

8-20-2020

Light Illumination Simulation Approach for Remote Sensing Image Based on Geometric Mapping

Chenhao Wang

PLA Unit of 91635, Beijing 102249, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Light Illumination Simulation Approach for Remote Sensing Image Based on Geometric Mapping

Abstract

Abstract: Light Illumination is one of the most important parts of imaging simulation research. A new light illumination simulation approach for remote sensing image based on geometry mapping was proposed. The first step was the geometric calibration of the input image, and the visible light reflection property was extracted by the inverse rendering approach; Second, geometric information of each pixel in the input image was obtained by geometric mapping; and the simulation output of new light illumination condition could be got with the imaging calculation in the image space. Results show that the new approach can achieve simulation image of high reliability.

Keywords

remote sensing image, visible light imaging, imaging simulation, relighting

Recommended Citation

Wang Chenhao. Light Illumination Simulation Approach for Remote Sensing Image Based on Geometric Mapping[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(3): 579-583.

基于几何映射的遥感成像光照仿真方法

王晨昊

(中国人民解放军 91635 部队, 北京 102249)

摘要: 光照条件是影响可见光遥感成像结果的重要因素, 是成像仿真领域的一项重要研究内容。提出一种基于几何映射的遥感成像光照仿真方法, 以单幅遥感图像样本和三维模型为输入, 获取不同光照条件仿真图像。对输入的样本图像进行几何定标, 并通过逆向渲染提取场景的可见光反射特性数据; 利用场景几何模型, 通过几何映射方法获取样本图像各像素点的几何信息; 根据设定的光照条件在图像空间进行成像仿真计算, 获取不同光照条件的仿真结果。实验表明, 该方法能够实现较为真实的光照仿真。

关键词: 遥感图像; 可见光成像; 成像仿真; 重光照

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2015) 03-0579-06

Light Illumination Simulation Approach for Remote Sensing Image Based on Geometric Mapping

Wang Chenhao

(PLA Unit of 91635, Beijing 102249, China)

Abstract: Light Illumination is one of the most important parts of imaging simulation research. A new light illumination simulation approach for remote sensing image based on geometry mapping was proposed. The first step was the geometric calibration of the input image, and the visible light reflection property was extracted by the inverse rendering approach; Second, geometric information of each pixel in the input image was obtained by geometric mapping; and the simulation output of new light illumination condition could be got with the imaging calculation in the image space. Results show that the new approach can achieve simulation image of high reliability.

Keywords: remote sensing image; visible light imaging; imaging simulation; relighting

引言

遥感图像样本是基于遥感图像进行地物分类和目标提取的重要参考依据。受大气、光照、飞行器抖动以及传感器噪声等诸多因素的影响, 样本图像的形成具有很强的随机性和偶然性, 很难通过实拍手段获取特定成像条件的图像。成像仿真技术是

获取满足特定条件遥感图像的有效途径。这一领域的研究和应用开始较早, 具有代表性的是美国罗彻斯特理工学院开发的遥感成像仿真软件DIRSIG和德国宇航中心开发的多光谱遥感仿真软件SENSOR^[1]。这两个软件实现了从场景、传感器到后端图像处理等在内的光学遥感系统仿真、建模与分析。德国Multigen-Paradigm公司推出的Vega系列仿真模块^[1], 可实现整个遥感成像过程的动态可视化仿真。国内也有若干科研单位开展了遥感成像仿真的研究。中国科学院长春光机所开发了遥感成像仿真软件RSIS1.0^[2], 该软件以虚拟三维图像为基



收稿日期: 2014-03-12 修回日期: 2014-06-16;

作者简介: 王晨昊(1980-), 男, 辽宁新民人, 博士, 工程师, 研究方向为遥感信息处理与应用。

<http://www.china-simulation.com>

• 579 •

础进行大气传输模拟及传感器响应仿真。中国科学院安徽光学精密机械研究所研制开发了光学遥感图像仿真软件ORSIS^[3]，通过对遥感成像过程的计算机模拟实现遥感图像仿真，能够模拟可见光、红外波段的光学遥感图像。已有研究多集中在大气传输以及光学成像系统的建模方面，而对于光照条件的建模仿真的研究还较少，技术还不成熟。

