

# 光码标签交换网络边缘节点 FEC 的研究

王玉宝, 纸少瑜

(燕山大学 信息科学工程学院, 河北 秦皇岛 066004)

**摘要:** 构建了光码标签交换网边缘节点的结构, 结合光码分复用技术提出了转发等价类 (FEC) 分组结构的设计方案。分组结构适合变长数据分组的传输, 在核心节点能够实现对标签信息的可并行处理, 提高了处理效率。在此基础上, 针对开销比对网络传输性能的影响, 对 FEC 结构中的各参量与开销比的关系进行了仿真研究; 采用了固定时隙算法对数据分组进行封装, 对到达率和封装时延与分组丢失率的关系进行仿真分析。

**关键词:** 边缘节点; 业务汇聚; 封装时隙; 转发等价类; 开销比; 分组丢失率

中图分类号: TN913.7

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2012)05-0072-07

## Study of FEC at edge node of optical code label switching network

WANG Yu-bao, ZHI Shao-yu

(School of Information Science and Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

**Abstract:** The structure block of the optical code label switching network was built, and the design scheme for the forwarding equivalent classes (FEC) was proposed employing OCDM technology which was appropriate for variable packets transmission and allow the label processed in parallel in core node. The overhead between the duration of control bits and the duration of payload was investigated based on the above design scheme. The fixed slot algorithm (FSA) was employed to assemble the incoming packets in the assemble queue, simulation results and analysis were given between the relation of arrival ratio/assemble slot and packets loss ratio.

**Key words:** edge node; traffic aggregation; assemble slot; forwarding equivalent classes; overhead ratio; packet loss ratio

### 1 引言

随着互联网时代的到来, 数据交换在网络中呈现爆炸式增长。传统的电交换网络已不能满足日益增长的数据传输需求<sup>[1]</sup>。光标签交换技术成为这种“带宽危机”的有效解决途径<sup>[2]</sup>。光分组交换 (OPS) 网具有光网络特有的高速率特性, 同时对数据格式和速率透明, 能够承载多种数据格式, 成为未来光网络的发展趋势<sup>[3]</sup>。两者结合将极大提升光分组交换网的性能。但 OPS 也有它的不足: 数据在核心节点不能进行并行处理, 影响了网络的吞吐量<sup>[4]</sup>。OCDM

技术在分组标签交换中的引入, 充分利用了波长的带宽资源, 避免了网络中标签不足的问题, 简化了核心节点结构<sup>[5,6]</sup>。引入光码标签后, 标签在核心节点可以进行并行处理, 净荷透明地通过, 实现了快速光交换<sup>[3,7]</sup>。对于分组结构的净荷部分, 当多个净荷在同一波长上传输时, 在核心节点只能进行串行处理, 这样处理效率较低, 采用 OCDM 编码后, 净荷在核心节点就能够进行并行处理, 提高了网络吞吐量。实践证明, 载荷的长度对网络的性能有重要的影响。载荷较长, 开销较小时, 网络传输效率高, 但不够灵活; 反之, 当载荷较短时, 网络的传输带

收稿日期: 2011-06-14; 修回日期: 2011-08-05

基金项目: 河北省科学技术研究与发展计划基金资助项目 (10213576); 河北省自然科学基金资助项目 (2011203067)

**Foundations Items:** The Science Technology Research & Development Program Hebei Province (10213576); The National Natural Science Foundation of Hebei Province (2011203067)

宽利用率较低，但灵活性较大。

边缘节点基于分组组装的算法主要有 2 种：固定时隙算法和固定长度算法。前者是在特定的时隙内对到来的数据分组进行组装<sup>[8]</sup>。后者为队列设定固定的分组长度，对到来的数据分组总长度达到设定限度就形成分组。较于后者，前者到达的数据在时间上都是随机的，所以在封装时隙内的数据量是变化的，形成的净荷长度是可变的，而且能够在有效限制分组组装延时的情况下提供较高的传输效率，所以应用更为广泛。分组长度是影响分组丢失率的关键因素。在组装队列中，封装时隙和到达率小，则到来的数据分组数量就可能少，生成的短分组的可能性就大。反之，封装时隙和到达率较大，生成长分组的可能性就大。所以，组装时隙和到达率是影响分组丢失率的关键因素。

本文基于光码标签分组交换网络，提出了转发等价类的设计方案，采用固定时隙算法进行分组组装。标签长度、保护间隔、同步时间对网络性能有直接的影响。对这些参数取不同值时开销率的变化情况进行了仿真；针对不同封装时延和到达率情况下，对分组丢失率的变化进行了仿真分析。

