

基于综合代价因子的新型卫星网络路由改进算法

赵 菁¹ 姚 琳²

(1. 北京信息职业技术学院 计算机工程系 北京 100018; 2. 北京科技大学 计算机与通信工程学院 北京 100083)

摘要: 为了解决传统卫星网络路由算法难以从根本上避免链路切换及其引起的路由重置、分配控制等问题, 在国外现有卫星网络路由算法的基础上进行改进, 提出一种基于综合代价因子的新型路由算法 ICFRA。该路由算法利用相邻卫星在源节点和目的节点之间寻找一条最短传播路径, 进行数据包的转发, 经过 NS2 软件仿真验证, 该路由算法在网络容量、投递率、稳定性、时延、抗毁性等关键性能指标方面均优于现有算法, 对未来的卫星通信路由算法设计有一定的参考价值。

关键词: 路由算法; ICFRA; 卫星通信; NS2 仿真; 综合代价因子

中图分类号: TN927 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.50

The improving algorithm of new satellite network route based on integrated consideration of factors

Zhao Jing¹ Yao Lin²

(1. Computer Engineering Department, Beijing Information Technology College, Beijing 100018, China;

2. School of Computer and Communication Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to solve the problems in the traditional satellite network routing algorithms, such as: it is difficult to avoid the link switching and the problems of the routing reset and distribution control which is caused by it. A new algorithm called ICFRA is proposed in this paper. It improved the existing satellite network routing algorithms and based on comprehensive cost factors. The ICFRA try to find a shortest propagation path between the source node and the destination node by adjacent satellites, then forward the data packets to the destination node. Through the NS2 software simulation, it shows the new algorithm is better than the existing algorithms in terms of key performance indicators such as network capacity, delivery rate, stability, delay, invulnerability. This new algorithm has some reference value for the future design of satellite communications routing algorithms.

Keywords: routing algorithm; ICFRA; satellite communication; NS2 simulation; integrated consideration of factors

1 引言

随着社会的进步以及卫星通信技术的不断发展, 卫星通信网络在通信广播、气象预测、资源勘探、航天领域、军事领域等发挥着日益重要的作用, 同时, 人们对卫星网络的要求越来越高, 无论是军用卫星还是民用卫星, 已逐步向大容量、高速率、高稳定裕度、高可靠性、低时延的新一代卫星通信系统过渡。然而, 卫星网络周期性动态变化的拓扑对路由协议的设计提出了新的挑战^[1]。针对卫星网络路由算法, 学者做了大量的研究工作。李帆等人^[2]在 all-pairs SPF 算法的基础上进行了改进, 用邻接矩阵 $[n \times n]$ 存放网络拓扑图, 最后得出的路由结果以下一跳 nexthop 的形式存放在邻接矩阵中, 调用路由程序对相应节点的下一跳

nexthop 赋值, 按照此路由算法可以得到一条较好的路径, 但是相邻节点之间交互频繁, 网络开销大, 容易发生拥塞; 饶元等人^[3]针对移动 Agent 卫星网络提出一种路由算法 SNRA-MA, 各卫星节点通过每隔一定的时间间隔发送一个指定寿命的前向移动 Agent 在卫星节点间迁移进行路由探测, 将其在卫星节点间经历的路径和时延压入自身堆栈。当前向移动 Agent 到达其最大寿命或没有迁移路由时, 生成后向移动 Agent, 将前向移动 Agent 的迁移路径、时延压入堆栈后按前向移动 Agent 的迁移路径迁移, 仿真表明, 基于移动 Agent 的卫星网动态路由算法总体上能够满足通信要求, 不过, 该路由算法仅适用于单层 LEO(低轨)卫星网络, 应用范围有限; 王德厚^[4]针对无星际链路的 LEO 卫星数据通信系统, 提出了一种数据存储/转发通信的最小延时

