

一种全动变焦系统的高斯参数计算方法探究

黄 浩¹ 李湘宁^{1,2,3} 宋 强⁴

¹上海理工大学光电信息与计算机工程学院,上海 20093

²上海市现代光学系统重点实验室,上海 20093

³教育部光学仪器与系统工程研究中心,上海 20093

⁴联想(上海)研究院,上海 200124

摘要 为了寻找多组全动型变焦系统的解算方法及降低全动型变焦距系统设计时对经验的过分依赖,提出了一种方法用于计算全动变焦系统组元的光焦度分配。以中焦端结构为初始结构,将组元的间距设为变量,构造出不同变焦位置的运动方程,并设置适当的边界条件,用粒子群优化算法求得最佳解。该最佳解就是不同变焦位置处各组元的位置。该方法在一定程度上降低了变焦系统光焦度分配的难度,更为变焦系统高斯结构求解提供了一种新的思路。为了验证该方法,优化了一个 100 倍的变焦系统。该方法为全动变焦光学系统的设计提供了一个可行的技术参考。

关键词 光学设计;变焦系统;初始结构;光焦度分配;粒子群算法

中图分类号 O439 **文献标识码** A

doi: 10.3788/AOS201535.s122004

New Method for All Movable Zoom Lens First Order Design

Huang Hao¹ Li Xiangning^{1,2,3} Song Qiang⁴

¹ School of Optical-Electrical and Computer Engineering,

University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China

² Shanghai Key Lab of Modern Optical System, Shanghai 200093, China

³ Research Center of Optical Instruments and System Engineering, Ministry of Education, Shanghai 200093, China

⁴ Lenovo Corporate Research & Development Shanghai Branch, Shanghai 200124, China

Abstract In order to get the simple computational formula for all movable zoom lens and reduce excessive dependence on designing experience of zoom lens, a new way to calculate optical-power distribution of zoom system is proposed. Taking the medium zoom position as initial parameter and the distances of groups as independent variables, the motion differential equations of all zoom positions is generated. With algorithm of partial swarm optimization under certain constraints, the best solutions are gotten, which are the positions of all groups in all zoom positions. This method reduces the difficulty of optical-power distribution in zoom lens system. What's more, it provides a new way to get initial Gauss parameters of zoom system. A $100\times$ Gauss structure with six components zoom system is designed, and the feasibility of this method is proved with it. The method can provide a practical and technical reference for all movable zoom lens system.

Key words optical design; zoom system; original structure; optical power allocation; particle swarm optimization

OCIS codes 220.4830;220.3620;220.3630

1 引 言

变焦距系统能既能对被观察物体作大范围小倍率的概览,也能对它作小区域大倍率的仔细观察^[1]。近

收稿日期: 2015-01-08; 收到修改稿日期: 2015-02-02

作者简介: 黄 浩(1990—),男,硕士研究生,主要从事光学系统设计方面的研究。Email:260021863@qq.com

导师简介: 李湘宁(1956—),女,硕士,教授,主要从事光学系统设计方面的研究。Email:lxning@usst.edu.cn(通信联系人)

年来,随着光学设计理论的完善以及加工制造业的发展,变焦距光学系统的成像质量逐渐提高,甚至可与定焦距系统相媲美,因此变焦系统在各种工作生活领域被越来越多的应用。

常规的变焦系统可划分为:正组补偿,负组补偿,双组联动及多组联动或多组全动形式。多组全动型变焦系统的最大优点就是变焦系统的每个组元的可移动,在满足指标要求都前提下,能大大减小系统的结构尺寸,但是多组全动型变焦系统设计也是变焦系统里面的难点。不管设计哪种变焦系统,求解系统的初始结构时都要先确定系统的光焦度分配,而在求变焦系统过程中,系统各组元光焦度的分配一直被认为是求解初始结构的重点和难点,能否合理地进行光焦度分配直接决定了所设计系统是否合理。

以往确定高斯光学参数的基本数学方法是解一元或多元非线性方程(组)。然而,单独设计和计算某种变焦方式,都要列出特定方程,既复杂又有某些难处理的问题。为解决高斯解的问题,文献[2]通过各组元之间的距离来反推出系统各组元的光焦度及系统组元的运动形式,提出了把组元的运动形式作为自由量的一种新思路,但是在确定运动形式之后仍需要使用传统方法,通过公式求解出光焦度分配。系统焦距的改变是依靠组成系统的各组元的间隔改变来完成的。文献[3-4]使用二次规划算法求解的方法。这种方法可以求出比较合理的初始结构,在一定程度上降低了初始解的求解难度,但是在计算时较为繁琐。

