

一种卫星波分复用/黑码分多址组网方案研究

傅 劲, 谭庆贵, 胡 渝

(电子科技大学物理电子学院 成都 610054)

【摘要】介绍了组建卫星光通信网络的必要性,分析比较了卫星光通信网络中可采用多址技术及其特点。结合波分复用技术和光码分多址技术的优点,提出一种新的光码分多址+波分复用组网方案,给出了该组网方案的网络结构及编码实现方案,并分析了该种组网方案的特点和应用前景。结果表明,该混合组网方案可很好地利用波分复用和光码分多址技术的优点,具有网络拓扑结构灵活、易于扩展、可承载多种业务以及易于实现的特点,在卫星光通信网络中具有重要的应用价值。

关键词 卫星通信; 光码分多址; 波分复用; 卫星光网络

中图分类号 TN929.11

文献标识码 A

Study on a New Inter-Satellite WDM/OCDMA Optical Network

FU Jin, TAN Qing-gui, HU Yu

(School of Physical Electronics, Univ. of Electron. Sci. & Tech. of China Chengdu 610054)

Abstract The characteristics of different access techniques used in optical network are analyzed and compared. A new optical network with Wavelength Division Multiplexing and Optical Code Division Multiplexing Access (WDM/OCDMA) is presented. The advantages and applications of this network scheme are discussed. In the end, the network structure of this WDM/OCDMA network and the optical CDMA encoding and decoding schema are introduced. The results show that the WDM/OCDMA network, which can fully use the advantages of WDM and OCDMA technologies, is valuable in practice.

Key words satellite communication; optical code division multiplexing access; wavelength division multiplexing; inter-satellite optical network

近年来,随着各国对制天权、制信息权的争夺以及海量信息传输和多业务需求的发展,亟需建立天基综合信息网。作为微波卫星通信的有效补充,卫星光通信技术已成为卫星通信领域研究的热点,并取得了显著的研究成果,目前已通过实验完成了星间和星地之间的激光通信链接。随着精确跟踪、捕获和对准技术、大功率激光器技术和光放大(Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA)技术的日益成熟,以及高速率卫星通信链路的建立,作为天基综合信息网的一部分,建立更透明、更开放的卫星光网络成为可能。美国、欧洲和日本等国家竞相投入进行相关组网技术的研究和实验,例如Celestri星座、Teledesic系统和Leonet星的卫星网络(>2 Gbps)都在积极筹划之中^[1-7]。在卫星光网络中可以采用时分复用(Time Division Multiplexing Access, TDMA)、波分复用(Wavelength Division Multiplexing, WDM)和光码分多址(Optical Code Division Multiplexing Access, OCDMA)技术,本文对三种技术特点进行了分析,并研究了一种波分复用/光码分多址组网方案,给出了该方案的实现方法。

1 WDM和TDMA技术的特点及应用

在星间可以采用WDM和波长路由(Wavelength Routing, WR)技术,以形成具有星间光链路(Optical Inter-Satellite Link, OISL)的空间光网络^[1-6]。WDM/WR技术方案代表了未来宽带、大容量卫星光网络的发展方向。基于WDM的全光网络,其研究内容主要集中在物理层、拓扑结构以及接入协议等方面。

1.1 WDM技术

WDM光网络的物理拓扑结构比较灵活,主要有星型、树型、总线型以及环型等多种物理拓扑结构。星

收稿日期:2006-07-04

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60272006)

作者简介:傅劲(1969-),女,大学,助理工程师,主要从事无线光通信技术方面的研究。

型结构和树型结构在没有光放大器的条件下,可以携带更多的用户,是无源光网络常用的拓扑结构。总线型结构对光功率的分配和光放大器的性能要求较高,环型结构则存在如何消除网络上已经广播出去的光信号的问题,因此这两种物理拓扑结构在全光网络中应用较少。根据媒体访问控制(Medium Access Control, MAC)的不同协议,各种物理拓扑结构对应着不同的逻辑拓扑结构,同样有星型、树型、总线型以及环型等多种逻辑拓扑结构。

