

基于 SDN 的异构空间信息网络传输策略

杨 力^{a,b}, 戚耀文^{a,b}, 潘成胜^a

(大连大学 a. 通信与网络重点实验室; b. 信息工程学院, 辽宁 大连 116622)

摘 要: 在空间信息网络大时空尺度和节点稀疏特性的环境下, 传统网络的异构性会降低网络传输效率, 星间通信过程易中断, 无法充分利用已存在的异构节点, 导致星间链路频繁切换, 使得平均传输时延增大与服务质量降低。为此, 以空间信息网络为背景、以软件定义网络架构为核心对 Floodlight 控制器模块进行改进, 运用控制器实现 IP 包与 ATM 包之间相互转换的策略, 提出一种基于网络有效性的路由算法。仿真结果表明, 与传统空间信息网络模型架构和卫星网络架构相比, 通过该算法改进后的 SDHSN 架构在单位时间片内网络平均传输时延降低约 3.75%, 吞吐量提升 7.22% ~ 11.49%。

关键词: 空间信息网络; 软件定义网络; 传输策略; 路由算法; 网络有效性

开放科学(资源服务)标志码(OSID):



中文引用格式: 杨力, 戚耀文, 潘成胜. 基于 SDN 的异构空间信息网络传输策略[J]. 计算机工程, 2019, 45(7): 71-77, 85.

英文引用格式: YANG Li, QI Yaowen, PAN Chengsheng. SDN-based transmission strategies for heterogeneous spatial information network[J]. Computer Engineering, 2019, 45(7): 71-77, 85.

SDN-based Transmission Strategies for Heterogeneous Spatial Information Network

YANG Li^{a,b}, QI Yaowen^{a,b}, PAN Chengsheng^a

(a. Communication and Network Laboratory; b. School of Information Engineering, Dalian University, Dalian, Liaoning 116622, China)

【Abstract】 In the environment of large spatial-temporal scale and sparse nodes of spatial information network, the heterogeneity of traditional networks decreases the efficiency of network transmission, and the inter-satellite communication process is easily interrupted. The existing heterogeneous nodes cannot be fully utilized, resulting in frequent switching of inter-satellite links, which makes an increase in average transmission delay and a decrease in QoS. Therefore, this paper takes the spatial information network as the background, and the Software Defined Networks(SDN) architecture as a core to improve the Floodlight controller module, so that the controller can realize the conversion strategy between IP packets and ATM packets. This paper proposes a Network Effectiveness based Routing Algorithm (NERA) for this strategy. Results of simulation experiments show that compared with traditional spatial information network model architecture and satellite network architecture, the average network delay of Software Defined Heterogeneous Satellite Network(SDHSN) architecture improved by the proposed algorithm is reduced by about 3.75% per unit time, and the throughput is increased by 7.22% ~ 11.49%.

【Key words】 spatial information network; Software Define Network(SDN); transmit strategy; routing algorithm; effectiveness of network

DOI:10.19678/j.issn.1000-3428.0052540

0 概述

软件定义空间信息网络^[1-2]是以卫星组成的骨干通信网为背景、软件定义网络(SDN)为核心的卫

星网络,其可以实现侦测、通信、遥感等多种功能。相对于传统空间信息网络传输速率低、卫星节点资源有限、组网不灵活、通信协议多样化等缺点,软件定义网络^[3-5]的低耦合、数控分离、灵活编程控制等

基金项目:国家自然科学基金“空间信息网络协议”(61722105)。

作者简介:杨 力(1982—),女,教授、博士,主研方向为空间信息网络传输技术、无线通信网络;戚耀文,硕士研究生;潘成胜,教授、博士。

收稿日期:2018-09-03

修回日期:2018-11-25

E-mail: yangli945@126.com

特性,引起了人们将 SDN 应用到空间信息网络的兴趣。

空间信息网络具有高时延、拓扑时变、多种协议共存和网络异构等特点^[6],实现高服务质量的卫星网络信息传输主要存在以下难点:星间通信拓扑时变、数据传输窗口链路存在时间短、发生链路中断,导致数据传输失败可能性高;卫星资源有限、星间通信链路稀少,导致数据传输平均时延增大,网络可靠性低;网络层多种协议共存导致数据包不能被解析,无法建立链接使得通信链路中断。

在空间信息网络中,ATM 和 IP 交换方式将长期共存,ATM 交换机无法承载 IP 数据包的传输,网络异构性对传输效率的影响随着时间的推移,网络复杂度的提升逐渐增大,数据的交换和控制模块功能模糊,无法适应日益庞杂的网络结构,导致传输效率降低。并且,空间信息网络的发展缺乏相应的基础理论支撑,需要建立一套完备的空间信息网络协议体系。

