

# 混合轨道卫星通信系统的路由算法研究

朱立东, 刁 塑, 吴诗其

(电子科技大学通信抗干扰技术国家级重点实验室 成都 610054)

**【摘要】**研究了混合轨道卫星通信系统的路由算法,系统由低轨道和静止轨道卫星构成。提出了“最长覆盖时间”和“最短路径”的路由算法,并作了相应的分析和仿真,对两种算法的路由重构率和数据报丢失率等方面作了比较。结果表明:“最长覆盖时间”算法与“最短路径”算法相比,能更有效地改善系统的性能。

**关键词** 卫星通信; 混合轨道; 路由; 路由重构率; 数据报丢失率  
中图分类号 TN927 文献标识码 A

## Research on Routing Algorithms of Satellite Communication System with Hybrid Orbit

ZHU Li-dong, DIAO Su, WU Shi-qi

(National Key Laboratory of Communications, Univ. of Electron. Sci. & Tech. of China Chengdu 610054)

**Abstract** Routing algorithms of satellite communication system with hybrid orbit are studied. The system consists of LEO and GEO satellites. “The longest covered-time” and “the shortest path” routing algorithms are proposed, which are analyzed and simulated. Route reconstructed rate and datagram loss rate are compared for the two algorithms. The results indicate that “the longest covered-time” routing algorithm can improve the system performance compared with “the shortest path” one.

**Key words** satellite communication; hybrid orbit; route; route reconstructed rate; datagram loss rate

路由技术是卫星通信的一个研究热点,文献[1]研究了具有星间链路的卫星通信系统的路由算法;文献[2]按照最短时延原则选择路径,研究了数据报在低轨道(Low Earth Orbit, LEO)卫星系统中的路由算法;文献[3]研究了LEO卫星IP网络中数据报业务的组播路由算法,以提高带宽利用率和减小时延;文献[4]则研究了实现路由选择的两种算法;文献[5]研究了多层卫星IP网络的路由算法,网络包含LEO、中轨道(Medium Earth Orbit, MEO)卫星和静止轨道(Geostationary Earth Orbit, GEO)卫星。本文以“全球星系统”和静止轨道卫星系统构建混合轨道卫星通信系统,研究该系统的路由算法,对最长覆盖时间算法和最短路径算法进行了分析和仿真,得到两种算法在不同业务环境下的路由重构率、数据报丢失率等方面的性能。

### 1 LEO&GEO混合轨道卫星通信系统

混合轨道卫星通信系统由包含48颗LEO卫星的“全球星系统”和2颗静止轨道卫星系统构成,LEO卫星无星间链路,而GEO卫星有星间链路。每颗LEO卫星与其视界范围内(按 $10^\circ$ 仰角计算)的GEO卫星和地面信关站建立连接,GEO卫星与其覆盖范围内的LEO卫星具有星间链路但不直接与地面信关站建立连接。

在该系统中,每颗LEO和GEO卫星均为网络交换节点,GEO卫星向另一颗GEO卫星、LEO卫星提供连接和信息交换,LEO卫星为其覆盖范围内的用户传递信息。位于不同LEO卫星覆盖区内的用户间通信,通过LEO卫星与GEO卫星,GEO卫星与GEO卫星之间的星间链路进行。两颗GEO卫星的经度分别为东经 $62^\circ$ 和东经 $134^\circ$ 。GEO卫星不直接面向地面用户,只为LEO卫星服务,对LEO卫星的数据进行转发。

收稿日期: 2005-09-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60372013)

作者简介: 朱立东(1968-),男,博士,副教授,主要从事卫星通信和无线移动通信方面的研究。

## 2 混合轨道卫星通信系统的路由算法

### 2.1 “最长覆盖时间”算法

由于低轨卫星相对于地面终端的移动速度很快,用户间通信会产生卫星切换的问题,需要采用合适的路由算法。本文首先研究了“最长覆盖时间”路由算法,该算法着重考虑源/目的信关站与其覆盖区内的LEO卫星的链路选取问题,使用户在卫星的容量限制范围内尽可能接入对其覆盖时间最长的卫星。算法流程如图1所示。

