

基于势能导向多下一跳路由的服务承载网构建方法

于婧 张建辉 汪斌强
(解放军信息工程大学 郑州 450002)

摘要 服务承载网络是基于服务构建的以满足服务端到端 QoS 保障为出发点的覆盖网络,是满足可重构柔性网络对业务需求支撑的有效的网络架构。基于可重构柔性网络体系框架,分析服务承载网构建的主要问题,提出了可重构柔性网络下服务承载网的构建原则,在此基础上给出了基于势能导向多下一跳路由的服务承载网构建算法,并对其进行了性能分析及仿真。仿真结果表明,该算法具有较高的构建成功率。

关键词 服务承载网,可重构柔性网络,带宽供应,势能导向多下一跳路由协议

中图分类号 TP393 文献标识码 A

Service Overlay Networks Construction Algorithm Based on Node Potential Oriented Multi-nexthop Routing Protocol

YU Jing ZHANG Jian-hui WANG Bin-qiang
(PLA Information Engineering University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract Service overlay networks are overlay networks constructed to satisfy the end-to-end QoS. It is the most efficient network architecture to supply the traffic demands in reconfigurable flexible network. Based on the architecture of reconfigurable flexible network, the dominant problems of service overlay networks construction were analyzed, and the construction principles were proposed. A construction algorithm based on node potential multi-nexthop routing protocol was also proposed. Simulation results indicate that the algorithm can achieve higher successful construction rate.

Keywords Service overlay networks, Reconfigurable flexible network, Bandwidth provisioning, Node potential oriented multi-nexthop routing protocol

1 引言

可重构柔性网络(Reconfigurable Flexible Network, RFN)^[1]是面向服务提供,基于承载服务的网络体系架构,可以实现控制与传送、业务与网络功能的松耦合,能够针对业务需求提供服务能力,支持网络新型业务需求,易于控制和管理。

可重构柔性网络对业务的需求支撑是通过建立服务承载网络(Service Overlay Networks, SONs)^[2]实现的。服务承载网络是目前保证端到端服务质量的最有效的网络架构,它无需对现有网络基础设施进行任何改造,通过在已经存在的数据传输网络之上部署覆盖网节点以及构建虚拟网的方式,向用户提供多种具有 QoS 保障的网络增值服务,如 VoIP、VOD 等对 QoS 极其敏感的业务。因此,SONs 为解决互联网 QoS 问题提供了一条可行的途径。

SON 构建是将网络服务需求映射到物理网络资源的过程。当前对 SON 构建方面的研究大多是从某个目标方向考虑进行服务承载网的拓扑设计及优化。文献[2]从带宽需求方面解决支持端到端的 QoS 敏感业务的问题,对服务承载网络的带宽分配进行了研究,提出了带宽的动态分配算法。文

献[3]从考虑网络构建成本及收益的角度,提出了 SON 设计模型。文献[4-6]基于流量、负载均衡实现虚拟网的拓扑设计。文献[7]提出了 K 短路径搜索及物理节点重复映射的虚拟网映射算法。文献[8]首次将网络拓扑纳入虚拟网映射方法中,提出了将网络拓扑与网络资源相结合对节点进行排序,基于排序结果进行虚拟网映射的方法。文献[9]则进一步对跨域的承载网构建进行了研究,提出了一种跨域承载网映射模型及算法。

由上述研究可见,服务承载网构建中的基本问题是拓扑规划,即选择承载节点及链路,保证网络最优化运行。然而当前研究中多数是采用 best-path 方式进行服务承载网拓扑设计,未考虑多路径在承载网拓扑构建方面的优势。虽然文献[10]提出了基于路径分流及迁移的映射方法,采用带宽整合和流量工程思想,网络利用率高,但其操作计算量大并且方法描述缺乏具体的路径选择方法。

因此,将针对可重构柔性网络的网络架构特点,研究可重构柔性网络中服务承载网络构建的基本原则及方法,将势能导向多下一跳路由(Node Potential Oriented Multi-Nexthop Routing Protocol, NP-MNRP)^[11]的思想引入服务承载网构建,提出基于势能导向多下一跳路由的服务承载网构建算法。

收稿日期:2013-03-15 返修日期:2013-06-14 本文受国家 973 计划项目(2012CB315901, 2012CB315905)资助。

于婧(1979-),女,博士,讲师,主要研究方向为新型网络体系架构, E-mail: yujing_a@hotmail.com; 张建辉(1977-),男,博士,讲师,主要研究方向为网络路由; 汪斌强(1963-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为宽带信息网络、可重构技术。

