

文章编号 1004-924X(2008)11-2140-05

光电经纬仪子母弹多目标提取方法

朱 玮,赵立荣,柳玉晗,于晓波

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033)

摘要:对子母弹多目标提取算法进行了研究。首先,采用改进的最大类间方差法(OSTU)对数字图像进行二值处理,分别提取目标的形心位置和目标面积的大小,同时对目标区域进行标记,设定面积阈值,根据目标的面积大小,初步判断目标粘连与遮挡;然后,根据粘连目标区域灰度直方图波峰、波谷的变化情况分离目标,求目标灰度平均值,采用 Hough 变换拟合算法获得目标中轴线;最后,计算目标的倾角。在匹配过程中,采用卡尔曼滤波预测目标匹配搜索区域;在获得目标形心位置、面积大小、灰度平均值、目标倾角后,利用改进的特征函数来完成序列图像子母弹多目标的数据关联,实现子母弹多子目标提取。实验结果表明,目标提取的正确率可达 90%,所采用的数学模型正确、算法合理,有效地获得了序列图像子母弹多目标参数。

关键词:光电经纬仪;子母弹多目标;最大类间方差法;卡尔曼滤波

中图分类号:V556;TP391.4 **文献标识码:**A

Extraction method for missile bullet multiple targets of photo-electronic theodolites

ZHU Wei, ZHAO Li-rong, LIU Yu-han, YU Xiao-bo

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: An extraction algorithm for missile bullet multiple targets is researched. By OSTU method, the numeral image is changed into binary image, and the center position and the target area are extracted separately. At the same time, the target area is marked and the threshold of area is enacted. According to target area, the conglutination and obstruction are judged. Then, in term of the variety of grey histogram of conglutination region in wave peak and wave valley, the targets are separated to obtain the grey average of target, and the middle axes of targets are acquired by adopting Hough transforming and proximating. Finally, the obliquity angles of targets can calculated. In course of matching, searching region of target matching is forecasted by using Kalman filter; the data association of serial images and extraction of missile bullet multiple targets are accomplished by using improved eigenfunction after obtaining center position of target, target area, grey average of target and obliquity angles of target. The experimental results show that the right ratio of extraction target reaches up to 90%.

收稿日期:2008-07-24;修订日期:2008-10-21.

基金项目:国家 863 高技术研究发展计划资助项目(No. 2006AA703104)

which shows that the article uses a correct mathematical model and a reasonable algorithm.

Key words: photo-electronic theodolite; missile bullet multiple targets; OSTU method; Kalman filtering

1 引 言

长期以来,由于缺少有效的测量手段,一直无法获取飞行试验子母弹头抛撒过程和抛撒点参数,也无法对抛撒异常、故障弹偏多和子弹早爆等故障进行分析,严重影响了武器性能的改进。提供子母弹规律、姿态等参数的测量可为弹头最终完成作战使命,达到理想毁伤效果提供第一手科学数据,同时也可为弹头性能评定、研制和改进提供依据^[1]。

序列图像多目标提取是计算机视觉的一个重要研究课题,提取过程既要保证快速性,又要保证准确性。无论刚体运动目标,还是非刚体运动目标,在动态图像中相邻的两帧图像,都会由于动态图像间的采样时间间隔很小,而不必考虑噪声、光照等影响,权且认为这些目标特征在运动形式上具有平滑、连续性。因此,对于面状目标,可以基于自身特征来进行多目标跟踪。

多目标提取及跟踪的关键是准确度及稳定性。目前文献中多目标提取及跟踪方面算法很多^[2-4],主要包括直接提取目标特征参数的方法和构成目标特征函数进行位置预测的方法等。这些方法都以目标特征为基础进行目标识别及跟踪。比如:文献[2]基于特征的多目标跟踪算法是采用目标位置预测加目标特征函数的方法来跟踪多目标;文献[3]采用把图像当成有特征的线段的集合,统计目标区域的特征参数;文献[4]是将图像二值后提取多目标的面积、周长、质心坐标来获得多目标参数。

文献中多采用目标特征方法来提取、跟踪多目标,在目标数量多的情况下,容易丢失目标。本文对目标特征函数算法进行改进,利用目标的对称性,提取目标的中轴线,获得目标倾角,以形状特征来提高目标识别、跟踪的成功率,以适合子母弹子弹的数量多,成像面积小,提取目标比较困难的情况。本文同时对处理多目标粘连及遮挡的方法进行了阐述。