以上所提及的各种方法不仅计算量大而且均对经验有较强的依赖性。光学设计工程师在设计变焦系统时很多是根据多年的经验在既定的运动形式下进行光焦度取值,这对于传统的正组补偿和负组补偿等简单形式的变焦系统来说是可行的,但是多组元运动或者全动型变焦系统都很难依靠经验对各组元进行光焦度分配,而且这种方法不利于探寻新的组元移动方式。

变焦系统的变焦过程可以理解为一个连续微分的过程,不同的变焦位置,差别仅仅在于系统的间距不同。本算法以此为出发点,以全动变焦系统作为研究对象,提出了优化间距的方法来计算全动变焦系统的初始结构。根据变焦系统不同变焦位置的焦距构造不同的运动方程,设定适当的限制条件,用粒子群优化算法求解各组元的位置。变焦系统中,各组元的位置曲线就是其运动曲线。

最后根据此优化方法计算了一个 100 倍变焦系统的初始结构。该方法能在高斯光学范围内确定运动组元的运动轨迹曲线,使之满足变焦系统变倍比及运动曲线曲率小等自定义要求,为全动变焦光学系统的设计提供了一个可行的技术参考。

2 全动变焦设计理论

在如图 1 所示全动型结构中,有 k 个组元每个组元可以自由移动。各个组元的序号为 $i(i = 1, 2, 3, \dots, k)$, 每个组元的焦距,垂轴放大率,位置,移动量分别为 f'_i, m_i, x_i, dx_i 。

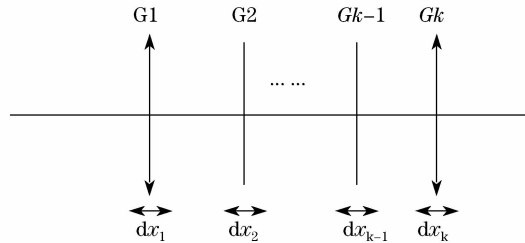


图 1 全动型变焦结构示意图

Fig. 1 Structure chart of all movable zoom system

对于如图 2 所示结构中,物点 A,其像点为 B,组元 G 放大率为 m 。

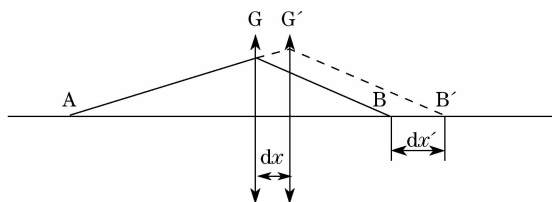


图 2 组元运动物像关系示意图

Fig. 2 Notation of object and image in group moving

物点 A 不动, 组元 G 移动 dx , 整个结构从相对位置来看相当于物点 A 移动 $-dx$ 组元 G 不动。因此组元 A 移动 $-dx$ 导致像面移动 $-\alpha dx$, α 为横向放大率, 认为在移动过程中不变, $\alpha = m^2$ 。再将整个成像结构移动 dx , 此时 A 回到了原始位置, G 向右移动了 dx 。此时可以得到像移动量 dx' 与组元移动量 dx 之间的关系:

$$dx' = (1 - m^2)dx. \quad (1)$$

由(1)式可推导出整个系统的像面移动量。

由于 G_1 的移动, 引起像面的移动为:

$$m_k^2 m_{k-1}^2 \dots m_3^2 m_2^2 (1 - m_1^2) dx_1. \quad (2)$$

由于 G_2 的移动, 引起像面的移动为:

$$m_k^2 m_{k-1}^2 \dots m_3^2 (1 - m_2^2) dx_2. \quad (3)$$

当 $i < k$ 时, 由于 G_i 的移动, 引起像面的移动为:

$$(1 - m_i^2) dx_i \prod_{j=i+1}^k m_j^2. \quad (4)$$

由于 G_k 的移动, 引起像面的移动为:

$$(1 - m_k^2) dx_k. \quad (5)$$

为使像面稳定, 必须使各组元移动导致的像面移动的代数和为零。

$$\sum_{i=1}^{k-1} [(1 - m_i^2) dx_i \prod_{j=i+1}^k m_j^2] + (1 - m_k^2) dx_k = 0. \quad (6)$$

