

一种基于网格结构图象的目标匹配定位方法

韦燕凤¹⁾ 谢启伟²⁾ 彭思龙¹⁾

¹⁾(中国科学院自动化研究所集成电路工程中心, 北京 100080)

²⁾(湖北大学数学与计算机学院, 武汉 430062)

摘要 为了在不降低图象目标配准精度的前提下, 加快匹配速度, 提出了一种基于网格结构图象的从粗到细的目标匹配混合算法。该算法首先基于网格结构图象来抽取图象和模板的主要结构信息, 以构成图象和模板在粗尺度上的一种表示, 进而在这种粗尺度表示的图象上进行相似度粗匹配; 然后基于引导的搜索策略, 将粗匹配的目标位置对应到原图象的一些小区域, 再采用部分 Hausdorff 距离匹配方法在这些小区域进行二次匹配和精确定位, 经上述两个步骤的混合使用, 不仅极大减少了计算开销, 且没有降低匹配的准确度, 将该混合算法与无粗匹配的部分 Hausdorff 距离全图匹配算法相比较, 速度提高非常显著, 该算法在集成电路显微图象上进行测试, 取得了很好的效果。

关键词 目标匹配 结构信息 Hausdorff 距离 引导搜索

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2002)07-0658-05

An Object Matching and Location Method Based on Grid Structure's Image

WEI Yan-feng¹⁾, XIE Qi-wei²⁾, PENG Si-long¹⁾

¹⁾(National ASIC Design Engineering Center, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

²⁾(Department of Mathematics, Hubei University, Wuhan 430062)

Abstract In order to speed up object matching and location without degrading its matching accuracy in an image, this paper present a hybrid algorithm for coarse-to-fine object matching and locating method based on grid structure's image. First, the structure information of the image and template is extracted based on grid structure. The extracted information forms a coarse scale representation of the original image or the original template. On the coarse scale image some kind of similarity measure is used for matching. Then, the coarse matching position is guided to a small area of the original image by a guided searching strategy. The partial Hausdorff distance is applied to search the small area and determine the precise location in these small areas. The combination of above two steps of coarse matching and fine locating can reduces the computational cost without degrading the matching and locating accuracy. The proposed hybrid algorithm is compared to the partial Hausdorff distance matching without extracting the information of the image. The improvement of matching speed is remarkable. And the proposed algorithm is tested in integrate circuit images. It shows that the proposed matching and locating algorithm is very efficient.

Keywords Object matching, Structure information, Hausdorff distance, Guided searching

0 引言

目标匹配是一项度量两目标之间的相似程度, 以确定它们是否为同一个(类)目标的工作, 它是模式识别、图象分析、计算机视觉等许多领域的重要组

成部分。一般情况下, 目标匹配的标准提法为: 给定一个或多个模板目标, 然后在给定的大搜索区域内, 寻找和模板相同或相近的区域。关于目标匹配, 很多文献^[1~3]针对匹配任务或所处理对象的特点提出了各种算法, 这些算法的一个共同特点, 就是在保证较高匹配准确度下来减少匹配计算的时间开销。为了

减小时间开销,如今均是按照人类视觉检测习惯来实现从宏观到微观的检测过程,即多尺度搜索策略已被大量采用.它对搜索海量图象数据,如军事目标识别、集成电路版图的单元定位,具有重要意义.

集成电路反向分析中的单元定位是一个匹配定位问题,通过计算机自动匹配定位虽可以减少人工操作(大范围的搜索),但对于芯片这样的海量图象则要求采用快速有效的搜索策略,以完成单元定位问题.本文针对集成电路图象的网格结构特点,提出了一种基于网格结构图象的从粗到细的混合匹配算法,该算法首先对原图象和目标模板进行滤波,以抽取其主要结构信息,同时保留其对应的位置信息,其所抽取的结构信息,实际上就是原图象在较粗尺度上的一种表示;然后在结构信息图象上,使用相似度匹配方法来搜索出结构信息图象上的可疑目标点,并根据抽取结构信息时,所保留的位置索引,将可疑目标点对应到原图象上的某个区域;最后使用基于边缘的部分 Hausdorff 距离进行二次匹配来精确

定位.

1 基于主要结构信息的粗匹配

1.1 目标模板来源

匹配问题就是要从大范围图象中找出某个模板在图象中的分布位置,该模板可以由工程师事先从大范围图象中的某个位置截取下来,作为匹配和定位过程中的目标模板.

