

# 基于高/多光谱图像空天一体融合仿真方法\*

陈善静<sup>1)2)</sup> 胡以华<sup>1)2)†</sup> 孙杜娟<sup>1)2)</sup> 徐世龙<sup>1)2)</sup>

1) (电子工程学院, 脉冲功率激光技术国家重点实验室, 合肥 230037)

2) (电子制约技术安徽省重点实验室, 合肥 230037)

(2013年4月29日收到; 2013年7月18日收到修改稿)

提出了一种基于高/多光谱图像的空天一体融合仿真方法. 以航空高光谱数据为基础, 根据航天多光谱遥感相关参数, 通过空天一体光谱维变换、尺度空间变换、辐射强度变换、混合像素变换和噪声变换将航空高光谱图像中的地物目标进行空天一体映射到航天多光谱图像中, 得到特定地物目标的航天多光谱融合模拟仿真图像. 仿真实验表明该方法简便易行, 有效地减少了地物目标的三维建模和探测器响应建模的巨大工作量, 较好地实现了对特定地物目标航天多光谱图像的模拟, 开拓了遥感图像仿真模拟方法的新领域, 具有重要的研究和应用价值.

**关键词:** 遥感图像, 空天一体, 融合仿真, 光谱维变换

**PACS:** 42.30.Va, 07.07.Df

**DOI:** 10.7498/aps.62.204201

## 1 引言

高/多光谱遥感图像仿真在民用和军用领域都有着广泛的应用. 在民用方面, 高/多光谱遥感图像仿真能够在星载传感器尚未上天之前即可完成遥感图像质量预估、图像处理算法和应用模型研发工作. 在军用方面, 高/多光谱遥感图像仿真能对重要军事目标特别是经过隐身处理的军事目标进行仿真模拟, 为验证遥感侦察技术和评估隐身伪装效果提供重要参考数据.

国外对遥感图像仿真的相关研究起步较早, 形成了一些比较完善的商业仿真软件系统. 文献 [1,2] 基于端对端的 SENSOR 仿真系统进行了详细介绍, SENSOR 仿真系统通过从传感器硬件、观测场景、大气传输等三个方面对整个遥感成像过程进行仿真模拟, 从而得到 400—2500 nm 的高光谱模拟图像. 德国 Multigen-Paradigm 公司推出的 Vega 系列仿真模块 [3] 是目前广泛使用的、功能比较齐备的商业化遥感成像仿真工具包, 它可实现对整个遥感成像过程进行动态、可视化仿真 [4]. Rochester 理工学院数字图像与遥感 (DIRS) 实验室开发的遥感

成像仿真软件 DIRSIG, 该软件经过一系列升级改造, 能够进行可见光至热红外波段的宽带、多光谱、超光谱成像模拟 [5,6], 目前已经应用到 NASA 的许多项目中, 但中国大陆无法申购. 在国内方面, 中国科学院开发了航天遥感图像仿真模拟集成平台 SETE (simulating earth to earth), 该系统可实现对可见光、红外、高光谱和 SAR 遥感图像仿真模拟. 为了模拟大场景、复杂地物的热红外遥感成像, 杨贵军等 [7] 提出了一种基于场景模型的热红外遥感成像模拟方法. 王刚等 [8] 综合考虑三维场景模型、自然光照明模型、大气辐射传输模型和传感器系统模型, 提出了一种基于图像仿真的对地遥感过程科学可视化方法, 并开发了专业遥感成像仿真软件 RSIS1.0. 文献 [9—11] 对基于可见光的航天遥感图像仿真模拟方法开展了研究. 赵辽英等 [12] 对可见光图像和航天多光谱图像融合方法进行了研究.

## 2 遥感图像仿真存在问题及本文方法技术优势分析

国内外对遥感图像的仿真研究普遍是针对整个遥感成像过程进行的全链路仿真模拟, 需要建立

\* 国家自然科学基金 (批准号: 61271353) 和安徽省自然科学基金 (批准号: 10040606Q61) 资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: skl\_hyh@163.com

地物场景、大气传输和探测器响应等多种模型,所需的工作量巨大、理论复杂.虽然部分遥感图像模拟软件已经开始商业化应用,但是由于国外政府的限制或者国内技术交流共享平台不够完善,相关的遥感模拟软件并不容易获得.同时从仿真模拟遥感图像的种类来看,国内外对基于可见光的航天遥感图像仿真模拟方法研究较多,但对基于高/多光谱航天遥感图像仿真模拟方法研究较少.

