

通信网络传送控制策略评价研究^①

范淑艳^{②*} 韩卫占^{**} 路 冉^{**}

(* 西安电子科技大学通信工程学院 西安 710071)

(** 中国电子科技集团公司第五十四研究所 石家庄 050081)

摘 要 为评价通信网络传送控制策略的优劣,提出了一种定量的通信网络应用效能综合评价指标体系及评价方法。基于这一评价指标体系,对通信网络传送控制策略的评价进行了研究。在给定网络资源、业务分布的情况下,对不同传送控制策略下通信网络应用效能随业务量大小变化情况进行了分析。对构建的策略控制的多协议标记交换(MPLS)试验网络进行了试验和策略评价,给出了通信网络评价指标在合理的策略控制下随业务量变化的趋势。试验结果表明,该评价指标体系可以为策略的合理性判定及策略优化提供参考。

关键词 通信网络,策略评价,网络应用效能(NAE),业务量

0 引 言

基于策略的通信网络传送控制,主要是根据通信网络能力及可用资源情况,采用一定的策略进行路径选择、接纳控制及资源调配决策,使网络具有灵活性、扩展性、自动性、自适应性等特点,因而成为下一代网络^[1]、栅格通信网络^[2]、自主通信^[3-6]网络的研究热点和发展方向。传送控制策略的优劣对通信网络的能力发挥影响重大,但目前对通信网络传送控制策略优劣进行评价的研究还不多。文献[7]对IP多媒体子系统(IMS)传送层策略控制的评估主要是针对采用策略控制体系结构引入的网络开销和会话建立延迟而进行的。文献[8]主要针对策略描述语言(PDL)的策略语法规则进行了评估。文献[9]从应用角度提出了一种网络应用效能(NAE)综合评价指标体系,包括网络应用效能、网络效能优化指数两个综合评价指标和任务接纳成功率、体验质量(quality of experience, QoE)加权系数两个单项评价指标,这些指标可用于对传送控制策略优劣进行评价、优化,即在某些策略控制下,观察通信网络实际传送业务对应用呈现出的综合通信能力或应用效能的大小。文献[10]中的QoE做为终端用户对一个应用或业务的整体可接受性的主观感觉,与用户满

意度类似。文献[11]通过QoS-QoE相关模型进行QoE评估。一个任务的应用效能表示任务通过网络传送且QoE达到应用可接受的程度的加权业务量大小。NAE等于考察时间内接纳的所有任务产生的应用效能之和,包括不同业务类型的业务量加权之和。文献[12]提出了一套网络业务控制策略综合评价准则,其中的综合评价指标同时考虑业务质量和业务量,思路与文献[9]有些接近,但仅仅从业务角度给出归一化指标,没有考虑业务分布、网络拓扑、优先级等,并不涉及对网络传送控制策略的优化。

本研究对文献[9]提出的网络评价指标体系进行了改进,补充了网络业务量与最短距离积和网络链路资源利用效率两个综合评价指标。在此基础上,重点研究了网络的传送策略评价指标与业务分布及业务量的关系,在给定网络资源、业务分布的情况下,对业务量从小到大变化时采用不同的传送控制策略体现出的网络应用效能进行了分析研究,并为此构建一个由三台多协议标记交换(multiprotocol label switching, MPLS)机和一个传送控制服务器、资源管理服务器等构成的策略控制的通信网络原型系统。对3套不同策略控制下该原型系统的NAE等各项评价指标进行的对比分析表明,该评价指标体系可以为策略的合理性判定及策略优化提供参考。

① 863计划(2007AA701210)资助项目。

② 女,1967年生,博士,研究员;研究方向:通信网络总体技术;联系人,E-mail: fanshuyan8013@sina.com
(收稿日期:2010-06-08)

1 通信网络传送控制策略评价指标体系

1.1 网络应用效能 (NAE)^[9]

NAE 的计算公式为

$$NAE = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^{n_{ik}} \alpha_i \times T_k \times P_{ikj} \times B_{ikj} \times t_{ikj} \times D_{ikj} \times Q_{ikj} \quad (1)$$

