

文章编号: 1001-3806(2012)03-0408-05

## WDM光网络中一种优先共享通路保护算法

赵太飞<sup>1</sup>, 王文科<sup>2</sup>, 刘龙<sup>1</sup>

(1. 西安理工大学 自动化与信息工程学院, 西安 710048; 2. 西安交通大学 电信学院, 西安 710049)

**摘要:** 为了提高波分复用光网络的可靠性, 常采用分段共享通路保护算法, 该方法通常要求保护通路要均匀分段并且应满足共享风险链路组约束, 网络业务的阻塞率也就比较高, 因此提出了用优先共享通路保护算法来降低业务阻塞率。通过计算机仿真进行了理论分析和实验验证, 取得了两种保护算法下的业务阻塞率和资源预留比的数据。结果表明, 优先共享保护通路算法能够有效地融合分段共享通路保护算法的优点, 同时在业务的阻塞率和资源预留比方面优于分段共享保护通路算法。

**关键词:** 光通信; 波分复用; 共享风险链路组; 共享分段保护; 优先共享保护

中图分类号: TN929.11 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1001-3806.2012.03.032

## A preferential shared path protection algorithm for WDM optical network

ZHAO Tai-fei<sup>1</sup>, WANG Wen-ke<sup>2</sup>, LIU Long<sup>1</sup>

(1. Faculty of Automation and Information Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** In order to improve the reliability of wavelength division multiplexing (WDM), the segmented shared path protection (SSPP) algorithm is usually adopted. It requires equal length segmentation in WDM optical networks and it must obey the shared risk link group (SRLG) constraint. When searching protection path, the SRLG constraint will lead the call blocking probability of the networks to rise. In order to reduce the call blocking probability, a new path protection algorithm, so-called preferential shared path protection (PSPP) was proposed. The simulation of SSPP and PSPP algorithms was done in the discrete event emulation system. The result shows the call blocking probability of the PSPP algorithm is better than that of the SSPP algorithm, and the resource reservation ratio of PSPP is also relatively better.

**Key words:** optical communication; wavelength division multiplexing; shared risk link group; segmented shared path protection; preferential shared path protection

### 引言

在波分复用 (wavelength division multiplexing, WDM) 光网络中, 多个不同波长的光载波信号复用在同一根光纤上, 且单根光纤可以提供巨大的传输带宽, 这样一根光纤可以承载大量的业务<sup>[1]</sup>。一根光纤的失效导致所有经过该光纤的光通路的失效, 结果必然造成大量的业务失效, 因此, WDM光网络的生存性问题是 WDM光网络设计的重要组成部分。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61001069); 西安市科技计划资助项目(CXY1012(2); CXY1132); 陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(2011JQ8028; 2009JQ8007); 教育部博士点新任教师基金资助项目(20096118120011); 陕西省教育厅专项科研计划资助项目(2010JK739)

作者简介: 赵太飞(1978-)男, 博士, 副教授, 主要从事紫外光通信网络、无线光通信等领域的研究。

E-mail: zhaotaifei@163.com

收稿日期: 2011-09-16; 收到修改稿日期: 2011-10-24

WDM光网络的生存性技术一般可以分为保护机制和恢复机制<sup>[2-4]</sup>。保护机制需要首先在链路上预留一部分带宽用作保护, 因此造成了额外的带宽浪费; 恢复机制则是在失效发生之后才分配带宽, 这样节省了带宽资源。保护机制明显的优点是业务的恢复时间会比后者要短, 业务发生失效后只需要直接把业务转移到保护路上即可, 不用耗时计算保护通路。通常, 保护机制又分为共享保护和专用保护, 专用保护是指每个业务都有其专门的保护通路, 在相互重叠的链路上单独占用带宽资源; 共享保护是指当处于网络中的两个或者多个业务的保护通路有重叠的链路时, 这些重叠的链路就可以只分配一个共享业务带宽, 而不是多个业务分配独占带宽, 这样可以节省大量的链路带宽。

