

文章编号: 1672-8785(2016)12-0001-09

平面地标引导下的红外建筑物目标 间接识别技术研究

王登位

(电子科技大学航空航天学院, 四川成都 611731)

摘 要: 在某些情况下, 如目标处于远距离、目标局部对比度低、目标被遮挡、目标区模式频繁出现等, 采用直接识别方法难以正确识别目标。为此, 提出了一种基于平面地标间接定位的典型地面建筑物目标识别方法。在地面准备阶段进行地标选取以及参考图制备。在飞行阶段, 用匹配算法对地标进行自动捕获、识别和定位, 然后利用地标与目标的空间约束关系, 间接定位包含目标的局部感兴趣区。当局部感兴趣区的对比度显著时, 启动最后阶段的基于形态学处理框架的直接识别操作。通过仿真实验测试分析了该算法的适应性。

关键词: 平面地标; 红外; 建筑物目标; 间接定位; 直接识别

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.12.001

Research on Indirect Recognition Technology of Infrared Buildings under Guidance of Planar Landmarks

WANG Deng-wei

(School of Aeronautics and Astronautics, University of Electronic
Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: In some cases, for instance, when a target is located at a long distance, when a target has low local contrast, when a target is obscured and when the pattern of a target zone occurs frequently, it is difficult for a direct recognition method to correctly recognize the target. For this reason, a recognition method for typical ground buildings based on indirect location of planar landmarks is proposed. At the ground preparation stage, the landmarks are selected and their reference images are prepared. At the flight stage, the landmarks are captured, recognized and located by a matching algorithm automatically. Then, the spatial constraints between the target and the landmarks are used to indirectly locate the local region of interest which contains the target. When the local region of interest has high contrast, the direct recognition based on morphological processing framework at final stage is started. The adaptability of the proposed algorithm is tested and analyzed in the simulation experiment.

Key words: planar landmark; infrared; building target; indirect location; direct recognition

收稿日期: 2016-09-06

基金项目: 中央高校基本科研业务费 (ZYGX2015KYQD032)

作者简介: 王登位 (1982-), 男, 贵州遵义人, 博士, 讲师, 主要从事红外成像目标识别方面的研究工作。

E-mail: wdengwei@126.com

0 引言

地面立体建筑物是人工建筑的重要组成部分。通过对其进行精确定位与识别可以满足无人和有人飞行器在城市地区自主精确导航、飞行器避撞等领域的应用需求。地面立体建筑物通常处于复杂的自然场景之中。特别是在城区内,它们大多跟周边建筑关联成片,且处于楼群之中。由于飞行器飞行航线的可变性以及飞行器惯性导航定位的偏差,在城区中对地面立体建筑物进行定位与识别是一项颇为艰巨的任务。

如果飞行器欲通过导航定位到某个立体建筑物,那么首先就要能够对该建筑物进行检测和识别。然而在城区中对立体建筑物进行检测、识别和定位却十分困难。

在过去的数年里,研究人员针对建筑物识别问题提出了大量算法^[1-9]。这些算法在其约定的场景框架之内都取得了一定的识别效果。然而,它们却有着一个共同的特点,即其执行过程皆基于直接检测、识别、定位机制,但未将建筑物目标置于自然场景的“上下文”之中。因此,这些算法难免会局限于仅仅就建筑物识别与定位而言。当立体建筑物相对于其所在城区场景特征不显著,如距离较远、光照条件不佳、相似模式较多时,直接检测、定位、识别并不可行。为了解决这一导航定位难题,必须设计一种新的定位与识别方法。

实际上,间接寻找目标的方法更符合人类的视觉导航机理。也就是说,当我们想捕获某个目标的时候,如果此目标相对于其所在的场景特征来说并不显著,那么我们通常先捕获目标所在场景中具有某种显著性特征的地物结构,然后再间接定位到我们感兴趣的目标,进而对感兴趣对象进行直接的定位与识别。

本文基于上述思想提出了一种新颖的间接定位方法,并利用该方法对前视红外图像序列中的建筑物目标进行了识别。这种方法由以下两个步骤组成:(1)地面准备阶段。按照预先规划好的航迹进入方向,然后选择航路上可见的平面地标候选集,并制备其相应的基准参考图。(2)

