

优化路由软件，促进 Internet 可靠增长

Juniper 网络公司，爱立信公司，1998 年 7 月 1 日

引言.....	3
Internet 路由软件体系结构.....	3
传统路由器软件结构的局限性.....	3
源于 FreeBSD 的 JUNOS.....	5
Juniper 网络公司的软件结构.....	5
包转发引擎.....	5
路由引擎.....	6
JUNOS 结构的优势.....	7
保护内存使运行可靠.....	7
专为 ISP 网络特别设计.....	7
增强的网络稳定性.....	7
路由协议.....	7
行业级的路由协议.....	7
稳定性设计.....	8
可扩展性设计.....	8
JUNOS 路由协议的实现.....	8
内部网关协议：IS - IS 和 OSPF.....	9
外部网关协议：BGP - 4.....	9
多点传送协议.....	9
Juniper 网络公司的工程队伍.....	9
路由策略定义语言.....	9
JUNOS 策略定义语言.....	10

使查询最佳化.....	11
测试策略配置.....	11
流量工程.....	11
Internet 骨干网流量控制的发展.....	12
ISP 在路由核心网和 ATM 核心网中做出抉择.....	12
路由核心网中的基于规格的流量控制.....	13
路由核心网中没有流量工程的情况.....	13
路由核心网的优点与缺点.....	14
ATM 核心网中基于 PVC 的流量控制.....	14
ATM 核心网中的流量工程.....	15
ATM 核心网中的“ N ² ” 问题.....	16
ATM 核心网的优点与缺点.....	16
业务统计支持流量工程.....	17
多协议标记交换 (MPLS) 解决方案.....	18
多协议标记交换.....	19
MPLS 包转发机制：标记交换.....	19
MPLS 和包转发性能.....	20
使用 MPLS 的流量工程.....	20
MPLS 的将来：基于约束的路由.....	21
MPLS 的优势.....	22
用户界面.....	22
命令行界面 (CLI)	23
组，提交，和回滚功能.....	23
配置更改控制.....	24
多用户访问级别.....	24
备用的用户接口.....	25
支持 ASCII 配置文件.....	25

系统安全性.....	26
支持安全命令行解释程序 (SSH)	26
服务拒绝的袭击.....	26
MD5 保护 BGP 对话期.....	26
网络管理.....	27
管理平台.....	27
SNMP 管理.....	27
JUNOS 软件为 Internet 提供控制和扩展能力.....	27

引言

Internet 正快速地成为公共数据网的选择。这个结论可以通过用户需求和新应用的快速增长，主流应用的增加，和重要业务的增长来证明。由于客户们开始希望类似于公共电话交换网 (PSTN) 服务的可靠性和有效性，Internet 服务提供商 (ISP) 正在尽力地维持控制，以应付高速增长和不断增加的复杂性。

传统路由器厂商也开始把目光集中到 Internet 核心网的吉位、特位，甚至“任何位”的包转发性能上来。数字巨大得几乎难以理解。不过，任何一个熟悉网络行业的人都不会对此感到惊讶，因为特殊应用集成电路 (ASIC) 和密波分复用 (DWDM) 技术的最新发展必然会使其一实现。在上面讨论中我们似乎忘记了一个重要的元素，那就是控制这个基本的问题。提供了所有的带宽和转发能力，ISP 们如何在进入光 Internet 时代的同时对他们的网络进行控制和管理呢？

速度可以杀人！如果你在迪斯尼的 Autotopia 上以 15m.p.h 的速度玩赛车，控制是非常重要的，但你并不会受到伤害。另一方面，如果你发现自己在 Indianapolis500 上，那么，高性能的刹车，轮胎，和驾驶所提供的控制，对您的生存将是非常重要的。

这篇文章将假设我们已进入光 Internet 时代，高性能的转发引擎已经现实。Juniper 网络公司已专为高性能和高速增长 Internet 服务提供商开发出了一套 JUNOSInternet 软件。这篇文章将讨论 Juniper 网络公司的 JUNOS 软件系统总体设计和一些相关的性能，JUNOS 软件已准备好服务于现在的 Internet，并对将来发展的控制奠定了坚实的基础。当我们对一个路由软件进行评价时，对其软件结构，路由协议，策略定义语言，流量工程能力，用户界面，系统安全性，和网络管理性能的检验是非常重要的。上述的每一个特性都将决定该软件可以为 ISP 提供成功进入 Internet 下一阶段成长所需控制的能力。

Internet 路由软件的体系结构

一个软件的结构决定了系统将被如何设计及不同组成部分间如何进行连接和相互操作。许多关心路由协议和路由器配置的网络专家并不会花费时间去分析提供系统运行基础的下层结构。正如我们将会了解到的，软件结构在决定网络的控制，稳定性，性能，可管理性，和复杂软件系统的可扩展性上将作为一个重要的角色。

传统路由器软件结构的局限性

为全面理解传统路由器软件结构在今天的服务提供商网络中所面临的挑战，我们很有必要去了解这些软件系统的源头和发展。最初，路由器软件结构假设底层的硬件仅有一个 CPU，这块 CPU 不仅负责提供实时的包转发，同时也要提供路由计算，建立路由更新，管理用户界面，和支持网络管理（图 1）。这种对单一 CPU 的依赖，决定了传统路由器操作系统被开发和实现的框架。

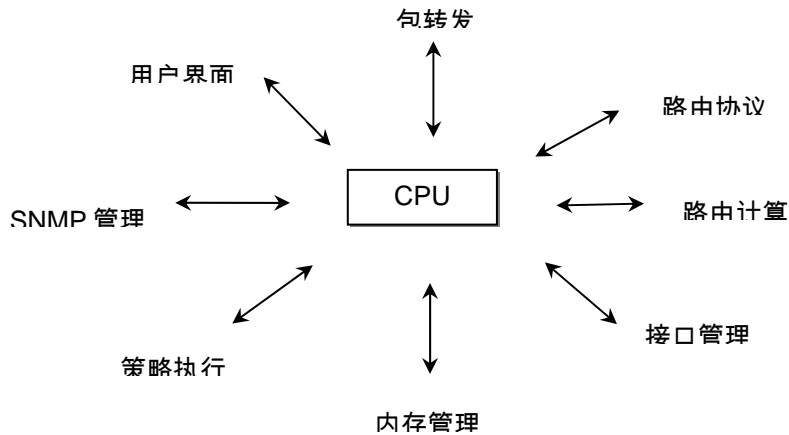


图 1：典型的传统路由软件体系结构

因为传统路由系统是在假设它们将支持对时间敏感的任务（即，包转发）的前提下被开发的，设计者必须要开发一个具有实时操作系统单元的运行环境。即使他们意识到普通的操作系统可以提供极高的系统可靠性和稳定性，但同时他们也知道，一个多进程系统中所固有的由于内存管理及工作的重复而导致的性能低效性。这些传统路由系统的设计人员决定，他们将通过合并代码和避免重复的方式来增强整个系统的性能，即使这意味着将要建立一个单一的，非模块化的代码库。

以一种历史的观点来看，在那时的技术条件下，这个决定可能是一个最好的折中办法。但是，为达到预期的效果，传统的路由系统也导致了惊人的费用，包括：

- 假设非模块化程序的某一部分出现故障。例如，一个任务的内存发生泄漏，或有一个错误使它对另外一个任务的代码或数据结构进行写操作。这些类型的错误将很容易地使其它任务失败，最终导致整个操作系统崩溃。恢复这类故障的唯一途径是重新启动整个系统。
- 这个单一的非模块化程序需要在实时的方式下运行，以支持包转发的需求。最初，这些操作系统将包转发作为整个系统中优先权最高的任务。这意味着，如果路由器的转发业务非常繁忙时，将没有足够的 CPU 周期留给系统用来完成有关的对等更新，问候时间响应，或路由表计算。这样便为网络带来不稳定性，因为路由和控制任务将不能及时地完成，从而导致路由邻接和线路协议的丢失。

- 整个的软件结构将变得非常巨大，从而使其失去了灵活性，可伸缩性，和稳定性。修改将变得非常困难，因为增加一个新功能可能会影响整个代码库。例如，是否包含了所有与实现可靠实施有关的部分？所含的代码是否必要，是否会含有导致系统崩溃的程序错误？另外，代码的长度与复杂程度将决定厂家修正敏感的互连网络问题和增加一些重要的新功能的速度。最后，测试一个非模块化的代码库是非常困难的。没有任何一个实验室能够真正模拟出全球 Internet 网络上的真实环境，因此，测试只是针对巨型代码库的需要而更为复杂一些，然后，对于程序的子集进行隔离测试。这个挑战可通过任何精心设计的测试进程来解决。

随着我们步入 Internet 的黄金时代，基于实时的，非结构化代码库的传统路由软件结构在支持快速出现的新功能和 Internet 核心网所需的稳定运行上，都显得力不从心。现在，在高性能光接口上实时地转发业务要求配置基于硬件的转发引擎。因此，下一代的路由软件不再需要对包转发和高级系统功能之间的资源竞争进行处理。基于硬件的转发引擎的效率，允许路由软件运行在一个能够提供更高的可靠性，可伸缩性，有效性，和可为敏感的重要任务应用提供高性能的普通操作系统环境之中。

源于 FreeBSD 的 JUNOS

FreeBSD 为开发支持高速增长 Internet 下一代路由体系提供了基础。FreeBSD 是为在普通的英特尔处理器上运行而特别设计的。它非常稳定，并继承了那些从二十世纪七十年代初期便开始工作在 Internet 上的早期产品的成熟的网络功能，它包含了一个非常优秀的代码库以支持内核，文件系统，用户计费 and 安全性。

但是，Juniper 网络公司加强并重写了一部分 FreeBSD，因为它最初是被设计运行在主机系统上的，只支持几种有限的网络接口。而另一方面，路由器具有更多种类的物理接口和子接口，并具有一个更大的路由表。另外，大部分的网络代码被去除或以行业级的工具来代替，以支持来自 Internet 的巨大压力。

