

# 基于图像目标识别印章的可视数字跟踪系统<sup>1</sup>

李晓峰 魏波 郭旭平 李在铭

(电子科技大学通信与信息工程学院 成都 610054)

**摘要** 提出一种目标识别跟踪的新方法。借鉴人类的视觉特性,用目标识别印章对图像目标进行识别跟踪。特别是在发生异常情况——光照瞬间急剧变化或目标短暂丢失的条件下仍能对目标进行识别跟踪。用图像代数给出目标识别印章模型。基于模型,研究牵引式可视数字跟踪系统中目标的智能识别跟踪。通过给出两个可视跟踪的实例:跟踪飞机和人腿说明本文方法的有效性和适用性。

**关键词** 图像目标识别印章,牵引式可视数字跟踪系统,智能识别跟踪,图像代数  
**中图分类号** TP391.41

## 1 引言

可视跟踪系统是利用电视成像技术,对诸如飞机、舰船等类机动目标进行实时跟踪的系统。目前在军事上,可视跟踪系统已从模拟跟踪向智能型数字跟踪发展,采用模拟跟踪和数字跟踪相结合的方法<sup>[1]</sup>。本文研究的牵引式可视数字跟踪系统就是这种系统的图像目标数字跟踪子系统。首先,模拟跟踪子系统根据搜索准则,完成对处于电视二维视场中的目标的搜索和捕获,并进行模拟跟踪得到目标的相应坐标。然后,根据这个坐标值,图像目标数字跟踪子系统的数字跟踪窗被牵引到图像目标位置,指定跟踪该目标。这种通过引导指定图像目标的可视数字跟踪系统称为“牵引式”可视数字跟踪系统。系统没有事先给定图像目标模型。文献[2]通过目标边缘轮廓线的连接得到封闭曲线 $B(t)$ ,而文献[3]是使用一个曲线函数 $C(t)$ 逼近并取代 $B(t)$ ,把目标建模成一个以 $B(t)$ 为边界的二维区域,然后通过曲线拟合对目标进行识别跟踪。

借鉴人类的视觉特性,采用智能跟踪策略,自适应地取得目标的“特征印记”——图像目标识别印章。并根据军用目标一般为刚性目标的特点,用印章的位移估计来估计目标的位移。基于目标识别印章的研究,本文研究“牵引式”可视数字跟踪系统,该系统对目标的跟踪状态可自动随着跟踪条件的变化而变化,并自适应地改变系统跟踪方式,实现智能型的目标跟踪。

## 2 图像目标识别印章模型

具有目标的序列图像 $a^{(k)} \in F^{X(k)}$ 其中 $X(k) = m \times n \subset z^2$ , $m$ 、 $n$ 跟踪窗量度, $F = \{0, 1, \dots, 256\}$ 。第 $k$ 帧目标图像的目标识别模板 $S^{(k)}$ 在目标点 $p(k) = (x_p(k), y_p(k)) \in X(k)$ 的结构定义为

$$\varphi(S_{p(k)}^{(k)}) = \left\{ x = (x(k), y(k)) : (x(k), y(k)) \in \text{rect} \left( \frac{x(k) - x_p(k)}{l}, \frac{y(k) - y_p(k)}{w} \right) \subset X(k) \right\}, \quad (1)$$

<sup>1</sup> 1997-11-26 收到, 1999-04-08 定稿

则第  $k$  帧目标图像的图像目标识别印章模型为

$$S_{p(k)}^{(k)} = \{(x, S_{p(k)}^{(k)}(x)) : S_{p(k)}^{(k)}(x)\} = a^{(k)}(x), \quad x \in \varphi(S_{p(k)}^{(k)}) \cap X(k), \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} x_p(k) \\ y_p(k) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_p(k-1) \\ y_p(k-1) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \bar{v}_x(k-1) \\ \bar{v}_y(k-1) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \text{ran}x(k) \\ \text{ran}y(k) \end{pmatrix}, \quad (3)$$

