

文章编号:1001-9081(2005)09-2094-04

IP/DWDM 光 Internet 中的一种并行公平智能 QoS 组播路由机制

王兴伟^{1,2}, 刘 聪¹, 崔建业¹, 黄 敏²

(1. 东北大学 计算中心, 辽宁 沈阳 110004; 2. 东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004)
(wangxw@mail.neu.edu.cn)

摘 要: QoS 需求的区间表示形式体现了对柔性与异构 QoS 的支持; 根据微观经济学理论与方法, 建立基于 Kelly/PSP 模型的定价策略, 体现组间公平性; 使用下游链路均分方法在组成员之间分摊费用, 体现组内公平性; 基于并行化点火耦合神经网络, 建立智能 QoS 组播路由并行算法, 充分挖掘点火耦合神经网络内在的并行能力, 而且具备对网络规模与问题规模的良好可伸缩性。以上各方面有机结合, 构成 IP/DWDM 光 Internet 中的并行公平智能 QoS 组播路由机制。仿真结果表明, 该机制是可行和有效的, 其时间效率优于相应的串行算法。

关键词: IP/DWDM 光 Internet; QoS 组播; 路由; 公平性; 并行性; 微观经济学; 神经网络
中图分类号: TP393 **文献标识码:** A

Parallel, fair and intelligent QoS multicast routing mechanism in IP/DWDM optical internet

WANG Xing-wei^{1,2}, LIU Cong¹, CUI Jian-ye¹, HUANG Min²

(1. Computing Center, Northeastern University, Shenyang Liaoning 110004, China;

2. College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang Liaoning 110004, China)

Abstract: QoS requirement is denoted by the range to support the flexible and heterogeneous QoS. According to the microeconomics theory and method, a Kelly/PSP model-based pricing strategy was presented to support the inter-group fairness. The ELSD (Equal Link Split Downstream) method was adopted to apportion the cost among group members, thus the intra-group fairness was provided. Based on the parallelized FCNN (Firing Coupled Neural Network), a parallel and intelligent QoS multicast routing algorithm was introduced, exploiting the inherent parallelism in FCNN fully and improving the scalability to the network size and the problem complexity significantly. Combining the above, a parallel, fair and intelligent QoS multicast routing mechanism was established. Simulation results have shown that the proposed mechanism is both effective and efficient, and the runtime efficiency of the proposed parallelized algorithm is higher than its corresponding serialized one.

Key words: IP/DWDM optical Internet; QoS multicast; routing; fairness; parallelism; microeconomics; neural network

0 引言

随着 Internet 运营的渐趋商业化, 付费上网已是大势所趋。对于组播应用, 费用的计算与分摊如何体现组间与组内公平性^[1]更是迫切需要解决的问题, 按照“谁受益谁付费”的原则, 实现“以质论价”和“优质优价”。由于网络状态信息的不精确性与动态性以及用户 QoS 需求的难以准确刻画, 因此需要支持柔性 QoS, 而组中不同成员可能不同的 QoS 需求客观上又要求支持异构 QoS。

IP/DWDM 光 Internet 是下一代互联网 NGI (Next Generation Internet) 主干的核心组网技术之一, 而 QoS 与组播是其必备的能力^[2]。因此, 研究 IP/DWDM 光 Internet 中的 QoS 组播路由机制不仅具有理论意义而且具有实际应用价值。

本文研究 IP/DWDM 光 Internet 中的 QoS 组播路由问题。在所提出的机制中, 采用区间形式的 QoS 需求描述, 支持柔性与异构 QoS; 采用基于价格的 Kelly 模型^[3]与基于博弈论的 PSP 模型^[4]相结合的微观经济学定价策略, 不仅可以体现组

间公平性, 而且有助于使波长资源分配达到 Pareto 最优^[3]与 Nash 均衡^[4]; 采用下游链路均分方法^[5]分摊费用可以体现组内公平性; 基于并行化点火耦合神经网络 FCNN (Firing Coupled Neural Network)^[6], 提供求解多约束柔性异构 QoS 组播路由问题的智能算法, 既充分挖掘 FCNN 内在的并行性, 提高运算效率, 适应网络规模与问题规模的可伸缩性, 又保证 QoS 需求的满足; 以上各方面的有机结合, 构成 IP/DWDM 光 Internet 中的并行公平智能 QoS 组播路由机制。仿真研究表明, 该机制是可行和有效的, 其时间效率优于相应的串行算法。

