

用于波导阵列——光纤阵列自动对接的 多目标演化算法的研究*

张晓微¹, 陈抱雪^{1, **}, 隋国荣¹, 陈林², 傅长松², 袁一方¹, 矾守³

(1 上海理工大学, 上海 200093)

(2 上海第二工业大学, 上海 201209)

(3 东京农工大学 应用化学系, 日本 东京 184-8588)

摘 要:开发设计了一种新的列阵自动对接方法, 该方法将多目标演化法导入光纤—光波导阵列—光纤阵列的自动对接, 并行操作次数较常规遗传法大幅减少. 数值仿真表明, 对于模场非对称因子为 0.4% 的单模波导阵列与光纤阵列的双芯对接, 能实现 0.04 dB 的平均端面耦合损耗. 用于 1×8 波导分支耦合器与通道间距误差在 0.35 μm 以内的光纤阵列对接, 自动耦合仿真达到了小于 0.1 dB 的平均端面耦合损耗, 最大值与最小值的差小于 0.06 dB.

关键词:光波导技术; 自动对接; 端面耦合; 光纤阵列; 多目标演化算法

中图分类号: TN252

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2008)03-0460-6

0 引言

光纤到户接入网^[1-2]大量使用 1×N 光波导功分器^[3-5], 器件封装过程包括输入/输出光纤分别与波导分支耦合器输入/输出端的调芯对接耦合、端面粘结剂的固化以及装盒闭封等工艺流程. 器件评价包括基本光学特性、机械特性和耐环境变动特性等, 其中基本光学特性指标是插入损耗、N 路输出功率的均匀性、偏振依赖损耗(PDL)等三项. 分立元件之间的对接同时涉及输入/输出两端、多通道以及亚微米准确度的操作, 因此手动效率低、重复性差, 通常采用自动对接的方法. 常规的多通道列阵自动调芯沿袭人工操作的思路, 基本特征是单通道自动调芯^[6-11]结合角度自动调整, 一次自动调芯需十几分钟. Murakawa^[12]以及笔者等^[13]开发的遗传法自动调芯系统, 初调通光实现了自动化, 对人的依赖大幅减少. 但是, 遗传法操作量大, 一次自动调芯也需费时数十分钟^[14]. 为解决这一问题, 本文提出了一种新的基于多目标演化算法的列阵对接自动调芯方案, 其特点是每代遗传种群只需更换两个个体, 若种群大小为 M, 则并行操作次数是常规遗传法的 2/M, 大大提高了效率.

1 波导阵列与光纤阵列端面耦合的原理

光通信系统中通常遇到的是单模波导阵列和单模光纤阵列之间的对接, 在对接端面, 通过本征模之

间的功率耦合实现载波传输. 波导与光纤之间填满了对工作波长吸收小且折射率匹配的待固化粘结剂, 端面反射接近 -50 dB, 可以忽略, 单芯端面耦合效率理论上表现为熟知的导模场分布间的重叠积分. 不失一般性, 设条波导的光轴沿 Z 方向, 光纤光轴与条波导光轴间有一个角度偏差 θ_0 , 两光轴心在垂直于 Z 轴方向上有偏差 x_0 , 光纤端面和波导端面沿 Z 轴方向的间距为 z_0 , 考虑到光波导制造工艺中一些不可预测的因素导致波导模场分布的不对称, 用 W_{x0} 和 W_{y0} 分别表示单模波导导模在 X 和 Y 方位上的束腰, 光纤模的束腰为 W_{f0} . 单芯端面耦合效率 η 可表示为^[10]

$$\eta = \eta_x \cdot \eta_y \tag{1a}$$

$$\eta_x =$$

$$\frac{2(A^2 + B^2) \exp(2Q^2) \exp\left[-\frac{2(z_0\theta_0 + x_0)^2}{W_f^2(z_0)}\right]}{W_f(z_0)W_{x0}} \tag{1b}$$

$$\eta_y = \frac{2}{\left[\left(\frac{W_{f0}}{W_{y0}} + \frac{W_{y0}}{W_{f0}}\right)^2 + \left(\frac{2z_0}{kW_{f0}W_{y0}}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}} \tag{1c}$$

