

多层卫星网络中的管理策略研究

张 承¹, 郭 薇¹, 赵艳彬²

(1. 上海交通大学 区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室, 上海 200240;
2. 上海卫星工程研究所, 上海 200240)

摘 要:多层卫星网络已逐渐成为人们研究的重点,而其中一个重要的主题就是如何降低网络管理的复杂度和成本。对此,文中提出了一种分轨分簇的管理策略,即每个轨道上选择一个簇头管理该轨道上的卫星,而高层管理卫星只需管理每个轨道上的簇头。与传统的覆盖分域策略相比,这种分轨分簇方式减少了管理卫星数目,并且降低了管理层星座的复杂度。此外,通过仿真分析还发现,分轨分簇的管理策略降低了管理卫星管理域变化的频度,而路由收敛时间并没有受到很大影响。

关键词:管理策略;覆盖分域;分轨分簇;卫星数目;管理效率

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)07-0001-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.07.001

Research on a Management Scheme in Multilayer Satellite Networks

ZHANG Cheng¹, GUO Wei¹, ZHAO Yan-bin²

(1. State Key Lab of Advanced Optical Communication Systems and Networks, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;
2. Shanghai Institute of Satellite Engineering, Shanghai 200240, China)

Abstract: Multilayer satellite networks have become one of the focuses for researchers gradually. And how to reduce complexity and cost of the network management is a hot topics. A new management scheme based on rails and clustering is put forward, where a satellite has been chosen as a cluster head to manage satellites in this rail, and satellites in the management layer only need to manage the cluster heads. Compared with the traditional scheme based on footprint, the new management scheme not only reduces the number of the management satellite but also makes the constellation design of the management layer simple. Besides through the simulation and analysis can find that the new scheme reduces changes frequency of the management domain, but routing convergence time has been hardly affected.

Key words: management scheme; footprint; separated rail; satellites number; management efficiency

0 引言

在下一代卫星通信系统中,多层次卫星网络结构不仅增强了网络健壮性,而且能对传输状态的变化表现出更好的自适应性,因此,越来越受到研究者的关注^[1-3]。多层卫星网络采用将数据平面和控制计算平面分离的策略来增强整个网络的稳定性和可控性^[4]。GEO和MEO卫星轨道高、传输时延长和链路损耗大,不适合直接进行实时数据的传输,同时它们的网络拓扑结构变换缓慢而且星上的计算和处理能力相对较弱,常常将它们用作管理卫星,而LEO卫星因为高度低、链路时延小和通信质量好,常常被用来为地面终端用户提供实时通信^[5-6]。

由于层间卫星之间的相对运动导致了卫星之间的管理关系不停变化,使得整个网络管理相当复杂^[7-9]。另外,为了能够维持对低层LEO卫星的管理,需要部署相当数量的管理卫星,管理层星座的复杂设计也给整个卫星网络的管理带来了相当大的压力。于是,设计合适的管理策略,降低整个网络管理的复杂度和成本就成为一件很有意义的工作。

因此,文中提出了一种分轨分簇的管理策略。就是将管理卫星数目以及管理卫星与LEO卫星之间管理关系变化的频度作为衡量指标,经过与传统的覆盖分域管理策略进行对比,可以看到提出的分轨分簇策略的指标性能优于传统覆盖分域策略,同时还兼顾考

收稿日期:2014-09-05

修回日期:2014-12-10

网络出版时间:2015-06-23

基金项目:上海航天科技创新基金(SAST201211)

作者简介:张 承(1990-),男,硕士研究生,研究方向为多层卫星网络;郭 薇,教授,博导,博士,研究方向为新一代卫星组网技术。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150623.1051.045.html>

虑了路由的收敛时间。

1 相关工作

文献[9]提出了一种 SGRP 算法。该算法中依照 MEO 卫星的每个快照周期的卫星覆盖区域对 LEO 按组划分,处在相同 MEO 卫星覆盖域内的 LEO 卫星为同一组,对于处在重叠覆盖域内的 LEO 会选择最近的一颗 MEO,每个 LEO 卫星组都由相应的 MEO 卫星监控管理,MEO 卫星依据下属 LEO 卫星发送来的链路状态信息为其计算最小延迟路径。

