

## 分布式 BGP 协议体系结构\*

张晓哲, 卢锡城, 苏金树

(国防科技大学 计算机学院, 湖南 长沙 410073)

**摘要** :随着 Internet 规模的扩展和连接密度的增加,作为域间路由标准的 BGP 协议面临严峻挑战。集群路由器的出现,其分布式的计算资源、存储资源以及体系结构上的高度可扩展,有利于解决 BGP 协议面临的这些问题。在分析 BGP 协议体系结构无法适应集群路由器分布式特点的基础上,通过对 BGP 协议功能的解耦合,提出一种新的、分布式的 BGP 协议体系结构。与传统方式相比,分布式 BGP 体系结构能够充分利用集群路由器的分布式的计算资源和存储资源,在协议可靠性、管理维护成本、协议多维可扩展性和简化 BGP 网络设计等方面具有极大优势。

**关键词** :核心路由器 ;BGP 协议 ;体系结构 ;BGP 实体 ;集群

**中图分类号** :TP393.4      **文献标识码** :A

## Distributed BGP Architecture

ZHANG Xiao-zhe, LU Xi-cheng, SU Jin-shu

(College of Computer, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract** :With the Internet continuing its expansion in range and its increase of linking density, the BGP routing protocol, which works as the inter-domain route standard, has met serious challenge. The emergence of clustered router, which has the advantages of distributed storage, computation resources and high extensibility in system and structure, is helpful for people to meet the challenges. Considering that BGP protocol architecture is not suitable for clustered router, this paper proposes a new distributed BGP architecture, which can take advantage of distributed resources of clustered router greatly. Compared with traditional BGP architecture, the distributed BGP architecture can improve protocol reliability, lower administration costs, simplify BGP network topology and improve BGP scalability.

**Key words** :core router ;BGP protocol ;architecture ;BGP entity ;cluster

作为域间路由标准的 BGP 协议<sup>[1]</sup> (BGP4) 出现并发展了十几年,目前已经成为 Internet 基础设施的关键组成部分。但是其在协议实现复杂性、协议处理性能、规模可扩展性以及管理成本等方面存在的问题,严重地影响了整个 Internet 基础设施的可用性。

Internet 各种网络应用的飞速发展,为 BGP 协议引入了各种非常复杂的应用特征,如增加 BGP 协议灵活性的各种新属性——MED、MPLS 扩展、IPv6 扩展等。这些新增属性使协议实现变得更加复杂,增加了出现不可预知行为的可能性并且更容易发生错误<sup>[16]</sup>。BGP 协议的复杂性使其在 Internet 应用中面临很严重的性能问题,主要有 :BGP 协议日趋庞大的路由表容量消耗了控制平面极大的存储资源和计算资源 ;AS 间连接密度的增加使得 BGP 邻居会话数量<sup>[12-13]</sup>快速增长,当 BGP 邻居会话数量增长到数百个时,路由器无法及时处理收到的网络前缀更新报文,路由更新的穿越时间增长了若干个数量级 ;网络前缀的猝发更新<sup>[6-7]</sup>、持续的路由抖动<sup>[8-10]</sup>、转发环路<sup>[9]</sup>以及慢收敛<sup>[11]</sup>等使路由器 BGP 进程持续处理各种路由更新报文,又进一步浪费了控制平面珍贵的计算资源。

在 Internet 的应用部署中,BGP 协议存在严重的可扩展性和管理维护等问题。BGP 协议要求 AS 内部运行 BGP 的路由器之间通过 I-BGP 进行“全互连”(full mesh),随着 ISP 路由器数量  $n$  的增加,IBGP 连

\* 收稿日期 :2005 - 12 - 01

基金项目 :国家自然科学基金资助项目(90412011,90104001,90204005);国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2003CB3148020)