Juniper 网络公司的工程队伍具有多年的 Internet 路由经验，并且在不受传统路由体系约束的情况下，从最底层开始开发和设计路由体系。这就意味着，他们可以优化其数据结构，计划大量的虚电路，并对巨型路由表的存储及查询进行设计。他们可以自由地使用最新开发出的支持流量工程和不同服务等级的技术，着力设计合适的用户界面和强有力的策略定义语言。

Juniper 网络公司的软件体系

Juniper 网络公司软件体系的最基础的设计思路是将控制功能与包转发功能分离。路由引擎管理系统的路由和控制功能，并运行从 FreeBSD 得到的内核。包转发引擎在硬件上运行，专门用于包转发。这两相功能的完全分离，使路由器可以提供高性能和高可靠性的操作系统。

包转发引擎

包转发引擎负责提供所有的包转发功能。这代表了进入系统的业务量的 99%。包转发引擎由几个可处理所有类型的数据包并专用于 Internet 核心网的 ASIC 组成。包转发引擎的设计和将在后面讨论。

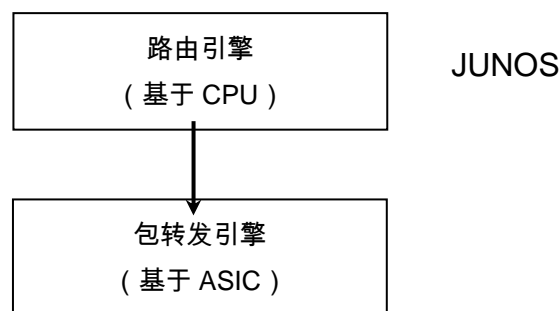
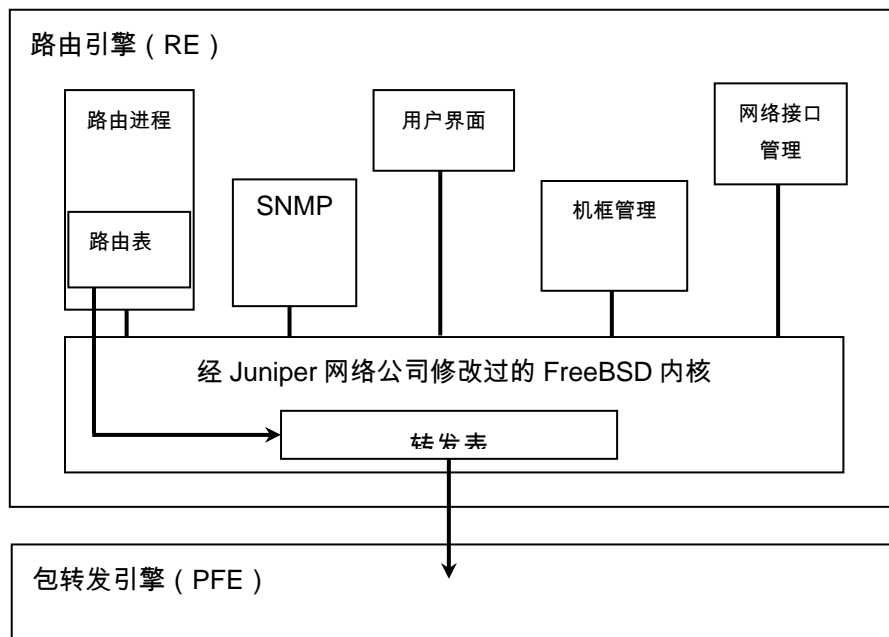


图 2：路由引擎和包转发引擎

路由引擎

路由引擎负责执行整个系统的路由处理。它通过一个能够提供充足计算周期的处理器，在任何网络环境下提供所需的功能。路由引擎运行着一个经过 Juniper 网络公司的工程队伍修改过的 FreeBSD 版本，使其能够在高负荷条件下稳定运行。

路由协议，接口管理，机箱管理，SNMP 管理，系统安全性，和用户界面都作为一个子系统在操作系统内协调工作。每个程序执行一个独立的进程，完全在自己的内存保护下运



行。这便减少了一些失控应用干扰其它的应用或内核的机会。

图 3 : JUNOS 软件概念性结构

JUNOS 路由表包含了从相邻路由器获得的和静态配置的路由信息。转发表是从路由表得到的，它包含一个用于协调带有输出端口的报头或标记的 IP 报头和多协议标记交换 (MPLS) 标记的索引。包转发引擎使用转发表中的内容而不是路由表中的内容进行转发决定。

JUNOS 体系的优势

基于将控制与转发平台分离的路由体系的实现，使 Juniper 网络公司可以在普通操作系统之上运行路由引擎。这是一个非常关键的设计特点，它使 JUNOS 具有很高的可靠性、可维护性和性能。

保护内存确保运行的可靠性

每个用户进程都在其自己的保护内存空间中运行。这样便确保了一个子系统故障不会影响其它在保护内存下执行的子系统的运行。在这些独立的操作之间，Juniper 网络为内部进程通信建立了整齐的，良好定义的接口。这种结构使软件系统具有很好的可靠性。

专门为 ISP 网络设计

Juniper 网络公司专注于为高速增长的 Internet 骨干网提供产品。这意味着 Juniper 网络公司的产品不会运行在企业环境下，也不致为满足不同特殊应用需求而建立非结构化的代码库。

增强的网络稳定性

Juniper 网络公司的软件体系使得传输的包永远不会通过路由引擎进行处理。对于那些被要求送至路由引擎的业务，链接保持和路由协议更新将被赋予最高的优先权，以确保无论系统的负载情况如何，邻接永远不会断开。这种控制业务的优先权防止了网络中的级联故障，因为它确保了无论系统发生什么情况，链接和路由邻接都一直保持运行。

路由协议

路由协议的稳定实施是成功管理一个服务提供商网络的重要因素。稳定性和高性能是内部网关协议 (IGP) 在服务提供商网络内管理业务流量的基本性能。外部网关协议 (EGP) 的牢固性和可伸缩性对于在不同服务提供商网络之间的链接和控制是非常重要的。

行业级的路由协议

一些网络专家们在评价路由协议实施的可靠性时，将互操作性作为一个单独的因素。他们很关心软件是否符合 Internet 工作组（IETF）标准和软件在多个厂家产品环境中的操作情况。互操作性是每个厂商都应满足的一个重要元素，但它只应作为诸多需要仔细衡量的部分中的一个因素。还有其它一些关键元素隐藏在软件之下，并不会被评价者立即发现。但是，正是这些隐藏的因素在决定路由协议在 Internet 中执行的能力时起重要的作用。

区别行业级路由协议与不完善实施的关键要素是稳定性和可扩展性。稳定性和可扩展性并不因故障而发生；它们必须在项目一开始就被设计到软件体系当中去。在某个方面，路由协议的设计可与飞机的设计做以比较。一些飞机，如 Cessna Skylane，主要考虑飞行安全性的需求。另一些飞行器，如 F-22，具有敏锐的视觉，高速，及灵活。它们都是固定机翼的飞行器，但它们在不同的运行环境中用于不同的功能。

稳定性设计

稳定性主要关心在大型网络中承受运行压力和连续长时间无故障工作的能力。对于任何路由协议的实施，都有许多设计要点在决定系统稳定性的过程中起重要作用：

- 工程师在预测和编写对不同类型故障进行响应的代码时的远见。其包括协议错误，如畸形包，意外的对等关系，如传输过多的请求/更新，和在网络感到压力时 CPU 资源被耗尽。
- 开发者提供正确调节器的技巧，以使得路由器可与多种不同情况相配合。
- 工程师在编写代码时自发地遵循爱因斯坦的格言“使事情尽可能地简单，但不过于简单”。这样可产生一个易于理解的，快速的和稳定的代码库。

可扩展性设计

扩展性主要关心网络实现与不断扩张的网络环境同步成长的能力。有许多因素在决定路由协议实施过程中的可伸缩性起着重要作用：

- 支持的最大端口数
- 路由表查询的速度
- 路由表中可存储的最大路由数
- 每个路由器可支持的最大 OSPF 或 IS - IS 邻接数或 BGP 对等体数
- 路由器链接状态表中可存储的最大 OSPF 的 LSA 数或 IS - IS 的 LSP 数
- 允许网络管理员方便有效地控制输入，输出，和修改大量路由信息用的策略控制语言的能力

JUNOS 路由协议实施

Juniper 网络公司的实现是行业级的，全功能的，并且与有关的 IETF 指标和实现的基本配置兼容。每个 ISP 的网络设计都不相同，因此，不同形式的压力施加在路由协议上。通过过去一年里在大型 ISP 骨干网中的成功运行，证明了 Juniper 网络公司路由协议实施的特点和稳定性。

内部网关协议：IS - IS 和 OSPF

Juniper 网络公司的 IS - IS 和 OSPF 实施与 IETF 指标兼容。另外，Juniper 网络公司的 IS - IS 和 OSPF 与 ISP 使用的添加 (add - on) 功能兼容，并证明了其与配置库具有互操作性。

外部网关协议：BGP - 4

Juniper 网络的 BGP - 4 实施与 IETF 指标及配置库实施兼容。它支持 TCP 的 MD5 认证选项，组，路由摆动阻尼，结网组，路由反射，联合，和对等体组。

多点传送协议

JUNOS 软件从最底层开始进行开发以支持 IP 多点传送。Juniper 网络公司提供的实施包括：Internet 组管理协议（IGMP），距离向量多点传送路由协议（DVMRP），协议独立的多点传送 - 稀疏模式（PIM - SM），服务宣告协议（SAP），和服务描述协议（SDP）等。Juniper 网络公司已经，并将继续在 IETF 设计和开发这些标准和下一代建议中扮演重要角色。

