

空间信息网中的FSO/RF通信技术

郭磊, 元伟敬, 侯维刚, 赵鹏艳

东北大学计算机科学与工程学院, 沈阳 110819

摘要 空间信息网是以多种空间平台(如同步卫星或中、低轨道卫星、平流层浮空器及有人或无人驾驶飞行器)为载体, 实时获取、传输和处理空间信息的网络系统。由于其节点种类多, 通信链路状态相对复杂。调研了空间信息网通信链路传输技术, 分析了空间信息网中微波射频通信(RF)、自由空间光通信(FSO)和FSO/RF混合通信技术。分析表明, 星-星链路适合FSO通信, 但对于受天气影响严重或定位困难的其他类型链路, FSO/RF混合通信更具有优势。提出了空间信息网中基于大数据预测的FSO/RF自适应切换通信技术的开放思路。

关键词 空间信息网络; 微波射频通信; 自由空间光通信; 混合通信

随着人类对空间资源依赖性的日益增加及世界各国空间探测计划的逐步展开^[1-4], 参考地面互联网的发展, 在大时空尺度下建立空天地一体化信息网, 已成为当前研究的一个热点。空间信息网是以多种空间平台(如同步卫星或中、低轨道卫星、平流层浮空器及有人或无人驾驶飞行器)为载体, 实时获取、传输和处理空间信息的网络系统^[5]。由于网络节点的多样性, 空间信息网中的通信链路状态较为复杂。

自由空间光通信(free space optics, FSO)是以激光为载波、自由空间为传输介质的通信技术^[6]。作为光纤通信的补充^[7], FSO具有高带宽、大容量、高保密、无需频段申请等传统微波射频通信(radio frequency, RF)所不具有的独特优点。因此, FSO通信技术在无线通信领域的应用非常广泛。但FSO的局限性在于, 传输质量受天气状况及大气湍流影响严重。考虑到RF通信技术具有强大的环境适应能力, 对云、雾等天气及障碍物遮挡并不敏感, 因此, FSO/RF混合通信技术成为一种综合考虑FSO与RF各自优势的新型

方案。

为了跟踪空间信息网通信技术的最新进展, 本文调研空间信息网中RF、FSO和FSO/RF混合通信技术。

1 空间信息网概述

近年来, 各国发射卫星数量不断增加, 卫星通信技术呈现高速发展态势。与此同时, 人们开始关注以高空平台(high altitude platform, HAP)^[8]为载体进行无线通信的新领域, 其规模和技术逐步完善。目前, 各通信系统之间互不干扰、独立运行, 极大浪费了网络资源, 空间信息网应运而生。空间信息网是将卫星网络、HAP网络及地面接入网络组成一个互联互通的空天地一体化通信网络, 从而实现空间信息资源利用率的最大化。图1为空间信息网架构, 由部署在不同轨道、执行不同任务的航天器及地面接入

网组成, 网内各通信系统既能独立运行, 又能相互联通, 从而具有获取大时空尺度信息的优势, 并具备宽带大容量数据的传输能力。空间信息网覆盖面广、能实时获取、传输和处理空间信息, 为灾害监测、资源勘察、地形测绘、气象预测和科学探测等各种应用提供通信基础设施^[9]。因此, 空天地一体化信息网在国民经济、社会服务及国防建设等

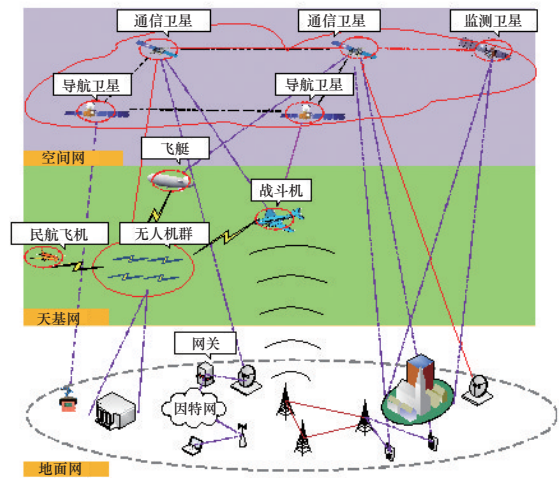


图1 空间信息网架构
Fig. 1 Architecture of SIN

收稿日期: 2015-11-06; 修回日期: 2016-07-18

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划项目(91438110); 国家自然科学基金项目(61401082, 61471109); 中央高校基本科研业务费项目(N130817002, N140405005, N150401002); 辽宁省教育厅一般项目(L2014089)

