

抗毁 WDM 网络中支持多优先级的波长分配算法

王 焯, 李乐民, 徐世中, 王 晟

(电子科技大学宽带光纤传输与通信系统技术国家重点实验室, 成都 610054)

摘 要: WDM 网络将在未来的骨干网中扮演重要的角色, 具备抗毁能力和支持多优先级都很必要. 本文提出了两种基于优先级的波长分配算法——波长编号法和分配限额法, 并研究了动态业务下, 抗毁 WDM 网络使用这两种波长分配方法后网络的阻塞率性能. 研究的内容包括业务量负载、光纤链路的波长通道数和每条链路包含的光纤数对网络性能的影响. 本文还给出了仿真结果.

关键词: 抗毁 WDM 网络; 动态业务; 基于优先级的波长分配; 阻塞率

中图分类号: TN913.24 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2001) 01-0027-05

Priority-Based Wavelength Assignment Algorithm in Restorable WDM Transport Networks

WANG Ye, LI Le-min, XU Shi-zhong, WANG Sheng

(*Nation. Key Lab. of Broadband Optical Trans. and Comm. Systems, UESTC, Chengdu 610054, China*)

Abstract: WDM Network will play important role in future backbone networks. It is necessary that WDM networks have the capability against component failure and support multi-priority. Two priority-based wavelength assignment methods, Wavelength Number Method and Assignment Quota Method, are proposed in this paper. We study network performance when these wavelength assignment methods are used for survivable WDM network in dynamic traffic pattern. Contents include influences on blocking probability from traffic load, total number of available wavelength channels per link, and the number of fibers per link. Simulation results are also given in the paper.

Key words: survivable WDM network; priority-based wavelength assignment; blocking probability

1 引言

作为骨干网的 WDM (Wavelength Division Multiplexing, 波分复用) 传送网中, 每条光路的传输速率都在几个 Gb/s 甚至更高, 网络部件一旦失效, 如光纤链路断裂, 会使经过它的所有光路失效, 从而造成大量用户通信中断. 因此, 如何保证 WDM 网络的服务质量和抗毁能力, 已成为其设计和运行时需要考虑的中心问题. 路由选择和波长分配 (Routing and Wavelength Assignment, RWA) 是 WDM 传送网络中的一个重要问题. 它是指给定某对节点间的光路连接请求后: (1) 寻找从源节点到目的节点的路由; (2) 为这些路由分配波长. WDM 网络的业务通常分为两大类^[3]: (1) 静态业务——光路连接请求事先给定, 需要为请求的光路寻找合适的路由和分配可用波长, 以使某些性能指标达到最优 (如所需波长数或光纤数最少, 全网吞吐量最大等等); (2) 动态业务——光路连接请求随机到达和离开网络, 此时常用光路连接请求的阻塞率 (Blocking Probability) 作为衡量 RWA 算法性能的指标. 以前对动态业务环境中的波长分配算法进行研究的文献^[5,6]都假设到达接入节点的所有连接

请求具有相同的服务等级. 但是, 网络在实际运营时, 不同连接请求可能对应不同的上层业务, 象实时视频、音频业务, 应该有比文件传输等业务低的阻塞率, 因此有必要将连接请求分成不同的优先级来处理. 在同一网络中支持不同优先级的连接请求是目前 WDM 网络的发展趋势之一^[4], 但这方面的文章仍不多见. 文献[4]虽然研究了基于优先级的波长分配算法, 但文献[4~6]都没有考虑网络生存性的要求, 而不具备抗毁性的骨干网是不能实际运营的.

另一方面, 目前研究 WDM 网络生存性的文献一般分为两类: 一类是研究失效保护的文献^[1]; 另一类是研究 WDM 网络失效恢复的文献^[2]. 前者以优化网络资源配置为目标, 解决静态业务下工作光路和保护光路的 RWA 问题, 由于保护光路的路由和所用波长在网络运营之前已计算好, 因此也称为 proactive 方式. 后者与前者的不同之处在于恢复光路的路由和使用的波长不是预先计算好的, 而是根据网络出现故障时资源的使用情况, 使用某种恢复协议实时寻找可用资源来建立恢复光路, 故也称为 reactive 方式. 这两类文献都没有涉及

动态业务.但是在下列情形下网络会出现动态业务需求^[3]:(1)当 WDM 网络的业务量分布出现较大变化或链路、节点出现故障,需要对网络进行重配置时;(2)宽带业务(如 WDM 网上的专用虚拟网、超过 2.5 Gb/s 的 ISP 租用线路业务)的快速增长.当然,这种动态业务的变化间隔相对较大,光路连接的持续时间可能是几小时、几天甚至几周.因此有必要研究动态业务环境中,考虑网络生存性的情况下,路由和波长分配算法对光路连接请求阻塞率的影响.

