

文章编号: 1007-4619 (2003)06-0478-07

TM 图像中桥梁目标识别方法的研究

吴 皓, 刘政凯, 张 荣

(中国科学技术大学信息处理中心, 安徽 合肥 230027)

摘 要: 提出了一种新的 TM 图像中桥梁目标的识别方法。算法充分利用了 TM 图像的特点, 在底层处理中运用形态学的方法提取出潜在桥梁目标; 在中层处理中使用链码表示目标并提取其特征参数; 最后在高层处理中进行桥梁识别和一些后处理。算法识别速度快、准确率高, 整个算法可以进行自动的识别, 也可以有少量人工干预使得算法更稳健。实验证明该算法对于 TM 图像中的桥梁识别是很有效的。

关键词: TM 图像; 目标识别; 形态学; 链码

中图分类号: TP79/F301.24 **文献标识码:** A

1 引 言

自然景物中的桥梁目标的机器识别是一项困难而重要的任务。一般把二维图像理解的目标分为两大类: 一类是团块目标, 如航母、坦克、飞机、大型团块状建筑物等。这类目标的研究开展的比较早, 已有了一些较为成熟的方法, 识别的算法主要是采用由下而上的数据驱动型识别方法, 即先对原始图像进行一般性分割、标记和特征抽取等底层处理, 然后与目标的对应特征相匹配, 得到识别理解结果; 另一大类目标是线状目标, 如道路、河流、桥梁等。这类目标的识别研究是计算机视觉领域的新兴研究方向, 还没有比较完善的方法。目前已有的算法主要采用自上而下的知识驱动型的识别方法, 即根据识别目标的模型, 先对图像中可能存在的特征提出假设, 根据假设有目的地进行分割、标记和特征提取, 在此基础上再进行判别, 以进行目标识别^[1]。

TM 图像虽然分辨率较低, 但由于其成像质量高, 覆盖面积大, 在军事和民用上都有很重要的应用。目前已有一些桥梁目标识别的方法, 大部分方法是针对某类特定图像采取的方法, 主要有针对红外及远红外图像中的桥梁目标识别方法^[2-5]及针对 SAR 图像中的桥梁识别方法^[6]。文献[7-9]分别提

出了不同的桥梁目标识别框架, 文献[10]涉及到 IRS 图像的桥梁目标识别。目前尚未看到关于 TM 图像中的桥梁识别的文献。

已有的这些方法的不同点主要在于如何提取目标及其参数上, 对于识别桥梁目标所用到的知识基本相同。总的说来, 这些方法可以分为以下几类:

(1) 认为桥梁最显著的特征是一对平行线对, 并通过在边缘图像或分割后的图像上直接寻找平行线对来判别桥梁目标, 常用的方法为 Hough 变换。文献[5, 8, 9]均可归为此类。

(2) 根据一定的先验知识, 设计针对桥梁目标点的提取算子或检测方法, 在分割后的图像上寻找可能的桥梁目标点, 然后对提取出来的可能目标点进行验证。文献[2-4, 6]可归为此类。文献[2]对提取出来的可能桥梁点进行聚类以分离出独立的桥梁目标然后进行验证, 文献[3]通过检查包含桥梁点的最小矩形区域的特性来验证; 文献[4, 6]在提取出可能桥梁点后, 又回到了检测平行线对的方法上去。

(3) 文献[7]通过建立河流、道路等和桥梁关系的模型, 用树搜索的方法在图像中寻找匹配的位置来判别桥梁。该方法适用于高分辨率的局部图像。

(4) 文献[10]处理的是多光谱的遥感图像, 先对多波段图像进行分类, 认为桥梁和道路一样属于混凝土结构, 先将桥梁作为道路的一部分检测, 然后

收稿日期: 2002-04-01; 修订日期: 2002-12-03

基金项目: 中国科学院知识创新方向性项目“信息融合应用研究”。

作者简介: 吴皓(1979-), 女, 现于中国科学技术大学电子工程与信息科学系攻读硕士学位, 已发表学术论文2篇, 研究方向为图像处理与分析, 模式识别, 计算机视觉等。

