

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102116934 B

(45) 授权公告日 2012. 09. 19

(21) 申请号 201110067899. 5

CN 1549047 A, 2004. 11. 24, 全文.

(22) 申请日 2011. 03. 21

审查员 刘宝荣

(73) 专利权人 天津大学

地址 300072 天津市南开区卫津路 92 号

(72) 发明人 房丰洲 程颖 张效栋

(74) 专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代

理事务所 12201

代理人 程毓英

(51) Int. Cl.

G02B 27/00 (2006. 01)

G02B 27/09 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 6185018 B1, 2001. 02. 06, 全文.

CN 1547679 A, 2004. 11. 17, 全文.

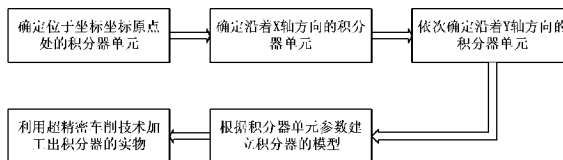
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 5 页

(54) 发明名称

基于抛物面镜阵列的反射型光学积分器的设计方法

(57) 摘要

本发明属于光学器件设计技术领域, 涉及一种基于抛物面镜阵列的反射型光学积分器的设计方法, 包括: 积分器初始参数的确定; 从中心处的抛物面单元出发, 沿 X 方向迭代计算, 求取所有的积分器单元在 X 方向上的位置参数和方向参数; 从中心处的抛物面单元出发, 沿 Y 方向迭代计算, 求取所有的积分器单元在 Y 方向上的位置参数和方向参数; 根据前两步求得的积分器参数, 建立积分器模型; 设计加工路径, 进行超精密车削加工。采用本发明方法设计的反射型积分器比传统的透射型积分器结构简单, 而且稳定性好, 在相同入射光的能量情况下, 有更加优秀的光照强度的分布均匀。



1. 一种基于抛物面镜阵列的反射型光学积分器的设计方法, 该种反射型光学积分器包括一个抛物面反射镜阵列, 以抛物面反射镜阵列中心处的抛物面中心为坐标原点, 以平行光入射的反方向为 Z 轴, 建立直角坐标系, 沿着 Z 轴的平行光经过积分器的反射后, 到达接收面; 积分器的结构参数包括各个抛物面单元沿着 X 轴和 Y 轴的边长、接收面的边长 d 和抛物面本身的参数, 每个抛物面单元的位置参数包括单元中心点的坐标、分别绕 X 轴和 Y 轴的旋转角度以及绕 X 轴和 Y 轴旋转的旋转中心的坐标; 其设计方法包括:

第一步. 积分器初始参数的确定:

(1) 根据接收面和反射面的距离确定抛物面的焦距 f, 从而得到抛物面的方程:

$$X^2+Y^2=4fZ;$$

(2) 根据抛物面反射镜阵列中心处的抛物面单元的边长 2a, 可以求得抛物面中心距离接收面中心的距离 D, $D = f - (f - \frac{1}{4f * 2a^2}) / a$;

第二步. 从中心处的抛物面单元出发, 重复执行下面的第(1)步至第(3)步, 沿 X 方向进行迭代计算, 求取所有的积分器单元在 X 方向上的位置参数和方向参数:

(1) 利用接收面的边界坐标 A1 (-a, a, D), A2 (-a, -a, D) 和前一个抛物面单元的边界

处的坐标 P1 (x_1, y_1, z_1), P2 (x_2, y_2, z_2), 建立方程组:
$$\begin{cases} \frac{x_0 + a}{x_1 + a} = \frac{y_0 - a}{y_1 - a} \\ \frac{y_0 - a}{y_1 - a} = \frac{z_0 - D}{z_1 - D} \\ \frac{x_0 + a}{x_2 + a} = \frac{y_0 + a}{y_2 + a} \end{cases}$$

求得当前抛物面单元的焦点 B1 (x_0, y_0, z_0), 并求取当前抛物面单元的旋转中心 P0 的坐

标为(m_c, n_c, k_c):
$$\begin{cases} m_c = (x_1 + x_2) / 2 \\ n_c = (y_1 + y_2) / 2 \\ k_c = (z_1 + z_2) / 2 \end{cases}$$

(2) 设当前抛物面单元未经过旋转的曲面满足标准抛物面方程 $(X-a_1)^2+(Y-a_2)^2=4f_1(Z-a_3)$, 根据当前焦点 B1 (x_0, y_0, z_0) 和未经过旋转的曲面的焦点

(a_1, a_2, a_3+f_1), 利用坐标变换公式:
$$\begin{cases} a_1 = m_c + (x_0 - m_c) * \cos(-b) + (z_0 - k_c) * \sin(-b) \\ f_1 + a_3 = k_c + (z_0 - k_c) * \cos(-b) - (x_0 - m_c) * \sin(-b) \end{cases}$$
 求

得抛物面的旋转角度 b 和标准抛物面方程的参数 a_1, a_2, a_3, f_1 , 旋转角度 b 确定了当前抛物面单元在 X 方向上的方位;

(3) 下一个抛物面单元的旋转中心 Q0 (x_{p0}, y_{p0}, z_{p0}) 是通过前一个抛物面单元的标准抛物面上的点 Q1 (x_{b0}, y_{b0}, z_{b0}) 求得的, 它们之间的关系满足下面的方程组:

$$\begin{cases} x_{p0} = (m_c + (x_{b0} - m_c) * \cos(b/2) + (z_{b0} - k_c) * \sin(b/2) \\ z_{p0} = (k_c + (z_{b0} - k_c) * \cos(b/2) - (x_{b0} - m_c) * \sin(b/2) \\ (x_{b0} - a_1)^2 + (y_{b0} - a_2)^2 = 4f_1(z_{b0} - a_3) \\ \frac{x_{p0} - x_0}{a - x_0} = \frac{z_{p0} - z_0}{d - z_0} \\ a_1 = (m_c + x_{b0}) / 2 \end{cases}$$

通过求解上述方程组得到下一个抛物面单元的旋转中心 Q0；

第三步. 从中心处的抛物面单元出发, 重复执行下面的第 1) 步至第 3) 步, 沿 Y 方向进行迭代计算, 求取所有的积分器单元在 Y 方向上的位置参数和方向参数:

(1) 利用接收面的边界坐标 A1 (-a, a, D), A3 (a, -a, D) 和前一个抛物面单元的边

界处的坐标 P1 (x_1, y_1, z_1), P3 (x_3, y_3, z_3), 建立方程组:
$$\begin{cases} \frac{x_0' - a}{x_1 - a} = \frac{y_0' + a}{y_1 + a} \\ \frac{y_0' + a}{y_1 + a} = \frac{z_0' - D}{z_1 - D} \\ \frac{x_0' + a}{x_3 + a} = \frac{y_0' + a}{y_3 + a} \end{cases}$$
 求得当前抛

物面单元的焦点 B2 (x_0', y_0', z_0'), 并求取当前抛物面单元的旋转中心 N0 的坐标为

$$(m_c', n_c', k_c'): \begin{cases} m_c' = (x_1 + x_3) / 2 \\ n_c' = (y_1 + y_3) / 2 \\ k_c' = (z_1 + z_3) / 2 \end{cases}$$

(2) 设当前抛物面单元未经过旋转的曲面满足标准抛物面方程 $(X - a_1')^2 + (Y - a_2')^2 = 4f_1'(Z - a_3')$, 根据当前焦点 B2 和未经过旋转的抛物面的焦点 ($a_1', a_2', a_3' + f_1'$), 利用坐标变化公式:

$$\begin{cases} a_1' = m_c' + (x_0' - m_c') * \cos(-b') + (z_0' - k_c') * \sin(-b') \\ f_1' + a_3' = k_c' + (z_0' - k_c') * \cos(-b') - (x_0' - m_c') * \sin(-b') \end{cases}$$
 求得抛物面的旋转角度 b' 和

标准抛物面方程的参数 a_1', a_2', a_3', f_1' , 这个旋转角度 b' 就确定了抛物面单元的方位;

(3) 下一个抛物面单元的旋转中心 M0 ($x_{p0}', y_{p0}', z_{p0}'$) 是通过前一个抛物面单元的标准抛物面上的点 M1 ($x_{b0}', y_{b0}', z_{b0}'$) 求得的, 它们之间的关系满足下面的方程组:

$$\begin{cases} x_{p0}' = (m_c' + (x_{b0}' - m_c') * \cos(b'/2) + (z_{b0}' - k_c') * \sin(b'/2) \\ z_{p0}' = (k_c' + (z_{b0}' - k_c') * \cos(b'/2) - (x_{b0}' - m_c') * \sin(b'/2) \\ (x_{b0}' - a_1')^2 + (y_{b0}' - a_2')^2 = 4f_1'(z_{b0}' - a_3') \\ \frac{x_{p0}' - x_0'}{a - x_0'} = \frac{z_{p0}' - z_0'}{d - z_0'} \\ a_1' = (m_c' + x_{b0}') / 2 \end{cases}$$

通过求解上述方程组得到下一个抛物面单元的旋转中心 M0;

第四步. 根据前两步求得的积分器参数, 建立积分器模型;

第五步. 根据积分器模型设计加工路径, 进行超精密车削加工。

基于抛物面镜阵列的反射型光学积分器的设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及到一种用于实现杂乱光线的照明均匀化的光学器件设计,属于光学设计领域,同时属于对需要均匀光照射的各种技术领域,如太阳模拟器及投影仪照明等。

背景技术

[0002] 积分照明就是把杂乱无章的光经过光学系统整合成照射均匀的光,或者可实现亮度提高和均匀,可广泛应用于绿色能源、空间技术等领域。光学积分器是积分照明中最重要的光学器件。根据光的传播定律,光学积分器可以分为折射型(透射型)和反射型。折射型的光学积分器如微透镜阵列,一般折射型光学积分器用于同轴系统中,同轴系统的缺点就是光路长,导致光学系统的外形轮廓大。利用微透镜阵列完成光束的均光是目前普遍采用的均光的方式,但是由于利用了透镜所以会引入透镜的一些缺点,如像差大、光损失严重等,这些缺点会影响接收面的光束的均匀性。而反射型积分器采用离轴方式,缩减了光路长度,占用空间小。更重要的是,积分器用反射镜代替了折射镜,从而减少了像差对光路的影响,同时也减少了折射材料对光辐射能量的吸收损失,增大了能量的利用率。

[0003] 由于反射型积分器外形结构复杂,加工不易实现,目前很少使用。但随着超精密技术的发展和成熟,尤其采用刀具伺服的单点金刚石切削技术的发展,为复杂形状光学器件的加工提供了有力的工具,为反射型积分器的应用提供了保障,因此,鉴于反射型积分器的众多应用优点,有必要开展反射型积分器设计方面的研究。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提出一种简单可行的反射型积分器设计方法。本发明采用多个抛物面组成的曲面阵列进行反射型积分器设计,实现良好的均匀照明。

[0005] 一种基于抛物面镜阵列的反射型光学积分器的设计方法,该种反射型光学积分器包括一个抛物面反射镜阵列,以抛物面反射镜阵列中心处的抛物面中心为坐标原点,以平行光入射的反方向为 Z 轴,建立直角坐标系,沿着 Z 轴的平行光经过积分器的反射后,到达接收面;积分器的结构参数包括各个抛物面单元沿着 X 轴和 Y 轴的边长、接收面的边长 d 和抛物面本身的参数,每个抛物面单元的位置参数包括单元中心点的坐标、分别绕 X 轴和 Y 轴的旋转角度以及绕 X 轴和 Y 轴旋转的旋转中心的坐标;其设计方法包括:

[0006] 第一步. 积分器初始参数的确定:

[0007] (1) 根据接收面和反射面的距离确定抛物面的焦距 f,从而得到抛物面的方程:

$$[0008] \quad X^2 + Y^2 = 4fZ;$$

[0009] (2) 根据抛物面反射镜阵列中心处的抛物面单元的边长 2a,可以求得抛物面中心

$$\text{距离接收面中心的距离 } D, D = f - \left(f - \frac{1}{4f * 2a^2} \right) / a;$$

[0010] 第二步. 从中心处的抛物面单元出发,重复执行下面的第(1)步至第(3)步,沿 X 方向进行迭代计算,求取所有的积分器单元在 X 方向上的位置参数和方向参数:

[0011] (1) 利用接收面的边界坐标 A1(-a, a, D), A2(-a, -a, D) 和前一个抛物面单元的

$$[0012] \quad \text{边界处的坐标 } P1(x_1, y_1, z_1), P2(x_2, y_2, z_2), \text{ 建立方程组: } \begin{cases} \frac{x_0 + a}{x_1 + a} = \frac{y_0 - a}{y_1 - a} \\ \frac{y_0 - a}{y_1 - a} = \frac{z_0 - D}{z_1 - D} \\ \frac{x_0 + a}{x_2 + a} = \frac{y_0 + a}{y_2 + a} \end{cases},$$

[0013] 求得当前抛物面单元的焦点 B1(x₀, y₀, z₀), 并求取当前抛物面单元的旋转中心 P0

$$\text{的坐标为 } (m_c, n_c, k_c) : \begin{cases} m_c = (x_1 + x_2) / 2 \\ n_c = (y_1 + y_2) / 2 \\ k_c = (z_1 + z_2) / 2 \end{cases}$$

[0014] (2) 设当前抛物面单元未经过旋转的曲面满足标准抛物面方程 $(X-a_1)^2 + (Y-a_2)^2 = 4f_1(Z-a_3)$, 根据当前焦点 B1(x₀, y₀, z₀) 和未经过旋转的曲面的焦点 (a₁, a₂, a₃+f₁), 利用坐

$$\text{标变换公式: } \begin{cases} a_1 = m_c + (x_0 - m_c) * \cos(-b) + (z_0 - k_c) * \sin(-b) \\ f_1 + a_3 = k_c + (z_0 - k_c) * \cos(-b) - (x_0 - m_c) * \sin(-b) \end{cases} \text{ 求得抛物面的旋转角度 } b$$

和标准抛物面方程的参数 a₁, a₂, a₃, f₁, 旋转角度 b 确定了当前抛物面单元在 X 方向上的方位;

[0015] (3) 下一个抛物面单元的旋转中心 Q0(x_{p0}, y_{p0}, z_{p0}) 是通过前一个抛物面单元的标准抛物面上的点 Q1(x_{b0}, y_{b0}, z_{b0}) 求得的, 它们之间的关系满足下面的方程组:

$$[0016] \quad \begin{cases} x_{p0} = (m_c + (x_{b0} - m_c) * \cos(b/2) + (z_{b0} - k_c) * \sin(b/2) \\ z_{p0} = (k_c + (z_{b0} - k_c) * \cos(b/2) - (x_{b0} - m_c) * \sin(b/2) \\ (x_{b0} - a_1)^2 + (y_{b0} - a_2)^2 = 4f_1(z_{b0} - a_3) \\ \frac{x_{p0} - x_0}{a - x_0} = \frac{z_{p0} - z_0}{d - z_0} \\ a_1 = (m_c + x_{b0}) / 2 \end{cases}$$

[0017] 通过求解上述方程组得到下一个抛物面单元的旋转中心 Q0;

[0018] 第三步. 从中心处的抛物面单元出发, 重复执行下面的第 1) 步至第 3) 步, 沿 Y 方向进行迭代计算, 求取所有的积分器单元在 Y 方向上的位置参数和方向参数:

[0019] (1) 利用接收面的边界坐标 A1(-a, a, D), A3(a, -a, D) 和前一个抛物面单元的边

$$\text{界处的坐标 } P1(x_1, y_1, z_1), P3(x_3, y_3, z_3), \text{ 建立方程组: } \begin{cases} \frac{x_0' - a}{x_1' - a} = \frac{y_0' + a}{y_1' + a} \\ \frac{y_0' + a}{y_1' + a} = \frac{z_0' - D}{z_1' - D} \\ \frac{x_0' + a}{x_3' + a} = \frac{y_0' + a}{y_3' + a} \end{cases},$$

[0020] 求得当前抛物面单元的焦点 B2(x₀', y₀', z₀'), 并求取当前抛物面单元的旋转中心

$$N0 \text{ 的坐标为 } (m_c', n_c', k_c') : \begin{cases} m_c' = (x_1 + x_3) / 2 \\ n_c' = (y_1 + y_3) / 2 \\ k_c' = (z_1 + z_3) / 2 \end{cases}$$

[0021] (2) 设当前抛物面单元未经过旋转的曲面满足标准抛物面方程

[0022] $(X-a_1')^2+(Y-a_2')^2=4f_1'(Z-a_3')$, 根据当前焦点 B2 和未经过旋转的抛物面的焦点 $(a_1', a_2', a_3'+f_1')$, 利用坐标变化公式:

[0023]
$$\begin{cases} a_1' = m_c' + (x_0' - m_c') * \cos(-b') + (z_0' - k_c') * \sin(-b') \\ f_1' + a_3' = k_c' + (z_0' - k_c') * \cos(-b') - (x_0' - m_c') * \sin(-b') \end{cases}$$
 求得抛物面的旋转角度

[0024] b' 和标准抛物面方程的参数 a_1', a_2', a_3', f_1' , 这个旋转角度 b' 就确定了抛物面单元的方位;

[0025] (3) 下一个抛物面单元的旋转中心 $M0(x_{p0}', y_{p0}', z_{p0}')$ 是通过前一个抛物面单元的标准抛物面上的点 $M1(x_{b0}', y_{b0}', z_{b0}')$ 求得的, 它们之间的关系满足下面的方程组:

$$\begin{cases} x_{p0}' = (m_c' + (x_{b0}' - m_c') * \cos(b'/2) + (z_{b0}' - k_c') * \sin(b'/2) \\ z_{p0}' = (k_c' + (z_{b0}' - k_c') * \cos(b'/2) - (x_{b0}' - m_c') * \sin(b'/2) \\ (x_{b0}' - a_1')^2 + (y_{b0}' - a_2')^2 = 4f_1'(z_{b0}' - a_3') \\ \frac{x_{p0}' - x_0'}{a - x_0'} = \frac{z_{p0}' - z_0'}{d - z_0'} \\ a_1' = (m_c' + x_{b0}')/2 \end{cases}$$

[0026] 通过求解上述方程组得到下一个抛物面单元的旋转中心 M0;

[0027] 第五步. 根据前两步求得的积分器参数, 建立积分器模型;

[0028] 第六步. 根据积分器模型设计加工路径, 进行超精密车削加工根据积分器模型设计加工路径。

[0029] 常规的折射型的光学积分器需要会聚透镜将第二个微透镜阵列的光束进行会聚, 才能实现匀光的目的。相比较折射型的光学积分器, 本发明设计的反射式光学积分器就不需要会聚透镜, 在接收面直接可以形成均匀照明分布, 只需要一个反射镜即可实现折射型积分器的作用。