采用WDM技术的卫星光网络受波长数目的严重制约。(1)随着卫星节点数目的增加,要建立一个星间全逻辑连接,所需要的波长数目以接近于平方指数的速度增加,这对于节点数100个以上的卫星网络是不现实的;(2)遵从国际电信联盟光波长分配方案,卫星光网络波长的间隔至少为200 GHz,这样在EDFA放大带宽内只能允许大约16个波长信道,同样无法满足卫星网络的需求。因此,必须找到一种只需较少波长数目的新路由技术,既能保持波长路由优势,又可满足卫星网络逻辑连接的需求。

1.2 TDMA技术

光TDMA可以克服光放大器级联引起的频谱非线性效应、非理想化的滤波器造成的串扰以及波长稳定控制的复杂性,并且容易产生较高的线路速率,与现有的同步数字等技术兼容。但由于受超短光脉冲的产生、偏振模色散等光学非线性效应对传输距离的限制、光交换节点的全光信号处理、光逻辑和光存储技术、系统时钟提取以及全网同步等问题的影响,光TDMA技术的实际应用还很不成熟,单独采用光TDMA技术构建一个全光网络的难度较大。目前对光TDMA全光网的研究主要是解决物理层上的实际问题,而对于数据链路层和网络层,特别是MAC层协议的研究还较少,通常是将无线领域的协议套用到光TDMA上,具有一定的局限性。

将WDM和光TDMA两种技术相互结合,采用WDM技术构成子网,然后用光TDMA技术将各个WDM子网互联。由于WDM和光TDMA是两种不同的技术,对光信号的要求也完全不同,因此,光TDMA网络与WDM网络的接口节点必须具有两种信号相互转换的功能,使WDM/TDMA混合组网方式在卫星光通信网络中的应用价值不大。

2 光CDMA + WDM编码特点

2.1 光CDMA技术特点及优势

光CDMA是一种全新的多址技术,具有系统容量大、保密性强、网络协议简单以及可以异步接入等特点,近年来在地址码设计、系统性能、MAC协议、网络性能方面得到了深入的研究。其在全光接入和局域网上的优势是其他复用方式所不具有的。光CDMA技术中用户由不同的码字来区别,可以用来进行地址码识别、路由选择,从而简化网络结构和协议,提高网络的灵活性。例如,利用不同用户的地址码实现全光路由和光交换,在光分组交换网络中直接利用地址码进行IP选路。在光CDMA全光网络中,对光时隙信号进行编码,能够简单实现全光的信号上下路 and 用户识别。

2.2 光CDMA + WDM特点

在卫星WDM光网络中,为了克服波长数受限的特点,可采用WDM和光CDMA相结合的方法来有效降低对光波长资源的限制,充分利用无线光带宽。基于WDM的广播选择多跳网中, N 个用户实现互联需要的波长数为 $W = pN = kp^{k+1}$,其中,满足 $N = kp^k$, k 为整数, p 是用户的光发射机和接收机的数量^[7]。在星型全光网络中,对于16个用户,每个用户有2个光发射机和接收机,因此至少需要32个光波长才能实现互联。当用户数增大到32个时,需要的光波长数为64个,波长数较多,并且可用波长数还要受到EDFA带宽的限制。若在每一个波长上进行光域的编码,则可更好地利用带宽资源,降低需要的波长数。对于32个用户,如果每波长附加2个码字,组成混合光WDM/CDMA多跳网,所使用波长数由64个下降为32个;如果每个波长上附加4个码字,则使用波长数为16个,从而降低了对波长数和光滤波器的要求。这种WDM和光CDMA相结合的方法需要在光网络中采用光编码器,随着光编解码理论的不断发展和各种性能优良的编解码器的出现,这种波长和码字相结合的方法在全光网络中具有广阔的应用前景。

随着光CDMA技术的不断发展,光CDMA技术与其他复用方式结合所体现的优势逐渐受到人们的重视,其中光CDMA和WDM两种技术结合在光网络中具有重要的应用价值,是一种较理想的组网方案。