在已有的研究中,一些学者提出了自己的观点。文献[7]认为空间信息网络发展缺乏基础理论支撑,空间信息网络协议体系并不完善,现有的空间信息网络路由算法在针对特定网络拓扑结构时,剩余容量、队列时延等一些特定影响因素没有被考虑。文献[8]认为软件定义网络是一种优秀的网络架构,其具有方便集中管控、灵活组网等特点,但空间网络节点处理能力不强、通信时间不确定,因此将 SDN 架构应用在空间信息网络中可以针对不同时间片的拓扑结构进行集中调配,更加方便平衡负载。文献[9]提出一种基于 SDN 思想的天地一体化信息网络管理技术,将 SDN 从地面网络转向空间信息网络提供了部分理论支撑。文献[10]搭建了基于 SDN 的空间信息网络半实物仿真平台,将理论转化为实际,为半实物仿真提供了理论基础和基础仿真环境。文献[11]提出多种无线网络技术的组合算法,在提升网络性能方面效果十分显著。文献[12]提出基于时空特性的消息机会转发算法,提高了消息传输成功率,改善了网络负载降低了时延。文献[13]提出在无线传感器网络中,节点选择性编码的多路径传输策略提升了传输可靠性,大幅改善了传输可靠性。文献[14]在网络资源定价的基础上,提出一种实时可靠性传输策略,通过对网络资源的合理表征,可以保证数据实时传输的可靠性。

本文基于 SDN 架构,对传统的空间信息网络进行建模分析,通过添加修改控制器模块,根据 Openflow 流表对空间信息网络资源进行统一调配与集中控制,并依靠控制器下发流表确定网络状

态,监控全网拓扑时变,实现网络层不同协议间数据包的相互传输。针对异构网络多变的拓扑结构,通过对链路最小吞吐量、链路通信能力、异构网络影响因子综合加权分析,提出一种基于网络有效性的路由算法(Network Effectiveness Routing Algorithm, NERA)。

1 软件定义异构空间信息网络架构与技术

SDN 通过控制器和数据平面的分离,将控制功能从底层交换设备中抽出,可以使空间信息网络设备耦合度降低、服务提供速度加快与敏捷性增强,降低运行开销,并提供虚拟化服务。SDN 的出现加强了网络的健壮性,有效地解决了传统异构空间信息网络组网不灵活、网络资源匮乏、实时性需求响应速度慢等问题^[15]。

1.1 软件定义异构卫星网络架构

软件定义异构卫星网络(Software Define Heterogeneous Satellite Network, SDHSN)将地面向传统 SDN 架构移植到异构卫星网络中,对不同卫星进行模块化区域性划分,以适应多任务不同类型的业务。该架构下控制层由高轨卫星 GEO1、GEO2 和地面控制中心组成,主要功能是实现网络资源的统一调配、维护网络拓扑与完成协议转换。数据交换层由低轨卫星 LEO 交换机、ATM 交换机、地面站和地面网络交换节点构成,负责数据的存储-转发。

如图 1 所示,网络架构采用分布式集群控制,GEO1 可以管理并通过南向接口协议给 LEO1、LEO2 和 ATM 交换机下发流表,GEO2 给 LEO4、LEO5 和 ATM 交换机下发流表,地面网络中的交换机由地面控制中心统一管理。在该架构下主要使用 Openflow 的南向接口协议,该协议作为 SDN 架构的核心协议为实现网络的集中控制定义了标准,实现了流表下发、策略制定、链路发现、拓扑信息管理等关键性功能^[16]。相比于传统的空间信息网络骨干网与交换网,SDN 架构可以对通信请求进行集中统一处理,将数据面与控制面分离,减少骨干网的交换负担与交换网的计算负担。控制器在网络初始化时可以搜集全网拓扑并且在网络运行过程中对拓扑进行实时更新,当有传输请求时统一进行路由选择并下发流表,每个交换机根据流表信息进行存储-转发。SDN 架构有着可编程、组网灵活等优点,可将网络资源进行集中管控,通过全局网络状态对网络负载均衡、路由选择与抗毁重构产生了积极的影响,可以解决空间信息网络组网困难、资源匮乏等难题^[17]。

