

Article ID: 1004-4213(2010)02-0375-5

基于航迹和特征的目标识别技术 在多目标跟踪中的应用

唐自力^{1,2,3}, 马彩文¹

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710119)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

(3 中国华阴兵器试验中心, 陕西 华阴 714200)

摘要:针对目前机动目标跟踪所面临的机箭分离、机弹分离、级间分离等一转多的目标跟踪问题, 提出了一种复合目标识别技术. 针对目标的面积, 外接矩形长度、宽度、长宽比, 紧凑度, 转动惯量和航迹对多种目标进行准确的认定和匹配, 并在目标的切换过程中引入一种新型切换技巧. 此算法大大提高了多目标的跟踪可靠性, 实际应用表明: 目标识别准确, 跟踪切换平稳, 应用价值高.

关键词: 航迹; 特征; 融合; 切换; 多目标跟踪

中图分类号: TP317.4

文献标识码: A

doi: 103788/gzxb.20103901.0375

0 引言

多目标跟踪问题无论在军事和民用方面都有着十分广泛的应用, 如在军事方面的弹道导弹防御、空中预警、空中攻击(多目标攻击), 海洋监视(水面舰只或潜艇), 战场监视(地面坦克或空中飞机), 民用方面包括空中交通管制(民航飞机)等等. 尤其是多目标跟踪在军事上的应用受到了各国广泛重视^[1].

目前国内大部分多目标跟踪算法都停留在理论研究阶段^[2], 工程上能够实现的基本上都采用单一的目标识别技术, 仅利用目标之间的相对位置来进行目标辨识, 当布站方式和目标位置发生变化时, 这种简单处理方式很容易跟错目标和丢失目标, 导致跟踪失败. 且在进行跟踪目标的选择时, 设置单一, 无法根据实际需求选择主跟目标. 而且在战场环境下, 目标和背景的特性复杂多变, 对于真假目标的识别^[3]在多目标跟踪条件下尤其显得重要, 否则将比在单目标跟踪情况下虚警概率更高, 从而大大降低了检测概率. 随着高速数字信号处理芯片、超大规模数字门技术和计算机技术的进一步发展, 以及多种算法理论的推出, 综合利用航迹和特征的复合识别技术能够大大提高目标的准确认定和跟踪可靠性.

本文根据作者对某一多目标跟踪特性的研究, 探讨了当空中出现多目标时, 如何及时准确地区分主次目标, 保证被跟踪对象的平稳切换, 以便完成后

续目标的跟踪.

1 多目标跟踪的特点分析

1.1 目标特性

目标 1 携带目标 2 作射击训练, 目标 1 瞄准靶机后发射至命中目标. 整个过程主要经历四个阶段: 目标 1 悬停段、目标 2 发射段、目标 2 飞行段、目标 2 与靶遭遇段. 就多目标跟踪而言, 是指目标 1 悬停转目标 2 发射, 目标 1 与目标 2 分离前后的整个过程. 如图 1、图 2、图 3、图 4 所示, 图中显示的是经过

