

밀리미터파 대역 링크에서 색 분산에 의한 성능 분석

김정태
동원대학 정보통신과

Analysis of Performance employing Chromatic Dispersion in Millimeter-wave Links

Jung-Tae Kim
Dept. of Information & Communication, Tongwon College
E-mail : jtkim@tongwon.ac.kr

Abstract

In this paper, The Influence of chromatic fiber dispersion on the transmission distance of MMW(millimeter-wave) link is analyzed and discussed. It is shown that dispersion significantly limits the transmission distance in intensity modulated direct detection and heterodyne links operating in the above 20GHz frequency region by inducing a carrier to noise penalty on the transmitted signal. We analyze and discuss the influence of dispersion induced CNR(Carrier to Noise Ratio) penalty for direct detection and heterodyne method from simulation.

I. 서론

기존 마이크로파 대역의 전송 용량이 포화상태로 됨에 따라, 더 넓은 주파수 대역의 Millimeter-wave (MMW) 시스템의 요구가 커져가고 있다. 따라서, MMW를 이용한 기술은, 향후 무선 통신망에서의 멀티

미디어 통신을 가능하게 할 광대역 무선 통신 시스템의 기술로 발전하고 있다. 이러한 MMW 기술과 Fiber-Optic 기술과의 접목은, 더 넓은 주파수 대역 제공, 더 많은 전송 용량 및 저 전송 손실이라는 측면에서 큰 장점을 가지고 있다. 그래서, radio-on-fiber 시스템을 위한 연구가 많이 진행되고 있는 추세이다.[1] 최근 들어, 음성, 데이터, 영상을 포함한 멀티미디어 통신에 대한 요구가 증가되고 있다. 이러한 요구에 부응하기 위한 방법이 광대역 통신인데, 광통신이 하나의 방법으로 대두되고 있으며, 기존의 마이크로파 대역의 전송용량이 포화 상태로 됨에 따라, 더 넓은 주파수 대역의 밀리미터파 대역의 시스템의 요구가 커져가고 있다.[1,2,3,4] 따라서, 본 논문에서는 밀리미터파 생성을 위해 injection locking 방법을 이용한 시스템에서의 전송거리에 대한 CNR(Carrier to Noise Ratio) 페널티에 대한 분석을 하였다.

II. 이론적 배경

단일 광소자를 이용한 수십 GHz의 광 펄스를 얻기

위한 방법으로, Modulation Sideband Techniques, Mode Locked Laser, Dual Mode Laser, FM-modulated Laser in Conjunction with Fiber Dispersion 등의 방법이 있다.[1] 이러한 방법의 경우에는 광소자 제작이 어려우며, 현재에는 연구 단계에 있으며, 소자의 개발비 및 가격면에서 경쟁력이 부족하다. 따라서, 현재 상용화되어 있는 반도체 레이저 다이오드(Laser Diode)의 코히런트한 특성을 이용하여 광학적으로 수십 GHz의 캐리어 주파수의 생성 방법에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 본 논문에서 사용하고자 하는 방법도 Multiple Optical Source Technique의 한 방법인 injection locking의 기법을 이용한다.[1,2]

Injection locking 기법을 이용한 광학적인 MMW 생성은 기본적으로, (그림1)과 같이, Master Laser(ML)와 두개의 Slave Laser(SL)로 구성된다. 연속적인 펄스(CW)를 이용하여 ML를 직접 변조시키면, 직접 변조된 ML은 IM(Intensity Modulation) 뿐만 아니라, FM(Frequency Modulation)을 수반하여 ML의 중간 주파수 주변으로 여러 개의 side-mode가 생성된다. 이때, 원하는 주파수를 얻기 위해 ML의 바이어스 전류를 조절하여, 안정된 injection locking range 범위 내에 SL1과 SL2가 존재하도록 조정하여, SL1과 SL2의 주파수의 차이가 원하는 주파수 대역에서 얻게 된다. 이때, 선택된 두 SL의 모드간의 주파수는 PD에서 beating 되어 원하는 MMW를 얻을 수 있다. (그림2)는 sideband injection locking의 과정을 보여준다.

또한, injection locking 방법을 사용한 경우에는 FM을 수반하여 ML의 중간 주파수 주변으로 여러 개의 side-mode가 생성되어 injection locking range내에서 원하는 밀리미터파를 생성하여 PD에서 beating 하여 원하는 주파수를 얻을 수 있다.

