

文章编号: 1007-4619(2006)01-0082-08

空地数据链系统中图像自动剪切方法研究

冯 剑¹, 王 珂¹, 曲 涛²

(1. 吉林大学 通信工程学院, 吉林 长春 130025; 2. 空军驻沈阳地区军事代表室, 辽宁 沈阳 110031)

摘 要: 在空地数据链路通信中, 鉴于存在需要传输的各种机载图像传感器的数据量越来越大与已有的数据链带宽相对较小的矛盾, 为了提高数据链路在战场环境中的图像传输效率, 对于用 CCD 航空相机以中心投影方式获取的静态图像数据, 要求远程快速高保真地进行信息传递, 提出了一种机载自动数据缩减方案。该方案的关键步骤是图像的自动匹配与剪切, 它的实现算法利用了航拍相邻图像间具有强逻辑相关性的特点, 基于二维仿射变换模型, 使用通过傅里叶 梅林变换计算得到的图像匹配参数, 在没有检测到突现目标的情况下, 对相邻图像中的场景重叠部分进行自动剪切操作。自动剪切及镶嵌的试验结果表明, 本算法复杂度较低, 鲁棒性和可操作性较强, 能够有效缩减下行链路中待传输的数据量, 具有进一步实用化的潜力。

关键词: 空地数据链; 图像传输; 数据缩减; 自动剪切; 仿射变换; 傅里叶 梅林变换; 突现目标

中图分类号: TP702 **文献标识码:** A

An Image Automatic Clipping Method for
Air-ground Data Link SystemFENG Jian¹, WANG Ke¹, QU Tao²

(1. Communication Engineering School of Jilin University, Changchun 130025, China;

2. Unit of Air Force Representative in Shenyang District, Shenyang 110031, China)

Abstract In communications using air-ground data link, the data that comes from various kinds of airborne image sensors is becoming huger and huger, but the bandwidth of the data link is relatively small. In order to improve image transmission efficiency in battle field condition, there is a requirement for CCD aerial camera using central projection acquired images to be transmitted with high fidelity and speed over long distance. This paper proposed an airborne automatic data reduction scheme to solve the aforementioned problem. The key of this scheme is automatic image matching and clipping. The algorithm utilizes the strong logic relativity between adjacent aerophotograph and it is based on the model of 2-D affine transform. Under the conditions of detecting no highlight moving target, the algorithm performs automatic clipping on overlapping part of two adjacent images by the use of Fourier-Mellin transform. The experimental results of automatic clipping and mosaic show that the proposed algorithm is computationally efficient and very easy to realize. It is a robust algorithm and can effectively reduce data quantity of the downside data link. All these prove that the proposed algorithm has great potential of being applied to practical use.

Key words air-ground data link; image transmission; data reduction; automatic clipping; affine transform; Fourier-Mellin transform; highlight moving target

收稿日期: 2004-12-24; 修订日期: 2005-05-11

作者简介: 冯 剑 (1972—), 男, 汉族, 湖北省黄冈人, 工程师。1995年毕业于中国人民解放军空军工程学院, 并获飞机发动机专业学士学位。2002—2005年在吉林大学通信工程学院学习, 获得信号与信息处理专业硕士学位。目前主要从事图像自动配准、遥感影像分析、无人空地数据链等方面的研究。E-mail: fengjian@yeah.net

1 引 言

在现代的空地数据链路通信中,由于机载雷达、视频及 CCD 航空相机等图像传感器的广泛使用,要求传输的数据量越来越大,相对于有限的频带宽度,这个矛盾越来越明显。为了解决这个矛盾,未来的空地数据链有两个发展方向^[1],方向之一是更好地理解操作任务性能,设计出能有效利用可用的数据传输率的操作流程。本文就是在流程设计和关键算法上做了相应研究。

对于用 CCD 航空相机获取的静态图像数据,为了最大限度地保持目标信息,机上一般采用无损压缩方法。但当信息量大到无损压缩难以满足要求时,也考虑失真量较小的有损压缩,但是由于存在传输质量可接受的图像所需的比特数的上限,一旦将

