

# 南方湿润地区植被叶面积指数快速遥感反演模型

张丹丹<sup>1</sup>, 张志新<sup>2</sup>, 田程<sup>3</sup>

<sup>1</sup>韶关宏大勘测规划设计有限公司, 广东 韶关

<sup>2</sup>水利部信息中心, 北京

<sup>3</sup>核工业230研究所, 湖南 长沙

收稿日期: 2022年8月18日; 录用日期: 2022年9月27日; 发布日期: 2022年10月10日

## 摘要

植被是城市生态系统的重要组成部分, 叶面积指数(LAI)是表征植被冠层结构的最基本的植被生物物理参数。本文应用WinScanopy林地冠层分析仪(具有180°鱼镜头)对广东省多个地面点进行植被参数测量并建立快速遥感反演模型, 结果表明植被叶面积指数(LAI)与植被覆盖度的关系为 $LAI = -1.3206 \ln(1 - A_v) - 0.0206$ , 拟合优度 $R^2$ 高达0.933。这可为我国南方湿润地区叶面积指数(LAI)遥感监测业务化提供有力的理论与技术支持。

## 关键词

植被, 叶面积指数, 遥感反演模型, 植被覆盖度, 南方湿润地区

## A Fast Remote Sensing Inversion Model for Vegetation Leaf Area Index in Humid Areas, South China

Dandan Zhang<sup>1</sup>, Zhixin Zhang<sup>2</sup>, Cheng Tian<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Shaoguan Hongda Survey, Planning and Design Co., Ltd., Shaoguan Guangdong

<sup>2</sup>Information Center, Ministry of Water Resources, Beijing

<sup>3</sup>Changsha Uranium Geology Research Institute, CNNC, Changsha Hunan

Received: Aug. 18<sup>th</sup>, 2022; accepted: Sep. 27<sup>th</sup>, 2022; published: Oct. 10<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

Vegetation is an important part of urban ecosystem, and leaf area index (LAI) is the most basic ve-

vegetation biophysical parameter to characterize vegetation canopy structure. In this paper, a WinScanopy forest canopy analyzer (with 180° fish eye lens) was used to measure vegetation parameters at several ground points in Guangdong Province, and a fast remote sensing inversion model was established. The results showed that the relationship between vegetation leaf area index (LAI) and vegetation coverage was  $LAI = -1.3206 \ln(1 - A_v) - 0.0206$ , and The goodness of fit  $R^2$  is as high as 0.933. This can provide strong theoretical and technical support for the commercialization of leaf area index (LAI) remote sensing monitoring in the humid areas of South China.

## Keywords

Vegetation, Leaf Area Index, Remote Sensing Inversion Model, Vegetation Coverage, Humid Areas of South China

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

植被是城市生态系统的重要组成部分，合理的植被景观空间布局，能够有效地缓解城市热岛效应，改善城市热环境。叶面积指数(LAI)是表征植被冠层结构的最基本的植被生物物理参量，对植被生态状况、生态环境变化具有重要的指示意义，是研究城市生态系统的重要参数之一[1] [2] [3] [4] [5]。

遥感技术是当前实现叶面积指数(LAI)大尺度宏观监测的重要手段，并且已经向实用化、量化方向发展，许多学者通过理论和实验研究，提出了各种基于经验的或者基于机理分析的植被叶面积指数(LAI)反演模型，包括辐射传输模型、几何光学模型、计算机模拟模型等[6] [7]。辐射传输模型已经成功应用于大气、植被、土壤和冰雪等领域；几何光学模型是将植被冠层假定为规则的几何形状，在通过计算场景内冠层面、冠层阴影面及背景光照面组分加权和得出场景反射率和辐射亮度；计算机模拟模型适合于解决多重散射等问题，一般和辐射传输模型及几何光学模型混合使用[8]。Yao *et al.* (2008) [6]使用冠层反射数据(Canopy Reflectance)和 MODIS 影像，调查研究了连续种植作物叶面积指数(LAI)估算的影响因子，并通过计算机模拟了基于参数敏感度分析的 BRDF 数据集，从而对作物不同的生长阶段所使用的不同的叶面积指数(LAI)反演模型进行了评价与分析。Rautiainen (2005) [9]通过反射物理模型从 SPOT HRVIR1 影像中反演得到 250 个寒带针叶林叶面积指数(LAI)值，并将其与通过植物指数估算得到叶面积指数(LAI)值进行了对比分析。机理模型通常结构复杂、变量过多且难以测量，在生产实践中业务化难度较大。

