

一种新路由切换策略的研究

高丽娟 赵洪利 蒋太杰
(装备指挥技术学院 北京 101416)

摘要: 该文在研究几种基本切换准则的基础上, 提出一种新路由切换策略, 并对新路由切换策略性能进行分析。该策略综合考虑了切换、时延和负荷等指标。仿真结果表明, 新策略具有较低的时延、较小的切换频率, 能够均衡网络流量。

关键词: 卫星网络; 切换策略; 时延; 负荷

中图分类号: TN927

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)05-1206-04

Research on a New Routing Handover Strategy

Gao Li-juan Zhao Hong-li Jiang Tai-jie

(Academy of Equipment Command & Technology, Beijing 101416, China)

Abstract: Based on some basic handover rules, a new routing handover strategy is proposed and the performance is analyzed. The handover strategy is under considerations of handover, delay and load. Its performance is compared with other handover strategies. The simulation results show that the new strategy performs better with less delay, lower handover frequency and can equipoise the network flux.

Key words: Satellite network; Handover strategy; Delay; Load

1 引言

切换是指由于卫星的运行或用户的移动, 使用户通信链路发生变化的情况。切换的实质是卫星通信网络的路由重建的过程, 对路由选择具有重要影响。切换不仅增加了交换路由更新信息的通信量, 而且为路由算法的运行带来了额外的负担, 因此需要对路由切换策略进行研究, 从而使得网络所选路由具有较好性能。

在卫星系统中, 地面终端和卫星之间或卫星与卫星之间需要切换, 切换的存在使网络中的路由不断变化。切换已经成为影响卫星系统整体系统的重要因素, 不同的切换策略将直接影响到路由的切换频率、切换时延、频率利用率、QoS保证等。卫星网络的切换可分为以下3种类型: 卫星间切换, 链路切换和点波束切换^[1]。关于卫星网络的切换研究引起越来越多人的重视。

2 基本切换准则

在卫星通信系统中, 可采用的切换准则主要有5种: 最近卫星准则、最强信号准则、最长可视时间准则、最小负荷准则和最短传播路径准则^[2-4]。

最近卫星准则 认为距离用户终端最近的卫星能够提供最好的QoS, 用户终端在任何时候都选择距离最近的卫星。该准则实现简单, 但一般不会在实际系统中采用, 因为它既没有考虑无线信号在空中的传播条件, 也没考虑网络的运行

状况。

最强信号准则 终端在任何时候选择能够接收到最强信号的卫星。拥有足够高的信号强度是无线通信的一个基本条件, 可以认为最强信号卫星能够提供最好的服务质量。然而该准则未考虑信号传输的距离或时延等因素, 在实际系统中一般也不会采用。

最长可视时间准则 在切换发生时, 选择可以提供最长通信连接保持的卫星, 并且在仰角(或者信噪比)低于给定门限前, 始终保持和当前卫星连接。通信双方都选择具有最长可视时间的卫星, 能够使得两次切换之间的间隔较长, 因为实际系统中的用户终端很难找出连接保持最久的路由, 该准则实现起来比较困难。

最小负荷准则 终端在任何时候都选择连接到负荷最轻的卫星上。采用该准则可以使得全网的负荷分配比较均衡, 有利于流量工程的实现等。

最短传播路径准则 终端在任何时候都选择使得数据传播路径最短的卫星, 其传播延是最小的。但由于低轨卫星相对于地面高速移动, 不论是星间链路本身的距离, 还是卫星与用户的距离, 都处于连续变化之中。因此, 该准则的实现非常复杂, 具有很大的不可预见性, 工程实现上不可能采用, 但它可作为其他切换策略的一个参考标准。

3 新路由切换策略

现有的路由切换策略基本上都是从切换次数、时延、跳数等单方面来进行研究, 如文献[4]研究了一种最小跳数切换

策略；文献[5]研究了时延最短路由策略；文献[6]研究了一种重路由策略用以提高网络资源利用率；文献[7]提出一种混合路由切换策略，但是存在一定的缺陷，即为源、目的节点确定源、目的卫星之后，计算源、目的卫星间的时延最小路径，虽然能够减小切换次数，但是源、目的卫星可能相距较远，中间经过较多的中间卫星，一方面占用较多的卫星资源，另一方面会增加路径的时延值。

因此，在研究现有路由切换策略的基础上，本文提出一种新路由切换策略(New Routing Handover Strategy, NRHS)，使之切实能够从路径持续时间、传播时延及负荷等多方面改善所选路径的性能，新路由切换策略的步骤如下：