利用高斯光学基本物像关系:

$$\frac{1}{l} + \frac{1}{f'} = \frac{1}{l'}, \quad (7)$$

$$m = \frac{l'}{l}. \quad (8)$$

得:

$$l = f' \left(\frac{1}{m} - 1 \right), \quad (9)$$

$$l' = f' (1 - m). \quad (10)$$

(9)式两边微分可以得到物距与垂轴放大率变化之间的关系:

$$dl = -\frac{f'}{m^2} dm. \quad (11)$$

由于物距与物点移动量反号, 因此, $dx = -dl$ 。

$$dx = \frac{f'}{m^2} dm. \quad (12)$$

组元 G_1 的微分移动量 dx_1 与垂轴放大率 m_1 的关系为:

$$dx_1 = \frac{f'_1}{m_1^2} dm_1. \quad (13)$$

对于组元 $G_i (1 < i \leq k)$, 引起物距变化的不仅仅是组元自身的移动, 还包括前面 G_1 到 G_{i-1} 组元的像的移动。根据(3)式可推导出前面各组像面的变化。因此可以得出 G_i 的微分移动量 dx_i 与垂轴放大率 m_i 的关系为:

$$dx_i = \sum_{n=1}^{i-1} [(1 - m_n^2) dx_n \prod_{j=n+1}^{i-1} m_j^2] + \frac{f'_i}{m_i^2} dm_i. \quad (14)$$

最后一个组元 G_k 的微分移动量 dx_k 与垂轴放大率 m_k 的关系还可以表示为:

$$dx_k = f'_k dm_k. \quad (15)$$

将(13)、(14)、(15)式代入(6)式, 得全动系统运动方程:

$$\sum_{i=1}^k \frac{1 - m_i^2}{m_i^2} f'_i dm_i = 0. \quad (16)$$

由高斯系统共轭距: $L = l' - l$, 及(9)、(10)式, 可以得出:

$$dL = \frac{1 - m^2}{m^2} f dm. \quad (17)$$

代入(16)式, 得系统运动方程 Y :

$$Y = \sum_{i=1}^k dL_i = 0. \quad (18)$$

此式表明全动型变焦系统在变焦过程中, 只需要保证各组元共轭距总和相等即可。因此, 结合光线追迹的数据, 求解方程 Y , 可求得各组元的位置 $x_z (z = 1, 2, 3, \dots, n)$, 方程组的解可表示为: $X = x_z (z = 1, 2, 3, \dots, n)$ 。然而, 该方程有无数解, 可以使用优化的方法找到一组解, 使其满足这个方程的同时, 又使系统焦距发生指定变化。

假设变焦系统有 n 个变焦位置, 其焦距分别为 $F'_1, F'_2, F'_3, \dots, F'_n$, 且 $F'_1 < F'_2 < F'_3 < \dots < F'_n$, 则, 该系统变倍比为: $K = \frac{F'_N}{F'_1}$ 。第 z 个变焦位置中各组元间高斯主面间隔为 $d_{z,1}, d_{z,2}, d_{z,3}, \dots, d_{z,k-1}$, $d_{z,0}$ 为系统物距, $d_{z,k}$ 为系统后截距。根据(18)式构造一系列焦距为 $F'_z (z = 1, 2, 3, \dots, n)$ 的运动方程 $Y_z (z = 1, 2, 3, \dots, n)$, 并用优化的方法找到满足的解 $X_z (z = 1, 2, 3, \dots, n)$ 。

最终根据一系列的解, 换算出各组元间距离 $d_{z,i} (z = 1, 2, 3, \dots, n; i = 1, 2, 3, \dots, k)$ 可以得出各组元运动曲线。

这种新思想可以使用图 3 说明。

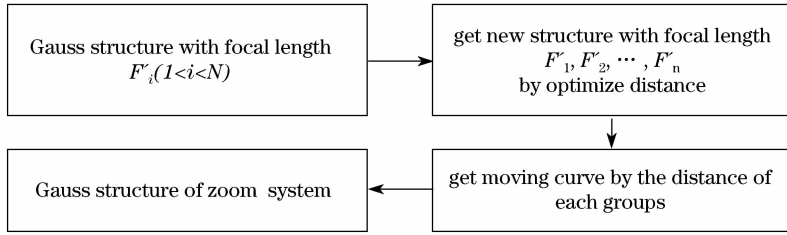


图 3 变焦系统微分量化思想示意图

Fig. 3 Differential quantization of zoom lens system

然而, 在优化求解运动方程 Y 时, 需要对解空间增加约束条件, 否则无法找到合理解。

对于一个焦距为 F'_z 的运动方程 Y_z , 其合理的解必须要满足两类约束。一是要满足其系统自身的约束, 二是要满足其他变焦位置的约束。具体有:

1) 焦距与目标焦距的差在一定范围内

由于本文的主要思想就是微分分解变焦结构, 所以对于每一个运动方程焦距要求较为严格, 将目标焦距差限制在 1% 以内, 即: $|F'_z - F'_z| < 0.01F'_z$, 其中 F'_z 为 z 结构的目标焦距;

2) 各间距在合理范围内

各组元的间距不能太大, 否则不能体现全动变焦移动距离小的优势。计算机在优化计算时并不能自动判断间距是否过大, 因此, 有必要加入限制条件;

