

文章编号: 1007-4619 (2001) 03-0177-06

“航天清华一号”微小卫星及其图像处理

尤 政, 戴 汨

(清华大学 宇航技术研究中心, 北京 100084)

摘 要: 介绍了“航天清华一号”微小卫星的研究背景和主要技术指标。讨论了星上图像智能处理的方案, 包括云检测和图像压缩两个部分, 并介绍了地面的图像处理工作。

关键词: 云检测; 图像压缩; 几何矫正

中图分类号: TP702/TP751.1 **文献标识码:** A

1 “航天清华一号”微小卫星简介

2000年6月28日下午北京时间6点37分,“航天清华一号”微型卫星顺利升空并正确进入700 km太阳同步轨道。29日凌晨,当卫星首次飞越北京时,清华大学卫星地面站成功实现对“航天清华一号”的信号捕获,之后又顺利进行了软件上载等工作。目前卫星运行状态良好,基本完成姿态调整并获得了大量遥感图像,相关调试工作已经完成。

1.1 研究背景

“航天清华一号”是清华大学、中国航天机电集团公司与英国萨瑞大学联合研制的微小卫星,其特点是重量轻(50 kg)、体积小(0.07 m^3)、研制周期短(约一年)、成本低、功能密度高,体现了微小型航天器技术向“更快、更好、更省”发展的趋势。“航天清华一号”携有 CCD 相机、数据存储转发通讯和无线电信号处理与传输试验等有效载荷,将进行多种在轨试验。

微型卫星是紧随着以微米纳米技术的发展而出现的新型卫星,特点是技术新、研制快(1年左右)、费用低(数千万人民币),改变了以往航天器体重大、成本高、研制周期长的状况,且可以更方便地以分布式的星座来执行空间任务,大大提高对地遥感的时间分辨率及战时的生存能力,因而在国际上的发展速度越来越快、应用越来越广。

“航天清华一号”微型卫星的将主要应用于:

遥感: 微型卫星可对地进行光学成像观测,光学分辨率达 40 m,扫描宽度达 40 km,可用于环境、资源和灾害监测,军事侦察,水文、地理勘查和气象观测等,如多星组网可增加对特定目标的回访次数。

通讯: 单颗低轨微小卫星可进行存储转发式的通讯,也可进行定时定点的实时通讯;如多星组网可提供全球实时通讯,特别适合于无地面网络地区。

科学实验: 进行电磁波传输和干扰测试等科学研究。

1.2 主要技术指标

“航天清华一号”微型卫星除具备以上的特点外,还具有发射入轨后再上载软件的功能,可随时通过上载新的软件改变卫星的任务,并修正高能粒子对芯片辐射而导致的程序突变问题。

“航天清华一号”微型卫星有别于其它微型卫星(包括英国萨瑞大学以往研制的微小卫星)的显著创新主要体现在:

(1) 在 50 kg 量级卫星上进行三轴稳定姿控与 GPS 定轨技术实验;

(2) 超轻型 40 m 分辨率三谱段相机,斜置 19° , 可完成 400 km 宽视场寻的。

(3) 宽频域(220—400 MHz)、大动态范围的数据接收、处理和传输实验;

“航天清华一号”的主要技术参数如表 1:

收稿日期: 2000-09-11; 修订日期: 2000-10-10

作者简介: 尤政(1962—), 男, 湖南湘潭人, 1985年毕业于华中理工大学, 1990年获博士学位。近年来主要从事精密工程领域, 特别是微米纳米技术与微小卫星技术的研究。发表论文 110 多篇。

表 1 “航天清华一号”星体主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of “Hangtian Tsinghua-1”

micro-satellite	
星体参数	
外形尺寸	330 mm×330 mm×640 mm
质量	约 50 kg
主要子系统参数	
基本姿态控制	磁力矩器协助三个反作用轮实现三轴稳定控制,重力梯度杆(6 m)用作天底指向控制备份,三轴稳定控制精度优于 0.3°,并可实现±19°大范围机动
电源	4 块砷化镓电池板固定于星体四周,35W/板,共计 50W(峰值)、20W(平均);镍铬电池 7 安时
星上计算机	两台星上计算机(80C386/80C186), 128M RAM, 两台图像处理计算机(T805), 32M RAM
星上数据网络	双网络高速 CAN 总线(1Mbps),超高速 ENETHERNET 网络(10Mbps),并能实现在轨上载实时多任务操作系统及应用软件
对地通信	9.6kbps VHF 数据上行, 9.6-76.8kbps UHF 数据下行
有效载荷	
数字式存储—转发器	功能由卫星平台的星上计算机软件提供,进行通讯试验
CCD 照相机	40 m 地面分辨率,3 谱段,19°侧视
GPS 接收机	用于轨道定位,精度 10 m,时间分辨率优于 1 ms
DSP 通信试验载荷	进行宽带电波分析试验