[0030] 本发明的反射型积分器比传统的透射型积分器结构简单, 而且稳定性好, 在相同入射光的能量情况下, 有更加优秀的光照强度的分布均匀, 而且因为减少了像差和透射损失, 到达接收面能量也有了大幅度的提高。如果采用矩形光源而非正方形光源, 但是本发明的积分器仍然能够得到非常好的匀光效果, 而相同条件下的微透镜阵列积分器的接收面的照度分布却受了一定的影响, 本发明的光学积分器在实现光线的均匀性上具有更大的优越性。

附图说明

[0031] 图 1 本发明的积分器的整体结构图。

[0032] 图 2 设计整体流程图。

[0033] 图 3 积分器中心处的抛物面单元。

[0034] 图 4 积分器沿着 Y 方向的抛物面单元。

[0035] 图 5 积分器 ZOX 平面的视图 (俯视图)。

[0036] 图 6 积分器沿着 X 方向的抛物面单元。

[0037] 图 7 积分器 YOZ 平面的视图 (侧视图)。

[0038] 图 8 中心处的积分器单元轮廓图。

[0039] 图 9 沿着 X 方向的积分器单元。

[0040] 图 10 积分器的轮廓图。

具体实施方式

[0041] 本发明设计的积分器由抛物面反射镜阵列组成,如图 1 所示。以积分器中心处的抛物面中心为坐标原点,以平行光入射的反方向为 Z 轴,建立如图 1 所示的直角坐标系。积分器的位置参数包括各个曲面单元所在抛物面的参数、抛物面单元中心的坐标、抛物面单元沿着 X 轴和 Y 轴的边长。每个抛物面单元的方向参数包括抛物面单元分别绕 X 轴和 Y 轴的旋转角度以及绕 X 轴和 Y 轴旋转的旋转中心的坐标。

[0042] 图 1 为积分器的整体结构图,沿着 Z 轴的平行光经过积分器的反射后,到达接收面。本发明中所提及的曲面阵列单元均为抛物面,利用平行于主光轴的光线经过抛物面反射将会聚到抛物面焦点的特点完成整个积分镜的设计。若要实现积分器的匀光,关键就是要精确计算每个单元的位置和角度,将抛物面阵列围绕 X 轴和 Y 轴进行特定角度的旋转实现积分器的均光的作用。参见图 2,本发明的积分器的设计主要步骤如下。

[0043] 1. 位于坐标原点处的积分器单元的确定。这个需要根据积分器的焦距和接收面的大小确定。

[0044] 2. 完成 X 轴方向上的积分器单元参数的计算,主要确定积分器单元的抛物面方程的参数,以及积分器单元在 X 轴方向上绕 Y 轴旋转的转角、旋转中心的坐标和积分器单元的边长。

[0045] 3. 依次完成 Y 轴方向上的积分器单元参数的计算,主要确定积分器单元的抛物面方程的参数,以及积分器单元在 Y 轴方向上绕 X 轴旋转的转角、旋转中心的坐标和积分器单元的边长。

[0046] 4. 根据积分器单元的中心、积分器单元的抛物面方程、分别与 X 轴和 Y 轴的旋转角度以及旋转中心的坐标在 3D 软件中建立模型,完成加工模型的建立。

[0047] 5. 确定了积分器的立体模型以后,根据超精密车削技术即可加工出积分器的实物,并且可以控制表面粗糙度在几十纳米范围内。

[0048] 本发明实施过程中提及的的积分器中心处曲面单元的确定方法的具体实施步骤为:

[0049] (1) 根据接收面和反射面的距离确定抛物面的焦距 f ,从而得到抛物面的方程: $X^2+Y^2 = 4fZ$,

[0050] (2) 设中心处的抛物面单元的边长为 $2a$,方形接收面的边长为 d ,如图 3 所示,分别以邻近中心处抛物面单元 100 的抛物面单元 101 和 102 为例说明积分器的计算方法。

[0051] 本发明实施过程中提及的 X 方向的积分器单元的位置参数和方向参数的确定方法的具体实施步骤为:

[0052] (1) 确定接收面的方位:根据抛物面的焦距 f ,接收面的边长 d 以及中心处抛物面单元边长 $2a$,可以求得抛物面中心距离接收面中心的距离 D ,如图 3,

$$[0053] \quad D = f - \left(f - \frac{1}{4f * 2a^2} \right) / a \quad (1)$$

[0054] 同时也已知了中心阵列单元的四个角处的顶点坐标。

[0055] (2) 确定未进行旋转的标准抛物面方程。图 5 是图 4 的俯视图,100 面是中心处的抛物面单元,103 面是未旋转的抛物面单元,101 是旋转以后的抛物面单元,201 面是接收面。由图 4,101 面绕点 P0 点进行旋转,使得原来满足标准表达的抛物面方程变为在原来坐标系下很难表达的曲面方程,设未进行旋转时的抛物面 103 方程为:

$$[0056] \quad (X-a_1)^2+(Y-a_2)^2 = 4f_1(Z-a_3) \quad (2)$$

[0057] 方程中的 a_1, a_2, a_3 为未旋转时的标准抛物面参数。

[0058] (3) 根据中心抛物面 100 面 P1(x_1, y_1, z_1),P2(x_2, y_2, z_2) 以及接收面 201 面 A1(-a, a, D), A2(-a, -a, D) 坐标可以求得旋转以后的抛物面 101 面的焦点位置 B1(x_0, y_0, z_0) 求解方程组为:

$$[0059] \quad \begin{cases} \frac{x_0 + a}{x_1 + a} = \frac{y_0 - a}{y_1 - a} \\ \frac{y_0 - a}{y_1 - a} = \frac{z_0 - D}{z_1 - D} \\ \frac{x_0 + a}{x_2 + a} = \frac{y_0 + a}{y_2 + a} \end{cases} \quad (3)$$

[0060] (4) 利用逆向思维,将焦点 B1 围绕 P0 旋转以后即得到抛物面 103 的焦点,而这个旋转角度即为面 101 绕 P0 的旋转的角度,这个角度就是确定抛物面阵列方位的角度。旋转中心 P0 的坐标为 (m_c, n_c, k_c),则有:

$$[0061] \quad \begin{cases} m_c = (x_1 + x_2) / 2 \\ n_c = (y_1 + y_2) / 2 \\ k_c = (z_1 + z_2) / 2 \end{cases} \quad (4)$$

