

一种基于模板匹配的电路照片拼接方法

李 跃 彭宇行 陈福接

(国防科技大学计算机系,长沙 410073)

摘 要 鉴于实际工作中,经常需要将多幅图象拼成一幅大图象的问题,提出了一种针对显微照片的新拼接方法. 该方法是应用模板匹配技术来实现图象的自动拼接,由于是通过利用图象信息来选择模板,从而为模板匹配的定位创造了条件. 该方法分为模板选择、模板匹配和图象拼接3步. 实际运用结果表明,该方法简单易行,在电路照片的拼接中,定位较准确,且拼接效果好.

关键词 图象拼接 模板匹配 图象分割

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: B 文章编号: 1006-8961(2001)02-0301-06

A Template Matching-Based Method for Image Merge of Micrograph

LI Yue, PENG Yu-xing, CHEN Fu-jie

(National University of Defense Technology, Changsha 410073)

Abstract In this paper a method of image merge on micrograph is given, which introduces the template matching technique into image merge. Other problems occurred in the new application is also discussed, such as relative position nice adjustment of image. Template matching is more simple and effective than other methods of image merge for that image which has no or small transform. Filter matching is one method of template matching. Since we don't know the noise function of the filter matching model in most cases, we hardly to use it directly. We do some pre-process to make it work. Our method of image merge consists of three steps: template selection, template matching, and image align. To reduce the influence of noise we select the template on the basis of image segmentation. After template matching, both images are in alignment by rotating one image with an appropriate angle obtained from a multi-resolution searching. The experimental result shows that our method is effective, simple and easy to use for micrograph merging.

Keywords Image merge, Template matching, Image segmentation

0 引 言

无论是卫星图象或航空像片,还是用于生成虚拟场景的照片,甚至微电路照片,在分析应用时,经常要做照片的拼接工作.

以往的拼接,多是手工完成,而人们所看到的关于自动拼接的文章,方法均比较简单,有的只适于二值图象,有的是基于图象结构的拼接,且鲁棒性差. 关于一般图象的自动拼接,尚没见到很好方法的报道. 一般而言,拼接工作的要点和难点在于精确地确

定相邻两幅照片的重合区域,也就是图象配准问题. 如今在解决图象配准的方法中,对那些不存在变换或者形变微小的图象,模板匹配技术比其他方法简单、实用,且容易自动化,而且模板匹配方法很多,其中一类最普通的方法是基于相关的匹配方法,这种相关匹配方法的优点是简单,容易实现,而缺点是匹配景物时,由于有高的相关系数值,故存在定位不准、甚至错误定位的现象^[1];另一类图象匹配方法是基于矩或矩不变特性的方法,由于矩对于噪声相当敏感,且绝大部分匹配算法被用于二值图象,同时为了减小计算量,而只使用低阶矩,且基于矩不变的匹

配识别力较弱^[2,3];第3类图象匹配方法是基于频域的,这类滤波器的优点是有较高的识别能力,且抗噪声能力强^[4],其中 SPOMF 方法^[4]能处理有旋转和尺度变换的图象匹配,但是我们的实验和文献[5]都表明,SPOMF 方法仅在某些情况下,比其它方法精确,而对于显微电路照片,由于信噪比低,这一方法则易出现定位错误。综上所述,现有模板匹配技术都有一定应用局限性,其共同的问题是存在定位不准确、甚至定位错误的现象。由于微电路照片具有纹理简单、照片中的景物仅由几种材料构成、景物轮廓线基本为水平和垂直两个方向、照片比较模糊,以及照片中的噪声基本上是随机分布的,且亮度变化慢,同时相邻两幅照片的重叠部分所映象的景物只有微小的形变等特点,因此在拼接芯片微电路照片时,若直接应用上述方法来确定两幅图象的重合区域,则均有错误定位现象。针对上述特点,本文首先根据所选用的模板匹配技术的特点来预先选择模板,再运用模板匹配技术进行匹配。实验表明,这一方法容易实现,尚能直接对电路照片进行自动拼接,且定位较准确,拼接效果好。

