

一种自适应波门跟踪器的改进

刘志立

(华北光电技术研究所, 北京)

杨宜禾 周维真

(西安电子科技大学技术物理系, 陕西, 西安)

摘要——本文基于统计模型, 提出描述目标剧烈运动或强干扰等不利条件下的置信权值, 对不利跟踪情况进行相应的修正补偿, 提出了改进的自适应波门跟踪器算法 (IAGCT)。

关键词——目标跟踪, 成象跟踪, 图象处理。

1. 引 言

在导引中段, 目标的剧烈运动或强干扰造成目标丢失是可能遇到的主要问题。THASSID 系统^[1]所采用的自适应波门跟踪器 (AGCT) 不具有解决上述问题的能力, 只能对目标运动较平缓、干扰较小的情况下保持跟踪。本文通过描述上述两种不利情况下的置信权值, 提出在不利情况下对波门的位置、大小和形状的修正项 (在正常情况下这些修正项不起作用), 进而将 AGCT 算法改为 IAGCT 算法。文献^[1]是利用四个背景采样的两中值背景灰度的均值进行目标和背景分类的。本文采用 32×32 CCD 阵列, 利用目标区和背景区直方统计的方法进行目标和背景的分类。IAGCT 算法不但能在正常情况下保持对目标的跟踪, 而且在异常情况下仍能在一定程度上保持对目标的跟踪。IAGCT 算法的提出对自适应波门跟踪器的改进具有重要的意义。

2. 描述不利情况的置信权值 W

2.1 IAGCT 波门结构 (见图 1)

图 1 中, (X_{CL}, Y_{CL}) 为波门中心; X_{IG}, Y_{IG} 决定 X, Y 方向内门的大小; X_{OG}, Y_{OG} 决定 X, Y 方向外门的大小; $(X_{OG} - X_{IG}), (Y_{OG} - Y_{IG})$ 为 X, Y 方向波门厚度; $(X_{BG} - X_{OG}),$

$(Y_{BG} - Y_{OG})$ 为 X、Y 方向外门与背景门之间的间隔大小; BG_1, BG_2, BG_3, BG_4 为四个背景采样区, 统称为背景区(BR); 外门之内的区域统称为目标区(TR).

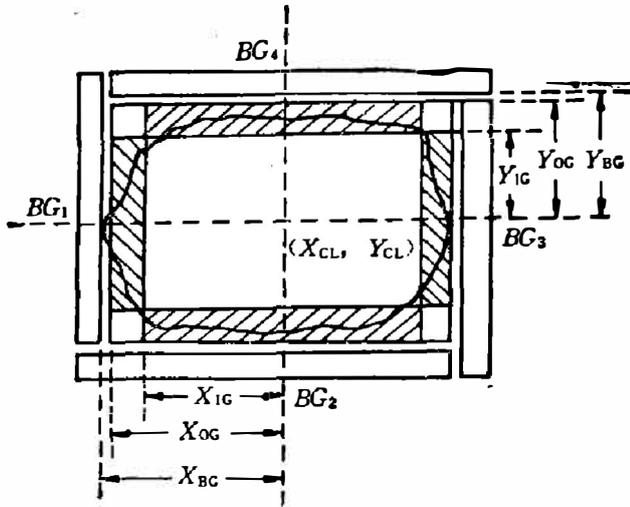


图 1 IAGCT 波门结构
Fig. 1 IAGCT gate structure.

2.2 目标与背景的分类

基于目标区(TR)和背景区(BR)的灰度直方图分析, 我们用 Bayias 准则进行目标与背景的分类.

设 $h_k^{TR}(x), h_k^{BR}(x)$ 分别为目标区和背景区 K 场归一化直方图. $h_k^T(x)$ 与 $h_k^B(x)$ 分别为目标的几率密度函数和背景的几率密度函数. x 表示象素的灰度级.

假设:

- (1) 背景区中只包含背景象素, 目标区既包含目标象素, 又包含背景象素;
- (2). 在背景区中与在目标区中取样的背景象素具有近似的灰度分布.

