

文章编号: 1001-2486(2000)06-0070-05

基于直线特征的图像 - 模型匹配算法*

席学强, 王润生

(国防科技大学 ATR 重点实验室, 湖南 长沙 410073)

摘要: 提出了一种新的基于直线特征的图像与模型匹配方法。该方法选择那些可以描述目标边界的直线建立模型。识别时, 分层次地综合使用直线的多种特性, 从而提高了效率, 减少了误匹配的可能性。文中给出了用仿真图像和真实图像所做的实验结果。该算法可以用于目标识别、变化检测和视觉导航等多个领域。

关键词: 直线特征; 直线提取; 匹配

中图分类号: TN391.4 **文献标识码:** A

An Algorithm of Image-model Matching Based on Straight Line Features

XI Xue-qiang, WANG Run-sheng

(ATR State Key Lab., National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: The paper presents a new approach to matching an image to a model based on straight line features. In this approach, model is constructed by selecting lines that can describe the boundary of the object. Because the algorithm utilizes multi-properties of the line hierarchically, it works efficiently and reduces the possibility of mismatch. Some experiments on both real and emulated images are described. It is practical in its applications, such as object recognition, change detection, and vision navigation etc.

Key words: straight lines; line feature extraction; matching

图像与图像或图像与模型的匹配, 即所谓求解图像对应性的问题, 是计算机视觉研究中一项重要而困难的技术。本文以遥感图像中特定目标的检测识别为背景, 主要研究了图像与模型的匹配方法, 可以用于目标识别、变化检测、视觉导航和图像监控系统等领域。

根据信息描述层次的不同, 图像匹配方法一般可以分为像素级匹配和符号级匹配两类。前者数据量大, 对像元性质(亮度或颜色)的变化较敏感, 一般只能用在目标只有平移运动且光照条件比较理想的情况下。多数图像理解系统采用符号级匹配的方法: 首先在图像中提取出反映图像中目标特性的符号或基元(称为符号化过程), 然后确定两幅图像之中或图像与模型之中的符号的对应关系。符号匹配时的主要困难不外乎两方面: 其一, 要形成两个符号集的对应, 计算量非常大。假设两个集合中各有 N 个符号, 如果使用盲目搜索的方法, 就必须查询 $N!$ 种可能情况。其二, 由于成像条件影响以及符号、特征提取时不可避免的误差, 实际情况中一般不存在两个符号集的一一对应, 只能在若干个可能解当中选出一个最优解。

为克服这两个困难, 本文先从选择符号上考虑。通常匹配采用的符号有特征点(如拐角点)、线条(包括直线或者曲线)和区域等。本文采用的是对边缘点进行编组连接之后得到的直线。与点记号相比, 直线受噪声的影响要小得多, 而且更具全局特性, 还可以在直线匹配的基础上得到关键点的匹配关系。与区域符号比较, 直线具有定位更准确和数据量小等优点。在对目标的轮廓形状特征(而非区域特性)比较关心的应用问题中, 使用直线作为匹配符号是合适的。

其次, 本文提出的算法分层次地使用直线符号, 并利用了与直线有关的多种特性, 包括直线的物理特性和直线之间的几何结构关系等, 从而在搜索效率和决策准确度上都得到提高。在另外一些应用问题中, 还可以利用一些与成像有关的物理和几何限制来加速处理过程。例如, 利用双目图像分析三

* 收稿日期: 2000-04-05

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目(863-308)和卫星应用技术重点资助项目(9612、9917)

作者简介: 席学强(1971-), 男, 博士。

维景物时，可以在相机系统参数确定的情况下，利用外极几何的外极线限制或水平扫描线限制等条件。这些条件不在本文的考虑范围内。

就直线特征匹配来说，基本上有松弛迭代^[3]和相似函数极值^[4]两种途径。下面就介绍我们提出的新的算法，并给出实验结果。

1 本文提出的直线特征匹配方法

该算法主要包括以下步骤：

1.1 直线特征提取

我们采用 Burns 等提出的相位编组方法^[1]提取直线，也可以使用其它方法^[2]。相位编组方法算法是首先计算图像中像素的梯度，并把梯度方向近似量化成整数个范围，连接邻近的具有相同方向标记的像素形成线支持区，由线支持区拟合直线。与文 [1] 不同的是：

