

# 域内路由协议 OSPF 与 IS-IS 差异性的研究与分析

李彦刚 邓文平 王 宏 刘亚萍

(国防科学技术大学计算机学院 长沙 410073)

**摘 要** OSPF 是目前在全球范围应用最多的域内路由协议,但是 IS-IS 协议的日益流行使其优点也备受关注。对 OSPF 和 IS-IS 两种域内路由协议在工作机制、收敛性、可扩展性和安全性方面进行了详细比较。理论分析和实验结果表明,OSPF 和 IS-IS 都具有快速收敛和安全可靠的特性,OSPF 具有更丰富的路由策略、多种区域类型、协议数据包和电路类型,更适合中小型网络和企业使用。IS-IS 相对简单、稳定,可扩展性好,在巨量路由条目的情况下,IS-IS 的处理比 OSPF 更有效率,更适合网络运营商和 ISP 部署。

**关键词** 域内路由协议,IGP,OSPF,IS-IS

## Research and Analysis on Differences of Domain Routing Protocol OSPF and IS-IS

LI Yan-gang DENG Wen-ping WANG Hong LIU Ya-ping

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

**Abstract** Currently,OSPF is the most widely used domain routing protocol in the world, but the advantages of IS-IS are increasingly getting more attention. This article compares OSPF and IS-IS on the working mechanism, the convergence, scalability and security in detail. The practical analysis and experimental results show that OSPF and IS-IS have the advantages of fast convergence and safety features. OSPF has more abundant routing strategies, variety of regional types, PDU and circuit types. OSPF is more suitable for small and medium-sized network and enterprise using. IS-IS is relatively more simple, stable and scalability. In the massive route objective circumstances, IS-IS is more efficient than OSPF and more suitable for deployment of network operators and ISP.

**Keywords** Domain routing protocol, IGP, OSPF, IS-IS

## 1 引言

20 世纪 80 年代中后期,随着 ISO 将 IS-IS 采纳为其标准路由协议,IETF 也意识到了需要开发出一种链路状态内部网关协议。由此,IETF 内部形成了两派,一派专注于 IS-IS 的改造,另一派专注于 OSPF 的开发。IS-IS 工作组于 1990 年完成了对 IS-IS 的改造,令其能够支持 TCP/IP 网络,经过改造后的 IS-IS 版本被命名为“集成”或“双”IS-IS。OSPF 工作组于 1989 年 10 月推出了首版 OSPF,简单地说 OSPF 是从 IS-IS 早期版本进化而来的。现在,ISIS 和 OSPF 都已经成为配置大规模 IP 网络时可选择的内部网关协议,这两种协议都已经被广泛地配置使用。OSPF 具有大量厂商的协议实现,在中小规模网络和企业网络中,OSPF 的应用更为广泛,IS-IS 协议主要在一些顶级 ISP 网络中运行并且采用一个单一区域配置。成熟稳定的 IS-IS 并没有大量厂商的协议实现,而 OSPF 更像一个完全的 Internet 标准,同时也形成了更好的文档并且已经被各大厂商采用<sup>[1]</sup>。

OSPF 和 ISIS 从基本功能与操作上都非常相似,但这两个协议也有不同之处,其中包括细微差异和重大差异。现有

研究大部分都是针对 OSPF 和 IS-IS 单个协议,没有对这两个协议进行一个系统的全面的对比,所以本文对 OSPF 和 IS-IS 两种域内路由协议在工作机制、可扩展性、安全性和收敛性方面进行了详细比较。实际分析与实验结果表明,OSPF 和 IS-IS 都具有快速收敛和安全可靠的特性,OSPF 具有更丰富的路由策略、多种区域类型、协议数据包和电路类型,更适合中小型网络和企业使用,IS-IS 相对简单、稳定和可扩展性好,在巨量路由条目的情况下,IS-IS 的处理比 OSPF 更有效率,更适合网络运营商和 ISP 部署。

本文第 1 节详细介绍了 OSPF 和 IS-IS 两种域内路由协议的工作机制,在可扩展性和安全性方面作了详细比较,然后理论分析和实验验证了两种协议的收敛性能,最后展望未来研究工作。

