

# 非结构化自然图像自主导航中的两类分割方法

周 平 汪亚明 赵 匀 徐轶峰

【摘要】 以园艺草割过与未割过的自然图像两类分割为研究对象,提出了基于多尺度特征提取,以行像素最小、次小和最大、次大值求取加权中值点集的窄带兴趣区法,以及相邻行像素两类特征证据增强与多证据模糊判别增强分割法。通过自动跟踪分割实验,显示出自然图像中的不同色块和阴影对分割影响不大,而且能够做到实时输出分割参数,70 ms内自主做出未经透视投影变换的作业机理想移动方向决策。这两种方法对纹理两类边缘的分割是完全无监督的,可避免耗时的计算和人工操作介入。

关键词: 自主式导航 图像处理 自然环境  
中图分类号: TP391 文献标识码: A

## Fast Cut-uncut Segmentation of Textural Natural Image for Autonomous Navigation

Zhou Ping Wang Yaming Zhao Yun Xu Yifeng  
(Zhejiang Institute of Science and Technology)

### Abstract

Two novel methods are proposed for fast cut-uncut segmentation of textural surfaces in navigating outdoors agricultural robot. The key to the efficiency is based on the narrow band extraction of multi-scale features from interest region. The other crucial factor is based on the multi-evidence enhancement of pixel-rows. The former is related to the weighted mean of highest, sub-higher and the lowest, sub-lower values of pixel-rows. The latter is related to the feature enhancement of neighborhood rows and multi-evidence fuzzy recognition. We can track the boundary between cut-uncut textural surfaces for the autonomous navigation of robotic lawn mower and let it mow in a pattern as a human would. Through local histogram analysis of the cut-uncut grass of natural texture, we found that the two approaches were totally unsupervised and their navigation line was adaptive to changing environments. The software for analyzing the lawn-mowed and non-structured natural images was also developed. The results we obtained are quite promising (correct segmentation was done within 70 ms) and the technique can be further used in real-time tracking and navigating of image sequences.

**Key words** Self-aid navigation, Image processing, Natural environment

### 引言

在野外耕作、植保、收获机械等的多感知自主导航中,被动视觉辅助提供了一种基于自然作物之间、

土壤与作物之间纹理和颜色区域边缘的导航支持,可强化综合自主行为的有效性和实时性。研究该问题对解决集约化农业生产中,人在野外重复性作业环境下的驾驶疲劳和安全具有重要意义。

收稿日期: 2003- 06- 16

周 平 浙江工程学院计算机视觉与模式识别实验室 副教授 博士生(浙江大学), 310033 杭州市

汪亚明 浙江工程学院信息电子学院 副教授

赵 匀 浙江工程学院院长 教授

徐轶峰 浙江工程学院信息电子学院 硕士生

在野外自主导航中,被动传感器的主动视觉具有感知信息量大的优点,是野外自主导航技术的基础。目前研究较多的是基于结构化道路的导航,一般采用多种假设来化简问题<sup>[1-5]</sup>,然而,农田作业是自然纹理图像,用上述方法对其分割存在适应性局限,故利用对农作物割过与未割过的边缘线的实时识别进行作业机械自主导航是一项很困难的工作。Ollis等<sup>[6]</sup>基于彩色直方图,通过求作物割过与未割过的像点条件概率来检测边缘线;Gerrish等<sup>[7]</sup>用视觉与GPS的多信息融合进行拖拉机的田间作业导航;沈明霞等<sup>[8]</sup>利用灭点检测,探讨了自主行走农业机器人的自定位。Chandler等<sup>[9,10]</sup>基于小波纹理分析提出了一个对割草机进行自主导航的概念框架,对静态的草地纹理图像取得了较好的两类分割结果,但其实验系统尚不能自主跟踪割过与未割过草地的边缘线,对结构化道路的跟踪尚存在S型行走甩尾现象。Benson等<sup>[11]</sup>提出了单目视觉导航农业联合收获机的系统,采用连通域分析将玉米作物行与背景分离,图像处理速度为2帧/s(对应最大前进速度1.3 m/s),可昼夜提供导航作业控制。Broggi等<sup>[12]</sup>基于蚁群优化提出的雪橇痕迹实时视觉跟踪导航方法较成功,但其用3×3平滑模板的滤波不能解决农作物之类的自然纹理图像。本文从高相似度、非结构化自然图像的两类边缘线跟踪入手,提出了两种高效率的分割方法,以自主做出作业机的理想移动方向决策。

1 兴趣区压缩加权中值窄带法

该方法源于这样一种直觉:作物割过与未割过表面存在着统计差异,使得肉眼能依稀分辨出不同特征来。

1.1 多尺度特征提取

肉眼在分辨作物的纹理和颜色边缘时并不总能认识每棵作物的细节形态。对边缘模糊的自然图像的多尺度投影直方图分析见图1,尺度加大后,干扰杂波明显减少。因此,适当提高图像的跟踪尺度能在减少计算成本的同时,增强导航线输出的鲁棒性。

