

# 卫星 MPLS 网络中一种标签检验方案

翟立君, 晏 坚, 曹志刚

(清华大学电子工程系, 北京 100084)

**摘 要:** 卫星通信系统不可避免会出现误码, 误码会导致 MPLS 标签发生差错。由于目前 MPLS 协议没有标签检验, 标签差错将造成分组错误地插入其他路径, 并最终影响其业务承载性能。研究了分组“误插入”和 IP 数据包丢失之间的关系, 建立了 MPLS 标签交换系统中分组“误插入”事件产生的数学模型, 并提出了一种基于单奇偶校验的标签检验方案。对标签检验加入前后 LSP 承载 TCP/IP 业务的性能进行了仿真, 结果表明本文提出的检验方案能够显著改善卫星 MPLS 系统的性能。

**关键词:** 卫星; MPLS; 标签检验; TCP/IP

**中图分类号:** TP393.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-1328(2010)04-1169-06

**DOI:** 10.3873/j.issn.1000-1328.2010.04.037

## 0 引言

随着 MPLS 技术在地面通信系统中日益广泛应用, MPLS 技术成为当前卫星宽带接入系统的一个重要发展方向<sup>[1-2]</sup>。相比于地面有线应用环境, 卫星通信系统误码性能较差, 由于误码而导致的 MPLS 标签差错的事件将不可避免。由于 MPLS 协议可以运作在多个二层交换系统上, 因而目前协议中没有给出差错情况下的标签的检验方案以及相应分组的处理机制<sup>[3]</sup>, 所有的工作均转交给底层协议处理。在缺乏标签检验机制的卫星 MPLS 网络中, 若依据错误的标签将分组插入错误的标签交换路径(LSP)中, 就可能造成该路径上 IP 数据包的丢失, 最终影响其承载 TCP/IP 等业务性能。因此, 设计符合卫星通信特点的 MPLS 标签检验机制问题成为一个关键问题。

本文首先描述了交换系统中分组“误插入”和上层 IP 数据包丢失之间的关系, 然后建立了 MPLS 交换系统中分组“误插入”事件产生的数学模型, 最后提出了一种基于奇偶校验的标签检验方法。文章对标签检验加入前后 LSP 承载 TCP/IP 业务的性能进行了仿真, 结果表明即使简单的单奇偶校验也能够显著降低 LSP 上由于分组“误插入”而造成的业务吞吐量的损失。

## 1 卫星 MPLS 网络中的标签差错和 IP 数据包的丢失

卫星传输系统不可避免会出现误码, 误码导致标签发生差错, MPLS 路由由交换机根据入口标签查表所获取的出接口以及出口标签相应地也会出现差错。如果出现差错的标签不在系统维护的标记列表内, 分组被简单地丢弃; 反之, 如果错误的标签恰好与另一个合法 LSP 的入口标签相匹配, 交换系统根据查表的结果将其发送至对应出接口并将标签置换为 LSP 对应的出口标签, 分组“误插入”错误的 LSP 中。

采用“垫层”结构<sup>[4]</sup>设计的 MPLS 交换系统中, 标签差错造成的分组“误插入”以整个 IP 数据包为单位。由于缺乏路由信息, MPLS 域的边界网关不会将“误插入”的 IP 数据包传送到 LSP 承载业务所对应的终端, 因而可以认为误插入分组只是简单的占用了 LSP 管道某一段的一部分带宽资源。假设误插入所带来的流量可以忽略, 这种系统中由于标签错误而造成的“误插入”并不会显著影响业务端到端的性能。

将标签嵌入底层数据分组的包头, 并依据标签实施交换的系统<sup>[5]</sup>面临的问题比较复杂。因为分组承载能力的限制, 根据标签进行交换的分组载荷可能只是 IP 数据包的一个片段。MPLS 域边界路由器利用掺杂着“误插入”载荷的分组片段数据流重构

