

域间流量工程与域内流量工程的比较

刘亚萍, 龚正虎

(国防科技大学计算机学院, 长沙 410073)

摘要: 根据作用的范围不同, 流量工程可分为域间流量工程与域内流量工程。域间流量工程与域内流量工程作用的范围不同, 研究问题的侧重点和难度不同, 但是它们具有通用的处理模型, 并且二者是紧密联系和相互依存的。同时考虑域间流量工程与域内流量工程, 才能保证研究问题的全面性与准确性。

关键词: 域间流量工程; 域内流量工程; BGP; 负载均衡

Comparison Between Inter-domain Traffic Engineering and Intra-domain Traffic Engineering

LIU Yaping, GONG Zhenghu

(Department of Computer Science, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

【Abstract】 Traffic engineering can be classified as inter-domain traffic engineering and intra-domain traffic engineering. They are concerned with different range of Internet and different sides of problems. And inter-domain traffic engineering is inherently more difficult than intra-domain traffic engineering. But they have same general process model. What's more, they depend on each other with tight relations. When the problem of traffic engineering is researched on, they should be considered at the same time.

【Key words】 Inter-domain traffic engineering; Intra-domain traffic engineering; BGP; Load balance

流量工程是研究如何评价IP网络的性能以及优化IP网络性能的技术^[1]。它主要包括如何对Internet流量进行测量、识别、建模以及控制的研究。然而网络性能优化的需求通常是多目标的、复杂的、甚至相互矛盾的, 因此流量工程是极具挑战性的问题。根据流量工程作用的范围不同, 可分为域间流量工程与域内流量工程。

域内流量工程技术的研究较为成熟, 如基于MPLS的流量工程^[2], 基于域内路由协议链路度量调整的流量工程^[3]。而域间的流量工程研究正处于起步发展阶段, 它的研究难度较域内流量工程更大。为什么域间流量工程的研究难度很大, 域间流量工程与域内流量工程有什么区别, 研究的问题有什么不同, 它们之间有何联系? 这就是本文需要回答的问题。

本文的主要贡献是: (1)分析与比较了域间流量工程技术与域内流量工程技术异同点; (2)分析了二者之间相互依赖的紧密关系; (3)提出了今后研究流量工程问题需要考虑域间流量工程与域内流量工程的关系。

1 域间流量工程与域内流量工程的通用处理模型

域间流量工程与域内流量工程存在很多不同之处, 然而二者最大的相同点就是具有相同的通用处理模型。通用处理模型^[1]是一个迭代的过程, 分为4个阶段(如图1所示):

第1阶段: 定义相关控制策略。控制策略的定义依赖很多因素, 例如网络运营的商业模型、网络计费模型、网络操作限制、网络资源利用模型、优化指标等。

第2阶段: 测量。它涉及如何从当前的网络中获取测量数据或合成数据, 以及如何预测数据。

第3阶段: 建模与分析。它通过建立数学模型, 研究流量在网络中的分布特性; 鉴别网络负载特性; 判断网络的瓶颈或潜在的瓶颈; 网络病理学分析; 流量矩阵分析与估计等。

第4阶段: 网络性能的优化。它根据分析结果进行决策, 选择合适的策略和执行相应的操作。例如, 控制进入网络的流量或穿越网络的流量分布, 增加链路及容量, 调节相关参数以及重新开始网络规划的过程等。

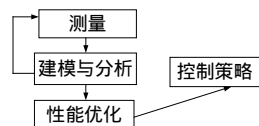


图1 流量工程通用处理模型

根据上述4个阶段, 流量工程的通用处理模型包含3个子系统: 测量子系统, 建模与分析子系统和优化子系统。测量子系统具有提供原始数据和验证的功能。建模与分析子系统是进行流量优化的理论基础。优化子系统中网络的优化过程是一个连续迭代的过程, 它包括实时优化子系统和非实时优化子系统等。

