

文章编号: 1001-8166(2008)09-0982-08

热带人工林 SAR 散射组成及对遥感 估测叶面积指数的影响^{*}

高 帅^{1,2}, 牛 铮¹

(1. 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 基于 RADARSAT SAR 数据, 利用 MIMICS(Michigan Microwave Canopy Scattering) 模型模拟森林组分(冠层、树干层、地表)雷达后向散射, 模拟研究表明在稀疏的人工林地区, 地表层与森林冠层的直接散射是影响森林总的后向散射中最重要的两个因素。在同样的地表条件与森林环境假设下, 阔叶林的模拟结果与影像的一致性要优于针叶林, 针叶林由于受到地形起伏的影响, 难以利用模型模拟森林的散射情况。同时, 研究发现, 利用森林郁闭度可以定量的表示森林冠层直接散射与总散射的相关关系, 因而在一定的条件下得到冠层直接散射。最后, 对该方法进行了简单的验证。

关 键 词: 叶面积指数; 后向散射系数; 合成孔径雷达; RADARSAT

中图分类号: S771.5; S771.8

文献标志码: A

1 引 言

森林叶面积指数是地表碳循环模型的重要参数, 对于定量研究森林碳循环、森林生产力等具有重要影响^[1,2]。目前, 人们在利用遥感手段估测森林叶面积指数方面做了很多研究^[3], 但是这些研究主要集中在光学遥感领域, 对遥感影像的质量有较高的要求。在多云雨地区, 为了消除大气、云雨等条件对光学影像的影响, 往往采用一些校正的方法, 但是这也增加了所研究问题的复杂性, 有时甚至会成为叶面积指数反演误差的一个来源^[4], 因此, 传统的光学遥感获取森林叶面积指数的方法在这些地区受到很大的限制。如何借助于微波遥感全天时全天候的特点, 获得一种微波估测森林叶面积指数的方法成为对广大遥感工作者的一大挑战。

与光学遥感中利用各种植被指数(NDVI 等)与

LAI 的相关性建立的各种统计模型^[2,5]不同, 在微波遥感中, 往往直接利用雷达后向散射系数与 LAI 的相关性进行研究, 这在反演农作物叶面积指数方面取得了很大的成果^[6~8], 而估测森林叶面积指数还没有取得较大的进展, 这主要是因为森林的叶面积指数主要与森林冠层的一次和多次散射直接相关, 但是森林的散射却包括很多的组成部分, 包括森林叶片、树枝、树干以及地表等的散射贡献等十分复杂。为了便于研究森林的雷达后向散射, 前人设计了许多模型, 如 MIMICS 模型^[9]、KARAM 模型^[10]、SUN 模型^[11]等, 这些模型一般将森林分为 3 层, 即森林冠层、树干层、地表层等, 散射主要来自这些层的单次散射与多次散射作用, 这些机理模型能较准确地模拟森林散射, 因此在各种雷达散射研究中都得到广泛的应用。

在本文中, 我们主要基于 MIMICS(Michigan Mi-

^{*} 收稿日期: 2008-04-18; 修回日期: 2008-08-20.

^{*} 基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目“基于多模式、多时空分辨率遥感信息融合的理论与方法”(编号: 2007CB714406); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(编号: KZCX2-YW-313); 遥感科学国家重点实验室科研资助基金项目(编号: KQ060006)资助。

作者简介: 高帅(1983-), 男, 山东高密人, 博士研究生, 主要从事全球变化遥感研究. E-mail: gaoshuai@live.com

crowave Canopy Scattering) 模型定量研究森林雷达后向散射,分析其主要的影响因素,从而为多云雨地区估测森林叶面积指数提供帮助。具体来说,本文有3个主要的研究目标:

- (1) 基于 MIMICS 模型定量地模拟森林的雷达后向散射及各个组分散射之间的关系。
- (2) 研究地面散射因素对估测森林叶面积指数的影响。
- (3) 探讨利用雷达估测多云雨地区森林叶面积指数的方法。

2 理论研究

2.1 MIMICS 模型

MIMICS 模型将森林的雷达后向散射分成3个部分,包括树冠层、树干层与粗糙地表边界等,每一部分的都可以由辐射传输方程求得一次解,将各个组分内部的单次散射与组分之间的二次与多次散射求和,从而得到冠层上的总散射^[9](下文中用 Total 表示),MIMICS 模型的具体介绍见参考文献[9]。

