

移动卫星网络中的星间链路切换保护算法

张涛, 张军, 柳重堪

(北京航空航天大学电子信息工程学院, 北京 100083)

摘要: 星间链路切换将严重影响卫星网络的通信性能, 需要对切换链路加以保护, 这方面的研究目前还很欠缺。该文针对星间链路切换的特殊性, 给出了一种基于本地恢复模式的卫星网络切换保护算法, 为星间链路切换提供快速恢复。仿真表明, 算法不仅可有效地保证切换业务通信的连续性, 还具有备份路径数目小、网络资源浪费少的优点。

关键词: 移动卫星网络; 星间链路切换; 重路由; 服务质量

ISLs Handover Protection Algorithm for Mobile Satellite Networks

ZHANG Tao, ZHANG Jun, LIU Zhongkan

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

【Abstract】 The handover of inter satellite links(ISLs) may affect the performance of satellite networks violently, so the handover links must be protected. By considering the particularity of ISLs handover, a mobile satellite network local recovery handover protection(SLRSP) algorithm, which can make the handover links quick recovery, is proposed. Correlative simulation indicates that this novel algorithm can assure the handover service continuity. Besides, it also has fewer back path numbers and additional costs.

【Key words】 Mobile satellite networks; Inter satellite links(ISLs) handover; Rerouting; QoS

卫星切换包括星地链路切换和星间链路切换。其中, 星地链路切换是指地面终端从 A 卫星覆盖区变化到 B 卫星覆盖区时, 终端与这两颗卫星连接关系的变化, 类似于地面移动通信中的跨区切换; 星间链路切换是指由于卫星间的相对运动而引起的星间链路的的中断或重新建立, 这种情况类似于网络中的链路故障, 将导致业务的中断和大量的丢包, 应尽量避免, 并对相应链路加以保护。

卫星切换技术是未来高速移动卫星通信网的关键技术之一, 人们在这方面做了大量的研究。但主要的研究成果都针对星地链路切换问题, 而针对星间链路切换的研究还很少, 相关的研究成果也主要集中在如何防止星间链路切换发生, 以降低其对网络性能和通信业务的影响等方面, 对于如何保证切换发生后通信的有效性的研究还很少。例如基于概率的路由(PRIP)^[2], 该方法为每个业务呼叫尽可能地选取一条在呼叫持续时间内不发生链路切换的路径; 文献[3]给出的QoSR算法, 通过选取一条持续时间最长的路径, 来保证业务不会因链路切换而中断。

上述研究可以有效地降低业务呼叫过程中星间链路切换的概率, 但并不能真正解决星间链路切换问题, 所给出的算法无法完全避免业务在呼叫过程中发生星间链路切换。对此, 一般的解决思路是简单地将这种切换当作网络故障来处理, 利用现有的网络故障恢复技术来保证切换后业务通信的连续性和有效性, 但星间链路切换具有不同于一般网络故障的特殊性, 传统的方法往往得不到很好的效果, 需要专门针对星间链路切换进行研究, 这方面的成果目前还未见报道。

本文重点研究了移动卫星网络中的星间链路切换问题, 给出了一种基于本地恢复模式的移动卫星网络切换保护算法, 解决移动卫星网络中星间链路切换带来的呼叫业务中断和丢包等问题。

1 网络模型

定义 移动卫星网是一个各边权值都是以时间为变量的周期函数的无向图(若两节点不相邻, 则权值为 ∞), 其模型为 $G(V, E, D(t))$, 其中 V 是有限节点集; E 是有限边集, $E \subseteq V \times V$; $D(t) = \{d_{ij}(t)\}$, $d_{ij}(t)$ 是一个以时间为变量、 T 为周期的函数, 表示节点 i 与 j 间的时延, T 为网络 G 的周期。

