

文章编号:1671-8860(2005)11-0970-05

文献标志码:A

# 基于数据融合的行树与篱笆三维信息自动提取

张永军<sup>1</sup>

(1 武汉大学遥感信息工程学院,武汉市珞喻路129号,430079)

**摘要:**通过融合GIS数据、DSM和CIR立体影像等不同数据源,自动提取行树与篱笆的三维信息。综合采用了影像分割、边缘提取、直线段连接与编组、DSM三维验证等手段,成功地从航空立体像对中提取出目标信息。所提取的行树与篱笆信息可以应用于GIS数据更新、土壤监测与保护、风侵蚀的危害计算等。

**关键词:**信息提取;数据融合;影像分析;行树与篱笆;影像分割

中图法分类号:P208

在土地资源日趋匮乏的今天,风侵蚀是可耕地的最大威胁,会引起土壤肥分与有机物的流失,水分保持能力的减弱,最终导致土壤沙漠化,直接威胁到人类的生存<sup>[1]</sup>。开阔地(如平原等)的行树与篱笆等会大大减弱风速,对防止土壤养分流失与耕地保护非常重要。从影像中获取行树与篱笆的三维信息对土壤保护与监测具有重要价值,而影像分割和融合不同数据源进行综合分析是获取最优结果的重要手段<sup>[2, 3]</sup>。具有很强图像分割能力的色彩空间 CIE  $L * a * b$  发布于 1976 年,已广泛应用于影像分析和工业应用<sup>[4, 5]</sup>等计算机视觉领域,但摄影测量工作者并未给予 CIE  $L * a * b$  应有的关注。自 NASA 发现基于彩红外(color infra red, CIR)影像的标准差植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)以来,NDVI 被广泛应用于城区树木的提取<sup>[3, 6]</sup>、植被与产量变化监测<sup>[7]</sup>、NDVI 与林木产量的关系分析等<sup>[8]</sup>。虽然学者们对如何从高分辨率影像中提取植被信息进行了大量研究,但大多仅限于植被覆盖变化、林木估产等方面<sup>[7, 8]</sup>,至今还没有关于行树三维信息提取方面的文章出现。

本文主要研究如何利用数据融合手段提取开阔区域(如平原耕地)的行树与篱笆等的三维信息,以便为风侵蚀监测与土壤保护提供必要数据。单棵的树木对土壤保护及风侵蚀防治几乎没有影响,因而本文不予考虑。本文所用的数据源为地理信息系统(GIS)数据、数字表面模型(DSM)和

CIR 立体像对。通过影像分割、影像边缘提取、直线段连接与编组、DSM 信息验证等手段成功提取行树与篱笆等的三维信息。

## 1 基于 CIE $L * a * b$ 的影像分割

为了进行与设备无关的图像打印,国际照明委员会(CIE)1931年发布了一种与设备无关的色彩空间 CIE XYZ<sup>[9]</sup>。所有颜色定义在一个  $X+Y+Z=1$  的平面上,互相垂直的 X、Y、Z 三个坐标轴分别对应红、绿、蓝三种颜色,三个坐标值的变化范围都是从 0 到 1。在该平面上有一个纯白色点,在 CIE XYZ 坐标系下的值为  $(W_x, W_y, W_z) = (0.312\ 779, 0.329\ 184, 0.358\ 037)$ 。

RGB 色彩空间中的每个点都在 CIE XYZ 色彩空间中有惟一的对应点。其转换公式如下:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.412\ 291 & 0.357\ 664 & 0.180\ 209 \\ 0.212\ 588 & 0.715\ 329 & 0.072\ 084 \\ 0.019\ 326 & 0.119\ 221 & 0.949\ 102 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

CIE  $L * a * b$  色彩空间发布于 1976 年<sup>[9]</sup>,  $L$  分量表示光照的明暗度,其变化范围为最暗(0)到最亮(100), $a$  分量的色彩变化为绿色(-120)到红色(+120), $b$  分量的色彩变化则为蓝色(-120)到黄色(+120)。CIE  $L * a * b$  可由 CIE XYZ 通过数学方法转换得到,各分量的计算公式为:

$$\left. \begin{array}{l} L = 116 \cdot (Y/W_y)^{1/3} - 16, \\ \text{如果 } 0.008856 < (Y/W_y) \\ L = 903.3 \cdot (Y/W_y), \text{ 否则} \\ a = 500 \cdot (F(X/W_x) - F(Y/W_y)) \\ b = 200 \cdot (F(X/W_y) - F(Y/W_z)) \end{array} \right\} \quad (2)$$