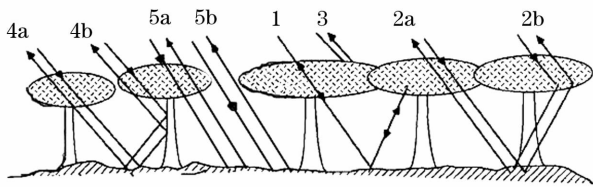


图1 MIMICS 模型微波后向散射的组成
Fig.1 Microwave backscattering component of MIMICS model

概括起来,可以分成7个部分:

- (1) 微波穿过冠层经过地表镜面反射到达树冠层,经冠层散射回的电波再经过地表镜面反射穿过冠层,即图1中第1项,以下用 GndcGnd 表示。
- (2) 微波经过树冠层的散射,经过地表反射穿过树冠层的部分,即图1中2a项,以下用 CrnGnd 表示。
- (3) 图1中2b项,同2项但方向相反,以下用 GndCrn 表示。
- (4) 微波与树冠层相互作用,由树冠层散射到空中,即图1中第3项,以下用 DirCrn 表示。
- (5) 微波经过树冠层透射到树干上,经树干地表散射后穿过冠层,即图1中4a项以下用 TrkGnd 表示。
- (6) 图1中4b项,与4a只是微波与地表、树干

作用的顺序关系不同,以下用 GndTrk 表示。

(7) 图1中5a、5b项,微波与地表相互作用的部分,以下用 DirGnd 表示。

冠层上的雷达总的后向散射可用公式1直观表述如下:

$$\text{Total} = \text{GndcGnd} + \text{CrnGnd} + \text{GndCrn} + \text{DirCrn} + \text{TrkGnd} + \text{GndTrk} + \text{DirGnd} \quad (1)$$

2.2 模型参数的获取

MIMICS 模型输入参数包括传感器参数、地表粗糙度、含水量、树干参数、树叶参数、针叶参数、枝干参数、环境参数等,这些参数之间可能有一定的相关关系,因此,在研究中的一个重要方法就是尽可能的使用实际测量的数据。对于一些难以直接获得但是有重要影响的参数(如地表粗糙度等),将这些参数设置在一个合理的变化范围内,而对于一些虽难以获得但是在本研究中影响不大的参数,如温度等,则根据历史记录及前人的研究资料来获得,以下给出了一些参数的获得与估计方法:

- (1) 传感器参数:雷达入射角与雷达频率,从 RADARSAT SAR 数据头文件获取
- (2) 地面参数:含水量、含水含沙等,根据土壤类型信息来取得,而粗糙度(表面相关长度、表面均方差高度)则由地形因素取一定的范围。
- (3) 树干参数:高度、胸径、密度等都可以有森林普查数据实测获得。
- (4) 叶片参数:叶片密度、直径可以由叶面积指数估测,而叶片厚度则主要是前人的调查资料。
- (5) 树枝参数:因为影响不是很大,所以借鉴前人对模型的研究所使用的参数^[9,12]。
- (6) 其它参数:温度、湿度等参数根据历年的观察资料及气象资料获得取近似值。

2.3 森林叶面积指数的获取

叶面积指数的获取方法有直接法、间接法、经验关系法等^[5,13]。对于森林普查数据,大范围的直接实测森林叶面积指数并不容易实现,而且在森林雷达遥感的研究中,雷达影像上某一个小范围的散射很容易受到其它周围情况的干扰,在图像上表现为斑噪,因此往往以较大的范围来整体进行研究,而这与森林调查数据来说正好相吻合,因此我们通过热带森林叶面积指数与森林郁闭度的经验关系的方法来得到森林的叶面积指数^[14]:

$$L = 0.217 + 0.058 \times \exp((fc - 0.033)^2 \times 5.578) \quad 0.4 < fc < 1.0$$

$$L = 0.85 \times fc \quad 0 < fc \leq 0.4 \quad (2)$$

式中: L 为叶面积指数, f_c 为森林的郁闭度。

尽管存在一定的误差,但是对于模拟研究中作为模型验证来说却是合适的,在一些模型研究中得到了应用^[12]。

3 研究区概况及数据处理

3.1 研究区概况

本研究中的热带人工林位于广东雷州林业局管辖林区, 110° ~ 111°E, 21° ~ 22°N, 包括雷州、遂溪、廉江等 5 个县市, 该地区的主要树种为: 尾叶桉、刚果 12 号桉、尾细桉、雷 1 桉、湿地松、加勒比松等, 林区南部平坦, 北部靠近山区, 有一定的地形起伏^[15]。典型阔叶林如尾叶桉、刚果 12 号桉主要集中分布在南部, 而湿地松、加勒比松等针叶树种则主要分布在北部丘陵地区。