1 并行公平智能 QoS 组播路由机制

1.1 网络模型

IP/DWDM 光 Internet 可以表示为连通图 $G(V, E)$ 。其中, V 是节点 (波长路由器或者光交叉连接器) 的集合, E 是边 (光纤) 的集合。设每个节点 $v_i \in V$ 都具有组播能力, 配置有分光器, 能够将输入光信号劈分成任意路数的输出光信号。任意一个节点 v_i 都包含三个参数: dn_i, jt_i, ln_i , 分别表示 v_i 的延迟、延

收稿日期: 2005-03-03; 修订日期: 2005-05-24 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60473089; 60003006; 70101006); 辽宁省自然科学基金资助项目 (20032018; 20032019); 教育部现代远程教育工程资助项目 (200403)

作者简介: 王兴伟 (1968-), 男, 辽宁盖州人, 教授, 博士生导师, 博士, 主要研究方向: 下一代互联网、IP/DWDM 光 Internet、移动因特网; 刘聪 (1981-), 女, 江苏兴化人, 硕士研究生, 主要研究方向: IP/DWDM 光 Internet; 崔建业 (1981-), 男, 辽宁沈阳人, 硕士研究生, 主要研究方向: IP/DWDM 光 Internet; 黄敏 (1968-), 女, 福建长乐人, 教授, 博士生导师, 博士, 主要研究方向: 企业风险管理、优化模型算法。

迟抖动和分组丢失率, $i = 1, 2, \dots, |V|$ 。任意一条边 $e_{ij} \in E$ 都包含四个参数: $ct_{ij}, wn_{ij}, de_{ij}, le_{ij}$, 分别表示该条边的费用、支持的最大波长数、延迟和比特出错率, $j = 1, 2, \dots, |V|$ 。边 e_{ij} 的可用波长集为 $\Lambda(e_{ij}), \Lambda(e_{ij}) \subseteq \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{wn_{ij}}\}$ 。

1.2 数学模型

用 $R = (s, D, Dlb, Dub, Elb, Eub, Wv)$ 表示 QoS 组播路由请求。其中, $s \in V$ 表示组播源节点; $D \subseteq \{V - \{s\}\}$ 表示组播目的节点集合; Dlb 和 Dub 分别表示组播延迟的下限与上限; Elb 和 Eub 分别表示组播出错率的下限与上限; Wv 表示需求的波长数。

在组播树 $T(s, D)$ 上, 对 $\forall d \in D$ 而言, 有如下关系成立:

$$Delay(P_T(s, d)) = \sum_{v_i \in P_T(s, d)} dn_i + \sum_{e_{ij} \in P_T(s, d)} de_{ij} \quad (1)$$

$$Jitter(P_T(s, d)) = \sum_{v_i \in P_T(s, d)} jt_i \quad (2)$$

$$Error(P_T(s, d)) = 1 - \prod_{v_i \in P_T(s, d)} (1 - ln_i) \prod_{e_{ij} \in P_T(s, d)} (1 - le_{ij}) \quad (3)$$

$$\Lambda(P_T(s, d)) = \bigcap_{e_{ij} \in P_T(s, d)} \Lambda(e_{ij}) \quad (4)$$

$$\Lambda(T(s, D)) = \bigcap_{d \in D} \Lambda(P_T(s, d)) \quad (5)$$

$$Cost(T(s, D)) = \sum_{e_{ij} \in T(s, D)} ct_{ij} \quad (6)$$

其中, $P_T(s, d)$ 为组播树 $T(s, D)$ 上从源节点 s 到目的节点 d 的路径。

QoS 组播路由算法需满足如下约束条件:

- (1) 延迟约束: $Dlb \leq Delay(P_T(s, d)) \leq Dub$;
- (2) 延迟抖动约束: $0 \leq Jitter(P_T(s, d)) \leq Dub - Dlb$;
- (3) 出错率约束: $Elb \leq Error(P_T(s, d)) \leq Eub$;
- (4) 波长约束: $W_v \leq |\Lambda(T(s, d))|$ 。

