

# 采用 EDFA 的空间光通信系统模型<sup>\*①</sup>

葛林<sup>\*\*</sup> 邱昆 阳树棕

(电子科技大学光纤通信国家重点实验室 成都 610054)

**【摘要】** 介绍了空间光通信系统的基本结构,并根据长距离星间链接的特点,提出一种采用 EDFA 技术的光发射机和光接收机模型,以实现大功率激光输出和接收机的高灵敏度。提出一个 622 Mb/s 系统的功率预算方案,通过分析,证明该方案是能够实现的。

**关键词** 空间光通信; 激光器; 掺铒光纤放大器; 功率预算

**中图分类号** TN929.1

利用半导体激光通信方式,可在卫星与卫星之间,包括中继卫星之间,中继卫星和用户卫星(地球同步卫星或低轨道卫星)之间,小卫星之间以及空间站和航天器之间建立起光通信链路,从而形成多卫星通信网络。然而,在长距离大容量空间光通信系统中也面临许多技术上的难题,如 GEO-GEO 链接,LEO-GEO 链接。由于通信距离长,空间损耗大,相应对器件要求严格,如激光器输出功率大,调制速率高,接收灵敏度高。虽然增大天线口径可以提高增益、扩大通信距离,但是,由于天线重量与口径成三次方增长,因此,在空间光通信中并不适合。本文提出采用在地面光纤通信系统中已经成熟的 EDFA 技术,实现大功率激光输出,并采用平衡式 EDFA 检测技术,实现接收机的高灵敏度。最后,给出这种方案的功率预算<sup>[1,2]</sup>。

## 1 系统结构

### 1.1 功能框图

空间光通信系统主要包括三个子系统:通信、PAT(定向、探测、跟踪)和光学系统,总体框图如图 1 所示。

光学子系统的主要任务是将激光器发出来的光引入光学天线;在接收端再将光从光学天线引入光电探测器。此外,它还提供跟踪和探测接收机的光通道,以及从探测信标发生器到天线的光通道。空间光通信系统最关键的技术之一就是两个飞行器终端的精确定向。静止轨道终端提供瓦特量级的光信标用于探测,相应地,低轨道终端装有信标接收机—电荷耦合器件(CCD)。在两个终端相互对准后,探测过程结束,并将部分通信信号对准另一个 CCD 阵(跟踪接收机)实施相互跟踪。通信系统分直接检测系统和相干检测系统,而相干检测系统包括外差检测和零差检测两种形式<sup>[3]</sup>。

下面,我们讨论采用 EDFA 结构的光发射机和 EDFA 前级放大的光接收机。

### 1.2 光发射机组件

对于自由空间光通信,高速率发射机的主要要求为:(1)信号的高速调制。(2)产生足够大的功率。这里,我们采用主振荡器、功率放大器(MOPA)结构。MOPA 结构的高速调制与产生大功率