3.2 数据的获取与处理

数据分为两部分, 即实地测量数据与 SAR 数据。在 2002 年全国森林二次普查中, 雷州林业局对管辖范围内的桉树林、针叶林等森林资源进行了系统的调查, 这些数据包括小班树种、造林年度、公顷株数、郁闭度、平均高、平均胸径、公顷蓄积、地形、坡位、坡向、坡度、海拔、小班蓄积、散生蓄积、枯倒蓄积、杉蓄积、小班面积、龄组等, 所有属性数据输入到 GIS 中进行管理^[16]。

遥感影像为 RADARSAT-1 SAR C 波段数据, 获取时间为 2002 年 9 月 17 日, 为降轨成像, 成像模式为 W2, 产品类型 of SGF。

雷达数据的几何纠正与辐射定标两部分, 均在 ERDAS 软件支持下完成, 处理后得到经过几何校正的雷达后向散射强度图像, 将此图像与 2002 年第二次普查数据的小班图在 ARCGIS 软件中做叠加, 提取每个小班的后向散射系数的平均值作为该小班样地的雷达后向散射的真实值来进行研究, 图 2 为森林小班与 SAR 影像的叠加效果图。

4 结果与讨论

4.1 森林的雷达散射特征模拟

选取尾叶桉、刚果 12 号桉两种阔叶林与加勒比松、湿地松等 2 种针叶林作为研究对象, 这些树种在该地区分布较为广泛, 具有较大的代表性。将每个小班的森林调查的数据及其他数据输入到 MIMICS 模型中, 模拟出每个小班的雷达后向散射。从阔叶林中随机选择了 72 个样本, 而针叶林选择 30 ~ 40 个样本, 大约占每个树种总样本数目的 1/3 ~ 1/2,

图 3 是模拟结果与 RADARSAR SAR 遥感影像的真实的雷达后向散射系数的对比图。

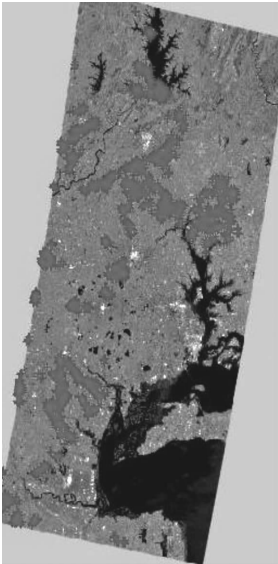


图 2 雷州森林普查小班与影像叠加图
Fig.2 Forest survey data and RADARSAT image overlay map

从图 3 可以看出, 阔叶林线性相关系数 R^2 明显大于针叶林的情况。分析认为, 这主要是由于阔叶林分布在地势相对平坦的南部地区, 针叶林主要分布在北部的丘陵地区, 由于没有实地的 DEM 数据, 均假设地表平坦, 以 SAR 传感器的入射角作为其局地入射角, 对于地表有较大起伏的针叶林来讲有较大的误差, 对于 MIMICS 模型输入参数来讲阔叶林会更有利。而且在阔叶林、针叶林同样的叶面积指数水平下, 针叶林由于聚簇效应^[1], 会比阔叶林更加稀疏, 地面的影响因素更大。在难以较准确的模拟针叶林散射的情况下, 我们以阔叶林为例来说明来研究雷达后向散射的组成, 为尾叶桉、刚果 12 号桉模拟值具体组成及各组分的散射情况。

模拟结果显示, 直接的冠层散射 (DirCrn) 与直接的地表散射 (DirGnd) 处于同一个数量级, 由于雷达的后向散射系数是以分贝 (dB) 表示, 因而实际上其它几种散射的贡献所占的比例很小, 因此公式 1 可以近似简化为:

Total = DirCrn + DirGnd (3)

在 MIMICS 模型中, 森林结构参数的变化是影响模拟的森林后向散射各个组分变化的直接原因, 在输入参数中, 结构参数包括郁闭度、密度、高度、胸径等, 而其中森林的郁闭度、叶面积指数等能较好地

