

文章编号:1007-2780(2012)02-0235-05

遥感图像星上背景扣除和灰度拉伸方案与实验

吕恒毅¹, 刘 杨², 薛旭成¹, 马天波¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033, E-mail:lv_hengyi@163.com;

2. 哈尔滨工业大学 控制科学与工程系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 在遥感相机的实际应用中, 卫星下传的图像灰度分布往往不佳, 针对该问题展开了相关研究。分析了影响卫星下传图像灰度分布的因素, 并以遥感相机成像电子学系统的系统参数为基础, 给出了 3 种可行的星上图像背景扣除和灰度拉伸方案; 推导了 3 种方案下获取图像的灰阶丰富程度公式, 并确定了最优方案, 即采用模拟和数字混合拉伸的办法, 对初始量化位数的图像数据进行处理, 然后舍掉后若干位, 以数传规定位数下传。在实验室条件下, 以实际的遥感相机成像系统为依托进行了实验。实验结果表明: 文中提出的 3 种方案均能够实现遥感相机图像的星上背景扣除和灰度拉伸功能; 但方案(三)得到的灰阶数量最多, 成像效果最好, 适合且能够应用于航天遥感相机当中。

关 键 词: 遥感相机; 成像电子学; 成像质量; 背景扣除; 灰度拉伸

中图分类号: V443⁺.5 文献标识码: A DOI: 10.3788/YJYXS20122702.0235

Methods and Experiments of Background Subtraction and Grayscale Stretch for Remote Sensing Images

LV Heng-yi¹, LIU Yang², XUE Xu-cheng¹, MA Tian-bo¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,

Changchun 130033, China, E-mail:lv_hengyi@163.com;

2. Department of Control Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: In the application of remote sensing cameras, the grayscale distributions of the transferred images are normally bad. In order to solve this problem, some researches are carried out. The factors that affect the grayscale distribution are analyzed, and three methods are proposed for background subtraction and grayscale stretch based on the parameters of remote sensing camera's imaging electronics. The richness of gray levels of the three methods is formulated, and the optimal method is given. That is, analog stretch is implemented together with digital stretch and all the processes are based on the images with original bits of ADC. Then the lowest some bits are abandoned, and the images with the remaining bits are transferred down to earth. The experiments are made based on an actual remote sensing camera's imaging electronics system in laboratory. The results indicate that the proposed three methods can all achieve the functions of background subtraction and grayscale stretch. The third method brings more gray levels to images than the other two, and leads to better imaging quality. Further, it can be applied in the remote sensing cameras.

Key words: remote sensing camera; imaging electronics; imaging quality; background subtraction; grayscale

收稿日期: 2011-08-02; 修订日期: 2011-10-01

基金项目: 国家自然科学基金(No. 61036015)

作者简介: 吕恒毅(1984—), 男, 辽宁庄河人, 硕士, 助理研究员, 从事遥感相机成像系统研究工作。

1 引 言

空间遥感相机是空间对地观测的重要手段,在军事侦察、资源勘探和测绘等领域发挥着至关重要的作用,具有高分辨率和高可靠性等特点。遥感相机的成像质量由很多因素决定,例如相机的 MTF^[1]、信噪比^[2]、分辨力^[3]和图像的灰度分布^[4]等。其中,图像的灰度分布不仅决定着图像的整体视觉效果^[5],同时也决定着图像局部细节的层次展开程度,是目前国内遥感相机成像质量评价中的关键和热点问题。

图像灰度分布不理想的两种典型情况包括:(1)图像的背景亮度较高;(2)图像的最大灰度值较小,未达到 A/D 输出最大值。在上述两种情况并存的图像中,图像的有效信息被挤压在较窄的灰度范围内,给视觉识别带来了困难,降低了目标的可分辨性。在实际应用中,图像的灰度分布受到光照条件、地面景物反射率分布、TDI CCD^[6-7]的积分级数、成像系统的增益与偏置的影响,合理地设置后 3 个参数是获取理想成像效果的保证。