作者简介 :张晓哲(1976—),男,博士生。

接数呈现出  $n^2$  的增长趋势,严重限制了它的可扩展性。为此路由反射<sup>[2]</sup>、BGP 联邦<sup>[3]</sup>以及路由服务器<sup>[4]</sup>等技术被提出,可用来解决 BGP 协议在大 ISP 网络中的可扩展问题,但是这些技术使得 BGP 更加复杂,并且产生路由环、路由抖动等影响协议正确性的严重问题。一个大规模的 ISP 网络通常包含数百个运行 BGP 协议的路由器,对 BGP 协议的策略配置工作是一项繁琐的任务,需要网络管理员对整个 ISP 进行详细规划,仔细地保证每个路由器的配置正确无误,微小的疏忽有时会造成灾难性的后果,影响 Internet 的全局可达性。

集群路由器的出现及快速发展使得传统路由协议软件结构无法适应。集群路由器提供了分布式的计算资源及存储资源、更高的系统可靠性,而传统的基于单 CPU 的路由协议体系结构不能充分利用分布式的资源来解决自身面临的计算能力不足等问题。其中 BGP 协议作为 Internet 基础设施的核心,矛盾尤为突出。针对目前 BGP 协议面临的这些问题,本文提出了一种新的、分布式的 BGP 协议体系结构。整个体系结构由 BGP 实体集合及 C-BGP 协议两部分组成,BGP 实体作为独立的模块或者进程,驻留在集群路由器路由节点上,负责具体的协议功能执行。而传统 BGP 协议功能不再由一个独立的功能模块来完成,而是将其邻居会话维护、路由更新处理、路由存储、配置管理等协议功能按照一定的划分算法,分布在各个 BGP 实体上,由各个实体并行执行。

为了解决多个 BGP 实体并行中的同步通讯问题,本文在分布式 BGP 协议体系结构的基础上,进一步定义了 BGP 实体间的通讯协议——C-BGP 协议。协议定义了 BGP 实体之间的控制信息、状态信息、路由处理过程的交互规范,使得符合该规范的 BGP 实体集合在外部行为上与传统 BGP 协议一致。通过对 BGP 协议功能的解耦合,分布式 BGP 体系结构能够充分利用集群路由器分布式的计算资源和存储资源,在协议可靠性、管理维护成本、协议多维可扩展性、简化 BGP 网络设计等方面具有很大的优势。

## 1 分布式 BGP 体系结构

ISP 使用 BGP 协议作为自治系统之间交换路由可达信息的手段,为了将来自于其它 AS 的路由信息传播给 ISP 内部的各个路由器,要求 ISP 内部所有运行 BGP 协议的路由器全互连。在处理来自于其它 AS 的路由更新信息时,路由器首先从邻居会话上收到路由更新,执行路由选择过程,将其保存到本地 BGP 路由数据库中,同时要将这条路由通过 I-BGP,发送给 ISP 内部的其它 BGP 路由器。这种全互连方式可以保证 ISP 中所有的 BGP 路由器具有相同的路由数据库,避免本地环路的产生。本文只考虑正确的 I-BGP 全互连连接方式。

如果在 ISP 中使用集群路由器技术,则路由协议在集群路由器中的工作方式是一个非常重要的问题。现有的 BGP 体系结构决定了只能存在两种方式:第一,集群路由器的每个节点独立地运行 BGP 进程,节点之间通过 I-BGP 全互连,这种方式类似于 BGP 的全互连连接关系。这时整个集群路由器的 BGP 协议以 BGP 网络的形式表现出来,每个节点上的 BGP 进程必须独立配置,无法保证集群路由器的单映像性。第二,BGP 协议驻留在单个路由节点上,其它节点仅仅将收到的 BGP 报文转发给运行 BGP 协议的节点。这时 BGP 进程的运行方式与传统 BGP 路由器完全相同,而其它节点的功能则被弱化为 BGP 协议节点的远程板卡。这种方式完全屏蔽了集群路由器的分布式计算及存储资源,无助于解决 BGP 协议目前面临的各种问题。

### 1.1 分布式体系结构

本文提出了一种基于集群路由器硬件平台的分布式 BGP 体系结构及基于该体系结构在 BGP 实体之间提供同步通讯支持的——C-BGP 协议。整个结构如图 1 所示,BGP 协议不再作为一个独立的进程运行在任何节点上,而是将其协议功能分解到各个 BGP 实体上,由 BGP 实体集合共同完