式中

$$A = \exp(-R^2)[M \cos(2QR) + N \sin(2QR)] \tag{2a}$$

$$B = \exp(-R^2)[N \cos(2QR) - M \sin(2QR)] \tag{2b}$$

$$Q = \frac{z_0\theta_0 + x_0}{W_f^2(z_0)}M + \frac{k}{2}\left(\frac{z_0\theta_0 + x_0}{R_f(z_0)} - \theta_0\right)N \tag{2c}$$

$$R = \frac{k}{2}\left(\frac{z_0\theta_0 + x_0}{R_f(z_0)} - \theta_0\right)M - \frac{z_0\theta_0 + x_0}{W_f^2(z_0)}N \tag{2d}$$

* 国家自然科学基金(60677023)、上海市科技发展基金(041111040)和上海市重点学科建设(T0501)资助

** Tel: 021-65682752 Email: bxchen@online.sh.cn

收稿日期: 2006-11-06

$$M = \left[\begin{array}{c} \sqrt{\left(\frac{1}{W_f^2(z_0)} + \frac{1}{W_{x0}^2}\right)^2 + \frac{k^2}{4R_f(z_0)}} + \\ 2\left[\left(\frac{1}{W_f^2(z_0)} + \frac{1}{W_{x0}^2}\right)^2 + \right. \\ \left. \frac{\left(\frac{1}{W_f^2(z_0)} + \frac{1}{W_{x0}^2}\right)}{\frac{k^2}{4R_f(z_0)}}\right] \end{array} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2e)$$

$$N = \left[\begin{array}{c} \sqrt{\left(\frac{1}{W_f^2(z_0)} + \frac{1}{W_{x0}^2}\right)^2 + \frac{k^2}{4R_f(z_0)}} - \\ 2\left[\left(\frac{1}{W_f^2(z_0)} + \frac{1}{W_{x0}^2}\right)^2 + \right. \\ \left. \frac{\left(\frac{1}{W_f^2(z_0)} + \frac{1}{W_{x0}^2}\right)}{\frac{k^2}{4R_f(z_0)}}\right] \end{array} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2f)$$

$$W_f(z) = W_{f0} \sqrt{1 + \left(\frac{2z}{kW_{f0}}\right)^2} \quad (2g)$$

$$R_f(z) = z \left[1 + \left(\frac{kW_{f0}^2}{2z}\right)^2 \right] \quad (2h)$$

式中, k 是光波在波导与光纤之间的介质中的波数, 与介质的折射率有关, 反映了粘结剂的介电影响. 耦合效率 η 随 θ_0 、 z_0 和 x_0 的减小而增大, 当 θ_0 、 z_0 和 x_0 为零时, 有最大耦合效率

$$\eta_{\max} = \frac{4}{\left(\frac{W_{f0}}{W_{x0}} + \frac{W_{x0}}{W_{f0}}\right)\left(\frac{W_{f0}}{W_{y0}} + \frac{W_{y0}}{W_{f0}}\right)} \quad (3)$$

此时若波导与光纤的模场分布完全相同, 理论上式(3)给出 100% 的端面耦合效率.

多通道列阵耦合在原理上是上述单芯耦合的推广, 由于实际的波导列阵和光纤列阵不可能做到所有通道都同时获得最高的耦合效率, 实用的折中办法是采用两个指标对调芯结果进行权衡评价, 一个是所有通道的插入损耗之和是否足够小, 另一个是所有通道中插入损耗最大值与最小值之差是否足够小, 后者被用来定义均匀性.

现多通道列阵调芯多采用如图 1 的双芯调芯的方法, 1×8 波导分支耦合器与光纤列阵对接耦合时, 取第 2 和第 7 路通道(亦可以是相隔一定距离的其它两路通道)的输出作为采样信号, 其它通道的对接耦合靠分立器件各通道几何位置的准确度来保证.