图像增益和偏置的调整可以通过模拟和数字两个渠道实现,且模拟处理要优于数字处理。目前的视频处理器中以大多集成了放大器,具备了增益和偏置的模拟调整能力,但却很少具有向下调偏置的功能,因此图像背景扣除只能依赖量化后的数字处理实现。而增益的调整手段相对较多,可以通过积分级数和放大器增益实现,也可以通过量化后的数字拉伸实现,但成像质量会存在差异(文中将进一步讨论)。另一方面,由于图像数据的星上量化位数^[8]通常高于数传下传位数,上述背景扣除和灰度拉伸处理以量化位数做处理还是以舍掉低位后的数传位数做处理、灰度拉伸采用数字拉伸还是模拟与数字混合拉伸便成为了目前需要解决的实际问题。

国外的遥感相机已经实现了图像的星上背景扣除和灰度拉伸功能,而国内的遥感相机目前仅实现了对图像的不均匀性^[9]的星上补偿,对获取的原始图像的灰度分布未作任何处理,因此地面接收的初始图像质量较国外有较大差距,有时必须通过地面的人工灰度均衡处理后才能供使用,且处理后的成像质量较国外仍有明显不及,给用户使用带来了极大不便。

针对上述问题,本文首先给出了遥感相机图

像星上背景扣除和灰度拉伸的几种方案,分析了各方法的区别和优劣,最终得到最优的处理方案并进行了实验验证与比较。

2 方案与理论分析

2.1 方案的提出

图像灰度分布的优劣直接决定着成像质量和视觉效果。两种具有代表性的图像如图 1 所示。

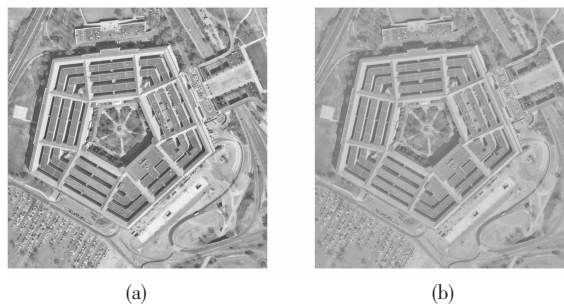


图 1 不同灰度分布的图像效果比较

Fig. 1 Comparison of images with different grayscale

由图 1,图(a)中图像的灰度分布相对比较展开,图像中景物层次明晰,对比度较高,视觉效果和分辨力较好;而图(b)中图像灰度分布相对集中在低处,图像灰暗,且有效信息几乎被背景淹没而无法分辨。

通常,卫星下传的初始图像数据会存在图 1(b)中的问题,原因是有时景物自身的背景亮度较高,同时成像系统的总增益又不足。考虑到图像背景仅能采用数字扣除的办法及引言中提到的其他相关因素,给出如下若干方案并分析(假设视频处理器量化位数为 X bits,数传位数为 Y bits, $X > Y$):

方案(一)视频处理器量化出 X bits 图像数据后,舍掉后 $X - Y$ 位得到 Y bits 数据,对该 Y bits 图像数据进行背景扣除和数字拉伸,然后以 Y bits 下传;

方案(二)视频处理器量化出 X bits 图像数据后,直接对该 X bits 图像数据进行背景扣除和数字拉伸,然后舍掉后 $X - Y$ 位,然后以 Y bits 下传;

方案(三)采用模拟和数字混合拉伸的办法,同样针对 X bits 图像数据进行处理,然后舍掉后 $X - Y$ 位,以 Y bits 下传。

2.2 方案的比较分析

令某一时段数传获取的图像(此时图像数据

为 Y bits) 中的最大灰度值为 Φ , 背景灰度值为 b 。

2.2.1 方案(一)与(二)的比较

依方案(一), 图像中有效信号峰值为

$$\Phi_1 = \Phi - b \quad (1)$$

即当景物图像灰度值连续存在的理想情况下, 图像的有效信号灰阶数量为 Φ_1 。此时为实现数字灰度拉伸, 拉伸系数应为

$$\gamma_1 = 2^Y / \Phi_1 \quad (2)$$

而按照方案(二), 图像中有效信号峰值为

$$\Phi_2 = 2^{X-Y} \cdot (\Phi - b) \quad (3)$$

即, 当景物图像灰度值连续存在的理想情况下, 图像的有效信号灰阶数量为 Φ_2 。此时为实现数字灰度拉伸, 拉伸系数应为

$$\gamma_2 = 2^X / \Phi_2 \quad (4)$$

显然,

$$\gamma = \gamma_2 = 2^X / [2^{X-Y} \cdot (\Phi - b)] = \gamma_1 \quad (5)$$

当 $\gamma \geq 2^{X-Y}$ 时, 依方案(二)得到的去背景、拉伸并舍掉后 $(X-Y)$ bits 后的图像的灰阶数量将始终为 Φ_2 , 该过程可由图 2 描述(图 2 中 $X=12, Y=10, \gamma=4$)。