本文第 2 节描述了服务承载网络构建模型;第 3 节提出了服务承载网络构建原则;在此基础上,第 4 节给出了在可重构柔性网络上基于势能导向路由思想构建多路径服务承载网的具体算法;第 5 节对算法进行了仿真并对结果进行了分析;最后是全文总结及未来展望。

2 服务承载网络构建模型

面向服务提供的可重构柔性网络基于开放式可重构路由交换平台,通过在数据传输网络上构建服务承载网实现提供面向服务的网络传输。如图 1 所示,数据传输网络所有物理节点及链路由管理平台进行统一管理、控制。在用户发起服务应用请求时,管理平台首先对用户请求进行分析,结合数据传输网络中的资源使用情况,通过下达承载网配置命令给数据传输网络的可重构路由交换平台,通过平台节点的配置,完成服务承载网的规划及构建。

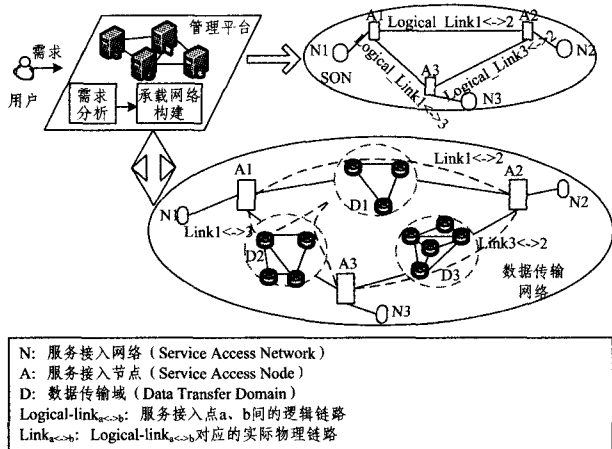


图 1 可重构柔性网络中服务承载网络构建图

将数据传输网络用有权无向图 $G_d = (V_d, E_d)$ 来表示,其中, V_d 表示网络中所有节点的集合, E_d 表示网络中所有链路的集合。服务承载网 i 用有权无向图 $G_i^s = (V_i^s, E_i^s)$ 来表示,其中, V_i^s 表示服务承载网络 i 中所有承载节点的集合, E_i^s 表示网络中所有逻辑链路的集合。

根据服务承载网的定义,在服务承载网 i 和数据传输网之间必然存在节点及链路的映射关系:

$$f_v^i: V_i^s \rightarrow V_d$$

$$f_e^i: E_i^s \rightarrow E_d$$

承载节点间 (r, t) 的逻辑链路 $e_s \in E_i^s$, 记作 $e_s = \overline{rt}$, 则 $f_e^i(\overline{rt}) = P(f_v^i(r) \rightarrow f_v^i(t))$ 。

$P(f_v^i(r) \rightarrow f_v^i(t))$ 代表服务承载网 i 中从承载节点 r 到节点 t 对应的数据传输网源节点 $f_v^i(r)$ 到目的节点 $f_v^i(t)$ 之间的链路集合。 $P(f_v^i(r) \rightarrow f_v^i(t))$ 链路集合中经历的节点集合定义为 $V(f_v^i(r) \rightarrow f_v^i(t))$ 。

服务承载网络的构建过程实际是指服务承载网络中虚拟节点及链路对应的实际数据传输网络中节点和链路的映射,也就是确定节点映射 $f_v^i: V_i^s \rightarrow V_d$ 、链路映射 $f_e^i: E_i^s \rightarrow E_d$ 的过程。

3 服务承载网络构建原则

前提: 数据传输网络 $G_d = (V_d, E_d)$; 已建立 m 个服务承载网络 $G_1^s, G_2^s, \dots, G_m^s$, 对于任意 $i \in \{1, 2, \dots, m\}$, C_E^i 表示服务承载网 i 对链路承载能力的需求, C_V^i 表示服务承载网 i 对

节点承载能力的需求。

目标: 构建服务承载网 k 。

定义 1 对于任意物理节点 v_d, C_{v_d} 表示节点 v_d 所能承受的最大负载, 这里的负载指该节点能够承受的通过该节点创建的服务承载网所需的负载量。 $C_{v_d}^j$ 为节点用于服务承载网 j 的处理能力:

$$C_{v_d}^j = \begin{cases} C_{v_d}^j, & v_d \in f_v^j(V_i^j), j=1, 2, \dots, m \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