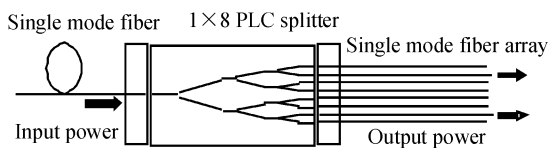


图 1 1×8 波导 Splitter 与光纤列阵的对接耦合

Fig.1 Alignment between 1×8 PLC splitter and fiber array

多芯列阵端面的平行度通过使用液珠监测方法^[10]保证. 两列阵端面间的间隔是通过显微监测、

步进驱动来控制, 最小步长为 $0.05 \mu\text{m}$, 通过监测液珠的挤展状态可控制间隔在 $3 \mu\text{m}$ 之内. 双芯自动调芯涉及的空间维数为五维, 分别是处于波导芯片输入端一侧的、调整输入光纤芯位置的 X 轴和 Y 轴, 以及如图 2. 那样处于波导芯片输出端一侧的、调整光纤列阵的定位光纤芯位置的 X 轴、 Y 轴和用于调整光纤阵列转角的 θ_z 转轴.

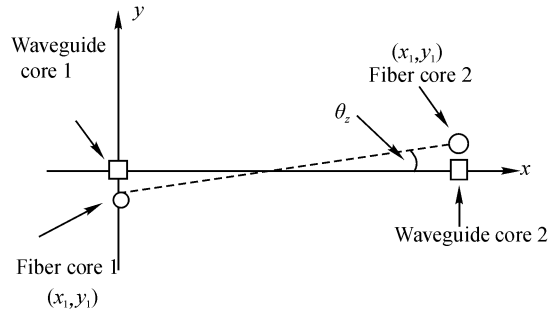


图 2 波导芯与光纤列阵芯的耦合位置

Fig.2 The alignment position of two channel alignment

2 多目标演化算法的导入

列阵对接自动调芯涉及的是一个多目标优化问题, 既要求各个通道有高的耦合效率, 又希望各通道耦合效率之间有良好的均匀性. 由于分立的列阵器件不可避免地存在通道间隔误差, 实际调芯时, 两个目标的实现过程常常是互相冲突的, 不可能同时得到满足. 两个指标中何重何轻由加权左右, 权重比例的合理设定至今仍是一件困难事情. 导入多目标演化算法, 可以大幅度简化遗传迭代步骤, 并在实现多个目标的优化过程中不涉及人为的权重设定, 提高了可操作性和合理性. 本工作考虑的多目标演化算法是一种基于稳定淘汰策略^[15]的、多目标进化的非劣解集算法, 采用无支配排序规则对种群中的每个个体分配 Pareto 秩(Pareto rank), 个体按 Pareto 秩号分类后, 对具有相同秩号的所有个体算出其拥挤距离(Crowding distance), 低 Pareto 秩号的个体意味着更趋近多个目标的综合要求, 大拥挤距离的个体意味着更富多样性. 与传统遗传算法相比, 本方法不采用建立包含多个加权目标的单一适应度函数来评价种群中的个体, 而是按个体的 Pareto 秩号及其拥挤距离的大小决定淘汰顺序, Pareto 秩小且拥挤距离大的个体被赋予更多的繁衍机会.

为了提高收敛速度, 寻优过程结合了多父代交叉^[16]和蚁群爬山法两个启发式. 对 M 个亲代个体先用多父代交叉方法产生一个新的后代个体, 组成一个 $M+1$ 个个体的中间群体, 按个体的 Pareto 秩号及其拥挤距离的大小淘汰一个末位个体后, 再用实值变异方法产生一个新的后代个体, 按相同判据淘汰一个末位个体, 由此得到由 M 个个体组成的下

一代种群. 显然, 此方法付诸实用时, 对每一代进化只需做两个个体的机器操作, 操作量较传统遗传算法大幅减少, 可显著提高自动调芯的效率.

