

# 波分复用网络中基于优先级策略的资源预约

田相轩 杨君刚 牛俊勇 杜 佳 刘故菁

(西安通信学院信息传输系, 陕西 西安 710106)

**摘要** 提出了波分复用(WDM)网络中基于优先级策略的资源预约机制,旨在解决 WDM 网络中多任务请求同时到达的资源预约问题。该算法不仅提出双向资源预约机制,提高资源预约效率;而且,提出基于马尔可夫预约模型来计算各个任务请求的最小使用波长概率,确定各任务请求的可用资源因子;最后,结合任务请求本身特性提出总负荷因子,采用串行与并行相结合的方式,设定多任务请求资源预约优先级与波长选择模型。通过分析及仿真验证表明,相较传统预约算法,该算法对于多任务请求的资源预约效率与资源利用率的提高有很好的效果。

**关键词** 光通信;资源预约;多任务请求;优先级

**中图分类号** TN913.7 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201434.0806001

## Priority Based Resource Reservation Algorithm in Wavelength Division Multiplexing Networks

Tian Xiangxuan Yang Jungang Niu Junyong Du Jia Liu Gujing

(Department of Information Transmission, Institute of Xi'an Communication, Xi'an, Shaanxi 710106, China)

**Abstract** The priority based source and destination initial reservation protocol (PSDIRP) is put forward in wavelength division multiplexing, which is aimed at solving the optical resource reservation for multiple connection requests arriving at the same time. The source-destination initialized reservation protocol is proposed to improve the reservation efficiency. The least utilization rate of wavelengths by the Markov model to determine the available resource factors of multiple requests is got. The algorithm sets the priority and the wavelength assignment model combining with the connection requests' characteristics, such as total load factor (TLF), through the way of combination of serial control and parallel control. From the simulation, it is can concluded that the algorithm has a better performance in the increase of the resource reservation ratio and the optical network resource utilization rate comparing with the traditional algorithms.

**Key words** optical communications; resource reservation; multiple connection requests; priority

**OCIS codes** 060.2330; 060.4250; 060.4264

## 1 引 言

随着云计算、大数据技术的发展和深入,不同环境下各种应用的服务质量(QoS)存在有很大差异,作为底层传输层的光网络,面临的压力越来越大<sup>[1-5]</sup>。对于高等级的用户任务请求,把资源预约加入资源管理中变得很有必要。由于得到了足够的或者最大限度的资源保证,能够使得应用或者服务更加顺畅和有序地执行;另一方面,由于能够预约资

源,至少得到了最低限度的保证,因而对同一应用或者服务,在多次运行状况下,其时间变化幅度应该比没有资源预约情况下更小。有效的光网络资源的预约,能够降低任务请求建立光路的阻塞率,提高光网络承载任务请求的数量,实现网络负载均衡,提高光网络资源利用率<sup>[6]</sup>。

光网络资源的预约主要有三种基本方式,前序资源预约机制(SIRP)<sup>[7]</sup>、后序资源预约机制

**收稿日期**: 2014-02-25; **收到修改稿日期**: 2014-03-27

**基金项目**: 国家青年科学基金(61301135)

**作者简介**: 田相轩(1990—),男,硕士研究生,主要从事光网络资源分配机制方面的研究。

E-mail: tian\_xiangxuan@qq.com

**导师简介**: 杨君刚(1973—),男,博士,教授,硕士生导师,主要从事光网络资源分配、光网络规划等方面的研究。

E-mail: jgyang\_xian@163.com

(DIRP)<sup>[8]</sup>、中间节点资源预约机制(INIRP)<sup>[9]</sup>。随着任务请求到达网络拓扑速率的不断提高,SIRP算法容易导致资源的过度预约,使得后序到达的任务请求无法进行资源预约。DIRP算法相对于SIRP性能上有很大的提高,但是DIRP算法的缺陷在于后序资源预约较易与其他任务请求同时预约一条波长,容易导致波长冲突。INIRP算法区别于SIRP算法与DIRP算法,是从中间节点出发进行资源的双向预约,但是在某些特殊情况下,导致预约资源过度,比如存在较短路由的任务请求。随着网络规模的不断扩大,以及光网络(ASON)控制面的提出,对于资源发现和资源更新的要求越来越高。近几年提出了一些改进式算法。针对于波分复用(WDM)光网络,文献[10]提出一种混合式的方案,命名为智能后序资源预约机制(iBRP)。iBRP算法中,通信任务请求初始化采用SIRP进行波长资源预约,如果SIRP预约机制失败,再采用DIRP预约机制进行重复预约。仿真表明,iBRP的算法效率(PE)优于SIRP与DIRP算法,但导致任务请求的预约时间较长,资源浪费。