기존의 제안된 광학적인 MMW 생성방법 중의 하나인 side-band injection locking 방법이다.[4] (그림1)은 기본적인 시스템의 구성도로, ML의 출력이 광학적으로 SL의 입력으로 인가되는 구조이다. 출력단에서는 전송 정보가 MMW에 실리게 된다. ML를 rf-source로 직접 변조시킨 경우의 optical spectrum을 구할 수 있다. 앞서 언급했듯이, 직접 변조된 ML은 intensity modulation 뿐만 아니라, frequency modulation을 수반하기 때문에, 주변으로 여러 개의 side-mode를 형성하게 된다. 생성된 side-mode 중 원하는 두 개 target mode를 (그림2-b)와 같이 두개의 SL을 이용하여 선택하고, 이 선택된 두개의 mode는 photo-detector (PD)에서 beating 되어 원하는

MMW 신호를 얻게 된다. 두개의 SL 중 SLR는 CW로만 출력하여 reference로 동작하고, 다른 레이저 다이오드 (SLM)에 전송 정보를 실어주면, PD출력단에서는 원하는 주파수 스펙트럼을 얻을 수 있다. (그림2-c)는 ML를 3GHz rf-source (ML)로 직접 변조한 경우의 출력 파형이다. 이때, 각 peak간의 간격은 인가된 ML과 일치한다. 이들 중 center를 중심으로 1번째 peak를 만들 SL에서 선택한 경우의 파형을 PD에서 구할 수 있다. 따라서, (그림2-c)와 같이 두 peak의 차이가 사용하는 m의 정수배가 되는 스펙트럼을 구할 수 있다.

III. 시뮬레이션 및 고찰

직접 변조된 fiber-optic 링크의 경우 색분산으로 야기된 CNR 페널티를 구하기 위해 파이버의 전달함수는 다음과 같이 가정할 수 있다.[2]

$$H(f) = \exp^{-j\alpha(f)} = \exp^{-j\alpha\lambda^2} \quad \alpha = \pi D \frac{\lambda^2}{c} L$$

여기서, D는 분산계수, λ 는 파장, L은 길이를 나타내며, 분산에 의한 신호 전력의 변화는 주기성을 가지며, 캐리어 주파수와와의 관계는 다음의 식으로 주어진다.

$$\Delta L = \frac{c}{D \lambda^2 f_c^2}$$

따라서, 본 논문에서는 광 밀리미터파 생성에 의한 CNR 널티 계산을 다음과 같이 분석하였다. 일반적으로 CNR 페널티는 다음의 수식과 같이 파이버의 전송 전과 전송 후에서의 신호의 전력비로써 표현할 수 있는데 다음과 같이 정의 할 수 있다.[2]

파이버 전송전에 크기가 같은 네개의 입력모드를 가정하고, 분산과 위상의 변화를 고려하여 CNR 페널티를 계산하였다.

$$\text{penalty} = -10 \log \left[\frac{P_{\text{in}}(L)}{P_{\text{in}}(0)} \right]$$

$$= -10 \log \left\{ \frac{1 + 2 \cos(2\pi \lambda^2 D f_c^2 L + 2\chi \omega_0^2)}{1 + 2 \cos(2\chi \omega_0^2)} \right\}^2$$

여기에서 $P_{\text{in}}(0)$ 은 파이버로 전송되기 전의 신호의 전력을 표시한다. 해석적인 방법을 이용한 시뮬레이션의 결과로부터, 캐리어의 주파수가 증가함에 따라, 전

송거리가 감소하고 있음을 알 수 있다. 향후, 광대역 통신에서 응용 가능한 수십 GHz의 주파수를 얻기 위한 하나의 기법이 injection locking 방법인데, 본 논문에서는 직접 변조방식과 heterodyne 방식에서의 시스템 성능 평가를 구하기 위해, 밀리미터파 대역에서 파이버의 분산 영향과 위상의 변화를 고려하여 시뮬레이션으로부터 결과를 고찰하였다