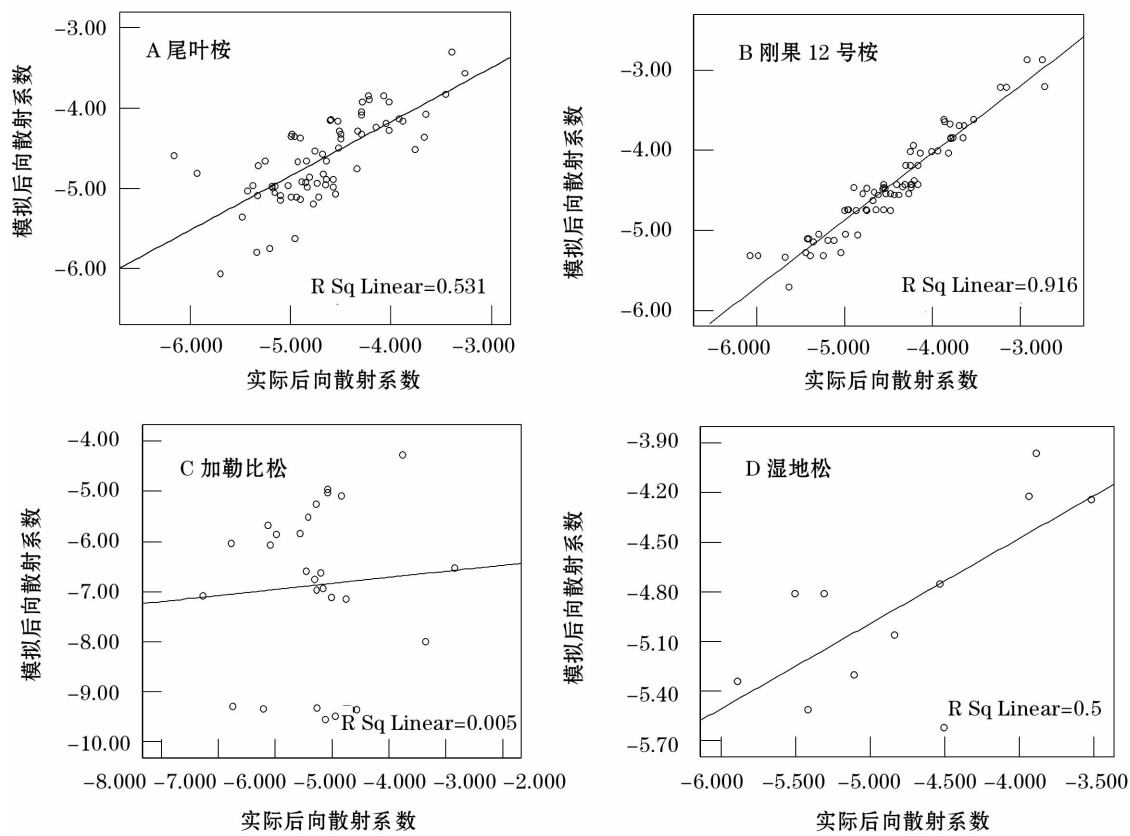


图3 尾叶桉、刚果 12 号桉、加勒比松和湿地松雷达后向散射模拟值与真实值关系

Fig.3 The comparison between simulated and measured microwave backscattering of *E. urophylla*, *Congo 12 eucalyptus*, *Pinu scaribaea*, slash pine

表 1 样本各组分后向散射的统计值

Table 1 The statistics of simulated microwave backscattering

	尾叶桉	Std.	刚果 12 号桉	Std.
	Mean[min,max]	Deviation	Mean[min,max]	Deviation
DirGnd	-7.7447[-11.39, -5.47]	1.75429	-6.6181[-8.19, -4.21]	1.03223
GndTrk	-137.2514[-140.24, -134.37]	1.78222	-136.3158[-139.83, -133.38]	1.60805
TrkGnd	-137.2514[-140.24, -134.37]	1.78222	-136.3158[-139.83, -133.38]	1.60805
DirCrm	-8.0125[-10.89, -5.69]	1.39756	-8.6879[-10.89, -6.83]	1.23994
GndCrm	-64.8124[-67.49, -62.68]	1.10237	-65.4482[-67.16, -62.95]	0.90418
CrmGnd	-64.8124[-67.49, -62.68]	1.10237	-65.4482[-67.16, -62.95]	0.90418
GndcGnd	-121.5817[-124.53, -118.73]	1.16288	-122.1878[-124.19, -118.92]	0.86762
total	-4.6275[-6.06, -3.30]	0.52945	-4.4233[-5.70, -2.86]	0.61880

注:[]中为最小值与最大值。Mean 为所选 72 个样本后向散射系数的平均值, min 与 max 分别为最小值最大值, Std. 为标准差

描述森林的冠层的变化。但是在实际研究中发现,随着叶面积指数的增大,森林的实际的后向散射系数并没有发生很大的变化。图 4 是所选的随机样本叶面积指数随雷达实际后向散射系数的变化趋势图,在森林的叶面积指数较小时,随着叶面积指数的增大,从雷达影像上获取的后向散射系数并没有发生明显的变化。