## 2 OSPF 与 IS-IS 详细比较

路由协议根据算法可以分为两大类(也有说 3 大类的,即混合),距离矢量协议和链路状态协议。RIP、RIPv2、RIPng、Cisco 公司的 IGRP/EIGRP 以及 BGP 都属于距离矢量协议,而 OSPF 和 IS-IS 则属于链路状态协议。距离矢量协议基于

本文受国家 973 计划项目(2012CB315906),国家自然科学基金资助项目(61202486,61472438)资助。

李彦刚(1984—),男,硕士生,主要研究方向为计算机网络技术;邓文平(1981—),男,博士,助理研究员,主要研究方向为 Internet 路由、网络体系结构;王 宏(1964—),男,博士,研究员,主要研究方向为计算机网络管理、网络体系结构;刘亚萍(1973—),女,博士,研究员,主要研究方向为网络体系结构、路由技术、SDN 技术、无线网络技术等。

Bellman-Ford 算法,链路状态协议又称最短路径优先协议,它基于 Edsger Dijkstra 的 SPF(最短路径优先)算法。OSPF 是 IETE(Internet Engineering Task Force)的标准协议,IS-IS 是 ISO(International Standardization Organization)的标准协议。

OSPF 是一个内部网关协议(Interior Gateway Protocol, IGP),在单一自治系统(Autonomous System, AS)内决策路由,是对链路状态路由协议的一种实现<sup>[2]</sup>。IS-IS 同样也是一个内部网关协议,在 ISO 规范中,一个路由器就是一个 IS(中间系统),提供 IS 和 IS 之间通信的协议就是路由协议,即 IS-IS 路由协议。IS-IS 和 OSPF 协议非常类似,都是链路状态路由选择协议,且都在单一自治系统内决策路由。其实 IS-IS 的出现比 OSPF 的原型更早,OSPF 在 Internet 和 TCP/IP 网络 IP 通信的路由选择中使用,IS-IS 在 OSI 通信中使用,IE-TE 也已通过一系列 RFC 将 IS-IS 与 IP 路由集成在一起,形成目前在 IP 网络中被广泛使用的集成 IS-IS 路由协议。

## 2.1 工作机制

OSPF 和 IS-IS 主要功能由 4 部分组成:邻接关系建立、链路状态数据库同步、SPF 计算和路由转发,下面详细介绍每个部分的功能。

邻接关系建立,运行 OSPF 或者 IS-IS 路由协议的网络内每台路由器都会在本机直连链路上发送并侦听 Hello 消息来建立邻接关系。OSPF 路由器邻居的发现需借助 3 次握手机制来验证本机与邻居路由器之间是否具备双向连通性。验证过双向连通性之后,开始检查邻居路由器的 Hello 消息所含的相关参数,若相关参数匹配,并且同时支持某些可选功能,当网络类型为点到点、点到多点或虚链路,则直接建立邻接关系,当网络为广播网络或者 NBMA 网络,则会进行指定路由器(DR)和备份指定路由器(BDR)的选举,本机分别与 DR 和 BDR 建立邻接关系。对于 OSPF 而言,邻接关系的建立和邻居间数据库的同步都是由状态机来驱动,OSPF 的各种邻接关系状态包括:Down(失效)、Attempt(尝试)、Init(初始)、2-Way(双向通信)、ExStart(准备交换)、Exchange(交换)、Loading(加载)、Full(齐备),只有邻居间的链路状态数据库同步之后,才能说两台路由器之间建立了状态为 Full 的 OSPF 邻接关系<sup>[3]</sup>。

IS-IS 和 OSPF 建立邻接关系的机制基本是一样的,也是借助 3 次握手机制来验证本机与邻居路由器之间是否具备双向连通性,但 IS-IS 点到点的邻接是通过 ES-IS 协议接收的 ISH 报文来完成初始化,接下来开始交换点到点 IIH 报文,广播网络中会进行 DIS 的选举,然后路由器与 DIS 建立邻接关系。IS-IS 路由器之间会建立两种类型的邻接关系:L1 和 L2 邻接关系。不同之处是只要两台 IS-IS 路由器之间具备双向连通性,双方就一定能够同步各自的链路状态数据库,OSPF 路由器在接收邻居路由器生成的 LSA 之前,会进行严格的检查。

