

动态多目标自动识别及自适应多波门跟踪*

吴晗平

(华中光电技术研究所, 武汉 430073)

摘要 本文针对实战环境的复杂性和动态多目标的存在,研究了电视跟踪系统中动态多目标的自动识别方法,分析了自适应多波门跟踪和目标选择跟踪的诸多问题。模拟实验结果表明本研究具有实现的可行性。

关键词: 电视跟踪系统; 自动目标识别; 自适应波门; 多目标跟踪; 算法

1 引言

现代战争电子干扰日趋严重,这就要求目标探测、跟踪系统采用被动式工作;战场环境的复杂性,动态多目标的存在,对目标探测、识别、跟踪系统提出了更高的战术技术要求。

电视图像目标识别跟踪系统作为有效的武器控制系统发挥着重要作用,具有显著实用性。但是,传统的目标识别跟踪系统一般采用单波门、对单目标识别跟踪,目标自动识别能力较弱,无以对动态多目标进行识别和多波门跟踪。针对这一情况,采用动目标提取方法,建立运动轨迹,预测其运动速度,进行动态多目标识别,从而可以判断其威胁程度,为武器系统提供防御决策重要依据。与此同时,为了进行最有效的防御,有必要采用多目标跟踪方法自适应多波门跟踪,并可以根据威胁程度进行目标选择跟踪。

2 中值——平滑滤波^[1]

在目标图像识别中,降低噪声,提高图像的信噪比是重要的。由于非线性滤波器在某些性能方面超过线性滤波器,已引起重视和广泛应用。中值滤波是排序统计滤波的典型例子,它能有效地降低图像噪声而保护目标图像边缘。通常,实施中值滤波的关键是探讨快速算法,提高运算速度。平滑滤波有较好实时性,但降噪效果以及保护边缘相对差一些。结合二者之长,采用中值——平滑滤波进行图像处理。实验表明,中值——平滑滤波所需时间明显少于同样窗口的二维中值滤波时间,降噪效果较好。

中值——平滑滤波是将二维数字滤波问题化为一维数字滤波处理。先按行进行一维中值滤波和一维平滑滤波,然后,按照同样的方式按列处理。

假设,输入图像为 $[X]_{M \times N}$,输出图像为 $[Y]_{M \times N}$,经过行五输入中值滤波处理后的图像为

* 军方资助研究项目

收稿日期:1995年10月2日

$[X']_{M \times N}$, 行平滑滤波输出图像为 $[U]_{M \times N}$, 列五输入中值滤波后的输出图像为 $[Y']_{M \times N}$ 。那么:

$$x'(i, j) = \text{Median}[x(i, j-2), x(i, j-1), x(i, j), x(i, j+1), x(i, j+2)] \quad (1)$$

$$u(i, j) = \frac{1}{5} \sum_{m=-2}^2 x'(i, j+m) \quad (2)$$

$$y'(i, j) = \text{Median}[u(j-2, j), u(i-1, j), u(i, j), u(i+1, j), u(i+2, j)] \quad (3)$$

$$y(i, j) = \frac{1}{5} \sum_{m=-2}^2 y'(i+m, j) \quad (4)$$

3 自适应动态目标提取

设像素的灰度值时间函数为 $x_k(i, j)$, 一场图像的像素排列定义一个灰度矩阵 (k 为场数):

$$[X]_{M \times N, k} = \begin{bmatrix} x_k(1) \\ x_k(2) \\ \vdots \\ x_k(m) \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中, 行矢量 $x_k(i) = [x_k(i, 1), x_k(i, 2), \dots, x_k(i, n)]$ 。

建立一场无运动目标存在的初始背景图像, 在此之后, 擦除视场中的运动目标, 以区域均值代替运动目标灰度值, 逐次更替背景图像。设背景图像为 $[G]_{M \times N, k}$, 同样定义一个背景灰度矩阵:

$$[G]_{M \times N, k} = \begin{bmatrix} g_k(1) \\ g_k(2) \\ \vdots \\ g_k(m) \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中, 行矢量 $g_k(i) = [g_k(i, 1), g_k(i, 2), \dots, g_k(i, n)]$ 。