“比特数/像素”降低到尽可能低的程度,就有必要考虑降低要传送的像素数。这就需要采用数据缩减。数据缩减是丢掉部分数据以降低数据传输率,这个处理过程中会丢失信息。但是,如果能有效地进行数据缩减,则能做到丢失的信息恰好是那些执行任务所不需要的信息,从而使得缩减处理对执行任务的效能没有影响或影响很小。

2 机载图像自动缩减方案

高空无人机(及装备图像传输子系统的载人侦察机等)在利用航空 CCD 照相机进行区域侦察的过程中,相邻两幅航拍图像的相关性非常大。这是因为在执行实际任务的过程中,拍摄的相邻图像间需要至少有大约 30% (甚至多达 55%—65%) 的航向重叠^[2],如图 1 中 (b) 所示。

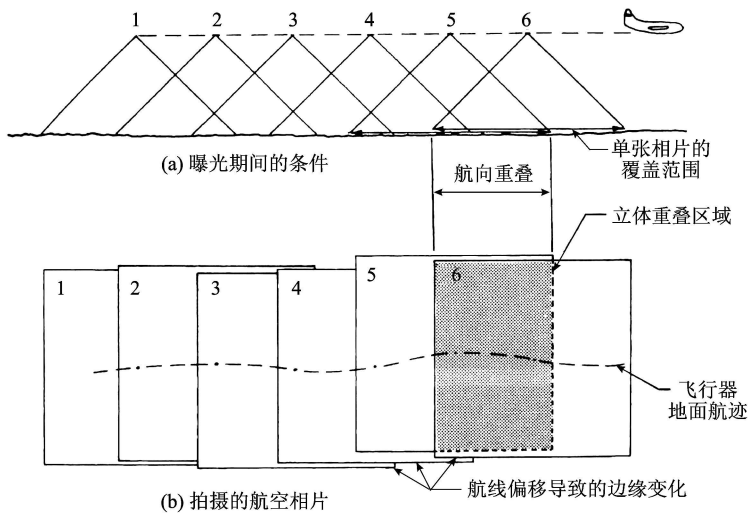


图 1 沿一条飞行带上的航片覆盖

Fig 1 Aero-photograph overlay along a flight route

由于不同的任务有不同的要求,在需要远程高速获取战场信息的任务中^[3],图像中这部分重叠场景下传的意义不大,所以,本文根据实际侦察任务的需要,提出一种机上快速、自动的图像缩减方案,对相邻图像中的场景重叠部分进行剪切处理,然后只需传输相邻图像的匹配参数和剪切后的图像到地面站即可。则必然相对减少了下行链路需要压缩传输的数据量,从而在总体上提升了空地数据链和遥感图像处理系统的效率。

用图像序列 A, B, C 等表示图像获取顺序,则图像自动缩减方案可示意如图 2。

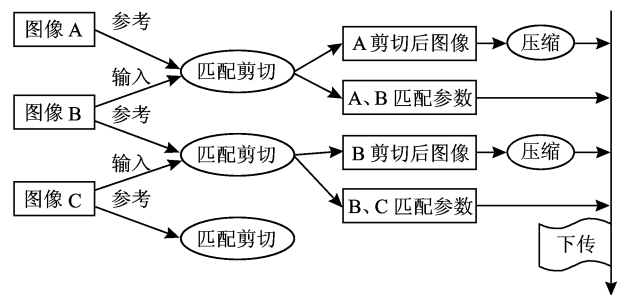


图 2 机载图像自动缩减方案

Fig 2 Image automatic reduction scheme on an airplane

像(即基准图像),图像 B 作为输入图像(即待匹配

图像),根据某种算法对图像 A 和 B 进行自行匹配,然后,根据匹配参数自动剪切参考图像 A,只下传 A 剪切后图像及匹配参数。当把图像 B 作为参考图像,图像 C 作为输入图像进行匹配后亦完成同样的自动剪切操作,然后下传,如此循环往复。