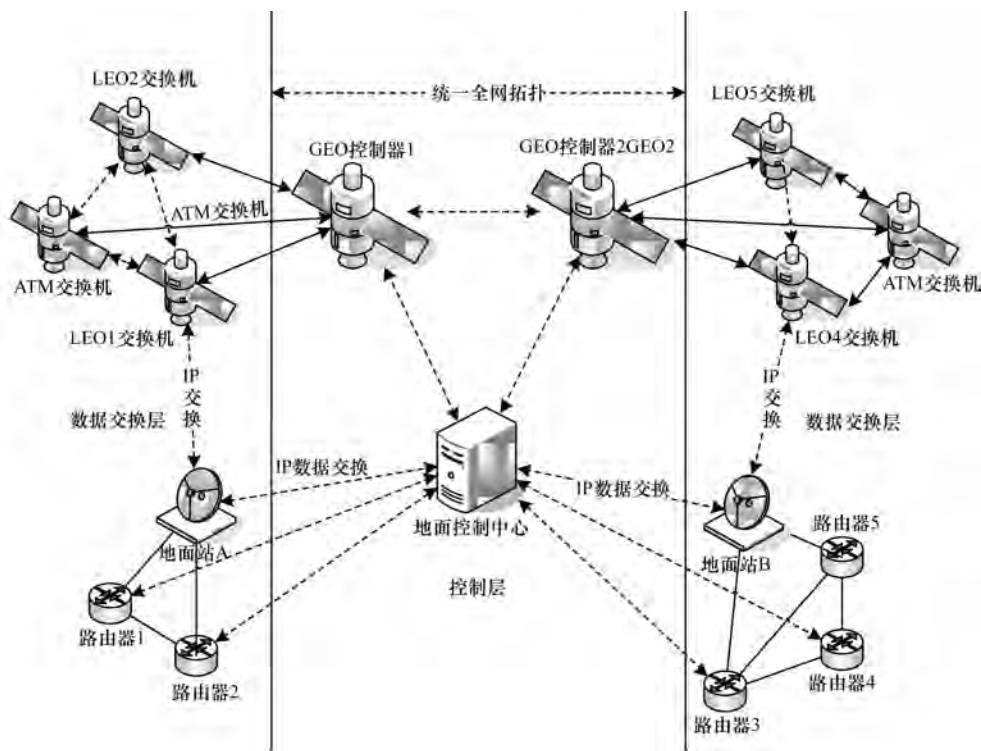


图 1 软件定义异构卫星网络架构

1.2 控制器模块和流表项设计

SDN 控制器作为整个网络的控制核心, 拥有多种功能, 比如: 路由策略制定, 网络拓扑管理, 向上层应用提供服务, 流表项下发等^[18]。

本文在 SDN 控制器原有功能上定义了包处理模块, 该模块对下一跳交换机无法识别的数据包进行操作, 若 IP 数据包要经过 ATM 交换机, 则将 IP 数据的 MAC 头与 IP 头拆除, 查找流表写入 ATM 信元信息, 封装数据包, 使下一跳交换机可以识别该数据包。该策略使得控制器有对 IP 数据和 ATM 数据包进行处理的功能, 对实现数据传输起到了关键性作用。改进的 SDN 控制器主要功能模块如图 2 所示。

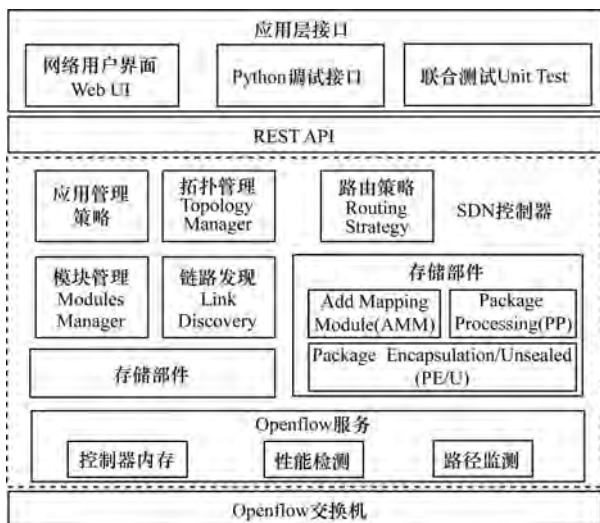


图 2 改进的 SDN 控制器模块

SDN 控制器数据包处理模块具有以下功能:

1) AMM 模块提供主机在网络中的位置信息, 实现 MAC 地址与 IP 地址或 VPI/VCI 的相互映射。

2) PP 模块获取 PE/U 模块将数据包解封后的信息, 获取流表中下一跳交换机类型:

(1) 若 IP 数据包下一跳是 ATM 交换机, 则在 AMM 模块中获取 IP 地址映射的 VPI/VCI 信息组成信头, 并将数据部分拆分成 48 Byte 的数据块送到 PE/U 模块与信头拼合生成 ATM 信元。

(2) 若 ATM 信元下一跳是 IP 交换机, 则在 AMM 模块中获取 VPI/VCI 映射的 IP 地址信息组成 IP 包头, 并将数据部分送到 PE/U 模块拼接生成 IP 数据包。

3) PE/U 提供数据包的封装/解封操作。

SDN 交换机进行存储转发的依据是控制器根据全网拓扑进行决策后下发的流表, 流表是网络设备存储转发功能的抽象, 包含了各个层的配置信息^[19]。当网络连接建立后, 控制器与 Openflow 交换机之间建立 TLS 安全通道, 控制器通过安全通道发送 Packet_Out 包至底层的 Openflow 交换机, 交换机将该包发送给相连的主机, 并发送 Packet_In 包返回至控制器, 用以统计全网拓扑信息, 统计完拓扑信息将下发流表至各交换机, 交换机存储路由表^[20]。包处理模块核心方法如图 3 所示。