## 2. 研究内容

本文在前人提出的线性混合像元分解(LSU)植被覆盖度反演模型的基础上[10]，利用野外实测的植被覆盖度与叶面积指数间的函数关系，建立适用于南方湿润地区的叶面积指数(LAI)快速遥感反演模型，以期能为叶面积指数(LAI)业务化提取提供支撑。

## 3. 研究方法

本文应用 WinScanopy 林地冠层分析仪(具有 180°鱼眼镜头)对广东省多个地面点进行植被参数测量，经数据处理后获得每个测点的植被覆盖度和叶面积指数(LAI)，并对二者进行函数拟合，从而获得植被覆盖度与叶面积指数(LAI)之间的转换系数，并对结果进行精度评价。然后结合前人提出的线性混合像元分

解(LSU)植被覆盖度反演模型成果(图1中虚线部分),建立叶面积指数快速遥感反演模型。具体技术路线如图1所示。

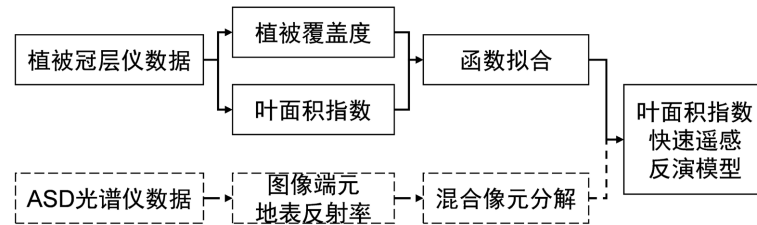


Figure 1. Technical flow chart

图1. 技术流程图

## 4. 植被叶面积指数快速遥感反演模型建立

### 4.1. LSU 植被覆盖度反演模型

在遥感探测中,若忽略地形的影响,并将地表视为朗伯体,则行星反射率 $r$ 可表示为:

$$r = TR + \rho_u \quad (1) [11]$$

式中, $T$ 为电磁波入射与反射过程中的大气综合透过率; $\rho_u$ 为上行路径散射反照率; $R$ 为地表反射率。

线性光谱模型利用一个线性关系表达遥感系统中一个像元内各地物的类型、比例与光谱响应[11]。该模型假设在瞬时视场下,混合像元的地表反射率是由该像元内的各种图像端元地表反射率的线性组合而成,其中各种图像端元在该像元内所占的面积比为线性方程的权重[11][12],即:

$$R = (A_v R_v + A_s R_s + A_w R_w + \dots) + e \quad (2) [11] [12]$$

式中, $e$ 为随机误差; $R_v$ 、 $R_s$ 、 $R_w$ ...分别为植被、土壤、水体等图像端元的地表反射率; $A_v$ 、 $A_s$ 、 $A_w$ ...分别为植被、土壤、水体等在像元中所占的面积比。

传统的混合像元分解研究与应用,通常忽略不同湿度的土壤间的反射率差异,但对于土壤湿度空间差异显著的我国南方地区,土壤湿度差异的影响应予以考虑。张志新等(2011)[10]用干燥土壤与水分的反射率的线性叠加代替土壤的反射率,即将土壤作为干燥土壤和水分两种图像端元的组合,比照 $A_s$ ,定义干燥土壤及土壤水分在混合像元中所占的面积比分别为 $A_{s0}$ 与 $A_{ws}$ ;定义水分的反射率为 $R_{ws}$ ,将式(2)改写为:

$$R = [A_v R_v + (A_{s0} R_{s0} + A_{ws} R_{ws}) + A_w R_w \dots] + e \quad (3) [11]$$