其中  $a^{(k)}(x)$  是图像在 (2) 式给出的结构中  $x$  处的灰度,  $\text{ran}x(k)$ ,  $\text{ran}y(k)$  分别为  $X$ ,  $Y$  方向的随机扰动;  $\bar{v}_x(k-1)$ ,  $\bar{v}_y(k-1)$  分别为目标在  $X$ ,  $Y$  方向的速度。

在初始跟踪  $k=0$  时,

$$(1) \varphi(S_{p(0)}^{(0)}) \cap R_0^{(0)} \neq \phi, \quad (4)$$

(2) 印章内的对比度优于 (不低于) 目标的平均对比度。换言之,  $S_{p(0)}^{(0)}$  具有明显的灰度特征。

(3) 初始跟踪时最可能目标区域  $R_0^{(0)}$ , 由下式规定:

$$P[R_0^{(0)} \subseteq R(x(0), y(0))] = 1 \quad (5)$$

$$R(x(0), y(0)) = a(x(0), y(0)) \text{rect} \left[ \frac{x(0) - x_0(0)}{m}, \frac{y(0) - y_0(0)}{n} \right], \quad (6)$$

rect 为矩形符,  $(x_0(0), y_0(0))$  是系统开始跟踪时目标中心坐标。模型表明: 目标识别印章是灰度、运动和扰动的函数; 第  $k$  帧的目标识别印章是以  $(k-1)$  帧的目标识别印章的中心位置和为目标速度为基础, 通过在第  $k$  帧图像中搜索克服可能的扰动因素寻找到的, 具有目标区域灰度特征和运动特征的特定区域。这样, 正如人的视觉可根据被观测目标具有的某种特征印记和运动特征对其识别一样, 可视数字跟踪系统可以基于  $k$  帧图像中目标识别印章是否与  $k-1$  帧图像中的相同, 对图像目标进行识别跟踪。

### 3 图像目标识别跟踪

基于以上模型, 我们建立了智能型牵引式可视数字跟踪系统, 见图 1。

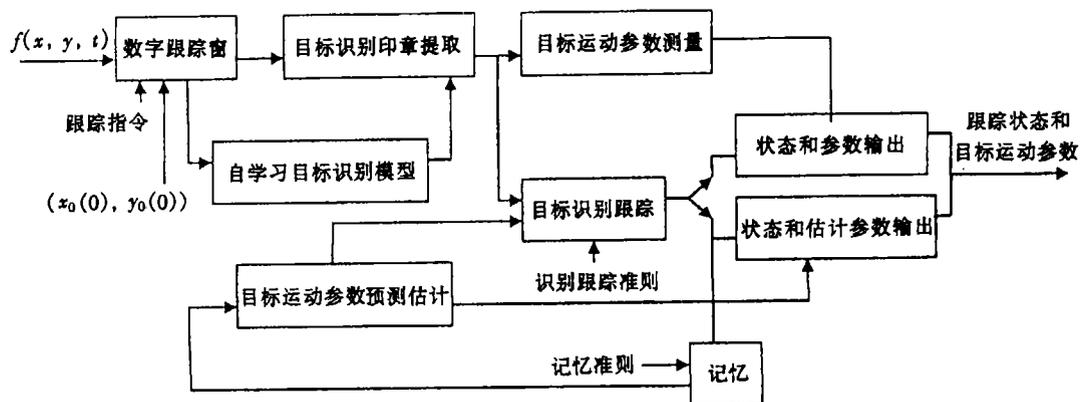


图 1 牵引式可视图像目标识别跟踪系统

### 3.1 目标识别印章提取

目标识别印章提取采用由粗到细逐步求精的搜索方法如图 2。印章的初始中心位置  $p^0(k) = (x_p^0(k), y_p^0(k))$  由下式给出:

$$\begin{pmatrix} x_p^0(k) \\ y_p^0(k) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_p(k-1) \\ y_p(k-1) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \bar{v}_x(k-1) \\ \bar{v}_y(k-1) \end{pmatrix}. \quad (7)$$