3) 不同变焦位置间各间距变化在合理范围内

连续两个变焦位置之间各组元的间距变化肯定不能太大, 需要添加限制, 但是不能添加绝对限制。在(1)式中, 像移动量 dx' 与组元移动量 dx 之间的关系: $dx' = (1 - m^2) dx$, 移动量必须很小, 才可认为放大率 m 在移动前后相等。对于短焦端焦距 $f'_s = 5 \text{ mm}$, 长焦端焦距 $f'_s = 500 \text{ mm}$ 的大变倍系统来说, 同样是 1 mm 的 dx, dx' 结果相差很大。因此, 本文将间距移动范围的限制与焦距结合起来。在 z 结构到 $z + 1$ 结构的突变过程中, 假设焦距变化规律为: $F'_{z+1} = \alpha F'_z$, 其中 $\alpha > 1$, 本文限制 $z + 1$ 结构中各组元的移动间隔必须满足条件:

$$|d_{z+1,k} - d_{z,k}| < 0.5(\alpha - 1)F'_z. \quad (19)$$

4) 各组元运动曲线在任意点处的曲率限制在一定较小范围之内

假设各组元位置为 x , 为了保证像面不动, 从像到物的方向将后截距与各组元间距依次累加, 即可得到各组元位置, 即: $x_z = \sum_{i=k}^1 d_i$, 其中 k 为组元个数, d_k 为后截距。 z 变焦位置的 k 组元运动的曲率 $u_{z,k}$ 应该在一定范围内, 使用差商代替微商之后:

$$u_{z,k} = \frac{x'_{z,k}}{(1 + x'^2_{z,k})^{3/2}}, \quad (20)$$

式中 $x'_{z,k}, x''_{z,k}$ 分别为 $x_{z,k}$ 的一阶和二阶数值微分,

$$x'_{z,k} = \frac{x_{z,k} - x_{z-1,k}}{F'_z - F'_{z-1}},$$

$$x''_{z,k} = \frac{x'_{z,k} - x'_{z-1,k}}{F'_z - F'_{z-1}}, |u_{z,k}| \leq \frac{2}{F'_z};$$

5) 曲率平方和在一定范围内。

由于优化算法具有容易掉入局部极值, 且掉入局部极值后无法跳出循环的固有局限性。在大量实验中发现, 优化次数较多之后, 出现某些组元停滞运动, 而其他组元运动过于迅速的现象, 且一旦出现这种现象后, 再优化下去这种现象越发严重。这种各组元运动不均匀的结构, 系统总长在各变焦位置分布不均匀, 不利于凸轮的加工, 也不利于像差矫正与平衡。为此需要增加限制条件, 使其焦距变动时每一个组元趋于均匀运动。本文规定曲率平方和满足:

$$\sum_{k=1}^n u_{z,k}^2 \leq \frac{n}{F'_z}. \quad (21)$$

作为对新方法的探究, 本文描述的新方法使用了上述限制条件, 在实际设计的时候可以视系统具体情况增加更多限制条件。比如: 限制各组元的相对口径, 光线偏角等。该新方法增加限制条件极为方便, 突破了传统计算方法中不同变焦类型需要使用不同公式的限制, 大大减少了计算难度。同时使用多样化的预设条件, 为初始结构添加更多限制, 可以设计出结构更加复杂, 性能更加优越的系统。

3 优化方法

该算法用于优化计算图 3 中的第三步, 即: 根据一个初始结构, 构造一系列运动方程, 改变间距, 为各运动方程优化找出一个合理解。

本算法在优化间距时使用了粒子群优化方法。粒子群优化(PSO)算法^[5]是 Kennedy 和 Eberhart 受人工生命研究结果的启发, 通过模拟鸟群觅食过程中的迁徙和群聚行为而提出的一种基于群体智能的全局随机搜索算法, 它将群体(swarm)中的个体看作是在 N 维搜索空间中具有质量和体积的粒子(particle), 每个粒子以一定的速度在解空间运动, 并向自身历史最佳位置 P_{best} 和邻域历史最佳位置 G_{best} 聚集, 实现对候选解的进化。PSO 算法具有很好的生物社会背景^[6]而易理解, 参数少而易实现, 对非线性多峰问题均具有较强的全局搜索能力, 在科学研究与工程实践中得到了广泛关注^[7-8]。

3.1 建立优化模型

根据上述粒子群算法的数学模型, 将每个解 X 看作一个粒子就可以将粒子群优化算法应用到到全动变焦系统的优化求解中。应用过程中, 优化算法三要素的对应关系为:

1) 优化变量

优化变量为每个组元的间距 d 。为了能评价组元的运动曲线是否光滑等指标, 还必须将该组元在多个变焦位置中的 d 传入平滑函数;