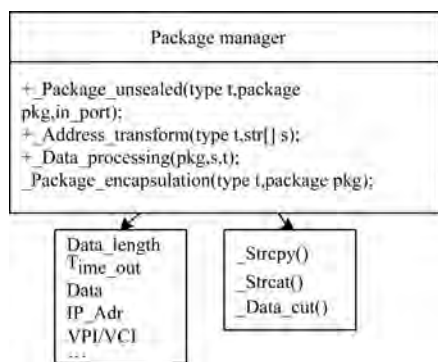


图3 包处理模块核心方法

原有流表无法记录 ATM 信元的相关信息,针对空间信息网络 ATM 和 IP 交换共存的特点,本文在原有 Openflow 流表的基础上进行改进,添加了 VPI/VCI 信息、包类型识别以及业务类型,在初始化过程中为 IP 地址建立 ATM 地址映射,使得 ATM 信头中的信息也可以查找路由表,不会因为无法识别而丢弃。流表项如图 4 所示。

入端口	源 MAC 地址	目的 MAC 地址	网络 类型	VLA NID	VLAN 优先级	源 IP 地址	目的 IP 地址
IP 协议	IP TOS 位	虚通 道标 识符	虚通 路标 识符	TCP/ UDP 源端口	TCP/ UDP 目 的端口	包识别	业务 类型

图4 改进的 Openflow 流表项

改进的 Openflow 流表加入了 VPI/VCI 信息,当数据包到达交换机时,无论是 ATM 信元还是 IP 数据包都可以查找到下一跳信息,并且交换机可以识别包的类型以及该数据包的业务类型为之后的路由算法或多业务识别进行提前预判。

支持 IP 协议的用户 H1 向支持 ATM 节点的用户 H3 发送文件时的数据传输过程如图 5 所示。

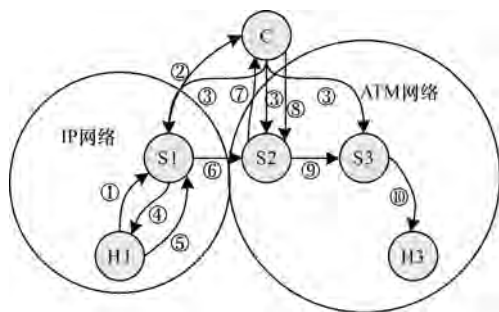


图5 节点间数据传输过程

在图 5 中, S1、S2、S3 代表 Openflow 卫星交换机, H1、H3 分别代表支持 IP 协议和 ATM 协议的用户, C 代表高轨卫星控制器。当用户 H1 向用户 H3

发送数据时,其数据传输过程如下:1) H1 向 S1 发送想要给 H3 发送数据的传输请求;2) S1 收到 H1 的请求后通过 Openflow 的南向接口协议将该请求发送给 C;3) 当 C 收到 H1 的传输请求后查询存储模块中的路由信息,计算路由路径, C 将该路径写入流表并下发到路径中涵盖的所有交换机 (S1、S2、S3);4) S1 收到流表后向 H1 发送数据交换请求被允许的信息;5) H1 收到传输允许指令后,将数据封装成 IP 数据包并发送给 S1;6) S1 收到数据包后将数据包存入 Cache,并按照流表中下一跳地址将数据包发送给 S2;7) ATM 交换节点 S2 收到数据包后无法识别 IP 数据包,按照 Openflow 南向接口协议将无法识别的数据包发送给控制器 C,通过 C 中的 PP 模块对数据包进行处理;8) 控制器 C 将重新生成的 ATM 信元发送给 S2;9) S2 收到 ATM 信元后查找流表中 VPI/VCI 信息,选择下一跳地址并将信元发送给 ATM 交换机 S3;10) ATM 交换机 S3 收到信元后解析信头,根据流表找到 H3 地址并将信元转发给 H3。

同理,当数据包从 ATM 网络发送到 IP 网络时也做上述操作,需取出 ATM 信元的数据部分,并查找路由表将 VPI/VCI 映射为 IP 地址,将包头信息和数据信息封装为 IP 包。

该策略使得 SDN 架构下的控制器节点可以处理不同类型的数据包,使得数据包对链路的适应性更强,可以提升交换节点的利用率,增强网络弹性与健壮性,解决异构卫星网络多协议共存的问题,减少网络拓扑的切换。

2 基于网络有效性的路由选择算法

由于空间信息网络具有拓扑时变、星间链路利用率低等特性,地面的一些路由算法^[21]如 Dijkstra 算法、普里姆算法等,在计算好最优路径后由于时间片的切换使得网络拓扑频繁改变,重新计算路由代价大,权值定义模糊无法准确表征空间信息网络,导致这些路由算法难以在该领域应用。在网络有效性中,吞吐量代表一个连接对数据量的承载能力,在选路过程中若不考虑单连接吞吐量的大小可能会造成拥塞或者资源浪费。所以,在 NERA 路由算法中结合空间网络的网络特性,加入异构网络对时延产生的影响 θ ,将单位时间片内平均吞吐量单独列出,取平均吞吐量最小值计算通信链路权值,并对 Dijkstra 算法进行改进,改进算法采用基于最小吞吐量代价的方式计算出的影响因子来计算最优路径。