显然,在机载图像自动缩减方案中,最关键的步骤是自动匹配剪切。因此,下文基于仿射变换模型提出了适用的匹配剪切算法并进行了试验分析。

3 仿射变换模型及自动剪切算法

在军事航拍侦察时,载人侦察机一般飞行在 10km 以上,高空无人机则飞行在 20km 左右的大气平流层^[4]。如图 1 中 (a) 所示,CCD 传感器成像的投影方式为中心投影方式,飞机上的自动驾驶仪和航空相机的自动伺服机构也有保证 CCD 传感器垂直向下自动稳定地拍照的功能,基本不会发生俯仰、翻滚或偏移。因此,在一般情况下,自动匹配剪切算法使用二维仿射变换模型^[5]即可。平移、旋转和缩放可表示为

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta_x \\ \Delta_y \end{bmatrix} \quad (1)$$

(1) 式中 (x, y) 是输入图像中的点经变换后对应于参考图像中的 (x', y') , 而 k, θ 及 Δ_x 和 Δ_y 分别是输入图像对参考图像的比例因子、旋转因子和沿两个正交方向的平移量。

由 (1) 式可看出,只有当两幅图之间的 k, θ 及 Δ_x 和 Δ_y 完全正确时,对输入图像作仿射变换所得到的坐标值才能和参考图像相吻合,即得到与参考图像完全匹配的图像。在这里,把 k, θ 及 Δ_x 和 Δ_y 称作匹配参数,自适应求取匹配参数是实现自动剪切的重要步骤。

在基于图像特征的匹配技术^[6]中,类相关、互信息等基于区域的方法,一般计算量比较大,速度较慢,有小角度的旋转或小比例的缩放时匹配效果就不好。现在研究较多的是基于特征集的方法,有松弛法、不变量法等,但鲁棒性不够强,误匹配率较高时,亦需要人机交互,不能达到完全自动的要求。利用小波模极大值边缘点检测和归一化互相关匹配的金字塔算法是国际上的研究热点^[7,8],但算法较复杂,也有性能上的限制^[9]。经过分析比较,发现基于傅里叶-梅林变换的相位相关匹配法在复杂度、鲁棒性等方面的性能指标适于图像剪切算法的快速自动实现,因而在本文方案设计中被采用,自动剪切算

法可用流程示意如图 3。

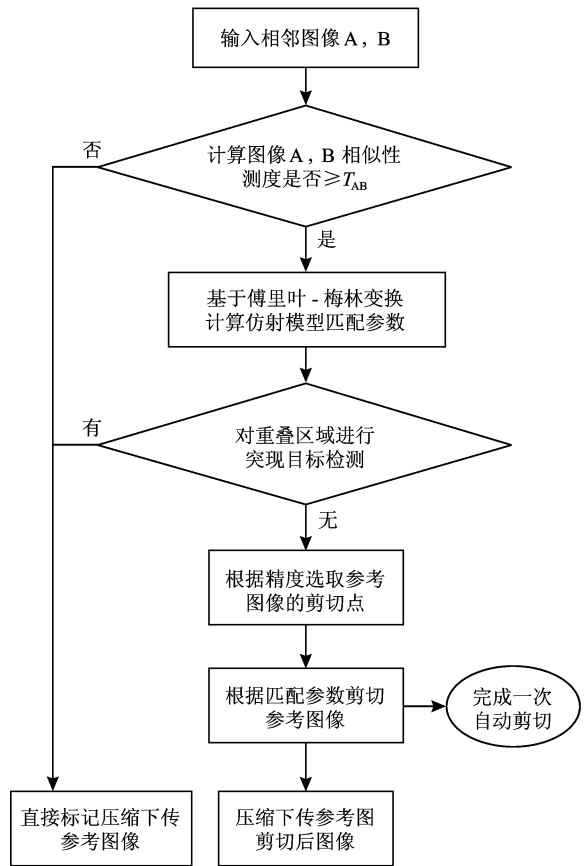


图 3 自动剪切算法流程图

Fig 3 Automatic clipping algorithm flow chart

图 3 第二步中 T_{AB} 为相似性测度的阈值,如果由于地形起伏的影响,或者航空平台偶尔发生较大的俯仰、翻滚或偏移而使相邻图像间出现重叠区域过小或无重叠区域的情况时,则本剪切算法通过相邻图像的相似性测度就能够自动判定是否进行后续匹配与剪切操作。但是,也可以考虑跳过这一步,在第三步的匹配计算时再进行比较判定。