[0062] (5) 建立旋转角度和抛物面方位的关系,即将 101 的焦点绕 P0 旋转 b,得到 103 的焦点,即满足:

$$[0063] \quad \begin{cases} a_1 = m_c + (x_0 - m_c) * \cos(-b) + (z_0 - k_c) * \sin(-b) \\ f_1 + a_3 = k_c + (z_0 - k_c) * \cos(-b) - (x_0 - m_c) * \sin(-b) \end{cases} \quad (5)$$

[0064] 则可以求得抛物面参数 a_1, a_2, a_3, f_1 ,同时可以得到旋转角度 b。

[0065] (6) 求出新的旋转中心 Q0(x_{p0}, y_{p0}, z_{p0}),如图 5 所示。Q1 是标准抛物面 103 上的点,Q0 是 Q1 关于 P0 旋转 b 角度以后 101 上的点。设 Q1 的坐标为 Q1(x_{b0}, y_{b0}, z_{b0}),根据旋转关系,有:

$$[0066] \quad \begin{cases} x_{p0} = (m_c + (x_{b0} - m_c) * \cos(b/2) + (z_{b0} - k_c) * \sin(b/2) \\ z_{p0} = (k_c + (z_{b0} - k_c) * \cos(b/2) - (x_{b0} - m_c) * \sin(b/2) \end{cases} \quad (6)$$

[0067] 点 Q1 在抛物面 103 上,故有:

$$[0068] \quad (x_{b0}-a_1)^2+(y_{b0}-a_2)^2 = 4f_1(z_{b0}-a_3) \quad (7)$$

[0069] 同时,根据共线关系,有:

$$[0070] \quad \frac{x_{p0} - x_0}{a - x_0} = \frac{z_{p0} - z_0}{d - z_0} \quad (8)$$

[0071] 根据 103 面对称轴的关系,有:

$$[0072] \quad a_1 = (m_c + x_{b0}) / 2 \quad (9)$$

[0073] 建立方程组则可以求出下一个平面的旋转中心 Q0 的坐标,同时也得到抛物面阵列的全部的结构参数和位置参数。

[0074] 本发明实施过程中提及的 Y 方向的积分器单元的位置参数和方向参数的确定方法的具体实施步骤为:

[0075] (1) 确定未进行旋转的标准抛物面方程。图 7 是图 6 的侧视图,100 面是中心处的抛物面单元,104 面是未旋转的抛物面单元,102 是旋转以后的抛物面单元,201 面是接收面。由图 7,101 面绕点 N0 进行旋转,使得原来满足标准表达的抛物面方程变为在原来坐标系下很难表达的曲面方程,设未进行旋转时的抛物面 102 方程为:

$$[0076] \quad (X-a_1')^2 + (Y-a_2')^2 = 4f_1' (Z-a_3') \quad (10)$$

[0077] 方程中的 a_1' , a_2' , a_3' 为未旋转时的标准抛物面参数。

[0078] (2) 根据中心抛物面 100 面 P1(x_1, y_1, z_1), P3(x_3, y_3, z_3) 以及接收面 201 面 A1(-a, a, D), A3(a, -a, D) 坐标可以求得旋转以后的抛物面 102 面的焦点位置 B2(x_0', y_0', z_0') 求解方程组为:

$$[0079] \quad \begin{cases} \frac{x_0' - a}{x_1' - a} = \frac{y_0' + a}{y_1' + a} \\ \frac{y_0' + a}{y_1' + a} = \frac{z_0' - D}{z_1' - D} \\ \frac{x_0' + a}{x_3' + a} = \frac{y_0' + a}{y_3' + a} \end{cases} \quad (11)$$

[0080] (3) 利用逆向思维,将焦点 B2 围绕 N0 旋转以后即得到抛物面 104 的焦点,而这个旋转角度即为面 104 绕 N0 的旋转的角度,这个角度就是确定抛物面阵列方位的角度。旋转中心 N0 的坐标为 (m_c', n_c', k_c'), 则有:

$$[0081] \quad \begin{cases} m_c' = (x_1 + x_3) / 2 \\ n_c' = (y_1 + y_3) / 2 \\ k_c' = (z_1 + z_3) / 2 \end{cases} \quad (12)$$

[0082] (4) 建立旋转角度和抛物面方位的关系,即将 102 的焦点绕 P0 旋转 b' , 得到 104 的焦点,即满足:

$$[0083] \quad \begin{cases} a_1' = m_c' + (x_0' - m_c') * \cos(-b') + (z_0' - k_c') * \sin(-b') \\ f_1' + a_3' = k_c' + (z_0' - k_c') * \cos(-b') - (x_0' - m_c') * \sin(-b') \end{cases} \quad (13)$$

[0084] 则可以求得抛物面参数 a_1' , a_2' , a_3' , f_1' , 同时可以得到旋转角度 b' 。

[0085] (5) 求出新的旋转中心 M0($x_{p0}', y_{p0}', z_{p0}'$), 如图 7 所示。M1 是标准抛物面 104 上的点, M0 是 M1 关于 N0 旋转 b' 角度以后 102 上的点。设 M1 的坐标为 M1($x_{b0}', y_{b0}', z_{b0}'$), 根据旋转关系, 有:

$$[0086] \quad \begin{cases} x_{p0}' = (m_c' + (x_{b0}' - m_c') * \cos(b'/2) + (z_{b0}' - k_c') * \sin(b'/2) \\ z_{p0}' = (k_c' + (z_{b0}' - k_c') * \cos(b'/2) - (x_{b0}' - m_c') * \sin(b'/2) \end{cases} \quad (14)$$

[0087] 点 M1 在抛物面 104 上, 故有:

$$[0088] \quad (x_{b0}' - a_1')^2 + (y_{b0}' - a_2')^2 = 4f_1' (z_{b0}' - a_3') \quad (15)$$

[0089] 同时, 根据共线关系, 有:

$$[0090] \quad \frac{x_{p0}' - x_0'}{a - x_0'} = \frac{z_{p0}' - z_0'}{d - z_0'} \quad (16)$$

[0091] 根据 104 面对称轴的关系,有:

$$[0092] \quad a_1' = (m_c' + x_{b0}')/2 \quad (17)$$

[0093] 建立方程组则可以求出下一个平面的旋转中心 M0 的坐标,同时也得到曲面阵列的全部的结构参数和位置参数。

[0094] 本发明实施过程中提及的积分器模型确定方法的具体实施步骤为:

[0095] (1) 确定了每个积分器阵列的抛物面方程,各自的旋转中心以及旋转角度以后,将阵列对应的抛物面沿着旋转中心旋转相应的角度,得到专利中的抛物面阵列。

[0096] (2) 首先在 X 方向上旋转获得 X 方向的抛物面阵列,然后获得 Y 方向得到抛物面阵列。最后得到本发明的积分器阵列,如图 10 所示。

[0097] 将本发明的反射积分器用在太阳模拟器设计的方法如下:根据入射光口径的大小确定反射积分器整体的大小,按照积分器原理求出积分器整体轮廓图。在太阳模拟器中光源为短弧氙灯,需要经过聚光镜会聚到离轴抛物面上,经过离轴抛物面的准直得到平行光,再入射到反射积分器上,实现对光线的均匀化。

[0098] 为了对比两种积分器的性能,本发明的对两种积分器的仿真采用相同能量的入射光入射,均为 $7.4 \times 4.9\text{mm}$ 的矩形平行光,其中每根光线的功率为 $1\text{W}/\text{cm}^2$,从两个积分器接收面的对比来看,反射型的积分器要比透射型的积分器的辐照度均匀性分布更好,其接收面的功率的最大值为 $2.866 \times 10^2\text{W}/\text{cm}^2$,而相同条件下的折射型的积分器的功率的最大值仅为 $4.357\text{W}/\text{cm}^2$ 。

[0099] 通过对比可以看到,本发明的反射型积分器比传统的透射型积分器结构简单,而且稳定性好,在相同入射光的能量情况下,有更加优秀的光照强度的分布均匀,而且因为减少了像差和透射损失,到达接收面能量也有了大幅度的提高。同时,仿真中采用矩形光源而非正方形光源,但是本发明的积分器仍然能够得到非常好的匀光效果,而相同条件下的微透镜阵列积分器的接收面的照度分布却受了一定的影响。经过比较可以看出,本发明的光学积分器在实现光线的均匀性上具有更大的优越性。