定位阶段。飞行器沿规划航迹飞行,搜索距离当前时刻最近的平面地标,并在其预计出现在视场中的时刻,启动对平面地标的捕获;根据捕获平面地标时的飞行器成像姿态参数,将制备好的平面地标参考图透视变换到前视状态,以生成用于匹配的特征模板;对该特征模板与当前实时图进行匹配操作,待捕获到地标后,再依据平面地标与建筑物目标在大地坐标系中的几何位置关系特征库,间接定位到包含目标在内的局部感兴趣区域。(3)识别阶段。当局部感兴趣区域的方差显著时,在此区域内进行最终的基于形态学处理框架的直接识别操作。图1为整个算法流程的示意图。

1 识别算法的描述

在制备好当前规划航迹上的参考图后,飞行器沿规划航迹飞行,搜索距离当前时刻最近的平面地标,并在其预计出现在视场中的时刻,启动对平面地标的捕获。待捕获到平面地标后,为了从解算出的地标位置中间接牵引到感兴趣的目标,我们提出了一种间接定位的思想。其基本原理是,通过匹配识别地标,可以获得地标在实时图中的位置;将前述特征库中目标与地标之间的空间约束关系作为先验知识,由成像姿态参数解算出目标在实时图中的位置。

1.1 平面地标的捕获

通过匹配来实现对平面地标的捕获。然而,当飞行器处于飞行状态时,其成像方式为下视成像。因此,为了在前视实时图与通过下视方式所获取的卫星参考图之间实现匹配操作,我们需要将卫星参考图从下视状态透视变换到前视状态,以获取用于匹配阶段的特征模板。

图2所示为透视变换的几何模型。假设 $T_0(x_0, y_0)$ 为光轴瞄准点, $T(x, y)$ 为地面上的某一点。在前视红外实时图像中, T_0 的位置为 $(col/2, row/2)$,其中 row 和 col 分别为透视变换后图像的列数和行数。设 T 在前视红外实时图像中的坐标位置为 (T_{col}, T_{row}) ,则