为提高选定波长资源成功预约的可能性,近几年多采用数学模型进行优化。文献[11-12]采用马尔可夫模型进行波长资源的预测。区别于以往采用First-Fit算法与Random算法,通过采用马尔可夫预测模型的算法(MBRP),分析计算选定通路的波长在下个时刻使用的概率,最大程度地降低波长冲突,提高波长资源的利用率与任务请求建立光路的可能性。但针对的问题是单任务请求的情况,对于多任务请求以及高速率情况下的任务请求建立光路未进行分析。

多任务请求的动态资源预约是目前亟需解决的问题,多任务请求同时到达时,其核心是采用优先级算法使复杂的并行处理转化为串行处理,任务请求的优先级划分依据其所占用的光网络资源的大小来确定,与光网络资源消耗最相关的两个因素是负载容量和路由跳数<sup>[13]</sup>。任务请求的资源预约关键问题主要有两个,如何缩短资源预约时间与缩短资源预约易受干扰时间<sup>[14]</sup>。该问题是一个不完全解决(NP-C)问题,在缩短资源预约时间的情况下,导致资源预约易受干扰时间延长,使得其他资源的预约对正在预约的任务请求有较大影响,容易导致资源预约失败,如DIRP算法;在缩短资源预约易受干扰时间的情况下,导致资源预约时间延长,使得占用资源时间过长,导致后序到达的任务请求由于资源的

被预约(或者预约后并未使用的资源)不能进行资源的使用,而使得任务请求建立光路阻塞,影响用户通信请求的QoS,如SIRP算法。

当多任务请求同时到达网络时,影响资源预约成败的关键是光网络的实时状态和任务请求本身的特点。为最大程度地满足任务请求建立光路的需求,降低任务请求预约资源的延时,提出智能双向预约的方式实现资源预约;为提高预约的准确性,通过马尔可夫预测多任务请求在复杂光网络中的可用光网络资源。在上述的基础上提出了基于优先级的多任务请求资源预约机制(PSDIRP),分析多任务请求的本身特性,确定各个任务请求的总负荷以及路由特点,综合网络实时状态与任务请求本身的特性确定任务请求预约资源的先后顺序,通过串行与并行相结合的方式实现资源的预约,最大程度提高波长资源的利用率,降低任务请求建立光路的阻塞率。

## 2 问题描述及系统模型

### 2.1 问题描述与基本思路

随着网络拓扑越来越复杂,用户对于通信质量的要求越来越高,高等级用户要求百分百实现所需要资源的提供,普通用户的通信质量也需要进一步的提高。本文主要是通过光网络资源预约的方式实现,通过资源的预先分配、划分,解决高等级用户、多条任务请求同时到达网络时的资源预约问题。为提高资源的预约效率与准确性,提出了智能双向预约模型;在可用资源的预留上通过改进的马尔可夫模型进行预判,通过提出的基于优先级的策略,采用并行与串行相结合的方式实现资源的预约,最大程度地提高资源的预约效率。

### 2.2 系统模型

假设:  $G = (N, E)$  为一实际拓扑网络,  $N$  为节点个数,  $E$  为网络中边的数量,  $L$  为每边的物理链路数, 每条链路有  $W$  波长, 从 1 标记到  $W$ ,  $W_{\text{ass}}$  为已分配的波长数量。假设所有的光路为端到端请求, 请求速率满足参数为  $A$  的泊松分布。目标函数在条件限制下实现任务请求建立的数量最大化以及波长使用的最小化, 并尽量减少资源预约时间, 提高资源的利用率。

$$F_{\text{obj}} = \min\{\bar{s} \times [(Q_{\text{total}}/Q_{\text{acp}}) + (W_{\text{ass}}/W)]\}, \quad (1)$$

式中  $\bar{s}$  为任务请求建立光路平均时间,  $Q_{\text{total}}$  为网络任务请求的总数量,  $Q_{\text{acp}}$  为所接受的任务请求。

### 3 基于优先级策略的马尔可夫资源预约的波长分配算法

#### 3.1 智能双向资源预约模型

采用前序与后序相结合的方式完成资源预约,具体资源预约过程为源节点、目的节点在接到任务请求建立光路的请求后,沿设定的路由,由源节点发送源节点 PROB 信息包“PROB-sou”,由目的节点发送目的节点 PROB 信息包“PROB-des”。“PROB”信息包包含以下几个方面的信息:〈source id, destination id, path-info, wave-map, connection id, pre-hop-id, next-hop-id, arrival time〉,“path-info”是指任务请求建立光路的路由信息,“wave-map”是指各个波长使用的可能性,以及被使用的概率。当接收到一个“PROB”信息后,中间节点将会通过改变预约波长的状态信息来更新“PROB”中域“wave-map”的信息,并记录已预约的任务请求的相关信息。

