

基于卫星网的路由算法研究及其伪代码实现^{*}

孙知信 王汝传 王绍棣 张登银 李 军

(南京邮电学院计算机系 南京210003)

摘 要 路由问题在通信网中一直是一个核心问题,路由算法的优劣将直接影响到整个通信网络的性能以及通信的质量,在卫星网络中也不例外。由于卫星网络具有区别于地面网络的拓扑结构的动态变化等独有的特点,使得适用于地面网络的路由算法不能用于卫星网络上,因此必须针对卫星网络的特点设计适合于卫星网络的路由算法。本文先阐述了路由算法的影响因素及设计目标,然后提出了一种运行于卫星网络上的基于时空的路由算法,给出了算法的详细步骤,并详细介绍了算法的伪代码实现。实验表明该算法能很好地满足卫星网络的要求。

关键词 卫星网,路由算法,伪代码实现

Research on the Satellite Network Routing Algorithm and its Pseudocode Implementation

SUN Zhi-Xin WANG Ru-Chuan WANG Shao-Di ZHANG Deng-Yin LI Jun

(Department of Computer Science and Technology, NJUPT, Nanjing 210003)

Abstract Routing problem is always a core problem in a communication network. It will directly influence the performance of a whole communication network and the quality of communications. So do satellite communication networks. Because of special characteristics such as dynamic topology etc. of satellite networks which terrestrial networks do not have, routing algorithms working in terrestrial networks do not fit satellite networks and there exists no standard routing algorithm. This paper firstly presents the influence factors of the satellite network, and then sets forth the design objectives of the routing algorithm. Afterwards, the paper brings forward a routing algorithm based on space time running on satellite network, and presents the detailed steps of the algorithm. Then it introduces the pseudocode implementation of the algorithm. The experimental results indicate that the algorithm can satisfy the objectives of routing functions in satellite network.

Keywords Satellite network, Routing algorithm, Implementation of pseudocode

1 引言

由于卫星网络与地面网络具有不同的网络特点如拓扑结构的动态变化等,使得能够较好运行于地面网络的路由算法^[1,2],不能有效地运用在卫星网络上。为了保证卫星网络上的高效通信,设计一个能在卫星网络上有效完成路由功能的路由算法将是必需的^[3~10]。本文先给出了路由算法的影响因素,之后提出了一种运行于卫星网络上的基于时空的路由算法,该算法包括三个步骤:初始阶段,计算候选路由阶段及选择转发路由阶段。同时本文给出了详细的该算法的伪代码实现,实验表明该算法能较好地满足在卫星网络上完成路由功能的要求。

2 路由算法的因素考虑^[12]

卫星网络的路由问题主要存在于网络拓扑结构抽取和最佳路由的计算上。由于卫星网络拓扑结构规则有周期性地变化是其与地面网络最大的不同点,因此如何对网络的拓扑结构进行抽取对路由算法的设计将有重要的影响。

卫星网络的星座模型主要有 π 型和 2π 型星座两种,而 2π 型星座相当于两个 π 型星座同时对地球进行覆盖,即双重覆盖,所以在进行路由算法设计时卫星网络的拓扑结构将以 π 型星座为主。

对于卫星网络的星间链路(ISLs),在已有的或已计划的卫星系统中,一般每颗卫星有4~8条链路,如Iridium中每个卫星有4条ISLs,而Teledesic则有8条ISLs。每颗卫星有8条ISLs是4条的扩展,在能够计算以4条ISLs为模型的卫星网络后,可以很容易地对算法进行修改以适应8条ISLs的模型。

另外,由于实现反向缝间链路将大大增加技术的复杂性,因此采用无反向缝的卫星网络结构将提高系统的可实现性。

由于在穿越极地区域时,不同轨道间的卫星是交错运动的,它们之间的相对速度很大,将会产生较大的多普勒效应,这样接收发射设备的实现难度增加;而且,为了避免卫星在极地区域聚集而产生的信号间的干扰,所以在极地区域中,轨道间的卫星间链路通常关闭,即没有星间链路ISLs。

路由算法可以使用许多不同的度量标准 Metrics 来计算最佳路径,所以度量标准 Metrics 如何选取将直接影响计算的最佳路由。一些经常使用的 Metrics 有:

- 路径长度 是最常用的路由 Metric。一些路由协议允许网络管理员给各网络链路赋以任意的权值。这样,路径长度就是传输路径上各链路权值的总和。有的路由协议定义路径长度为节点计数,亦即包从源节点到达目的节点途中经过的网络设备的数目。

- 可信度 是指在路由算法中网络连接的可信度(通常以误码率表征)。一些网络连接可能比其他的更经常出故障。而一旦故障,一些网络连接可能比别的连接更容易或者更快地被修理。任何可信度因素都能够影响可信度级别。可信度级别通常由网络管理员指定给网络连接。一般可为任意数值。

- 延时 指包从源节点到达目的节点所耗费的时间。延时取决于多种因素,包括转发网络连接的带宽、路径上各路由器端口的包队列,中介网络连接的堵塞以及传输的物理距离。因为关系到几个重要的变量,延时是一种常用和有效的 Metric。

- 带宽 指链接可用的交通容量。在所有其他条件相同的情况下,10-Mbps 以太网链接比64kbps 专线更可取。尽管带宽表征链接可达到的最大传输能力,通过更大带宽连接的路

^{*} 863资助项目,项目号2002AA712034。孙知信 博士后,研究方向:计算机网络和安全。王汝传 教授,博导,研究方向:计算机网络及安全;王绍棣 教授,博导,研究方向:模式识别。李 军 硕士,研究方向:计算机网络与安全。

由不一定比通过较慢连接的路由更好。例如,一旦更快的链接比较忙碌,那么实际传送包所耗费的时间可能比较慢的连接要长。

·**负载** 指一个网络资源(比如一个路由器)的繁忙程度。负载能够从各种各样的参数中计算而来,包括 CPU 利用率和每秒被处理的包的数目。对这些参数持续不断的监视本身也会加重资源负担。

·**通讯代价** 是另一个重要的 Metric。一些公司可能关心运行开支更甚于关心性能。即使线路延迟更长,他们也会通过他们自己的线路传送包,而不是通过需要计时付费的公共线路。

由于卫星网络中的同构特性,即由相似的网络节点、星间链路构成,因此度量标准中的可信度、带宽和通信代价标准均可忽略,对于所有的星间链路这些都是一致的。而在卫星网络中,时延将主要由路径长度决定,所以时延和路径长度可归结为一项,即路径时延或长度;另外一个需要考虑的度量标准就是负载,因为在不同的时刻,不同的卫星结点可能有不同的负载。这样,在设计卫星路由算法的时候,须考虑的度量标准就只有路径时延和负载两个因素了。

3 路由算法的设计目标

路由算法是随着网络规模、网络应用的扩大而发展起来的。路由选择的问题,本质上是一个路径优化的问题,也就是选择哪条路由更好。优化的标准一般称之为度量值(Metric),可以根据转接次数、距离、时延、误码率、安全性等指标来制定。优化的基本方法主要有图论中的最短路径算法、最大流算法及最小费用流等算法。算法设计者的目标将影响到产生的路由协议的运作方式^[7~10]。

路由算法通常有下列的设计目标:

·**最优化** 指路由算法有选择最佳路径位置的能力。Metrics 及其权值决定最佳路径。例如,路由算法可能考虑节点数和延迟,但计算时延迟更重要。自然地,路由协议必须严格地定义它们的 Metric 计算算法。

·**简单性** 路由算法也被设计成尽可能的简单。换句话说,路由算法必须以最少的软件和使用费用获得高效的功能。当路由算法由软件实现,并在物理资源受限制的电脑上运行时,效率是特别重要的。

·**健壮性** 路由算法必须是健壮的。换句话说,在异常的或者无法预料的情况面前(诸如硬件失败,高负载条件和不正确的安装和使用),它们也能正确运行。因为路由器定位在网络连接点,故障时它们能导致严重的问题。最好的路由算法经得住时间的考验,并被证明在各种网络条件之下能保证稳定工作。

·**迅速的收敛** 路由算法必须飞快地收敛。收敛指所有的路由器关于最佳的路由取得一致的过程。当一个网络拓扑发生改变时,路由器发送路由更新消息。路由更新消息弥漫网络,导致重新计算最佳路由,并最终使所有的路由器一致同意这些路由。路由算法收敛过慢会产生路由循环或网络损耗。

·**灵活性** 路由算法也应具有灵活性。换句话说,路由算法应迅速和准确地适应各种各样的网络情况。例如,假定网络的一部分失灵,多数路由算法在监测到这个问题时,要很快地为使用该段网络的路由选择次优的路径。路由算法应被设计成能够适应变化,不论网络带宽、路由器队列大小、网络延迟,或是别的变量。

这些设计目标是一个较好的路由算法的衡量标准,因此在设计卫星网络上的路由算法时也应遵循这些原则。

4 基于时空的动态路由算法

4.1 路由算法描述

该路由算法之所称为基于时空的路由算法是因为,当网络节点转发某一特定的数据报时,路由的计算依赖于当时的特定时刻和网络节点当时所处的空间位置,即网络节点根据当时的时刻以及所处的拓扑位置来进行分布式计算以获得该数据报的转发路由。

基于时空的路由算法主要可分为三步,即初始阶段,计算候选路由阶段及选择转发路由阶段。

4.1.1 **初始阶段** 在这一阶段,卫星网络中的各个网络节点(卫星)的初始时刻的主要信息,包括初始相位、所处轨道平面、标识等,向其它所有的网络节点进行发布。发布的方法可以通过地面控制站统一向卫星进行广播发布,也可以通过单个卫星的分布式的广播发布来实现。经过初始的信息发布后,每个网络节点(卫星)对于整个的卫星网络的星座结构就有了认知,网络拓扑结构的改变就可以进行预测和计算。

4.1.2 **计算候选路由阶段** 在路由算法完成初始阶段之后就可以对候选路由进行计算了。当网络节点(卫星)取得数据报的目的出口节点(卫星)的地址后,便根据此刻的源卫星、目的卫星的位置,采用路径延时的度量标准(Metric),对最佳路径进行计算,并得到一个经过优劣排序的候选路径集合。对于候选路径的计算,主要是计算各种源、目节点的路径时延获得,下面是我们给出了算法的详细伪代码,主要的算法描述如下:以下的部分将以伪代码的形式对该算法进行描述。其中函数 DIRECTION(S_o, S_d, D_n, D_{out})是路由算法计算的主体部分,该函数的结果返回下一跳方向或丢弃数据包。其它的各个函数将分别处理不同的情况。DIRECTION 的流程框图如图1所示。

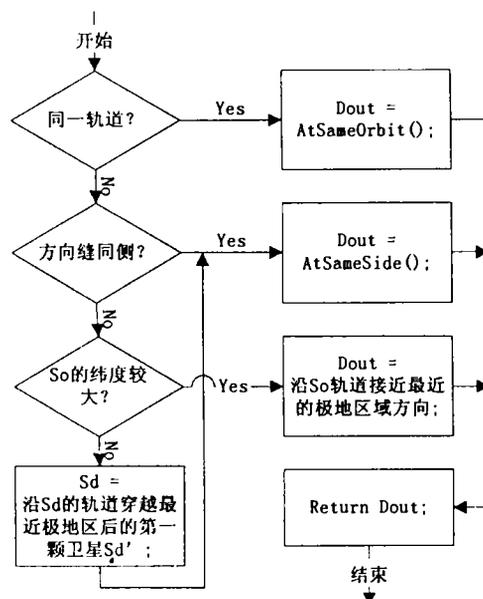


图1 基于时空的路由算法流程

其中,在函数 AtSameSide()中将调用 OutPoleRegion()、AtSameRing()和 AtDifferentRing()函数,而在函数 AtDifferentRing()中又将调用 AtSameRing()函数。部分函数伪代码如下:

```
FUNCTION DIRECTION( $S_o, S_d, D_n, D_{out}$ )
/* 该函数为路由算法计算的主体部分,函数结果返回下一跳方向或丢弃数据包 */
BEGIN
IF  $S_o$  和  $S_d$ 处于同一轨道 THEN
BEGIN
Dout = CALL FUNCTION AtSameOrbit( $S_o, S_d, D_n, D_{out}$ );
RETURN Dout;
END
IF  $S_o$  和  $S_d$ 处于反向侧同一侧 THEN
BEGIN
Dout = CALL FUNCTION AtSameSide( $S_o, S_d, D_n, D_{out}$ );
```

```

RETURN Dout;
END
ELSE /* So 和 Sd 处于反向缝不同侧 */
BEGIN
IF So 的纬度值大于或等于 Sd 的纬度值 THEN
BEGIN
RETURN 下一跳方向是沿 So 的轨道向接近最近的极地区域的方向;
END
ELSE
BEGIN
假设沿 Sd 的轨道穿越最近的极地区域后的第一颗卫星为 Sd', 则令 Sd=Sd', 则 So 和 Sd 处于反向缝同一侧了;
Dout = CALL FUNCTION AtSameSide (So, Sd, Din, Dout);
RETURN Dout;
END
END
END
FUNCTION AtSameSide(So, Sd, Din, Dout)
/* 该函数处理的情况为: So 和 Sd 处于反向缝同一侧 */
BEGIN
IF So 处于极地区 THEN
BEGIN
Dout = CALL FUNCTION OutPoleRegion (So, Sd, Din, Dout);
RETURN Dout;
END
IF Sd 处于极地区 THEN
BEGIN
沿 Sd 所在的轨道向反向缝的同侧穿出极地区到达 S';
令 Sd=S';
END
/* 至此, So 和 Sd 均处于极地区外了 */
IF So 和 Sd 处于同一水平环上 THEN
BEGIN
Dout = FUNCTION AtSameRing (So, Sd, Din, Dout);
RETURN Dout;
END
ELSE /* So 和 Sd 不处于同一水平环上 */
BEGIN
Dout = FUNCTION AtDifferentRing (So, Sd, Din, Dout);
RETURN Dout;
END
END
FUNCTION AtSameRing (So, Sd, Din, Dout)
/* 该函数处理的情况为: So 和 Sd 处于反向缝同一侧, 同一水平环上, 且均位于极地区外 */
BEGIN
假设从 So 和 Sd 所处的水平环到最近的极地区之间有 A(A ≥ 0) 个水平环,
计算 So 到 Sd 的 A+1 条候选路径长度 (L1, L2...LA+1);
BEGIN
这 A+1 条候选路径由三部分组成: 从 So 和 Sd 分别向到最近的极地区的方向移动 a(0 ≤ a ≤ A) 跳的距离, 到 So' 和 Sd', 这 a 条的距离分别为 loa 和 lda, 从 So' 到 Sd' 的距离为 loda, 则 Lk = loa + lda + loda, 其中 k = a + 1, 0 ≤ a ≤ A;
END
从 (L1, L2...LA+1) 中选出最短路径 LKmin;
Dout = LKmin 的下一跳方向;
IF Dout 无效 THEN
BEGIN
Dout = 包含在 (L1, L2...LA+1) 中另一个下一跳方向;
IF Dout 无效 THEN
BEGIN
IF 剩下的两条的链路都无效 THEN
BEGIN
丢弃数据报;
向上游报告本节点无效;
END
ELSE /* 剩下的两个方向的链路至少有一条有效 */
BEGIN
IF 剩下的两条的链路都有效 THEN
BEGIN
Dout = 以概率 1/2 选取链路中的一条;
END
ELSE /* 剩下的两条的链路只有一条有效 */
BEGIN
Dout = 选取有效的那条链路;
END
END
END
ELSE /* Dout 有效 DO NOTHING */
BEGIN
END
END
RETURN Dout;
END