3 光CDMA + WDM混合组网方案

3.1 编码方案

混合光WDM + CDMA主要有两种编码方案。一种是直接在光CDMA光信号上叠加WDM信号,在频域将两种信号直接叠加,利用了频谱扩展后的光CDMA信号比WDM信号强度要小得多的特点。该方式虽然提高了频谱利用率,但在接收端需要窄带滤波器将WDM信号从光CDMA信号中分离,不可避免地对光CDMA信号造成了损伤,同时也在WDM信道上增加了噪声。该混合方式没有充分体现光CDMA的特点和优势。另一种光WDM/CDMA混合方案是首先在光域将频谱划分为 $N_w = N / N_c$ 个波长信道(其中 N 为系统总用户数),在每个波长信道内,由 N_c 个经编码后的用户来共享该波长信道,如图1所示^[7]。

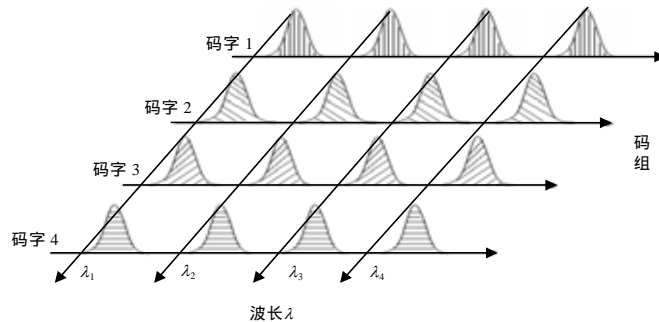


图1 一种WDM/OCDMA混合编码方式

3.2 光CDMA+WDM网络结构

基于星型网络结构,根据前面提出的光CDMA+WDM组网方案,给出图2所示的网络结构。此卫星光CDMA+WDM网络主要由发射/接收机、编解码器、光合束/分束器、光波分复用器、光发射/接收天线和耦合模块等部分组成。在发射端,采用 m 个波长、 N 个光CDMA地址码。 N 个光CDMA地址码分别在不同的波长上进行编码,得到 $N \times m$ 个地址码。 $N \times m$ 路用户的光信号经一个WDM复用器合为一,由发射天线发射到自由空间。在接收端,接收到的光信号耦合到一个单模光纤,然后分别经WDM解复用器和分束器后送入解码器,最后通过探测器探测、信号处理、解出有用信号。

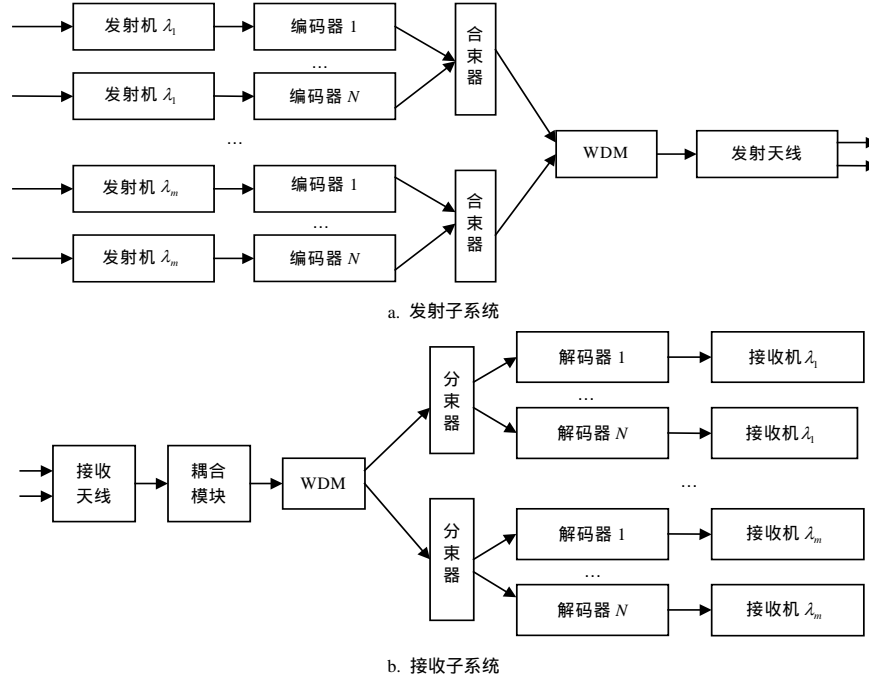


图2 光CDMA+WDM网络结构

3.3 地址码实现方案

在本文提出的卫星光CDMA+WDM网络中,要想实现光CDMA编解码功能,需要可变址编解码器。图3所示为并行可变址编解码器,主要由分束器、合束器、光纤延迟线组成。其缺点是结构复杂,功率损耗比较大,光纤数目多,需要的光开关数目也多。并行可变址编解码器可以适用于任何类型的单极性地址码。图4所示是串行可变址编解码器,串行编解码器由光纤延迟线,2×2光开关组成。相对于并行编解码器,串行编解码器结构的比较紧凑,功率损耗小,所需的光开关数目少,但对光开关速率要求比较高,只适合于 2^n 结构的地址码。