关于资源预约有两种情况:

1) 源节点与目的节点的“PROB”信息包未相遇,便已经不能进行预约。即 PROB-des 信息包与 PROB-sou 信息包未相遇,便又发现不能在该路由上继续完成预约,此时该 PROB 信息包同时向两侧发送“release”信息包,结束对该路由的资源预约,对先前虚预约的波长进行释放;任务请求资源预约过程结束,具体的资源预约过程如图 1 中(A)所示。

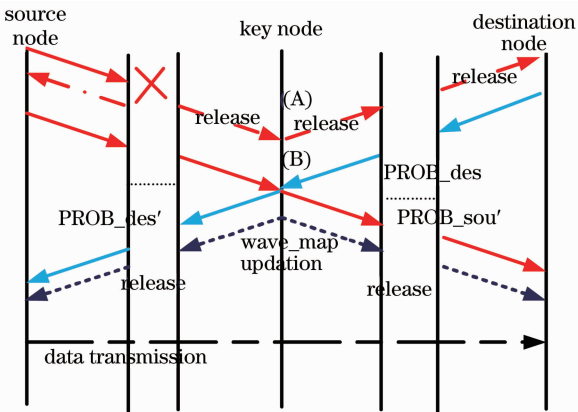


图 1 资源预约图解

Fig. 1 Reservation protocol diagram

2) 源节点与目的节点的“PROB”信息包在关键节点相遇。即 PROB-des 信息包中 source id, destination id 与 PROB-sou 信息包中 source id, destination id 对应相等,通过交换,比对“wave-map”中的可使用的波长信息,选择两侧中下一时刻波长使用可能性最小的波长作为预约波长,更新

“wave-map”中的信息,此时“wave-map”域中的信息为〈selected wavelength, probability〉,之后信息包“PROB-sou, PROB-des”继续向两侧传播,并把选定的波长作为预约波长在各个节点上完成标记,更新其状态为“busy”,直到“PROB-des”到达源节点完成资源预约;如果通过交换、比对“wave-map”中的信息,交集为空集,则停止信息包“PROB-sou, PROB-des”的传播,此时同时向两侧发送“release”信息包,结束对该路由的资源预约,对先前虚预约的波长进行释放;任务请求资源预约过程结束,具体的资源预约过程如图 1 中(B)所示。

本节提出通过智能双向预约的方式完成资源的预约,提高资源预约的效率,在最大程度满足任务请求建立光路的需求下,降低任务请求建立光路的时间,通过预约过程可能时间事件的细化,降低由于双向预约造成的资源浪费,实现光网络资源的高效利用。

#### 3.2 基于马尔可夫模型的可用资源预留

3.1 节中提出的智能双向预约的方式,为最大程度地降低资源预约时间,增强预约中的抗干扰能力,从两端出发同时进行资源的预约。为提高资源预约的可能性,采用基于马尔可夫模型计算下一时刻波长的空闲概率,在可用波长集合中将各个波长的空闲概率作为基于优先级波长选择的依据。在此模型中, $S(i)$  表示马尔可夫模型中的转移状态,状态  $i$  表示第  $i$  条波长被占用; $T(i, j)$  表示状态  $i$  到状态  $j$  之间的状态转移; $C(i, j)$  表示在一个监视周期内,状态  $i$  到状态  $j$  之间的状态转移的总次数; $T_{\text{time}}(i, j)$  表示一次状态  $i$  到状态  $j$  之间的状态转移的所用时间; $\text{Sum}(i, j)$  表示一个监视周期内,所有的  $T(i, j)$  所耗费的时间和。

在 C-T 马尔可夫链中转换状态 State 设定为在链路中波长使用的数量。状态  $i$  的转换速率  $V(i)$  定义为

$$V(i, j) = \begin{cases} \frac{C(i, j)}{\text{Sum}(i, i-1) + \text{Sum}(i, i+1)}, & \text{if } |i-j| = 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$V(i) = V(i, i-1) + V(i, i+1). \quad (3)$$

每间隔一个周期  $T$ , 转换节点将会通过广播的方式就相邻节点中链路资源使用情况进行交换,每个节点在  $T$  的整数倍上完成资源信息的更新,通过 C-T 马尔可夫模型用来预测在  $s \times T$  与  $(s+1) \times T$

之间的某一时刻  $s \times T + \tau$  的波长使用的可能性。

假设在设定初始时刻  $t_1$  为 0, 状态为  $S(i)$ , 则当到达时刻  $t_2$  为  $t$  时, 状态为  $S(j)$ , 某波长使用的可能性:

$$P_{i,j} = \sum_{n=0}^{\infty} \exp(-vt) \frac{(v \times t)^n}{n!} (\overline{P_{i,j}})^n, \quad (4)$$