IV. 결론

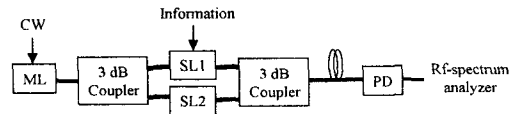
본 논문에서는, 향후 광대역 통신에서 응용 가능한 수십 GHz의 주파수를 광소자를 이용한 injection locking 방법을 사용하여 시스템을 구현 하였을 경우의 CNR 페널티를 이용하여 시스템 성능의 평가를 고찰하였다. 두 개의 입력 모드일 경우에 비해 멀티 모드일 경우 주파수의 크기가 증가함에 따라 시스템의 성능은 거리의 길이에 따라 감소함을 알 수 있다. 따라서, 추후 실험을 통해 확인된 multiple 방식의 injection locking 기법을 통해 안정된 locking 범위 내에서 동작할 수 있는 MMW의 신호원을 생성하고 색분산으로 기인한 거리에 따른 페널티의 감소 요인의 분석이 요구되어 지며 이의 보상을 위한 기법이 필요하다. 이러한 시스템 파라미터의 유추를 통해 향후, 밀리미터파를 이용한 통신 시스템에 적용 가능하리라 본다.

system using a dual-mode DFB semiconductor laser, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 43, pp.2270-2276, Sept. 1995.

[5] R.-P.Braun, G. Grosskopf, D. Rohde, and F. Schmidt, "Fiber Optic Millimeter-Wave Generation and Bandwidth Efficient Data Transmission for Broadband Mobile Communication in the 60 GHz Band", ECOC97, 22-25 September 1997, No.448, pp.33-36

[6] R.-P.Braun, et al., "Optical Microwave Generation and Transmission Experiments in the 12 and 60 GHz Region for Wireless Communications, IEEE Tran. Microwave Theory and Techniques, vol.46, no.4, April 1998, pp.320-330

[7] P.-A. Nicati, L. Thevenaz, et al., "Novel Measurement Scheme for Injection-Locking Experiments, IEEE J. Quant. Elect., vol. 35, no.1, 1999, pp. 32-38.



(그림1) 시스템 구성도

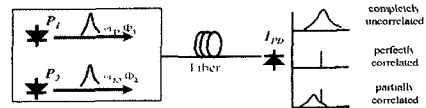
참고문헌

[1] Joerg Troger., et al., "Theory and Experiment of a Single mode Diode Laser Subject to External Light Injection from Several Lasers", Journal of Lightwave Technol., vol.17, no.4, April 1999, pp.629-636

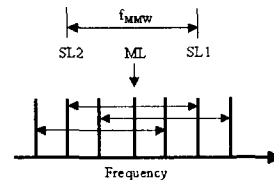
[2] U.Gliese., et al., "Chromatic Dispersion in Fiber-optic Microwave and Millimeter-wave Link", IEEE Transactions on MTT, vol.44, no.10, October 1996, pp.1716-1724

[3] J.M.Fuster., et al., "Generalized Study of Dispersion-Induced Power Penalty Mitigation Techniques in Millimeter-wave Fiber-Optic Links", Journal of Lightwave Technol., vol.18, no.7, July 2000, pp.933-940

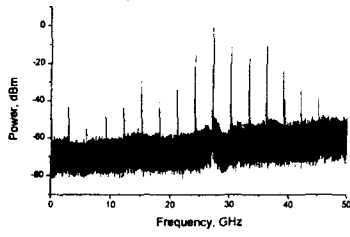
[4] D. Wake, C. R. Lima, and P. A. Davies, Optical generation of millimeter-wave signals for fiber-radio



(a)

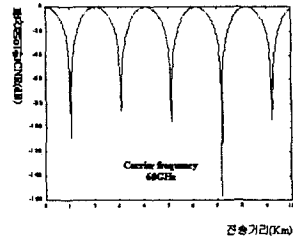


(b)



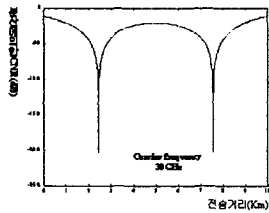
(c)

(그림2) 밀리미터파 생성 개념

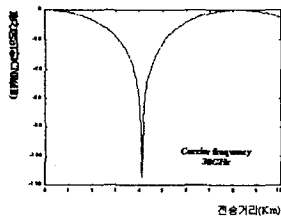


(d)

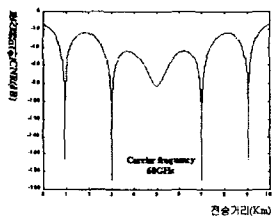
(그림3) 시뮬레이션 출력 파형



(a)



(b)



(c)