链路状态数据库同步,OSPF 每台路由器都会定期生成和发出 LSA。当两台路由器建立邻接关系后,会进行主(master)/从(slave)路由器分工,主路由器掌握链路状态数据库同步的其余过程,邻居路由器之间互发链路状态数据库描述数据包(DD),告知对方本路由器储存了哪些 LSA,在互发 DD 过程中,若发现邻居路由器拥有本路由器没有的 LSA,或者拥有比本路由器更新的 LSA,就会请求邻居路由器发送相关

LSA 的完整拷贝。具有邻接关系的路由器之间交换完各自链路状态数据库里的 LSA 之后,隶属于同一区域的每台路由器存储的链路状态数据库内容就完全相同了。

IS-IS 每台路由器也会定期生成和发出 LSP。IS-IS 路由器链路状态数据库的同步要简单很多,当两台路由器建立邻接关系后,路由器会定期把自己的整个链路状态数据库发送给对方看。通过点到点链路的 IS-IS 路由器之间会定期互发完全序列数字协议数据单元(Complete Numbers Protocol Data Unit, CSNP),若路由器在收到邻居路由器发送的 CSNP 中发现了未知的 LSP,或者本路由器已知 LSP 的最新版本,便会发送 PSNP(Partial Sequence Numbers Protocol Data Unit),请求邻居路由器发送相关 LSP 的完整拷贝。同理,若该路由器在收到的 CSNP 中发现邻居路由器缺少本路由器链路状态数据库中的某条 LSP,或者本路由器链路状态数据库中某条 LSP 比邻居路由器的新,便会主动把相关 LSP 的拷贝发送给邻居路由器。在广播网络中,DIS 会定期以多播方式发送 CSNP,网络内其它路由器与 DIS 进行链路状态数据库同步。

SPF 计算,SPF 基本思路是根据 LSDB 里描述的拓扑信息构建最短路径生成树(Shortest Path Tree, SPT),然后将 LSDB 里描述的路由信息作为树上的叶子生成最终路由。OSPF 和 IS-IS 都是基于 Edsger Dijkstra 的 SPF 算法。IS-IS 采用部分路由计算算法(Partial Route Calculate, PRC)计算,IS-IS 路由器通过 IP 可达性 TLV 来通告所有 IP 前缀,而执行 SPF 计算所需要的邻居路由器的信息则由 IS 邻居 TLV 和 IS 可达性 TLV 来通告,这种把 IP 前缀信息的通告和拓扑信息的通告一份为二的做法,使得 RPC 更容易应对 IP 前缀的增加、删除和度量的调整等任何变化,这就为 IS-IS 协议在网络事件只影响到 IP 前缀而没有涉及基本的拓扑结构的情况下,运行只需消耗少量 CPU 资源的部分路由计算提供了更多的机会。OSPF 却把 IP 地址语义整合进了类型 1 和类型 2 LSA,路由器、DR 或者 BDR 会共用一种类型的 LSA 通告拓扑信息和 IP 前缀信息。因此,若一路由器所连 IP 地址发生改变,该路由器会生成类型 1 LSA,宣布 IP 地址有变,类型 1 LSA 还包括了节点信息,所以只要泛洪类型 1 LSA,就会导致本区域内的所有路由器执行整个 SPF 计算。只有在生成类型 3、4、5、7 LSA 的情况下,才会触发 PRC。正因为如此,单个 IS-IS 区域比单个 OSPF 区域更具备可扩展性。

数据转发,路由器经过 SPF 计算得路由表,路由器转发进程会根据路由表选择合适的路由条目将数据转发出去。数据转发的快慢与路由器自身的性能以及协议对路由器的资源和网络带宽资源需求的大小有关。在相同路由拓扑条件下,根据 OSPF 和 IS-IS 各个报文的长度,可以计算出 IS-IS LS 数据库比 OSPF 的 LS 数据库规模要小得多,这也是在大型网络中,IS-IS 比 OSPF 具有优势的地方<sup>[4]</sup>。

## 2.2 可扩展性

路由协议必须在性能和功能上拥有可增长和可扩展的能力,从而满足多变和发展的网络环境。OSPF 的两大特征使得该协议的可扩展性受到限制。第一个特征是 OSPF 路由器只要收到了类型未知的 LSA 就会将其丢弃。比如,有可能会只希望让路由器进程域或某个区域内的部分 OSPF 路由器支持某种可选功能的情况,在这种情况下,网络中未开启这