1.2 提取主要结构信息

为减少搜索范围,本文根据图象所具有的网格结构,提出了一种特殊的粗尺度表示方法,这种方法既抽取了网格图象的主要结构信息,又使其拓扑结构仍保持完整.这里所说的网格结构是指构成目标的各部分都分布在一些网格上.如图 1 所示的集成电路显微图象,其中,图 1(c)是从图 1(a)中提取的主要结构信息图象,从视觉效果上来看,这种抽取能很好地保持宏观拓扑结构的完整性.

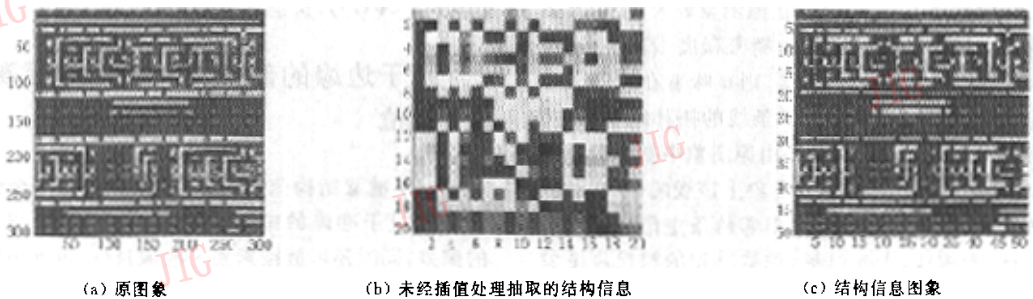


图 1 结构信息提取示意图

由于结构信息提取的关键是确定结构信息的位置,因此提取结构信息时,首先将大小为 $m \times n$ 的原图象二值化,并用 $B_w(x, y)$ 表示,然后根据其网格结构呈水平和竖直分布来确定 x 方向的结构信息位置,并以长度为结构线宽的竖直线 S 作为结构元素来对 $B_w(x, y)$ 作形态学开运算滤波,即

$$B_v(x, y) = B_w \circ S = (B_w \ominus S) \oplus S \quad (1)$$

式中, \circ 表示开运算符号, \ominus 表示形态学腐蚀运算符号, \oplus 表示形态学膨胀运算符号,形态学开运算是通过先腐蚀,后膨胀来定义的^[4-6].这样可以将水平线全部滤掉,只将 $B_v(x, y)$ 往竖直方向投影,而得到信号 $P_v(x)$,即

$$P_v(x) = \sum_{y=1}^m B_v(x, y) \quad (2)$$

$$P_0(x) = (P_v(x) > 0) \quad (3)$$

对投影信号进行如式(3)所示的滤波,其输出 $P_0(x)$ 是一系列体现结构信息的矩形脉冲,这些矩形脉冲的中心就是结构信息的位置,然而,光抽取这些位置的信息是不够的,由于要表示完整的拓扑结构,还应该包括非结构信息的位置,并且在进行膨胀和腐蚀运算时,也有可能造成某些信息线的丢失,因此,确定结构信息的位置后,还需要插入丢失的那些信息线的位置以及非结构信息的位置,即需进行插值处理.为区别于结构信息,非结构信息的位置应定位在两个信息位置的中点,假设矩形脉冲中心的最短距离为 l ,那么应在相邻两个脉冲之间,以 $l/2$ 为基准进行等距插值,这样才能保证每个信息位置都被非信息位置隔开,以体现其拓扑结构.这样经过插值处理就得到 x 方向完整的结构信息的位置索引,并用 $H = (a_1, a_2, \dots, a_r)$ 表示,这一组向量就是抽取

结构信息时, x 方向的位置索引; 同理, 可通过形态学滤波来将竖直线全部滤掉, 经过类似水平方向的处理, 即得到 y 方向结构信息的位置索引, 用 $V = (b_1, b_2, \dots, b_s)$ 表示. 有了两个方向的位置索引, 就可以抽取原图象的结构信息图象, 如图 1(c) 所示. 图 1(b) 是没有经插值处理提取的结构信息图象, 两图拓扑结构已有较大差异, 说明插值处理对于抽取出拓扑结构完整的粗尺度图象是必不可少的. 显然, 这样的粗尺度表示是拓扑结构得以体现的最

节约表示, 任何能体现原来拓扑结构的多尺度表示不可能表示得比它更小(见图 2), 图 2(a) 所示的原图象左右两部分结构不一样, 图 2(b) 所示为抽取的结构信息图象, 它仍能体现两部分结构的差异(拓扑结构完整), 但是当把尺度再降低一级, 即下采样一次(只提取主信息线)时, 其拓扑结构已经不存在, 左右两部分结构变成几乎一样, 如果对这样下采样后的结构信息图象再进行识别, 则会搜索出很多假目标.

