

星载 SAR 图像的稻田耕地系数实验研究

曾琪明, 焦健, 郭红艳, 王晓煜

(北京大学遥感与地理信息系统研究所 北京 100871)

摘要: 农田线性地物在 SAR 图像上的夸大表现, 对基于 SAR 图像进行的农作物面积精确量算会产生一定的影响。本研究利用 SAR 图像提取了稻田沟渠、道路及田埂等线性地物, 在实地和图像上分别进行了大量的测算, 分析了图像上的夸大与相对方向角之间的关系, 计算了线性地物半波亮度宽度的概率分布, 以及稻田线性地物的耕地系数, 为精确量算稻田面积提供了科学依据, 并对进一步研究提出了建议。

关键词: 线性地物; 耕地系数; 星载 SAR 图像

中图分类号: TP 722.6 文献标识码: A 文章编号: 1001-070X(2003)04-0013-04

0 引言

农作物种植面积一直是各国政府部门迫切需要了解的重要基础数据。但是, 许多农作物种植区, 尤其是水稻种植区, 常常因云、雨、雾等天气的影响, 而使光学遥感数据无法应用。合成孔径侧视雷达 (SAR) 具有全天候、全天时获取数据能力, 对一些多云、多雾、多阴雨的农作物种植区具有光学遥感无法比拟的优点, 因此成为这些地区监测作物长势和测算面积的重要手段。但是, SAR 成像具有特殊性, 地物在 SAR 图像上的表现不仅与其本身的介电常数和粗糙度等有关, 而且还与其几何特性关系密切。Hendry(1988)、Dubois(1993)、Michelson(1994)和Touzi(1998)等人的研究证实了线性地物在 SAR 图像上的可视性不仅与 SAR 的分辨率有关, 而且与线性地物的宽度和 SAR 的观测方向有关^[1-4]。

线性地物在 SAR 图像上的特殊表现, 对基于 SAR 图像进行的农作物面积精确量算会产生一定的影响。研究发现, 一些田边线性地物所表现出来的宽度往往比其实际尺寸大得多, 这会给稻田面积的准确测算带来一定的误差。在以往利用 SAR 技术测算农作物面积和提高测算精度的工作中, 大多都集中在分类前预处理和提高农作物分类精度方面^[5-10], 而分类精度只是面积测算总精度的一部分。要精确计算 SAR 图像上农作物分类面积的精度, 必

须要剔除田边线性地物面积及其夸大失真影响, 为精确农作物面积测算提供可靠的依据。

本研究对实验样区的 SAR 图像和实地线性地物的尺度进行了大量测算和对比, 分析了线性地物在图像上的表现与相对方向角(雷达飞行与线性地物延伸方向所夹的锐角或直角)的关系, 研究了线性地物在影像上亮度宽度的角分布规律, 计算了稻田耕地系数, 为精确量算稻田面积提供了科学依据。

1 稻田耕地系数测算实验

1.1 研究区概况

研究区主要选在广东省增城市, 为充分研究农田线性地物夸大程度与相对方向角关系, 在珠江三角洲也选择了一些样区, 共为 8 个实验样区。

水稻是增城市的主要粮食作物, 一年种植两季, 第一季在清明节前后插秧, 大暑时收割; 第二季立秋前后插秧, 立冬时收割。在插秧约 10 d 到 2 周左右, 水稻的高度只有 20~30 cm, 稀疏直立水中。在雷达图像上, 稻田田块为黑灰色调, 田边线性地物为沿某些方向延伸的亮线, 稻田与田边线性地物的散射特性形成强烈对比(图 1), 这说明此时稻田的后向散射以水面反射为主, 田边线性地物凸出在稻田水面上, 形成二面角, 强烈反射雷达波束; 在水稻生长中后期, 稻田的后向散射以水稻为主, 尺度较小的线性地物被淹没其中, 在影像上反映不明显。由此