针对遥感图像模拟中存在的以上问题,本文从空天一体遥感图像融合变换出发,综合考虑航空和航天遥感对成像影响相关因素后,提出了一种基于高/多光谱图像的空天一体融合仿真方法.该方法主要以航空高光谱数据为基础,结合航天多光谱遥感的相关参数,将航空高光谱图像中的地物目标进行空天一体映射变换到航天多光谱图像中,形成特定地物目标的航天多光谱融合模拟图像.本文方法是一种基于真实遥感图像并且一体化考虑空天遥感成像因素的图像模拟仿真方法.如图1所示,本文方法将地物目标三维特征模型和探测器响应特征模型分别封装为两个“黑箱”,以比较容易获取的航空高光谱图像和航天多光谱图像分别代替目标三维特征模型和探测器响应特征模型,有效地减少了对地物目标的三维建模和探测器响应建模的巨大工作量.并且本文仿真方法简便易行,可根据实验需要自主设定模拟多种地物目标,开拓了遥感图像模拟的新方法,具有广泛的应用前景.

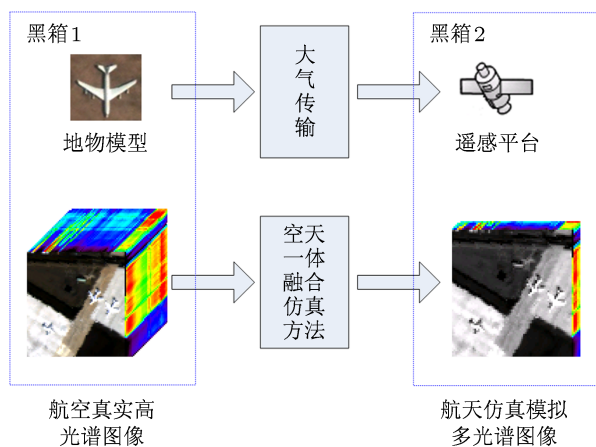


图1 本文航天多光谱图像仿真方法与传统多光谱图像仿真方法基本原理对比

### 3 基于高/多光谱图像的空天一体融合仿真方法

本文提出的基于高/多光谱图像的空天一体融

合仿真方法主要包括四个步骤:空天一体光谱维变换;空天一体尺度变换;空天一体辐射强度变换;空天一体混合像素变换;空天一体噪声变换.

#### 3.1 空天一体光谱维变换

由于各个航空航天遥感平台所处的空间位置不同(如图2所示),进入传感器的电磁辐射所经过的大气传输路径各不相同,因而大气层对电磁波传输的衰减影响也各不相同.在由航空遥感图像向航天遥感图像变换中,航空遥感平台以上到航天遥感平台以下的大气层的光谱透过率直接影响到各遥感平台获取图像的光谱分布情况.航空遥感图像到航天遥感图像光谱维变换的基本原理如(1)式所示:

$$DN_{space}(\lambda) = DN_{aero}(\lambda) \times T(\lambda), \quad (1)$$

其中,  $DN_{space}(\lambda)$  为航天遥感图像在光谱为  $\lambda$  波段的像元辐射强度(DN值),  $DN_{aero}(\lambda)$  为航空遥感图像在光谱为  $\lambda$  波段的DN值,  $T(\lambda)$  为航空遥感平台以上到航天遥感平台以下的大气层的光谱透过率.

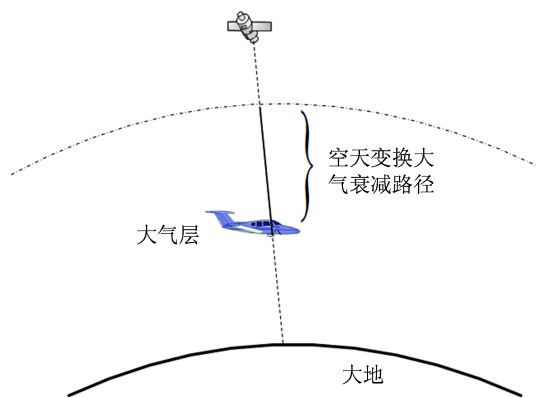


图2 空天遥感大气辐射传输路径

本文借助 MODTRAN4 大气吸收散射计算软件,根据设定的相关参数对航空遥感平台以上到航天遥感平台以下的大气层光谱透过率  $T(\lambda)$  进行定量计算.图3为计算得到的从1 km高空到100 km(最外层大气)处的大气光谱透过率光谱曲线(由于大气程辐射在短波波段  $0.45\text{--}2.5\ \mu\text{m}$  和中远红外大气窗口波段对整个大气辐射传输的影响较小,因此忽略大气程辐射对光谱维变换的影响).