综合以上各方面的考虑,本文进行了以下探索性的工作:

(1)提出了两种基于优先级的波长分配方法:波长编号法和分配限额法;(2)首次研究了动态业务环境中,在考虑网络生存性的前提下,基于优先级的波长分配算法的性能;(3)网络其它条件和链路波长通道数不变的情况下,使用光纤代替单光纤对网络性能的影响.本文使用不同优先级光路连接请求的阻塞率及网络平均阻塞率作为研究的指标.

本文在第二节首先说明如何在动态业务下为每一光路请求提供可靠的连接,然后提出了两种基于优先级的波长分配方法.第三节给出网络仿真的数据,并分析了业务量负载、单光纤链路中的可用波长数和线条链路包含的光纤数对网络性能的影响.由于好的 RWA 算法和链路使用多光纤,都会使波长变换在降低阻塞率方面的好处变得微不足道^[3],加之目前波长变换器的成本仍然较高,因此本文所有的研究都针对没有波长变换的 WDM 网络,即每条光路在它经过的所有链路上使用同一波长.

2 基于优先级的波长分配算法在抗毁 WDM 网络中的应用

动态业务下为了使 WDM 网络具有抗毁性,或者说使所有建立的光路能在连接期间可靠传输数据,光路连接请求在到达接入节点时,接入节点将在请求接纳阶段以并行方式进行波长资源检查,检查当时网络是否有足够的波长资源,以便为连接请求同时建立两个光路集合:(1)工作光路集合——集合中的光路用于正常情况下的数据传送;(2)保护光路集合——当某条工作光路在连接期间出现失效时,网络将使用它的保护光路继续传送数据,以保证通信不会中断.保护光路选择和工作光路链路分离的路由.波长检查过程中,工作光路和保护光路路由上的中间节点会为这些光路逐段预留可用波长,如果中间节点发现某段链路没有可用波长,则此连接请求被阻塞,同时通知源节点,之后路由上所有预留的波长被释放;如果源节点收到消息表明波长预留在工作光路和保护光路经过的所有链路上均获得成功,则此连接请求被接纳,然后启用工作光路传输数据,保护光路上的波长则继续预留直到工作光路出现失效.光路连接结束后,对应工作光路和保护光路占用的资源全部释放.本文只考虑工作光路和保护光路 1:1 配置以防止单链路失效的情况.

2.1 抗毁 WDM 网络中的固定路由算法

光路连接请求的阻塞率和很多因素有关,其中包括确定工作光路和保护光路集合时采用的 RWA 算法.由于 RWA 问题是 NP-C 问题^[3],所以研究此问题的大多数文献都将 RWA

问题拆分成路由问题和波长分配子问题后分别解决.路由算法可选用固定路由(Fixed Routing,FR)算法或备用路由(Alternate Routing,AR)算法^[3]等.波长分配可使用已有的各种方法(如 First-Fit 法、M 法^[3]等),也可使用本文 2.3 节提出的基于优先级的波长分配算法.本文选用固定路由算法确定工作光路和保护光路的路由.此节首先表述用于抗毁 WDM 网络的固定路由算法,因为工作光路和保护光路的路由需要链路完全分离,所以 FR 算法和不考虑网络生存性的表述不同,可表述如下:

步骤 1:给定 WDM 网络的物理拓扑 G (为了保证网络的可靠性,网络任意两个节点子集之间至少要有两条链路相连),首先确定每条链路的代价.如果特别关注传输时延,则可根据链路的物理长度确定相应链路的代价;如果想使光路经过的节点数最少(或链路数最少),可将网络所有边的权值均定义为 1;也可根据其它想优化的参数为每条链路规定代价函数 c (l).本文仿真时将所有链路的代价函数定义为常数 1.

