

逻辑承载网构建方法的研究

齐 宁¹⁾ 汪斌强¹⁾ 郭 佳²⁾

¹⁾(信息工程大学信息工程学院 郑州 450002)

²⁾(防空兵指挥学院 郑州 450052)

摘 要 面向服务提供的一体化承载网(UCN)的提出,增强了网络的可扩展性和可升级性,为实现三网融合提供了新的思路.如何有效管理 UCN 资源信息并且在物理资源有限的条件下构建出满足用户需求的逻辑承载网(LCN),是 UCN 研究中亟待解决的重点.文中给出了 UCN 的管理体系结构;提出了解决 UCN 资源拓扑发现和 Information 一致性问题的方法;建立了 LCN 构建数学模型,在构建策略的若干重要原则基础上,提出了带迁移同时考虑网络均衡的 LCN 构建方法;通过仿真实验,从构建需求接收率和构建后的平均链路利用率两个方面验证了该方法的有效性.

关键词 一体化承载网;逻辑承载网;网络虚拟化;构建策略;三网融合
中图法分类号 TP393 **DOI号**: 10.3724/SP.J.1016.2010.01533

Research on Construction Methods of Logical Carrying Network

QI Ning¹⁾ WANG Bin-Qiang¹⁾ GUO Jia²⁾

¹⁾(Institute of Information Engineering, Information Engineering University, Zhengzhou 450002)

²⁾(Air Defense Command College, Zhengzhou 450052)

Abstract To improve the extensibility and the ability of upgrading of the network, service oriented Universal Carrying Network (UCN) was proposed. A new solution of implying triple play was provided through UCN. How to construct Logical Carrying Network (LCN) which satisfies user's demand efficiently under the situation of limited resources is a hot issue in the research of UCN. The management architecture of UCN and solution to solve the problem of resource topology discovery and information consistency are proposed. Under this management architecture, mathematics model of construction of LCN is analyzed. Under some important principles a construction methods with migration based on network balance is given. All above give a new solution for the construction of LCN. The validity of the construction method is testified by emulation experiment through construction requirements acceptance ratio and average link utilization ratio.

Keywords universal carrying network; logical carrying network; network virtualization; construction policy; triple play

1 引 言

网络技术多年来一直沿着面向业务支撑的技术

体系发展,在这一传统的技术体系框架下,依靠提高节点处理速度、增大节点处理容量、拓展链路传输带宽、增加复杂控制算法及协议等技术,不仅使得网络的复杂度大大提高,而且仍难满足特性差异日益扩

大的用户业务承载需求. 究其主要原因: 其一, 网络是刚性的^[1], 改造只能依靠升级和扩展; 其二, 网络资源是共享的, 其上部署的服务彼此间相互干扰. 针对上述问题, 解决思路主要有两个:

(1) 研究开放、灵活、可扩展、可配置的新型交换设备以提供高性价比的服务;

(2) 利用虚拟化技术, 为不同的业务构建服务提供网, 彼此之间相互隔离, 能够支持多业务融合, 以解决网络用户业务多样性等急迫需求.

面向服务提供的一体化承载网络 (Universal Carrying Network, UCN)^[2] 以可重构路由交换平台作为骨干网核心节点, 提出构建一种资源可共享、节点可重构、能够提供柔性服务的物理网络, 以此增强网络服务能力的可扩展性, 从而有效解决了上述问题. UCN 为了实现三网融合, 通过对物理网络路由交换平台的端口、数据包处理逻辑和协议等进行重构, 构建基于 IP 承载、针对特定业务 (如电信的软交换业务以及广电业务等) 的逻辑承载网 (Logical Carrying Network, LCN), 见图 1.

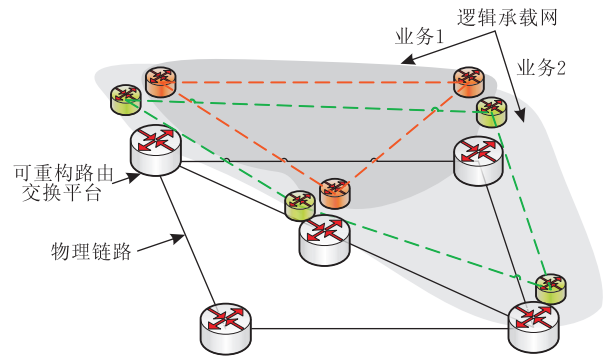


图 1 UCN 中构建 LCN 示意图

UCN 分层模型如图 2 所示, 其中业务应用层通过业务接入/控制层利用网络服务层生成的网络服务, 网络服务层分为资源共享层、逻辑承载层和可重构边缘层. 资源共享层提供可重构的柔性网络服务; 逻辑承载层根据用户业务类别特性需求, 提供承载网络生成服务; 可重构边缘层利用资源共享层提供的可重构柔性网络服务, 构建逻辑承载层的逻辑承载网络.