IP 数据包时可能出现失败,由于此时 LSP 上因为重构失败而导致的 IP 数据包丢失将影响业务端到端的性能,因而这种系统成为本文的主要研究对象。

### 1.1 卫星 MPLS 网络内 IP 数据包的拆装和汇聚处理

卫星宽带通信系统多采用定长结构的链路层数据传输分组<sup>[6-7]</sup>,上层可变长度的 IP 数据包在采用了这种方案的卫星 MPLS 网络中传输有两种可行的方案:(1) 利用 IETF 提出的路径 MTU 发现机制<sup>[8]</sup>限制 IP 数据包的长度不超过一个链路层分组的承载能力;(2) 利用拆装(SAR)和汇聚(CS)处理将一个 IP 数据包分散到若干个链路层分组内传输。路径 MTU 发现协议的实施由于要求路径上的所有节点都要有能力处理额外的信令,因而没有得到广泛的应用。拆装和汇聚处理成为当前 IP 数据包通过定长分组交换网络的主要方式。

如图 1 所示,可变长度的 IP 数据包在卫星 MPLS 域的入口标记边界路由器(Ingress LER)进行拆装处理后装载至卫星 MPLS 网络传输的数据分组。数据分组在 LSP 内传输,当它到达域的出口标记边界路由器(Egress LER)时系统通过汇聚处理恢复上层 IP 数据包后继续其投递过程。

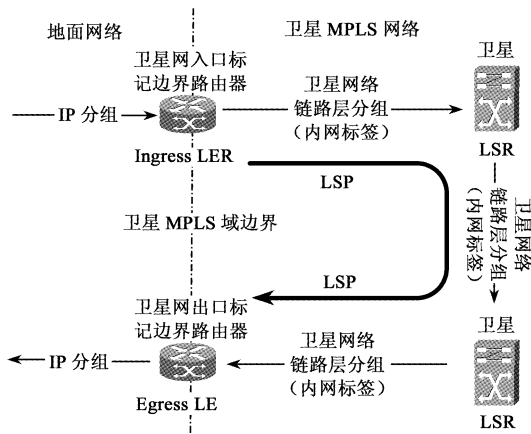


图 1 卫星 MPLS 网络中的 IP 数据包拆装和汇聚  
Fig.1 The SAR and CS operation of IP packet in satellite MPLS network

图 2 给出了一种典型的链路层分组和拆装子层协议数据单元(SAR-PDU)结构。分组中标签的设计采用了“L-LSP”方案<sup>[9]</sup>,每一个 LSP 仅用来承载一种业务,标签的长度和 MPLS 交换系统能够同时维护的 LSP 的数量相关。“控制位”用来处理前向转发类(FEC)特定关联服务以外的分组传输控制任务,本

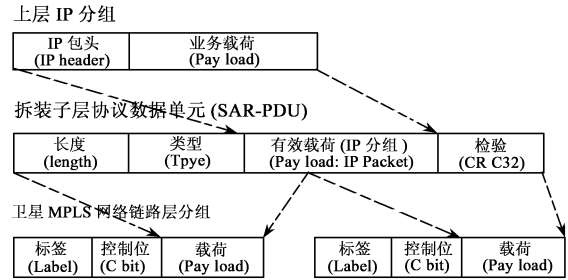


图 2 卫星 MPLS 网络中一种典型的分组和 SAR-PDU  
Fig.2 The typical structures of data segment and SAR-PDU in the satellite MPLS network

文中它用于标示 SAR-PDU 的边界(与 ATM AAL5 方案中的分组头部的 PTI 域的功能类似);“载荷”用于承载 IP 数据包的片段。拆装处理单元首先在 IP 数据包上附加长度、类型以及校验等信息从而构成 SAR-PDU,然后再将其分割、装载至链路层分组内传输。汇聚处理单元从分组流中重构 SAR-PDU,提取 IP 数据包后继续路由转发处理。

### 1.2 分组的“误插入”与汇聚处理时 IP 数据包的丢失

汇聚处理单元使用“控制位”对接收缓冲内的 SAR-PDU 进行定界,并利用长度和校验信息检验获取的 SAR-PDU。如果卫星 MPLS 系统因为标签差错而将一个链路层分组插入到其他 LSP 中,LSP 出口处的汇聚处理单元将因为检测到“误插入”分组所导致的长度不匹配或者校验差错而丢弃当前正在重构的 SAR-PDU,IP 数据包由此也被丢失。