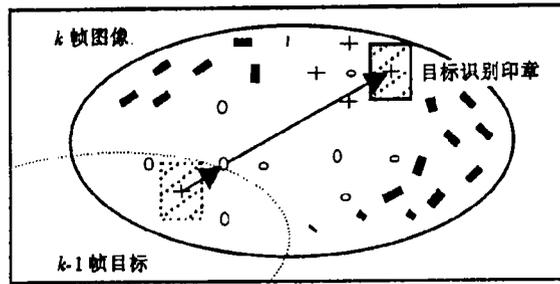


图 2 搜索方法图示

根据 (7) 式和模型中 (1)、(2) 式构造初始印章  $S_{p^0(k)}^{(k)}$ , 如果与上一帧图像目标识别印章  $S_{p^{(k-1)}}^{(k-1)}$  匹配的平均绝对误差为零, 该印章就为当前帧的图像目标识别印章。否则以初始中心位置为基准逐步缩小搜索步长, 并依搜索步长进行逐步求精的搜索。给定初始搜索步长, 第一步搜索的可能印章  $p^i(k)$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ), 可由下式得到:

$$p^i(k) = (x_p^i(k), y_p^i(k)) = \left( x_p^0(k) + \Delta \sin\left(i\frac{\pi}{2}\right), y_p^0(k) + \cos\left(i\frac{\pi}{2}\right) \right), \quad (8)$$

其中  $\Delta$  为搜索步长, 其初始值和变化量规定了最大搜索范围。  $\Delta$  满足

$$\Delta \geq 1. \quad (9)$$

$S_{p^i(k)}^{(k)}$  与  $S_{p^{(k-1)}}^{(k-1)}$  匹配, 根据最小平均绝对误差准则提取出最可能印章及其中心位置。然后以最可能印章中心位置为基准进行第二步搜索提取出更精确的最可能印章的中心位置, 依次进行, 直到  $\Delta = 1$  时。当某一搜索步长下提取的最可能印章的匹配误差为零为止或搜索结束  $\Delta = 1$  时, 所提取的印章就为当前帧的图像目标识别印章。

系统初始跟踪时, 图像目标识别印章  $S_{p^{(0)}}^{(0)}$  由初始化处理完成, 构造  $S_{p^{(0)}}^{(0)}$  要在目标没有远离由模拟跟踪系统给定的初始位置之前完成, 因而是困难的, 也是十分重要的, 值得深入研究。

### 3.2 目标运动特征参数测量

取得图像目标识别印章后, 得当前帧图像目标的运动特征参数:

$$\begin{pmatrix} \bar{v}_x(k) \\ \bar{v}_y(k) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_c(k) \\ y_c(k) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_c(k-1) \\ y_c(k-1) \end{pmatrix}, \quad (10)$$

$$\begin{pmatrix} x_c(k) \\ y_c(k) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_c(k-1) \\ y_c(k-1) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_p(k) - x_p(k-1) \\ y_p(k) - y_p(k-1) \end{pmatrix}. \quad (11)$$

### 3.3 图像目标识别

用图像目标识别印章及其运动特征识别目标。特别是在发生异常情况——光照瞬间急剧变化或干扰物短暂阻塞目标造成目标丢失的极其不利的条件下对目标进行识别。识别方法如下:

**定义 1** 当前帧图像目标识别印章灰度特征置信度  $C_1(k)$  :

$$C_1(k) \in \{\lambda_1 : \lambda_1 = 1, \text{ if } \text{MAE}[S_p^{(k)}, S_p^{(k-1)}] \leq T_1; \text{ else } \lambda_1 = 0\}. \quad (12)$$

**定义 2** 当前帧图像目标识别印章运动置信度  $C_2(k)$ :

$$C_2(k) \in \{\lambda_2 : \lambda_2 = 1, \text{ if } D[x_p(k), y_p(k); \hat{x}_p(k), \hat{y}_p(k)] \leq T_2; \text{ else } \lambda_2 = 0\}. \quad (13)$$

**定义 3** 图像目标置信度  $C(k)$ :

$$C(k) = f(C_1(k), C_2(k)) = C_1(k), C_2(k). \quad (14)$$

$C(k) = 1$  当前帧目标存在, 继续跟踪并输出目标运动参数;  $C(k) = 0$  发生异常情况, 系统进入记忆状态, 输出目标运动参数估值;  $\text{MAE}[\cdot]$  为平均绝对误差;  $D[\cdot]$  为距离函数;  $T_1, T_2$  为判决门限。

作为智能识别跟踪系统, 必须能准确判断目标瞬间丢失, 并能及时采用相应的特殊跟踪策略。因此当异常情况发生时, 不应错误地更新图像目标识别印章, 应对目标进行预测、记忆跟踪。

### 3.4 预测、记忆跟踪

用  $\theta(k)$  表示实际测量值,  $\hat{\theta}(k+1)$  表示预测值:

(1) 当第  $k+1$  帧的前  $r$  帧的  $C(j) = 1$  ( $j = k, k-1, \dots, k-r+1$ ) 时,

$$\hat{\theta}(k+1) = F(\theta(k), \theta(k-1), \dots, \theta(k-r+1)). \quad (15)$$

(2) 当且仅当第  $k+1$  帧的前  $i$  ( $i \leq r$ ) 帧的  $C(j) = 0$  ( $j = k, k-1, \dots, k-i+1$ ),

$$\hat{\theta}(k+1) = F(\hat{\theta}(k), \hat{\theta}(k-1), \hat{\theta}(k-i+1), \theta(k-i), \dots, \theta(k-r+1)). \quad (16)$$

系统中预测器采用最小均方误差意义下的线性预测器和平方预测器组成联合预测器:

$$\hat{\theta} = a_1 \hat{\theta}_l + a_2 \hat{\theta}_q, \quad (17)$$

系数  $a_1, a_2$  由线性预测器  $\hat{\theta}_l$  和平方预测器  $\hat{\theta}_q$  的最小均方误差决定。通过实际的跟踪实验我们得出: (1) 仅用线性预测器有利于跟上高速运动的目标; (2) 仅用平方预测器有利用跟上曲线运动的目标; (3) 两者的联合预测器提高了预测的适应性。

通过对目标的预测, 当异常情况发生时, 本系统输出对目标的预测特征参数值, 不更新图像目标识别印章, 并以异常情况发生前的图像目标识别印章和预测为基础, 记忆跟踪图像目标。记忆时间不能过长, 否则, 积累的预测误差将导致干扰后不能取得正确的被跟踪图像目标的识别印章。通过选择合适的记忆帧数和适当的搜索范围, 利用预测和记忆就可在干扰过后取得被跟踪图像目标的识别印章, 之后转入正常跟踪状态, 继续进行跟踪。

## 4 实验结果和讨论

上面研究的方法对两类实际目标进行识别跟踪实验。图像目标识别印章的大小  $l = w = 1$ , 搜索步长的初始值  $\Delta_0 = 8$ , 递减变化式:  $\Delta_i = \Delta_0/2^i$  ( $i = 1, 2, 3$ ), 最大搜索范围 (前后左右)  $\leq 15$  个像素, 判决门限  $T_1 = 12, T_2 = 8$ 。图 3 是对天空中飞行的飞机的跟踪实验 (其中目标短暂阻塞是为人遮挡摄像机造成的), 实验数据见表 1; 图 4 是对地面上作曲线运动的人腿的跟踪实验, 实验数据见表 2。

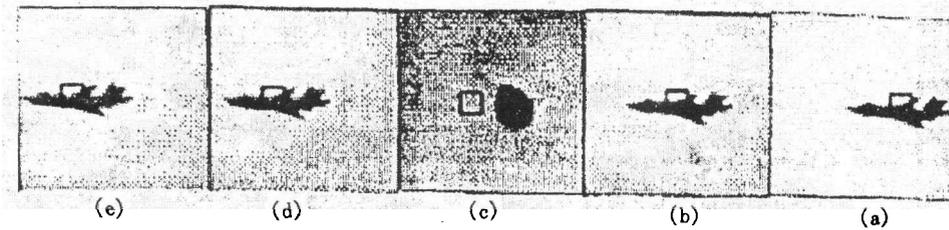


图 3 对空中飞机的跟踪

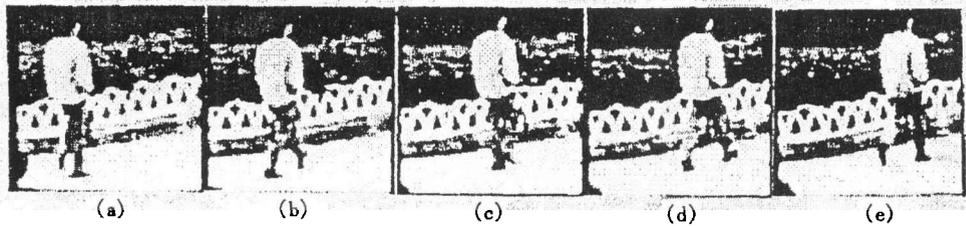


图 4 对地面人腿的跟踪

表 1 对空中飞机的跟踪实验数据

图 3	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
$D$	0	1	13.15	2	1.41
MAE	0	2.38	17.59	2.46	2.39
$c_1(k)$	1	1	0	1	1
$c_2(k)$	1	1	0	1	1
$c(k)$	1	1	0	1	1

表 2 对地面人腿的跟踪实验数据

图 4	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
$D$	0	1	2	2.45	2.23
MAE	0	6.58	6.29	4.65	6.88
$c_1(k)$	1	1	1	1	1
$c_2(k)$	1	1	1	1	1
$c(k)$	1	1	1	1	1

实验表明本文研究的是一种性能优良的目标识别跟踪技术。对陆(海)、空不同复杂程度的背景的自然背景,目标瞬间丢失的异常情况,不同的运动轨迹的目标都能进行准确的识别跟踪。

### 参 考 文 献

- [1] 董志荣. 舰艇指挥系统的理论基础. 北京: 国防工业出版社, 1995, Ch.2-4.
- [2] Garibotto G. Motion tracking of connected edge contours. In V Cappellini, editor, Time-Varying Image Processing, Object Recognition, 1990, 2: 323-330.
- [3] Deng k, Wilson J N. An approximation-based video tracking system. SPIE Image Algebra and Morphological Image Processing, 1991, 1568: 304-312.

- [4] Ritter G X, Wilson J N, Davidson J L. Image algebra: An overview. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 1990, 49(2): 297-331.

## VISUAL DIGITAL TRACKING SYSTEM BASED ON IMAGE OBJECT IDENTIFIER

Li Xiaofeng    Wei Bo    Guo Xuping    Li Zaiming

*(Institute of Communication and Information Eng., UEST of China, Chengdu 610054)*

**Abstract** A new method for recognition and tracking of image object is advanced. The recognition and tracking of image object is carried out by drawing the human visual property, and by means of the image object identifier, which is used to recognize and represent object. In particular, when the abnormal situation occurs badly, i.e., when suddenly sun glaring or missing of the image object occurs in a short period of time, the object can be recognized and tracked. The model of the image object identifier is presented using image algebra. Based on the model, the intelligent recognition and tracking of the image object in the led visual digital tracking system is discussed. Two visual tracking practical examples are given: one tracks plane and another tracks one of human legs, and show that the method in the paper is effective and applicable.

**Key words** Image object identifier, Led visual digital tracking system, Intelligent recognition and tracking, Image algebra

李晓峰: 男, 1963 年生, 副教授, 研究通信与信息系统, 信息处理 DSP 实现.

魏 波: 男, 1968 年生, 博士生, 研究多媒体信息处理、识别与跟踪技术.

郭旭平: 男, 1963 年生, 博士生, 研究多媒体信息处理、识别与跟踪技术.

李在铭: 男, 1939 年生, 教授, 博士生导师, 研究通信与多媒体信息系统.