1 模板选择与模板匹配

图象拼接的关键是要准确地确定两幅或多幅图象的重合区域,而模板匹配的目的则是确定一幅有噪声的图象 $s(x, y)$ 中一个已知图象 $r(x', y')$ 的存在,

$$s(x, y) = r(x', y') + n(x, y) \quad (1)$$

或者确定一幅图象 r 到另一幅图象 s 的几何变换参数 $p_1, \dots, p_l$ 。

$$s(x, y) = r(x'(x, y, p_1, \dots, p_l),$$

$$y'(x, y, p_1, \dots, p_l)) + n(x, y) \quad (2)$$

这里,函数 $x'(x, y, p_1, \dots, p_l)$ 和 $y'(x, y, p_1, \dots, p_l)$ 定义了一个依赖于 l 个参数 $p_1, \dots, p_l$ 的几何变换。在式(1)和式(2)中, $n(x, y)$ 表示一个平均值为零的固定随机噪声域,该噪声域独立于图象信号 $r(x, y)$,而图象 r 则称之为模板^[4]。

由于不同图象中的景物相对位置不变,因此,可以由局部对应关系确定全局对应关系。如果在一幅图象可能重合的区域中,选取一个区域作为模板,然后对另一幅图象做模板匹配,就可以找出一种局部对应关系,这样即可以通过模板匹配技术来完成两幅图象重合区域的确定^[9]。

对电路照片做模板匹配时,笔者发现运用滤波方法匹配,其匹配的准确性与模板的位置选择关系密切,而搜寻区域、模板大小则对匹配的准确性影响不大,而且如果能选择到恰当的模板位置,就能得到准确的匹配结果(不考虑旋转、扭曲等几何变换)。这里模板选择,是指从两幅待拼接的图象中任选一幅,然后在其可能重合的区域内,选择一子图象作为模板。

下面先简介一下匹配滤波方法原理:

模型:假设待匹配的图象可以表示为基准图象 $f(x, y)$ 与噪声 $v(x, y)$ 线性迭加的结果(不考虑旋转、尺度变化及扭曲的影响),则匹配滤波方法的模型为

$$g(x, y) = f(x, y) + v(x, y) \quad (3)$$

匹配滤波的方法是在匹配滤波情况下,先计算输出响应函数与作为匹配滤波器模板的卷积,然后,求输出信噪比最大时的最佳“模板”函数(这里当然应该先验已知函数 $f(x, y)$ 的性质)。

若将图象 g 看成是随机场,同时将模板作为匹配滤波器,且脉冲响应函数为 $m(x, y)$,则输出为

$$g(x, y) * m(x, y) = f(x, y) * m(x, y) + v(x, y) * m(x, y) \quad (4)$$

即

$$G(u, v)M(u, v) = F(u, v)M(u, v) + N(u, v)M(u, v) \quad (5)$$

且

$$M(u, v) = \frac{F^*(u, v)}{S_{ff}(u, v) + S_{vv}(u, v)} = \frac{1}{F(u, v)} \cdot \frac{|F(u, v)|^2}{S_{ff}(u, v) + S_{vv}(u, v)} \quad (6)$$

其中, $G(u, v)$, $M(u, v)$, $F(u, v)$, $N(u, v)$ 分别是函数 $g(x, y)$, $m(x, y)$, $f(x, y)$, $v(x, y)$ 的傅氏变换, $S_{ff}(u, v)$, $S_{vv}(u, v)$ 分别表示基准图象功率谱、噪声功率谱^[8]。

比较式(2)和式(3),可以看出,由于匹配滤波方法中假设的模型是模板匹配模型的一种简单情形,因此,匹配滤波方法在式(2)的一般情形下应用的正确性就不能保证,这样只能通过对图象进行一些预处理来使之尽可能符合式(2)的模型,并且在实际匹配中,也不能确定噪声的分布,通常是通过假设噪声为白噪声来设计滤波器。如果这时噪声功率谱 $S_{vv}(u, v)$ 与假设的功率谱相差很大,甚至接近于基准图象的功率谱 $S_{ff}(u, v)$,则滤波器并非是“最佳”。

滤波器,这时运用匹配滤波方法就可能得出错误的结果。

另外,对模板进行选择,应以消除错误判断或减小其出现的概率为目的。

通过对式(6)的分析,可以看出,影响匹配的因素是基准图象信号 $F(u, v)$ 及其功率谱 $S_{ff}(u, v)$ 、噪声功率谱 $S_{vv}(u, v)$ 。由于“最佳”的滤波器应当使 $S_{ff}(u, v)/S_{vv}(u, v)$ 取得最大值,且图象信号是功率有限的信号,而功率有限信号的功率谱与自相关函数又是一对傅立叶变换^[7,8],因此,人们提出了用白化图象的方法^[9]来减小噪声功率谱 $S_{vv}(u, v)$,以便减小噪声的影响;同样,若在此时应用匹配滤波方法,就可以使所选的模板图象有极大自相关值,即图象信号的自功率谱 $S_{ff}(u, v)$ 有较大值,从而就能减小噪声对滤波器的影响,使滤波器接近“最佳”,而从视觉上来说,就是筛选出灰度差异显著的部分作为模板(可从功率谱的计算公式中导出),因为另一图象中用来待搜寻部分与本图象中进行模板选择的部分大部分相似,因而可以期望取得较好的匹配结果。