(1) 直线拟合方法：在文 [1] 中，用平均灰度平面与灰度加权拟合平面的交线来求直线的数学表示形式。本文用线支持区的主轴表示直线^{[5][6]}，可以在减小计算量的条件下得到满意的效果。

(2) 直线的特性计算：为了同模型中直线的特性有一致的定义，我们选定直线周围的固定矩形区域（而不是文 [1] 中的线支持区）为直线特性支持区域，在其中计算直线的以下特性：

- 强度：直线特性支持区内像素的平均灰度。
- 陡峭度：直线特性支持区内像素的平均梯度幅值。
- 对比度：假设支持区中占像素总数 10% 的最亮的像素集合为 L ，而占像素总数 10% 的最暗的像素集合为 D ，则对比度为两个集合的平均灰度之差与最大动态范围的比值。

设输入图像中提取的直线可记为集合 $T = \{t_i \mid 1 \leq i \leq N_t\}$ ，在 T 中选择 n_2 条最长的不平行的直线（一般取 $n_2 = N_t/2$ ）构成 T 的一个子集 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{n_2}\}$ 。

1.2 根据参考图像建立匹配模型

在参考图像中手工选择那些反映所关心目标的边界或轮廓的直线，这些直线组成的集合记为 $M = \{m_j \mid 1 \leq j \leq N_m\}$ ，根据反映目标形状的作用大小，直线可分为干线和非干线两类，干线一般选择为 M 中最长的 n_1 条方向不同的直线（ $n_1 = 3 \sim 5$ ）构成 M 的一个子集 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_{n_1}\}$ ，根据直线的端点，在原参考图像中计算直线的长度、方向、位置以及强度、对比度等灰度特性。集合 M （或 S ）中的直线与 T （或者 P ）中的直线对应关系记为 $x \rightarrow y$ 。

集合 M 和 T 均以数组形式表示，数组元素按直线顶点从左至右，从上至下的顺序排列，除记录直线端点坐标、中点坐标及方向外，还要记录直线的强度、陡峭度、对比度等特性值，以及直线类别：子集 S ， P 中的直线（干线）为 1，其它为 0。

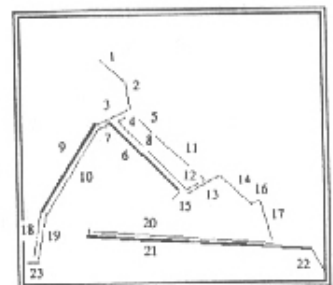
如图 1 中所示，(b) 是对航空照片图 (a) 进行直线提取的结果，图 (c) 是由参考图像建立的模型。



(a) 实验图像 1



(b) 自动提取的直线



(c) 模型中的直线集合

1.3 干线匹配

STEP1 夹角关系比较

(1) 假设 S 中直线 s_i 与 s_j 的方向分别为 u_i 和 u_j $0 \leq u_i \leq \pi$,记它们的夹角为 α_{ij} ,

$$\alpha_{i,j} = \begin{cases} |u_i - u_j|, & |u_i - u_j| \leq \frac{\pi}{2} \\ \pi - |u_i - u_j|, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1 \leq i < j \leq n_1)$$

又设 P 中直线 p_h 与 p_k 的方向分别为 v_h 和 v_k $0 \leq v_h \leq \pi$,其夹角为 β_{hk} ,

$$\beta_{h,k} = \begin{cases} |v_h - v_k|, & |v_h - v_k| \leq \frac{\pi}{2} \\ \pi - |v_h - v_k|, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1 \leq h, k \leq n_2, \text{且 } h \neq k)$$

对任意直线对 (i, j) ,寻找所有直线对 (h, k) ,使得 $|\alpha_{ij} - \beta_{hk}| < 15^\circ$.假设有 N_{st1} 种对应情况。