2 多目标提取方法

多目标提取包括两部分,一部分是经纬仪序列图像多目标特征提取,多目标特征包括:(1)目标的质心位置;(2)目标的面积大小;(3)目标灰度平均值;(4)目标相对于 x 轴的倾角。另一部分是序列图像多目标关联。多目标处理过程包括,首先进行图像二值化,分别提取目标的形心位置、目标的面积大小,同时对目标区域进行标记,设定面积阈值,根据目标的面积大小,初步判断目标粘连与遮挡,最后再根据目标区域灰度直方图波峰、波谷的变化情况分离目标;然后,对分离后的目标求灰度平均值。在获得目标中轴线的基础上,计算目标的倾角。各帧间多目标关联是利用卡尔曼滤波预测目标的下一帧区域,然后利用目标特征函数对目标确切匹配。图 1 所示为工作流程图。

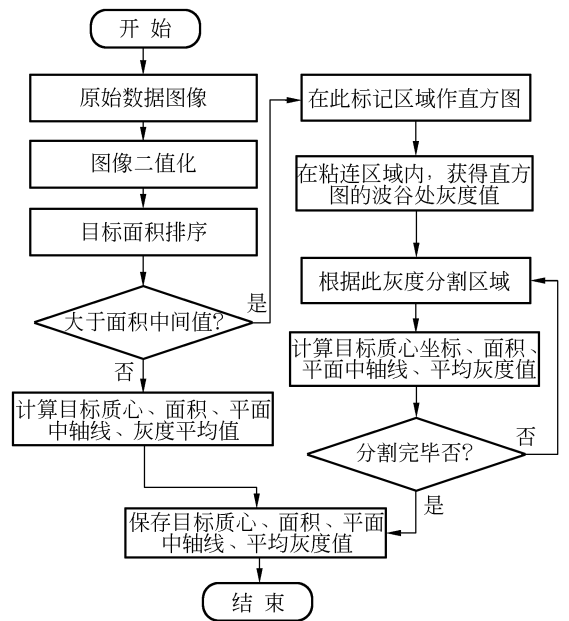


图 1 工作流程图

Fig. 1 Flowchart of multiple-target extraction

2.1 图像二值化

通过选取阈值将图像分为目标和背景,其关键技术是阈值的选取。常用的阈值图像分割方法

有最大类间方差(简称 OTSU)法、最大熵阈值法等。这些方法都是基于直方图的,即通过考虑图像的灰度信息来选取阈值。本文采用改进的最大类间方差法。

把图像中的像素按灰度值用阈值 t 分成两类 c_0 和 c_1 , c_0 由灰度值在 $0 \sim t$ 之间的像素组成, c_1 由灰度值在 $t + 1 \sim L - 1$ (L 为图像灰度级数)之间的像素组成,按式(1)计算 c_0 和 c_1 之间的类间方差:

$$\sigma(t)^2 = \omega_1(t) \times \omega_2(t) \times (k_1 u_1(t) - k_2 u_2(t))^2, \quad (1)$$

式中: $\omega_1(t)$ 为 c_0 中所包含的像素数; $\omega_2(t)$ 为 c_1 中所包含的像素数; $u_1(t)$ 为 c_0 中所有像素数的平均灰度值; $u_2(t)$ 为 c_1 中所有像素数的平均灰度值; k_1 为 c_0 中所有像素数的平均灰度值放大倍数,通常取 $u_1(t)$ 的 $2/3$; k_2 为 c_1 中所有像素数的平均灰度值放大倍数,通常取 $u_1(t)$ 的 $2/3$ 。

采用改进的最大类间方差,平均灰度值提高,能量增强,可有效地提取动态子母弹多子弹的小目标、弱目标。

2.2 子母弹子弹平面中轴线提取

子弹一般可以认为是轴对称的,其对称轴即常说的中轴线,对于能看清子弹轮廓的图像,基于 Hough 变换拟合算法^[5],高精度地提取出子弹的两条直线轮廓边界方程;计算出这两条直线的中心线,即为图像平面上子弹的中轴线的方程,然后获得与 x 轴夹角,得到目标倾角。