单位是兆比特 (Mb)。其中 i 表示任务优先级, $1 \leq i \leq m$; k 表示业务类型, $1 \leq k \leq p$; j 表示任务序号, $0 \leq j \leq n_{ik}$, n_{ik} 表示考察期间到达的优先级为 i 业务类型为 k 的任务总数量; α_i 表示任务优先级为 i 的加权系数; T_k 表示业务类型为 k 的加权系数, $k = 1, 2, 3, \dots, p$ 分别对应语音、图像、多媒体、实时数据、非实时数据等; P_{ikj} 表示任务优先级为 i 业务类型为 k 的第 j 项任务接纳结果, 接纳取 1, 拒绝取 0; B_{ikj} 表示任务优先级为 i 业务类型为 k 的第 j 项任务的平均业务速率; t_{ikj} 表示任务优先级为 i 业务类型为 k 的第 j 项任务的传送时间; D_{ikj} 表示任务优先级为 i 业务类型为 k 的第 j 项任务源、目的节点间的最短距离 (跳数); Q_{ikj} 表示任务优先级为 i 业务类型为 k 的第 j 项任务的 QoE^[10] 加权系数。

1.2 网络效能优化指数 η ^[9]

在式 (1) 中令 $P_{ikj} = 1, Q_{ikj} = 1$, 假定考察期间到达的任务全部接纳并且全部任务的 QoE 达到满意, 得到网络应用效能的最大值 $NAE_{\max}$ 。定义实际的 NAE 与 $NAE_{\max}$ 之比为网络应用效能优化指数, 用 η 表示, 即

$$\eta = \frac{NAE}{NAE_{\max}} \quad (2)$$

1.3 网络业务量与最短距离积 TD_s

网络业务量与最短距离积 (product of traffic and the shortest distance, TD_s) 定义为考察期间所有任务实际传送的业务量与任务源、宿节点之间最短距离之积, 表示从应用层面看任务应使用的网络资源大小。计算公式为

$$TD_s = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^{n_{ik}} B_{ikj} \times t_{ikj} \times D_{ikj} \quad (3)$$

1.4 网络链路资源利用效率

假设采用考察期间所有任务实际传送的业务量与任务源、宿节点间实际经过路由的跳数之积表示从应用层面看任务实际使用的网络资源大小, 网络拓扑中所有中继链路带宽与考察时间之积表示总的网络链路资源, 两者之比定义为网络链路资源利用

效率 Z' , 其计算公式为

$$Z' = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^{n_{ik}} B_{ikj} \times t_{ikj} \times D'_{ikj}}{\sum_{s=1}^l C_s \times T} \quad (4)$$

式中 D'_{ikj} 表示接纳并传送的任务优先级为 i 、业务类型为 k 的第 j 项任务的实际路由经过节点的跳数, C_s 表示第 s 条链路带宽, l 表示网络中单向中继链路数量, T 表示考察时间, 其他参数含义与式 (1) 一致。

1.5 任务接纳成功率^[9]

假定考察期间到达的任务优先级为 i 、业务类型为 k 的任务总数量不为零, 则任务优先级为 i 、业务类型为 k 的任务接纳成功率用 P_{ik} 表示, 计算公式为

$$P_{ik} = \frac{1}{n_{ik}} \sum_{j=1}^{n_{ik}} P_{ikj} \quad (5)$$

1.6 任务平均 QoE 加权系数^[9]

假定考察期间接纳的任务优先级为 i 、业务类型为 k 的任务总数量不为零, 则任务优先级为 i 、业务类型为 k 的任务平均 QoE 加权系数用 Q_{ik} 表示, 计算公式为

$$Q_{ik} = \sum_{j=1}^{n_{ik}} Q_{ikj} / \sum_{j=1}^{n_{ik}} P_{ikj} \quad (6)$$

2 实例分析

2.1 策略控制的 MPLS 试验网络简介

策略控制的通信网络试验环境如图 1 所示, 基础通信网络由 3 台 MPLS 交换机互连组成三角形拓扑结构, 试验中只针对网络传送 IP 业务情况进行评价。试验网络基于高、中、低 3 种优先级的 MPLS 流量工程 (traffic engineering, TE) 连接提供 IP QoS 保证。在交换机 a 和 b 之间基于 Smartbits2000 测试仪对表 1 所示 MPLS TE 连接带宽下不同数量业务流传送情况下的分组丢失率进行测试。MPLS 交换机 a 与 b 和 b 与 c 间通过光纤连接, a 与 c 间通过电缆相连, 链路带宽如图 1 所示。图中传送控制服务器作为策略决策点 (policy decision point, PDP), 网络资源管理服务器为策略执行点 (policy enforcement point, PEP), 网络资源管理服务器基于简单网络管理协议 (SNMP) 对 MPLS 交换机进行资源配置管理。网络中高优先级 MPLS TE 连接可以挤占低优先级连接的带宽。