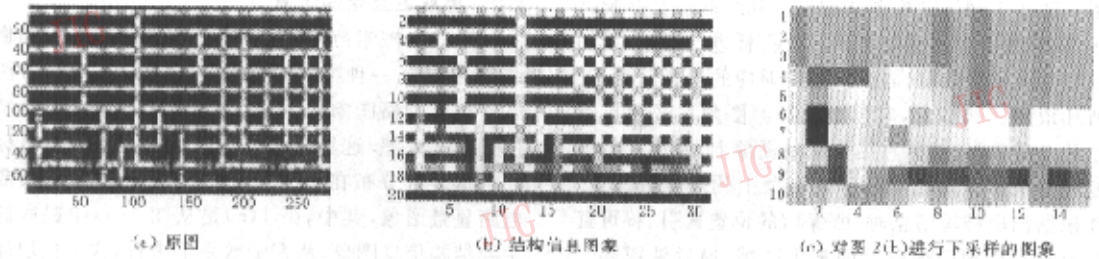


图 2

结构信息提取出来后, 比原图象大大缩小, 其缩小的比例取决于网格结构的稠密程度. 若网格结构的水平线中心距为 n 个像素, 则意味着在原图象上要用 n 个像素宽度来表示一条线的拓扑结构, 而主要信息图象则表示这条线是由原图象中抽取的一条单像素宽度的主信息线(原图象上该线的中心)和一条单像素宽度的非信息线(相邻两条主信息线位置的中点)所构成, 由此可见, 抽取得到的粗尺度图象高度为原来的 $2/n$. 同理, 若网格结构的竖直线中心距为 m 个像素, 则抽取得到的粗尺度图象宽度为原来的 $2/m$, 相应地图象大小变为原来的 $4/(m \times n)$, 一般集成电路显微图象的线中心距在 $10 \sim 20$ pixel 左右, 因此基于该类图象提取方法的主要结构信息图象能较大减少数据量.

1.3 粗匹配方法

在进行粗匹配时, 首先分别抽取目标模板和待搜索图象的二值化图象的结构信息或原图象的结构信息, 以确定某个相似性度量(欧氏距离、夹角余弦、相关系数等), 再在结构信息图象上进行遍历搜索, 以确定目标在结构信息图象上的位置. 本文使用夹角余弦相关性方法来进行粗匹配, 即首先找到结构信息图象上的目标位置, 再根据抽取结构信息时, 确定的位置向量 $H = (a_1, a_2, \dots, a_r)$ 和 $V = (b_1, b_2, \dots, b_s)$ 来确定精定位的坐标, 若结构信息图象上搜索到的目标位置为 (j, i) , 则它对应于原图象上的位置即

为 $(H(j), V(i))$, 这是精定位时的参考坐标.

2 基于边缘的部分 Hausdorff 距离精定位

由于抽取结构信息时, 并不总能确保每个结构点均对应于准确的中心位置, 有时会有 $2 \sim 3$ pixel 的偏差, 同时还可能搜索到一些假目标, 因此还应该原图象上各个目标的某个较小的邻域内进行二次匹配, 以找到最佳匹配位置和排除假目标. 精定位搜索的范围很小, 但要求准确, 可以考虑使用精度和效率较高的算法. 本文采用基于边缘的部分 Hausdorff 距离来进行精定位, 它不仅对图象的变化不敏感, 而且对图象的部分遮挡、局部微小差异、出现的杂粒等均具有较好的鲁棒性.

2.1 部分 Hausdorff 距离

Hausdorff 距离是测量两个点集失配程度的非线性算子, 在目标识别中, 它可用于比较两个互相重叠的特征点图象. 关于 Hausdorff 距离的定义可参阅文献[7], 根据文献[1], Hausdorff 距离可自然推广到部分 Hausdorff 距离, 在这里, 可直接将其定义到图象匹配上, 设 M 表示目标模板特征点集, I 表示当前模板位置下的那部分图象特征点集, 则从模板到图象的部分 Hausdorff 距离定义为

$$h_K(M, I) = K \min_{i \in I} \max_{m \in M} \|m - i\| \quad (3)$$

式中, $\|\cdot\|$ 指距离范数, 这里使用欧氏范数, th 表示排序. 式(3)表示求模板集 M 中每个点到图象点集 I 的最小距离, 然后取这些最小距离的第 K^{th} 个升序排列值作为 Hausdorff 距离.