$$CD = 2L_2 \tan \frac{\alpha}{2} \quad (1)$$

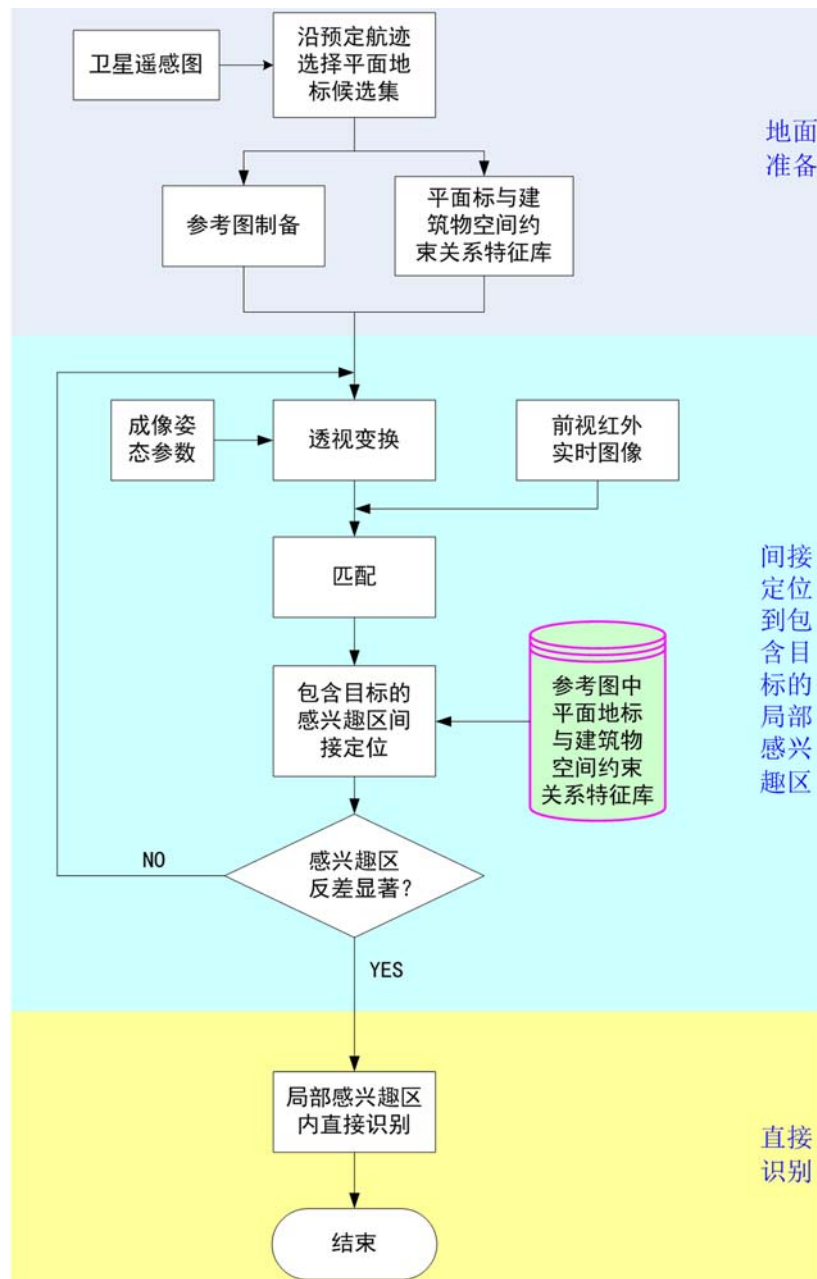


图 1 基于平面地标间接定位建筑物目标的流程图

$$OM = OT_0 + (y - y_0) \cdot \cos \alpha + (x - x_0) \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

$$\tan(\angle OMP) = h/OM \quad (3)$$

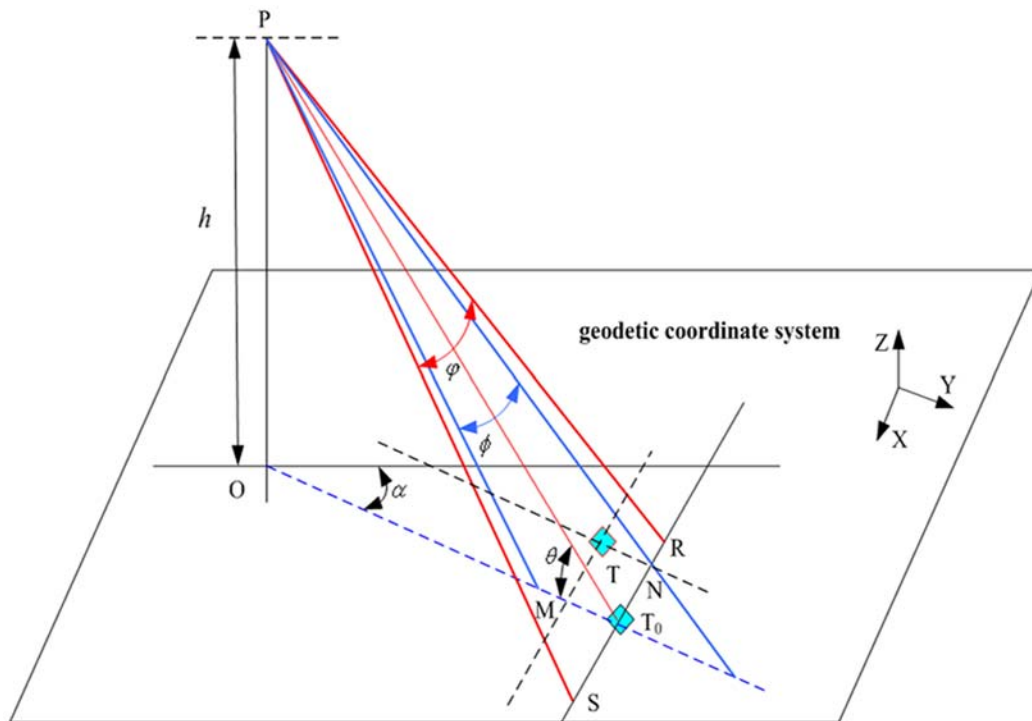
$$T_{row} = row/2 + (\angle OMP - \theta) \cdot row/\phi \quad (4)$$

$$T_{col} = col/2 + \arctan\{[(x - x_0) \cdot \cos \alpha - (y - y_0) \cdot \sin \alpha]/[h/\sin(\angle OMP)]\} \cdot col/\phi \quad (5)$$

式中, OT_0 为点 T_0 与点 O (视点 P 在地面上的垂直投影) 之间的距离; $\overrightarrow{OM}$ 为飞行方向; M 为点 T 在 $\overrightarrow{OM}$ 上的垂直投影; N 为点 T 在 $T_0\overrightarrow{N}$ 上

的垂直投影; h 为视点 P 的高度; α 为方位角; θ 为俯仰角; ϕ 为垂直视场角; φ 为水平视场角。

迄今为止, 还没有一种通用可行的针对不同传感器间图像的匹配算法。因此, 本文采用去均值归一化的灰度互相关匹配算法来执行前视实时图与卫星参考图之间的匹配操作。该算法稳定可靠, 其依赖的不是图像的绝对灰度值, 而是彼此间的相对灰度差异, 且能够消除一定的成像参数误差。