2 域间流量工程与域内流量工程的比较

由于Internet各个自治域之间是分布式管理的, 因此这种固有的特点使得域间流量工程与域内流量工程在研究难度、研究问题的侧重点、解决问题的方法上存在不同之处。

2.1 域间流量工程与域内流量工程研究难度的比较

域间流量工程具有分布式, 拓扑信息不完全性, 网络状态信息不精确性, 控制管理难协商性, 流量模式动态性等特点。与域内流量工程相比, 其研究的难度更大。这是因为:

基金项目: 国家“973”计划基金资助项目(2003CB314802)

作者简介: 刘亚萍(1973-), 女, 博士生, 主研方向: 高性能路由器技术, 域间路由技术; 龚正虎, 博导

收稿日期: 2005-10-08 **E-mail:** ypliu@nudt.edu.cn

(1) 域内流量工程针对一个管理域，它可以获得整个网络的拓扑结构；而域间流量工程是针对多个域的研究。目前的域间路由协议如 BGP 协议，为了支持网络的可扩展性，其传输的路由信息只是网络的可达信息，不包括网络具体的拓扑结构。因此域内流量工程不可能获得整个网络完整和准确的拓扑结构，在此基础上要进行流量工程很困难。

(2) 域间流量工程由于涉及不同管理域，在实施流量调整和网络控制时，需要不同管理域间进行协商，因此会涉及相应的协商和监督机制，而这是域内流量工程不会遇到的问题。

(3) 域间流量工程如果进行流量的调整，必然会引起域内流量模式的变化，从而导致域内流量工程的变化，这一方面增加了系统的复杂度，另一方面使得管理域之间协商的内容与条件以及监督机制变得更为复杂。

2.2 域间流量工程与域内流量工程研究问题的比较

域内流量工程技术主要集中在研究 2 类问题：(1) 域内测量问题：它指如何准确统计与测量该域的网络流量、资源与状态信息。如流量矩阵的测量与预测，链路的性能测量等；(2) 流量映射与资源分配问题。它指如何将网络上的流量按照拓扑结构按比例进行映射。该问题又分为 2 大类：1) 通过路由控制方式研究的问题；2) 通过资源分配方式研究的问题。前者有域内等价多路径路由、链路度量调整路由、自适应路由、基于 MPLS 的约束路由、QoS 路由等；后者有带宽代理的研究、MPLS 资源管理等。

由于域间路由协议采用 BGP 协议，BGP 协议是一种距离向量协议，它不传输精确的网络信息。因此，域间流量工程的研究问题包括：(1) 域间流量测量问题。它与域内测量问题研究的侧重点不同，主要研究域间流量的固有特性，如域间流量动态性研究、域间流量拓扑分布研究、域间流量拓扑动态分布研究^[4]等；(2) 域间路由问题的研究。该研究包括流量的可控制性研究，入口流量负载均衡性路由优化的研究^[5]，出口流量负载均衡性路由优化的研究^[6]。与域内流量工程的路由问题相比，该研究更着重于流量的可控制性机制、BGP 路由的收敛性、基于负载均衡的 BGP 路由选择过程、BGP 配置的正确性的研究、与域内流量工程的关系研究等；(3) 网络控制的研究。包括域间路由结构的研究、域间路由策略的研究、自治域关系的研究、域间交互信息安全问题的研究等。

域间流量工程与域内流量工程各自的不同特点决定了二者研究的问题与研究问题的侧重点不同。这其中最根本的原因是自治域相互间是独立分布的且通常有竞争关系，一方面，它们通过 BGP 协议交互路由可达信息，实现 IP 层的互通，以及可扩展性的要求；另一方面，通过路由策略的自主实施保证其 AS 自身的利益。由于域和域之间固有的互通关系，因此，同样是研究流量的均衡映射问题，域内流量工程只需要单纯考虑如何通过域内路由的控制或者集中的资源分配管理等手段来研究；但是域间流量工程就不仅使用集中的资源分配管理手段，还需要考虑域间路由的变化对其它域的流量分布的影响、控制的方向与相邻域的协商问题、局部优化与全局优化问题等。而域内流量工程不需要考虑路由策略、自治域关系、交互信息的安全性等问题。对于测量问题，二者的侧重点明显不同：域内流量工程关注测量的准确与精确性；域间流量工程更着眼于固有分布特点。