导入多目标演化算法机理需要解决演化算法基因模型与实际调芯过程的映射, 用演化算法模型中的个体概念描述实际调芯时波导光轴与光纤光轴之间某个空间相对方位; 种群概念反映了所考虑的所有空间相对方位的集合. 本方法采用实数编码方案, 不仅避免了二进制编码处理连续函数时存在的准确度与搜索空间之间的矛盾, 而且计算速度大大提高, 因此用含有多个决策变量的实数数组来表示染色体, 相当于物理空间的坐标. 调芯过程期望达到的两个指标分别作为两个目标函数值.

取图 1 所示 1×8 波导分支耦合器与光纤列阵的对接耦合为例, 自动调芯涉及的空间维数是五维. 一般地, 在显微监视操作下, 波导光轴与光纤光轴间的初始偏差容易控制在 $50 \mu\text{m}$ 之内, 由此确定每个移动轴参量的变化范围为 $[-50 \mu\text{m}, 50 \mu\text{m}]$. 取波导输出列阵和光纤列阵的芯间距为常规的 $250 \mu\text{m}$, 以第 2 和第 7 路光纤为采样光纤, 则第 2 和第 7 通道的芯间距为 $1250 \mu\text{m}$, 并取图 2 的 θ_z 角的搜索范围为 $\pm 5^\circ$.

上述空间五维对应于演化算法的 5 个决策变量, 一组五维的决策变量构成一个个体 U_i , 通过建立 M 个个体的集合形成种群, 每个个体在调芯过程中对应产生相应的耦合效率, 将耦合效率转化为上述两个目标函数值进行评价. 均匀性直接用两个采样信号功率的差值来表示. 两个目标函数分别用式 (4) 和 (5) 定义

$$f_1(U_i) = -[P_1(U_i) + P_2(U_i)] \quad (4)$$

$$f_2(U_i) = |P_1(U_i) - P_2(U_i)| \quad (5)$$

式中 P_1 和 P_2 分别是调芯位置处于由个体 U_i 规定的空间方位时、由两个采样通道测得的输出光功率, 它们与输入光功率的比值采用分贝表示时即为插入损耗. 显然 P_1 和 P_2 愈大, 目标函数 f_1 愈小; P_1 与 P_2 的差异愈小, 目标函数 f_2 愈小.

种群中所有个体的 Pareto 秩的分配规则^[17]是: 设所考察的个体为 U_i , 若与另一个体 $U_{j \neq i}$ 存在如下目标函数值关系

$$f_1(U_i) > f_1(U_{j \neq i}), f_2(U_i) \geq f_2(U_{j \neq i}) \quad (6)$$

则个体 U_i 的 Pareto 秩号增加 1, 否则秩号增量为 0. 通过与 U_i 以外的所有个体逐个比较, 累计得到个体 U_i 的 Pareto 秩号值. 如此考察过程遍及所有个体, 完成种群的个体按 Pareto 秩号的分类. 显然, 式 (6) 的判据以及秩号分配规则保证了低 Pareto 秩号的个体更具备双目标同时优化的倾向. 对种群中具

有相同秩号的个体, 按以下规则^[18]计算拥挤距离: 把相同秩号下的 k 个个体 U_i 按

$$f_1(U_m) < f_1(U_{m+1}) \quad (m = 1, 2, \dots, k-1) \quad (7)$$

$$f_2(U_n) < f_2(U_{n+1}) \quad (n = 1, 2, \dots, k-1)$$

的顺序分别用过渡性的 m 下标和 n 下标排列, 算出

$$d_1(U_m) = \begin{cases} \infty \\ \frac{f_1(U_{m+1}) - f_1(U_{m-1})}{f_1(U_k) - f_1(U_1)} \end{cases} \quad (m \neq 1 \text{ or } k) \quad (8a)$$

$$d_2(U_n) = \begin{cases} \infty \\ \frac{f_2(U_{n+1}) - f_2(U_{n-1})}{f_2(U_k) - f_2(U_1)} \end{cases} \quad (n \neq l \text{ or } k) \quad (8b)$$