Juniper 网络公司的工程队伍

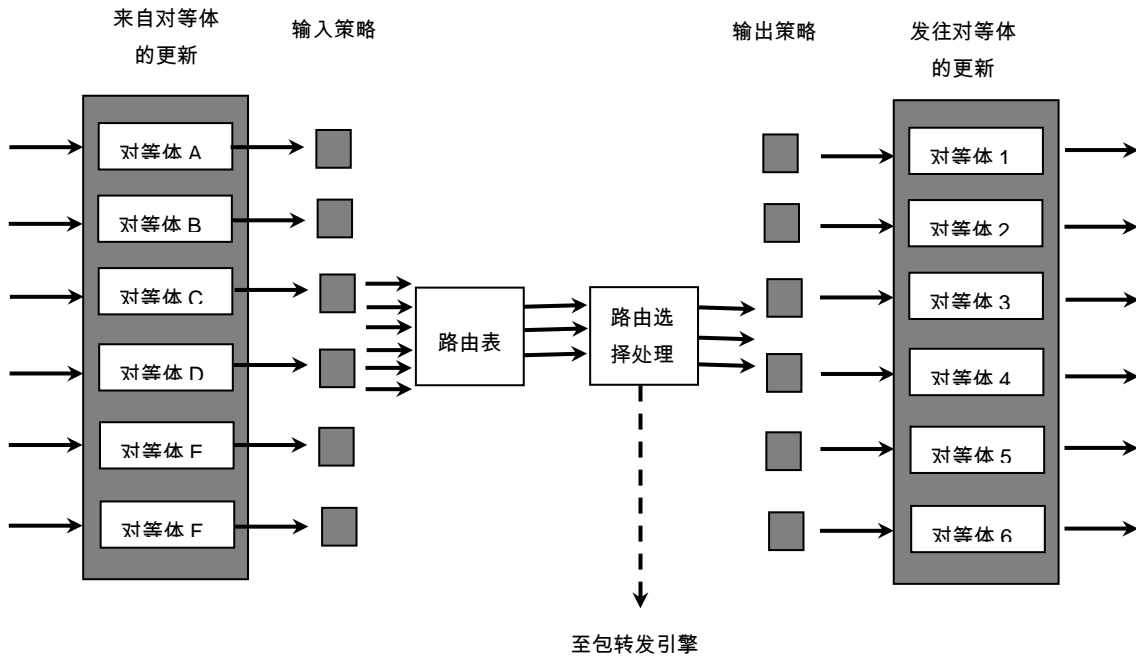
Juniper 网络公司的软件工程队伍能够对所有主要的 Internet 路由软件提供最好的实施，包括 OSPF，IS - IS，和 BGP - 4。这种专业经验使得 Juniper 网络公司不仅能够处理流行的路由协议，而且也致力于那些正在被 IETF 开发的协议。JUNOS 中实施的质量反应了我们队伍中那些参与大量 Internet 手稿和 RFC 工作人员的经验 and 专业技能。

Juniper 网络公司有选择地组建了自己的工程师队伍以提供在重要任务环境下的具有扩展能力的骨干网路由协议。Juniper 网络公司确信，没有任何其它的路由厂商和新生力量可与这只工程队伍相比较。Juniper 网络公司的软件专家们将继续提供标准上的领先，使那些需要能够了解，设计，发布，并支持与 Internet 飞速增长有关的协议的伙伴的客户得到好处。

路由策略定义语言

路由策略定义语言将决定哪条路由可被路由表接收，哪条路由可被广播到对等体，哪些属性的修改即要在输入进行又要在输出进行。策略定义语言所提供的控制对于骨干网是非常关键的，因为它是控制网络如何被使用的基本工具。策略语言决定了通过 Internet 的路径，并在对通过服务提供商网络时进行的路径选择起重要作用。

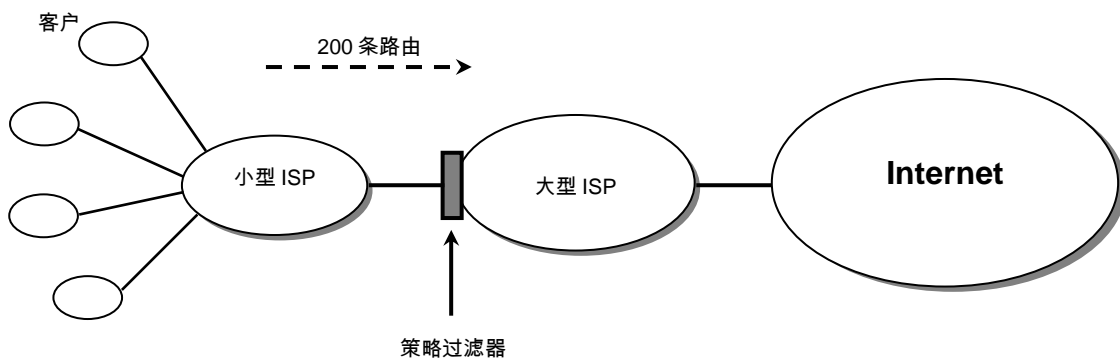
输入策略作为路由选择处理的一部分，对进入本地路由表的信息进行管理并处理属性。由对等体来的信息只有在通过输入策略的过滤规则后，才会在路由选择的处理过程中予以考虑。输出策略管理则向远端的对等体广播的路由信息。路由只有在通过输出策略的过滤规则



后才会被发布。

图 4：路由信息的接收和发布

例如，假设大型 ISP 为第二级 ISP 提供接入，二级 ISP 将向大型 ISP 广播几百条路由信息。大型 ISP 可通过定义策略规则，只接收它希望得到的来自小型 ISP 的路由。当小型 ISP 新增一个客户时，它通知大型 ISP，它将转发一组额外的报头。ISP 通过修改它的路由策略过



滤规则，接收来自小型 ISP 的信息，更新路由表。

图 5：策略过滤的例子

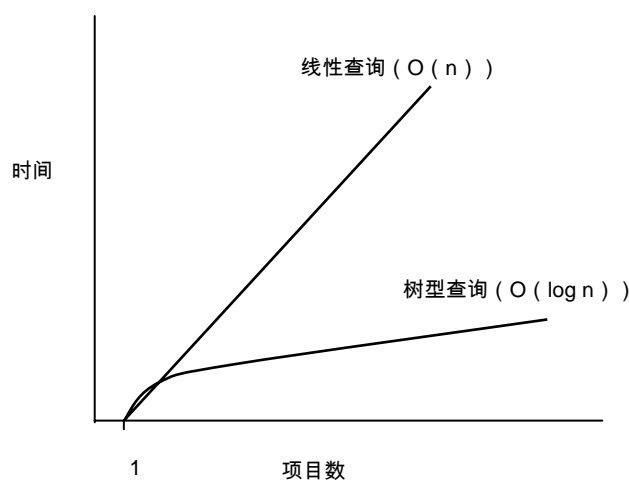
JUNOS 策略定义语言

路由策略定义语言的一个关键话题是，当网络管理员管理上千条路由的策略时，它的难易程度如何。JUNOS 策略定义语言与编程语言相似。它允许通过许多不同的属性（如 IP 报头，AS 路径，MED，组，本地优先，IS - IS 级，和 OSPF 区域）标识路由来定义策略，然后基于这些属性进行特殊的操作（如，接受，拒绝，和修改）。因为策略语言很象编程语言，它实际上非常普通，可以随时间的过去而增加一些新的属性和新的操作。这便意味着，它即可以满足今天的需求，又有能支持将来的需求。

优化查询

当对特定的路由与策略规则进行比较时，我们很容易发现策略的实施将优化查询和识别处理的性能。策略的执行要求每条路由更新的报头与配置的策略比较，以决定对该路由采取什么操作。在 Internet 中，对等体交换处将包含数千条路由，因此，必须要有一个快速的查询算法。

采用线性查询 ($O(n)$) 以识别路由对策略的匹配比起使用树型查询 ($O(\log n)$) 要多花费很长的时间。传统路由软件通过访问列表进行查询，是线性的。因为 Juniper 网络公司从最底层开始设计其软件，JUNOS 使用了树型查询。这是 JUNOS 策略定义语言在 90 年代



晚期，而不是在 80 年代晚期被开发的一个明显的增强性能之处。

图 6：线性查询与树型查询的比较

测试策略配置

如果没有办法在策略被应用到实际网络前对其进行测试，强大而灵活的策略定义语言就象是一把双刃剑。网络管理人员希望能够在不影响业务且不更改客户要求的设置的情况下对他们的路由策略进行测试。

对于 JUNOS，它能够定义一个策略，然后通过策略引擎运行具有一系列属性的报头，以测试其结果。如果策略测试正确，网络管理员将重新配置系统并将策略应用于对等体。

流量工程

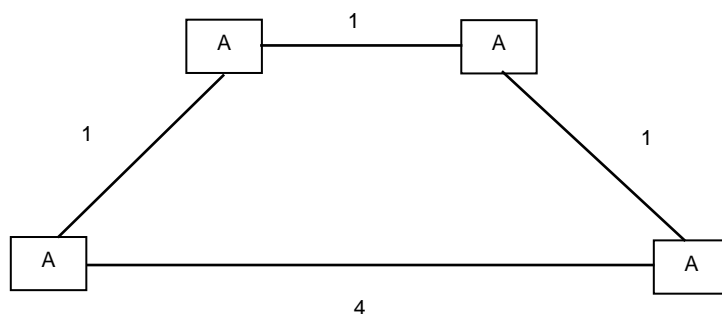
ISP 必须提供一个能够承载其客户业务的网络。如果这个要求不能满足，客户将更换其他提供商。在一个很低的级别上，满足这一需求将要求 ISP 在一定范围内提供一定数量的线路和带宽。换句话说，ISP 必须配置一个能使客户连接到其网络的物理拓扑。

一旦物理拓扑存在，则必须处理将业务映射到拓扑上的任务。过去，将业务映射到物理拓扑上去并不是以一种科学的方法来实现的。映射只是通过基于产品的路由配置来完成。这种无计划映射的弱点通常是通过过量提供带宽来解决的。随着 ISP 网络越来越大，线路上支持的 IP 变得越来越快，客户的需求变得越来越高时，将业务映射到物理拓扑上越来越需要以一种不同的方式来实现。被提供的载荷必须以一种控制和有效的方式被支持。这种将业务映射到物理拓扑上的过程称作流量工程，是目前在 ISP 和 IETF 中的一个热门话题。