与光照仿真相关的另一个研究方向是计算机图形学领域的重光照(Relighting)技术^[4]。该技术无需对真实物体的精细建模就能模拟出物体在新的光照条件下的成像，大大降低了场景构建的复杂度和渲染时间。然而，目前重光照技术依赖于专用设备对目标进行不同角度的成像采样，这对于遥感成像目标来说难以实现。纹理映射技术利用场景的三维几何模型结合纹理贴图^[5]获取特定光照条件的真实感图形。该技术通过对几何模型的顶点赋予纹理坐标，建立纹理图到三维模型空间的映射，实现图形图像混合绘制。对于以遥感图像为基础的成像仿真，纹理映射方法存在 2 个弊端：(1) 绘制过程中纹理的重采样会使图像发生走样(Aliasing)，导致图像信息丢失；(2) 对于几何结构较为复杂的三维场景，纹理坐标的获取难度较大。

综上所述，目前对于遥感成像光照条件仿真还缺少有效的方法。为此，本文提出一种基于几何映射的遥感成像光照仿真方法，通过将几何信息映射到图像空间进行光照计算，实现利用单幅高分辨率遥感图像来获取不同光照条件的成像结果。

1 本文方法

纹理映射技术通过将纹理贴图映射至几何体表面来实现真实感图形绘制。本文方法的思路与纹理映射技术相反，通过将场景三维几何模型映射到样本图像的二维图像空间，获取样本图像每个像素点对应空间位置的几何信息(位置矢量和法矢量)，从而实现逐像素的光照计算。

本文仿真方法总的输入是样本图像和对应场景的三维几何模型；输出是不同光照条件的仿真图像。

该方法实现流程如图 1 所示，包含 2 个主要步骤：

第 1 步，对样本图像进行预处理，基于逆向渲染提取场景反射特性数据—漫反射纹理图；

第 2 步，通过对 GPU 渲染流水线进行编程，将几何信息映射至漫反射纹理图(或样本图像)的图像空间，进而实现逐像素的光照计算。

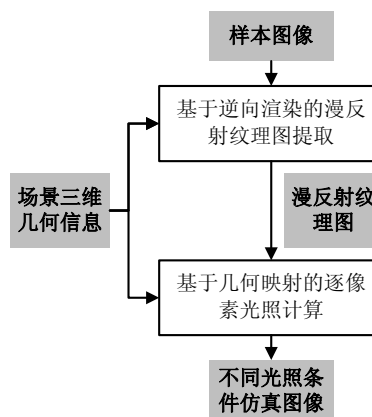


图 1 本文方法的处理流程

1.1 基于逆向渲染的漫反射纹理图提取

为了在新的光照条件下对场景进行光照计算，必须掌握场景物体表面的可见光反射特性。遥感图像中通常包含具有不同材质特性的物体，具有空间异性(spatially varying)的特点，为此本文采用漫反射纹理图来表示场景的可见光反射特性。渲染方程^[6]基于场景几何数据、表面反射特性以及光源参数来合成图像。反过来，以观测到的样本图像 L_{observed} 作为输入，也可以对以上数据(或部分数据)进行提取，本文将这一过程称为逆向渲染。如图 2 所示，基于逆向渲染的反射特性数据提取包含 4 个步骤：

第 1 步，利用文献[7]的方法对样本图像进行几何定标(Geometric calibration)，提取成像时刻传感器、光源和成像目标的相对方位参数；

第 2 步，根据样本图像提取阳光构成的直射光源以及大气散射构成的环境光源的相对强度等光照条件参数；

第 3 步，利用文献[8]的方法对样本图像进行

阴影检测与补偿, 消除阴影对成像结果的影响;