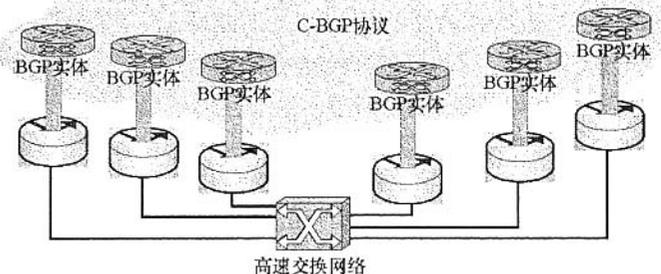


图 1 基于集群路由器的分布式 BGP 体系结构

Fig.1 Distributed BGP architecture based on a clustered router

成。整个体系结构由 BGP 实体集合及 C-BGP 协议两部分组成 ,BGP 实体负责执行具体的协议功能 ,BGP 协议的邻居会话、路由更新处理、路由存储、配置管理等功能按照一定的划分算法 ,分布在各个 BGP 实体上 ,由各个实体独立执行。C-BGP 协议提供了 BGP 实体间的同步与通讯接口 ,定义了 BGP 实体之间的控制信息、状态信息、路由处理过程的交互规范 ,使得符合该规范的 BGP 实体集合在外部行为上与传统 BGP 协议一致。

分布式 BGP 协议体系结构的关键是要保证其协议视图与传统 BGP 协议视图的一致性。传统 BGP 协议按照不同的功能层面可以分为 :对其它 BGP 路由器可见的“路由更新视图”和面向 IP 转发层面的“路由转发视图”。因此在“路由更新视图”上 ,分布式 BGP 体系结构必须要保证 BGP 实体集合的外部行为是一个传统的 BGP 路由器 ,不是一个 BGP 网络。在“路由转发视图”上要保证在每个路由节点上 BGP 实体向 IP 转发表及其他 IGP 协议输出的路由信息是完全相同的 ,并且要与处于相同网络位置的传统 BGP 协议的“路由转发视图”完全一致。

1.2 BGP 实体

BGP 实体驻留在每个路由节点上 ,完成全部或者部分 BGP 协议的功能。按照 BGP 实体是否完全实现原有 BGP 协议的所有功能 ,可以将其划分为 BGP Agent 和 BGP Stub 两种实体类型(如图 2 所示)。

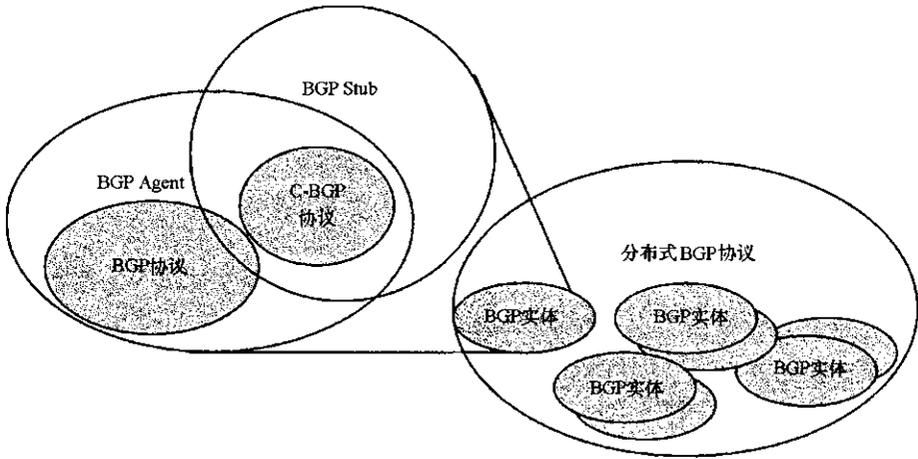


图 2 BGP 实体的类型及功能组成  
Fig.2 Two different BGP entity types and their functions

BGP Agent 在功能上是 BGP 协议的超集 ,可以独立完成原有 BGP 协议的全部功能。支持传统 BGP 协议的各种配置命令、I-BGP 和 E-BGP 邻居会话 ,可以按照用户配置独立地与对等方建立邻居关系 ,接收或者发送路由更新报文 ,单个节点的外部行为与传统 BGP 协议一致。为了解决 BGP 实体间的同步与通讯问题 ,每个 BGP Agent 还支持实体间的通讯协议——C-BGP 协议。C-BGP 协议作为 BGP 实体的第三种会话关系 ,通过在集群路由器的各个 BGP 实体间建立 C-BGP 会话 ,将 BGP 实体集合对外虚拟成一个 BGP 路由器。

