

单模光纤耦合的计算及其软件技巧^{*}

傅思镜 陈颖宇 郑文耀 梁丽贞 曹惠英

(中山大学物理学系, 广州 510275)

摘 要 介绍了理论演算与工程数据相结合计算单模光纤耦合率的方法及其软件技巧, 使用此方法取得较精确的计算结果.

关键词 单模光纤, 耦合率

分类号 TN 25, TP 391

单模光纤耦合器在光纤光放大器、光纤激光器、光纤波分复用器以及进入千家万户的光纤用户网等方面有普遍的、不可缺少的实际应用. 它的突出优点是在目前使用的光纤通信系统中连接特别方便, 插入损耗非常低, 可以达到 1 dB 以下. 然而, 单模光纤的耦合的计算在理论上是一件非常复杂和艰难的工作. 我们采取了理论演算与工程数据相结合的计算方法, 既保证了计算的精确性又克服了繁琐费时多的缺点, 并在软件技巧上采取了混合编程的措施.

1 计算方法简述

讨论 2 根弯曲单模光纤耦合的情况. 参数相同的 2 根互相平行的单模光纤的位置关系如图 1 所示. 设定 2 根光纤最接近处 $z = 0$, 其距离为 h_0 , 随着 z 的变化, 2 根光纤的轴线间距离 $h(z)$ 不断变化, 2 根光纤的弯曲半径为 R . 2 根光纤沿互作用区域光功率的分布为 $P_1 = P_0 \cos^2(Cz)$, $P_2 = P_0 \sin^2(Cz)$, 其中, P_0 是 $z = 0$ 处激发进光纤 1 中的光功率, P_1 和 P_2 分别为沿互作用区域 2 光纤中的功率, C 是 2 单模光纤 HE_{11} 模式的耦合系数, C 的数值与 2 个模式场分布的空间重叠有关^[1], 为

$$C = \left(-\frac{kX_0}{4P_0} \right) \iint_{-\infty}^{\infty} (n^2(x, y) - n_2^2) E_1^* \cdot E_2 dx dy \quad (1)$$

式中, $n(x, y)$ 是光纤纤芯折射率分布, n_2 是包层或周围折射率匹配物质的折射率, E_1 和 E_2

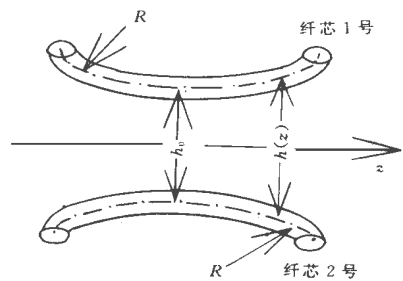


图 1 光纤耦合器中 2 根纤芯的位置

Fig. 1 The locations of two fiber cores in the optical fiber coupler

* 广东省自然科学基金 (960025) 资助项目

收稿日期: 1997-05-28 傅思镜, 男, 51 岁, 副教授

是相互作用的 2 个模式的场分布, k 是光信号的角频率.

对于弱导行阶跃折射率分布的单模光纤, (1) 式的计算结果为^[2]

$$C = \frac{\lambda^{-2} K_0(Wh(z)/T)}{2\pi n_1 (VT)^2 K_1^2(W)} \quad (2)$$

式中, T 是纤芯半径, n_1 是纤芯折射率, λ 是传输光波长, $K_\nu(x)$ 是第二类虚宗量贝塞尔函数, V 是光纤的归一化频率

$$V^2 = U^2 + W^2 \quad (3)$$

由图 1, 对于 $z \ll R$ 的情况, $h(z)$ 可近似为 $h(z) = [(h_0 + z^2/R)^2 + Y^2]^{1/2}$. 式中, R 是光纤轴线的曲率半径, Y 是 2 根光纤垂直纸面的位移.

要确定 (3) 式的 W (或 U) 需解基模 HE_{11} (LP_{01}) 的本征值方程

$$(U) J_0(U) = WK_1(W) / K_0(W) \quad (4)$$

这是 1 个超越方程, 需很复杂的数值计算, 于实际工程应用不便, 故工程计算常采用如下近似式^[3]

$$W \approx 2.7484\lambda_c - 0.9960 \quad (5)$$

$$\lambda_c = \pi T N_A / 1.202, \quad \lambda_0 / \lambda_c = 2.405 / V > 1 \quad (\text{单模传输条件})$$

$$U = (V^2 - W^2)^{1/2} \quad (1 < V < 3 \text{ 范围内误差不超过 } 1\%)$$

式中, λ_c 是单模光纤的截止波长, N_A 是光纤的数值孔径 [$N_A = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$].