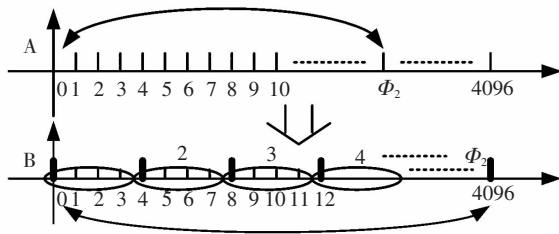


图 2 $\gamma \geq 2^{X-Y}$ 时的灰度拉伸示意图

Fig. 2 Grayscale stretch when $\gamma \geq 2^{X-Y}$

而当 $1 < \gamma < 2^{X-Y}$ 时, 会损失部分灰阶数量, 如图 3 所示(取 $X=12, Y=10, \gamma=2$)。

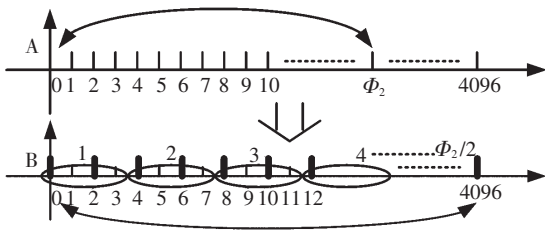


图 3 $1 < \gamma < 2^{X-Y}$ 时的灰度拉伸示意图

Fig. 3 Grayscale stretch when $1 < \gamma < 2^{X-Y}$

当 $\gamma=1$ 时, 灰阶损失最为严重。去背景、拉伸并舍掉后 $(X-Y)$ bits 后图像灰阶数为

$$\overline{\Phi}_2 = \frac{\Phi_2}{2^{X-Y}} \quad (6)$$

此时剩余灰阶数量与方案(一)的相等, 即

$$\overline{\Phi}_2 = \Phi_1 \quad (7)$$

方案(一)与方案(二)的效果比较如图 4 所示, 取 $X=8, Y=6$ 。

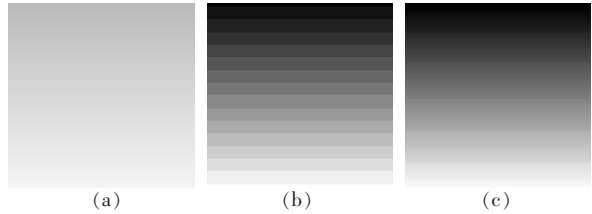


图 4 方案(一)与方案(二)比较图

Fig. 4 Comparison of method 1 and 2

如图 4 所示, 图(a)为原始图像, 其中包含较高的背景灰度值; 图(b)和图(c)分别为方案(一)和(二)所获得图像, 可以清楚地看到, 图(b)的灰阶数量要远远少于图(c), 因此方案(二)要优于方案(一)。

2.2.2 方案(二)与(三)的比较

本质上讲, 方案(二)仍为纯数字量处理, 其背景扣除和灰度拉伸过程可由图 5 描述, 其中 AD 量程为 Ψ 。

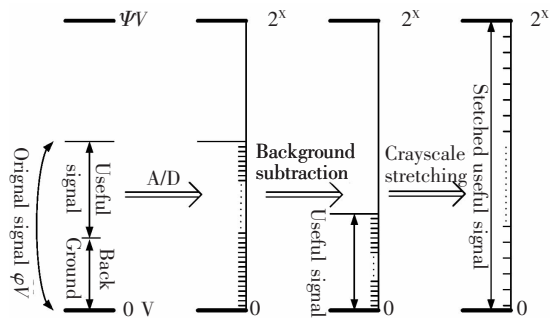


图 5 方案(二)原理示意图

Fig. 5 Process of method 2

如图 5 所示, 数字拉伸的结果是前后灰阶数量不变, 即经 AD 量化后的有效信息的灰阶数量不因后续数字式拉伸而改变。但可以看到, 这部分灰阶数量并不是很多, 不十分令人满意。因此考虑首先利用模拟部分放大器对原始信号进行模拟拉伸, 然后在量化后, 在数字部分中扣除背景并进一步进行数字拉伸, 这样会得到优于方案(二)的灰阶数量。该过程可由图 6 描述。