运用知识来检测其是否为桥梁。

这些方法对于TM图像中的桥梁目标识别有一定参考意义,但是存在如下的几个问题:

(1) TM图像分辨率较低,通常的大型桥梁目标宽度仅为1—3个像素,长度小于20个像素,这样小的目标不适合用Hough变换来检测平行线对,容易受到干扰,阈值不容易选取。

(2) TM图像中的桥梁目标不适合用聚类的方法提取,因为桥梁目标的组成并不单一,有铁路桥和公路桥之分,而且由于其面积较小,受混合像元的影响较大,笔者做过实验,发现很难将其较完整地聚类出来。

(3) TM图像中的桥梁目标较为密集,有时距离只有两三个像素,而且河流面积也较小,不太适合用边缘算子或其他方法将其作为分散的桥梁点来提

取,这不利于后面的分析。

鉴于以上考虑,我们根据TM图像的成像特点和分辨率,提出了一种新的快速有效的桥梁目标识别方法,算法的总体框架如图1所示。在底层算法中,我们没有检测线段,而是先分割河流,然后利用河流和桥梁的关系用形态学的方法提取出初始的完整桥梁目标,而不是桥梁目标的外边缘线或分散的桥梁点,这样提取出来的初始目标完整,便于分析;为了提高识别的精度,我们在提取目标的特征数据之前进行了目标修补工作,并采用矢量形式的链码表示来进行分析,获得了很好的效果;桥梁目标的识别分两步进行,先进行桥梁目标的自身形状判别,然后进行桥梁目标与相邻地物关系的判别;最后作一些后处理使得输出结果更合理。实验结果表明我们的方法对TM图像中的桥梁识别很有效。

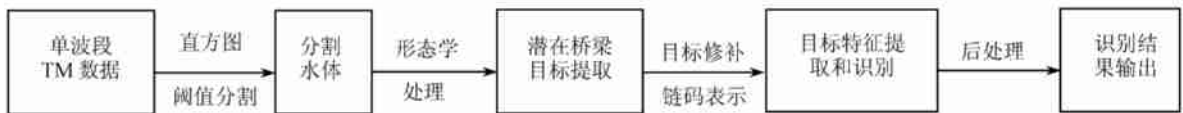


图1 桥梁识别算法总体框图

Fig.1 The framework of our bridge recognition algorithm

2 TM图像中潜在桥梁目标的提取

2.1 直方图单阈值分割提取水体区域

图像分割是模式识别算法的基础,也是最关键最困难的一步。已有的很多桥梁识别的文章认为桥梁最显著的特征是一对平行线,即桥身的外边缘线,于是他们就从检测直线段入手来直接检测桥身的外边缘线,这种方法在分辨率较高的情况下也能收到较好的效果,但是对于TM图像,由于分辨率较低,人眼可辨识的桥梁目标在图像中一般长度在3—15个像素,宽度仅为1—3个像素,我们采用的方法是先提取水体区域,主要为河流,然后通过水体提取潜在的桥梁目标像素。

我们知道在TM图像中,水体是最容易识别的一类地表特征,通常采用的方法有两种,一是自适应聚类的方法,如K-mean方法;二是平行管道法分类,两者都能取得较好的结果,但是计算量大,所需时间长。我们尝试了采用直方图单阈值分割的方法来分割出水体,效果很好。

我们注意到在有河流存在的TM图像中,由于水体在TM图像中的灰度非常低,所以在水体比较

清晰的几个波段的图像中,如第3、4、5和7波段的图像,存在这样的现象:组成水体的像素在灰度直方图的一端形成一个较窄的波峰,同时也形成了灰度直方图的第一个波谷。对某一波段的图像,通常取第5波段,取该波谷的值作为二值化的阈值就可以很好地实现河流和陆地的分离。这里直方图阈值的选取可以由机器自动进行^[11],也可进行人工选取。在我们的实验中,直方图阈值是由机器自动选取的,若将直方图 $h(z)$ 的包络看作一条曲线,则选取直方图的波谷可借助求曲线极小值的方法,即极小值点应同时满足:

$$\frac{\partial h(z)}{\partial z} = 0 \quad \text{和} \quad \frac{\partial^2 h(z)}{\partial z^2} > 0$$