Internet 骨干网流量控制的发展

在 90 年代初期，当 ISP 网络由 T1 (1.5Mbps) 和 T3 (45Mbps) 链路组成时，流量工程通过使用路由量度值来实现。基于量度的控制在那时是足以胜任的，因为无论从路由器的数量，链接的数量还是业务量上，那时的 Internet 骨干网都要比今天的规模小得多。

图 7 描述了基于量度的流量控制是如何运行的。假设 A 发送了大量的业务到 C 和 D。如图 7 所示的量度值，A - B 和 B - C 的链路可能会发生阻塞，因为，A - C 和 A - D 的业务流都将通过这些链路。如果 C - D 链路上的量度值变为 3，A - D 的业务流将转移到 A - D 链路上，但 A - C 的业务流仍留在 A - B - C 链路上。结果，“热点”在没有中断网络上任何事物的



情况下被处理了。这是一个通过使用 IGP 量度值进行有效流量控制的例子。

图 7：基于量度的流量控制

ISP 在路由核心网和 ATM 核心网间做出抉择

大约在 1994 年或 1995 年，ISP 网络上的负荷已超过 T3 速率。那时，只有在 ATM 交换机上才具有 OC - 3 (155Mbps) 接口，路由器平台并没有类似的接口。ISP 必须要作出决定：是继续留在路由核心网上，还是转移到 ATM 核心网上。每个 ISP 都基于几个问题的答案而决定了他们将来的方针：

- ISP 对传统路由器厂商在短期内为其产品开发出 OC - 3 和 OC - 12 的接口是否有足够的信心？
- ISP 是否认为带宽的缺乏会给他们的业务带来很大的威胁，进而急需作出决定，即使方案将要对其网络的核心部分进行完全地检修？

正如我们将要看到的，那些选择了向 ATM 核心网转移的 ISP 们继续成长。同时，那些停留在传统路由器核心网的 ISP 们则因为 OC - 3 速率的 SONET 路由器接口推出较晚以及其较低的性能，而使其成长面临更大的挑战。在后面的几节里，我们将讨论每种选择的优点和缺点。

路由核心网中基于量度的流量控制

前面已经讨论过，路由量度的使用在 90 年代初期提供了一个基础的流量控制工具。但是，随着运营商网络的数量和复杂性不断增加，基于量度的流量控制变得越来越复杂，以至于它失去了其可用性的一面。网络管理人员可以继续通过调整链接量度值来避免阻塞，但是，在对网络的一部分量度值进行调整的同时，判断该调整是否会影响网络的其它部分而产生新的问题将变得越来越困难。

路由核心网中没有“流量工程”的情况

如果只有使用 IGP 量度值一种方法来进行流量控制，很可能在网络中产生一些链路很少被使用，而其它链路严重阻塞的情况。这种状况对 ISP 来说很不经济，因为所有的中继线都有开销，即便它们未被充分使用。

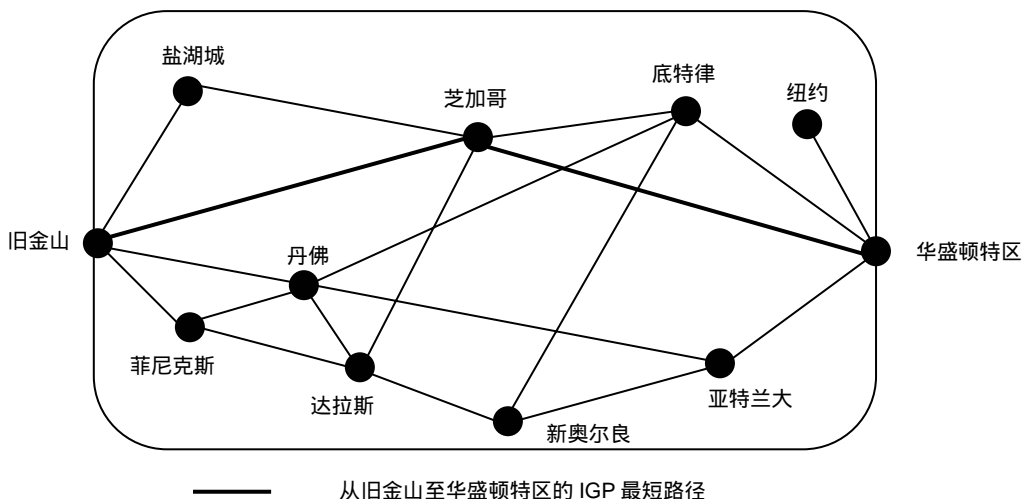


图 8 : ISP 网络拓扑的例子

图 8 描述了一个模拟的 ISP 网络拓扑。在旧金山 POP 与华盛顿特区 POP 之间有几条潜在路径。假设路由协议为业务在旧金山和华盛顿特区间所选取的最短路径是旧金山 - 芝加哥 - 华盛顿特区这条路由。同时，假设有大量的业务从旧金山发往芝加哥，而且也有大量业务从芝加哥发往华盛顿特区。结果大量的从旧金山流向华盛顿特区业务将与旧金山至芝加哥和芝加哥至华盛顿特区的业务竞争。如果网络只能通过 IGP 量度值进行链路选择，则这种情况将经常发生。依赖于 IGP 量度值建立的路径将吸引大量业务。这将导致阻塞和低性能，未能对整个网络的带宽进行有效利用。

路由核心网的优点与缺点

相对于转移到 ATM 核心网，维持原来的路由核心网有一些优点：

- 在路由核心网中，物理拓扑与逻辑拓扑是一致的，避免了 ATM 网络中的“ N^2 ”问题。将在下面章节讨论的“ N^2 ”问题在新增加一个边缘节点时所表现出来的复杂性是非常明显的。
- 在路由核心网中没有信元税。假设有 20% 的开销用于 ATM 的组帧及实现包尺寸分配，这意味着对于 155Mbps 的 OC - 3 链路，124Mbps 将被用于传输数据，31Mbps 将用于 ATM 开销。但是，当你考虑一条 2.488Gbps 的 OC - 48 链路，

1.99Gbps 用于数据，498Mbps 将被用于 ATM 开销（几乎是一个 OC - 12）。由于没有信元税，在路由核心网中则意味着被提供的带宽将更有效地被利用。

- 具有无连接操作特性的路由核心网在故障条件下将显示出更好的适应性。在基于 ATM 链路的网络中，作为备份的永久虚电路（PVC）必须在故障发生前被配置并安装到交换机中。因为网络中的任何节点都有发生故障的潜在可能性，因此，很难设计出与 IP 内建的可恢复性相似的备份 PVC。

相对于这些优点，传统的路由核心网还具有一些缺点：

- 在一个路由核心网中，业务负载并没有在网络链接中均匀地分配，造成网络资源使用的低效率。一些链路发生阻塞，同时另一些链接未被充分使用。这种情况在疏松连接的网络中可能还可以满足需求，但在一个具有丰富连接的网络中，对于业务在路径中的分配进行控制，使负荷在链路中均匀分配就变得非常重要了。
- 基于量度的流量控制并不能为流量工程提供一个满意的方案。由于 ISP 网络的连接变得越来越丰富（即，更大，更密的结网，更多的备份），对网络某部分的量度值进行调整是否会引起网络其它部分的问题，变得越来越难以判断。

ATM 核心网中基于 PVC 的流量控制

当 IP 在 ATM 网络上运行时，路由器环绕在 ATM 网络的周围。每个路由器通过一组穿过 ATM 物理拓扑而设置的 PVC 与其它路由器进行通信。路由器并没有与下层网络直接相关的物理拓扑信息。两个路由器之间的 PVC 就象连接两个路由器之间的简单点到点电路一样，路由器所了解的只有这些。图 9 说明了 ATM 核心网中的物理拓扑与 ATM 核心网中的逻辑拓扑的区别。

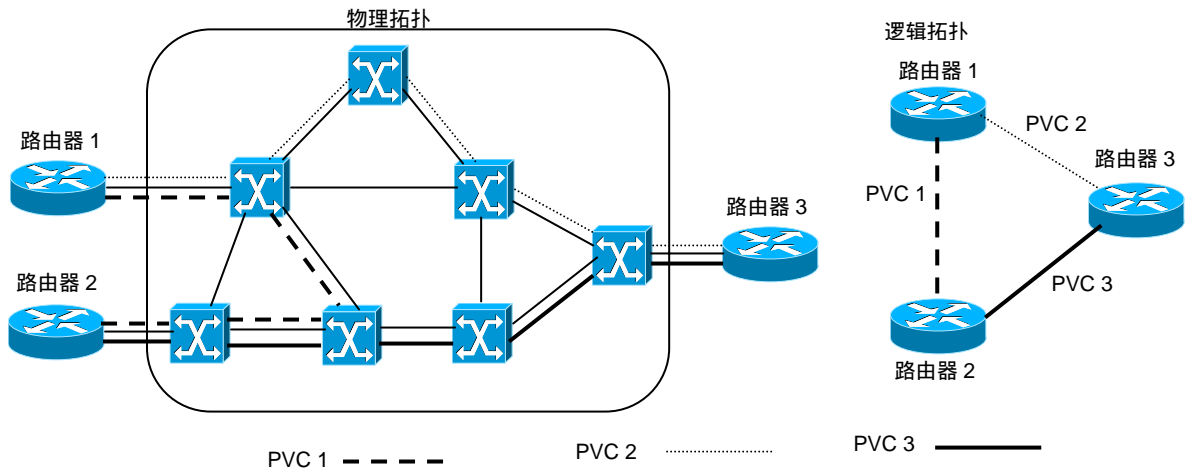
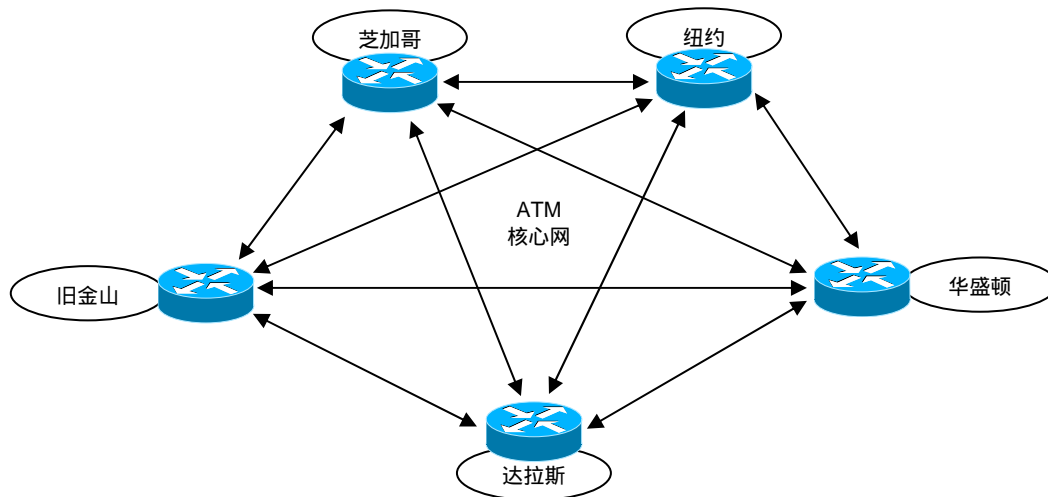