依方案(三), 令某一时段数传获取的图像(此

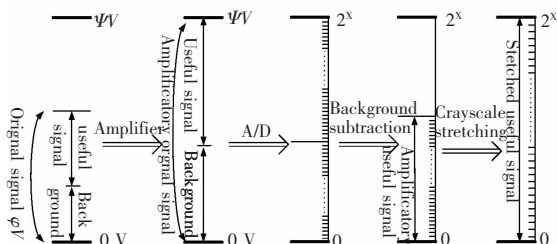


图 6 方案(三)原理示意图

Fig. 6 Process of method 3

时图像数据为 Y bits) 中的最大灰度值为 Φ , 背景灰度值为 b . 则对应的 AD 输入的最大原始信号电压为:

$$\phi = \Psi \cdot [\Phi \cdot 2^{X-Y} / 2^X] = \Psi \cdot \Phi / 2^Y \quad (8)$$

则有效信号电压为:

$$\bar{\phi} = \Psi \cdot [(\Phi - b) \cdot 2^{X-Y} / 2^X] = \Psi \cdot (\Phi - b) / 2^Y \quad (9)$$

则方案(三)中, 模拟放大器增益应设置为

$$\gamma_1 = 2 / \bar{\phi} \quad (10)$$

则放大后的有效信号电压为 $(\gamma_1 \cdot \bar{\phi})$ V, 因此理想情况下量化后的有效信号的灰阶数为

$$\Gamma_3 = (\gamma_1 \cdot \bar{\phi} / \Psi) \cdot 2^X \quad (11)$$

而若依方案(二), 有效信号的灰阶数为

$$\Gamma_2 = (\bar{\phi} / \Psi) \cdot 2^X \quad (12)$$

因此, 有:

$$\Gamma_3 = \gamma_1 \cdot \Gamma_2 > \Gamma_2 \quad (13)$$

即同样条件下, 方案(三)的有效信号灰阶数量要大于方案(二), 因此方案(三)要优于方案(二)。方案(三)与方案(二)的效果比较如图 7 所示, 取 $X=8, Y=6$ 。

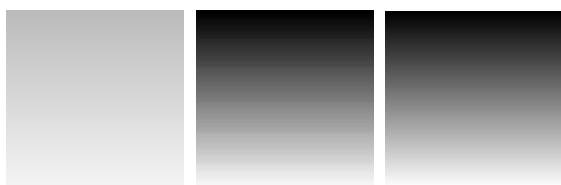


图 7 方案(三)与方案(二)比较图

Fig. 7 Comparison of method 3 and 2

如图 7 所示, 左图为原始图像, 其中包含较高的背景灰度值; 中图和右图分别为方案(二)和(三)所获得图像, 可以清楚地看到, 中图的灰阶数量要少于右图, 因此方案(三)要优于方案(二)。

综上所述, 方案(三)得到的图像的灰阶数量最多, 对获取高质量的图像最为有利, 因此选取方

案在(三)作为遥感相机图像的星上背景扣除和灰度拉伸的处理方法。

3 实 验

在第 2 节的基础上, 确定了方案(三)的最优性。下面基于实际的遥感相机成像系统, 辅助以必要的地检设备, 对上述提出的方案进行实物实验和结果比较。鉴于实验用 TDICCD 具有全色和多光谱成像功能, 因此可得到全色和多光谱分别在上述 3 种方案下的成像效果、灰度分布和灰阶数比较。考虑到实验用的 TDICCD 像元数较多, 因此以下仅截取各方案下数传得到的图像的一部分 (256×256) 做以比较。