BGP Stub 只支持 C-BGP 协议和 BGP 协议中与路由数据库维护相关的功能。BGP Stub 不能独立工作 ,不是分布式 BGP 协议的必要组成。它的功能是通过与其它 BGP Agent 建立 C-BGP 会话 ,获得 BGP Agent 路由数据库中的最优路由信息 ,生成所在节点的路由转发视图。BGP Stub 与 BGP Agent 相比 ,降低了对路由节点计算资源和存储资源的需求。它能够为 IP 层及其它路由协议提供 BGP 协议的“路由转发视图” ,适合于异构集群路由器中性能较低的节点或者只运行 IGP 协议专注于 ISP 内部路由计算的路由节点。

原有 BGP 协议的功能按照一定的划分算法 ,分布式到各个 BGP Agent 上并行执行 ,BGP Stub 只是被动地接收来自于 C-BGP 会话的路由更新信息 ,不承担与 BGP 邻居会话相关的任何功能。例如 :用户可以登录到任意一个 BGP 实体上 ,发出控制命令 ,与其它 BGP 路由器建立一个 E-BGP 邻接关系。这是当前实体的负载划分算法在 BGP Agent 集合中选择一个实体 ,向其发送建立新 BGP 邻居会话的命令 ,控制

它与对端 BGP 路由器建立实际的会话。同时用户命令也通过 C-BGP 会话传播到集群路由器的其它 BGP Agent 和 Stub 上,在这些实体上创建虚拟的 BGP 邻居结构并映射到远端实际的 BGP 会话上。这些虚拟的 BGP 邻居结构不涉及任何的实际操作,只反映远端 BGP 会话的状态变化,因此对本地实体带来的负载非常小。

### 1.3 C-BGP 协议

C-BGP 协议为 BGP 实体提供了同步与通讯接口,定义了实体之间的控制信息、状态信息、路由处理过程的交互报文格式。同时还规范了 BGP 实体处理路由更新报文时,与其它实体进行路由同步的行为规范,使得符合该 C-BGP 规范的 BGP 实体集合在外部行为上与传统 BGP 协议一致。C-BGP 协议的主要内容包括:

#### (1) BGP 实体会话保持及通讯

集群路由器启动或者节点故障恢复时,需要发现其它 BGP 实体并与其建立 C-BGP 会话关系。因此需要一个能够查找并感知各个实体状态的发现协议。在系统运行过程中,节点可能因为硬件或者网络接口故障从集群路由器中断开,需要在 BGP 实体间进行状态检查,保证实体会话的正确性。BGP 实体间的通讯模式通常是一对一、一对多方式,使用多点传送协议可以提高传输效率,降低传输延迟,并能很好地解决可扩展性问题。

#### (2) 控制抽象与控制传播

商用路由器的 BGP 协议包含非常复杂的用户控制命令,而 BGP 实体需要通过组内通讯协议的协同来共同完成传统 BGP 协议进程的工作。为了保证用户在任何一个 BGP 实体上的配置能够影响到整个组中的每个成员,必须对目前 BGP 协议使用的控制命令进行抽象,建立实体控制标准,解决不同厂商之间控制兼容性的问题。多用户在不同路由节点上对 BGP 实体进行配置时,可能造成控制冲突问题,C-BGP 协议必须提供控制同步机制,避免多用户配置冲突。

#### (3) 路由存储和计算任务划分

随着 BGP 路由表数量的不断增大和路由抖动问题带来的路由更新速度的加快,单个节点在路由存储和路由计算上需要消耗极大的系统资源。C-BGP 协议必须提供分布式的路由存储、计算划分算法,避免对单个节点过度的资源消耗。