对于 LSP 来说,链路层分组“误插入”所导致的 IP 数据包丢失事件与传输链路上误码导致的 IP 数据包丢失事件之间存在明显差异。显而易见,假设误插入事件出现的平均间隔远大于 LSP 上相邻 IP 数据包传输的间隙,IP 数据包丢失事件的随机时间间隔变量序列所构成的随机过程与 LSP 所承载业务的特征之间没有关系。在这个结论的约束下,类似<sup>[10]</sup>以链路误码率和业务量来计算 LSP 上 IP 数据包丢失概率、TCP 协议拥塞避免机制的平均触发时间间隔等性能参量的方法将不再适用。

## 2 卫星 MPLS 网络中的一种标签检验方案

当 LSP 上“误插入”分组与 IP 数据包相比显得足够的稀疏时,一个“误插入”链路层分组将确定造成相邻一个 SAR-PDU(IP 数据包)的丢失。决定 LSP 业务承载能力的 IP 数据包丢失速率等于链路层分

组的“误插入”速率。

为了设计符合卫星通信特点的标签检验方案,首先建立误码环境中分组“误插入”事件产生的数学模型,然后利用该模型来考察加入标签检验机制后系统是否能够有效地检测出现差错的标签、丢弃“误插入”的链路层分组、降低 IP 数据包的丢失速率,改善 LSP 承载业务的性能。

### 2.1 LSP 上分组“误插入”事件产生的数学模型

卫星移动通信环境中,终端移动过程中直射信号受到遮挡,信道在“Rice”和“Rayleigh”模型间切换<sup>[11]</sup>。Ka 以及 V 频段固定卫星终端通信系统中,恶劣的气象环境对信号造成较大的衰减,信道在晴天和雨天状态间切换<sup>[12]</sup>。因此,可以用包含“GOOD”和“BAD”两状态的连续时间 Markov 模型来描述卫星链路的误码率变化所构成的随机过程<sup>[11-12]</sup>。

采用了合适的信道编码后,在“GOOD”状态可以认为近似的无误码,“BAD”状态下链路的误码率为  $P_e$ ,两个状态的平均持续时间分别为  $T_{\text{GOOD}}$  和  $T_{\text{BAD}}$ 。假设第  $i$  个 MPLS 接入终端的业务量  $R_i$  并不受到链路误码状态的影响,当终端数量足够多且具有相同的信道误码模型时,交换系统内处于高误码环境业务量所占比例的平均值有:

$$\mu = \left( \sum_i R_i \frac{T_{\text{GOOD}}}{T_{\text{GOOD}} + T_{\text{BAD}}} \right) / \sum_i R_i = \frac{T_{\text{GOOD}}}{T_{\text{GOOD}} + T_{\text{BAD}}} \quad (1)$$

处于“BAD”状态时终端所产生的业务流是 MPLS 交换系统中“误插入”分组的来源,  $\mu$  是考察分组“误插入”对卫星 MPLS 交换系统影响的主要参量。根据文献[11]测量欧洲 1.54 GHz、L 频段 GEO 卫星系统“MARECS”得到的结果,城市环境内移动速率 60 km/h、倾角 34 度的典型移动终端有  $T_{\text{GOOD}} = 90.00$  s、 $T_{\text{BAD}} = 0.72$  s,相应的  $\mu = 0.77\%$ 。Ka 波段以及 V 波段固定终端的  $T_{\text{GOOD}}$ 、 $T_{\text{BAD}}$  和  $\mu$  的计算比较复杂,它依赖于终端所处地域的气候类型、预留功率余量以及载波频率等参数<sup>[12]</sup>。

MPLS 交换系统中受干扰 LSP 上分组“误插入”事件产生的速率取决于 LSP 的入口标签和当前系统维护所有入口标签之间汉明距离的分布以及其他 LSP 承载业务的特征。假设图 2 所示分组结构中标签的长度为  $L_{\text{label}}$  bit,载荷的长度为  $L_{\text{payload}}$  bit,且不考

虑控制位。对于持有入口标签为  $l_i$  的 LSP,当前系统维护的入口标签集合内与  $l_i$  之间汉明距离为  $d$  的子集内有  $N_d$  个元素,且每个元素对应一个承载着参数为  $\{R_{d,j}, \mu_{d,j}, P_{e(d,j)}\}$  业务的 LSP。子集内每个 LSP 生成“误插入”分组的速率有:

$$\eta_{d,j} = \frac{\mu_{d,j} R_{d,j}}{L_{\text{label}} + L_{\text{payload}}} \quad (2)$$

