

# A Practical System of RF Signals Transmission Based on FSO

ZHANG Longfei<sup>1,2</sup>, CHEN Shun'er<sup>1,2</sup>, HUANG Hongbin<sup>1,2</sup>, LIU Weiping<sup>1,2</sup>

1. Department of Electronics Engineering, Jinan University, Guangzhou, China

2. Key Laboratory of Optoelectronic Information and Sensing Technologies of Guangdong Higher Educational Institutes, Jinan University, Guangzhou, China

**Abstract:** Transmission of modulated RF signals using FSO communication links has attracted a lot of interests in recent researches. In this paper, a practical system of RF signals transmission based on FSO is proposed. Firstly, for increasing the transmission capacity, an advanced RoFSO system based on DWDM which is capable of transmitting multiple RF signals simultaneously is adopted and improved. Then, considering the effects of atmosphere, MMW system or RF system is used as a backup in order to enhance the practicability, and two methods of establishing a criterion to switch between FSO and MMW/RF system backup are analyzed.

**Keywords:** FSO; RoFSO; MMW/RF system backup

## 一种基于 FSO 的 RF 信号实用传输系统方案研究

张龙飞<sup>1,2</sup>, 陈舜儿<sup>1,2</sup>, 黄红斌<sup>1,2</sup>, 刘伟平<sup>1,2</sup>

1. 暨南大学信息科学技术学院 电子工程系, 广州, 中国, 510632

2. 暨南大学广东省高等学校光电信息与传感技术重点实验室, 广州, 中国, 510632

**摘要:** 近来, 用FSO系统来传输RF信号得到了很多研究。本文提供了一种基于FSO的RF信号实用传输系统方案。首先, 为了提高传输容量, 本文采用一种能够同时传输多种RF信号的高级RoFSO系统, 并且做出了改进。其次, 考虑到大气环境对FSO系统传输的影响, 为了提高系统的实用性, 使用MMW或者RF系统进行备份, 同时, 分析了两种确立在FSO与RF/MMW备份系统中进行切换的标准的方法。

**关键词:** FSO系统; RoFSO系统; MMW/RF备份

### 1 引言

光纤遍布陆地和海底, 能够实现大容量、低成本、长距离、低损耗传输, 基于光纤链路的电信网络已经成为了主要的信息传输系统<sup>[1]</sup>。但是, 由于配置光纤链路的成本相对要高和施工周期长, 以及特定环境的限制, 在某些条件下不适宜布署光纤。此时, FSO(自由空间光通信)系统可以作为一种替代。

FSO 因兼具了光纤通信的高速率高带宽, 以及 RF(射频)或者 MMW(毫米波)通信系统的灵活性、易安装和低成本而应用广泛, 备受关注。新一代的 FSO 系统利用了无线光束与光纤的无缝链接技术, 直接把光纤与 FSO 天线相连, 而不再需要对光信号进行光/电, 电/光转换以实现对接<sup>[2]</sup>。这类基于 FSO 的用来传输 RF 信号的系统被称之为 RoFSO(射频无线光)。

近年来, RoFSO 系统得到了很多的研究。然而, 大部分的这种系统在考虑提高速率的时候忽略了其实用性, 而在考虑实用性的同时没有兼顾其传输速率。因此, 本文提出了一种高传输速率的实用的基于 FSO 的 RF 信

号传输方案。首先, 为了提高传输容量, 本文采用并且改进了一种能够同时传输多种 RF 信号的基于 DWDM 的高级 RoFSO 系统。其次, 考虑到大气环境对 FSO 系统传输的影响, 为了提高系统的实用性, 使用 MMW 或者 RF 系统进行备份, 同时, 提供了两种确立在 FSO 与 RF/MMW 备份系统中进行切换的标准的方法。

### 2 基于DWDM的高级RoFSO系统

#### 2.1 FSO的DWDM技术原理

其原理图如图 1 所示。

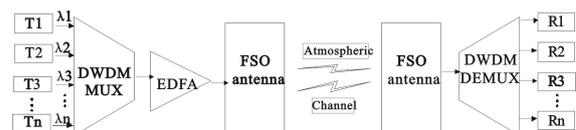


Figure 1. Schematic diagram of DWDM based on FSO

使用基于 FSO 的 DWDM 是为了充分利用光在大气中传播的“低损耗窗口”带来的巨大带宽资源。其基本原理是: 将光的某个“低损耗窗口”划分成若干个信

道,不同信道传输不同规定波长的光波;用不同光波作为不同信号的载波,在发送端用复用器将不同规定波长的多种光调制信号合并起来,通过 EDFA 进行放大之后耦合进同一个 FSO 天线系统进行发射,光调制信号在经过大气信道的传输之后,被接收端的 FSO 天线系统收集,并耦合进解复用器将这些不同波长光调制信号分开,再恢复出所传输的信息。