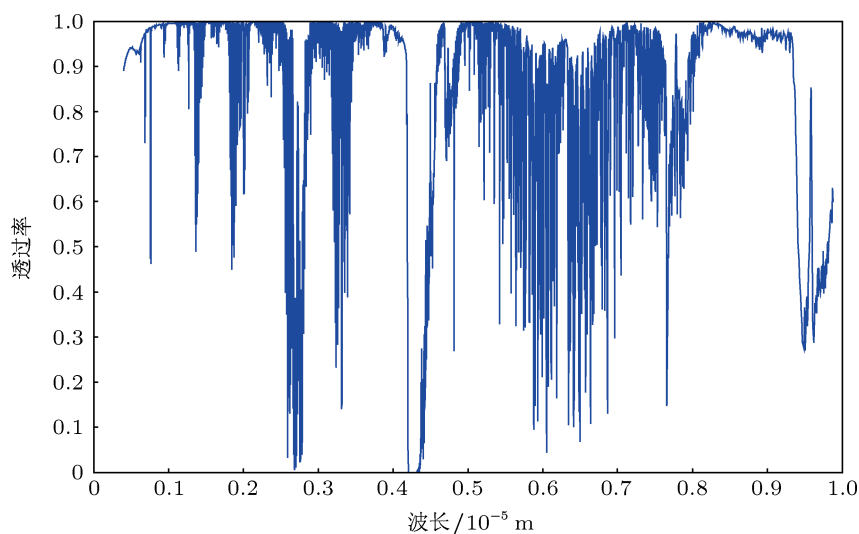


图3 大气透过率光谱曲线 (从 1 km 到 100 km, 天顶角 20°, 大气能见度 23 km)

### 3.2 空天一体尺度空间变换

由于各种空天遥感平台的成像光谱仪视场和空间分辨率各不相同, 同一地物目标在不同的遥感图像中的尺度也各不相同, 因此, 在利用航空遥感图像对航天遥感图像进行模拟时需要根据地物目标进行尺度空间变换. 本文提出了一种基于视觉仿生模拟的双线插值空天一体尺度空间变换方法. 高斯尺度空间是一种模拟人眼视觉机理的理想数学模型. 文献 [13—15] 证明: 在一系列基于人眼视觉机理而提出的合理假设条件下, 高斯核函数尺度变换能实现对目标由近及远模糊程度的最佳模拟. 设多光谱图像中某一波段图像  $I(x,y)$  的高斯尺度空间为  $L(x,y,t)$ , 该尺度空间可由参数为  $t$  的高斯核  $G(x,y,t)$  与  $I(x,y)$  卷积得到:

$$L(x,y,t) = \begin{cases} G(x,y,t) * I(x,y), & t > 0 \\ I(x,y), & t = 0 \end{cases}, \quad (2)$$

其中,

$$G(x,y,t) = \frac{1}{2\pi t} e^{-(x^2+y^2)/2t}, \quad (3)$$

$x, y, t$  分别为  $L(x,y,t)$  的像素位置坐标和尺度参数. 尺度参数  $t$  为航天遥感图像与航空遥感图像的空间分辨率的比值, 随着尺度参数  $t$  逐渐增大, 尺度空间中各尺度图像的模糊程度逐渐变大, 能够模拟人在距离目标由近到远时目标在视网膜上的成像过程.

根据航空高光谱图像和航天多光谱图像的分辨率对相应的目标进行双线性插值运算, 使其尺寸做相应的调整, 从而获得模拟目标在低分辨率航天遥感平台上的成像结果, 如图 4 所示.

