

Dammann 光栅在光互连中的应用*

周 静 龙 品 徐大雄

(北京邮电学院应用科技系, 北京 100088)

摘 要 本文将 Dammann 光栅^[1,2]应用于光互连, 提出了用 Dammann 光栅实现完全混洗的方法. 一个 2×2 的 Dammann 光栅与一个成像透镜的组合, 具有与四焦点透镜类似的成像作用. 像面上, 像的位置与 Dammann 光栅的位置有关, 适当选择光栅的位置可以实现不同元素数目及不同元素密度的完全混洗. 本文给出了有关的理论推导及实验结果.

关键词 Dammann 光栅, 光互连, 完全混洗.

1 引 言

Dammann 光栅是由 H. Dammann 提出的用于产生二维会聚光束阵列的光学元件, 它在多重成像、二维列阵照明、模式识别、光纤星型耦合器等方面都有应用价值. 本文提出用 2×2 的 Dammann 光栅作互连器件, 实现完全混洗^[3]. 完全混洗是光互连网络的基本组成部分, 已出现了用普通光学元件及全息互连元件等实现完全混洗的多种方法^[4]. 本文提出的用 Dammann 光栅构成的互连光学系统, 通过平移 Dammann 光栅, 可以灵活地改变系统像点位置, 从而实现多种元素数目及多种元素密度的混洗.

2 原 理

一个 2×2 的 Dammann 光栅与透镜的组合具有与四焦点透镜类似的成像作用, 在二倍成像系统中可以实现完全混洗变换.

Dammann 光栅实现分束的原理如图 1 所示, 其中透镜 L 的焦距为 f , P_1 和 P_2 是透镜的一对共轭面, S 为 P_1 面上的点光源, D 为 2×2 的 Dammann 光栅, 坐标系的选取如图中所示. 由透镜的傅里叶变换性质可知^[5], 在近轴条件下, P_2 面上的复振幅分布为 Dammann 光栅的复振幅透过率函数 $t(x_1, y_1)$ 的傅里叶变换:

$$U(x_0, y_0) = c \mathcal{F} [t(x_1, y_1)] \Big|_{\substack{f_x = x_0/2d \\ f_y = y_0/2d}} \quad (1)$$

因为 Dammann 光栅具有周期性的位相结构, 每个周期内含有多个等位相基元, 合理选择各等位相基元的尺寸及位相值, 便可产生期望的会聚光束阵列, 对于 2×2 的 Dammann 光栅,

* 课题得到国家 863 项目和国家教委博士生基金的资助.

收稿日期: 1993 年 7 月 19 日; 收到修改稿日期: 1993 年 9 月 7 日

P_2 面上的光强分布为以光轴为对称中心的 2×2 光束会聚点阵(如图 1 所示). 由(1)式易见, 这四个点的位置坐标值与参数 d (Dammann 光栅和 P_2 面之间的距离)成正比.

若将点光源移至轴外点 (x_i, y_i) 处, 则由傅里叶变换的性质知 P_2 面上的复振幅分布为^[附录]:

$$U(x_0, y_0) = c' \mathcal{F}[t(x_i, y_i)] \Big|_{\substack{f_x = (x_0 + \frac{d_0}{d_i} x_i) / \lambda d \\ f_y = (y_0 + \frac{d_0}{d_i} y_i) / \lambda d}} \quad (2)$$

与(1)式比较易见, 点光源由轴上移到轴外点 (x_i, y_i) 时, P_2 面上的四个光束会聚点将相应平移: $\Delta x = -(d_0/d_i)x_i$; $\Delta y = -(d_0/d_i)y_i$, 平移量只与 d_0/d_i 有关, 与 d 无关. 由此可得出: 1) 在图 1 所示的光学系统中, P_1 面上的物将在 P_2 面上成四个像, 成像放大率为:

$$M = \frac{\Delta x}{x_i} = \frac{\Delta y}{y_i} = -\frac{d_0}{d_i}$$

这与四焦点透镜的成像规律类似. 2) 四个像的位置与 d 有关. 这是因为轴上物点的像点坐标值与 d 成正比, 而轴外物点的像点坐标是在前者像点的位置上平移了 $(d_0/d_i)x_i$.

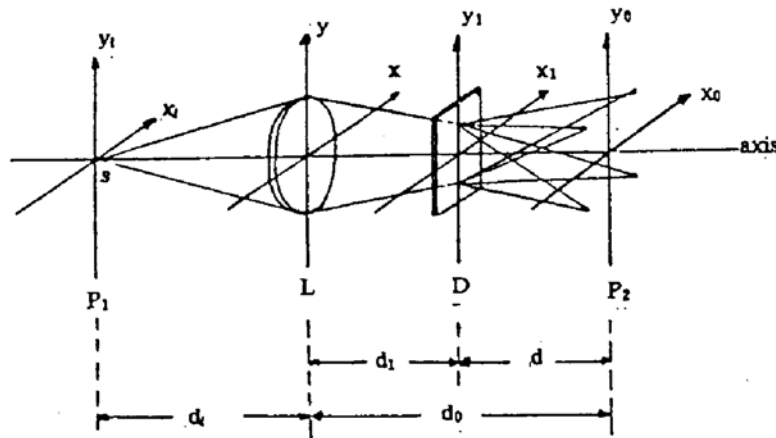


Fig. 1 Schematic diagram of beam splitting with the Dammann grating. P_1 -object plane; S-on-axis point light source; L-image lens; D- 2×2 Dammann grating; P_2 -image plane