### 1 WDM光网络中的保护算法

#### 1.1 共享风险链路组

在实际的光网络中, 光纤链路的故障存在一定相

关性,这种故障相关性可以用共享风险链路组(shared risk link group, SRLG)来描述<sup>[5]</sup>。SRLG是指共享相同物理资源的一组链路,也就是具有共同失效风险。一个SRLG分布的拓扑如图1所示,图1中的链路(1,2)和(1,3)链路同处在一个SRLG-1中,这两条链路处在相同的光纤管道中。举个例子来说明这几条链路是如何共享风险的。假设在施工的过程中,施工人员不小心把SRLG-1所在的光纤管道挖断了,这时必然造成所有经过该管道的链路的失效,即链路(1,2)和链路(1,3)同时发生失效。所以,如果业务的工作通路和保护通路同处在一个SRLG中,这时若工作通路发生失效,那么相应的保护通路也会发生失效,这样的保护通路就不能起到恢复失效业务的作用。

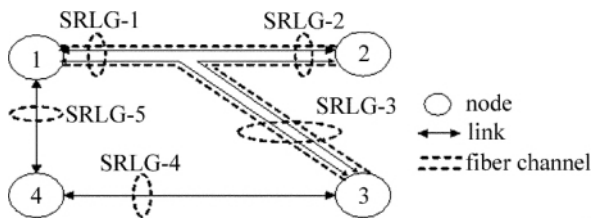


Fig. 1 A distribution of SRLG

## 1.2 链路带宽共享

在WDM光网络中,带宽共享是指保护通路带宽的共享的概念。举个简单的例子,在图1中假设业务1和业务2同时处在网络中,并且两个业务同时失效的概率为0,即只有一个业务会发生失效,业务1的保护通路经过链路(1,4)、(1,2)和(2,3),而业务2的保护通路同样也经过链路(1,4)和(3,4),这时在分配保护带宽的时候只需要从链路(1,4)的带宽中分配一个波长带宽资源(假设业务1和业务2的业务带宽都是1个波长带宽),也就是说链路(1,4)仅仅用了1个波长带宽。如果不采用共享的原则,那么链路(1,4)必须分配两个波长带宽分别用于保护业务1和业务2。明显采用共享原则能节省网络上的带宽资源,使得网络能够承载更多的业务。

## 1.3 共享保护算法

目前国内外针对光网络的共享保护机制提出了很多种算法。参考文献[6]中提出了一种基于SRLG的共享通路保护算法(segmented shared path protection, SSPP),采用最短路径算法计算出业务的工作通路,然后把工作通路分成几个相同的子段,在满足SRLG约束条件的情况下,用最短路径算法计算出每个子段的保护通路。该方法缺点是每条链路都需要计算保护通路,这样就增大了总的保护通路的节点数和跳数,也就是说需要消耗更多的保护带宽。

参考文献[7]中提出了一种以域的方式来对工作通路进行分段的策略,把一个大的网络分为几个小的

且相互不重叠的域。工作通路在穿越这些域的时候就被自动划分为了几个段,保护分段与对应的工作分段都同时属于一个域,当工作通路上某处失效后,保护切换过程只会在一个域内进行,这样虽然管理方便,但是网络资源配置未必最优。

参考文献[8]中提出了共享分段保护的启发式算法(short leap shared protection, SLSPP),将业务的工作通路分成几个相互重叠且跳数相同的保护域。每个保护域中包含了工作通路和保护通路,同时保护通路必须和工作通路SRLG分离。缺点是对工作通路的分段方式缺乏灵活性,它不能保证可以找到相应的保护分段,一旦无法为某条工作分段计算出对应的保护分段时,算法将宣告失败。同时算法没有限制保护分段的跳数,因此无法限制业务恢复时间。

参考文献[9]中提出了一种新的动态混合生存性(dynamic hybrid survivability, DHS)算法,不同优先级的连接请求采取了不同的抗毁策略,DHS算法对到来的连接请求,能够根据网络当前的状态动态调整链路权值,计算相应的工作路径和保护路径,从而在整个网络中起到平衡负载的作用,但是该算法复杂度比较高。

## 2 优先共享通路保护算法

在SRLG的分段共享通路保护算法SSPP中,由于分段方式和严格的SRLG约束,通过仿真分析发现,被拒绝的业务多是由于没有找到相应的工作通路而被直接拒绝,而由于没有找到相应的保护通路被拒绝掉的业务数相对较少,为了减少这种由于业务没有找到工作通路而被拒绝掉的业务数,作者提出了优先共享通路保护算法。

