

主成分变换方法在叶面积指数反演中的应用分析

苗乃哲^{1,2}, 姚顽强¹, 黄文江^{2*}, 徐新刚², 张东彦², 任鹏¹

(1. 西安科技大学测绘学院, 陕西西安 710054; 2. 北京农业信息技术研究中心, 北京 100097)

摘要 [目的]通过模型模拟数据和地面实测数据的分析, 确定主成分变换方法在叶面积指数反演中的作用。[方法]通过 PROSPECT 模型和 SAIL 模型针对 LANDSAT_5 TM 数据进行不同叶面积指数状态下的模拟, 通过模拟数据分析主成分变换方法相较于传统植被指数的优势, 并通过地面实测数据进行精度验证。[结果]在一定范围内, 随着叶面积指数的增大, 主成分变换的方法可以在有效减弱饱和现象影响的同时取得较好的反演效果。在 2009 年冬小麦和玉米的叶面积指数反演中主成分变换方法反演精度达到 78% 和 91%, 获得了较高的反演精度。[结论]主成分变换方法在叶面积指数反演方面具有较好的应用前景。

关键词 叶面积指数; 主成分变换; 遥感反演; 饱和现象

中图分类号 S711; S127 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2012)08-05032-03

Analysis on Application of Principle Component Transformation Method in Leaf Area Index Inversion

MIAO Nai-zhe et al. (Surveying and Mapping School, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an, Shaanxi 710054)

Abstract [Objective] Through analysis of the model simulated data and ground measured data, the function of principle component transformation method in leaf area index inversion was determined. [Method] By using PROSPECT and SAIL model, it was simulated under different leaf area index aiming at LANDSAT_5 TM data. Through simulating data, the advantages of principle component transformation method compared with traditional vegetation index were analyzed and precision verification was carried out through ground measured data. [Result] With leaf area index increasing, principle component transformation method could not only effectively weaken the influence of saturation, but also obtain better inversion effect. In 2009, the inversion precision for winter wheat and corn were up to 78% and 91%, obtaining a higher inversion precision. [Conclusion] The principle component transformation method has a better application prospect in leaf area index inversion.

Key words Leaf area index; Principal component transformation; Remote sensing inversion; Saturated phenomenon

叶面积指数(LAI)是一个十分重要的植被结构参数,是表达植被冠层结构的最基本参数之一,也是估算植物地面覆盖度、植被长势、农作物产量的一个重要指标,它的确定对于地表植物分类提取、产量预测等具有重要的意义^[1]。然而,传统的叶面积指数获取方法只能获得离散的叶面积指数数据,因此叶面积指数的遥感估算就成为目前获取大面积区域与叶面积指数的有效途径^[2],但是遥感估算仍然面临几个方面的困难:当叶面积指数较大时(大于3)植被指数趋于饱和;土壤和大气背景的影响不容忽视。

为了克服以上缺点,不少人致力于改进现有植被指数和寻找新植被指数并取得了一定成果,这虽然在消除土壤大气背景方面有一定效果,但是对于克服植被指数饱和现象并不明显。主成分变换是指将多个指标化为少数几个综合指标的一种统计分析方法。这种方法可以有效找出数据中最主要的元素和结构,去除噪音和冗余,将原有的复杂数据降维,揭示隐藏在复杂数据背后的简单结构。其优点是简单,而且无参数限制,可以方便地应用于各个场合。杨燕等研究表明主成分变换可以消除叶面积指数反演中叶绿素的影响^[3]。笔者对遥感图像进行主成分变换,目的主要是对图像信息进行重新组织排列,然后通过模拟数据与地面实测数据分析主成分变换在叶面积指数反演中的价值。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 北京位于 115°25' ~ 117°35'E, 39°28' ~ 41°05'N, 位于华北平原西北边缘,毗邻渤海湾,气候类型为典型的暖温带半湿润大陆性季风气候。山东东平位于 116°02' ~ 116°39'E, 35°46' ~ 36°10'N, 处于鲁西南平原北部,东部受鲁中山区的阻挡,境内受季风的影响,属温带季风型大陆性气候。