## 2 标签交换边缘节点结构与转发等价类的设计

标签分组交换网络中的边缘节点主要完成对来自接入网的各种数据进行分类和业务汇聚<sup>[9]</sup>，数据分组根据目的地址和业务类型映射为不同的转发等价类 (FEC)，再为这些 FEC 加上具有本地意义的标签后发送出去。

### 2.1 标签边缘节点的基本结构及功能

标签边缘节点结构如图 1 所示，虚线表示控制

信号，实线代表数据流向。它由输入接口、汇聚模块、汇聚控制单元、组装模块、数据发送单元、调度中心、标签产生器以及 OCDM 编码器构成。其中，汇聚模块、组装模块和标签产生模块、调度模块是核心。

在网络中传输的数据有很大的自相似性，所以当数据到达输入接口时，需要对到来的各种类型的数据进行缓存，解决接口两边可能存在的业务速率不匹配问题。同时还要对这些数据进行解复用。处理后的数据，采用轮询的方式被读出发往汇聚模块，对数据分组进行下一步的分类操作。其实现过程如下：数据分组到达分组识别器后，经过提取信头中的源、目的地址、业务类型等相关信息，产生一个识别使能信号 *recog\_en* 发送给汇聚控制单元，汇聚控制单元据此产生一个分类使能信号 *class\_en* 对分类器进行驱动，当数据分组到达时，根据该信号对数据分组进行归类。交换器接受来自分类器的数据分组，调度中心事先根据数据分组头的控制信息，生成交换使能信号 *sw1\_en* 对交换器进行配置，当数据分组到来时，每种类型的数据 (FEC) 经过配置好的通道，送到组装模块中相应的缓存队列进行数据封装。组装完成的分组经过 E/O 转换后进行 OCDM 编码，调度中心根据 FEC 的业务类型和目的地址为其分配相应的码字，编码后的载荷被送到数据发送单元。调度中心事先已经根据该 FEC 的路由信息为其配置好交换矩阵，并预留相应的波长信道和传输时隙。所以载荷可以透明地通过交换中心进入输出缓存，与标签结合发往核心节点。