#### (4) 实体状态映射

构成分布式 BGP 协议的 BGP 实体必须对管理模块提供统一的用户视图,实时反映各个实体的状态变化,而 BGP 协议的一个邻居会话及状态机又只能分布在某个实体上,其它实体只保存到该 BGP 会话的映射关系。因此 C-BGP 协议要提供实时的状态更新机制,保证各个实体当前邻居会话状态的一致性。

#### (5) 路由同步

BGP Agent 运行过程中不断接收到与其直接相连的 BGP 路由器发送的路由可达信息,执行路由选择过程并将其保存在本地路由数据库中。由于各个 BGP Agent 接收的路由信息不同,每个 BGP Agent 据此产生的“路由更新视图”和“路由转发视图”也完全不同。为了保证各个 BGP 实体视图的一致性,C-BGP 协议要提供实体间的路由同步机制。

#### (6) 负载均衡及故障恢复

系统运行过程中,由于用户配置、突发流量、其它协议的负载变化等,会造成某个 BGP Agent 上的部分或者全部计算任务无法正常完成,必须解决这部分计算任务的再分配和状态迁移问题。这是整个系统的容错性和可靠性的核心,良好的状态迁移算法可以保证最小的故障恢复时间。

在具体实现时,C-BGP 协议可以扩展为 BGP 协议的第三种会话关系,通过在集群路由器的各个 BGP 实体间建立 C-BGP 会话,将 BGP 实体集合对外虚拟成一个 BGP 路由器。这种基于 C-BGP 会话的实现方式可以为分布式 BGP 协议提供极大的灵活性,配置了 C-BGP 会话的 BGP 实体可以协同工作,完成分布式的 BGP 协议功能,反之则可以独立地作为一个 BGP 路由器运行,不会影响原有的 BGP 协议功能。

## 2 模型特点分析

分布式 BGP 体系结构与传统 BGP 协议相比,在系统可靠性、降低管理维护成本、提高协议可扩展性、简化 BGP 网络设计等方面具有很大的优势。

### 2.1 提高 BGP 协议的可靠性

传统路由器使用主控卡来运行全部路由协议,存在着严重的单点失效问题,尽管可以使用控制卡备份技术来提高整个系统的可靠性,但是主控崩溃时,备份卡只能通过软件的重启动来完成控制切换。实时热备份技术由于技术难度过高,在目前的商用路由器系统中还没有广泛应用。传统路由器的硬件故障会造成所有来源于本路由器的路由可达信息失效,引发 BGP 网络上大规模的剧烈路由抖动,对其它路由器带来很大的性能冲击。虽然 IETF 提出了 Graceful-Restart 技术,但是需要修改 BGP 协议实现,使得已有的绝大多数 BGP 路由器无法支持。

对分布式 BGP 而言,一个路由节点的崩溃只引发该节点 BGP 实体保存的部分路由信息丢失,不会影响到其它 BGP 实体。假设一个实体只负责一个 BGP 邻居会话及与该会话相关的路由更新的处理,则单个路由节点的故障只会影响到来自于该邻居会话的所有路由信息,而核心路由器 BGP 路由表具有极大的路由冗余性,并且路由的冗余是来自于不同的 BGP 邻居之间的。因此,最坏情况下,一个路由节点故障造成整个集群路由器转发地址的变化范围等价

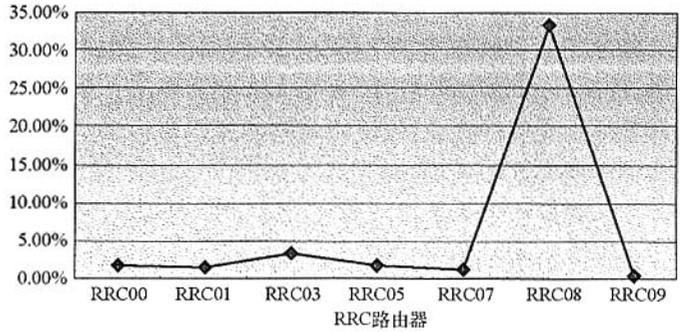


图3 核心路由器 BGP 路由表的冗余性

Fig.3 The redundancy of core routers' BGP tables

于该路由器 BGP 路由表中非冗余路由的数量。本文使用 RIPE 收集的真实的 Internet BGP 路由表数据,分析了核心路由器 BGP 路由表的冗余特性,结果如图 3 所示。从图中可以看出,绝大多数情况下一个节点故障只会对路由器的转发地址产生不到 5% 的影响,而最好情况时受影响的网络地址只有 0.4%。

