

基于多维帧映射的光网络资源描述算法^①

田相轩^{②*} 杨君刚^{*} 杨延凤^{**} 李洪卫^{*}

(^{*} 西安通信学院 西安 710106)

(^{**} 西安财经学院 西安 710100)

摘 要 通过分析光网络资源在复杂网络资源调度中的特点,提出了波分复用(WDM)网络的一种基于多维帧映射的光网络资源描述算法。该算法的设计旨在高效、准确描述光网络拓扑资源状态信息,为对光网络资源的高效利用与快速响应奠定基础。该算法采用多维的方式描述光网络资源状态信息,采用帧模块分层次、分布式的方式呈现光网络资源状态信息,实现资源的准确发现、快速更新、高效调度。通过示例分析证明,该算法可有效缩短资源发现的响应时间,很大程度地提高资源发现的准确性,有效地提高资源调度的效率。

关键词 光网络,资源描述,资源调度,多维帧映射

0 引 言

光网络(optical network)是现代通信的基础传输平台。随着大型数据中心以及云计算的快速发展,光网络传输数据呈爆炸式增长,对光网络资源分配的实时性和高效性要求越来越高,如何实现在有限的波长和光纤负载容量条件下,最大程度地实现数据传输是光网络技术发展面临的主要难题之一^[1-3]。实现大量数据的快速移动,首先需要明确的是对资源的描述,即对现有光网络拓扑中剩余资源的描述。资源描述的准确性是资源分配的前提,高效简单的资源描述方式能有效地降低资源分配的复杂度并且提高资源的利用率。本文基于这种考虑进行了光网络资源描述研究,结合光网络资源在复杂网络资源调度中的特点,提出了一种基于多维帧映射的波分复用(wavelength division multiplexing, WDM)光网络资源描述算法,并对该算法进行了性能分析。

1 相关研究

根据现有文献,对光网络资源的描述主要有两种方式。第一种方式是指针对所应用的光网络资源

的特点提出相应的语言进行分析设定,来完成描述;第二种方式是利用语义网的基本思想,通过设定光网络资源元模型的方式来完成资源的描述。

第一种方式的描述语言有以下几种:资源规范语言(resource specification language, RSL),一个描述资源通用交换语言^[4],资源管理组件使用特定的属性/值对完成对通用结构进行描述,RSL 仅用来描述 Globus^[5]中的资源请求和计算资源,不能描述其它资源,使用范围太小;网络服务描述语言(Web service description language, WSDL),它描述 Web service 所使用的格式和协议^[6],描述网格资源的存在通用性差与规范和协议有限的缺陷,不支持资源的语义描述,并且用 WSDL 描述 Web service 的技术已经发展到一定的阶段,若用于光网络资源的描述,还需要制定新的规范和协议,以适应动态的网格资源描述;资源描述语言(resource description language, RDL)^[7],它通过定义标量资源和服务资源来完成资源描述,标量资源是指通过定性定量的方式描述对象的基本特征,服务资源是指通过标量资源输入/输出连贯的包实现某种功能,但 RDL 主要描述的是光网络资源基础设施,针对服务请求的具体属性与资源动态调度上描述的不清楚。

第二种方式即通过定义相关本体元数据的方式,完成光网络元数据的描述进而完成全域光网络

① 国家自然科学基金(61301135)资助项目。

② 男,1990 年生,硕士;研究方向:光网络资源调度;联系人,E-mail: tian_xiangxuan@qq.com
(收稿日期:2013-11-13)

的描述。本体实际上是指在本领域之中针对某些概念及其相互关系的形式化表达,通过本体实现本领域建模以及相关属性的推理。根据本体的思想,论文[8,9]通过基于本体的资源描述框架(resource description framework, RDF)架构实现网络资源的快速查找搜索,论文[10]通过基于本体的网络本体语言(Web ontology language, OWL)资源描述架构实现虚拟云中资源描述。由上述论文可见, RDF 描述资源的特性是以属性为中心的方式,其描述资源着重于数据的描述; OWL 更加注重类与类之间的关系,属性与属性之间的关系,着重于逻辑推理的准备。

论文[11-13]提出用网络描述语言(network description language, NDL)来描述光网络资源。NDL 通过资源描述框架(RDF)定义一系列的模型来描述光网络资源。通过相关实验证明, NDL 允许在实际网络中交换拓扑信息,路由发现设备可以通过 NDL 信息获取所要建立光路上资源信息的空闲状况。但其缺陷在于 NDL 依赖于 RDF,资源描述复杂,在小型拓扑网络较为适用,当网络拓扑增大,资源发现更新的计算复杂度较大。论文[14]采用基于 RDF 的 NDL 与基于 OWL 的 CineGrid 描述语言(CineGrid description language, CDL)耦合的方式描述 CineGrid 平台的资源与服务, NDL 的优势在于较为全面的定义网络资源的元数据;基于 OWL 模型的 CDL 描述 CineGrid 的服务本体,使得服务的描述的扩展性较强,提高了新服务的描述与资源的请求效率,但缺陷在于在未对资源的选择与服务定位的情况下进行深入的分析,使得资源的调度过程的效率有所降低。