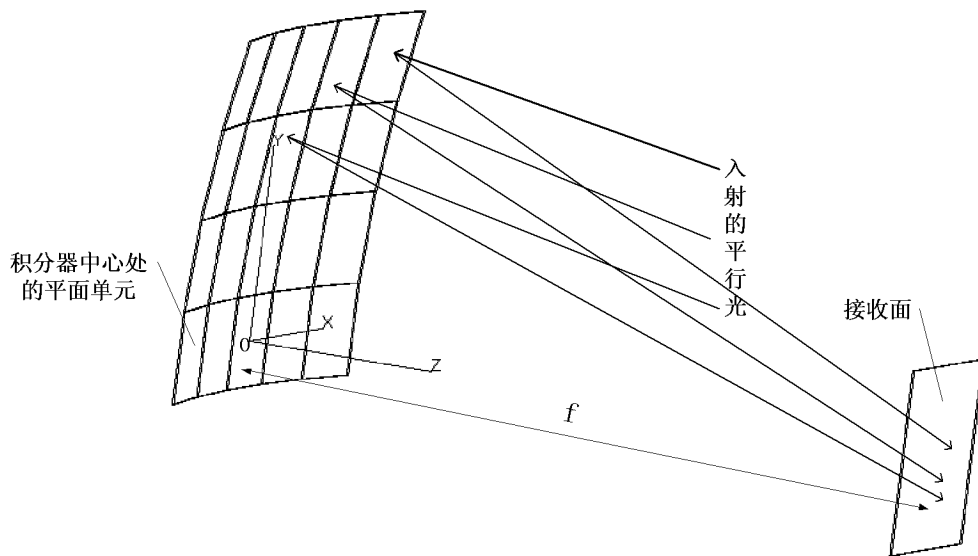


图 1

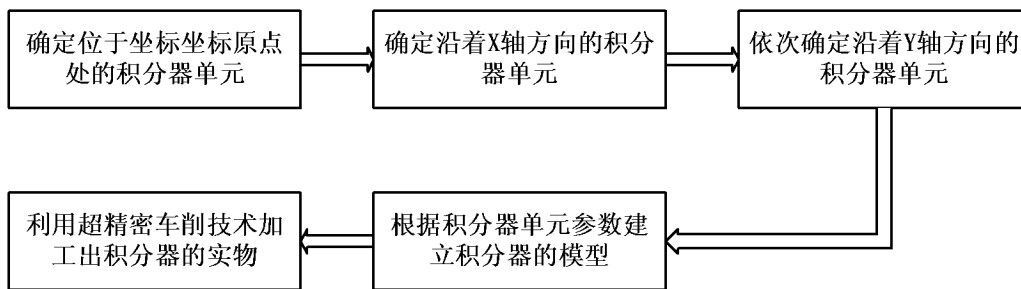


图 2

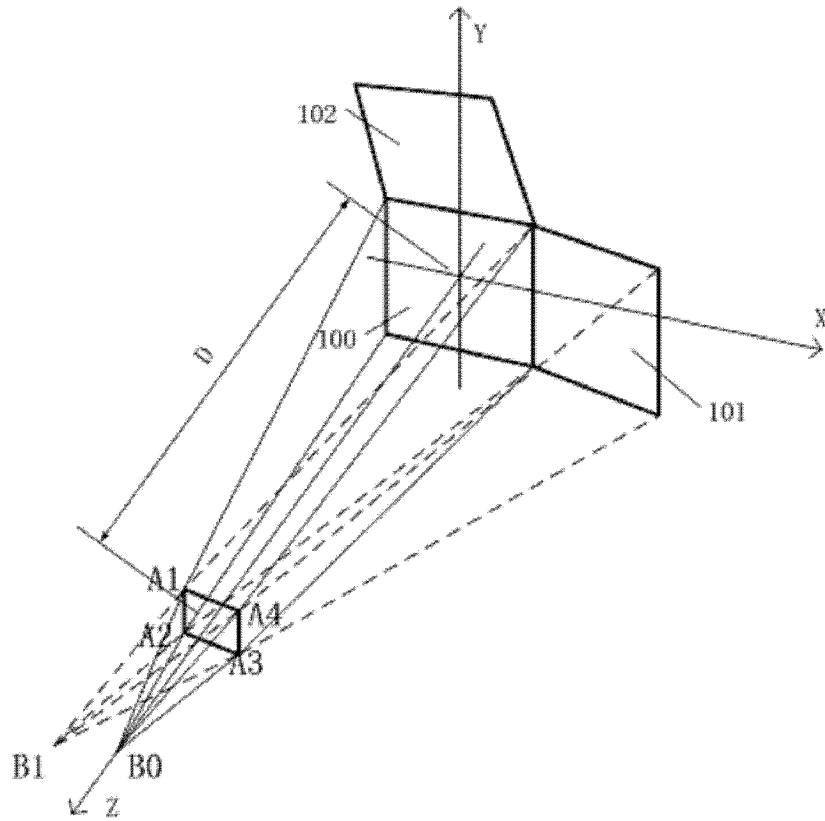


图 3

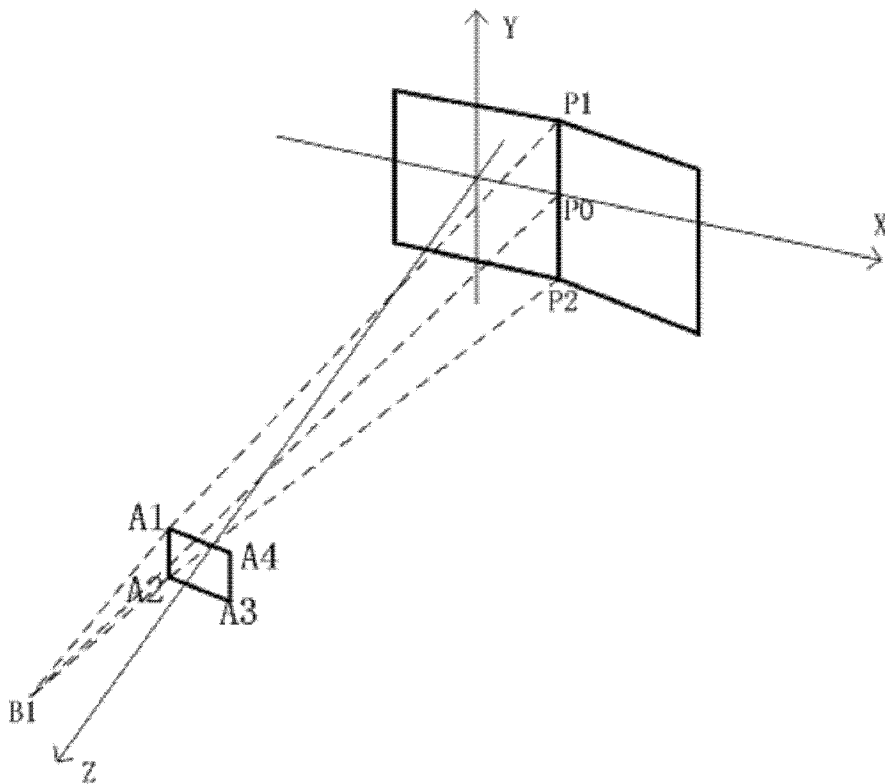


图 4

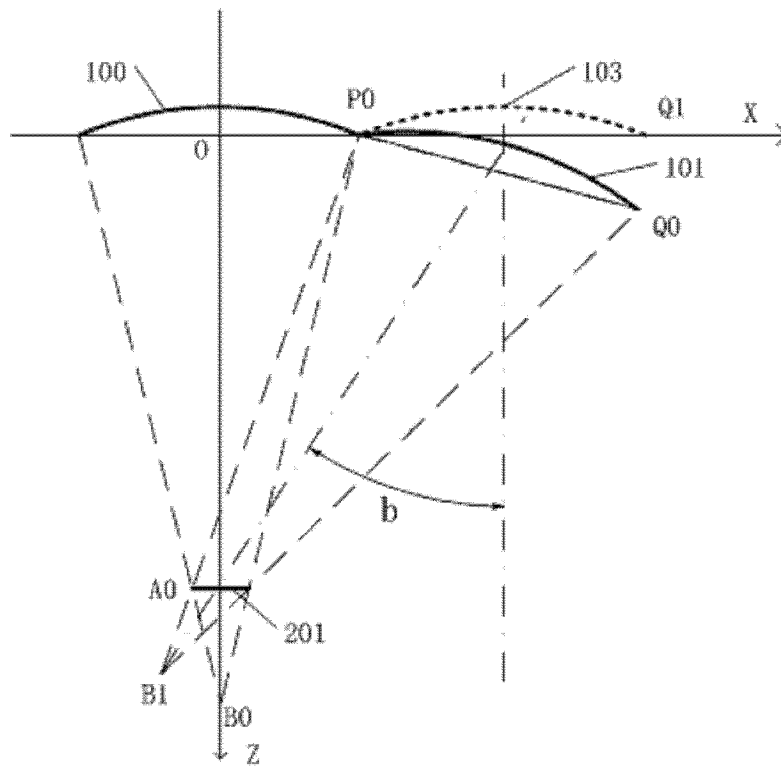


图 5