### 2.1 优先共享的概念

所谓优先共享,就是指当某个业务在确定工作通路之后,在搜索保护通路的过程中,强迫该业务保护通路的链路经过当前处于网络中其它业务的保护通路所经过的链路。下面通过例子来说明。

美国国家网络拓扑图如图2所示,表1对应的是该网络下有3个业务呼叫时的路由表。表中的“顺序”表示的业务进入网络的先后次序,同时也表示当前处于网络中的业务进入网络的先后次序。所以首先进入网络的呼叫业务的源目的节点是1-13,对该业务按照前面介绍的分段共享通路保护算法计算出的保护通路是1-2-4-7-9-8-11-12-13。当接下来的业务2到来时,这时为了找寻源节点19的目的节点14的保护通路,首先将19-14的工作通路19-14删除掉,然后采用Dijkstra最短路径算法求出从源节点19到参考保护路的

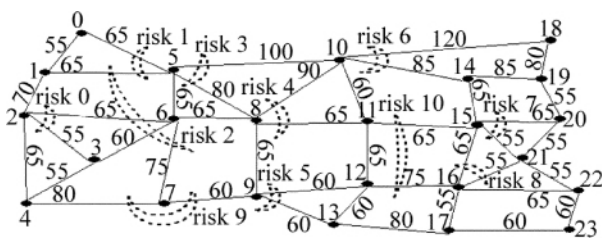


Fig. 2 US national network topology

起始节点 1 的链路代价最短的路径 19-10-8-5-1, 然后同样采用 Dijkstra 算法, 计算出从优先参考保护路的尾节点 13 到本业务的目的节点 14 的链路代价最短的路径 12-11-15-14, 由于本文中是基于 SRLG 的, 所以在计算前后两段保护路的时候也要考虑 SRLG, 即用 Dijkstra

Table 1 Routing table of PSPP

serial number	source , destination	work path	front-segment protection path	preferential protection path	back-segment protection path	preferential shared protection path
1	1 ,13	1-5-8-9-13	—	—	—	1-2-4-7-9-8-11-12-13
2	19 ,14	19-14	19-10-8-5-1	1-2-4-7-9-8-11-12-13	12-11-15-14	19-18-10-5-1-2-4-7-9-8-11-15-14
3	9 ,21	9-12-16-21	9-8-5-1	1-2-4-7-9-8-11-12-13	12-11-15-21	9-8-11-15-21

因此优先共享的基本思想为: 首先, 采用最短路算法计算在 SRLG 的条件下, 该业务源节点到参考保护路的源节点最短路径; 然后, 采用最短路算法计算在 SRLG 的条件下, 优先参考保护路的末节点到该业务的末节点最短路径; 最后, 把上面的两段和优先参考保护路拼接起来, 同时修正简化拼接后的保护路。

## 2.2 优先共享通路保护算法的实现步骤

在优先共享概念基础上, 本文中提出了一种优先共享通路保护算法 (preferential shared path protection, PSPP), 下面给出该算法的具体步骤。

### 步骤 1 网络初始化

把当前网络的拓扑放到一个临时图中, 临时图包括当前网络的距离权重和带宽信息。

### 步骤 2 判定该请求是业务到达还是业务离去

如果该请求是业务离去, 则跳到步骤 6; 如果该业务是业务到达, 则进入步骤 3。

### 步骤 3 计算该业务的工作通路

首先, 根据临时图中的网络状态, 把当前的网络中链路上的所剩余带宽容量小于该业务请求带宽的链路删除掉。然后使用最短路 Dijkstra 算法计算出一条工作通路来。最后在临时图中恢复被删除掉的链路。

如果找到相应的工作通路, 进入步骤 4; 否则回到步骤 2。

### 步骤 4 计算保护通路

在为新的业务计算保护通路前, 首先把该业务的工作通路从临时图中删除掉, 然后判定处于该网络中

算法求出的两个保护路必须满足和该业务的工作通路 SRLG 分离。最后这两段路径和参考保护通路拼接起来形成了最后的优先保护通路: 19-10-8-5-1-2-4-7-9-8-11-12-13-12-15-14。可以发现, 这样拼接后形成的保护通路是有问题的, 相同的节点 8 出现了两次, 这和分段共享保护通路算法相邻分段节点重复现象不同, 这两次出现的位置不是在两个相邻保护分段中, 需要对拼接后的保护通路进行修正才行, 即跳过重复节点之间的保护路即可, 所以修正后的保护通路为 19-18-10-5-1-2-4-7-9-8-11-15-14。同样的方法, 第 3 个业务的优先共享保护通路为 9-8-11-15-21。可以看到, 这样的优先共享保护通路并没有完全经过优先参考保护路。