第 4 步, 利用 Lambertian 模型建立成像方程, 通过逆向渲染对样本图像各部位的可见光反射特性数据进行提取。

下面给出第 2 步和第 4 步的实现方法。

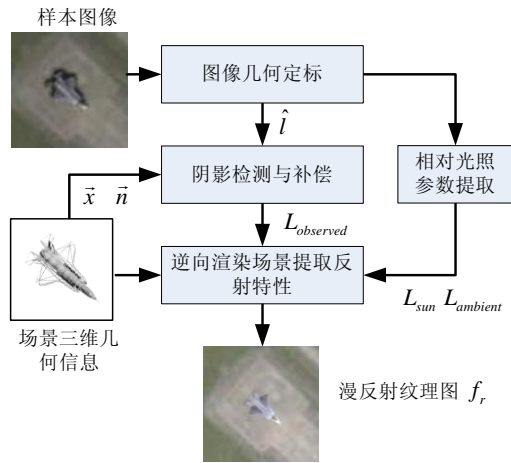


图 2 仿真基础数据提取流程

(1) 相对光照强度参数提取

对于遥感成像场景, 将光源表达为阳光直射光源 L_{sun} 和大气散射构成的环境光源 $L_{ambient}$ 。对于包含阴影的样本图像, 阴影区域只包含环境光照的作用, 而非阴影区域的成像结果则由阳光直射和大气环境光共同作用产生。因此, 本文通过同质表面在阴影区域 (A_1) 与非阴影区域 (A_2) 的亮度的差异来近似计算成像时 L_{sun} 与 $L_{ambient}$ 的相对强度。设采样区域 A_1 和 A_2 的平均亮度分别为 \bar{L}_1 和 \bar{L}_2 , 可见光反射系数平均值分别为 \bar{f}_1 和 \bar{f}_2 , \hat{n} 为场景表面的归一化法矢量, \hat{l} 为归一化阳光方向矢量, 则有

$$\begin{cases} \bar{L}_1 = L_{ambient} \cdot \bar{f}_1 \\ \bar{L}_2 = (L_{ambient} + L_{sun} \cdot \text{dot}(\hat{n}, \hat{l})) \cdot \bar{f}_2 \\ L_{ambient} + L_{sun} = 1 \end{cases} \quad (1)$$

由于所选区域为同质区域, 反射系数近似相等, 可推出

$$\begin{cases} L_{ambient} = \frac{\bar{L}_1 \cdot \text{dot}(\hat{n}, \hat{l})}{\bar{L}_2 + (\text{dot}(\hat{n}, \hat{l}) - 1) \cdot \bar{L}_1} \\ L_{sun} = \frac{\bar{L}_2 - \bar{L}_1}{\bar{L}_2 + (\text{dot}(\hat{n}, \hat{l}) - 1) \cdot \bar{L}_1} \end{cases} \quad (2)$$

(2) 可见光反射特性数据提取

经过阴影补偿, 我们获取了剔除阴影影响的样本图像。为进一步获取场景的反射属性, 本文利用 Lambertian 模型建模成像过程, 并通过逆向渲染方法进行漫反射纹理图提取。

根据渲染方程, 对于像素点 \vec{p} 逆向渲染的解应使仿真渲染结果 $L_{simulated}(\vec{p})$ 与观测值 $L_{observed}(\vec{p})$ 的误差 $E(\vec{p})$ 最小。

$$E(\vec{p}) = L_{observed}(\vec{p}) - L_{simulated}(\vec{p}) \quad (3)$$

逆向渲染方法的输入是经过阴影补偿的样本图像以及场景的三维几何信息, 输出是场景的漫反射纹理图。本文对遥感成像场景进行漫反射假设, 并令 $E(\vec{p}) \rightarrow 0$, 由 Lambertian 模型可得逆向渲染公式如下:

$$f_r(\vec{p}) = \frac{L_{observed}(\vec{p})}{L_{sun} \cdot \text{dot}(\hat{n}, \hat{l}) + L_{ambient}} \quad (4)$$

本算法通过 GPU 程序实现, 在像素着色器中按公式(4)定义渲染输出, 获取漫反射纹理图。

1.2 基于几何映射的逐像素光照计算

基于样本图像进行光照计算的一个主要问题就是缺少场景的几何信息, 因此难以利用传统的三维场景绘制方法。上节给出了从样本图像提取漫反射纹理图的方法, 在此基础上, 以三维模型为辅助, 通过将三维模型映射到漫反射纹理图(样本图像)的图像空间, 计算给定光照条件下的成像结果。本文将这一计算过程称为基于几何映射的逐像素光照计算, 其流程如图 3 所示。

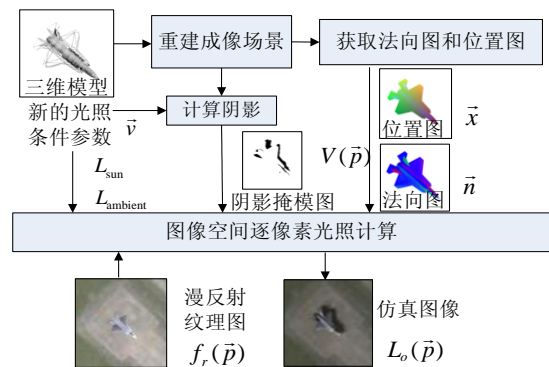


图 3 图像场景重光照流程图

(1) 在新的光照条件下重新计算阴影部位

阴影主要由目标几何结构决定, 本文通过图像场景对应的三维模型计算仿真设定光照条件下的阴影。首先根据样本图像的几何定标信息重建图像对应的三维场景; 然后, 在新的光照条件参数下, 利用阴影图方法^[9]计算场景阴影的分布情况, 并存储到阴影掩模图 $V(\bar{p})$ 中。