```

4.1.3 选择转发路由阶段 该路由算法将主要采用路径延时和负载两个度量标准, 在前阶段计算出候选路由集合之后, 本阶段就是在这个已经优劣排序的候选路径集合中, 根据链路的拥塞情况来选取一条最佳的路径, 即从最优的候选路径开始, 如果到该路径的下一条链路没有发生阻塞情况, 则将该路径的下一跳作为该数据报的下一跳转发出去。如果没有有效的转发路径, 则简单地将该数据报丢弃。由于卫星网络多实现为高速的宽带数据网络, 网络极度拥塞的情况发生的概率将十分小, 因此数据报的丢失率也会很低。链路的拥塞程度可以用发送队列的长度来度量, 即当队列长度大于某一阈值的时候便认为该链路拥塞。

对于通信的服务质量 (QoS^[11]) 的保证, 在以卫星组成的自治系统内采用区分服务 (Diffserv) 的框架体系结构。即对不同的通信类型所需的服务质量进行分类, 并根据这些分类提供不同的服务级别。对于高级别的通信数据包, 将会通过抢占排队序列及处理时钟片手段进行更快、更有效的处理。而对于普通级别或优先级较低的数据包, 则等高优先级的数据包处理完后再处理。根据对通信类型的划分数, 系统可以提供相同数目等级的通信服务。

在路由算法的实现上, 在网络节点完成网络层功能时, 可以采用交换的体系机构, 采用高速缓冲机制对持续的数据流建立起交换路径, 以提高网络节点的工作效率和更好的服务质量。另一种可选的方案就是直接将路由算法和多协议标记交换 (MPLS) 相结合, 对于非面向连接服务的离散数据报进行转发, 而对于面向连接服务的持续数据流则建立起标记路径以提高传送效率。

结论 本文首先说明卫星网络的星座模型, 阐述卫星网络路由算法中需要考虑的各种因素, 接着对路由算法的五个一般设计目标——最优化、简单性、健壮性、迅速地收敛以及灵活性做了说明, 最后提出了一种适用于卫星网络的基于时空的路由算法, 并使用路由算法的一般设计目标对该路由算法进行了定性的评价, 同时给出了该路由算法的详细伪代码实现。我们的实验表明该路由算法是一个理想的适用于卫星网络的路由算法。

参考文献

- 1 Thomas, Stephen A. IP switching and routing essential; understanding RIP, OSPF, BGP, MPLS, CR-LDP, and RSVP-TE, John Wiley & Sons, 2002
- 2 Puzmanova, Rita. Routing and switching; time of convergence? Addison-Wesley, 2002
- 3 Ekici E, Akyildiz F, Bender D. A Distributed Routing Algorithm for Datagram Traffic in LEO Satellite Networks. ACM-Baltzer J. Wireless (WINET), 2001, 6(3): 181~190
- 4 Gounder V V, Prakash R, Hosame Abu-Amara. Routing in LEO-based Satellite Networks. In: Proc. of IEEE Emerging Technologies Symp: Wireless Communications and Systems, April 1999
- 5 Werner M. A Dynamic Routing Concept for ATM-Based Satellite Personal Communication Networks. IEEE JSAC, 1997, 15(8): 1636~1648
- 6 Wood L. Internetworking with satellite constellations: [PH. D dissertation]. University of Surrey, Guildford, United Kingdom, 2001
- 7 Henderson T R, Katz R. On Distributed, Geographic-Based Packet Routing for LEO Satellite Networks. Satellite Communications for the New Millennium Symposium. In: Proc. of IEEE Globecom 2000, San Francisco, Nov. 2000
- 8 Ekici E, Akyildiz I F, Bender M D. Network Layer Integration of Terrestrial and Satellite IP Networks over BGP-S. In: Proc. of GLOBECOM 2001, vol. 4, San Antonio, TX, Nov. 2001. 2698~2702
- 9 Peter T, Tam S. LEO Mesh Routing; [EB/OL]
- 10 Ferreira A, Galtier J. Re-routing algorithms in a meshed satellite constellation. Annales des Telecommunications, 2001, 56(3-4): 169~174
- 11 IETF, RFC 2386 A Framework for Qos-based Routing in the Internet, 1998 (Informational)
- 12 李军. 卫星网上的动态路由: [南京邮电学院硕士论文]. 2003.3