1.2 间接定位

假设通过匹配操作捕获到平面地标后, 地标在前视红外图像中的位置为 (X_2, Y_2) 。图 3(a) 所示为前视红外图像的中心与地标之间的位置关系。

假定通过匹配定位后, 地标在实时图上的位置为 (X_2, Y_2) , 其与实时图中心之间的位置关系见图 3(a)。令 ROW 和 COL 分别为实时图的行数和列数, 则实时图中心的坐标为 $(ROW/2, COL/2)$ 。令 ϕ 为纵向视场角, φ 为横向视场角, α 为方位角, θ 为俯仰角, h 为视点 P 的高度, 如图 2 所示。

(1) 计算 (X_2, Y_2) 与光轴瞄准点在大地坐标系中沿进入方向的偏移量 L_1 和 L_2 。

(a) 纵向距离 L_1

如图 3(b) 所示, 令 $MT_0 = L_1$, 则

$$\beta_1 = \frac{Y_2 - ROW/2}{ROW} \times \phi \quad (6)$$

$$L_1 = \frac{h}{\tan \theta} - \frac{h}{\tan(\theta + \beta_1)} \quad (7)$$

(b) 横向距离 L 。

如图 3(c) 所示, 令 $T_0 N = L_2$, 则

$$\beta_2 = \frac{X_2 - COL/2}{COL} \times \varphi \quad (8)$$

$$L_2 = \frac{h}{\sin \theta} \times \tan \beta_2 \quad (9)$$

(2) 由 L_1 和 L_2 计算在正北方向上的投影量 dx_2 和 dy_2

如图 3(d) 所示, 令 $CD = L_1$, $DE = L_2$, 则 $\angle EDG = \alpha$, $CF = dx$, $FE = dy$, 因此

$$dx_2 = L_2 \cos \alpha + L_1 \sin \alpha \quad (10)$$

$$dy_2 = L_1 \cos \alpha - L_2 \sin \alpha \quad (11)$$

在大地坐标系中, 地标与目标之间的偏移量 Δx 和 Δy 是已知的。假设光轴瞄准点与目标之间的偏移量分别为 dx_1 和 dx_2 , 则有 $dx_1 = dx_2 + \Delta x$, $dy_1 = dy_2 + \Delta y$ 。然而, 该偏移量是相对于正北方向而言的, 因此需要将其转换为相对于飞行方向的偏移量 dx'_1 和 dy'_1 。

再次采用图 3(d), 令相对于飞行方向的 x 向偏移量为 dx'_1 , 相对于飞行方向的 y 向偏移量为 dy'_1 , 则

$$\begin{cases} dx_1 = dx'_1 \cos \alpha + dy'_1 \sin \alpha \\ dy_1 = dy'_1 \cos \alpha - dx'_1 \sin \alpha \end{cases} \quad (12)$$