路由算法,可提供延时最小的传播路径,同时,针对具有星际链路的低轨道卫星通信系统,提出源节点集中式时延限制路由算法,并通过动态近似化因子和压缩因子降低该算法的复杂性,由于该算法路由计算时间较长,而且以 ISL 条数最少路由代替代价最小路由,导致计算的准确度有所下降。因此,针对现有路由算法的缺陷,急需设计一种链路开销小、切换速度快、实现难度低的路由算法,本文针对当前卫星路由的特点,在国外现有军用卫星网络路由算法 MSNRA(Military Satellite Network Routing Algorithm)的基础上进行改进,提出了基于综合代价因子的新型路由算法 ICFRA(Integrated Consideration Factor Routing Algorithm),算法主要改进了卫星网络的拓扑控制策略:将基于覆盖域划分的控制方法改为基于虚拟节点控制策略。经过仿真验证,效果明显好于现有的路由算法,对未来卫星通信路由算法设计提供了新的思路。下面通过算法模型、仿真环境、仿真结果等方面予以阐述^[5]。

2 MSNRA 路由算法介绍

国外现有军用卫星网络路由算法 MSNRA 是一种基于覆盖域划分的路由算法,其基本思想是:把地球表面划分为多个等间距蜂窝(cell),每个蜂窝由最近的卫星提供服务。如图 1 所示。将每个 IP 分组分割成多个大小相同的卫星信元 S_{cell} ,它的头部由宏蜂窝 ID、蜂窝 ID、终端 ID、数据报 ID、序列号和 TTL 几个部分组成。前 3 个域构成了虚地址 VID(类似 IP 地址)。算法步骤:

- 1) 卫星初始化,计算全局拓扑信息。
- 2) 源终端发送 IP 分组,并通过地面网关获得目的终端 VID,并根据它计算目的卫星。
- 3) 源终端搜索最近的卫星,被搜索到的卫星为其提供服务。
- 4) 利用 S_{cell} 地址计算最短的下一跳。卫星对 IP 分组进行分布式转发。
- 5) 判断卫星是否需要更新拓扑信息,若更新拓扑,则转到 STEP1,否则继续。
- 6) 判断 IP 分组是否传输完毕,未完则转到 STEP4 继续转发,否则结束。

该算法的缺点是:当网络流量增大或者路由由节点发生故障产生路由环路时,导致拓扑更新过于频繁、通信开销急剧增大,卫星网络的可靠性较差。

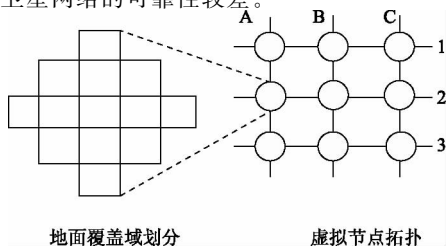


图 1 基于覆盖域划分

3 ICFRA 路由算法

3.1 虚拟节点路由策略描述

虚拟节点路由策略的基本思想是屏蔽了卫星的移动性,形成固定的卫星网络拓扑结构。它是利用卫星逻辑地址的概念,在地球表面构建一个虚拟的卫星星座系统 $\langle o, s \rangle$,其中 o 表示卫星的轨道编号, S 表示 o 轨道内的卫星编号,把整个地球表面划分为面积不同的固定的覆盖区域。如图 2 所示。

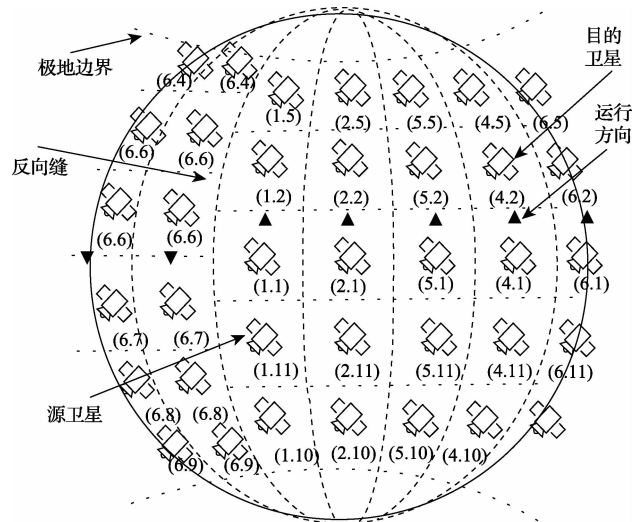


图 2 虚拟节点路由策略

在此网络中,每个节点表示卫星逻辑地址,即虚拟节点,由最近的卫星为其提供服务。在卫星的运动过程中,将动态的改变其逻辑地址,在任意时刻,每个虚拟节点唯一对应一个卫星。当发生卫星链路切换、终端用户通信切换的时候,虚拟节点的状态路由表、信道分配信息等相应的物理节点(卫星)之间移交,完成路由表信息交换。卫星网络上的路由算法即可承载在一个静态的二维 mesh 拓扑中。