### 2.2 转发等价类的设计

组装模块主要完成对进入组装队列数据分组

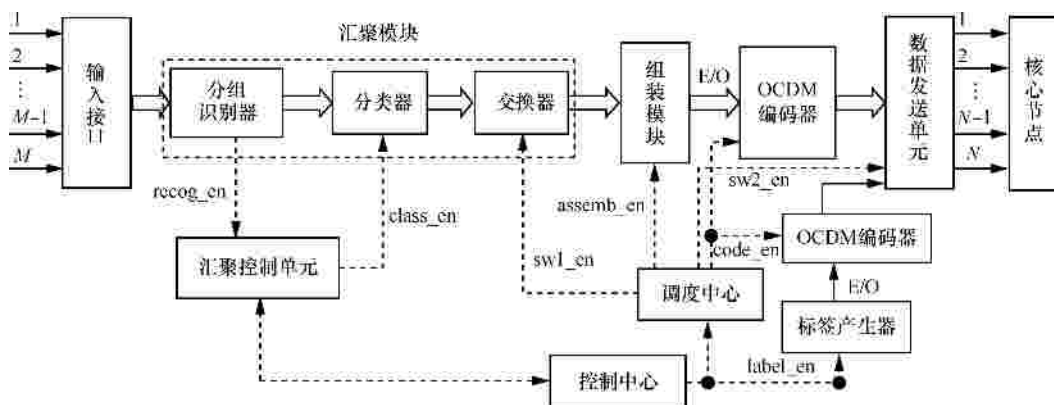


图 1 标签交换边缘节点结构

的封装。经过分类后的数据分组到达后,根据分类信息被送往相应的子队列,形成分组的净荷部分。假设网络边缘节点有  $K+1$  个,则 FEC 的数目有  $K$  个,对应的缓存队列也为  $K$ 。设每种类型的数据分组可能有  $M$  种业务等级,则对应的每个队列中子缓存数也为  $M$ ,整个组装队列共有  $KM$  个子缓存队列。数据分组进出子缓存队列遵从 FIFO 原则。同种 FEC 数据分组中优先级高的被送往不同的缓存子队列进行组装,每个子队列按照 QoS 业务等级被指派不同的优先级,在队列中按照从高到低的顺序进行排列,调度中心通过为每个子队列分配不同的指针进行 QoS 区别,优先级高的指针数值小,反之则大。当数据到达队列,调度中心根据数据分组头的 QoS 分析结果产生排队使能信号,将数据分组发送到相应等级的缓存子队列。为了适合变长数据传输,这里采用时隙固定组装算法对数据分组进行封装,能够根据网络流量自动调节分组大小。当第一个数据分组进入队列时,计时器开始计时,直到最后一个数据到达计时结束,完成一个分组净荷的组装。再加上控制信息发送到输出队列等待与标签结合发往下一节点。在同一组装队列中,当有多个分组同时生成时,调度中心根据每个子缓存队列的指针值从小到大依次输出,这样就能实现网络的 QoS 要求。

在分组标签交换网引入 OCDM 技术,可以解决边缘节点标签不足引起的阻塞问题<sup>[10]</sup>,简化了数据在核心节点的处理复杂度。在边缘节点,根据分组的路由信息和控制信息生成标签信息,其中,包含该净荷的源、目的地址、服务等级以及净荷的生存时间等信息。边缘节点为每条输出链路分配一个码字,当载荷到达某条链路时,调度中心用该链路对应的码字对标签信息进行编码,标签编码后与在此等待的净荷耦合从该链路输出。核心节点设有一组并行的光无源相关器(数量与单个波长中复用的码字数相等),对标签进行识别。光分路器将标签信号分为几路相同的光信号送入各个相关器进行相关运算,结果将作为控制中心的决策信号。码字匹配时,输出幅值较大的自相关值,该信号通过驱动光开关的 On/Off 进入控制中心;相关器输出不匹配的互相关值,由于能量较小,无法驱动光门,因而被限制。提取的自相关脉冲经过 O/E 转化后,送入电路处理单元进行展宽和放大后,再进行整形和时钟恢复,最后转化为 TTL 电平输入到控制中心,

控制中心据此对交换矩阵进行设置,将载荷交换到相应的链路,同时用该信号与转发信息表(FIB)中的信息进行相关运算,生成新的光码标签<sup>[10,11]</sup>。净荷与新标签结合成新的分组,发向下一节点。

在标签识别(即解码)过程中,光码标签在进入解码器前先要经过光分路器进行分路,这样会产生较大的功率损耗。以码长为 9,码重为 3,自相关和互相关为 1 的光正交码作为标签的地址码为例,当核心节点标签库有  $C$  个标签时,则对应的相关器(解码器)也有  $C$  个,标签从分组分离后经光分路器被分为  $C$  份,送入相关器进行标签识别。当  $C$  取值区间为  $(2, 16)$  时,分光损耗从 6dBW 递增到 15.01dBW<sup>[12]</sup>,而且随着输入标签数(光分路器数)的增加,分光损耗将随之继续增大。由此可知,当为了增加网络吞吐量而增加标签数量时,光分路器的性能也是个重要考虑因素,当标签数量过多,分光损耗增大会造成误码率的增加。

在节点交换的输出端口,当多个相同波长上的分组同时需要从同一端口输出时,就会出现竞争。目前解决竞争 2 个主要方法是光缓存和波长转换器(TWC)。使用 TWC 时,分组丢失率不会随着使用数量的增加而继续减小,当 TWC 增加到一定数量时,分组丢失率趋于某个定值。所以单纯使用 TWC 并不能完全起到对网络性能改善的作用。目前光域缓存采用光线延迟线(FDL)来实现,但 FDL 有很大的硬件开销,比如延迟  $0.5\mu\text{s}$  就需要 1km 的 FDL,而且会使节点变得复杂庞大。所以,这里采用 TWC 和 FDL 结合的方式来解决节点输出端口的竞争问题。为了能够节省 TWC 使用数量又能减小分组丢失率,TWC 的配置采用节点共享(SPN)的结构。对于 FDL 的配置,采用可以节约 FDL 长度和减小系统体积的反馈共享非简并延迟线(NDF)结构。当输出端口发生竞争时,处理过程如下。首先,控制中心从竞争的分组中找出优先级高的分组,直接从该波长信道输出,保持原有波长的一致性。对于剩下的竞争分组,这里使用 TWC,通过调用最小度优先调度(MDF)算法<sup>[13]</sup>对竞争的分组进行波长分配。MDF 算法通过对输入分组和输出波长信道建立交换偶图,从转换度最小的波长信道开始分配,尽量选择原波长的分组进行输出,保持原波长的一致性,减小 TWC 的使用数量,实现了转换偶图的最大匹配。随后,控制中心根据匹配的结果将需要进行波长转换的分组送入共享波长转换