为了提取动态目标, 计算实测图像与背景图像的灰度矩阵之差 $[\Delta X]_{M \times N, k}$

$$[\Delta X]_{M \times N, k} = [X]_{M \times N, k} - [G]_{M \times N, k} = \begin{bmatrix} x_k(1) - g_k(1) \\ x_k(2) - g_k(2) \\ \vdots \\ x_k(m) - g_k(m) \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\Delta x_k(i, j) = x_k(i, j) - g_k(i, j) \quad (8)$$

设立一个门限值 T , 将图像的灰度矩阵转换成图像灰度二值矩阵。由于经过中值——平滑滤波, 以及实测图像与背景图像的灰度差值运算, 目标和背景在灰度上有比较明显的差别。通过分析图像处理过程的数据, 为了动目标提取的实时性, 提出一种简单、快速的算法, 由实测图像的直方图确定灰度最大值 $x_{k, \max}$ 及最小值 $x_{k, \min}$, 取门限 T 为:

$$T = x_{k, \min} + \alpha \cdot (x_{k, \max} - x_{k, \min}) \quad (9)$$

式中, α 为常数, $\alpha \in \{0.3, 0.6\}$ 。通过 α 的调节优化处理的结果, 压制外形边界上出现的干扰。

$$\begin{cases} \text{当 } |\Delta x_k(i, j)| > T \text{ 时, } q_k(i, j) = 1 \\ \text{当 } |\Delta x_k(i, j)| \leq T \text{ 时, } q_k(i, j) = 0 \end{cases} \quad (10)$$

式中, $q_k(i, j)$ 为二值矩阵的元素。则二值矩阵 $[Q]_{M \times N, k}$ 为:

$$[Q]_{M \times N, k} = \begin{bmatrix} q_k(1) \\ q_k(2) \\ \vdots \\ q_k(M) \end{bmatrix} \quad (11)$$

式中, 行矢量 $q_k(i) = [q_k(i, 1), q_k(i, 2), \dots, q_k(i, N)]$ 。

矩阵中“1”元素的位置图反映了在某距离, 某时刻, 通过视场的动态目标图像的大小和形状。根据二值矩阵中“1”元素的形状参数就可以进行识别多目标。

4 多目标识别方法

对二值矩阵进行分析, 抽取目标图像面积、周长, 再利用目标距离信息⁽²⁾, 得到多目标面积、周长的关系; 利用目标图像中心位置的变化来确定其运动轨迹以及目标横向运动速度(视场平面内速度), 利用目标距离信息的变化来确定其纵向运动速度; 再加上目标图像复杂度(目标图像周长的平方与目标图像面积之比), 从而进行多目标识别。

5 自适应波门

用数字波门的方法来形成自适应波门, 将目标信号的前、后沿在视场中的位置量, 分别锁存于寄存器中, 由单片机通过数据采集口将目标的前、后沿位置量采入, 进行一系列比较判别, 找出目标在视场中上、下、左、右四个边缘, 利用目标图像四个边缘的位置数据, 通过分别校正后, 形成波门的上、下、左、右四个边。这样, 波门的大小就随目标图像的大小而变化。图 1 为自适应数字波门形成方框图。

在自适应波门形成电路中, 用单片机对数字量进行校正是必要的, 否则, 波门的跟踪精度将难以满足系统要求。

校正的方法比较多, 这里是利用前五场的目标位置量, 预测下一场的目标位置。预测值与实际下一场目标的准确值之差即为波门跟踪误差。

为此, 应用函数构造理论, 以误差分析为依据, 构造一个自适应权函数, 形成一个综合预测算法:

$$\hat{y}(k+1/k-1) = w(k-1)\hat{y}_L(k+1/k-1) + [1-w(k-1)]\hat{y}_Q(k+1/k-1) \quad (12)$$

式中, $\hat{y}(k+1/k-1)$ 表示利用直到 $k-1$ 场的信息预测 $k+1$ 场参数 y , 其间隔两场是考虑到操作时间的需要, \hat{y}_L 和 \hat{y}_Q 分别为线性预测器和二次预测器, w 为自适应权函数。二点线性