具体方法如下:

(1) 对原始图像数据进行直方图统计,分为256级灰度;

(2) 对原始直方图进行中值滤波,以去除毛刺,实验中选取窗口大小为5;

(3) 在2的基础上再进行平滑,进一步消除局部抖动可能带来的误检测;

(4) 对平滑后的直方图做一阶差分 $h'(z) = h(z+1) - h(z)$,从左至右开始检测一阶直方图中由负到正的阶跃点,即为对应的波谷点,检测到的第

一个极小值点对应的灰度值即为我们要找的阈值, 记为 T 。

(5) 对原始图像 $f(x, y)$ 进行分割, 记 $g(x, y)$ 为分割后的二值图像, 则

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) > T \\ 0 & f(x, y) \leq T \end{cases}$$

在 $g(x, y)$ 中, 灰度为 0 的点即为分割出来的水体区域, 按上述方法得到的二值图像不仅突出了有用的桥梁信息, 而且屏蔽了绝大部分无关地物的细节。为下面的处理提供了一个很好的基础。

2.2 提取潜在的桥梁目标

接着要实现桥梁和陆地的分离。以得到粗略提取的潜在桥梁目标点。

首先我们要对提取出来的水体区域, 主要为河流, 进行规整, 规整包括两方面: 一是去除噪声, 由于各种原因, 图像中难免会存在小的干扰噪声; 二是使同一条河流区域连通, 在 $g(x, y)$ 中的河流区域被其中的桥梁隔成一段一段的区域, 为了提取出桥梁目标, 同时更准确地分析河流的形态特征, 我们需要对河流区域进行连通。

数学形态学, 也称图像代数, 是以形态为基础对图像进行分析的数学工具^[12]。我们使用了形态膨胀和形态腐蚀算子对水体区域进行了规整。考虑到噪声和桥梁目标的尺寸, 我们定义膨胀和腐蚀的结

构元素均为 $B = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$, 对二值图 $g(x, y)$ 中的

0 像素点先做膨胀运算 n 次, 然后再做腐蚀运算 n 次, 先做膨胀运算即可同时去除噪声和连通河流区域, 经过大量的实验表明, n 取 2 时效果最好, 此时河流区域能够完全连通, 并且边界较为光滑。记经过形态规整后的二值图像为河流模板图 $TRiver(x, y)$, 在计算中我们将形态规整后的河流像素点赋值为 1。将 $TRiver(x, y)$ 和 $g(x, y)$ 相与即可得潜在的桥梁目标图像, 记为 $TBridge(x, y)$, 其中值为 1 的点是潜在的桥梁目标点。

这里我们将桥梁分为两类, 一类是桥身完全处在水面上的桥梁, 称为简单桥梁; 另一类是桥身部分在水面上, 部分在河流中间的小块陆地上的桥梁, 同一座桥梁的桥身被隔成两段或更多, 每一子段都是一个简单桥梁, 称为复杂桥梁。对于复杂桥梁识别, 我们的策略是先将其当作简单桥梁目标来识别, 在识别之后再将其连接为一座完整的桥梁。

3 目标链码表示及特征提取

3.1 目标形态规整

在提取桥梁目标的特征之前, 同样我们也须对 $TBridge(x, y)$ 进行规整, 目的之一是去噪, 提取出来的潜在桥梁点中不仅包含了真实的桥梁目标点, 还存在不少干扰, 去除一些明显不是桥梁目标的噪声, 以减少下面需判别的目标数; 目的之二是将某些断续的桥梁目标连接完整, 由于混合像元的影响或其他原因, 提取出来的潜在桥梁目标可能会有一些断续的地方, 如果不进行修补则可能会被当作两个物体, 从而导致误判, 但修补时应该尽量避免将两个桥梁目标相连, 这种情况同样也会导致误判。