标签因为发生  $d$  个 bit 的差错而恰好等于  $l_i$  的概率有:

$$P_{d,j,i} = P_{e(d,j)}^d (1 - P_{e(d,j)})^{L_{\text{label}} - d} \quad (3)$$

由式(2)和(3),则受干扰 LSP 上分组“误插入”事件产生的速率  $\lambda$  (次/秒)有:

$$\lambda = \frac{\sum_{d=1}^{L_{\text{label}}} \sum_{j=1}^{N_d} \mu_{d,j} R_{d,j} P_{e(d,j)}^d (1 - P_{e(d,j)})^{L_{\text{label}} - d}}{L_{\text{label}} + L_{\text{payload}}} \quad (4)$$

为了方便考察标签差错条件下交换系统的性能,考虑一种特殊的情况。假设“误插入”分组的标签出现差错之前在整个标记空间内以  $1/2^{L_{\text{label}}}$  的等概率、均匀地分布;入口标签集合内与  $l_i$  之间汉明距离为  $d$  的子集内有个  $N_d = C_{L_{\text{label}}}^d$  个元素;所有产生“误插入”分组的 LSP 具有相同的链路误码特性,它们聚合产生的业务量为  $R$  bps;则受干扰 LSP 上分组“误插入”事件产生的速率  $\lambda_1$  (次/秒)有:

$$\lambda_1 = \frac{\mu R \left( \sum_{d=1}^{L_{\text{label}}} C_{L_{\text{label}}}^d P_e^d (1 - P_e)^{L_{\text{label}} - d} \right)}{(L_{\text{label}} + L_{\text{payload}}) 2^{L_{\text{label}}}} \quad (5)$$

### 2.2 基于单奇偶校验编码的标签检验方案

通过编码进行标签检验、避免“误插入”的主要目的在于检测标签内比特的差错。对于汉明码、BCH 码等常用的分组码来说适合于特定长度信息位(标签)的编码方案并不是总是存在的,卷积编码也不明显适合于这种应用环境。单奇偶校验码通过附加一个校验位就能检测码字中所有奇数重量的错误模式<sup>[13]</sup>,且能够适应不同的标签长度,可用于标签的检验。在随机误码条件下,“1 比特错误”是标签差错的主要模式,单奇偶校验码能够很好地适应这种环境。采用单奇偶校验后,只考虑标签内偶数重量的错误模式,则 LSP 上分组“误插入”事件产生的速率  $\lambda_2$  (次/秒)有:

组的“误插入”速率。

为了设计符合卫星通信特点的标签检验方案,首先建立误码环境中分组“误插入”事件产生的数学模型,然后利用该模型来考察加入标签检验机制后系统是否能够有效地检测出现差错的标签、丢弃“误插入”的链路层分组、降低 IP 数据包的丢失速率,改善 LSP 承载业务的性能。

### 2.1 LSP 上分组“误插入”事件产生的数学模型

卫星移动通信环境中,终端移动过程中直射信号受到遮挡,信道在“Rice”和“Rayleigh”模型间切换<sup>[11]</sup>。Ka 以及 V 频段固定卫星终端通信系统中,恶劣的气象环境对信号造成较大的衰减,信道在晴天和雨天状态间切换<sup>[12]</sup>。因此,可以用包含“GOOD”和“BAD”两状态的连续时间 Markov 模型来描述卫星链路的误码率变化所构成的随机过程<sup>[11-12]</sup>。

采用了合适的信道编码后,在“GOOD”状态可以认为近似的无误码,“BAD”状态下链路的误码率为  $P_e$ ,两个状态的平均持续时间分别为  $T_{\text{GOOD}}$  和  $T_{\text{BAD}}$ 。假设第  $i$  个 MPLS 接入终端的业务量  $R_i$  并不受到链路误码状态的影响,当终端数量足够多且具有相同的信道误码模型时,交换系统内处于高误码环境业务量所占比例的平均值有:

$$\mu = \left( \sum_i R_i \frac{T_{\text{GOOD}}}{T_{\text{GOOD}} + T_{\text{BAD}}} \right) / \sum_i R_i = \frac{T_{\text{GOOD}}}{T_{\text{GOOD}} + T_{\text{BAD}}} \quad (1)$$