图 8 各方案下全色图像效果比较

Fig. 8 Comparison of panchromatic images under different methods

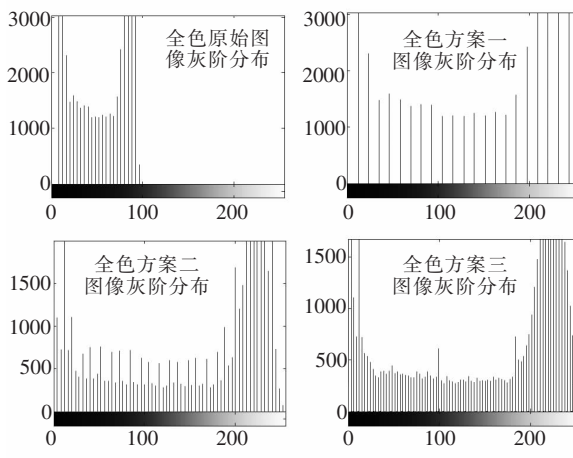


图 9 各方案下全色图像灰阶分布比较

Fig. 9 Comparison of panchromatic images' grayscale under different methods



图 10 各方案下多光谱图像效果比较

Fig. 10 Comparison of multi-spectral images under different methods

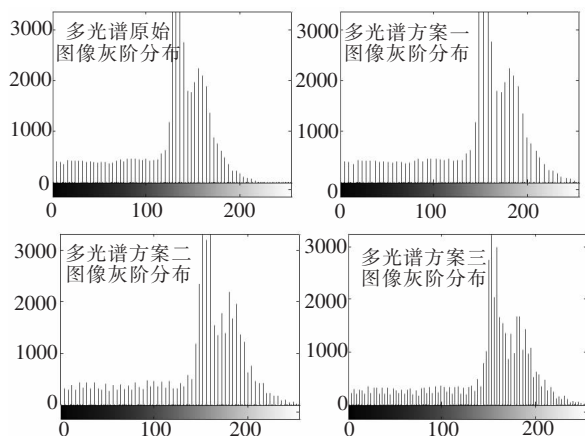


图 11 各方案下多光谱图像灰阶分布比较

Fig. 11 Comparison of multi-spectral images' grayscale under different methods

由图 8 和图 9 可以看出,经 3 种方案处理后的图像灰度分布均能得到有效拉伸,而方案(三)的灰阶数量最丰富,视觉效果最好。

对于多光谱某一谱段,结果比较如下:

由图 10 和图 11 可以看出,对于多光谱图像,本文提出的方案亦有较好的灰度拉伸效果,其中方案(三)的灰阶数量最多。

由上述两组比较可知,3 个方案均可以将图像的背景扣除并有效拉伸其灰度分布;但方案(三)由于有效利用了模拟增益来拉伸原始信号,且在低位舍弃操作前完成了数字拉伸,使得得到的图像的灰阶数量明显增多,因此获取的图像的质量最好。

4 结 论

根据感相机图像星上背景扣除和灰度拉伸的需求,进行了深入研究并提出了 3 种实现方法。研究了提出的各方法的优劣,给出了理论推导和分析,并得到了最佳实现方案,即采用模拟和数字混合拉伸的办法,对初始量化位数的图像数据进行处理,然后舍掉后若干位,以数传规定位数下传。最后,利用实际遥感成像系统在实验室条件下进行了实验验证。实验结果证明:方案(三)能够完成星上背景扣除和灰度拉伸功能,且图像的灰阶数量多于方案(一)和(二),图像质量最好。

参 考 文 献:

- [1] 张毅,李英才,王虎. 航天 TDI-CCD 亚像元相机的 MTF 研究 [J]. 光子学报, 2005, 34(10):1590-1592.
- [2] 陈宁娟,苏云,张科科,等. 空间 TDICCD 相机动态信噪比计算方法与研究 [J]. 中国空间科学技术, 2009, 29(6): 15-20.
- [3] 高正清,王险峰. 航天遥感成像系统像元分辨率在轨检测方法研究 [J]. 航天返回与遥感, 2009, 30(3):28-32.
- [4] 朱均超,刘铁根,刘德瑞,等. 一种线阵 CCD 图像灰度分布快速校正方法 [J]. 光电工程, 2007, 34(12):108-112.
- [5] 邓湘金,郭强,饶炜. 月球探测器 TDI-CCD 相机成像质量影响因素分析 [J]. 航天器工程, 2010, (5):70-75.
- [6] 马天波,郭永飞,李云飞. 科学级 TDICCD 的行频精度 [J]. 光学精密工程, 2010, 18(9):2028-2035.
- [7] 薛旭成,石俊霞,吕恒毅,等. 空间遥感相机 TDICCD 积分级数和增益的优化设置 [J]. 光学精密工程, 2011, 19(4):857-863.
- [8] 张孝弘. CCD 相机模/数变换位数的分析 [J]. 航天返回与遥感, 2009, 30(4):49-56.
- [9] 王文华,何斌,韩双丽,等. 星上 CCD 成像非均匀性的实时校正 [J]. 光学精密工程, 2010, 18(6):1420-1428.