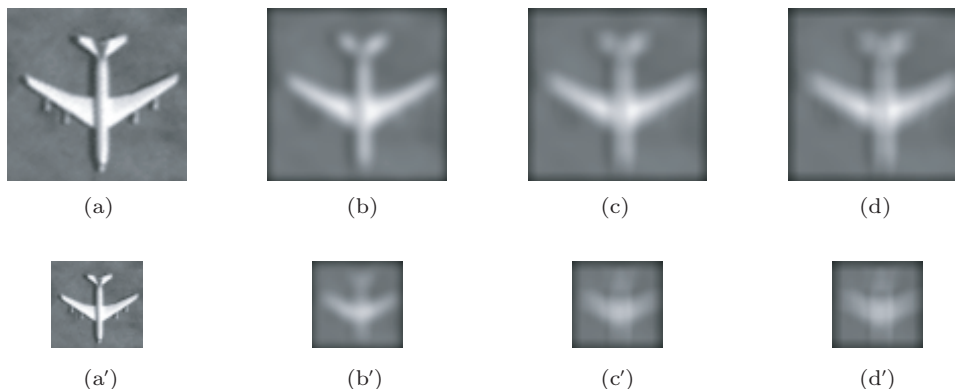


图4 高斯核函数与双线插值变换结果 (a) 原始图像; (a') 原图双线 0.5 插值; (b)  $t = 9$ ; (b')  $t = 9$  双线 0.5 插值; (c)  $t = 36$ ; (c')  $t = 36$  双线 0.5 插值; (d)  $t = 18^2$ ; (d')  $t = 18^2$  双线 0.5 插值

### 3.3 空天一体辐射强度变换

由于各种成像光谱仪获得遥感图像中表示辐射强度的 DN 值存在较大不同, 在利用航空高光谱图像对航天多光谱图像进行模拟时需要参与变换的特定地物目标的辐射强度做空天一体辐射强度变换. 本文将航天遥感图像和航空遥感图像中波段光谱特征 (如: 红、绿、蓝三个波段) 较明确的一组对应目标点作为定标点, 计算辐射比例系数, 按辐射比例系数将航空遥感图像的辐射强度变换为对应航天遥感图像的辐射强度.

本文中选取航天多光谱图像中白云和航空高光谱图像中白色飞机作为一组对应的辐射定标点, 将白云和白色飞机在可见光波段辐射强度做等比例映射变换. 选择航天多光谱图像中的绿色波段作为辐射定标基准波段 (人眼对绿光最敏感), 将此辐射强度比上航空高光谱图像中飞机样本均值中的绿色波段辐射强度 ( $\lambda = 550$ ), 将此比值作为辐射强度变换系数  $D_{rate}$ , 再利用此辐射系数乘以尺度变换后飞机样本光谱, 将其变换为航天多光谱图像辐射强度, 完成空天一体辐射强度变换, 如图 5 和图 6 所示.

辐射强度变换在具体应用时存在一定受限条件: 1) 辐射强度变换主要应用于经过辐射定标的定量数据; 对于未定标的原始数据, 辐射强度变换属于一种相对变换, 变换后数据会对定量遥感分析与应用带来一定误差; 2) 在辐射定标点的选择上需要找到一组在全部或者部分波段光谱分布较为相似的目标作为定标点, 这样可以有效地减小辐射强度变换的误差:

$$\frac{DN_{space}(\lambda)}{DN_{aero}(\lambda)} = D_{rate}. \quad (4)$$

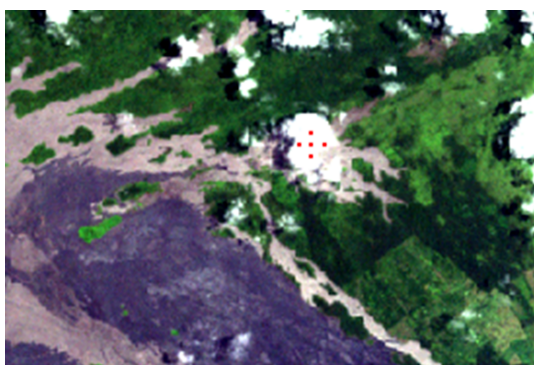


图 5 航天多光谱图像 RGB 彩色合成图

### 3.4 空天一体混合像素变换

在模拟航天遥感图像时, 单个像素对应的成像区域往往同时包含了目标和背景地物, 这就产生了遥感图像的混合像素问题. 本文根据航天遥感图像和航空遥感图像空间分辨率, 对航空遥感图像进行区域分块, 分别计算各个分块区域的目标和背景比例系数, 将此比例系数作为目标与背景地物光谱混合比例系数, 完成遥感图像混合像素变换.



图 6 航空高光谱图像 RGB 彩色合成图

设航空高光谱图像横向和纵向空间分辨率分别为  $row_{aero\_resolution}$  和  $col_{aero\_resolution}$ , 航天多光谱横向和纵向空间分辨率为  $row_{space\_resolution}$  和  $col_{space\_resolution}$ , 图像分割率  $seg\_rate$  包括纵向和横向分割率两部分

$$\frac{row_{space\_resolution}}{row_{aero\_resolution}} = row\_seg\_rate, \quad (5)$$

$$\frac{col_{space\_resolution}}{col_{aero\_resolution}} = col\_seg\_rate. \quad (6)$$

图像分割率  $seg\_rate$  的物理意义可以理解为航空高光谱图像中  $row\_seg\_rate \times col\_seg\_rate$  个像素区域将变换为航天多光谱仿真图像中的一个像素, 在各个  $row\_seg\_rate \times col\_seg\_rate$  区域中目标与背景所占比例系数即为航天多光谱图像中目标地物光谱与背景地物光谱混合比例系数. 结果如图 7 和表 1 所示.