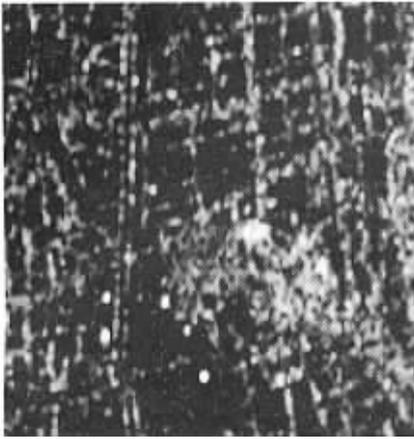


图 1 实验子样区 SAR 图像

可见,选择适当时相的 SAR 图像,对稻田耕地系数测算有很大的影响。

根据增城县地理状况和水稻分布特点,共划分 3 类野外调查区:南部平原区、中部山地平原交错区和北部山区,每类调查区都布设了一定数目的实验子样区。调查区的稻田线性地物主要包括道路、人工沟渠、田间小路、篱笆、陡坎及池塘的堤岸等。

1.2 稻田线性地物实地测量

在 3 类野外调查区分别进行了线性地物的实地抽样测量,主要采用 GPS、皮尺、罗盘工具等,测量和调查了稻田线性地物和周围田块的几何尺度、形态、物理性质以及背景地物的性质、作物轮作和生长情况等。表 1 为其中各调查区稻田线性地物的主要类别与宽度,这些数据对正确理解 SAR 图像上线性地物的特征和计算夸大系数至关重要。

表 1 线性地物实测统计

| 调查区 | 类型 | 宽度/m | 高度/m | 抽样频率/% |
|---------|------|---------|----------|--------|
| 平原区 | 田间道路 | 3.0~7.5 | 0.27~3.0 | 53 |
| | 沟渠 | 4.0~10 | 1.60~3.0 | 20 |
| | 塘堤 | 4 | 0.8 | 27 |
| 山地平原交错区 | 田间道路 | 1.0~5.0 | 0.2~0.7 | 55 |
| | 沟渠 | 0.5~3.0 | 0.2~0.7 | 45 |
| 山区 | 田间道路 | 2.0~6.0 | 0.3~1.2 | 39 |
| | 沟渠 | 0.5~3.0 | 0.5~1.4 | 39 |
| | 塘堤 | 0.70 | 0.5~0.8 | 22 |

由于线性地物类型较多,其宽度和出现频率各不相同,因此在图像上识别线性特征的种类目前还有一定困难。为夸大系数计算方便起见,采用各类型区线性地物的抽样频率代替出现频率,求出平原区线性地物的加权平均宽度为 5.3 m。

1.3 SAR 图像上稻田线性地物量测

在 SAR 图像上,田间线性地物的宽度是用半波亮度宽度(以下简称半波亮宽)定义的。在每一个影

像量测样区中,通常是对同一走向的一组稻田田间线性地物进行抽样量测与分析。具体实施中,要对同一走向的一组线性地物中的每一条逐一量测半波亮宽,而在同一条线性地物上要随机选择多个采样点。对于选定的采样点,过该点垂直于线性地物的方向作一剖面线,绘出线性地物在该剖面线方向上的亮度曲线,然后将线性内插方法计算的半波亮宽(用像元数表示)作为该采样点的测量结果。如图 2 所示 L_1, L_2, L_3, \dots 为一组近似平行的田埂在图像上的亮线, 1、2、3、4、... 为 L_2 亮线上的采样点,垂直于 L_2 且通过某采样点的剖面线方向上的亮度分布曲线如图 3 所示。横坐标 100 附近的亮度分布曲线即为该采样点及其邻域的亮度波形,其中过亮度最高与最低值中间的直线所截取的亮度曲线宽度即为 L_2 过该采样点的半波亮宽。对某线性地物上所有采样点的测量结果求平均,作为这条线性地物在图像上的宽度测量结果。