作者简介: 郭磊, 教授, 研究方向为光网络及无线网络, 电子信箱: guolei@cse.neu.edu.cn; 侯维刚(通信作者), 副教授, 研究方向为空间信息网络及光通信, 电子信箱: houweigang@cse.neu.edu.cn

引用格式: 郭磊, 元伟敬, 侯维刚, 等. 空间信息网中的FSO/RF通信技术[J]. 科技导报, 2016, 34(16): 76-81; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2016.16.008

诸多方面发挥着重要作用。为加快空间信息网建设,中国国家自然科学基金委员会于2013年发布了“空间信息网络基础理论与关键技术”重大研究计划,而美国拟到2025年建成功能完善、攻防兼备的“空间网”。目前各航天大国的空间信息网计划主要包括TSAT计划^[10]、IPN计划^[10-11]、OMNI计划^[12]、NGSI计划^[13-14]、SCaN计划^[15]及ROSTELESAT计划^[16]。

2 空间信息网通信技术概述

由图1所示,空间信息网是由空基网、天基网和地面网组成,网内不同种类的节点导致通信链路状态各异。本文将空间信息网链路大致分为6种类型:星-星链路、空-空链路、地-地链路、星-空链路、空-地链路和星-地链路。例如,空-地链路和星-地链路是指地面终端与卫星及高空平台HAP间的上下行用户数据链路。HAP是一种能够长时间停留在高空(一般距地球表面20~50 km),且具有通信和信息处理能力的飞行器,包括高空飞艇、气球和无人机等^[17]。

空间信息网中,除地面接入网,其他通信系统大多采用无线信道。最初的空间信息网中的无线通信链路也是在RF技术支持下实现的。然而,大量RF频段已被占用,没有足够的剩余信道带宽进行大容量数据的传输,且传输速率较低^[18]。为此,研究者们开始考虑将电磁频谱的高频部分(光)运用到空间信息网的无线通信中。FSO作为一种工作在光频段的,且支持高速大容量数据传输的无线通信技术,逐渐受到关注。FSO通信的基本原理是以激光作为信息载体在大气、真空等传输介质中传输。相比于RF技术,FSO带宽高、无需申请频段、便于部署、安全性高,且在传输容量、传输速率和传输成本等方面具有明显优势。FSO也存在局限性,FSO通信链路极易受到天气影响,尤其在雾和雪的天气下,信号衰减十分严重,可能导致频繁的链路中断。由于空间信息网是一个立体化网络,对于暴露

在大气中的链路,如空-空链路、地-地链路、空-地链路以及星-地链路,若大气环境恶劣,FSO的通信性能将差强人意,往往不能满足通信要求。RF链路很少被雾影响,却易被雨影响。由于雾和雨几乎不会同时发生,综合考虑FSO和RF链路的优缺点,FSO/RF混合通信技术开始受到关注^[19]。FSO/RF混合通信技术将FSO通信系统与RF通信系统相结合,可采用两种方式同时对FSO和RF链路进行部署:1)两种链路共享收发器^[20];2)不同类型的链路采用不同的收发孔径(一个对应RF,另一个对应FSO)。

3 研究现状分析

本文根据RF和FSO通信领域的不同搜索项,在IEEE Explore Digital Library中做了广泛的文献查阅。搜索项主要包括RF、FSO与链路(link)、系统(system)、网络(network)、卫星网络(satellite network)、飞行器/航空网络(aircraft/airborne network)、自组织网络(ad hoc network)的组合。从文献查阅的结果来看,有关FSO通信技术的研究是从20世纪90年代才开始的,只有25年的历史,而RF通信技术的研究已经持续了约100年。显然,RF通信技术已足够成熟,FSO通信技术也得到了快速发展。