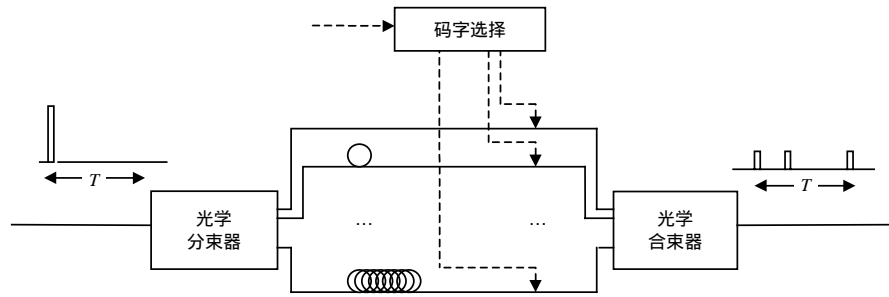


图3 并行编解码器

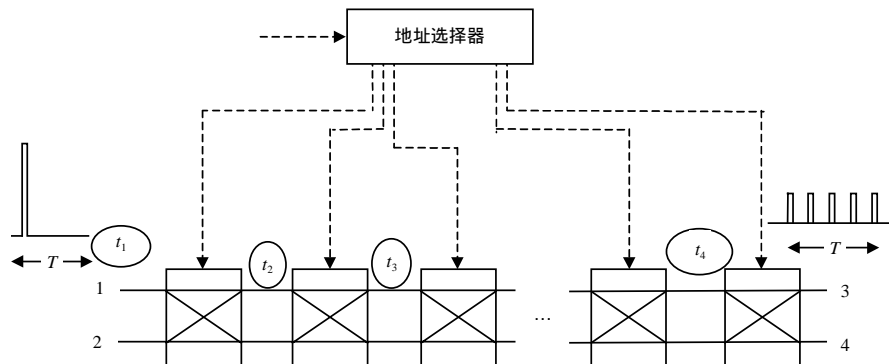


图4 串行编解码器

4 结束语

结合光CDMA和WDM技术的特点,提出了一种基于波分和码分相结合的组网方案。这种混合组网方案可以很好地结合WDM和光CDMA的优点,在整个频域范围内是波分复用,而在每一个波长信道内是码分多址,它比每一种单独复用方式能够承载更多的用户,降低了对光源稳定性和光滤波器带宽的要求,支持可变速率传输,可以承载各种业务,扩展网络容易,且网络拓扑结构灵活,在卫星光通信网络中具有重要的应用价值。

参 考 文 献

- [1] Baroni N S. Optical satellite networks[J]. Journal of Lightwave Technology, 2000, 18(12): 1792-1806.
- [2] Raychaudhuri D. Performance analysis of random access packet-switched code division multiple access systems[J]. Communications, IEEE Transactions on, 1981, 29(6): 895-901.
- [3] Chan V W S. Optical satellite networks[J]. Lightwave Technology, 2003, 21(11): 2811-2827.
- [4] Chan V W S. Optical satellite networks[C]//Optical Fiber Communication Conference, OFC/NFOEC, Anaheim, 2005, 2: 3-4
- [5] Karafolas N, Baroni S. Optical WDM networking in broadband satellite constellations[C]//Lasers and Electro-Optics Society 2000 Annual Meeting. LEOS 2000, 13th Annual Meeting, IEEE, Piscataway, 2000, 1: 100-101.
- [6] 郭圆月, 王东进, 刘发林. 卫星光网络中微波/光波双层路由技术方案[J]. 南京大学学报, 2004, 40(4): 1-7.
- [7] 左 超. 光码分复用系统[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2002.