步骤 2:使用 Dijkstra 最短路算法在 G 上寻找一条最短路,作为当前连接请求的工作光路路由,并存储此路由经过的节点(链路)序列.

步骤 3:从网络拓扑图中去掉工作光路经过的所有链路,得到拓扑图 G^+ ,在 G^+ 上再次使用 Dijkstra 最短路算法寻找一条最短路,作为当前连接请求的保护光路路由,并存储此路由经过的节点(链路)序列.

2.2 抗毁 WDM 网络中基于优先级的波长分配算法

基于优先级的波长分配算法根据连接请求的优先级来分配波长,使得优先级越高的连接请求,其阻塞率也越低.本文提出的两种基于优先级的波长分配算法分别称为波长编号法和分配限额法.波长编号法和分配限额法的区别在于:波长编号法中,高优先级连接请求可以使用低优先级连接请求波长集中的波长,反之则不行,即通过波长编号下限来控制不同优先级请求的阻塞率;分配限额法中,每条波长可以被任何优先级的连接请求使用,通过为不同优先级连接请求预设不同的波长分配限额来控制相应优先级请求的阻塞率.

动态业务下,每一连接请求对应的工作光路和保护光路使用链路分离的路由,所以工作光路的波长分配和保护光路的波长预留使用相同的波长分配算法,也就是所有的光路在分配波长时同样对待,这样可以保证资源分配不出现混乱.某条波长被占用指此波长正在被使用或此波长已被预留.

为了方便叙述下面两种波长分配算法,假设网络每条链路能提供的最大可用波长数均为 M ,波长按编号排列分别记为 $\lambda_i, i=1, 2, \dots, M$.光路连接请求分为 N 个级别,记为 $p_j, j=1, 2, \dots, N$,优先级从 $p_1 \rightarrow p_n$ 依次递减.波长编号法的实现步骤如下所述:

2.2.1 波长编号法(Wavelength Number Method)

步骤 1:为优先级 p_j 的连接请求预设相应的可用波长集合,记为 WP_j . WP_j 满足以下三个约束条件:(a) $WP_i \cap WP_j = \emptyset, \forall i, j$,即每条波长属于唯一的波长集合;(b) $\cup_j WP_j = \{\lambda_i, i=1, 2, \dots, M\}$,即所有的波长都使用;(c)如果用 $|WP_j|$ 表示 WP_j 集合中波长的数目,则有 $|WP_1| \geq |WP_2| \geq \dots \geq$

$|WP_N|$, 即高优先级连接请求的可用波长数不少于较低优先级连接请求的可用波长数. 此条件是为了使优先级越高的连接请求其可用的波长也越多, 从而保证高优先级连接请求具有低的阻塞率. 实现上面两个约束条件时, 可根据波长编号为每一优先级确定一编号下限. 编号下限采用下面的公式确定:

$$\text{Downbound}(p_j) = (p_j - 1) \times M \times L / N + 1$$

步骤 2: 等待光路连接请求或光路拆除请求. 如果到达的请求是光路连接请求, 则转至步骤 3; 如果到达的请求是光路拆除请求, 则转至步骤 4.

步骤 3: 根据光路连接请求的优先级 p_j , 首先在 WP_j 集合中寻找可用波长, 如未发现可用波长, 则在 WP_{j+1} 集合中寻找可用波长, 直到找到可用波长. 如果从 $WP_j \rightarrow WP_N$ 都未找到可用波长则此光路连接请求被阻塞. 换言之就是: 高优先级的光路连接请求除了可使用自己波长集中的波长外, 还可使用比它优先级低的连接请求对应的波长集中的波长, 这样可保证高优先级光路连接请求的接通率也较高. 但是, 低优先级的光路连接请求无权使用高优先级波长集中的波长. 接入节点在实施上述寻找可用波长的过程时, 按照连接请求的优先级, 把编号大于等于下限的第一条可用波长分配给此连接请求对应的光路(工作光路或保护光路).

步骤 4: 释放其工作光路和保护光路占用的资源, 刷新网络资源占用记录, 然后转至步骤 2.

