

有效探测农业用地转变为建设用地的 遥感图像融合方法*

吴连喜¹ 孙波² 赵其国²

(1 东华理工学院测量系, 江西抚州 344000)

(2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

AN EFFECTIVE RS IMAGE FUSION METHOD TO DETECT LAND USE CHANGE FROM AGRICULTURE LAND TO CONSTRUCTION LAND

Wu Lianxi¹ Sun Bo² Zhao Qiguo²

(1 Department of Survey, East China Institute of Technology, Fuzhou, Jiangxi 344000, China)

(2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

关键词 遥感; 融合; Landsat; Radarsat; 土地利用变化
中图分类号 TP79, P208 文献标识码 A

土地利用/地表覆盖变化及其对环境的影响是目前全球变化研究中的一个热点。我国经济的快速发展引起的工业化和城镇化过程影响了土地利用的变化,特别是东部经济发达区农业用地被迅速侵占,这反过来影响了社会经济的可持续发展。利用遥感(包括可见光谱、高光谱和微波)可以提取土地利用/地表覆盖的变化信息,1999年起国家针对大中城市的土地利用年际变化启动了遥感动态监测项目。通常的方法是对多时相遥感数据分别进行分类,然后通过分类结果进行比较,提取变化信息^[1~2],Nelson将这种方法称为分类后比较法^[3]。但这种方法受分类精度的影响,许多研究者对各种分类算法进行研究后认为,遥感图像的分类精度在50%~90%^[4~6]。在对土地利用长期变化的研究中,提高遥感图像分类精度一直是一个难点。

Yeuan等^[7]将两个时相的遥感影像按波段逐像元相减,生成一幅新的差值图像,根据差值图像提取变化信息。Howarth等^[8]对多个时相的Landsat图像采用比值法,即将多时相遥感影像按波段进行逐像元的相除,来探测变化信息。Yey等^[9]对多时相的遥感图像采用PCA方法进行变换来辨识变化信息。

Collins等^[10,11]采用缨帽变换(K-L变换)对TM图像进行处理,将变换后的亮度、绿度和湿度图进行对比,找出变化的信息;之后在K-L变换的基础上,提出了G-S变换,并对美国Tahoe湖盆地针叶林的死亡率进行调查^[11]。上述辨识变化信息的方法被很多研究者称为图像增强探测法^[12]。Coppin等^[13]认为,增强探测法可以回避由于分类带来的误差,但要求各时相地物引起的光谱反射/辐射的变化强度要大于其他因素引起的差异,如大气差异、太阳角的差异、传感器校正的差异和背景状况的差异。长期以来,有效地进行辐射校正也一直是遥感研究的一个难点。

史学正等^[14]在研究常熟市城镇扩展时,对6个时相的不同来源的遥感影像(ETM⁺、TM、SPOT、Corona)进行多波段的合成,然后进行叠加对比分析。针对土地利用动态变化,吴连喜等^[15]把GIS与RS结合起来,将土地利用矢量图叠加到遥感图像上,土地利用矢量图及地类编码显示出土地利用历史状况,遥感图像揭示土地利用现状,通过对二者进行比较,找出土地利用变更信息。这一方法回避了上述分类精度与辐射校正两个难点问题。

* 中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KZCX3-SW-427)资助

作者简介:吴连喜(1966~),男,博士,副教授,硕士生导师,现主要从事遥感、土地利用变更的研究。E-mail: pkwkw@sina.com

收稿日期:2003-05-09;收到修改稿日期:2003-08-29

在土地动态监测中, 建设用地侵占农业用地是土地动态监测的重要内容。目前国内外利用遥感数据融合技术获取某一时间的地物信息的研究较多, 而利用遥感数据融合技术直接提取土地利用变更信息的研究尚处于起步阶段, 本文在利用 HSI 融合法对 SAR 与 TM 图像进行融合过程中, 提出了一种改进算法, 利用不同年份的 Landsat TM 与 Radarsat 二组数据直接获取土地利用变更信息, 为研究城市化过程中土地利用变化提供一个有效手段。

1 数据处理

1.1 数据源

本研究试验区为北京市房山区, 研究面积约 $80\text{km} \times 80\text{km}$, 采用的数据有: Landsat-5 TM 影像, 包括 band 1、band 2、band 3、band 4、band 5、band 7 等 6 个波段, 获取的时间为 1999 年 9 月 10 日, 取 band 5、band 4、band 3 进行 RGB 合成, 得合成后的影像(以下简称 TM)。

