (\Delta\tau)^2 \quad (3)$$

( $\phi$ : 위상잡음,  $B_n$ : 수신기 대역폭)

식(3)에서 RHD 링크에서는 IM-DD 링크와 달리 주기적인 신호전력 감쇠가 나타나지 않으며 CNR penalty의 크기도 매우 작음을 알 수 있다.  $10^{-9}$  BER에서 2-, 4-, 8-, 16-ary PSK 시스템

이 1dB sensitivity penalty를 갖도록 하는 위상 잡음의 크기를 구하여 식(3)에 대입하면 그림 4의 결과를 얻을 수 있다[2].

색분산에 의한 시간지연이 증가할수록 광검출기 출력 밀리미터웨이브 신호의 선폭,  $\Delta\nu_{IF}$ 도 증가한다.  $\Delta\tau=0$ 일 때,  $\Delta\nu_{IF}=0$ 이고,  $\Delta\tau$ 가 증가함에 따라  $\Delta\nu_{IF}$ 는 최대값  $2\Delta\nu$ 을 갖게 된다. 이러한 선폭 증가는 M-ary FSK 시스템에서 심볼간 간섭(ISI)을 증가시켜 BER 성능 열화를 일으킨다[3]. 그림 5는 비동기 복조기의 출력력단에서 선폭 증가에 의한 ISI 증가를 보여준다.

결론적으로 말하자면, IM-DD 링크와 RHD 링크 모두 색분산으로 인한 성능 열화를 겪는다. 색분산의 영향은 IM-DD 링크에서는 주기적 CNR penalty로, RHD 링크에서는 위상잡음 증가, 심볼간 간섭의 증가로 나타난다. 따라서 링크 구현 방식에 따라 이러한 영향을 줄이는 방법이 필요하다.

참고문헌

- [1] G.H.Smith et al., "Overcoming Chromatic Dispersion Effects in Fiber Wireless Systems Incorporating External Modulators," IEEE Trans. MTT, vol. 45, no. 8, 1410-1415, 1997
- [2] U. Gliese et al., "Chromatic Dispersion in Fiber-Optic Microwave and Millimeter Wave Links," IEEE Trans. MTT, vol. 44, no. 10, 1716-1724, 1996
- [3] L.L.Jeromin et al., "M-ary FSK Performance for Coherent Optical Communication Systems Using Semiconductor Lasers," IEEE Trans. COM-34 no. 4, 375-381, 1986

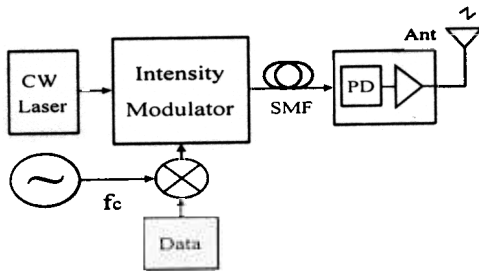


그림 1. IM-DD fiber-optic microwave link

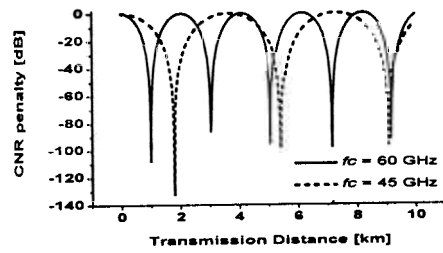
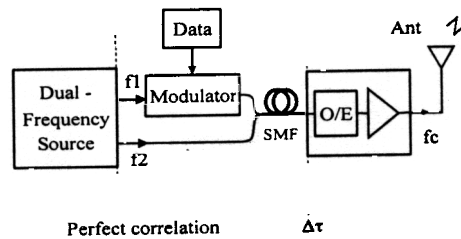


그림 2. CNR penalty of IM-DD link



Perfect correlation  $\Delta\tau$

그림 3 RHD fiber-optic microwave link

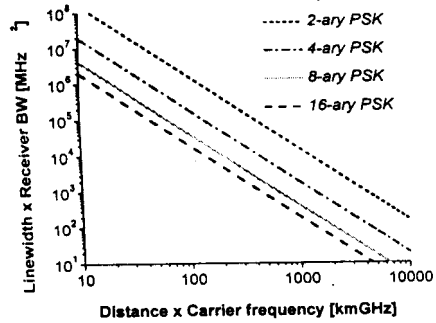


그림 4. M-ary PSK RHD link performances

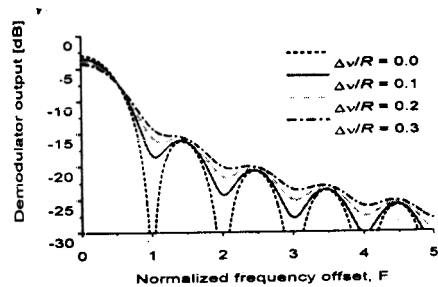


그림 5. M-ary FSK asynchronous demodulator output

cry  
wa  
has

장  
연  
니  
위

derr  
본

부  
선  
부  
의  
특  
따  
하  
다

그

있  
우  
격

(1)  
이  
는

만  
되  
중  
수  
DMUX