

一种星地一体的高速星载标签交换机流量控制机制的设计与仿真

于 倩¹, 乔庐峰², 陈庆华²

(1. 解放军理工大学通信工程学院研一队, 江苏南京 210007; 2. 解放军理工大学通信工程学院, 江苏南京 210007)

摘 要: 为了优化大容量星载交换机的设计, 提出了一种星载标签交换技术体制, 针对该体制建立了星地一体化卫星网络的队列模型和流量控制机制, 根据星载交换机存储资源使用状态调整地面网络设备队列调度权重, 降低星载交换机存储资源使用量和丢包率. 使用 NS2 软件仿真分析了长延迟条件下星上缓存队列阈值、星上缓存区容量、地面设备队列调度权重之间的关系. 为星载标签交换机和星地一体化网络的设计提供了参考依据.

关键词: 星载交换机; 流量控制; 基于类的队列调度; 网络仿真

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2017)07-1653-07

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2017.07.015

Design and Simulation of a Flow Control Mechanism for High-Speed Satellite on Board Label Switches

YU Qian¹, QIAO Lu-feng², CHEN Qing-hua²

(1. Postgraduate Team 1 ICE, PLAUST, Nanjing, Jiangsu 210007, China;

2. Institute of Communication Engineering, PLAUST, Nanjing, Jiangsu 210007, China)

Abstract: To optimize the design of high capacity satellite on board label switches, a new flow control mechanism and a new satellite on board switch structure are proposed. According to the buffer utilization of different input ports of on board switch, the terrestrial network gates can adjust the scheduling weights of output for different down ports of satellite on board switch to avoid buffer overflow. The relationship of buffer depth, adjustment threshold of on board switch and the scheduling weights in terrestrial gates are simulated with NS2 under the condition of long propagation delay, which will be helpful to the design of high-throughput on board label switches and the design of terrestrial network.

Key words: satellite on board label switch; flow control; class-based queueing (CBQ); network simulator2 (NS2)

1 引言

随着卫星通信技术的不断发展, 卫星通信系统的技术体制逐渐由“弯管”转发向具有星上处理转发能力的交换技术过渡^[1]. 近年来, 星上交换技术经历了从 ATM 交换到 IP 交换^[2]的发展过程, 而采用硬件查找与转发技术的星载 IP 交换协议复杂度高^[3], 硬件资源消耗大, 制约了其应用和发展. 对于星载交换机, 其工作的环境温度变化剧烈, 元器件会受到空间辐照的影响, 使得器件的选择受到很大的限制, 很多地面网中常用的高性能器件都无法直接使用. 因此, 星载交换机的硬件规模和复杂度需要进行严格控制, 这需要从技术体制、

关键电路算法设计等方面加以全面优化考虑.

本文针对大容量卫星网络提出了一种新的标签交换技术体制, 它的标签中包含了由地面网关确定的、供星载交换机直接使用的转发位图信息, 从而可以省略星上查表电路. 此时, 由于星载交换机不再需要进行复杂的路由协议处理, 只实现高速转发功能, 因此可以有效降低星载交换机的协议处理负荷^[4].

大容量星载交换机面临的另一个重要问题是与网络性能密切相关的流量控制问题. 由于网络流量的突发特性, 流量常会超过实际的可用带宽, 在缓存空间有限的情况下, 就必须对一些数据包进行丢弃, 从而导致网络性能恶化. 因此必须采取流量控制机制对网络流

量进行调节. 针对地面网流量控制机制, 文献[5]在 RTP/RTCP 协议的基础上提出了一种对发送速度进行调整的自适应流量控制算法; 文献[6]引入 TCP 流量与非 TCP 流量的区分丢包互斥机制, 提出了一种基于 RED 的改进 AQM 算法 SF-RED, 在拥塞发生时按不同的方案处理 TCP 和 UDP 报文, 来达到总体更加公平的目的; 文献[7]提出了一种闭环流量控制协议的性能评价方法, 比较了协议栈排队时延对 TCP 的基本机制的影响, 通过一个传递函数为端到端的连接提供了任意的流量统计服务保证; 文献[8]基于混合 PON、xDSL 接入网络, 在介质访问控制客户端设备 PON 和 ONU 之间的 DSL 段引入两级门控的流量控制协议, 减少缓冲区占用率, 但其实现过程较复杂.