图 9 : ATM 物理拓扑与逻辑拓扑的比较

ATM 核心网中的流量工程

对于一个具有 ATM 核心网的 ISP 通常使用离线配置来完成 PVC 路径的设置。一些 ATM 交换机厂商提供一些专有技术以支持在线的 PVC 路由设置，并在设置时将一些流量工程因素考虑进去。但是，这些功能是不成熟的，ISP 一般通过完全的离线路径计算来解决这些问题。在完成 PVC 结网计算后，配置被下载到路由器和 ATM 交换机以提供全闭合结网的逻辑拓扑。

对于一些 ISP 的网络，每个路由器不仅要参与同其它路由器的全闭合 PVC 结网，而且还要参与备份的全闭合 PVC 结网。图 10 描述了一个具有 ATM 核心网的 ISP 网络逻辑拓扑。



注意，图 10 只描述了主 PVC，其中并没有包括备份 PVC。

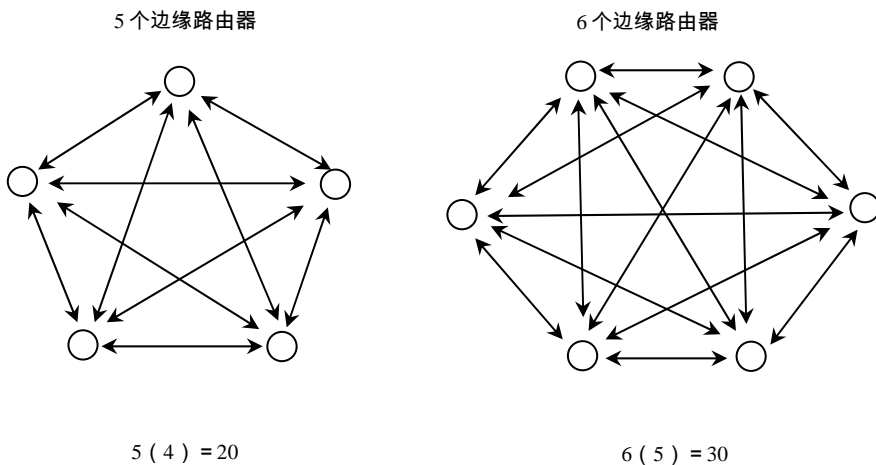
图 10：ATM 核心网上的 ISP 逻辑拓扑

ATM 的 PVC 提供了一个支持精确流量工程的工具。ISP 通过测得的业务参数决定 PVC 路径，将业务流分配到不同的物理链路上去。每条 PVC 都需被确定以同预计的负载相协调。由于网络的业务矩阵随时间不断变化，这便要求支持特定 PVC 的底层物理路径能够随物理路径上的业务负载的变化而被修改。当 PVC 安装到交换结构中去后，它们将通过在每条 PVC 上运行 IGP 与 IP 网结合起来。在任何一对路由器之间，主 PVC 的 IGP 量度值都要比备份的 PVC 好。这样能够保证只有在主 PVC 不工作时才会使用备份 PVC。

ATM 核心网的“ N^2 ”问题

ATM 的局限性之一就是它需要 PVC 的全闭合结网以提供第三层连接。PVC 全闭合结网是“ N^2 ”问题的根源。正象我们将要看到的，由于“ N^2 ”问题的影响，在网络中增加一条路由器将耗费很多劳力，并同时为路由协议的运行造成压力。

图 11 描述了在网络中由于增加一个路由器而相应增加的 PVC 数量，由此而导致“ N^2 ”问题。例如，当网络中的路由器由 5 个增加到 6 个时，ISP 需要将其 PVC 数量由 20 增加到 30 条。一个新增的路由器需要 10 条额外的 PVC。通常，新的 PVC 需要在物理拓扑中被确定，并使其对现有的 PVC 影响最小。当网络中的路由器数量由 50 个增加到 51 个时，面临



的挑战将非常巨大，这将需要增加 100 条新的 PVC。

图 11：“N²”问题和 PVC 增加

PVC 全闭合结网同时也给路由协议带来压力，这种压力也使得“N²”问题变得非常明显。使用全闭合结网 PVC 在一些小型的网络中进行路由可有较好的运行状态。但是，在一个大型网络中，可扩展性问题的局限将变得非常明显。LSP 的扩散变得非常低效，每个路由器与其逻辑邻居具有过多的邻接，同时，数量巨大的逻辑链接使得 Dijkstra 计算效率变得很低。

ATM 核心网的优点和缺点

相对于“N²”问题，在 ISP 网络中配置 ATM 核心网具有以下优点：

- 基于 ATM 的核心网通过对 PVC 的配置，完全支持流量工程。这使 ISP 在其网络中精确地进行业务分配，使中继线平均地被使用，避免了业务被全部吸引到花费最少的链路上，避免了链路过分使用或未充分使用情况的发生。流量工程使 ISP 在市场中更具竞争性，允许他们为客户提供费用更低、更好的服务。
- 在基于 ATM 的核心网中，通过交换机提供的每条 PVC 的状态信息可以对业务参数进行监测。网络设计者为支持特定的流量工程目的而对每条 PVC 进行配置。他们连续对 PVC 上的业务进行监测。如果一条特定的 PVC 发生阻塞，ISP 具有对此阻塞进行修正所需的全部信息。

相对于支持流量工程这一优点，基于 ATM 的核心网同时具有一些局限性：

- ATM PVC 的全闭合结网导致了“N²”问题
- ATM 信元税将占用大量带宽。如以前讨论过的，一条 OC - 48 链路的信元税将占用大约一个 OC - 12 的带宽。路由器核心网中避免了信元税的开销，使原用于报头的开销用于传输业务，带宽的使用更加有效。

- 在基于 ATM 的核心网中，由于其基于连接操作的特点，网络在故障模式下将变得不是十分可靠。在路由核心网中，备选路径在任何发生链路或对等体故障的时候被计算。在基于 ATM 的核心网中，必须对备份路径预先进行计算并安装到交换机中，以提供及时的备份功能。
- 基于 ATM 的核心网需要管理两个不同的网络：ATM 基础结构和逻辑 IP 覆盖。管理特定网络的任务将伴随着一定的费用。在 ATM 网络上运行 IP 网，ISP 因为需要管理两个分立的网络而使得总开销加倍。同时，路由和流量工程在不同的设备上执行（即，路由在路由器上执行，流量工程则在 ATM 交换机上执行）。结果，将有两个配置进程用于设计、运行，及检测。

业务统计支持流量工程

增大一个网络需要了解网络中每一个接入点和每个接入点的业务量。ATM 交换机提供的每条 PVC 的统计信息简化了收集进行流量工程决定所需信息的任务。统计信息使 ISP 可以了解到每条 PVC 的业务量，使 ISP 能够了解哪条 PVC 的业务正在增加。

在路由核心网中建立流量矩阵是很困难的，因为骨干中继线上的业务统计与实际业务并未分开。在路由核心网中，一种可能的收集有关数据信息的方法是业务采样（例如，每 100 个数据包采样一次）。如果我们能够得到具有统计信息的那一部分数据，便完成了采集的功能，但是，在 OC - 48 速率上实现这一功能是非常困难的。类似于流量交换等一些专有技术可以为路由核心网提供一些信息，但仍需要大量的离线分析，并且，它们扩展至 OC - 48 速率的能力也是令人怀疑的。

采集统计信息和流量工程是两个分立的问题。但是，如果你将流量工程作为闭环反馈系统的一部分，业务统计提供基本的信息以使 ISP 能够精确地确定网络链接。在 ATM 核心网中，网络的运行确定每条 PVC 以支持特定的流量工程需求。他们连续地监测 PVC 上的业务状

况，如果一条特定的链路开始发生阻塞，他们可以对通过 ATM 基础结构的 PVC 物理路径进行修改。问题解决之后，他们将继续监测下一条可能发生瓶颈的 PVC。

多协议标记交换 (MPLS) 解决方案

图 12 提供了传统路由核心网和 ATM 核心网之间优劣比较的一个总结。随着我们步入光 Internet 时代，任何出现的流量工程解决方案都需综合路由核心网和 ATM 核心网的优点，同时避免其缺点。

	优点	缺点
传统路由器核心网	物理拓扑与逻辑拓扑相匹配 无“ N ² ” 问题 无信元税 故障条件下的适应性	链路未充分使用 链路过分使用 使用路由量度的工程非常复杂
ATM 核心网	通过 PVC 的配置支持流量工程 每条 PVC 的统计信息监测业务参数，同时提供流量工程的反馈	ATM 信元税 ATMPVC 的全闭合结网； “ N ² ” 问题 在故障条件下较差的适应性 需要对两个分离网络进行管理

