

图象拼接中伪匹配的判别和消解*

丁 迎 洪继光

(中国科学院自动化所微电子中心, 北京 100080)

摘 要 图象拼接就是把边界部分重叠的多幅图象接成一幅完整图象。图象拼接中的困难之一是:当相邻两幅图象重叠区域缺乏显著特征,或者存在多个特征相似的部分,就会发生伪匹配而导致拼接失败。该文基于均方误差曲线和相邻图象之间的空间约束关系,提出了一种伪匹配判别方法。实验表明,该方法可以有效的进行伪匹配的判别和消解。

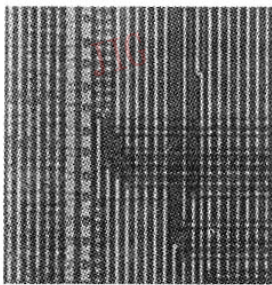
关键词 图象拼接 伪匹配 无特征区域 特征相似

0 引 言

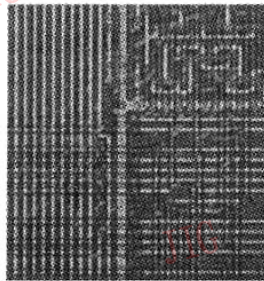
单幅图象的视区(field of view)常常是有限的,需要把多幅图象拼接为一幅完整的图象,以扩大视区的范围,这就是图象拼接的目的。为了进行图象拼接,相邻两幅图象的边界必须存在重叠区域,该重叠区域代表相同的物理内容。图象拼接的工作就是搜寻相邻两幅图象中相同的内容,从而确定它们的相对位置。

在数字视频、运动分析、虚拟现实技术、遥感图象处理、医学图象分析等领域,都需要利用图象拼接把多幅图象拼接成全景图象。目前,许多文献着重讨论各种拼接算法(即相似性匹配算法)的效率^[1-4],

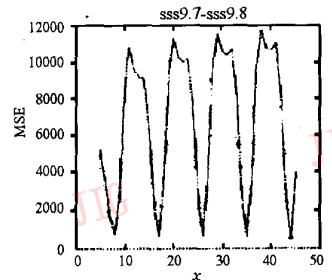
而本文则是针对拼接中的另一个困难问题:当相邻两幅图象的重叠区域无明显特征,或者存在多个特征相似的部分,如图1所示。就可能发生伪匹配导致拼接失败^[3]。无特征区域或特征相似区域广泛存在于各种类型的图象中,例如自然景物图象中的天空、海洋、树林、大面积单一纹理的墙壁等。在发生伪匹配的情况下,匹配问题的解变得不唯一,可以说匹配变成了本身定义不明确的不适定问题(ill-posed problem)。可见,要解决伪匹配给图象拼接带来的困难,必须增加一些约束条件再求解。在作者对集成电路显微图象的研究中,分析了均方误差曲线特征与伪匹配的内在联系,并结合相邻图象之间的空间约束关系,提出了一种方便而有效的伪匹配判别和消解方法。



(a) sss9.7 图象



(b) sss9.8 图象



(c) 图(a)与图(b)的MSE相似性曲线

图1 发生伪匹配(多点匹配)的水平相邻两幅图象

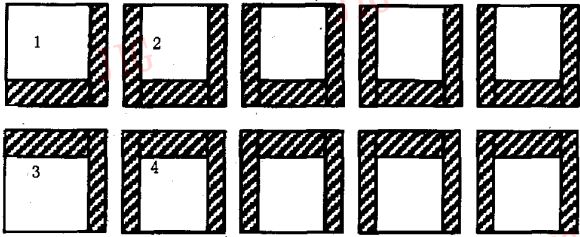
* 本文是国家科委重点科技项目“亚微米、深亚微米集成电路自动化分析技术研究”课题之一

收稿日期:1998-10-27;收到修改稿日期:1999-07-14

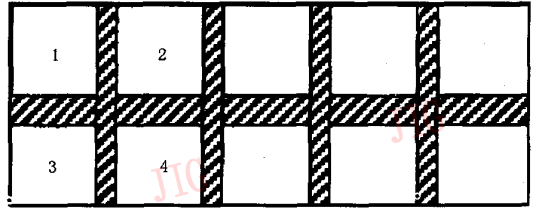
1 拼接匹配算法及均方误差(MSE)曲线

1.1 集成电路显微图象的生成

集成电路显微图象通过如下“采样”过程生成。芯片通过显微镜放大后,显微镜视区观察到的只是



(a) 拼接前的图象序列,阴影部分为重叠区



(b) 正确拼接后的图象序列

图 2 图象序列的生成与拼接机理

1.2 拼接匹配算法

我们选用像素灰度值作为特征,相似性度量选用均方误差 MSE。记 $Image_left(i, j)$ 为左侧图象的第 i 行第 j 列像素的灰度, $Image_right(i, j)$ 为其相邻右侧图象的第 i 行第 j 列像素的灰度。 $MSE(dx, dy)$ 为两图象在重叠位置 (dx, dy) 的均方误差,由下式计算:

$$MSE(dx, dy) = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=2}^N (image_left(i, j) - image_right(i + dx, j + dy))^2$$

其中 $M \times N$ 为相邻两图象重叠区域像素数,将搜索区域内所有 (dx, dy) 位置的均方误差 $MSE(dx, dy)$ 进行比较,其中最小者被认为是最佳匹配位置。

1.3 均方误差(MSE)曲线

在具体匹配时,先进行 y 方向(垂直方向)的比较,在每一个 dx 位置上求得 y 方向最小的一个 MSE 作为该 dx 的 MSE,所有 dx 位置的 MSE 组成一个一维数组 min_x 。再进行 x 方向(水平方向)的比较,找出该数组内的最小值作为全局最佳匹配位置 (dx, dy) , dx, dy 均以像素为单位。本文把一维数组 min_x 的曲线称为均方误差(MSE)曲线。曲线上的每一点,代表搜索范围内每个位置上的相似性

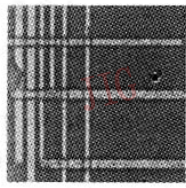
整个芯片的一个局部,拍摄成 256×256 像素的图象,显微镜平台水平移动,再拍摄相邻视区的图象。相邻的图象之间必须存在一定宽度的重叠区。这样依次可得到 M 行 N 列相互重叠的图象序列,如图 2(a)所示,每一幅图象周围都有多幅图象与之相邻,这样就形成了多幅图象之间的空间约束关系。正确拼接后的图象如图 2(b)所示。

度量。

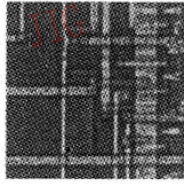
2 伪匹配现象及判别方法

2.1 伪匹配现象

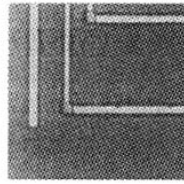
在相邻图象间必然存在重叠区的前提下,即不存在找不到匹配的情况,匹配的结果只有两种可能:唯一匹配和多个匹配(两个或两个以上)。在正常情况下获得正确的唯一匹配,对应于正确匹配位置,在 MSE 曲线一般存在一个明显的极小谷值,本文称之为主谷,如图 3(a)与(b)图象的 MSE 曲线如图 3(e)所示。在发生伪匹配时会出现多个匹配位置,这时又可分为两种情况:一种是出现若干个相似的特征区域,如图 1(a)与(b)所示,其对应的 MSE 曲线包含谷值相近的多个极小谷,如图 1(c)所示。本文把这种伪匹配称为多点匹配,并把除主谷之外最小的极小谷称为伪谷(其对应于错误匹配位置)。另一种情况是出现大面积无特征区域,如天空、白墙,或者沿某一方向上无特征,如沿水平方向上只有水平线条,如图 3(c)和(d)所示,其相对应的 MSE 曲线比较平坦,呈一条近似水平直线,如图 3(f)所示,本文称这种伪匹配为任意点匹配。任意点匹配实际上是多点匹配的一种特例,即每个位置都可以看作匹配点。



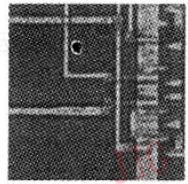
(a) LOG39.27 图象



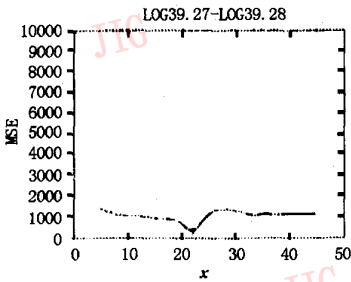
(b) LOG39.28 图象



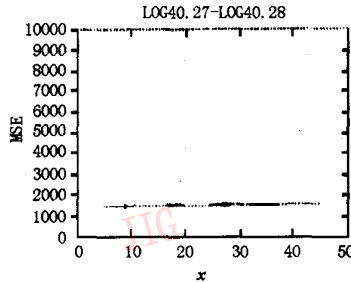
(c) LOG40.27 图象



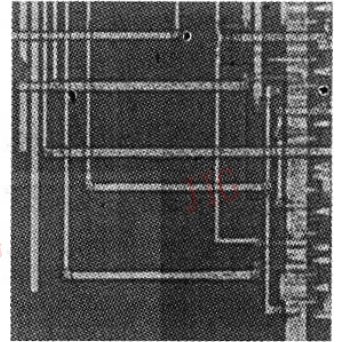
(d) LOG40.28 图象



(e) 图(a)与图(b)的 MSE 曲线(正确匹配)



(f) 图(c)与图(d)的 MSE 曲线(任意点匹配)



(g) 图(a)、(b)、(c)、(d)正确拼接在一起

图3 相邻的四幅图象

2.2 伪匹配的判别及消解方法

2.2.1 两极小值之差(方法1)

无论是多点匹配还是任意点匹配,它们形成的原因在于:错误匹配位置比正确匹配位置的相似度量更小(更相似),对应的 MSE 曲线上伪谷小于主谷,从而导致拼接失败。虽然仅通过 MSE 曲线,我们实际上无法肯定的区分主谷和伪谷。但是,我们可以用错误匹配概率描述在某种条件下发生伪匹配的可能性,错误匹配概率是指伪谷小于主谷的概率。

做如下假设:

- (1) 主谷谷值和伪谷谷值都是正态分布;
- (2) 记 M_1 为主谷谷值的均值, M_2 为伪谷谷值的均值。

则错误匹配概率 PE 可以表示为:

$$PE = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{M_1} \exp\left\{-\frac{(x - M_2)^2}{2\sigma^2}\right\} dx$$

令 $\frac{(x - M_2)^2}{\sigma}$, 则有

$$\begin{aligned} PE &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{(M_1 - M_2)/\sigma}{\sigma}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \\ &= \Phi\left(\frac{M_1 - M_2}{\sigma}\right) = 1 - \Phi\left(\frac{M_2 - M_1}{\sigma}\right) \end{aligned}$$

其中 $\Phi(x)$ 表示标准正态分布。在正常匹配的情

况下,主谷远远小于伪谷,即 $M_1 \ll M_2$, 错误匹配概率 PE 很小,伪匹配的可能性就很小。当 M_2 越接近 M_1 , 即 $(M_2 - M_1)$ 越小,错误匹配概率 PE 越大,伪匹配的可能性越大。在发生伪匹配的情况下,虽然伪谷值小于主谷值,但此时二者的值应该很接近,这是伪匹配与正常匹配相区别的重要特征,也是我们判断伪匹配的依据。我们在 MSE 曲线上找出两个最小的谷,求其差值,差值小于某一阈值判为伪匹配,差值大于某一阈值判为正常匹配。即在 MSE 曲线上所有极小值和边界点中找出最小值 \min_1 和次小值 \min_2 , 计算它们的差值 (DIF), 为了使结果归一化,再除以 MSE 曲线的均值 $E(\min_x)$

$$DIF = \frac{|\min_1 - \min_2|}{E(\min_x)} \times 10^3 \quad (1)$$

“两极小值之差”给出的是发生伪匹配的测度,仅以此判别伪匹配的发生是不充分的,所以还需要结合下面的方法。

2.2.2 相邻4幅图象之间的空间约束关系(方法2)

每幅图象都有多幅图象与之相邻,这种空间约束关系不但可以判断伪匹配的发生,还可以消解伪匹配获得正确匹配。仍以水平方向为例,如图2(b)所示,图象序列正确拼接后,设图象 i 相对于图象 j 距离为 x_{ij} , 图象 i 经图象 k 相对于图象 j 距离为 x_{ikj} 。则图象 4 相对于图象 1 的距离有两条计算路

径: 一是由 1 经 2 到 4 (x_{124}), 二是由 1 经 3 到 4 (x_{134}), 有

$$x_{124} = x_{21} + x_{42}$$

$$x_{134} = x_{31} + x_{43}$$

如果 4 幅图象正确匹配, 则理论上应有 $x_{124} = x_{134}$, 所以相邻 4 幅图象的约束关系为: $|x_{124} - x_{134}| < \epsilon$ (ϵ 是允许误差), 当 $|x_{124} - x_{134}| > \epsilon$ 时, 判断伪匹配发生在路径 124 或 134 上。这种方法能准确的判断伪匹配的发生, 但不能确定伪匹配具体发生在哪条路径上。以上仅考虑了相邻 4 幅图象, 如果考虑更多幅图象间的约束关系, 则计算路径更多。

2.2.2 最小点邻域方差(方法 3)

确认伪匹配后, 有时候还需要区分是多点匹配还是任意点匹配。因为如果是多点匹配, 还可以通过

缩小搜索范围获得唯一匹配。从 MSE 曲线上不难看出, 多点匹配最小点附近曲线变化剧烈(方差大), 任意点匹配最小点附近曲线变化平缓(方差小), 用曲线上最小点邻域内方差可以很好地区分这两种伪匹配。

2.2.3 阈值选取

根据统计数据, 绘制“两极小值之差”的概率分布直方图, 伪匹配和正常匹配情况在其均值附近形成两个波峰, 我们以两峰之间的谷点作为“两极小值之差”的阈值。从表 1 的实验结果不难看出, 正常匹配情况和伪匹配的情况下“两极小值之差”存在较大差别, 较容易区分。“最小点邻域方差”的阈值选取方法同上。

表 1 实验结果

图 象	极小点位置	正确匹配位置	两极小值之差	最小点邻域方差	判别结论
SSS9.7 与 SSS9.8(图 1)	44	17	2.4	4347	伪匹配(多点匹配)
AMC14.19 与 AMC14.20	17	33	6.1	5105	伪匹配(多点匹配)
LOG40.27 与 LOG40.28(图 3)	9	23	10	13	伪匹配(任意点匹配)
LOG39.27 与 LOG39.28(图 3)	22	22	645	332	正确匹配
LOG27.11 与 LOG27.12	22	22	330	641	正确匹配
AMC5.3 与 AMC5.4	23	23	273	237	正确匹配

2.3 解决伪匹配问题的步骤

综上所述, 3 种方法各有优缺点。把它们结合在一起使用, 取长补短, 可以较好地进行了伪匹配的判定和消解, 步骤如下:

(1) 利用相邻 4 幅图象间的约束关系(方法 2), 判断伪匹配的发生。

(2) 发生伪匹配时, 求 MSE 曲线上两极小值之差(方法 1), 判断伪匹配出现在哪条计算路径上。

(3) 在两条计算路径中, 如果其中一条路径上发生伪匹配, 则以另一条路径计算的位移为准(方法 2)。

(4) 如果两条路径同时发生伪匹配, 则求最小点邻域内方差(方法 3), 判断是任意点匹配还是多点匹配。如果是多点匹配, 则缩小搜索范围, 以均值附近的极小值作为正确匹配点。如果是任意点匹配, 则进行人工干预。

以图 3 为例, (a)、(b)、(c)、(d) 为相邻 4 幅图象, 虽然(d)与(c)之间发生伪匹配, 但(d)相对于(c)

的水平位移可以通过路径(a)(b)(d)得到, 匹配结果如图 3(g)所示。

3 实验结果和结论

我们应用上述方法在集成电路显微图象拼接中, 取得了较好的效果。在原来因发生伪匹配而导致拼接错误的情况, 95% 可以自动正确判别并获得正确匹配。另外 5% 发生在两条路径上同时出现任意点匹配的情况下, 即无特征区域的面积较大, 覆盖了多幅图象, 这时可以利用更多幅图象之间(如相邻 9 幅图象之间)的空间约束关系得到解决。

对于伪匹配的判别问题, 我们结合图象拼接的匹配算法, 分别给出了基于 MSE 曲线上“两极小值之差”的判别方法, 和利用相邻图象之间约束关系的判别方法。实验表明, 把这两种方法结合在一起使用, 可以有效地进行伪匹配的判别和消解。该判别方法不仅可以推广到其它类型的图象拼接中, 而且对许多图象匹配问题具有参考意义。

参考文献

- 马颂德,张正友. 计算机视觉. 北京:科学出版社,1998,1.
- 2 Benny Rousso, Shmuel Peleg, Ilan Finci. Mosaicing with Generalized Strips. IUW, 1997,255~259.

- 3 钟力,胡晓峰. 重叠图象拼接算法. 中国图象图形学报,1998,3(5).
- 4 陶波,于志伟,郑筱祥. 图象的自动拼接. 中国生物医学工程学报,1997,16(4,12).



丁迎 1993年毕业于华中理工大学电子与信息工程系,获学士学位,现为中国科学院自动化所硕士研究生。研究方向为模式识别,图象处理,集成电路图象分析。



洪继光 1962年毕业于成都电讯工程学院,研究员,博士生导师,中国科学院自动化所总工程师,国家专用集成电路设计工程技术研究中心主任。主要研究方向为集成电路,图象处理,模式识别和计算机视觉等。

Distinguishing and Solving of Pseudo Match in Image Mosaicing

Ding Ying, Hong Jiguang

(Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract Image mosaicing is to "stitch" together overlapping multiple images into a large image. One of the difficulties in image mosaicing is, when the overlapping region has not evident features or has many similar features, pseudo-match will happen and cause mosaicing failure. Based on MSE curve and constraints between the images, an approach was proposed for distinguishing and solving of pseudo-match. For there are constrains between the images, each image has several calculating paths. When the results of several paths are not identical, pseudo match happened. The difference of two minimal extremum on MSE curve can be used as the degree of belief of matching. We select the path with the highest degree of belief as right matching path. Experimental results demonstrate the efficiency of this method.

Keywords Image mosaicing, Pseudo match, Non-feature regions, Feature similarity