2.2.2 分配限额法 (Assignment Quota Method)

分配限额法使用波长分配限额来控制不同优先级连接请求的阻塞率, 所以实现的关键在于: 如何为优先级 p_j 的连接请求合理设定波长分配限额 $q_j, j = 1, 2, \dots, N$, 使得不同优先级的连接请求具有不同的阻塞率, 同时使得网络平均阻塞率较低. 波长分配限额 q_j 的含义是指网络在某一时刻给优先级 p_j 的连接请求最多分配 q_j 条波长. 依照优先级 p_j 从高到低的顺序, q_j 的确定应遵循下面两个约束条件: (a) $M \times L = q_1 \geq q_2 \geq \dots \geq q_N \geq 1$; (b) $q_1 - q_2 \geq q_2 - q_3 \geq \dots \geq q_{N-1} - q_N \geq q_N$. 这两个约束条件使得高优先级的连接请求能得到更多的波长而不容易被阻塞. 分配限额法的实现步骤如下:

步骤 1: 确定每一优先级的波长分配限额 $q_j, j = 1, 2, \dots, N$. 此步骤分为三个子步骤:

(1) 用公式 $q_j = [(N + 1 - p_j) / N] \times M \times L$ 确定 q_j 的初始值, 其中 L 表示每条链路包含的光纤数. (2) 判断 q_{N-1} 与 q_N 的差值是否大于或等于 $q_N (0 \leq < 1)$, 是由实验得到的经验值, 本文仿真时取为 0.33). 如果条件成立则将 q_i 减 1, 同时将 q_N 加 1 (i 从 1 开始, 最多为 $N - 1$); (3) 将 i 加 1, 然后重复 (2) 直到 q_{N-1} 与 q_N 的差值小于 q_N .

步骤 2: 为每一优先级分配一个计数器 $\text{Counter}(p_j)$, 记录当前优先级为 p_j 且已被接纳的连接请求数目.

步骤 3: 等待光路连接请求或光路拆除请求. 如果到达的请求是光路连接请求, 则转至步骤 4; 如果到达的请求是光路拆除请求, 则转至步骤 5.

步骤 4: 判断连接请求是否被接纳, 并刷新网络的资源占用记录.

(1) 根据连接请求的源-目的节点, 进行工作光路和保护光路的可用波长检查, 将可用的波长加入对应的波长集合.

(2) 根据光路连接请求的优先级, 判断 $\text{Counter}(p_j) \leq q_j$ 是否成立. 若成立则分别从工作光路的可用波长集合和保护光路的可用波长集合中选择合适的波长分配给此连接请求对应的工作光路和保护光路, 同时 $\text{Counter}(p_j)$ 加一; 没有可用波长建立工作光路、没有可用波长建立保护光路或 $\text{Counter}(p_j) > q_j$, 这三种情况之一成立则此连接请求被阻塞. 可用波长集合中波长的选择可采用随机 (Random) 挑选方式, 也可使用首次命中 (First-Fit) 方式. 本文采用后一种方式, 按照波长编号选择符合条件的第一条空闲波长. (3) 刷新网络资源占用记录. (4) 转至步骤 3.

步骤 5: 优先级为 p_j 的光路连接结束后, 对应的计数器 $\text{Counter}(p_j)$ 减一, 释放其工作光路和保护光路占用的资源, 刷新网络资源占用记录, 然后转至步骤 3.

3 网络仿真和数据讨论

3.1 网络仿真设计

本文采用两种网络拓扑作为目标网络进行研究. 第一种拓扑是 4×4 规则格型网, 如图 1 所示. 第二种则是类似于中国教育与科研计算机网 (CERNET) (<http://www.edu.cn/>) 的不规则网络, 如图 2 所示. CERNET 中原本连接到清华大学的部分地区节点被改连到了北京大学和北京邮电大学, 共 10 个节点, 16 条链路, 方框中为节点的编号.