种可选功能的 OSPF 路由器就有可能阻碍特殊类型的 LSA 的泛洪。OSPF 的第二个特征就是 LSA 中包含的都是 IPv4 地址语义,构成 OSPF 消息的各个字段的长度都已固定,而且意义明确,因此只有 LSA 的类型还有一点可扩展的余地,意为只能在必要时,定义新的 LSA 类型,这就回到了第一个特征上面。所以说,想要对 OSPF 进行改良非常困难。

与 OSPF 相比,包括 LSP 在内的各种 IS-IS 消息都是由一个个 TLV 结构组装而成,要想支持新的功能,只需定义新的 TLV 类型,这也使得 IS-IS 易于扩展。比如,想要让 IS-IS 支持 IPv6 路由选择,只要在现有的消息元素中简单“添加”TLV 结构就可以了。其次,IS-IS 路由器对不能识别的 TLV 的处理方式也提高了 IS-IS 协议自身的可扩展性。IS-IS 路由器在碰到 LSP 中不能识别的 TLV 时,则跳过不读,并原封不动地传递给邻居路由器,这使得 IS-IS 网络中引入新功能时,可以在 IS-IS 路由进程域内的需要的部分路由器上开启[5]。

### 2.3 安全性

OSPF 和 IS-IS 设计初衷就是要在本方所管辖的区域之内运行,并假定本方区域内的所有路由器都是受信设备,这两种协议都是以最透明的方式交换路由信息,所以攻击者只要能接入物理链路或者能接触到路由器,发送针对路由器的攻击可谓是轻而易举。OSPF 运行在网络层,因此成为欺骗 (spoofing) 和拒绝服务 (DoS) 攻击的目标。IS-IS 直接运行于数据链路层之上,故而不会为基于 IP 的外部网络攻击所乘。要想对 IS-IS 路由协议发动攻击,就必须能够直接“接触”到网络链路或路由器。

OSPF 的认证类型有虚认证、明文密码认证和 MD5 加密认证。IS-IS 的认证类型有明文密码认证、HMAC-MD5 认证和路由进程域内的私有认证,但 OSPF 启动 MD5 认证时,还可以包括进加密序列号,用来防范重放攻击,即使攻击者能接入链路,并捕获到数据包认证信息的 OSPF 协议消息,但当协议“重回”链路时,会因为其中的加密序列号字段值不再有效,而遭到受攻击路由器的拒绝,但这种机制并非十分有效,攻击者可以对捕获的 OSPF 协议消息进行改动,将其加密序列号字段值调整为一个很高的值,然后在重新放回原来链路,此时,受攻击的邻居路由器就会接受这一加密序列号更高的 OSPF 协议消息,同时拒绝合法的路由器发出的 OSPF 协议消息。而 IS-IS 根本就不能防范重放攻击[6]。

### 2.4 收敛性

收敛性就是在自治系统中网络拓扑发生改变时所有的路由器都得到正确的这一改变并进行 SPF 计算更新各自的路由表所花费的时间。对于 OSPF 和 IS-IS 影响收敛时间的因素有:

- 1) 检测到链路或者接口失效所花费的时间。
- 2) 路由器之间通过链路状态通告交互路由信息,接着重新运行 SPF 算法并计算出新的路由表所花费的时间。
- 3) SPF 固有的初始延迟、增量延迟和最大延迟时间。

OSPF 和 IS-IS 通过 Hello 协议消息来“监控”邻居路由器或邻接关系是否发生了故障。OSPF 默认的 hello 间隔为 10s,DR 以正常的频率发送 hello 报文,dead-interval 时间为 40s。LSA 的老化时间为 3600s,刷新间隔为 1800s,而且是固定值。IS-IS 默认的 hello 间隔为 10s,DIS 以 3 倍的频率发送 hello 报文,hold-time 时间为 30s。LSP 最大生存时间为 1200s,刷新间隔为 900s,而且定时器的值可调[7]。

本文使用 GNS3 模拟实验环境,使用 IXIA 网络测试仪测试 OSPF 和 IS-IS 在模拟环境下的收敛时间。OSPF 和 IS-IS 中 SPF 默认的初始延迟时间为 5s,增量延迟为 10s[6],实验使用默认值。首先,实验验证 OSPF 和 IS-IS 触发 SPF 的条件[8]。其次,测试 OSPF 和集成 IS-IS 网络收敛时间。拓扑结构如图 1 所示。