3 域间流量工程与域内流量工程的联系

虽然域间流量工程与域内流量工程研究的具体问题和方法不同，但是二者是紧密不可分的。这是因为 Internet 上的域间路由协议和域内路由协议共同作用才能形成每个路由器

的 IP 路由表。因此，与此相关的域间流量工程与域内流量工程也是紧密不可分的。

以一个传输 ISP 为例。假设一个 AS 流量需求矩阵用 D 表示，该矩阵的每个元素表示从该域的某个入口进来，去往某个目的地的流量需求，假设该矩阵是某个时刻流量需求矩阵的一个“快照”。 f 表示 BGP 协议到每个目的网络选择的出口，即表示一种入口流到出口的映射关系。 P 表示目的网络的集合， $E(p)$ 表示对每个目的网络 $p \in P$ 的可行出口集合。 M 表示该域路由器间的流量矩阵。假设只考虑跨域流量，则 M 是 D 在 f 作用下的结果，用 $M = D \cdot f$ 表示这种作用关系如下：

$$M = D \cdot f \quad (1)$$

域内流量工程的基于流量映射的路由问题是研究已知某时刻的 M ，如何调整域内路由 IGP，使得域内流量负载均衡。然而，我们知道传统的 BGP 路径选择中使用了“热土豆”算法^[2]，域内路由变化 IGP，将导致 f 发生变化，从而导致 M 发生变化， f 变化将导致邻居的流量需求矩阵发生变化，如式(2)所示。这一方面破坏了已知条件某时刻 M 是一定的假设，使得域内的路由由优化达不到预期的目标，另一方面影响了域间路由由协议。

$$IGP \rightarrow f \rightarrow M \rightarrow BGP \quad (2)$$

而域间流量工程基于出口的流量平衡的路由优化问题是研究假设某时刻的 D ，如何保证该域的域间链路和域内链路的负载均衡(也可以有其它目标，仅以此目标为例)。无论是通过调整 BGP 路由来调整 $E(p)$ ，还是直接调整 BGP 路由选择过程 f ，都将导致 f ，从而导致 M 发生变化 M ，如式(3)所示。而 M 是域内流量工程实施的假设条件，如果 M 发生大量变化，将会引发新的域内流量工程的实施 IGP。因此，这说明域间流量工程也对域内流量工程有影响。

$$BGP \rightarrow f \rightarrow M \rightarrow IGP \quad (3)$$

因此，域间流量工程与域内流量工程是紧密联系的，不能孤立地将二者隔离开来，二者本质上是一个有机的整体。在实施域间流量工程技术时，必须考虑域内流量工程，同样实施域内流量工程技术时，必须考虑域间流量工程。

4 结论和进一步的工作

本文从处理模型、研究问题、研究的难度上详细比较了域间流量工程与域内流量工程技术的异同点。分析了二者之间存在的紧密联系。作者下一步将主要集中于如何从二者紧密关系的角度出发，研究域间路由的优化技术。

参考文献

- 1 Awduche D. Overview and Principles of Internet Traffic Engineering[S]. RFC 3272, 2002.
- 2 Awduche D. MPLS and Traffic Engineering in IP Networks[C]. IEEE Communications Magazine, 1999, 37(12): 42-47.
- 3 Fortz B, Thorup M. Internet Traffic Engineering by Optimizing OSPF Weights[C]. Proceedings of INFOCOM'00, 2000.
- 4 Uhlig S, Olivier B, Magnin V, et al. Implications of the Topological Properties of Internet Traffic on Traffic Engineering[C]. Proceedings of ACM SAC'04, 2004.
- 5 Quoitin B, Uhlig S, Pelsser C, et al. Inter-domain Traffic Engineering with Redistribution Communities[J]. Computer Communications, 2004, 27(4): 355-363.
- 6 Feamster N, Rexford J. Guidelines for Inter-domain Traffic Engineering[J]. ACM SIGCOMM Computer Communications Review, 2003, 33(5).