(2) 如图 2 所示,对 N_{st1} 中的每一种直线对的对应情况,若 $s_i \rightarrow p_h, s_j \rightarrow p_k$,则 s_i 和 s_m 之间的夹角 α_{im} 与 p_h 和 p_n 之间的夹角 β_{hn} 需满足条件 $|\alpha_{im} - \beta_{hn}| < 15^\circ$,否则要排除这种可能。同理可判断 s_i 与 p_k 、 s_j 与 p_h 是否可能形成对应。之后,还有 N_{st2} 种可能。例如对图 3 中所画简单情况,可得到对应有 $s_1 \rightarrow p_1, s_2 \rightarrow p_2, s_3 \rightarrow p_3$ 和 $s_1 \rightarrow p_1, s_2 \rightarrow p_2, s_3 \rightarrow p_4$ 两种可能,即 $N_{st2} = 2$ 。对 N_{st2} 中的所有情况,做如下循环:

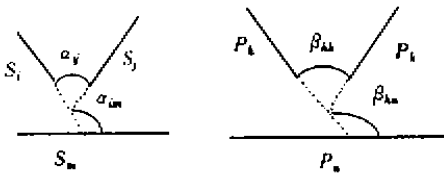


图 2 夹角关系示意图
Fig.2 Angle relation

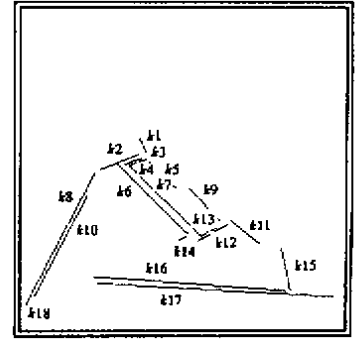


图 1 利用参考图像建立模型
Fig.1 Constructing model with reference image

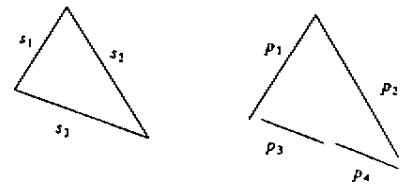


图 3 具有相同夹角的直线对应示例
Fig.3 Example of straight lines with same angle

STEP2 长度、相对位置比较

设 $s_i \rightarrow p_h$, p_h 与 s_i 相比可能长一些,也可能短一些,可以认为在两端出现误差的可能性是相等的。在 p_h 处建立一个矩形预测区,该矩形的重心与 p_h 的中点重合,长度与 s_i 的长度相等,宽度是 s_i 的宽度的 1.5 倍。如图 5,预测区矩形顶点 R_1, R_2, R_3, R_4 可以由几何关系得到。在 T 中查找端点落在此预测区中的直线。如果除了 AB 以外还有其它直线,比较它们的方向,与 AB 方向不同的排除掉,与 AB 方向相同的进入 STEP3。

STEP3 灰度特性比较

STEP3.1 根据以下条件合并直线:

(1) 直线连接后的长度与模型中直线长度的差别绝对值不超过模型中直线长度的 20% ;

(2) 灰度特性相似性:灰度特性包括直线的强度、陡峭度和对比度等三个参数。各参数的相似性定义为:

$$\text{Similarity}_i = \frac{\min(\text{para}_{1i}, \text{para}_{2i})}{\max(\text{para}_{1i}, \text{para}_{2i})} \quad (1)$$

其中 para_{1i} 和 para_{2i} 分别是两条待合并直线的参数。 $0 \leq \text{Similarity}_i \leq 1$,用于确定两条直线是否可以合

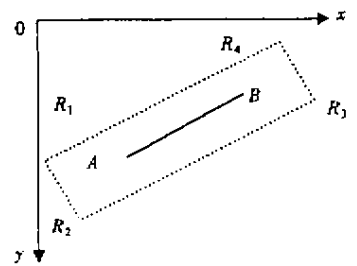


图 4 矩形预测区示例
Fig.4 Example of rectangle prediction area

并。

STEP3.2 直线合并后，重新计算直线的性质，修改直线集合 T 为集合 T' ，同样使用上面两个条件，只是现在 $para_{1i}$ 和 $para_{2i}$ 代表的是分别属于模型和输入图像的直线的参数，由预先设定的门限确定两条直线是否相似或匹配。