分析认为,当叶面积指数较小时,森林的总的散射以地表的散射(DirGnd)为主,随着叶面积指数的增大,冠层散射(DirCrm)逐步增大,因而总的雷达后向散射并没有较大的变化,这表明在森林叶面积指数较小时,并不能通过总的后向散射得到叶面积指数的变化情况。研究表明,冠层的直接散射(DirCrm)却始终与叶面积指数、郁闭度等有较明显

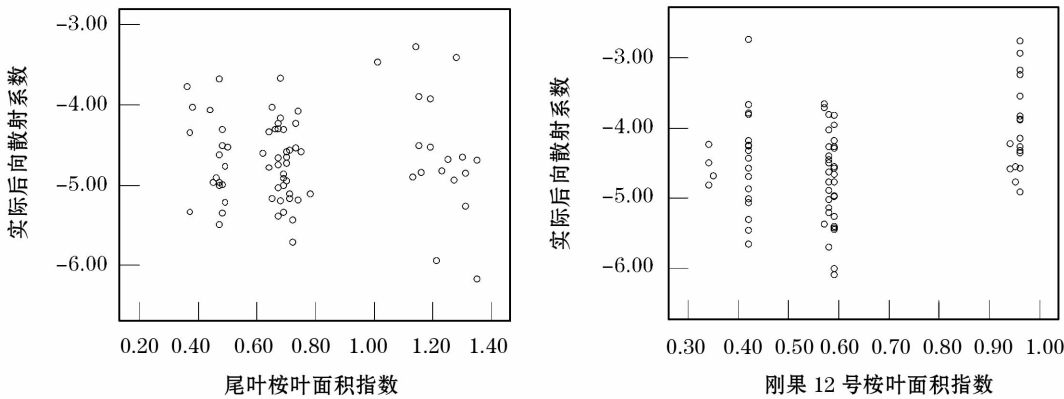


图 4 尾叶桉、刚果 12 号桉叶面积指数与雷达后向散射系数之间的关系

Fig. 4 The relationship between LAI and microwave backscattering of *E. urophylla*, *Congo 12 eucalyptus*

的相关关系。在利用 C 波段的数据进行农作物叶面积指数研究中,在作物生长初期,其叶面积指数较小(约 0.5)的情况下,地表的影响相对较大,总散射与叶面积指数等也没有呈现有规律的变化趋势,但是随着作物的生长,叶面积指数增大,森林的总散射随着叶面积指数呈现出较强的变化趋势^[17]。对森林尤其是叶面积指数相对较小的人工林来说,在叶面积指数比较大的范围内,地表对森林的雷达后向散射始终有较大的影响,因此在森林的叶面积指数反演研究中,必须采用一定的方法将地表散射消除,建立叶面积指数与森林冠层直接后向散射(DirCrm)的关系从而进行反演研究。

4.2 地表因素对散射影响及消除

为了研究森林 LAI 与雷达后向散射的关系,我们将模拟的冠层直接散射与总的后向散射求差值(总的后向散射减去冠层直接散射,以下用 Δ 表示),研究森林郁闭度、叶面积指数与 Δ 之间的关

系。如图 5~6 所示,尾叶桉、刚果 12 号桉的郁闭度、叶面积指数与 Δ 具有很强的相关关系,可以通过此种方法来量化森林冠层中直接的雷达后向散射,以此来消除地表等因素对总的雷达后向散射强度的影响。

对于尾叶桉与刚果 12 号桉, Δ 与郁闭度、叶面积指数都有较好的相关关系,随着郁闭度叶面积指数的增大, Δ 越来越小,当达到一定的值之后森林的总的散射可以认为主要来自冠层,当郁闭度在 0.8~0.9 范围时, Δ 在 1 以内,而当叶面积指数在 1~1.5 范围时, Δ 达到最小值。由上述分析可以看出,当森林郁闭度小于 0.8 或者叶面积指数小于 1 时,森林的地表等因素对雷达散射有重要的影响。