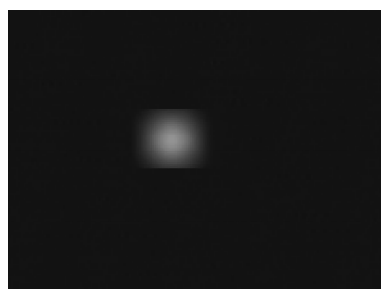


图 1 目标 1 攻击前的悬停

Fig. 1 The first target hanging and stopping before attacking

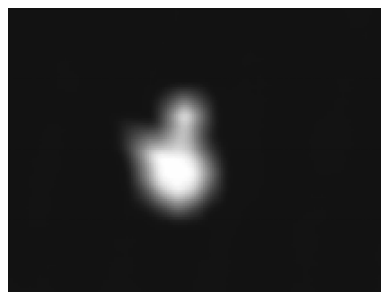


图 2 目标 2 发射之后的目标 1 和目标 2 的分离

Fig. 2 Separating of the first and the second target after shooting

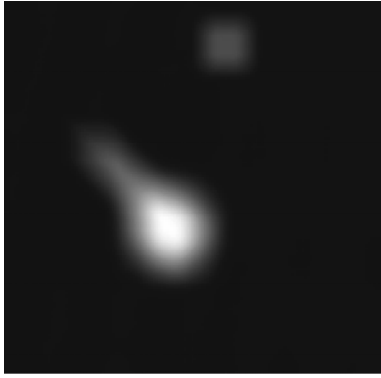


图3 目标1转目标2的平稳切换

Fig. 3 Placidly switching of the first and the second target



图4 目标2的平稳飞行

Fig. 4 Placidly flying of the second target

模糊处理的红外图像. 位于上方的为目标1, 位于下方的为目标2.

1.2 需求分析

根据以上所描述的目标形状特性和运动特性, 实际测量中, 跟踪算法必须实时提供发射前的目标1弹道和发射后的目标2弹道. 这就要求在目标2发射之后, 成功进行目标1和2分离, 并在最短的时间内对目标进行识别, 为下一步进行主跟目标的切换提供依据. 传统的多目标识别技术由于受硬件条件和实时性的限制, 采用单一的位置关系来进行主次目标的辨识显然不能可靠的完成任务. 为了确保可靠的实现目标的识别, 本文提出了一种实时、有效的基于航迹和特征的复合目标识别技术和多目标稳定切换技术, 并探讨了该技术在多目标跟踪中的实用性和适用性.

2 复合目标识别技术

2.1 基于特征的目标识别技术

目标的特征量较多, 包括角点、圆度、Hu氏不变矩、仿射不变量、傅里叶描述子等. 具体到本算法, 对于目标形状和分形特征归纳为目标面积 S 、目标外接矩形长度 L 、目标外接矩形宽度 W 、外接矩形长宽比 S_{LW} 、紧凑度 C_j 和转动惯量 C_g , 其中, 外接矩形指目标区域的最小外接矩形, 紧凑度指目标面积和外接矩形面积的比值. 如图5, L, W 为目标长度和

宽度, S_c 为目标外接矩形, S_t 为目标区域, 则紧凑度 $C_j^{[4]}$ 为

$$C_j = S_t / S_c \quad (1)$$

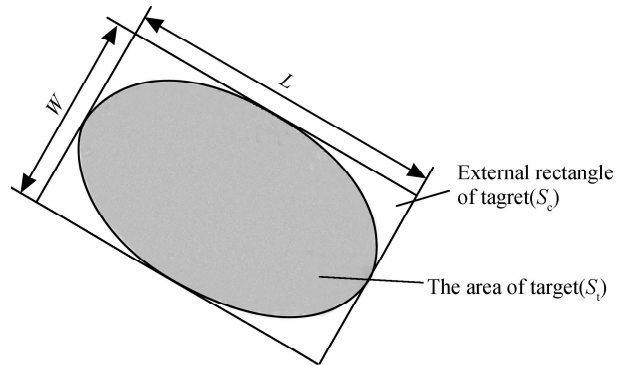


图5 目标外接矩形示意图

Fig. 5 External rectangle of target

目标的归一化转动惯量 $C_g^{[5]}$ 定义为

$$C_g = \frac{\sqrt{\sum_{(x,y) \in S} \sum_{(x,y) \in S} ((x-c_x)^2 + (y-c_y)^2) f(x,y)}}{\sum_{(x,y) \in S} \sum_{(x,y) \in S} f(x,y)} \quad (2)$$

式中, C_x, C_y 为目标质心; x, y 为目标上像素点位置, $f(x, y)$ 为目标上像素点的灰度.