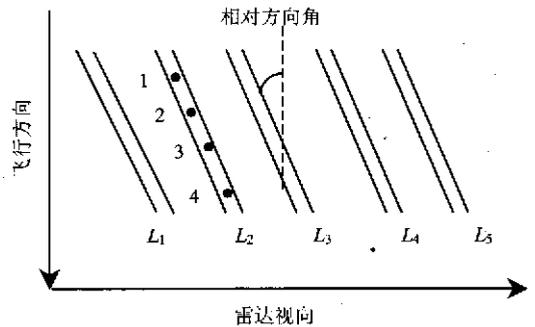


图 2 采样示意图

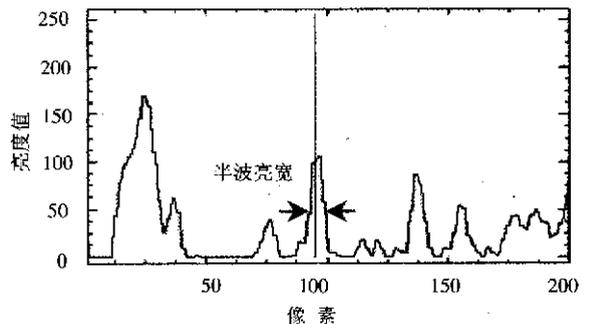


图 3 过采样点剖面线上的亮度分布

研究中采用 SAR 图像的主要参数见表 2。SAR

表 2 Radarsat SAR 图像的主要参数

| 空间分辨率 | 波段 | 时相 | 图像中心点经纬度 | 数据格式 |
|---------|------|-----------------|-------------------------|---------|
| 25 m | C | 1997-04-11 | 23° 27' N 113° 32' E | CEOS |
| 入射角 | 极化方式 | 图像大小 | 图像方位角(相对真北向) | 数据位 |
| 24°~31° | HH | 12 877 × 14 140 | 11.54° | 16 位/像元 |

图像线性地物半波亮宽和走向的量测采用 ENVI 图像处理软件。

由表 1 可知,增城市农田线性地物的宽度基本都在 10 m 以下,即 SAR 图像上 1 个像元以下。由于线性地物的散射机制,使其在 SAR 图像上表现为亮目标,即使实际宽度小于 1 个像元,在图像上的表现至少也为一个像元。但是,在中部山地平原交错区和北部山区,稻田分布面积小,形状不规范,其间的线性地物的实际宽度基本在 5 m 以下且长度较短,尤其在山区,许多稻田是以梯田形式种植,或零星分布在山间平地,在 SAR 图像上表现不太明显,很难被识别,所以,在图像上主要量测了南部平原区的稻田线性地物。

研究中共测量了 40 组不同方向的线性地物(361 条,图 4),每条线性地物上的采样点数取决于线性地物的长度,一般为 8~65 个。

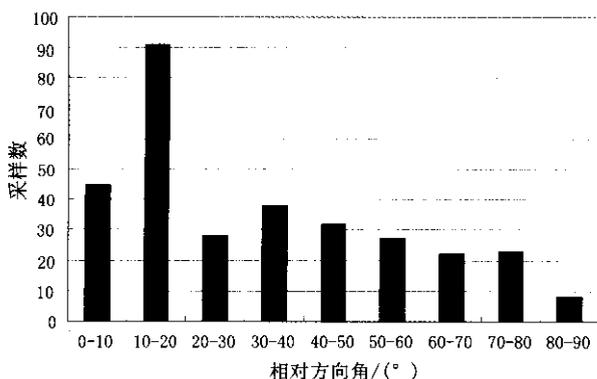


图 4 不同方向线性地物平均采样条数

2 稻田耕地系数计算与分析

2.1 线性地物夸大系数及耕地系数计算

线性地物夸大系数的计算公式为

$$S = (d \cdot p / D) - 1 \quad (1)$$

式中 d 为 SAR 图像上线性地物半波亮度宽度; p 为像元采样宽度; D 为线性地物的实地宽度。

在 SAR 图像上选择成片稻田,量测该稻田的面积以及其中的全部线性地物的总面积,可直接计算出未校正的稻田耕地系数 K' ,其计算公式为

$$K' = 1 - (A_{NL} / A_r) \quad (2)$$

式中 A_r 为分类后的稻田田块面积; A_{NL} 为图像上稻田田块中全部线性地物的面积,可用矩形面积近似。假设矩形长度为 L ,则 $A_{NL} = d \cdot p \cdot L$ 。