以北京小麦主产区通州与顺义两个地区的 2009 年 6 月冬小麦地面调查数据和山东东平 2009 年 8 月的玉米地面调查数据为基础,遥感影像将采用 Landsat_5 TM 影像数据。

1.2 数据与影像处理 2009 年北京冬小麦地面调查数据为 6 月 2 日采集,主要包括地面采集叶绿素 ab 含量、叶面积指数、干物质含量、类胡萝卜素含量等以及地面采样点的 GPS 坐标。

2009 年山东东平玉米地面调查数据为 8 月 26 日采集,主要包括地面采集叶绿素 ab 含量、叶面积指数、干物质含量、类胡萝卜素含量等以及地面采样点的 GPS 坐标。

遥感数据为 2009 年 6 月 3 日和 2009 年 8 月 30 日的 Landsat_5 TM 数据,空间分辨率为 30 m。对图像的进一步处理主要是进行了几何精校正、辐射定标与大气校正,以及各种植被指数计算和主成分变换。

1.3 模拟数据分析

1.3.1 冠层反射率模拟。首先使用模拟数据确定不同指数相对于 LAI 的敏感性,进而选择在计算中要使用的指数^[4]。使用叶片模型 PROSPECT 模型与冠层反射率模型 SAIL 模型进行冠层反射率的模拟。PROSPECT 模型是叶片反射率模拟模型,它可以以较少的输入参数模拟叶片的反射率和透过率^[5]。而 SAIL 模型是冠层反射率模拟模型,可以耦合

基金项目 国家自然科学基金项目(41071276, 41001244); 国家高分项目(E0103/1112/09); 北京自然科学基金项目(4112022)。

作者简介 苗乃哲(1986-)男,山东寿光人,硕士研究生,研究方向:农业遥感应用, E-mail: miaonaizhe@126.com。* 通讯作者,研究员,博士,从事农业定量遥感研究, E-mail: yellowstar0618@163.com。

收稿日期 2011-12-01

PROSPECT 模型模拟出 400 ~ 2 500 nm 范围内的冠层光谱^[6]。模拟的数据为 Landsat_5 TM 数据的各个波段中心波长处的反射率数据。SAIL 模型通过输入叶面积指数、平均叶倾角、太阳角度、观测角度、叶片反射率、叶片透过率、土壤反射率等参数来模拟一定观测条件下的植被冠层方向反射率等^[7-8]。叶片反射率与透过率由 PROSPECT 模型模拟,模拟计算时固定除了 LAI 之外的其余参数,模拟 LAI 在 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、4.5、5.0、5.5、6.0、6.5、7.0、7.5、8.0 16 个数值下的冠层光谱。

1.3.2 植被指数计算。完成冠层光谱模拟后,通过模拟光谱计算植被指数,最终选取 NDVI、MCARI2 2 个植被指数(表 1)。NDVI 是地表植被参量反演最常用的植被指数,能反映出植物冠层的背景影响,如土壤、潮湿地面、枯叶、粗糙度等,且与植被覆盖有关。MCARI2 是 Haboudane 等将对叶面积指数敏感的植被指数和对土壤背景不敏感的植被指数结合发展起来的新型光谱植被指数。它降低了叶绿素对于叶面积指数估算的影响,同时保持了对叶面积指数的敏感性。

表 1 叶面积指数反演使用植被指数

植被指数	指数计算公式	Reference
NDVI	$NDVI = (R_{NIR} - R_{Red}) / (R_{NIR} + R_{Red})$	Rouse et al, 1974
MCARI2	$MCARI2 = \frac{1.5 [2.5 (R_{800} - R_{670}) - 1.3 (R_{800} - R_{550})]}{\sqrt{2(R_{800} + 1)^2 - (6R_{800} - 5\sqrt{R_{670}}) - 0.5}}$	Reujean & Breon, 1995