2.3 序列图像各帧间多目标关联

利用已知的图像目标运动信息,预测未来帧中目标的运动范围;针对相邻帧间运动目标的变化,利用特征值计算代价函数值,求出当前帧中运动目标在下一帧中的对应后继目标,建立关联关系,并更新已被跟踪运动目标的“目标链”。

特征值计算代价函数值包括运动物体的 4 个特性:

(a) 考虑待跟踪目标与下一帧每个目标统计目标质心的欧氏距离,距离最小的两个目标认为是同一个目标;

(b) 考虑待跟踪目标与下一帧每个目标统计目标平均灰度变化情况,灰度变化越小,同一个目标可能性越大;

(c) 考虑待跟踪目标与下一帧每个目标统计目标面积变化情况,面积变化越小,同一个目标可能性越大;

(d) 考虑待跟踪目标与下一帧每个目标统计目标倾角(目标平面中轴线与 x 轴的夹角)变化情况,倾角变化越小,同一个目标可能性越大。

$$F(i, j) = \alpha D(i, j) + \beta I(i, j) + \gamma A(i, j) + \lambda L(i, j), \quad (2)$$

其中:

$$D(i, j) = \frac{|\sqrt{(x_k^i - x_{k+1}^i)^2 + (y_k^i - y_{k+1}^i)^2}|}{\max_n |\sqrt{(x_k^n - x_{k+1}^n)^2 + (y_k^n - y_{k+1}^n)^2}|}$$

$$I(i, j) = \frac{|G_k^i - G_{k+1}^i|}{\max_n |G_k^n - G_{k+1}^n|}$$

$$A(i, j) = \frac{|S_k^i - S_{k+1}^i|}{\max_n |S_k^n - S_{k+1}^n|}$$

$$L(i, j) = \frac{|O_k^i - O_{k+1}^i|}{\max_n |O_k^n - O_{k+1}^n|}$$

$D(i, j)$ 反映了第 k 帧上第 i 个目标与第 $k+1$ 帧上第 j 个目标质心距离的大小; $I(i, j)$ 反映了第 k 帧上第 i 个目标与第 $k+1$ 帧上第 j 个目标平均灰度的变化程度; $A(i, j)$ 反映了第 k 帧上第 i 个目标与第 $k+1$ 帧上第 j 个目标面积的变化程度; $L(i, j)$ 反映了第 k 帧上第 i 个目标与第 $k+1$ 帧上第 j 个目标倾角变化程度。代价函数值越小,两个目标有对应关系的可能性越大。其中 $\alpha, \beta, \gamma, \lambda$ 为经验值,4 个值之和为 1。

根据第 k 帧上第 i 个目标的特征值作为卡尔曼滤波的输入参数,得到它的预测值,算出查找区域。然后在第 $k+1$ 帧指定预测区域中搜索,依次计算目标 i 与 $k+1$ 帧搜索区域中各个目标的代价函数值,找出最小值,则说明目标是 i 的后续,更新该目标的特征值作为下次卡尔曼滤波器的输入。

设 k 时刻的系统状态 $\mathbf{X}(k)$ 受系统噪声序列 $\mathbf{W}(k)$ 驱动,定义状态方程为:

$$\mathbf{X}(k+1) = \boldsymbol{\phi} \mathbf{X}(k) + \mathbf{G} \mathbf{W}(k), \quad (3)$$

其中: $\boldsymbol{\phi}$ 为 $(k-1)$ 时刻至 k 时刻的一步转移阵; \mathbf{G} 为系统噪声驱动阵; $\mathbf{W}(k)$ 为系统激励噪声序列,可视作高斯随机序列,且均值为零,协方差分别为 $\mathbf{Q}(k)$ 的白噪声,且对 $\mathbf{X}(k)$ 的量测满足线性关系,量测方程为:

$$\mathbf{y}(k) = \mathbf{H} \mathbf{X}(k) + \mathbf{V}(k), \quad (4)$$

式中: \mathbf{H} 为量测阵; $\mathbf{V}(k)$ 为量测噪声序列。 $\mathbf{V}(k)$ 为高斯随机序列,均值为零,协方差为 $\mathbf{R}(k)$ 的白噪声,且 $\mathbf{V}(k)$ 与 $\mathbf{W}(k)$ 两者不相关。