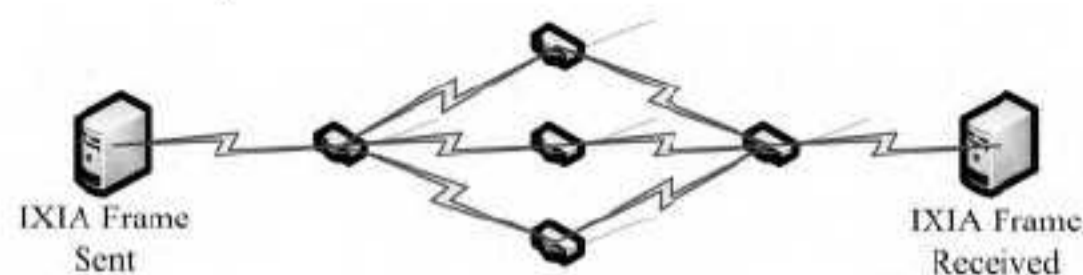


图 1 实验拓扑

如图 2 所示,  $\Delta t = t_1 - t_2$ 。但是,很难精确时间  $t_1$  和  $t_2$  的具体时间。近似公式: 报文丢失数  $\approx$  报文发送速率  $\times \Delta t$ 。那么,  $\Delta t \approx P_{LOSS} / R_S = (P_S - P_R) / R_S$ [9], 如图 3 所示。其中,  $P_{LOSS}$  为报文丢失数,  $R_S$  为报文发送速率,  $P_S$  为报文发送总数,  $P_R$  为报文接受总数。

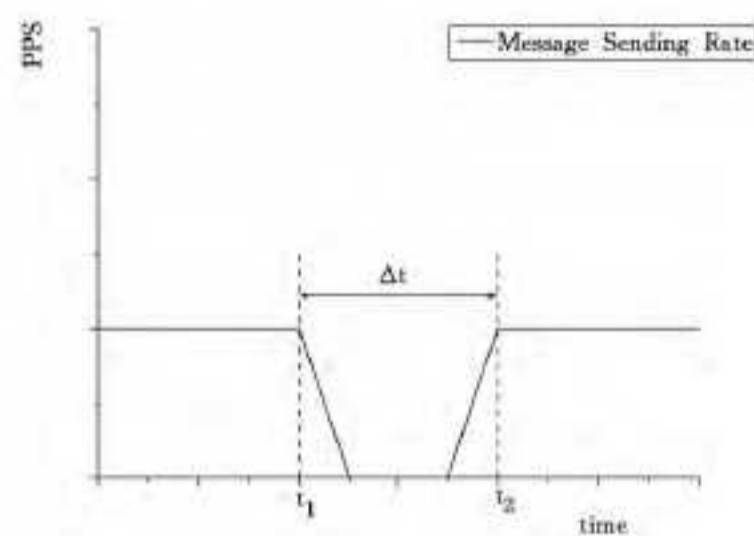


图 2 收敛时间

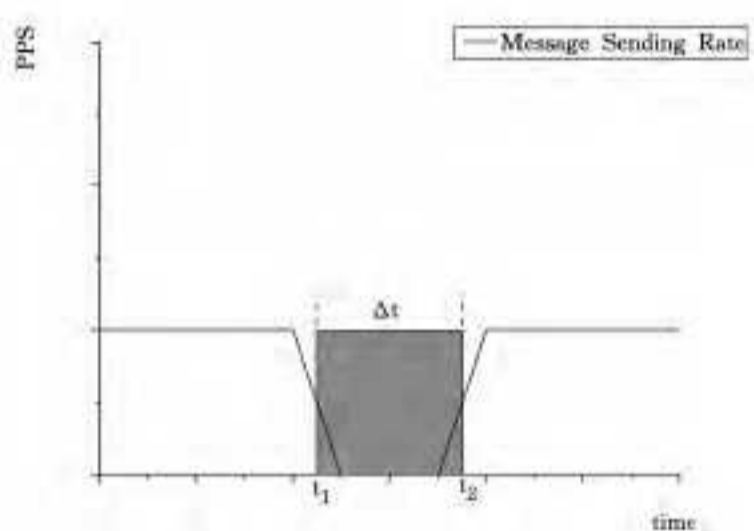


图 3 近似收敛时间

表 1 收敛时间

测试源节点	测试目的节点	发送速率 (PPS)	收敛时间 (S)	
			OSPF	集成 IS-IS
C1	C2	100	5.530s	5.600s
		150	5.533s	5.620s
		200	5.625s	5.695s