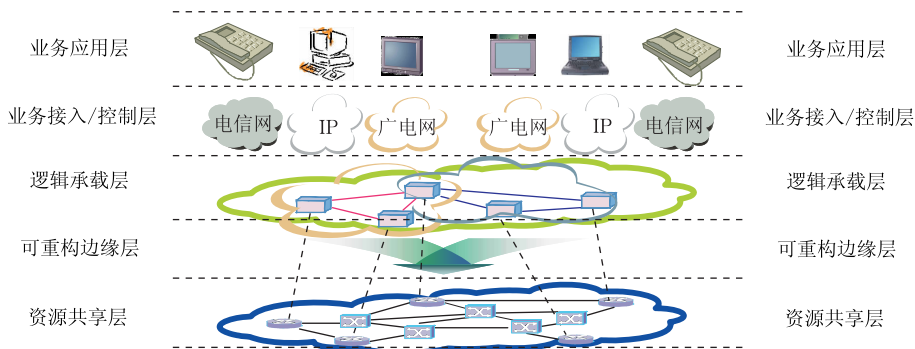


图 2 UCN 分层结构模型

UCN 不依据特定用户业务需求构建网络, 而是通过全网综合管理系统, 依据网络服务提供能力构建可重构柔性网络. 综合管理系统实现用户需求分析、资源管理、重构调整、策略下发及普通网管功能. 可见, 完成 LCN 的构建需要解决如下问题: LCN 构建策略的制定与下发; 所需管理的网络与节点状态和资源信息的收集; 资源管理的机制和实现方法; 资源管理中的信息一致性问题.

针对新型网络资源管理的研究, 目前国内外主要侧重于高效资源管理机制和虚拟化方法. Globus^[3] 和 OGSA (Open Grid Services Architecture)^[4] 定义并提供了分布式资源管理的协议、接口和行为. Web Services 作为一个异构平台间模块通信的松耦合机制, 具有较高的开放性和扩展性, 适合资源虚拟化. GENI^① (Global Environment for Network

Innovation) 是一个开放的、大规模的网络实验平台, PlanetLab^[5] 作为 GENI 的初步实现, 以其广泛的地域分布和丰富的节点资源为网络研究人员提供了绝佳的分布式实验床. 尽管目前已经涌现出一些 PlanetLab 的网管系统, 如 CoMon^②、slicestat^③ 等, 但它们普遍存在监控信息不完备、数据更新缓慢等问题.

针对 LCN 构建方法的研究, 主要集中在虚拟网^[6] 构建算法的研究. 文献[7]采用混合整数规划的方法, 针对不同场景提出确定型的虚拟网映射 (D-ViNE) 和随机虚拟网映射 (R-ViNE) 算法. 文

① GENI. Global environment for network innovations [EB/OL]. <http://www.geni.net>

② CoMon [EB/OL]. <http://comon.cs.princeton.edu>

③ Slicestat [EB/OL]. <http://codeen.cs.princeton.edu/slicestat>

献[8]考虑底层物理网中的一条虚拟链路由多个分割的底层路径组成,基于多商品流问题中的最大并行流问题,采用启发式方法求解路径集.文献[9]采用子图同构判定的方法,将虚拟网构建中的节点映射和链路映射综合考虑,在同一阶段完成节点和链路的映射.文献[10]设计了一种通用的费用模型,不仅考虑了链路的费用,还考虑了用户使用的动态费用,并基于整数线性规划的方法对拓扑设计问题进行建模求解.文献[11]研究了在构建成本预算有约束的情况下,如何有选择性地满足部分用户的需求,使得构建收益最大化的问题.

上述虚拟网构建方法,主要针对单一虚拟网构建进行最小代价或最短路径优化,没有考虑物理网络的均衡性.本文针对上述问题,在 LCN 构建过程中考虑网络均衡性,充分利用物理网络资源,以网络

负载均衡和构建代价最小为原则进行优化.

2 UCN 资源管理

2.1 UCN 管理体系结构

为了适应在不同规模的物理网络上进行资源的有效管理,设计了分布式分层管理的体系结构,如图 3 所示,分别由路由节点、域服务器和根服务器组成.多个路由交换节点(Router Node, RN)组成一个域(Domain),由域服务器(Domain Server, DS)负责管理;多个域组成一个区(Region),由根服务器(Root Server, RS)负责管理,综合管理系统部署在 RS 之上;全网由多个区组成.区内跨域的资源管理由负责本区的 RS 完成,跨区的资源管理由相关 RS 负责协调完成.