图 12：传统路由器核心网与 ATM 核心网的比较

回到 1994 年，ISP 们只是简单地希望获得更多的带宽以应付不断增长的网路业务。那些决定使用 ATM 核心网的 ISP 们很快地发现，ATM 核心网可以为他们提供两个重要功能：使业务负载在网络中均匀分配的流量工程的能力，及用于统计业务的每条 PVC 的统计信息。当与传统路由核心网进行比较时，ISP 们对 ATM 核心网提供的控制级别感到满意。今天，ISP 们并不希望放弃 ATM 提供的控制功能。尽管 ATM 有许多局限性（如：信元税，“ N²” 问题，及管

理两个分立网络的费用)，ISP 们明白，他们仍需要一些类似于 ATM 的流量工程能力以成功地运行他们的网络。

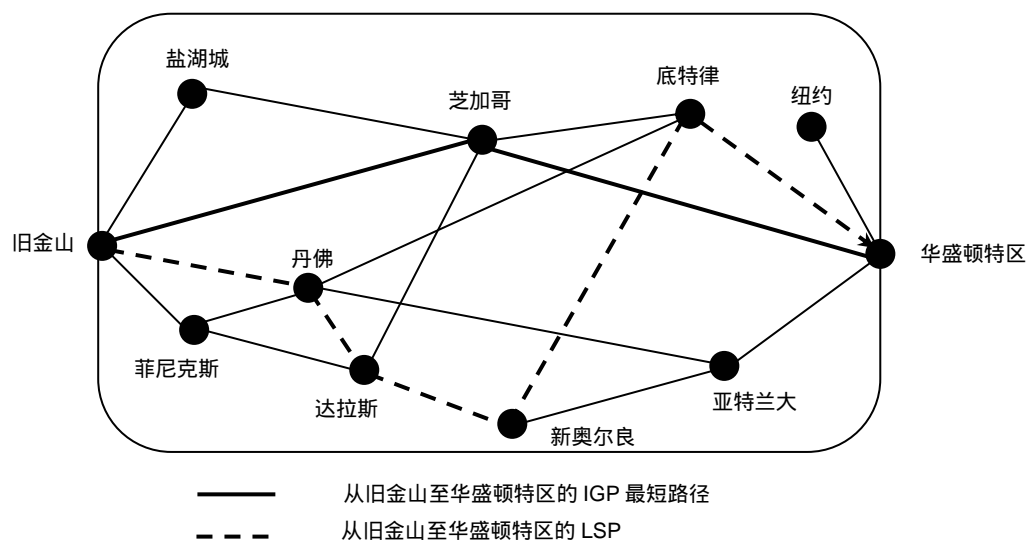
Juniper 网络公司确信，多协议标记交换 (MPLS) 是支持大型服务提供商网络流量工程的解决方案。它综合了路由核心网和 ATM 核心网的优点，同时避免了它们的缺点。MPLS 提供的好处包括：

- 在网络高速增长的时期，其能提供对可用资源进行精确控制的能力
- 在阻塞及故障情况下的稳定性
- 为 ISP 提供增值服务的基础

Juniper 网络公司积极地参与 IETF 的 MPLS 和 RSVP 工作组及有关活动。Juniper 网络公司也从与一些大型 ISP 合作的多次试验中获得了许多有关 MPLS 的宝贵经验。

多协议标记交换 (MPLS)

MPLS 提供的一个重要的性能是：它可以提供类似于 ATM 网和帧中继网中 PVC 的标记交换路径 (LSP)。一条 LSP 通过串联一个或几个标记交换跳转点来建立，使数据包沿 ISP 网络中的 LSP 从一个标记交换路由器 (LSR) 转发到下一个 LSR。LSR 是一个支持 MPLS 的



路由器。

图 13：标记交换路径 (LSP)

一个收到 IP 包的 LSR 给包加上一个 MPLS 报头，然后将其转发到另一个 LSR，这样，使包沿 LSP 被转发。被标记的包通过每个 LSR 沿 LSP 转发，一直到达 LSP 的终点，这时，MPLS 的报头被拆除，包将根据第三层的信息，如 IP 目的地址等进行转发。这里，最重要的一点是 LSP 的路径并不局限于通过 IGP 选择的到达目的 IP 地址的最短路径。

MPLS 包转发机制：标记交换

每个 LSR 的转发处理是基于“标记交换”的概念。标记被捆绑在 IP 报头前，并且是本地连接的。当一个带有标记的包到达 LSR 时，LSR 检查标记，并将它作为自己转发表中的索引。转发表中的每个条目都包含了一个映射了一系列转发信息的入站标记，该转发信息适用于所有具有相同入站标记的包。

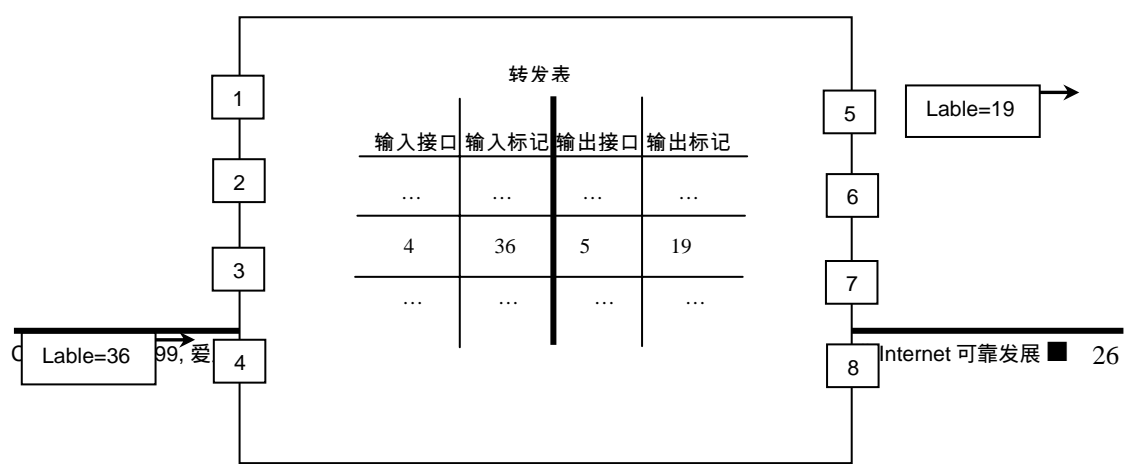
转发表

输入接口	输入标记	输出接口	输出标记
2	25	5	185
2	256	3	735

图 14：标记交换转发表

图 15 描述了 LSR 使用的标记交换算法的运行过程。一个标记为 36 的包在 LSR 的接

标记转发路由器 (LSR)



口 4 上被接收，LSR 使用输出信息对该包进行转发。在这个例子中，LSR 建立了一个标记为 19 的新包，并通过接口 5 将包转发。

图 15：标记交换路由器 (LSR) 进行包转发

MPLS 包转发性能

对于 MPLS 的一个最大的荒诞说法是它可以明显地提高路由器的转发性能。IP 转发是基于最长匹配查询的，而 MPLS 是基于精确匹配查询（与 ATM 查询类型相同）。人们总是习惯地认为 ATM 交换机通过硬件提供的固定长度查询要比路由器提供的基于软件的最长匹配查询快。但是，最新的半导体技术的发展，使基于 ASIC 的路由查询引擎与 ATM 使用的 VPI/VC1 查询引擎的运行速度相同。因为路由器现在可以象 ATM 交换机转发信元那样以线速转发数据包，转发性能不再是一个问题。因此，MPLS 真正的优势在于它提高了协同流量工程的能力。

采用 MPLS 的流量工程

业务通过边界路由器进出骨干网。在流量工程中，边界路由器被称作进出网络的输入点和输出点。使用 MPLS 的流量工程通过在输入点和输出点间建立 LSP 来实现流量工程。

流量工程的本质是将业务映射到物理拓扑上去。这意味着使用 MPLS 流量工程的难点是决定 LSP 路径。Juniper 网络公司的 MPLS 实现支持多种不同的对 LSP 路由的方法：

- 离线计算 LSP 的完全路径，对 LSP 中所有 LSR 所需的转发状态进行静态配置。这种情况与现在 ISP 们使用的 ATM 配置类似。
- 离线计算 LSP 的完全路径，对起始 LSR 进行静态的全路径配置。起始 LSR 则使用资源预定协议 (RSVP) 作为动态信令协议为每个 LSR 安装转发状态。RSVP 只用来安装转发状态，它并不预定带宽或为最小迟延及抖动提供保障。Juniper 网络公司的工程师们为 RSVP 潜心定义了新的标计对象，明确路由对象，和记录路由对象，使 RSVP 能够作为建立 LSP 的协议。

- ISP 可以离线地计算出 LSP 的部分路径，使用路径中 LSR 的一个子集对起始 LSR 进行静态配置，被定义的部分路径可以包含精确路径和疏松路径的任意组合。例如，假设 ISP 有一个包含两条东西向横穿美国的路径的拓扑：一条在在北部通过芝加哥，另一条在南部通过达拉斯。现在，假设 ISP 希望在分别位于纽约和旧金山的两个路由器间建立起一条 LSP。ISP 可以为 LSP 配置部分路径，其包括在达拉斯的一个具有单一疏松路由跳转的 LSR，结果，LSP 被按照南部的路径路由。起始 LSR 使用 RSVP 沿着上面的 LSP 安装转发状态。
- 只使用终止 LSR 标志对起始 LSR 进行配置。这种情况下，使用普通的 IP 路由决定 LSP 路径。这种配置并不提供任何流量工程的价值，但是，其配置非常简单，它可能在虚拟专网 (VPN) 等业务中使用。