去噪的具体方法如下, 定义两个卷积运算的模板分别为:

$$Ttmp1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, Ttmp2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

对 $TBridge(x, y)$ 中为 1 的像素点 $P(x, y)$ 分别与 $Ttmp1$ 和 $Ttmp2$ 做模板卷积运算, 若 $P(x, y) \otimes Ttmp1 = 0$ 且 $P(x, y) \otimes Ttmp2 \leq 2$, 则将 $P(x, y)$ 的 3×3 邻域全部置为 0 值。这样我们就去除了面积 ≤ 2 个像素的孤立目标, 由于桥梁的长度一般 ≥ 3 个像素, 所以不会丢失真正的桥梁目标。实验证明这一步骤确实能大大减少虚假目标个数, 例如在 512×512 华盛顿地区的 TM 图中, 未去除噪声之前二值图中的目标个数为 125 个, 去除噪声后的剩余目标数为 41 个。

到目前为止, 所有的处理都是在栅格图上进行的, 为了更方便的提取目标形状特征, 同时也方便识别结果直接以矢量形式存入数据库, 我们将二值栅格图转为链码表示。我们采用 8 方向的链码对二值图中的目标进行外轮廓跟踪, 与普通的链码跟踪算法不同的是, 由于在 $TBridge(x, y)$ 中有多个独立目标, 所以跟踪完某个目标区域后需将该目标区域清除, 即置为 0。算法的流程如下:

(1) 从上至下, 从左至右对图像进行扫描, 若当前点 $P(x, y) = 1$, 执行(2), 若当前点为图像的右下角, 则终止程序。

(2) 对 $P(x, y)$ 所属的连通区域进行轮廓跟踪,

记下轮廓的链码及起点坐标,执行(3)。

(3) 用区域填充的方法将该连通区域全部置为 0 值,返回(1)。

轮廓链码记为: $A = a_1 a_2 \dots a_n$, 其中 a_i 取值为 0-7, 代表 8 个方向。

3.2 目标特征提取

根据目标轮廓链码,我们可以提取出目标的周长 $ContourLength$ 及长轴的长度 $AxisLength$, 由于 TM 图像中的桥梁目标非常小,受各种因素影响,常常不是较规则的长矩形,所以确切的宽度信息很难提取,不过由于我们使用的形态运算的结构元素是 3×3 的模板,故实际上已经对所能提取出来的目标宽度作了限制。具体参数计算如下:

$$ContourLength = U(n_e + n_o \sqrt{2})$$

其中 n_e 和 n_o 分别是偶数标号和奇数标号的方向链码的个数

$$AxisLength = \text{Max}(d_{KL}),$$

$$d_{KL} = \sqrt{\left(\sum_{i=k+1}^L a_{ix}\right)^2 + \left(\sum_{i=k+1}^L a_{iy}\right)^2}$$

使得 d_{KL} 最大的 K, L 点即是对应的长轴的两个端点。根据目标的长轴可以计算其与图像坐标的夹角 $Angle = \arctan(P_{Ky} - P_{Ly}, P_{Kx} - P_{Lx})$, 再进行断续目标修补之前,我们对目标的形状作判别,剔除形状不符合桥梁的虚假目标,这是我们进行桥梁识别的判别准则 1, 规则如下:

$$\text{if } fabs(ContourLength/2 - AxisLength) < ContourLength \times \alpha$$

则认为该目标形状近似为长直条状,符合桥梁目标的形状;

else

认为该目标不是桥梁目标,将之清除。

其中 α 为一常数, 本文的实验中均取为 0.1。因为下面将用目标的长轴来代表该目标,以简化每个目标,便于分析,所以判别之后再修修补补可以减少将虚假的目标连接起来。如图 2 所示,两个目标 $A1$ 和 $A2$ 可以进行连接修补,需满足以下条件:

- (1) $|\angle P_2 P_3 - \angle P_1 P_2| \leq 45^\circ;$
- (2) $|\angle P_2 P_3 - \angle P_3 P_4| \leq 45^\circ;$
- (3) $|\overline{P_1 P_4} - (\overline{P_1 P_2} + \overline{P_2 P_3} + \overline{P_3 P_4})| \leq \frac{\overline{P_1 P_2} + \overline{P_2 P_3} + \overline{P_3 P_4}}{2} \times \beta$

如满足以上 3 个条件则认为这两个目标属于同

一个实际目标, 否则分属两个目标。实际运用时,可限定 P_2 和 P_3 的距离在一定的范围内。在本文的实验中, β 取为 0.2。这个连接准则有效地连接了原本断开的桥梁。而且不会将靠得很近的两个并列的桥梁相连。

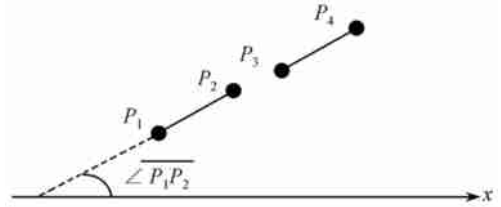


图 2 断续连接图示

Fig 2 The illustration of fragment connection

4 进一步验证及后处理

4.1 桥梁目标的进一步验证

现在提取出来的潜在桥梁目标中还存在一些虚假目标。这些干扰目标在灰度和形态上与真实的桥梁没有多大差别,必须利用更多的知识来区分它们。常有关桥梁的知识可以列举如下^[8]:

(1) 有关桥梁目标自身结构的知识。桥梁的自身结构包括桥身、桥拱、桥墩、桥头堡、护栏等。但在 TM 图像中由于分辨率比较低,所以桥梁自身结构的特征主要表现为一段细直线段,有一定的宽度,灰度比水体要高,因为分辨率的关系,纹理信息没有表现出来。

(2) 有关桥梁目标的邻域拓扑结构的知识。通常认为桥梁的横向延伸是水域,纵向延伸是陆地。此外我们还认为在 TM 图像中,由于视角接近于正视,所以通常的桥梁还应该与河岸有一个较大的交角。

在上面的处理中,我们已经对候选目标的形状进行了限制,这里讨论关于桥梁目标与其邻域关系的判别。由于我们是通过河流模板来提取潜在的桥梁目标的,所以被提取出来的目标自动满足被水域包围这一条件,则我们现在须判别:目标两端是否连着陆地和目标与河岸的夹角是否大于一定的数值。

判断以上两点,我们还需要计算河岸曲线的每点的斜率,先对 $TRiver(x, y)$ 中的所有河流进行 8 个方向链码的轮廓跟踪,记为 $ChainRiver = r_1 r_2 \dots r_n$, 则河岸上的每一点的倾斜角可以表示成 $Skew(r_i) = \angle r_{i-3} r_{i+3}$ 。我们判断目标 $P_i P_j$ 是否为桥梁的判别准则 2 为:如果 P_i 和 P_j 的 3×3 邻域内分别存在河岸点,且这些河岸点的平均倾斜角与 $\angle P_i P_j$ 之差

的绝对值大于某个门限 γ , 则认为该目标是桥梁目标, 实验中 γ 取为 30° 。

4.2 简单的后处理工作

对于我们上面所提到的复杂桥梁, 如需要将之表示为一段完整桥梁, 可在完成简单桥梁目标的识别后, 此时复杂桥梁被分为了几段简单桥梁, 再次运用上述的断续桥梁目标连接修补的方法进行连接, 此时须放宽端点搜索的区域, 并适当放宽门限 β 。