引入统计参数

$$a_k = \frac{\text{目标区中背景象素数目}}{\text{目标区中总的象素数目}}$$

a_k 的估计值为 \hat{a}_k ;

$$h_k^{BR}(x) = h_k^B(x); \tag{1a}$$

$$h_k^{TR}(x) = a_k \cdot h_k^B(x) + (1 - a_k) \cdot h_k^T(x); \tag{1b}$$

$$\hat{a}_k = \sum_{x=0}^{M-1} W_x \cdot \{h_k^{TR}(x) / h_k^{BR}(x)\}; \tag{1c}$$

$$W_x = \begin{cases} h_k^{BR}(x) / \sum_{x \in Z} h_k^{BR}(x), & x \in Z; \\ 0, & x \notin Z; \end{cases}$$

$$Z = X \cap Y$$

$$X = \{x | h_k^{BR}(x) \neq 0 \text{ 和 } h_k^{TR}(x) \neq 0\};$$

$$Y = \{x | h_k^{TR}(x) / h_k^{BR}(x) < 1\};$$

在考虑权重 W_x 时, 对应 $h_k^{BR}(x)$ 值越大的灰度 x 应越可靠.

$$h_k^T(x) = \frac{1}{1 - \hat{a}_k} \{h_k^{TR}(x) - \hat{a}_k \cdot h_k^{BR}(x)\}.$$

式(1a)、(1b)、(1c)利用 Bayias 准则确定一个灰度为 x 的象素 P 的归属(归属目标象素(B), 或者背景象素(T)).

如果 $h_k^B[x(P)] \geq h_k^T[x(P)]$, 则 $P \in B$; 否则, $P \in T$

2.3 不利跟踪情况几个参量的描述

- <1> \hat{a}_k 值如式(1c);
- <2> 统计参量 al 值;

$$al = \sum_{x=0}^{M-1} W'_x \cdot \{h_k^{TR}(x) / h_k^{BR}(x)\};$$

$$W'_0 = \begin{cases} h_k^{\text{BR}}(x) / \sum_{x \in X} h_k^{\text{BR}}(x), & x \in X; \\ 0, & x \notin X; \end{cases}$$

$$X = \{x | h_k^{\text{BR}}(x) \neq 0 \text{ 和 } h_k^{\text{TR}}(x) \neq 0\}.$$

随着目标逐渐离开目标区, al 值将稳定单调地上升; 它描述了目标偏离目标区的程度, 进而描述了目标剧烈运动的程度。

〈3〉 统计参量 am 值

$$am = \frac{\text{目标区中划归为背景象素的数目}}{\text{目标区中总象素数目}}. \quad (3)$$

大量模拟实验表明: 当 $al \leq 1$ 时, am 值与实际值相符; 当 $al > 1$ 时, $(1-am)$ 值与实际值相符; am 值某种程度上反映了目标移出目标区的情况, 以及干扰情况。

〈4〉 目标在目标区内部的面积为 A_T ;

〈5〉 目标的预测面积为 A 。

A 值反映目标在正常情况下的大小。 A_T/A 值在一定程度上反映了目标移出目标区的程度。面积 A 的预测方法参见附录。

2.4 置信权值 W

W 分为两部分, 一部分描述目标剧烈运动的情况, 即目标移出目标区的程度, 用 W_0 表示; 另一部分是描述目标被遮挡或被干扰的程度, 用 W'_0 表示。

(1) W_0 的具体形式

A_T/A 值越小, 目标移出目标区程度越大, 目标运动越剧烈; 可用 $(1-am)/(1-\hat{a}_k)$ 代替。

$$W_1 = \begin{cases} (1-am)/(1-\hat{a}_k), & al < 1; \\ am/(1-\hat{a}_k), & al \geq 1; \end{cases}$$