算法的目标是在满足 QoS 需求条件下使组播树的费用最小, 数学描述如下:

$$Minimize Cost(T(s, D))$$

s. t. 约束(1)、(2)和(4) (7)

需要说明的是, 式(4)和式(5)服从波长连续性约束。对于节点具备波长转换能力的情况, 定义如下波长转换函数 WCF, 它可以根据节点波长转换能力实现边上可用波长集变换。这样既可以打破波长连续性约束, 又可以使式(4)和式(5)依然可用:

$$\Lambda(e_{ij}) = WCF(\Lambda(e_{ij})) \quad (8)$$

1.3 基于 Kelly/PSP 模型的定价策略

基于 Kelly/PSP 模型^[3,4,7,8], 设计了 IP/DWDM 光 Internet 中的波长定价策略。在该策略下, 每条边采用如下波长单价公式:

$$Wp_{ij} = k_1 \left(\frac{1}{wn_{ij}} \right) \cdot \frac{a_{ij}}{(1 - Or_{ij})^{b_{ij}+1}} + k_2 wa_{ij} \quad (9)$$

其中, Wa_{ij} 为边上当前可用波长数; Or_{ij} 为边上波长资源占用率, 根据公式(10)确定; k_1 和 k_2 是加权系数, 根据实际情况设定; a_{ij} 和 b_{ij} 为边上的波长定价经验参数, 可以根据式(14)和式(15)求得。采用式(9)对波长定价, 既考虑了边上波长资源占用率, 又考虑了边上当前可用波长数, 因此更合理一些。例如, 链路 A 所支持波长数为 2, 链路 B 所支持波长数为 20。如果链路 A 中波长资源占用率为 50%, 则此时可用波长数为 1; 如果链路 B 波长资源占用率为 60%, 则此时可用波长数为 8。很明显, 链路 B 的波长资源使用价格应当低于链路 A。如果仅仅考虑链路波长资源的占用率, 则得到的结果恰恰相反。所

以, 应该综合考虑链路波长资源的占用率和链路剩余波长资源的绝对数量。

$$Or_{ij} = \frac{wn_{ij} - Wa_{ij}}{wn_{ij}} \quad (10)$$

R 在边 e_{ij} 上的费用 ct_{ij} 的计算公式如下:

$$ct_{ij} = Wv \times Wp_{ij} \quad (11)$$

参考文献[7]把波长单价分为三个区: 低价区、平价区与高价区。把经验统计中有 90% 以上和 20% 以下潜在用户使用的情况分别定为高价和低价区, 其余为平价区。当边只有潜在用户的 20% 使用而波长资源占用率很低(设为 η_0)时, 设置偏低价为 π_0 ; 在有潜在用户的 90% 使用而波长资源占用率很高(设为 η_1)时, 设置偏高价为 π_1 ; 把 $[\pi_0, \pi_1]$ 作为波长单价定价的合理取值范围, 而 $[\eta_0, \eta_1]$ 作为波长资源占用率的合理取值范围, 则根据式(9)有:

$$\pi_0 = k_1 \left(\frac{1}{wn_{ij}} \right) \frac{a_{ij}}{(1 - \eta_0)^{b_{ij}+1}} + k_2 wn_{ij} (1 - \eta_0) \quad (12)$$

$$\pi_1 = k_1 \left(\frac{1}{wn_{ij}} \right) \frac{a_{ij}}{(1 - \eta_1)^{b_{ij}+1}} + k_2 wn_{ij} (1 - \eta_1) \quad (13)$$

根据式(12)和式(13)可确定参数 a_{ij} 和 b_{ij} 的值如下:

$$a_{ij} = e^{\ln wn_{ij} + \ln \frac{\pi_0 - k_2 wn_{ij} (1 - \eta_0)}{k_1} + \frac{\ln[\pi_0 - k_2 wn_{ij} (1 - \eta_0)] - \ln[\pi_1 - k_2 wn_{ij} (1 - \eta_1)]}{\ln(1 - \eta_1) - \ln(1 - \eta_0) - 1}} \quad (14)$$

$$b_{ij} = \frac{\ln[\pi_0 - k_2 wn_{ij} (1 - \eta_0)] - \ln[\pi_1 - k_2 wn_{ij} (1 - \eta_1)]}{\ln(1 - \eta_1) - \ln(1 - \eta_0)} - 1 \quad (15)$$