还未离去的业务数, 如果业务数小于 1, 即该新业务是网络中的第 1 个业务, 那么用分段共享保护算法计算出相应的保护通路, 此时的保护通路作为下一个业务的优先参考保护路。否则, 如果业务数大于 1, 则首先确定当前处于网络中的第 1 个业务, 然后以该业务的保护通路作为优先参考保护通路, 采用优先共享保护算法计算出相应的保护通路, 同时采用分段共享保护通路算法计算出该业务的保护通路; 接下来, 比较这两种方法下的保护通路的跳数, 如果前者减去后者小于设定值, 则采用前者的保护通路, 否则采用后者的保护通路; 如果其中一种算法没有找到相应的保护通路, 而另外一种算法找到相应的保护通路, 那么直接采用能找到保护通路的那种算法计算出的保护通路。然后进入步骤 5。

如果两种算法都没有找到相应的保护通路则直接拒绝掉该业务, 进入步骤 7。

### 步骤 5 给工作通路和保护通路分配带宽

只要工作通路和保护通路所经过的链路上的带宽减去该业务的带宽请求值即可。首先相邻的两个工作分段的保护路有相同的链路, 则只要从该链路减掉一次该业务的带宽请求, 然后判断该业务的保护通路是否和当前正处于网络中其它业务的保护通路有相同的链路, 如果有则共享此链路, 即不用再从该链路上减去当前业务的请求带宽。然后进入步骤 6。

### 步骤 6 处理业务离去事件

释放工作通路所占用的带宽资源。如果该离去业

务的保护通路的某条链路和它的还处在网络中的业务保护通路上的链路共享了该链路上的保护带宽, 则该链路不需要减去该离去业务的带宽请求值。如果该保护通路的某条链路没有和它的处在网络中业务保护通路共享, 则直接给链路的剩余带宽加上当前离去业务所占用的保护带宽值。

步骤 7 算法结束

如果没有后续的请求到达, 则算法结束; 否则回到步骤 2。

通过分析, 优先共享通路保护算法的复杂度和分段共享通路保护算法的复杂度相同, 均为  $o(s \times (n/l) \times n^2)$  其中  $s$  表示的是 SLRG 的个数,  $n$  表示的是网络中的节点的个数,  $l$  是分段的长度。

### 3 仿真结果分析

#### 3.1 性能指标

WDM 光网络的性能指标包括: 业务恢复时间和阻塞率, 共享度。

业务的恢复时间是指从业务发生失效到业务转移到保护通路上的时间。根据上面对业务恢复过程的分析, 业务的恢复时间为  $T_{\text{recover}}$  可以计算为:

$$T_{\text{recover}} = T_{\text{detect}} + T_{\text{alarm}} + T_{\text{confirm}} + T_x + T_{\text{back}} \quad (1)$$

式中,  $T_{\text{detect}}$  是失效链路的的上游节点从链路发生失效到检测到该失效所经历的时间;  $T_{\text{alarm}}$  是失效链路的的上游节点从发出警告信令到该信令到达工作分段的起始节点所经历的时间;  $T_{\text{confirm}}$  是起始节点从发出的配置信令通过保护分段到达终止节点所经历的时间;  $T_x$  是保护分段上节点 (optical cross-connect, OXC) 的并行配置时间;  $T_{\text{back}}$  是终止节点从发出的确认信令沿着保护分段反向到达起始节点所经历的时间。当每条链路和节点的恢复时间相同时, 业务恢复时间可以简单的用每段保护通路平均跳数来评价, 本文中采用该方法。