$(al - \hat{a}_k)$ 值随目标移出目标区单调增加, 置信权值应下降。

$$W_2 = 1 - (al - \hat{a}_k);$$

$(am - \hat{a}_k)$ 随目标移出目标区而增大。

$$W_3 = \begin{cases} 1 - (am - \hat{a}_k), & al \leq 1; \\ am, & al > 1; \end{cases}$$

总之, 当 $al \leq 1$ 时,

$$W_1 = \text{MIN}\{1, (1-am)/(1-\hat{a}_k)\};$$

$$W_2 = \text{MIN}\{1, 1 - al + \hat{a}_k\};$$

$$W_3 = \text{MIN}\{1, 1 - am + \hat{a}_k\}.$$

当 $al > 1$ 时,

$$W_1 = \text{MIN}\{1, am/(1-\hat{a}_k)\};$$

$$W_2 = \text{MIN}\{1, 1 - al + \hat{a}_k\};$$

$$W_3 = \text{MIN}\{1, am\}$$

为提高可靠性, 选用以上权值的线性组合

$$W_0 = \alpha_1 \cdot W_1 + \alpha_2 \cdot W_2 + \alpha_3 \cdot W_3; \quad (4)$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1.$$

置信权值 $W_i (i=1, 3)$ 越稳定, α_i 值越高, 这可由实验决定.

(2) W'_0 的具体形式

A_T/A 值越小, 目标被遮挡或被干扰情况越严重.

$$W'_1 = C_1 \cdot (A_T/A);$$

式中, C_1 为归一化因子.

当目标被暗地物或前景遮挡等干扰时,

$al \leq 1$ 时, am 升高; $al > 1$ 时, am 下降.

$$W'_2 = \begin{cases} 1 - am, & al \leq 1; \\ am, & al > 1; \end{cases}$$

综合以上两种情形, 当

$al \leq 1$ 时,

$$W'_1 = \text{MIN}\{1, C_1 \cdot (A_T/A)\};$$

$$W'_2 = \text{MIN}\{1, 1 - am\}.$$

$al > 1$ 时,

$$W'_1 = \text{MIN}\{1, C_1 \cdot (A_T/A)\},$$

$$W'_2 = \text{MIN}\{1, am\}.$$

$$W'_0 = \beta_1 \cdot W'_1 + \beta_2 \cdot W'_2 \quad (5)$$

$$\beta_1 + \beta_2 = 1.$$

$$W = W_0 + W'_0.$$

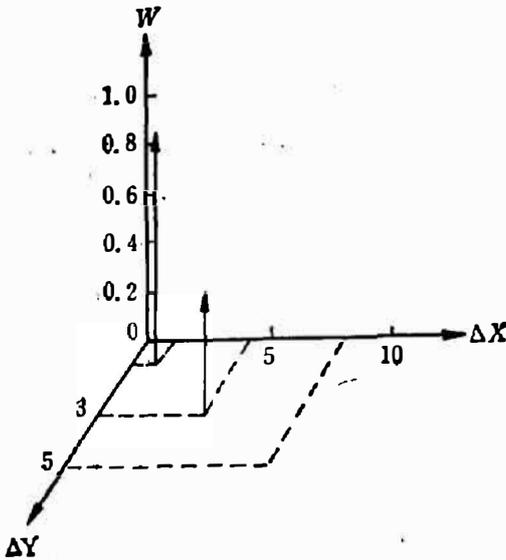


图 2 置信权值随目标剧烈运动程度的变化
Fig. 2 The variation of weight with the degree of violent movement of the target.

我们采用大量红外图象进行模拟实验, 其结果参见图 2.

图 2 中 ΔX 和 ΔY 分别为目标质心相对波门中心 X 方向和 Y 方向的位移量. 目标大小为 6×8 像素². 从实验结果可以看出, 置信权值 W 能稳定地描述两种不利情况. 在正常情况下 $W = 1$, 在不利情况下 $W < 1$, 而且情况愈不利, W 值越小. 当目标完全脱离目标区时, $am = 0$, $1 - a + \hat{\alpha}_k = 0$, $A_T = 0$, $W_0 = 0$, $W'_0 = 0$, $W = 0$; 因此, $W = 0$ 时可判定目标为丢失, 应重新捕获目标.