其中,  $(X, Y, Z)$  为待转换的点在 CIE XYZ 中的坐标, 而  $(X, Y, Z)$  值可以由 RGB 值通过式(1)转换得到;  $(W_x, W_y, W_z)$  是纯白色点的坐标。式(2)中  $F(p)$  的计算方法为: 如果  $p > 0.008856$ , 则有  $F(p) = p^{1/3}$ ; 否则  $F(p) = 7.787p + 16/116$ 。

RGB 和 CIE  $L * a * b$  之间并不存在直接的关系, 从 RGB 到 CIE  $L * a * b$  的转换必须通过 CIE XYZ 进行, 即首先由 RGB 转换到 CIE XYZ, 然后再由 CIE XYZ 转换到 CIE  $L * a * b$ 。同样, 从 CIE  $L * a * b$  到 RGB 的转换也必须通过 CIE XYZ 进行。

对于常规 RGB 影像中的植被信息, CIE  $L * a * b$  的  $a$  分量总是负值(即  $a < 0$ ), 且植被信息越强, 其数值越接近于  $-120$ ; 而对于 CIR 影像, 则  $a$  分量总是正值(即  $a > 0$ ), 且植被信息越强, 其值越接近于  $+120$ 。也就是说, 无论是 RGB 影像还是 CIR 影像, CIE  $L * a * b$  都可以有效地进行植被信息的分割, 而不像 NDVI 只能进行 CIR 影像的植被信息分割。图 1 为一幅 RGB 格式影像的 CIE  $L * a * b$  方法分割结果, 可以看出绝大部分树木信息都被保留, 而天空、建筑物和水体等非植被信息都被成功去除。

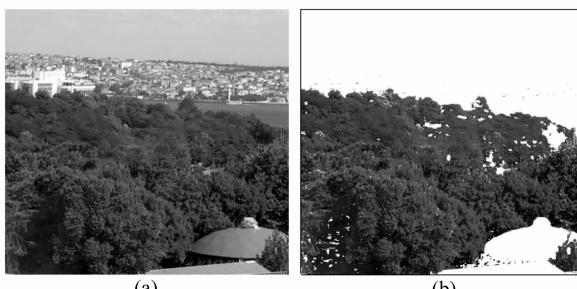


图 1 RGB 影像及其 CIE  $L * a * b$  分割结果

Fig. 1 RGB Image and Result of Segmentation

by CIE  $L * a * b$

## 2 基于数据融合方法的行树与篱笆信息提取

### 2.1 行树与篱笆信息提取的整体策略

本文的总体目标是融合现有的 GIS 数据、DSM 和 CIR 立体像对, 从中自动提取出行树与篱笆的三维信息, 以便为土壤监测与保护、风侵蚀

的危害计算等提供数据。行树与篱笆信息提取的整体策略如下。首先利用 CIE  $L * a * b$  信息去除影像中的非植被区域。行树与篱笆的边界具有很好的直线特征, 因而可以利用 Canny 算子提取影像边缘, 属于林区和建筑物等的边缘根据 GIS 数据予以剔除。然后进行直线段的连接与编组, 并利用最小二乘模板匹配求取其精确位置。由于行树与篱笆总是高于地表面, 因而可将影像直线段投影到 DSM 上, 结合 DSM 信息判断从影像中提取的三维直线段是否为行树或篱笆。最后将提取出的行树与篱笆的三维信息更新到 GIS 数据库中。

### 2.2 影像分割

利用 NDVI 值进行 CIR 影像分割, 以便提取植被信息<sup>[3, 6~8]</sup>。其基本原理是长势良好的绿色植被会吸收绝大部分红色波段的辐射能量, 同时反射绝大部分近红外波段的辐射能量, 影像分割公式为:  $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$ 。理论上只要 NDVI 值大于零即可认为是植被, 但为了抑制噪声等的影响, 一般取 NDVI 为 0.1 甚至更高作为判断植被的阈值。

图 2 所示为一幅 CIR 影像, 利用 NDVI 方法进行影像分割时, 采用的阈值为  $NDVI \geq 0.1$ , 即当某个像素的 NDVI 值大于等于 0.1 时, 保留该像素, 否则将该像素的颜色置为白色。分割后的影像如图 3 所示, 影像上部的非植被区域去除效果不好, 且右侧一些明显的行树和篱笆信息未能分割为显著的直线特征。