网络业务的阻塞率是指在当某个业务请求连接, 但是没有找到相应的工作通路和保护通路的时候, 该

业务请求被拒绝的概率。本文中业务阻塞率  $P$  的具体公式为:

$$P = A_0/A \quad (2)$$

式中  $A_0$  为被拒绝的业务个数,  $A$  为所有请求连接业务数。

网络业务的共享度指的是为保护通路的资源中被多个保护通路共享的程度, 是资源共享程度的重要指标, 共享度  $S$  的公式即:

$$S = H_s/H_p \quad (3)$$

式中, 保护通路的跳数  $H_p$  为刨除共享保护通路总跳数后的所有业务保护通路总条数,  $H_s$  为共享的保护跳数。

#### 3.2 性能指标

为了分析优先共享通路保护算法 PSPP 和分段共享通路保护算法 SSPP 在阻塞率和资源共享度方面的性能, 在同样的仿真条件下, 利用离散事件系统方法在计算机上进行仿真, 网络拓扑图采用图 2 中的美国国家网络拓扑图。这里假设每条链路带宽容量为 50 个波长带宽, 每个业务的呼叫请求带宽为 1 个波长带宽。如果一个呼叫请求被建立后没有找到相应的工作通路或者保护通路, 那么立即拒绝掉该业务, 不存在等待队列, 然后处理下一个事件。本仿真总的呼叫总数是 10000, 测试了几种不同业务到达率情况下的业务阻塞率和资源预留比。

在 SRLG 约束条件下, 优先共享通路保护算法 PSPP 和分段共享通路保护算法 SSPP 两种算法的阻塞率如图 3 所示, 拒绝数、每段保护通路平均跳数和共享度等具体参量值如表 2 所示。从图 3 可以看出, 随着

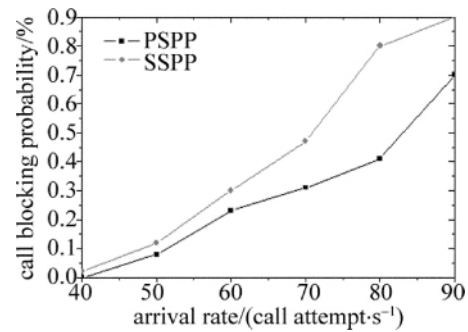


Fig. 3 Blocking probabilities of PSPP and SSPP

Table 2 Blocking number and sharing degree of PSPP and SSPP

arrival rate/( call attempt · s <sup>-1</sup> )	40	50	60	70	80	90
the blocking number of PSPP	0	8	23	31	41	70
the blocking number of SSPP	2	12	30	47	61	89
the blocking number of PSPP work path	0	8	23	31	41	70
the blocking number of SSPP work path	0	8	22	33	47	76
the blocking number of PSPP protection path	0	0	0	0	0	0
the blocking number of SSPP protection path	2	2	8	14	14	13
average hops of PSPP protection path per segment	3. 2980	3. 3450	3. 3517	3. 3974	3. 3222	3. 7456
average hops of SSPP protection path per segment	2. 7633	2. 7632	2. 7664	2. 7668	2. 7671	2. 7686
the sharing degree of PSPP protection path	0. 9906	0. 9909	0. 9910	0. 9917	0. 9917	0. 9910
the sharing degree of SSPP protection path	0. 5441	0. 5441	0. 5438	0. 5438	0. 5438	0. 5437

业务强度的增大,两种算法的业务阻塞率都有所总增加;对比两种算法来看,优先共享通路保护算法不仅在业务的阻塞率方面优于分段共享通路保护算法,而且在业务的资源预留比方面远远优于分段共享通路保护算法。因此,优先共享通路保护算法基本在不消耗保护资源的情况下,就可以使得更多业务的工作通路得到保护,同时在业务阻塞率方面有更大的优势。

从表2中可以看出,随着业务增加两种算法被拒绝业务数都增加,由于工作通路不满足约束条件而被拒绝的业务数两种算法相当,但由于保护通路不满足约束条件而被拒绝的业务数 PSPP 算法明显少于 SSPP 算法,因此 PSPP 算法被拒业务数要少些;两种算法的每段保护通路平均跳数都比较小,分别在 3.2 跳和 2.7 跳左右,PSPP 算法比 SSPP 算法略高一点,但是差别比较小对整体的业务恢复时间影响不大;从两种算法的保护通路共享度来看,PSPP 算法比 SSPP 算法明显大得多,也就是说 PSPP 算法能更好地实现资源共享。因此,所提出优先共享通路保护算法不仅提高保护资源的共享度,同时大大降低了业务工作通路被拒绝的概率。

#### 4 结论

首先分析了共享通路保护算法,由于分段方式和严格的 SRLG 约束使得网络业务的阻塞率比较高,在此基础上提出了优先共享通路保护算法。利用计算机进行了算法仿真,结果表明,PSPP 算法虽然在业务恢