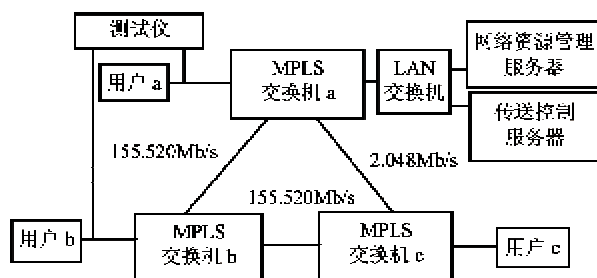


图1 MPLS 试验网络环境示意图

2.2 对试验网络的策略评价方法及步骤

首先对试验网络进行网络业务分布预测,根据预测结果进行初步网络规划,对网络资源进行预先分配,建立不同优先级、相应带宽的 MPLS TE 连接;随着任务的陆续到达,基于任务优先级映射、资源分配和接纳控制等传送控制策略对任务进行接纳控制;之后根据接纳结果及同时存在的任务数据流数量进行分组丢失率测试;根据测试结果确定任务传送的 QoE 加权系数,计算网络传送控制策略评价指标体系中的各个评价指标,根据评价指标对策略进行评价。

2.3 业务量分布和预分配的网络资源

试验中假定只有 3 种类型的任务。第 1、第 2 和第 3 种类型的任务分别传送 IP 包长为 256 字节的 UDP 业务、包长为 576 字节的 TCP 数据流业务和包长为 1500 字节的 TCP 数据流业务,这 3 种任务分别采用不同带宽的高、中、低三种优先级的 MPLS TE 连接进行传送。任务的时间分布如下:假设 3 种任务均按照泊松分布到达,各个任务的到达时刻基于 OPNET 仿真产生,假定每次任务的预计传送时长均为 3min,如图2所示,图中水平线段长度表示任务

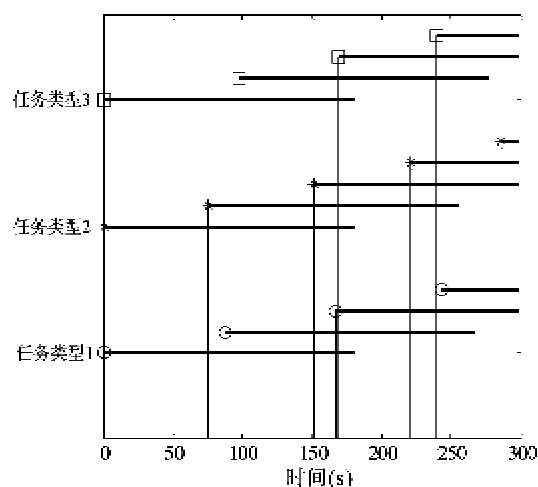


图2 任务到达时刻及传送持续时间

传送时间。从图中可以观察到,同种及不同种类型多次传送任务间均存在时间交叠,同种任务最多同时传送 3 个数据流。任务的空间分布如下:任务 1 和 3 从用户 a 到 b 单方向传送,第 2 种任务从用户 a 到 c 单方向传送。由于交换机 a 和 c 之间直达链路带宽不满足第 2 种任务的带宽要求,因此对应第 2 种任务的 MPLS TE 连接将沿 a-b-c 建立,使得 a 到 b 的中继链路成为瓶颈链路。

2.4 网络传送控制策略

网络传送控制策略包括优先级映射、资源分配和接纳控制策略等。试验中针对 3 套不同的传送控制策略进行评价,3 套传送控制策略的对比分析如表 1 所示。

表1 试验中使用的三套传送控制策略对比

策略类型	优先级策略	资源分配策略	接纳控制策略
策略 1	任务 1/2/3 分别映射 MPLS TE 的高/中/低优先级	只使用预分配的资源	全部接纳任务请求
策略 2	任务 1/2/3 分别映射 MPLS TE 的高/中/低优先级	只使用预分配的资源	先判断可用资源是否满足新任务需求,满足则接纳,否则拒绝
策略 3	任务 1/2/3 分别映射 MPLS TE 的高/中/低优先级	先使用预分配资源,资源不足再动态创建 MPLS TE 连接	先判断资源是否满足,不满足则尝试动态建立连接,连接建立成功则接纳,否则拒绝