雷达数据为 Radarsat-1 SAR 的 C 波段(波长为 5.6cm, 以下简称 SAR), 极化方式为 HH, 获取的时间为 2000 年 9 月 18 日, 像元大小为 $6.25\text{m} \times 6.25\text{m}$ 。二组数据季相相同, 年份相差一年。

1.2 辐射标定

本文采用式(1)对原始 SAR 图像进行辐射标定^[16]:

$$\sigma^0 = I - K + 10\lg\left[\left[\frac{R_n^3}{R_0^3}\right] \frac{\sin\alpha_n}{\sin\alpha_0} \cdot \frac{G_{\text{sys}0}}{G_{\text{sys}}}\right] \quad (1)$$

式中 σ^0 为后向散射系数, $I = 10\lg DN_{ij}^2$, DN_{ij} 为像元 (i, j) 的灰度值, K 为辐射标定常数, R_n 为像元 (i, j) 的斜距, R_0 为参考斜距, α_n 为像元 (i, j) 的入射角, α_0 为参考入射角, G_{sys} 为被标定 Radarsat-1 SAR 图像的系统雷达天线增益, $G_{\text{sys}0}$ 为 K 确定时的系统雷达天线增益。

辐射标定所需参数直接从原始图像头文件中获取。辐射标定后, 原始图像中 DN 值为后向散射系数。

1.3 SAR 图像平滑

成像雷达发射的纯相干波照射到目标时, 目标上随机散射面的散射信号与发射的相干信号之间产生干涉作用, 使图像产生相干斑点噪声。本文先用 3×3 高斯低通(Gaussian Low Pass)模板进行滤波处理:

$$\frac{1}{10\ 000} \begin{bmatrix} 7 & 256 & 7 \\ 256 & 8\ 948 & 256 \\ 7 & 256 & 7 \end{bmatrix}$$

然后用 5×5 大小的窗口进行中值滤波处理。经平滑处理后, 噪声大为减少, 基本保留了边缘信息, 而且经过滤波后直方图也由滤波前的非正态分布变成近似高斯正态分布。

1.4 几何配准

以 SAR 图像(RGB 合成)为基准, 对 TM 图像进行几何配准, 选取 SAR 与 TM 图像中不变的明显地物标志(如线状地物交叉点)作为控制点, 首先在 TM 图像的四个角选取控制点, 然后均匀加密, 确保均残差(RMS)小于 1 个像元, 共选取了 22 个控制点, 然后用二元二次多项式进行空间几何位置变换, 用三次卷积法进行灰度重采样, 使配准后 TM 图像的坐标与 SAR 图像相同, 配准后的 TM 图像的像元大小变为 $6.25\text{m} \times 6.25\text{m}$ 。

2 改进的融合算法

常规的 HSI 融合法是先用式(2)进行 HSI 正变换, 得 H 、 S 、 I 三个分量; 然后将高几何分辨率的图像与 I 分量进行直方图匹配, 并替换 I 分量, 记为 I' ; I' 分量与 H 、 S 分量一起用式(3)进行 HSI 逆变换。

HSI 变换表达式如下^[17]:

$$\begin{cases} I = R + G + B \\ H = (G - B)/(I - 3B) \\ S = (I - 3B)/I \end{cases} \quad (2)$$

式中 I 表示明度, H 表示色调, S 表示饱和度, R 、 G 、 B 分别表示红、绿、蓝波段。

$$\begin{cases} R' = \frac{I'}{3}(1 + 2S - 3SH) \\ G' = \frac{I'}{3}(1 - S + 3SH) \\ B' = \frac{I'}{3}(1 - S) \end{cases} \quad (3)$$

式中 I' 表示明度, R' 、 G' 、 B' 分别表示 HSI 逆变换后红、绿、蓝波段。

上述融合方法对可见光遥感数据源进行融合可获得较好的效果, 但由于 SAR 图像存在相干噪声, 故对可见光数据与雷达数据进行融合时效果欠佳。为此, 本文进行如下改进, 即用下式计算 I' 的值:

$$I' = \rho \times I_{TM} + (1 - \rho) \times I_{SAR} \quad (4)$$

式中 I' 为进行 HSI 逆变换时的明度分量, I_{TM} 为 TM 图像经 HSI 正变换后所得的明度分量值, I_{SAR} 为匹配前的 SAR 图像的灰度, 为权重。一般 ρ 取值范围为 0~1, 当 ρ 取值为 0 时, I' 实际上是匹配前的 SAR 图像的灰度; 当 ρ 取 1 时, 匹配后的图像灰度实际上是