2) 适应度

求解方程 Y , 除了要找到解还要使解满足其他光学约束, 比如总焦距、像差。因此这是一个多目标粒子群算法优化问题。

假设有 l 个目标, 首先, 对多目标函数 $\Phi(x)$ 的各分量 $\phi_i(x)$ 分别求出约束最优解:

$$\phi_i^*(x) = \min_{x \in c} \phi_i(x), \quad i = 1, 2, 3, \dots, l. \quad (22)$$

在优化过程中往往不能让所有目标达到最优解。因此把 $\Phi^* = (\phi_1^*, \phi_2^*, \phi_3^*, \dots, \phi_l^*)$ 作为一个理想点, 构造新的评价函数, 使各 $\phi_i(x)$ 尽可能地接近 $\phi_i^*(x)$:

$$\Phi = \sum_{i=1}^l (\phi_i - \phi_i^*)^2. \quad (23)$$

这样, 复杂的光学多目标优化问题转化为单目标优化问题。每一个解 X 既要满足变焦方程 Y , 使像面不动, 也要使系统总焦距达到指定值, 同时系统总长尽可能小。因此, 本文使用三个评价函数为:

$$\phi_1(x) = |F' - F'_t|, \quad (24)$$

$$\phi_2(x) = \sum_{i=1}^k dL_i, \quad (25)$$

$$\phi_3(x) = L_a. \quad (26)$$

如文献[9], 在后续研究中可以根据(22)、(23)式增加像差等优化功能, 设计出更复杂的系统。

3) 限制条件

本文在优化的时候对间距使用上一节提到的约束条件。本算法的特点就是限制条件可以自由添加, 并不局限于粒子群的粒子位置, 可以是各组元位置变化平滑等间距的条件, 也可以是总长、后截距、焦距范围等其他自定义条件。自定义化的条件就需要更多的计算参数, 比如计算位置是否平滑时, 需要至少 3 个位置, 然而粒子算法在优化的时后只提供该粒子的当前位置, 因此计算时需要格外注意。

3.2 优化过程

优化之前需要提供一个指定焦距的结构, 即各组元的焦距 f_i , 间距 d_i 。该结构仅仅是一个焦距为 F' 定焦结构, 获取容易。优化目标 $\phi_1(x)$ 中的 F'_t 不宜突变过大, 本文中根据系统焦距设置 $F'_t = \alpha F'$, 其中 $\alpha = 1.1$ 。

单目标优化, 求 $\phi_i^*(x)$ 实现过程:

1) 单目标粒子群初始化

以随机方式给出每一粒子之初始位置 X_i 与速度 $V_i = 0$ 。为了加速优化, 初始位置被设置边界, 由于 $F'_t = 1.1F'$, 各光组间距也应该增大 10% 左右, 所以本文选择: $0.8d_i < X_i < 1.2d_i$ 。得到新的粒子后, 检查限制条件。如果不满足则重新随机初始化, 但最大重新随机次数为 1 万次, 防止限制条件不合理等原因导致过长时间找不到符合条件的初始解;

2) 求适应度

将粒子的位置信息转换到光学结构中。计算出每一粒子的适应度, 找出每一粒子到目前为时的搜寻过程中的历史最佳解 P_{best} 和整体最佳解 G_{best} 。适应度函数 ϕ_i , 根据(22)、(24)和(25)式可求得;

3) 检查终止条件

当各粒子位置差别较小是, 认为找到合理解, 可以终止优化。当粒子更新超过较大的次数之后仍找不到合理解, 即放弃此次优化;

4) 更新粒子位置

对于不满足终止条件的情况, 需要更新每一粒子的速度与位置, 并且转换粒子位置信息到光学结构, 再检查限制条件。再回到 2), 如此循环直到获得符合终止条件为止。

多目标优化与单目标优化较大的区别在求适应度与终止条件。

求得 $\phi_i^*(x)$ 后, 可根据(23)式求得 Φ 。更新适应度函数后, 多目标优化变为单目标优化。当 $F_{\text{H+1}}$ 达到要求时, 即可终止优化, 同时如果 $F_{\text{H+1}}$ 多次不满足要求, 即表示此结构不合理, 不必再尝试寻求最优解。

编制程序控制整个优化程序有序进行, 得出所有的运动方程 Y 的解 X , 即可得出整个变焦系统的不同位置的结构分配。

整个程序优化计算的流程图如图 4 所示。

为了验证该算法的可行性, 提供一个 6 组元焦距为 $f'_s = 26.4 \text{ mm}$ 的初始结构, 将该结构作为短焦端。预设优化一个 5 倍变焦系统, 按公比等比 $\beta = 1.1$ 构造变焦方程 Y 及评价函数 ϕ_1 。由于焦距按照等比数列递增, 所以比较少的优化次数就能得到较大的变倍比。本例为该结构构造了 17 个不同焦距的运动方程。最