### 3.5 空天一体噪声变换

由于各种成像光谱仪的成像噪声水平不同, 为了实现对遥感图像更加全面的仿真模拟, 仿真图像的噪声应根据仿真模拟对象的噪声水平做相应的噪声变换. 空天一体噪声变换主要分为两步: 航

天多光谱图像噪声提取和基于特征参量高斯噪声重建.

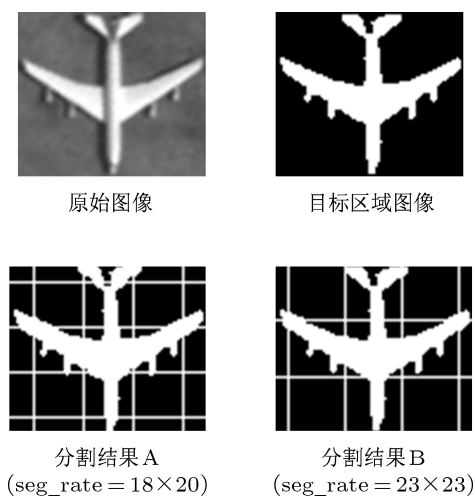


图7 原始图像与目标区域分割结果

表1 混合系数表

(a) 分割结果 A 各区域混合系数表				
0	0.0437	0.6000	0.075	0
0.2167	0.0417	0.3194	0.0333	0.469
0.0556	0.5944	0.8417	0.5889	0.0617
0	0.0028	0.3528	0.0056	0
0	0	0.1571	0	0

(b) 分割结果 B 各区域混合系数表				
0.087	0.0189	0.3875	0.0246	0.1130
0.0435	0.4310	0.7335	0.4423	0.0870
0	0	0.2287	0	0

### 3.5.1 航天多光谱图像噪声提取

假设预测值  $\hat{x}_{i,j,k}$  是航天多光谱图像在第  $k$  波段  $(i, j)$  坐标位置的像元的 DN 值 (这里用二维数组  $(i, j)$  表示像元空间位置). 为了同时考虑空间和光谱维的影响, 本文对像素点 DN 值的估计值为

$$\hat{x}_{i,j,k} = \begin{cases} ax_{i,j,k+1} + cx_{p,k} + d & (k = 1) \\ ax_{i,j,k-1} + bx_{p,k+1} + cx_{p,k} + d & (1 < k < N) \\ ax_{i,j,k-1} + cx_{p,k} + d & (k = N) \end{cases} \quad (7)$$

其中,

$$x_{p,k} = \begin{cases} x_{i-1,j,k} & (i > 1) \\ x_{i+1,j,k} & (i = 1) \end{cases}, \quad (8)$$

$$1 \leq i \leq W, 1 \leq j \leq H.$$

$W, H$  为图像高宽,  $N$  为总波段数, 则残差

$$r = x - \hat{x} \quad (9)$$

即为每个像素点提取的噪声估计值. 以期望  $\sum r^2 = 0$ , 则可按 (7) 式通过线性回归的方式得到  $x_{i,j,k}$  的最优无偏估计量  $\hat{x}_{i,j,k}$ . 同时系数  $[a, b, c, d]$  也可通过最小化每个波段噪声方差的方式获得, 即最小化  $S^2 = \sum r^2$ . 第  $k$  波段将有  $M = W \times H - 1$  个方程参与该线性回归 (首像元不参与回归), 公式如下:

$$W \cdot [a, b, c, d]^T = \mathbf{x} \\ \Rightarrow [a, b, c, d]^T = W^T(WW^T)^{-1}\mathbf{x}, \quad (10)$$

其中,  $\mathbf{x}$  是该波段所有像元  $x_{i,j,k}$  组成的向量,  $W$  为向量  $[x_{i,j,k-1}, x_{i,j,k+1}, x_{p,k}, 1]$  组成的矩阵,  $k$  是常数,  $i, j$  为变量. 求得每个波段的系数后即可依此求高光谱图像噪声协方差矩阵, 则第  $k$  波段的方差以及第  $k$  和  $l$  波段间的协方差计算公式分别为 [16]

$$\sigma_k^2 = \frac{\sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^H r_{i,j,k}^2}{M-4}, \\ C_{kl} = \frac{\sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^H r_{i,j,k} \cdot r_{i,j,l}}{M-4}, \\ 1 \leq k, l \leq N, (i, j) \neq (1, 1). \quad (11)$$