文献[10]提出了更为复杂的 MLSN 算法。在该算法中,卫星网络由 GEO 星座、MEO 星座和 LEO 星座构成,其中 GEO 卫星是整个网络的决策中枢,GEO 通过层间链路管理自己覆盖域内的 MEO 和 LEO,MEO 管理自己覆盖域内的 LEO,每个 LEO 同时接入一个 MEO 和一个 GEO,一个覆盖域内的卫星被划分为一组。

文献[11]提出了一种算法,对 SGRP 中的管理架构进行了改进。在该算法中,尽量扩大管理卫星的覆盖域,这样使得 LEO 卫星处在多个 MEO 卫星的管理覆盖域下,LEO 与可视内的 MEO 都有层间链路,处在同一个 MEO 卫星下的覆盖域内的 LEO 卫星为一组,这会导致某些 LEO 被多个 MEO 管理。

从上述可知,传统的都是采用覆盖分域的管理方式,即将管理卫星可视范围内的低层 LEO 卫星划为一个域,由该管理卫星负责管理。首先这种方式要求卫星装备较多的链路收发设备,造成卫星有效载荷和整体设计实现难度增加。另外,这种管理方式要求必须有足够数量的管理卫星去实现全球覆盖,使得管理层星座设计比较复杂,增加了整个网络的成本。最后,在这种管理方式下,一旦某个 LEO 卫星移出或者移入某个管理卫星的范围就会导致整个管理关系的变化,管理关系的频繁变化,使得整个系统周期产生了很多时间碎片,大大增加了后面时间片的划分难度。

2 分轨分簇的网络结构

在卫星网络中存在三种链路:层间链路、轨间链路和轨内链路^[12]。轨内链路就是一个轨道内的卫星之间的链路,在任意时间内,任意一个轨道内的卫星间的连接关系不变,相对位置不变,不存在多普勒频移等现象,发生传输错误概率很小。而层间链路和轨间链路的连接关系随着时间的变化而变化。考虑到卫星网络的这个特点,将低层卫星的一个轨道作为一个簇,每个轨道设置一个簇头卫星,簇头负责管理本轨道内的卫星,然后一个或几个簇构成一个域,每个域又由一个高层卫星管理,也就是说高层管理卫星通过与域内的簇

头通信来管理域内的所有低层卫星。

这样设计带来的很明显的好处就是,管理卫星不需要直接覆盖域内所有的 LEO 卫星,使得其数目大大降低,另外由于簇头选择具有很强的灵活性使得对于管理卫星的位置要求不高。于是可以将所有的管理卫星放在一个轨道上就能满足管理需求,管理卫星之间只存在轨内链路,它们之间的连接关系始终保持不变,这样就大大降低了管理层卫星星座设计的复杂度。簇头选择的依据是在该时间片内在该轨道上离管理卫星最近的一颗低层卫星。可以看出簇头随着时间在变,但是这不会影响到管理卫星和低层卫星之间的管理关系。分轨分簇管理策略的结构见图 1。

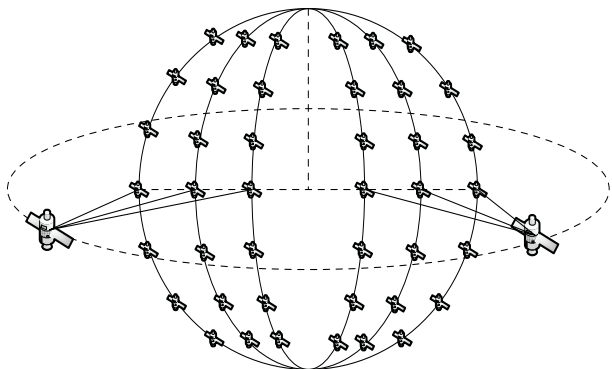


图 1 分轨分簇管理策略的结构

3 具体的管理策略

由于卫星通信网络中各节点一直处在持续高速移动之中,导致卫星通信网络的拓扑结构的动态变化,但是卫星网络中卫星与移动自组网中节点的完全随机运动不同,网络中卫星总是沿着固定的轨道以一定的速度运行,因此,卫星网络的拓扑是周期性变化的,具有可预测性^[13]。将整个周期划分成一定数量的等长时间片。在每个时间片内,卫星系统的拓扑基本上是不变的^[14]。

在卫星系统部署之前要在地面离线做好以下工作:

(1)选择簇头和备份簇头:在地面上首先要划分好时间片,选择合适的时间片长。然后选出每个时间片内每个轨道的簇头和备份簇头。选择的依据是该簇头离管理层的某颗卫星的距离最短。

(2)给卫星预存数据信息库:每个卫星维护一个数据信息库,对于低层卫星来说,内容包括自己所在轨道内的卫星相对位置关系以及每个时间片的开始时间,每个时间片内自己所在轨道的簇头信息。对于簇头卫星来说,还得维护一份该时间片内它的管理者卫星的位置信息。对于管理层卫星来说,内容包括每个时间片内它要管理的轨道信息以及该轨道上的簇头信息和备份簇头信息。

在卫星系统部署完毕之后,它的管理工作包括两部分。首先是周期性的管理工作。在每个时间片的起始,管理卫星为自己域内的低层卫星计算路由。其次是触发事件的管理工作。当低层卫星发生一些意外事件,比如拥塞、卫星故障等,就会触发管理卫星进行一些临时的额外的管理工作。

3.1 周期性管理

周期性的管理工作主要是在每个时间开始的时候,管理卫星为自己管理域内的低层卫星计算路由,用于该时间片内的数据转发,具体的流程如下:

步骤 1:当一个时间片开始的时候,低层卫星收集自身的链路状态信息,比如延迟、带宽等,然后通过轨道内卫星的相对位置关系,将自己的状态信息以最小跳数发送给簇头。

步骤 2:簇头收集自己轨道内的链路状态信息,并判断是否收集完毕,如果是,就将链路状态信息进行汇总并发送给管理卫星。

步骤 3:管理卫星收集自己管理域内的链路状态信息,并判断是否收集完毕,如果是,就将自己域内的链路状态信息在管理轨道内泛洪。

步骤 4:管理卫星判断是否拥有了全网链路状态信息,如果有,就为自己管理域内的低层卫星计算路由表。

步骤 5:路由表计算完毕之后,管理卫星将其下发到自己域内的簇头卫星。

步骤 6:簇头卫星将路由表依次下发到该轨道内的每一个卫星。

步骤 7:低层卫星收到路由表并保存,在该时间片内利用这些路由表转发数据。

3.2 触发性管理

一个低层卫星可能发生故障,或者发生拥塞,以及因为维护、测试等原因而暂时关闭,这些都会影响到整个网络的性能,甚至造成大量的丢包现象。在文中的管理策略中,一旦这种情况发生,将会采取如下方式处理:

步骤 1:故障卫星的邻居卫星检测到故障信息,首先在自己轨道内泛洪,该轨道内的其他卫星锁定故障卫星状态,然后簇头将这个信息发送给管理卫星。

步骤 2:管理卫星首先将这个故障信息在管理轨道内泛洪,然后所有管理卫星锁定故障卫星的状态,并生成一个故障报告给地面站或者控制中心。

步骤 3:管理卫星对其管理域内的低层卫星受到故障信息影响的那部分路由表进行更新,然后发送给管理域内的簇头。

步骤 4:簇头依次将这些更新的路由表通过轨内链路依次发送给对应的低层卫星。

步骤 5:低层卫星将收到的更新路由表替换掉受到故障信息影响的那部分路由表。

一旦故障卫星得到恢复就会触发另一次更新。

4 仿真实验

仿真实验包括三部分。首先,仿真计算了当管理卫星处于不同高度时,分轨分簇的管理策略所需要管理卫星的数目,并将其与传统的覆盖分域方式作对比。然后仿真了在 GEO/LEO 双层网络下,两种管理策略的管理域随时间变化的情况。最后,仿真了在 GEO/LEO 双层网络下,两种管理策略在每个时间片的路由收敛时间。

4.1 管理卫星数目随高度的变化情况

仿真中,选择了一个类铱星系统的 LEO 星座作为低层卫星网络,具体的参数见表 1。管理卫星的高度变化范围为 2 000 ~ 35 786 km,仿真结果如图 2 所示。