确定植被指数后使用计算的植被指数与模拟给定的 LAI 值建立散点图,分析植被指数随着 LAI 增长的变化趋势。

1.3.3 主成分变换。在进行植被指数分析的同时,对模拟光谱数据进行主成分变换,主成分变换时模拟的 TM 光谱数据依然分为 6 个主成分,获得主成分数据后,对各个主成分与叶面积指数的相关性进行分析,最终获得第 2 主成分 (PCA-2) 与叶面积指数的相关性最高。

2 结果与分析

2.1 模拟数据 根据模拟数据获得了叶面积指数与 NDVI、MCARI2 的相互关系。由图 1、2 可知,植被指数在 0 ~ 3.5 对叶面积指数敏感性较好,相关性也较高,但是随着叶面积指数的增加,植被指数逐渐趋于饱和,不能较好地反映叶面积指数的变化。叶绿素的影响对叶面积指数的估算有较大的影响,随着叶绿素的增加,植被指数也会随之增加,同时叶片的分层现象更加明显^[9],冠层光谱不能真实地反映底层植被结构,因此当叶面积指数较大时,植被指数的变化是受到多方面影响的,因此不能较好地反映叶面积指数的变化,特别是叶面积指数大于 3 以后,随着叶面积指数的增加,对使用植被指数反演叶面积指数有较大的影响。

由图 3 可知,PCA-2 不仅没有随着叶面积指数的增加变得饱和^[10],并且与叶面积指数依然有较高的相关性,因此它在叶面积指数反演方面有较好的应用前景。数据显示叶面

积指数在 1.5 ~ 8.0 范围内第二主成分与叶面积指数正相关性明显,小于 1.5 时由于受到土壤背景影响较大出现异常。

下面将利用实测数据对植被指数以及第二主成分的叶面积指数反演精度进行分析。

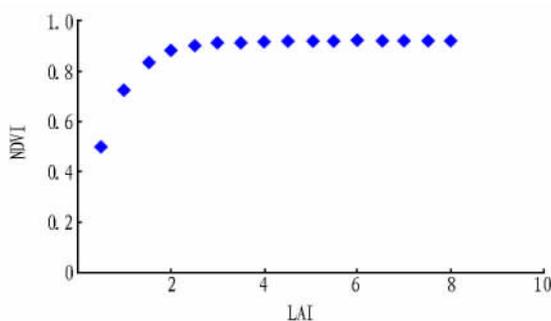


图 1 NDVI 随着 LAI 的变化趋势

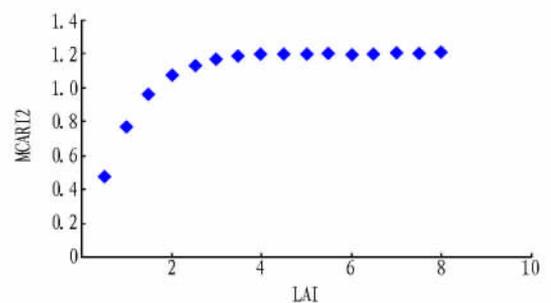


图 2 MCARI2 随着 LAI 的变化趋势

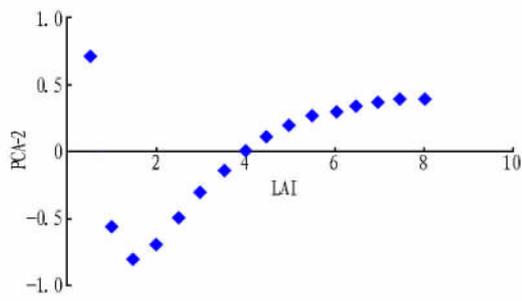


图 3 PCA-2 随着 LAI 的变化趋势

2.2 实测数据 为了验证主成分变换方法对不同作物在不同植被覆盖条件下对叶面积指数反演的优势和反演结果的有效性,选取 2009 年 6 月 2 日与 2009 年 8 月 26 日的小麦和玉米地面测量数据用主成分变换方法进行建模与验证。