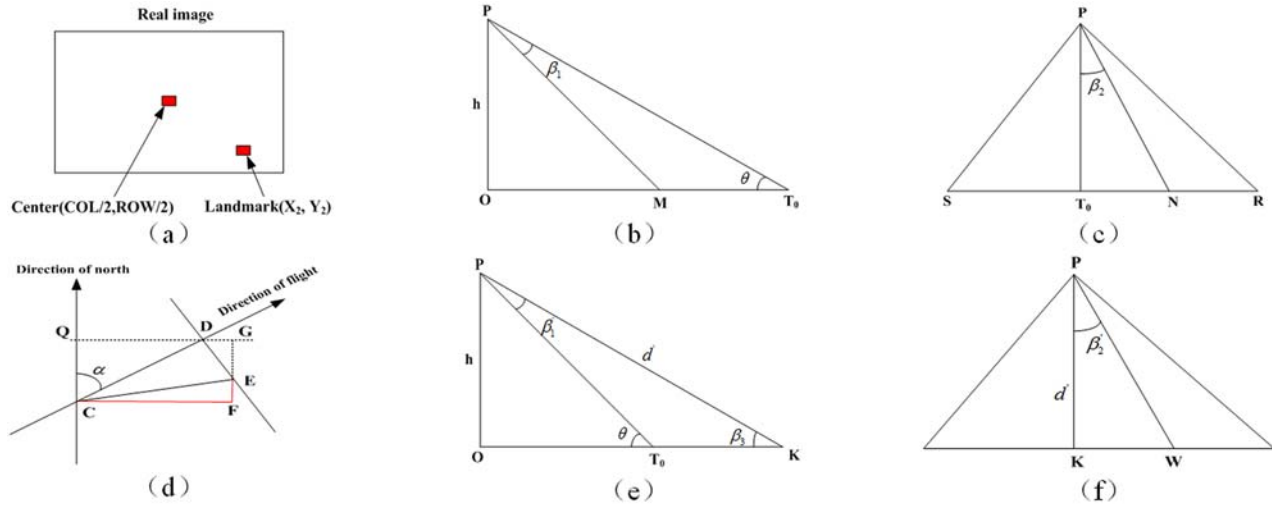


图 3 关系集: (a) 前视红外图像的中心与地标之间的关系; (b) T_0 与 M 之间的关系 (T_0 和 M 的含义可参考图 1); (c) T_0 与 N 之间的关系 (T_0 和 N 的含义可参考图 1); (d) 正北方向与飞行方向之间的关系; (e) 大地坐标系中地标与目标的纵向位置关系; (f) 大地坐标系中地标与目标的横向位置关系

通过求解方程可得:

$$dx'_1 = dx_1 \cos \alpha - dy_1 \sin \alpha \quad (13)$$

$$dy'_1 = dy_1 \cos \alpha + dx_1 \sin \alpha \quad (14)$$

(3) 计算目标在实时图中的最终位置 (X_1, Y_1)

(a) 计算 Y_1

如图 3(e) 所示, 令 $T_0K = L'_1$, $L'_1 = dy'_1$, 其中 K 为目标位置, 则

$$\tan \beta_3 = \frac{h}{h/\tan \theta + L'_1} \quad (15)$$

$$\beta_3 = \arctan \left(\frac{h}{h/\tan \theta + L'_1} \right) \quad (16)$$

$$\beta'_1 = \theta - \beta_3 \quad (17)$$

$$Y_1 = \frac{ROW}{2} + \frac{\beta'_1 - \theta}{\phi} \times ROW \quad (18)$$

$$d' = h/\sin \beta_3 \quad (19)$$

(b) 计算 X_1

如图 3(f) 所示, 令 $KW = dx'_1$, 则

$$\beta'_2 = \arctan \left(\frac{dx'_1}{d'} \right) \quad (20)$$

$$X_1 = \frac{COL}{2} + \frac{\beta'_2}{\varphi} \times COL \quad (21)$$

综上所述, 我们得到了通过匹配确定平面地标然后再间接引导到包含建筑物目标的局部

感兴趣区的详细流程图 (见图 4)。

1.3 局部感兴趣区内的直接识别

在实际的飞行过程中, 由于平台抖动等原因, 传感器姿态参数的测量值存在一定误差, 因此上述基于成像姿态参数的间接定位模型就无法一次性地准确定位到我们感兴趣的目标。虽然有可能无法精确定位到待识别的目标, 但是定位到一个包含建筑物目标在内的局部感兴趣区却是可以得到保证的。在这种情况下, 为了提高制导武器的作战精度, 在后端进行小范围内的直接识别是必然的, 也是必须的。

1.3.1 局部感兴趣区大小的确定

在实时图中选取局部感兴趣区域。该区域以间接定位模型的解算位置为中心, 其高度为 $H_{sub} = H_{img} \cdot \xi$, 其中 H_{img} 为建筑物目标的成像高度, $1.5 \leq \xi \leq 3$; 宽度为 $W_{sub} = W_{img} \cdot \gamma$, 其中 W_{img} 为建筑物目标的成像宽度, $2 \leq \gamma \leq 6$ 。

1.3.2 小范围内的直接识别

这是整个流程中的最后一个环节。基于飞行器的传感器测量数据, 根据建筑物目标的三维参考模型, 实时计算目标成像尺寸, 并预测目标在该传感器参数下的模型特征。利用数学形态学对实时图进行预处理, 以滤除与目标大小及形状不同的背景。然后对预处理后的图像进