$d_{ij}(t)$ 还可表示节点 i 与 j 间的连接关系, 反映网络的拓扑时变性。这里, 引入一个新的概念: 生成时间表示两节点间可持续通信的时间, 记为 $TL_{ij}(t)$, 且有如下关系存在: 若在周期 T 内节点 i 与 j 一直相连(如轨内星间链路), 则 $d_{ij}(t)$ 为一连续函数, $TL_{ij}(t) = \infty$; 若节点 i 与 j 会发生切换(如轨间星间链路), $d_{ij}(t)$ 为以切换时间为分段点的分段函数, 设分段点为 t_1, t_2, \dots , 若 $t \in [t_1, t_2]$ 且 $d_{ij}(t) = \infty$, 则 $TL_{ij}(t) = t_2 - t_0$ 。

在 t 时刻, 若 η 为任意 $e(i, j)$ 上的某一业务流, 且该业务还需要持续的时间为 x , 如 $x > TL_{ij}(t)$, 则该业务将会因星间链路切换而中断, 将这种中断的概率定义为业务 η 的中断概率, 记为 $P_\eta(t)$, 其大小由 t 时刻该业务的持续时间分布模型 ξ 和 $TL_{ij}(t)$ 决定, 可表示为 $P_\eta(t) = f(\xi, TL_{ij}(t))$ 。 ξ 由不同的业务决定, 如 Poisson 模型等。

为了便于研究和描述, 本文假设: 给定时刻 t , $G(V, E, D(t))$ 和业务 η 。与时间 t 有关的函数都可用一个常数来表示(如 $P_\eta(t)$ 可表示为 P_η)。

基金项目: 国家“863”计划基金资助项目(2003AA712022); 国家自然科学基金资助项目(10377005)

作者简介: 张涛(1973-), 男, 博士生, 主研方向: 网络通信, 移动通信, 卫星通信; 张军、柳重堪, 教授、博导

收稿日期: 2005-12-09 **E-mail:** zhtao73@163.com

2 SLRSP 算法设计

2.1 SLRSP 算法设计思想

星间链路切换将导致网络 G 中某链路 e 中断,使得所有经过 e 的业务被迫中断或丢包,它可看作是一种特殊的链路故障。而移动卫星网络切换保护是在这种特殊的链路故障发生时为受损的业务提供快速的保护和恢复能力,以保证业务通信的持续性。因此,移动卫星网络切换保护问题可以转化为网络 G 中切换链路 e 的故障恢复问题。

目前,关于网络故障恢复方面的研究成果很多,相关的解决方案主要有重路由、全路径保护和本地恢复 3 种模式^[4]。其中重路由模式相对简单,且不需要浪费过多的网络资源,但其本质上要比后二者慢得多,恢复效果比较差,尤其对于实时业务;全路径保护和本地恢复模式都是利用事先建立的备份路径来进行故障恢复,其中后者恢复速度最快,效果最好,但扩展性差,需要建立并维护的备份路径多,且很难实现对节点的保护,仅适用于规模较小的网络或进行局部链路保护。

对于卫星网络,采用恢复速度快的本地恢复模式来解决卫星网络切换保护问题可以取得更好的效果,这是因为:

(1)由于网络中链路传播时延比较大,使得无论采用重路由还是全路径保护模式都会造成大量的丢包或业务中断,很难保证切换业务的性能(具体参见第 3 节实验 1);

(2)与一般网络故障相比,星间链路切换具有如下几个特点:1)故障发生是可预测的;2)仅为链路故障;3)故障具有局部性的特征。因此,星间链路切换符合本地恢复模式的适用条件。

本文给出的 SLRSP 算法正是以本地恢复模式为基础,对发生切换的链路实行本地恢复,以获得快速、有效的切换保护性能;但现有的本地恢复模式一般都存在备份路径计算复杂、网络资源的浪费严重等缺点,很难直接实用于计算资源相对紧张、网络资源相对昂贵的卫星网络,本算法针对现有本地恢复模式的缺点,利用星间链路切换的特点,作了如下几点改进:

(1)对于网络 G 的任一业务路径,假设在 t 时最多只能有一条链路发生切换。这样,针对某一业务路径,算法仅需对一条链路进行保护,大大降低了备份路径建立的复杂性和数目;

(2)由于切换发生是可预测的,因此可给定一个门限概率 P,仅仅当该业务的中断概率 $P_{\eta} > P$,算法才对该业务进行相应的切换保护,这样可大大减少网络中进行切换保护的路径数;

(3)对于备份路径,在不使用时其资源可被其他优先级低的业务占用,以提高网络资源的利用率;

(4)切换后所得路径将不再是最优的路径,这将会造成网络资源的浪费,需要进行重路由,以得到新的最优路径。

2.2 SLRSP 算法描述

网络 G 中,对于任一源节点 s 和目的节点 t,设 U 为业务 η 的 QoS 最优路径,则针对业务 η 的 SLRSP 算法可分为如下 4 个主要部分。

(1)初始化

该阶段主要是确定是否需要建立备份路径,并在此基础上进一步确定需要保护的链路。具体来说,当 s 根据业务 η 的请求,利用相应的 QoS 路由算法得到 U 后,SLRSP 算法开始初始化:

1)求 U 的中断概率 P_{η} ;

2)如果 $P_{\eta} < P$,表明该业务不需要切换保护,算法结束;否则,在 U 中找到中断概率最大的链路,设为 $e(i, j)$;

3)生成建立 $e(i, j)$ 切换保护备份路径的信息,并与路径 U 的请

求信息一块发送出去。

(2)备份路径的建立

当节点 j 收到建立 $e(i, j)$ 切换保护备份路径的信息后,将建立 j 到节点 i 的备份路径,具体实现步骤如下:

1)记录 $e(i, j)$ 的中断概率为 P_x ,并令 $e(i, j)$ 的时延 $d_{ij} = \infty$;

2)计算从 j 到 i 的 QoS 最优路径 U_1 ,若不能求得 U_1 ,则备份路径建立失败;

3)计算的 U_1 中断概率 P_{η} ,若 $P_{\eta} > P_x$,则令 U_1 中断概率最大的链路的时延等于 ∞ ,并转到 2);

4)若 $P_{\eta} < P_x$,则 j 沿路径 U_1 发送业务请求信息,如请求成功,则备份路径建立成功,否则,备份路径建立失败;

5)节点 j 根据备份路径建立情况生成相应的消息,并传给 s,而 s 根据路径 U 的请求情况以及备份路径建立情况决定是否接受业务 η 的请求,建立工作路径 U。

(3)路径切换

若工作路径 U 和切换保护路径 U_1 都成功地建立,则业务 η 通过 U 传输,而 U_1 可传输一些低优先级的业务。当 i 与 j 间发生链路切换时, i 将业务 η 切换到 U_1 ,替换已中断的链路 $e(i, j)$,与此同时,原先在 U_1 上传输的低优先级业务将被丢弃。切换结束时, j 将产生切换发生消息,并传给 s。

(4)重路由

当 s 收到切换发生消息后,需要重新进行路由,包括 s 到 t 的 QoS 路由计算、资源申请与预留等,其方法与初始路由一样,这里就不深入讨论了。

3 SLRSP 算法性能分析

为了降低星间链路切换对网络性能和通信业务的影响,所使用的切换保护算法应该满足如下两个要求:

(1)切换速度应尽可能快,以保证星间链路切换过程中业务通信的连续性和相应的 QoS 性能不被破坏;

(2)网络中切换保护备份路径应尽可能少,以保证对网络资源的有效利用。

对于本算法,一方面,由于算法采用本地发现、本地切换的策略,切换速度比需要从源节点发起切换保护的路径保护和重路由策略要快得多;另一方面,由于门限概率 P 的大小可以决定某个业务请求是否需要生成备份路径,通过对 P 的选取,算法可以在业务通信性能和网络资源的有效利用两方面得到最好的折中。下面给出具体的仿真分析。