STEP4 判断循环是否终止。

对修改后的线集，比较直线之间的长度与相对距离，长度相似性定义同式 (1)，相对距离相似性的定义为：

$$S_{Distance} = 1 - \frac{Distance(\text{MidPoin}(line_A), \text{MidPoin}(line_B))}{MaxDistance} \quad (2)$$

其中 $\text{MidPoin}(line_i)$ 代表直线 $line_i$ 的中点， $Distance(\text{Point}_a, \text{Point}_b)$ 是点 Point_a 与 Point_b 之间的距离， $MaxDistance$ 是预先设定的门限，限制两条相似直线的最大距离。如果大于给定门限，则认为形成正确的对应关系，跳出循环。

1.4 完全匹配

这一过程相对简单：在干线匹配的基础之上，再通过比较直线的长度、相对位置以及灰度特性确定其它直线的匹配关系。

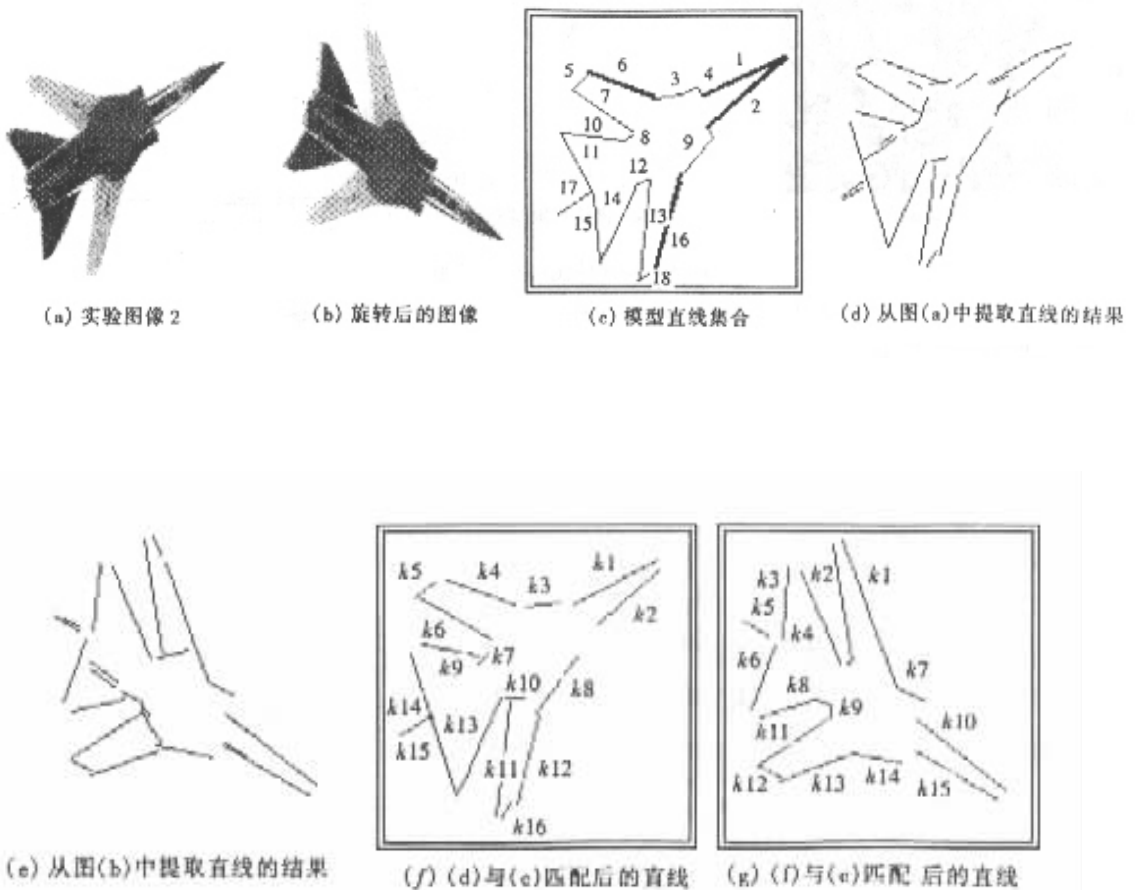


图 5 用仿真图像所做实验

Fig.5 A matching experiment using synthetic images

2 实验

(1) 对图 1 (a) 所示海港航空照片，匹配结果见图 1 (d)。按照图 1 (c) 和 (d) 的编号，直线对应关系为： $k_1 \rightarrow 2, k_2 \rightarrow 3, k_3 \rightarrow 4, k_4 \rightarrow 4, k_5 \rightarrow 5, k_6 \rightarrow 6, k_7 \rightarrow 8, k_8 \rightarrow 9, k_9 \rightarrow 11, k_{10} \rightarrow 10, k_{11} \rightarrow 14,$