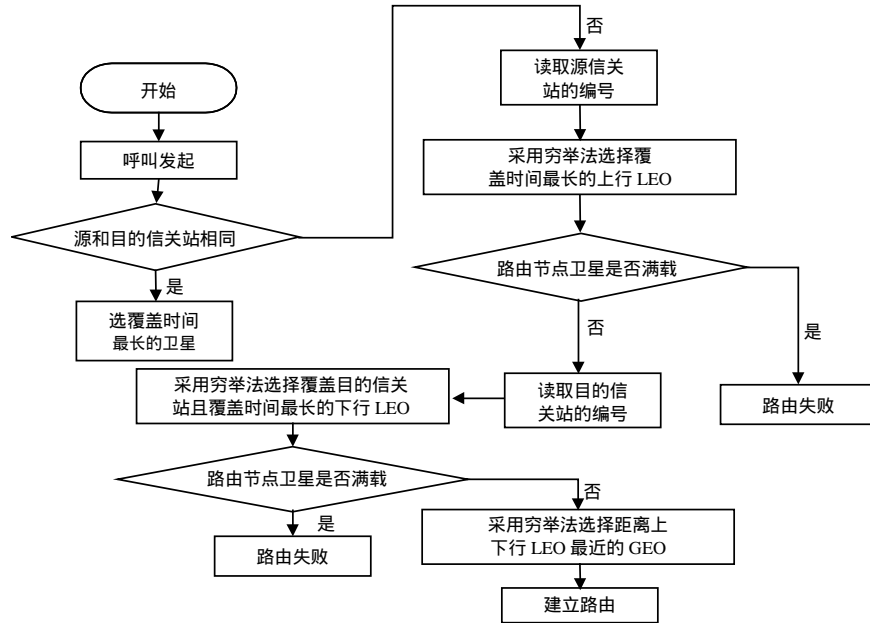


图1 最长覆盖时间算法的流程

图中选路的流程是,首先从信关站出发,依据每颗卫星与信关站连接的剩余时间选择与信关站连接时间最长的LEO卫星。分别确定接入源和目的信关站的2颗LEO卫星后,再选择GEO卫星。由于只有两颗GEO卫星,以这两颗卫星到达已选定LEO卫星的路径长短为标准,选择路径最短的做中间转发。路由确定后,建立链路。源和目的信关站相同时,信关站对数据进行交换和处理。当纬度较高,信关站上空暂时没有卫星覆盖时,或者发生了拥塞,信关站上空的卫星信道全被占满,卫星没有新的资源可供利用时,都会出现路由失败。

### 2.2 “最短路径”算法

对于卫星交互式多媒体通信系统,尽可能小的传输时延是至关重要的。因此,本文研究了另一种路由算法——“最短路径”算法。此算法按照信关站与其覆盖区内的LEO路径最短的原则来选择路由。当原始数据报产生后,系统首先在距离最近的卫星上寻找空闲信道,若有则建立连接,否则选择剩下卫星中距离最近的卫星。如果当前覆盖范围内的卫星均无空闲信道,就丢掉该数据报。算法流程如图2所示。

## 3 仿真及结果分析

### 3.1 仿真参数

本文的仿真平台是:Windows XP操作系统,采用Visual C++ 6.0编程,并结合STK仿真工具。在仿真中,时间离散取值,仿真时间步长取为1s,仿真时间为1h。其余系统参数都是随机产生的,仿真过程中所改变的参数值是其能够达到的最大值。

(1) 每秒申请的最大连接数 $L_M$ 。在实际系统中,每秒申请的连接数是一个在 $(0 \sim L_M)$ 中均匀分布的随机数, $ML$ 可以看成是系统的负载。