4.3 模型验证

本研究中,利用 Δ 与森林郁闭度的关系,可以得到冠层直接后向散射,通过图 5、图 6 中郁闭度与 Δ 的相关关系的公式,利用该地区该树种的其它样本

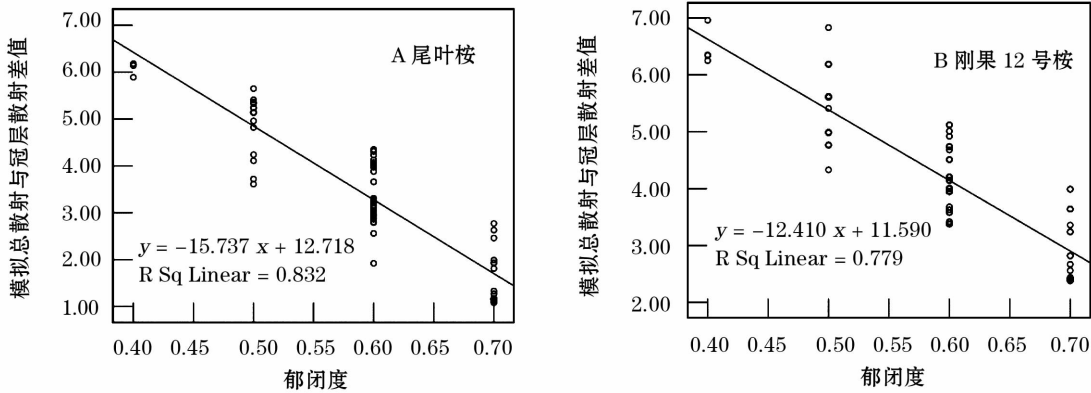


图 5 尾叶桉、刚果 12 号桉郁闭度与模拟的冠层与总散射之差的关系

Fig. 5 The relationship between closure and backscattering difference of *E. urophylla*, *Congo 12 eucalyptus*

进行验证,得到冠层直接的雷达后向散射,图 7 是尾叶桉与刚果 12 号桉的结果图。在消除了地表等因素的影响之后,叶面积指数与森林的冠层散射之间成明显的相关关系,尾叶桉与刚果 12 号桉的相关系数 R^2 分别为 0.703、0.753。由于人工林的栽植往往集中在同一个时期,类型单一,所以森林的叶面积指数值往往比较集中,分布不广泛,这造成拟合的公式并不能很准确的描述森林的冠层散射随叶面积指

数的变化情况,但是相对与图 4 中随机样本的总的雷达后向散射,冠层的散射随着叶面积指数呈现规律性的变化,这与我们分析基本一致。同时在本研究中发现,对于 C 波段,当叶面积指数大于在 1 ~ 1.5 的某个阈值时,总散射基本上来自冠层散射,但是对于其他波段极化方式来讲这并不成立,在 L 波段这个阈值要提高在 3 左右时,森林散射才基本上来自冠层散射^[18]。

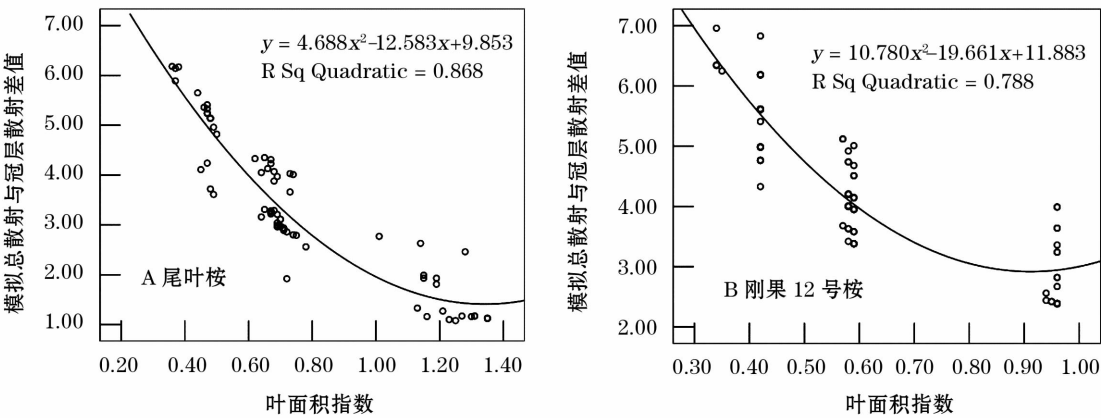


图 6 尾叶桉、刚果 12 号桉叶面积指数与模拟的冠层与总散射之差的关系

Fig. 6 The relationship between LAI and backscattering difference of *E. urophylla*, *Congo 12 eucalyptus*