针对链路延迟较大的卫星通信网络, 通过分析比较地面网络流量控制机制, 本文将高速星载标签交换机和地面网关进行了统一分析, 建立了星地一体的星载标签交换机队列结构和流量控制机制.

2 专用星载标签交换技术体制

2.1 星载标签交换机链路帧结构

图 1 给出了本文提出的卫星链路帧结构.

帧同步头	长度	类型	优先级	转发标签	净荷	校验
------	----	----	-----	------	----	----

图1 卫星链路帧结构

图 1 中各字段含义和功能如下:

帧同步头: 用作帧起始标志, 供交换机识别链路帧起始位置;

长度: 卫星链路帧的总长度, 以字节为单位;

类型: 卫星链路帧的类型, 供星上和地面转发处理使用;

优先级: 卫星链路帧的调度优先级, 高优先级的链路帧可以分配到更多的存储资源和调度权重;

转发标签: 转发标签中可以包括多项与转发操作相关的内容, 其中最为重要的是下行端口映射位图. 端口映射位图的比特数与卫星下行端口数相同, 某个比特为 1 表示该帧需要从对应的下行端口输出. 如果多个比特为 1, 则该分组为组播帧或广播帧.

净荷: 卫星链路帧承载的净荷数据, 星上不对其进行处理;

校验: 卫星链路帧的效验字段, 用于确保链路帧传输的正确性.

2.2 星地一体的卫星网络模型与队列模型

业务透明的标签交换技术体制与地面网使用的协议类型无关(网络结构如图 2 所示), 能够实现透明转发, 使卫星通信网络能够兼容各种类型的地面网络, 并且简化了星上路由查表过程, 降低了星载交换机设计

复杂度.

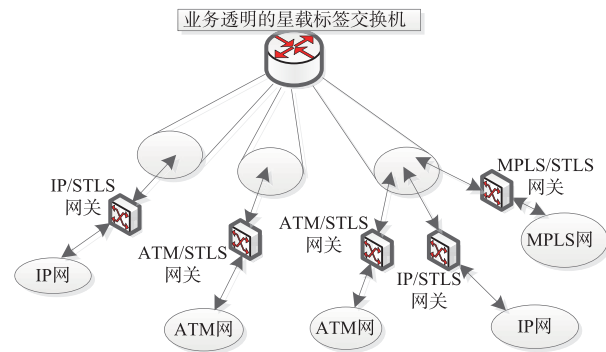


图2 业务透明的卫星标签交换网络结构

采用本文提出的星载标签交换机制时, 星载标签交换机队列模型如图 3 所示. 卫星地面网关设备接收用户发出的数据包, 根据数据包的目的地址所对应的卫星输出端口号转换成转发标签中的端口映射位图, 生成标签. 每个地面设备将去往不同卫星下行端口的链路帧根据输出端口号和优先级组成多个逻辑队列. 输出端口号相同的队列中, 优先级高的链路帧优先调度, 输出端口号不同的队列根据一定算法加以调度. 当卫星链路帧到达星载交换机后, 根据其端口映射位图和优先级, 该帧可以进入一个或多个输入队列管理器进行排队缓存. 每个队列管理器中都存在一个队列调度器, 它根据一定的算法和优先级决定哪些链路帧进入交换结构进行转发. 交换结构负责将链路帧转发至相应的卫星输出端口.

卫星网络管理平台为同一个波束下的不同地面设备按照一定的算法分配了不同的带宽资源. 本文根据卫星通信网络的数据流量大、业务种类多的特点, 选择 CBQ 调度算法为不同地面设备分配带宽, 当上行链路带宽有剩余时, 空闲的带宽可以被优先级高的地面设备所占用.

如果去往某个输出端口的业务量较大, 在缓冲资源不足时可能发生丢包的情况. 此时应考虑采取星地一体的流量控制机制, 通过星地广播流控帧, 通知地面设备减少流入的业务量, 特别是去往某个端口的业务量, 减少星上分组丢弃.