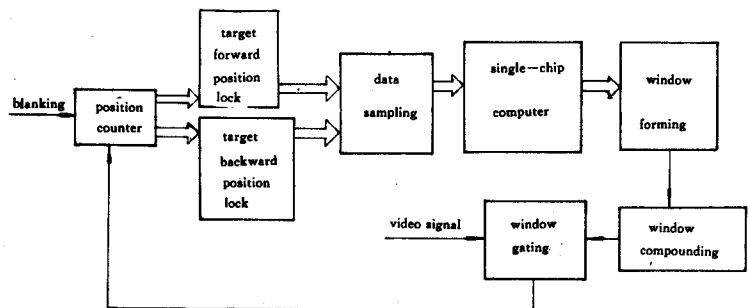


图 1 自适应波门形成方框图

Fig. 1 Block diagram of adaptive window forming principle

预测器能较好地跟上动态目标的快速动作,而五点二次预测器能较好地适应目标的高机动性,具有较好的平滑作用。通过比较实验,选择一个自适应权函数。得到算法公式:

$$\hat{y}_L(k+1/k-1) = 3y(k-1) - 2y(k-2) \quad (13)$$

$$\hat{y}_Q(k+1/k-1) = \frac{1}{5} [15y(k-1) - 2y(k-2) - 9y(k-3) - 6y(k-4) + 7y(k-5)] \quad (14)$$

$$w(k-1) = ER_q(k-1) / [ER_L(k-1) + ER_q(k-1)] \quad (15)$$

$$ER_L(k-1) = |\hat{y}_L(k-1/k-3) - y(k-1)| \quad (16)$$

$$ER_q(k-1) = |\hat{y}_Q(k-1/k-3) - y(k-1)| \quad (17)$$

图 2 为算法实现方框图。

栈式寄存器 1 和 2 为先进先出式,分别存放最近五场的参数和用于估算实际参数的数据。若第 k 场参数 y 的观测值为 $y_m(k)$, 参数计算器将以前,当前参数以及 w 结合起来,按下式进行实际参数估算:

$$\hat{y}(k) = (1-w(k))\hat{y}(k/k-1) + w(k)y_m(k) \quad (18)$$

用 $\hat{y}(k+1/k-1)$ 表示预测 $k+1$ 场目标图像的场位置量或行位置量,用 $\hat{y}(k)$ 表示对

k 场目标图像的场位置量或行位置量的估算,用 $y(k-1), y(k-2), y(k-3), y(k-4), y(k-5)$ 分别表示 $k-1, k-2, k-3, k-4, k-5$ 场目标图像的场位置量或行位置量。经过上述算法校正后形成的波门,其跟踪精度高,抗干扰能力较强。

6 多波门系统的捕获与跟踪

在多波门跟踪系统中,每一个波门的形成和单波门形成类似,但并不是多个单波门的简单集合。单波门环路捕获和跟踪电视视场中的目标时,单波门环路一般处于三种工作状态:

- (1) 当电视视场中没有目标信号时,波门环路处于等待或搜索状态;
- (2) 当电视视场中出现目标信号时,波门环路处于捕获状态;
- (3) 当波门捕获到目标信号后,波门环路处于跟踪状态。

单波门环路的控制逻辑主要完成环路三种工作状态变化时,各状态间信号的相应切换。

在多波门系统中,各个波门环路不仅要完成上述三种工作状态变化时的各状态间控制信号的相互切换,而且在多波门系统中各个波门之间的相互控制是必不可少的,否则各个波门将去捕获同一个目标信号,达不到多波门对多目标的跟踪要求。另外,由于固定大小的波门对于小于波门的目标信号是没有问题的,但当目标图像尺寸大于波门时,会出现几个波门捕获同一个大目标的不同部分的问题,因而,各个波门均采用自适应波门。

