

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0111-04

多目标相干激光雷达距离像跟踪算法仿真

魏小程, 李琦, 王骥, 陆威

(哈尔滨工业大学光电子研究所可调谐激光技术国家级重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要 相干激光成像雷达由于具有极高的角度分辨率和距离分辨率, 可以同时成目标的强度像和距离像, 构成高分辨的角-角-距离-强度图像。对采用标准最小绝对差和(MAD)距离作为相似性度量, 结合序贯相似性计算方法的相关算法进行改进。对多目标情况进行激光成像雷达跟踪仿真研究, 在不同信噪比下进行序列图像的追踪试验, 实验结果表明, 对于所研究的仿真目标场景, 应用此相关跟踪方法, 追踪的全过程中没有出现失锁现象, 跟踪精度较好, 误差一般为1~2个像素, 不超过4个像素。

关键词 图像处理; 激光雷达; 距离像; 相关算法; 模板更新

中图分类号 TN958.98 **文献标识码** A

Multi-Target Tracking Algorithm Emulation Based on Coherent Ladar Range Image

WEI Xiao-cheng, LI Qi, WANG Qi, LU Wei

(National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Institute of Opto-Electronic, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract With high angle and range resolution, the imaging laser radar is capable of producing range and intensity image of the target at the same time to form high resolved angle-angle-range-intensity images. In this paper, an ameliorated correlated algorithm is presented based on MAD and SSDA. At last, the ability to distinguish similar object and to expand self-adaptively as the target become larger, tracking experiments are given under different carry noise ratio (CNR). The results show that in the present scene, the algorithm gives preferable tracking performance. No failure of tracking the target occurred and most single-frame absolute errors are sub-pixel, all of the absolute errors are below 4 pixels.

Key words image processing; ladar; range image; correlated algorithm; template update

1 引言

相干激光成像雷达^[1]很适合于自主车地形观测和控制、机器人三维视觉、三维摄像和精确制导等领域。在激光成像雷达所有可能的应用领域中, 有很多情况需要稳定的图像跟踪算法, 实现对目标的搜索、追踪和定位。相关算法是成像跟踪中一类重要方法^[2,3]。本文根据相干激光雷达距离像特点, 提出对基于标准最小绝对差和(MAD)距离的相关算法进行改进。

索的区域由 $S(x, y)$ 表示。 u, v 表示模板的位置, U, V 表示模板的大小; x, y 表示在模板覆盖下的实时图的位置, X, Y 则表示实时图像的大小, 如图1所示。

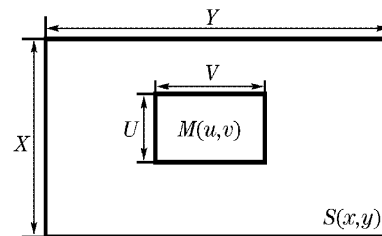


图1 模板在实时图中的位置

Fig. 1 Template in the picture

2 相关算法

2.1 匹配

实验中所用的相似性度量为标准最小绝对差和距离。目标模板用 $M(u, v)$ 表示, 当前图像中要搜

目标模板和当前图像中要搜索区域的最小绝对差和距离即相关系数由下式计算

作者简介: 魏小程(1983—), 男, 陕西人, 哈尔滨工业大学光电子研究所硕士研究生, 主要从事激光雷达图像处理的研究。

E-mail: shizi1983@163.com

$$R(x, y) = \sum_{u=0}^U \sum_{v=0}^V |M(u, v) - S(x+u, y+v)|, \quad (1)$$

式中 $0 \leq u < U$; $0 \leq v < V$; $0 \leq x < X-U+1$; $0 \leq y < Y-V+1$ 。目标的位置由(1)式中 $R(x, y)$ 的最小值来决定。

另外,本算法结合序贯相似性算法(SSDA)来简化算法和节省时间(见图2,图中 ϵ 表示误差)。判断终止该点运算阈值的选取不能是一个定值,因为模板尺寸是逐渐加大的,这就导致匹配位置处的最小绝对差和距离也不断增加。静止的序贯相似性算法阈值将会导致最终目标失锁,本算法选用一个动态的阈值

$$t = k \times U \times V, \quad (2)$$

式中 U 为当前模板的高度, V 为当前模板的宽度, k 为一个预先设定的系数,它的选取与噪声程度有关。本次实验中 k 的选取为不对追踪结果产生影响的最小整数。经尝试,载噪比14dB,12dB时分别采用 $k = 43$ 和 $k = 52$ 。

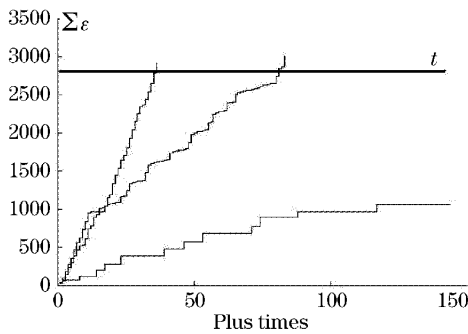


图2 误差累计曲线

Fig. 2 Pixel difference plus curve

2.2 模板更新

目标的形变(包括比例变化、旋转、遮挡等变化)一直是相关算法所面临的比较棘手的问题之一。对于逐渐靠近目标的图像序列,由于目标尺寸是不断变大的,所以如果模板更新问题不能有效解决,则必然导致失锁。