由于线性地物宽度在 SAR 图像上的失真表现,直接由影像计算出的耕地系数必然存在着误差,必

须用夸大系数加以纠正才能得到真实的稻田耕地系数(K)。公式(2)中的稻田田块面积实际上是雷达影像分类后的面积,真实的稻田面积还应加上被夸大的线性地物所占据的稻田面积。具体计算过程如下

$$K = 1 - (A_{NL} / A_r) \quad (3)$$

式中 A_{NL} 为全部线性地物面积 $A_{NL} = D \cdot L$ 。

由(3)与(2)式可得

$$K = 1 - \frac{D \cdot L}{(d \cdot p \cdot L)(1 - K')} \quad (4)$$

由(1)式得 $\frac{D}{d \cdot p} = \frac{1}{1 + S}$,代入(4)式,最终校正

后的稻田耕地系数计算公式为

$$K = (K' + S) / (1 + S) \quad (5)$$

如前所述,SAR 图像上线性地物的量测主要是在平原区,故城市稻田耕地系数也代表了平原区的耕地系数。根据不同相对方向角量算的平均半波亮宽 $d = 3.56$ 个像元,原始 SAR 图像的像元采样宽度 $p = 25$ m。根据 1.2 节计算出的实地线性地物宽度 $D = 5.3$ m,计算夸大系数 $S = 15.79$ 。根据稻田分类图,抽样统计分类图斑的面积,并在原始 SAR 图像上量算相应地块中线性地物的面积,计算得到未经更正的稻田耕地系数 $K' = 78.35\%$,最后根据(5)式计算出校正后的稻田耕地系数 $K = 98.71\%$ 。

2.2 线性地物半波亮宽与其相对方向角的关系

将 8 个实验样区抽样的稻田线性地物按 5° 间隔对不同相对方向角上的平均亮宽进行统计(图 5)。

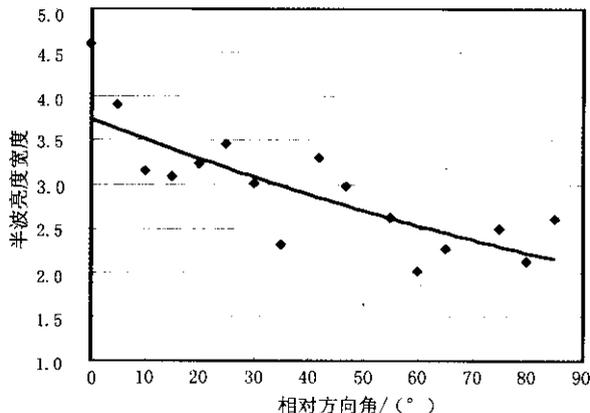


图 5 线性地物的半波亮宽与相对方向角关系

由图 5 可以直观看出,线性地物的半波亮宽与相对方向角有着密切的关系。当相对方向角为 0° 时,即线性地物延伸方向与雷达飞行方向平行时,半波亮度宽度最大,因为此时雷达的回波信号最强;随着相对方向角的增大,半波亮度宽度逐渐衰减,说

明雷达回波逐渐减弱；随着相对方向角从 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 变化，稻田线性地物的半波亮度宽度基本在 2~4 个像元间变化。

有些地物的夸大像元数与周围其它线性地物的夸大像元数相差较大，也有极个别相对方向角接近 90° 的线性地物，夸大像元值也较大。经实地调查，这类地物多为尺度较大的人工灌溉渠、堤坝及塘堤等，这说明线性地物在 SAR 图像上的夸大表现不仅与相对方向角有关，还与目标的性质有关。