3 星地一体的流量控制机制

3.1 星地一体的流量控制机制

星载交换机上可用的存储资源有限, 因此当网络流量分布不均或发生波动时很容易造成队列拥塞并导致数据帧丢失, 此时, 星地一体的流量控制机制可以有效的改进网络性能. 基于图 3 所示的队列模型, 本文提出了星地一体的高速星载标签交换机流量控制机制, 采用这种机制时, 需要在星载交换机中增加队列和存

储资源使用状态监视电路,星载交换机可以将星上缓存队列状态信息向地面网关设备进行广播,地面设备

收到广播信息并根据队列调度算法调整相应队列的带宽分配,减少其带宽资源的分配,缓解拥塞状况。

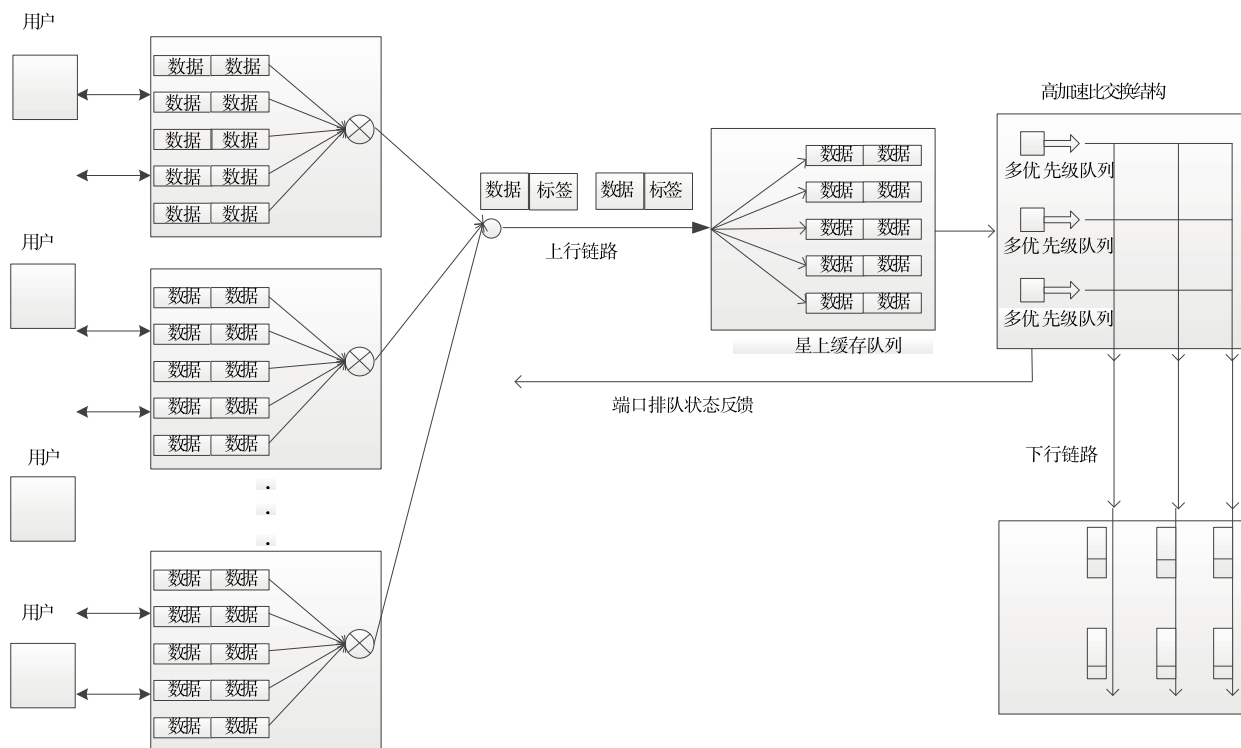


图3 星地一体的高速星载标签交换机队列模型和流量控制机制

星载交换机设置星上缓存队列最大阈值 L_{\max} 、最小阈值 L_{\min} ,当星上缓存队列长度超出最大阈值 L_{\max} 或最小阈值 L_{\min} 范围时,广播其队列状态信息,供地面网关控制相应流量的发送. 流量控制机制具体工作过程如图 4 所示,当星上缓存队列长度达到 L_{\max} 时,星载交换机向地面网关设备广播该队列状态信息,地面设备减少内部相应队列的资源分配,降低发往该下行端口的数据流量,减少丢包,避免拥塞. 此时星上缓存区使用量会降低,并且该星上缓存队列中的链路帧逐渐调度至交换矩阵,使得该队列中的链路帧逐渐减少,导致对应队列缩短,当该队列长度降低到 L_{\min} 时,星载交换机将此信息再次向地面网关设备进行广播,地面设备根据信息,增加相应队列的带宽分配,使得该缓存队列中的链路帧逐渐增加,提高了星上资源利用率。