则 $R_{v_d}(t) = C_{v_d} - \sum_{j=1}^m C_{v_d}^j$ 表示节点 v_d 在 t 时刻还能够承受的负载。

定义 2 对于任意实际数据传输网络链路 e_d, C_{e_d} 表示物理链路 e_d 链路带宽容量, $C_{e_d}^j$ 为链路用于服务承载网 j 的链路带宽:

$$C_{e_d}^j = \begin{cases} C_{e_d}^j, & e_d \in f_e^j(E_i^j), j=1, 2, \dots, m \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

则 $R_{e_d}(t) = C_{e_d} - \sum_{j=1}^m C_{e_d}^j$ 表示物理链路 e_d 在 t 时刻能够提供的剩余链路带宽。

定义 3 服务承载网 j 的服务优先级定义为 Q_j^s 。

在可重构柔性网络的体系框架下,通过全网综合管理系统,能够及时准确掌控网络资源,将网络服务需求映射到物理网络资源,构建服务承载网。因此,根据可重构柔性网络的特点,总结服务承载网络构建原则如下。

(1) 资源保障

服务承载网的构建要满足服务业务特征,在有限的资源情况下,充分有效地利用资源,建立尽可能多的承载网络。针对服务承载网满足 QoS 需求的目的,构建服务承载网络时需遵循的首要原则是节点处理能力保证及链路负载能力保证。具体描述如下:

1) 节点选择

节点处理能力需满足: $R_{v_d}(t) \geq C_V^i$;

2) 链路选择

链路带宽需满足: $R_{e_d}(t) \geq C_E^i$;

3) 多路径选择

若 $v_d \in V_d$ 且 $R_{v_d}(t) < C_V^i$, 但存在 $V_d' = \{v_d, \sum_{v_d} R_{v_d}(t) \geq C_V^i\}$, 则可选取节点集合 V_d' 中节点共同作为承载节点。同理,可选择链路集合 $E_d' = \{e_d, \sum_{e_d} R_{e_d}(t) \geq C_E^i\}$ 中链路共同作为承载网链路。

(2) 资源优化

在满足服务承载网承载需求的基础上符合路径最短、最少原则。最短路径原则也就是通常所说的路由计算中的 D-J 算法。最短路径对网络节点及带宽的资源占用是最小的。但在实际服务承载网创建的过程中,在网络资源占用到一定程度时,由于单条链路的资源限制,在构建服务承载网时,需同时使用多条链路共同完成构建,此时需依据最少原则。因此,遵循基于多路的最短、最少路径选择算法,是构建服务承载网的基本原则。具体描述如下:

1) 最短路径

$\min|V_i^s|$ 且 $\min|E_i^s|$ 。

2) 最少路径

在多路径选择时,要求 $\min|V_d'|$ 且 $\min|E_d'|$ 。

(3) 资源动态调整

考虑构建的可扩展性,基于可重构柔性网络管理平台对整个网络的细致实时的管理方式,在构建多个服务承载网络时,可根据当前的网络资源情况依据最少变动原则对已建立的服务承载网络的资源进行动态调整,在最大限度地保证已构建的服务承载网络拓扑的稳定性的同时,满足物理传输网上多个服务承载网并存的可靠性要求及优先级保证。具体描述如下:

1)最少变动原则

为满足构建服务承载网 k 的需求,调整当前服务承载网为 $G_s^1, G_s^2, \dots, G_s^m$, 则要求 $\min(\text{diff}((G_s^1, G_s^2, \dots, G_s^m), (G_s^1, G_s^2, \dots, G_s^m)))$ 。

2)优先级保证

若根据上述原则构建服务承载网 k 失败,且在服务承载网 $G_s^1, G_s^2, \dots, G_s^m$ 中存在 $Q_j^i < Q_k^i$, 则可先释放承载网 j 的资源,用于首先构建承载网 k , 在 k 构建成功后,可再尝试进行承载网 j 的重新构建,在选择 j 时也需满足最少变动原则。

4 基于 NP-MNRP 的服务承载网构建算法

服务承载网络的构建需依据数据传输网络中的路由信息进行。在传输网络中一般都采用单下一跳的路由算法计算(源、目的)节点对之间的路由,但是在需要构建多个 SON 时,单下一跳的路由算法会导致多个服务承载网映射在数据传输网的相同节点、相同链路上,从而可能导致单条链路拥塞而剩余链路空闲的情况,影响服务承载网络的构建成功率。因此,在数据传输网上构建服务承载网时,需引入多径路由的思想,以克服单路由带来的资源分配不均衡问题。