本文所给的仿真实验设计如下:

(1)实验所用的卫星网络轨道参数选用美国的 Teledesic 移动卫星系统,共 288 颗卫星均匀分布在 12 个轨道面,轨高 1375km,倾角 84.7° ,每颗星周围有 8 颗邻居,为十字架状分布;

(2)业务 η 为简单流,其平均业务持续时间 $\mu = 5\text{min}$,则 G 中 $e(i, j)$ 的中断概率可表示为: $P_{\eta} = e^{-(TL_{ij}/\mu)}$ 。实验分为如下两组。

(1)切换丢包率情况比较

本实验给出本算法与采用路径保护和重路由策略的故障恢复算法在切换丢包率方面的比较,从而得到这些算法在切换保护速度方面的性能比较。实验采用网络仿真软件 OPNET,其运行时间为 30s,并设在运行时间内仅有一条链路发生切换。实验中本算法的门限概率 $P = e^{-1} = 0.368$ 。

由图 1 可知,本算法在丢包的间隔、峰值等方面都远远小于采用路径保护和重路由策略的算法,算法在切换保护速度性能方面具有良好的性能。

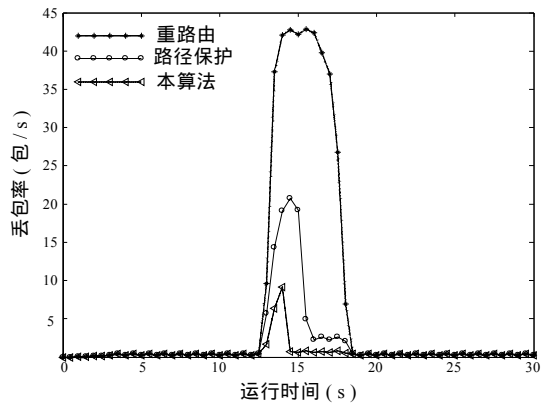


图 1 3 种算法丢包率比较

(2) 门限概率 P 与算法性能的关系

门限概率 P 与算法的有效性、网络资源的利用率以及具体业务等方面都有关系,对它的选择需根据多种因素折中考虑。本实验中, P_{nr} 表示网络中没有得到切换保护的路径发生切换的概率,当路径发生切换的概率 $P_{\eta} < P$ 时,算法认为该路径不需要切换保护,一旦该路径发生切换,则网络无法保证切换后业务的性能, P_{nr} 就等于发生这种情况的概率,其值越小,则表示算法在保证切换业务性能方面性能越好。 $P_c = (\text{备份路径所需带宽}) / (\text{网络中总消耗的带宽})$, 表示备份路径对网络资源的占用情况,其值越小,则表示算法在网络资源优化利用方面性能越好。 P_{rp} 表示业务请求由于不能建立备份路径而被拒绝的概率,切换保护备份路径的建立需要满足一些条件(如业务的 QoS 等),一旦不能找到满足条件的备份路径,则网络将拒绝该业务。

由图 2 可知,随着 P 的增加, P_c 和 P_{rp} 都呈下降趋势,而 P_{nr} 将增大。当门限概率变大,网络中受保护路径的数目将变少,则所需的备份路径也相应地变少,此时切换保护消耗的资源较少,网络有更好的资源利用率,这种情况下,相应的备份路径建立也相对容易,网络中业务的呼损率将下降;与此同时,由于网络中未受保护的路径数目增加,相应的这些路径中可能发生切换的概率将增大,即 P_{nr} 将增大,因此对于 P 的选取,需要同时考虑切换保护和资源利用率两方面的性能要求,对于本实验,可看出在 $P \in [0.15, 0.5]$ 时, P_c、P_{rp} 和 P_{nr} 相对平稳(P_c 约为 11%, P_{rp} 约为 5%, P_{nr} 小于 7%),