将式(3)中水分作为一类图像端元,从而在植被覆盖度反演中兼顾了土壤水分对混合像元光谱的影响,使得该LSU模型更适用于南方湿润地区的植被覆盖度反演。

由于土壤水分分散于土壤之中,与实际面积无关,需要通过归一化处理,去除土壤水分对像元中 $A_v$ 、 $A_s$ 、 $A_w$ ...的影响,进而获得地表真实的植被覆盖度,即:

$$A_v = A_v / \sum_{i=1}^m \hat{A}_i \quad (i \text{ 为非水分地物类型}) \quad (4) [11]$$

### 4.2. 植被覆盖度与叶面积指数函数拟合

植被方向覆盖度与叶面积指数(LAI)之间存在一个经典物理意义上的转换公式:

$$A_v(\theta) = 1 - \exp[-G(\theta) LAI / \cos(\theta)] \quad (5) [3]$$

因此, 根据植被覆盖度计算  $LAI$  具有可行性。对式(5)进行变换, 可以获得  $LAI$  与  $A_v$  的关系:

$$LAI = -\ln(1 - A_v)/G(0) \quad (6)$$

式中的  $G(0)$  与冠层的叶倾角分布有关, 而在植被类型相似的区域, 区域内  $G(\theta)$  的值较为一致。

图 2 为按测量结果中植被覆盖度从小到大排序的植被叶面积指数( $LAI$ )与覆盖度的散点分布曲线, 以及通过指数函数拟合后的曲线。采用指数函数拟合, 拟合优度  $R^2$  高达 0.933, 表明植被覆盖度与叶面积指数( $LAI$ )的确符合式(6)的关系。

经过指数函数拟合后, 植被叶面积指数( $LAI$ )可以通过植被覆盖度计算获得, 即:

$$LAI = -1.3206 \ln(1 - A_v) - 0.0206, R^2 = 0.933 \quad (7)$$

综合式(3)、(4)、(7), 即可实现南方湿润地区的叶面积指数( $LAI$ )快速遥感反演。

蔡薇等(2009) [11]对 LSU 植被覆盖度反演模型的精度进行了系统评价, 即  $A_v$  的平均相对误差为 11.96%。式(7)显示,  $A_v$  与叶面积指数( $LAI$ )的相关系数  $R$  高达 0.966, 可见基于 LSU 植被覆盖度反演模型建立的叶面积指数( $LAI$ )遥感模型, 能够实现南方湿润地区叶面积指数( $LAI$ )的高精度反演。

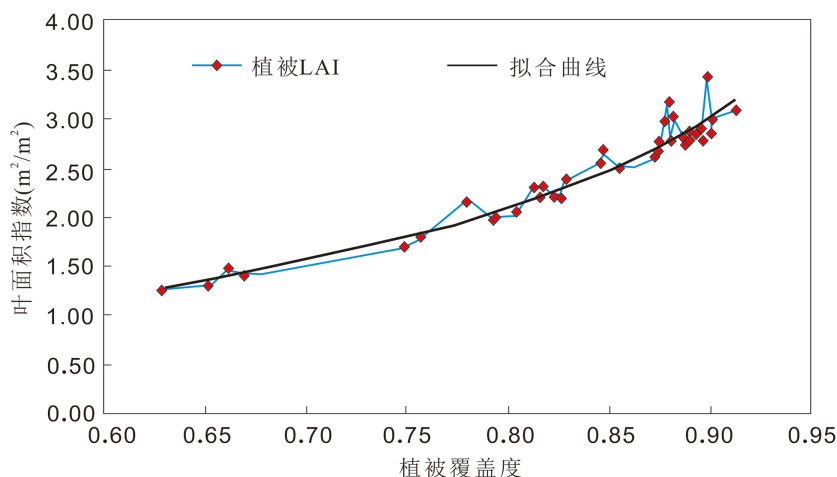


Figure 2. Vegetation LAI and vegetation coverage function fitting  
图 2. 植被 LAI 与植被覆盖度函数拟合