定价策略描述如下: 当边上的波长资源位于低价区时, 边上波长单价使用 π_0 保持不变, 以降低计算开销; 当边上的波长资源位于平价区时, 使用式(9)即时确定波长单价; 当边上的波长资源位于高价区时, 竞拍波长, 竞拍底价为 π_1 , 出价最高者获得波长使用权, 若无参拍者, 则流拍。

根据微观经济学理论, 采用基于价格的 Kelly 模型思想有利于实现波长资源分配的 Pareto 最优^[3], 而采用基于博弈论的 PSP 模型思想有利于达到在网络提供方收益与用户 QoS 需求满足之间的 Nash 均衡^[4], 因此两者的结合, 不仅可以体现组间公平性, 而且有助于寻找网络提供方与用户之间的“双赢”平衡点。

1.4 组播费用的公平分配

为了进一步实现组内公平性, 还需要在组成员之间公平分摊费用。常见方法主要有: 树内均分 ETS (Equal Tree Split)、下游链路均分 ELSD (Equal Link Split Downstream) 和下跳均分 ENHS (Equal Next-Hop Split)^[5]。ETS 是将组播费用均分给所有接收者; ELSD 是所有共享某条链路的接收者共同承担该条链路的费用, 其他接收者不分摊此费用; ENHS 是将每个下游出口直接链路作为一个接收者, 与本地接收者均分上游链路费用。按照“谁受益谁付费”原则, 本文采用 ELSD 来体现组内公平性, 描述如下:

$S(v_i)$ 是节点 v_i 及其下游所有组播目的节点的集合, $IC(v_i)$ 是节点 v_i 上游分摊下来的费用, $OC(e_{ij})$ 是分摊给下游出口链路 e_{ij} 的费用, 则有如下计算公式:

$$OC(e_{ij}) = IC(v_i) \times \frac{|S(v_j)|}{|S(v_i)|} \quad (16)$$

$$IC(v_j) = ct_{ij} + OC(e_{ij}) \quad (17)$$

节点 v_i 承担的本地费用为 $\frac{IC(v_i)}{|S(v_i)|}$ 。

1.5 并行智能 QoS 组播路由算法

并行算法一般都依赖于一定的计算模型。本文提出的并行算法基于单指令流多数据流 SIMD (Single Instruction Multiple Data) 共享存储模型。

为了描述并行性,引入如下几条并行语句:

(1) for each $i_1, i_2, \dots, i_k: P$ pardo

...

endfor

表示若谓词 P 为真,则编号为 i_1, i_2, \dots, i_k 的处理器并行执行循环体的指令序列。

(2) upon receiving M message from u do:

...

表示一旦收到来自节点 u 的消息 M 后,就执行相应计算。

(3) send M message to u ;

表示将消息 M 发送给节点 u 。

在本文提出的并行算法中,运行主程序 H 的处理器采用分治术^[9]将计算任务分配给 p 个处理器执行,每个处理器至多负责 $\lceil n/p \rceil$ 个神经元的计算任务, $p \geq 2$ 。处理器 p_q ($1 \leq q \leq p$) 负责编号从 $(q-1)\lceil n/p \rceil + 1$ 至 $q\lceil n/p \rceil$ 的神经元的计算任务, $1 \leq q \leq p-1$, 处理器 p_p 负责剩下的编号从 $\lceil n/p \rceil(p-1) + 1$ 到 n 的神经元计算任务。

算法描述如下:

Step 1: for each $P_q: 1 \leq q \leq p$ pardo

Step 1.1: 初始化: $\forall v_j \in V_{P_q}$, 令 $\theta_j(0) = 0, y_j(0) = 0,$
 $j = 1, 2, 3, \dots, |V_{P_q}|$

/* V_{P_q} 表示处理器 P_q 负责的神经元构成的集合 */

Step 1.2: Send $ini(P_q)$ message to H ;

/* $ini(P_q)$ 表示处理器 P_q 初始化完毕的消息 */

endfor

Step 2: Upon receiving $ini(P_q)$ message from all $P_q: 1 \leq q \leq p$ do:

H 让 $start$ 神经元点火,即设 $\theta_{start}(1) = -\epsilon, y_{start}(1) = 1,$ 并保持其他神经元状态不变, ϵ 为一正数。

Send $st(H)$ message to all $P_q: 1 \leq q \leq p$;

/* $st(H)$ 表示 H 已经把 $start$ 神经元点火的消息 */

Step 3: for each $P_q: 1 \leq q \leq p$ pardo

Upon receiving $st(H)$ message from H do:

Step 3.1: 对 $\forall v_i \in V_{P_q}$, 若神经元 i 已经点火,即 $y_i(k) \neq y_i(k-1)$, 分别按式(1)、式(2)、式(3)和式(4)计算路径 $start \rightarrow i$ 的延迟、延迟抖动、出错率与可用波长集;若有约束条件不满足,则对神经元做回退操作,执行 Step3.5; 否则执行 Step3.2。

Step 3.2: 自动波产生及其传播。对 $\forall v_j \in V_{P_q}$, 若神经元 i 和神经元 j 之间的连接权 $w_{ij} \neq 0$ 则分别按式(1)、式(2)、式(3)和式(4)计算路径 $start \rightarrow i \rightarrow j$ 的延迟、延迟抖动、出错率与可用波长集;如果所有约束条件都满足,则根据式(18)计算 $\theta_j(k)$, 否则 $\theta_j(k) = 0$ 。

/* V_0 和 Δt 是两个参数,根据实验结果取值。*/

$$\theta_j(k) = \begin{cases} V_0 - \frac{V_0}{w_{ij}} \Delta t, & y_i(k) \neq y_i(k-1) \\ V_j(k-1) - \frac{V_0}{w_{ij}} \Delta t, & y_i(k) = y_i(k-1) = 1 \\ 0, & y_i(k) = y_i(k-1) = 0 \end{cases} \quad (18)$$

Step 3.3: 分别按照式(19)和式(20)计算 $\theta_j(k)$ 和 $y_j(k)$ 。

$$\theta_j(k) = \text{Min}\{\theta_j(k) \mid w_{ij} \neq 0\} \quad (19)$$

$$y_j(k) = \begin{cases} 1, & y_j(k-1) = 1 \\ \text{step}(-\theta_j(k)), & y_j(k-1) = 0 \end{cases} \quad (20)$$

$$\text{step}(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \quad (21)$$

Step 3.4: 按式(22)计算 b_{ij} , 记录路径。

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, & \theta_j(k) = \theta_j(k) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (22)$$

Step 3.5: 重复 Step3.1 ~ Step3.4, 直到 V_{P_q} 中的所有神经元处理完毕。

Step 3.6: Send $fin(P_q)$ message to H ;

/* $fin(P_q)$ 表示 V_{P_q} 中的所有神经元都已经被处理完毕的消息 */

endfor

Step 4: Upon receiving $fin(P_q)$ message from all $P_q: 1 \leq q \leq p$ do:

H 判断:如果自动波回退到 $start$ 神经元,则路由失败;如果与 D 对应的所有神经元全部点火,则按式(5)计算组播树可用波长集,根据路径记录矩阵 $[b_{ij}]_{|V_1| \times |V_1|}$, 对与 D 对应的所有神经元进行路径回溯,预分配波长,按式(10)计算边费用,按式(6)计算组播树费用,得到满足约束条件下费用最小 QoS 组播路由树,路由成功。算法结束。