本文采用基于 NP-MNRP 的路由层次划分方法,对数据传输网进行(源、目的)节点路径子网的层次划分,以在传输网中建立(源、目的)接入点的多条转发路径,并且保证从源到目的的路由方向不发生偏移,从中选取符合服务接入需求的承载节点及链路,建立服务承载网络。

4.1 NP-MNRP 概述

NP-MNRP 是受自然界中水流顺势而流现象的启发,在不改变现有 IP 网络基本技术架构的基础上提出的一种新型多下一跳路由协议。

NP-MNRP 将节点势能定义为网络中节点到零势能点之间满足一定要求的可达性度量。通过设定零势能节点,并进行节点势能通告,使得网络中的其它节点获得相对于零势能节点的具体势能。若 $n_s \rightarrow n_d$ 的拓扑如图 2(a)所示,则对应网络势能层次如图 2(b)所示。路由的规则是以零势能节点为目的节点的网络数据报文,均向所有势能降低的下一跳节点转发。

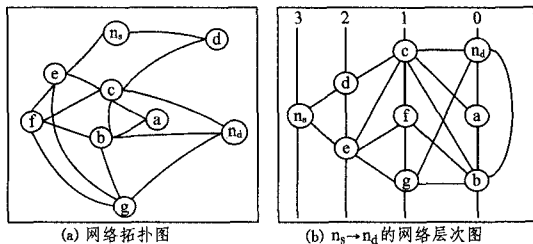


图 2 NP-MNRP 示意图

NP-MNRP 中划分势能层次的路由计算方式,非常有利于相同接入节点间多个服务承载网构建时节点和路径的选解,解决多个服务承载网构建资源分配不均衡的问题。

4.2 服务承载网构建算法

以两个服务接入网络间服务承载网络的建立为例对算法进行描述。承载网络拓扑构建包括节点映射及链路映射两个部分。

目标:服务接入网络 N_s 与服务接入网络 N_d 进行通信,要求建立保障链路负载带宽为 C_E^{-d} 、节点负载为 C_V^{-d} 的服务承载网络 G_S^{-d} ;

前提:根据可重构柔性网络架构,管理平台已获知当前数据传输网络 G_d , 以及当前已建立的 m 个服务承载网络 $G_s^1, G_s^2, \dots, G_s^m$ 的网络情况;

假设:假定服务接入网络 N_s 中与服务承载网的服务接入点相接的节点为 n_s , 服务接入网络 N_d 中与服务承载网的服务接入点相接的节点为 n_d , 则构建服务承载网转变为节点 n_s 与 n_d 间的承载网拓扑生成。服务接入点 n_s, n_d 在数据传输网络中对应的节点也称为 n_s, n_d 。

说明:算法中的节点和链路都是指当前数据传输网络 $G_d = (V_d, E_d)$ 中的物理节点和物理链路。

算法描述如下:

1)以节点 n_s 为源、 n_d 为目的,以势能导向方法建立 $n_s \rightarrow n_d$ 的网络势能层次如下:

$$\begin{cases} L(v_i, v_i) = 0 \\ L(v_i, v_j) = \min(L(v_k, v_j)) + 1 \quad (v_j \in V_d, v_k \in K_{v_i}, v_j \neq v_i, v_k \neq v_i) \end{cases}$$

式中, $L(v_i, v_j)$ 表示节点 v_i 相对于出口节点 v_j 所对应的层次值; $K_{v_i} = \{v_k, P(v_i \rightarrow v_k) \neq \phi, V(v_i \rightarrow v_k) = \phi\}$ 为节点 v_i 直接相连节点(邻居节点)集合。

2)节点 $v_i = n_s$ 。

3)构建比节点 v_i 势能低的邻居节点集合 $K'_{v_i} = \{v_k, v_k \in K_{v_i}, L(v_i, n_d) - L(v_k, n_d) \geq 1\}$ 。

4)从 K'_{v_i} 中选取满足构建逻辑承载网的节点及对应的链路,具体方式如下:

①计算节点集合 $N_{v_i} = \{v_k, v_k \in K'_{v_i}, R_{v_k}(t) \geq C_V^{-d}\}$, 若 $N_{v_i} = \phi$, 则转到步骤 5)。