这种星地一体队的流量控制机制的核心是每个地面网关设备中都要针对星载交换机下行端口建立虚拟输出队列,这是实现流量控制的基础. 此外地面设备队列调度算法、星载交换机流控门限设置、星地链路延迟等,都对整个网络的性能有着直接的影响,需要研究这些重要参数之间的关系,为网络设计提供参考。

3.2 地面设备队列调度算法

采用这种星地一体的流量控制机制时,地面网关可以采用不同的上行业务调度算法,如 RR、WRR 和

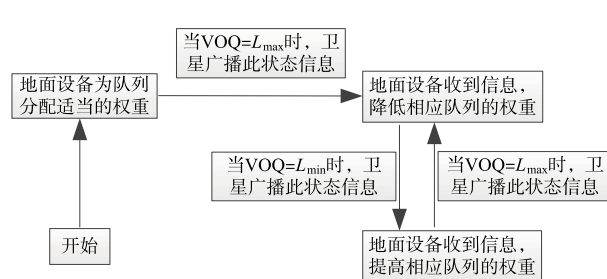


图4 流量控制机制的工作过程

CBQ 等,通过对比仿真分析可以发现,适当修改调度参数,从整体上都可以实现动态流量控制和改进网络性能的目标,可以根据网络的具体应用特点加以选择. 下面以 CBQ 算法为例加以分析。

CBQ 算法 (Class-Based Queuing)^[9] 能够在不同类别之间提供不同的服务保障,又能提供灵活的链路带宽共享. 每个类都能够一定的时间内,得到基本的链路带宽保证. 如果有类别有剩余带宽,那么剩余的带宽可以被其他分类占用. 当拥塞发生时,分类占用的带宽不能满足实际流量需求则采取队尾丢弃算法 (tail-drop)、随机早期检测算法 (RED: Random Early Detection)^[10] 等对多出的流量进行丢弃. CBQ 调度算法分类灵活、能够实现链路共享,能够适应流量的突发、满足用户的需求。

4 系统仿真分析

为了对星地一体的流量控制和队列调度机制进行验证,本文使用 NS2 (Network Simulator2)^[11] 软件针对典型星地一体的队列模型和流量控制机制进行了仿真分析.

4.1 网络仿真参数

在 NS2 中构建网络仿真环境时,选择了如下仿真参数:仿真时间 $t = 10\text{s}$;卫星端口数 $N_{\text{min}} = 16$;单一卫星端口下地面设备数 $N_R = 8$;上行链路带宽 $W = 311\text{Mbps}$;上行链路时延 $t_u = 135\text{ms}$;下行链路时延 $t_d = 135\text{ms}$;包长度 $L_{\text{data}} = 1000\text{byte}$;上行端口 0 中去往下行端口 1 的流量 $V_1 = 2.74\text{Mbps/s}$;上行端口 0 中去往下行端口 2 的流量 $V_2 = 2.59\text{Mbps/s}$;单一波束下的地面设备为去往下行不同星载交换机下行端口队列分配的初始权值 W_0 至 W_{15} 均为 1,且基本带宽均为 6%;源节点发送数据包的起始时间 t_0 设为随机数, t_0 服从均匀分布 UD (Uniform Distribution), 均匀分布的参数为最小值 $t_{\text{min}} = 0.0\text{s}$,最大值 $t_{\text{max}} = 1.0\text{s}$.

本文设置四个应用场景,在场景一中,设置星上缓存队列长度 L_{queue} 为 200 (packet);星上缓存队列阈值 L_{max} 和 L_{min} 分别为 170 (packet)、100 (packet). 场景二在场景一的基础上改变了星上缓存队列阈值: L_{max} 和 L_{min} 分别为 150 (packet)、50 (packet). 场景三设置星上缓存队列阈值 L_{max} 和 L_{min} 分别为 170 (packet)、130 (packet). 场景四在场景一的基础上改变了星上缓存队列长度: L_{queue} 设置为 150 (packet),星上缓存队列阈值 L_{max} 和 L_{min} 分别为 120 (packet)、80 (packet).