归一化转动惯量具有旋转、缩放和平移不变性, 因此, 在目标2发射前得到目标1的归一化转动惯量 C_{gp} , 并通过统计目标的特征分布范围, 确定分布范围门限 h , 当目标2发射后, 采用下式对目标1进行识别认定

$$\frac{|C_g - C_{gp}|}{C_{gp}} \leq h \quad (3)$$

实际应用中, 对目标1和目标2的特征量进行了统计分析. 如表1, 第-1帧是目标2发射的前一帧, 第0帧为目标2发射后, 但是还没有脱离目标1的情况, 这时目标1、目标2的连体图像的面积、长度、宽度、转动惯量出现了非常明显的变化, 从这一

表1 目标1和目标2的特征量提取表

Table 1 Characteristic feature extraction scale of target 1 and target 2

Frame order	Targets	Area	Length	Width	Length-width ratio	Compact ratio	Rotational inertia
-1	1	212	18	17	1.04	0.70	5.33
0	1-2	800	33	31	1.06	0.77	10.89
1	1	229	18	16	1.12	0.80	5.53
	2	648	40	26	1.54	0.62	9.82
2	1	224	18	16	1.14	0.76	5.47
	2	780	41	31	1.32	0.61	10.62
3	1	240	19	17	1.12	0.73	5.65
	2	807	42	31	1.35	0.62	10.73
4	1	208	17	16	1.03	0.74	5.26
	2	894	43	33	1.30	0.63	11.2

注: 表中面积、长度和宽度的单位均为像素.

帧开始就可以对目标进行剥离处理,这样可以提前五到六帧的时间进行目标的切换.从分离之后的飞机和导弹的特征量的统计数字中,可以观察到目标 1 的特征量基本上稳定的,目标 2 的面积、长度、宽度、转动惯量因为尾焰的关系,呈现出一个递增的趋势,且目标 2 的面积、长度、宽度、长宽比、转动惯量均要比目标 1 的相应特征量大许多,目标 2 的紧凑度小于目标 1 的紧凑度,差异明显.所以通过提取目标的特征参量,是完全可以对目标进行区分识别的.而且可以在目标 2 发射之前,单独提取目标 1 的特征量,作为以后各帧识别目标 1 的参考知识.

2.2 基于航迹的目标识别技术

根据特征提取和识别的结果,获取当前第 n 帧的候选目标集 $\{Z_{n,k}\}$,其中, k 为第 n 帧候选目标的个数,结合多帧的候选目标集 $\{Z_{n,i,k}\}$, $i=1,2,\dots,m$, m 为最多使用的帧数,通过航迹关联,剔除虚假的航迹,检测出真正的目标航迹,从而提取出真实目标的特征和位置.

基于逻辑的方法是在给定的数据窗内,根据获得的数据对目标的速度(包括方向)进行估计.如果估计的速度在指定的取值范围内,则生成一条暂时的航迹,然后对第三帧目标的位置进行预测,并以预测位置为中心,确定一个关联区域,任何落在关联区域的点迹将扩展一条暂时的航迹,继续估计速度值并估计加速度值,然后在根据速度和加速度的估计值对下一帧的位置进行预测并建立相应的关联区域,任何落在关联区域的点迹将生成一条新的航迹.然后,对所生成的航迹用直线或二次曲线进行拟合,当航迹上的点和拟合曲线的误差在一定范围内,则确定该航迹;如果不满足条件,则删除该航迹.

当出现未被相关的目标点迹时,则需要对该点迹进行航迹搜索.

下一帧点迹与已存在的航迹相关,处理复杂情况的一般原则如下:

1) 一条航迹和几个点同时相关,取与航迹所预测的点距离最近的点为航迹的新点迹;

2) 几条航迹和同一个点迹相关时,则这个点属于与航迹预测点最近的航迹;

3) 几条航迹与几个点迹同时相关时,如果一航迹只与唯一的一个点相关,这些条航迹优先,其他航迹只考虑与剩余的点相关;

4) 如果外推的波门内未出现点迹,则外推一点作为新的点迹,并在下一帧继续进行航迹相关.

图 6 为采用上述策略,对目标 1 和目标 2 进行航迹关联得到的曲线,通过关联,不仅剔除了大部分噪声,而且也成功规划出了目标 1 和目标 2 的真实

航迹.