即区间 [0.15, 0.5] 为算法门限概率选取的有效区间。

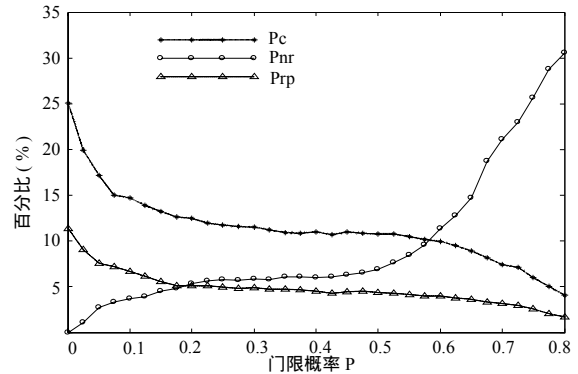


图 2 门限概率 P 与算法性能的关系

4 结论

星间链路切换既不同于常见的用户越区切换,也不同于一般的网络故障。针对星间链路切换的特殊性,本文给出的 SLRSP 算法以本地恢复模式为基础,对发生切换的链路实行本地恢复,以获得快速、有效的切换保护;利用故障的可预测性、局部性来减少故障恢复带来的网络资源的浪费,以提高网络资源的优化利用。仿真表明算法可快速恢复切换路径,明显改善切换时网络的丢包率;通过对参数门限概率 P 的选取,算法可以在保证切换路径保护性能的基础上,有效地降低网络中备份路径数目,获得很好的网络资源利用率。

参考文献

- 1 Akyildiz I F, Uzunalioglu H, Bender M D. Handover Management in Low Earth Orbit (LEO) Satellite Networks[J]. Mobile Networks and Applications, 1999, 4(4): 301-310.
- 2 Uzunalioglu H. Probabilistic Routing Protocol for Low Earth Orbit Satellite Networks[C]. Proc. of ICC'98, 1998-06, 1: 89-93.
- 3 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.
- 4 Huang Changcheng, Sharma V, Owens K, et al. Building Reliable MPLS Networks Using a Path Protection Mechanism[J]. Communications Magazine, 2002, 40(3): 156-162.

(上接第 32 页)

表 6 神经网络模型: 1992 年 9 月~2000 年 12 月各月预测准确率

误差温度限	预测月数 (个)	预测准确率		
		RBF 函数	线性	BP
1	100	67%	69%	65%
2	100	88%	88%	87%
3	100	90%	93%	89%

5 结论

本文利用支持向量机回归模型对湛江地区 50 年 (1951 年~2000 年) 来的月平均温度进行分析,并对未来若干个月的平均温度进行预测,通过筛选模型参数,显示出支持向量机对小样本的预测能力。关于支持向量机,关键在于参数(核函数、损失函数、控制上界、敏感度)的选取,参数的选取依赖于所分析的数据结构以及样本间的相关关系。由于温度数据点相对集中,本文选用径向基函数为核函数,它的特点是

表达式上径向对称,且光滑性好,任意阶导数均存在,经过实验发现比用其它核函数的效果好。这种核函数的不足方面是对一些松散数据点有较多的处理时间,但由于湛江沿海各月平均气温变化不大,选取径向基核函数较为适宜,表明我们所建的模型可以作为实际预测系统模型。

参考文献

- 1 Vapnik V N. Statistical Learning Theory[M]. John Wiley & Son, Inc., 1998.
- 2 Platt J. Sequential Minimal Optimization: A Fast Algorithm for Training Support Vector Machines[M]. Cambridge: MIT Press, 1999: 185-208.
- 3 Joachims T. Making Large-scale SVM Learning, Practical[M]. Cambridge: MIT Press, 1999: 169-184.
- 4 林学椿. 近 40 年我国气候趋势[J]. 气象, 1990, 16(10): 16-21.