由于耦合长度和 z 有关, 故定义有效作用长度 L_e 由下式决定

$$C_0 L_e = \int_{-\infty}^{+\infty} C(z) dz \quad (6)$$

C_0 是 $z = 0$ 时 2 根光纤的耦合系数, 利用变型贝塞尔函数 $K_\nu(x)$ 的大宗量近式, 可得

$$L_e = \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\frac{h_0}{h(z)} \right]^{1/2} \exp \left\{ \frac{-W[h(z) - h_0]}{T} \right\} dz \quad (7)$$

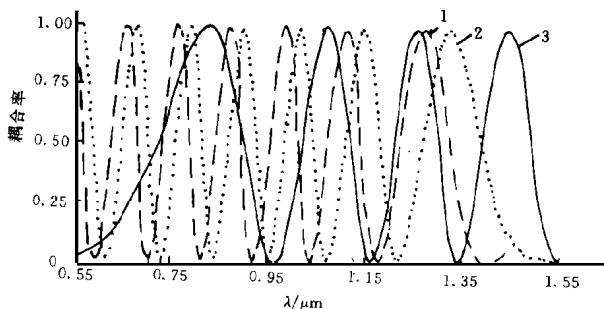
根据以上分析, 可得光耦合器的功率转换为

$$P_1 = P_0 \cos^2(C_0 L_e), \quad P_2 = P_0 \sin^2(C_0 L_e)$$

所以, 耦合器的耦合效率为 $\eta = P_2 / P_0 = \sin^2(C_0 L_e)$.

2 计算结果

图 2 显示当 2 根光纤紧靠垂直 (垂直于图示的平面) 偏移距离分别为 0, 0.5 和 3.0 μm



$n_1 = 1.46$, $n_2 = 1.45$, $\alpha = 2.0 \mu\text{m}$,
 $r = 2.0 \text{ m}$, $h_0 = 4.0 \mu\text{m}$;
 (1) $Y = 0.0 \mu\text{m}$, (2) $Y = 0.5 \mu\text{m}$,
 (3) $Y = 3.0 \mu\text{m}$

图 2 3 种不同垂直偏移距离的耦合率的波长响应曲线

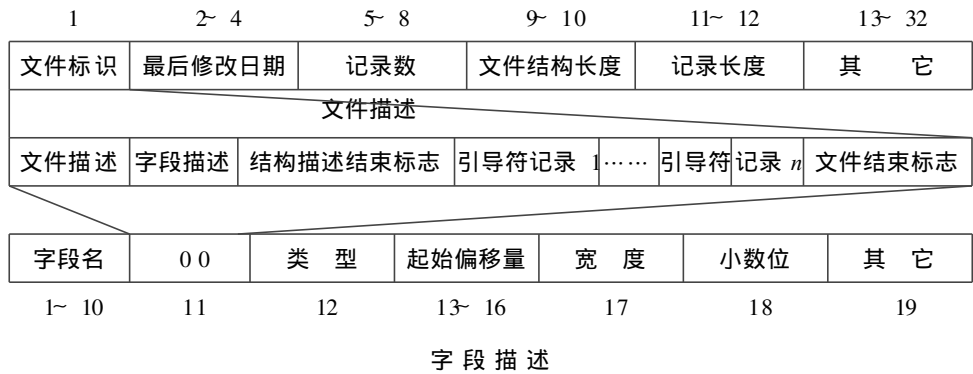
Fig. 2 The wavelength response of coupling efficiency for three different vertical distance

时,耦合率的波长响应曲线.图 2 曲线 1 是当 2 根光纤紧靠垂直偏移距离为 0 时,耦合率的波长响应曲线.单模波分复用器正是利用光耦合器的这一特性制作的.