2.3 线性地物半波亮宽的频率分布

综合 8 个样区的采样量测数据，进行像元夸大统计分析。从图 6 看出，不同半波亮宽出现的频数不一样，基本呈正态分布。半波亮度宽度为 3.5 个像元出现的概率最大，半波亮度宽度在 2.5~4.5 个像元之间出现的概率为 91%。换句话说，线性地物在 SAR 图像上夸大在 1.5~3.5 个像元之间的出现概率为 91%。半波亮度宽度的概率分布规律为定量说明线性地物的夸大规律提供了一定的依据。

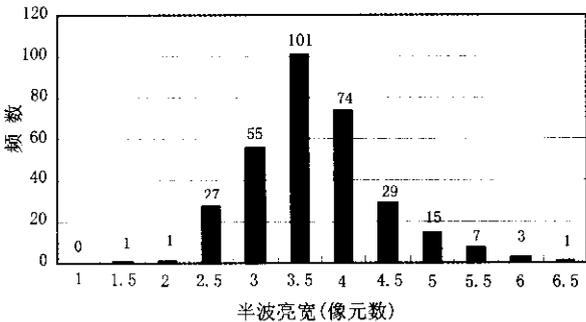


图 6 半波亮宽的频数分布

3 结论和建议

(1) 稻田线性地物夸大程度不仅与其实际宽度、物理性质有关，而且与其相对方向角有关。当相对方向角为 0° 时，夸大程度最大，随着相对方向角的减少，夸大程度逐渐衰减。夸大程度在 1.5~3.5 个像元之间出现的概率为 91% 左右。

(2) 基于 SAR 获得的耕地系数需用线性地物夸大系数修正。由于线性地物的宽度在雷达图像上的夸大表现，在利用 SAR 图像精确测算农作物面积时，不仅要考虑扣除线性地物的面积，而且还应该考虑消除田边线性地物夸大的影响，即由雷达图像上测算出的耕地系数必须通过夸大系数加以修正，才能实现真正意义上的农作物种植面积的精确实算。

(3) 应加强 SAR 图像上线性地物失真机理的研究。通过对农田线性地物宽度在 SAR 图像上失真

机理研究，我们认为，多数田边单一结构的线性地物在 SAR 图像上形成强目标的原因是二面角效应，而强目标信号的旁瓣效应导致了像元的夸大，但是这些研究还是初步和定性的。在目前国内外还缺乏深入的机理研究情况下，耕地系数的测算，只能采用 SAR 图像与实地地物量测相结合的方法，其劳动强度较大，自动化程度较低，而且随机性较大。要改善这种状况，就必须加强 SAR 成像机理、农田线性地物宽度失真机理和遥感信息模型的研究。利用模型进行农田线性地物宽度参数反演，减少实地线性地物几何测量的工作，达到实现基于 SAR 图像耕地系数的自动测算，提高利用 SAR 技术测算耕地系数和农作物面积的目的。

参考文献

[1] Hendry A, Quegan S, Wood J. The visibility of linear features in SAR images [A]. Proceedings of the 1988 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) [C], 1998, 3: 1517 - 1520.

[2] Dubois P, Rignot E, Van Zyl J J. Direction angle sensitivity of agricultural field backscatter with AIRSAR data [A]. Progress In Electromagnetics Research Symposium [C], 1993: 488.

[3] Michelson D B. ERS - 1 SAR backscattering coefficients from bare fields with different tillage row directions [J]. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15(13): 2679 - 2685.

[4] Touzi R, Sasitriwari A. On the use of Radarsat and JERS - 1 satellite SARs for trail and road detection in tropical rainforests [A]. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) [C], USA, 1998.

[5] Kidd R, Lemoine G, de Groof H. Integration of ERS SAR classification products in the ARS Activity 'Rapid Area Estimation' methodology [A]. ERS Symposium on Space at the Service of our Environment [C], Italy, 1997.