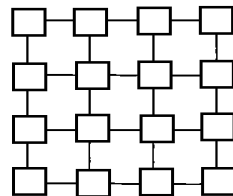


图 1 4×4 格形网拓扑

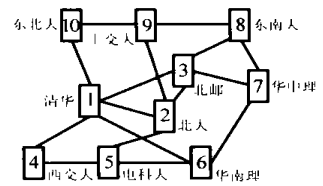


图 2 类 CERNET 网拓扑

10 个节点, 16 条链路

仿真时假定有五种不同的优先级, 分别为 $p_1 \sim p_5$, 以等概率分配给所有的光路连接请求. 不同优先级连接请求到达网络的平均速率服从参数 λ 的泊松分布, 即全网的总到达率为 λ . 全网所有节点对间的业务强度都相同, 即支持的业务为均匀业务. 光路连接请求的源-目的节点随机选定, 允许一对节点之间同时存在多条光路. 光路建立后的持续时间服从均值 $1/\mu$ 的指数分布. 网络业务量负载定义为 $\rho = \lambda/\mu$. 仿真时取定 $1/\mu = 100$ (时间单位), ρ 和 λ 则作为可变参数来研究. $\text{Block_Prob}(p_j)$ 表示优先级 p_j 的连接请求阻塞率. 由于波长路由算法是 FR 算法, 工作光路和保护光路的路由是事先已确定好的, 因此当工作光路没有可用波长、保护光路没有可用波长或工作光路和保护光路均没有可用波长时, 光路连接请求被拒绝 (或阻塞). 一旦连接请求被拒绝, 则立即被丢弃, 即无等待队列. 阻塞率是模拟 10^6 次光路连接请求后经统计得到的. 图 3~图 7 中的 WN 表示波长编号法, AQ 表示分配限额法, w 代表链路可提供的最大波长通道数, 20×1 代表每条链路包含一根 20 波长双向光纤, 10×2 表示每条链路包含两根

10 波长双向光纤.