### 2.2 协议的多维可扩展

分布式 BGP 协议能够充分利用集群路由器分布式的计算资源、存储资源以及高可靠高冗余性的特点,来解决目前 BGP 协议面临的严峻问题,使其获得强大的路由计算及存储能力的可扩展性、支持邻居会话规模的可扩展性、支持 ISP 网络规模的可扩展性。分布式 BGP 协议使用标准协议在实体间进行通讯,可以在协议规范中为未来应用提供预留接口,简化在 BGP 协议中引入新应用特征的实现代价。

ISP 内部的 BGP 路由器之间使用 TCP/IP 进行全相连,存在浪费网络带宽、无法支持大规模网络等问题,分布式 BGP 协议使用多点传输协议来建立 BGP 实体间的 C-BGP 会话关系,可以更好地支持大规模的 ISP 网络。每个 BGP 实体为了维持与其它实体间的连接关系,只需要建立一个 C-BGP 会话,不像传统 BGP 协议一样要建立  $n-1$  个 I-BGP 会话。同时多点传输协议可以降低 BGP 实体间的通讯开销,BGP 实体只需要对多播地址发送一个消息报文,即可完成消息的广播,不需要像传统 BGP 协议一样在全相连的多个 I-BGP 邻居上独立发送更新报文。

分布式 BGP 协议将邻居会话均匀地分布在各个 BGP Agent 上,由每个 Agent 独立处理与该邻居会话相关的路由更新报文、路由策略计算以及路由存储等,Agent 之间只需要执行必要的路由同步过程。由于 BGP 协议的复杂性绝大多数来自于各种复杂的路由策略,因此分布式 BGP 协议可以随着集群路由器节点数量的增长,在支持的邻居会话数量上具有极强的可扩展性。BGP 路由表中冗余的路由信息分布存储在各个实体上,随着路由表空间的急剧增大,这种分布式的路由存储方法可以获得线性存储加速比。

Internet 各种网络应用为 BGP 协议引入了各种非常复杂的应用特征,需要对现有协议进行扩展。目前已有的 BGP 协议扩展都是在路由属性域引入新的属性,通过 BGP 路由更新报文承载新增属性的发布。分布式 BGP 协议通过 BGP 实体来完成实际的协议交互功能,对 BGP 实体的功能没有严格要求,实

体的功能可以是对等的,也可以是异构的。鉴于 C-BGP 协议的开放性,可以在制定协议规范时为未来的新增属性提供开放的注册机制,通过在分布式 BGP 协议中增加特殊类型的 BGP 实体,处理新增的路由属性。这种灵活的 BGP 实体部署能力,可以以模块化的方式完成对 BGP 协议功能的扩展,降低实现开销及系统复杂性。

### 2.3 简化 BGP 网络设计降低维护成本

随着 Internet 规模扩张,目前大 ISP 网络通常拥有几百个 BGP 路由器。如此大规模的 BGP 网络的设计规划以及对这些 BGP 路由器的管理配置工作是非常繁琐的,需要网络管理员对网络拓扑、路由协议原理及机制非常了解。ISP 要满足顾客复杂多样的网络应用需求,需要通过 BGP 的路由策略来支持对 ISP 输入/输出流量的调度。网络应用的复杂性造成了 BGP 路由器配置的复杂性,通常需要数百行甚至数千行的策略脚本才能完成。BGP 路由器配置的复杂性与 ISP 内部庞大的 BGP 路由器数量结合起来,极大地提高了 ISP 网络的管理成本,增加了 BGP 网络的复杂性。