(2) 获取法向图和位置图

几何映射的关键是怎样利用三维模型获取漫反射纹理图(样本图像)每个像素点对应空间物体表面的位置和法向等几何信息。

正常的渲染流程将三维场景栅格化为二维图

像, 并综合场景的几何、纹理、光照等因素计算各像素的颜色值作为输出(对应图 4 虚线框)。本文通过 GPU 程序修改渲染流程, 通过将栅格化的几何信息输出到离屏缓存来实现几何信息从三维空间到二维空间的映射。

首先, 根据样本图像的几何定标信息重建图像对应的三维场景; 然后, 根据样本图像分辨率定义离屏缓存(浮点纹理)参数; 最后, 对像素着色器编程, 将几何信息输出到离屏缓存的 RGB 空间, 获取样本图像每个像素点对应的三维空间坐标(位置图)和表面法矢量(法向图)。本文方法对渲染流程的修改如图 4 所示。

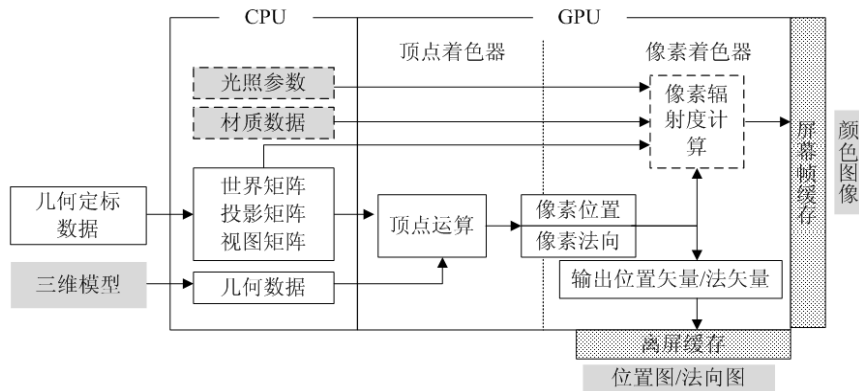


图 4 位置图/法向图获取流程

(3) 逐像素重光照计算

通过漫反射纹理图提取、阴影计算、几何映射, 我们获取了进行光照计算的基本数据。在此基础上进行图像空间光照计算, 获取最终的辐射度计算结果。计算公式如下:

$$L_o(\bar{p}) = f_r(\bar{p})V(\bar{p})(L_{\text{sun}} \cdot \hat{l}) + L_{\text{ambient}} \quad (5)$$

式中: $\hat{l} = \text{normalize}(\bar{x} - \bar{v})$ 为归一化光线入射方向矢量; \bar{x} 为像素 \bar{p} 对应场景表面点的位置矢量(位置图); \bar{v} 表示太阳(点光源)的位置矢量; \hat{n} 表示像素 \bar{p} 对应场景表面点的归一化法矢量(法向图); $f_r(\bar{p})$ 为漫反射纹理图; $V(\bar{p})$ 表示新的光照条件下的阴影分布区域(阴影掩模图); $L_o(\bar{p})$ 是光照计算输出图像的颜色值。

2 实验与讨论

实验在一台 2GHz CPU, 1GB 内存、Geforce9500GT 显卡的 PC 机上执行。算法通过 HLSL 语言编写的 GPU 程序实现。

第一组实验的输入是停泊在码头的舰船的样本图像。实验结果以及中间数据如图 5 所示。仿真光照条件太阳高度角为 45°, 相对于船首向, 太阳相对方位角为 45°, 90°, 135°, 315°。对于不同的太阳高度角和入射方位角, 我们都获得了视觉上较为真实的仿真结果。

为了验证本文方法仿真结果的准确性, 我们对样本图像进行重仿真, 即按照样本图像成像时刻的光照条件(太阳高度角为 78.5°, 相对方位角为 3.3°)