1.6 并行公平智能 QoS 组播路由机制工作流程

在使用上述算法得到预分配波长组播路由树之后,如果不需要竞拍波长或者竞拍成功,则实际分配波长,然后按 ELSD 方法在组成员之间分摊费用。工作流程如图 1 所示。

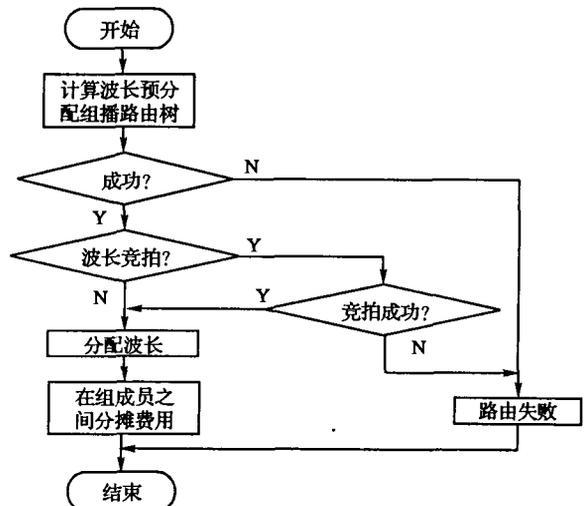


图 1 并行公平智能 QoS 组播路由选择机制工作流程

2 仿真实现与性能评价

对基于 SIMD 计算模型的并行算法时间复杂性的分析,主要是研究其运行时间与处理器数目以及问题规模之间的关系^[9]。由于与之相应的串行算法的时间复杂度为 $O(n^3)$ ^[10], 因此该并行算法的时间复杂度为 $O(n^3/p)$ 。

限于实验条件,以双 CPU 的 HP LH 6000 作为硬件平台,仿真实现了上述并行算法并与相应的串行算法进行了比较,仿真软件界面如图 2 所示。选取具有 10~100 个节点的网孔型拓扑作为仿真拓扑用例,图 3 是一个 30 节点网孔型拓扑示意图。图 4 是对应的仿真结果。

从图4可以看出,当网络规模较小时,并行算法与相应的串行算法相比优势不大,这是由于当网络规模较小时,并行算法执行所需的同步开销同节省的计算时间相比相当可观。当网络规模较大时,并行算法性能优于串行算法,性能大约提高15%~20%,与理论值100%相差较远,这主要与双CPU的HP LH 6000的机器结构与选用的操作系统等(如系统总线速度、Windows 2000双CPU调度机制等)有关。根据厂家评测报告,在多数情况下,双CPU整机性能比单CPU提高不超过30%。因此,可以认为本文的并行算法是可行和有效的。

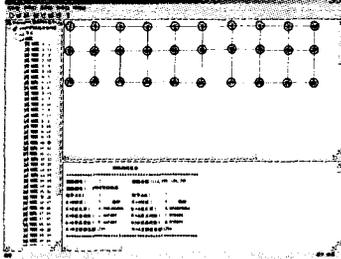


图2 仿真软件界面

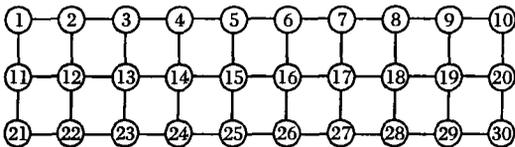


图3 30节点网孔型拓扑图

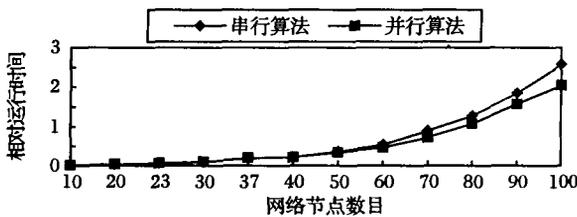


图4 并行算法与串行算法运行时间对比

3 结语

本文研究了IP/DWDM光Internet中的并行公平智能QoS

组播路由机制。基于微观经济学理论与方法,建立了基于Kelly/PSP模型的定价策略;基于FCNN并使之并行化,建立柔性异构QoS组播路由树;根据波长单价,得到组播费用,并且使用ELSD方法在组成员之间进行分摊。该机制不仅体现组间与组内公平性的要求,而且支持柔性异构QoS需求,还可促进波长分配达到Pareto最优且在网络提供方与用户之间取得Nash均衡,实现“双赢”。同时,通过挖掘FCNN的内在并行能力,提高了算法执行的时间效率,增强了算法对网络规模与问题规模的可伸缩性。因此,该机制可以较好地满足网络运营商业化的需要,从路由角度支持公平柔性异构QoS组播的实现。仿真研究表明,该机制是可行和有效的。

参考文献:

- [1] SMITH M, WINTER P. Path - distance heuristics for the Steiner problem in undirected networks[J]. Algorithmica, 1992, 7(2): 309 - 327.
- [2] GREEN P. Progress in optical networking [J]. IEEE Communication Magazine, 2001, 39(1): 54 - 61.
- [3] KELLY FP, MAULLOO A, TAN D. Rate control for communication networks: shadow prices, proportional fairness and stability[J]. Operational Research Society, 1998, 49(3): 237 - 252.
- [4] LAZAR AA, SEMRET N. Market pricing of differentiated Internet services[A]. IEEE/IFIP IWQoS'99[C], 1999. 597 - 612.
- [5] HERZOG S, SHENKER S, ESTRIN D. Sharing the "cost" of multicast trees: an axiomatic analysis [A]. ACM SIGCOMM'95[C], 1995. 576 - 591.
- [6] 张军英,王德峰,石美红. 基于点火耦合神经网络的多约束QoS路由算法[J]. 通信学报, 2002, 23(7): 40 - 46.
- [7] 富川,青木. イーサネットペンド幅のQoS制御の机能设计与实验[Z]. 研究所技术二エース, 富士通研究所, Mar. 1995.
- [8] 傅晓明,张尧学,马洪军,等. 一种基于市场模型的网络带宽分配方法[J]. 电子学报, 1999, 27(9): 127 - 130.
- [9] 陈国良. 并行算法的设计与分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 1994. 9 - 35.
- [10] 崔建业. IP/DWDM光因特网中基于神经网络和微观经济学的公平QoS组播路由选择算法的研究和仿真实现[D]. 沈阳: 东北大学, 2004.

(上接第2093页)

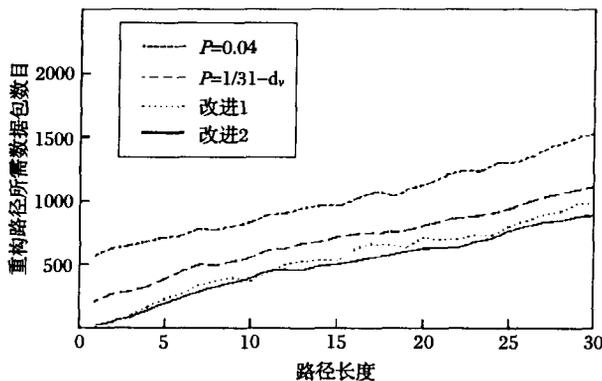


图2 四种包标记策略中重构路径所需数据包数的比较

4 结语

本文提出了一种新的自适应策略,通过实验表明,采用这种策略能取得比以往方法更好的结果,受害者只需要更少的数据包就能完成路径重构工作,从而能在更短时间内找出攻击路径并发现攻击源。但我们的结果是建立在路由器诚实和路由器都支持IP traceback的基础上的,如果路由器被攻击者

攻破,在标记数据包时伪造标记域,就可能找不到真正的攻击源;如果有的路由器不支持IP traceback,那么重构出的路径不完整,就对找到攻击源造成很大困难。解决这些问题是我们下一步的工作目标。

参考文献:

- [1] ALJIFRI H. IP Traceback: A New Denial - of - Service Deterrent? [A]. IEEE security and privacy[C]. 2003. 1540 - 7993.
- [2] SAVAGE S, WETHERALL D, KARLIN A, et al. Practical network support for IP traceback[A]. Proc. of ACM SIGCOMM Conference [C]. Stockholm, Sweden, 2000. 295 - 306.
- [3] LI DQ, SU PR, FENG DG. Notes on Packet Marking for IP Traceback[J]. Journal of Software, 2004, 15(2): 250 - 258.
- [4] PENG T, LECKI C, RAMAMOHRANRO K. Adjusted Probabilistic Packet Making[A]. Proc. of Networking2002[C]. Pisa, Italy, May 2002.
- [5] ADLER I, ROSS SM. The coupon subset collection problem [J]. Journal of Applied Probability, 2001, (3): 737 - 746.
- [6] RIZVI B, EMMANUEL F - G. Analysis of Adjusted Probabilistic Packet Marking[A]. Proc. of IP Operation and Management (IPOM 2003)[C]. Kansascity, Missouri, October 2003. 9 - 13.
- [7] CAIDA Cooperative association for internet data analysis[EB/OL]. http:// www. caida. org.