

光学卫星遥感图像高保真融合方法

光学卫星成像具有大范围和不受国界限制的特点，对国家安全、经济建设和社会发展都具有十分重要的作用。2000 年以来，光学卫星大多数采用全色与多光谱传感器同时相成像方式，其中，全色图像主要提供高分辨率的纹理细节信息，而多光谱图像主要提供低分辨率的光谱色彩信息。融合图像（彩色图像）直接提供高分辨率的纹理细节和光谱色彩信息，内容丰富直观，可以看到灰度图像中无法看到的目标，在军事情报判读中具有十分重要的作用。

图像融合是指利用全色图像的高分辨率纹理细节锐化多光谱图像，生成准确反映地物纹理细节与光谱色彩的彩色图像。图像融合是卫星遥感图像处理的核心技术，多年来美国、加拿大、欧盟对其研发的先进遥感图像处理技术进行封锁（例如，2012 年加拿大政府以国家安全为由否决了中国四维图新公司对 PCI 软件公司收购案）。在强反射目标过饱和、合成低分辨率全色图像有灰度失真情况下，现有加性变换方法存在融合图像的纹理细节和光谱色彩失真问题^[1]。为克服该问题，我们建立了基于乘性变换的遥感图像融合新模型，实现了全色与多光谱遥感图像的高保真融合，模型具体如下：

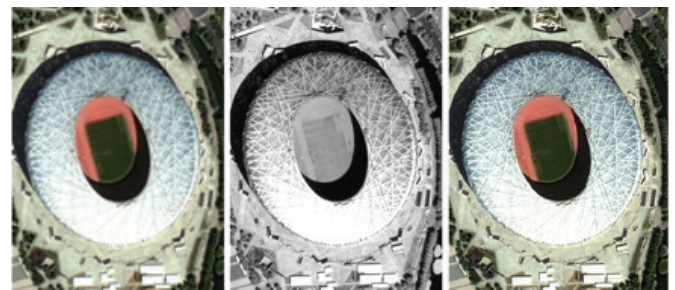
（1）基于地物分类与双边误差回归的低分辨率全色图像准确合成

合成低分辨率全色图像是指利用多光谱图像生成与全色图像对应的低分辨率全色图像。现有方法不区分地物对波段的光谱响应差异，采用单边误差 e_p 的回归模型 $P + e_p = Ma$ ，仅按“波段”（单维度）计算各个波段对合成低分辨率全色图像的贡献（权重），导致合成的低分辨率全色图像出现灰度失真。我们按“地物”，分“波段”（两维度）准确分析地物对波段的光谱响应差异，提出了基于地物分类与双边误差回归的低分辨率全色图像合成方法^[2]。首先，准确合成低分辨率全色图像的前提是在全色、多光谱的各个波段中，准确分析具有相似相对光谱反射强度的地物，而现有仅考虑多光谱图像各个波段相对关系的分类方法，存在同类地物在全色波段的反射强度差异大的问题。为此，我们对每个像元将其在全色、多光谱图像的像素值合成一个矢量，发现了相同矢量方向可表示相似的相对光谱反射强度，按矢量方向将地物划分为不同类型。其次，针对全色（因变量）、多光谱图像（自变量）双边均存在测量误差（ ϵ_P 、 ϵ_M ），采用双边误差的回归模型 $P + \epsilon_P = [M + \epsilon_M] c$ ，按“地物”，分“波段”准确计算各个波段的权重，实现了准确合成低分辨率全色图像 $\bar{P}_{i,j} = \sum_{k=1}^N a_k M_{i,j,k}$ 。

（2）基于乘性变换的全色与多光谱图像高保真融合模型

现有加性变换融合模型，采用“全色图像的边缘纹理 + 多光

谱的光谱色彩”生成融合图像，在光学卫星成像中，由于飞机、舰船等军事目标因光谱强反射容易产生过饱和问题（纹理饱和和丢失、轮廓放大失真），导致生成融合图像时“全色图像的边缘纹理”与“多光谱的光谱色彩”难以准确套合，出现边缘纹理模糊的问题。为解决该难题，我们从机理上改变了融合图像纹理细节、光谱色彩的表征方式，建立了基于乘性变换的全色与多光谱图像融合模型^[2]^[3]。具体而言，采用全色图像与低分辨率全色图像的比值表征融合图像的纹理细节，采用多光谱上采样图像表征融合图像的光谱色彩，并构造新的乘性变换融合模型，其中多光谱波段与低分辨率全色图像的比值抑制了过饱和和信息对融合图像纹理细节的破坏（见图 1）。与国际著名遥感图像处理软件 ENVI 的 GS 融合方法和 PCI 的 UNBPansharp 融合方法相比，解决了融合图像的纹理细节和光谱色彩失真问题，对随机抽样的上千景融合产品的统计分析表明，本模型融合图像的纹理细节、光谱色彩扭曲度均降低了 3 倍（见表 1）。



多光谱图像 全色图像 融合图像
图 高分二号卫星全色与多光谱图像融合示例

表 1 融合图像产品质量评价对比

融合方法	扭曲度（越小越好）	
	纹理细节	光谱色彩
GS 融合方法	12.37%	10.21%
UNBPansharp 融合方法	9.16%	9.25%
本方法	2.01%	2.07%

应本文作者要求，参考文献和作者信息在发布到互联网上时被删除。