2.5 测试结果

在特定 MPLS TE 连接带宽、不同业务量下的分组丢失率测试结果如表 2 所示。

2.6 评价指标参数

假定任务优先级和业务类型都只有 2 种,第 1 种、第 2 种任务为优先,第 3 种任务为普通,第 1 种任务为实时型任务,其他两种为非实时任务。测试仪测试分组丢失率高于 10% 时,认定任务在该时间段的传送不满足要求。QoE 加权系数 Q_{ij} 选择规则如下:假定任务预计传送时长为 T_j ,实际传送时间为 t_i ,满足应用要求的传送时间为 t_c 。若 $t_i = t_c$, $Q_{ij} = 1$; 若 $t_i < t_c$ 且 $t_i \geq 60\% T_j$, 则 $Q_{ij} = 0.9 \times t_i / T_j$; 若 $t_i < t_c$ 且 $t_i < 60\% T_j$, 则 $Q_{ij} = 0$ 。其他评价指标参数选择如表3所示。基于测量、计算,得到采用3种

表 2 在特定 MPLS TE 连接带宽、不同业务量下的测试结果

MPLS TE 连接带宽 (Mb/s)	MAC 帧长 (byte)	业务平均 速率 (Mb/s)	测试负载 (分组数/帧)	分组丢失率 (%)
52	274	18.00	9872	0
52	274	24.00	13158	0
52	274	36.00	19744	0
52	274	38.14	20918	0
52	274	48.00	26318	20.40
52	274	54.00	29605	29.29
52	274	72.00	39477	48.53
47	594	18.00	4198	0
47	594	24.00	5597	0
47	594	36.00	8396	0
47	594	37.44	8732	0
47	594	48.00	11194	21.99
47	594	54.00	12594	30.66
47	594	72.00	16792	48.02
45	1518	18.00	1541	0
45	1518	24.00	2055	0
45	1518	36.00	3082	0
45	1518	39.68	3398	0
45	1518	48.00	4110	17.31
45	1518	54.00	4623	26.50
45	1518	72.00	6165	44.88

表 3 评价指标参数选择

任务 种类	任务 优先级	业务 类型	λ 1/min	n_{ik}	α_i	γ_k	D_{ij}	D'_{ij}	T (s)	T_r (s)
1	1	1	0.75	4	1	1	1	1	300	180
2	1	2	0.75	5	1	0.8	1	2	300	180
3	2	2	0.75	4	0.5	0.8	1	1	300	180

策略时对应不同业务量的网络策略评价指标,如图 3 及表 4 所示。

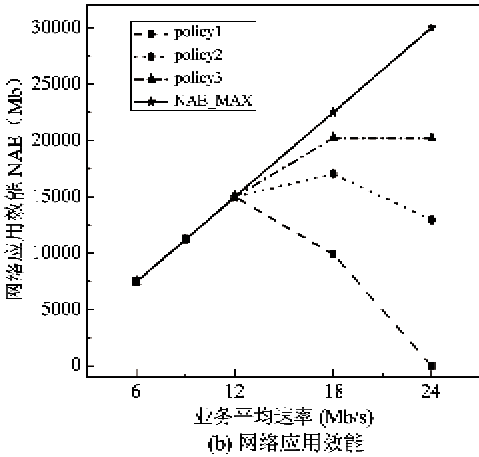
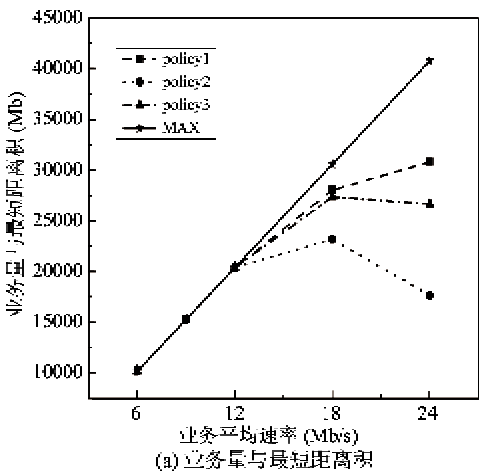