### 3.5.2 基于特征参量高斯噪声重建

根据对多种成像光谱仪的分析, 遥感图像的噪声通常为高斯噪声, 结合前面提取的航天多光谱图像噪声参数  $\sigma_k^2$  和  $C_{kl}$ , 构建基于高斯分布的三维噪声矩阵, 将此高光谱噪声加入航空高光谱图像, 完成空天一体噪声变换.

## 4 航天多光谱图像空天一体仿真实验结果

在本文仿真实验中, 航空高光谱图像选用 AVIRIS 获取的美国圣地亚哥某机场图像, 其覆盖波长范围为 0.4—2.5  $\mu\text{m}$ , 空间分辨率为 3.5 m. 去掉水汽吸收与噪声较严重的波段, 选取 189 个波段作为研究对象. 航天多光谱图像选用 Landsat 7 ETM+ 获取的夏威夷基拉韦亚火山地区图像的前 6 个波段作为仿真数据的基底 (第 7 波段为远红外波段 10.4—12.5  $\mu\text{m}$ , 高光谱图像没有覆盖对应波段, 本文暂不做模拟), 其空间分辨率 30 m.

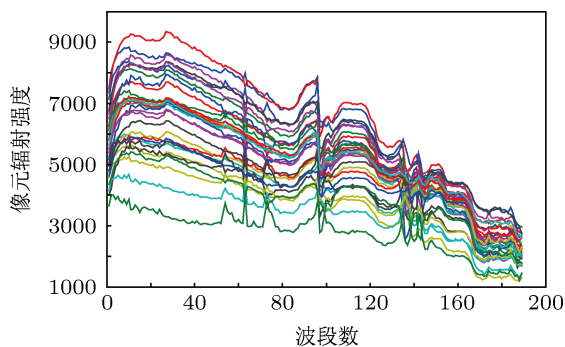


图 8 航空高光谱遥感图像飞机样本光谱曲线

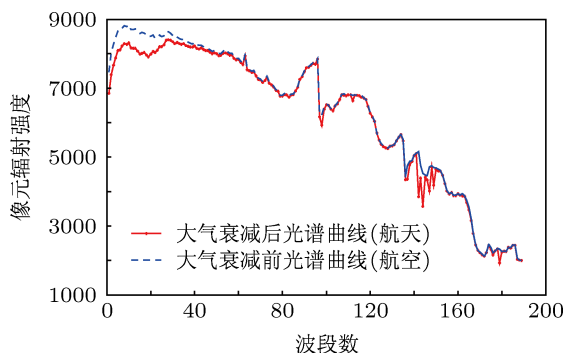


图 9 飞机样本点 (坐标: [32, 64]) 经大气衰减前后光谱分布对比

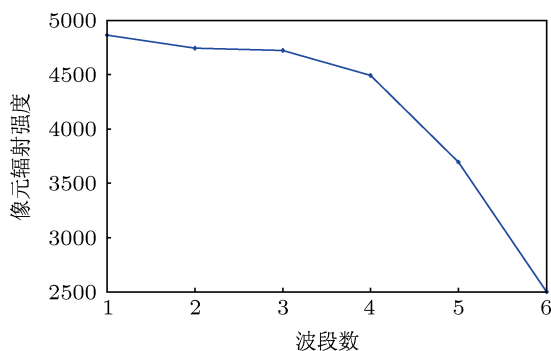


图 10 空天一体尺度变换后获得的飞机光谱曲线 (尺度参数  $t = 30/3.5 = 8.57$ )

图 8 为航空高光谱图像中飞机样本光谱曲线, 仿真实验中所有样本光谱通过光谱维变换, 得到从航天遥感平台观察飞机样本时飞机光谱分布情况. 图 9 为飞机样本点 (坐标: [32, 64]) 经过大气衰减前后光谱分布对比情况. 根据 3.2 节将飞机样本点做空天一体尺度空间变换, 再将变换后得到飞机样本光谱按航天多光谱图像的波段分布情况在对应波段上求均值, 得到如图 10 所示的尺度空间变换后的飞机光谱曲线. 图 11 为空天一体噪声变换中根据航天多光谱图像提取的相关参数重构的噪声分布图像. 图 12 为空天一体辐射强度变换、混合像素变换和噪声变换后飞机样本光谱曲线分布. 通过第二波段的白云辐射定标后飞机样本第二波段的