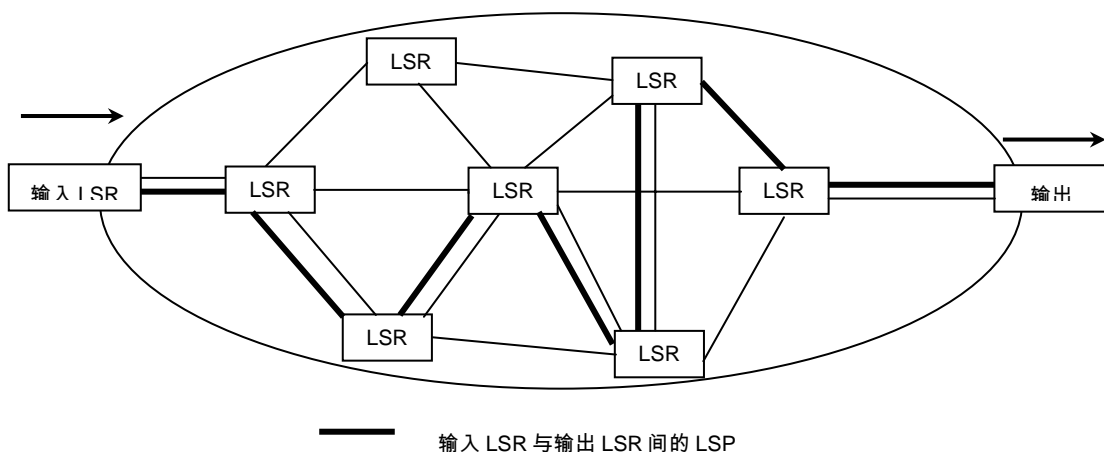


图 16：输入 LSE 与输出 LSR 之间的 LSP

在所有情况下，任何数量的 LSP 都可作为主 LSP 的备份。如果主 LSP 上的某段链路发生路由故障，起始 LSR 因接收不到从远端发来的 RSVP 信息而发现发生了故障。于是，起始 LSR 将请求 RSVP 为一条备份 LSP 建立转发状态。

MPLS 的未来：基于约束的路由

使用具有 RSVP 的 LSP 为基于约束的路由提供了一个理想的范例。在基于约束的路由中，网络管理人员为路由器间的业务交换配置约束，然后，网络本身将决定一条满足这些约束

的路径。Juniper 网络公司计划将 MPLS 实现进行扩展以支持基于约束的路由，因此，网络本身将参与流量工程。这将允许起始 LSR 基于特定的约束计算整条 LSP，并启动网络信令。

约束的一个例子是带宽。例如，假设纽约的一个特定路由器需要发给位于旧金山的一个特定路由器 30Mbps，同时还需要发给位于洛杉矶的一个特定路由器 20Mbps。约束的另一个例子是服务等级 (CoS)。例如，在一对特定路由器间的链路只提供“奖励”用户。

扩展 MPLS 所需的一个关键性能是带宽预定。假设网络中的 LSR 能够申请带宽，对这种申请作出回应，并广播它们现在的带宽分配状态。在一个支持这种性能的网络中，LSP 的建立可通过网络本身的协调而实现，并可将其特定中继线上的已分配带宽考虑进去。链路带宽连同已分配带宽的广播可通过新的 Type - Length - Value 属性被加到 IS - IS 和 OSPF 上去。

基于约束的路由的一些优点包括：

- 因为网络本身参与 LSP 的计算，基于约束的路由可使用较少的人工参与的情况下，实现与原本需要更多人为设置的流量工程相同的控制。
- IGP 的动态信息发布使流量工程对更改的反应非常迅速。
- 基于约束的路由允许快速故障恢复，因此缩短了有效汇聚时间。

MPLS 的优点

前面我们提到，任何光 Internet 中的流量工程解决方案都需要综合 ATM 及路由核心网的优点，同时避免其缺点。让我们总结一下 MPLS 是如何出色地面对这些挑战的：

- MPLS 核心网通过对 LSP 的配置完全支持流量工程。这使 ISP 可在其网络中精确地对业务进行分配，平均使用中继线资源。
- 在 MPLS 核心网中，LSR 提交的每条 LSP 的统计信息为配置新的流量工程路径和物理拓扑提供了所需信息。
- MPLS 核心网中，物理拓扑与逻辑拓扑是相同的，避免了 ATM 网中的“N²”问题。

- 没有信元税意味着所提供的带宽在 MPLS 核心网中比在 ATM 核心网中被更为有效地使用。
- MPLS 核心网集成了 ATM 核心网中所需的第二层和第三层网络。对单一网络进行管理减少了费用，允许路由和流量工程在同一平台上实现，从而简化了网络的设计，配置，运行，及检测工作。
- MPLS 支持动态协议，如 RSVP，简化了网络中流量工程的 LSP 配置。
- MPLS 为 ISP 提供了增值服务的基础。
- 将来的 MPLS 支持基于约束的路由。由于网络自身参与 LSP 计算，因此，使用较少的人工参与就可实现与原本需要更多人为设定的流量工程相同的控制水平。

用户界面

用户界面允许网络个人化的进行交互操作及配置 JUNOS。Juniper 网络公司努力建立一个有效的人机界面，将发生配置错误的机率降至最低。

命令行界面 (CLI)

缺省情况下，网络管理人员与 JUNOS 通过命令行界面 (CLI) 进行交互操作。当用户登录到系统时，CLI 便随之开始了。CLI 可通过几种不同的方式接入，如图 17 所示。

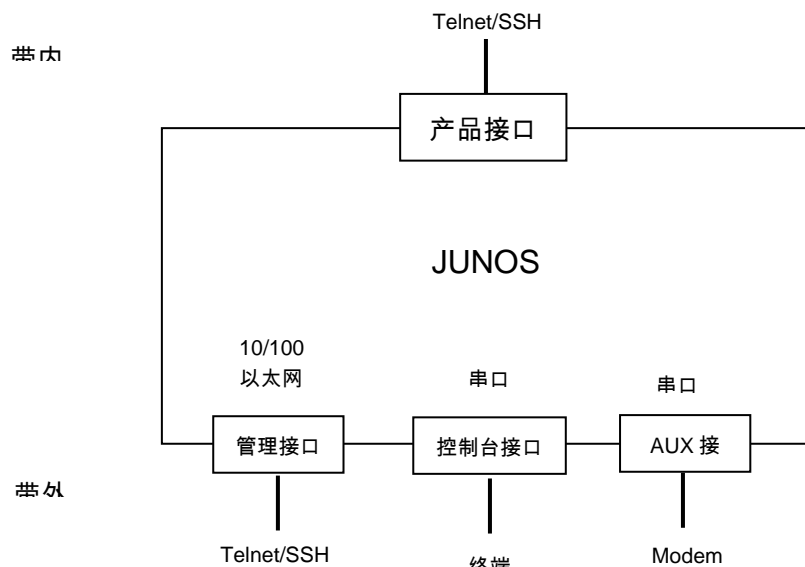


图 17：访问命令行界面

CLI 允许执行不同的任务，包括配置 JONUS 系统，重新启动系统进程，监测路由协议的运行等。CLI 支持一致命名，在线帮助，和命令完成功能。

组，提交，及回滚功能

假设操作人员更改了系统配置并通过提交通知软件使新的设置生效。JUNOS 软件可以考虑现有配置，检查新的配置，然后只作出所需的更改，达到预期的状态。作为提交进程的一部分，系统将检验配置以确认其是否有语法错误。如果配置是一致的，则激活配置，软件处理在系统中运行 - 包括路由协议，接口，SNMP，和机箱处理 - 读取新的配置信息，并更改它们的运行以匹配新的设置。软件在一个基本操作中设定次序，对自己重新进行配置。

这种配置与传统路由器的配置完全不同。在传统路由系统中，用户进入配置模式，键入单个命令，然后敲回车键。敲回车键用来提交最后输入的一行命令。这种每次只做一步的更改要比一次性配置处理复杂得多。一步接一步的配置模式能够导致临时的路由配置错误，从而导致网络的不稳定性。

例如，假设网络管理人员希望加入一个新的 BGP 对等体，但是只希望基于某一路由策略允许特定的路由从该对等体进入。对于传统的系统，管理人员需要完成几个独立的步骤：定义一个策略，建立新的对等体，然后将路由策略施加在新的对等体上。对于一步接一步的模式，它能够建立 BGP 对等体，建立 BGP 对话期，启动路由信息交换 - - 所有这些都策略施加到对等体之前完成。在传统模式里，唯一的方法是退出配置模式，然后快速地复位对等会话期，重新建立对话期。在这期间，谁能确定服务提供商网络中广播什么样的路由信息！

操作人员常做的一件事情是从网络管理工作站的一个窗口剪切 - 复制一个配置到另一个窗口。假设一个操作人员这样做了，但是，一个 10 行的配置中，被剪切的第 7 行命令中包含一个语法错误。如果第 8, 9, 10 行命令都依赖于第 7 行命令，谁能确定该路由器的确切配置状态？对于 JUNOS 软件，输入并提交这 10 行配置将导致因为第 7 行而产生的错误。由于第 7 行的错误，这 10 条配置更改将没有一条会被提交。Juniper 的组/提交功能的实施允许操作人员返回并编辑这些配置，修正语法错误，然后在重新提交全部配置更改。

Juniper 网络公司同时也提供回滚功能，允许用户返回以前的配置状态。假设操作人员因做了一些配置更改而导致网络中一些可到达信息丢失。JUNOS 软件允许操作人员迅速回滚到以前的配置状态，以提供稳定的网络状态。

配置更改控制

配置更改控制用于在有多个用户可以访问系统时提供不同的控制等级。在提交配置更改的处理中，用户可以记录所做的更改。这便允许其他用户了解更改的历史，并对那些编辑作出特定的响应。他们也可以了解新配置与旧版本之间的区别以确定什么被更改了，谁作的更改及何时作的更改。

配置更改控制在处理复杂故障状况时是一个非常有力的工具。假设网络管理人员知道路由器配置在下午 2 点钟还在正常工作，而 2 点 37 分开始出现故障。JUNOS 软件可以记录几个星期的配置更改，因此可以跟踪路由器配置的历史。传统路由系统只是简单地登录一些特定