图 3 网络业务量与最短距离积及网络应用效能随业务量变化曲线

表 4 策略评价指标随业务量变化情况

策略	指标	业务平均速率 B_{ij} ((Mb/s))					策略	指标	业务平均速率 B_{ij} ((Mb/s))				
		6	9	12	18	24			6	9	12	18	24
策略 1	TD_s	10203.5	15305.2	20406.9	28056.8	30822.0	策略 1	P_{ik}	$P_{11} = P_{12} = P_{22} = 1$				
策略 2	TD_s	10203.5	15305.2	20406.9	23201.7	17654.2	策略 1	Q_{11}	1	1	1	0.39	0
策略 3	TD_s	10203.5	15305.2	20406.9	27380.0	26673.7	策略 1	Q_{12}	1	1	1	0.27	0
	TD_{s_MAX}	10203.5	15305.2	20406.9	30610.4	40813.8	策略 1	Q_{22}	1	1	1	0.38	0
策略 1	NAE	7501.4	11252.1	15002.8	9897.2	0	策略 2	P_{11}	1	1	1	0.75	0.5
策略 2	NAE	7501.4	11252.1	15002.8	17040.1	12958.9	策略 2	P_{12}	1	1	1	0.8	0.4
策略 3	NAE	7501.4	11252.1	15002.8	20219.8	20207.1	策略 2	P_{22}	1	1	1	0.75	0.5
	NAE_MAX	7501.4	11252.1	15002.8	22504.1	30005.5	策略 2	Q_{ik}	$Q_{11} = Q_{12} = Q_{22} = 1$				
策略 1	η	1	1	1	0.44	0	策略 3	P_{11}	1	1	1	1	1
策略 2	η	1	1	1	0.76	0.43	策略 3	P_{12}	1	1	1	1	0.8
策略 3	η	1	1	1	0.90	0.67	策略 3	P_{22}	1	1	1	0.75	0.25
策略 1	$Z'(\%)$	7.4	11.0	14.7	20.0	21.9	策略 3	Q_{11}	1	1	1	1	1
策略 2	$Z'(\%)$	7.4	11.0	14.7	16.7	12.7	策略 3	Q_{12}	1	1	1	1	0.90
策略 3	$Z'(\%)$	7.4	11.0	14.7	20.3	19.7	策略 3	Q_{22}	1	1	1	0.46	0

2.7 试验结果分析

根据对不同业务量试验网络的策略指标评价结果可知:

(1)当业务量较小时,由于预留的网络带宽资源能满足所有任务的传送需求,接纳成功率及 QoE 加权系数均达到最高,网络应用效能、网络链路资源利用效率等指标随业务量增大而增大。

(2)当业务量较大时,预留的网络带宽资源不能满足所有任务的传送需求,此时不同策略下 NAE 差别较大。比较 NAE 可知,策略 1 最差、策略 2 较好,策略 3 最好。从策略 3 的评价指标随业务量变化曲线可知,如果网络的传送控制策略比较合理,网络应用效能应随业务量增大而增大,不应出现明显的下降。

(3)试验中当业务平均速率为 24Mb/s 时,尽管策略 1 的 TD_s 最大,但由于 QoE 加权系数 Q_{ik} 均为 0,所以策略 1 的 NAE 为零,对应用而言是无效传送。

(4)比较策略 2 和策略 3 的 P_{11} 和 Q_{11} 、 P_{12} 和 Q_{12} 指标,可以发现策略 3 的相应指标均较策略 2 好,表明在网络资源不足时优先保证高优先级任务的接纳以及按需传送是比较合理的。

(5)当业务平均速率由 18Mb/s 增加到 24Mb/s 时,3 种策略下的效能优化指数均出现降低,说明当业务分布与预留资源不匹配或业务量的时间分布和空间分布不合理时,通过策略优化虽然能提高网络应用效能,但网络不可能满足所有任务的传送需求。

(6)理想状态下网络链路带宽资源利用效率 Z' 和网络效能优化指数 η 均为 1 或接近 1。若 η 为 1 但 Z' 很低,说明网络负载小,并非策略不合理。若 η 与 Z' 均较小,则可能任务接纳成功率 P_{ik} 指标低;若 η 较小但 Z' 较大,则可能是网络路由不太合理,或业务传送的 QoE 加权系数指标低,这两种情况需要进行相应的策略优化。