5 实验结果及讨论

我们已经用 VC++ 实现了本文提出的算法, 实验所用微机的 CPU 为 P III 733, 内存为 256M。实验

数据分别选用了台湾地区、华盛顿地区和安徽蒙城地区的 20 幅图像, 共有长度在 4 个像素及以上的可目视确认的桥梁目标 51 座, 在全自动识别情况下, 正确识别出其中的 47 座, 检测概率为 92%, 识别出虚假目标 2 座, 虚警概率为 4%。选用的实验图像数据大小在 $100 \times 100 - 256 \times 256$ 像素之间时, 算法所需的时间平均在 70—250ms 之间, 当实验图像尺寸增大时, 所需时间线性增加, 对 512×512 像素大小的图像的平均识别时间为 500ms。图 3 给出了不同地区的部分识别结果。在本文实验中均取第 5 波段图像进行识别。

(1) 未能检测出其中的桥梁目标的原因主要是该桥梁目标的光谱响应太弱, 导致提取出来的桥梁目标缺损太多, 而未能识别出来。

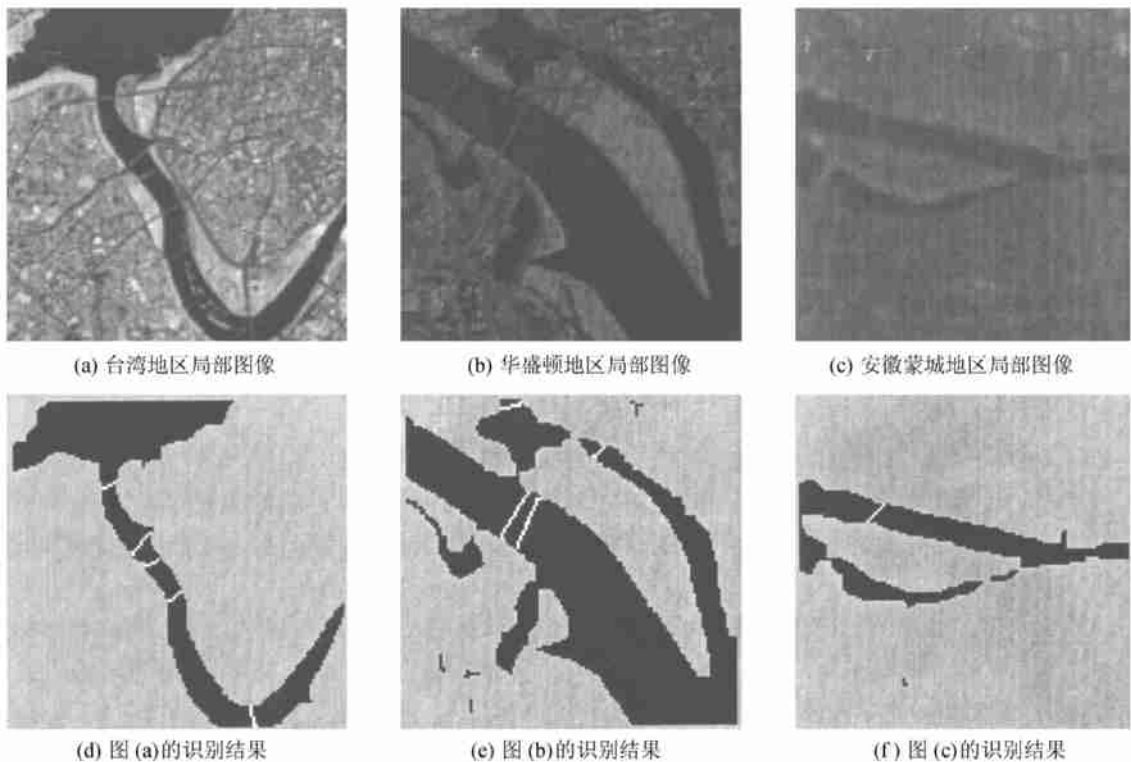


图 3 部分实验结果图示

Fig.3 The illustration of part of the experiment results

(2) 检测出虚假目标的主要原因是由于水体的轮廓不是很光滑时, 采用形态膨胀和腐蚀后会导致在一些边角的地方产生一些干扰目标, 这些虚假目标中的一小部分没有被剔除掉。这些虚假目标通常存在于河流的小支流或小湖泊的边缘, 可以考虑对水体轮廓形状进行判断, 来进一步剔除虚假目标。