表1显示了不同搜索项下的文献数量。其中,前四行是不限制应用场景下的结果,可以看到,对RF通信技术的研究要远远多于FSO。关于研究FSO通信链路和FSO通信系统的文献数量

几乎相等,这意味着,对于RF通信系统的研究大部分集中在链路部分,但关于研究RF通信链路和RF通信系统的文献数量明显不同。通过进一步的信息浏览发现,最近的研究热点是RF通信设备(系统),而不是RF通信链路的设计;后面3行是对应空间信息网内不同通信系统的结果,可看出,应用于卫星网络和空间飞行器网络的FSO链路研究开始受到关注。

以3年为一阶段,本文分别统计了2001—2015年与RF和FSO相关主题的文献数量。如图2所示,可以明显看出,与RF和FSO相关主题的文献数量存在较大差距。虽然在空间信息网中的主流通信技术还是RF,但FSO通信技术的运用及其优势逐年被关注。

表2总结了1995—2015年,空间信息网RF和FSO通信技术相关的代表性文献[21]~[30]。可以看到,大多数的研究都倾向于提高通信系统性能或减少信号衰减。

星-地链路长,且需要经过大气信道,受云层遮挡影响,目前仍以RF通信为主,FSO通信为辅。早在1997年,Dissanayake等^[21]就针对星地RF链路设计了一个雨衰减预测模型,提供了一个与自然可见度相匹配的衰减度。该方法可以预测总体路径衰减,可以减少20%的传输误差。预测衰减的方法对以后的链路研究具有很大的指导意义。在文献[24]、[25]中,作者回顾了无人机等飞行器间的FSO链路发展,文中指出大气影响、湍流效应以及准确定位是空-空FSO链路所面临的主要挑战。

表1 不同搜索项下的文献数量

Table 1 Statistics of the number of scholar articles under different search terms

搜索项	RF	FSO
—	62815	1097
link	3463	787
system	30734	745
network	11641	502
satellite network	387	39
aircraft/airborne network	138	16
ad hoc network	351	23

在 2008 年, FSO 通信技术在地面网络的应用越来越广泛, Tsiftsis 等^[26]研究了大气湍流信道中 FSO 通信系统的误码率性能, 并针对多孔径的 FSO 通信系统, 提出了一个高度精确的误码率统计式, 对开发减少误码率的分析工具有很大帮助。文献[22]提出将 FSO 与无线局域网和卫星通信网结合, 以实现军民应用协作。无线局域网为移动用户提供连接, 卫星通信网为偏远地区提供通信服务, FSO 取代光纤可以实现快速安装和大容量传输, 并于 2004 年在澳大利亚南部进行了实际网络试验。

在 FSO/RF 混合通信方面, 宾夕法尼亚州立大学的信息和通信技术研究

中心^[23]于 2007 年利用真实的云分布数据, 建立信道模型, 测试了空基 FSO/RF 混合通信链路可用性。结果表明, 由于云层引起的衰减和散射, 单独使用 FSO 链路的可用性很差, 而 RF 不受云的影响, 所以混合信道使得通信系统性能更好。此外, Nadeem^[27]分析了当 RF 可以作为备选通信链路时, 雾、雨和雪对 RF/FSO 混合通信系统性能的影响。应用场景包括星-地、星-星以及空-地链路。研究表明, FSO 链路和 40 GHz 的备选 RF 链路所组成的混合通信系统的可用性可达 99.92%, 而单独使用 FSO 链路的系统可用性只有 96.8%。文献[29]中, 作者提出了 FSO/RF 混合通信

系统中 FSO 链路故障模型以及根据网络流量即时提供 RF 链路备份的算法, 从而解决了拥塞问题。文献[30]验证了 FSO/RF 混合通信系统性能, 与采用传统 RF 通信技术的无线传感器网络比较, FSO/RF 混合通信技术使系统性能至少提高了两倍。