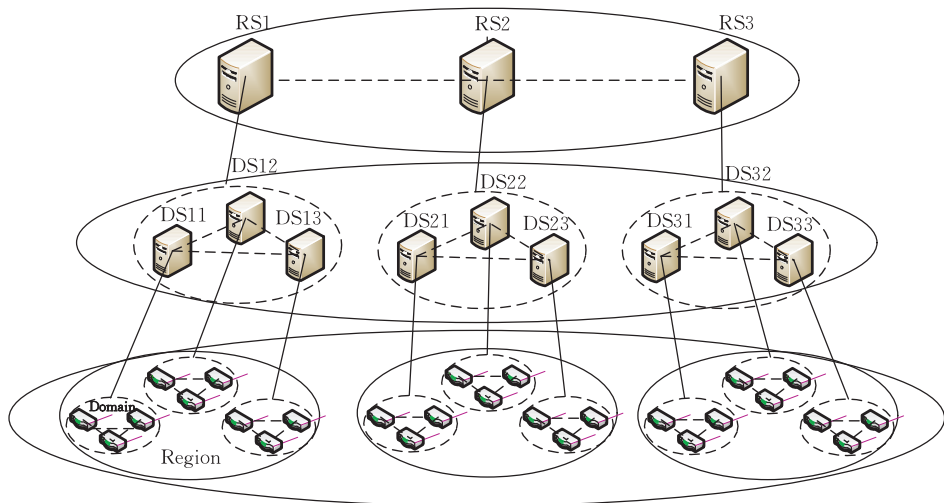


图 3 UCN 管理体系结构

综合管理系统除了完成传统网络管理任务,还能够接收用户业务需求,按照 LCN 构建策略,构建满足用户需求的 LCN.

2.2 UCN 拓扑发现

DS 负责域内 UCN 资源的信息管理,需要掌握域内所有路由节点间的拓扑关系和资源信息. DS 存储域内所有节点的邻接关系表以及资源信息,通过各路由节点的邻接关系表可以计算任意两点间的所有可行路径,从而最大限度地发现满足用户需求的可行路径.采用 OSPF 中的 hello 消息包机制维护 DS 中的拓扑信息.通过域内所有路由节点周期性地向 DS 发送 hello 包,DS 能够及时发现域内的拓扑变化.

RS 负责区内跨域的 UCN 资源信息管理,因此需要保存域间邻接关系以及资源信息. RS 也采用

OSPF 的 hello 消息包机制维护其内 DS 间的拓扑关系.区内所有 DS 周期性地向其所属 RS 发送 hello 包,RS 通过这种机制能够及时发现区内的域间拓扑变化,并及时更新邻接关系表.

2.3 一致性

由于综合管理系统部署在 RS 之上,当 LCN 的构建范围需要跨越多个区时,需要多个 RS 协作完成,必须考虑资源分配的一致性问题.把管理各区的 RS 构成一个环状网络,通过传递令牌的方式来确保构建的一致性问题,只有获得令牌的 RS 才能构建跨区的 LCN.由于令牌的轮转时间对 LCN 的构建有很大影响,可将构建环状网络的问题转换为经典的 TSP 问题,使得令牌在传递一周的过程中,时间最短,并且每个 RS 节点只收到一次令牌.

此外,分布式管理结构会带来 RS 间存储信息

的一致性.可以在各 RS 中保存其它 RS 所存邻接关系和资源信息的版本号,当 RS 之间进行通信时,通过验证版本号维护信息一致性.

3 LCN 构建策略

3.1 网络模型

不论是构建 IP 业务的单播、组播网络,还是电信业务的软交换网络以及广电业务的广播网络,都可以看作在 UCN 中构建的 LCN. UCN 在可重构路由交换平台作为核心节点的骨干网上,将构建需求转化为一个或多个源目的节点对间的承载服务能力需求,综合考虑网络拓扑、资源状态等条件,构建 LCN,分别提供完全不同的服务能力.因此 LCN 构建可以看作是源目的节点对之间的拓扑规划和资源合理分配问题.

LCN 构建的网络模型描述如下.

物理承载网络模型. 将物理承载网络用无向图 $G^p = (N^p, E^p, C^p)$ 表示,其中, N^p 和 E^p 代表物理网络中节点和边的集合, C^p 代表物理网络能够提供的能力,如节点交换能力、链路带宽等.

LCN 需求模型. 将 LCN 构建需求用无向图 $G^l = (N^l, E^l, R^l)$ 表示,其中, N^l 和 E^l 代表 LCN 中虚节点和虚边的集合,它们分别是 N^p 和 E^p 的子集, LCN 的构建请求通常包含对物理节点和边的限制条件,用 R^l 代表对虚节点和虚边的约束条件. LCN 构建请求的例子如:构建一个连接两个物理节点 A 和 B 的 LCN,约束条件如下: A 在位置 1, B 在位置 2, A 和 B 的节点能力都要大于 10, AB 之间的虚拟链路的带宽要达到 1G.

LCN 构建模型. 一个 LCN 构建问题可以描述成从 G^l 到 G^p 子集的一个满足 G^l 中约束条件的映射,表示如下:

$$M: G^l \mapsto G^s, G^s = (N^s, E^s, C^s) \quad (1)$$

其中, $N^s \subset N^p, E^s \subset E^p, C^s$ 代表构建 UCN 的物理网络服务能力.

LCN 构建可以分割成节点映射和边映射:

节点映射:

$$M^N: (N^l, R_N^l) \mapsto (N^s, C_N^s) \quad (2)$$

边映射:

$$M^E: (E^l, R_E^l) \mapsto (E^s, C_E^s) \quad (3)$$

其中, R_N^l 和 R_E^l 分别代表 LCN 中虚节点和虚边的约束条件, C_N^s 和 C_E^s 分别代表构建 LCN 的物理节点和边所能提供的服务能力.

目标. 由于 LCN 的虚节点是由用户直接指定的,可以认为,节点映射 M^N 是通过用户直接指定,从而将 LCN 映射简化为链路映射.

本文将 LCN 构建需求分解为由 LCN 中邻接的两个节点和连接这两个节点的链路带宽流量的基本需求,由三元组 (s, t, d) 表示,其中, s, t 为源和目的节点, d 为带宽需求,每一个三元组称为一个元需求.

完成对需求的分解之后, LCN 构建简化为对元需求逐一求解的过程.分解之后,原先较大规模的全图映射问题转换为求解多个单一链路的映射问题,从而将 LCN 构建的复杂问题简化.

确定了节点映射 M^N 之后,剩余的链路映射实际上就是在 G^p 中确定一条连接 s 和 t 的路径,记为 $P_{s,t}$,且 $P_{s,t}$ 满足

$$\forall e \in P_{s,t}, b(e) \geq d \quad (4)$$

其中, $b(e)$ 表示连接相邻节点的链路带宽.

进行元需求映射之后,剩余网络的网络资源越多,就能为更多 LCN 构建请求提供资源,即更加充分利用物理网络资源.因此,对于满足条件的所有 $P_{s,t}$,占用网络资源越少越好,式(4)可进一步限制为

$$\text{Minimize } |P_{s,t}| \cdot d, \forall e \in P_{s,t}, b(e) \geq d \quad (5)$$

其中, $|P_{s,t}|$ 表示路径 $P_{s,t}$ 权值为 1 的加权长度.

从式(5)可知,满足条件的 $P_{s,t}$ 是一条连接 s 和 t 的最短路径.连接 s 和 t 的最短路径往往存在多条,记这些最短路的集合为 $\{P_{s,t}\}_{\min}$.

对 LCN 的构建,以满足用户业务需求为前提,在资源有限的物理网络上能构建出尽可能多的 LCN,从而提高物理网络资源的长期使用效率为目标.

在 LCN 的构建技术上,提出链路强度和链路平均强度的概念,将 LCN 中链路负载大小和路径上链路负载平均大小作为判断依据,提出链路负载均衡度,从而更准确地刻画链路上的负载状况.

定义 1. 链路强度 S_l 定义为链路上已经预约和使用的带宽与自身总带宽的比值.

定义 2. 路径链路平均强度 \overline{S}_l 定义为路径上

$$\text{所有链路强度的数学期望 } \overline{S}_l = \frac{\sum_{i=1}^N S_{l_i}}{N}.$$

定义 3. 路径最大链路强度 S_l^{\max} 定义为路径上所有链路中链路强度的最大值.

定义 4. 链路负载均衡度 ω_l 定义为路径上链路平均强度与最大链路强度的比值 $\omega_l = \frac{\overline{S}_l}{S_l^{\max} + \epsilon}$, ϵ 是无限小的正数,为了避免除数为 0; ω_l 越大路径上

链路负载均衡程度越高.

对于候选的多条路径计算出链路负载均衡度 ω_l , 选择 ω_l 最大的路径.

记最终选取的连接 s 和 t 的最短均衡路径为 $P_{s,t}^{\max\omega_l}$, 则其应满足

$$(1) P_{s,t}^{\max\omega_l} \in \{P_{s,t}\}_{\min};$$

$$(2) \forall P \in \{P_{s,t}\}_{\min}, \text{ 如果 } P \neq P_{s,t}^{\max\omega_l}, \text{ 则有}$$

$$(\omega_l)_P \leq (\omega_l)_{P_{s,t}^{\max\omega_l}}.$$

3.2 LCN 构建原则

构建的 LCN 不仅要满足用户的业务需求, 还要最大效率地利用现有的物理网络资源, 使得物理网络能够为更多的 LCN 提供服务; 另外, 要减少拥塞链路的产生, 避免因部分链路拥塞而导致 LCN 构建失败. 通过 3.1 节分析, 提出以下几条构建 LCN 的原则.

最短路径原则. 由于要在物理链路上分配满足用户业务需求的带宽, 而在最短路径上操作对网络的资源占用量最小, 因此, 寻找基于单路或多路最短路径算法, 是构建 LCN 的基本原则.

负载均衡原则. LCN 服务能力不仅表现在是否能够构造出符合需求的拓扑, 还体现在网络资源分配的合理性方面. 网络资源分配的合理性主要是

指, 当前的资源分布和剩余资源分布能够直接影响后续 LCN 的构建效率. 因此构建算法要遵循链路负载均衡原则.

3.3 不带迁移的 LCN 构建方法

用户的需求涉及带宽要求、LCN 运行的起止时间、LCN 入口/出口节点位置等, 可采用基于 XML 的描述语言进行表达.

在构建 LCN 时, 综合管理系统需要拥有网络的拓扑结构、节点的服务能力、端口可提供带宽等信息. 在 LCN 构建策略制定后, 管理系统向路由节点发出指令, 包括构建 LCN 的业务类型、ID 号、所需端口的带宽大小、缓冲区大小等信息, 节点根据上述信息对资源进行预留. 另外, 管理系统需要对所管辖网络中的节点进行监控, 从而对 LCN 的运行状况进行管理.

为构建 LCN, 管理系统与路由交换平台之间的交互如图 4 所示. (1) 管理系统收集或者路由交换平台主动上报当前资源使用情况; (2) 在有业务到达时, 管理系统通过对业务需求的分析, 结合当前网络资源情况, 进行资源分配; (3) 根据资源分配结果对相关路由交换平台发起重构配置命令; (4) 路由交换平台在收到命令后进行平台重构, 从而为该业务构建 LCN.

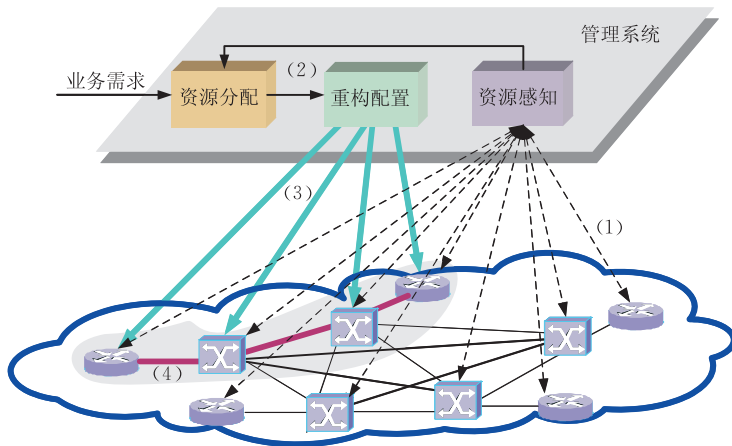


图 4 LCN 构建示意图

为了得到连接两个节点 s 和 t 之间的均衡最短路径, 需要在所有连接 s 和 t 的链路中找出最短路径的集合, 然后从这个集合中找出链路均衡度最大的路径.

算法 1. *balancedLCNConstruction*(G^p, G^l, G^s)

输入: G^p, G^l

输出: G^s

1. 初始化 G^s 为空;

2. 分解 LCN 构建需求 G^l ;

对所有元需求 (s, t, d) , 执行步 3~7;

3. 初始化 $P_{s,t}^{\max\omega_l}$ 为空;

4. 在 s, t 之间寻找一条没有标记且满足约束条件 d 的路径 $P_{s,t}$, 如果这样的路径不存在, 置 G^s 为空, 跳转到步 8;

5. 若 $P_{s,t}^{\max\omega_l}$ 为空, 或者 $|P_{s,t}| < |P_{s,t}^{\max\omega_l}|$, 标记路径 $P_{s,t}$, 跳转到步 6; 否则, 跳转回步 4;

6. 计算 G^p 映射路径 $P_{s,t}$ 后的链路负载均衡度 ω_l , 若 $(\omega_l)_P \geq (\omega_l)_{P_{s,t}^{\max\omega_l}}$, 则令 $P_{s,t}^{\max\omega_l} \leftarrow P_{s,t}$;

7. 若 $P_{s,t}^{\max\omega_l}$ 不为空, $G_S \leftarrow G_S - P_{s,t}^{\max\omega_l}$, $G^s \leftarrow G^s + P_{s,t}^{\max\omega_l}$, 更新 $P_{s,t}^{\max\omega_l}$ 路径上节点和链路的剩余服务能力;

8. 若 G^s 非空返回映射结果 G^s ; 若 G^s 为空, 无法构建 LCN.

算法步 3~7 计算 s, t 间的最短路径并从中选出均衡最短路 $P_{s,t}^{\max\omega_i}$, 步 5 比较当前找到的路径与之前找到的路径, 如果更短, 则将当前路径标记为目前最短的路径; 步 6 保证 $P_{s,t}^{\max\omega_i}$ 是所有找到的路径中链路负载均衡度最大的路径; 步 4~6 保证最终记录的路径 $P_{s,t}^{\max\omega_i}$ 为均衡最短路径.

得到连接 s 和 t 的均衡最短路 $P_{s,t}^{\max\omega_i}$ 后, 将 $P_{s,t}^{\max\omega_i}$ 加入到 G^s 中. 对于分解后的每个源/目需求, 如果找不到均衡最短路, 则 LCN 构建失败.

3.4 带迁移的 LCN 构建方法

不带迁移的构建方法属于静态构建方法, 能够在一定条件下为用户需求构建 LCN. 然而上述方法只是依据 LCN 构建请求到达时物理网络的资源使用状况及负载情况进行规划; 而 LCN 的运行是一个随时间变化的动态过程, 一方面, 每个 LCN 的运行时间不同, 其对资源的占用对后续构建影响也不同; 另一方面, 随着 LCN 的构建和拆除, 物理网络的可用资源状态也随之变化. 因此 LCN 的静态构建方法并不能很好地解决动态的 LCN 构建问题. 其次, 仅基于某时刻网络链路负载情况进行 LCN 构建, 而没有考虑其它 LCN 即将释放对网络资源的影响, 可能会带来某些网络链路的使用不均衡问题, 即在某个时间段内某些链路被过度使用而造成拥塞, 而另外一些资源却因 LCN 的拆除而闲置, 从而影响网络的均衡性.

LCN 迁移的提出就是为了解决上述问题, 从而最大效率的利用现有网络资源. 为了提高迁移的效率和成功率, 针对哪些路径进行迁移以及怎样迁移, 提出如下原则.

剩余时间较长优先原则. 频繁的路径迁移以及对新路径的配置会带来很大的开销. 对于剩余运行时间较短的 LCN, 由于占用资源马上就要释放, 对其进行迁移收效不大. 因此, LCN 倾向于对剩余运行时间较长的 LCN 进行迁移.

链路占用带宽高优先原则. 对于链路占用带宽小的 LCN 对其路径不做调整. 这是因为调整这部分 LCN 给拥塞链路释放的带宽很小, 因此倾向于优先调整链路占用较高的 LCN.

代价最小原则. UCN 不对整个网络进行迁移, 而是当局部资源分布不均衡时, 对 UCN 的局部进行迁移, 目的是使局部资源趋于均衡. 有研究指出周期性虚拟网全网重构的代价 $C = \omega_1 \cdot R_{\text{reconf}} + \omega_2 \cdot$

$R_{\text{node}} + \omega_3 \cdot R_{\text{path}}^{[12]}$, 其中, R_{reconf} 是重构率, 即每个单位时间内重构事件发生的次数, R_{node} 和 R_{path} 是节点和路径重构的频率, $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 是代价权重, 随着具体应用而不同. 可以看出, 周期性迁移 UCN 所有路径及节点会大大增加问题的复杂度, 而且可能会得不到全局最优解, 对于提高网络整体性能并不理想, 因此, 周期性地迁移是不合适的. 只有当 LCN 构建失败时, 才进行迁移, 且每次最多选择一个 LCN 或其一部分进行迁移.

基于上述原则, 可以设置阈值 T 和 B , 当 LCN 构建需求不能满足时, 找到剩余时间大于 T , 且链路占用带宽大于 B 的 LCN, 计算其剩余时间与链路占用带宽的乘积, 按照乘积由大至小的顺序选择 LCN, 直到找到一个能够满足构建需求的 LCN 进行迁移.

4 实验与数值分析

4.1 实验设定

实验的物理网络由 100 个随机产生的节点组成, 节点的连接概率是 0.5, 带宽资源在 50~100 间均匀分布, LCN 请求的到达过程服从时间单位为 100、强度为 5 的泊松过程; 每个 LCN 的生存时间服从 $\theta=1000$ 的指数分布. LCN 节点需求个数在 2~10 之间均匀分布, 而带宽需求在 0~50 之间均匀分布. 阈值 T 取 100, B 取 10. 仿真用 matlab 编写完成, 共进行 10 次, 取实验结果平均值.

实验主要考虑带迁移和不带迁移的 LCN 构建需求接收率以及 LCN 构建完成后物理网络的链路利用率, 并且与基于多商品流算法^[8]的构建方法进行比较.

4.2 LCN 构建需求接收率

LCN 构建需求接收率是算法启动后 LCN 构建成功的个数占构建请求数的百分比, 即

$$C_{\text{accept}} = \frac{C_{\text{success}}}{C_{\text{all}}} \quad (6)$$

LCN 构建需求接收率可以反映构建方法的资源利用效率, 接受率越高表明构建方法越有效, 图 5 是 LCN 构建需求接收率在请求数从 0~300 的结果.

从实验结果可知, 当 LCN 构建请求数不多时, 几种算法的构建接收率都可以接近 100%, 但随着请求数逐渐增加, 由于各种算法资源分配方法的不同, 使构建接收率出现了不同的变化, 接近线性的下降过程. 而随着请求数的进一步增加, 原来存在的

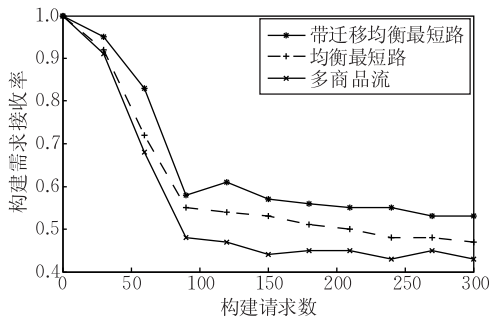


图 5 LCN 构建需求接收率

LCN 由于到达生存时间而不断释放网络资源,因此,构建接收率会逐渐达到稳态。多商品流算法没有考虑网络的均衡性,容易产生瓶颈链路,因此构建接收率并没有其它算法高;带迁移的均衡最短路构建算法构建成功率在 60% 左右,这是由于在资源分配过程中考虑了整个网络的负载均衡情况,较好地优化利用了网络资源,为构建更多的 LCN 提供了保证。另外,通过引入 LCN 的迁移,能够解决局部拥塞问题,提高资源利用率,从而提高 LCN 构建需求接收率。均衡最短路算法在 LCN 构建失败时不能通过迁移释放资源,因此构建接收率介于带迁移的均衡最短路算法和多商品流算法之间。

4.3 平均网络链路利用率

平均链路利用率是利用算法所构建的逻辑承载网络所占链路带宽之和与物理网络所有链路资源带宽之和的比值,即

$$\bar{U}_e = \frac{\sum_{d \in E^s} b_d}{\sum_{l \in E^p} b_e} \quad (7)$$

在完成 LCN 构建后,平均网络链路利用率可以反映 LCN 构建中网络资源利用的有效性。图 6 是平均链路利用率在构建请求数从 0~300 的实验结果。由实验结果可知,请求数较少时,几种算法的平均链路利用率都是快速上升的,随着请求次数上升到 70 左右时,由于不断有 LCN 到达生存期,释放资

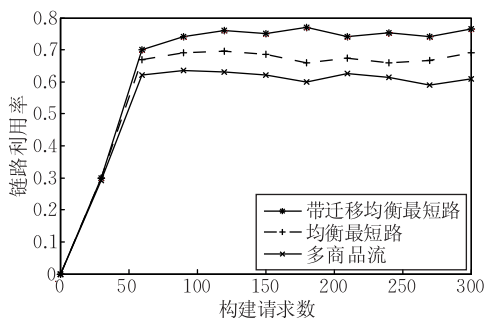


图 6 物理网络链路利用率

源,使平均链路利用率达到稳态。当构建请求数较少时,由于网络资源较充裕,3 个算法的平均链路利用率相差不大。当达到稳态后,带迁移的均衡最短路构建算法的平均链路利用率比其它算法都要高。从图 6 可以看出,多商品流的链路利用率明显小于本文提出的均衡最短路方法,而均衡最短路的链路利用率又低于带迁移的构建方法。

4.4 算法评价

本文提出了两种基于可重构路由交换设备的 LCN 构建方法。第 1 种是基于网络链路负载均衡的 LCN 构建方法,通过将构建需求进行分解,在满足元需求集合的链路中寻找网络链路负载均衡度最大的一条链路,以此解决逻辑承载网映射中的网络均衡问题。通过仿真实验表明,该方法与多商品流算法相比,能够较好地提高 LCN 构建需求的接收率,同时提高物理网络链路资源的利用率。第 2 种方法是带迁移的 LCN 构建方法,针对 UCN 网络的动态性而造成的网络不均衡以及链路瓶颈,提出了 LCN 动态迁移策略。从上述两组实验数据可知,本文提出的带迁移的均衡最短路 LCN 构建方法在 LCN 构建需求接收率和物理网络链路利用率两个方面都优于基于多商品流算法的构建方法和不带迁移的构建方法。

因此,本文提出的构建方法实现简单,并且,由于在构建过程中考虑了网络链路负载均衡,能满足更多的 LCN 构建需求;此外,在链路资源不能满足用户 LCN 构建请求时,按照迁移策略调整部分 LCN 占用的网络资源,消除瓶颈链路,均衡物理网络,从而能进一步提高 LCN 构建需求接收率,为更多的用户需求提供服务。

5 总结与展望

本文针对 UCN 的管理和 LCN 的构建方法进行了论述,给出了 UCN 管理体系结构,提出了解决 UCN 资源拓扑发现和一致性问题的方法,建立了 LCN 构建的数学模型,并给出了构建策略的若干重要原则和构建方法,为 LCN 的构建提供了新的思路。最后,通过仿真实验,从 LCN 构建需求接收率和构建后的链路利用率两个方面验证了本文提出的带迁移的并且考虑网络均衡的 LCN 构建方法的优越性。

