

用计算全息元件实现光学 perfect shuffle 网络

周 进 高文琦

(南京大学物理系, 南京 210008)

提 要

本文介绍了一种实现光学 perfect shuffle(PS)网络的方法,它是用计算机产生全息片(OGE)的方法制作的元件,该元件可以很简单地实现二维光学 PS 网络,实验结果表明,该方法是可行的,效果好,能推广到其它的变换网络。

关键词: 计算全息、波带板、PS 网络。

早期的 perfect shuffle 网络的研究是在计算机进行快速傅里叶变换的算法,矩阵运算等方面^[1],1986年 Lohmann 在文献[2]中,将这种 PS 网络与光学计算机中的光学互连而联系起来,认为该网络可以作为实现任意形式光互连的基本网络,因而引起人们的很大兴趣,提出了一些从光学上实现它的办法,归纳起来主要有如下几种:(1)用经典的透镜和棱镜的组合系统^[3,4];(2)通过对输入图象进行分束成像再交错组合法^[5~7];(3)空间编码滤波法^[8,9]。本文介绍一种用计算机全息元件来实现 PS 网络的方法,该方法过程简单、效果好,并很容易推广到其它变换网络,如逆 PS 网络,蝶形网络,elos 网络。

一、PS 网 络

所谓 PS 网络就是指将输入的一组卡片、数据或元素分成相等的上下两部分使它们以交错相嵌的排列输入,例如 8 个元素的 PS 网络可用图 1 表示。

而用数学语言可表示为:若输入一组元素 $A_k(k=0, 1, \dots, N-1)$ 那么其输出则为 $A_{k'}(k'=0, 1, \dots, N-1)$, 其中 k' 与 k 的关系为

$$k' = \begin{cases} 2k, & (0 \leq k < (N/2)) \\ 2k - N + 1, & ((N/2) \leq k < N) \end{cases} \quad (1)$$



Fig. 1 Perfect shuffle permutation of eight inputs

这种 PS 网络有如下特点^[10]: 如有 N 个元素, 则进行 $\log_2 N$ 次 PS 可以使元素顺序还原, 若按一定要求则用 $3 \log_2 N$ 次可以使原来排列的顺序变成任意要求的其它排列顺序, 由于这些特点的存在, 加之 PS 网络规律简单, 用它作为光学计算机中光学互连的基本网络可能是适宜的。

二、波带板及其特性

波带板是由一系列半径为 $R_n = \sqrt{\lambda P n}$, ($n=1, 2, \dots, \infty$) (λ, P 为波长与焦距参数) 的圆, 将其间隔涂黑所构成的如图 2 所示, 波带板的主焦点通常用 f 表示, 易得 $f = R_0^2/\lambda$, R_0 为中心波带的半径, λ 为波长, 这时波带板具有凸透镜的功能。



Fig. 2 Fresnel zone plate

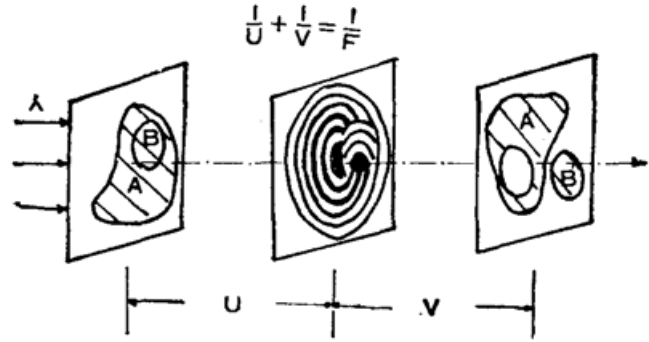


Fig. 3 Space variable optical system generated by the synthetic zone plate

波带板的另一特点是在制作过程中可方便地人为控制以达到一些特殊的目的, 这对要产生物像空间位置可变的光学系统尤为方便, 如要使由 AB 两部分组成的图象输入系统后, 在输出面上 A' 保持不变, 而 B' 相对于 A' 发生了相对移动, 这在设计该系统波带板时, 只需要将 B 部分对应的那部分波带板的圆心取在 BB' 的连线上即可实现, 如图 3 所示。