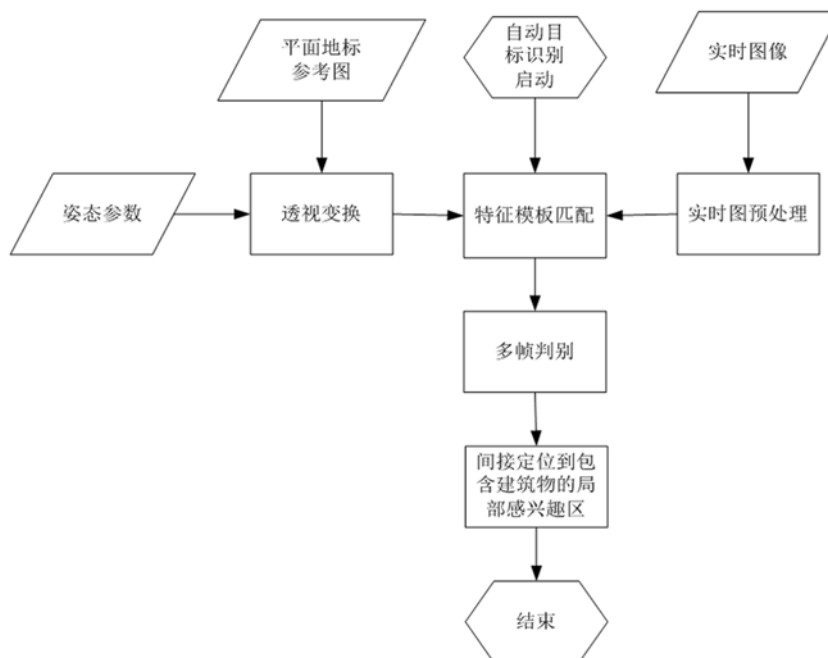


图 4 通过平面地标间接定位到包含建筑物的感兴趣区的流程图

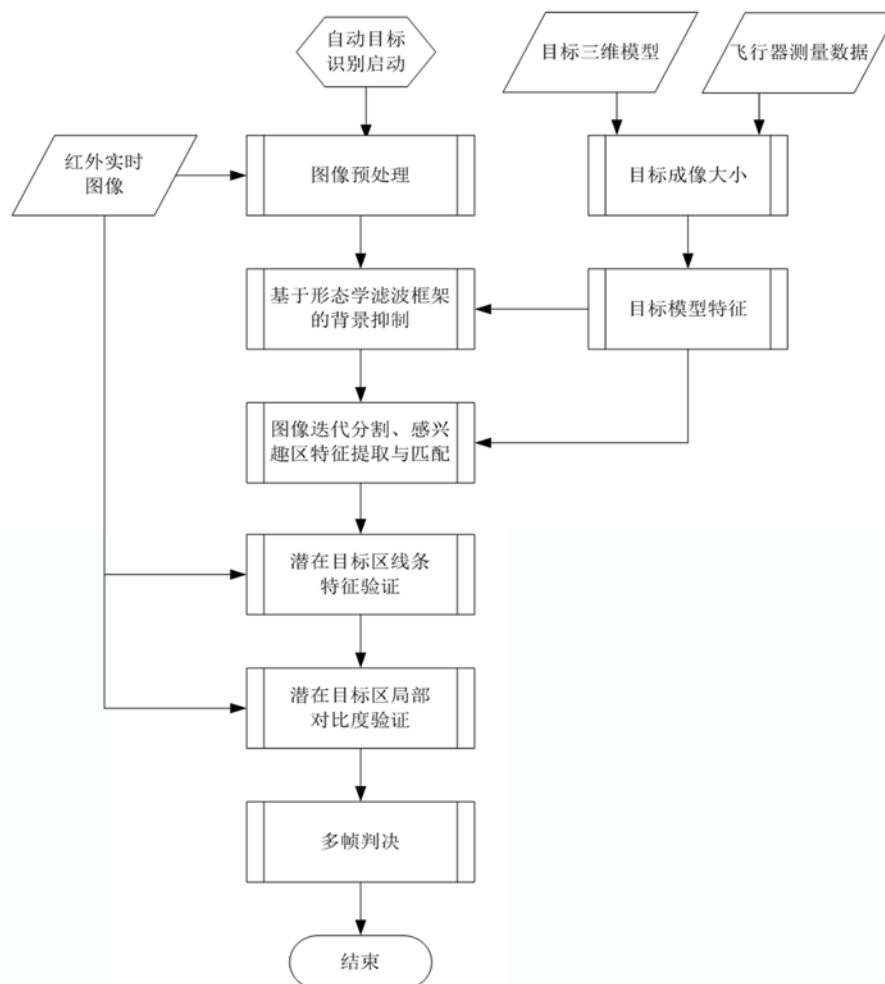


图 5 基于形态学处理框架的建筑物目标识别算法

行迭代分割, 并从分割后的图像中提取感兴趣区特征。根据提取特征与模型特征的匹配, 保留最接近模型特征的感兴趣区。接着对保留的感兴趣区所对应的原始图像区域进行线条特征验证和局部对比度验证。最后通过多帧判别对目标进行定位。图 5 为基于形态学的目标识别方法的流程图。