2 卫星图像处理

图像处理是遥感技术中非常重要的一个环节,从空间获得的地物原始信息变成人们需要的信息,必须进行大量的加工、整理、分类等工作。

卫星图像处理技术可以分成两种基本不同的方法。第一种包括:图像定量恢复以校正降质和去除噪声、图像配准以便进行重叠和嵌拼成图、图像特征的主观增强以便判释。第二种是关于从图像中提取信息,这种图像分析包括物体的检测、把图像分割成不同的区域并决定这些区域之间的结构关系。

“航天清华一号”微小卫星图像处理包括星上图像处理和地面图像处理两个部分。

2.1 星上图像处理

微小卫星虽然具有响应速度快、灵活性好的优点,但受其体积、重量的限制以及功耗、复杂度、实时性

的考虑,星上智能图像处理系统要求简单、快速、高效。

“航天清华一号”微小卫星星上图像智能处理系统采用云检测技术,去除被云污染的地物图像,并选用一种简单有效的压缩方法对图像进行压缩,大大减小图像的数据量,减轻传输的压力。

2.1.1 云检测

“航天清华一号”微小卫星有绿(0.52-0.6 μm)、红(0.63-0.69 μm)、近红外(0.76-0.94 μm)三个波段。由于没有热红外波段,云检测的方法只能基于灰度信息的利用。同时,由于三个波段的成像是由三个相机分别完成的,相机的位置差异造成三个波段的图像之间的几何偏差,从而给几个波段的信息的综合利用带来了困难,如描述地物在红波段和近红外波段的反射差异的归一化差异指数 ND ($\text{ND} = (\text{IR} - \text{RED}) / (\text{IR} + \text{RED})$)的利用等,因此检测的方法只能限于某一波段灰度信息的利用。

云在可见光和近红外波段的具有较高的反射率,而其他地物的反射率明显偏低,如水体约为 10%,植物低于 40%,一般建筑屋顶约为 20%^[7],在遥感图像上表现为亮度的较大差异,因此可采用灰度阈值法检测。考虑到红波段成像比较清晰,因此可以选择这一波段的数据进行处理。在这一波段,雪和云具有相似的反射特性,要区分两者,必须采用 1.55-1.75 μm 波段的数据,由于卫星任务具有针对性,所以不对两者进行区分。

灰度阈值检测的方法是基于对图像灰度直方图的分析。直方图上的峰代表图像上的主要灰度级,谷代表次要的灰度级。对于简单的图像,目标对象和背景是相对恒定的灰度级,但是两者的灰度级不同,在灰度图上表现为间隔的峰。其他区域由两者之间灰度级组成,数目相对较少,表现为谷。以低谷处所对应的灰度值为界,就可以区分出目标物体和背景。实际图像的直方图常常是多峰的、不平滑,峰谷有时不分明,这给阈值选取带来了困难。为了能够更好地选取域值,有必要利用图像自身的一些性质来改善直方图。

首先可采用梯度加权的方法,计算每一点的差分算子,值越低的点所给的权重越大,这样对于灰度值变化平缓的区域,其差分值低,所给的权重就大,而那些纹理较复杂、灰度变化大的点差分值高,所给权重小,整体加权的效果使得直方图的峰更锐更高,谷更低,从而更易于寻找阈值。

然后对直方图进行平滑,平滑的目的是在保留

原图基本变化的基础上消除小峰的跳动。平滑的方法通常进行滤波,滤波窗口的选择是关键,窗口太小不足以消除跳动,太大会改变原直方图的基本变化特性,为此采用空间域自动平滑的方法。这种方法作出原直方图的差分曲线,找出过零点,统计出各小峰宽度,作出峰宽度的直方图,从而确定出合适的滤波窗口尺寸,然后采用加权的滤波函数进行滤波,不仅平滑了图像,而且改善了峰谷的性质^[8]。

在平滑后的直方图上,利用下面的准则判断出是否存在代表云的灰度区域:

- (1) 其应具有一定的灰度范围;
- (2) 其应具有一定的面积;
- (3) 其应具有较高的灰度级。

通过实验可以获得很好的控制系数来完善这三条准则,所确定的区域的灰度范围左限即为所选取的阈值。利用灰度阈值法检测的一幅遥感图像结果如图1,图2。



图1 有云的遥感图

Fig. 1 Satellite image with cloud



(C)1994-图2 分割出的云

Fig. 2 Cloud that has been separated

2.1.2 图像压缩

为了最大限度的保存信息,星上压缩宜采用无损压缩,但由于遥感图像的局部相关性比较小,所以无损压缩的压缩比一般不超过1.5:1,压缩效果不明显。有损压缩会丢失一些信息,对于遥感应用来说,这些信息可能是很重要的。目前发展较快的近无损压缩是两者的一个折衷,与无损压缩相比,它的压缩比可达5:1,与有损压缩相比,它用最大误差取代均方差作为衡量丢失信息的尺度,在最大误差限制下进行压缩,使恢复的图像与原始图像基本相同。

图像近无损压缩目前广泛的采用线性变换,如JPEG采用了离散余弦变换(DCT),ZEROTREE和SHIHT采用了离散小波变换(DWT)。另一种容易实现的方法是均方预测压缩,这种方法起源于维纳的最佳线性预测理论,通常称为微分脉冲编码调制(DPCM)。

变换压缩和预测压缩各有优缺点,总体上讲,变换压缩由于综合实现了全局和局域去相关,因此可以达到更高的压缩倍数;高倍压缩时,恢复图像的峰值信噪比明显高于预测压缩;但是其算法复杂,计算量大,图像压缩速度慢,尤其在低倍压缩时,表现尤其明显。

但是对于遥感图像来说,它包含较多的类似于阶跃的灰度跳变型的纹理特征,局部的相关性较差,它既不可能用有限个余弦波的加权和来准确的逼近,也不可能由相邻像素作出比较准确的预测,目前研究的比较多的是小波变换的方法,试图使用简单的小波基或使用较小的小波变换块来提高压缩的速度^[9-13]。

“航天清华一号”卫星采用一种简单有效的压缩算法 a-MPBTC (Adaptive Moment Preserving Block Truncation Coding)。它由SSTL提出,并将其实际用于PoSAT-1微小卫星星上图像压缩,获得了满意的效果。国内的学者也进行了类似这方面的研究,与常用的线性变换方法相比较(基于DCT的基本JPEG及基于DWT的SPIHT等),a-MPBTC有明显的优势:

(1) a-MPBTC方法对各种图像的压缩倍数略高于其他两种,约为4:1;

(2) a-MPBTC方法恢复图像的峰值信噪比优于基于DCT变换的JPEG压缩,略低于基于DWT变换的SPIHT压缩;

(3) a-MPBTC方法的压缩速度约为JPEG压缩的3倍,远远高于SPIHT压缩。

选取一幅图像 50×50 pixels大小区域压缩,解压

后放大 7 倍后与原图比较,结果如图 3,图 4。



图 3 待压缩的原图

Fig. 3 Image to be compressed



图 4 经 a-MPBTC 算法压缩后的图

Fig. 4 The decompressed image after a-MPBTC compression

2.1.3 硬件系统

星上图像处理采用 Transputer。选择 Transputer 是因为其数据处理能力强,逻辑结构简单,处理能力扩充性好,并且执行过太空任务。

“航天清华一号”微小卫星的 Transputer 模块由两个 IMS-T805-G20s Transputer 组成(如图 5),T1 负责图像处理,T0 负责 GPS 和星传感器数据处理,必要的情况下,T0 也可以协同 T1 进行图像处理。T1 具有标准 T805 Transputer 基本特点,包括 4 条 10/20Mbps 通信链、时钟、外部存储器接口、事件/中断控制器、DMA 控制器和 64 位浮点协处理器。其内部时钟为 20 MHz,由于 Transputer 的内部 RAM 易受空间辐射的影响,所以在星上一般只使用外部 RAM。