三、PS 网络的计算全息片元件的设计和制作

PS 网络的光学实现过程是一种众多元素的光学空间可变的过程, 用透镜与棱镜的组合来实现显得很困难, 而用计算机绘制波带板的组合体即计算机的全息元件将有其方便之处。

设计一个二维 4×4 个元素的 PS 网络的计算全息元件。

图 4(a)、(b) 分别为二维输入元素排列以及洗牌后输出元素的排列, 要完成该 PS, 实际只要对各元素作如下两种形式的交换, 其一, 对光互连来说, 每一元素仅代表亮点或暗点即 0 或 1, 所以每一元素可认为是空间对称的, 那么只要作如图 5(a) 的交换即可, 其二, 对广义的 PS 网络, 每一元素空间不对称, 因此就必须考虑到波带板成像的倒易关系, 必须作如图 5(b) 的交换才行, 这两种交换形式虽然不同, 但实现方法却是一样, 当然后者在制作计算全息元件时要比前者困难, 因为它涉及到波带板中更高空间频率的条纹, 使绘图和制板难度加

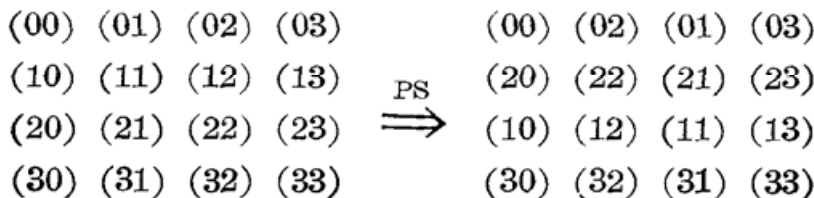


Fig. 4 A representation for a 2-D perfect shuffle

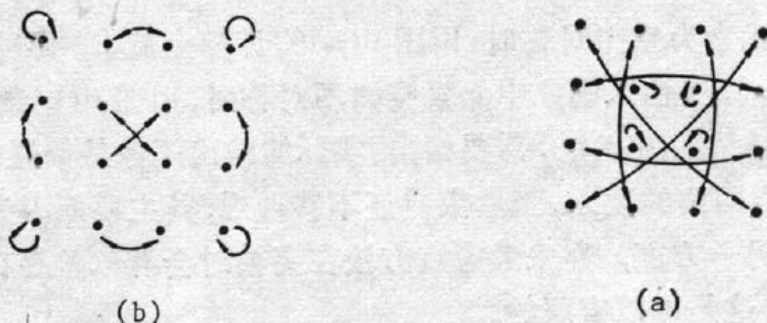


Fig. 5 Perfect shuffle permutation for a 4×4 array
(a) symmetrical element; (b) dissymmetrical element



Fig. 6 Structure of two CGH elements

大,完成这两种交换的计算全息元件的示意图如图 6,这十六部分波带板的组合是计算机根据 PS 要求控制绘图仪得到的,它们共有 9 个中心点,其中每一子波带板的 R_0 都相同即焦距相同,从而成像面都在同一平面上,然后将该图经光学缩微制板即成为计算全息 PS 元件。

四、实验结果与讨论

将计算全息 PS 元件放置在光路中,在计算全息元件的前 $2f$ 处放置输入图像,在元件的后 f 处进行小孔滤波,选出一级衍射波。在元件的后 $2f$ 处即可得到所要求的输出图像如图 7。