本文的算法与已有的桥梁目标识别的方法相比, 有如下几个特点:

(1) 对简单桥梁和复杂桥梁的划分, 使得提取出来的桥梁目标更符合现实中的桥梁, 不会将同一座桥梁分成两座来标识。如图 4 所示, 图 4(a) 是提取出来的潜在桥梁目标, 为清楚起见, 图中只显示了每个目标的两个端点, 图 4(b) 是经过断续目标修补后的识别结果, 可以看到一些属于同一桥梁的零散目标已被整合到一起, 图 4(c) 是经过后处理的结果, 此时属于同一复杂桥梁的目标已被连接成一座完整的桥梁。

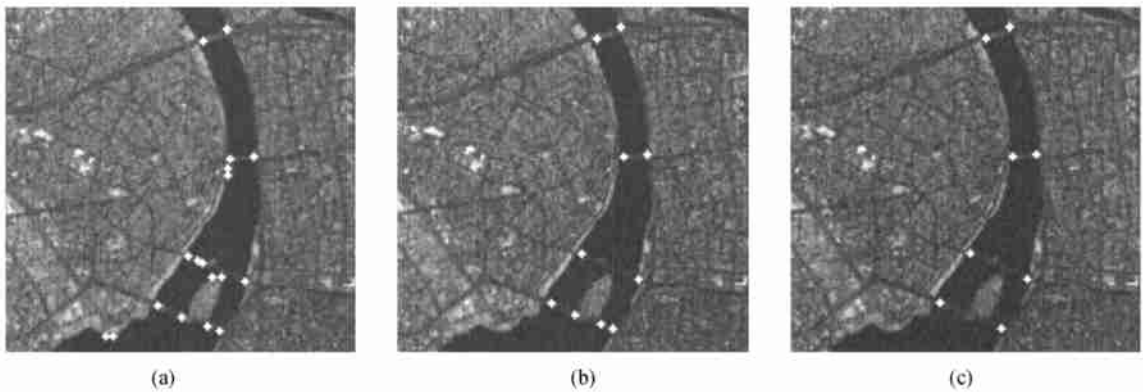


图4 断续目标修补和后处理的例子(台湾地区)

Fig.4 The illustration of fragment connection and post-processing(Taiwan Area)

(2) 采用形态学的方法更准确快捷的分割出潜在的桥梁目标,同时也利于小目标的识别。

(3) 采用链码表示法将河流与目标表示成矢量图形,更方便对目标的几何形状和目标与环境的关系进行判断,同时很方便给出识别结果的参数。

(4) 对目标进行基于知识的修补,提高了识别的准确率。

(5) 算法层次清楚,可扩展性好。

总的说来,本文的算法具有速度快、准确率高、自动化程度高及可扩展性好的特点。

6 结论

本文提出的算法充分利用了水体和桥梁在TM图像中的特点,识别速度快、识别准确率高,将桥梁分成两类来进行提取,使得识别的结果更完整。另外我们的算法需要人工干预的地方少,通常情况下不需要调整参数。不过我们算法是针对水域上的桥梁来设计的,如果河流干涸或者是陆地桥,那么就要重新设计我们的算法了,因此我们将继续完善桥梁识别的方法。

参考文献 (References)