通过查阅文献, 本文对空间信息网中的 RF 或 FSO 通信技术发展状况做出以下总结: 对于星-星链路, 由于几乎不受大气影响, 可以充分发挥 FSO 链路的高速率、低功率、束散角度小等优势; 对于星-地链路, 通信距离较长, 且受大气和云层影响较大, 信号衰减严重, 仍以 RF 链路为主, FSO 链路为辅; 对于星-空链路, 除大气信道影响外, 由于飞行器的高速运动, 主要的挑战是捕获、瞄准、跟踪技术, 现阶段仍以 RF 链路为主; 对于空-空、空-地和地-地链路来说, 通信距离比较近, 通常小于 500 km, 但通信双方一般是随机运动的平台, 需快速定位, 可以放宽束散角, 从而部署 FSO 链路。

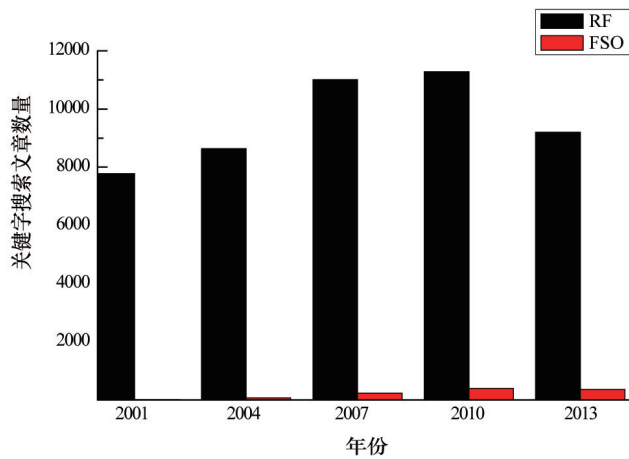


图 2 在 IEEE Xplore Digital Library 上搜索相关主题获得的文献数量

Fig. 2 Statistics of the number of scholar articles indexed by IEEE Explore Digital Library under different topics

4 基于大数据预测的 FSO/RF 自适应切换通信技术

结合了 FSO 和 RF 两项通信技术优点的 FSO/RF 混合通信应运而生。文献[31]、[32]分析了 FSO/RF 混合通信相对于单类型链路传输的优势, 并证明了其有效性。尤其在天气多变的情况下,

表 2 近 20 年来相关主题的代表文献

Table 2 Representative scholar articles under different topics in recent 20 years

文献	RF	FSO	星-星 链路	空-空 链路	星-空 链路	星-地 链路	空-地 链路	地-地 链路	研究主题	发表年份
[21]	✓					✓			雨导致的链路衰减预测	1997
[22]		✓				✓			FSO/RF 协作通信	2005
[23]							✓		混合 FSO/RF 链路	2007
[24]		✓					✓		综述	2007
[25]		✓		✓						2008
[26]		✓							误码率性能	2008
[27]	✓	✓	✓			✓	✓		天气影响	2009
[28]	✓					✓			雨导致的链路衰落影响	2013
[29]	✓	✓						✓	改善信号质量	2015
[30]	✓	✓						✓	误码率性能	2015

FSO/RF 混合通信技术可以克服大气信道引起的信号衰减。当前可用的 FSO/RF 混合通信产品(如 iSONA 和 MRV)大都利用 RF 链路作为备选信道。另一种方案就是同时采用 RF 和 FSO 链路,以保证传输的可靠性^[33-34]。但是,这两种机制都属于硬切换技术,即在任何情况下都只允许一条信道传输,而另一条信道空闲,这会造成极大的资源浪费。文献[35]提出了一种对 FSO/RF 混合通信链路进行软切换的机制,将数据包进行 Raptor 编码,编码后的数据包可以同时两条信道上传输,相比于非此即彼的硬切换机制,系统性能得到了很大提升。毫无疑问,FSO 工作在真空中的星间链路时,可以实现高速和大容量的数据传输。但地-地链路、空-空链路和用户数据链路的性能与大气状况密切相关,所以,本文提出了基于大气状况数据预测的 FSO/RF 自适应切换通信技术的开放思路。