4 傅里叶-梅林变换

对图像匹配来说,图 3 流程中所示傅里叶-梅林变换(即 Fourier-Mellin Transform, 缩写为 FMT)是一个有用的数学工具,因为变换后的频谱对旋转、平移和缩放是不变的^[10,11]。而且,在傅氏变换域还能获得一定程度的抵抗噪声的鲁棒性。还容易注意到,傅氏变换由于有各种成熟的提升算法和易于硬件实现,所以在算法实现上也具有独特的优势。在这里,FMT 的变换过程用方块图示意如图 4。

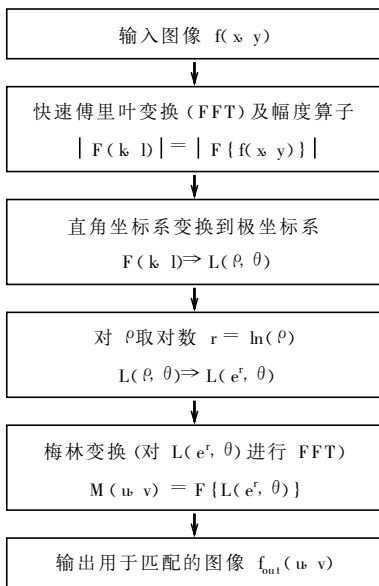


图 4 傅里叶 梅林变换方块图

Fig 4 Block diagram of the Fourier Mellin transform

傅里叶变换的幅度算子 $|F(k, l)|$ 对平移不变, 但是图像函数 $f(x, y)$ 的旋转会使 $|F(k, l)|$ 旋转相同的量, 并且, 由于傅里叶变换的缩放特性, $f(x, y)$ 乘上比例因子 α , 则 $|F(k, l)|$ 乘上 $1/\alpha$ 。然而, 将 $|F(k, l)|$ 由直角坐标 (k, l) 变换到对数-极坐标 (e^r, θ) , 则可以消去旋转和比例变化的影响, $f(x, y)$ 的旋转对应于变换后的角位移; 通过将频率变量转化为极坐标的对数比例形式, $f(x, y)$ 的二维比例缩放可以被转化为平移运动。经过图 4 的傅里叶-梅林变换步骤, 最后可以得到用于相位相关匹配的输出图像。

图 4 中第二个 FFT 是梅林变换, 下面进行具体说明^[12]。二维图像函数 $f(x, y)$ 的梅林变换 $M(u, v)$ 可表示为

$$M(u, v) = \iint f(x, y) x^{-ju-1} y^{-kv-1} dx dy, \quad \forall x, y > 0 \quad (2)$$

梅林变换是一种比例不变的变换。为了理解这种比例不变特性, 考虑图像函数 $f_x = f(ax, ay)$ 的梅林变换 $M_2(u, v)$ 可知

$$M_2(u, v) = a^{-ju-kv} M(u, v) \quad (3)$$

(3) 式中 $M(u, v)$ 是 $f(x, y)$ 的梅林变换, 显然有

$$|M_2(u, v)| = |M(u, v)| \quad (4)$$

另外, 梅林变换可以通过对图像函数 $f(x, y)$ 事先进行适当的比例变换来实现。为了使说明简单起见, 只考虑 (2) 式的一维变换形式

$$M(u) = \int_0^{\infty} f(x) x^{-ju-1} dx \quad (5)$$

在 (5) 式中引入新变量 $r = \ln(x)$, 则有 $x = e^r$, 因此, 经过变量代换可得

$$M(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(e^r) x^{-ju-1} dx \quad (6)$$

由于 $dx = e^r dr$ 于是 (6) 式可表示为

$$M(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(e^r) e^{-ju-1} dx \quad (7)$$

(7) 式表明将傅里叶变换与极坐标形式的梅林变换结合, 可以得到旋转、缩放和平移不变的形状匹配技术。这种方法利用了这些算子各自的不变特性, 傅里叶变换后可以获得平移参数, 然后在对数-极坐标空间中, 将旋转和比例 (尺度) 缩放因子转化为平移的形式, 通过相位相关可以得到旋转、缩放等参数。同时, FMT 也使相位相关方法的速度得到了改善。