器转化后输出。对于匹配过程中没有分到输出波长的分组，调度中心根据这些分组的优先级，将其送入不同长度的 FDL 进行延时，这些分组将被送往输入端和新到达的分组一起进入交换矩阵。这种循环结构虽然会对网络的延时产生一定影响，但通过将竞争的分组重新送到输入端进行交换，提高了这些分组保持原有波长一致性输出的几率，即减少了 TWC 使用的概率。当经过 TWC 转换后的分组数量大于 FDL 的深度时，这些分组将被丢弃，产生分组丢失。

本文根据以上分析提出 FEC 分组结构设计方 案，如图 2 所示，帧头和帧尾作为边界标识信息，是为了便于在出口节点解帧时对净荷进行检测。在边缘出口节点，当探测器检测到帧头时，便开始对分组中的数据分组解封装，当检测到帧尾信息时便认为拆封过程结束，通知系统重新进入帧头的检测状态。保护间隔作为预留偏置时间，用于系统对帧头信息进行处理。分隔符用于帧的解封装，对数据分组的开始和结束进行识别。为了能够保证分隔符不会与分组净荷重叠，这里采用将 10111111 经过 8byte/10byte 进行冗余编码后的 10bit 字符作为数据分组之间的分隔符。时间同步信号用于在信号传输恶化时，核心节点再生器对分组进行时钟提取，实现比特的再同步，消除时钟漂移。标签和数据帧之间的保护时间根据网络的资源和路径信息确定，合适的保护时间间隔对网络的传输性能有着非常重要的影响。这里假设核心节点对标签的处理时间为  $T_b$ ，每个交换矩阵的配置时间为  $T_p$ ，则保护时间间隔可设置为  $T_s=T_b+T_p$ 。偏置时间过长，可能会造成载荷在光缓存中等待时间过长，引起分组丢失的情况，网络的利用率会下降；偏置时间过短，不利于载荷与标签分离，这样对光缓存的设计精度要求也会增加。

### 3 性能分析

#### 3.1 开销比率

考虑到现有光器件处理的限制，目前采用光电混合的方式对光码标签进行处理，即对光码标签进行光解码后，经 O/E 转换后在控制中心再进行下一

步的电处理。所以，这里标签和载荷分别采用不同的传输速率。光码标签由于信息量较小，因此可以用较小的速率传输；而载荷在核心节点无需做任何处理，全光透明地通过，用较大的速率传输，可以实现载荷部分的信息量的动态变化。本文仿真使用的标签速率和载荷速率分别为 2.5Gbit/s、10Gbit/s。分组的大小取最大长度为 5 000byte，最小长度为 200byte，标签的长度固定。这里采用时间单位来计算开销比率。

$$h_{overhead} = [t_{assemb} + (t_{packet} - t_{payload})] / t_{payload} \quad (1)$$

其中， $t_{assemb}$  表示数据在边缘节点的排队组装，交换和发送的时延， $t_{packet}$  代表光分组的时延，由载荷时延、标签时延、保护间隔和同步时间组成。在这里， $t_{payload}$  包括帧头、帧尾、数据间隔和净荷部分总的时延。

$$t_{assemb} = t_{queue} + t_{swith} + t_{send} \quad (2)$$

$$t_{packet} = t_{payload} + t_{label} + t_{guardtime} + t_{syn} = L_{payload} / v_{payload} + L_{label} / v_{label} + t_{guardtime} + t_{syn} \quad (3)$$

其中， $L_{payload}$ ， $L_{label}$  分别代表分组的长度和标签长度， $v_{label}$ ， $v_{payload}$  分别代表分组和标签的传输速率。 $t_{guardtime}$ ， $t_{syn}$  分别表示保护时间和同步时间。将式(2)和式(3)代入式(1)得：

$$h_{overhead} = (t_{queue} + t_{swith} + t_{send} + t_{label} + t_{guardtime} + t_{syn}) / t_{payload} \quad (4)$$