- [1] Shen Liqin, Hu Dongliang, Qi Feihu. Automatic Recognition of the Line-featured Objects in Aerial Images [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 1995, **29**(4): 53-60. [沈丽琴, 胡栋梁, 戚飞虎. 航空图像中线状目标的自动识别[J]. 上海交通大学学报, 1995, **29**(4): 53-60.]
- [2] Zuo Zhen, Zhang Tianxu, Wang Guoyou. Research on Bridge Recognition in Long-Range Infrared Images [J]. *Acta Electronica Sinica*, 1998, **26**(11): 6-9. [左震, 张天序, 汪国有. 远距红外图像中桥梁目标识别方法研究[J]. 电子学报, 1998, **26**(11): 6-9.]
- [3] Sun Qi, Cao Zhiguo, Zhang Tianxu. A Recognition Algorithm Based on Knowledge Framework for Long range Infrared Bridge Images [J]. *Journal of Huazhong University of Science & Technology*, 2001, **29**(4): 1-3. [孙琪, 曹治国, 张天序. 基于框架的远距红外桥梁目标识别[J]. 华中科技大学学报, 2001, **29**(4): 1-3.]
- [4] Yuan Zaihua, Yang Shuqian. Automatic Recognition and Tracking Techniques for Infrared Bridge Image [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 1998, **27**(1): 4-8. [袁再华, 杨树谦. 桥梁红外图像的自动识别跟踪方法探讨[J]. 红外与激光工程, 1998, **18**(2): 127-134.]
- [5] Chen Haixin, Shen Zhenkang, Shen Jianjun. Method for Searching Bridge in IR Images [J]. *IEEA Aerospace and Electronics Systems Magazine*, 1998, **13**(7): 21-24.
- [6] Wang Ying, Zheng Qinfen. Recognition of Roads and Bridges in SAR Images [A]. *Radar Conference [C]*. Record of the IEEE 1995 International, 1995.
- [7] Vergnet R L, Saint-Marc P, Jezouin J L. A Generic Bridge Finder [A]. *Automated CAD-Based Vision [C]*. Workshop on Directions, 1991.
- [8] Xu Shengrong, Li Zhongxing. The Study on Bridge Recognition in Natural Scene [J]. *Journal of Zhejiang University, (Natural Science)*, 1995, **29**(3): 275-281. [徐胜荣, 李忠兴. 自然景物中桥梁目标识别方法的研究[J]. 浙江大学学报, 1995, **29**(3): 257-281.]
- [9] Wang Weiming, Xu Shengrong, Yao Qingdong, et al. An Image Segmentation Method Using Blackboard Models and its Application to Bridge Recognition [J]. *Chinese J. Computers*, 1995, **18**(2): 127-134. [王伟明, 徐胜荣, 姚庆栋等. 一种使用黑板模型实现的图像分割策略及在桥梁目标识别中的应用[J]. 计算机学报, 1995, **18**(2): 127-134.]
- [10] Mandal D P, Murthy C A, Pal S K. Analysis of IRS Imagery for Detecting Man-made Objects with a Multivalued Recognition System [J]. *Systems, Man, and Cybernetics - Part A: IEEE Transactions on*, 1996, **26**(2): 241-247.
- [11] Zhang Yujing. *Image Segmentation [M]*. Beijing: Science press, 2001.

章毓晋. 图像分割[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

[12] Zhang Yuanpeng, Dong Hai, Zhou Wenling. The Technology Funda-
ment of Computer Image Processing [M]. Beijing: Beijing University

Publisher, 1996. 张远鹏, 董海, 周文灵. 计算机图像处理技术
基础[M]. 北京: 北京大学出版社, 1996.

A Study of Bridge Recognition from Landsat TM Images

WU Hao, LIU Zheng-kai, ZHANG Rong

(*Information Processing Center, University of Science & Technology of China, Hefei 230027, China*)

Abstract: In this paper, a new technique to solve the problem of bridge recognition from TM images is presented. The algorithm takes advantage of the characteristics of TM images. It uses morphology operators to collect candidate bridge objects in the segmented images; then chain code is used to represent these candidates and computer their parameters; and in the last step we recognize those true bridges according to some knowledge and make the result more rational by post-processing. The algorithm works fast and can work automatically, even though some man intervention can make it more robust. The result is satisfying considering the low resolution of the TM images. Results on the TM images of three different areas are given to demonstrate the efficiency of our method.

Key words: TM images; object recognition; morphology; chain code