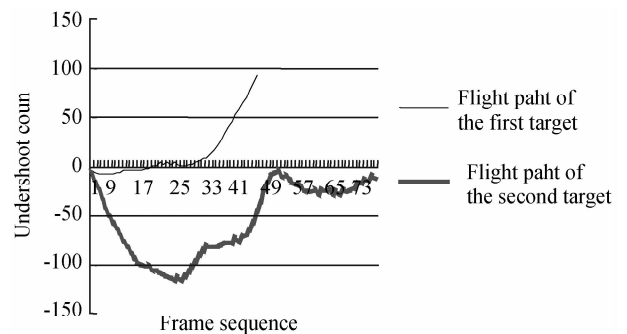


图 6 航迹关联

Fig. 6 Flight path associating

2.3 基于 k/n 规则的融合处理

硬判决的性能较低,但由于基于特征和基于航迹的两种分别基于空间和时间的识别技术,它们之间存在较大的互补性.本文采用 k/n 规则对目标的特征和航迹信息进行融合处理. k/n 规则包括与逻辑、或逻辑和多数逻辑等.实际应用中,采用多数逻辑的判决准则,结合目标的实际特性,进行组合判决.

多数逻辑的判决准则为

$$\begin{cases} \text{判决为 } H_1, & \text{if } \sum_i \mu_i \geq k \\ \text{判决为 } H_0, & \text{else} \end{cases}$$

$$\text{其中, } u_i = \begin{cases} 1, & \text{判决 } H_1 \text{ 存在} \\ 0, & \text{判决 } H_0 \text{ 存在} \end{cases}$$

上述的航迹关联方法仅仅是基于目标轨迹的,很显然,当检测的目标轨迹中的目标特征量变换较大时,很可能这不是一条目标的真实航迹.所以,在进行航迹关联的过程中,结合目标的特征进行关联将极大提高航迹关联的效率和降低产生虚假航迹的概率.

结合目标特征的航迹关联,基本原则就是当进行航迹关联时,只有目标的特征变化在允许的范围之内时,才进行相关,航迹相关仍采用基于逻辑的最近邻相关原则,至于目标特征的选取,特征变化的范围,或目标总体特征的变化评定标准,由于目标特征变化的多样性,运动特性的不同,需要在实际的工程应用中测定和调整.

3 多目标稳定切换技术

为了目标的稳定切换,采用两级门限的软切换方法.即根据所提取的特征信息计算主跟目标的置信度,设定置信度区间 M_h 和 M_1 ,当置信度位于门限 $[-\infty, M_1]$ 之内时,跟踪目标不可切换,当置信度位于门限 $[M_h, +\infty]$ 之内时,跟踪目标可立即切换,以保证对目标高动态变化的及时响应,当置信度位于门限 $[M_h, M_1]$ 之内时,需进行特征稳定性判断,

当特征值连续 N 帧 (N 一般取 2~3 帧) 稳定在门限范围内时, 跟踪目标才进行切换, 以防止频繁的目标切换, 造成跟踪的振荡。

通过目标特征稳定度和航迹稳定度的加权可得到置信度, 如式(4)。

$$M = k_t * B_t + k_h * B_h \quad (4)$$

$$B_t = \begin{cases} BT_1, E_t \leq T_1 \\ BT_1 - \frac{(E_t - T_1)}{(T - T_1)}, T_1 < E_t < T_2 \\ BT_2, E_t \geq T_2 \end{cases} \quad (5)$$

$$B_h = \begin{cases} BH_1, E_h \leq H_1 \\ BH_1 - \frac{(E_h - H_1)}{(H_2 - H_1)}, H_1 < E_h < H_2 \\ BH_2, E_h \geq H_2 \end{cases} \quad (6)$$

其中, k_t 、 k_h 为加权系数; BT_1 、 BT_2 为设定的目标特征稳定度的门限; T_1 、 T_2 为目标特征拟合误差的范围; E_t 为目标特征的拟合误差; BH_1 、 BH_2 为设定的目标航迹稳定度的门限; H_1 、 H_2 为目标航迹拟合误差的范围; E_h 为目标航迹的拟合误差。