面对目前复杂的拓扑网络和多任务请求的通信现状,通过计算机语言的方式实现光网络资源的描述和资源调度后的资源更新,首先需要运用相应的计算机语言对各个元素完成定义,将光网络资源的实际状态翻译成计算机语言,而资源的实际调度、资源的发现、资源的更新需要以数学的方式完成,计算机语言需要再次进行翻译成机器语言,其实现流程复杂,运算的复杂度较高,其资源描述方式和更新模式不足以保障用户建立光路的服务质量(QoS)保障。尤其是自动交换光网络(automatically switched optical network, ASON)控制面提出后,从全局出发调度资源,极大程度地提高了光网络资源的利用率,但是对光网络资源状态的动态性能要求也越来越高。面对上述问题,一种高效合理的光网络资源描述方式的提出变得越来越重要。

本文提出的光网络资源描述方法通过资源多维帧映射(multi dimension frame mapping)资源描述矩阵的引入,可提供给用户一个网络拓扑连接情况与资源状态信息的可视化展示,并利用资源描述矩阵完成资源调配后的资源自动更新。在存在大量任务请求的情况下,通过调用各个节点上的资源描述矩阵,能够保证资源发现的准确性和资源分配的高效性,实现动态计算调用及低复杂度、高准确度计算,不增加网络负担,有益于网络负载均衡。其资源更新模式通过数学的方式完成资源的描述,使得资源能够更加直观地展示,更加简单地完成描述和调用,实现了高速的资源更新,交换数据量低,容易识别,运算复杂度低。为目前通信网络多网管系统提供了一种统一化的光网络资源呈现方式,实现不同区域不同网络系统下的光网络互通互连,使得不同网管系统可以实现公用资源的交叉调用,提高了现有光网络资源的利用率。

2 基于多维帧映射的资源描述算法

2.1 算法设计思路

本文针对复杂网络拓扑下、多任务请求到达网络建立光路的情况下,提出了一种提高调度资源动态性、实时性的技术方案,框架结构如图 1 所示。

算法分为以下几步:首先建立光网络资源模型,对光网络中各个节点实现子域的划分,提出基于路由波长分配复杂度的划域模型,并提出各子域的资源描述模型;第二,根据子域的资源描述模型当中的信息需求,通过基于改造的开放式最短路径优先(open shortest path first, OSPF)协议完成对子域中各链路信息进行采集;第三,根据每个子域当中的链路信息状况和其对应的资源状态矩阵,建立帧模块;第四,用户任务请求光路的建立,按照所占用的资源形成请求模块,通过高级管理节点处的帧模块组的比对,建立路径,进而进行资源的自动查找,获得可用光网络资源;最后,任务请求建立光路占用信道或者数据传输结束时,即时完成资源的自动更新。

2.2 建立光网络资源模型

描述光网络资源状态信息是建立光网络通信任务的基础,而光网络资源描述的核心即是清晰地展示复杂拓扑网络中,各光纤链路的连接情况,及其各个光纤链路上的资源状态信息。本文算法的光网络资源描述的基本思路是采用多维帧映射的方式描述光网络资源状态信息:第一维描述资源的邻接矩阵,

即节点之间的互连互通情况;第二维即各节点之间光纤链路中波长类型等相关信息;第三维即在相应光纤链路中,各个复用波长的状态信息,采用帧模块的方式呈现光网络资源状态信息,通过类似同步数

字体系(synchronous digital hierarchy, SDH)帧的方式存储、传播资源状态信息,最大程度地降低资源状态信息在传播过程中的延时,提高资源的使用率。

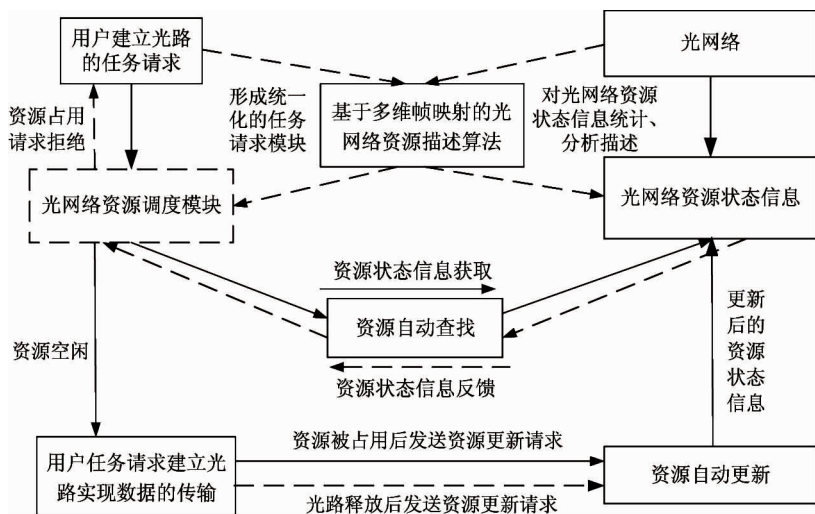


图1 基于多维帧映射的光网络资源调度框架

2.2.1 光网络的多子域划分

为降低路由波长分配的复杂度与帧模块的大小,首先依据光网络拓扑的规模进行多子域划分的确定。如果光网络拓扑中所有节点数量小于10,则将其作为一个域,如果节点数量大于10,则执行光网络的多子域划分,其流程如图2所示。