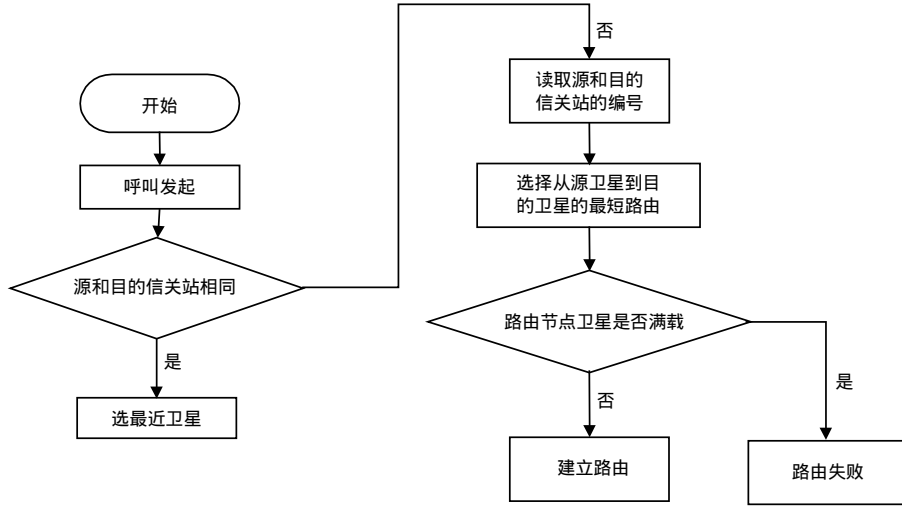


图2 最短路径算法流程

(2) 一次通信连接持续的最长时间 $T_M$ 。在实际系统中, 每次通信的连接时长是一个在 $(0 \sim T_M)$ 中均匀分布的随机数。

需要统计的参数包括: (1) 数据报丢失率。所有的连接申请个数与总连接数的比值。(2) 路由重构率。发生重构的链路占总链路的比值。

### 3.2 仿真结果及分析

路由重构率和数据包丢失率与系统负载的关系如图3和图4所示, 假定系统容量为150个, 链路最长持续时间为120 s。

图3反映了负载变化与路由重构率的关系。当负载小于或等于6时, 两种算法下路由重构率均为0。因为此时的系统负载很轻, 用户都可以接入各自理想的卫星, 即使是使用最短路径算法的卫星过顶时间一般也会大于250 s, 大于链路最长持续时间120 s的限制, 所以在用户通信过程中不会发生路由切换, 路由重构率趋于0。

在最长覆盖时间算法下, 当负载大于或等于13以后, 路由重构率几乎维持3%不变。因为按最长覆盖时间选路, 当用户在卫星的剩余覆盖时间大于120 s前接入, 就可以不发生路由切换而完成通信。但是, 随着负载的增加, 用户不得不接入剩余覆盖时间小于120 s的卫星, 当负载达到一定值, 系统容量又有限, 超出系统容量极限的接入请求被拒绝。一颗卫星离开信关站范围后, 释放出所占的链路, 这些链路申请路由重构。由于单位时间内的接入请求维持在一个范围内, 因此在重负载情况下路由重构率基本不变。

采用最短路径算法就不会出现这种情况, 用户首先考虑最短路径的卫星, 若已满载再考虑次短路径的卫星, 依此类推。相对于最长覆盖时间算法而言, 卫星的平均覆盖时间大大减少, 导致重构率大大增加。另一方面在重负载时, 用户的接入判断的标准是卫星与信关站的距离, 用户究竟接入哪颗卫星几乎是没有规律的, 所以路由重构率很不稳定, 并以很快的速度上升。