3. IAGCT 门算法

本节讨论所用符号参见图 1.

3.1 波门位置 (X_{CL} , Y_{CL}) 的预测

目标运动越剧烈, 权值 W_0 越小, 修正补偿量越大, 因此波门位置与 $(1 - W_0)$ 有关;

目标越大, 修正补偿亦应越大, 因此波门位置还与 X_{IG} 、 Y_{IG} 大小成正比; 而修正补偿又与目标离开目标区的方向有关.

由上分析, 在剧烈运动情况下, 波门位置补偿项应为:

$$K_c \cdot (1 - W_0) \cdot X_{IG} \cdot \text{SIGN}\left\{\frac{\sum_{GA} x \cdot DV}{\sum_{GA} DV} - X_{CL}(K)\right\};$$

式中, GA 为目标区面积.

因此,波门位置预测为:

$$X_{CL}(K+1) = K_G \cdot X_{CL}(K) + (1 - K_G) \frac{\sum_{GA} X \cdot DV}{\sum_{GA} DV} + K_G \cdot (1 - W_0) \cdot X_{IG} \cdot \text{SIGN} \left\{ \frac{\sum_{GA} x \cdot DV}{\sum_{GA} DV} - X_{CL}(K) \right\} \quad (6)$$

3.2 波门大小的预测

当目标剧烈运动或在强干扰情况下,应适当扩大波门大小,以防止目标丢失,这与 $(1-W)$ 以及波门大小 X_{IG} 有关.因此,在不利情况下,波门大小的补偿项为

$$K_3(1-W) \cdot X_{IG}.$$

波门大小的预测:

$$X_{IG}(K+1) = X_{IG}(K) + [K_1 \cdot \frac{\sum_{IEA} DV}{4Y_{IG}(K)} - K_2(X_{OG}(K) - X_{IG}(K))] + K_3 \cdot (1-W) \cdot X_{IG}. \quad (7)$$

3.3 波门内门与外门间的厚度

$$X_{CG}(K+1) - X_{IG}(K+1) = K_E \cdot X_{OG}(K) + 1. \quad (8)$$

3.4 目标区与背景区之间间隔

$$X_{BG}(K+1) - X_{OG}(K+1) = K_B \cdot X_{OG}(K) + 1. \quad (9)$$

式(6)~(9)中, K_G , K_C , K_3 , K_1 , K_2 , K_E , K_B 各系数值均由实验决定.

从 IAGCT 算法中可以看出:置信权值 W 反映了不利的跟踪情况;正常跟踪情况下 $W=1$,误差修正补偿项不起作用,则 IAGCT 即为 AGOT 算法.当跟踪情况逐渐恶化时, W 值逐渐下降,修正补偿项作用增大.因此, IAGCT 不但能在正常情况下保持对目标的跟踪,而且在异常情况下仍能在一定程度上保持对目标的跟踪. IAGCT 算法具有自动识别不利情况,自动给出相应的修正补偿项,并能自动进行相应的波门位置、大小和形状的预测,因