复时间稍有增加,但是大大提高网络共享度的同时,降低了业务的被阻塞率,使得 WDM 光网络能够承载更多的业务。

#### 参考文献

- [1] GUAN A, SUN J. Impact of OXC architecture on the accumulation of intraband crosstalk in WDM optical networks[J]. *Laser Technology*, 2006, 30(6): 653-656( in Chinese).
- [2] GUO L, LI L. A novel survivable routing algorithm with partial shared-risk link groups (SRLG)-disjoint protection based on differentiated reliability constraints in WDM optical mesh networks[J]. *IEEE Journal of Lightwave Technology* 2007, 25(6): 1410-1415.
- [3] GUO L, CAO J, YU H, et al. Path-based routing provisioning with mixed shared protection in WDM mesh networks[J]. *IEEE Journal of Lightwave Technology* 2006, 24(3): 1129-1141.
- [4] SHAO X, BAI Y, CHENG X, et al. Best effort SRLG failure protection for optical WDM networks[J]. *IEEE Journal of Optical Communications and Networking* 2011, 3(8): 739-749.
- [5] PAPADIMITRIOU D, POPPE F, JONES J, et al. Inference of shared risk link group. internet draft [EB/OL]. [2001-02-01]. <http://www.watersprings.org/pub/id/draft-many-inference-srlg-00.txt>.
- [6] CAO J, GUO L, YU H F, et al. Dynamic segment shared protection algorithm for reliable wavelength-division-multiplexing mesh networks[J]. *Optics Express* 2005, 13(8): 3087-3095.
- [7] GU C, ZANG H, SINGHAL N K. Subpath protection for scalability and fast recovery in optical WDM mesh networks[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 2004, 22(9): 1859-1875.
- [8] HO P H, MOUFTAH H. A framework for service-guaranteed shared protection in WDM mesh networks[J]. *IEEE Communications Magazine* 2002, 40(2): 97-103.
- [9] ZHANG X N, LI L M, WANG S, et al. A novel hybrid survivable algorithm for single-link failure in WDM optical networks[J]. *Journal of Optoelectronics • Laser* 2008, 19(5): 604-609( in Chinese).

(上接第 407 页)

#### 3 结论

随着激光技术和微光学以及微光机电系统的迅速发展,受几何光学像差理论所限,迫切需要进一步发展像差的衍射理论,更好地改进光学系统的性能。依据基尔霍夫标量衍射理论推导了光学系统的高斯像面上仅有球差像点的光强分布解析计算式,分析探讨了高斯像面球差产生的衍射机理及其计算与校正,这有助于光学设计中的像差平衡与校正中和光学加工的像差检测与修正、对高斯像面上球差进行分析处理以及数码系统中对高斯像面上球差做电子校正等。

#### 参考文献

- [1] LIAO Y B. Introduction to optical imaging[M]. Beijing: Tsinghua University Press 2008: 1-149( in Chinese).
- [2] QIN H. Visualization application software development for calculating light aberrations[J]. *Laser Technology*, 2010, 34(3): 405-428( in

Chinese).

- [3] WANG Zh J. Practical optics technical manual[M]. Beijing: Mechanical Industry Press 2007: 242-259( in Chinese).
- [4] XIAO Z X. Optical engineering design[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry 2003: 1-38( in Chinese).
- [5] ZHANG Y M. Applied optics[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry 2008: 212-262( in Chinese).
- [6] BORN M, WOLF E. Principles of optics[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry 2005: 342-429( in Chinese).
- [7] CHANG Sh, SANG Zh W. Analysis and simulation of diffraction imaging[J]. *Journal of Shangrao Normal University*, 2008, 28(6): 24-29( in Chinese).
- [8] FAN Zh G. Photoelectric test technology[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004: 28-33( in Chinese).
- [9] CHANG Sh, WU B, MAO J J. Research on the diffraction mechanism and calculation of curvature of field without astigmatism[J]. *Semiconductor Optoelectronics* 2010, 31(5): 807-810( in Chinese).
- [10] XU A Ch, CHEN J B, ZHANG P M, et al. Ocular aberrations measurement method combined with subjective visual compensation[J]. *Laser Technology* 2010, 34(6): 774-777( in Chinese).