处于“BAD”状态时终端所产生的业务流是 MPLS 交换系统中“误插入”分组的来源,  $\mu$  是考察分组“误插入”对卫星 MPLS 交换系统影响的主要参量。根据文献[11]测量欧洲 1.54 GHz、L 频段 GEO 卫星系统“MARECS”得到的结果,城市环境内移动速率 60 km/h、倾角 34 度的典型移动终端有  $T_{\text{GOOD}} = 90.00$  s、 $T_{\text{BAD}} = 0.72$  s,相应的  $\mu = 0.77\%$ 。Ka 波段以及 V 波段固定终端的  $T_{\text{GOOD}}$ 、 $T_{\text{BAD}}$  和  $\mu$  的计算比较复杂,它依赖于终端所处地域的气候类型、预留功率余量以及载波频率等参数<sup>[12]</sup>。

MPLS 交换系统中受干扰 LSP 上分组“误插入”事件产生的速率取决于 LSP 的入口标签和当前系统维护所有入口标签之间汉明距离的分布以及其他 LSP 承载业务的特征。假设图 2 所示分组结构中标签的长度为  $L_{\text{label}}$  bit,载荷的长度为  $L_{\text{payload}}$  bit,且不考

虑控制位。对于持有入口标签为  $l_i$  的 LSP,当前系统维护的入口标签集合内与  $l_i$  之间汉明距离为  $d$  的子集内有  $N_d$  个元素,且每个元素对应一个承载着参数为  $\{R_{d,j}, \mu_{d,j}, P_{e(d,j)}\}$  业务的 LSP。子集内每个 LSP 生成“误插入”分组的速率有:

$$\eta_{d,j} = \frac{\mu_{d,j} R_{d,j}}{L_{\text{label}} + L_{\text{payload}}} \quad (2)$$

标签因为发生  $d$  个 bit 的差错而恰好等于  $l_i$  的概率有:

$$P_{d,j,i} = P_{e(d,j)}^d (1 - P_{e(d,j)})^{L_{\text{label}} - d} \quad (3)$$

由式(2)和(3),则受干扰 LSP 上分组“误插入”事件产生的速率  $\lambda$  (次/秒)有:

$$\lambda = \frac{\sum_{d=1}^{L_{\text{label}}} \sum_{j=1}^{N_d} \mu_{d,j} R_{d,j} P_{e(d,j)}^d (1 - P_{e(d,j)})^{L_{\text{label}} - d}}{L_{\text{label}} + L_{\text{payload}}} \quad (4)$$

为了方便考察标签差错条件下交换系统的性能,考虑一种特殊的情况。假设“误插入”分组的标签出现差错之前在整个标记空间内以  $1/2^{L_{\text{label}}}$  的等概率、均匀地分布;入口标签集合内与  $l_i$  之间汉明距离为  $d$  的子集内有个  $N_d = C_{L_{\text{label}}}^d$  个元素;所有产生“误插入”分组的 LSP 具有相同的链路误码特性,它们聚合产生的业务量为  $R$  bps;则受干扰 LSP 上分组“误插入”事件产生的速率  $\lambda_1$  (次/秒)有:

$$\lambda_1 = \frac{\mu R \left( \sum_{d=1}^{L_{\text{label}}} C_{L_{\text{label}}}^d P_e^d (1 - P_e)^{L_{\text{label}} - d} \right)}{(L_{\text{label}} + L_{\text{payload}}) 2^{L_{\text{label}}}} \quad (5)$$

### 2.2 基于单奇偶校验编码的标签检验方案

通过编码进行标签检验、避免“误插入”的主要目的在于检测标签内比特的差错。对于汉明码、BCH 码等常用的分组码来说适合于特定长度信息位(标签)的编码方案并不是总是存在的,卷积编码也不明显适合于这种应用环境。单奇偶校验码通过附加一个校验位就能检测码字中所有奇数重量的错误模式<sup>[13]</sup>,且能够适应不同的标签长度,可用于标签的检验。在随机误码条件下,“1 比特错误”是标签差错的主要模式,单奇偶校验码能够很好地适应这种环境。采用单奇偶校验后,只考虑标签内偶数重量的错误模式,则 LSP 上分组“误插入”事件产生的速率  $\lambda_2$  (次/秒)有:

$$\lambda_2 = \frac{\eta R \left( \sum_{k=1}^{\lfloor \frac{L_{label}+1}{2} \rfloor} C_{L_{label}+1}^{2k} P_e^{2k} (1 - P_e)^{L_{label}+1-2k} \right)}{(L_{label} + L_{payload} + 1) 2^{L_{label}}} \quad (6)$$