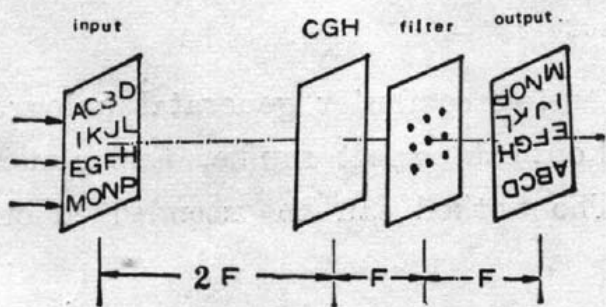


Fig. 7 Optical perfect shuffle setup using CGH element

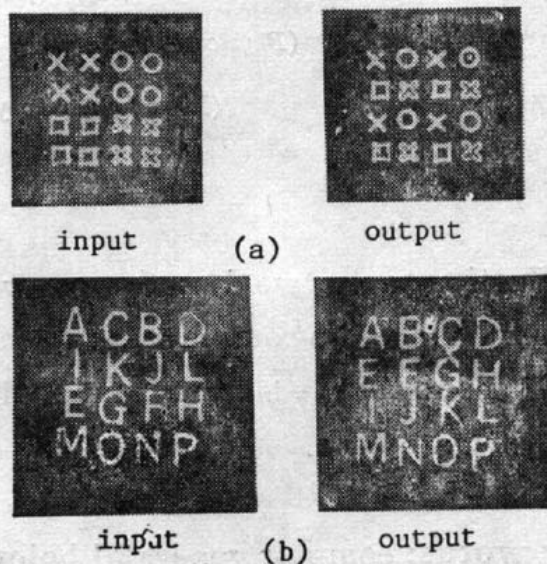


Fig. 8 Experimental result for the 4×4 perfect shuffle

当输入图像中各元素为空间对称时,用图 6(a)的计算全息 PS 元件。它所对应的输入输出图像结果如图 8(a),当输入图像中元素空间不对称时,用图 6(b)的计算全息 PS 元件,它所对应的输入输出结果如图 8(b),需要指出、实际的输出图像是倒置的。从实现结果看,很好地完成了 PS 变换网络的要求,当然像质还不够理想,其主要原因为一方面计算全息元件的绘图质量不高。另一方面,亦未考虑该方法在离轴时会有像差存在造成了字符有些变形和衍射噪音的存在,这是可以克服的。

用计算全息元件完成 PS 网络实验证明是可行的,这种方法有如下几个特点:

- (1) PS 变换前后各元素之间空占地可以保持不变,这对多级 PS 变换尤为重要;
- (2) 方便灵活,可以做其它形式的变换,如矩阵变换等;
- (3) 对振幅型计算全息片效率约为 10%,要进一步提高可做成位相型达 40%。
- (4) 由于物波到计算全息元件时将会出现衍射,因此要求物到计算全息片元件之间距离能满足几何光学近似,才能有较好的结果。

参 考 文 献

- [1] H. S. Stone; *IEEE Trans. Computer* 1971, **C-20**, No. 2 (Feb), 153~157.
- [2] A. W. Lohmann; *Appl. Opt.*, 1981, **25**, No. 10 (15 May), 1543~1549.
- [3] G. Eichmann; *Appl. Opt.*, 1987, **26**, No. 7 (1 Apr), 1167~1169.
- [4] A. W. Lohmann; *Appl. Opt.*, 1986, **25**, No. 10 (15 May), 1530~1531.
- [5] Yunlong Sheng; *Appl. Opt.*, 1989, **28**, No. 15 (15 Aug), 3290~3292.
- [6] C. W. Stirk; *Appl. Opt.*, 1988, **27**, No. 2 (15 Jan), 202~203.
- [7] K. H. Brenner; *Appl. Opt.*, 1988, **27**, No. 1 (1 Jan), 135~137.
- [8] G. E. Lohman; *Opt. Engng*, 1988, **27**, No. 10 (Oct), 893~898.
- [9] Q. W. Song; *Appl. Opt.*, 1988, **27**, No. 8 (15 Apr), 1222~1223.
- [10] A. A. Sawchuk; *Proc. SPIE*, 1987, Vol. 813, 547~548.

Optical perfect shuffle using CGH element

ZHOU JIN AND GAO WENQI

(Physics Department of Nanjing University, Nanjing 210008)

(Received 16 July 1990; revised 12 October 1990)

Abstract

In this paper, we describe a new method using computer generatal holograph element (CGH) to complete two-dimensional optical perfect shuffle. Experimental result shows that it is feasible and effective. The mothod can be extended to other transformnetwork.

Key words: compter generatal holograph, zone plate, perfect shuffle