随着云时代的到来^[36],大数据的使用变得越来越流行^[37]。大数据最重要的应用是通过挖掘历史数据来预测未来的状态。在空间信息网中,地面站可以作为数据处理单元^[38],周期性处理未来大气状况的预测数据,进一步可以根据天气状况得到信号衰减程度和链路可用性。由于 FSO 链路可快速重配置,从而在不利的条件下保证网络的高可用性。具体来说,通过预测天气状况,对极有可能即将失效的 FSO 链路,网络节点重构收发器,切换到 RF 链路,避免数据传递失败,保持节点间的连接性,提高数据递交率,增强链路可用性,增加网络可靠度。此外,还可采用拓扑控制,为网络提供很强的自愈和重构能力,以动态优化网络性能。这种拓扑重构方案还可以被设计成满足多种目标,如最小化拥塞,端到端延迟或误码率等。

5 面临的挑战及未来发展方向

目前 FSO/RF 混合通信技术研究大多集中在地面或近地面的单一网络中,在空间信息网中的应用研究较少。虽然已有少量文献开展了 FSO/RF 自适应切换通信技术研究,但结合大气状况数据预测的尚未考虑。此外,FSO/RF 自适应切换通信技术的实施面临巨大挑战:首先,将 FSO 技术应用到高速运动的飞行器网络中的对准问题,虽然可以借助 GPS 定位^[39],但是其准确性在现实中仍是亟待解决的技术难题;其次,大数据处理对地面站的要求较高,需要有更快速的数据处理能力;第三,调制和编码技术对于传输准确性非常重要^[40],在会发生严重衰减的强湍流情况下,载波频率是变化的,每个信道的编码速率也需要被调整到链路可以支持的数据速率,这也是一个难点。

参考文献(References)

- [1] Spangelo S, Cutler J, Klesh A, et al. Models and tools to evaluate space communication network capacity[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2012, 48(3): 2387-2404.
- [2] Reinhart R, Kacpura T, Johnson S, et al. NASA's space communications and navigation test bed aboard the international space station[J]. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 2013, 28(4): 4-15.
- [3] Li H, Luo H, Yu F, et al. Reliable transmission of consultative committee for space data systems file delivery protocol in deep space communication[J]. IEEE Journal of Systems Engineering and Electronics, 2010, 21(3): 349-354.
- [4] The Space Communications Architecture Working Group (SCAWG). NASA space communications and navigation architecture recommendations for 2005-2030[R]. SCAWG, 2006.
- [5] 周建国. 基于 DTN 的空间综合信息网络关键技术研究[D]. 武汉: 武汉大学电子信息学院, 2013.
Zhou Jianguo. Research on key technologies of spatial information network based on DTN[D]. Wuhan: School of Electronic Information, Wuhan University, 2013
- [6] Ghazisaidi N, Maier M, Assi C M. Fiber-wireless (FiWi) access networks: A survey[J]. IEEE Communications Magazine, 2009, 47(2): 160-167.
- [7] Willebrand H, Ghuman B S. Fiber optics without fiber[J]. IEEE Spectrum, 2001, 38(8): 40-45.
- [8] 吴佑寿. 高空平台信息系统——新一代无线通信体系(上)[J]. 中国无线电管理, 2003(6): 3-8.
Wu Youzhou. High altitude platform stations information system: New generation-wireless communications system (part 1)[J]. China Radio Management, 2003(6): 3-8.
- [9] Mukherjee J, Ramamurthy B. Communication technologies and architectures for space network and interplanetary internet[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2013, 15(2): 881-897.
- [10] Akyildiz I F, Akan Ö B, Chen C, et al. InterPlanetary Internet: State-of-the-art and research challenges[J]. Computer Networks, 2003, 43(2): 75-112.
- [11] Burleigh S, Hooke A, Torgerson L, et al. Delay-Tolerant networking: An approach to interplanetary Internet[J]. IEEE Communications Magazine, 2003, 41(6): 128-136.
- [12] Rash J, Hogue K, Casasanta R. Internet technology for future space missions[J]. Computer Networks, 2005, 47(5): 651-659.
- [13] Noles J, Scott K, Weiss H, et al. Next generation space internet[C]//Proceedings of Electronic System-Integration Technology Conference (ESTC) 2001. Helsinki: ESTC, 2001.
- [14] Tahboub O Y, Khan J I. A critical design evaluation of the next generation space network architectures[R]. Technical Report TR-2007-09-01, Medianet

