

一种光传送网分层结构及其业务量疏导优化模型^{*}

苏扬^{1,2} 徐展琦¹ 刘增基¹

(西安电子科技大学综合业务网国家重点实验室 西安 710061)¹

(西安科技大学通信与信息工程学院 西安 710054)²

摘要 提出一种包括 IP、SDH 和 WDM 三种网络层次的光传送网分层结构及其业务量疏导优化模型。IP 和 SDH 层的逻辑拓扑由优化模型根据这两层的业务请求矩阵生成, IP 和 SDH 层以多种带宽颗粒度串路承载具有不同请求带宽的业务流, 模型以最大化网络流量为目标, 定义了三种网络层次上不同颗粒度串路之间和串路与业务流之间的相关性约束。在不同网络资源配置下, 利用 Lingo 优化软件对模型的求解结果验证了模型的有效性。

关键词 光传送网, 业务量疏导, 网络流量, 优化模型

A Multilayer Framework and Optimal Model for Traffic Grooming in Optical Transport Networks

SU Yang^{1,2} XU Zhan-Qi¹ LIU Zeng-Ji¹

(State Key Lab. of Integrated Service Networks, Xidian Univ., Xi'an 710071)¹

(School of Communications & Information Engineering, Xi'an Univ. of Sci. & Tech., Xi'an 710054)²

Abstract A multilayer framework of optical transport network and its optimal model for traffic grooming is proposed in this paper. The multilayer network involves IP, SDH and WDM layers. The logic topologies of IP and SDH layers are constructed by the optimal model based on the given traffic demand matrices. Traffic flows that have different request bandwidth are carried by the links with various bandwidth granularities. Our proposed optimal model aims at maximizing the network throughput, in which the correlative constraints between links on different layers, links and traffic flows are defined. The validity of this model is proved by using LINGO optimal software to solve the model under different network configuration.

Keywords Optical transport network, Traffic grooming, Network throughput, Optimal model

光传送网(Optical Transport Network, OTN)包括基于 SDH 的第一代光网络和基于 WDM 的第二代光网络^[1], IP over OTN 是光网络演进的主流方向。但无论是 SDH 还是 WDM, 其交换机制仍属于电路交换, 仍然是以固定颗粒度为通信业务分配带宽。而 IP 数据流的带宽是任意颗粒度的, 因此 IP over OTN 存在业务量疏导问题^[2,3]。当前对业务量疏导问题的研究主要集中于 IP over WDM, 通常以最大化网络流量或最小化网络资源(如光纤串路的波长)占用作为疏导的优化目标^[4~7]。

虽然 IP over WDM 是 IP over OTN 的最终目标, 但就广大运营商而言, 现阶段在发展 WDM 网络的同时, 仍需保留 SDH 网络, 通过其提供的传统语音业务来保证网络收益, 而且 SDH 网络本身也可以通过 SDH over WDM 进行扩容。本文据此提出一种融合 IP over SDH、IP over WDM 及 SDH over WDM 的光传送网分层结构, 基于整数线性规划设计分层结构下业务量疏导问题的优化模型, 通过对模型最优解的求解验证其有效性。

1 光传送网分层结构

IP over OTN 中不同的交换机制可以由不同网络单元实现, 例如 IP 路由器实现分组交换、数字交叉连接器(DXC)实现数字电路交换、光交叉连接器(OXC)实现光域的波长交换。

图 1 是光传送网中一个集成这些交换单元的结点结构, 其中 SADM 和 OADM 分别表示 SDH 网络中的电域分插复用器和 WDM 网络中的光分插复用器。当然, 光传送网中的

结点也可以是只有单一交换功能的结点, 如单纯的 OXC 结点和 IP 路由器。根据交换单元交换功能的不同, 光传送网可划分出如图 2 所示的包括 IP、SDH 和 WDM 层的分层结构。分