再将 m 下标排列和 n 下标排列分别对应回复到原来的 i 下标排列, 于是每个个体 U_i 由此得一对 $d_1(U_i)$ 和 $d_2(U_i)$. 个体 U_i 的拥挤距离定义为

$$d(U_i) = d_1(U_i) + d_2(U_i) \quad (9)$$

上述过程遍历种群中所有个体. 显然, 这里的拥挤距离是指由两个目标维数决定的两维空间中、种群中的某个被考察个体与其同秩号相邻个体之间的空间距离的估算. 拥挤距离大的个体, 它的两个目标函数值与同秩号相邻个体的两个目标函数值的差异大, 因此对种群中同秩号个体的多样性贡献大. 物理上, 多样性有助于调芯过程避免陷入次优的局部收敛. 总之, 对于种群中的任意两个个体, 秩号小的个体优于秩号大的个体; 对于秩号相同的两个个体, 拥挤距离大的个体优于拥挤距离小的个体. 至此用 Pareto 秩和拥挤距离两个参量完成了对一代种群中所有个体的评价.

种群的遗传由交叉、变异和淘汰等三个步骤来完成. 交叉和变异影响进化是否收敛、以及收敛的速度. 参与交叉的个体愈多, 进化收敛至最优的可能性愈大; 参与交叉的个体的优劣评价愈排前, 收敛速度愈快. 为此采用多父代交叉^[16], 从当前大小为 M 的种群中选择 m 个评价排前的个体, 由以下的交叉操作

$$U_0 = \sum_{i=1}^m a_i U_i \quad (10)$$

得到一个新个体 U_0 , 这里权重系数满足

$$\sum_{i=1}^m a_i = 1 \quad (-0.5 \leq a_i \leq 1.5) \quad (11)$$

的关系. 新个体 U_0 与原 M 个个体构成一个大小为 $M+1$ 的过渡种群, 算出新个体 U_0 的 Pareto 秩以及拥挤距离, 按这两个指标淘汰末位个体后, 重新得到一个大小为 M 的新种群. 为了进一步增加种群多样性和加快收敛速度, 再做实值变异操作, 从新种群中随机选取一个个体, 通过实值变异, 增加一个在父个体附近的新个体, 再次构成大小为 $M+1$ 的过渡种群. 类似地通过计算、比较 Pareto 秩以及拥挤距离,

淘汰末位个体后,方得一个大小为 M 的下一代种群.采用如此的蚁群爬山法,通过一代一代的交叉、变异、稳定淘汰等基因操作,不断进化,直至收敛于最佳耦合位置.

3 数值仿真及其结果

以图 1 给出的对接系统作为仿真模型,采样光纤是第 2 和第 7 通道,为了突出端面耦合效率,不失一般性,忽略 1×8 波导分支耦合器的传输损耗、弯曲损耗和 Y 分支耦合损耗,这个模型在端面耦合效率达 100% 的理想情况下,波导分支耦合器各通道的插入损耗等于 9.031 dB 的 1 分 8 原理损耗.取 1 550 nm 波长下常规单模光纤的束腰 $W_{f0} = 5.63 \mu\text{m}$,石英单模条波导的模场非对称因子 $\alpha = 1 - (W_{x0}/W_{y0})$ 一般在 0.1% 量级,这里按 0.4% 取相对折射率差 $\Delta = 0.3\%$ 的石英单模条波导的束腰 $W_{y0} = 5.63 \mu\text{m}$ 、 $W_{x0} = 5.61 \mu\text{m}$,输入光功率为 0. 初始种群用完全随机的方法产生,种群大小为 30.