- Lab, 2007.
- [15] Younes B A, Schier J S. Space communications and navigation (SCaN) integrated network architecture definition document (ADD). Volume 1; Executive Summary; Revision 1[R]. NASA Technical Reports Server, 2010.
- [16] 诵芬, 超礼. 世界航天发展史[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2000.
Song Fen, Chao Li. The aerospace development history of the world[M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 2000.
- [17] Park J M, Ku B J, Oh D S. Technical and regulatory studies on HAPS[C]//Proceedings of 2008 IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'08). New Orleans, USA: IEEE, 2008: 1-5.
- [18] 王远亮. 自由空间光通信系统的关键技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学电子工程学院, 2007.
Wang Yuanliang. Research on the key technology of free space optical communication system[D]. Xi'an: School of Electronic Engineering, Xidian University.
- [19] ElBatt T, IZADPANAH H. Design aspects of hybrid RF/free space optical wireless networks[C]//Broadband Communications for the Internet Era Symposium digest, 2001 IEEE Emerging Technologies Symposium. Richardson, TX, USA: IEEE, 2001: 157-161.
- [20] Bloom S, Hartley W S. The last-mile solution: hybrid FSO radio[EB/OL]. [2016-04-28]. <http://morse.uml.edu/Activities.d/Summer-05/PAPERS/KC/AirFiber-HFR.pdf>.
- [21] Dissanayake A, Allnutt J, Haidara F. A prediction model that combines rain attenuation and other propagation impairments along earth-satellite paths[J]. Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, 1997, 45(10): 1546-1558.
- [22] Leitgeb E, Gebhart M, Truppe A, et al. Hybrid wireless networks for civil-military-cooperation (CIMIC) and disaster management[C]//Proceedings of European Symposium on Optics and Photonics for Defence and Security. London, UK: International Society for Optics and Photonics, 2004: 139-150.
- [23] Wu H, Kavehrad M. Availability evaluation of ground-to-air hybrid FSO/RF links[J]. International Journal of Wireless Information Networks, 2007, 14(1): 33-45.
- [24] Leitgeb E, Zettl K, Muhammad S S, et al. Investigation in free space optical communication links between unmanned aerial vehicles (UAVs)[C]//Proceedings of Transparent Optical Networks 2007 (ICTON'07). Rome: IEEE, 2007, 3: 152-155.
- [25] Muhammad S S, Plank T, Leitgeb E, et al. Challenges in establishing free space optical communications between flying vehicles[C]//Proceedings of Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing 2008 (CSNDSP'08). Craze: IEEE, 2008: 82-86.
- [26] Tsiftsis T, Sandalidis H G, Karagiannidis G K, et al. FSO links with spatial diversity over strong atmospheric turbulence channels[C]//Proceedings of 2008 IEEE International Conference on Communications (ICC'08). Beijing, China: IEEE, 2008: 5379-5384.
- [27] Nadeem F, Kvicera V, Awan M S, et al. Weather effects on hybrid FSO/RF communication link[J]. Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, 2009, 27(9): 1687-1697.
- [28] Chujo W, Manabe T, Yamamoto S. 60 GHz short-range terrestrial rainfall attenuation compared with K-band long-distance satellite link[C]//Proceedings of 2014 Antennas and Propagation (ISAP). Kaohsiung: IEEE, 2014: 559-560.
- [29] Kashyap A, Rawat A, Shayman M. WSN18-4: Integrated backup topology control and routing of obscured traffic in hybrid RF/FSO networks[C]//Proceedings of 2006 Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'06). San Francisco, USA: IEEE, 2006: 1-6.
- [30] Sivathasan S, Brien D C O. RF/FSO wireless sensor networks: A performance study[C]//Proceedings of 2008 Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'08). New Orleans, USA: IEEE, 2008: 1-5.
- [31] Nadeem F, Leitgeb E, Awan M S, et al. Comparing the life time of terrestrial wireless sensor networks by employing hybrid FSO/RF and only RF access networks[C]//Proceedings of 2009 Wireless and Mobile Communications (ICWMC'09). Cannes/La Bocca, French Riviera, France: IEEE, 2009: 134-139.
- [32] Engelmann A, Jukan A. Serial, parallel or hybrid: Towards a highly reliable transmission in RF/FSO network systems[C]//Proceedings of 2015 IEEE International Conference (ICC'15). London, UK: IEEE, 2015: 6181-6186.
- [33] Lee E, Park J, Han D, et al. Performance analysis of the asymmetric dual-hop relay transmission with mixed RF/FSO links[J]. Photonics Technology Letters, IEEE, 2011, 23(21): 1642-1644.
- [34] Tapsee H, Borah D K. Hybrid optical/RF Channels: Characterization and performance study using low density parity check codes[J]. Communications, IEEE Transactions, 2009, 57(11): 3288-3297.
- [35] Zhang W, Hranilovic S, Shi C. Soft-switching hybrid FSO/RF links using short-length raptor codes: design and implementation[J]. Selected Areas in Communications, IEEE Journal, 2009, 27(9): 1698-1708.
- [36] White G. Method and apparatus for providing configuration information in a network: US6233687[P]. 2001-05-15.
- [37] Ott L, Longnecker M, Ott R L. An introduction to statistical methods and data analysis[M]. Pacific Grove, CA: Duxbury, 2001.
- [38] Bernier S, Barbeau M. A virtual ground station based on distributed components for satellite communication[C]//Proceedings of 15th Annual Small Satellite Conference. Logan, Utah: AZAA, 2001: SSC01-VIII A-4.
- [39] Wickert J, Galas R, Beyerle G, et al. GPS ground station data for CHAMP radio occultation measurements[J]. Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy, 2001, 26(6): 503-511.
- [40] Martini R, Gmachl C, Falciglia J, et al. High-speed modulation and free-space optical audio/video transmission using quantum cascade lasers[J]. Electronics Letters, 2001, 37(3): 191-193.