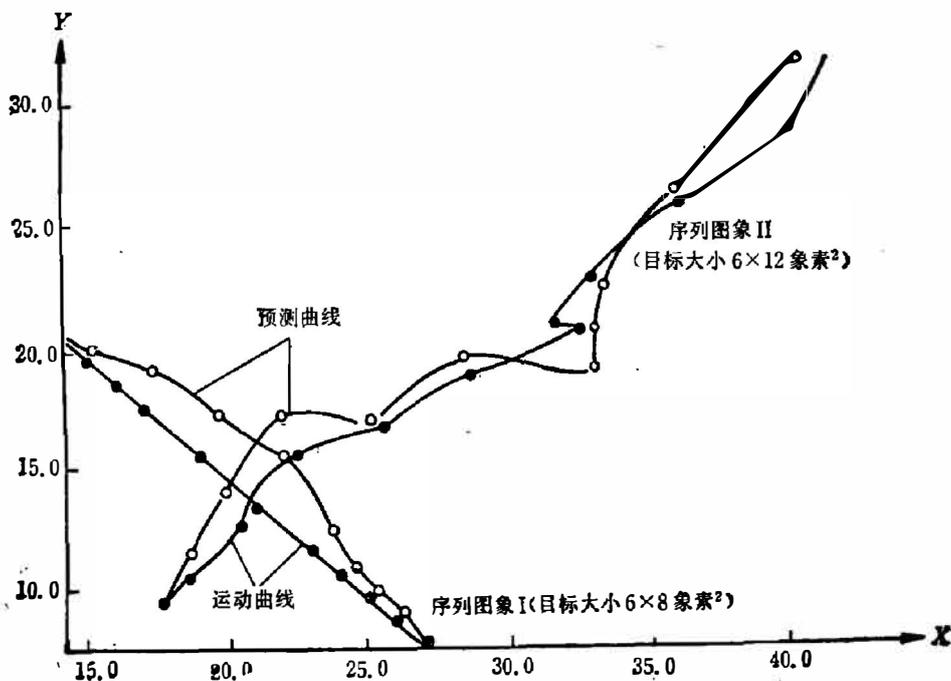


图 3 实验结果示意图

Fig. 3 Illustration of the experiment results.

此,具有一定程度的智能作用。

我们选用以坦克为目标的地物红外序列图象进行模拟实验,目标质心做变速曲线运动来模拟目标剧烈运动,如目标的突然加速、减速或转弯等。实验曲线如图3表示。从图3中可以看出,大小为 6×8 象素²的目标,预测门位置与目标实际位置偏差约1个象素左右。在目标质心偏离波门中心情况下具有自动校正能力。根据几十幅实验图象,已说明能保持正常的跟踪。

参 考 文 献

- [1] Pridgen J. H. et al., *Proc. of SPIE*, **186**(1979), 22~24.
 [2] Gilbert A. L. et al., *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **PAMI-2**(1980), 1: 47~56.
 [3] Minami Y. and Shinji O. *Proc. of Computer Vision and Pattern Recognition*, (1983), 394~396.
 [4] 刘志立,近程导弹对目标的跟踪,西北电讯工程学院,硕士论文,1987, 12.

附录 目标面积 A 的预测

我们采用线性预测和二次预测的综合预测方法来预测目标面积 A 。

(1) 线性预测

$$\hat{A}_o(k+1/k-1) = 3A(k-1) - 2A(k-2).$$

(2) 二次预测

$$\hat{A}_q(k+1/k-1) = [15A(k-1) - 2A(k-2) - 9A(k-3) - 6A(k-4) + 7A(k-5)]/5.$$

(3) 综合预测

$$\begin{aligned} \hat{A}(k+1/k-1) &= W_A \cdot \hat{A}_i(k+1/k-1) + (1 - W_A) \cdot \hat{A}_q(k+1/k-1); \\ W_A &= ER_i(k-1) / [ER_i(k-1) + ER_q(k-1)]; \\ ER_i(k-1) &= |\hat{A}_i(k-1) - A(k-1)|; \\ ER_q(k-1) &= |\hat{A}_q(k-1) - A(k-1)|. \end{aligned}$$

AN IMPROVEMENT OF AUTONOMOUS GATE CENTRE TRACKER

LIU ZHILI

(North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing, China)

YANG YIHE ZHOU WEIZHEN

(Department of Technical Physics, Xi'an Electronic University of Science and Technology, Xi'an, Shaanxi, China)

ABSTRACT

Based on the statistical model, this paper establishes the weight which describes the violent movement of the target and the strong disturbance. The compensation for those tracking situations is presented, and the LAGOT algorithm is established.