在文献 [13] 和 [14] 的实验中, 最大缩放比例分别达到了 1.8 和 2.0。有关傅里叶 梅林变换的算法复杂度分析, 以及实验估计误差分析可参考文献 [13]。

5 突现目标检测

为了保证图像数据缩减丢失的信息恰好是那些执行任务所不需要的信息, 基于 FMT 得到两幅相邻图像的匹配参数后, 需要在相邻图像的重叠区域中进行突现目标检测。

在同一个直角坐标系下, 先完成两幅相邻图像的位置匹配, 然后使用差分法^[12]对突现目标进行检测。图像差运算定义为

$$f_d(I, t_1, t_2) = f(I, t_2) - f(I, t_1) \quad (8)$$

(8) 式中 f_d 是差分图像, $I = (x, y)$ 表示直角坐标值。

对 (8) 式的差分结果进行阈值处理, 得到一个新的输出图像, 即

$$f_{out}(I, t_1, t_2) = \begin{cases} f(I, t_2) & (f_d(I, t_1, t_2) \geq T_d) \\ 0 & (\text{其他}) \end{cases} \quad (9)$$

(9) 式中, T_d 为适当的阈值, 它能使输出图像 $f_{out}(I, t_1, t_2)$ 只保留差分图像 $f_d(I, t_1, t_2)$ 中具有显著变化的区域。

最后, 通过给定的另一个经验阈值 T_0 比较输出图像中具有显著变化区域的面积, 即非 0 像素的个数, 从而可以判断是否出现突现目标。如果发现突现目标则不做图像剪切操作, 仅对图像标记后直接压缩下传, 可以更快地为指挥决策提供参考信息。若没有检测到突现目标则进行图像自动剪切处理。

6 自动选取剪切点及剪切精度控制

一般认为航片边部变形大,会造成拼接后两幅图像地物错位,最佳方法是沿重叠区域的中线进行剪切。但是,在高空中心投影的遥感图像获取方式下,中心投影的图像本身与地面景物可持相似关系,通常用作基准图像。因此,为了提高解决问题的灵活性,本方案中使用的剪切点选取方法都加入了分块大小控制环节,可以根据实际航拍获取的图像情况,以及实际图像在地面需要的拼接对齐度的要求,方便地调整剪切点位置参数的选取。

本剪切算法是从待剪切图像的局部分块中选择剪切起始点的。首先,根据实际剪切精度的要求,控制分块的大小,将参考图像分成 $p \times q$ 块。通常块数越多,得到的剪切点也越多,剪切的精度就越高。但是,为了提高算法速度,不进行全局运算,我们先选择局部分块,然后在局部分块内提取剪切点。一般可以考虑提取块内角点和使用分块顶点两种方法。

6.1 分块角点法

角点是图像的一种普遍局部特征,特别是对于遥感图像,细节十分丰富,角点较多,在局部提取角点作为剪切点是一种简单快速的办法。

在已有的角点提取算法中,Harris角点检测器具有优良特性^[15]。该方法使用图像的一阶差分,计算每个像素处的平均平方梯度矩阵,通过特征值分析给出角点响应。而且,该方法可以隐式地使用滑动窗口,适合矩阵运算,效率很高。本算法使用角点邻域内的角点支持强度作为判断角点是否为优胜角点的依据之一,在每一块中,只保留一个角点作为剪切点。提取角点即计算下式

$$\det(M) - K(\text{trace}(M))^2 \quad K = 0.04 \quad (10)$$

的局部极大值。(10)式中

$$M = S_0 \begin{bmatrix} \sum \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^2 & \sum \left[\frac{\partial}{\partial x} \right] \left[\frac{\partial}{\partial y} \right] \\ \sum \left[\frac{\partial}{\partial x} \right] \left[\frac{\partial}{\partial y} \right] & \sum \left(\frac{\partial}{\partial y} \right)^2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