分布式 BGP 协议有助于降低 ISP 网络的管理成本。尽管小规模自治系统只包含若干个 BGP 路由器,这些路由器之间的连接关系仍然非常复杂。自治系统的网络管理员需要分别登陆到每个 BGP 路由器上独立地进行配置,保证这些路由器能够协调工作。如果将自治系统内的多个 BGP 路由器通过分布式 BGP 协议集群起来,构成一个虚拟的分布式 BGP 路由器,则可以极大地简化网络拓扑。这时网络管理员只需要专注于本自治系统与其它自治系统之间的关系,不必考虑内部复杂的 I-BGP 互连。同时集群起来的 BGP 路由器对其它自治系统呈现的视图不是一个 BGP 网络而是一个 BGP 协议点,因此分布式 BGP 协议可以降低整个 Internet BGP 网络的复杂性,有利于提高协议的收敛速度,减少路由抖动。

## 3 结论

网络流量快速增长、新网络应用类型的不断出现以及 AS 间连接密度的增加对核心路由器控制平面的计算能力及存储能力提出了更高要求,同时关键网络设备要具有电信级别的可靠性,链路或者节点故障对转发平面的影响要小于毫秒量级。集群路由器的分布式计算能力、存储能力以及冗余备份能力为解决这些问题提供了良好的硬件平台,但是协议软件的传统实现方式却无法胜任。BGP 协议作为承载域间路由信息的主要载体,对路由器控制平面至关重要。本文提出的基于并行路由计算思想的 BGP 协议分布式体系结构能够充分利用集群路由器中分布式的存储资源及计算资源,有助于缓解 BGP 协议目前面临的各种性能挑战。

## 参考文献:

- [1] Rekhter Y. A Border Gateway Protocol 4 ( BGP-4 ) [ EB/OL ]. <http://www.ietf.org>, 1995.
- [2] Bates T, Chandra R. BGP Route Reflection: An Alternative to Full Mesh IBGP [ S ]. IETF RFC 1966, 1996.
- [3] Traina P. Autonomous System Confederations for BGP [ S ]. IETF RFC 1965, 1996.
- [4] Haskin D. A BGP/IDRP Route Server Alternative to a Full Mesh Routing [ S ]. IETF RFC 1863, 1995.
- [5] Huston G. Internet BGP Table [ EB/OL ]. <http://www.potaroo.net/>.
- [6] Taft N. The Basics of BGP Routing and Its Performance in Today's Internet [ A ]. In RHDN High-speed Networks and Multimedia Workshop [ C ], France, 2001.
- [7] Labovitz C, Malan G R, Jahanian F. Internet Routing Instability [ J ]. IEEE/ACM Transaction on Networking, 1998, 6(5): 515 - 558.
- [8] Griffin T, Shepherd F B, Wilfong G. The Stable Paths Problem and Interdomain Routing [ J ]. IEEE/ACM transactions on Networking, 2002, 10(1): 232 - 234.
- [9] Griffin T, Wilfong G. On the Correctness of IBGP Configuration [ A ]. In Proc. ACM SIGCOMM [ C ], 2002.
- [10] Varadhan K, Govindan R, Estrin D. Persistent Route Oscillations in Inter-domain Routing [ J ]. Computer Networks, 2000, 32(1): 1 - 16.
- [11] Labovitz C, Atujia A, Bose A, et al. Delayed Internet Routing Convergence [ J ]. IEEE/ACM Transaction on Networking, 2001, 9(3): 293 - 306.
- [12] Ge Z, Figueiredo D R, Jaiswal S, et al. On the Hierarchical Structure of the Logical Internet Graph [ A ]. In Proc. SPIE ITCon [ C ], 2001.
- [13] Cidr Report [ EB/OL ]. <http://www.cidr-report.org>.
- [14] Feldmann A, Kong H, Maennel O, et al. Measuring BGP Pass-through Times [ A ]. In Proceedings of the PAM 2004 Workshop [ C ], 2004.
- [15] Agarwal S, Chuah C, Bhattacharyya S, et al. Impact of BGP Dynamics on Router CPU Utilization [ A ]. In Proceedings of the PAM 2004 Workshop [ C ], 2004.
- [16] Feamster N, Balakrishnan H. Verifying the Correctness of Wide-area Internet Routing [ R ]. Technical Report MIT-LCS-TR-948, MIT, 2004.