当地面成像系统(EIS)获得一幅图像,它被送到 Transputer 模块进行处理和压缩,然后通过数据总线(DASH)传送到星上计算机(OBC)等待下传到地面。

2.2 地面图像处理

地面图像处理系统的硬件是普通的 PC 机,软件采用是 ERDAS 公司的 Imagine 8.4。

地面得到的图像是同一景物的红外、红、绿三个波段的图像,初期地面处理的工作主要是进行图像的合成,涉及到噪声处理和图像重叠两个方面。

2.2.1 噪声处理

噪声是对图像的干扰,若噪声严重到使图像降质,那么在进行图像增强、图像配准和图像分析等处理时都将受到不良的影响。

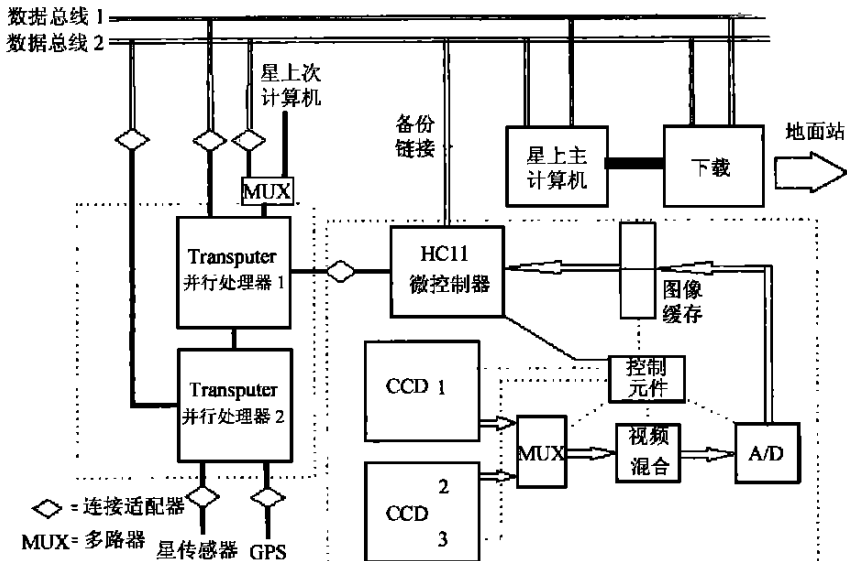


图 5 星上图像处理系统简图

Fig. 5 Simplified diagram of on-board image processing system

在遥感图像中,噪声通常有以下几种类型:

随机噪声:图像中像元与像元之间灰度统计变化表示随机噪声的特征。为了简化数学模型,假设随机噪声与图像信号大小无关。如果像元与像元之间的噪声是不相关的,用低通滤波器减少噪声,其缺点使随着噪声的减小,图像也被平滑了。

孤立噪声:由于数据传输丢失信息,检测器的突然饱和或其他间歇性的电方面的问题引起的噪声,在数字图像中会产生坏的像元和线条。被这种噪声影响的像元的灰度级常常是零(这说明丢失了信息),或者有一个最大的灰度级(这说明是饱和的原因),称为尖峰噪声。零灰度的噪声可以用邻近像元的灰度或灰度插值去代替。如果是尖峰噪声,通常用中值滤波来滤除尖峰。

条带干扰:条带干扰是传感器或其他器件的不稳定产生的,具有一定的周期性和缓慢变化的明暗交替特征。采用频域滤波可以解决。

一幅图像经过噪声处理以后,图像的质量可以得到明显的改善,图6和图7是两幅噪声处理前后的图像。



图6 噪声处理前

Fig. 6 Image before noise removal

2.2.2 图像重叠

图像重叠是把不同波段、不同时间、不同传感器获得的图像进行空域叠加,以便对某些遥感图像加以分析。例如为提高土地分类的精度,需要把多波段和多时相得到的图像与其他传感器的图像相重叠。变化不定的几何失真和大气失真使得对应的各幅图像不能准确的重叠,所以图像重叠是对各幅图像进行几何校正和大气校正并变换到一个公共的参考空间。重叠的方法有两种:其一是在重叠时,以一幅图像为基准,而把另一幅进行几何校正、大气校正和配准。其二是选择一种地图投影法,将所有图

像对公共基准地图进行配准。

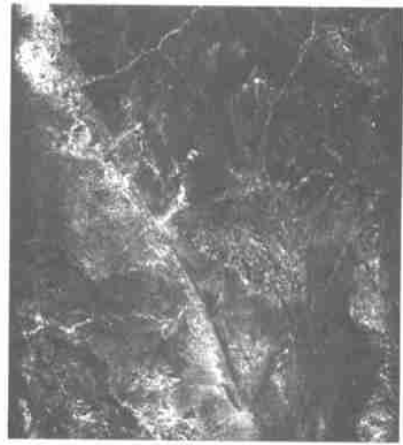


图7 噪声处理后

Fig. 7 Image after noise removal

我们采用第一种方法对“航天清华一号”卫星的3个波段的图像进行重叠,以其中一个波段的图像为基准,对其他两幅进行几何校正。

由于卫星3个波段的误差主要是由星上3个相机的相对位置的偏差造成的,所以属于系统误差,可以通过建立模型的方法来校正,从而提高重叠的速度。图版I图8是采用模型方法合成的图像。