Survey and analysis on FSO/RF communication technologies in space information networks

GUO Lei, QI Weijing, HOU Weigang, ZHAO Pengyan

School of Computer Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China

Abstract Space information network (SIN) is a heterogeneous network that has multiple platforms including GEO/MEO/LEO satellites, stratosphere balloons, unmanned aerial vehicles in the backbone, and terrestrial terminals (e.g., ground stations) functioning as access nodes. The appearance of SIN realizes efficient resource sharing and utilization of distributed information within a large-scale space. Due to the diversity of network nodes, the condition of communication links in SINs is very complicated. Specifically, there are six types of SIN links: inter-satellite link, inter-aircraft link, terrestrial link, satellite-aircraft link, satellite-ground link, and aircraft-ground link. In this paper, we extensively investigate the recent advances in the field of communication links in the SIN, and analyze the research findings, especially the studies on radio frequency (RF), free space optics (FSO) and FSO/RF hybrid communication in the SIN. The analysis demonstrates that, compared with the traditional RF communication, FSO technology has high bandwidth, large capacity, and negligibly small requirement of spectral examination, at the additional cost of narrow spread, slow motion tracking, and vulnerability to bad weather. We further show that FSO is most suitable for inter-satellite links, while for the other links over atmosphere influence or rapid positioning, the FSO/RF hybrid communication has more obvious advantages. Since there have been minor efforts on the FSO/RF hybrid communication, we propose an adaptive switching mechanism for FSO/RF hybrid communication based on big data prediction.

Keywords space information network; radio frequency; free space optics; hybrid communication

(责任编辑 刘志远)