图 1 是一个多信道点对点的 DWDM 系统,若各信道的传输速率分别为  $C_1, C_2, \dots, C_n$ ,则总的传输容量为:

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (1)$$

不难看出,使用 DWDM 可以增加系统的传输容量。目前,单信道 FSO 提供的容量达到了 2.5Gbps,基于 DWDM 技术的实验室系统容量可达 160Gbps<sup>[3]</sup>。

## 2.2 基于 DWDM 的 RoFSO 系统原理

RF 信号的无线电传输方式已经成熟,但是受制于传输速率,在很多情况下不能满足要求。RoF (Radio on Fiber, 射频光纤)是利用 RF 信号来调制光载波并在光纤中传输以实现传送 RF 信号的技术,运用已经相当成功。FSO 链路与光纤具有相似性,也可以用来传输 RF 信号。RoFSO 系统,是将 RF 信号调制光载波得到的光调制信号通过 FSO 天线发射,经过大气传输后,在接收端用 FSO 天线系统接收,并直接耦合进光纤纤芯,再通过解调得到 RF 信号。与光纤链路相比,RF 信号在 FSO 链路上的传输要受到几种因素的影响,比如说大气环境(云、雨、雾)的影响。

同 RoF 一样,采用 DWDM 技术可以同时传输多种 RF 信号,大幅度地提高 RoFSO 的系统容量。这些 RF 信号包括基于不同协议的无线通信和广播信号,例如, Digital TV(数字电视信号), 3G 信号(包括 WCDMA, TD-SCDMA 和 CDMA2000), WLAN(无线局域网)以及其它无线服务<sup>[4]</sup>。

如图 2,是一种基于 DWDM 的高级 RoFSO 系统原理图。

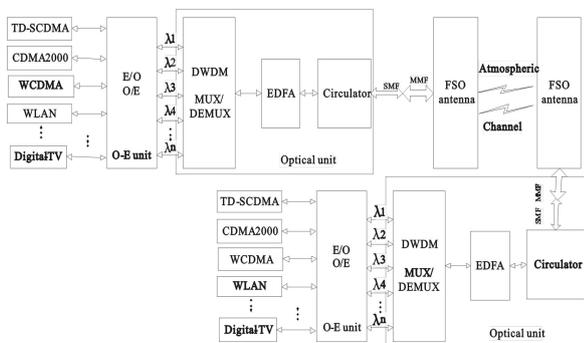


Figure 2. Schematic diagram of an advanced RoFSO system based on DWDM

系统主要包括两部分,一个是光电单元,包括光/电和电/光转换装置,用于将各种 RF 信号调制光载波得到光调制信号或者从光调制信号中解调出 RF 信号;另一个是光单元,包括 DWDM 的波分复用器和解复用器, EDFA (掺铒光纤放大器),以及用来隔离接收和发送光信号的光环形器<sup>[5,6]</sup>。

从图 2 可以看出来,光束经过大气传输进入 FSO 接收天线后,直接耦合进入 MMF(多模光纤),之后再耦合进入 SMF(单模光纤)。要求 FSO 天线系统的棱镜的数值孔径要接近 MMF 的数值孔径,以避免从天线至光纤的过大的损耗。传统的 RoFSO 采用 SMF 直接与光天线相连的结构,而与之相比,本系统采用了 MMF 结构。它有两个好处:一是 MMF 与 SMF 相连结构的整体耦合损耗比直接采用 SMF 的耦合损耗相对要小;二是 MMF 的芯纤直径要大,从而使 FSO 天线系统的视角可以大些。之所以还要采用 SMF 是因为后续的光学器件需要与 SMF 相连<sup>[7]</sup>。