不难看出,当  $P_e \ll 1$  时有,有  $\lambda_1 \gg \lambda_2$ 。系统采用单奇偶校验方案后能够显著地降低 LSP 上分组“误插入”事件发生的速率,改善其承载业务的能力。

### 3 分组“误插入”条件下 LSP 承载 TCP/IP 业务性能的仿真

TCP/IP 业务占据了当前 Internet 上绝大部分的流量,LSP 上因为分组“误插入”而导致的 IP 数据包丢失将显著影响它的业务传输性能。对于持续时间较短的短时 TCP 会话,IP 数据包丢失的主要影响在于拉长了“慢启动”阶段发送窗口增长到最大值所需要的时间;对于持续时间较长的长时 TCP 会话,会话因为分组丢失而错误地启动拥塞控制机制来规避不存在的网络拥塞,缩小的发送窗口降低了带宽资源的利用率。

使用 NS-2 网络仿真软件仿真卫星 MPLS 网络承载当前使用广泛的 TCP Reno 协议的性能,设标签的长度  $l_{label} = 8, 12, 16, 20$  bit、载荷长度  $l_{payload} = 384$  bit(类似于 ATM 的短包),考察在标签检验加入前后不同误码率  $P_e$  条件下一个长时 TCP Reno 会话中的吞吐量。设置仿真参数保证 LSP 上分组“误插入”事件足够的稀疏,从而主要考察分组“误插入”对 TCP 拥塞控制机制性能的影响。为了切合实际应用环境,参考文献[11],配置及仿真中可能生成“误插入”分组的业务流,使其为泊松流,并且在一个具有若干“G bps”处理能力卫星 MPLS 交换机中占据大约 1% 的交换容量。

表 1 仿真的参数设置

Table 1 The parameters setting of the simulation

仿真	产生误插入分组的业务量 $\mu R$	TCP Reno 会话的最大发送窗口	标签检验
a	20M bps	64K byte	无
b	20M bps	128K byte	无
c	40M bps	128K byte	无
d	40M bps	128K byte	单奇偶校验

图 3 至图 6 给出了分组“误插入”的条件下 GEO 卫星 MPLS 网络中 LSP 承载一个长时 TCP Reno 会话(数据发送永不停止)所能获得的平均吞吐量的仿真结果。每次仿真过程中在 LSP 上至少出现 300 次的

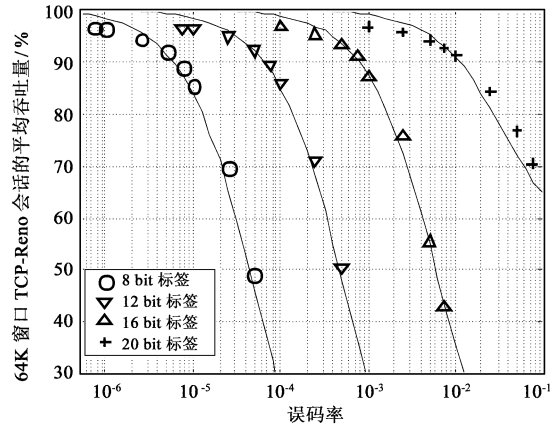


图 3 仿真“a”中 TCP Reno 会话的平均吞吐量  
Fig.3 The average throughput of TCP Reno session in simulation a

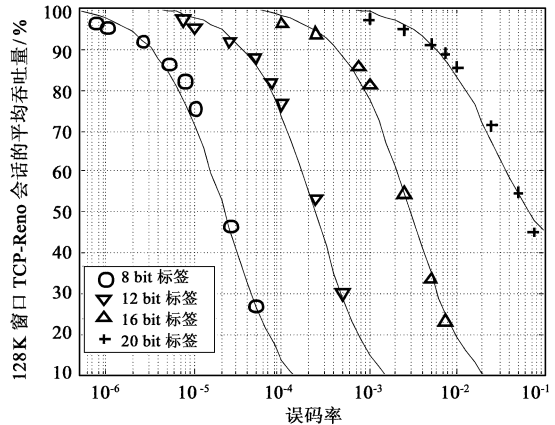


图 4 仿真“b”中 TCP Reno 会话的平均吞吐量  
Fig.4 The average throughput of TCP Reno session in simulation b