在路由计算过程中,空间信息网络的拓扑变化具有周期性,在将 SDN 架构应用到空间信息网络

时, 控制器中的路由存储模块会记录每个时间片下的拓扑, 当源节点产生发送请求时, 控制器将会根据已存储的路由表建立一个面向连接的基于网络有效性的按需路由算法。NERA 路由算法流程如图 6 所示。

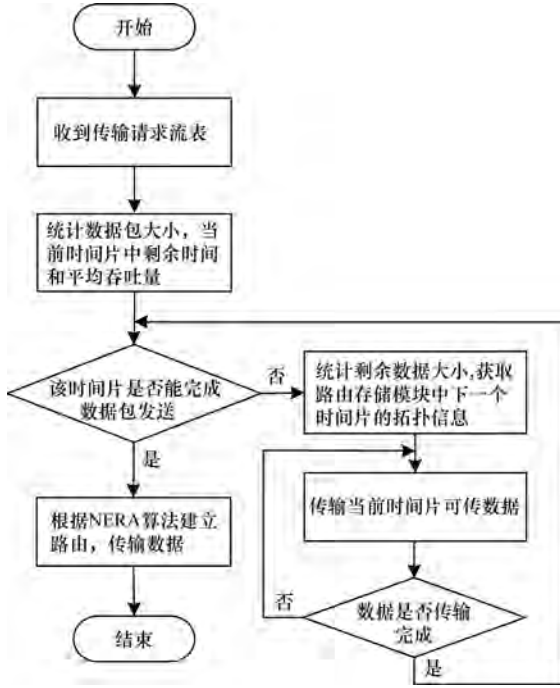


图 6 NERA 算法流程

在 SDN 架构中, 传统的地面网络由于不面向连接的 IP 协议, 因此并不考虑网络异构性, 导致在空间信息网络中一些骨干节点的 ATM 交换机无法识别 IP 报文, 而 Openflow 面向连接的流表代替了传统的 IP 报文, 并且本文提出的控制器改进方法在计算路由时可以屏蔽网络异构性, 实现空间信息网络系统互联互通。改进后的路由结构如图 7 所示。

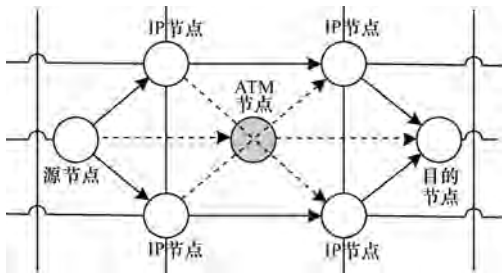


图 7 改进后的路由结构

改进前路由结构为 IP 节点与箭头所示, 无法有效利用闲置的 ATM 节点, 改进后两节点可以直接通过 ATM 交换节点进行数据交换, 该策略可以增强网络弹性与健壮性, 降低平均传输时延。

定义 1 将物理网络用一个图表模型表示, 即 $G = (V, E)$, 集合 $V = \{1, 2, \dots, N\}$ 代表各通信节点, E 代表各节点之间的通信链路, $D(i_u, i_n)$ 代表相邻可通节点 i_u 与 i_n 之间的时延, 时延上限为 D_{cont} , $Pe(i_u, i_n)$ 代表相邻可通节点 i_u 与 i_n 之间的误码率, $R(i_u, i_n)$ 代表相邻可通节点 i_u 与 i_n 之间的平均吞吐量。

规定卫星网络的周期为 T , 将 T 划分为若干个时间片, 每个时间片内的网络拓扑结构保持不变, 时间片内有 M 个时刻 (t_1, t_2, \dots, t_m) 。当计算相邻节点间在一个时间片内的时延时, 要求节点间的时延要根据不同时刻的平均值进行定义, 其中, $\theta(i_u, i_n)$ 与数据包大小成正比, 代表经过异构链路造成的时延影响因子, 由处理数据包的时延、控制器与交换机间数据传输时延之和组成。

NERA 路由算法步骤如下:

步骤 1 记节点 (i_u, i_n) 间在一个时间片内的平均时延为:

$$d(i_u, i_n) = \begin{cases} \frac{1}{M} \sum_{j=1}^m (d_{spread}^{ij}(i_u, i_n) + d_{wait}^{ij}(i_u, i_n) + \theta(i_p, i_n)), & HL = 1 \\ \frac{1}{M} \sum_{j=1}^m (d_{spread}^{ij}(i_u, i_n) + d_{wait}^{ij}(i_u, i_n)), & HL = 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中, HL 为网络异构标志, 当两节点间网络异构时, 记 $HL = 1$, 此时两节点间平均时延为每个时刻下传播时延 d_{spread}^{ij} 、等待时延 (发送时延、处理时延与排队时延之和) d_{wait}^{ij} 与异构网络时延影响因子 $\theta(i_u, i_n)$ 之和取 M 个时刻的平均值, 当 $HL = 0$ 时代表网络不异构, 则不考虑异构网络影响因子。