式中  $n$  为在一个监视周期内状态转移次数。(4)式可以描述为一个泊松过程和离散马尔可夫过程的叠加,但是在不同状态时泊松过程的速率  $v$  会有较大的差距。对泊松过程的速率做一个统一化的描述  $v$  以及离散马尔可夫过程中由  $S(i)$  转换为  $S(j)$  的可能性  $(\overline{P_{i,j}})$  可表示为

$$v = \max\{V(i) \mid i = 0, 1, \dots, N\}, \quad (5)$$

$$\overline{P_{i,j}} = \begin{cases} V(i,j)/v, & \text{if } |i-j|=1 \\ [v-V(i,j)]v, & \text{if } i=j \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}. \quad (6)$$

依据以上理论,假设在时间为  $s \times T$  时,状态为  $i$ , 在路由  $Z$  上,在时间为  $s \times T + \tau$ , 波长  $\lambda_K$  在物理链路  $l$  上空闲的可能性为

$$P(\lambda_{K-l}) = \sum_{j=0}^{\infty} P_{i,j}. \quad (7)$$

源节点与目的节点的“PROB”信息包在关键节点相遇后,即是 PROB-des 信息包经过路由  $Z_1$ , 其中 source id, destination id 与 PROB-sou 信息包经过路由  $Z_2$  其中 source id, destination id 对应相等时,通过交换信息,获得各个波长在全路由上的使用概率为

$$P(\lambda_{K-Z}) = \prod_{l \in Z_1} [P(\lambda_{K-l})] \times \prod_{l \in Z_2} [P(\lambda_{K-l})]. \quad (8)$$

经过计算可以获得可用波长集合,及其各个波长  $\{\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z, \dots\}$  在路由  $Z$  上的最小使用概率,若该波长不可用,则不添加在该可用波长集合中:

$$\lambda_{\text{avail}} = \{P(\lambda_{x-z}), P(\lambda_{y-z}), P(\lambda_{z-z}), \dots\}. \quad (9)$$

该任务请求的可用资源可用(8)式得出,可用资源因子与可用波长数及各个可用波长的最小使用概率相关:

$$P_{\lambda_{\text{avail}}} = \frac{1}{P(\lambda_{x-z})} + \frac{1}{P(\lambda_{y-z})} + \frac{1}{P(\lambda_{z-z})} + \dots. \quad (10)$$

通过(2)~(10)式,完成对下一时刻各个波长使用概率的估算,以及该任务请求建立光路的可用资源的定量表示,对于资源预约过程中波长资源的选择做出参考,区别于 First-Fit 算法简单粗糙的选择方式,提高了资源的利用率。随着光网络通信的不断发展,网络服务所产生的数据突发性强、实时性

高、数据量大等特点已经日渐成为了光网络资源调度面临的常态化特点。由于网络拓扑的复杂程度日渐增大,多任务请求下的资源调度成为了目前研究的热点,为使多任务请求下光路建立成功率提高,解决多任务请求下的资源预约是本文研究的重点。

### 3.3 基于优先级的多任务请求下的资源预约

基于 3.1 和 3.2 节中提出的单任务请求的资源预约问题,提出流量疏导原理与任务请求总负荷相结合的思想,目的是为解决目前光网络下多任务请求的资源预约优先级问题,最大程度地满足多任务请求建立光路的需求,具体算法如下。其中,INPUT 为网络拓扑配置与多任务请求集合; OUTPUT 为各个任务请求的可用波长资源预约集合。

Step1: 针对服务等级相同并且具有相同  $s-d$  的通信请求合并分析:

$$R = \{r_1^{sd}, r_2^{sd}, \dots, r_x^{sd}\} \mid \sum_{s,d} B(r_i^{sd}) = g^{sd}, \quad (11)$$

式中  $R$  为一类通信请求,  $B(r_i^{sd})$  为该请求的带宽,  $g^{sd}$  为经过分类整合后,源节点为  $s$  目的节点为  $d$  的一类用户任务请求。

Step 2: 设定任务请求的总负载量  $L_{\text{total}}$  为其负载容量与路由跳数的加权值,即

$$L_{\text{total}} = \alpha_k \times l(r_k) \times B(r^{sd}), \quad (12)$$

式中  $l(r_k)$  为任务请求建立光路采用的  $K$  条备用路由  $r_k$  中的路由长度;  $\alpha_k$  为路由常数,  $\alpha_k \in (1, 2)$  表示任务请求在  $K$  条备用路由中的使用数量,随着在光路建立的过程中备用路由使用数量的增加,以及占用资源的时间上升,导致其余任务请求预约资源的成功率降低。按照(11)式计算多任务请求的总负载量。