2.2 基于边缘特征的部分 Hausdorff 距离精定位算法

在部分 Hausdorff 距离中, 若给定最好的匹配点数 K 值参数后, 它能自动选择最好的 K 个匹配点, 当模板到图象进行正向匹配时, 它只要求模板的部分特征点 (K 个) 和图象靠近, 反之, 当从图象到模板进行反向匹配时, 只要求图象的部分特征点和模板靠近. 由此可见, 部分 Hausdorff 距离法对于部分遮挡、图象局部微小差异、图象出现的杂乱等情况具有很好的鲁棒性. 部分 Hausdorff 距离的计算可以通过求特征点图象的距离变换来实现^[1,6], 本文使用 3-4 距离变换模板 (参见文献[4],[8],[9]) 来计算距离变换. 正向匹配 (从模板到图象) 时, 若定义部分参数 $0 \leq f_1 \leq 1$, 则 $K = q \times f_1$, q 是模板特征点总数; 同样, 反向匹配时, 若定义部分参数 $0 \leq f_2 \leq 1$, 则 $L = r \times f_2$, r 是模板位置下的局部图象特征点总数. 若 I 表示待搜索区域的边缘图象, D_I 表示 I 的距离变换图象, M 是模板的边缘图象, 当模板在图象中移动到位置 (x, y) 时, 则从模板到图象的部分 Hausdorff 距离用下式计算

$$F_M(x, y) = K_{th}^M D_I[m_x + x, m_y + y] \quad (4)$$

$$0 \leq x \leq k - a, 0 \leq y \leq l - b$$

这里, $0 \leq m_x \leq a - 1, 0 \leq m_y \leq b - 1, M(m_x, m_y) = 1$, a 和 b 表示模板大小, 即为 a 行 b 列, k 和 l 表示待搜索图象大小为 k 行 l 列. 计算从图象到模板的 Hausdorff 距离只考虑模板下的那部分图象, 用 I_1 表示, 若 D_M 表示模板的距离变换图象, 则从图象到模板的部分 Hausdorff 距离如下

$$F_{I_1}(x, y) = L_{th}^{I_1} D_M[i_x - x, i_y - y] \quad (5)$$

$$0 \leq x \leq k - a, 0 \leq y \leq l - b$$

这里, $x \leq i_x \leq x + a - 1, y \leq i_y \leq y + b - 1$, 且 $I(i_x, i_y) = 1$, 当两个方向匹配值都小于某个阈值 τ 时, 则认为该位置就是真正的目标位置. 基于边缘特征的部分 Hausdorff 距离精定位算法描述如下:

设灰度图象为 $I_g(x, y)$ 和模板灰度图象为 $M_g(x, y)$; 设粗定位的结果阵列为 $T(c \times 2)$, 即搜索到 c 个目标; 设两个部分参数为 f_1 和 f_2 ; 设 Hausdorff 距离阈值为 τ . 若模板的边缘图象为 M , 则其对应的距离变换图象为 D_M , M 和 D_M 大小均为 $a \times b$. 具体

算法如下:

```

FOR J=1 TO c DO
     $I_g = I_g(x, y) | T(c, 1) - 2 \leq x \leq T(c, 1) + a + 2,$ 
     $T(c, 2) - 2 \leq y \leq T(c, 2) + b + 2;$ 
    提取  $I_g$  的边缘图象  $I$ ;
    计算  $I$  的距离变换图象  $D_I$ ;
    FOR  $I$  上每一位置  $(x, y)$ , DO
        IF  $F_M(x, y) \leq \tau$ ;
            IF  $F_{I_1}(x, y) \leq \tau$ 
                 $v = \max(F_M(x, y), F_{I_1}(x, y));$ 
                 $(x, y, v)$  存入阵列  $P$ ;
            END IF
        END IF
    END FOR
    IF  $P$  非空
        将  $P$  中最小的  $v$  值对应的  $x$  和  $y$  值存入  $T'$  中;
    END IF
END FOR
    
```