4.2 仿真结果及分析

在仿真过程中,随着地面设备向上行链路发送数据链路帧,星上输入端口 0 中虚拟输出队列 VOQ1 长度逐渐增大、存储资源耗尽,从而导致丢包.

反馈前,星上输入端口 0 中 VOQ1 和 VOQ2 实时队列长度变化情况如图 5 所示.

采取本文提出的流量控制机制之后,当 $\text{VOQ1} = L_{\text{max}}$ 时,星载交换机将 VOQ1 的队列状态向下广播,经过 135ms 后,所有地面设备接收到卫星广播的反馈信息,降低设备内部发往星上输出端口 1 的队列所分配的基本带宽,防止星上发生拥塞. 当星上资源有富余,VOQ1 队列长度较低时 ($\text{VOQ1} = L_{\text{min}}$),星载交换机将 VOQ1 的队列状态向下广播,经过 135ms 后,所有地面设备接收到卫星广播的反馈信息,提高设备内部发往星上输出端口 1 的队列所分配的基本带宽,增加业务流量的发送. 反馈后,场景一、场景二和场景三中星上输入端口 0 中 VOQ1 的实时队列长度变化情况如图 6 所示.

场景一在 3.6s ~ 4s 期间,地面设备收到卫星广播

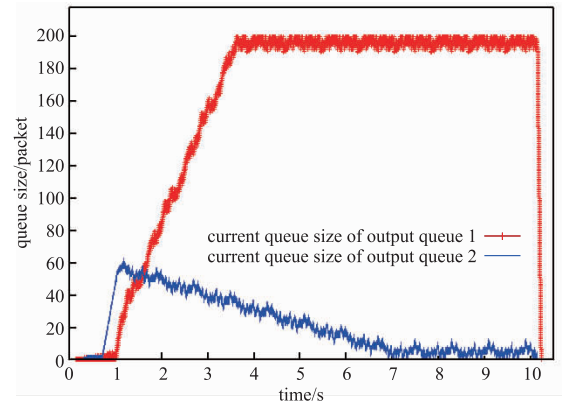


图5 反馈前星上输入端口0中VOQ1和VOQ2实时队列长度

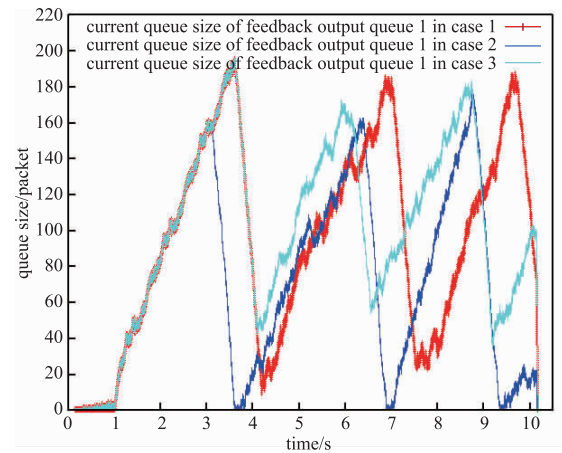


图6 三个场景中星上输入端口0中VOQ1实时队列长度

信息,减少设备内队列 1 分配的资源,星上 VOQ1 的链路帧数量明显降低;在 4.1s ~ 6.8s 期间,地面设备提高队列 1 的带宽资源分配,星上 VOQ1 的实时队列长度显著增加. 与场景一 VOQ1 实时队列相比较,场景二最大阈值 L_{max} 偏小,反馈后星上 VOQ1 队列长度最大值为 178,队列长度整体较低,并且 VOQ1 长度增加、减少的时间间隔较小;场景二设置最小阈值 L_{min} 偏小,星上实时缓存队列长度在 3.5s ~ 4.2s、6.7s ~ 7.2s、9.2s ~ 10s 内都保持极低的状态,资源利用率较低. 场景三反馈后星上 VOQ1 队列长度变化范围较小,星上资源利用率较高,但是星载交换机需要不断的向地面设备广播缓存队列状态信息,地面设备需要频繁的改变其内部队列的资源分配,增加了不必要的开销.