Step 3: 多任务请求在下一时刻可使用的资源以及使用可能性的最低的波长即最有可能使得任务请求建立光路波长。根据所得信息,区分为以下两类:

1) 预约的最小使用概率的波长互不重复的任务请求,按照总负载量的降序排列,依次进行任务请求的光路建立:

$$L_{\text{total}}(gr_i^{sd}) > \dots > \dots > L_{\text{total}}(gr_j^{sd}); \quad (13)$$

2) 所预约波长有重复的任务请求,按照所预约的波长进行分类,各类之间并行处理,类内按照任务请求的优先级串行处理,类内优先级详细公式为

$$P_{\text{rio}} = \mu \times L_{\text{total}}(i) / P_{\lambda_{\text{avail}}}, \quad (14)$$

$$P_{\text{rio}}(gr_x^{sd}) \geq P_{\text{rio}}(gr_y^{sd}) \geq \dots \geq P_{\text{rio}}(gr_z^{sd}). \quad (15)$$

依据任务请求所预约波长的相互关系,即在保证负载量较大的同时对可用资源相对较少的任务请求优先进行资源的分配;其他任务请求,按照优先级的先后顺序,设定交叉链路的首节点与末节点,寻找备用路由,保证骨干任务请求建立光路的前提下,最大程度地保证任务请求资源分配的公平性。

Step 4: 确定多任务请求的分配类型,按照上述优先级划分完成光网络资源的分配。对所有经过排序的任务请求,按照设定的任务请求的优先级依次进行波长的分配。按照优先级的先后顺序依次完成对各个任务请求的资源预约,当出现该任务请求上,下一时刻的波长都被占用时,延长资源预约时间至下一个周期,并在下一周期的资源中,优先预约在第一轮预约失败的资源,若波长仍被占用,则返回信息“该任务请求资源预约失败”。

条件限制如下:

1) 波长一致性:波长一致性原则要求在任务请求的源节点到目的节点之间只能使用同一波长。

2) 波长冲突限制:波长冲突限制要求同一波长在同一光纤链路上只能被一个任务请求占用,因此同一光纤链路上不能同时有两信号在同一波上传输。

3) 流量限制:流量限制原则要求如下:

$$\alpha_{i,j} = \sum_{(s,d)} \alpha_{i,j}^{s,d}, \quad \forall (i,j), \quad (16)$$

$$\alpha_{i,j} \leq f_{\max}, \quad \forall (i,j), \quad (17)$$

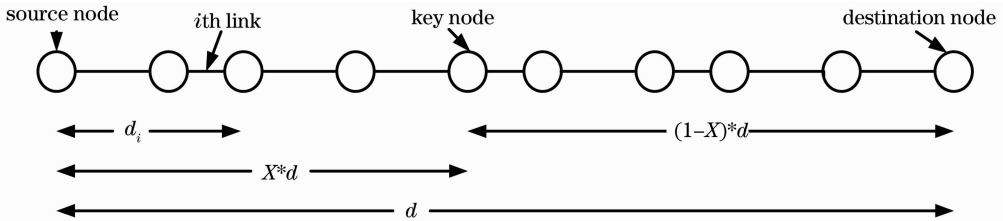


图2 资源预约易受干扰时间分析

Fig. 2 Analysis of the reservation protocol time which is susceptible to interference

从图2可得,采用前序预约或后续预约时,第*i*条链路易受干扰时间表示为

$$t_1 = 2 \times (d - d_i). \quad (18)$$

采用PSDIRP算法,第*i*条链路的易受干扰时间表示为

$$t_2 = 2 \times (X \times d - d_i), \quad (19)$$

式中*d*为路由长度,*X*是指关键节点所在位置的路由长度与总路由长度的比值,*d<sub>i</sub>*是指从源节点到第*i*条链路的路由长度。从(15)式和(19)式可得,采用PSDIRP算法的资源预约易受干扰时间*t<sub>2</sub>*明显小于*t<sub>1</sub>*,提高了资源预约的安全性及稳定性,为资源预约

式中 $\alpha^{s,d}$ 表示源节点和目的节点分别为*s*,*d*的任务请求的总负载量, $\alpha_{i,j}^{s,d}$ 表示源节点和目的节点分别为*s*,*d*的路由在节点*i*与*j*之间的负载量, $\alpha_{i,j}$ 表示节点*i*与节点*j*承载的所有光路请求负载量的总和; $f_{\max}$ 表示网络对于任何任务请求所能提供的最大负载量;(16)式在一条光路上的流量即为通过所有节点的流量总和,流量总和不应超过光路的最大负载容量如(17)式所示。