模板更新可分为内部模板更新与模板扩展两步。内部模板更新时所用的方法^[4]是

$$M_n(u, v) = \alpha M_{n-1}(u, v) + (1 - \alpha)S_{n-1}(x_0 + u, y_0 + v), \quad (3)$$

其中 $M_n(u, v)$ 为用于下一帧搜索的模板, $M_{n-1}(u, v)$ 为本帧搜索的模板, $S_{n-1}(x_0 + u, y_0 + v)$ 为本帧匹配位置处模板覆盖下的子图, α 为权重,它由匹配位置

处的模板和图像的相似程度确定。

模板扩展面临两个问题:1)判断目标尺寸在本帧是否变大;2)量化尺寸的变化。对于以上两个问题,本文给出的解决方案(如图3)是:在本帧搜索完毕,并且找到匹配位置之后,将序列图像匹配位置外一个像素宽度的小子图分别根据它所邻接的模板边界划分为四个方向。在每个方向内检查是否有属于目标的像素点。如果有,表示目标在该方向上已经溢出,模板在这个方向扩展一个像素,把包含在该方向内的图像子图扩充到模板之中。溢出的标准为是否有连续4个该方向点的灰度值大于某一给定的阈值。之所以用连续4个点是为了避免噪声点对图像扩展的影响。考虑到阈值应该含有目标信息,所以选用阈值

$$E = \sum_{u=0}^U \sum_{v=0}^V M(u, v) / (U \times V), \quad (4)$$

即模板的平均灰度。然而由于目标的形状不规则,这样的阈值选取往往使很多背景像素参与到阈值的计算之中,使阈值的选择性降低。为了避免以上情况,采用新的阈值 $E = \max(E_1, E_2, E_3, E_4)$, 其中 E_i ($i=1, 2, 3, 4$) 为均分的 $1/4$ 模板的平均灰度。当然可以根据欲追踪的具体目标的形状来确定阈值的选取方法。判断溢出方法的成立前提是,目标灰度与背景灰度有较明显的差别。这一要求在一般情况下是满足的。

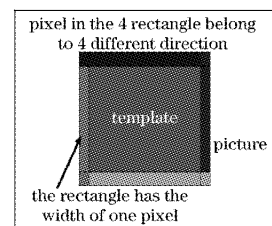


图3 模板更新策略

Fig. 3 Template update method

这样就用阈值的方法解决了目标溢出判断的问题,而用步长为1——每次在既定方向上的扩展为一个像素宽度——来解决目标扩展的尺寸问题。值得提出的是,单位为1的步长在本次仿真试验中可以满足目标扩展的速度要求。通过之前的图像仿真得到的结论是,即便非常靠近目标时(目标的扩展速度非常快),单位步长也可以跟得上目标扩展速度。

3 仿真试验

在实际中,视场往往会有一些与要追踪目标十分相似的目标。这些相似目标的存在会使算法锁定到

它上面从而失去正确的目标。仿真过程中需要就相似目标对算法稳定性的影响进行讨论。下面对形状一样但存在距离差别的相似目标序列图像进行仿真。

如图4,需要追踪的目标为前方的较厚的长方体,其斜后方的较薄的长方体为相似目标。提取距离信息的时候采用的视角为正前方视角,这样两个

物体所得到的距离像为两个相同尺寸的平面。距离像尺寸为 90×120 。分别无噪声,背景载噪比为1 dB,目标载噪比为12 dB,背景载噪比为1 dB,目标载噪比为14 dB,三种情况下进行追踪实验,图5为各种噪声下的距离像(第一帧)。