参考文献 (References)

- [1] Wan Faguan, Liu Jian. Digital Processing of Remote Sensing Image [M]. Wuhan: Huazhong Institute of Technology Press, 1990. [万发贯, 柳健. 遥感图像数字处理[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990.]
- [2] Moik J G. Digital Processing of Remote Sensing Image [M]. Beijing: Meteorology Press, 1987. [J. G. 莫伊克. 遥感图像的数字处理[M]. 北京: 气象出版社, 1987.]
- [3] Dongseok Shin, John K Pollard. Cloud detection from ATSR images using a segmentation techniques [J]. SPIE, 1995, 2578: 46-52.
- [4] Li Zhirong, Meodonnell M J. Using dual thresholds for cloud and mosaicking [J]. Int. J. Remote sensing, 1986, 7(10): 1349-1358.
- [5] Joseph Shou-Pyng Shu. Cloud shadow removal from aerial photographs [J]. Pattern Recognition, 1990, 23(6): 647-656.
- [6] Saunders R W. An automated scheme for the removal of cloud contamination from AVHRR radiances over western Europe [J]. Int. J. Remote sensing, 1986, 7(7): 867-886.
- [7] Ning Shunian, Lü Songtang. Processing and Application of Remote Sensing Image [M]. Beijing: Seismology Press, 1995. [宁书年, 吕松棠. 遥感图像处理与应用[M]. 北京: 地震出版社, 1995.]
- [8] Wang Runsheng. Image Comprehension [M]. Changsha: National University of Defense Technology Press, 1995. [王润生. 图像理解[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1995.]
- [9] Jia Xiaoguang, Wang Lei. The New Development of Compression Technique for Astronautic Remote Sensing Image [J]. China Journal of Image and Graphics, 1997, 10(10): 677-700. [贾晓光, 王

- 雷· 航天遥感图像压缩技术的最新发展[J]. 中国图像图形学报, 1997, **10**(10): 677—700.]
- [10] Li Qiang, Wang Zhengzhi. A Compression Method for Remote Sensing Image [J]. *Journal of Remote Sensing*, 1999, **2**(1), 31—37. [李强, 王正志. 基于小波理论的遥感图像高保真压缩方法研究[J]. 遥感学报, 1999, **2**(1), 31—37.]
- [11] Zhou Xiaokuan, Zhang Jing. Remote Sensing Image Compression Based on the Multi-Mode Adaptive Quantification [J]. *China Journal of Image and Graphics*, 1997, **5**(2,3), 99—102. [周孝宽, 张京. 遥感图像多模式自适应压缩法[J]. 中国图像图形学报, 1997, **5**(2,3), 99—102.]
- [12] Zhang Rong, Liu Zhengkai. A Near-lossless Compression Technique of Multi-spectral Image Data [J]. *Journal of Image and Graphics*, 1998, **10**(10), 823—826. [张荣, 刘政凯. 一种多光谱遥感图像的近无损压缩方法[J]. 中国图像图形学报, 1998, **10**(10), 823—826.]
- [13] Cheng Zijing, Zhou Xiaokuan. Development of the Prototype of High Speed Image compression Device for Satellite [J]. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 1999, **12**(6), 743—746. [程子敬, 周孝宽. 星载高速图像数据压缩原理样机的研制[J]. 北京航空航天大学学报, 1999, **12**(6), 743—746.]

“Hangtian Tsinghua-1” Micro-Satellite and Its Image Processing

YOU Zheng, DAI Mi

(Tsinghua Space Center, Beijing 100084, China)

Abstract: In this paper, we introduce the research background and key technical parameters of “Hangtian Tsinghua-1” micro-satellite. The scheme of on-board image intelligent processing, which includes cloud detection and image compression, is discussed in detail. Cloud detection is based on the cloud’s brightness character and we use gray threshold method to achieve image segmentation through the analysis of image histogram. Image compression method is a mend of Block Truncation Coding method that implements three-level compression according to the activity of the image block. All on-board image processing tasks are fulfilled by the Transputer processor. The image processing work on the ground mainly including noise removal and image correction is discussed in the end.

Key words: micro-satellite; cloud detection; histogram; threshold; image compression; geometric correction



(a) Los Angeles, CA



(b) 西宁