步骤1 根据“最长可视时间”准则为源节点*S*选择具有最长持续时间的卫星作为接入卫星，即源卫星*A*，这样能够减小源卫星的切换次数；

步骤2 根据“最短传播路径”准则，为源卫星*A*和目的节点*D*计算*M*条最短传播路径*P*(*A*→*D*)，这样能够保证路径具有较小的传播时延值；

步骤3 根据“最小负荷”准则，在*M*条最短路径中选择一条具有最小负荷的路径，作为源卫星与目的节点间的路径*P_{opt}*(*A*→*D*)，假设目的节点的接入卫星为*B*，从而源、目的节点间的路径为*P_{opt}*(*S*→*D*)=*P*(*S*→*A*)∪*P*(*A*→*D*)；

步骤4 如果在下一时刻源、目的节点的接入卫星不变，则转步骤5；否则，转步骤6；

步骤5 如果路径*P_{opt}*(*S*→*D*)的时延值小于时延门限，则仍使用该路径作为源、目的节点间的路径，这样是以时延值的增加为代价，从而降低路径的切换次数；否则，转步骤9；

步骤6 如果源节点的接入卫星发生变化，接入卫星由*A*变为*C*，而目的节点的接入卫星*B*不变，且λ=0(λ为判决条件，“0”表示接入卫星是该路径下的第一次变化；“1”则表示该路径已经经历过一次接入卫星的变化，初始值为0)，则转步骤7；若源节点的接入卫星*A*不变，而目的节点的接入卫星*B*发生变化(变为*E*)，且λ=0，则转步骤8；若源、目的节点的接入卫星均发生变化，或者λ=1，则转步骤9；

步骤7 若卫星*A*和*C*之间有ISL连接，则新路径为：*P*(*S*→*D*)=*P*(*S*→*C*)∪*P*(*C*→*A*)∪*P*(*A*→*D*)，这样能够降低卫星*A*后续链路的切换，从而能够快速找到源、目的节点间的

新路径；若卫星*A*和*C*之间没有ISL连接，则转步骤9；

步骤8 若卫星*B*和*E*之间有ISL连接，则新路径为：*P*(*S*→*D*)=*P*(*S*→*A*)∪*P*(*A*→*B*)∪*P*(*B*→*E*)∪*P*(*E*→*D*)；若卫星*B*和*E*之间没有ISL连接，则转步骤9；

步骤9 令λ=0，并转到步骤1，重新计算源、目的节点间的路径。

4 性能分析

通过仿真得到北京和纽约间经过LEO卫星网络，使用NRHS得到的最佳路径在部分时刻的切换路径，如表1所示。在此，以第10，14，15时刻以及第22，23时刻NRHS得到的路径为例进行分析，证明NRHS具有较好的性能。

切换策略1指文献[5,7]中涉及到的策略：先为源、目的节点计算具有最长可视时间的卫星作为源、目的卫星，后计算源、目的卫星间的时延最小路径，北京到纽约间的路径如表2所示。

由表1可知，NRHS得到第10时刻北京到纽约间的路径为：*P*(北京→纽约)=∑_{*n*=1⁴}*P*(*i_n*→*j_n*)。其中，*i, j*分别表示组成路径的各条ISL的两个端点，*i*={北京, LEO226, LEO236, LEO231}；*j*={LEO226, LEO236, LEO231, 纽约}，(*n*-1)表示路径经过的卫星数目。

$$\text{在第14时刻的路径为： } P(\text{北京} \rightarrow \text{纽约}) = \sum_{n=1}^5 P(i_n \rightarrow j_n)$$

其中，*i, j*分别表示组成路径的各条ISL的两个端点，*i*={北京, LEO216, LEO226, LEO236, LEO231}；*j*={LEO216, LEO226, LEO236, LEO231, 纽约}，(*n*-1)表示路径经过的卫星数目。

比较第10和第14时刻的路径可以发现：第14时刻的路径多了一颗中间卫星LEO216，同时增加一条ISL：*P*(LEO216→LEO226)，而且北京的接入卫星由LEO226变为LEO216。这是由于北京的接入卫星发生变化，LEO226不能继续覆盖北京，取而代之的是LEO216。根据NRHS的步骤7，因为LEO216与LEO226之间有ISL，上一时刻的路径将进行扩展，因此增加了链路*P*(LEO216→LEO226)，形成了该时刻的路径。

由表2可知，HS1在第14时刻形成的路径为：*P*(北京→纽约)=∑_{*n*=1⁶}*P*(*i_n*→*j_n*)。其中，*i, j*分别表示各ISL的端点，