由式(4)可以看到，分母的  $t_{payload}$  值与到达边缘节点的突发性有关，当  $t_{payload}$  在某一很小的观察时间内看为定值时，开销比率取决于分子上的数值大小。 $t_{queue} + t_{swith} + t_{send}$  主要由节点的物理结构和相关算法（组装及调度算法）决定，当节点性能优良以及算法合适时，这几项的值可以取得最小。 $t_{label} + t_{guardtime} + t_{syn}$  则取决于在 FEC 数据结构设计时的人为设定，所以 FEC 设计时后 3 项的取值对网络的性能有直接的影响。本文将根据  $t_{label}$ ， $t_{guardtime} + t_{syn}$  在取不同值的情况下对开销比进行讨论。仿真时，取  $t_{assemb} / t_{packet}$  为 3%。 $t_{guardtime} + t_{syn}$  在 FEC 结构确定

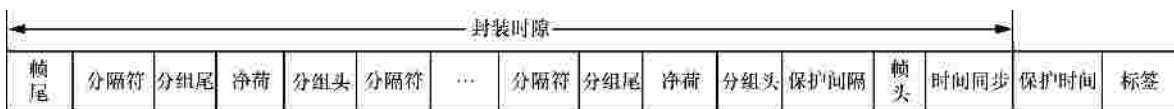
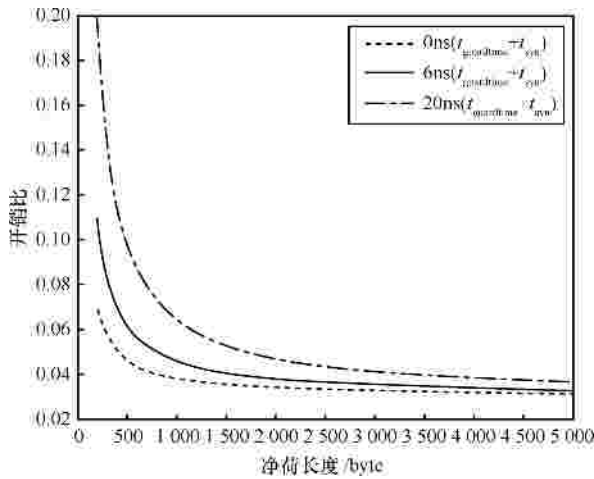


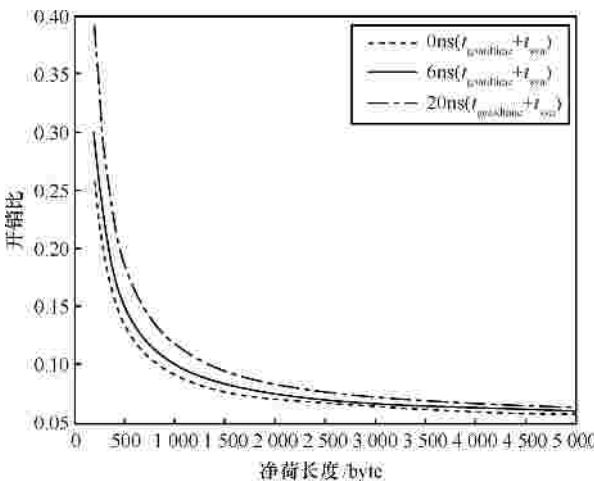
图 2 FEC 分组结构

后,一般是定值,这里取 0ns, 6ns, 20ns 3 种情况, 标签长度分别为 2byte 和 10byte 进行 MATLAB 仿真。

由图 3 可以看出,随着净荷值在 FEC 结构中比例的增大,开销比率也随之减小。在净荷一定的情况下,开销比随着  $t_{guardtime} + t_{syn}$  的减小而减小。通过图 3 的对比可知,在标签取不同值的情况下,随着净荷的增加,开销率都趋近定值  $t_{assemb} / t_{packet}$ , 根据式(1)可知,随着  $L_{payload}$  的增大,  $t_{payload}$  也随之增大,在开销小的可以忽略的情况下,开销比  $h_{overhead}$  最终趋近于  $t_{assemb}$  与  $t_{packet}$  的比值。所以仿真图与理论分析一致。 $t_{assemb}$  与边缘路由器物理性能和相关算法有关,由此可见,要实现数据传输效率的提高,边缘节点的硬件物理结构和相关算法对网络性能起着根本的限制作用。



(a)  $L_{label} = 2\text{byte}$ ,  $v_{label} = 2.5\text{Gbit/s}$ ,  $v_{payload} = 10\text{Gbit/s}$



(b)  $L_{label} = 10\text{byte}$ ,  $v_{label} = 2.5\text{Gbit/s}$ ,  $v_{payload} = 10\text{Gbit/s}$