设置仿真条件参数进行成像仿真。图 6 给出了仿真的输出结果以及仿真结果与样本图像的差值图像。

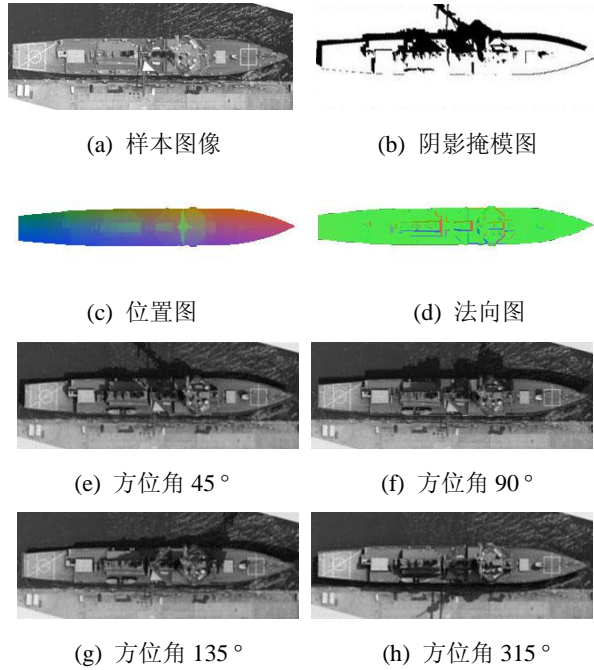


图 5 停泊舰船的遥感成像光照仿真

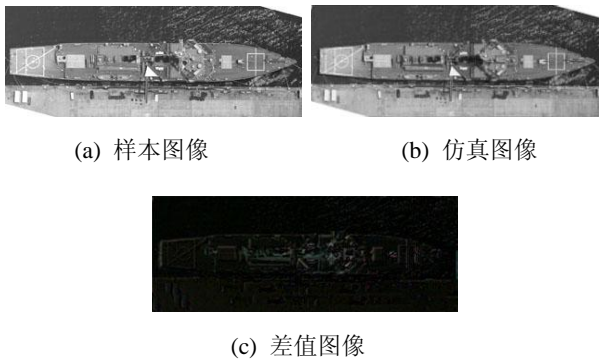


图 6 对比实验结果

从实验结果可以看出,本文方法的输出结果具有较为准确的阴影分布。明暗方面,均方根误差约为 10 灰度级,误差较大的部分集中在阳光入射角与表面法线接近垂直的区域。这主要是由于定标误差、图像几何畸变等原因导致三维模型与图像难以完全对齐所致;此外舰船表面并非理想的漫反射表面,利用 Lambertian 模型进行光照计算也会存在一定误差。

我们还基于更多样本图像进行了仿真实验。图 7 给出了以机场停驻的 F-35 战斗机样本图像为输入的仿真输出结果。其中(a)为输入样本图像;(b)仿真结果 1 的太阳高度角和方位角分别为 45° , 225° ; (c)仿真结果 2 的太阳高度角和方位角分别为 15° , 90° 。对于不同类型的目标遥感图像,本文方法都以三维模型为辅助得到了较为真实的仿真结果。

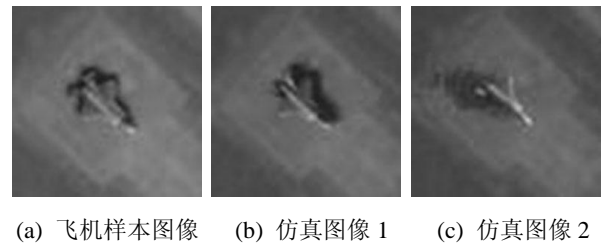


图 7 更多仿真结果

本文方法在图像空间进行各像素彼此独立的光照计算,算法效率与仿真输出图像像素数为线性关系。另外,设计了 GPU 程序实现算法,对于实验中的 320×120 像素分辨率样本图像,计算刷新率可达 200 FPS 以上。

3 结论

本文给出了一种新的从图像到图像的遥感成像光照仿真方法,可以获取不同光照条件下的仿真图像。这种方法以样本图像为输入提取场景的相关信息作为仿真基础数据;然后引入图像场景的三维模型作为辅助数据,获取样本图像各像素点的几何信息;最后在图像空间进行处理,实现样本图像逐像素的光照计算。经过实验及分析,本文方法可以得到阴影分布精确、明暗近似准确、视觉真实度较高的仿真图像。

本文方法的局限性有:(1)只能获得分辨率不高于样本图像的仿真结果;(2)只能仿真与样本图像具有相同成像视角的图像;(3)只能对三维几何模型已知的目标进行仿真。