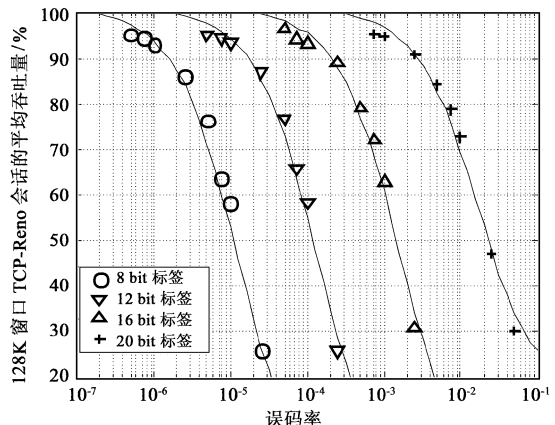


图 5 仿真“c”中 TCP Reno 会话的平均吞吐量  
Fig.5 The average throughput of TCP Reno session in simulation c

分组“误插入”事件,分组“误插入”事件产生的平均速率为  $10^{-1}$  至  $10^{-3}$  (次/秒)之间。

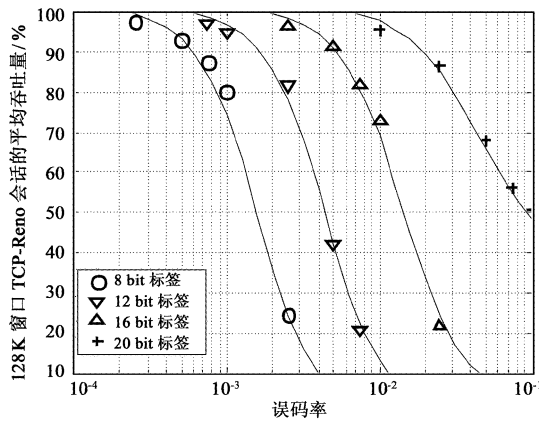


图 6 仿真“d”中 TCP Reno 会话的平均吞吐量

Fig.6 The average throughput of TCP Reno session in simulation d

TCP Reno 会话在仿真 a 中采用标准的 64 K 字节最大发送窗口。如图 3 所示,在一定误码率  $P_e$  条件下由于 LSP 上频繁地出现分组“误插入”和 IP 数据包丢失事件, TCP 会话总是处于拥塞控制状态,缩小的发送窗口严重地影响了会话的吞吐量。不仅如此,由于系统内所有 LSP 受到的干扰是同时发生的,仿真所得到的单个 TCP 会话吞吐下降的比率同时也反映了 MPLS 交换系统总交换容量的损失比率。当产生“误插入”分组的业务流量一定时 ( $\mu R = 20$  Mbps), 具有较大的标记空间(较长的标签)的卫星 MPLS 系统更能够充分地分散“误插入”分组,降低单个 LSP 上分组“误插入”事件产生的速率,提升 TCP Reno 会话的吞吐量。

由于卫星通信系统具有较大的延时带宽积,为了充分利用带宽资源,可以采用较大的 TCP 发送窗口。仿真 b 将 TCP Reno 会话发送窗口的最大值提升至 128 K 字节。对比图 3 和图 4 所示 a、b 两个仿真的结果,在同样的分组“误插入”速率条件下,拥有较大发送窗口的 TCP 会话由于在拥塞避免阶段需要更长的时间通过“线性增长”<sup>[10]</sup> 达到窗口的最大值反而损失了更大比例的吞吐量。

为了凸显加入标签检验的效果,在仿真 b 的基础上仿真 c 首先将处于“BAD”状态的业务流量提升一倍 ( $\mu R = 40$  Mbps), 这表示预留了较少的功率余量而造成系统可用度的下降, TCP 的性能随之恶化。在卫星 MPLS 交换系统中降低  $\mu R$  的最为直接的方法是预留足够的上行功率余量,这在大量采用功率