图 3 开销比在不同标签长度下的变化规律

从图 3 还可以看出,如果以开销比 10% 为标准,在标签长度为 2byte 的情况下,当净荷长度 1 200byte 左右时,进入 10% 的区间内;标签为 10byte 的情况下,净荷达到  $2 \times 10^3\text{byte}$  时才进入 10% 的区间,说明在标签比较小的情况下,网络的传输效率的收敛速度越快。可见对于光码标签网络,为了满足更多的用户传输要求而增加码字长度时,标签所占比例增加的情况下,网络的传输性能也会随之受到影响。

### 3.2 排队性能分析

进行队列组装的算法主要有固定时隙算法 (FTA, fixed time arithmetic) 和固定门限算法 (FSA, fixed size arithmetic)。与后者相比,FTA 能够有效地限制分组组装时延,满足高速率交换要求。在对分组进行组装时,到达率和组装时延是影响算法性能的重要参数,也是引起网络分组丢失率的重要因素。

本文为方便讨论,设每个队列中的 QoS 优先级只有 1 个,即缓存子队列为 1 个。

由于负指数分布具有无记忆性,而进入组装队列的各个数据分组长度不受其进入队列的先后顺序影响,即进入组装队列的数据分组都相互独立,故在这里假设数据分组的长度  $l$  服从负指数分布,则其概率密度为  $f(l) = \frac{1}{b} e^{-l/b}$ ,  $b = E(l)$ , 根据 NLANR 的数据,长度为 40byte 的数据分组占 59.21%, 576byte 的占 20.63%, 1 500byte 的占 20.16%, 由此可计算得平均分组长为:  $E(l) = 40 \times 59.21\% + 576 \times 20.63\% + 1500 \times 20.16\% = 445\text{byte}$ 。

进入边缘节点的数据分组流具有长程相似性和短程相似性,两者都会对系统的排队性能造成影响。文中对数据流具有短程相似属性的情况进行排队性能分析。在组装时隙  $t_{out}$  内,进入组装队列的数据分组数量服从到达率为  $l$  的泊松分布,则组装队列  $i$  在组装时延  $t_{out}$  内的到达数据分组数量为  $n$  的概率为:  $p_i(n) = (l t_{out})^n / n! e^{-l t_{out}}$  由于文中已经假设进入组装队列的各个数据分组都相互独立,且都服从具有无记忆性的负指数分布,根据概率论可知,当  $n (n > 0)$  服从强度为  $l$  的泊松分布时,  $n$  个独立同分的随机变量之和服从复合泊松分布<sup>[14]</sup>,即组装生成的分组长度  $L$  服从复合泊松分布。根据复合泊松过程的性质可知,生成的分组平均长度  $E(L) = l t_{out} E(l)$ , 方差  $D(L) = l t_{out} E(l^2)$ 。由此可以看出,当  $E(l)$  一定时,边缘节点组装生成分组的平

均长度受到达率和组装时延影响。当组装时延和到达率较大时，生成分组概率增大，但分组大小分布的波动范围（方差）也较大。当来自接入网的流量特性发生变化时， $E(l)$  随之变化，这也会对生成的分组大小产生影响。

由于各个队列独立同分布，则各个队列组装生成的分组长度  $L$  的分布函数可统一表示为

$$F(L) = P(L_i \leq L) = P\left(\sum_{i=1}^n l_i \leq L\right) \quad (5)$$

由全概率公式得：

$$\begin{aligned} F(L) &= \sum_{k=1}^{\infty} p(n=k) p\left(\sum_{i=1}^n l_i \leq L \mid n=k\right) \\ &= \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(l t_{out})^k}{k!} e^{-l t_{out}} p\left(\sum_{i=1}^n l_i \leq L \mid n=k\right) \\ &= \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(l t_{out})^k}{k!} e^{-l t_{out}} p\left(\sum_{i=1}^n l_i \leq L\right) \end{aligned} \quad (6)$$

根据概率论知， $k$  个独立同分布的负指数随机变量的和服从厄兰分布<sup>[14]</sup>，则  $\sum_{i=1}^k l_i$  的概率密度可表示为

$$f(L_i) = \frac{\left(\frac{L_i}{b}\right)^{k-1}}{b(k-1)!} e^{-\frac{L_i}{b}} = \frac{L_i^{k-1}}{b^k g(k)} e^{-\frac{L_i}{b}} \quad (7)$$