为了把握多目标演化调芯过程的收敛特性,先考虑光纤阵列和波导阵列的芯间隔均为 $250 \mu\text{m}$ 的理想情况,第 2 和第 7 采样光纤之间的间距为 $1 250 \mu\text{m}$.做了 10 次重复仿真,每次遗传 100 代,初始种群采用随机方法生成.仿真结果列于表 1,两芯插入损耗平均值为 9.071 dB,扣除原理损耗,端面耦合损耗平均值约为 0.04 dB.由于设定了光纤和波导的通道间距相等,均匀性误差为 0.图 3 给出了其中一次仿真的收敛进程,早期收敛非常迅速,大约经过 30 代进化即可进入小于 9.2 dB 的区域,搜索效率和收敛性都很好.

实际产品中,列阵间距的精密控制较困难,表 2 给出了用列阵芯距测试仪实测的一个石英基板 V 形槽 8 芯光纤阵列的芯中心的位置分布数据,与

表 1 理想间距的光纤阵列与波导阵列双芯对接耦合仿真结果

仿真次数	进化代数	收敛时最佳个体对应的两芯插入损耗/dB	
		插入损耗/dB	
		芯 2	芯 7
1	100	9.062	9.062
2	100	9.064	9.064
3	100	9.064	9.064
4	100	9.063	9.063
5	100	9.092	9.092
6	100	9.099	9.099
7	100	9.071	9.071
8	100	9.063	9.063
9	100	9.072	9.072
10	100	9.062	9.062
平均		9.071	9.071

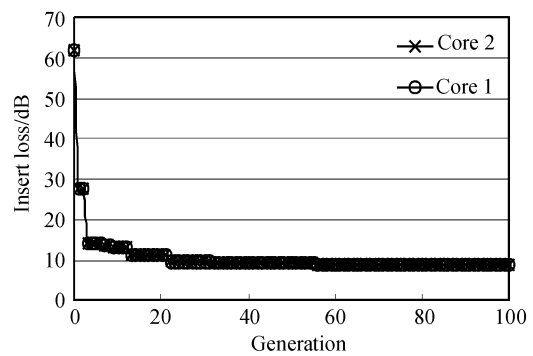


图 3 多目标演化算法调芯数值仿真进程曲线
Fig. 3 Process characteristic of mimic alignment based on multi-objective evolutionary algorithm

表 2 8 芯光纤阵列芯中心位置实测值

通道序数	X 轴位置/ μm	Y 轴位置/ μm
1	-250.32	-0.01
2	0	0
3	249.76	-0.32
4	499.86	0.12
5	749.94	-0.02
6	999.82	0.11
7	1250.64	0.19
8	1499.89	0.30

$250 \mu\text{m}$ 理论间距比较,最大误差 $< 0.35 \mu\text{m}$.

结合实际情况,用表 2 的实测数据替代理想光纤阵列,做了多目标演化算法的双芯自动对接仿真,表 3 归纳了 10 次仿真的结果,进化 100 代时对应的通道 2 和通道 7 的插入损耗的平均值分别是 9.109 dB 和 9.149 dB.与理想情况相比,分别增加了 0.038 dB 和 0.078 dB,反映了光纤阵列芯距误差的影响.

表 3 实测光纤阵列与波导阵列双芯对接耦

仿真次数	进化 100 代时对应的两芯插入损耗/dB	
	芯 2	芯 7
1	9.103	9.162
2	9.115	9.137
3	9.104	9.151
4	9.135	9.113
5	9.106	9.163
6	9.103	9.165
7	9.104	9.163
8	9.105	9.149
9	9.104	9.157
10	9.115	9.125
平均	9.109	9.149

选择表 3 中第 1 次仿真得到的耦合位置,计算了 8 个通道的插入损耗,结果示于图 4.8 个通道的插入损耗的平均值为 9.119 dB,扣除原理损耗,端面耦合损耗平均值约为 0.088 dB,表征均匀性指标的最大值与最小值的差为 0.059 dB,满足实用要求.上述结果为进一步开发多目标演化算法阵列对