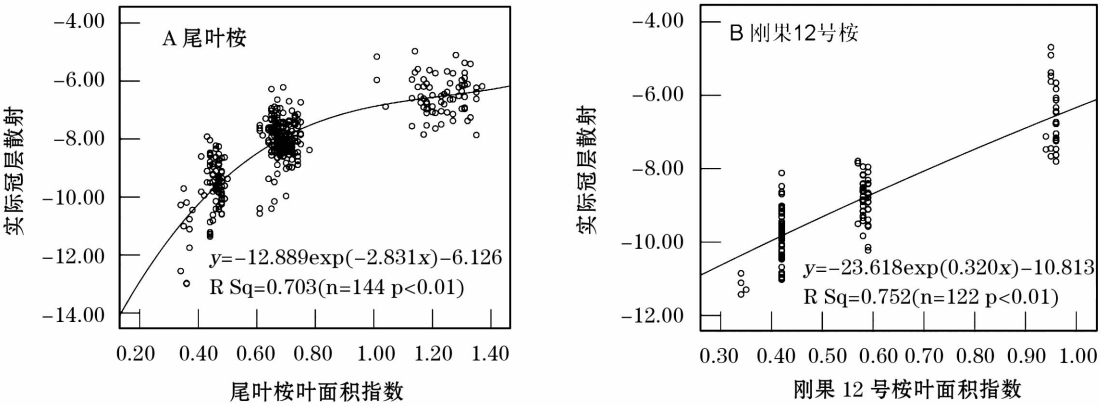


图 7 尾叶桉、刚果 12 号桉叶面积指数与修正后森林冠层后向散射之间的关系

Fig. 7 The relationship between LAI and modified forest crown backscattering of *E. urophylla*, *Congo 12 eucalyptus*

研究发现,通过利用 MIMICS 模型模拟森林的雷达后向散射的,利用郁闭度得到各个组分的关系再间接得到所求叶面积指数与冠层直接后向散射的关系的方法是有一定的现实意义的,能够较准确的模拟森林叶面积指数与雷达后向散射的变化,进而对反演研究提供支持。

5 结 论

本文通过 MIMICS 模型模拟森林各个组分的散射,分析叶面积指数与各个组分之间的关系,从而寻找到一种消除森林地表散射影响的方法,即通过郁闭度因子与 Δ 关系来得到与叶面积指数直接相关的冠层直接后向散射。研究表明,在平坦的地区对于尾叶桉、刚果 12 号桉等阔叶林的研究却取得了很好的效果,能够达到遥感反演森林叶面积指数的目的。

在反演森林的叶面积指数时,由于雷达全天候的特点,越来越引起科学家的重视,但是许多研究中往往没有定量的分析森林各个组分的影响。经过研究发现,C波段的冠层后向散射虽然在理论主要来自冠层,但是这样的假设也是有条件的,雷达的入射角极化方式和森林本身的稀疏程度都于此相关的,因此并不能一概而论。在本研究中,由于热带人工林比较稀疏,叶面积指数普遍较小,冠层与地表的后向散射有重要的影响,本文详细研究了地表散射的影响,给出了简单的消除方法,是有其参考价值的。

在本方法中,郁闭度因子是通过地面调查得到的,可是在森林及其他研究当中我们并不可能去进行大范围的实地调查研究,这成了这种方法的一种局限性。但是,许多的光学遥感资料已经可以为我们提供近似的森林郁闭度的信息,通过光学与雷达相结合的方法来消除地表等干扰因素的影响进而达到反演叶面积指数的目的,这也是现在的一个研究趋势。

参考文献 (References):

- [1] Jing M, Chen P M R, Stith T, *et al.* Leaf area index of boreal forests: Theory, techniques, and measurements[J]. *Journal of Geographical Research*, 1997, 102(29):429-443.
- [2] Fang Xiuqin, Zhang Wanchang. The application of remotely sensed data to the estimation of the leaf area index[J]. *Remote Sensing for Land & Sources*, 2003, 57(3): 58-62. [方秀琴, 张万昌. 叶面积指数(LAI)的遥感定量方法综述[J]. 国土资源遥感, 2003, 57(3):58-62.]
- [3] Jing M, Chen J C. Retrieving leaf area index of boreal conifer forests using landsat TM images[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 55:153-162.
- [4] Chen J M, Pavlic G, Brown L, *et al.* Validation of Canada-wide leaf area index maps using ground measurements and high and moderate resolution satellite imagery[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 80:165-184.
- [5] Wu Weibin, Hong Tiansheng, Wang Xiping, *et al.* Advance in ground-based LAI measurement methods[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2007, 26(2): 270-275. [吴伟斌, 洪添胜, 王锡平, 等. 叶面积指数地面测量方法的研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2007, 26(2):270-275.]
- [6] Paloscia S. An empirical approach to estimating leaf area index from multifrequency SAR data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(2):359-364.
- [7] Inouea TK Y, Maenob H, Uratsukab S, *et al.* Season-long daily measurements of multifrequency (Ka, Ku, X, C, and L) and