作为对比,反馈后场景一、场景二和场景三中星上输入端口 0 中 VOQ2 的实时队列长度变化情况如图 7 所示.

在三个场景中,反馈后地面设备内队列 1 被分配的带宽资源降低,导致链路剩余带宽增加,队列 2 得到的实际带宽资源有所增加,因此与应用流量控制机制前相比,星上缓存队列长度都在不同程度上有所增加.

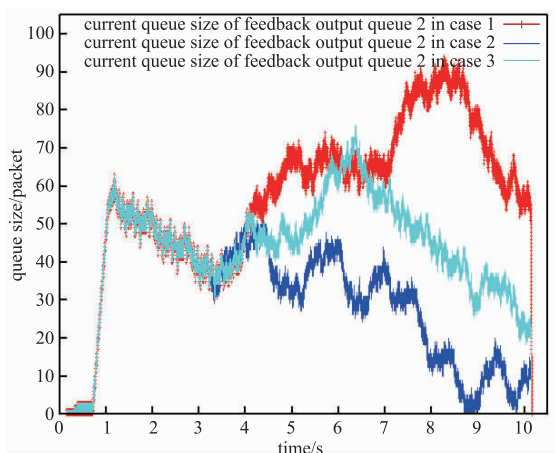


图7 三个场景中星上输入端口0中VOQ2实时队列长度

在三个场景中,使用流量控制机制前与反馈后上行链路发送至星上输出端口1、星上输出端口2的总包数及上行链路总吞吐量对比如表1所示。(其中吞吐量计算公式为:Throughput (bps) = 包数 * 包长 * 8/仿真时间)

在仿真过程中,经反馈后地面设备内队列1分配到的带宽资源总量有所降低,因此上行链路发送至星上输出端口1的总包数明显降低,场景二上行链路发往VOQ1的吞吐量大幅减小,星上资源利用率较低;反馈后上行链路发往VOQ2的吞吐量有所增加;反馈后上行链路总吞吐量有所增加,验证了本文提出的流量控制机制能够有效的提高星上资源利用率,提高系统的整体性能,其中场景一中反馈后上行链路总吞吐量大幅增加,而场景三中最小阈值 L_{\min} 偏大,场景二中最大阈值 L_{\max} 偏小、最小阈值 L_{\min} 偏小,导致上行链路总吞吐量增加效果不明显。

表1 反馈前后吞吐量对比

	上行链路发往 VOQ1 吞吐量 (bps)	上行链路发往 VOQ2 吞吐量 (bps)	上行链路总 吞吐量 (bps)
反馈前	18635485.89	19037406.49	292454112.46
场景一 反馈后	18631684.83	19059757.98	293084146.33
场景二 反馈后	18550248.06	19048865.83	292516592.03
场景三 反馈后	18632379.08	19059309.70	292592403.49

使用流量控制机制前星上VOQ1丢包数为449(packet),星上VOQ2丢包数为0;在三个场景中,反馈后星上输入端口0中VOQ1和VOQ2的丢包数均为0.经过反馈后,地面设备内部队列1分配到的带宽资源总量降低,星上输出端口1的丢包数明显降低。

场景四在场景一的基础上改变了星上缓存队列长度,设置星上缓存队列长度为150(packet),在减少星上

缓存空间的情况下,分析了星地一体的流量控制机制的效果。

场景四反馈前后,星上输入端口0中VOQ1的实时队列长度变化情况如图8。

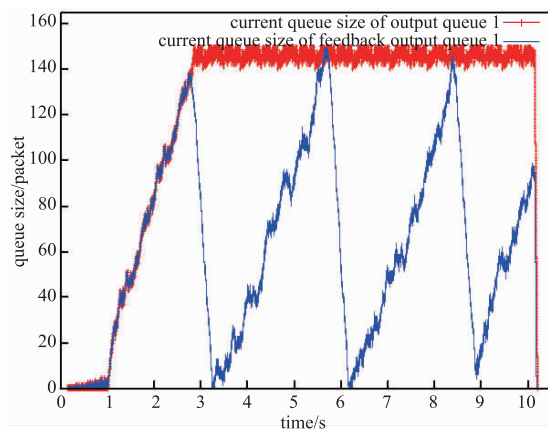


图8 场景四反馈前后星上输入端口0中VOQ1实时队列长度

与场景一相比较,在场景四中减少了星上缓存空间,反馈后星上VOQ1长度增加、减少的时间间隔较小,当去往星上输出端口的业务流量较大时,星载交换机需要不断的向地面设备广播缓存队列状态信息,地面设备需要频繁的改变其内部队列的资源分配才能避免缓冲区在长时间内保持近似满的状态,防止数据包发生大量丢失的情况。