②若 $N_{v_i} \neq \phi$, $\exists v_k \in N_{v_i}$ 且 $\exists e \in P(v_i \rightarrow v_k)$ 满足 $\sum_{e \in P(v_i \rightarrow v_k)} R_e(t) \geq C_E^{-d}$, 则选择下一个节点及对应链路集合 $(v_k, P(v_i \rightarrow v_k))$ 构建服务承载网。

若存在多个节点或多个链路集合满足上述条件,则可随机选择或根据最大链路带宽、最大节点能力进行选择。

转步骤 7)。

③若 $N_{v_i} \neq \phi$, 不存在 $v_k \in N_{v_i}$ 满足 $\sum_{e \in P(v_i \rightarrow v_k)} R_e(t) \geq C_E^{-d}$, 但存在节点集合 $N'_{v_i} = \{v_k, v_k \in N_{v_i}\}$, 使得 $\sum_{v_k \in N'_{v_i}} \sum_{e \in P(v_i \rightarrow v_k)} R_e$

$(t) \geq C_E^{-d}$, 则选择节点集合 N'_{v_i} 及对应的链路集合 $P(v_i \rightarrow v_k)$ 作为下一组承载节点及链路。

在此情形下,需对应下一组承载节点连接链路容量情况修改在选择下一跳节点及链路时的逻辑承载网链路带宽需求值。转到步骤 7)。

5)若步骤 4)中未成功选取节点及链路,则计算节点 v_i 的同势能层邻居节点集合 $K''_{v_i} = \{v_k, v_k \in K_{v_i}, L(v_i, n_d) = L(v_k, n_d)\}$, 从 K''_{v_i} 中选取满足构建逻辑承载网的节点及对应的链路,具体方式同 4)。

6)若步骤 5)中未成功选取节点及链路,则服务承载网构建失败。

7) 选取节点 v_k 及对应链路, 且 $v_i = v_k$, 若 $v_k \neq n_d$, 至步骤 3); 否则, 服务承载网构建完成。

4.3 算法分析

1) 节点数、链路数

根据基于势能的 SON 构建算法, 可知构建服务承载网 G_s^{s-d} 在实际数据传输网络中所需的最小节点数、最小链路数都与节点 n_s 与 n_d 的势能差值相关, 即:

$$\min |V_s^{s-d}| = L(n_s, n_d) + 1$$

$$\min |E_s^{s-d}| = L(n_s, n_d)$$

2) 路径长度

算法中, 在低势能层找不到承载节点, 只在同势能层寻找一次, 否则即认为构建失败。因此在不考虑多路径时, 构建成功的服务承载网路由的最大路径长度为 $2 \times L(n_s, n_d) + 1$ 。

5 算法仿真及结果

5.1 仿真环境

利用图 2 中的数据传输网络拓扑, 链路带宽资源在 (50, 150) 间均匀分布, 节点能力在 (10, 15) 间均匀分布, 请求构建的服务承载网带宽需求在 (0, 50) 之间均匀分布。为衡量算法的性能, 将其与使用最短路径进行链路映射的 Kshort^[12] 映射算法进行比较。以服务承载网创建成功率、平均路径长度以及网络负载均衡度 3 个指标对算法性能进行衡量。

1) 服务承载网创建成功率。服务承载网创建成功率是一段时期内算法构建成功的 SON 的数量占总构建请求数的百分比。

2) 平均路径长度。平均路径长度是一段时期内成功构建的 SON 中映射实际物理链路的数量总和的平均值。

3) 网络负载均衡度。网络负载均衡度是衡量网络负载均衡的指标, 分为节点负载均衡和链路负载均衡两个部分, 分别指一段时期内节点、链路所承载的 SON 负载的绝对偏差平均值。

5.2 仿真结果及分析

以依次请求构建 20 个 SON 为一次测试, 进行 10 组仿真测试, 得到的 SON 创建成功率及平均路径长度如图 3、图 4 所示。

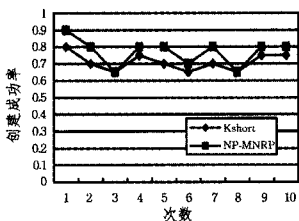


图 3 创建成功率

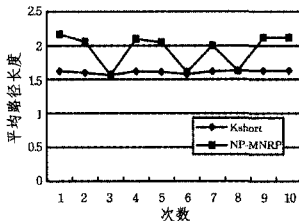


图 4 平均路径长度

从图 3、图 4 中可以看出, NP-MNRP 算法的创建成功率一般情况下要高于 Kshort 算法, 在两者创建成功率相同的情况下, 平均路径长度基本相同; 但在 NP-MNRP 算法创建成功率高的时刻, 它的平均路径长度也要略高于 Kshort 算法, 这是由于 NP-MNRP 的多路径选路引起的。