终得到的各组元变化位置解如图 5 所示。

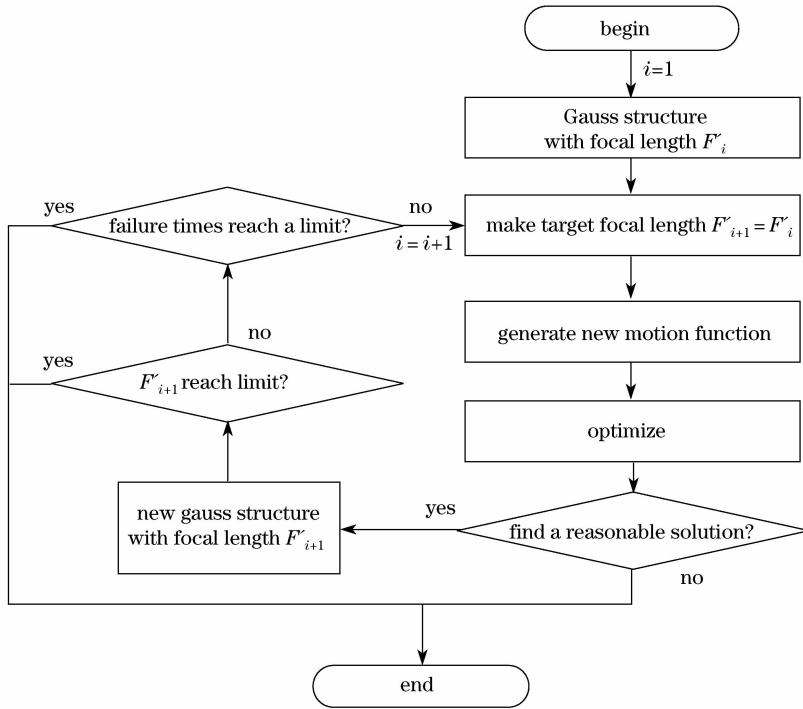


图 4 不同焦距优化流程图

Fig. 4 Flow chart of optimization with different focal lengths

图中共有 6 个组元,系统像面位置设为坐标起点。最大焦距为 $f'_l = 140.7 \text{ mm}$,变倍比为: $K = \frac{f'_l}{f'_s} = \frac{140.7}{26.4} \approx 5.3$,满足要求。从图中可以看出各组元运动光滑、均匀,组元无碰撞,满足要求。图中后截距呈现失控增大趋势,此时可以根据实际使用情况合理选取适当结构。

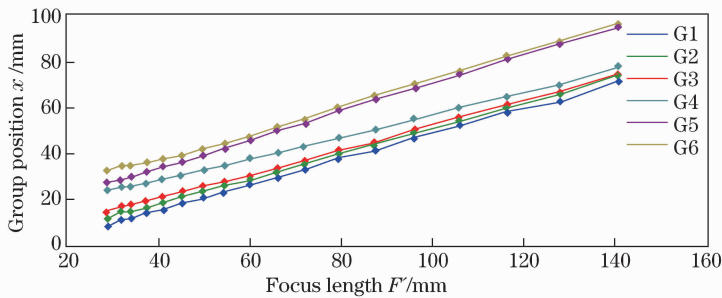


图 5 5 倍优化实例

Fig. 5 Example of $5\times$ optimization

在实际应用时,将公比设为小于 1 的数,这样将从减小方向计算不同焦距的结构,有效利用了初始结构的短焦变焦下限。同时也进一步增大了变倍比。用上述例子,进行减小方向优化,结果如图 6 所示。最小焦距 $f'_s = 10.0 \text{ mm}$,大幅减小短焦端焦距,增加该结构的变焦能力。

图中变焦焦距为 16 mm 时,各组元位置突变较大,由于本算法是根据 F_i 求 F_{i+1} 渐进式求解,对于类似锯齿式结果无法避免,但是可以在找到全部解后整体优化运动曲线平滑性。