作为对比,由于输入端口0中去往下行端口2的业务量较小,反馈前后,星上输入端口0中VOQ2的实时队列长度变化情况如图9。

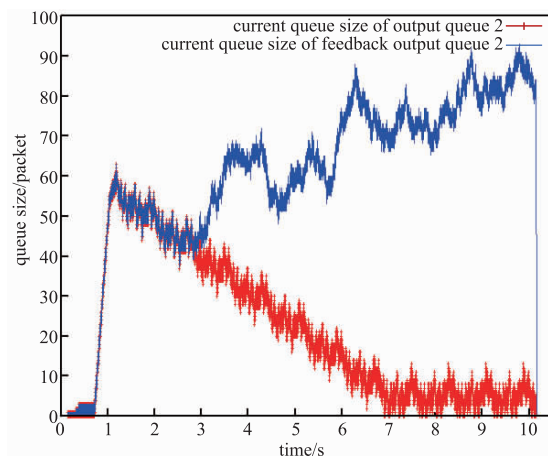


图9 场景四反馈前后星上输入端口0中VOQ2实时队列长度

当地面设备降低设备内队列1的权值分配,导致链路剩余带宽增加,队列2得到的实际带宽资源有所增加,因此反馈后星上VOQ2实时队列长度有所增加。

场景四中,反馈前后上行链路发送至星上输出端口1、星上输出端口2的总包数及上行链路总吞吐量对

比如表 2 所示.

表 2 场景四反馈前后吞吐量对比

	上行链路发往 VOQ1 吞吐量 (bps)	上行链路发往 VOQ2 吞吐量 (bps)	上行链路总 吞吐量 (bps)
反馈前	18633918.67	19037406.49	292701855.26
场景四 反馈后	18617490.80	19060177.64	292930043.55

与场景一相比,场景四中反馈前后上行链路发往 VOQ1 的吞吐量和反馈后上行链路总吞吐量都略有降低.

场景四使用流量控制机制前星上 VOQ1 丢包数为 499(packet),星上 VOQ2 丢包数为 0;反馈后星上 VOQ1 丢包数为 5,星上 VOQ2 的丢包数为 0.场景四中星上缓存空间有限,经过反馈后,虽然星上 VOQ1 的丢包数大幅降低,但是星上缓存队列链路帧溢出,丢包无法避免,说明了本文提出的星地一体的流量控制机制能够有效地减少丢包、缓解星上队列拥塞情况,但是当星上缓存空间较小时,仍可能出现少量丢包情况.

通过四个场景对流量控制机制进行仿真分析,说明星上缓存队列最大阈值 L_{\max} 和最小阈值 L_{\min} 的设置对星地一体的流量控制机制的性能有很大的影响,最大阈值 L_{\max} 过大时,星上缓存队列会溢出,从而产生大量丢包,影响流量控制机制的性能;最大阈值 L_{\max} 偏小时(如场景二),星上实时缓存队列长度较小,星上缓存资源不能得到充分的利用;最小阈值 L_{\min} 偏小时(如场景二),星上实时缓存队列长度可能在一段时间内保持极低的状态,使星上缓存资源剩余较多,星上缓存资源不能得到充分的利用;最小阈值 L_{\min} 偏大时(如场景三), L_{\max} 和 L_{\min} 数值相差较小,星上缓存实时队列长度在一定范围内波动,星上缓存资源能够得到充分的利用,但是,星载交换机需要不断的向地面设备广播缓存队列状态信息,增加了不必要的开销.星上缓存空间较小时(如场景四),经过流量控制机制能够有效地缓解星上队列拥塞,但是仍可能出现少量丢包情况.