## 4 算法时间复杂度分析

PSDIRP算法相较以往的算法,提出采用优先级策略完成光网络资源的预约,最大程度地提高资源预约的成功率,为进一步的资源分配奠定基础。

PSDIRP算法核心主要分为两个部分,1)提出前序后序相结合的资源预约方式,2)为基于优先级并结合马尔可夫资源预约模型完成波长资源的预约分配。

PSDIRP算法优势在于通过前序与后序相结合的方式,双向地进行可用资源的探测,发现可用资源,最大程度地降低资源预约的易受干扰时间,保证资源预约的安全性及稳定性,由于网络中多个任务请求同时进行资源预约,在完成资源预约的这一过程中,任务请求易受到干扰,以第*i*条链路资源预约易受干扰时间为例,具体分析如图2所示。

的成功奠定了基础。

PSDIRP算法的时间复杂度主要有以下几个方面组成:1)完成对全部任务请求 $Q_{\text{total}}$ 的分析整合,得到Y类不同的*s-d*源节点、目的节点的任务请求,耗费时间为 $O(Q_{\text{total}} \times \lg Q_{\text{total}})$ ;2)计算所有梳理整合的Y类任务请求的K条最短路由,并通过最短路由的平均跳数确定网络拓扑的规模,以此来设定优先级计算公式,所耗费的时间为 $O[(E + N \lg N + K) \times Y] + O(Y)$ ;3)根据优先级(3)~(14)式以此对Y条任务请求进行串行并行相结合的优先级的计算与划分,所耗费时间为 $O(Y) + O(Y \times \lg Y)$ ;4)按照优

优先级顺序与  $K$  条备用路由完成对  $Y$  条任务请求的波长预约所需的时间为  $O(L \times W \times K \times Y)$ 。

通过以上分析计算可得,算法完成了网络拓扑规模的设定,采用定量的方法进行优先级的计算与设定,使得优先级得到细化分析,并采用马尔可夫模型完成对各任务请求波长空闲概率的计算,使得算法的精确性得到较大的提高,同时算法计算的时间复杂度没有大幅度的激增,相对文献[11]中的算法时间复杂度虽略有提高,但是算法得到细化,其可操作性与实用性得到进一步的提高。

### 5 仿真验证

为了评价 PSDIRP 和其他算法性能的优劣,本文采用拓扑共 40 个节点,有 46 条链路的 Mesh 网,如图 3 所示。Mesh 网络采用最短路径算法完成选路连接请求到达符合泊松分布,连接持续时间服从指数分布。一个连接的源节点和目的节点随机选择。阻塞概率(BP)和建立时间是光路建立的主要性能度量标准。因此本文研究 Mesh 网和环网的波长  $\omega_1$  和连接请求平均到达率  $c_r$  对阻塞率与建立时间的影响。与之相比较的协议包括 INIRP, IBRP, MBRP,详细数据显示如图 4~7 所示。

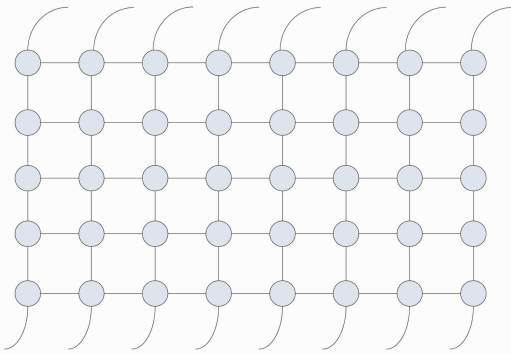


图 3 Mesh 网  
Fig. 3 Mesh network

由图 4 ( $c_r = 75$ ) 可得 PSDIRP 性能一直优于 MBRP,由于采用的协议是针对多任务请求到达网络的情况,通过分类分析,结合任务请求本身的特性和网络状态设定任务请求优先级,使得阻塞率进一步降低。INIRP 和 IBRP 相对前两种算法明显阻塞率较高。通过观测,随着  $\omega_1$  增加,所有方案的阻塞率都减少并趋于饱和,PSDIRP 性能优于其他算法,对于较小的  $c_r$  值,其阻塞率均小于性能较好的 MBRP 算法,约为 5%。由图 5 可得,随着波长数量的不断增加,光路资源预约、建立光路的时间越来越