- full-polarization backscatter signatures over paddy rice field and their relationship with biological variables[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 81:194-204.
- [8] Laura Dente, Giuseppe Satalino, Mattia G, *et al.* Assimilation of leaf area index derived from ASAR and MERIS data into CERES-Wheat model to map wheat yield[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112: 1 395-1 407.
- [9] Ulaby F T, Sarabandi Kamal, Mcdonlad K, *et al.* Craig Michigan microwave canopy scattering model[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1990, 11(7):1 223-1 253.
- [10] Mostafa A, Karam R H L. A microwave scattering model for layered vegetation[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1992, 30(4):767-784.
- [11] Sun G, Simonett D S, Strahler A H. A radar backscatter model for discontinuous coniferous forests[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1991, 29(4):639-650.
- [12] Qi Jiaguo, Wang Cui zhen. A microwave/optical synergistic model and its applications in tropical forest canopies[J]. *Chinese Journal of Radio Science*, 2004, 19(4): 409-417. [齐家国, 王翠珍. 微波/光学植被散射模型及其在热带森林中的应用[J]. 电波科学学报, 2004, 19(4):409-417.]
- [13] Ren Hai, Peng Shaolin. Comparison of methods of estimation leaf area index in Dinghushan forests[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 17(3):220-223. [任海, 彭少麟. 鼎湖山森林群落的几种叶面积指数测定方法的比较[J]. 生态学报, 2007, 17(3):220-223.]
- [14] Wang C. Quantitative Estimation of Forest Biophysical Attributes with Synergistic Use of Optical and Micro Remotely Sensed Data in Tropical Forests[M]. Michigan: Michigan State University, 2004.
- [15] Wang Chenli, Niu Zheng, Guo Zhixing *et al.* A study on forest biophysical parameter impact on radar signature and extraction of forest stock volume by means of RADARSAT-SAR[J]. *Remote Sensing for Land & Sources*, 2005, 64(2):24-28. [王臣立, 牛铮, 郭治兴, 等. Radarsat SAR 的森林生物物理参数信号响应及其蓄积量估测[J]. 国土资源遥感, 2005, 64(2):24-28.]
- [16] Wang Chenli, Guo Zhixing, Niu Zheng, *et al.* Study on forest biophysics parameter impact on RADAR signature[J]. *Ecology and Environment*, 2006, 15(1):115-119. [王臣立, 郭治兴, 牛铮, 等. 热带人工林生物物理参数及生物量对 RADARSAT SAR 信号响应研究[J]. 生态环境, 2006, 15(1):115-119.]
- [17] Ulaby T, Allen C T, Eger G. Relating the microwave backscattering coefficient to leaf area index[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1984, 14:113-133.
- [18] Liu Wei. Study on Soil Moisture Inversion and Application with Polarization Radar in Vegetated Area[D]. Beijing: Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences. 2005. [刘伟. 植被覆盖地表极化雷达土壤水分反演与应用研究[D]. 北京:中国科学院遥感所, 2005.]

The Composition of Tropical Plantation Forest Microwave Backscattering and Its Impact on Estimating Leaf Area Index

GAO Shuai^{1,2}, NIU Zheng¹

(1. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Jointly Sponsored by the Institute of Remote Sensing Applications of Chinese Academy of Sciences and Beijing Normal University, Beijing 100101, China;
2. Graduate school of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The study simulated microwave backscattering from all components of forests using MIMICS (Michigan Microwave Canopy Scattering) Model and RADARSAT SAR data, including crown, trunk and soil layer. The study concluded that, in sparse plantation forest area, the backscattering from direct crown and direct soil are both the most significant factors, and in the same premise, the consistence between the simulated data and the measured data of broadleaf forest was much better than that of conifer forest. For conifer forest, it was largely influenced by rugged terrain and it was difficult to simulate its microwave backscattering. Meanwhile, It was found that by using the forest closure parameter, the relationship between total and direct crown layer forest microwave backscattering could be determined and direct crown layer microwave backscattering could be quantitatively obtained. In the end, the paper validated the method.

Key words: Leaf area index; Backscattering coefficient; SAR; RADARSAT.

2008 年第 10 期要目

地震激发地球自由振荡过程的数值模拟初步探索.....	严珍珠,张 怀,杨长春,石耀霖
气候变暖成因研究的历史、现状和不确定性.....	任国玉
基于要素分析和二元统计模型的区域滑坡危险等级制图——以国道 212 线陇南段为例	
.....	张帆宇,刘 高,谌文武,梁收运,韩文峰