动态子母弹抛撒的子弹运动为恒加速运动模

型,基于算式(3)、(4)算法步骤为:

(a) 首先设置协方差 Q, R 的初始值;

(b) 根据卡尔曼滤波,预测第 $k+1$ 帧的状态向量。根据运动对象的离散线性方程(状态方程)和已知的第 k 帧目标中心点坐标值,求出第 $k+1$ 帧目标中心点的预测坐标值;

(c) 对已预测的第 $k+1$ 帧目标中心点的坐标值用最新获得的量测值进行修正,即对目标位置进行精确定位;

(d) 将第 $k+1$ 帧的修正坐标值代入方程式(3)、式(4)中继续跟踪下一帧,从而获得下一帧目标位置。

2.4 多目标粘连与遮挡处理

多目标粘连采用直方图的方法,根据直方图波峰、波谷分离目标。在多目标发生遮挡时,采用记忆的方法^[6],外推获得目标位置及参数,在数据上标记外推获得的值。

3 结果分析

论文在 VC++6.0 的编译环境下实现该算法。对高速摄像机拍摄的模拟动态子母弹多子弹的图像进行处理。图 2 为原始拍摄图像,图 3 为二值后的图像。



(a)1 301 帧 (b)1 305 帧 (c)1 309 帧
(a)Frame 1 301 (b)Frame 1 305 (c)Frame 1 309

图 2 模拟子弹图像

Fig.2 Simulative images of bullets



(a)1 301 帧二值图 (b)1 305 帧二值图 (c)1 309 帧二值图
(a)Frame 1 301 (b)Frame 1 305 (c)Frame 1 309

图 3 子弹二值图像

Fig.3 Binary images of bullets

在关联跟踪中,各个特征函数的系数分别取

$\alpha=0.4, \beta=0.3, \gamma=0.15, \lambda=0.15$ 。实验采用的图像分辨率为 $1\ 024 \times 1\ 024$ 。

以图像的左下角作为原点,目标倾角是指 x 轴正向方向逆时针旋转的角度。图像分析结果如表 1 所示。

表 1 结果数据
Tab.1 Result data

图像帧数	目标次序	质心 x 坐标 /pixel	质心 y 坐标 /pixel	大小	平均灰度	目标倾角 /($^{\circ}$)
1 301	1	254.37	496.52	38	198.36	45.55
1 301	2	40.35	509.28	26	188.49	44.38
1 301	3	258.82	510.47	35	197.92	47.31
1 301	4	486.54	511.23	39	184.01	46.34
1 301	5	125.41	523.44	11	165.35	45.48
1 301	6	178.33	536.48	43	207.27	133.43
1 301	7	342.73	537.47	5	108.56	137.81
1 301	8	946.64	743.39	50	204.63	81.25
1 301	9	779.37	761.44	21	117.97	36.77
1 301	10	776.49	772.27	32	169.49	41.93
1 305	1	255.45	495.72	36	196.75	44.89
1 305	2	40.98	507.43	25	186.20	43.52
1 305	3	259.70	509.83	35	196.84	46.25
1 305	4	487.67	510.62	38	182.95	44.09
1 305	5	127.07	522.48	10	163.57	44.28
1 305	6	180.03	534.98	41	206.27	134.85
1 305	8	948.12	742.64	49	201.83	79.51
1 305	9	780.61	760.26	20	121.68	34.53
1 305	10	777.22	770.27	30	168.54	40.73
1 309	1	255.60	496.03	36	196.93	45.17
1 309	2	40.65	507.88	26	186.54	43.22
1 309	3	259.29	509.83	35	196.21	46.53
1 309	4	487.89	510.79	39	182.32	44.23
1 309	5	127.32	521.68	7	162.66	44.56
1 309	6	180.78	535.15	36	205.47	132.15
1 309	8	949.53	741.71	46	200.59	80.21
1 309	9	780.26	759.72	19	121.68	33.76
1 309	10	777.96	769.14	29	168.33	39.63

表 1 中列出 1 301 帧、1 305 帧和 1 309 帧的提取结果,从结果可以分析出,高速摄像机所拍摄图像,相邻帧间数据变化不大;1 301 帧时提取目标数为 10 个,在 1 305 帧时目标变为 9 个,目标 7 没有提取出来,其余目标关联正确,正确提取概率为 90%。