为了说明问题方便起见,以三波门系统为例(其余类似),将其分别编号为 1 号波门 $W_1, 2$

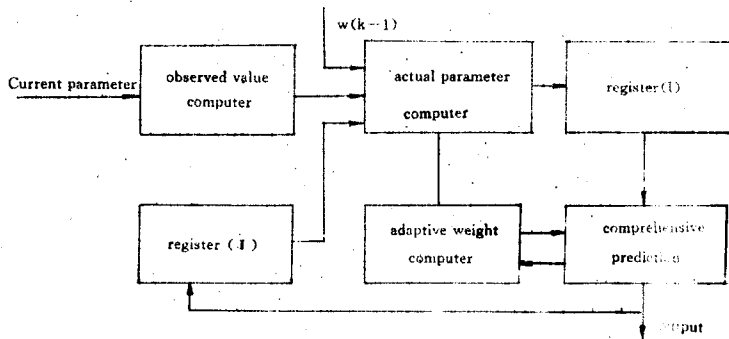


图 2 综合预测算法实现方框图

Fig. 2 Block diagram of comprehensive prediction algorithm implementation

号波门 W_2 , 3 号波门 W_3 , 其控制信号流程图如图 4 所示。

从多波门系统的捕获跟踪控制流程图可以看见, 多波门系统的控制主要是在捕获状态时对多波门捕获过程进行优先级别的排序控制。只要控制正确, 多波门对视场中的多目标信号进行捕获和跟踪都会有条不紊地工作。