① 1997 年 11 月 18 日收稿,1998 年 1 月 9 日修改定稿

\* 国防科技预研基金资助项目

\*\* 男 29 岁 硕士研究生

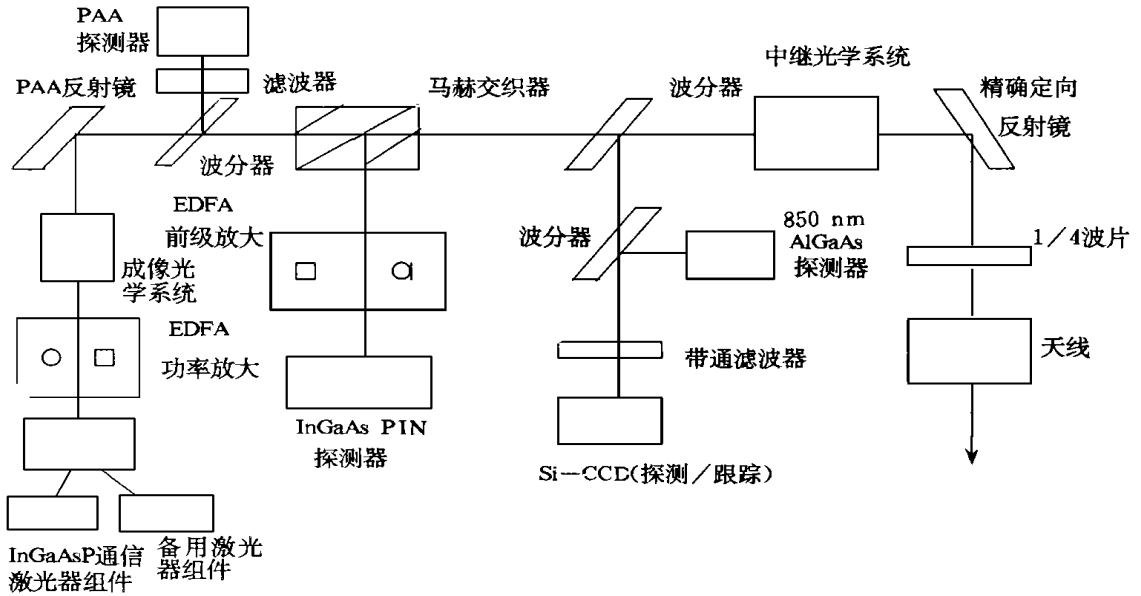
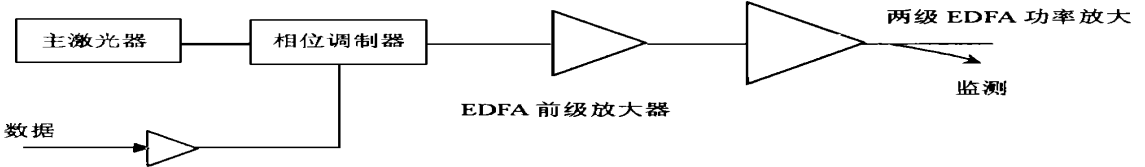
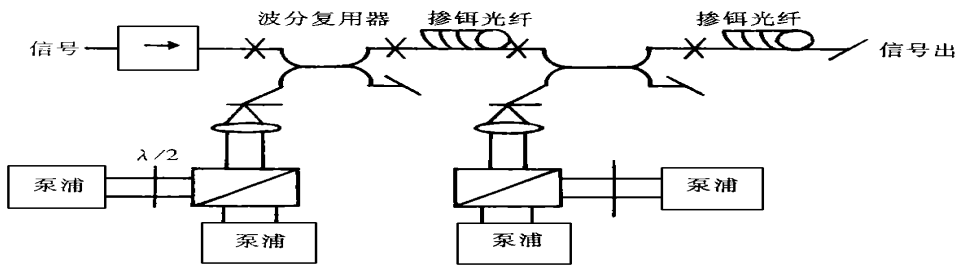


图 1 LEO-GEO 链接, 通信, 探测/跟踪系统框图



(a) 基于 MOPA 结构的光发射机框图



(b) 两级掺铒光纤放大器结构

图 2 光发射机结构

可以分别优化。光发射机结构如图 2 所示。

主激光器采用尾纤型激光器, 耦合功率大于 2 mW, 工作电流 30 mA。此外, 选用马赫强度调制器作为激光器的相位调制器, 以达到全  $\pi$  调制深度。光功率放大采用掺铒光纤放大器, 并采用两级副泵浦结构, 共使用四个 980 nm 波长泵浦激光器。最后可得在 1 550 nm 波长, 输出功率大于 1 W。

### 1.3 光接收机组件

采用低噪声掺铒光纤放大器结构。理想的光前级放大接收机与相干外差接收机具有相同的理论误码率特性。此种结构有以下几个优点: 1) 由于数据直接在基带恢复, 光前级放大仅要求与数据传输率相同的带宽(相干外差系统要求二倍或三倍的数据传输带宽); 2) 光前级放大接收机采用泵浦激光器, 对是否单模或相对发射激光器频率锁定不作要求; 3) 附加的光增益可维持系统灵敏度。光接收机结构如图3所示。

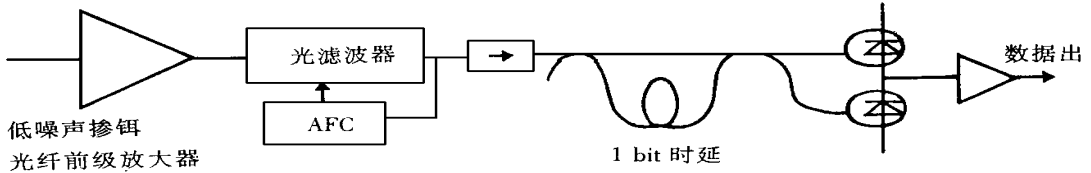


图3 光接收机结构

接收到的弱光信号在EDFA中进行光放大。放大器采取两级设计, 包括一个中间隔离器和光滤波器, 同时达到低噪声和高增益。前级放大器之后为法布里—珀罗光滤波器, 3 dB带宽为70 GHz以提高信噪比。信号通过延迟—相加解调器解调。解调器将输入信号分成两部分, 一部分附加有1 bit时延, 因此, 当它与没有时延的信号混合时, 马赫解调器的输出代表了两个连续比特电场的和与差。如果存在 $\pi$ 的相位差, 和端口输出为零, 差端口输出为全光; 如果没有相位差, 和端口输出为全光<sup>[4]</sup>。