记录每次创建后网络的节点及链路的负载情况, 计算其绝对偏差平均值 $\frac{1}{n} \sum |x - \bar{x}|$, 将其作为衡量网络负载均衡的指标, 结果如图 5、图 6 所示。

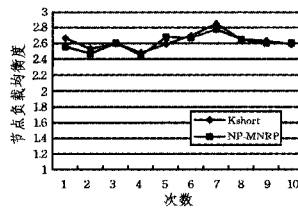


图 5 节点负载均衡度

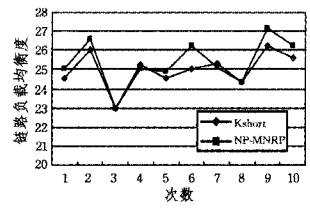


图 6 链路负载均衡度

可以看出, NP-MNRP 算法的节点及链路的负载均衡度基本等同于 Kshort 算法。在多路径路由成功的时间段, NP-MNRP 算法节点负载均衡度稍好于 Kshort, 链路的使用较 Kshort 要差一些, 这是由于多路径使用的节点数量增加及选路成功导致链路负载加重引起的。

结束语 服务承载网络是可重构柔性网络对业务支撑的必要组成部分。本文通过分析可重构柔性网络的架构特点, 针对服务承载网络构建的主要问题即承载节点及链路的选择问题进行研究, 提出了在可重构柔性网络中构建服务承载网的原则。以均衡多个服务承载网流量及提高构建成功率为目标, 引入多路径的思想, 提出基于 NP-MNRP 的服务承载网构建算法。该算法可保证从源到目的的路由方向不发生偏移, 保证最短路径原则。

下一步将多承载网拓扑动态规划作为重要方向, 考虑在可重构柔性网络这一网络环境下, 充分利用网络自身对底层信息的实时掌控机制, 研究实现最低代价的多承载网拓扑动态调整。

参考文献

- [1] 汪斌强, 鄢江兴. 下一代互联网的发展趋势及相应对策分析[J]. 信息工程大学学报, 2009, 10(1): 1-10
- [2] Duan Z, Zhang Z L, Hou Y T. Service Overlay Networks: SLAs, QoS, and bandwidth provisioning [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2003, 11(6): 870-883
- [3] Capone A, Elias J, Martignon F. Optimal Design of Service Overlay Networks[C]// Proceedings of the Fourth International Telecommunication Networking Workshop on QoS in Multiservice IP Networks. Venice, 2008: 46-52
- [4] Zhu Y, Ammar M. Algorithms for assigning substrate network resources to virtual network components[C]// Proceedings of IEEE INFOCOM. Barcelona, Catalunya, Spain, 2006: 1-12
- [5] 王浩学, 姜明, 付吉. 基于负载均衡的逻辑承载网构建研究[J]. 通信学报, 2012, 33(9): 38-43
- [6] 齐宁, 汪斌强, 郭佳. 逻辑承载网构建方法的研究[J]. 计算机学报, 2010, 33(9): 1533-1540
- [7] 李文, 吴春明, 陈健, 等. 物理节点可重复映射的虚拟网映射算法[J]. 电子与信息学报, 2011, 33(4): 908-914
- [8] Cheng X, Su S, Zhang Z, et al. Virtual network embedding through topology-aware node ranking[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2011, 41(2): 39-47
- [9] 张旻, 吴春明, 王滨, 等. 跨域逻辑承载网映射方法研究[J]. 通信学报, 2012, 33(8): 200-207
- [10] Yu Min-lan, Yi Yung, Rexford J, et al. Rethinking virtual network embedding substrate support for path splitting and migration [J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2008, 38(2): 17-29
- [11] Lan J L, Zhang J H, et al. draft-ietf-ndsc-npmnrp-routing-protocol[S]. Ietf org, 2010
- [12] Cormen T, Leiserson C, Rivest R, et al. Introduction to Algorithms(Second Edition)[M]. Cambridge: MIT press, 2001: 386-389