实验结果表明:

1) 配置 OSPF 时,区域内所有链路故障都会触发类型 1 LSA 更新,这就会导致 SPF 的完全运行,只有类型 3、4、5、7 才能导致 PRC 计算。配置 IS-IS 协议时,网络事件只影响到 IP 前缀而没有涉及基本的拓扑结构的情况下,只进行 PRC 计算。所以平均来说与 IS-IS 相比,类似大小的一个 OSPF 区域需要的系统资源更多。

2) 两种协议的 SPF 计算都采取退避算法智能定时器解决路由快速计算和抑制频繁计算。如表 1 所列,在测量无丢包的情况下,采用帧长度为 1000 字节的数据流,测出 OSPF 和 IS-IS 收敛时间基本在 5.6s 左右,两种协议的收敛时间基本相等,OSPF 比 IS-IS 的收敛时间快不到 0.1s。OSPF 和 IS-IS 发送一条 LSA 并重新运行 SPF 算法所花费的平均时间不

到 1s,再经历默认 5s 的 SPF 延迟计时,则 OSPF 的收敛时间大致需要 6s~46s 的时间,IS-IS 的收敛时间大致需要 6~36s,这取决于失效的类型、SPF 计时器的设置、网络的大小和 LSA 数据库的大小。最不理想的情况通常出现于非直连路由器无法直接感知邻居的丢失,只有当默认 Dead 计时器超时后才会触发 SPF 的重新计算<sup>[10]</sup>。

**结束语** OSPF 和 IS-IS 同属于链路状态路由协议,基本的工作机制相似,很难说谁比谁性能更好。很多中小企业的网络中低端路由器和低带宽链路很多,为了不让那些路由器和链路过载,网络设计人员就必须对网络进行区域划分,OSPF 内置了许多特性,可以用来支持多区域拓扑,这就是 OSPF 大受欢迎的原因。运营商和 ISP 网络中路由表往往是非常庞大的,有几万条甚至上几十万条路由,IGP 所起的作用要比在企业网络中简单得多,主要是为了保障 IBGP 会话端点间的 IP 连通性,以及 IBGP 路由的下一跳 IP 地址的可达性。因此运营商和 ISP 网络中 IGP 的设计应遵循协议简单、稳定、可扩展性好等原则,IS-IS 符合以上要求,另外在 MPLS 网络里某些高级特性只有 ISIS 才支持。

人们最近几年对 OSPF 和 IS-IS 进行了改进,添加了必要的功能。相比 OSPF 大量 RFC 的发布,IS-IS 则显得少的可怜,目前为止只有 RFC 1195 和 ISO 10589,近两年 IETF 重新标准化了 IS-IS 的新应用,如 MPLS 流量工程<sup>[11]</sup>、IPv6 等,并且 IS-IS 第二个版本即将启动。这两种协议都在不断改进并且目前都已支持 IPv6,IS-IS 通过原始协议的扩展来支持 IPv6,而 OSPF 通过一个新协议,即 OSPF 版本 3 来支持 IPv6<sup>[12]</sup>。

## 参 考 文 献

[1] Doyle J. OSPF and IS-IS Choosing an IGP for Large-Scale Net-

(上接第 255 页)

57.4%;对于 100M 文件,最优提高了 40.4%;对于 200M 文件,最优提高了 7.9%;对于 500M 文件,最优提高了 4.7%,总体平均提高了 30.2%。