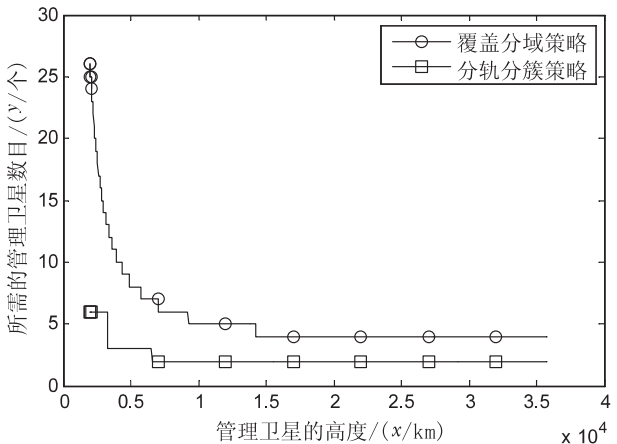


图 2 管理卫星数目随高度的变化

表 1 LEO 层的星座参数

项目	LEO
海拔高度/km	780
轨道周期/min	100.13
轨道倾角/°	86.4
轨道数目	6
每个轨道上的 LEO 数目	12
LEO 卫星的最小仰角/°	10

从图 2 可以看出,无论哪种策略,随着高度的增加,需要的管理卫星的数目不断减少。这主要是因为管理卫星越高,在 LEO 层上的覆盖范围越广,对覆盖分域策略来说能够管理的低层卫星也就越多,对分轨分簇管理策略来说能够管理的轨道数目也就越多。同样也可以看出,分轨分簇的管理策略所需要的管理卫星数目在不同的高度下都比覆盖分域方式要小得多,这主要是因为覆盖分域的方式必须要对整个 LEO 层实现全覆盖,而分轨分簇策略只需要覆盖轨道上的簇

头即可。

4.2 管理域随时间的变化情况

仿真中,用卫星工具包 STK 模拟了一个 GEO/LEO 双层卫星网络,并将生成的数据导入到 MATLAB 中进行处理。LEO 层卫星参数见表 1,GEO 层卫星参数见表 2。仿真结果见图 3。

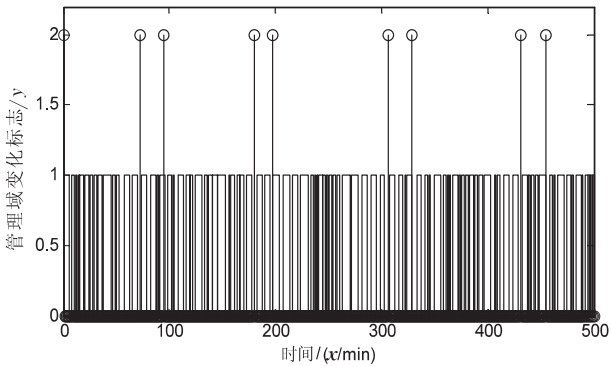


图 3 管理域的变化频度

表 2 GEO 层的星座参数

项目	GEO
海拔高度/km	35 786
轨道周期/h	24
轨道倾角/°	0
轨道数目	1
每个轨道上的 GEO 数目	4

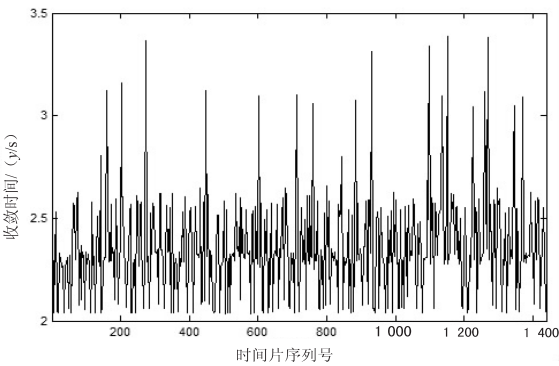
每当管理域发生变化,即 LEO 卫星退出旧的管理卫星的管理域加入到新的管理卫星的管理域中,就会引起一次状态变化。图 3 中用高度为 1 的脉冲表示在覆盖分域的策略下管理域的状态改变,用高度为 2 的脉冲表示分轨分簇的策略下管理域的状态改变。图中黑色区域表示状态改变很频繁。显然可以看到,覆盖分域策略下管理域状态的改变比分轨分簇策略下管理域状态改变要频繁得多,这大大增加了时间片划分的难度,而且状态改变一次就要在管理卫星之间通告一次,增大了整个系统的管理开销。