图 2 原始 CIR 影像

Fig. 2 The Captured CIR Image

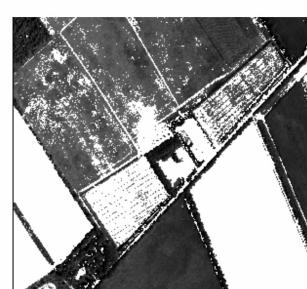


图 3 NDVI 方法的影像分割结果

Fig. 3 Result of Segmentation by NDVI

为了与 NDVI 方法分割时的阈值  $NDVI \geq 0.1$  相对应, 利用 CIE  $L * a * b$  方法分割时的阈值为  $a \geq 12$  ( $12/120 = 0.1$ ), 图 4 所示为影像分割结果。可以看出, CIE  $L * a * b$  方法分割后行树和篱笆信息的直线特征更为明显, 而非植被区域也绝大部分被成功剔除, 因而本文选用该方法进行影像分割。

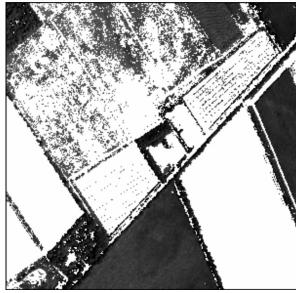


图 4 CIE  $L * a * b$  方法的影像分割结果

Fig. 4 Result of Segmentation by CIE  $L * a * b$

### 2.3 边缘提取与连接

由图 4 可以看出, 利用 CIE  $L * a * b$  方法进行影像分割后, 无论是行树还是篱笆, 其边界一般都具有很好的直线特征, 或者至少可以看作由若干直线段构成, 因而可以采用直线提取策略获取其影像信息。本文首先利用 Canny 算子提取影像边缘, 属于林地、田块及房屋边界的影像边缘可以根据 GIS 数据予以剔除, 然后再将这些边缘转化为一定长度的直线段。沿直线段方向根据夹角及距离进行线段间的连接后, 线段长度将大大增加, 如图 5 所示。由于行树和篱笆经常与绿地(一般是农作物)边界相连, 因而单纯从影像上还无法区别哪些线段属于行树和篱笆, 哪些属于绿地边界。

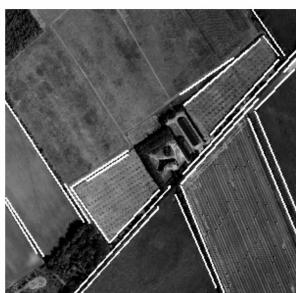


图 5 连接后的影像直线段

Fig. 5 Linked Image Lines

### 2.4 线段合并与匹配

行树与篱笆都具有一定的宽度, 因而一般有两条影像边界线, 而我们所关心的是其中心线的位置, 所以连接后的两条直线段需要合并为一条直线段。对于任何一条边界线, 其对应的另一条

边界线可以通过在垂直于线段方向一定宽度的范围内搜索得到, 从而获取其中心线。此时需要结合 DSM 信息进行综合分析, 以免将相邻的行树和篱笆边界线进行错误合并。如图 6 所示, 除影像左下角的一条篱笆线段由于 DSM 的精度不够而被合并到另一条行树的边界线外, 其余所有的直线对都被成功合并, 倾斜向上的两条直线段也被进一步连接为一条更长的线段。



图 6 合并后的影像直线段

Fig. 6 Merged Image Lines

但是, 当行树和篱笆与绿地相连或与背景的对比度较小时可能只有一条边界线, 无法获得中心线, 而且由两条边界获得的中心线也并不精确, 因而需要进行最小二乘影像匹配, 以获取精确的中心线位置。基本思路是首先生成屋脊型标准模板, 并以上述中心线(或边界线)为初始位置进行最小二乘匹配, 匹配结果即为行树与篱笆的影像中心线。

### 2.5 DSM 三维验证

当一个立体像对的两张像片都进行了影像分割、边缘提取、线段合并和匹配后, 即可获得行树与篱笆的影像中心线。由于影像直线比较稀疏, 同名中心线可以通过  $x$  视差的平均值初步确定, 再通过影像相关即可正确确定同名中心线。此时, 利用已知的影像方位元素即可获得物方坐标系下的三维直线段。