如果增大减小方向均不能找到合适的高斯解,则说明该结构到达该条件下的变焦极限,此时需要重新选择初始结构,直到找到合适的高斯解。

4 全动变焦系统高斯解计算实例

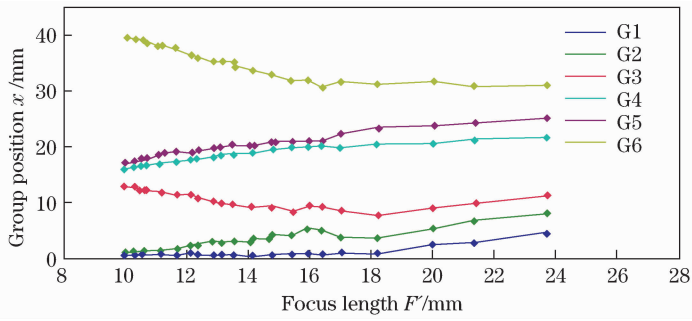


图 6 减小方向优化实例

Fig. 6 Example of decreasing focal length

通过上述对该新算法的描述,本文计算了一个实例。假设需要计算一个 100 倍的全动型变焦初始结构,焦距范围为 5~500 mm,总长小于 500 mm。

本文多次实验找到一个中焦端结构。根据前文描述过的方法经过多次计算,最终得出不同变焦位置时各组元位置如图 7 所示。

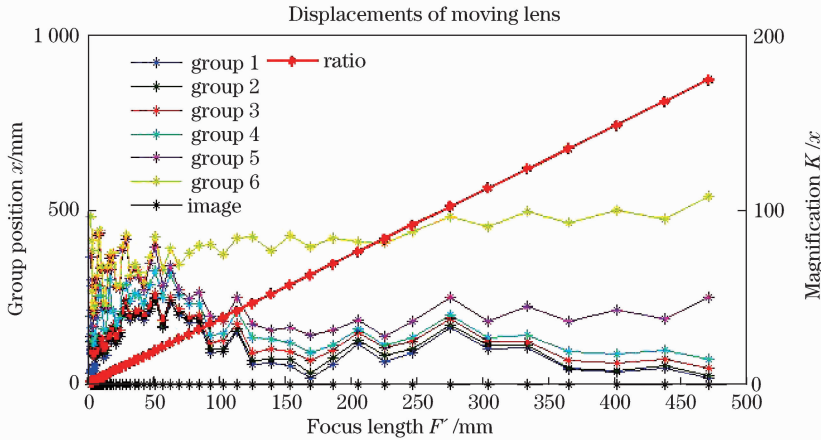


图 7 100 倍优化实例

Fig. 7 Example of 100× optimization

该结构最小焦距 $f'_s = 2.7$ mm,最大焦距 $f'_l = 472.9$ mm,变倍比 $K = \frac{f'_l}{f'_s} = \frac{472.9}{2.7} \approx 175.1$ 。系统全部变焦位置总长小于 500 mm。

将高斯结构输入到 ZEMAX 软件,调整入瞳位置,使各组元口径不致太大。绘制的 5 个变焦位置如图 8 所示。由于各位置运动方程的解具有不唯一性,运动曲线个别位置出现锯齿形波动现象,可以使用拟合优化的方法消除。图 9 为使用 5 次多项式拟合的运动曲线。再利用实际光学追迹方法可以得到各组元相对口径如表 1 所示。

表 1 各组元相对口径

Table 1 Relative apertures of each group

Group number	Focal length f' / mm	Diameter in max D / mm	Relative aperture
1	318.6179	17.365	0.0545
2	-27.2247	5.184	-0.1904
3	-847.0124	8.791	-0.0104
4	33.0622	10.000	0.3025
5	-13.6649	6.655	-0.4870
6	25.0512	21.192	0.8459