步骤 2 记节点 (i_u, i_n) 间在一个时间片内的平均误码率为:

$$Pe(i_u, i_n) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^m Ne_{ij}(i_u, i_n) / N_{ij}(i_u, i_n) \quad (2)$$

其中, N 代表两节点间发送的码的数量, Ne 代表误码数量, 误码率的优劣与两节点 u, n 间物理信道受干扰程度有关。

步骤 3 记节点 (i_u, i_n) 间在一个时间片内的平均吞吐量为:

$$r(i_u, i_n) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^m r_{ij}(i_u, i_n) \quad (3)$$

其中, 吞吐量 r 为两节点间在单位时间内的实际数据传输速率, $r_{ij}(i_u, i_n)$ 代表在时刻 m 时 u, n 间的实际传输速率。

步骤 4 通过式 (4) 对数据进行归一化处理:

$$X^* = (x - \min x) / (\max x - \min x) \quad (4)$$

得到:

$$-d^*(i_u, i_n) = \frac{d(i_u, i_n) - \min d(i_u, i_n)}{\max d(i_u, i_n) - \min d(i_u, i_n)} \quad (5)$$

$$-Pe^*(i_u, i_n)^{-1} = \frac{Pe(i_u, i_n) - \min Pe(i_u, i_n)}{\max Pe(i_u, i_n) - \min Pe(i_u, i_n)} \quad (6)$$

$$r^*(i_u, i_n) = \frac{r(i_u, i_n) - \min r(i_u, i_n)}{\max r(i_u, i_n) - \min r(i_u, i_n)} \quad (7)$$

步骤 5 记节点 u, n 间存在一条只经过一条的连接, 该连接的具有属性为:

$$\begin{cases} \mu_1(D, Pe) = (-D^*(i_u, i_n), -Pe^*(i_u, i_n) - 1) \\ \mu_2(R) = R^*(i_u, i_n) \end{cases} \quad (8)$$

步骤 6 在计算链路影响因子时链路经过多跳, 每条链路包含多个连接, 影响因子为 $W = -(\omega_1 + \omega_2)$, 其中, p, q 表示链路经过的节点, α, β, γ 分别表示时延、误码率、平均吞吐量所占的权重, ω_1, ω_2 计算公式如式(6)所示。

$$\begin{cases} \omega_1 = \sum_{p=u}^{q=n} (-\alpha D^*(i_p, i_q) - \beta Pe^*(i_p, i_q)^{-1}) \\ \omega_2 = \gamma \min(R^*(i_p, i_q)), p, q \in (u \cdots n) \end{cases} \quad (9)$$

其中, ω_2 为链路中吞吐量最小的一个连接的值, α, β, γ 是以时延之和、误码率之和与最小吞吐量和连接跳数之积通过熵权法计算求得, 当链路影响因子 W 越大时, 该链路被路由算法选中的概率越高。

3 仿真结果与分析

文献[22]将 SDSN 架构应用到传统的网络模型中, 通过仿真验证从时延、吞吐量 2 个方面分析该架构的性能。本节对文中所提出的架构及配置策略的性能进行仿真验证, 采用 STK 搭建空间信息网络模型, 包括 GEO/LEO/FAC。

3.1 仿真参数

仿真对象的运行轨道参数如表 1 所示, 其中, GEO 为 3 颗高轨卫星, LEO 是减少轨道卫星后的改进 Walker 星座, 可实现区域覆盖, Detect 为探测卫星, 通过卫星网络向地面站(北京、喀什)发送数据, ATM 为一个异步传输交换节点。在该架构下存在额外一颗高轨卫星被命名为主星作为控制器, 数据交换路径通过主星下发流表进行统一调配。

表 1 运行轨道仿真参数

参数	GEO	LEO	Detect	ATM
轨道高度/km	42 164	1 560	1 560	9 164
轨道平面数	1	1	1	1
轨道内卫星数	3	3	1	1
轨道倾角/(°)	0	56	0	0
升交点赤经/(°)	0 ~ 240	0 ~ 270	120	120

在仿真中, 定义节点间链路平均时延权值为 α , 误码率为 β , 链路平均吞吐量权值为 γ , 根据特征向量法求得的权向量为 $W = (0.54, 0.2, 0.26)^T$ 。

3.2 结果分析

仿真结果分析如下:

1) 单链路时延分析

表 2 所示仿真时间为 380 min, 选择网络拓扑中的一条 IP 链路 A 由卫星 S1 向地面站发送数据包, 在可视范围内进行通信。当遇到地球遮挡或通信距离过远时 A 链路中断, 若此时存在 ATM 链路 B, 则通信链路切换至 B。单链路时延如图 8 所示。

表 2 IP 链路存在时间

开始时间	停止时间	持续时间/s
2018-09-18 04:17:44.332	2018-09-18 04:40:59.995	1 395.663
2018-09-18 06:22:24.128	2018-09-18 06:42:50.349	1 226.221
2018-09-18 08:25:31.918	2018-09-18 08:40:08.990	877.073
2018-09-18 10:29:25.408	2018-09-18 10:37:27.632	482.224

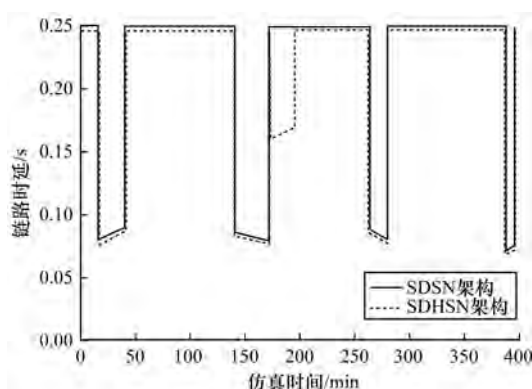


图 8 单链路时延

图 8 中虚线表示的是采用本文数据传输策略后的链路时延, 在图 8 中认为 $delay \geq 0.24$ s 时链路失效, 可以明显地看出在第 172 min 时由于信道被干扰导致链路失效, 但采用了该策略后的软件定义空间信息网络在 174 min ~ 197 min 可以令 ATM 节点承载 IP 交换的功能, 虽然在单位时间内时延相较于 IP 交换增大, 但是在 IP 交换机无法工作时该策略可以使网络连通得到更好的保障, 增强了网络弹性, 降低时延。

2) 时延

如图 9 所示, 仿真时间约为 250 min, 链路切换约 5 min 发生一次, 每次路由路径相对随机, 计算 SDSN 架构的时延与改进路由算法后的 SDHSN 架构时延进行对比, 计算链路时延时在数据包中加入时间项, 每次数据处理时将时间进行累加, 在经过 ATM 节点时在原有时延基础上加入影响因子, 最终得到链路时延。

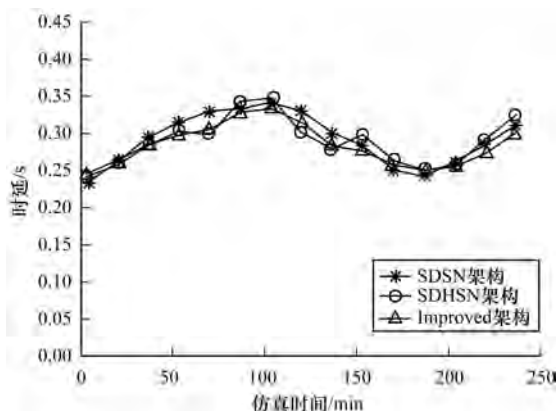


图9 平均网络拓扑时延

在星间链路由于拓扑时变原因导致通信能力下降时,连通时延整体增加,但偶尔会有波谷出现,该波谷的出现表示链路切换进入异步传输模式,通过ATM交换机进行数据交换,该策略可以降低平均时延,但会增大处理时延,增加了拥塞的可能。相较于普通空间信息网络模型,改进后路由算法架构增大了高效链路被选中的概率,但增大路由开销会导致发送时延和处理时延增大,在单位时间片内网络平均时延降低了约3.75%。

3) 吞吐量

在相同的路由算法及卫星环境下,比较本文的空间信息网络架构和普通卫星网络架构下在350 min内端到端的平均吞吐量。仿真结果如图10所示。

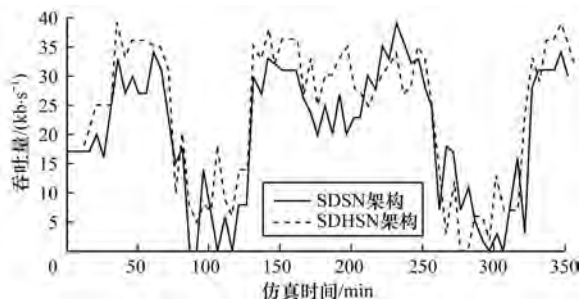


图10 吞吐量仿真结果

从图10可以看出,本文改进路由算法后的SDHSN架构吞吐量普遍高于普通卫星网络架构下的吞吐量,且能够适应网络拓扑的动态变化,该路由算法以吞吐量最小的链路作为标准,以特征向量法将时延、吞吐量和误码率进行加权分析。计算有效性最高的链路,减少由于卫星节点数量不足导致的地球对卫星信号产生遮挡,使得吞吐量下降,该算法在本软件定义卫星网络下使得星间链路的有效性相对提升,经过仿真验证,相较于普通卫星网络架构,吞吐量约提升7.22%~11.49%。