当一些影像线段在另一幅影像上没有对应的同名线段时, 该线段的三维空间位置可以通过迭代方式获取。首先将该线段投影到 DSM 平均高度的水平面上, 新的高度信息可以根据投影后的平面位置从 DSM 数据中获得, 然后再将影像线段投影到以新高度为高程的水平面上获得更精确的高度信息。一般来说, 进行三次迭代即可收敛到正确的三维位置。

通过以上两种方式获得的三维线段都可能是行树或篱笆的位置, 而且 GIS 数据中的道路、田块边界、河流及铁路等也是行树与篱笆的初始搜索位置。绿地的宽度一般远大于篱笆, 且其边界

高度较低,而行树与篱笆总是高于地表,宽度较窄且具有两个明显的边界。因而可将这些信息结合 DSM 判断确认行树与篱笆的位置和高度,并更新 GIS 数据库。图 7 所示为最终提取出的行树与篱笆信息,图像右侧的绿地边界已被成功剔除,所有保留线段均为行树和篱笆。



图 7 行树与篱笆的最终提取结果

Fig. 7 Result of Extracted Tree Rows and Hedges

### 3 试验结果与分析

试验区域位于德国下萨克森州的平原地区,所用的数据源为 GIS 数据、DSM 和 CIR 立体像对(包括影像参数)。GIS 数据的精度约为 3 m,其中包含林地、水体、建筑物以及主要田块的边界和道路等信息。图 8 所示为叠合在影像上的 GIS 数据,其中道路和田块边界、建筑物边界和林地边界分别用黄色、白色和绿色线段表示。本文的目标在于提取行树和篱笆信息,GIS 数据中的林地、水体、建筑物等已有信息可以从分割后的影像中去除,从而简化目标提取的难度。本文之所以先进行影像分割和直线段特征提取,然后再利用 GIS 数据去除林地、水体、建筑物等区域,主要是由于 GIS 数据的精度只有 3 m,大大低于影像的分辨率。此时若首先去除林地、水体、建筑物等区域,必然会造成应该保留的影像块被删除、应该删除的影像块被保留的错误。而先提取影像直线

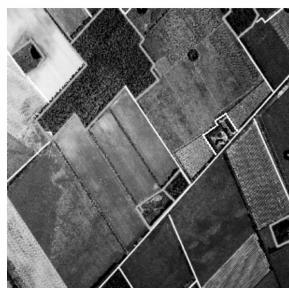


图 8 叠合于原始 CIR 影像上的 GIS 数据

Fig. 8 GIS Data Superimposed on CIR Image

然后根据 GIS 数据中林地、水体、建筑物等区域的特征,综合分析所提取影像直线段的位置和所构成的形状,再剔除属于这些区域的直线段则要可靠得多。

试验区域共有 CIR 影像 132 幅,航向重叠和旁向重叠均为 60%。影像的地面分辨率约为 0.5 m,于 2003 年 8 月利用航空摄影方式拍摄,此时行树和篱笆的枝叶长势到达顶点,因而影像上的色彩信息也最强。所用的 DSM 数据由 VirtuoZo 软件生成,地面分辨率也为 0.5 m。影像绝对定向和生成 DSM 时,控制点都是从前述的 GIS 数据中量测得到,因而影像参数和 DSM 的精度都不高,无法直接从 DSM 中提取行树与篱笆的三维信息。不过由于试验区域为平原地带,而行树和篱笆总是高于地表,因而还是可以从总体上分辨出行树与篱笆信息,如图 9 所示。



图 9 叠加了正射影像的部分 DSM 数据

Fig. 9 DSM Data Superimposed by Ortho Image

将前述的三维线段以及 GIS 数据中的线状信息与 DSM 相结合,即可自动提取出行树和篱笆信息。将图 8 所示的 CIR 影像和 GIS 数据以及图 9 所示的 DSM 数据作为数据源,利用本文 § 2.1 所述的整体策略自动提取出的行树与篱笆信息如图 10(a)所示。由图 10(a)可以看出,绝大多数行树和篱笆信息均被成功提取出来,只有图像中间的一条篱笆未能成功提取。如 § 2.4 所述,该篱笆线段已被成功进行边缘提取和连接,但由于该篱笆与另一条较长行树距离很近,且 DSM 的精度不够高,使得二者在线段合并阶段被错误地合并成一条线段。图 10(b)所示为相邻一张影像的提取结果,所有提取出的行树和篱笆信息都正确无误。