## 3 FSO 系统备份

### 3.1 FSO 信道分析及 FSO 系统备份的必要性

FSO 是以大气为媒质的通信方式,容易受不利的天气条件的影响,比如云、雾等。大气对激光的影响主要是吸收和散射,它们使激光传输的能量衰减,接收信号减弱。

吸收是大气中气体分子的本征特性,与信号的频率有关,通常用“低损耗窗口”来表示。比如说,1550nm 的光波落在 1520-1600nm 的窗口中,850nm 的光波落在 780-980nm 的窗口中,此时光波受大气吸收的影响比较小。

散射是使能量朝各个方向发散,而不是对能量进行吸收。大气中的粒子会使入射光朝各个方向散射。不同尺寸大小的粒子对光的散射是不同的,据此分为三类。一类是粒子尺寸远小于光波的波长,比如说大气分子,它造成的衰减与波长的平方成反比,因此它对 1550nm 光波的影响微不足道。另一类是粒子大小与光波波长大小相近,比如说云与雾中的水滴,对光波的散射最大。还有一类是粒子大小远大于信号波长,比如说雨滴,对光波的影响很小。

对于雨来说,因为雨滴的尺寸要远大于光波长,故而对光波的影响主要体现在光子吸收上面,对处于“低损耗窗口”中的光波长,其影响是不重要的。

对雾来说,因为其中的水或冰的小颗粒的尺寸与光波长在同一数量级,对光波的散射很大,故而是使 FSO 链路出现中断的最主要原因。特别是在浓雾的条件下,

780–1600nm 范围波长的光波的衰减几乎为常数，造成 FSO 链路的中断。只能通过采用其它波段，比如说毫米波或者射频波段来传输才能够改善<sup>[8]</sup>。

### 3.2 MMW/RF系统备份

要提高 FSO 系统的实用性，一方面可以通过缩短距离来减少链路损耗达到目的。但是在浓雾条件下，或者 FSO 链路距离已经确定的条件下，这种方法无能为力。另外，也可以通过增强发射功率来提高性能，但是出于安全的考虑，这种方法的作用有限。目前研究比较多的是采用 MMW（毫米波）系统或者 RF（射频）系统备份。

用 MMW/RF 系统传输 RF 信号的技术经过长期的发展已经相对成熟。MMW 系统的频带范围在 30GHz—300GHz，目前已经能够提供 100Mbps 的传输速率，1Gbps 的也即将实现商用。无线 RF 系统的频率在 30GHz 以下，容量受限比较大，但是在一定条件下也可以满足要求。同 FSO 系统一样，RF 与 MMW 系统也受大气环境的影响。雨滴的散射是造成 MMW 和 RF 系统能量衰减的主要因素，因为其尺寸与 MMW、RF 系统的波长相近，而雾对系统的影响很小。另一方面，大气吸收的峰值在 24GHz, 60GHz 及 125GHz，而对 12GHz 及 94GHz 波段的信号吸收很小。因此可以利用 12GHz 频段的 RF 系统或者 94GHz 频段的 MMW 系统对 FSO 系统进行备份，以确保整个系统在恶劣的天气条件下也能够保持可靠的通信<sup>[9,10]</sup>。

图 3 是 FSO 与 MMW 或者 RF 的混合系统原理图。

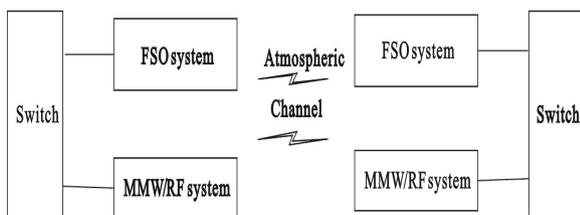


Figure 3. Hybrid FSO/MMW system or hybrid FSO/RF system

如图所示的混合系统，在正常的天气条件下，使用 FSO 系统进行高速传输，而在某些恶劣的条件下，当 FSO 链路性能下降到一定程度时使用 MMW/RF 备份系统进行传输。比如说，在大雾的条件下，FSO 链路衰减厉害，可能造成中断，于是切换到受雾影响小的 MMW 或者 RF 系统进行传输；在大雨的条件下，MMW 或者 RF 系统衰减厉害，而 FSO 系统能够正常通信。这种混合系统可以在各种不同的天气状况下在光链路和 MMW/RF 链路上自由切换，传输性能能够达到电信级实用的标准。