匹配前的 TM 图像的灰度。本研究经反复试验、比较, ρ 取 0.4 时效果较好, 用 $\rho=0.4$ 代入式(4) 参与运算, 计算 I' 后, 再用式(3) 进行 HSI 逆变换, 得到改进算法融合后的图像(以下简称改进算法的融合图像, 图 1)。同时, 用常规的 HSI 变换法进行融合, 融合后的图像称为改进前的融合图像。

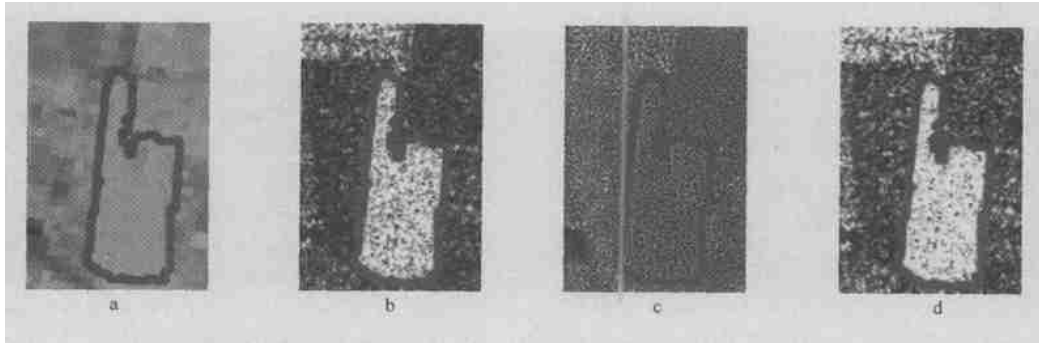


图 1 TM 与 Radarsat 融合前后的影像(框内为变更图斑)

a. TM 影像; b. Radarsat 影像; c. 常规 HSI 融合的影像; d. 改进算法融合的影像

3 结果分析

农业用地与居民点在 TM 图像上有明显的差异, 极易区分。在试区, TM 图像获取的时间为 9 月 10 日, 此时耕地上的农作物主要是秋玉米, 园地上主要是果树, 所以耕地、园地在 TM 图像上表达的信息主要是绿色植物的反射率, 如图 1a 所示, 框内地物为农业用地。

雷达遥感图像表达的是地物对应某种波长、入射角、极化方式的雷达信号的散射回波在一定极化方向上的能量大小。地物对雷达波的响应(散射、反

射、透射)与雷达系统参数和地表参数有关, 雷达系统参数包括波长、极化方式和入射角, 在本研究中 Radarsat-1/F4 的雷达系统参数已经确定, 所以主要与地表参数有关, 地表参数包括地物的粗糙度和复介电常数。

在 9 月 18 日, 秋玉米、果树的散射特性是漫反射, 故回波很弱; 居民点的建筑物是典型的角反射器, 雷达回波极为强烈。所以, 在雷达图像上耕地与园地均呈现较暗的色调, 而居民点则较亮, 由此可见, 在雷达图像上居民点与农业用地的差异也比较明显, 前者的色调为亮色(见表 1), 如图 1b 所示, 框内地物为建设用地, 而后者表现为暗色。

表 1 雷达图像上不同地物的色调、散射特性

地物	色调	水分含量	表面粗糙度	散射特性
建筑物	亮、浅	—	不均匀	角反射
果树	灰、深	低	粗糙	透射、漫反射
裸露的耕地	灰、深	干燥	粗糙	漫反射

图 1a 框内图斑在 1999 年 9 月为农业用地, 但在 2000 年 9 月这一图斑便变为建设用地, 这一变化在用改进算法融合的图像上(图 1d) 表现得极为明显, 改进算法融合的图像上变化图斑的色彩既不同于周围的农业用地, 也不同于周围的建设用地, 比较容易识别, 而这一变化在用常规 HSI 方法融合的图像上(图 1c) 几乎看不出。

4 讨论与小结

用上述改进的 HSI 变换法对不同年份的 TM 与 SAR 数据进行融合, 可明显地反映出农业用地变更为建设用地的信息。由于 TM 数据与 SAR 数据的季相相同, 故二者之间的差异主要是由年份不同造成