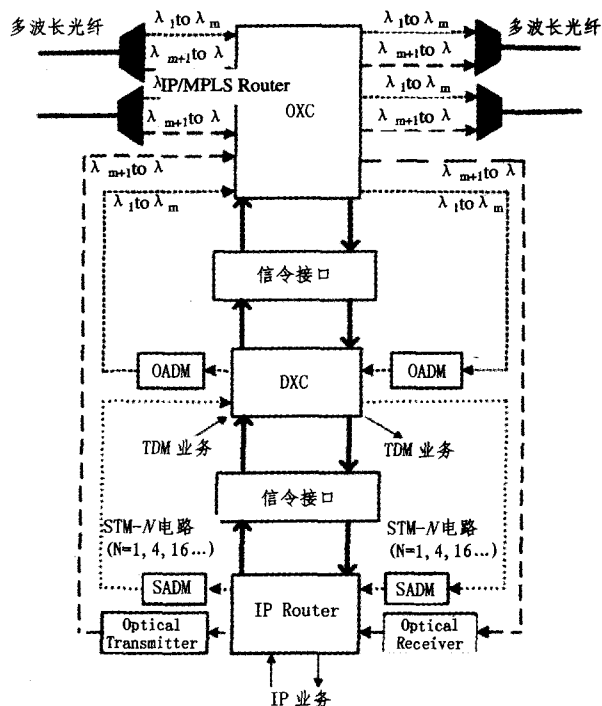


图 1 集成结点结构

^{*} 华为高校科技基金(No. YJCB2005040SW)、西安电子科技大学研究生创新基金(No. 05030)资助项目。苏扬 博士研究生, 主要研究方向: WDM 光网络。

层结构中 IP/MPLS 路由器互连形成 IP 层,由 DXC 汇聚 SDH 环网的业务并互连形成 SDH 层(图 2 省略了对 SDH 环网的表示),WDM 层则由 OXC 互连形成。WDM 层拓扑中的边代表多波长光纤串路。和图 1 对应,一条 N 个波长的光纤串路可分别为 SDH 层和 IP 层分配 $M(M < N)$ 和 $N-M$ 个波长。

根据业务请求的属性,业务请求由 SDH 和 IP 层产生,分别对应传统同步时分复用(TDM)业务和基于 IP 的业务。WDM 层以波长颗粒度为 SDH 层和 IP 层提供串路,以承载这两层的业务。除了 IP over WDM,IP 层也通过 IP over SDH 由 SDH 层以 STM-N($N=1,4,16\cdots$)的颗粒度为 IP 层提供串路来承载其业务。这样,图 2 中 SDH 层和 IP 层的边就代表连接层内结点的串路集。串路集中的不同串路在下层网络中有不同的映射路径,而且 IP 层结点之间具有多种带宽颗粒度的串路。SDH 和 IP 层串路根据具体的业务请求产生,SDH 和 IP 层拓扑是可重构的逻辑拓扑。分层网络结构中不同层之间的接口串路(图 2 中不同网络层上标号相同的结点之间都有接口串路,这里仅以结点 1 为例画出这些接口串路)代表不同的分插复用器和光收发器,层间接口串路的容量等于该串路所代表的分插复用器或光收发器的数目乘以波长的容量。

对于图 2 所示分层网络的业务量疏导问题,本文设计一种基于整数线性规划的优化模型。下面给出模型中涉及的符号、已知量和变量的定义。

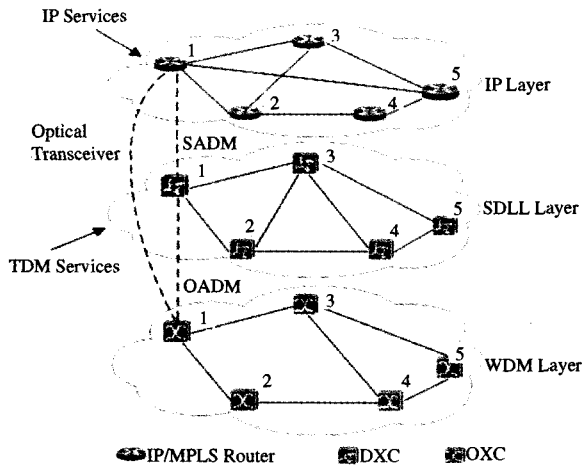


图 2 光传送网分层结构

2 相关符号、已知量和变量

2.1 符号

I, S, W :上/下标标识,分别表示 IP、SDH 和 WDM 层。

m, n :WDM 层光纤串路的端点。

u, v :SDH 层拓扑中一条边的两个端点。

i, j :IP 层拓扑中一条边的两个端点。

s, d :IP 层或 SDH 层业务请求的源和宿。

y :请求带宽颗粒度,IP over OTN 中,IP 数据流通常按 SDH/SONET 的帧格式组帧传输,因此可设定 $y \in \{STM1/4/16/64\}$ 或 $y \in \{OC-1/3/12/48\}$ 。

2.2 已知量

C :光纤串路中每波长的容量。

λ_s :WDM 层分配给 SDH 层的波长数。

λ_i :WDM 层分配给 IP 层的波长数。

CT_j^{i-w}/CR_j^{w-1} :结点 j 从 IP 层到 WDM 层/从 WDM 层到 IP 层的层间串路容量。

CT_j^{i-s}/CR_j^{s-1} :结点 j 从 IP 层到 SDH 层/从 SDH 层到 IP 层的层间串路容量。

CT_u^{w-s}/CR_u^{s-w} :结点 u 从 SDH 层到 WDM 层/从 WDM 层到 SDH 层的层间串路容量。

Λ_s^y/Λ_j^y :SDH/IP 层请求带宽颗粒度为 y 的业务请求矩阵, $\Lambda_s^{d,y},\Lambda_j^{s,y}$ 分别表示 SDH 层、IP 层结点对 (s, d) 之间请求带宽颗粒度为 y 的业务请求数。

2.3 变量

2.3.1 IP 层拓扑变量

$V_{ij}^{w-1}/V_{ij}^{s-1}$:IP 层拓扑上,结点 i 到 j 的由 WDM 层(以波长颗粒度)/SDH 层(为 y 为颗粒度)映射到 IP 层的串路数。

2.3.2 SDH 层拓扑变量

V_w^{s-s} :SDH 层拓扑上,结点 u 到 v 的由 WDM 层映射到 SDH 层的串路数。

$SP_{ij}^{u,y}$:IP 层结点 i 到 j 的容量为 y 的串路集中,在 SDH 层的映射路径经过 SDH 层从 u 到 v 的边的串路数。

2.3.3 WDM 层拓扑变量

WIP_{mi}^j/WSP_{mn}^w :IP 层结点 i 到 j /SDH 层结点 u 到 v 的串路集中,在 WDM 层的映射路径经过 WDM 层从 m 到 n 的边的串路数。

2.3.4 业务请求变量

$I_{\theta_{di}^t}/S_{\theta_{di}^t}; I_{\theta_{di}^t}/S_{\theta_{di}^t}=1$ 表示 IP 层/SDH 层从结点 s 到 d 的第 t 个颗粒度为 y 的业务请求被接纳,否则 $I_{\theta_{di}^t}/S_{\theta_{di}^t}=0$ 。

$I_{\delta_{ij}^{d,y,t}}/S_{\delta_{ij}^{d,y,t}}; I_{\delta_{ij}^{d,y,t}}=1$ 表示 IP 层结点 s 到 d 的第 t 个颗粒度为 y 的业务请求由 IP 层上结点 i 到 j 的串路承载,否则 $I_{\delta_{ij}^{d,y,t}}=0$; $S_{\delta_{ij}^{d,y,t}}$ 则表示 SDH 层上结点 u 到 v 的串路集对 SDH 层业务请求的承载状况,其含义和 $I_{\delta_{ij}^{d,y,t}}$ 相同。

3 业务量疏导优化模型

优化模型以最大化网络流量为目标函数,即

$$\text{Maximize: } \sum_{s,d,y,t} y * (I_{\theta_{di}^t} + S_{\theta_{di}^t})$$

根据不同的变量,设定以下约束。

3.1 对 IP 层拓扑变量的约束

$$C * \sum_j V_{ij}^{w-1} \leq CT_i^{i-w} \quad (1)$$

$$C * \sum_i V_{ij}^{w-1} \leq CR_j^{w-1} \quad (2)$$

$$\sum_y \sum_j y * V_{ij}^{s-1} \leq CT_i^{i-s} \quad (3)$$

$$\sum_y \sum_i y * V_{ij}^{s-1} \leq CR_j^{s-1} \quad (4)$$

$$\text{int } V_{ij}^{w-1}, V_{ij}^{s-1} \quad (5)$$

式(1)、(2)表示 IP 层上 i 到 j 的由 WDM 层所映射的串路总容量不超过 i 从 IP 层到 WDM 层或 j 从 WDM 层到 IP 层的层间串路容量,式(3)、(4)则表示由 SDH 层映射的串路总容量不超过 i 从 IP 层到 SDH 层或 j 从 SDH 层到 IP 层的层间串路容量。

3.2 对 SDH 层拓扑变量的约束

$$C * \sum_v V_w^{w-s} \leq CT_u^{s-w} \quad (6)$$

$$C * \sum_u V_w^{w-s} \leq CR_v^{w-s} \quad (7)$$

$$\text{int } V_w^{w-s} \quad (8)$$

$$\sum_u SP_{ik}^{ij,y} = \sum_v SP_{kv}^{ij,y} \text{ if } k \neq i, j \quad \forall i, j, k, y \quad (9)$$

$$\sum_u SP_{ij}^{u,y} = 0 \quad \forall i, j, y \quad (10)$$

$$\sum_v SP_{v,y}^y = V_{v,y}^{s-1} \forall i, j, y \quad (11)$$

$$\sum_v SP_{v,y}^y = 0 \forall i, j, y \quad (12)$$

$$\sum_v SP_{v,y}^y = V_{v,y}^{s-1} \forall i, j, y \quad (13)$$

$$\sum_{y,i,j} y * SP_{v,y}^y + \sum_t \sum_{y,s,d} y * (S_{\theta_{st}^{y,t}}) \leq C * V_{w}^{w-s} \forall u, v \quad (14)$$

式(6)、(7)的约束含义类似式(1)、(2)。如果 IP 层结对对 (i, j) 之间容量为 y 的串路在 SDH 层有映射路径, 则式(9)~(13)保证了这些映射路径满足流量守恒准则, 式(9)保证映射路径上中间结点 k 的入串路数等于其出串路数。对于映射路径的源点 i , 式(10)保证 i 的入串路数为零, 式(11)保证 i 的出串路数等于 SDH 层为 IP 层结对对 (i, j) 所映射的容量为 y 的串路总数; 对于映射路径的宿点 j , 式(12)保证 j 的出串路数为零, 式(13)保证 j 的入串路数等于 SDH 层为 IP 层结对对 (i, j) 所映射的容量为 y 的串路总数。

针对 SDH 层结对对 (u, v) 串路集的带宽消耗一部分用于承载 SDH 层本身的业务, 一部分用于为 IP 层映射串路的情况, 式(14)保证了这两部分带宽总消耗不超过 (u, v) 串路集的串路总容量。

3.3 对 WDM 层拓扑变量的约束

3.3.1 WDM 和 IP 层拓扑变量之间存在的约束

$$\sum_m WIP_{mk}^y = \sum_n WIP_{mn}^y \quad \text{if } k \neq i, j \quad \forall i, j, k \quad (15)$$

$$\sum_m WIP_{mk}^y = 0 \quad \forall i, j \quad (16)$$

$$\sum_n WIP_{mn}^y = V_{ij}^{w-1} \quad \forall i, j \quad (17)$$

$$\sum_n WIP_{mn}^y = 0 \quad \forall i, j \quad (18)$$

$$\sum_m WIP_{mk}^y = V_{ij}^{w-1} \quad \forall i, j \quad (19)$$

$$\sum_{i,j} WIP_{ij}^y \leq \lambda_I \quad \forall m, n \quad (20)$$

如果 IP 层结对对 (i, j) 之间存在由 WDM 层映射的串路, 对于这些串路在 WDM 层的映射路径, 式(15)~(19)同样保证这些映射路径满足流量守恒准则, 其约束含义类似式(9)~(13)。式(20)则保证 WDM 层串路 (m, n) 为 IP 层映射的光路数, 不超过 (m, n) 分配给 IP 层的波长数。

3.3.2 WDM 和 SDH 层拓扑变量之间存在的约束

$$\sum_m WSP_{mk}^w = \sum_n WSP_{mn}^w \quad \text{if } k \neq u, v \quad \forall u, v, k \quad (21)$$

$$\sum_m WSP_{mk}^w = 0 \quad \forall u, v \quad (22)$$

$$\sum_n WSP_{mn}^w = V_{uv}^{w-s} \quad \forall u, v \quad (23)$$

$$\sum_n WSP_{mn}^w = 0 \quad \forall u, v \quad (24)$$

$$\sum_m WSP_{mk}^w = V_{uv}^{w-s} \quad \forall u, v \quad (25)$$

$$\sum_{u,v} WSP_{uv}^w \leq \lambda_s \quad \forall u, v \quad (26)$$

式(21)~(26)的约束含义类似式(15)~(20)。

3.4 对业务请求变量的约束

3.4.1 对 SDH 层业务请求变量的约束

$$\sum_s S_{\theta_{st}^{y,t}} = \sum_d S_{\theta_{ds}^{y,t}} \quad \text{if } k \neq s, d \quad \forall s, d, k, t \quad (27)$$

$$\sum_s S_{\theta_{st}^{y,t}} = 0 \quad \forall s, d \quad t \in [1, \Delta_{st}^{y,y}] \quad (28)$$

$$\sum_v S_{\theta_{sv}^{y,t}} = S_{\theta_{st}^{y,t}} \quad \forall s, d \quad t \in [1, \Delta_{st}^{y,y}] \quad (29)$$

$$\sum_v S_{\theta_{sv}^{y,t}} = 0 \quad \forall s, d \quad t \in [1, \Delta_{st}^{y,y}] \quad (30)$$

$$\sum_u S_{\theta_{ut}^{y,t}} = S_{\theta_{st}^{y,t}} \quad \forall s, d \quad t \in [1, \Delta_{st}^{y,y}] \quad (31)$$

$$S_{\theta_{st}^{y,t}} \in \{0, 1\} \quad (32)$$

式(27)~(31)说明了 SDH 层串路承载 SDH 层连接时应满足的流量守恒条件, 这些流量守恒条件同样适用于 IP 层串

路对 IP 层连接的承载, 因此有以下针对 IP 层业务请求变量的约束。

3.4.2 对 IP 层业务请求变量的约束

$$\sum_i I_{\theta_{ik}^{y,t}} = \sum_j I_{\theta_{kj}^{y,t}} \quad \text{if } k \neq s, d \quad \forall s, d, k, t \quad (33)$$

$$\sum_i I_{\theta_{ik}^{y,t}} = 0 \quad \forall s, d \quad t \in [1, \Delta_{st}^{y,y}] \quad (34)$$

$$\sum_j I_{\theta_{kj}^{y,t}} = I_{\theta_{st}^{y,t}} \quad \forall s, d \quad t \in [1, \Delta_{st}^{y,y}] \quad (35)$$

$$\sum_j I_{\theta_{kj}^{y,t}} = 0 \quad \forall s, d \quad t \in [1, \Delta_{st}^{y,y}] \quad (36)$$

$$\sum_i I_{\theta_{ik}^{y,t}} = I_{\theta_{st}^{y,t}} \quad \forall s, d \quad t \in [1, \Delta_{st}^{y,y}] \quad (37)$$

$$\sum_t \sum_{y,s,d} y * (I_{\theta_{st}^{y,t}}) \leq C * V_{ij}^{w-1} + \sum_y y * V_{ij}^{s-1} \quad \forall i, j \quad (38)$$

$$I_{\theta_{st}^{y,t}} \in \{0, 1\} \quad (39)$$

式(38)保证 IP 层结对对 (i, j) 之间的串路集为承载 IP 层连接所消耗的带宽不超过串路集的串路总容量。

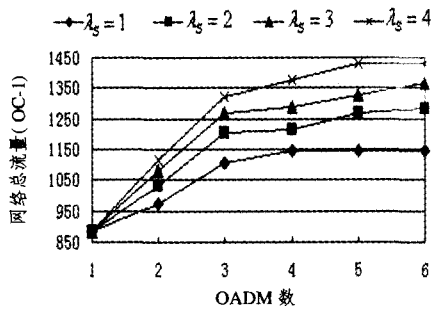
4 实验验证和性能分析

采用和图 2 中 WDM 层拓扑完全相同的光传送网作为仿真网络, 利用 Lingo 优化软件^[9], 对以上优化模型在不同资源配置下的网络流量进行求解。光纤串路为双向, 每波长容量为 OC-48, IP 层和 SDH 层产生基于 OC-1/3/12 的连接请求, 不失一般性, 实验中假设 IP 层和 SDH 层具有相同的连接请求矩阵, 如表 1 所示。表中的三元素组 (m, n, k) 分别表示 OC-1, OC-3 和 OC-12 的个数, 网络中 IP 层和 SDH 层各产生请求带宽等于 716 个 OC-1 的连接请求, 网络中总请求带宽等于 1432 个 OC-1。

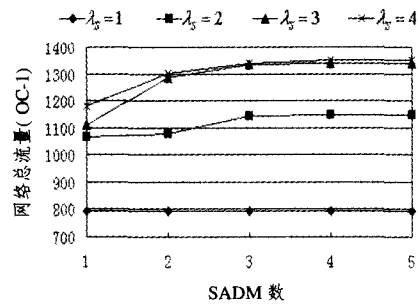
表 1 IP 层和 SDH 层连接请求

	Node 1	Node 2	Node 3	Node 4	Node 5
Node 1	(0, 0, 0)	(8, 8, 1)	(5, 6, 1)	(16, 7, 0)	(6, 8, 2)
Node 2	(12, 3, 1)	(0, 0, 0)	(9, 0, 2)	(6, 2, 1)	(16, 7, 2)
Node 3	(11, 7, 0)	(15, 3, 2)	(0, 0, 0)	(1, 2, 2)	(5, 6, 0)
Node 4	(2, 4, 2)	(3, 5, 0)	(3, 0, 2)	(0, 0, 0)	(9, 2, 1)
Node 5	(1, 4, 1)	(8, 4, 2)	(15, 2, 2)	(13, 0, 2)	(0, 0, 0)

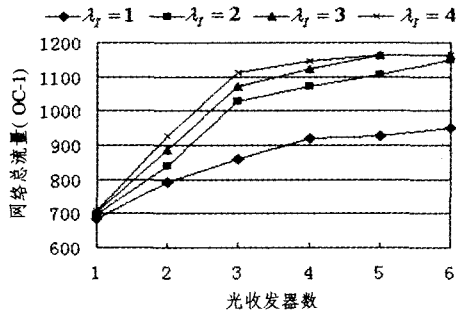
图 3 给出优化模型针对网络流量的计算结果。图 3(a) 是 λ_I 、SADM 和光收发器数恒定 ($\lambda_I = 2, N_{SADM} = N_{Opt\ transceiver} = 3$), 改变 SDH over WDM 层间配置 (改变 λ_s 、SDH 层与 WDM 层对应结点的 OADM 数) 的流量曲线, 曲线显示出对于恒定的 OADM 数, 增加 λ_s , 有助于提高网络流量, 但当 OADM 本身已是网络资源瓶颈时, 增加 λ_s 对网络流量的提升并不明显 (例如图中 $N_{OADM} = 1$ 的情况), 而 λ_s 恒定的情况下, OADM 的配置数量对流量的影响与之相似。图 3(b) 是 λ_I 、OADM 和光收发器数恒定 ($\lambda_I = 1, N_{OADM} = 4, N_{Opt\ transceiver} = 1$), 改变 IP over SDH over WDM 层间配置 (改变 IP 层与 SDH 层对应结点的 SADM 数、改变 λ_s) 的流量曲线, 可以看出, λ_s 或 SADM 的增加有助于提高网络流量, 但如果 OADM 已成为网络资源瓶颈, 即使同时增加 λ_s 和 SADM, 网络流量的改善也不明显, 这从图中 $\lambda_s = 3$ 和 $\lambda_s = 4$ 所示的两条流量曲线可以清楚地看出这一点。图 3(c)、(d) 是 λ_s 、SADM 和 OADM 数恒定 ($\lambda_s = 2, N_{SADM} = 1, N_{OADM} = 2$), 改变 IP over WDM 层间配置 (改变 λ_I 、IP 层与 WDM 层对应结点的光收发器数) 时网络总的流量曲线和 SDH 层业务的流量曲线, 从 $\lambda_I = 1, N_{Opt\ transceiver} = 1$ 增加到 $\lambda_I = 4, N_{Opt\ transceiver} = 6$ 的过程中, 网络流量总的增长为 479 个 OC-1, SDH 层业务请求的流量增长为 170 个 OC-1, 显然 IP over WDM 层间配置的改变对 IP 层业务流量的影响大于对 SDH 层业务流量的影响。



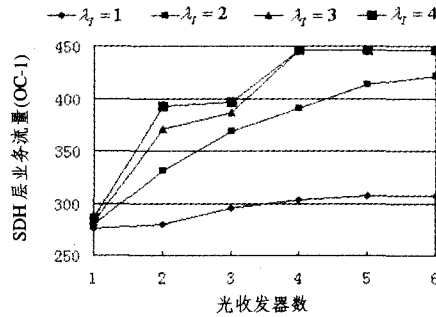
(a)SDH/WDM 层间配置对网络流量的影响



(b)IP/SDH/WDM 层间配置对网络流量与影响



(c)IP/WDM 层间配置对网络流量的影响



(d)IP/WDM 层间配置对 CDH 层业务流量的影响

图 3 不同层间资源配置下的网络流量

(下转第 64 页)

(上接第 35 页)

4 寻找定位资源节点

介绍了本体驱动的 P2P 网络之后,我们来讨论一下 P2P 网络中的 peers 是如何通过语义查询寻找并定位它们所需要的资源的。

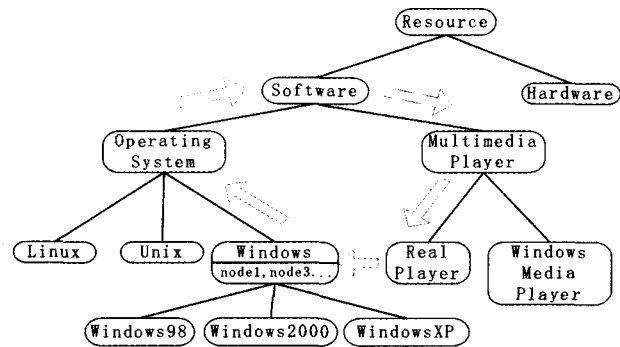


图 7 查询过程

我们仍然使用以上的例子节点定位的过程。如果节点 1 希望找到一种名字为“RealPlayer”的多媒体播放软件资源,它首先要做的就是检查自己的 CHG。由于 CHG 是一棵根节点为“Resource”的树,所以很容易找到一个概念节点具有如下特征:以该节点为根的子树必然包含目标概念“RealPlayer”和源概念“Windows”。接着选择能够表示具有这个特征的概念的最近的节点。在我们的例子里面,节点 1 找到概念“Software”并且可以不停地向上(父节点)询问确定最近表示该概念的节点的位置。被节点 1 定位的节点会收到一个类似 IP 报的信息,其中有一个包含目标概念名的栈和源节点(节点 1)的 IP 地址信息。栈内信息依次为:“Software”,“multimedia player”以及“Real Player”。由于这个被定位的节点是标示概念“Software”的,则将与之同名的元素弹出并丢弃后将这个被修改过的栈发送给自己的所有 sub-concept 节点。

当 sub-concept 中又能够与“multimedia player”同名的节点则重复以上动作直到找到目标节点。目标节点发现栈为空的时候就知道自己就是这次查询的终点,此时按照该信息包内的 IP 地址将自己的资源列表发送过去。以上过程如图 7 所示。

结论 本文给出了一种新颖的 P2P 网络分布式资源定位的方法。我们的系统使用分布式的基于描述逻辑的分布式本体系统来描述不同的资源。通过哈希算法将信息分布在点对点网络上。我们大致给出算法的核心思想并通过整合分布式的 TBox 来保证系统的正确性。通过分布式的 CHG 就可以合并所有节点的知识库就可以解决分布式 DL 系统带来的问题。我们的算法确保不同的 peer 上保存的信息量大致相同,这样可以达到负载均衡并使每个节点更为平等。

但是,文中几乎没有对推理算法进行讨论,尽管推理算法是 DL 系统中最重要的一个部分。我们将来的工作就是在这个分布式 DL 系统的基础上实现分布式推理系统。除此之外,基于本体的系统的完备性,查询的可表示性以及意外检测都将是我们的研究的下一步工作。

参考文献

- Goble C, Roure D D. The Grid: An Application of the Semantic Web. SIGMOD Rec, 2002, 31(4): 65~70
- Brooke J, Fellows D, Garwood K, et al. Semantic matching of Grid Resource Descriptions. In: 2nd European Across-Grids Conference, 2004
- Tangmunarunkit H, Decker S, Kesselman C. Ontology-based Resource Matching in the Grid - The Grid Meets the SemanticWeb. In: Proceedings of SemGRID '03, 2003
- Gonz'alez-Castillo J, Trastoud D, Bartolini C. Description Logics for Matchmaking of Services. In: Görz G, Haarslev V, Lutz C, et al., ed. Proceedings of the KI-2001 Workshop on Applications of Description Logics, vol 44, 2001
- Heine F, Hovestadt M. Towards Ontology-driven P2P Grid Resource Discovery. In: Proceedings of the Fifth IEEE/ACM International Workshop on Grid Computing, 2004
- Baader F, Calvanese D, McGuinness D, et al. The Description Logic Handbook. Cambridge University Press, 2003
- Stoica I, Morris R, Liben-Nowell D, et al. Chord: A Scalable Peer-to-peer Lookup Service for Internet Applications. IEEE Transactions on Networking, 2003(11)

任务能否运行,④显示网络通信情况。测试网络并分析测试数据主要包括五个部分:①计算各性能指标值,②建立合理的数学模型,③寻找最优网络拓扑图并说明,④提供组网建议,⑤找出性能最优总结点数。

基于 C 语言的仿真系统的具体实现措施如下:

(1)以时间片为单位推进仿真系统对网络通信过程的模拟。

(2)系统建立三个任务队列:等待队列、运行队列及完成队列。队列中的每个任务主要包括三个参量:通信结点对,通信任务量,通信时间间隔。通信结点对服从均匀分布,利用 C 语言库函数中的随机函数产生;通信任务量、通信时间间隔服从正态分布^[5]。

(3)基于一定网络拓扑图,当新的随机通信任务产生时,根据运行队列来判断任务能否运行。

(4)衡量系统性能的指标为:效率、响应度、完成率、等待比。其中,效率=总通信机时/(结点对×仿真时间)×100%,响应度=总及时响应任务数/总产生任务数×100%,完成率=总完成任务量/总产生任务量×100%,等待比=总等待时间/总通信机时。基于一定网络拓扑图,仿真时段结束后,根据等待队列、运行队列、完成队列数据,按公式计算出各指标值。以总结点数是 6 为例,仿真出的结果是:性能最优的分层数

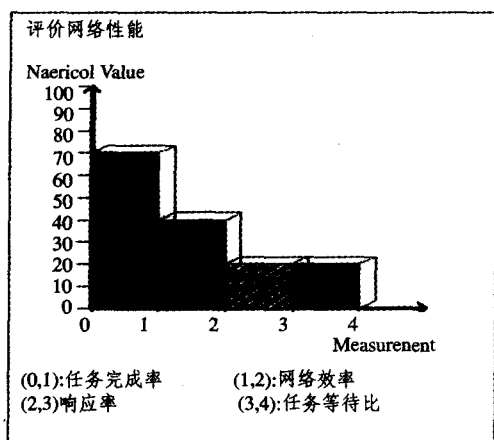


图 3 网络性能分析图

为 1,每层结点是 6;在仿真时间内,任务完成率为 74.411763%,网络工作效率为 44.99999%,响应度为 23.0769232%,等待比为 18.814818,如图 3 所示。

(5)基于一定数学模型,根据各指标值,计算出网络的性能值。

(6)在寻找一定总结点数的性能最优拓扑图时,由于拓扑图数趋近于无穷,因此,对拓扑图数作如下简化:尽可能使各层结点数相等,对网络拓扑图的层数、每层结点数作出上限和下限。根据各拓扑图的性能值,找到性能值最大的拓扑图。最后对找到的性能最优拓扑图的工作情况作出详尽的描述,例如:网络的组建结构、工作时段、各指标值。

(7)对于用户输入的计算机总台数,针对各指标不同拓扑图的值作适当的分析。根据分析结果确定各指标下比较好的拓扑图并提出组网建议。最后,综合各指标提出组网建议。

结束语 在分析集中目录式和纯对等网络模型的弊端的基础上,提出了一种全新的有着充分优越性的层次对等网络模型,并对其进行了仿真。在设计和实现层次网络仿真系统的过程中,需要根据各种因素对网络性能进行分析,找出性能值最优的层次网络拓扑,提出组网建议和指导信息。分析的结果越逼近实际,仿真就越有意义。随着社会发展的需要和网络技术的进步,相信在不久的将来,每个通信用户将会享受对等带来的工作效率。

参考文献

- 1 张公忠,陈锦章.当代组网技术[M].清华大学出版社,2000
- 2 Hung-Yun Hsieh, Sivakumar. On Using Peer-to-peer Communication in Cellular Wireless Data Networks Mobile Computing [J]. IEEE Transactions on, 2004, 3(1): 57~72
- 3 罗杰文. Peer to Peer (P2P) 综述 [EB/OL]. http://www.huihoo.com/p2p/1/. 2005
- 4 庄宜松.现代通信技术[M].重庆大学出版社,2004
- 5 徐士良.C常用算法程序集[M].清华大学出版社,1999
- 6 Sport M A, Pappas F C, Rensing E, 等著.钟向群,冬青译.高性能网络技术教程[M].清华大学出版社,1998
- 7 Shiga, Chikagawa, Takahashi, Ueda. Network Communication Strategies for Cooperative Physical Agents Matsuyama [C]. Information and Telecommunication Technologies, 2005. In: AP-SITT2005 Proceedings. 6th Asia-Pacific Symposium on, Nov. 2005. 148~153
- 8 邢其欣,周长胜.通用网络应用层信息流仿真.计算机仿真,2006(4)
- 9 刘奥,姚益平.基于高性能计算环境的并行仿真建模框架.系统仿真学报,2006(7)

(上接第 39 页)

结束语 笔者提出一种融合 IP、SDH 和 WDM 技术的多层网络结构,基于该网络结构,设计了以最大化网络流量为目标的多层网络业务量疏导优化模型,模型描述了不同网络层中多种颗粒度串路之间的映射关系,串路对业务流的承载关系。对优化模型求解所得到的结果和网络流量的实际变化趋势相一致,证明了其有效性。需要指出的是,多层网络业务量疏导是一个 NP-hard 问题,对本文所设计的优化模型的仿真实验也显示随着网络规模的扩大和连接请求的增多,模型中变量数和约束条件数都急剧增长,对于大型网络,很难在多项式时间内获得理论最优解,因此模型的求解还依赖于启发式算法的设计,这是有待进一步研究的问题。

参考文献

- 1 Wei J Y. Advances in the Management and Control of Optical Internet [J]. IEEE J Select Areas Commun, 2002, 20 (4): 768~785
- 2 Modiano E, Lin P. Traffic grooming in WDM networks [J].

- IEEE Communications Magazine, 2001, 39 (7): 124~129
- 3 Zhu H Y, Zang H, Zhu K Y, et al. A Novel Generic Graph Model for Traffic Grooming in Heterogeneous WDM Mesh Networks [J]. IEEE/ACM Trans. Networking, 2003, 11 (2): 285~299
- 4 Zhu K Y, Mukherjee B. Traffic Grooming in an Optical WDM Mesh Network [J]. IEEE J Select Areas Commun, 2002, 20(1): 122~133
- 5 Iovanna P, Settembre M, Sabella R, et al. Performance analysis of a traffic engineering solution for multilayer networks based on the GMPLS paradigm [J]. IEEE J Select Areas Commun, 2004, 22(9): 1731~1740
- 6 Gencata A, Mukherjee B. Virtual-Topology Adaptation for WDM Mesh Networks Under Dynamic Traffic [J]. IEEE/ACM Trans Networking, 2003, 11(2): 236~247
- 7 Sabella R, Settembre M, Oriolo G, et al. Strategy for Dynamic Routing and Grooming of Data Flows into Lightpaths in New Generation Network Based on the GMPLS Paradigm [J]. Photonic Network Communications, 2004, 7(2): 131~144
- 8 LINDO Systems Inc. Lingo 8.0 for Windows 32-bit, x86 [EB/OL]. http://www.lindo.com, 2005-02-21