

# Hough 变换的实时并行光学实现

高 隽

(合肥工业大学计算机与信息系 合肥 230009)

**提要** 在采用相干光学系统实现 Hough 变换(HT)的基础上,提出了实时实现 HT 的并行光学方法。克服了相干光学系统实现 HT 所存在的系统复杂、速度受限和应用场合受限等缺陷。

**关键词** Hough 变换, 权值矩阵, 光学计算

Hough 变换(HT)自从 1962 年在美国作为专利被发表以来<sup>[1]</sup>,由于它可对形状进行有效的识别,可并行实现,而且对噪声不敏感,因而得到了极大的关注。但是 HT 计算量很大并且需要很大存储空间。为解决该问题可采用光学系统实现 HT<sup>[2,3]</sup>,利用 Hough 变换与 Fourier 变换之间的关系,用 Fourier 光学相干实现 HT<sup>[4]</sup>。但是该方法存在以下问题:(1) 输入图像必须以相干形式出现,而实际应用场合,图像多以非相干形式出现;(2) 速度受限,输入图像需在计算机中计算旋转,然后写入 Display,要求的分辨率越高,需旋转的次数就越多;(3) 系统复杂。为解决该问题可利用 Hough 变换的并行性,采用并行光学系统实现 HT。

本文从离散 HT 出发,介绍两种实时并行实现 Hough 变换的方法,即直接形式和反投影形式,并对二者进行了比较,最后给出与相干 Hough 物镜相对比的实验结果。

## 1 离散 Hough 变换

对于输入图像为  $b(x', y')$  连续 HT 的定义如下<sup>[1]</sup>

$$h(\theta, \gamma) = \iint b(x', y') \cdot \delta[\gamma - (x' \cdot \cos\theta + y' \cdot \sin\theta)] dx' dy' \quad (1)$$

为采用并行光学系统实现 HT,需推导相应的离散 HT。为此设输入图像为  $b(x, y)$ ,其中  $x \in [-1, 1], y \in [-1, 1]$ ,输入图像大小为  $N_I \times N_J$ ,在  $x$  和  $y$  方向上的采样点  $i, j$  分别取值为  $i = -\frac{N_I}{2}, \dots, \frac{N_I}{2} - 1, j = -\frac{N_J}{2}, \dots, \frac{N_J}{2} - 1$ ,这样输入图像在  $x$  和  $y$  方向上的分辨率分别为  $\Delta x = \frac{2}{N_I}, \Delta y = \frac{2}{N_J}$ 。同样设经 HT 之后的图像为  $h_{k,l}$ ,其大小为  $N_K \times N_L$ ,在 Hough 空间的采样点  $k, l$  分别为  $k = -\frac{N_K}{2}, \dots, \frac{N_K}{2} - 1; l = 0, \dots, N_L - 1$ ,这样 Hough 空间的分辨率为  $\Delta \gamma = \frac{2}{N_K}, \Delta \theta = \frac{\pi}{N_L}$ 。对于离散的 HT,  $h_{k,l} = h(k\Delta\gamma, l\Delta\theta)$  可推得<sup>[5,6]</sup>

\* 国家自然科学基金(编号: 69805001)和安徽省自然科学基金资助项目。

$$h_{k,l} = \int_{x=-1}^1 \int_{y=-1}^1 w_{k,l}(x,y) \cdot b(x,y) dx dy \tag{2}$$

其中  $w_{k,l}(x,y) = \begin{cases} 1 & |k\Delta y - [x \cos(l\Delta\theta) + y \sin(l\Delta\theta)]| \leq \Delta y/2 \\ 0 & \text{其余情况} \end{cases} \tag{3}$

另外, 相对于公式(2) 和(3), 可先将输入图像  $b_{i,j}$  按  $\Delta x$  和  $\Delta y$  离散化, 再同 Hough 权值  $w_{i,j}(\gamma, \theta)$  相乘, 累加, 即可得离散的 HT  $h_{k,l}$

$$b_{i,j} = b(i\Delta x, j\Delta y) \tag{4}$$

$$h(\gamma, \theta) = \sum_{i,j} w_{i,j}(\gamma, \theta) \cdot b_{i,j} \tag{5}$$

$$h_{k,l} = h(k\Delta\gamma, l\Delta\theta) \tag{6}$$

其中权值矩阵  $w_{i,j}(\gamma, \theta)$  为

$$w_{i,j}(\gamma, \theta) = \begin{cases} 1 & |\gamma - [i\Delta x \cos(\theta) + j\Delta y \sin(\theta)]| \leq \frac{\Delta x + \Delta y}{2} \\ 0 & \text{其余情况} \end{cases} \tag{7}$$

## 2 HT 的并行光学实现

### 2.1 直接形式

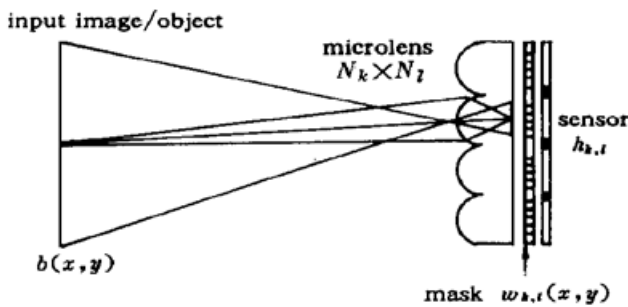


图 1 直接形式光学系统示意图

Fig.1 Diagram of the direct optical system

对于前面推导的公式(2), (3) 所表示的离散 HT, 可采用直接形式的光学系统加以并行实现。该光学系统由三部分组成: 显微透镜矩阵、固体掩膜和探测器, 其结构示意图如图 1 所示。其中的显微透镜矩阵将模拟、连续的输入信号倍增为  $N_k \times N_l$  空间受限的输入图像; 固体掩膜上刻有权值矩阵  $w_{k,l}(x,y)$ , 它同输入图像相乘, 完成公式(2) 中的相乘运算; 公式(2) 中的积分运算在探测器上通过扫描完成。其原理如图 2 所示。

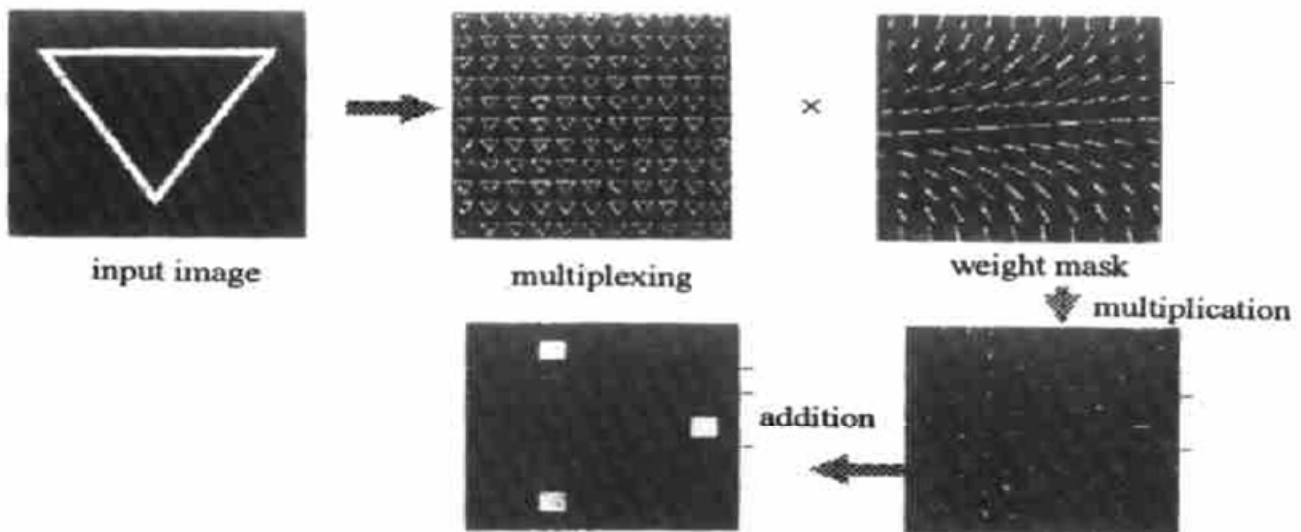


图 2 HT 直接形式并行实现原理示意图

Fig.2 Diagram of direct parallel implementation of HT

### 2.2 反投影形式

对于前面公式(4)~(7)所表示的实现离散 HT 的过程,可采用反投影形式的光学系统加以并行实现。该光学系统由四部分组成:液晶显示器、显微透镜矩阵、固体掩膜和探测器,其结构示意图如图 3 所示。

对于反投影形式实现 HT 的光学系统,首先需将输入图像写入液晶显示器,完成公式(4)的输入图像采样;该采样输入图像通过刻有权值矩阵  $w_{i,j}(\gamma, \theta)$  的固体掩膜,完成公式(5)的乘法运算;然后通过显微透镜矩阵在探测器上成像。其原理示意图如图 4 所示。

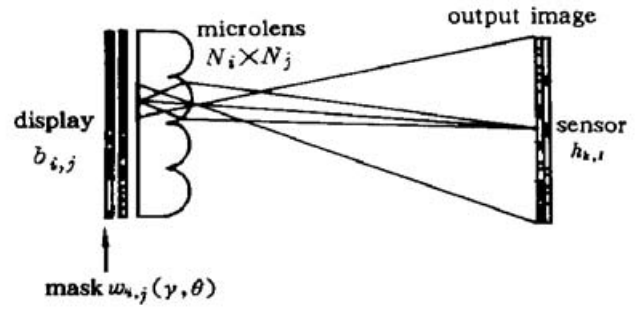


图 3 反投影形式光学系统示意图

Fig. 3 Diagram of the inverse projection optical system

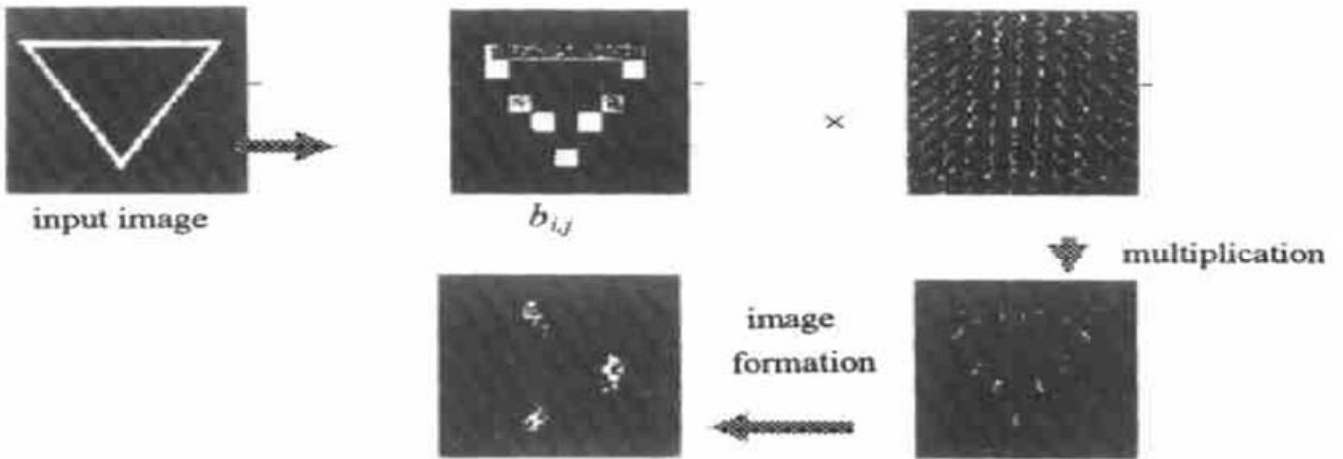


图 4 HT 反投影形式并行实现原理示意图

Fig. 4 Illustration of the implementation principle of parallel inverse projection of HT

### 2.3 直接形式与反投影形式比较

从前面的讨论可见,直接形式和反投影形式的光学系统均可并行实现 HT,但二者在以下方面有所不同:

	直接形式	反投影形式
光学结构	结构紧凑	需要 display, 结构不紧凑
信号输入	不受限的、自然图像	需要送入 display
输入信号类型	模拟、连续信号	采样信号
输出信号类型	采样信号	模拟、连续信号
信号输出	分辨率受限	分辨率不受限

## 3 实验结果

考虑到直接形式的光学系统可省略用于采样的 CCD 和 Display, 以及结构紧凑、小巧和易于调整,所以我们选用直接形式的光学系统来实现 HT。所得实验结果如图 5 所示。

图 5 中的输入图像为 CCD 获取的,经二值化后的  $128 \times 128$  图像;图 5 中间一排图像是相干 Hough 物镜的输出图像;下排图像是图 1 直接形式光学系统的输出图像,显微透镜矩阵为  $32 \times 32$ 。其中直接形式实现 HT 的光学系统,输入图像即为自然光照射的待识别物体,无需进行图像的旋转运算,系统简单、小巧,可实时并行实现 HT。

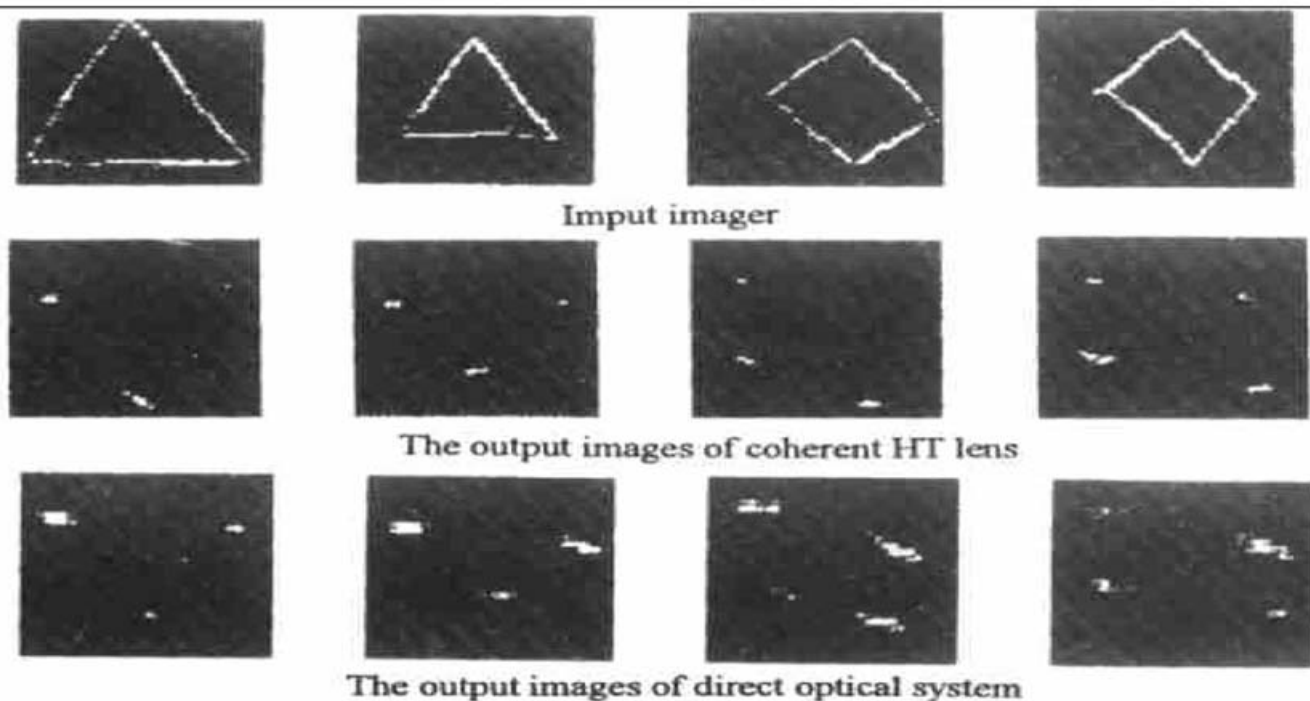


图 5 实验结果

Fig. 5 Experimental results

## 参 考 文 献

- 1 Hough, P. V. C.. A method and means for recognizing complex patterns. *U. S. Pattern*, 3069654, 1962
- 2 P. Ambs, S. H. Lee. Optical implementation of the Hough transform by a matrix of holograms. *Appl. Opt.*, 1986, **25**(22): 4039~ 4045
- 3 D. Casasent, J. Richards. High-speed acousto-optic mapping modulator for the generalized the Hough transform. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(35): 7217~ 7224
- 4 Gao Jun. Realization of a shorter coherent Hough objective lens through objective lens transform. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1998, **A25**(2): 119~ 122 (in Chinese)
- 5 Gao Jun. Hough transform based on neural networks and its optoelectronic realization. *Acta Electronica Sinica* (电子学报), 1999, **27**(2): 37~ 39 (in Chinese)
- 6 Gao Jun. Use the improved feedward neural networks realize discrete Hough transform. *China Journal of Image and Graphics* (中国图像图形学报), 1998, **3**(10): 836~ 839 (in Chinese)

## Real-time Parallel Optical Implementation of Hough Transform

Gao Jun

(Department of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009)

**Abstract** Based on Hough transform (HT) implemented by a coherent optical system, this paper proposes a real-time parallel optical computing method for HT. The proposed method overcomes a number of problems associated with coherent optical implementation of HT, such as system complexity, speed limit and limitations in operation environment.

**Key words** Hough transform, weight matrix, optical computing