2 实验结果

2.1 结果分析

下面我们在真实的前视红外图像序列上测试本文算法的有效性。所用图像均采集于城区, 成像高度和俯仰角的取值都较为恰当。本文算法的运行环境为 Microsoft Visual C++ 6.0。用于算法测试的图像序列由 1300 帧图像组成, 成像距离为 11 ~ 3 km, 拍摄季节为秋季, 建筑物目标 (楼宇名称为“YYBG”) 在大地坐标系中的几何尺寸为 $\{length = 15\text{ m}, width = 25\text{ m}, height = 60\text{ m}\}$ 。图 6 所示为该序列中的某一帧图像 (大小为 320×256)。

图 7(a) 为建筑物场景的卫星遥感图像 (尺寸为 2000×2000)。其中, 红色十字叉表示河道地标的位置 (坐标为 (764, 1007)); 绿色十字叉表示建筑物目标的位置 (坐标为 (985, 1008))。由此可得, $\Delta x = 221$, $\Delta y = 1$ 。图 7(b) 为图 7(a) 所对应的二值参考图。我们的任务是在前视图像序列



图 6 前视红外图像序列中的第 417 帧图像

中识别出由绿色十字叉所标示的建筑物目标。

在对图 7(b) 所示的二值参考图进行透视变换后, 我们得到了图 8 所示的特征模板, 其尺寸为 58×100 。此时的成像参数如下: 成像距离为 9100 m, 飞行高度为 1963 m, 方位角为 139.9° , 俯仰角为 -12.7° 。另外, 透视变换的执行细节如下: 在进行透视变换时, 我们需要指定地标位置, 即光轴瞄准点在参考图中的位置, 此处为 (764, 1007)。然后以地标位置为中心选择一个局部感兴趣区 (尺寸为 210×1800), 即为透视变换过程的实际处理对象。在接下来的计算过程中, 我们需要基于成像参数将子图中的每一点从下视状态映射到前视状态。紧接着, 在图 8 与图 6



(a)



(b)

图 7 “YYBG” 目标所在场景的卫星遥感图像 (a) 及其相应的河道地标的二值参考图 (b)



图 8 特征模板

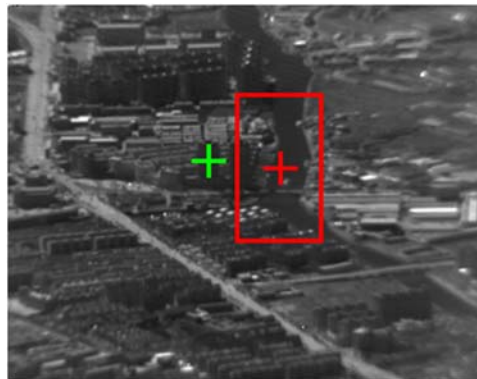


图 9 间接定位的解算结果



(a) 局部子图



(b) 形态学背景抑制结果



(c) 递推分割结果



(d) 最终识别结果

图 10 小范围内的直接识别流程



(a) 第 500 帧识别结果



(b) 第 530 帧识别结果



(c) 第 560 帧识别结果



(d) 第 590 帧识别结果



(e) 第 620 帧识别结果



(f) 第 650 帧识别结果

图 11 图 6 所示序列的第 500 帧、第 530 帧、第 560 帧、第 590 帧、第 620 帧和第 650 帧的识别结果

之间执行 ANCC 匹配 (运行时间为 0.27 s), 从而得到图 9 所示的河道地标位置。最后, 使用我们提出的间接定位解算模型得到了图 9 所示的最终定位结果。其中, 红色十字叉表示河道地标的位置; 绿色十字叉表示通过解算得到的建筑物位置 (坐标为 (134,116)); 红色矩形框表示匹配区。在得到绿色十字叉所标示的位置后, 本文算法随即加载整个流程的最后一个环节, 即在小范围内基于形态学处理框架进行直接识别。根据前面确定局部感兴趣区大小的经验公式, 我们得到了图 10(a) 所示的局部感兴趣子图。图 10(b)

~ 图 10(d) 为直接识别步骤的所有中间结果, 其中, 图 10(d) 所示为最终的识别结果。

同理, 我们得到了图 6 所示图像序列的另外一些视频帧 (第 500 帧、第 530 帧、第 560 帧、第 590 帧、第 620 帧和第 650 帧) 的识别结果 (见图 11)。