3 实验结果

为了评估本文提出的从粗到细的匹配定位方法的速度及效率, 将 Huttenlocher 提出的基于边缘的部分 Huttenlocher 距离匹配方法^[1]和本文提出的从粗到细的混合匹配方法进行了比较实验, 实验使用的测试图象分别来自两个芯片的局部显微图象数据, 第 1 幅图象大小为 1200×1200 , 目标模板大小为 108×144 , 如图 3(a) 所示; 第 2 幅图象大小为 1000×800 , 目标模板大小为 281×99 , 如图 3(b) 所示. 粗匹配时使用的夹角余弦度量阈值为 $\theta = 0.75$, 部分 Hausdorff 匹配精定位时, 阈值 $\tau = 1.5$ pixels, 部分参数 $f_1 = 0.75, f_2 = 0.75$, 本文的算法用 MATLAB 程序实现, 在 P III 800 计算机上运行测试, 表 1 所示为两种方法的运行时间和计算结果的比较.

表 1 从粗到细混合匹配方法和部分 Hausdorff 距离匹配方法的比较

	运行时间(s)		定位结果坐标	
	图象 1	图象 2	图象 1	图象 2
部分 Hausdorff 距离匹配方法	265	338	(10,367); (139,367); (269,367); (1045,367)	(664,11);(93,11); (336,158);(664,304); (175,596)
从粗到细的混合匹配方法	28	45	(10,367); (139,367); (269,367); (1046,367)	(664,11);(93,11); (336,158);(666,303); (175,596)



(a) 第1幅图象及模板

(b) 第2幅图象及模板

图3 测试图象及目标模板

4 结论

通常普适性较好的算法往往其速度和效率比较难以提高,而快速高效的算法往往针对某类具体图象,并基于该类图象的特点去做.本文也针对某类具体图象(如集成电路图象)提出一种既不影响整体匹配精度,又极大提高匹配速度的算法,该算法抽取的结构信息实际上是图象在粗尺度上的一种表示,由于在这样的粗尺度表示下进行匹配,极大减少了运算的数据,因此匹配速度得到较大程度的提高,另外,由于粗尺度上得到的目标点,仍然在原图象上,是使用部分 Hausdorff 距离进行精定位,所以不会影响整体匹配的精度和效率.实践证明,本文提出的算法,对那些具有网格结构的图象(如集成电路图象、文本图象等)匹配非常有效.

参考文献

- 1 Huttenlocher D P, Klanderman G A, Rucklidge W J. Comparing images using the hausdorff distance[J]. IEEE Trans. PAMI, 1993, 15(9): 850~863.
- 2 Jane You, Prabir Bhattacharya. A wavelet-based coarse-to-fine image matching scheme in a parallel virtual machine environment [J]. IEEE Trans. Image Processing, 2000, 9(9): 1547~1559.
- 3 Gu Yu-hua, Tardi Tjahjadi. Coarse-to-fine planar object identification using invariant curve features and B spline modeling[J]. Pattern Recognition, 2000, 33(9): 1411~1422.
- 4 Castleman K. Digital image processing[M]. 北京:清华大学出版社(影印版), 1998.
- 5 龚炜, 石青云, 程民德. 数字空间中的数学形态学——理论及应用[M]. 北京:科学出版社, 1997.

- 6 崔屹. 图象处理与分析——数学形态学方法及应用[M]. 北京:科学出版社, 2000.
- 7 Olson C F, Huttenlocher D P. Automatic target recognition by matching oriented edge pixels [J]. IEEE Trans. Image Processing, 1997, 6(1): 103~113.
- 8 Borgefor G. Distance transformation in digital image [J]. Comput. Vision. Graphics and Image Proc., 1986, 34: 344~371.
- 9 Borgefor G. Distance transformation in arbitrary dimensions[J]. Comput. Vision. Graphics and Image Proc., 1984, 27: 321~345.

韦燕凤 1972年生,广西大学电气工程学院讲师,现为中国科学院自动化研究所国家专用集成电路设计工程技术研究中心博士研究生,主要研究方向为图象处理、目标识别等.



谢启伟 1977年生,1999年毕业于湖北大学数学与计算机学院,现在湖北大学数学系攻读硕士研究生,主要研究方向为小波分析及其应用、图象处理等.



彭思龙 1971年生,1998年获中国科学院数学所博士学位,现为中国科学院自动化所国家专用集成电路设计工程技术研究中心研究员、博士生导师,主要研究方向为小波理论及应用、模式识别、图象处理等.发表论文20余篇.