(11)式中 S_0 为高斯滤波器, $I(x, y)$ 表示图像亮度的灰度级。

在真实获取的遥感影像中,角点的分布并不均匀,分块大小选择不当,可能导致分块中不包含任何角点。虽然出现这种情况的概率很小,但也需要判

断修正。本算法中加入了自适应机制,可以自动地向重叠区域的中心方向重新选择分块,再次进行剪切点提取。

6.2 分块顶点法

更一般地,根据匹配参数,在剪切精度要求下,可以直接用分块的顶点作为剪切点。

分块顶点法是在考虑缩放及相对平移方向的情况下,对参考图像的分块进行选择,一般是根据平移参数,将平移值作为像素位置的比较值,选择包含这个平移值所在位置像素的那个分块作为中心块,最后通过旋转参数确定其八邻域块中的一个外顶点作为剪切的起始点。可用图 5 表示。

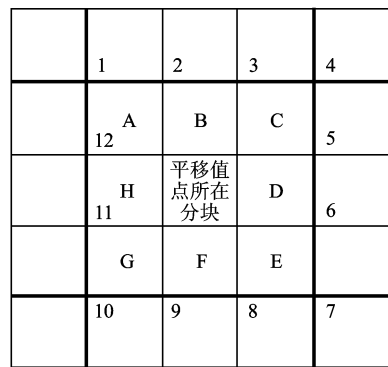


图 5 分块顶点法示意图

Fig 5 Sketch diagram of block vertexes method

利用平移值点确定一个块,图 5 中用中心分块表示。通过对旋转参数的比较选取中心块的八个邻域块中的一个外顶点作为剪切起始点,即图 5 中从 A-H 八个块的顶点 1-12 中选择一个顶点作为剪切点,选择时以第 1, 4, 7, 10 四个顶点为主。

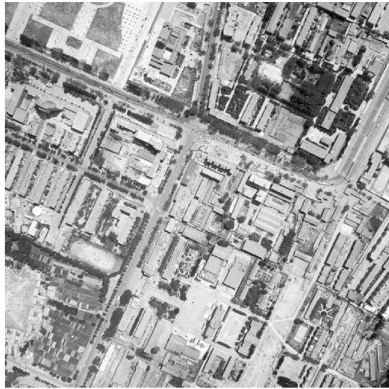
7 参考图像的自动剪切

如前所述,通过傅里叶-梅林变换及相位相关运算得到平移、旋转和缩放等参数后,根据剪切精度要求选取对参考图像进行剪切的起始点。

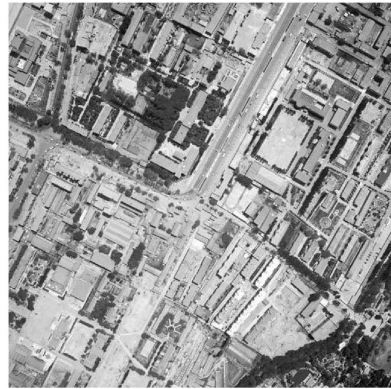
然后,从剪切点根据旋转参数的旋转方向引出剪切线,算法通过剪切线可以判定出包含在待剪切区域中的像素位置。由于图像在存储和运算时一般用矩阵表示,所以,在本自动剪切算法中,仅对待剪切区域中的像素赋表白色的灰度值(在 Matlab 中灰度值等于 255 时表示白色),而不改变图像矩阵的大小,即完成了参考图像的剪切操作。

8 实验分析

本文使用 Matlab6.5 环境编写自动剪切算法程序,在配置为 P4 2.4G 主频、DDR256M 内存、



(a) A 参考图像



(b) B 输入图像

图 6 相邻两幅航拍图像 A、B

Fig 6 Two adjacent aerophotograph A and B

首先,对这两幅图像进行相似度检测,归一化测度阈值 T_{AB} 设定为 0.3,经计算比较,图像 A、B 相似测度值大于 0.3。然后进行傅里叶 梅林变换,得到输入图像对参考图像的匹配参数。平移方向以显示屏左上角为直角坐标原点,横轴向右为正方向,纵轴向下为正方向;旋转方向以顺时针为正,结果如表 1。