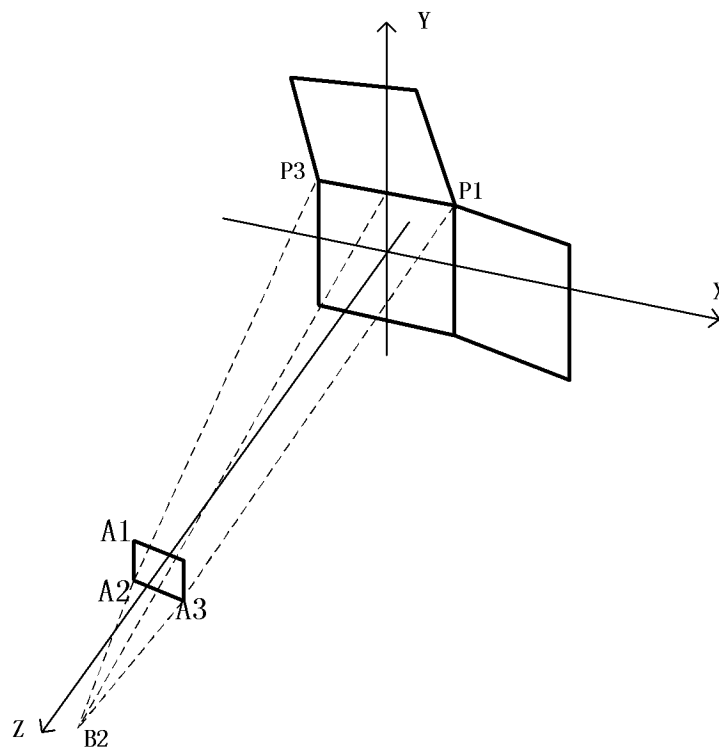


图 6

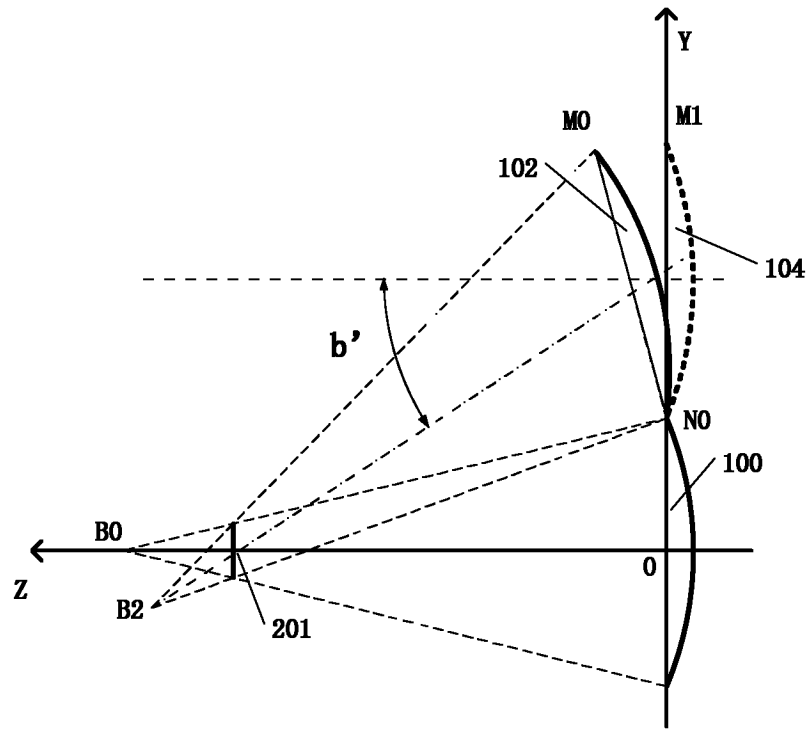


图 7

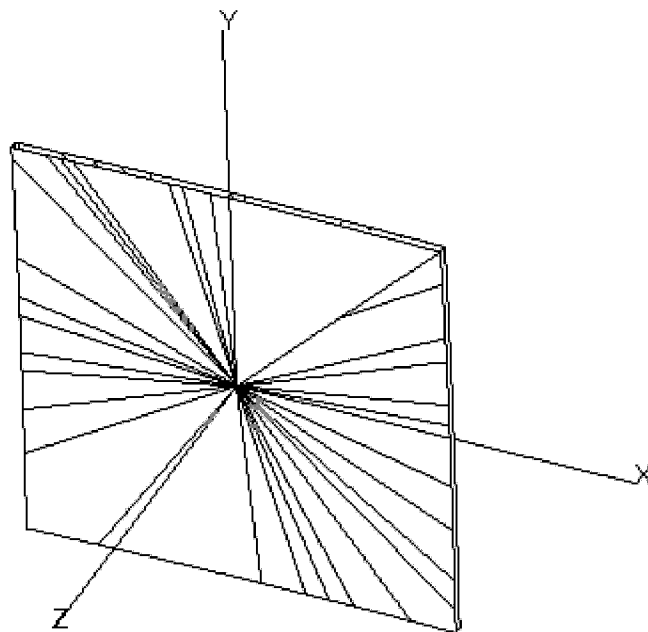


图 8

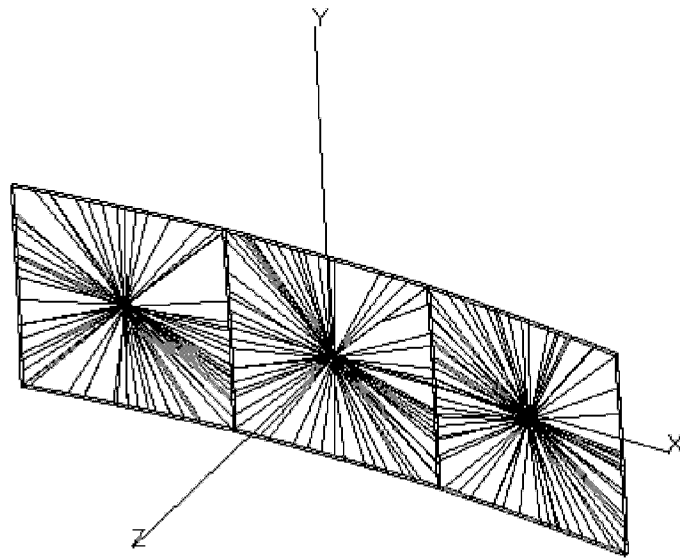


图 9

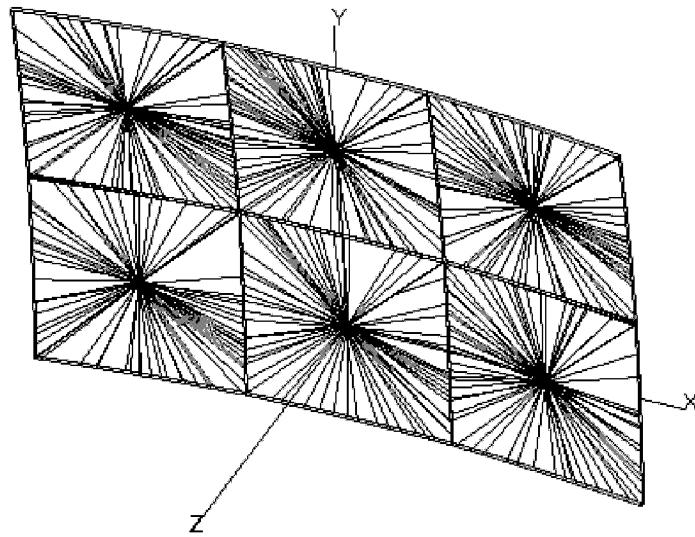


图 10