**结束语** 本文中针对 iSCSI 以及软件定义存储的特点,设计了一种基于 iSCSI 的软件定义存储局域网,使其能够兼容两者的优点。当然,还有很多可以改进的地方,比如如何能使访问速度更快,怎样使 FAC 更精确地控制访问资源等。

## 参 考 文 献

[1] Thereska E, Ballani H, et al. Microsoft Research[C]// IOFlow: A Software-Defined Storage Architecture(SOSP'13). Farmington, PA, USA. ACM, 2013:3-6  
 [2] Ouyang Jian, Lin Shi-ding, Jiang Song, et al. SDF: Software-Defined Flash for Web-Scale Internet Storage Systems[C]// ASPLOS '14. Salt Lake City, UT, USA, 2014:1-5  
 [3] 孙振正, 龚靖, 段勇, 等. 面向下一代数据中心的软件定义存储技术研究[J]. 电信科学, 2014(1):32-38  
 [4] Open Networking Foundation. Software-Defined Networking: The New Norm for Networks[J]. ONF White Paper, 2012  
 [5] Mühleisen H, Gonçalves R, Kersten M. Peak Performance-Remote Memory Revisited[M]. New York, NY, USA, 2013  
 [6] <http://www.ieee.org/index.html>  
 [7] Higa R, Matsubara K, Okamawari T, et al. Optimization of iSC-

works[M]. 孙余强,译.北京:人民邮电出版社,2014

[2] 谢希仁. 计算机网络(4版)[M]. 北京:电子工业出版社,2003:206-219  
 [3] Oran D, et al. IETF RFC1142. D. OSI IS-IS Intra-domain Routing Protocol [S]. 1990,2  
 [4] Smit H, Li T. IETF RFC 3784. Intermediate System to Intermediate System (IS-IS) Extensions for Traffic Engineering (TE) [S]. 2004  
 [5] Li T, Atkinson R. IETF RFC 5304. IS-IS Cryptographic Authentication[S]. 2008,10  
 [6] Li T, Atkinson R. IETF RFC 3567. Atkinson. Intermediate System to Intermediate System (IS-IS) Cryptographic Authentication[S]. 2003,7  
 [7] Yu J. ISO 10589. IS-IS Technical Document[S]. 2008,2  
 [8] Gredler H, Goralski W. The Complete IS-IS Routing Protocol [M]. Berlin:Springer-Verlag, 2004  
 [9] Jacobson D. Introduction to Network Security[M]. 迎礼友,赵红宇,译.北京:电子工业出版社,2011  
 [10] Parkhurst B. Routing first-step[M]. 刘红伟,译.北京:人民邮电出版社,2005:125-178  
 [11] Thomas M, Thomas II. CCIE # 9360. OSPF Network Design Solutions(Second Edition)[M]. 罗洋,CCIE # 25318,译.北京:人民邮电出版社,2013  
 [12] 王之梁,尹霞,范伦挺,施新刚. 网络路由收敛性能测试研究[J]. 厦门大学学报,2007(S2):20-21  
 [13] Parkhurst W R, Ph D. CCIE # 2969. Cisco OSPF Command and Configuration Handbook[M]. 孙余强,译.北京:人民邮电出版社,2012  
 [14] Sridharan A, Guerin R, Diot C. Achieving Near-Optimal Traffic Engineering Solutions for Current OSPF/IS-IS Network[J]. Transactions on Network, 2005, 13(2):234-247

SI Remote Storage Access through Multiple Layers[C]// Advanced Information Networking and Applications Workshops, 2009. Branford; IEEE, 2009:612-617

[8] Qing Yang. On Performance of Parallel iSCSI Protocol for Networked Storage Systems[C]// Advanced Information Networking and Applications. 2006. Vienna; IEEE, 2006:629-636  
 [9] Joglekar A, Kounavis M E, Berry F L. A Scalable and High Performance Software iSCSI Implementation [C]// 4th USENIX Conference on File and Storage Technologies. 2005:267-279  
 [10] Li Bi-gang, Shu Ji-wu, Zheng Wei-min. Design and Optimization of an iSCSI System[C]// Grid and Cooperative Computing-GCC 2004 Workshops. Berlin; Springer Berlin Heidelberg, 2004:262-269  
 [11] Higa R, Oguchi M, Matsubara K, et al. Analytical System Tools for iSCSI Remote Storage Access and Performance Improvement by Optimization with the tools[C]// Advanced Networks and Telecommunication Systems(ANTS). New Delhi; IEEE, 2009:1-3  
 [12] Kamisaka K, Yamaguchi S, Oguchi M. Performance Improvement Of An iSCSI-Based Secure Storage Access[J]. Parallel and Distributed Computing and Systems Journal, 2005, 3453:487-497  
 [13] 林伟伟, 齐德昱. 云计算资源调度研究综述[J]. 计算机科学, 2012, 39(10):1-6  
 [14] 石永革, 谢才炳, 石峰. iSCSI 协议性能分析与优化[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(4):915-917