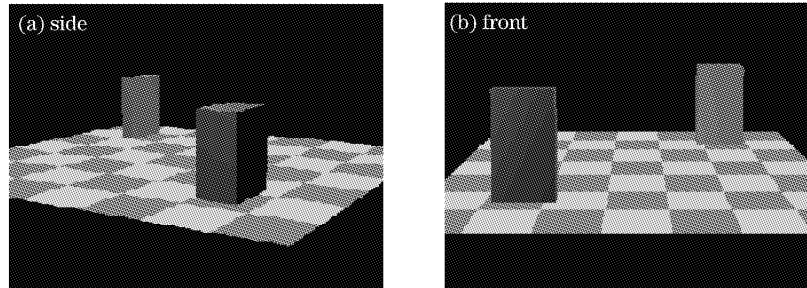


图4 目标立体图像

Fig. 4 Target graphic

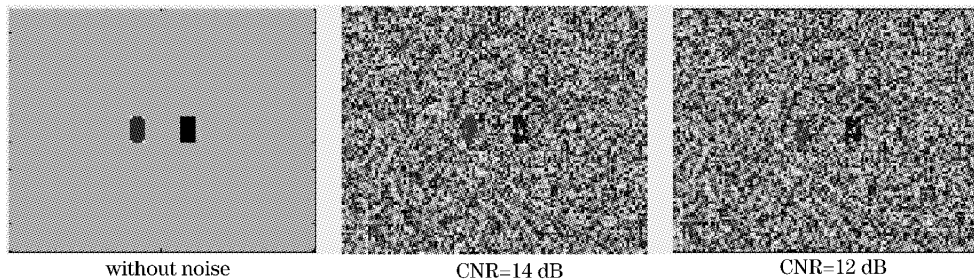


图5 不同噪声下的距离像

Fig. 5 Range images with different CNR

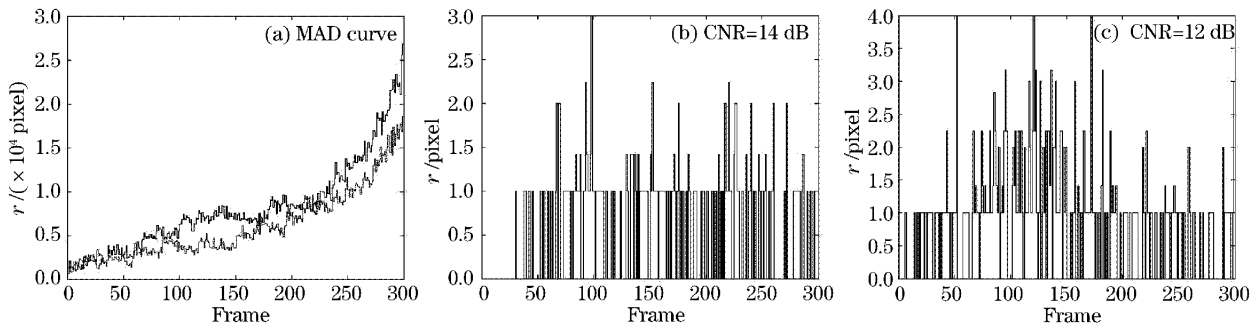


图6 最小绝对差和与噪声图像跟踪误差曲线

Fig. 6 MAD curve and tracking error of the range images

在奔IV 2.8GHz计算机上仿真时,载噪比为14dB时程序运行时间为12.500s,12dB时为15.750s(均包括数据文件读入与存储时间),平均每帧所需时间不超过100ms,具有一定的实时性。图6为最小绝对差和距离及定位误差随帧数的变化,图6(a)中黑实线和灰实线分别为载噪比12dB和14dB情况;误差曲线中 r 由(5)式计算得出,单位为像素

$$r = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}, \quad (5)$$

$\Delta x, \Delta y$ 分别为搜索到的目标位置与真实目标位置间水平与垂直像素差。

从图6可以看到,追踪的全过程中没有出现失锁现象,跟踪精度较好,误差一般为1~2个像素,不超过4个像素。

4 结 论

本算法具有一定的追踪精度(一般误差为 1~2 个像素),且可以抵抗一定的噪声,而且它追踪时间比较短,加之结构简单,非常易于硬件电路实现,所以该算法有一定的实用性。由于该算法对目标信息的提取方法比较粗糙(模板均值),所以它对那些整体灰度(距离)变化较小的目标较为有效,如实验中的平面目标在载噪比为 12dB 时依然可被追踪到;而当目标本身的灰度信息比较丰富时,均值的方法不能有效地提取目标信息,追踪性能开始下降。可望通过进一步优化算法使其在目标载噪比为 10 dB 时稳定跟踪。此外,需要在更加复杂的序列图像(如增加目标的几何不规则性或者进一步增大相似目标

的相似性)中进一步改进算法性能。

参 考 文 献

- 1 Qi Wang, Ziqin Li, Qi Li *et al.*. An edge detection algorithm for imaging lidar [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2003, **1**(5): 272~274
- 2 Liu Xuedong, Jia Yulin, Sun Hao. Study on steady tracking with correlation algorithm [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 1998, **27**(1): 9~13
刘学东,贾玉林,孙昊. 相关算法中跟踪稳定性问题的研究 [J]. *红外与激光工程*, 1998, **27**(1): 9~13
- 3 Jinshan Tang, Gang Dong, Nilanjan Ray *et al.*. Evaluation of intravital tracking algorithms [J]. *Circuits and Systems, IEEE*, 2002, **8**(1): 220~223
- 4 Wei Luogang, Pen Jiaxiong, Zhang Tianxu *et al.*. A correlated algorithm for targets in the field [J]. *J. Huazhong University of Science and Technology*, 1994, **22**(5): 26~30
魏洛刚,彭嘉雄,张天序等. 一种地面目标的相关跟踪方法 [J]. *华中理工大学学报*, 1994, **22**(5): 26~30