综合代价因子的新型路由算法 ICFRA 是一种基于虚拟节点和多路径选择的分布式路由算法,它是针对 MSNRA 的改进,算法的本质区别在于构建虚拟网络的模式:MSNRA 将划分的地球区域映射为虚拟节点,这些虚拟节点构成的虚拟网络将与地球同步运动。而 ICFRA 构建的虚拟网络则与地球的自转相互独立,与地球的地理位置无关;ICFRA 算法具有拓扑固定不变、无额外计算负载的优点,可以在源卫星和目的卫星之间为每个数据包独立选择最短传播路径,有效避免网络拥塞,从而使卫星网络具有较短的时延、较高的投递率、较好的稳定性,具有 QoS 保证能力,主要应用于 LEO 卫星网络。

3.2 ICFRA 路由算法相关定义

首先介绍 ICFRA 路由算法用到的定义。

定义 1. 卫星编址

本方案所用卫星节点总数 N 为 60 个,分为 $O=6$ 条轨道,每条轨道分布 $S=10$ 颗卫星,且为均匀分布,任意一颗

卫星编址为 $\langle O, S \rangle$ ($O \in [1, 6], S \in [1, 10]$, 且 $O \in Z, S \in Z$)。

定义 2. 相邻卫星

每颗卫星在同轨道有两颗相邻卫星, 分别为上邻卫星和下邻卫星; 在不同轨道有两颗相邻卫星, 分别为左邻卫星和右邻卫星。

定义 3. 对角卫星

每颗卫星都有一颗对角卫星, 设同一轨道卫星总数为 n , 某卫星编号为 i , 则对角卫星 d 的编号如下。

$$d = \begin{cases} i + n/2 & i \in [1, n/2] \\ i - n/2 & i \in [n/2, n] \end{cases}$$

定义 4. 多跳路径

源节点到目的节点所经过的路径, 定义 $P_{S_i \rightarrow S_j}$ 为源节点 S_0 到目的节点 S_n 的多跳路径集合, 表示为: $P_{S_i \rightarrow S_j} = \{L_{S_i \rightarrow S_1}, L_{S_1 \rightarrow S_2}, \dots, L_{S_{n-1} \rightarrow S_n}\}$

定义 5. 最短传播路径

定义最短传播路径 $P_{S_i \rightarrow S_j}^* = \min \{L_{S_i \rightarrow S_1}, L_{S_1 \rightarrow S_2}, \dots, L_{S_{n-1} \rightarrow S_n}\}$ 。

定义 6. 映射描述

源节点为 $\langle X_{S_i}, Y_{S_i} \rangle$, 目的节点为 $\langle X_{S_j}, Y_{S_j} \rangle$, 水平运动方向为 H_m , 垂直运动方向为 V_m , 卫星按照 ICFRA 路由策略转发数据包时的方向指示如下:

$$H_m = \begin{cases} +1 & \text{水平向右} \\ 0 & \text{水平不动} \\ -1 & \text{水平向左} \end{cases}$$

$$V_m = \begin{cases} +1 & \text{垂直向上} \\ 0 & \text{垂直不动} \\ -1 & \text{垂直向下} \end{cases}$$

3.3 ICFRA 路由策略

ICFRA 路由算法的核心思想是在源节点和目的节点之间寻找一条最短传播路径, 当需要进行数据包转发时, ICFRA 路由算法会生成最短路径, 保证数据包按照 $P_{S_i \rightarrow S_j}^*$

转发, 具体包括两个过程, 方向查询和转发执行, 当卫星开始正常工作之后, 所有的卫星节点会初始化方向查询表, 匹配相邻的四颗卫星、方向指示以及相应的转发端口, 以便后续快速转发, 例如, 卫星节点 $\langle 3, 4 \rangle$ 的方向查询表如表 1 所示^[6]。

表 1 卫星节点 $\langle 3, 4 \rangle$ 的方向查询

目的卫星节点编址	方向指示 (H_m, V_m)	转发端口号
$\langle 3, 3 \rangle$	(0, +1)	1
$\langle 3, 5 \rangle$	(0, -1)	2
$\langle 2, 4 \rangle$	(-1, 0)	3
$\langle 4, 4 \rangle$	(+1, 0)	4