表1 新路由切换策略的部分切换时刻和路径

时刻	1	5	10	14	15	18	22	23	25	30	33	37	40	44	48
中间卫星	222	221	226	216	216	215	284	284	223	222	212	211	286	225	224
	232	222	236	226	226	225	283	283	233	232	222	221	276	235	234
	233	232	231	236 231	236	235 245	273	273 263	243	242	232	231 241	275	245	235

表2 切换策略1的部分切换时刻和路径

时刻	1	5	8	10	12	14	18	19	22	23	25	27
中间卫星	222	221	221	226	226	216	215	215	284	284	223	223
	232	231	211	216	216	215	225	225	214	214	233	213
	242	241	281	286	286	285	235	235	224	224	243	283
			286	276	285	275	245		234	234		282
	252	242	276	266	275	265	255	245	244	244	244	272
			266		265				245	244		262

$i=\{\text{北京, LEO216, LEO215, LEO285, LEO275, LEO265}\}$;
 $j=\{\text{LEO216, LEO215, LEO285, LEO275, LEO265, 纽约}\}$,
 $(n-1)$ 表示路径经过的卫星数目。

虽然NRHS考虑到切换的时间,为了快速形成新的路径,采用了路由扩展,但是相比HS1在第14时刻形成的路径,可以看出:NRHS的路径经过的中间卫星数目为: $n-1=4$ 颗,HS1的路径经过的中间卫星数目为: $n-1=5$ 颗。可见,虽然采用路由扩展形成非最优路径,但是相比HS1仍然能够减小对卫星资源的占用,而且路径时延也低于HS1的路径时延。

由表1可知:第15时刻路径再次发生变化,纽约的接入卫星由第14时刻的LEO231改为第14时刻时路径上的中间卫星LEO236。第15时刻路径可表示为

$$P(\text{北京} \rightarrow \text{纽约}) = \sum_{n=1}^4 P(i_n \rightarrow j_n) \quad (1)$$

其中 i, j 分别表示组成路径的各条ISL的两个端点, $i=\{\text{北京, LEO216, LEO226, LEO236}\}$; $j=\{\text{LEO216, LEO226, LEO236, 纽约}\}$, $(n-1)$ 表示路径经过的卫星数目。

TD_{14} 表示第14时刻路径的时延值, TD'_{15} 表示第15时刻仍然使用第14时刻计算的路径不发生切换时的时延值。第14时刻 $TD_{14} < TPD$ (TPD为时延门限值), 可以采用上述路径。随着卫星的移动, 路径时延 $TD'_{15} > TPD$, 则路径不可用, 根据NRHS的步骤5, 需要重新计算路由得到的路径为表1中第15时刻的星地和星间链路的路径, 即式(1)表示的路径。

同样可以发现, 在第22时刻和第23时刻路径的不同在于纽约的接入卫星发生改变, 由第22时刻的LEO273改为LEO263, 根据NRHS的步骤8, 因为LEO273与LEO263之间有ISL, 可以进行路由扩展, 形成新的路径: $P(\text{北京} \rightarrow \text{纽约}) = \sum_{n=1}^5 P(i_n \rightarrow j_n)$ 。其中 i, j 分别表示组成路径的各条ISL的两个端点, $i=\{\text{北京, LEO284, LEO283, LEO273, LEO263}\}$; $j=\{\text{LEO284, LEO283, LEO273, LEO263, 纽约}\}$, $(n-1)$ 表示路径经过的卫星数目。

通过比较可知:第23时的路径比第22时刻的路径扩展了星间链路 $P(\text{LEO273} \rightarrow \text{LEO263})$ 。

由此可见, NRHS在进行路径切换时首先考虑路径的持续时间, 这样能够使得选择的路径具有最长的持续时间, 从

而减少路径的切换频率; 其次, NRHS考虑了路径的时延以及负荷等指标, 使得路径能够具有最佳的QoS指标, 并且能够选择具有较小负荷的路径, 从而使得网络流量得到均衡; 第三, NRHS综合考虑了路径的切换时间, 在时延门限允许的情况下, 尽量减少路径上卫星的切换, 采用路由扩展的方式争取能够快速的切换到合适的路径上, 避免了切换时间过长; 第四, NRHS考虑到路由扩展所形成的非最优化路径容易浪费网络资源, 占用过多的卫星, 导致较大的时延, 因此, 在第二次发生接入卫星的变化, 即 $\lambda = 1$ 时重新计算路由, 使得路径回到最佳路径上, 从而保持路径具有较好的性能指标。