4 多目标跟踪应用结果

实际试验中针对目标 1 和 2 分离之后外接矩形长度、长宽比、面积、转动惯量以及航迹的差异的特点, 采用 $k=5$ 的多数逻辑的融合判决准则, 对目标 1 和目标 2 进行识别处理, 不仅成功识别出目标 1 和目标 2, 而且仅以 1 帧的时间损耗, 较之前的算法提前六帧完成了主跟目标的稳定切换。如果按照以前的位置识别算法, 在目标 2 出现的初期, 由于目标之间的相对位置还没有完全固定, 就会带来主跟目标的反复跳变, 即使最终满足左右关系, 这时, 目标 1 与目标 2 离得较远, 切换必然会带来跟踪设备伺服系统的晃动。而采用本文算法, 如图 1、图 2、图 3、图 4 所示, 不管布站方式如何, 目标都能成功识别和稳定切换, 并在此基础上, 成功解算出了目标 1 和 2 的分离时刻。

5 结论

本文提出的多目标跟踪算法中的复合目标识别技术具有以下特点:

1) 综合利用目标的特征、位置和运动特性, 对目标进行基于特征和航迹的识别技术处理, 并把它成功应用到多目标的跟踪和虚假目标的剔除当中, 大大提高了多目标跟踪的可靠性;

2) 决策机制全面有效, 容错能力强, 虚警率低, 算法自适应性好, 同时也提高了跟踪方案制定的灵活性和测试设备的使用效率;

3) 采用多级门限的软切换方式, 能够确保目标的平稳过渡。

上述特点使本算法在多目标运动检测这一方面具有广阔的应用前景。同时也为下一步的数字智能视觉技术研究奠定了基础。

参考文献

- [1] ARNOLD J, SHAW S, PASTERNAK H. Efficient target tracking using dynamic programming[J]. *IEEE Trans AES*, 1993, **29**:44-56.
- [2] XIN Yun-hong, YANG Wan-hai, CAO Zheng-wen. A method for tracking multiple maneuvering targets with single observer of IRSTS[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(10): 1451-1454.
辛云宏, 杨万海, 曹正文. 红外单站多目标跟踪算法研究[J]. *光子学报*, 2005, **34**(10): 1451-1454.
- [3] REED I S, GAGLIARDI R M. Application of three-dimensional filtering to moving target detection [J]. *IEEE Trans AES*, 1983, **19**(2): 898-905.
- [4] ZHAO Xiao-ying, HUANG Feng-rong. Study on space located with multi-feature combination object abstracted and located [J]. *Journal of Hebei University of Technology*, 2002, **31**(4): 89-91.
赵小英, 黄凤荣. 多特征融合的目标识别与提取在空间定位中的研究[J]. *河北工业大学学报*, 2002, **31**(4): 89-91.
- [5] OU Yan-jiang. The research of image invariant feature and NMI feature [J]. *Cheng du Electromechanical College*, 2006, **35**(2): 21-22.
欧彦江. 图像的不变矩特征及 NMI 特征研究[J]. *成都电子科技大学学报*, 2006, **35**(2): 21-22.

Application of the Complex Target-identify Technique Based on Flight Path and Character in Tracking of Multi-targets

TANG Zi-li^{1,2,3}, MA Cai-wen¹

(1 *Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China*)

(2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

(3 *China Huayin Ordnance Test Center, Huayin, Shaanxi 714200, China*)

Abstract: Aiming at the tracking question that one target changes to multi-targets, such as the separating of airplane and rocket, the separating of airplane and missile and the separating of classes, a complex target-identify arithmetic is put forward. It is based on target's area, length, width, length and width ratio, compat degree, moment of inertia and flight path. This arithmetic can identify the target exactly. Among the arithmetic, a new primary and secondary objects switch technique are applied. The arithmetic heightens the multi-targets track reliability. The results show that the arithmetic is provided with high targets identify precision, good targets switch stability and high extend apply value.

Key words: Flight path; Character; Fusion; Switch; Multi-targets tracking



TANG Zi-li was born in 1975. She received her Ph. D. degree in digital vision and video technology from Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS.