

相位编组方法提取直线

朱卫纲 李生良

(指挥技术学院 测量控制系)

摘 要 相位编组方法的提出,是针对大多数直线抽取方法的两个主要弱点:1)利用灰度变化的幅度,作为局部边缘重要性的主要度量,受噪声影响较大;2)对边缘特征作局部决策前,缺乏对图像结构的全局理解。该方法有效地解决了以往方法中关于边缘检测算子尺寸方面的难题,可以从复杂的图像中抽取出低对比度的直线,并能获得不同类型的边缘图。

关键词 直线提取; 相位编组; 边缘图

分类号 TP391.4

图像中线类型特征特别引人注目,它是视觉感知的重要线索。将边缘元连接或编组成有意义的图像事件,例如直线、曲线、各种轮廓线等,可以形成线类型的中层符号描述,使图像的表达更简洁,完成一定的图像识别或高层理解。曲线和各种轮廓线,可以用一些小直线段连接而成,因此关键是形成直线。

本文在指出大多数形成线类型特征方法不足的基础上,提出采用相位编组方法形成直线。这种方法的创新点是:1)利用灰度变化的方向信息检测边缘元;2)对边缘特征作局部决策前,先对图像结构进行全局理解。该方法有效地解决了以往方法中关于边缘检测算子尺寸方面的难题,可以从复杂的图像中抽取出相当低对比度的直线,并能获得不同类型的边缘图。

1 相位编组方法的提出

形成线的方法已有很多,如 Hough 变换,边界跟踪,曲线拟合,松弛叠代,图论法等^[1~3]。这些方法都是以局部边缘检测算子为基础,而局部边缘检测算子存在的问题是:1)算子的尺寸与其所要检测的图像事件有关,利用单一固定的算子,不可能同时最佳地检出发生在不同尺度范围上的灰度变化;2)实际图像数据与理想模型之间存在差异;3)图像进行数字化处理时产生失真和误差。由于光照等复杂因素的影响,灰度变化发生在为数较多的像元范围内;实际分析的图像常常比较复杂,灰度变化远非理想的阶跃函数;同时实际图像不可避免的混有噪声,而边缘是高频事件,边缘检测算子将会提高噪声。以局部边缘检测算子为基础,形成线类型的方法,可能会导致定位错误或遗漏边缘;实际单一边缘经算子检测连接后,出现几条平行边缘;以及由于信噪比低而不能提取低对比度线类型等问题。

相位编组方法的提出是针对上述边缘和直线抽取算法的两个主要弱点:1)以某种方式利用灰度变化的幅度,作为局部边缘重要性的主要度量;2)对边缘特征作局部决策前,缺乏对图

收稿日期: 1999-04-12

第一作者: 女 1973年生 硕士 101416 北京

像结构的全局理解。在大多数算法中,边缘灰度变化幅度常常起着关键作用,相位消息只是在特殊情况下作调节作用。而实际上相位信息携带着大量构成直线的相关像素点的信息,尤其是它们的空间信息。

梯度相位定义为像素邻域内,灰度变化最大的方向,或者说是灰度表面上升(下降)最快的方向。基于局部梯度方向的一致性,使用一种“边缘支持区域”(具有相同梯度方向的相邻像素构成)的简单算法,在很大程度上将抽取整条直线简化为简单的分组和连接过程,同时从这些独立的区域内还可以获得线类型的长度、宽度、对比度等信息。Hough 变化方法也涉及了边缘相位,但幅度仍占主导地位,只有幅值大的边缘能提取出来,这样就很难抽出较长、对比度低的线类型。

为了抽取复杂图像中长且对比度低的线类型,在进行局部灰度决策前,先进行支持边缘区域的全局组织。形成边缘支持区域的基础是计算像素点的局部梯度相位,将像素编组成边缘支持区域,可以避免对应不同尺寸和方向的滤波器所产生的冗余响应,以及进行后续工作时所带来的复杂性。这种提取直线的方法不受局部宽度、对比度及相位变化造成的边缘不清晰的影响,直接利用数据确定支持边缘和直线的范围。

Haralick 对灰度表面进行处理以抽出线类型,所用的灰度表面是局部的,在组织信息时仍然面临与局部边缘检测算子相同的问题^[4]。本文采用的相位编组方法是在二维图像中进行全局处理,在边缘宽度和长度方向上同时对像素点分组,为提取直线打下基础。这些边缘支持区域内的像素不仅最终描述线类型,而且包含有进一步处理图像所需要的特征属性。边缘支持区域在将直线分离成表现不同类型边界(如灰度、纹理、反射方向等)的本质图像时也很有用处。

2 相位编组方法实现

相位编组方法是根据各像素点的梯度相位进行分组,形成边缘支持区域,再从每一个区域提取直线段^[5]。在进行线类型特征描述时,根据实际情况,相邻低对比度边缘支持区域将划分为一个均匀区域而被滤除,不予考虑。

相位编组方法抽取直线的步骤:

- 1) 将梯度方向相似的、相邻近的边缘元编组成边缘支持区域,该区域不受具体尺寸限制。
- 2) 由加权平面近似灰度表面,用有关像元的梯度幅度值对其拟合加权,以使边缘最陡的部分起主导作用。
- 3) 从边缘支持区域和拟合平面提取属性,这些属性包括:代表此区域的直线及其长度、对比度、宽度、位置和方向等。
- 4) 根据属性滤出各种不同的图像事件,诸如长直线、高对比度直线(强纹理)、低对比度短直线(弱纹理)以及在特定方向和位置上的直线。

2.1 形成边缘支持区域

形成边缘支持区域的基础是计算像素点的局部梯度相位,将具有相同梯度方向的相邻像素编组形成边缘支持区域,这一过程分为两步完成。

2.1.1 选择模板计算梯度

计算梯度的模板很多,尺寸大的模板对图像有平滑作用,可以减小噪声的影响,但同时也滤出了细节部分。从较小模板 1×2 、 1×3 、 2×2 、 3×3 模板中进行选择,如图 1 所示。我们的主要目的是找到相应的细节部分,选择尽可能小的模板获得梯度;所选择的模板要能检测出单一

像素宽、条纹状的边缘,如图2(a)所示,以及对含有对称性直线的图像,如图2(b)所示,进行处理时,其输出具有对称性。仅有 2×2 模板符合要求。

$$\begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -1 & 1 \\ -1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

图1 各种模板

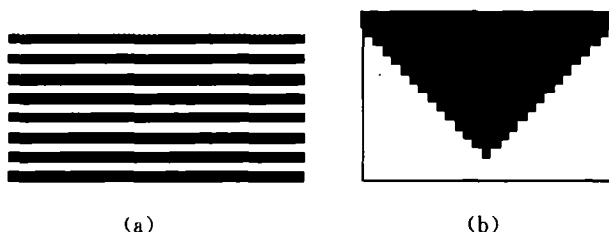


图2 测试图

局部梯度方向由式 $\tan^{-1}G_V(i,j)/G_H(i,j)$ 得到,其中 $G_V(i,j)$ 、 $G_H(i,j)$ 用 2×2 模板计算像素点 (i,j) 处梯度的垂直和水平分量。

2.1.2 梯度方向图的分割

局部梯度方向确定后,原始图像被分割成边缘支持区域。采用固定分组方法进行梯度方向分割。等分 360° 角,例如分为8等份,每一份角度大小为 45° (称为方向存储桶),他们是 $0^\circ \sim 45^\circ$, $45^\circ \sim 90^\circ$, ..., $315^\circ \sim 360^\circ$,如图3所示,编码为0, 1, 2, ..., 6, 7。根据每一梯度方向所落入的范围,标以编码号,将有相同编码的相邻像素划分为一组,如图3所示。如果梯度方向计算正确则分组正确。对于那些不在同一直线上的相邻像素方向差别较大,不会落入同一区域内,如图4。

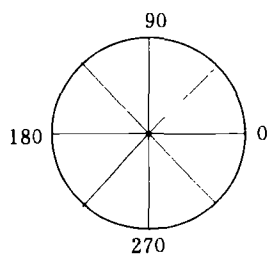


图3

2.2 将边缘支持区域描述为直线

与每个边缘支持区域相关的灰度表面可看作是理想斜面与噪声相加而得,用一平面来表示。应用最小二乘加权拟合获得平面参数。加权函数是局部梯度幅值的线性函数,决定了像素的灰度(或其他特征值)对拟合平面的作用,强灰度变化对拟合起主导作用,弱灰度变化作用小。在实际情况下,加权还可滤掉灰度变化幅度很小、对处理基本没有影响的像素点。图5(b)显示了加权拟合平面的例子。

用平面拟合灰度表面,直线的方向与拟合平面的梯度方向垂直。这样,剩下的问题是如何沿梯度投影放置直线,确定直线位置。如图5(a), (b)所示区域及表面图上的点。可以看到图5(d)中的边缘支持区域包含所有用来估计梯度的像素点,通过 2×2 模板算出梯度方向进行编组。一种简单的方法是用一个表示区域灰度平均值的水平平面(对所要处理的像素也要进行梯度幅值加权)与拟合平面相交,如图5(c)所示,交线即为所要抽取的直线,如图5(d)所示。

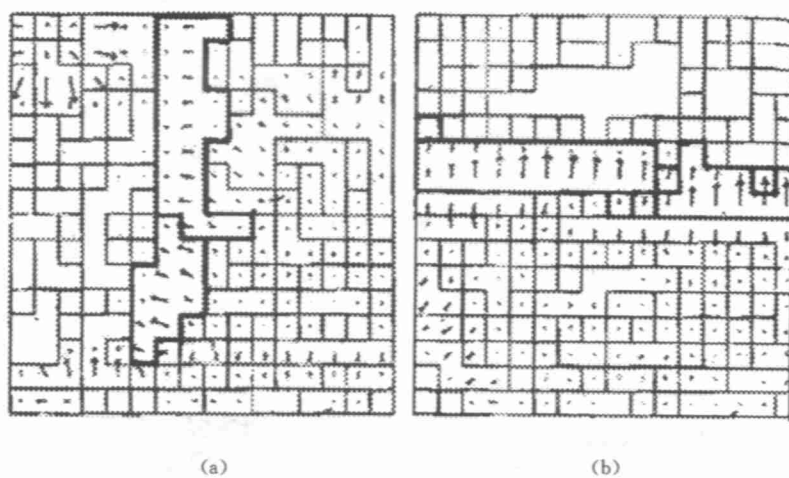


图 4 梯度方向图分割

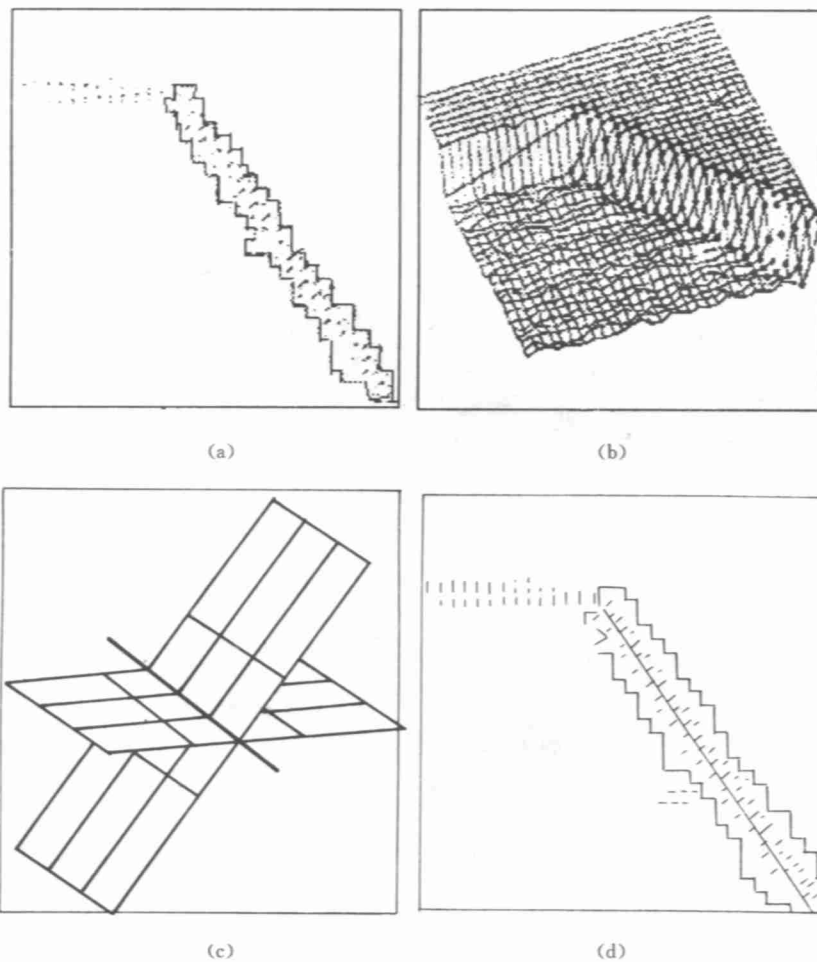


图 5 直线的形式

2.3 边缘支持区域的特性

边缘支持区域不仅提供了直线的位置和方向,而且便于进一步利用边缘支持区域及其拟合平面提取其他属性。这些属性包括:代表此区域的直线及其长度、对比度、宽度等。

直线长度是两个端点的距离。其它特征要通过边缘横截面的有关信息来描述,它们是:1)对比度(contrast)——横截面上灰度变化的累积;2)宽度(width)或模糊度(fuzzy)——横截面上的结构数据;3)陡度(steeptness)横截面的倾斜度,单位像素灰度变化率。这三个参数之间的关系是:对比度=宽度 \times 陡度。在理想斜坡结构中,三者之间严格遵守这种关系。对于实际图像中,边缘横截面的灰度函数具有非线性,如图4(b)所示典型直线的灰度表面图。

灰度拟合平面的倾斜度可以用来测量边缘的陡度。在这里采用计算加权拟合平面斜率的方法近似求得边缘陡度。对于边缘某一处横截面上的对比度来说,定义为最大灰度值与最小灰度值之差。边缘宽度可以直接由对比度除以陡度求得。

3 实验结果显示及分析

运用相位编组原理对实际图像进行处理,实验结果及分析如下:

图6(a)是一幅 32×32 、单像素宽黑白相间横条纹图案,(b)是用相位编组方法处理的结果,(c)是用Hough变换方法处理的结果。可以观察到用Hough变换方法不能提取出这些直线,而相位编组方法效果较好。其原因在于相位编组方法把梯度相位放在第一位,而Hough变换方法却以梯度幅值为第一位。由于线宽仅为一个像素,计算梯度幅值时,即使用小型模板 2×2 模板,每个像素点的梯度幅值也是相同的,而所得的梯度相位却不同,故依赖幅值的方法不能提取到直线,而依赖相位的方法能够提取出直线。

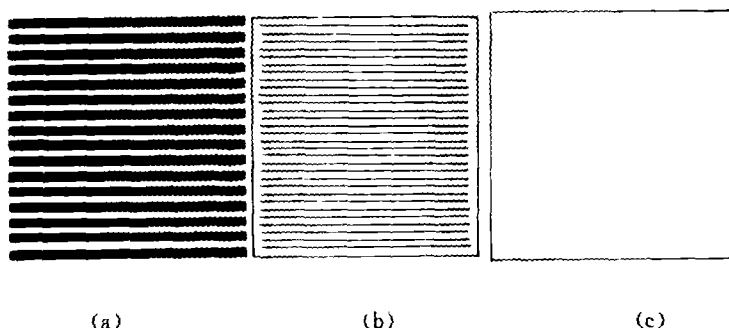


图6 用相位编组法和Hough变换发抽取直线比较

4 结束语

相位编组方法提取直线,是利用梯度相位信息,提出进行局部灰度决策前先进行支持边缘区域的全局组织,根据局部梯度方向的一致性,采用一种“边缘支持区域”(具有相同梯度方向的相邻像素构成)的简单算法,在很大程度上将抽取整条直线简化为简单的分组和连接过程,同时从这些独立的区域内可以获得线类型的长度、宽度、对比度等信息。这种提取直线的方法不受局部宽度、对比度及相位变化造成的边缘不清晰的影响,解决了以往方法中关于边缘检测算子尺寸方面的难题;根据属性,可以方便的得到不同类型的图像事件,诸如长直线、高对比度直线(强纹理)、低对比度短直线(弱纹理)以及在特定方向和位置上的直线。实验证明,这种提

取直线的方法实用性较好。

参 考 文 献

- 1 王润生. 图像理解. 长沙: 国防科技大学出版社, 1994
- 2 钟玉琢. 机器人视觉技术. 北京: 国防工业出版社, 1994
- 3 徐建华. 图像处理与分析, 北京: 科学出版社, 1992
- 4 Haralick R M. Ridges and Valleys on Digital Images. *Computer Vision Graphics and Image Processing*, 1983, 22(1), 28~39
- 5 Brian Burn J, Allen R. Hanson. Extracting Straight Lines. *IEEE Trans PAMI*, 1986, 8(4)

Lines Extraction with Phase-grouping Method

Zhu Weigang Li Shengliang

(Department of Measurement and Control. Institute of Command And Technology)

Abstract This paper expatiates on the approach to extraction of straight lines, which appears to be more effective than the existed techniques for two key reasons: (1) The gradient orientation (rather than gradient magnitude) is used as the initial organizing criterion prior to the extraction of straight lines. (2) The global context of the intensity variations associated with a straight line is determined prior to any local decisions about the participating edge elements, and so we can find the straight lines in reasonably complex images, particularly those lines that are long but not necessarily of high contrast.

Key words line extraction; phasic organizing into groups; edge-image