4 结束语

随着信息技术的发展,对通信实时性和网络带

宽的要求越来越高。本文基于SDN的空间信息网络统一调配资源,提升链路利用率,增强网络灵活性与可靠性,并针对异构网络多变的拓扑结构,通过对计算链路最小吞吐量、链路通信能力、异构网络影响因子综合加权分析,提出一种基于网络有效性的路由算法。仿真结果表明,该路由算法可以适应星间复杂网络环境,降低平均传输时延,增强网络抗毁性,平衡网络负载,提高星间通信服务质量。下一步将研究网络拓扑频繁切换导致的网络路由重新计算问题,以提升空间信息网络多业务类型QoS,稳定拓扑环境。

参考文献

- [1] ZHANG Linlin, WANG Xingwei, HUANG Min, et al. A routing scheme for software-defined satellite network[C]//Proceedings of ISPA/IUCC'17. Guangzhou, China: [s. n.], 2017:24-31.
- [2] XU Shuang, WANG Xingwei, WANG Bangyi, et al. Software-defined next-generation satellite networks: architecture, challenges, and solutions[J]. IEEE Access, 2018(6):4027-4041.
- [3] MCKEOWN N, ANDERSON T, BALAKRISHNAN H, et al. Open-flow: enabling innovation in campus networks[J]. Seattle ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2008,38(2):69-74.
- [4] BANERJEE A, ESPOSITO F. A survey of scheduling policies in software defined networks[C]//Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems. Bhubaneswar, India: [s. n.], 2017:1-6.
- [5] REGO A, GARCIR L, SENDRA S, et al. Software defined networks for traffic management in emergency situations[C]//Proceedings of the 5th International Conference on Software Defined Systems. Barcelona, Spain: [s. n.], 2018:45-51.
- [6] 任容玮. 基于SDN的空天网络控制器的设计与实现[D]. 北京:北京邮电大学, 2015.
- [7] 潘成胜. 空间信息网络的若干关键技术[J]. 中国计算机学会通讯, 2013,9(4):46-51.
- [8] 左青云, 陈鸣, 赵广松, 等. 基于OpenFlow的SDN技术研究[J]. 软件学报, 2013,24(5):1078-1097.
- [9] 张芳, 邓畅霖, 王之, 等. 软件定义卫星网络的链路故障检测和恢复方案[J]. 计算机科学, 2017,44(6):63-67,101.
- [10] 张思耀. 软件定义空间信息网络半物理仿真平台的构建与应用研究[D]. 武汉:武汉大学, 2017.
- [11] SATO G, UCHIDA N, SHIBATA Y. Performance evaluation of software defined and cognitive wireless network based disaster resilient system[C]//Proceedings of the 29th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2015:741-746.

(下转第85页)

(上接第 77 页)

- [12] 傅晗文. 基于 SDN 的资源定价算法及可靠性传输策略研究[D]. 杭州:浙江工商大学,2018.
- [13] 王瑜. 基于时空特性的机会网络路由算法研究[D]. 南昌:南昌航空大学,2018.
- [14] 陈书阳,冯海林. 多路径网络编码的传输可靠性提高策略[J]. 四川大学学报(自然科学版),2018,55(4): 712-718.
- [15] 张朝昆,崔勇,唐郢郢,等. 软件定义网络研究进展[J]. 软件学报,2015,26(1):62-81.
- [16] 杨诗琦. 软件定义卫星网络架构设计研究[D]. 成都:电子科技大学,2016.
- [17] 于笑,雷为民,宋莉. 一种基于 SDN 技术的星载交换系统上组网架构[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版),2017,18(3):224-230.
- [18] 邱恺. 混合 IP/SDN 网络关键技术研究[D]. 成都:电子科技大学,2015.
- [19] LI Taixin, ZHOU Huachun, LUO Hongbin, et al. Timeout strategy-based mobility management for software defined satellite networks[C]//Proceedings of IEEE Conference on Computer Communications Workshops. Washington D. C., USA: IEEE Press,2017: 319-324.
- [20] WANG Chunfeng, YU Xiaosong. Application of virtualization and software defined networking in satellite network [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Cyber-enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery. Washington D. C., USA: IEEE Press,2016:489-493.
- [21] ZHANG Chaokun, DONG Dong, WANG Huiying. Fuzzy multi-objective group decision algorithm in electronic information system[C]//Proceedings of 2011 International Conference on System Science, Engineering Design and Manufacturing Information. Guiyang, China: [s. n.],2011:131-133.
- [22] TANG Zhu, ZHAO Baokang, YU Wanrong. Software defined satellite networks;benefits and challenges[C]//Proceedings of Computers, Communications and IT Applications Conference. Beijing, China:[s. n.],2014: 127-132.