当电视视场内没有目标信号时, 多波门系统处于等待状态, 并不断判别有无目标信号出现。

当电视视场内出现目标信号时, 首先

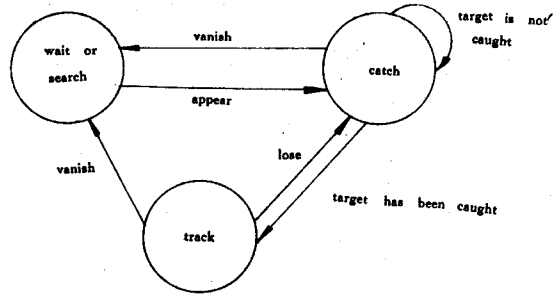


图 3 单波门环路工作状态转换图
Fig. 3 Transfer diagram of single window loop operation state

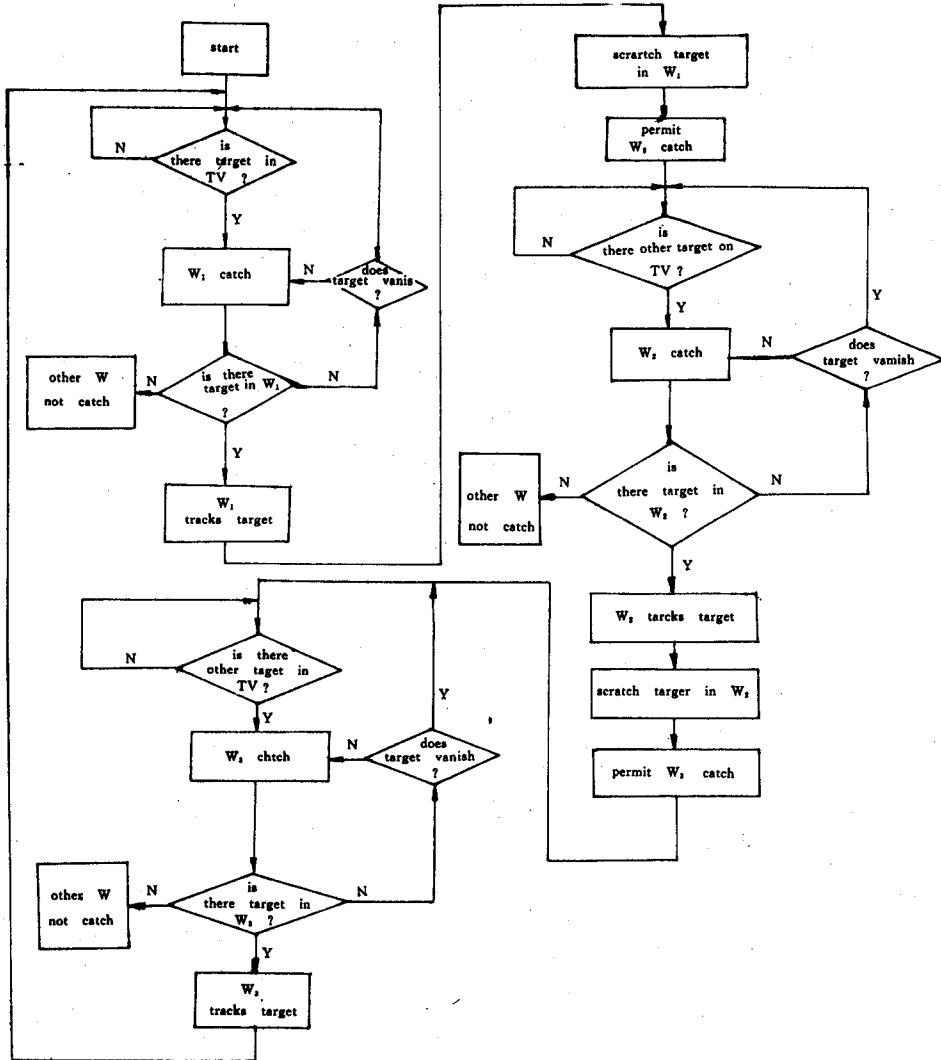


图 4 多波门捕获跟踪控制流程图

Fig. 4 Flow chart of multi-window acquisition tracking and control (three windows)

只允许 W_1 对先出现的目标进行捕获,若 W_1 未捕获到目标信号,则禁止其它几个波门对目标信号进行捕获;当 W_1 捕获到目标信号后, W_1 处于跟踪状态,只跟踪 W_1 内的目标,同时将 W_1 内的目标信号从电视视场中擦除,这样,其它波门环路对 W_1 内的区域成为盲区,再发出允许 W_2 进行捕获的指令。

W_2 在获得允许捕获的指令后,先要判别 W_1 以外的电视视场内有无其它的目标信号,当没有其它目标信号时,不断地进行查询、待,一旦出现其它的目标信号, W_2 对出现的目标信号进行捕获。在 W_2 未捕获到目标信号时,禁止 W_3 进行捕获。当 W_2 捕获到目标后, W_2 进入跟踪状态,只跟踪 W_2 内的目标。同时将 W_2 内的目标信号从电视视场中擦除,使其它波门环路对 W_2 内的区域成为盲区。这样,即使 W_1 内的目标信号丢失,也不会来争夺 2 号波门内的目标信号, W_2 仍处于跟踪状态。仅当 W_1 和 W_2 都处于跟踪状态之后,才发出允许 W_3 对 W_1 及 W_2 以外的目标信号进行捕获的指令。

在 W_3 获得进行捕获的指令后,判别 W_1 及 W_2 以外的区域有无目标信号。当没有目标信号时, W_3 不断查询、等待,一旦有目标信号出现, W_3 对目标信号进行捕获;捕获到目标信号后,转入跟踪状态,同时将 W_3 内的目标信号擦除掉,使其它波门环路对 W_3 内的区域成为盲区,这样,即使 W_1 或 W_2 内的目标丢失,也不会来争夺 W_3 内的目标信号, W_3 处于稳定的跟踪状态。这样就解决了多波门对多目标的自动捕获和跟踪问题。

值得一提的是,在跟踪过程中,如果某一波门内的目标消失(未出现在视场内),则该波门亦随之取消,当电视视场内还有其它目标或出现其它目标信号,则该波门对其目标信号进行再捕获和跟踪。或者由于目标运动速度超过跟踪速度而致使目标丢失(但还在视场内),则该波门亦需重新对其目标信号进行捕获和跟踪。如果有两个或三个波门内的目标丢失或消失,那么,再按上述优先捕获顺序重新进行捕获和跟踪。如果电视视场内的目标个数多于 3 个,那么,就要在考虑满足目标识别条件下,再附加其它优先捕获条件(运动速度、威胁程度等)。否则,就可能出现先出现的目标先捕获(可能并不是所要求捕获的目标),甚至可能会在其它因素的影响下,捕获、跟踪变化无常。

由于多波门系统中,形成每个单波门的电路基本相同,故可以将相同功能的电路合并,使多波门系统较单个波门组合的电路更加简单。

7 目标选择跟踪

当下一场的目标图像落在预测波门内,这表示目标处于正常跟踪状态。对目标逐场的位置贮存起来,就可建立起目标的轨迹。对整个跟踪系统来说,跟踪伺服机构是要驱动电视视场跟随目标而运动的。视场中出现多个目标时,整个跟踪系统难以对所有目标都一直保持跟踪状态。

当多目标呈单一运动状态时,各目标均以同一速度运动,伺服机构亦以相应的角速度使跟踪视场跟随呈单一运动的所有目标。一般情况下,波门可始终套住所有目标,在跟踪角速度较大时,失调角便较大,这时处于视场边缘的目标有可能跑出视场,该目标便失去跟踪。

当目标呈多元运动时,通常,多波门跟踪系统只能对其中的某一特定目标进行选择跟踪。选择跟踪的依据是目标识别情况,以及目标运动轨迹、速度、威胁程度,根据需要进行自动选择跟踪。选定某一目标对其进行跟踪后,其余目标可能将从视场中逐渐消失。

单个目标的波门是根据该目标的图像位置、大小及其变化情况而预置的,在运动过程中,有可能因为干扰等原因而波门内出现其它目标。同一波门内出现两个以上的目标后,目标图像重新识别,其位置及大小将重新计算,波门参数亦应自适应变化。上述的综合预测算法可以使系统保持对原目标的稳定跟踪。在这种情况下,新出现的目标(或干扰物)将逐渐离开波门。

8 模拟实验结果

在海面背景下对四个目标模型进行动态模拟实验,实时摄取目标及背景图像。

图 5 是某时刻未处理时的图像,图 6 是经过中值——平滑滤波后的图像,图 7 是自适应提取的二值图像。(图像为 128×128 ,灰度级为 16,滤波窗口为 5×5)

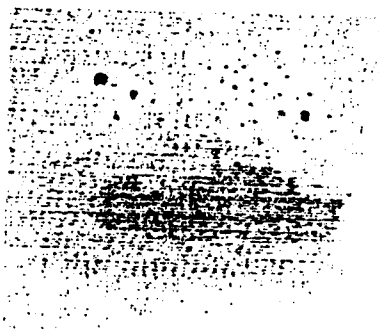


图 5 未处理时有
噪声的图像

Fig. 5 When the image with
noise has not been processed

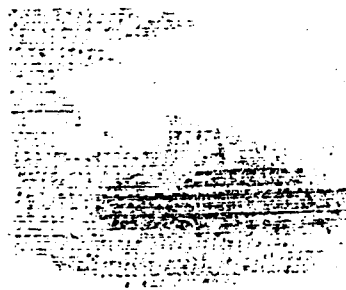


图 6 中值——平滑滤
波后的图像

Fig. 6 The mediansmooth
filtered image



图 7 自适应提取的
二值图像

Fig. 7 The binary image extracted
using adaptive algorithm

表 1~表 3 是四个目标在三个相继时刻(t_1 、 t_2 、 t_3)的面积、周长、复杂度特征抽取的实验数据。

Table 1 The extracted area of
target image (unit: pixels)

target \ time	t_1	t_2	t_3
OBJ1	2157	1150	541
OBJ2	2291	467	320
OBJ3	3129	1525	1012
OBJ4	2787	2068	912

Table 2 The extracted perimeter of
target image (unit: pixels)

target \ time	t_1	t_2	t_3
OBJ1	136	75	53
OBJ2	131	46	39
OBJ3	253	140	123
OBJ4	212	148	111