4.3 路由的收敛时间

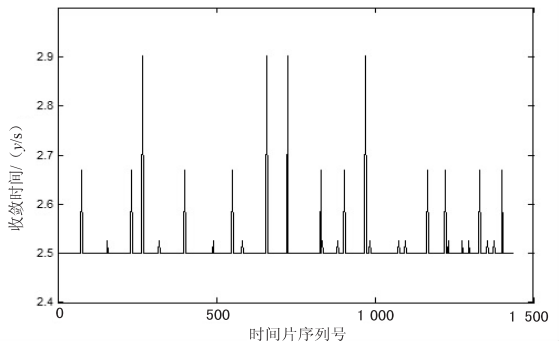
仿真中,用 STK 工具和 MATLAB 仿真模拟了一个 GEO/LEO 双层网络,LEO 层卫星参数见表 1,GEO 层卫星参数见表 2。选取时间片大小为 3 min,仿真时间为 24 h,得到每个时间片内的收敛时间,仿真结果见图 4。

从图 4 中可以看到,分轨分簇方式路由收敛的时间跟传统的覆盖分域方式相差不大,二者之间的差别基本可以忽略。另外,传统的管理方式波动比较大,原因在于覆盖关系变化频繁,而新型的分轨方式由于卫星之间管理关系相对固定,所以收敛时间基本不怎么变化。图中有些点较高的原因是发生了传输错误,进

行了重传。可以看出发生错误重传对传统分域覆盖方式影响要大一点。



(a) 覆盖分域策略的路由收敛时间



(b) 分轨分簇策略的路由收敛时间

图 4 路由收敛时间

5 结束语

文中提出了一种分轨分簇的管理策略,每个轨道由一个簇头负责管理本轨道上的卫星,管理层的卫星只需要直接管理这些簇头即可。通过分析和仿真可以看出,这种管理策略比传统的覆盖分域管理策略所需的卫星数目要小得多,并且降低了管理层的星座设计复杂度。在对 GEO/LEO 双层卫星网络分别采用不同的管理策略时,可以看到传统的覆盖分域策略下管理域变化的要频繁得多,而两者的路由收敛时间相差不大。

参考文献:

[1] 杨春秀. 多层卫星网络路由协议研究与仿真[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学,2012.

[2] 王振永. 多层卫星网络结构设计与分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学,2007.

[3] 邓德鑫. 多层卫星通信网络路由设计[D]. 杭州: 浙江大学,2012.

[4] 胡伟圣. 卫星移动通信网路由技术[D]. 武汉: 华中科技大学,2007.

[5] 孙利民,卢泽新,吴志美. LEO 卫星网络的路由技术[J]. 计算机学报,2004,27(5):659-667.

数据集较为简单,公式(10)中 Score_3 未能显示其作用,当数据集非常复杂时, Score_3 将发挥重要作用。

5 结束语

文中针对电力企业信息化及生产控制运行领域系统产生的不同类型数据,在云计算技术基础上提出了实现电力数据精细化检索的技术要点,着重对基于结构化数据库的关键词检索结果相关性排序算法进行了全面调查,分析和比较了几类排序方法的特点。在总结四类排序方法优缺点的基础上,综合几种方法的优点,提出同时从节点内容和连接结构对检索结果相关性进行评价,既考虑了文本内容与查询关键词的相关度,又有效地利用隐含的连接结构信息对结果的重要程度进行了估计。最后在通用检索结果的基础上,提出一种基于云计算技术的个性化排序策略。实验结果表明,改进后的排序算法能精确有效地对搜索结果与查询关键词的相关性进行度量,可提高电力信息搜索的查准率和查全率。

参考文献:

- [1] Weiss A. Computing in the cloud[J]. ACM Networker, 2007, 11(4):18-25.
 - [2] Bader D A, Madduri K. A graph-theoretic analysis of the human protein-interaction network using multicore parallel algorithms[J]. Parallel Computing, 2008, 34(11):627-639.
 - [3] 林子雨, 杨冬青, 王腾蛟, 等. 基于关系数据库的关键词查询[J]. 软件学报, 2010, 21(10):2454-2476.
 - [4] 安俊秀. 基于服务器集群的云检索系统的研究与示范[J]. 计算机科学, 2010, 37(7):179-182.
 - [5] 丁杰, 朱力鹏, 胡斌, 等. 面向多级调度管理的融合型搜索引擎[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(3):150-154.
 - [6] Jaehui P, Sanggoo L. Keyword search in relational databases[J]. Knowledge and Information Systems, 2011, 26(2):175-193.
 - [7] 袁占亭, 张秋余, 董建设. 智能信息搜索系统中对搜索结果的排序策略[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(2):148-150.
 - [8] 张莲梅, 陈世鸿, 陈红梅, 等. 基于分布式电力资源库的搜索引擎框架[J]. 高电压技术, 2005, 31(8):66-68.
 - [9] Sanjay A, Chaudhuri S, Das G. DBXplorer: a system for keyword-based search over relational databases[C]//Proceedings of the 18th international conference on data engineering. San Jose, CA: [s. n.], 2002:5-16.
 - [10] Ning X N, Jin H, Wei J J, et al. Practical and effective IR-style keyword search over semantic web[J]. Information Processing & Management, 2009, 45(2):263-271.
 - [11] 文继军, 王珊. SEEKER: 基于关键词的关系数据库信息检索[J]. 软件学报, 2005, 16(7):1270-1281.
 - [12] Luo Y, Wang W, Lin X, et al. SPARK2: top-k keyword query in relational databases[J]. IEEE Trans on Knowledge and Data Engineering, 2011, 23(12):1763-1780.
 - [13] Xu Y W, Ishikawa Y, Guan J H. Effective top-k keyword search in relational databases considering query semantics[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2009, 5731:172-184.
 - [14] Li G L, Feng J H, Lin F, et al. Progressive ranking for efficient keyword search over relational databases[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2008, 5071:193-197.
 - [15] Xiao H, Xue Q, Yang J. TupleRank and implicit relationship discovery in relational databases[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2003, 2762:445-457.
 - [16] Hristidis V, Wang H, Papakonstantinou Y. Authority-based keyword search in databases[J]. ACM Trans on Database Systems, 2008, 33(1):1-40.
- +++++
- (上接第4页)
- [6] 晏坚. 低轨卫星星座网络 IP 路由技术研究[D]. 北京: 清华大学, 2010.
 - [7] Long F, Xiong N, Vasilakos A V, et al. A sustainable heuristic QoS routing algorithm for pervasive multi-layered satellite wireless networks[J]. Wireless Networks, 2010, 16(6):1657-1673.
 - [8] 杨力, 杨校春, 潘成胜. 一种 GEO/LEO 双层卫星网络路由算法及仿真研究[J]. 宇航学报, 2012, 33(10):1445-1452.
 - [9] Chen C, Ekici E. A routing protocol for hierarchical LEO/MEO satellite IP networks[J]. Wireless Networks, 2005, 11(4):507-521.
 - [10] Akyildiz I F, Ekici E, Bender M D. MLRS: a novel routing algorithm for multilayered satellite IP networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2002, 10(3):411-424.
 - [11] Kawamoto Y, Nishiyama H, Kato N, et al. A traffic distribution technique to minimize packet delivery delay in multilayered satellite networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2013, 62(7):3315-3324.
 - [12] 何俊, 易先清. 基于 GEO/LEO 两层星座的卫星组网结构分析[J]. 火力与指挥控制, 2009, 34(3):47-50.
 - [13] 朱立华, 王汝传. 卫星路由算法研究[J]. 微机发展(现更名: 计算机技术与发展), 2004, 14(11):7-9.
 - [14] Werner M, Delucchi C, Vogel H J, et al. ATM-based routing in LEO/MEO satellite networks with intersatellite links[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1997, 15(1):69-82.

多层卫星网络中的管理策略研究

作者：[张承](#)，[郭薇](#)，[赵艳彬](#)，[ZHANG Cheng](#)，[GUO Wei](#)，[ZHAO Yan-bin](#)

作者单位：[张承, 郭薇, ZHANG Cheng, GUO Wei\(上海交通大学 区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室, 上海, 200240\)](#)，[赵艳彬, ZHAO Yan-bin\(上海卫星工程研究所, 上海, 200240\)](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2015(7)

引用本文格式：[张承](#).[郭薇](#).[赵艳彬](#).[ZHANG Cheng](#).[GUO Wei](#).[ZHAO Yan-bin](#) 多层卫星网络中的管理策略研究[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(7)