小麦数据主要使用地面测量叶面积指数数据,首先计算图像的 NDVI、MCARI2 2 个植被指数,并建立他们与对应点实测叶面积指数的模型关系,然后对 TM 影像进行主成分变换,变换的目的是对图像信息进行重新组合,将 TM 影像的 6 个波段依然分为 6 个主成分,然后分析各个主成分与叶面积指数的相关性,分析结果显示实测数据第二主成分依然与叶面积指数相关性最高。在该基础上建立实测叶面积指数与第二主成分的关系,获得回归模型。使用 2 种方法建立的回归模型进行大区域叶面积指数反演,并将反演结果与地面验证数据进行比较,获得反演精度。精度评价使用以下公式:

$$A = \left(1 - \frac{|P - P'|}{P}\right) \times 100\%$$

精度计算结果见表 2 结果显示:

(1) 新型植被指数 MCARI2 有效地消除了土壤背景影响,反演精度最好。

(2) 叶面积指数与第二主成分相关性较大,成正相关关系,用于叶面积指数反演效果较好。

(3) 由于小麦叶面积指数基本都在 3.5 以下,植被指数基本未达到饱和,因此两者均可取得较好的反演效果。

虽然由于数据均在 1~4,而该期间植被指数均未趋于饱和,但是 PCA-2 依然取得了较好的反演效果。

表 2 小麦 LAI 反演精度比较

指数	回归方程	R^2	精度 A//%
NDVI	$LAI = 8.22 \times NDVI - 2.8448$	0.427	74.35
MCARI2	$LAI = 6.75 \times MCARI2 - 0.389$	0.403	88.08
PCA-2	$LAI = 21.21 \times PCA - 2 + 0.4219$	0.612	78.90

使用与小麦相同的数据处理方法对 2009 年 8 月 26 日的东平玉米数据进行处理,结果见表 3。结果显示:

(1) 植被指数在玉米叶面积指数反演方面具有比小麦更高的反演精度。

(2) 随着叶面积指数的增加,主成分变换方法的结果取得了比植被指数反演结果更高的精度。

表 3 玉米 LAI 反演精度比较

指数	回归方程	R^2	精度 A//%
NDVI	$LAI = 11.12 \times NDVI - 6.08$	0.512	87.07
MCARI2	$LAI = 9.55 \times MCARI2 - 5.01$	0.604	90.56
PCA-2	$LAI = 0.003 \times PCA - 2 + 2.037$	0.639	91.16

(3) 在叶面积指数大于 1.5 的情况下,主成分变换方法完全可以用于作物叶面积指数区域反演,并能够取得较好的反演效果。

(上接第 5031 页)

和 90H。设计者需要对地址码 1、地址码 2、功能码 1、功能码 2 的不同位进行编码来表示特定的含义。地址码 1 在电能表方案中是 GPRS 集中器终端地址,在配电变压器表方案中没有用到;地址码 2 在电能表方案中为表计设备地址,而在配电变压器表方案中为 GPRS 终端地址。功能码 1 是协议的操作命令码;功能码 2 用以配合功能码 1 作为某些操作命令的扩展,在其他帧中不起作用。数据长度用 2 个字节表示。数据区用以传递命令帧或响应帧带有的数据。校验码采用 LRC(Longitudinal Redundancy Checking)纵向冗余校验,由地址码 1 到数据区的最后一个字节计算而得。

5 结语

数字化农电网远程抄表一直是困扰电力部门的难题,由于电能表数量众多,地理位置分散,给工作人员带来极大的不便,需要投入大量的人力、物力和财力。基于 GPRS 的电能远程抄表系统可以对无线 ZigBee 技术的电能表进行远程集抄,同时通过 GPRS 双向系统可实现对远端电能表和其他