这样的成像特性在实现完全混洗变换上是很方便的. 如果用一个以光轴为对称中心、相邻间隔为 t 的 $N \times N$ 点阵作为物放在 P_1 面上, 那么 P_2 面上将得到四个 $N \times N$ 的像点阵, 相邻点间隔为 $(d_0/d_i)t$. 因为四个像各自的对称中心(轴上点的像点)的位置与 Dammann 光栅的位置 d 有关, 将 Dammann 光栅沿光轴方向平移(机械运动), P_2 面上的四个像的位置将改变, 如图 2 所示, 光栅移向 P_2 面时, d 减小, 四个像将向光轴靠拢. 图 2(a)中各符号的意义与图 1 中的相同. 图 2 中实线和虚线分别代表光栅平移前后的位置.

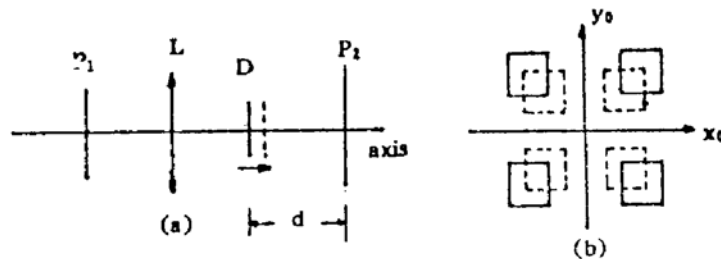


Fig. 2 Changes of the images positions relating to the moving of Dammann grating

(a) the Dammann grating moves to image plane; (b) the 4 image move to the optical axis

若将 Dammann 光栅移至使四个像的对称中心分别位于点: (q, q) $(q, -q)$ $(-q, q)$ $(-q, -q)$ 的位置(其中 $q = (N - 1)t/2$, 且取 $d_0/d = 2$), 则分别以此四个点为对称中心的四个像阵列将在光轴附近交错重叠, 每个像点阵的相邻点间隔为 $2t$. 图 3 表示四个 4×4 的像阵列的重叠情况. 图 3(c)中心处间隔为 t 的 $N \times N$ 点阵便是输入阵列的一个倒易的混洗变换, 必要时可用透镜成像得到正立的混洗.

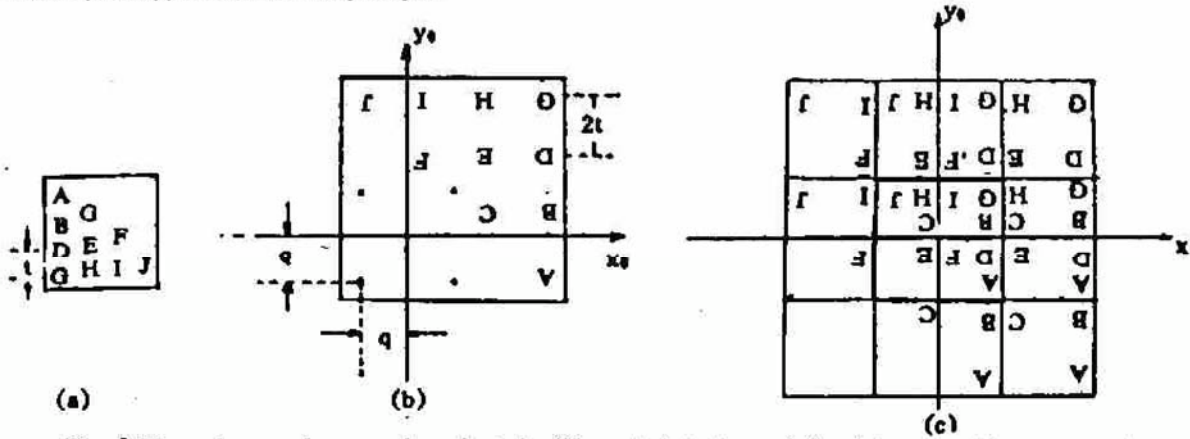


Fig. 3 The scheme of reversal perfect shuffle with interlace of the 4 image arrays. images

(a) input array; (b) 4 image center positions and one image; (c) the 4 interlaced

N 和 t 分别对应于参加混洗的阵列的元素数目及元素密度, 对于参数为 (N, t) 的输入阵列, 由 $q = (N - 1)t/2$ 可得到输出面(像面)上四个像对称中心的位置, 以此为依据结合 Dammann 光栅的参数, 可算出 d , 将 Dammann 光栅移至所需的位置 d , 便可实现混洗变换.