5 结束语

本文针对大容量星载交换机的设计提出了一种星地一体的流量控制机制;给出了星载交换机和地面网关的标签结构和队列结构;使用 NS2 软件建立了四个应用场景,针对不同的星上缓存队列阈值和星上缓存区容量,对流量控制机制进行了仿真.通过仿真,分析了星上实时队列长度变化、丢包率、卫星上行链路吞吐量等性能参数,研究了星上缓存队列阈值和星上缓存区容量对星地一体流量控制机制的影响.仿真结果说明,通过星载交换机周期性广播星上缓存队列状态,地面网关设备相应调整内部队列调度权重、减少星上队

列拥塞的机制,能够有效地减少丢包率,降低星上存储资源使用量,为宽带星地一体化网络的设计提供参考.

参考文献

- [1] SATCHANDI V, ERIC W. Next generation broadband satellite communication systems [R]. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2011.
- [2] SASTRI L K, GIOVANNI G. Qos for IP-based satellite network: cross layer design [A]. 24th AIAA International Communications Satellite Systems Conference (ICSSC) [C]. San Diego: IEEE Press, 2006. 381 - 389.
- [3] 王晓波, 孙甲琦. IP over CCSDS 空间组网应用浅析 [J]. 飞行器测控学报, 2011, 30(12): 37 - 40.
WANG Xiao-bo, SUN Jia-qi. Analysis of application of IP over CCSDS in space networking [J]. Journal of Spacecraft TT&C Technology, 2011, 30(12): 37 - 40. (in Chinese)
- [4] STYLIANOS K, FOTINI N P. QoS handover management for multimedia LEO satellite networks [J]. Telecommunication Systems, 2006, 32(4): 225 - 245.
- [5] 蒋建国, 苏兆品, 李援, 梁立伟. RTP/RTCP 自适应流量控制算法 [J]. 电子学报, 2006, 34(9): 1659 - 1662.
JIANG Jian-guo, SU Zhao-pin, LI Yuan, LIANG Li-wei. Adaptive flow control algorithm for RTP/RTCP [J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(9): 1659 - 1662. (in Chinese)
- [6] 朱海婷, 丁伟. 基于 RED 的差异型丢包队列管理算法 [J]. 计算机学报, 2015, 38(3): 567 - 576.
ZHU Hai-ting, DING Wei. Queue management algorithm using differential dropping based on RED [J]. Chinese Journal of Computers, 2015, 38(3): 567 - 576. (in Chinese)
- [7] LUBBEN R, FIDLER M. Estimation method for the delay performance of closed-loop flow control with application to TCP [A]. IEEE INFOCOM 2016-IEEE Conference on Computer Communications [C]. IEEE, 2016. 1 - 9.
- [8] MERCIAN A, GURROLA E I, AURZADA F. Upstream polling protocols for flow control in PON/xDSL hybrid access networks [J]. IEEE Transactions on Communications, 2016, 64(7): 2971 - 2984.
- [9] 张淑清, 卢洁, 应启夏. 基于链路共享的分组调度算法研究及分析 [J]. 自动化仪表, 2006, 27(5): 78 - 80.
ZHANG Shu-qing, LU Jie, YING Qi-ga. Research and simulation of link-sharing based packet scheduling algorithms [J]. Process Automation Instrumentation, 2006, 27(5): 78 - 80. (in Chinese)
- [10] 谌新年. 基于 NS2 的路由器算法 Droptail 和 RED 的分析与比较 [J]. 计算机工程与科学, 2007, 29(6): 24 - 28.
CHEN Xin-nian. Analysis and comparison of the NS2-

based router algorithms; Droptail and RED[J]. Computer Engineering & Science, 2007, 29(6): 24 - 28. (in Chinese)

[11] 周慧斌, 周铁军, 管贵秋. 网络模拟器 NS-2 及其应用分析[J]. 计算机与信息技术, 2006, 12: 49 - 52.

作者简介



于 倩 女, 1987 年 2 月出生, 河北辛集人. 2015 年毕业于解放军理工大学电子科学与技术专业. 主要从事交换结构性能仿真相关研究工作.
E-mail: 451655105@qq.com



乔庐峰 男, 1971 年 11 月出生, 河南南乐人. 教授、硕士生导师, 长期从事通信和计算机网络中关键芯片和电路技术研究, 发表论文 4 篇, 获部级科研奖励 4 项.