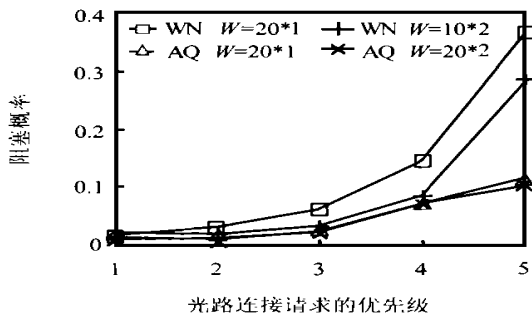


图 3 4 × 4 格型网业务量为 30 爱尔兰时各优先级连接请求的阻塞率

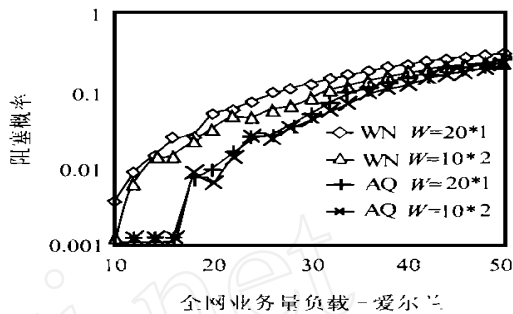


图 4 4 × 4 格型网业务量负载-链路光纤数-平均阻塞率关系曲线图

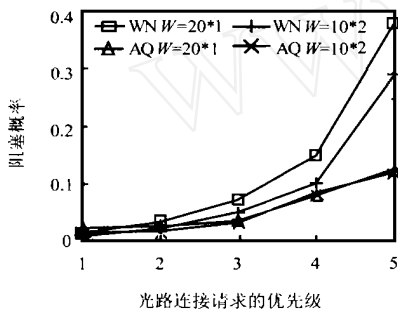


图 5 类 CERNET 网业务量为 30 爱尔兰时各优先级连接请求的阻塞率

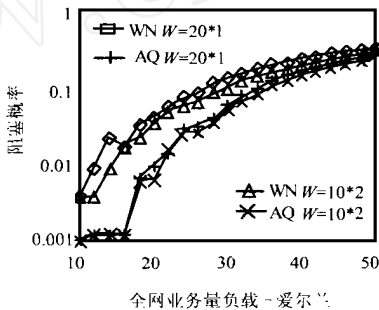


图 6 类 CERNET 网业务量负载-链路光纤数-平均阻塞率关系曲线图

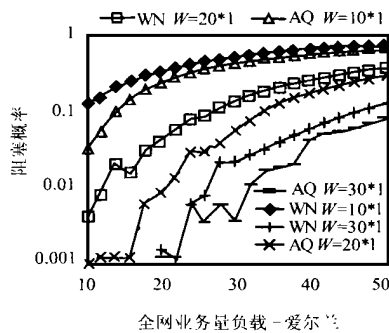


图 7 类 CERNET 网业务量负载-波长数-平均阻塞率关系曲线图

3.2 仿真数据和讨论

图 3 是 4 × 4 格型网在 = 30 爱尔兰、链路信道数为 20 时各优先级连接请求的阻塞率。从图中可以看出：(1) 采用 AQ 算法获得的高优先级的连接请求阻塞率略高于 WN 算法获得的阻塞率，而较低优先级的连接请求阻塞率则明显低于 WN 算法。(2) 当链路总信道数不变时，使用多光纤代替单光纤能改善网络性能。图 3 给出了使用双光纤代替单光纤时两种波长分配方法得到的各优先级连接请求的阻塞率。观察图 3 可以发现，多光纤代替单光纤对 WN 算法的性能影响明显大于 AQ 算法。原因可能是链路使用多光纤等效于使用了部分波长变换器^[7]，而 WN 算法的波长利用率没有 AQ 算法高(因为在 WN 算法中，属于 W_{p_i} 的波长只能被优先级为 $p_1 \sim p_i$ 的连接请求使用，而在 AQ 算法中，每一波长都可以被任何优先级的连接请求使用)，发生光路阻塞的可能性也高一些，所以有波长变换后阻塞率的改善更显著一些。图 4 给出了 4 × 4 格型网中使用 WN 算法和 AQ 算法得到的负载-链路光纤数-平均阻塞率曲线。从图 4 可以看出：(1) 网络的平均阻塞率随负载的增大而增大。(2) 链路使用多光纤代替单光纤后，WN 算法平均阻塞率的下降值普遍大于 AQ 算法。(3) 多光纤代替单光纤使平均阻塞率下降，改善程度在中等负载 ($20 \leq \leq 40$) 下较大，而在轻负载 (< 20) 和重负载 (> 40) 下较小。这与 WDM 网络引入波长变换器后阻塞率随负载变化的趋势一致^[8]，从侧面验证了多光纤代替单光纤等价于引入部分波长变换的观点。

仿真使用的另一种拓扑是类 CERNET 网，它是一种不规则的网状网。图 5、图 6 和图 3、图 4 中的曲线形状基本相似，从而说明前面得出的结论对其它形状的网状网同样适用。图 7 给出了链路信道数分别为 10、20、30 时，两种波长分配算法在不同负载下得到的平均阻塞率。图 7 显示：(1) 链路的波长信道数越多，平均阻塞率越低(因为各优先级连接请求的阻塞率都有所下降)。(2) 相同条件下 AQ 算法得到的平均阻塞率总是低于 WN 算法，原因是 AQ 算法有效地平衡了高、低优先级连接请求的阻塞率，使两者相差不是太悬殊，从而将平均阻塞率控制在较低的范围以内。

4 结论

本文提出了两种基于优先级的波长分配算法，并研究了动态业务下，抗毁 WDM 网络中使用这两种波长分配算法后网络的阻塞率性能，包括业务量负载、光纤链路的波长通道数和每条链路包含的光纤数，对各优先级连接请求的阻塞率和平均阻塞率的影响。得到的结论有：采用 AQ 算法获得的高优先级连接请求的阻塞率略高于 WN 算法获得的阻塞率，而较低优先级连接请求的阻塞率则明显低于 WN 算法，使得相同条件下 AQ 算法得到的平均阻塞率总是低于 WN 算法。在链路波长数不变的情况下，用多光纤代替单光纤能降低连接请求的平均阻塞率，改善程度在中等负载下较大，而在轻负载和重负载下较小。当链路的可用波长通道数增加时，两种波长分配方法的阻塞率均会大大下降。多光纤代替单光纤对 WN 算法性能的影响大于对 AQ 算法性能的影响。

参考文献:

- [1] S. Ramamurthy and Biswanath Mukherjee. Survivable WDM mesh networks, Part -Protection [A]. Proceedings of IEEE INFOCOM '99 [C], 1999.
- [2] S. Ramamurthy and Biswanath Mukherjee. Survivable WDM mesh networks, Part -Restoration [A]. Proceedings of IEEE ICC '99 [C], 1999.
- [3] Ezhan Karasan and Ender Ayanoglu. Performance of WDM transport networks. IEEE J. Selet. Areas. Commun. ,Sept. 1998 ,16(7) :1081 - 1096.
- [4] Sheng-Tzong Cheng. Backtrack routing and priority-based wavelength assignment in WDM networks. Computer communications ,April 1999 :1 - 10.
- [5] A. Birman and A. Kershenbaum. Routing and wavelength assignment methods in single-hop all-optical networks with blocking [A]. Proceedings of IEEE INFOCOM '95 [C], 1995.
- [6] Suresh Subramaniam and Richard A. Barry. Wavelength assignment in fixed routing WDM networks [A]. Proceedings of IEEE ICC '97 [C], 1997.
- [7] Mbkhtar A ,et al. Adaptive wavelength routing in all-optical networks. IEEE/ ACM Trans [J]. Networking ,1997 ,6(2) :197 - 206.
- [8] K. R. Venugopal ,E. Ezhil Rajan and P. Sreenivasa Kumar. Impact of wavelength converters in wavelength routed all-optical networks [J]. Computer communications ,April 1999 :224 - 257.

作者简介:



李乐民 (见本期第 23 页)

王 焯 1974 年出生,1998 年获电子科技大学信号与信息处理硕士学位。同年春季开始在电子科技大学光纤通信国家重点实验室攻读通信与信息系博士学位。研究兴趣主要在 WDM 网络生存性、波长路由和分配算法、波长变换器对光传输网络性能的影响等方面。

2001 年全国散射与逆散射、电磁兼容学术会议 征文通知

中国电子学会天线分会天线理论、电磁散射与逆散射专业委员会成立十周年学术研讨会和 2001 年全国电磁兼容学术会议定于 2001 年 9 月 16 日至 23 日在武汉市华中师范大学联合举行。现将征文有关事项通知如下:

一、征文范围及要求

天线理论与技术
移动通信中的智能天线
·GPS 天线与微带天线
电磁散射与目标 RCS
·目标识别与成像
·计算电磁学与数值方法
遥感与电磁探测
瞬变电磁场
隐射与反隐射
随机媒质与粗糙表面散射
·复杂非均匀媒质中的散射
涂层目标散射
小波理论及分形理论应用

散射体的极化特征

地质——电磁学与生物——电磁学
·计算机通信网络及无线互联网通信技术
·卫星移动通信及组网技术
·多媒体信息和数字图像信息传输
·电磁兼容性新理论
·新技术、新材料
·电磁兼容性分析与预测
·EMC 计算机模拟与仿真
·微波暗室、吉赫横电磁波传输装置、开阔场
·移动通信中的电磁干扰及抑制措施
·移动通信设备的电磁危害、防护及

测试方法

·电磁环境测量方法及测试仪表
·电磁场对人体、设备及燃油的危害
·核电磁脉冲、雷电的危害、防护及测试技术
·强电系统的电磁兼容性问题
·静电防护、屏蔽及接地技术
·电磁兼容性结构设计、标准、规范
·系统电磁环境可行性评估
·电磁波吸收和吸波材料
·智能化天线电测量与智能化大楼
·电磁新技术的应用
·其他电磁散射与电磁兼容问题

论文用 Word 6.0 编排,用 A4 稿纸激光打印,版芯尺寸为 170 × 245mm²,不超过 4 面,录用后再寄软盘。

二、截稿日期:2001 年 5 月 10 日(以邮戳为准)

录用通知:2001 年 6 月 5 日(寄出)

三、会议承办单位:华中师范大学

通信地址:湖北·武昌,广阜屯,华中师范大学物理系(邮编:430079)

联系人:徐鹏根,杨河林,马宁

电话:027-87882347(徐鹏根),87675140(华师大物理系办公室杨河林)

87878887(华师大物理系办公室马宁) E-mail:pgxu@Whu.edu.cn