[6] Lemoine G, Kidd R, Van L H, et al. Methodological advancements in using ERS SAR data for crop area estimation [A]. ERS Symposium on Space at the Service of Our Environment [C], Italy, 1997.

[7] Panigrahy S, Chakraborty M, Sharma S A, et al. Early estimation of rice area using temporal ERS - 1 synthetic aperture radar data - a case study for the Howrah and Hugly districts of West Bengal, India [J]. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18(8): 1827 - 1833.

[8] Sowter A, Lemoine G, Van L H. SAR techniques for rapid area estimation of agricultural crops during winter and spring [A]. Proceedings of the 1998 IEE Colloquium on Integrated Systems for Commercial Remote Sensing Applications [C], London, UK, 1998.

[9] Okamoto K, Kawashima H. Estimation of rice - planted area in the tropical zone using a combination of optical and microwave satellite sensor data [J]. International Journal of Remote Sensing, 1999, 20(5): 1045 - 1048.

[10] 谭炳香, 李增元. SAR 数据在南方水稻分布图快速更新中的应用方法研究 [J]. 国土资源遥感, 2000(1): 24 - 27.

RESEARCH ON THE FUSION OF MULTI – SOURCE REMOTELY SENSED DATA BASED ON WAVELET TRANSFORM

MU Feng – yun¹ , ZHU Bo – qin² , HE Hua – zhong¹

(1. Faculty of Resource and Environment science ,Wuhan 430079 ,China ; 2. Institute of Remote Sensing Application , CAS , Beijing 100101 , China)

Abstract: Image fusion is the combination of two or more different images to form a new image that contains enhanced information. Consistent with specific application goals , a variety of image products arise from many available fusion algorithms. The essential objective of the image fusion is that nearly all of the original application – specific information should be preserved , and artifacts should be minimized in the final product. The wavelet transform , a well – known and solid mathematical tool already applied to multi – sensor image fusion , allows the decomposition of an image into its constituent spatial scale layers. This paper presents the Local – High – Frequency – Replaced fusion method , a new scheme for multi – resolution image fusion as a further development of the application of wavelet analysis on image fusion. This method has been proved to have the capacity to preserve the finest spatial information of the input images and minimize artifact in the final fused product.

Key words: Image fusion ;Wavelet transform ;HIS transform ;Mallet algorithm ;Local – High – Frequency – Replaced fusion method

第一作者简介:牟风云(1979 -) ,女 ,山东省高密市人 ,硕士研究生 ,主要从事 GIS 和遥感理论与应用的研究。

(责任编辑 :刁淑娟)

=====

(上接第 16 页)

EXPERIMENTAL RESEARCHS ON THE CULTIVATION LAND COEFFICIENT FOR RICE FIELD MAPPING WITH SAR IMAGES

ZENG Qi – ming , JIAO Jian , GUO Hong – yan , WANG Xiao – yu

(Institute of Remote Sensing and GIS , Peking University , Beijing 100871 , China)

Abstract: Researches have demonstrated that the linear features of the cultivation land usually have exaggerative appearance on SAR images , which will affect the accuracy of crop mapping on SAR images. In this study , the authors measured lots of widths at the half brightness of linear features such as channels , dykes , roads and ridges in rice fields on SAR images , and then made comparisons with results of field investigation. On such a basis , the probability distribution of widths at half brightness of linear features and the cultivation land coefficients for rice field mapping were calculated , which could give necessary correction and hence improve accuracy in rice area mapping. Some suggestions for further researches are also put forward.

Key words: Linear feature ; Cultivation land coefficient ; Space – borne SAR Image

第一作者简介:曾琪明(1964 -) ,男 ,副教授 ,博士 ,1998 ~ 2000 年日本国立防灾科学与技术研究所的客座研究员 ,主要研究领域为 SAR 应用与干涉 SAR ,在国内外发表论文近 30 篇。

(责任编辑 :刁淑娟)