DN 值由高光谱图像中的 4745 变换为 204, 与真实航天多光谱图像中第二波段的白云的 DN 值相同. 在对定标后的飞机光谱按 3.4 节和 3.5 节分别进行混合像素变换和噪声变换即得到本文最终模拟仿真的飞机光谱曲线. 图 13 为航天多光谱仿真图像

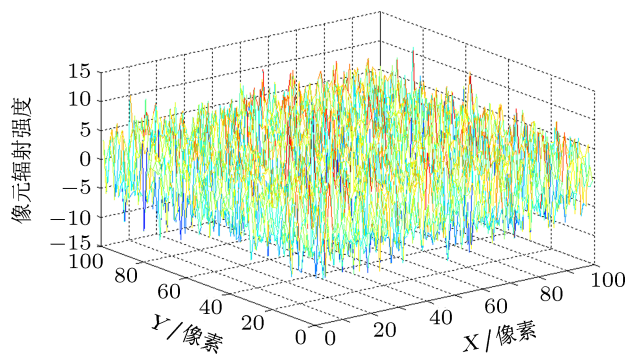


图 11 高斯噪声矩阵立体图 (第二波段,  $\sigma = 3.7$ )

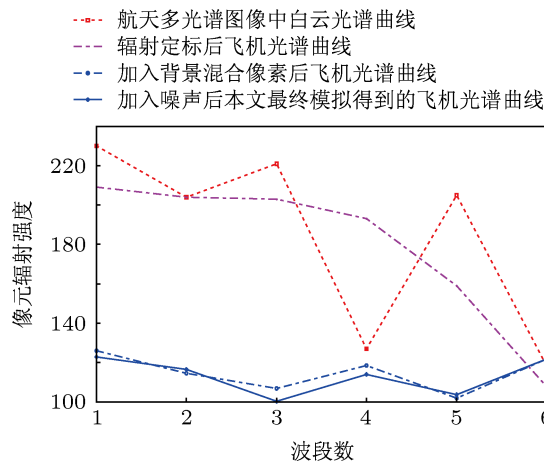


图 12 本文实验中各个变换后得到的飞机光谱曲线 ( $D_{rate} = 0.043$ )

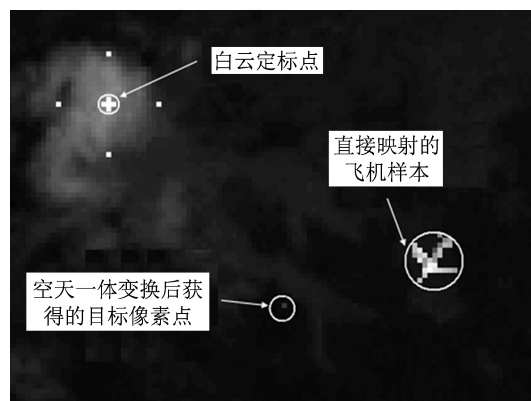


图 13 仿真模拟的航天多光谱图像 (第二波段  $0.52-0.60 \mu\text{m}$ )

第二波段图像 ( $\lambda = 0.52\text{--}0.60\ \mu\text{m}$ ), 图中分别为白色定标点、直接映射飞机样本和本文方法空天一体变换后最终获得的目标像素点.

## 5 结论

遥感图像仿真在很多领域都有着重要的应用. 本文介绍了国内外遥感图像仿真技术的发展现状, 分析了当前遥感图像仿真中存在的问题. 在研究了航空和航天遥感对成像影响的相关因素之后, 提出

了一种基于高/多光谱图像的空天一体融合仿真方法. 本文以航空高光谱图像为基础, 通过空天一体光谱维变换、尺度空间变换、辐射强度变换、混合像素变换和噪声变换将航空高光谱图像中飞机样本映射到航天多光谱图像中, 实现对特定地物目标的航天多光谱图像融合仿真模拟. 本文方法简便易行, 有效地减少了成像全链路仿真中多种模型建模的巨大工作量, 并且可根据实验需要自主设定模拟多种地物目标, 开拓了遥感图像仿真模拟的新方法, 具有广阔的应用前景.