## 2 功率预算

传统的空间传播距离方程为

$$P_s = P_T G_T G_R T_T T_R T_A (\lambda / 4\pi R)^2 \quad (1)$$

式中  $P_s$  为实际入射在接收探测器上的信号功率,  $P_T$  为发射机功率,  $G_T$  和  $G_R$  分别为发射机和接收机天线增益;  $T_T$  和  $T_R$  代表发射光通道和接收光通道的效率,  $T_A$  为大气传输损耗,  $(\lambda / 4\pi R)^2$  表示自由空间损耗,  $\lambda$  为波长,  $R$  为距离。根据距离方程, 进行空间光通信系统功率预算。

### 2.1 系统要求

数据传输率:	622 Mb/s	峰值功率:	1 W
波 长:	1 550 nm	平均功率:	0.5 W
距 离:	42 000 km	调制方式:	DPSK
误 码 率:	$10^{-9}$	接收机组件:	EDFA/InGaAs PIN
发射机组件:	InGaAsP/EDFA	天线口径:	25 cm
天线口径:	25 cm	接收机灵敏度:	-42.0 dBm

### 2.2 预算结果

设发射机输出峰值功率为1 W, 天线理论增益值由  $G = 4\pi A/\lambda^2$  决定, 指向误差为  $0.5 \mu\text{rad}$  时, 损耗约为0.8 dB, 其他参数采用空间光通信中的典型值。最后, 根据式(1)可得结果如下:

峰值发射功率: 30 dBm

发射效率: -3.0 dB

发射天线增益: 114 dB

自由空间损耗: -290.6 dB

指向误差: -0.8 dB

接收天线增益: 114 dB

接收光损耗: -2.5 dB

接收到的光功率: -38.9 dBm

要求的接收机灵敏度: -42.0 dBm

富余度: +3.1 dB

采用 DPSK 调制方式的相位调制器, 其调制速率可大于 1 Gb/s; 此外, 采用 EDFA 的光发射机, 输出功率大于 1 W 和采用 EDFA 前级放大的光接收机, 其灵敏度高于 -42.0 dBm, 在技术上是容易实现的。因此, 我们提出的采用 EDFA 的空间光通信模型, 在技术上是可行的<sup>[5]</sup>。

### 3 结束语

在空间光通信中, 对于短距离星间链接 (LEO-LEO), 采用直接检测方式, 中等功率的激光器和 APD 高灵敏度接收机即可实现; 而对于长距离星间链接 (LEO-GEO, GEO-GEO), 通常采用相干外差检测方式, 但技术上难度较大, 实现困难。本文提出的采用 EDFA 结构实现长距离空间光通信, 利用了地面光纤通信系统中成熟中的 EDFA 技术。目前, 该系统的实验正在进行之中。

### 参 考 文 献

- 1 Kimura Kazuhiro, Inagaki Keizo, Karaswa Yoshio. Global satellite communication network using double-layered inclined orbit constellation with optical inter-satellite links. *SPIE Free-space Laser Communication Technologies* 1996 (2 699):12~23
- 2 Chan V W S. Space coherent optical communications systems—an introduction. *J Lightwave Tech.* 1987, LT-5(4):663~637
- 3 Araki Ken'ichi, Inagaki Keizo, Yasukawa Koji. Design of compact transceiver optical systems for optical inter-satellite links. *SPIE Free-space Laser Communication Technologies*, 1990, (1 218):169~177
- 4 Livas Jeffrey C, Swanson Eric A, Chinn Stephen R *et al.* High data rate systems for space applications. *SPIE Free-space Laser Communication Technologies* 1995, (2 381):38~47
- 5 Arnon S, Kopelika N S. Free space satellite optical communication: adoptive information bandwidth to maintain constant bit error rate during periods of high satellite vibration amplitude. *SPIE Free-space Laser Communication Technologies*, 1996, (2 699):327~338

## A Model of Free-space Optical Communication Systems Adopting Erbium-Doped Fiber Amplifiers

Ge Lin      Qiu Kun      Yang Shuzhong

(State Key Lab. of Optical Communication, UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** In this paper, the typical architecture of free-space optical communication systems is introduced. In order to generate high laser output power and acquire high receiver sensitivity, a model of optical transmitter and receiver is presented, which is based on long-range inter-satellite links. The power budget of 622 Mb/s system is put forward. The analysis shows that the model is easily achieved.

**Key words** free-space optical communication; laser; Erbium-doped fiber amplifiers; power budget