接自动调芯系统提供了理论依据。

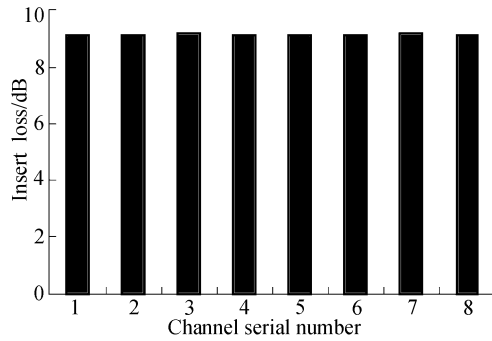


图4 8个通道的插入损耗

Fig. 4 Insertion loss of the 8 channels

4 结论

在波导端面耦合、波导阵列与光纤阵列对接耦合原理的理论分析基础上,提出了一种适用于阵列调芯对接的多目标演化算法自动调芯方案,若种群大小为 M ,与常规遗传法自动调芯比较,操作次数减少到 $2/M$,而且无需人为参与目标权重的设定,显著提高了可操作性和调芯效率.模场非对称因子为0.4%的单模波导阵列与光纤阵列的双芯对接仿真达到了0.04 dB的平均端面耦合损耗,1×8波导分支耦合器与通道间距误差在0.35 μm以内的光纤阵列的对接模拟的结果达到了小于0.1 dB的平均端面耦合损耗,最大值与最小值的差小于0.06 dB,证实了该方案有良好效果,在原理上具备可行性。

参考文献

- [1] LI Yong, NIU Hai-ming. The new development and trend of FTTH[J]. *Study on Optical Communication*, 2004(2): 8-10.
李勇, 钮海明. FTTH的最新进展与趋势光通信研究[J]. 光通信研究, 2004(2): 8-10.
- [2] STEPHEN H. China weighs FTTH options[J]. *Lightwave*, 2005, 22(10): 8-8.
- [3] BABY A, DHANAVANTRI C, PACHAURI J P, et al. Silicon-silicon based 1×N optical splitter: design, fabrication and characterization [J]. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 2005, 12(1): 12-16.
- [4] GAMET J. Field matching Y-branch for low loss power splitter[J]. *Opt Commun*, 2005, 248(4/6): 423-430.
- [5] WANG Lei, WANG Bin, WU Xing-kun. Statistical analysis of cascaded PLC-based PMD compensator with PDL [J]. *Acta Photonic Sinica*, 2005, 34(9): 1380-1384.
王磊, 王斌, 吴兴坤. 基于PLC的PMD补偿器中PDL效应的分析[J]. 光子学报, 2005, 34(9): 1380-1384.
- [6] MURPHY E J. Fiber-waveguide self alignment coupler; US, 4639074[P]. 1987-01-27.
- [7] HAN Xiu-you, PANG Fu-fei. Performance analysis of planar curved waveguide coupler[J]. *Acta Photonic Sinica*, 2005, 34(11): 1629-1632.
韩秀友, 庞拂飞. 平面弯曲波导耦合器的特性分析[J]. 光子学报, 2005, 34(11): 1629-1632.
- [8] GERMANN R, HORAK D V, SEKIGUCHI A. Self-aligned optical waveguide to optical fiber connection system; US, 6819841[P]. 2004-11-16.
- [9] CHEN Bao-xue, LONG Cai-hua, SHA Hui-jun. Automatic alignment between waveguide and fiber based on centroid arithmetic; China, ZL03129249. 6[P]. 2003-12-24.
陈抱雪, 龙彩华, 沙慧军. 波导-光纤自动对接的质心调芯法; 中国: ZL03129249. 6[P]. 2003-12-24.
- [10] LONG Cai-hua, CHEN Bao-xue, SHA Hui-jun, et al. Study on fiber-waveguide automatic alignment system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, 24(4): 442-447.
龙彩华, 陈抱雪, 沙慧军, 等. 光纤-波导自动调芯系统的研究 [J]. 光学学报, 2004, 24(4): 442-447.
- [11] SHA Hui-jun, CHEN Bao-xue. Research of fiber-waveguide automatic alignment system [J]. *Acta Photonic Sinica*, 2005, 34(12): 1773-1777.
沙慧军, 陈抱雪. 光波导-光纤耦合对接自动化系统的研究 [J]. 光子学报, 2005, 34(12): 1773-1777.
- [12] MURAKAWA M, NODA Y, HIGUCHI T. An automatic fiber alignment system using genetic algorithms [J]. *Systems & Computers in Japan*, 2004, 35(11): 80-90.
- [13] SHA Hui-jun, CHEN Bao-xue, CHEN Ling, et al. The study of fiber-waveguide automatic alignment system based on genetic algorithm [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2005, 26(11): 1109-1113.
沙慧军, 陈抱雪, 陈林, 等. 基于遗传算法的光波导-光纤自动调芯系统的研究 [J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(11): 1109-1113.
- [14] SUN Rong-xia, CHEN Bao-xue, SUI Guo-rong, et al. Automatic alignment between waveguide array and fiber array based on genetic algorithm [J]. *Optical Technique*, 2006, 32(4): 533-536.
孙蓉霞, 陈抱雪, 隋国荣, 等. 波导阵列与光纤阵列的遗传算法自动对接 [J]. 光学技术, 2006, 32(4): 533-536.
- [15] CHEN Wen-ping, KANG Li-shan. A new multi-objective evolutionary algorithm: steady elimination evolutionary algorithm [J]. *Journal of Wuhan University (Natural Science Edition)*, 2003, 49(1): 33-38.
陈文平, 康立山. 基于多父体杂交的多目标演化优化算法 [J]. 武汉大学学报(理学版), 2003, 49(1): 33-38.
- [16] CHEN Wen-ping, KANG Li-shan. Multi-parent-crossover based evolutionary multi-objective optimization [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2003, 39(10): 79-82.
陈文平, 康立山. 基于多父体杂交的多目标演化优化算法 [J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(10): 79-82.
- [17] CARLOS F, PETER J F. Multiobjective optimization and multiple constraint handling with evolutionary algorithms part i: a unified formulation [J]. *IEEE Trans Systems*, 1998, 28(1): 26-37.
- [18] DEB K, AGRAWAL S, PRATAP A, et al. A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II [C]. Proceedings of the Parallel Problem Solving from Nature VI Conference, 2000: 849-858.