3 实验结果

为了验证上述的理论分析, 进行了模拟实验. 光源为 He-Ne 激光, 经扩束准直后, 照射到输入面 P_1 上. 成像透镜 L 的焦距 f 为 360 mm, 输入面与成像透镜的距离为 $1.5f$, 输出面与成像透镜的距离为 $3f$, 构成 2 倍成像系统. 将图 4(a)所示的 4×4 的阵列放在输入面 P_1 上, 其中 10 个元素由不同的字母构成, 6 个元素不透光. 图 4(b)是实验结果. 可见, 图 4(a)和图 4(b)构成混洗变换.



Fig. 4 The experimental result (a) input array; (b) output array

结 论 实验结果表明, 本文用 Dammann 光栅实现完全混洗的方法是可行的. 该方法与全息四焦点透镜^[6]相比具有如下优点: 1) 用一块 Dammann 光栅可以实现多种元素数目及元素密度的混洗. 2) Dammann 光栅为较成熟的二元光学器件, 制作方便, 且具有衍射效率高、稳定性好、便于复制等优点. 另外, 用 Dammann 光栅实现的完全混洗没有串音.

[附录]

在图 1 所示的光学系统中, 如果将轴上点光源 S 移至轴外点 (x, y) , 则在近轴条件下, P_2 面上的复振幅分布可按如下几步分析推导出: 1) (x, y) 点处发出的单色球面波传播到透镜前表面; 2) 附加一个透镜的位相因子; 3) 由透镜后表面到 Dammann 光栅的非涅耳衍射; 4) 附加 Dammann 光栅的透过率函数; 5) 非涅耳衍射到 P_2 平面. 由此可推得 P_2 面上的复振幅分布为:

$$U(x_0, y_0) = \frac{a}{\lambda^2 d_0 d_1} \iint_{-\infty}^{\infty} \exp \left[jk \frac{(x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2}{2d} \right] t(x_1, y_1) \\ \left\{ \iint_{-\infty}^{\infty} \exp \left[jk \frac{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2}{2d_1} \right] \exp \left[-jk \frac{x^2 + y^2}{2f} \right] \right. \\ \left. \exp \left[jk \frac{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2}{2d_1} \right] dx dy \right\} dx_1 dy_1$$

各指数因子展开再同类合并, 用分布积分法可求得:

$$U(x_0, y_0) = c' \iint_{-\infty}^{\infty} t(x_1, y_1) \exp \left\{ -jk \left(\frac{x_0 + \frac{d_0}{d_1} x_1}{d} x_1 + \frac{y_0 + \frac{d_0}{d_1} y_1}{d} y_1 \right) \right\} dx_1 dy_1 \\ c' \mathcal{F} \left[t(x_1, y_1) \right] \Big|_{\substack{f_x = (x_0 + \frac{d_0}{d_1} x_1)/\lambda d \\ f_y = (y_0 + \frac{d_0}{d_1} y_1)/\lambda d}}$$

参 考 文 献

- [1] H. Dammann, K. Görtler, High-efficiency in-line multiple imaging by means of multiple phase holograms. *Opt. Commun.*, 1971, 3(5): 312~315
- [2] J. Turunen, A. Vasara, J. Westerholm, Kinoform phase relief synthesis: a stochastic method. *Opt. Engng.*, 1989, 28(11): 1162~1167
- [3] A. W. Lohmann, W. Stork, G. Stucke, Optical perfect shuffle. *Appl. Opt.*, 1986, 25(10): 1530~1531
- [4] A. Guha, J. Bristow, C. Sullivan *et al.*, Optical interconnections for massively parallel architectures. *Appl. Opt.*, 1990, 29(8): 1077~1093
- [5] 黄婉云, 傅里叶光学教程, 北京, 北京师范大学出版社, 1985: 129~138
- [6] N. Davidson, A. A. Friesem, E. Hasman, Realization of perfect shuffle and inverse perfect shuffle transforms with holographic elements. *Appl. Opt.*, 1992, 31(11): 1810~1813

The Application of Dammann Grating in Optical Interconnection

Zhou Jing Long Pin Xu Daxiong

(Department of Applied Physics, Beijing University of Posts & Telecommunications, Beijing 100088)

(Received 19 July 1993; revised 7 September 1993)

Abstract In this paper, a new method to implement the perfect shuffle^[3] with the Dammann grating^[1,2] used for optical interconnection is proposed. The combination of a 2×2 Dammann grating and an imaging lens is functional as a conventional lens composed of 4 off-axis subpherical lenses. The position of the image point is determined by the distance between the Dammann grating and the output plane. Properly choosing the position of Dammann grating, we can realize perfect shuffle with various density and various capacity. The theory and the experimental result was presented.

Key words Dammann grating, optical interconnection, perfect shuffle.