如图，需要确立系统切换的标准。有两种方法。一种是通过检测系统的信噪比，在正常天气条件下系统的信噪比高，使用 FSO 进行高速传输，而在恶劣天气的影响下，会使信噪比降低，通过降低 FSO 的传输速率可以在一定程度上提高信噪比，当浓雾的影响过大，使信噪比降低到一预定值时，切换到 MMW 或者 RF 系统；天气条件变化之后，当信噪比改善到预定值时，再切换回 FSO 进行传输。另外一种方法是通过比较接收端探测器的光电流来确定使用哪种链路来传输及何时需要进行切换。例如，在浓雾条件下，FSO 衰减大，其接收端探测器的光电流如果小于 MMW 或者 RF 链路的光电流，切换到 MMW 或者 RF 进行传输，而在大雨条件下，MMW 或者 RF 链路衰减要远大于 FSO 的衰减，接收端光检测器的光电流也小于 FSO，切换回 FSO 传输<sup>[11,12]</sup>。

## 4 结论

FSO 系统为 RF 信号的超高带宽传输提供了一种可行的方法，为了提高传输速率和实用性，本文提出一种基于 FSO 系统的 RF 信号实用传输系统方案。首先，使用一种能够同时传输多种 RF 信号的基于 DWDM 的高级 RoFSO 系统，并且采用了 MMF 结构进行改进。其次，使用 MMW 或者 RF 系统进行备份，同时，提供了两种确立在 FSO 与 RF/MMW 备份系统中进行切换的标准的方法。

表 1. FSO 与 MMW/RF 的混合系统

混合系统	载波频率或者波长	传输速率	恶劣的大气环境影响		使用环境
			大雨	浓雾	
FSO 系统	1550nm	单信道 2.5Gbps	小	大，甚至造成通信中断	除浓雾的天气条件下
MMW/RF 备份	94GHz/12GHz	100Mbps—1Gbps	大，甚至造成通信中断	小	浓雾条件下

表 1 反映了这种方案所采用的混合系统的基本特点。随着 3G、WLAN 以及其它无线通信技术的应用和发展，这类采用 FSO 系统来传输 RF 信号的技术必将有广阔的应用前景。

## References (参考文献)

[1] Shah AM, Dat PT, Kazaura K, et al. Characterization of RF Signal Transmission using FSO Links Considering Atmospheric Effects [C]. Free-Space Laser Communication Technologies XX. 2008: 8770-8770.  
 [2] Dat PT, Shah AM, Kazaura K, et al. Investigation of Suitability of RF signal transmission over FSO links[C]. 2007 International

- Symposium on High Capacity Optical Networks and Enabling Technologies. 2007: 63-68.
- [3] Ai Y, Geng Q, Yang JL, *et al.* 5Gps 2.1 km WDM Free-Space Optical Communication Experiments[C]. ICO20: Optical Communication. 2006:2513-2513.
- [4] Refai HH, Sluss JJ. The Transmission of Multiple RF Signals in Free Space Optics Using Wavelength Division Multiplexing[C]. Atmospheric Propagation II. 2005: 136-143.
- [5] Kazaura K, Suzuki T, Wakamori K, *et al.* Experimental Demonstration of a Radio on Free Space Optics System for Ubiquitous Wireless[C]. PIERS 2009 Beijing: Progress in Electromagnetics Research Symposium, Proceedings I and II. 2009: 34-39.
- [6] Tsukamoto K, Higashino T, Nakamura T, *et al.* Envelopment of Radio on Free Space Optics System for Ubiquitous Wireless[C]. PIERS Proceedings. 2008.
- [7] Wang MG, Zhang JY, Zhang YL, *et al.* Experimental study on 10Gbit/s free-space optical transmission system[C]. Optical Transmission, Switching, And Subsystems V, Pts 1 and 2. 2007: 7834-7834.
- [8] Colvero CP, Cordeiro MCR, von der Weid JP. FSO Systems: Rain, Drizzle, Fog and Haze Attenuation at Different Optical Windows Propagation[C]. 2007 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference, VOLS 1 AND 2. 2007: 563-568.
- [9] Nadeem F, Flecker B, Leitgeb E, *et al.* Comparing The Fog Effects on Hybrid Network Using Optical Wireless and GHz Links[C]. CSNDSP 08: Proceedings of the Sixth International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing. 2008: 278-28.