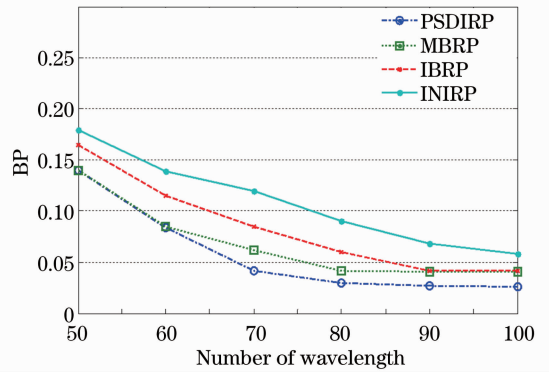


图 4 波长数量变化对阻塞率的影响 ( $c_r = 75$ )  
Fig. 4 Influence on the BP with variable wavelength number ( $c_r = 75$ )

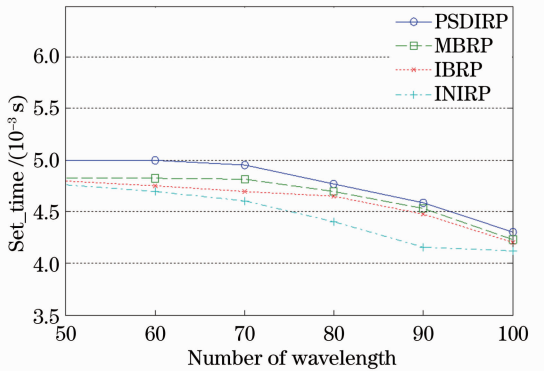


图 5 波长数量变化对建立时间的影响 ( $c_r = 75$ )  
Fig. 5 Influence on the set\_time with variable wavelength number ( $c_r = 75$ )

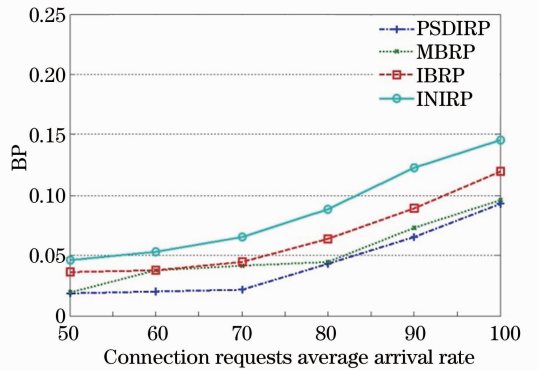
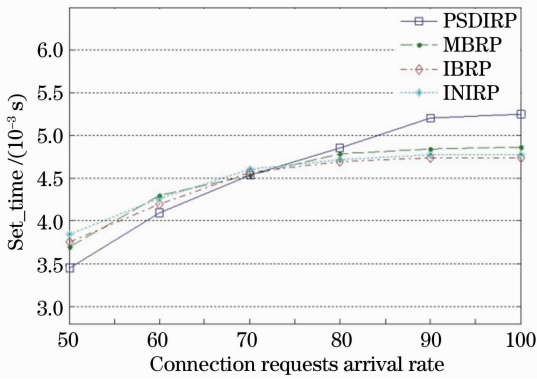


图 6 请求到达速率对阻塞率的影响 ( $\omega_1 = 75$ )  
Fig. 6 Influence on the BP with variable request coming rate ( $\omega_1 = 75$ )

短,原因在于随着波长数量的不断增加,网络的可用资源越来越多,建立光路所经过的路径相对缩短,排队等待资源预约的情况减少,使得建立光路的时间越来越短;从图 5 中可得,本文提出的 PSDIRP 算法的光路建立时间相对较长,是因为该算法使得大部分的任务请求达成建立光路的需求,使得一些任务请求路由较长,花费时间较多。

图7 请求到达速率对建立时间的影响 ( $\omega_1 = 75$ )Fig. 7 Influence on set\_time with variable request coming rate ( $\omega_1 = 75$ )

由图 6 ( $\omega_1 = 75$ ) 可得：1) 在所有的方案中，PSDIRP 阻塞率较低，2) 对于中间值的  $c_r$  (60~80)，PSDIRP 性能最好。这段的  $c_r$  对于得到一个中间值的  $\omega_1$  至关重要，此时 PSDIRP 算法阻塞率比 MBRP 算法小 5% 以上，而这会使最大数量的分离事件成功，这对于多任务请求同时到达的情况尤其有利，使得多任务请求同时建立光路的概率大大增加。由图 7 可得，随着任务请求到达网络速率的不断提高，任务请求建立光路的时间不断增加，原因在于网络的资源有限，当更多的任务请求到达网络时，PSDIRP 算法通过马尔可夫模型与基于优先级的多任务请求资源预约，保证了大多数的任务请求建立光路的需求，降低了任务请求的阻塞率，但同时使得各个任务请求的可用光路的长度增加，资源预约占用的时间延长。