表 1 输入图像相对参考图像的匹配参数

Table 1 Matching parameter of input image to reference image

FMT 变换中使用插值法	旋转角度 (顺时针)	缩放 (比例)	平移像素 (y×x)
最近邻插值	358.5938°	0.9949	-20×201

为了降低算法复杂度,也为了减少人为误差,提高信息的真实性,通过下行链路实际传输的图像一般都是参考图像剪切后的原图,而不是进行插值重采样后的图像。在这里,匹配显示的参考图像也使用的是原图像 A。在自动获得如表 1 所示的匹配参数时,图像 A、B 的匹配效果如图 7。



图 7 基于傅里叶 梅林变换的图像匹配

Fig 7 Two images matching based on Fourier Mellin transform

其次,对图像 A、B 进行突现目标检测。非 0 像素个数阈值 T_0 本文设定为 40,没有检测到突现目标。

再次,对参考图像 A 进行分块,分块大小是 8×8 ,根据匹配参数选择局部分块,使用分块角点法得到剪切点,坐标为 (207, 484),用十字加方框标记,

Windows2000 操作系统的 PC 机上进行算法测试。如图 6,图像 A 和 B 是两幅以中心投影方式获取的相邻航片,大小同为: 512×512 。其中,图像 A 作为参考图像,图像 B 作为输入图像。

如图 8。本实验为了验证自动剪切算法的性能,使用的分块较小,并且选择了重叠区域边部的分块,实际工程中可以灵活控制参数的选取。然后,根据旋转参数从剪切点开始对参考图像进行自动划线,用白线亦示意如图 8。

图 3 所示算法第六步,根据划线判定像素位置,对属于参考图像 A 中的场景重叠区域像素进行本文前述自动剪切操作,用 A' 表示 A 剪切后图像,剪切后效果如图 9。

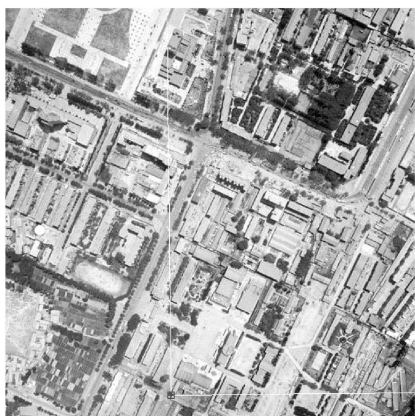


图 8 基于旋转参数从剪切点自动划线

Fig 8 Automatic draw line based on rotation parameter



图 9 图像 A' 的剪切效果

Fig 9 Clipped performance of image A'



图 10 图像 B 与图像 A' 的镶嵌效果

Fig 10 Mosaic performance of image A' and image B

对其他几组 512×512 大小的相邻航片在相同条件下进行上述试验,一般完成一次自动剪切操作的时间为 2—3 s。

为了验证方法的有效性,还需要考虑参考图像剪切后再拼接得到的图像。在试验的最后,根据表 1 所示的仿射变换参数,对输入图像 B 进行插值、重采样,然后与图像 A 镶嵌,对镶嵌图的拼接区域灰度均衡后效果如图 10。

9 结 论

本文提出了一种自动图像数据缩减方案,以期适应现代空地数据链(尤其是远程数据链^[1])的发展方向,从而探索出一条新的任务操作流程设计途径。但是,该方案涉及的问题较多,文中仅就最紧要的自动匹配与剪切方法做了研究,试验结果表明,针对高空快速获取战场信息的航拍侦察任务,基于傅里叶梅林变换的自动剪切算法不但具有方法的有效性和相当的鲁棒性,可操作性也较强,显示了进一步实用化的潜力。在其他有类似任务的传输平台上也可以嵌入此自动剪切算法,一样能够有效地缩减待传输的数据量,提高设备的使用效率,更快地为研究、决策提供信息支持。

值得指出的是,自动剪切算法中的图像匹配和突现目标检测没有给出和其他流行算法的对比试验,可再借鉴一些提升或改进方法进行深入探讨。还有,本文较少涉及直接标记下传的压缩算法和完成自动剪切后图像的压缩算法,如图 3 中算法流程图底部的两个方框所示,关于研制适合本文任务的这两种后续压缩处理的专用算法,也是有意义的流程设计工作之一,有待参考如具有感兴趣区压缩等优势的高效算法进行分析研究。

致 谢 在课题调研阶段,中国华博实业有限公司沈阳星火电子研究所的李连庆教授给予了悉心的指导。在算法设计和论文写作过程中,海军大连舰艇学院的杨常清博士和王孝通教授提出了许多宝贵的意见。作者深表感谢!