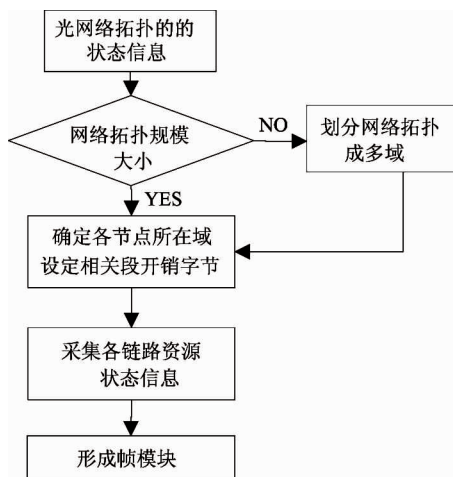


图2 光网络资源描述流程图

记网络拓扑为 $G = (V, E)$, 其中节点数量为 V , 边数量为 E , 每条边的光纤链路数为 L , 光纤链路上波长的复用数量为 W , 设每个域节点数量为 m , 则每个域路由波长分配的复杂度为

$$Cop(m) = L \times W[m^2 + 2(V/m)^2] \quad (1)$$

令 $Cop(m)' = 0$, 可得复杂度最小时的每个域的节点数量为

$$\frac{L \times W \times (2m^4 - 4V^2)}{m^3} = 0 \quad (2)$$

进而得到最优解为 $m = \sqrt[4]{2} \times \sqrt{V}$; 记划分后域的数量为 S , 则 $s = \lceil V/m \rceil$, 因此划分后每个域最大节点数量 $m' = \lceil V/s \rceil$ 。

对光网络拓扑节点进行子域划分的步骤如下:

(1) 依据节点度大小的先后顺序对所有节点进行排序, 节点度是指与该节点相关联的边的条数。

(2) 选择节点度最大的节点作为首个子域的起始节点, 选择与起始节点相连接的且度差值最大的节点优先划入该子域, 且每个子域的节点数量不超过 m' , 若该域的节点数等于 m' , 则结束该域的划分, 即划分进一个子域有两个要求, 第一是与起始节点相连接, 第二是按照与起始节点度差值的大小来划分, 且一个子域的最大节点数不能超过 m' 个。

(3) 在剩余的节点中, 把选择度最大的节点作为另一个子域的起始节点, 利用和步骤(2)相同的方法进行子域的划分, 即:

从剩余的节点中找出度最大的节点作为另一个子域的起始节点, 选择与起始节点相连且度差值最大的节点优先划入该子域, 若该域的节点数等于

m' , 则结束该域的划分;

利用上述方法将所有节点确定所属的各个子域, 这样就将所有光网络拓扑节点都划分到子域中;

按照子域划分的情况, 针对网路中节点进行分类, 定义三类关键节点:

- 普通节点 (GP): 是指网络拓扑划分的子域中的节点, 是完成通信的基础信息处理中心。
- 网元管理节点 (MP): 是指相对应的子域资源状态信息功能节点。网元管理节点用来管理本域资源状态信息, 设定该子域中度最大的节点作为该域的网元管理节点。选择度最大的点, 即是与域内各个节点连接最多的节点, 减小信令传输过程中路由, 保证资源的实时性。
- 高级管理节点 (SMP): 是用来存储网元管理节点之间的拓扑资源状态信息, 即各个子域之间的域间资源信息的节点, 设定全域度最大的网元管理节点作为高级管理节点。

2.2.2 建立子域的资源描述模型

每个子域的光网络资源由下面的资源矩阵来表示:

$$W_{s,i} = \begin{bmatrix} W_x^{l1,1}, \dots, W_x^{l1,V} \\ \vdots, \dots, \vdots \\ W_x^{lV,1}, \dots, W_x^{lV,V} \end{bmatrix} \tag{3}$$

式中各个变量代表的信息如下式所示:

$$W_x^{a,b} = \begin{bmatrix} W_1^{a,b}, \dots, W_1^{a,b} \\ \vdots, \dots, \vdots \\ W_n^{a,b}, \dots, W_n^{a,b} \\ X, 0, 0, 0, \dots \end{bmatrix} \tag{4}$$