总之,在合理的传送控制策略控制下,网络应用效能随业务量增大而增大,未出现明显的下降。网络效能优化指数表明了策略是否合理。而业务分布是否合理对策略优化影响较大,若业务分布存在高峰时段或瓶颈链路,则只能在一定程度上进行策略优化。另外分析评价指标间的相对关系,可协助确定策略优化方向。

3 结 论

本文基于网络应用效能评价指标体系对通信网

络传送控制策略评价进行了研究。利用该指标体系对不同策略控制的 MPLS 试验网络进行了试验和策略评价。结果给出了评价指标在合理策略控制下随业务量变化趋势,并指明了各指标与策略优化的关系,表明了该评价指标体系可以为策略的合理性判定及策略优化提供参考。该评价指标体系也适用于非策略控制网络的评价。试验中有些指标是根据测试仪器测试结果计算得到的,实际网络中该参数获取以及不同业务类型的 QoE 加权系数选择的合理性等问题,都需要进行深入研究。

参考文献

- [1] ITU-T Y. 2111 Resource and admission control functions in Next Generation Networks. Nov. 2008. <http://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2111/en>
- [2] 范淑艳,熊高云. 栅格通信网络体系结构及关键技术研究. 西安电子科技大学学报, 2009, 36(6): 990-995
- [3] Strassner J, Fleck J, Lewis D, et al. The role of standardization in future autonomic communication systems. In: Proceedings of 5th IEEE Workshop on Engineering of Autonomic and Autonomous Systems, Belfast, Northern Ireland, 2008. 165-173
- [4] Davy S, Barrett K, Strassner J. Policy-based architecture to enable autonomic communications: a position paper. In: Proceedings of 3rd IEEE Consumer Communications and Networking Conference, Las Vegas, USA, 2006. 590-594
- [5] Van der Meer S, Davy A, Davy S, et al. Autonomic networking: prototype implementation of the policy continuum. In: Proceedings of the 1st International Workshop on Broadband Convergence Networks, Vancouver, Canada, 2006. 1-10
- [6] Cox G, Serrat J, Strassner J, et al. An enhanced policy model to enable autonomic communications. In: Proceedings of 5th IEEE Workshop on Engineering of Autonomic and Autonomous Systems, Belfast, Northern Ireland, 2008. 184-193
- [7] Good R, Ventura N. An evaluation of transport layer policy control in the IP multimedia subsystem. In: Proceedings of IEEE 19th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Cannes, France, 2008. 1-5
- [8] Bhatia R, Lobo J, Kohli M. Policy evaluation for network management. In: Proceedings of the 19th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Murray Hill, USA, 2000, (3). 1107-1116
- [9] Fan S Y, Han W Z, Lu R. Study on the optimization of

- transport control policy in communication network. *Journal of Electronics*(in Chinese), 2010, 27(2):261-266
- [10] ITU-T Rec. P. 10/G. 100 (2006)/ Amendment 2; New Appendix I-Definition of Quality of Experience (QoE), Jan 2007, <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.10/en>
- [11] Kim H J, Lee D H, Lee M L, et al. The QoE evaluation method through the QoS-QoE correlation model. In: Proceedings of 4th International Conference on Networked Computing and Advanced Information Management, Gyeongju, Korea, 2008. 719-725
- [12] Lin C, Marinescu D C, Ji Y C, et al. On synthetic criteria for evaluation of network traffic control policies. In: Proceedings of the 7th International Symposium on Computers and Communications, Taormina, Italy, 2002. 63-68

Study on evaluation of transport control policies for communication networks

Fan Shuyan^{* **}, Han Weizhan^{**}, Lu Ran^{**}

(^{*} School of Telecommunication Engineering, Xidian University, Xi'an 710071)

(^{**} The 54th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Shijiazhuang 050081)

Abstract

To evaluate the policies for transport control in communication networks, a quantitative comprehensive evaluation index system of the network application effectiveness (NAE) and related evaluation methods were put forward. Based on the evaluation index system, a study of evaluation of transport control policies for communication networks was conducted. The NAE variation under different policies with the change of traffic load was studied under a given network resource and a traffic distribution. A policy-controlled multiprotocol label switching (MPLS) communication network test-bed was constructed. Some experiments and evaluations of the policies based on the test-bed were done. The experimental results not only show the tendency of the evaluation indices of the network with the network traffic under reasonable policies, but also demonstrate that the evaluation index system can provide references for policy's reasonability and optimization.

Key words: communication network, policy evaluation, network application effectiveness (NAE), traffic