3 C 程序与 FOX PRO 混合编程的软件技巧

混合编程的要点在于通信问题,本软件用数据库文件 (.DBF) 作为通信媒体.数据库文件可为 FOXPRO 直接使用,而 C 程序要使用它,则可在清楚 DBF 文件的结构的情况下,直接读写文件.

数据库文件的结构如下:



在 FOXPRO 中建立 1 个空的数据库文件后, C 语言向其写入数据记录时,只要填入记录数,再在第 $(32+ 32* n+ 2)$ 个字节上写入数据记录,最后再在文件末尾写上文件结束标志 (1A). 这里 n 是 1 个记录的字段个数,而记录数是低位在前,高位在后.另要注意的是记录前的引导符是空格 (20H),记录中的各字段间无间隔.

同样的道理,要读出数据库文件时,先读出记录数,然后将文件指针移 $(32+ 32* n+ 2)$ 个字节 (从文件头算起),接着就可以读出数据记录了.

关于 FOXPRO 如何调用 C 的程序,有 2 种方法,1 种是将 C 的源程序编译成可执行文件,然后在 FOXPRO 中用 RUN 命令调用;第 2 种方法是将 C 源程序转换为二进制文件 (.BIN),然后用 LOAD 命令将 BIN 文件调入内存,用 DO 命令执行它.本软件使用的是第 1 种方法.

4 讨 论

如前所述,对于给定 V 值的阶跃型光纤,可由 (4) 式求出 LP_{01} 模的本征值 U (或 W). 但需很复杂的数值计算.由于在截止波长附近基模 LP_{01} 的场形很像高斯函数.由高斯场形得到模场半径 W_0 ,使计算大为简化.对单模弱导光纤的场形,其精确程度取决于确定 W_0 的不同判据.有 Marcuse 首先提出的最大激发效率判据和 U^2 稳定判据等.对这 2 种判据,均作了试验,效果令人满意. U^2 稳定判据解对于阶跃型光纤精度较低.使用 (5) 式,需用龙贝格积分法和贝塞尔函数求解 (6)、(7) 式,虽较为复杂,但已有求解的简捷方法^[4]以及标准的算法和程序^[5].用计算机计算耗时反而略少,却可获得更高的精度.

本软件使用混合编程的技巧,主控和查表部分用 FOXPRO 编写,计算和画图部分由 C 语言编写,用 FOXPRO 可以方便的写出漂亮的菜单,且它有强大的数据库功能,方便查表.

C语言既适合于对硬件系统的管理,又提供各种复杂灵活的软件功能.它可以编写出更加灵活和更多功能的用户介面,提供优质的图文显示.所以将计算和画图的任务交给 C语言来完成.加上利用 UC DOS的特显功能,使得软件既有美观的汉字介面,又可翻阅单模光纤耦合的计算数据或绘图.

参 考 文 献

- 1 Georgiou G. Low-loss single-mode optical couplers. IEEE proceedings, 1985, 132 (5): 297
- 2 顾晚仪, 李国瑞. 光纤通信系统. 北京: 人民邮电出版社, 1989. 356~ 361
- 3 刘德明, 向清, 黄德修. 光纤光学. 北京: 国防工业出版社, 1995. 43
- 4 傅思镜, 罗淳, 梁丽贞. 求阶跃多模光纤特征方程数值解的简捷方法. 中山大学学报 (自然科学版), 1996, 35 (2): 42~ 46
- 5 徐士良. C常用算法程序集. 北京: 清华大学出版社, 1994. 59~ 62; 449~ 464

The Calculation of Single-Mode Fiber Coupling Efficency and Its Computer Programming Technique

Fu Sijing^{} Chen Yingyu Zheng Wenyao Liang Lizhen Cao Huiying*

Abstract A calculating method of single-mode fiber coupling efficiency in combined theoretical calculations with engineering data is introduced. A computer programming technique is also presented.

Keywords single-mode fiber, coupling efficiency

简 讯

中山大学学报 (自然科学版) 被引频次再次位于前列

据中国科学院中国科学引文数据库 1997年 11月公布的“被引频次最高的中国科技期刊 500名排行表”, 中山大学学报 (自然科学版) 在全国高校学报中位于第 8名, 在综合性大学学报中位于第 3名. 这是我校学报连续 3年位于综合性大学学报前 4名内.

(张 文)

^{*} Department of Physics, Zhongshan University, Guangzhou 510275