用户所作的配置更新事件。但是，它们并不具有确定所作修改的能力或回到稳定配置状态的能力。

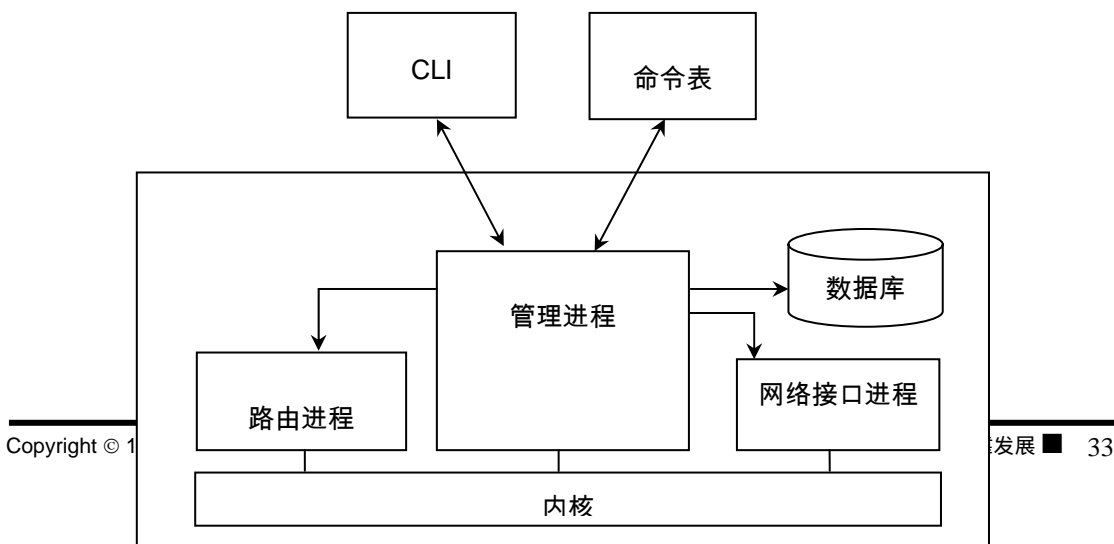
多用户访问等级

JUNOS 软件将每个命令都分配到几个不同访问类别中的一类中去。这使得网络管理人员可以定义许多不同的用户等级，分配给每个用户等级一个或几个类别，然后将特定的用户分配到一个管理人员定义的用户类别中去。例如，一些在 NOC 工作的人员可被分配到“技术用户”类别里，允许他们观看及复位设置，但不允许管理接口，路由，或用户帐户。同样，系统管理者可能是唯一的“超级用户”类别的用户，他具有对系统的所有访问权限。JUNOS 软件允许系统管理人员建立任何数量的用户组，并为每个用户组提供不同的系统访问权限。

通常，传统路由系统只具有两个系统访问级别。对于低级别访问，用户可以观看特定的参数，但不允许更改参数或观看整个系统配置。对于高级别访问，用户具有访问整个系统的权限。传统的系统只为管理人员提供两种选择：严格限制状态，以至于限制了操作人员解决问题，或过渡许可，从而导致潜在的危险。

可选的用户界面

缺省的用户界面是 CLI，在用户登录到系统之后其自动开始运行。CLI 与负责整个系统配置使能的管理进程通信。管理进程与 CLI 相互作用以提供对其它子系统和包含所有配置参数（例如，接口配置，路由协议配置，路由策略，业务筛选，及用户访问权限等）的数据库的访



问。管理进程与 Juniper 网络系统其它部分的关系如图 18 所示。

图 18 : JUNOS 的可选用户界面

在 Juniper 网络公司的设计中，CLI 通过与管理进程通过交换具有良好格式的命令行来完成通信。这种方案使 CLI 变得相对简单，因为所有的智能部分都在管理进程中完成。这种信息的交换允许 CLI 了解哪些命令对 JUNOS 软件是有效或无效的。如果 CLI 想做些管理进程认为无效的操作，管理进程将通知 CLI。但是，Web 浏览器或用户自己编写的命令表可以代替 CLI。唯一的先决条件是备选的用户界面必须与管理进程“说”同样的字符串。

对于传统的路由系统，CLI 是支持设备配置的唯一界面。如果用户希望写自己的命令表，那么这个命令表必须要能与 CLI 通话。经验表明，完成上述功能的难点在于：原来被设计成交互式工作的部分现在要求自动完成。例如，一个典型的 CLI 通过提示符显示命令过程；命令表输入一个命令；输入回车键；然后，系统给出输出，必须等待提示符出现以后，才可以再次输入下一条命令。在 JUNOS 软件中，管理进程的输出对于计算机分析是非常理想的，相对于传统的 CLI 来说，它非常易于被人们所理解。Juniper 网络公司不仅为人们提供了一个有力的 CLI，而且管理进程也能够用于支持其它配置模式。

支持 ASCII 配置文件

Juniper 网络公司对文件没有特殊的要求，不要求文件使用特殊的文件编辑器进行编辑及特殊的操作界面。系统配置数据库或数据库的一部分用 ASCII 文件表示，该文件可以被修改然后重新输入到数据库系统中去。配置系统同时提供输入和输出能力。这些功能将考虑允许权限矩阵，使用户只能输出他们允许观看的系统配置部分。ASCII 文件为大型 ISP 环境所需的每天对几百个路由器进行离线管理的要求提供了极大的灵活性。

系统安全性

强大的安全性是每个运行在 ISP 网络核心部分的设备所必须的。Internet 的数量表明，普通客户及 ISP 都在持续地增长。因此，网络系统必须要支持内建的安全性防范以保护网络运行，业务，及支持的所有业务的功能性。这部分我们将简单地讨论 JUNOS 软件所支持的一些安全性功能。

支持安全命令解释程序 (SSH)

SSH 提供类似于 Telnet 的服务，虽然使用 SSH 的数据在通过网络时是加密的。JUNOS 允许用户通过 SSH 进入路由器去访问命令行界面 (CLI)。一个监听会话的黑客将不能够理解所截取的信息或在他们通过网络时获得密码。

拒绝服务的冲击

拒绝服务冲击是指那些认证用户阻止访问的事件。攻击者通过占用所有的类似于内存及 CPU 等资源使系统被业务淹没，进而阻塞入口。JUNOS 软件对那些需要到路由引擎的业务 (如 ping，Telnet，路由协议更新，及保持) 进行分类，并分配到不同的优先级队列中去。路由协议更新及链路保持被赋予最高的优先级。无论系统的负载如何，路由邻接和线路协议永远不会停止，确保了网络的稳定性。

MD5 保护 BGP 会话

JUNOS 软件支持 BGP 会话期的 TCP/MD5 认证。MD5 是一个信息摘要 (象一个带有密码成分的校验和)，它象 BGP 信息中 TCP 报头选项一样被传输。BGP 信息并没有被加密，但是，摘要保护了每条信息内容的正确性。每个对等体都共享一个不会被发送到网络中去的密码。对等体使用这个密码产生并检验摘要。

MD5 对三种潜在的攻击起保护作用。第一种是黑客在 ISP 不知觉的情况广播攻击者的路由，从而从提供商处窃取服务。第二种攻击是向 ISP 的路由表中加入路由以试图造成黑洞通信。最后一种攻击是试图破坏 TCP/BGP 连接，使网络不稳定。

网络管理

JUNOS 软件是成一种开放式的系统结构。对设备的管理是通过基于 IP 协议组的标准工具来完成的。这些工具包括（但并不被限制）：SNMP，安全 TCP 连接，Telnet，FTP，ICMP，和 NTP。我们基本的方针是适合那些 ISP 们熟悉的典型模式。

管理控制台

命令行界面可通过管理控制台和以太网管理接口访问。所有设备管理的信息及工具都可通过管理控制台来实现，其中包括：可配置的调试，Telnet，跟踪路由，ping 和 CLI 访问。

SNMP 管理

SNMP 需要被集成到基于标准的网络管理及监控系统中去。Juniper 网络公司支持行业标准的 MIB，同时，可在需要时提供自定义的 MIB。一个关于 MIB 的例子是 Juniper 网络公司的机箱 MIB，其描述了系统的物理状态，包括对报表的支持。当使用自定义的 MIB 时，将继续使用行业标准的习惯约定，这样，MIB 可通过基于标准的 SNMP 管理系统快速地组合到一起。

SNMPv1 和 SNMPv2 模型在安全性方面都比较薄弱。安全性通常通过“共用字符串”来实现控制，其为一个纯文本标识在网络中的每一个包中传递。因为这种安全性方案很容易被破坏，因此，SNMPv1 和 SNMPv2 并不支持配置操作和许多“操作人员”级别的操作（如，清除一个路由协议邻接）。但是，系统专家仍然能够访问所有由 SNMP 的 MIB 收集的统计信

息。只有在具有加密安全性的 SNMPv3 出台以后，Juniper 网络公司才会将远程 SNMP 配置功能集成到 JUNOS 软件中去。

JUNOS 软件提供 Internet 控制及扩展能力

Internet 骨干网提供商在持续的压力下将其网络迅速地扩展到一个空前的规模。新技术和光纤的使用，连同更快速的转发引擎使这种发展成为可能。但是，有效地管理这种增长需要软件工具处理大型网络中操作上的改变。这些工具必须从软件结构，路由协议，策略定义语言，流量工程能力，用户界面，系统安全性，和网络管理能力等方面进行评价。JUNOS 软件在这些方面被精心地设计以满足 Internet 扩展的需求。具有丰富 Internet 实践经验的最优秀的专家们开发了 JUNOS 软件。更为重要的是，它是以一种发展的思想从最底层开始进行开发和设计的。

Juniper 网络公司明白，满足 Internet 骨干网增长的挑战将变得越来越富有挑战性。提供商需要新功能的推出比以前更为迅速和可靠。开发专家，丰富的经验，和创新的 JUNOS 软件设计组合在一起，构成了 ISP 们新一轮成长的可靠基石。