## 5. 结论

本文利用 WinScanopy 林地冠层分析仪在广东省的测量结果, 拟合获得植被覆盖度和叶面积指数( $LAI$ )的函数关系, 结合张志新等(2011) [10]提出的南方湿润地区 LSU 植被覆盖度反演模型, 建立了适用该区域的叶面积指数( $LAI$ )快速遥感反演模型。本文基于前人的研究基础, 所建立的叶面积指数( $LAI$ )快速遥感反演模型结构较为简单、变量较少而且易于测量, 在获取植被覆盖度后, 即可通过函数关系获取相关的叶面积指数( $LAI$ ), 容易在生产实践中业务化。这将为我国南方湿润地区叶面积指数( $LAI$ )遥感监测业务化提供有力的理论与技术支撑。

## 参考文献

- [1] Reich, P.B., Turner, D.P. and Bolstad, P. (1999) An Approach to Spatially Distributed Modeling of Net Primary Production (NPP) at the Landscape Scale and Its Application in Validation of EOS NPP Products. *Remote Sensing of Environment*, **70**, 69-81. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(99\)00058-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(99)00058-9)
- [2] Wei, X.Q., Gu, X.F., Meng, Q.Y., et al. (2017) Leaf Area Index Estimation Using Chinese GF-1 Widefield View Data

- in an Agriculture region. *Sensors*, **17**, 1593. <https://doi.org/10.3390/s17071593>
- [3] 徐希孺. 遥感物理[M]. 北京: 北京大学出版社, 2005: 53-56, 75-83.
- [4] 褚洪亮, 肖青, 柏军华, 程娟. 基于无人机遥感的叶面积指数反演[J]. 遥感技术与应用, 2017, 32(1): 140-148.
- [5] 江海英, 贾坤, 赵祥, 魏香琴, 王冰, 姚云军, 张晓通, 江波. 山地叶面积指数反演理论、方法与研究进展[J]. 遥感学报, 2020, 24(12): 1433-1449.
- [6] Yao, Y.J., Liu, Q.H., Liu, Q. and Li, X.W. (2008) LAI Retrieval and Uncertainty Evaluations for Typical Row-Planted Crops at Different Growth Stages. *Remote Sensing of Environment*, **112**, 94-106. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.09.037>
- [7] 李小文, Strahler, A., 朱启疆, 刘毅, 刘广成, 张仁华, 虞献平, 李继泉. 地物二向性反射几何光学模型和观测的进展[J]. 国土资源遥感, 1991, 3(1): 9-19.
- [8] 全兴文. 植被冠层反射率模型弱敏感参数遥感反演方法[D]: [博士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2017.
- [9] Rautiainen, M. (2005) Retrieval of Leaf Area Index for a Coniferous Forest by Inverting a Forest Reflectance Model. *Remote Sensing of Environment*, **99**, 295-303. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.09.004>
- [10] 张志新, 邓孺孺, 李灏, 陈蕾, 陈启东, 何颖清. 基于混合像元分解的南方地区植被覆盖度遥感监测——以广州市为例[J]. 国土资源遥感, 2011(3): 88-94.
- [11] 蔡薇, 郭洪海, 隋学艳, 等. 基于混合像元分解提取小麦种植面积的技术与方法研究[J]. 山东农业科学, 2009(5): 12-16.
- [12] 陶雪涛. 线性模型下多通道遥感图像混合像元分解方法研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 复旦大学, 2008.