- 
- [1] Börner A, Wiest L, Keller P, Reulke R, Richter R, Schaeppman M, Schläpfer D 2001 *ISPRS J. Photogramm.* **55** 299
- [2] Börner A 2003 *Proceedings of SPIE on Sensors Systems and Next-Generation Satellites VI* Grete, Greece, April 8, 2003 **4881** p472
- [3] Multigen-Paradigm Inc 2005 *Vega Prime Programmer's Guide Version 2.0* (USA: Multigen-Paradigm Inc.) p56
- [4] Ma X S, Meng X, Yang Z, Peng X D, Xie W M 2012 *Chin. J. Quantum Electron.* **29** 392 (in Chinese) [马晓珊, 孟新, 杨震, 彭晓东, 谢文明 2012 量子电子学报 **29** 392]
- [5] Arnold P S, Brown S D, Schot J R 2000 *Proc. SPIE* **4029** 288
- [6] Carlson F C 2006 *The DIRSIG User's Manual* (New York: Rochester Institute of Technology) p127
- [7] Yang G J, Liu Q H, Huang H G, Liu Q, Gu X F 2007 *J. Infrared Millim. Waves* **26** 14 (in Chinese) [杨贵军, 柳钦火, 黄华国, 刘强, 顾行发 2007 红外与毫米波学报 **26** 14]
- [8] Wang G, Yu B X 2002 *J. Syst. Simulat.* **14** 755 (in Chinese) [王刚, 禹秉熙 2002 系统仿真学报 **14** 755]
- [9] Gu Y L, Zhang D Y, Yi W N, Qiao Y L 2008 *J. Syst. Simulat.* **20** 3730 (in Chinese) [顾有林, 张冬英, 易维宁, 乔延利 2008 系统仿真学报 **20** 3730]
- [10] Qin H P, Yi W N, Pan B L, Fang Y H, Li J 2011 *Infrared Laser Eng.* **40** 1177 (in Chinese) [秦慧平, 易维宁, 潘邦龙, 方勇华, 李娟 2011 红外与激光工程 **40** 1177]
- [11] Xiao Q, Li M 2007 *J. Beijing Normal Univ. (Natural Science)* **43** 234 (in Chinese) [肖青, 李敏 2007 北京师范大学学报 (自然科学版) **43** 234]
- [12] Zhao L Y, Ma Q L, Li X R 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 194204 (in Chinese) [赵辽英, 马启良, 厉小润 2012 物理学报 **61** 194204]
- [13] Koenderink J 1984 *J. Biol. Cybernet.* **50** 363
- [14] Lindeberg T 1994 *J. Appl. Statist.* **21** 224
- [15] Chen B, Zhao Y G, Li X 2009 *Acta Armamentarii* **30** 561 (in Chinese) [陈冰, 赵亦工, 李欣 2009 兵工学报 **30** 561]
- [16] Conradsen K, Nielsen B K, Nielsen A A 1991 *Proceedings of the 24th International Symposium on Remote Sensing of Environment Rio de Janeiro Brazil*, 1991 p403

# A simulation method by air and space integrated fusion based on hyper-/multispectral imagery\*

Chen Shan-Jing<sup>1)2)</sup> Hu Yi-Hua<sup>1)2)†</sup> Sun Du-Juan<sup>1)2)</sup> Xu Shi-Long<sup>1)2)</sup>

1) (State Key Laboratory of Pulsed Power Laser Technology, Electronic Engineering Institute, Hefei 230037, China)

2) (Anhui Province Key Laboratory of Electronic Restriction, Hefei 230037, China)

( Received 29 April 2013; revised manuscript received 18 July 2013 )

## Abstract

A simulation method by air and space integrated fusion based on hyper-/multispectral imagery is proposed. The transformations of spectra, scale-space, radiative intensity, mixed pixel, noise are adopted in the simulation method on the basis of aviatic multispectral imagery according to parameters of space multispectral imagery, and certain ground objects in the aviatic hyperspectral imagery are mapped into the space multispectral imagery to obtain simulative space multispectral imagery for these ground objects through the simulation method. Experimental results demonstrate that the simulation method is effective and easy to implement; the heavy workload on model establishment of three-dimensional scene and sensor response is reduced in this simulation method; it is successful for the method to simulate space multispectral imagery of certain ground objects. A new domain on simulation method of remote sensing imagery is developed. This simulation method is valuable in research and application.

**Keywords:** remote sensing imagery, air and space integration, fusion simulation, transformation of spectra

**PACS:** 42.30.Va, 07.07.Df

**DOI:** 10.7498/aps.62.204201

---

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 61271353) and the Natural Science Foundation of Anhui Province, China (Grant No. 10040606Q61).

† Corresponding author. E-mail: skl\_hyh@163.com