3 结论

叶面积指数反演方法众多,其中使用植被指数建模反演的方法应用较为广泛,但是植被指数易于饱和以及土壤背景对其的影响不可避免,在一定程度上影响了反演效果,主成分变换方法目前在各个领域均有较广泛的应用,该文通过模拟数据发现主成分变换方法受饱和现象影响较小。在实际使用中,通过主成分变换获取 Landsat_5 TM 的第二主成分与叶面积指数相关性最高,通过建立它与叶面积指数的回归模型在小麦与玉米的叶面积反演中精度达到 78% 和 91%,取得了较好的反演效果,表明主成分变换的方法在其余植被指数趋于饱和的时候,在叶面积指数反演方面具有一定的适用性和较好的反演精度,是植被指数之外的一种较好的叶面积指数反演方法。

参考文献

- [1] 王纪华,赵春江,黄文江,等.农业定量遥感基础与应用[M].北京:科学出版社,2008:1-380.
- [2] 敏华,刘良云,刘团结,等.小麦冠层理化参量的高光谱遥感反演试验研究[J].测绘学报,2002,31(4):316-321.
- [3] 杨燕,田庆久.高光谱反演水稻叶面积指数的主成分分析方法[J].国土资源遥感,2007(3):47-50,61.
- [4] 唐怡.冬小麦叶面积指数反演方法研究[D].北京:北京师范大学地图学与遥感科学学院,2006.
- [5] 李云梅,王秀珍,沈掌泉,等.水稻叶片反射率模拟[J].浙江大学学报:农业与生命科学版,2002,28(2):195-198.
- [6] 王东伟,孟宪智,王锦地,等.叶面积指数遥感反演方法进展[J].五邑大学学报:自然科学版,2009,23(4):47-52.
- [7] 蔡博峰,绍霞.基于 PROSPECT + SAIL 模型的遥感叶面积指数反演[J].国土资源遥感,2007(2):39-43.
- [8] 万华伟,王锦地,梁顺林,等.联合 MODIS 与 MISR 遥感数据估算叶面积指数[J].光谱学与光谱分析,2009,29(11):3106-3111.
- [9] 沈艳,牛铮,缪启龙,等.王汶双层植被结构冠层光谱特性的理论模拟[J].遥感技术与应用,2005,20(5):465-468.
- [10] CARLSON T N, RIPLEY D A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover and leaf area index[J]. Remote Sensing of Environment, 1998, 62:241-252.

电力设备进行控制,可以节省人力资源和建设成本,缩短维护时间。目前,基于 GPRS 的电能远程抄表系统在供电部门已得到广泛应用。

参考文献

- [1] 何会民,石磊娜,张志刚.基于 GPRS 和 Internet 的远程控制系统设计[J].微机计算机信息,2008(7):37-39.
- [2] 赵养社.基于无线传感器网络和 GPRS 网的灌溉系统研究[J].安徽农业科学,2011,39(7):4203-4206.
- [3] 闫银发,公茂法,汤元信.基于 ZigBee 技术的无线网络抄表系统设计[J].电测与仪表,2006,43(6):43-45.
- [4] 郑火国,刘世洪,孟泓.基于 GPRS 的农产品移动溯源终端研究与实现[J].微机计算机信息,2009(26):44-45.
- [5] 徐伟恒,张晴晖,李俊秋,等.基于 GPRS 和 ZigBee 的精准林业环境因子监测模式研究[J].安徽农业科学,2011,39(23):14403-14405,14409.
- [6] 中华人民共和国电力行业标准-多功能电能表通信规约 DL/T 645-1997[M].北京:中国电力出版社,1998.
- [7] 赵伟华,刘军民,陈宗浩.无线扩频通信在小型集散型控制系统中的应用[J].自动化仪表,2002,23(7):42-45.
- [8] 包明国.GPRS 无线通信控制器及其在数字化油田中的应用[D].镇江:江苏大学,2005.