参 考 文 献 (References)

- [1] Paul G Fahlstrom, Thomas J Gleason UAV System Tutorial (Second Edition) [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003. [Paul G Fahlstrom, Thomas J Gleason 著. 吴汉平, 施自胜, 丁亚非等译. 无人机系统导论(第二版) [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.]
- [2] Thomas M Lillesand, Ralph W Kiefer Remote Sensing and Image Interpretation (Fourth Edition) [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003. [Thomas M Lillesand,

- Ralph W Kiefer著. 彭望禄, 余先川, 周涛等译. 遥感与图像解译(第四版)[M]. 北京:电子工业出版社, 2003.]
- [3] Air-ground Image Transmission System of Huabo Industrial Co., Ltd. China[EB/OL]. Web page: <http://www.100800.com/hb/dk.htm>. [中国华博实业有限公司空地图像传输系统[EB/OL]. 网址为 <http://www.100800.com/hb/dk.htm>]
- [4] Zhu S L, Zhang Z M. Obtainment and Analysis of Remote Sensing Image[M]. Beijing: Science Press, 2000. [朱述龙, 张占睦. 遥感图像获取与分析[M]. 北京: 科学出版社, 2000.]
- [5] Zeng W F, Li S S, Wang J A. Translation, Rotation and Scaling Changes in Image Registration Based Affine Transformation Model[J]. Infrared and Laser Engineering, 2001, 30(1): 18-20. [曾文锋, 李树山, 王江安. 基于仿射变换模型的图像配准中的平移、旋转和缩放[J]. 红外和激光工程, 2001, 30(1): 18-20.]
- [6] Barbara Zitova, Jan Flusser. Image Registration Methods: a Survey[J]. Image and Vision Computing, 2003, 21: 977-1000.
- [7] Niu Y S, Ni G Q. Review on Techniques for Multiple Sensor Images Automated Registration[J]. Optical Technology, 1999, 1(1): 16-18. [钮永胜, 倪国强. 多传感器图像自动配准技术研究[J]. 光学技术, 1999, 1(1): 16-18.]
- [8] J Le Moigne. Towards an Intercomparison of Automated Registration Algorithms for Multiple Source Remote Sensing Data[A]. Proceeding of Image Registration Workshop (IRW 97) [C]. NASA Goddard Space Flight Center, MD, 1997, 20-21: 307-316.
- [9] Dik Robinson, Peyman Milanfar. Fundamental Performance Limits in Image Registration[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(9): 1185-1199.
- [10] Sheng Y L, et al. Orthogonal Fourier Mellin Moments for Invariant Pattern Recognition[J]. Opt Soc Am. A, 1994, 11: 1748-1757.
- [11] Wu L, Cox B, Loom, Lui M. Rotation, Scale and Translation Resilient Watermarking for Images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(5): 767-782.
- [12] Zheng N N. Computer Vision and Pattern Recognition[M]. National Defence Industry Press, 1998. [郑南宁. 计算机视觉与模式识别[M]. 国防工业出版社, 1998.]
- [13] B. Srinivasa Reddy, B. N. Chatterji. An FFT-Based Technique for Translation, Rotation, and Scale-Invariant Image Registration[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1996, 5(8): 1266-1271.
- [14] Chen Q, DeFrise M, Deconinck F. Symmetric Phase-only Matched Filtering of Fourier Mellin Transforms for Image Registration and Recognition[J]. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1994, 16(12): 1156-1168.
- [15] Tissainayagam P, Suter D. Assessing the Performance of Corner Detectors for Point Feature Tracking Applications[J]. Image and Vision Computing, 2004, 22: 663-679.