$k_{12} \rightarrow 13, k_{13} \rightarrow 12, k_{14} \rightarrow 15, k_{15} \rightarrow 17, k_{16} \rightarrow 20, k_{17} \rightarrow 21, k_{18} \rightarrow 23$ 。模型中的直线 1, 7, 18, 19, 22 没有找到对应的直线。

(2) 如图 5 所示, (a) 为实验仿真图像, (b) 是旋转后的效果。图 (c) 是人工选择的直线集合, 干线用较粗的线段表示。 (d) 和 (e) 分别是在 (a) 和 (b) 中自动提取出的直线。而 (f) 和 (g) 分别是与模型匹配后的直线集合。图 5 (f) 与模型中直线的对应关系为: $k_1 \rightarrow 1, k_2 \rightarrow 2, k_3 \rightarrow 3, k_4 \rightarrow 6, k_5 \rightarrow 5, k_6 \rightarrow 7, k_7 \rightarrow 8, k_8 \rightarrow 9, k_9 \rightarrow 10, k_{10} \rightarrow 12, k_{11} \rightarrow 13, k_{12} \rightarrow 16, k_{13} \rightarrow 14, k_{14} \rightarrow 11, k_{15} \rightarrow 17, k_{16} \rightarrow 18$ 。模型中直线 4, 15 没有找到匹配直线。图 5 (g) 与模型中直线的对应关系为: $k_1 \rightarrow 16, k_2 \rightarrow 13, k_3 \rightarrow 15, k_4 \rightarrow 14, k_5 \rightarrow 17, k_6 \rightarrow 11, k_7 \rightarrow 1, k_8 \rightarrow 10, k_9 \rightarrow 8, k_{10} \rightarrow 2, k_{11} \rightarrow 7, k_{12} \rightarrow 5, k_{13} \rightarrow 6, k_{14} \rightarrow 3$ 。模型中直线 4, 9,



图 6 用遥感图像所做实验

Fig. 6 A matching experiment using a remote sensing image

12, 18 没有找到匹配直线。

(3) 图 6 (b) 是某城市航测遥感图像的局部, (a) 是对其中一建筑物目标建立的模型。对图 (c) 所示直线集合进行匹配, 可以在原图中找到所关心的目标, 如图 (d) 所示。可以看出, 三种情况下图像中的主要直线得到了正确的匹配。

3 结论

本文研究了一个新的基于直线特征的图像-模型匹配算法。该方法分层次地使用直线, 有区别地利用直线符号的多种特性, 降低了误匹配的可能性, 缩小了搜索范围, 提高了匹配效率, 并且可以在图像发生比例缩放、平移和旋转变化的情况下实现正确匹配。

参考文献:

- [1] Burns J B, Hanson A R, and Riseman E M. Extracting straight lines [J], IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8 (4): 425 ~ 445.
- [2] Nevatia R, and Babu K. Linear feature extraction and description [J]. Computer Graphics Image Processing, 1980, 13: 257 ~ 269.
- [3] Medioni G, and Nevatia R. Matching images using linear features [J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Nov., 1984, 6 (8): 675 ~ 695.
- [4] McIntosh H, and Mutch K M. Matching straight lines [J]. Computer Visions, Graphics, and Image Processing, 1988, 43: 386 ~ 408.
- [5] Ballard D H, and Brown C M. Computer vision, Prentice-Hall. Inc. Englewood Cliffs, 1982.
- [6] Kahn P, Kitchen L, and Riseman E M. A fast line finder for vision-guided robot navigation [J], IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, 12 (11): 1098 ~ 1102.