由于目标 9 和目标 10 有粘连,在两个目标粘

连区域局部采用直方图方法统计灰度变化情况,如图 4 直方图所示。在直方图波谷处,分割两个粘连目标。

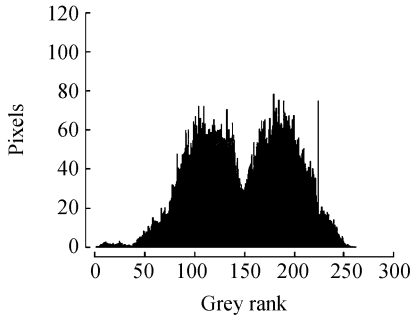


图 4 直方图

Fig. 4 Histogram

4 结 论

根据动态子母弹测量弹道参数的要求,采用卡尔曼滤波的方法预测动态子母弹多目标位置,对二值后的图像求质心位置、面积、中轴线倾角、标记目标链,同时根据标记区域,求目标灰度值。目标的各个特征获得后,利用改进的特征函数方法确定相关联目标,并介绍目标粘连与遮挡时的处理措施。通过处理模拟动态子母弹的图像,获得结果数据,验证了数学模型的正确性。实验结果表明,目标提取的正确率可达 90%,有效提取了动态子母弹目标。

参考文献:

- [1] 赵学颜,李迎春. 靶场光学测量[M]. 北京:国防工业出版社,2001.
ZHAO X Y, LI Y CH. *Optical Measure at Shooting Range*[M]. Beijing: National Defense Press, 2001. (in Chinese)
- [2] 付晓薇,方康玲,李曦. 一种基于特征的多目标跟踪算法[J]. 计算机工程与应用,2004,35(4):72-76.
FU X W, FANG K L, LI X. A method of multi-object tracking based on feature[J]. *Computer Engineering & Application*, 2004, 35(4): 72-76. (in Chinese)
- [3] 吴四九,蔺冰多. 多目标视频运动分析系统中的多几何特征参数快速提取实现[J]. 成都信息工程学院学报,2002,117(4):247-252.
WU S J, LIN B D. Fast geometric parameters extraction in m multi-target video motion processing systems[J]. *Journal of Chengdu University of Information Technology*, 2002, 117(4): 247-252. (in Chinese)
- [4] 陈忠碧,张启衡. 一种适合于多目标检测的图像分割方法[J]. 光电工程,2004,31(5):34-40.
CHENG ZH B, ZHANG Q H. An image segmentation algorithm suitable for multi-object detection[J]. *Opt-Electronic Engineering*, 2004, 31(5): 34-40. (in Chinese)
- [5] 周军妮,杨润玲,刘利. 基于 Hough 拟合算法的对称目标姿态新方法[J]. 视频技术应用与工程,2007,31(8):110-115.
ZHOU J N, YANG R L, LIU L. Pose-measuring algorithm for symmetrical target based on hough transform & line fitting[J]. *Application & Project of Video Technologies*, 2007, 31(8): 110-115. (in Chinese)
- [6] 孙中森,孙俊喜,宋健中. 一种抗遮挡的运动目标跟踪算法[J]. 光学 精密工程,2007,15(2): 267-271.
SUN ZH S, SUN J X, SONG J ZH. Anti-occlusion arithmetic for moving object tracking[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(2): 267-271. (in Chinese)
- [7] 李晓光,王兆楠,王智,等. 一种目标位置解算方法[J]. 光学 精密工程,2006,14(6):76-81.
LI X G, WANG ZH N, WANG ZH, et al.. Research on location compute method of object[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(6): 76-81. (in Chinese)
- [8] 李文军,陈涛. 光电跟踪系统噪声分析及其抑制[J]. 光学 精密工程,2007,15(2):254-260.
LI W J, CHEN T. Analysis and restraining of random noise of optoelectronic tracking system[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(2): 254-260. (in Chinese)

作者简介:朱 玮(1961—),男,吉林长春人,主要从事视频判读、数据处理等方面的研究。E-mail: cczlr@21cn.com

通讯作者:于晓波(1965—),男,吉林长春人,副研究员,主要从事靶场测量军工项目的开发研究。E-mail: sljlu@163.com