式(3)中, $W_{s,i}$ 表示第 i 个子域中的资源状态信息, $W_x^{a,b}$ 是该子域中的节点 a 与节点 b 之间所有波长的占用/空闲情况状态矩阵; $W_n^{a,b}$ 是指节点 a 与节点 b 之间标号为 n 的光纤链路上, 波长 λ_x 的占用/空闲情况; 波长空闲/占用 1/0 表示 ($i \in [1, s]$; $n \in [1, L]$; $x \in [1, W]$; $a \in [1, V]$, $b \in [1, V]$); 式(4)矩阵最后一行中, X 的取值为 1 或 0, 分别表示节点 a 与节点 b 之间有连接或无连接。

通过上述两个矩阵, 能清晰地表示出每个子域当中各个点之间的连接情况和两个节点之间的物理链路的资源占用情况。

2.3 各节点信息的采集

各节点信息的采集基于开放式最短路径优先 (OSPF) 协议, 结合基于多维帧映射资源描述的特点, 设计的资源状态信息收集过程如图 3 所示。资

源状态信息的收集包含两个方面, 一是邻居发现节点之间的连接情况, 其次是通过带流量工程 (traffic engineering, TE) 的开放式最短路径优先 (OSPF) 协议即 OSPF-TE 协议发现 TE 链路的资源状态信息, 如图 3 所示。

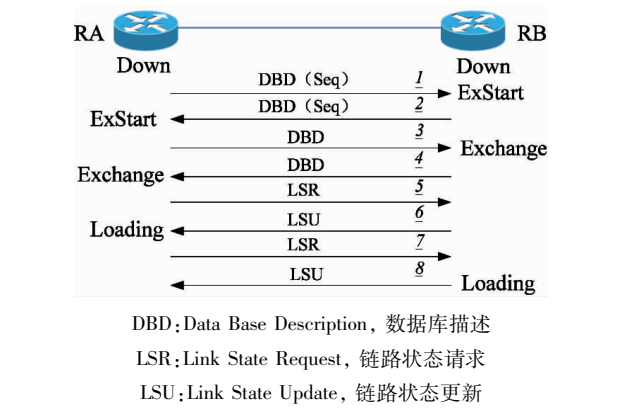


图 3 资源状态信息收集过程

通过图 3 所示邻居发现的方式, 确定两节点之间的连接关系, 以及对应的端口等相关连接信息。通过图 4 所示获得链路资源状态信息。

- (1) 目的节点向源节点确定资源状态信息的描述报节的序列号, 转换为信息交换初始状态;
- (2) 源节点向目的节点发送源节点状态信息的描述报节的序列号, 转换为信息交换初始状态;
- (3) 目的节点向源节点发送资源状态描述报节, 转换为信息交换状态;
- (4) 源节点向目的节点发送资源状态描述报节, 转换为信息交换状态;
- (5) 目的节点向源节点发送链路状态信息请求报文 INFO (Node RB ID; Port6; Node RA ID; Port1; Info = 1); (Info = 1 是指资源状态信息请求; Info = 0 是指资源状态信息一致, 形成邻接关系), 获取未知的链路状态信;

(6) 源节点向目的节点发送链路状态信息更新报文 LSU, 同步链路状态数据模块; TE LSA (Link State Advertisement, 链路状态通告) 是指协同链路流量工程 (TE) 信息的不透明的 LSA, 是指带有一些属性“逻辑”链路; 单条成员链路根据目前的需要包含如下属性: 最大带宽、最小连接带宽、链路保护类型、SRLG (是指一串无序的数字, 表示和链路相关的 SRLG 标识符)、光纤类型、各个波长的业务承载情况。

Version	4	Packet Length
Router ID		
Area ID		
Checksum	AuType	
Authentication		
Authentication		
Number of LSAs		
LSA		
.....		
LSA		

图4 LSU 报节格式

(7)(8)重复步骤(5)(6),直到两节点之间的链路状态完全一致,当资源状态报文 INFO 中 $Info = 0$,确定信息更新完毕,形成邻接关系。

实现各个光纤链路、各个边上的资源的描述之后,为便于资源的存储与传播,采用帧块的形式整合全网络拓扑的资源状态信息。

2.4 信息的整合与帧模块的形成

网元管理节点对采集的数据包进行奇偶校验:对统计资源状态块中的数据进行统计分析,若发生错误,则要求节点对信息进行重传。信息校验无误后,网元管理节点生成该域的资源矩阵 $W_{s,i}$;各网元管理节点生成的域间资源矩阵传递给高级网元管理节点,高级网元管理节点生成光网络资源网元管理节点拓扑资源状态信息矩阵 W_{state} 。

各网元管理节点生成所在子域的帧模块矩阵,该帧模块矩阵包括段开销和信息负载区,如图5所示。

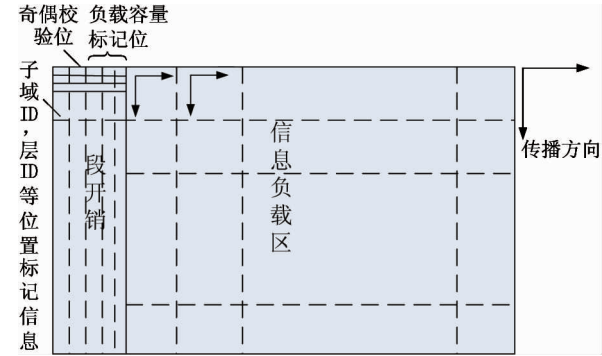


图5 资源状态信息帧模块

段开销为该矩阵的前四列,主要用来完成各个光纤链路上资源状态信息的准确性校验以及负载容量的标记;其中第一列为奇偶校验位,第二列至第四列为各个波长负载容量的标记位,目前主要标记方式如表1所示。

矩阵中除段开销之外的部分为信息负载区,填充该子域的资源状态矩阵 $W_{s,i}$,节点之间有连接的

表1 负载容量标记位

SDH 速率等级	比特率(kbit/s)	代码
STM-1	155520	001
STM-4	622080	010
STM-16	2488320	011
STM-64	9953280	100

链路按照资源信息的状态填入,无连接的节点对之间的信息填“0”补入;帧模块完成整个网络拓扑资源的描述,传播的过程中信息负载区按照从左到右,从上到下的顺序依次传播,同时遵循逐节点对资源状态信息的传播,即节点连接资源状态信息的内部同样是按照从左到右,从上到下的顺序来完成资源的传播;既保证资源信息的快速准确传播,同时保证各个节点之间连接资源的独立性,为下一步资源的查找与更新奠定基础。

在网络拓扑的所有节点中,选取度最大的节点作为高级管理节点,各网元管理节点将与其子域相连的域间链路的资源状态信息形成资源模块,其生成的模块发送给高级管理节点,形成域间资源状态信息帧。高级管理节点按照子域中网元管理节点度的大小顺序,将采集的帧模块形成模块组并保存,其中网元管理节点度最小的帧模块位于模块组的最下端。

2.5 帧模块形成示例

下面以图6为例,描述复杂拓扑网络下的资源描述。设该网络拓扑 $G = (23,25)$, 每条边的光纤链路数为 L , 光纤链路上波长的复用数量为 W , 下面针对复杂网络拓扑进行分层划域:

(1)通过步骤(1)的方法可得如图6所示的第三层的5个子域 $\{a, b, c, d, e\}$ 。

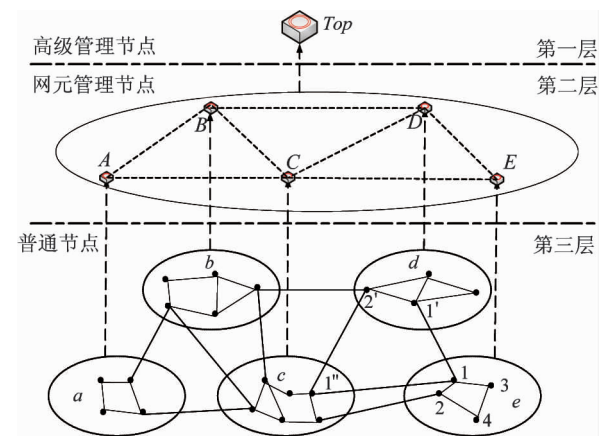


图6 复杂网络拓扑分层划域描述模型

(2) 针对 5 个子域, 利用光网络资源模型完成光网络资源的描述, 在第二层的网元管理节点中完成子域资源的描述、校验整合, 网元管理节点 (图 6 中的 A, B, C, D, E) 获得所属各个子域的资源状态信息描述帧块 $Fram1_a$, $Fram1_b$, $Fram1_c$, $Fram1_d$, $Fram1_e$ 。

(3) 针对各个网元管理节点之间的域间链路资源, 设定各个网元管理节点为普通节点, 统计分析各个域间链路上的资源信息, 整合上传到 Top 节点 (高级管理节点), 进行各个网元管理节点域间链路资源信息的校验、分析统计, 实现域间链路资源在第三层高级网元管理节点中形成帧模块 $Fram2_top$ 。

(4) 依据从上层到下层的顺序, 依次将资源状态信息添加到模块组中, 第一帧表示网元管理节点域间链路资源的帧模块 $Fram2_top$, 第二帧及以后的各个帧模块为各个子域的资源状态信息帧, 形成资源信息组。帧模块的表述如图 7 所示。

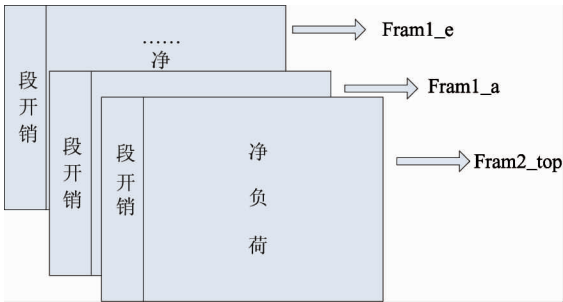


图 7 复杂网络拓扑下的帧模块示意

3 基于多维帧映射资源描述的光路建立

光网络资源描述完成之后, 当有用户任务请求建立光路时, 依据基于多维帧映射的光网络资源描述方法对任务请求进行描述, 调用高级网元管理节点的光网络资源调度模块, 按照所占用的资源形成资源占用请求模块, 建立路径, 进而进行资源的自动查找, 获得可用光网络资源。当可用资源为非空时, 分配波长建立光路; 否则, 光路建立失败, 拒绝该用户任务请求。

本节采用自上而下的资源查找机制, 逐步地查找光网络中的可用光网络资源。针对到达网络的任务请求, 分析其本身的特征, 查找其源、目的节点所在的子域, 确定其为域内任务请求或是域间任务请求。基于多维帧映射的光网络资源描述的资源自动

发现分为两个方面: 域内任务请求与域间任务请求的自动查找。具体过程如图 8 所示。

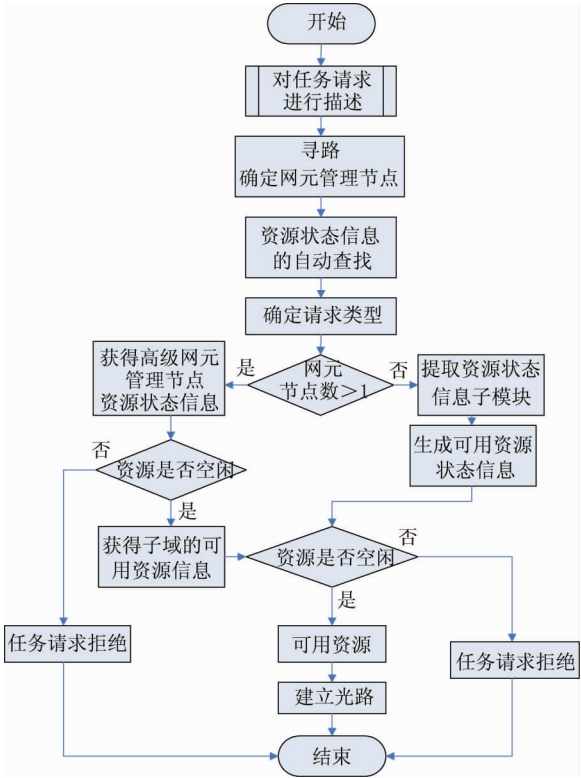


图 8 任务请求建立光路流程图

3.1 资源状态信息查找

用户发送任务请求包, 该请求包括建立光路的源节点、目的节点与负载容量传送到高级管理节点; 用户发送任务请求包至高级管理节点, 该请求包包括建立光路的源节点、目的节点与负载容量的请求矩阵

$$W_{request} = \langle c; a, b \rangle \tag{5}$$

在式(5)中, $a \in [1, V]$, $b \in [1, V]$, 表示网络拓扑中的两个节点, c 为任务请求容量; 高级管理节点从任务请求包中获得源、目的节点, 通过 Dijkstra 算法获得任务请求的最短路由, 进而获得任务请求路由经过的边, 和任务请求相关的网元管理节点。

若相关网元管理节点的数量为 1 时, 说明任务请求要建立的路径在一个子域中, 执行步骤(1); 相关网元管理节点数量大于 1 时, 则要建立的路径在两个以上的子域中, 为域间任务请求, 执行步骤(2)。

(1) 当与该任务请求相关的网元管理节点的数量为 1 时, 该任务请求为域内任务请求, 则从帧模块组中该网元管理节点生成的帧模块的信息负载区中, 提取出在该路由上的相关节点的资源状态信息

子矩阵;如在小型网络拓扑中任务请求为 1->3,负载容量请求 2Gbps,最短路由为 1->2->3,相关的资源状态信息子模块为

$$W_x^{1,2} = \begin{bmatrix} W_1^{1,2}, W_1^{1,2}, W_1^{1,2} \\ W_2^{1,2}, W_2^{1,2}, W_2^{1,2} \\ W_3^{1,2}, W_3^{1,2}, W_3^{1,2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0101 \\ 1000 \\ 0101 \\ 1000 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$W_x^{2,3} = \begin{bmatrix} W_1^{2,3}, W_1^{2,3}, W_1^{2,3} \\ W_2^{2,3}, W_2^{2,3}, W_2^{2,3} \\ W_3^{2,3}, W_3^{2,3}, W_3^{2,3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0100 \\ 1000 \\ 1111 \\ 1000 \end{bmatrix} \quad (7)$$

将所有相关的资源状态信息子矩阵通过求与的方式得到可用的资源状态信息矩阵 M_{avl} ,由下面的示例可知,速率等级为 STM-1 的光纤链路剩余 1 个波长,速率等级为 STM-4 的光纤链路剩余 1 个波长,速率等级为 STM-16 的光纤链路剩余 2 个波长:

$$M_{avl} = \begin{bmatrix} 0101 \\ 1000 \\ 0101 \\ 1000 \end{bmatrix} \cap \begin{bmatrix} 0100 \\ 1000 \\ 1111 \\ 1000 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0100 \\ 1000 \\ 0101 \\ 1000 \end{bmatrix} \quad (8)$$

若该矩阵为空,则拒绝任务请求;若矩阵非空,则比较任务请求包中的负载容量和可用资源状态信息矩阵中各波长能提供的最大负载容量的大小;若请求包中的负载容量小于最大负载容量,则得到最后可用资源。

由表 1 可知,速率等级为 STM-1 的光纤链路只能提供 155Mbps 的带宽,速率等级为 STM-4 的光纤链路只能提供 622Mbps 的带宽,速率等级为 STM-16 的光纤链路能提供两个带宽为 2.5Gbps 的带宽;该任务请求需要 2Gbps 的带宽,故只能占用速率等级为 STM-16 的光纤链路的一个波长。

(2) 若与该任务请求相关的网元管理节点的数量大于 1 时,该任务请求为域间任务请求,根据任务请求的路由信息,获得该路由的分段路由所属的子域;从帧模块组中获得该网元管理节点生成的帧模块的信息负载区中,提取出在该路由上的相关节点的资源状态信息子矩阵,将所有相关的资源状态信息子矩阵通过求与的方式得到可用的资源状态信息矩阵,然后对每个子域的资源状态信息矩阵进行求与,得到域间可用资源状态信息矩阵。

将任务请求包中请求的负载容量和域间可用资源状态信息矩阵进行比较,若光纤链路上能提供的最大负载容量大于请求包中请求的负载容量,则得到最后可用资源。

根据最后的可用资源,若可用资源集为空,则返回信息,任务请求拒绝;若可用资源非空,则通过以下节中光网络资源调度模块的算法分配波长,建立光路。

本节介绍的任务请求建立过程,通过由上而下的方式,基于多维帧映射的光网络资源描述方法,调用光网络资源调度模块获得路由信息完成资源自动查找,将复杂的问题分解、简化为域间可用资源与域内可用资源,通过相应函数直接实现在相应光网络资源矩阵的自动查找、发现,并形成可用资源包,完成任务请求建立光路。同时使得资源查找由原先逐跳地完成资源的发现,到分布式地同时进行可用资源的查找,极大程度地降低了任务请求建立光路的延时,提高了资源自动查找的响应时间与资源利用率。

3.2 资源状态信息更新

任务请求建立光路占用信道或者数据传输结束时,即时完成资源的自动更新,本节中资源自动更新采用由下而上的方式。模型的具体实现分为两种情况,即域内任务请求和域间任务请求下的资源自动更新:

(1) 域内任务请求建立光路完成后的资源自动更新

步骤 1: 针对被占用的链路资源与波长资源,本子域的网络资源描述矩阵针对所经过的链路占用的波长进行统计;获得资源状态信息变更的资源信息子模块。

步骤 2: 查找上级网元管理节点中相应变更链路的资源信息子模块,通过子域子模块信息与网元管理节点相应模块中对应状态信息求与的方式完成资源的更新。

(2) 域间任务请求建立光路完成后的资源自动更新

步骤 1: 通过 A 部分的描述方法完成域间任务请求各个域内部分的资源更新。

步骤 2: 域间任务请求由于占用域间链路,第二层管理节点网络就域间链路资源的占用情况,更改子域相应资源状态信息模块的信息,并上传到功能节点 Top 节点中,针对管理节点网络拓扑的资源信息矩阵进行更新。

本节提出的基于多维帧映射的光网络资源描述方法的资源自动更新策略,通过由下而上的方式逐域逐层地实现资源的自动更新,逐域地将资源变更信息上传至上一层的管理节点,使得资源更新的流

程简洁、高效,避免了泛洪式的资源更新导致的信息风暴。资源变更信息只包含被占用/释放的链路与波长的信息改变,其余未改变信息在资源变更矩阵中不体现,资源变更矩阵与管理节点中资源描述矩阵简单求和的方式,使得资源更新计算复杂度大大降低,保证了管理节点中资源描述信息的准确性与实时性,为将来的资源发现与资源调度的高效性奠定了基础。

4 基于多维帧映射的光网络资源描述的复杂度分析

每一个帧结构中,前 5 列为开销字段,6~270 列为净负荷区,可存储的信息量为 $(265 \text{ 列}) \times (12 \text{ 字节/列}) \times (8 \text{ 比特/字节}) = 25440 \text{ 比特}$;每列可存储的光网络资源状态信息量为 $(261 \text{ 列}) \times (8 \text{ 比特/字节}) = 2088 \text{ 比特}$,每比特为 8 个二进制数;就网络拓扑节点总数量为 10,相互连接的两节点之间为 12 个光纤链路,每个光纤链路上波长复用数量为 160 的网络拓扑,其资源状态信息为 24000 比特,通过一个帧模块即可完成呈现。在复杂网络拓扑即可以采用分子域、分层次的描述,通过段开销来标记相关信息,整合到 SDH 的复用传输体系中;各个节点就各自信息分布式上传,集中整合、分析、比对,极大地降低了信息统计延时,且在 SDH 传输体系中每秒传播 8000 帧,资源状态信息的更新间隔 T 更新一次,且 $1\text{s} < T < 3\text{s}$ 。