受限小型移动卫星终端的系统中是难以做到的。仿真 d 中为标签加入了 1 bit 的单奇偶校验码,分组交换之前首先进行校验计算,校验过程中出现标签错误的分组由交换系统直接丢弃。对比图 5 和图 6 所示 c、d 两个仿真的结果,由于随机误码环境中的标签的主要差错模式(1 bit 错误)得到了良好的处理,相同误码率  $P_e$  条件下 LSP 所承载的 TCP Reno 会话的吞吐量得到了显著的提升。

#### 4 结论

本文讨论了卫星 MPLS 网络中由于误码而导致的标签差错、分组“误插入”与上层 IP 数据包丢失之间的关系,建立了卫星交换系统中分组“误插入”事件生成的数学模型,提出了一种基于单奇偶校验的标签检验方法。文章对标签检验加入前后卫星 MPLS 系统承载 TCP/IP 业务的性能进行了仿真。仿真结果表明标签差错所造成的分组“误插入”严重影响了系统的吞吐量,性能随着标签长度的缩短以及 TCP 会话最大发送窗口的增大进一步地恶化。简便易行的单比特奇偶编码是一种实用的标签检验方案,它能够较好地处理随机误码环境中的标签差错的主要模式(1 bit 错误),加入校验检验机制后 LSP 承载 TCP/IP 业务的性能得到了显著的改善。

#### 参考文献:

- [1] Ibnkahla M, Rahman QM, Sulyman AI, et al. High-speed satellite mobile communications: technologies and challenges[J]. Proceedings of the IEEE, 2004, 92(2):312-339.
- [2] Ors T, Rosenberg C. Providing IP QoS over GEO satellite systems using MPLS[J]. International Journal of Satellite Communication and Networking, 2001, 19(7):443-461.
- [3] IETF. Multiprotocol Label Switching Architecture[S]. RFC3031, 2001.
- [4] IETF. MPLS Label Stack Encoding[S]. RFC 3032, 2001.
- [5] IETF. MPLS using LDP and ATM VC Switching[S]. RFC 3035, 2001.
- [6] Mertzanis I, Sfikas G, Tafazolli R, et al. Protocol architectures for satellite ATM broadband networks[J]. IEEE, Communications Magazine, 1999, 37(3):46-54.
- [7] ETSI. Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction channel for satellite distribution systems[S]. EN 301 790, V1.4.1, 2005.
- [8] IETF. Path MTU Discovery[S]. RFC 1911, 1990.
- [9] IETF. Multi-Protocol Label Switching (MPLS) Support of Differenti-

- ated Services[S]. RFC 3270, 2002.
- [10] Padhye J, Firoiu V, Towsley D, et al. Modeling TCP reno performance: a simple model and its empirical validation[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2000, 8(2):133 - 145.
- [11] Lutz E, Cygan D, Dippold M, et al. The land mobile satellite communication channel-recording, statistics and channel mode[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1991,40(2):375 - 386.
- [12] Alasseur C, Husson L, Perez-Fontan F. Simulation of rain events time series with Markov model[C]. 15th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2004.
- [13] 林舒, 科斯特洛 DJ. 差错控制编码[M]. 晏坚等, 译. 原书第

二版. 北京:机械工业出版社, 2007. [LIN S, Costello D J. Error Control Coding Second Edition[M]. Pearson Education Asia Limited and China Machine Press, China, 2007.]

作者简介:翟立君(1981-),男,博士研究生,研究方向为卫星 MPLS 网络以及卫星多媒体广播。

通信地址:北京市海淀区清华大学东主楼电子工程系(100084)

电话:(010)622773242

E-mail:dilj03@mails.tsinghua.edu.cn

## A Verification Scheme of Label in Satellite MPLS Network

ZHAI Li-jun, YAN Jian, CAO Zhi-gang

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** The inevitable bit errors in MPLS label that induced by satellite channel will cause the data segment mistakenly insert into an error LSP and finally depress its performance. Since the original MPLS protocol didn't specify any label verification scheme, it is necessary to design a suitable mechanism that detects the error label in the satellite MPLS network. This paper discusses the relationship between the segment insertion and the loss of IP packet. A mathematical model is constructed to describe the generating procedure of the mistakenly inserted segment on the LSP. The simple odd-even check code is proposed to be a verification scheme of label. Simulations are executed to compare the TCP/IP bearing performance between scenarios that with and without label verification. The result shows that our scheme could dramatically improve the performance of satellite MPLS network.

**Key words:** Satellite; MPLS; Label verification; TCP/IP