按照这一思想,即可利用计算机采用图象分割技术来自动选取模板。

关于图象分割,人们已经提出了很多方法^[10~12],可根据具体的图象特点来运用。

实际匹配中,考虑到电路照片中,景物绝大部分为矩形,且纹理简单,本文设计了一个简单有效的模板选择方法,即先任选一图象作为选择模板的对象;然后将该图象预估的重合区域部分,人为划分成若干区域(子图象);再根据相邻两子图象的平均能量值之差,进行区域生长,最后根据分区的结果,确定模板的位置。但需注意的是,区域划分的大小应适当,一般应小于图象中景物的尺寸。这里,之所以没有使用阈值分割或者边缘提取,是因为区域生长的方法有更宽的适用范围,且能够容忍随机噪声和容许图象灰度在较大范围内变化。

算法的具体步骤如下:

(1) 预估图象重合区域及图象中景物的大小,以便设定划分区域的尺寸。

(2) 计算各子图象的平均能量。这里,定义图象的平均能量 E 为

$$E = \sum g_i^2 / S$$

式中, g_i 为各象素点值, S 为图象面积。

(3) 做区域生长的操作。当相邻两子图象的平

均能量之差小于一阈值时,则两子图象合并为一子图象。这里,阈值定为其中一子图象与整幅图象的平均能量之差的两倍。这样一个区域不断生长,直到不能再生长为止,然后再做下一区域的生长。

(4) 计算相邻两分区的平均能量差,找出差值最大的相邻两分区,再以分区交界线为中线来选择模板。

实验中,用该方法自动选择的模板位置接近于人工选择的结果,因此这样得到的模板匹配结果也比较准确。

2 图象拼接

由模板匹配的结果,即得到了较准确的两图象相重合的区域,但尚要注意的问题是:①两图象在尺寸、方向上可能存在差异,如何消除?②重合区域的象素值如何确定?

对于确定重合区域象素值(或者说颜色的融合),其一种处理方法是对拼接部分用频域变换^[13]或用小波变换方法进行分解,并将分解所得数据,按对应频率或尺度用加权函数进行融合,然后再进行重构^[14]。

实际拼接中,两幅待拼接的图象在一次模板匹配后,并不能很好地重合,因此人们通常又通过一个松弛匹配的过程^[14]来逐步求精。在松弛匹配的过程中,也可以运用多种手段。本文实验没有具体计算匹配点,而是用多尺度(旋转角度的)解空间搜索的方法来寻求近似匹配角度。

所谓多尺度解空间搜索,是指先按某一单位量级的旋转角度对其中一幅图象做旋转,并从若干角度的旋转结果中选择较优值,然后降低一个量级再进行旋转角度的择优选择,当按某一公式计算的评估值小于给定阈值时,则结束选择。

其算法的具体步骤如下:

(1) 由模板匹配的结果来计算出两幅图象的大致重合区域。

(2) 取其中一幅图象的重合区域,先以单位弧度为步长,来选择旋转角度。

(3) 将该区域按某一定方向旋转,再将旋转后的结果截取为矩形,与另一图象的对应重合部分做相关系数的计算。

(4) 当相关系数值小于前一次搜索(按步骤(3)~步骤(6)完成的)所得相关系数值(初始化为最初

匹配运算所得相关系数值)的一半时,则终止旋转比较工作,并记下相关系数值最大时的旋转角度;否则,将旋转角度增加一步长,继续进行旋转比较工作,即重复步骤(3)~步骤(4)。

(5)继续该选定区域的旋转比较工作,不过,这次做反方向旋转。

(6)获取与根据两方向旋转比较而得到的最大相关系数值所对应的角度,及整幅图象按这一角度旋转的结果。

(7)如果步骤(6)中得到的相关系数值不高过前一次搜索(按步骤(3)~步骤(6))所得相关系数值的 $1/5$,则结束;否则,在步骤(6)的基础上,将步长减为原来的 $1/10$,继续步骤(3)~步骤(6)。

另一可供参考的计算方法是,首先分别对每一待匹配的图象进行 Fourier-Mellin 变换,然后通过基于相位的滤波来得到匹配所需的旋转角度及缩放因子^[4,10]。

3 算法复杂性分析

根据前述,模板选择算法中主要完成区域生长过程中的区域平均能量计算,其计算次数取决于做区域生长时相邻区域的比较次数,由于可以将各个区域排成一个二维队列,先做横向生长,再做纵向生长,因此,比较次数时间复杂度为 $O(L_T \times W_T/S)$ 。假设图象的长、宽以像素为单位,那么,其计算区域平均能量的时间复杂度为 $O(S)$,该算法时间复杂度则为 $O(L_T \times W_T)$,其中 L_T 、 W_T 分别表示模板选择区域的长、宽, S 表示最初划分区域的大小。

模板匹配算法中,对响应函数 $M(u, v)$,主要做了傅立叶变换、反傅立叶变换及功率谱的计算,因此其算法时间复杂度为

$$O\left(A \times B \times \sum_{i=1}^m r_i \times \sum_{j=1}^n p_j\right)$$

其中, A 、 B 分别表示搜索区域的长、宽,可分解表示为 $A = r_1 \cdot r_2 \cdot \dots \cdot r_m$, $B = p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_n$,即搜寻区域大小为 $A \times B$ 像素, r_i 、 p_i 分别为对 A 、 B 因式分解得到的像素值,而模板也扩展为与搜寻区域同样的大小。

由此可看出,本文算法主要时间耗费在模板匹配滤波的计算上,由于拼接匹配时,空间上只涉及重合区域的计算,其复杂度为 $O(A \times B)$;且重合区域只有原图象的 $1/10 \sim 1/20$,故整个计算占用的内存,小于整幅图象占用的内存大小。

4 实验结果及分析

本文选择某一 DSP 芯片的一批显微照片进行了实验,这里给出两例结果。该 DSP 芯片为 $0.8\mu\text{m}$ 大规模 CMOS 集成电路,包含约 0.5M 个管子;照片大小约为 $0.125 \times 0.155\text{m}^2$ (8.46×6.1 平方英寸)。经扫描仪以 300dpi 分辨率扫入计算机后,图 1 的两图象尺寸均为 $1\,820 \times 2\,538$ 像素,图 2 的两图象尺寸均为 $2\,508 \times 1\,824$ 像素。每张照片中管子数目不等,一般超过 100 个。由于洗像的缘故,照片边缘存在白条或黑条,因此拼接前需进行预判断;另一需预处理的是成像时由光源造成的照片一侧偏明,一侧偏暗的现象。实际上这批照片重合区域均是一窄条,窄边长约 20~30 像素,宽边长约 1\,000~2\,500 像素。一般来说,这么窄的重合区域是难于拼接的,但有利的一面是 CMOS 管可简单分为 P 区、N 区及金属栅极 3 部分,且图象纹理构成比较简单,照片对物体按同一比例放大,均为 1\,000:1。实验中,从开始拼接,到生成拼接好的图象,在 Pentium II 350MHz 的机器上运行时间约 90s。

这里,图 1 是自动拼接的结果,图 2 是手工拼接的结果。通过这两例的比较,可以看出,用本文方法自动拼接的结果不亚于人工拼接的结果。实验表明,对于有完全相同重合区域的图象拼接,其自动拼接的误差小于 1 个像素点。可是如果随机选取模板,再将频域匹配滤波用于上述两例时,则出现定位错误的现象。

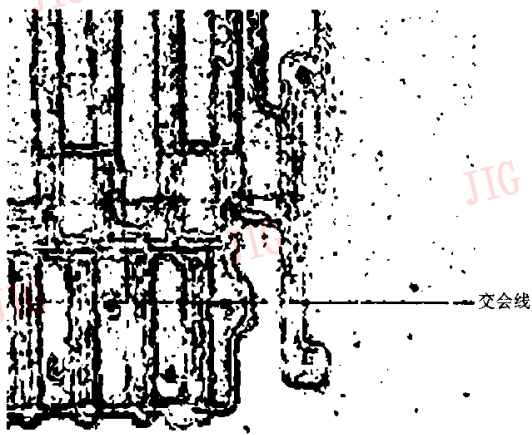


图1 自动拼接的电子线路图象

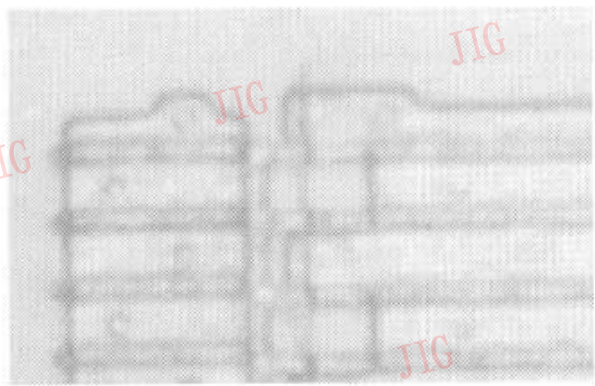


图2 人工拼接的电子线路图象交会处

对于彩色微电路照片,基于结构的模板匹配方法由于需先预处理,且抗噪声能力低,因此不适用,而使用频域匹配滤波的方法时,也应先选择图象中灰度变化较大的部分作为模板,以减小定位错误的概率,对此,本文使用了图象分割技术来自动选择模板,特别针对微电路照片的特点,本文设计了一个简单有效的图象分割方法,对于其他的图象,可以针对图象的特点来选用图象分割技术,以自动选择较为理想的模板。

5 结束语

本文介绍了一种用计算机进行图象拼接的新方案,该方案在用于一般自然景物图象的拼接时,可以针对具体的景物特点通过选用适当的图象分割方法来进行。作为示例,本文还给出了该方案应用于电路照片拼接的一个具体方法,且这一方法已在我们开发的一个芯片图象处理软件中实现。从若干幅芯片图象拼接的结果表明,该方法简单易行,且定位较准确,拼接效果好,在其上还可以实现对图象拼接的自动批处理,从而可显著节省人力,而其缺陷在于:匹配滤波技术不能完全准确定位,只能基本准确(受噪声及拍摄角度偏差的影响);另一尚未解决的问题是从所有拼接过的照片来看,两幅相拼接的照片放大后的同一区域由于存在极小的偏差,或者说存在图象的扭曲,如今对这一偏差,人们一般是通过在摄象时,在镜头前加网格来提供基准位置,而予以纠正,至今我们尚未找出其他有效的方法。

参 考 文 献

- 1978.
- 2 Abu-Mostafa Y S, Psaltis D. Recognition aspects of moment invariant. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., 1984, 6(6): 698-706.
- 3 Rusinek H, Levy A, Noz M E. Performance of two methods for registering PET and MR brain scans. In: Conf. Record 1991 IEEE Nuclear Science Symp. Med. Imag. Conf., 1991, 3: 2159-2162.
- 4 Chen Qin-sheng. Symmetric phase-only matched filtering of fourier-mellin transforms for image registration and recognition. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., 1994, 16(12): 1156-1167.
- 5 Srinivasa Reddy B, Chatterji B N. An FFT-based technique for translation, rotation, and scale-invariant image registration. IEEE Transactions on image processing, 1996, 5(8): 1266-1271.
- 6 余英林. 数字图象处理与模式识别. 北京: 国防工业出版社, 1990.
- 7 郑君里, 杨为理, 应启珩. 信号与系统. 北京: 人民教育出版社, 1981.
- 8 郑治真, 张少芬. 瞬态谱估计理论及其应用. 北京: 地震出版社, 1993.
- 9 孙仲康, 沈振康. 数字图象处理及其应用. 北京: 国防工业出版社, 1985.
- 10 黄智. 图象处理和识别实用程序库. 天津: 天津科技出版社, 1987.
- 11 王润生. 图象理解. 长沙: 国防科技大学出版社, 1995.
- 12 郑南宁. 计算机视觉与模式识别. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- 13 孙庆杰. 一种新的用于图象拼接的颜色融合方法. 工程图学学报, 1998(4).
- 14 KEITH E. PRICE. Relaxation matching techniques—A comparison. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., 1985, 7(5): 617-623.

李 跃 1971 年生, 现为国防科技大学计算机学院硕士研究生, 主要研究方向为计算机应用。

彭宇行 1963 年生, 现为国防科技大学计算机学院副教授、硕士生导师, 主要研究方向为 CAD、多媒体技术。

陈福接 1935 年生, 现为国防科技大学计算机学院教授、博士生导师, 主要研究方向为计算机体系结构、多媒体技术。