本文为 WDM 光网络提出了一种基于优先级策略(选择波长与任务请求波长资源分配顺序)和双向资源预约(为了得到最小的阻塞率，提高资源预约的准确性，降低预约延时)的方式完成多任务请求下的光网络资源预约。提出的 PSDIRP 在 Mesh 网上性能都优于其他算法。虽然相比 MBRP，PSDIRP 需要更多地控制包，但它减少了阻塞率(在建立时间上没有任何的性能降低)，特别是在阻塞率是首要考虑的问题时，PSDIRP 的性能往往更加出色。

## 6 结 论

针对 WDM 网络中多任务请求情况下的资源预约提出了 PSDIRP 算法，通过提出双向预约机制，并基于马尔可夫资源预约模型判定各个任务请求的可用资源因子；在此基础上提出基于优先级的波长资源预约，在优先级的设定中提出影响任务请求建

立光路的关键因子——总负荷因子。通过提出任务请求总负载量的概念，综合考虑预约波长使用可能性与任务请求本身特性设定优先级策略，采用串行与并行相结合的方式，完成多任务请求波长资源的预约。通过性能分析与仿真验证，该算法极大地降低了任务请求建立光路的阻塞率，提高资源利用率。

## 参 考 文 献

- 1 Cao Xiaoyuan, Wu Bingbing, Hong Xiaobin, *et al.*. All-optical integrated support for multicast and burst amplification in transparent optical network [J]. *Chin Opt Lett*, 2012, 10(7): 070606.
- 2 Guo Aihuang, Feng Shengyi, Xue Lin, *et al.*. Research on power efficient routing algorithm in green optical networks [J]. *Acta Optica Sinica*, 2012, 32(4): 0406002. 郭爱煌, 冯圣毅, 薛琳, 等. 基于节能的绿色光网络路由算法的研究[J]. *光学学报*, 2012, 32(4): 0406002.
- 3 Zhao Taifei, Li Qiong, Wang Yidan, *et al.*. Fast channel allocation method in wireless ultraviolet network based on particle swarm [J]. *Acta Optica Sinica*, 2014, 34(1): 0106002. 赵太飞, 李琼, 王一丹, 等. 基于粒子群的无线紫外光网络快速信道分配方法[J]. *光学学报*, 2014, 34(1): 0106002.
- 4 Yuancheng Zhang, Hongming Zhang, Minyu Yao. All-optical queue buffer using optical threshold functions and wavelength converters [J]. *Chin Opt Lett*, 2012, 10(3): 030606.
- 5 Guo Chun, Kong Mingdong, Lin Dawei, *et al.*. Determination of the optical constants in DUV/VUV [J]. *Chin Opt Lett*, 2013, 11(s1): s10607.
- 6 M Sengupta, S K Mondal, D Saha. MMSRP: multi-wavelength Markov-based split reservation protocol for DWDM optical networks [C]. *Proceedings of the 2010 ACM Symposium on Applied Computing*, 2010. 689–693.
- 7 D Saha. A comparative study of distributed protocols for wavelength reservation in WDM optical networks [J]. *PIE Opt Netw*, 2002, 3(1): 45–52.
- 8 K Lu, J P Jue, G Xiao. Intermediate-node initiated reservation (IIR): a new signaling scheme for wavelength-routed networks [J]. *Selected Areas in Communications*, 2003, 21(8): 1285–1294.
- 9 M Sengupta, S K Mondal, D Saha. An Adaptive Split Reservation Protocol (SRP) for Dynamically Reserving Wavelengths in WDM Optical Networks [M]. // *Distributed Computing and Networking*, Springer Berlin Heidelberg, 2008. 440–451.
- 10 D Saha. An intelligent destination initiated reservation protocol for wavelength management in WDM optical networks [C]. *Advanced Communication Technology (ICACT)*, 2010, 2: 1266–1271.
- 11 W Lin, R S Wolff, B Mumey. A Markov-based reservation algorithm for wavelength assignment in all-optical networks [J]. *J Lightwave Technol*, 2007, 25(7): 1676–1683.
- 12 Malabika Sengupta, Swapan Kumar Mondal, Debashis Saha. A protocol for piggy-backing on Markov based wavelength reservation in WDM optical networks [J]. *Optical Switching and Networking*, 2009, 6(4): 250–258.
- 13 Bijoy Chand Chatterjee, Nityananda Sarma, Partha Pritin Sahu. Priority based routing and wavelength assignment with traffic grooming for optical networks [J]. *Journal of Optical Communications and Networking*, 2012, 4(6): 480–489.
- 14 Wang Zongwei, Peng Yunfeng, Wang Yin. PCE based parallel resource reservation scheme for inter-domain path in optical network [J]. *Asia Communications and Photonics Conference and Exhibition*, 2011, 8310: 8310J.

栏目编辑：王晓琰