整个试验区域内的行树和篱笆信息都有人工量测获得的 GIS 数据。将自动提取结果与该已知的 GIS 数据进行比对后,行树和篱笆的正确性和完备性都高于 95%,显示了本文方法在提取行树和篱笆三维信息方面的有效性。

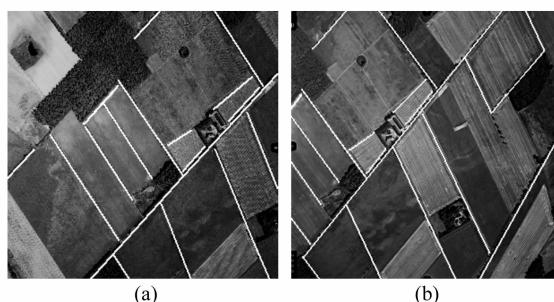


图 10 行树与篱笆的最终提取结果

Fig. 10 Result of Extracted Tree Rows and Hedges

## 4 结 论

本文所阐述的 CIE  $L * a * b$  影像分割方法在植被信息提取方面有巨大的潜力,其分割结果略优于 NDVI 方法。更重要的是,该方法不仅可以分割 CIR 影像,也可以分割常规的 RGB 影像,特别是在植被变化检测等领域,CIE  $L * a * b$  影像分割方法将使已经拍摄的 RGB 影像发挥更大的作用。

## 参 考 文 献

- Driehuyzen M G. Control of Wind Erosion. Ministry of Agriculture and Food, Government of British Columbia. <http://www.agf.gov.bc.ca/resmgmt/publist/600series/642200-1.pdf>, 2003
- Baltsavias E P. Object Extraction and Revision by Image Analysis Using Existing Geospatial Data and Knowledge: State-of-The-Art and Steps Towards Op-
- Straub B M. Automatic Extraction of Trees from Aerial Images and Surface Models. ISPRS Conference on Photogrammetric Image Analysis, Munich, Germany, 2003
- Campadelli P, Schettini R, Zuffi S. A System for the Automatic Selection of Conspicuousness Color Sets for Qualitative Data Display and Visual Interface Design. Journal of Image and Graphics, 2000(5): 500~503
- Lebrun V, Toussaint C, Pirard E. On the Use of Image Analysis for Quantitative Monitoring of Stone Alteration. [http://www.ulg.ac.be/mica/pdffiles/Marble\\_Color\\_Alteration.pdf](http://www.ulg.ac.be/mica/pdffiles/Marble_Color_Alteration.pdf), 2000
- Heipke C, Pakzad K, Straub B M. Image Analysis for GIS Data Acquisition. Photogrammetric Record, 2000, 16(96): 963~985
- Lyon J G, Yuan D, Lunetta R, et al. A Change Detection Experiment Using Vegetation Indices. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1998, 64: 143~150
- Wang J, Rich P M, Price K P. Relations Between NDVI and Tree Productivity in the Central Great Plains. Int. Journal of Remote Sensing, 2004, 25: 3 127~3 138
- SEII EM-MI. Theory Perceive the Color, Introduction to Graphic of Computer. <http://semmix.pl/color/default.htm>, 2002

**作者简介:**张永军,副教授,博士。主要从事数字摄影测量与遥感、计算机视觉和多源数据融合方面的研究。

E-mail:yongjun\_zhang@hotmail.com

## Automatic Extraction of Tree Rows and Hedges by Data Integration

ZHANG Yongjun<sup>1</sup>

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** This paper mainly focuses on the integration of GIS data, DSM information and CIR stereo imagery to derive automatically tree rows and hedges in the open landscape. Different approaches, such as segmentation by CIE  $L * a * b$ , edge extraction, linking and grouping, and verifying with 3D information, are successfully integrated to extract the objects of interest. The extracted tree rows and hedges can be used to update the GIS database, to derive wind erosion risk fields for soil monitoring and preservation.

**Key words:** information extraction; data integration; image analysis; tree rows and hedges; image segmentation

**About the author:** ZHANG Yongjun, associate professor, Ph.D. He is mainly engaged in the research of digital photogrammetry and remote-sensing, computer vision and data integration.

E-mail: yongjun\_zhang@hotmail.com