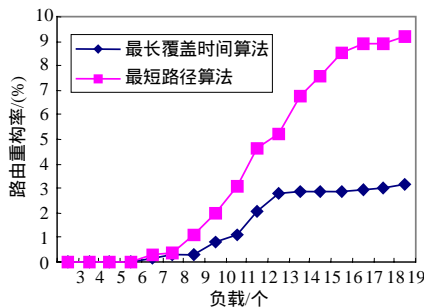


图3 路由重构率与系统负载的关系

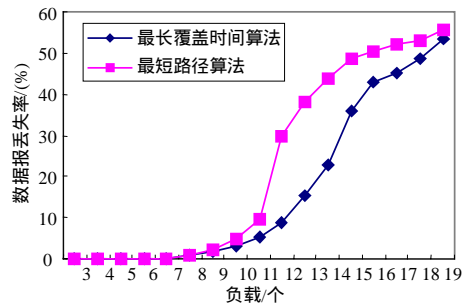


图4 数据报丢失率与系统负载的关系

图4反映了数据丢失率与负载的关系。当负载较轻(小于或等于7)时,按照两种算法接入都不会有数据丢失的情况发生,此时系统完全能够满足用户的需求。两种算法的数据丢失率在分别达到10%以后,增长的速度相差很大;当负载为12时,最短路径算法的丢失率已经比最长覆盖时间的丢失率高20%。究其原因,在负载为12左右时,最长覆盖时间算法下的重构率比最短路径下的重构率低很多,即使有发生重构的链路,数量也比较少;而在最短路径算法下,发生路由重构的概率要高一些,并且是很多数据报同时切换链路,所以数据丢失率要高很多。但是,在卫星信道数固定、链路最长持续时间固定的前提下,随着负载的增加,系统能够接纳的新连接数是一定的。因此,两种算法在负载为19时,由于系统的极限吞吐量一定,数据报丢失率便在52%左右逐渐趋于一致。

路由重构率和数据包丢失率与链路最长持续时间的关系如图5和图6所示,图中假定系统容量为150个,最大负载数为10个。

图5是路由重构率与链路最长持续时间的关系。显然,链路持续时间的增加,对最短路径算法的影响更为明显。这是因为,在最长覆盖时间算法下的接入是从卫星出现在视野内开始的,而最短路径算法下接入是从卫星经过路径最短处开始的,所以就平均覆盖时间来讲,最短路径算法小于最长覆盖时间算法。正是由于这个原因,在链路持续时间增加时,最短路径算法下的链路更容易出现卫星移出信关站范围的情况,所以路由重构也就更多。

图6是数据丢失率与链路最长持续时间的关系。当链路持续时间较短时,用户完成通信以后就能释放链路,只会发生极少的路由重构和数据丢失的情况,所以数据丢失率接近0。随着链路持续时间的增加,而卫星信道数固定,链路对卫星信道的占用时间增加,新用户不能接入,间接导致了系统容量下降。在链路持续时间很长的情况下,系统的信道几乎全被占用,路由算法基本不起作用,系统对于两种算法能接纳的新连接数趋于一致,因此其丢失率也趋于一致。

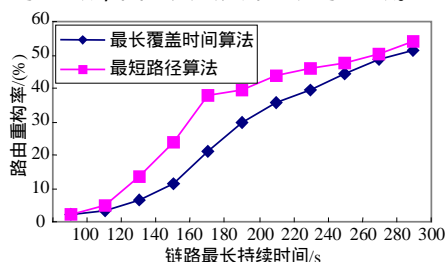


图5 数据报丢失率与链路最长持续时间的关系

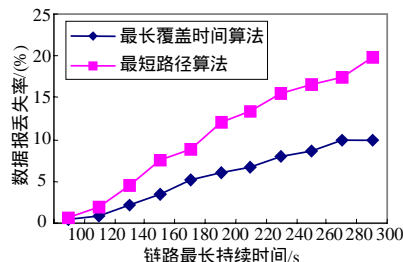


图6 路由重构率与链路最长持续时间的关系

## 4 结束语

本文研究了LEO & GEO混合轨道卫星通信系统的路由算法,结果表明,最短路径算法的平均时延虽然低于最长覆盖时间算法,但是最长覆盖时间算法在数据丢失率和路由重构率方面有更大的优势。综合评价,最长覆盖时间算法较最短路径算法更能改善系统的性能。

### 参 考 文 献

- [1] Frank L, Maral G. Candidate algorithms for routing in a network of inter-satellite links[C]//AIAA, 2000.
- [2] Akyildiz E E, Bender M D. Datagram routing algorithm for LEO satellite networks[C]//IEEE INFOCOM, 2000.
- [3] Akyildiz E E, Bender M D. A multicast routing algorithm for LEO satellite IP networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2002, 10(2): 183-192.
- [4] Khamlichi I EL, Frank L. Study of two policies for implementing routing algorithms in satellite constellations [C]//AIAA, 2000: 1264-1271.
- [5] Akyildiz I F, Akyildiz E E, Bender M D. MLSR: A novel routing algorithm for multilayered satellite IP networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2002, 10(3): 411-424.

编辑 刘文珍