的,这种差异在融合图像上表现得很明显,由此可见,图像融合可获取变更信息,这为监测城市化过程对农业用地的侵占提供了一种有效手段。

式(4)中 ρ 的取值大于 0.5 时, TM 的信息在融合图像上表现得较强些,当 ρ 的取值小于 0.5 时, SAR 的信息在融合图像上表现得较强些,本文 ρ 取值 0.4, 是经反复试验、比较后确定的,在融合图像上既有 TM 的信息,又有 SAR 的信息,且 SAR 的信息较强些,但这一取值是否也适用其他时相、其他类型的遥感数据源,有待于进一步试验。

另外,这一方法用于获取变更信息时,要求融合前数据的季相相同,致使数据源的选择受到限制。但反过来,用这一融合方法对同一年(相隔不超过 12 个月)、不同季节的数据进行融合,如用作物生长旺盛期的一组数据与作物收获后的另一组数据进行融合,则可监测出该作物的种植面积,因此这一遥感图像融合技术在农业遥感上也有很强的实用价值。

参考文献

- [1] Colwell J E, Weber F P. Forest change detection. *In: Proceedings of the 15th International Symposium on Remote Sensing of Environment*. Ann Arborin, 1981. 839~ 852
- [2] Howarth J P, Wichware G M. Procedure for change detection using Landsat digital data. *International Journal of Remote Sensing*, 1981, 2: 277~ 291
- [3] Nelson R F. Detecting forest canopy change due to insect activity using Landsat MSS. *Photogramm Eng. Remote Sens.*, 1983, 49: 1 303~ 1 314
- [4] Cihlar J. Classification by progressive generalization: A new automated methodology for remote sensing multichannel data. *Int. J. Remote Sensing*, 1998, 19 (14): 2 685~ 2 704
- [5] Wu L X, Yan T L, Zhang W. Classification for RS fused image applying neural network. *In: Proceedings of International Conference on Land Use/ Cover Chang Dynamics*. Beijing, 2001. 231~ 238
- [6] 吴连喜, 严泰来, 张玮. 基于 TM 和 IRS 融合图像对土地覆盖进行分类. *中国农业大学学报*, 2001, 6(5): 76~ 80
- [7] Yeuan D, Elvidge C D. NALC Land cover change detection pilot study: Washington D C area experiments. *Remote Sens. Environ.*, 1998, 66: 166~ 178
- [8] Nelson R F. Detecting forest canopy change due to insect activity using Landsat MSS. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1983, 49: 1 303~ 1 314
- [9] Yey A G O, Li X. An integrated remote sensing and GIS approach in the monitoring and evaluation of rapid urban growth for sustainable development in the Pearl River Delta, China. *International Planning Studies*, 1997, 2(2): 193~ 210
- [10] Collins J B, Woodcock C E. An assessment of several linear change detection techniques for mapping forest mortality using multitemporal Landsat TM data. *Remote Sens. Environ.*, 1996, 56: 66~ 77
- [11] Collins J B, Woodcock C E. Change detection using the Gram-Schmidt transformation applied to mapping forest mortality. *Remote Sens. Environ.*, 1994, 50: 267~ 279
- [12] Yeuan D, Elvidge C D, Lunnetta R S. Survey of multispectral methods for land cover change analysis. *In: Lunnetta R S, Elvidge C D. eds. Remote Sensing Change Detection: Environmental Monitoring Methods and Applications*. Ann Arbor Press, 1998. 21~ 40
- [13] Coppin B. Digital change detection in forest ecosystems with remote sensing imagery. *Remote Sensing Reviews*, 1996, 13: 207~ 234
- [14] 史学正, 张定祥, 潘贤章. 近 35 年苏南典型地区的城镇扩展动态研究——以 1966~ 2001 年常熟市为例. *土壤学报*, 2002, 39(6): 780~ 786
- [15] 吴连喜, 严泰来, 张玮. 土地利用现状图与遥感图像叠加进行土地利用变更监测. *农业工程学报*, 2001, 17(6): 156~ 160
- [16] 谢华, 李传荣, 唐伶俐. ERS-1 SAR 辐射标定及 σ^0 图像生成. 见: 潘习哲主编. *星载 SAR 图像处理*. 北京: 科学出版社, 1996. 44~ 48
- [17] Schetselaar E M. Fusion by the HSI transform: Should we use cylindrical or spherical coordinates. *Int. J. Remote Sensing*, 1998, 19 (4): 759~ 765