此外, 为了更好地分析新路由切换策略的性能, 将其与其他3种典型的路由切换策略进行仿真比较, 分别是: 时延最小路由切换策略、跳数最小路由切换策略和持续时间最长路由切换策略。由于篇幅有限, 在此仅给出几种路由切换策略的重要指标——时延和切换次数的比较。

通过仿真得到几种切换策略的时延比较, 如图1所示。通过分析图1, 可以得出几种路由切换策略的时延性能如下: 时延最小策略的时延性能最好, 新路由切换策略的时延值大于时延最小策略, 但在几种切换策略中时延性能居第二, 最小跳数策略的时延值略大于新路由切换策略的时延值, 持续时间最长策略的时延值最大, 时延性能最差。

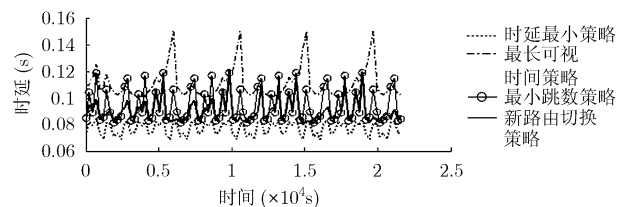


图1 时延最小、最小跳数、最长可视时间以及新路由切换策略的时延比较

仿真得到几种切换策略的切换次数, 在整个仿真时间内, 时延最小策略、跳数最小策略、持续时间最长策略及新路由切换策略的切换概率分别为84.6%, 79.1%, 36.3%, 28.5%。由此可见, 新路由切换策略的切换性能要远远好于其他几种切换策略, 以损失少量时延指标的代价换来切换概

率大幅度下降, 具有较好的综合性能。

5 结束语

由于卫星相对于地面的高速运动, 需要进行频繁地切换, 切换已经成为影响系统整体性能的重要因素。路由切换策略是卫星网络的一个重要问题, 不同的切换策略将影响路径的切换时延、频率等。文中提出了一种新的路由切换策略, 该策略在切换次数、时延、网络流量均衡等指标上具有较好的性能。

参考文献

- [1] Akyildiz F and Uzunalioglu H. Handover management in Low Earth Orbit (LEO) satellite networks[J]. *ACM-Baltzer Journal of Mobile Networks and Applications*, 1999, 4(4): 301-310.
- [2] Gkizeli M, Tafazolli R, and Evans B. Performance analysis of handover mechanisms for non-geo satellite diversity based systems[A]. *IEEE Globecom'01, San Antonio, TX, USA*[C]. 2001: 2744-2748.
- [3] Nguyen H N and Lepaja S. Handover management in low earth orbit satellite IP networks[A]. *IEEE Globecom'01, San Antonio, TX, USA* [C]. 2001: 2730-2734.
- [4] 刘刚, 苟定勇, 吴诗其. 玫瑰星座中的路由与切换研究[J]. *电子与信息学报*, 2004, 26(11): 1792-1798.
Liu Gang, Gou Ding-yong, and Wu Shi-qi, *et al.* The Study of routing and handover in NGSO rosette constellations[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2004, 26(11): 1792-1798.
- [5] 胡剑浩, 李涛, 吴诗其. 具有星际链路的LEO&MEO双层卫星网络路由策略研究[J]. *电子学报*, 2000, 28(4): 31-35.
Hu Jian-hao, Li Tao, and Wu Shi-qi. Routing of a LEO&MEO double layer mobile satellite communication system[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2000, 28(4): 31-35.
- [6] 王晓梅, 张铮, 冉崇森等. 一种重路由策略在低轨QoS卫星网络中的应用[J]. *北京邮电大学学报*, 2005, 28(1): 30-34.
Wang Xiao-mei, Zhang Zheng, and Ran Chong-sen, *et al.* A rerouting strategy in low earth orbit QoS satellite Networks[J]. *Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications*, 2005, 28(1): 30-34.
- [7] 李晖, 顾学迈. LEO/MEO卫星通信系统ISL网络路由及切换性能研究[J]. *系统工程与电子技术*, 2005, 27(7): 1145-1153.
Li Hui and Gu Xue-mai. Research on routing and handoff performance for ISL networks in LEO/MEO satellite communication systems[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2005, 27(7): 1145-1153.

高丽娟: 女, 1978年生, 博士生, 研究方向为空间通信与信息系
统.

赵洪利: 男, 1964年生, 教授, 研究方向为空间通信与信息系
统.

蒋太杰: 男, 1976年生, 讲师, 研究方向为军事通信.