UCN 的管理和 LCN 的构建方法还有很多问题有待进一步研究与探索,下一步是要更加深入地研究 LCN 构建方法以及 LCN 剩余运行时间和链路

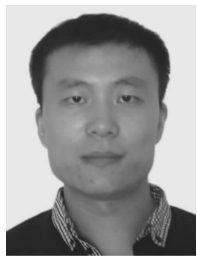
占用带宽阈值的设定方法,从而提高迁移成功率,并完善 LCN 构建评价指标。

参 考 文 献

- [1] Turner J, Taylor D. Diversifying the Internet//Proceedings of the IEEE Conference on Global Telecommunications, St. Louis, USA, 2005: 755-760
- [2] Wang Hao-Xue, Wang Bin-Qiang, Yu Jing, Jiang Ming. Research on architecture of universal carrying network. Chinese Journal of Computers, 2009, 32(3): 371-376(in Chinese) (王浩学, 汪斌强, 于婧, 姜明. 一体化承载网络体系架构研究. 计算机学报, 2009, 32(3): 371-376)
- [3] Foster I. Globus toolkit version 4: Software for service-oriented systems//Proceedings of the IFIP International Conference on Network and Parallel Computing. Springer-Verlag LNCS, Beijing, China, 2005: 2-13
- [4] Foster I et al. The Open Grid Services Architecture, Version 1.0, Global Grid Forum, 2005. <http://www.ggf.org/documents/GFD.30.pdf>
- [5] Chun B, Culler D, Roscoe T, Bavier A, Peterson L, Wawrzoniak M, Bowman M. PlanetLab: An overlay testbed for broad-coverage services. ACM Computer Communications Review, 2003, 33(3): 3-12
- [6] Mosharaf N M, Chowdhury Kabir, Boutaba Raouf. A sur-

vey of network virtualization. Waterloo, University of Waterloo, Ontario, Canada; Technical Report CS-2008-25, 2008

- [7] Mosharaf N M, Rahman Muntasir Raihan, Boutaba Raouf. Virtual network embedding with coordinated node and link mapping//Proceedings of the 28th Conference on Computer Communications. Rio de Janeiro, 2009: 783-791
- [8] Yu Minlan, Yi Yung, Rexford Jennifer, Chiang Mung. Rethinking virtual network embedding; Substrate support for path splitting and migration. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2008, 38(2): 17-29
- [9] Jens Lischka, Holger Karl. A virtual network mapping algorithm based on subgraph isomorphism detection//Proceedings of the 1st ACM Workshop on Virtualized Infrastructure Systems and Architectures. Barcelona, Spain, 2009: 81-88
- [10] Zhou Ling, Sen Arunabha. Topology design of service overlay network with a generalized cost model//Proceedings of the IEEE GLOBECOM. Washington, DC, USA, 2007: 75-80
- [11] Capone Antonio, Elias Jocelyne, Martignon Fabio. Routing and resource optimization in service overlay networks. Elsevier Computer Networks, 2009, 53(2): 180-190
- [12] Zhu Y, Ammar M. Algorithms for assigning substrate network resources to virtual network components//Proceedings of the IEEE INFOCOM. Barcelona, Catalunya, Spain, 2006: 1-12



Qi Ning, born in 1983, Ph. D. candidate. His research interests include new generation network and network management.

WANG Bin-Qiang, born in 1963, professor, Ph. D. supervisor. His research interests include broadband information network research and core router designing.

GUO Jia, born in 1982, M. S., assistant engineer. Her research interests include information security and new generation network.

Background

The work presented in this paper belongs to the field of the designing of new generation network and network virtualization. The traditional Internet "Best Effort" service mode can not satisfy various traffic requirements nowadays. Int-Serv/RSVP and DiffServ network architecture proposed by IETF still can not solve the problem of Quality of Service efficiently. To improve the extensibility and the ability of upgrading of the network, service oriented Universal Carrying Network (UCN) was proposed. A new solution of implying triple play was provided through UCN. Research issues of this paper focus on construction methods of Logical Carrying Network (LCN), which are parts of the topology and resource utilization designing of the network resource in UCN. The construction of LCN is assigning the resources of UCN to the components of a logical network in a reconfigurable flexible network environment. This kind of issues as well as virtual network design is paid attention by international network service researchers. Network virtualization is currently considered as one of the most important approaches to the de-

velopment of future Internet architecture. Currently, there are several virtual network mapping algorithms, however, these works were not designed for network balance and reconfiguration of the network during the process of virtual network mapping.

This paper proposes the management architecture of UCN and solution to solve the problem of resource topology discovery and information consistency. Based on some important principles a construction methods with migration based on network balance is given. The experiment results show that the algorithm proposed in this paper can improve the construction requirements acceptance ratio and average link utilization ratio. This work is supported by the National High Technology Research and Development Program (863 Program) of China under grant No. 2008AA01A323. The research group which the author participates in has received some achievements in these fields; Nation High-powered Broadband Information Network (3TNet), IPv6 Core Router, Large-Scale Access & Converge Router, etc.