按照轨道转发的方式可以分为同轨和异轨两种情形, 下面分别予以讨论。

情形 1 两颗卫星处于相同轨道, 仅需考虑同轨道相邻一个方面, 当数据包需要从卫星节点 $i \langle X_{S_i}, Y_{S_i} \rangle$, 转发到卫星节点 $j \langle X_{S_j}, Y_{S_j} \rangle$ 时, 卫星节点 i 的对角卫星是 $d \langle X_{S_d}, Y_{S_d} \rangle$, 同轨道卫星分布如图 3 所示。

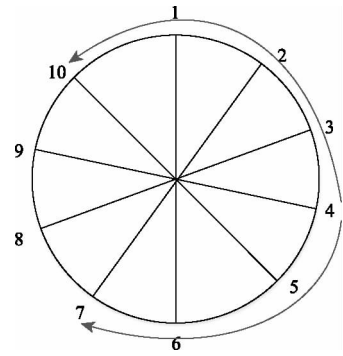


图 3 同轨道卫星分布示意

1) 源节点 $Y_{S_i} \in [1, 5]$ 时, 则对角卫星 $Y_{S_d} = Y_{S_i} + 5$, 采取的路由策略如式(1)。

$$P_{S_i \rightarrow S_j}^* = \begin{cases} L_{S_i \rightarrow L_{S_{i+1}}}, L_{S_{i+1} \rightarrow L_{S_{i+2}}}, \dots, L_{S_i \rightarrow L_{S_j}}, Y_{S_i} \in [Y_{S_i}, Y_{S_i} + 5] \\ L_{S_i \rightarrow L_{S_{i-1}}}, L_{S_{i-1} \rightarrow L_{S_{i-2}}}, \dots, L_{S_i \rightarrow L_{S_j}}, L_{S_i} \rightarrow L_{S_{i+1}}, L_{S_{i+1} \rightarrow L_{S_{i+2}}}, \dots, \\ L_{S_i \rightarrow L_{S_j}}, Y_{S_i} \in \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

2) 当源节点 $Y_{S_i} \in [6, 10]$ 时, 则对角卫星 $Y_{S_d} = Y_{S_i} - 5$, 采取的路由策略如式(2)。

$$P_{S_i \rightarrow S_j}^* = \begin{cases} L_{S_i \rightarrow L_{S_{i-1}}}, L_{S_{i-1} \rightarrow L_{S_{i-2}}}, \dots, L_{S_i \rightarrow L_{S_j}}, Y_{S_i} \in [Y_{S_i} - 5, Y_{S_i}] \\ L_{S_i \rightarrow L_{S_{i+1}}}, L_{S_{i+1} \rightarrow L_{S_{i+2}}}, \dots, L_{S_i \rightarrow L_{S_j}}, L_{S_i} \rightarrow L_{S_{i-1}}, L_{S_{i-1} \rightarrow L_{S_{i-2}}}, \dots, \\ L_{S_i \rightarrow L_{S_j}}, Y_{S_i} \in \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

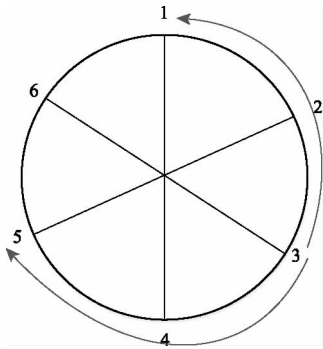


图4 轨道分布示意

情形2 两颗卫星处于不同轨道,需同时考虑同轨道相邻和不同轨道相邻两个方面,当数据包需要从卫星节点 $i < X_s, Y_s >$,转发到卫星节点 $j < X_s, Y_s >$ 时,卫星节点 i 的对角卫星是 $d < X_s, Y_s >$,首先,需要进行轨道迁移,将数据包从卫星节点 $i < X_s, Y_s >$ 传输到左(右)邻卫星,然后再按照情形一进行同轨道传播,轨道分布如图4所示。

1) 源节点 $X_s \in [1,3]$ 时,首先按照如式(3)路由策略进行轨道迁移。

$$P_{S_i \rightarrow S_j}^{*1} = \begin{cases} L_{S_i} \rightarrow L_{S_{i-1}}, L_{S_{i-1}} \rightarrow L_{S_{i-2}}, \dots, L_{S_i} \rightarrow L_{S_i}, Y_s \in [Y_{S_i}, Y_{S_i} + 3] \\ L_{S_i} \rightarrow L_{S_{i-1}}, L_{S_{i-1}} \rightarrow L_{S_{i-2}}, \dots, L_{S_i} \rightarrow L_{S_i}, L_{S_i}, L_{S_i}, \dots, \\ L_{S_i} \rightarrow L_{S_i}, Y_s \in \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

轨道迁移完成之后再按照情形一完成同轨道传播。进行轨道迁移。

2) 源节点 $X_s \in [4,6]$ 时,首先按照如式(4)路由策略

$$P_{S_i \rightarrow S_j}^{*2} = \begin{cases} L_{S_i} \rightarrow L_{S_{i-1}}, L_{S_{i-1}} \rightarrow L_{S_{i-2}}, \dots, L_{S_i} \rightarrow L_{S_i}, X_s \in [X_{S_i} - 3, X_{S_i}] \\ L_{S_i} \rightarrow L_{S_{i-1}}, L_{S_{i-1}} \rightarrow L_{S_{i-2}}, \dots, L_{S_i} \rightarrow L_{S_i}, L_{S_i} \rightarrow L_{S_{i-1}}, \dots, \\ L_{S_i} \rightarrow L_{S_i}, X_s \in \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

轨道迁移完成之后再按照情形一完成同轨道传播。点 $j < 3,7 >$ 或者转发到卫星节点 $k < 1,10 >$ 时的最短传播路径 $P_{S_i \rightarrow S_j}^{*2}$ 如表2所示。

表2 $i < 3,4 > \rightarrow j < 3,7 >$ 和 $i < 3,4 > \rightarrow k < 1,10 >$ 时的最短传播路径 $P_{S_i \rightarrow S_j}^{*2}$

$S_i \rightarrow S_j$	$P_{S_i \rightarrow S_j}^{*2}$	方向指示
$i < 3,4 > \rightarrow j < 3,7 >$	$4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7$	$(0, -1) \rightarrow (0, -1) \rightarrow (0, -1)$
$i < 3,4 >$	$3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$	$(-1, 0) \rightarrow (-1, 0)$
$k < 1,10$	$4 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 10$	$(0, +1) \rightarrow (0, +1) \rightarrow (0, +1) \rightarrow (0, -1)$

4 仿真环境说明

本文算法的仿真环境为:Windows 操作系统、网络仿真专业软件 NS2(network simulator version 2)。NS2 是由美国国防部高级研究计划局资助、伯克利大学开发的共享工具,是一种可扩展、可重用、基于离散事件驱动、面向对象的网络仿真工具。它封装了许多功能模块,基本模块包括节点、链路、代理、数据包,可以应用于不同网络模型的仿真,包括路由算法、网络传输、业务流量等。它主要采用 Tcl 脚本语言、C++ 语言、Awk 语言编程、运行。NS2 提供了对网络中数据的跟踪和监控能力。通过这种方法得出的研究结果被学术界所普遍认可。例如,在朱智俊的论文“基于 NS2 的 OBS 网络仿真平台”研究中就对 NS2 平台仿真结果的准确性进行了讨论和肯定^[7]。

由于算法 ICFRA 是建立在多因子、多权重的基础上对原有路由算法的改进,因此,仿真需要对 NS 进行类扩展,添加新的路由算法。本次仿真的步骤主要包括:根据

路由算法编写 Tcl 脚本,配置网络拓扑结构,建立协议代理,配置业务量模型,设置 Trace 对象,编写 Awk 文件,便于分析研究^[8]。

对 ICFRA 和 MSNRA 两种路由算法仿真时,需要保证一定的环境变量参数,从而验证网络容量 C、投递率 D1、稳定性 S、时延 D2、抗毁性 I 等主要性能指标的优劣。

环境变量参数设置如下:

1) 系统带宽

30 Mbit/s,发送速率:2 Mbit/s,采用 on-off 流,工作 0.3 s,休眠 0.7 s,节点缓冲区:400 包,数据包长:200 字节,仿真时间:100 s。

2) 节点设置

① 默认节点数:60 个,排列方式:6×10 阵列,网络拓扑结构如图5所示;

② 默认源节点:0,目的节点:59;

③ 仿真源节点:0,目的节点:15、19、25、29、35、39、45、49、55、59;

④失效节点:1、3、5、15、16、26、28、29、39、49。

卫星网络节点的创建采用如下标准格式添加到 Tcl 脚本文件中。

```
set n[卫星节点序号] [ns node]
$n0 set X_ [X 轴坐标数值]
$n0 set Y_ [Y 轴坐标数值]
$n0 set Z_ [Z 轴坐标数值]
$ns initial_node_pos n[卫星节点序号][卫星节点总数]
```

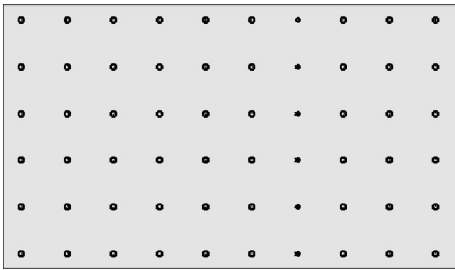


图 5 卫星网络拓扑

5 仿真结果分析

评价 ICFRA 路由算法时,主要涉及 5 个因子:网络容量 C 、投递率 D_1 、稳定性 S 、时延 D_2 、抗毁性 I ,分配的权重依次为: a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 , 作为路由性能的度量标准, ICFRA 主要应用于卫星网络,系统对于稳定性 S 、时延 D_2 、抗毁性 I 3 个因子的要求较高,因此,设置 a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 分别为 0.1、0.15、0.25、0.25、0.25,路由最优化评价指标如式(5)所示,其中, R_0 表示路由最优化评价指标,且 $a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 = 1$ 。

$$R_0 = a_1 C + a_2 D_1 + a_3 S + a_4 D_2 + a_5 I \quad (5)$$

在算法模型介绍和仿真环境说明的基础上,下面通过 NS2 对 ICFRA 路由算法当中的网络容量 C 、投递率 D_1 、稳定性 S 、时延 D_2 、抗毁性 I 5 个主要性能指标进行仿真,并且与 MSNRA 比较分析,经过仿真发现,与 MSNRA 路由算法相比,ICFRA 的性能指标具有明显优势, R_0 较高,具有链路选择、数据转发、高速传输等功能。

5.1 网络容量

网络容量可以认为是在系统阈值范围内,排队系统的缓冲队列长度,可以反映出网络的处理能力,系统阈值越大,可以承载的网络流量越大,即网络容量越大。本次仿真当中,设置不同的目的节点(节点设置③),运行仿真脚本,利用 awk 程序分析仿真生成的 trace 文件,得到 result 文件,分别测得网络容量,然后在 gnuplot 环境下求出系统的网络容量,仿真结果如图 6 所示^[9]。

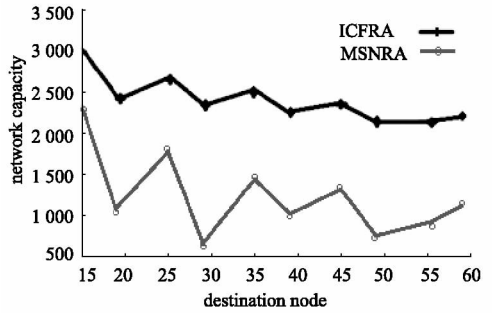


图 6 网络容量性能对比分析

从图 6 可以看出,采用 ICFRA 路由算法时,网络容量明显较大,比 MSNRA 提高大约 48%,网络的处理能力更强。

5.2 投递率

投递率是源节点发送的数据经过卫星网络之后,成功到达目的节点的概率统计,该指标可以反映网络的可靠性。本次仿真当中,设置不同的目的节点(节点设置③),运行仿真脚本,利用 awk 程序分析仿真生成的 trace 文件,得到 result 文件,分别测得投递率,然后在 gnuplot 环境下求出系统的投递率,仿真结果如图 7 所示^[10]。

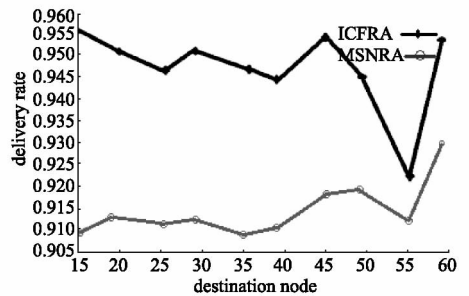


图 7 投递率性能对比分析

从图 7 可以看出,当网络采用 ICFRA 路由算法时,路由投递率为 94.80%,比 MSNRA 的高出 3.31%,可以反映出采用 ICFRA 路由算法的网络的可靠性和健壮性较好。

5.3 稳定性

稳定性指的是在卫星网络当中系统维持数据正常传输、转发的能力。本次仿真当中,设置不同的目的节点(节点设置①),运行仿真脚本,利用 awk 程序分析仿真生成的 trace 文件,得到 delay 文件,设定步长为 10 s,分别统计第 $N(1 \times N \times 10)$ 个 10 s 内的稳定性,然后在 gnuplot 环境下求出系统的稳定性,仿真结果如图 8 所示^[11]。

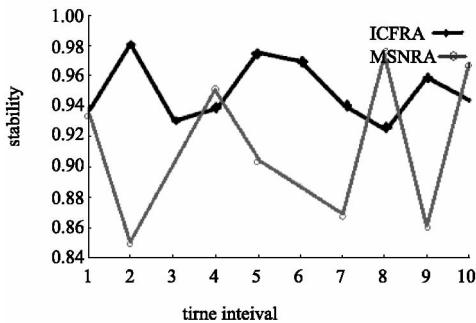


图8 稳定性性能对比分析

(注:图中横坐标的数值表示时间间隔,步长为10 s,例如:1代表第1个10 s,以此类推。)

经过实验仿真,采用 ICFRA 路由算法,稳定性达到 95.07%,除了在极个别时刻网络遇到突发情况,稳定性稍差之外,总体性能优于 MSNRA。

5.4 时延

时延是指数据从网络的源端发送到目的端所需要的时间,包括发送时延、传播时延、处理时延和排队时延,其中,发送时延与传播时延是考虑的重点,主要与数据包长、路由器吞吐量有关。本次仿真当中,设置不同的目的节点(节点设置①),运行仿真脚本,利用 awk 程序分析仿真生成的 trace 文件,得到 delay 文件,获得网络在不同时刻端到端的时延统计量,然后在 gnuplot 环境下求出系统时延,仿真结果如图 9 所示^[12]。

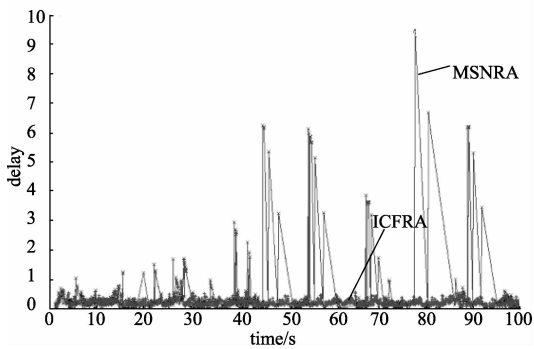


图9 时延性能对比分析

由于在 ICFRA 路由算法当中,数据流在转发时每个路由由节点独立地选择下一跳,实现负载分担,从图 7 可以看出,除极个别时刻链路发生拥塞导致的系统延时较大之外,其他时刻均处于比较平稳的变化范围之内,变化幅度较小,时延较短,大概在 50~300 ms;而当采用 MSNRA 路由算法时,系统时延有显著增加,大概在 100~500 ms,而且在某些时刻的时延抖动较为剧烈,系统时延甚至达到了 9 s 左右,对于卫星网络的整体性能,尤其是实时性要求较高的业务有较大影响。

5.5 抗毁性

抗毁性是指当网络出现确定性或随机性故障时,系统能够维持或恢复到一个可接受程度保障正常通信的能力。此处采用“节点失效”的方式模拟仿真,进而估算系统的抗毁性。本次仿真当中,设置不同的节点失效情形(节点设置③),运行仿真脚本,利用 awk 程序分析仿真生成的 trace 文件,得到 result 文件,分别测得抗毁性,然后在 gnuplot 环境下求出系统抗毁性,仿真结果如图 10 所示^[13]。

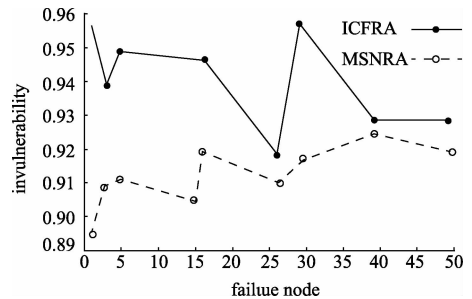


图10 抗毁性性能对比分析

(注:图中横坐标表示设置的不同失效节点编号,采样节点总数为 9,分别是 1、3、5、15、16、26、29、39、49。)

由于 ICFRA 路由算法基于多路径选择、多路径传输,因此,当节点失效时,超网络路由可以在极短时间之内重建链路,保障正常的通信,因此,其抗毁性较高,从图 10 可以看出,当节点失效时,网络采用 ICFRA 路由机制比采用 MSNRA 路由机制的抗毁性好,提高约 3%。

6 结 论

主要是针对当前卫星网络路由算法存在的问题,提出了一种基于综合代价因子的新型路由算法 ICFRA,该路由算法适用于多种场景,生成最短路径速度较快,很大程度上避免了链路切换及其引起的路由重置、分配控制等问题,同时,由于卫星节点的方向查询表初期建好,有效减少了节点间的交互,降低开销,通过 NS2 仿真发现,该路由算法在网络容量 C 、投递率 D_1 、稳定性 S 、时延 D_2 、抗毁性 I 方面均优于 MSNRA,同时,由于 ICFRA 算法的突出优势,它对实际卫星网络的路由算法设计有一定的参考价值,可以极大地提高网络性能。

参考文献

- [1] 卢勇,赵有健,孙富春,等. 卫星网络路由技术[J]. 软件学报,2014,25(5):1085-1100.
- [2] 李帆,李陶深. NS2 中扩展新路由算法的研究[J]. 信息技术,2007,10:26-28,103.
- [3] 饶元,王汝传,林萍. ns2 中的基于移动 Agent 卫星网络路由算法仿真[J]. 东南大学学报:自然科学版,2008,(增刊 1):21-24.
- [4] 王德厚. LEO 卫星网络路由算法研究[D]. 长春:吉林大学,2006.

- [5] 于明. 一种基于排队论的最优流路由算法及其在 NS-2 网络中的应用[D]. 长春: 吉林大学, 2012.
- [6] LI G H, CHEN J M. The Research of Routing Algorithms Based on NS2 in Mobile Ad Hoc Networks [J]. Proceedings of 2011 IEEE 2nd International Conference on Software Engineering and Service Science(ICSESS 2011):853-856.
- [7] 朱智俊. 基于 NS2 的 OBS 网络仿真平台[J]. 通信学报, 2009, 30(9):128-134.
- [8] LIU H Y, SUN F CH. Routing for predictable Multi-Layered Satellite Networks[J]. Science China (Information Sciences), 2013, 56 110102: 1-110102:18.
- [9] RAO Y, WANG R CH. QoS routing based on mobile agent for LEO satellite IP networks [J]. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 2009, 16(6): 57-63.
- [10] 沈宙. 高速卫星通信中全数字载波同步算法的研究[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(4):36-39.
- [11] 于洋. 光电设备卫星轨道预报摄动模型修正方法及精度分析[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(10):2279-2285.
- [12] 林萍, 王汝传, 徐小龙. 基于 NS2 的 Walker 星座卫星网仿真的研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(10): 189-192.
- [13] 陈建学. 基于 NS2 的 QoS 选播问题仿真研究[D]. 镇江: 江苏科技大学, 2011.

作者简介

赵菁, 讲师, 硕士研究生。主要研究方向是计算机网络与通信技术、信息安全。

姚琳, 副教授, 硕士生导师。主要研究方向是网络安全、程序设计、数据库开发。

(上接第 118 页)

- [11] 闫峥, 余萍, 陈斯. 基于空时分组编码和天线选择的 MB-OFDM 超宽带系统[J]. 华北电力大学学报, 2008, 35 (2):103-107.
- [12] WIN M Z, SCHOLTZ R A. Impulse radio: How it works[J]. IEEE communications letters, 1998, 2(2): 36-38.
- [13] CASSIOLI D, WIN M, MOLISCH A. The ultra-wide bandwidth indoor channel: from statistical model to simulations [J]. IEEE J. Sel. Areas Communications, 2002, 20(6):1247-1257.
- [14] MOLISCH A F, FOERSTER J R, PENDERGRASS M. Channel models for ultrawideband personal area networks[J]. IEEE Wireless Communications, 2003, 10(6):14-21.

作者简介

蔡裕成, 1981 年出生, 高级工程师。主要研究方向为无线通信。