其中， $g(k)$  为伽玛函数。将式(7)代入式(6)得：

$$\begin{aligned} F(L) &= \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(l t_{out})^k}{k!} e^{-l t_{out}} \int_{-\infty}^L \frac{L_i^{k-1}}{b^k g(k)} e^{-\frac{L_i}{b}} dL_i \\ &= \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(l t_{out})^k}{k!} e^{-l t_{out}} \left(1 - \sum_{i=0}^{k-1} e^{-\frac{L}{b}} \frac{\left(\frac{L}{b}\right)^i}{i!}\right) \end{aligned} \quad (8)$$

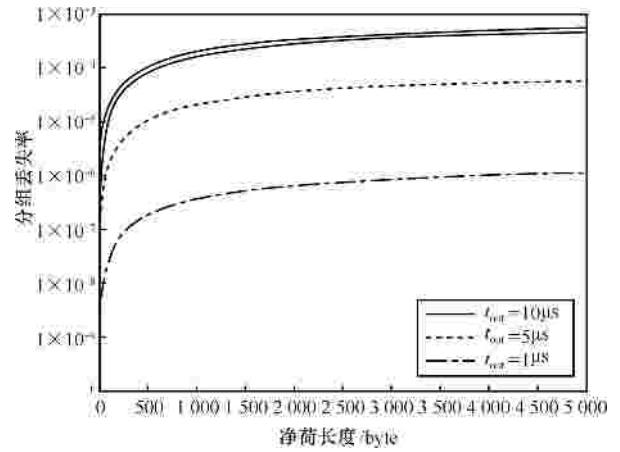
则分组丢失率为

$$\begin{aligned} PLR &= F(L) \left(\frac{1}{N}\right) \\ &= \sum_{i=1}^W \left\{ \frac{(W l t_{out})^i}{i!} e^{-W l t_{out}} \sum_{j=1}^i \binom{i}{j} \left(\frac{1}{N}\right)^j \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{i-j} \right\} \end{aligned} \quad (9)$$

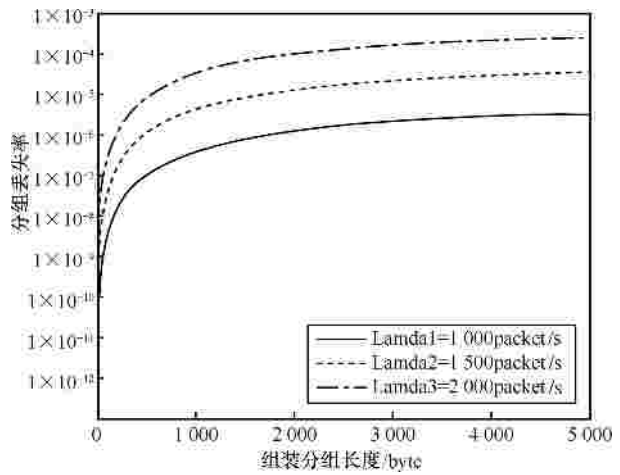
其中， $W$  为单根光纤中的波长数， $N$  为输出端口数，这里分别取  $W=50, N=10$ 。到达率取  $1000\text{packet/s}$ 。在组装时延  $t_{out}$  分别取  $1\mu\text{s}$ 、 $5\mu\text{s}$ 、 $10\mu\text{s}$  3 种情况进行 MATLAB 仿真。

从图 4 可以看出，在边缘节点输出端口一定的情况下，随着分组长度的增加，边缘节点发送时延

增大的可能性也随之增加，这样就会引起分组丢失率的增大。



(a)  $\lambda=1000\text{packet/s}$



(b)  $t_{out}=5\mu\text{s}$

图 4 不同情况下的分组丢失率

由图 4(a)可以看到，在同一封装时延内，由于数据分组到来的随机性，组装的分组长度越大，分组丢失率也越大。纵坐标方向上，在分组长度和到达率一定的情况下，组装时延越大，生成分组的概率增加，分组丢失率也越大，这可以等效成在固定组装长度变长组装时延（FSVS, fixed-size & variable-slot）组装机制的情况，生成同样大小的分组，需要的组装时延越大，引起网络的时延也越大，分组丢失率也会随之增加。

图 4(b)中，在封装时延一定的情况下，到达率越大，在组装时延内到来的数据分组越多，生成的长分组的可能性随之也增大，分组丢失率会增加。在纵坐标方向上，当分组长度一定时，到达率大的分组丢失率也大。出现这种情况是因为受边缘节点