最终的统计结果显示, 共有 1209 帧被正确识别, 总的识别概率为 93%。

2.2 方法比较

在公开报道的各种文献中曾出现过一些间接识别目标的研究。例如, Guenther Riedi 等人^[10]

在空对地和地对地导弹导引头的图像处理部分中指出, 当待捕获的目标不可见(目标被伪装或者被隐藏)时, 可先跟踪目标周围的参考地标, 然后根据目标与参考地标之间的几何位置关系, 指引导弹命中目标。明宝印等人^[11]对KEPD-350空地导弹在末制导阶段所采取的偏置攻击方式进行了阐述。如果由于目标与背景的对比度低或者目标得到了伪装, KEPD-350导弹可以跟踪目标附近的一个参考物体, 那么根据参考跟踪物体与目标的相对位置关系以及导引头的跟踪信息, 则可控制导弹攻击目标本身。

我们提出的基于平面地标间接定位的目标识别方法与上述两种方法之间具有根本区别, 即本文是通过自动捕获目标近邻区域内的显著地标, 并依据目标与地标的空间约束关系, 间接定位到感兴趣的建筑物目标的。在自动捕获和地标跟踪方面, 本文方法也有明显的不同之处, 因而具有较强的适应性。

本文算法的创新性在于推导出了一种具有一定生物智能特性的间接定位解算模型。当待识别建筑物目标的光学成像特征不显著(如被隐藏、被遮挡、相似模式较多、局部对比度低等)时, 本文模型能够获得较为稳定的识别结果, 加之平面地标在城区范围内甚为常见, 其上可供选用的形殊点(可用于间接定位)有很多。因此, 利用平面地标来进行间接导航定位是可行的。

3 结束语

在远距离的情况下, 城区建筑物目标在前视红外成像中具有目标显著性差、目标局部对比度低、目标在某些姿态参数下存在被遮挡现象、目标区模式重复严重等特点。在指出直接识别方法在前述情况下会严重失效的基础上, 本文提出了一种基于平面地标间接定位的中波红外典型地面建筑物目标识别方法。首先, 详细介绍了地面准备阶段中的地标选取原则及其相应的参考图制备方法。在飞行器进入实飞阶段时, 基于传感器的姿态参数对制备好的参考图进行实时透视变换, 以获取用于匹配的特征模板; 将其

与当前的前视实时图作匹配操作, 捕获地标位置, 然后再依据特征库中地标与目标在大地坐标下的空间约束关系, 间接定位到包含目标的局部感兴趣区。当局部感兴趣区的对比度显著时, 启动最后阶段的基于形态学处理框架的直接识别操作。在真实红外图像序列上的识别试验验证了本文算法的有效性。

参考文献

- [1] Lin C, Huertas A, Nevatia R. Detection of Buildings Using Perceptual Grouping and Shadows [C]. Seattle: IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1994.
- [2] 张煜, 张祖勋, 张剑清. 几何约束与影像分割相结合的快速半自动房屋提取[J]. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25(3): 238-242.
- [3] 张前进, 郭雷在. 基于特征学习的建筑物自动识别算法研究[J]. 火箭与制导学报, 2007, 27(3): 199-202.
- [4] 陶文兵, 柳健, 田金文. 一种新型的航空图像城区建筑物自动提取方法[J]. 计算机学报, 2003, 26(7): 867-973.
- [5] 金泰松, 叶聪颖, 李翠华, 等. 一种复杂场景下建筑目标识别方法[J]. 计算机工程, 2007, 33(6): 198-200.
- [6] Zhao C R, Liu C C, Lai Z H. Multi-scale Gist Feature Manifold for Building Recognition [J]. Neurocomputing, 2011, 74(17): 2929-2940.
- [7] Ren K Y, Sun H X, Jia Q X, et al. Building Recognition from Aerial Images Combining Segmentation and Shadow [C]. Shanghai: IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems, 2009.
- [8] Trinh H H, Kim D N, Jo K H. Supervised Training Database by Using SVD-based Method for Building Recognition [C]. Singapore: International Conference on Control, Automation and Systems, 2008.
- [9] Shi X P, Chen R X. Building Recognition from High Resolution Image [C]. Wuhan: International Conference on Information Engineering and Computer Science, 2009.
- [10] Guenther Riedi, Michael Assel, Alfred Fendt, et al. IR Focal Plane Array Seekers for Ground-to-Ground and Air-to-Ground Missiles [C]. SPIE, 2001, 4369: 201-209.
- [11] 明宝印, 尹健, 高士英. KEPD-350空地导弹先进技术剖析[J]. 飞航导弹, 2006, 20(7): 4-6.