通过本例可以看出,采用多维的方式描述光网络资源,采用类似同步数字体系帧的资源状态信息帧块来呈现光网络资源,最大程度地实现了资源状态信息的清晰呈现、快速传播,极大地降低了资源状态新传播过程中带来的延时,提高了资源的利用率。相比较传统的资源描述方法,即通过计算机语言描述光网络拓扑以及任务请求的各种属性,采用调用计算机数据库的方式完成资源状态信息的处理的方法,本节提出的资源描述方法使得资源的传播效率大大提高。

5 结 论

本文提出的基于多维帧映射的光网络资源描述方法针对复杂网络拓扑且波长复用数量的较大的情况,采用分层划域的方式降低网络拓扑规模对计算复杂的影响;采用多维的模式来呈现光网络中各个

光纤链路上的资源状态信息,在资源状态信息的交互、更新过程中,实现和同步数字体系类似的传输方式,使得资源更新、发现以及后续的资源调度更加高效、简洁。本研究的下一步工作将进一步融合光网络中的其他信息,以使得对光网络资源的描述更加完善。

参考文献

- [1] Wason A, Kaler R S. Wavelength assignment algorithms for WDM optical networks. *International Journal for Light and Electron Optics*, 2011, 122(10):877-880
- [2] Wang H T, Jin Jian. WDM optical networks with wavelength assignment algorithm. In. *Proceedings of Communication Software and Networks*, Xi'an, China, 2011. 164-167
- [3] Rajesh G, Babu S C. An efficient and reliable algorithm for the RWA problem in optical WDM networks. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2012, 1(7):1-3
- [4] Globus Toolkit [EB/OL]. GT 5.0.0 component guide to public interfaces: GRAM5. <http://globus.org/toolkit/docs/5.0/5.0.0/execution/gram5/pi/>, 2008
- [5] Huang Z C. Grid resource specification language based on XML and its usage in resource registry meta-service services computing. In. *Proceedings of 2004 IEEE International Conference on Communication*, Paris, France, 2004. 467-470
- [6] Trejo N, Casas S. A feature-oriented WSDL extension for describing grid services. *Lecture Notes in Computer Science*, 2012, 7546:64-72
- [7] Santos A C. Resource description language: a unified description language for network embedded resources. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2012, 10:1155-1166
- [8] Dbnary Sérasset G. Wiktionary as a LMF based multilingual RDF network. *LREC*, 2012. 1-7
- [9] Ali L, Janson T. Effects of network structure improvement on distributed RDF querying. *Grid and P2P Systems Lecture Notes in Computer Science*, 2013, 8059: 63-74
- [10] Correndo G, Penta A. OWL statistical analysis of the owl: same as network for aligning concepts in the linking open data cloud. *Lecture Notes in Computer Science*, 2012, 7447: 215-230
- [11] Chen Y, Bari A. Techniques for designing survivable optical grid networks. *Journal of Communications*, 2012, 7(5):391-399
- [12] Jeroen J. Using RDF to describe networks. *Future Generation Computer Systems*, 2006, 22(8): 862-867

- [13] Jeroen vander Ham. A distributed topology information system for optical networks based on the semantic web. *Optical Switching and Networking*, 2008, 5 (2):85-93
- [14] Koning R, Grosso P. Using ontologies for resource description in the CineGrid exchange. *Future Generation Computer Systems*, 2011, 27(7):960-965
- [15] Tian X X. Multi-objective routing and wavelength assignment based priority algorithm in WDM networks. In. *Proceedings of 4th International Symposium on Information Science and Engineering*, Shanghai, China, 2012. 87-92

An optical network resource description algorithm based on multi-dimension frame mapping

Tian Xiangxuan^{*}, Yang Jungang^{*}, Yang Yanfeng^{**}, Li Hongwei

(^{*} Xi'an Communications Institute, Xi'an 710106)

(^{**} Xi'an University of Finance and Economics, Xi'an 710100)

Abstract

By analyzing the characteristics of optical network resources in complex networks' resource allocation, an optical network resource description algorithm for wavelength division multiplexing (WDM) networks was designed based on multi-dimension frame mapping to effectively, accurately describe the topologic resource state information of optical networks to realize the efficient utilization and fast response to optical network resources. The algorithm uses the way of multi-dimension to describe the state information of optical network resources, and the way of hierarchical, distributed frame module mapping to spread the resource state information of optical networks, so as to realize optical network resources' accurate discovering, fast updating and effective allocation. The instance analysis shows that the algorithm can effectively improve the efficiency of resource allocation because it can effectively decrease the response time of resource finding and greatly increase the accuracy of resource finding.

Key words: optical network, resource description, resource allocation, multi-dimension frame mapping