Study of Multi-Objective Evolutionary Algorithm Applied to Waveguide Array-Fiber Array Automatic Alignment System

ZHANG Xiao-wei¹, CHEN Bao-xue¹, SUI Guo-rong¹,

CHEN Lin², FU Chang-song², YUAN Yi-fang¹, MAMORU Iso³

(1 College of Optics and Electron Information Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

(2 Shanghai Second Polytechnic University, Shanghai 201209, China)

(3 Department of Chemical Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology, Tokyo 184-8588, Japan)

Received date: 2006-11-06

Abstract: A new method for array alignment is designed, which employed multi-objective evolutionary algorithm in automatic alignment among fiber, waveguide splitter and fiber array. Compared to the conventional genetic algorithm, when using this algorithm, the number of parallel operation can be reduced largely. According to the results of the mimic experiments, as the alignment between single mode waveguide array and fiber array is considered, when the mode field's asymmetrical factor of the single mode waveguide array is 0.4%, the average transverse coupling loss can be 0.04 dB. If the waveguide splitter is a 8-channel splitter and the channel spacing error of the fiber array is within 0.35 m, the results of the mimic experiments of the auto-alignment shows that the average transverse coupling loss can be controlled below 0.1 dB, and the max loss-min loss among the 8-channel is below 0.06 dB.

Key words: Waveguide technique; Auto-aligning; End-coupling; Fiber array; Multi-objective evolutionary algorithm



ZHANG Xiao-wei was born in 1982. Now she is working for her Master's degree at College of Optics and Electron Information Engineering, University of Shanghai for Science and Technology. Her main research interests focus on automatic alignment system and testing system used in optical communication.