图 8 是四个目标在五个相继时刻的复杂度特征曲线,可以看出不同目标的复杂度有明显差别,而同一目标的复杂度相对比较稳定。四个目标图像的面积、周长,还要考虑距离,才能知道四个目标的大小关系。表 4 是四个目标在 t_1 、 t_2 、 t_3 的距离获取实验数据(距离获取方法是利用相继两个时刻动态目标面积的变化自动获取,详见参考文献[2])。结合表 1、表 2 可以得到四个目标的面积、周长关系分别为: $S_{OBJ4} > S_{OBJ1} > S_{OBJ3} > S_{OBJ2}$, $P_{OBJ4} > P_{OBJ3} > P_{OBJ1} > P_{OBJ2}$, 与实际情况相符合。由不同时刻的目标距离求出目标的纵向运动速度,根据目标图像的中心位置

的变化求出目标的横向运动速度,将中心位置的变化存储起来,可建立目标运动轨迹。从而识别四个动态目标。

Table 3 The extracted complexity of target image (unit: pixels)

target \ time	t_1	t_2	t_3
OBJ1	8.6	4.9	5.2
OBJ2	7.5	4.5	4.6
OBJ3	20.5	12.9	15.0
OBJ4	16.1	10.6	13.7

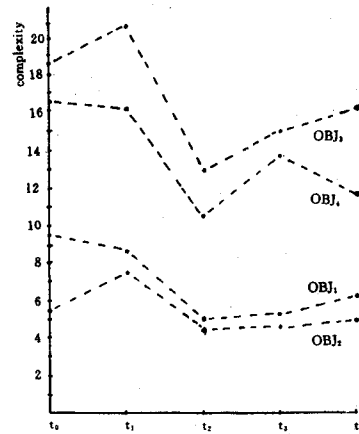


图 8 四个目标的复杂度特征曲线
Fig. 8 The complexity characteristics for four targets

Table 4 The acquired experimental data of target distance (unit: meter)

target \ time	t_1	t_2	t_3
OBJ1	37.4	52.3	79.1
OBJ2	16.1	37.0	42.7
OBJ3	21.5	39.8	51.2
OBJ4	30.2	43.6	67.0

(the error of target distance is less than 5%)

在目标识别后,利用自适应多波门进行捕获跟踪,算法软件框图如图 4 所示。由于实验条件所限,只对 3 个动态目标(OBJ1、OBJ2、OBJ4)进行了多波门(3 波门)跟踪实验,(目标运动方向一致),跟踪性能良好;当目标运动方向不一致时,实验时以目标纵向运动速度和目标距离为选择跟踪的依据,进行目标自动选择跟踪,工作正常。

9 结 束 语

本研究通过模拟实验,取得了预期初步结果,表明了本研究工作的可行性。但是,还有待于进一步智能化,以及提高对小目标,近似点目标的识别、跟踪能力。另外,文中的背景图像自动修正、动目标轨迹形成、威胁程度判别、硬件实现及实时性分析等内容将另文阐述。

参 考 文 献

- [1] 吴晗平, 中值——平滑滤波及其硬件实现. 光电工程, 1993, (5): 33-38
- [2] 吴晗平, 电视图像制导中多目标动态被动测距研究. 现代防御技术, 1994, (1): 43-49
- [3] 吴晗平, 多目标几何识别——ATR 方法研究. 舰船光学, 1992, (1): 6-12
- [4] 王积分, 张新荣, 计算机图像识别. 北京: 中国铁道出版社, 1988
- [5] 陈光东, 赵性初, 单片微型计算机原理与接口技术. 武汉: 华中理工大学出版社, 1993

Automatic Recognition of Dynamic Multitarget and Adaptive Multi-window Tracking

Wu Hanping

(*Huazhong Institute of Optics & Electronics, Wuhan, 430073*)

Abstract

In accordance with environmental complexity of war threatres and existence of dynamics multitarget, this paper makes research on the method of dynamic multitarget recognition of TV tracking systems, moreover analyzes problems of adaptive multi-window tracking and selective target tracking. These analogue experiments show that the research is feasible.

Key words: TV tracking systems, Automatic target recognition, Adaptive window, Multi-target tracking, Algorithm

吴晗平 男, 1964年10月生, 1985年毕业于湘潭大学近代光学专业, 1991年毕业于海军航空工程学院信号与信息处理专业(工硕士)。工程师, 从事图像处理、成像跟踪、光电系统装备的研究与开发。