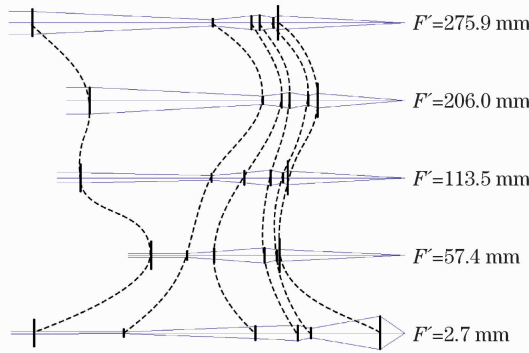


图 8 100 倍变焦结构运动曲线

Fig. 8 Curves of moving 100× zoom system

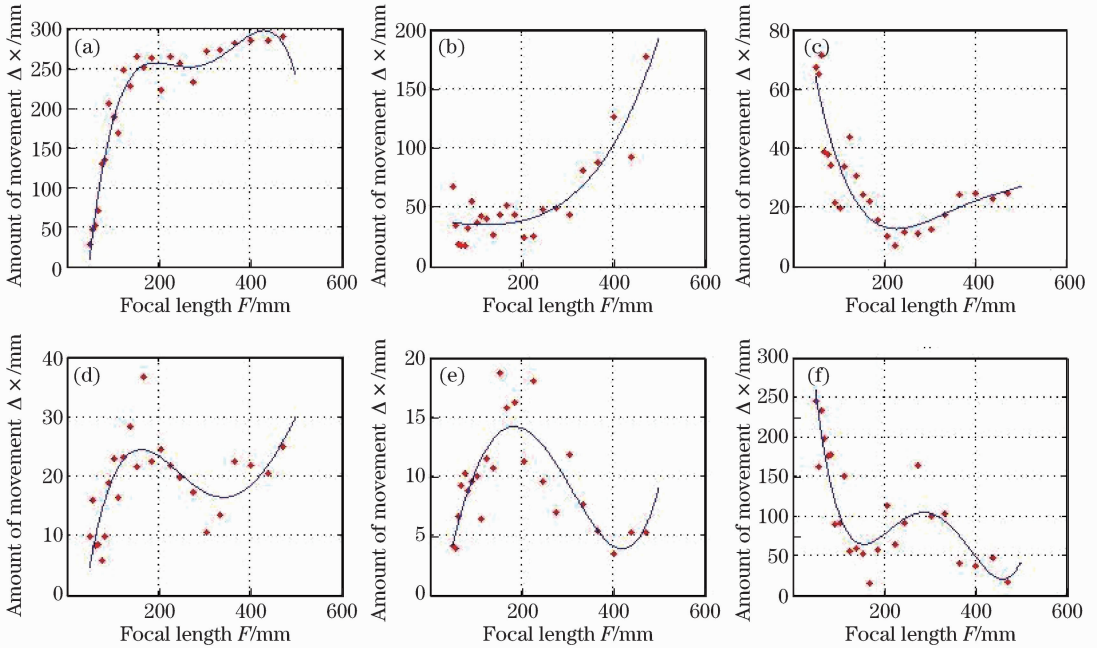


图 9 各组元移动量。(a) Group 1;(b) group 2;(c) group 3;(d) group 4;(e) group 5;(f) group 6

Fig. 9 Amount of movement of each group. (a) Group 1; (b) group 2; (c) group 3; (d) group 4; (e) group 5; (f) group 6

从表 1 中可知,各个组元的相对口径结构,因此每个组元的结构形式不会特别复杂。综上所述,该结构总长分布匀称,各组元运动均匀,设计合理,并作为一个初始高斯结构。

5 结 论

提出了一种变焦距系统设计的高斯结构求解方法,通过给定的初始结构,构造系统运动方程组,设定优化限制条件,通过优化算法求解该线性方程组得到各组元的间距。重新构造不同焦距的运动方程,重复此优化求解过程,即可得到不同变焦位置下各组元的间距,从而得到系统的移动曲线。该算法计算速度快,可以自由添加限制条件,可以计算出满足不同要求的高斯结构,为变焦系统的后续设计提供了极大方便。

参 考 文 献

- 1 Tao Chunkan. Zoom Lens Design[M]. Beijing: National Defend Industry Press, 1988: 1-2.
陶纯堪. 变焦距光学系统设计[M]. 北京:国防工业出版社,1988: 1-2.
- 2 Cai Wei,Zhang Ying,Zhang Xin, *et al.*. New method for all movable zoom lens design[J]. Acta Optica Sinica, 2012, 32(3): 0322008.
蔡 伟,张 鹰,张 新,等. 多组全自动型变焦系统新型设计[J]. 光学学报, 2012, 32(3): 0322008.
- 3 Li Lin,Wang Yongtian,Zhang Liqin. An approach on the calculation of Gaussian parameters of zoom lenses[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2003,23(4):424-427.

- 李 林,王涌天,张丽琴. 变焦距物镜高斯光学参数的求解[J]. 北京理工大学学报,2003,23(4):424-427.
- 4 Wang Qi,Wang Guangyu,Cheng Xuemin, *et al.*. Gauss optics of zoom lenses[J]. Acta Optica Sinica, 2002,22(8):983-988.
- 王 琦,王光宇,程雪岷,等. 变焦距镜头高斯光学设计的新方法[J]. 光学学报,2002,22(8):983-988.
- 5 Kennedy J,Eberhart R. Particle swarm optimization[C]. Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Neural Networks. Piscataway:IEEE Service Center,1995:1942-1948.
- 6 Simon G,Jacques G,Guy T. The biological principles of swarm intelligence[J]. Swarm Intelligence,2007,1(1):3-31.
- 7 Russell C E,Shi Y H. Particle swarm optimization:Developments,applications and resources[C]. IEEE,2001,1(5):81-86.
- 8 Parsopoulos K E,Vrahatis M N. Recent approaches to global optimization problems through particle swarm optimization[J]. Natural Computing,2002,1(2-3):235.
- 9 Sourav P. Aberration correction of zoom lenses usingevolutionary programming[J]. Applied Optics, 2013, 52(23): 5724-5732.

栏目编辑:张浩佳