组装队列的物理缓存大小的限制, 组装队列只能容纳特定长度的分组长度, 当到来的数据量增大, 生成分组概率跟着增大, 当该长度在封装时延内超过缓存大小时, 多余的数据分组就会被丢弃, 从而造成分组丢失率的增大。由此可知, 在考虑网络数据流量变化的情况下, 组装队列的缓存大小对网络的性能也有至关重要的影响。

从图 4 中还可以看到, 当分组长度增到一定程度时, 分组丢失率趋于某个特定的值。这是基于这样的事实: 在组装队列的缓存大小、封装时延以及到达率等参量一定的情况下, 生成的分组长度不可能无限制的增加或减小, 即分组长度是在一定的范围内变化的, 这样会引起边缘节点分组丢失率在一定范围内变化, 最终会趋向某个特定数值。

#### 4 结束语

本文给出了转发等价类的设计方案, 分组结构能够适应变长数据分组的传输, 在核心节点能够对标签进行并行处理。通过仿真分析了标签、保护间隔以及同步时间与开销比的关系。仿真结果表明, FEC 分组结构的控制部分所占比例是影响开销比的直接因素, 其根本因素取决于边缘路由器的物理性能和相关算法。接着对在不同封装时延和到达率情况下, 分组丢失率的变化规律进行仿真, 结果表明在采用定长时隙算法时, 在固定组装延期内, 随着组装分组长度的增加, 分组丢失率随之增大。同时可推知, 组装的分组长度是在一定范围内变化的, 分组丢失率会趋向于某个定值, 所以封装队列缓存大小的设计对网络性能有影响。

#### 参考文献:

- [1] TUCKER R S, ZHONG W D. photonic packet switching: an overview[J]. IEICE Trans Commun, 1999, 82(2):254-255.
- [2] SOTOBAYASHI H, KITAYAMA K. Optical code based label switching for photonic routing[J]. IEICE Trans Commun, 2000, 83(10): 2341-2343.
- [3] BLUMENTHAL D J, PRUCNAL P R, SAUER J R. Photonic packet switches: architectures & experimental implementations[J]. Proceeding of the IEEE, 1994, 82(11): 1650-1655.
- [4] WANG Y B, LI B X. Optical code-labeled router based on OCDM[J]. OPT Commun Netw, 2010, 2: 111-113.
- [5] HUANG S W, BABA K, MURATA M. Fine multi-granularity optical paths by novel OCDM-based switch architecture[A]. The 5th International Conference on Optical Internet[C]. Jeju, Korea, 2006. 80-81.
- [6] HENRIQUE L, GALDINO L, DURAN F R. Analysis of unbalanced WDM/OCDM transparent optical networks with physical constraints[J]. ICOTO, 2010, 3(6): 1-2.
- [7] HUANG S W, BABA K, MURATA M. Variable-bandwidth optical paths: comparison between optical code-labeled path and OCDM Path[J]. Journal of Lightwave Technology, 2006, 24(10): 3563-3567.
- [8] CAO X J, LI J K, CHEN Y, etc. Assembling TCP/IP packets in optical burst switched networks[A]. IEEE Global Telecommunications Conference[C]. 2002.2808-2810.
- [9] WEI B, WU C Q, GAO K Q. The study of performance of assembly mechanism of edge node of asynchronous optical packet network[J]. Optical Network, 2008, (1): 1-2.
- [10] YAN H. The study of performance of optical packet network based on WDM and OCDM[D]. Electronic Science and Technology of China, 2009.
- [11] THAKULSKANANT K, LI B, MON I. All-optical label swapping using bistable semiconductor ring laser in an optical switching node[J]. Journal of Lightwave Technology, 2009, 27(6):632-633.
- [12] LI, S W. The study of optical code label based on OCDM in optical packet network[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2009.
- [13] WANG Y, QIU K, LING Y. Researches in limited-range wavelength converters distributed algorithms of minimum degree first in optical packet switching[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2005, 34(6): 961-962.
- [14] LIU C H. Random Progress (Second Edition)[M]. Wuchang: Huazhong University of Science & Technology Press, 2005. 15-39.

#### 作者简介:



王玉宝(1968-), 男, 河北秦皇岛人, 博士, 燕山大学副教授、硕士生导师, 主要研究方向为光纤通信。



纸少瑜(1984-), 男, 陕西西安人, 燕山大学硕士生, 主要研究方向为光纤通信。