1.2 初始兴趣区提取

通过调查HSV色彩模型的显像特征,发现用V图能反映作物割过与未割过的两类差异。因图像大部区域以相似同类呈现,故以一维投影能量直方图初步定出前进方向上作物割过与未割过边缘线所在兴趣区。显然,在割过与未割过边缘带可能存在统计峰谷形态,以最大-最小值的分布区间便可划出初始分割兴趣区。

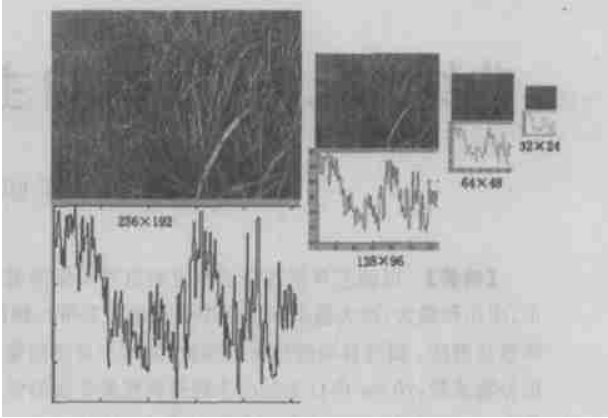


图 1 多尺度投影直方图

Fig. 1 Multi-scale histogram projection

1.3 兴趣区压缩算法

通过统计初始兴趣区内各像素点的亮度分布发现,同时提取兴趣区内亮度最大、次大的像素点与亮度最小、次小的像素点位置,再加权取算术平均,能在初始兴趣区内求出边缘的窄带统计分布(见图2)。兴趣区压缩后的边缘特征点集 $X_{med}$ 可描述为

$$\begin{cases} X_{min}^{(i)} = \frac{1}{n_1^{(i)}} \left[ \min \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m I(x,y) \right] \\ X_{max}^{(i)} = \frac{1}{n_2^{(i)}} \left[ \max \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m I(x,y) \right] \end{cases} \quad (i = 1, 2) \tag{1}$$

$$X_{med} = med \sum_{i,j \in R^d} X_{ij} = [k_1 (X_{min}^{(1)} + X_{max}^{(1)}) / 2 + k_2 (X_{min}^{(2)} + X_{max}^{(2)}) / 2] / 2 \tag{2}$$

式中  $I(x,y)$ ——图像兴趣区域  $m \times n$  中各像素点的亮度值

$X_{min}^{(i)}, X_{max}^{(i)}$ ——像素值出现最小、次小和最大、次大值点集的坐标位置

$n_1^{(i)}, n_2^{(i)}$ ——应投影直方图亮度最小、次小和最大、次大的像素点数量

$k_1, k_2$ ——对不同作物进行暗分量与亮分量调节的权值,取  $k_1 = 0.8, k_2 = 1$

因此,由兴趣区点集  $X_i$  的最小、次小和最大、次大值求得的中值点集  $X_{med}$  为窄带兴趣区  $R^d$ ,而且满足子空间  $R^d = m(x_2 - x_1) \subset R = mn$

1.4 导航方向线自主生成

图2a和图2b表示窄带兴趣区两侧形成的统计独立的相似亮度特征点集。通过求类似点集的加权算术平均,便可找出其两类边缘线的分割点集(见图2c)。用最小中值二乘回归拟合形成边缘点集的第一主成分线,取得导航方向线参数。在最小中值二乘回归方法中,模型参数  $\hat{\theta}$  的估计可由极小化残差平方中值求得<sup>[13]</sup>,即

$$\min_{\theta} \text{med}_i(r_i^2) \tag{3}$$

然而,最小中值二乘回归(或称鲁棒回归)的计算成本较高。事实上,从式(2)已获得图像兴趣区的压缩分布形态(纹理边缘点集落在图3c中的白线内)。出于应用实时性考虑,可将该窄带兴趣区划分为上下2个像限 $S_{up}$ 、 $S_{down}$ ,按像限分别投影统计来求对应像限中各兴趣点的坐标均值位置 $q^1_x$ 、 $q^2_{xy}$ ,通过求取 $q^1_y$ 、 $q^2_{xy}$ 连线与图像上下边界的交点 $B_i$ 便可获

得导航方向线。若生成的导航方向线穿越了窄带兴趣区(见图3c的垂直白线对),会造成导航线与实际视觉感受上的偏差。这可通过对上述算法附加约束的办法来解决:对越界的端点用窄带兴趣区对应交点来直接替代(见图4),即

$$\begin{aligned} &\text{if } q^1 < q^2 \cap B_i \in S_{up} \text{ then } P_{upleft} \text{ else } P_{upright} \\ &\text{if } q^1 < q^2 \cap B_i \in S_{down} \text{ then } P_{downleft} \text{ else } P_{downright} \end{aligned}$$

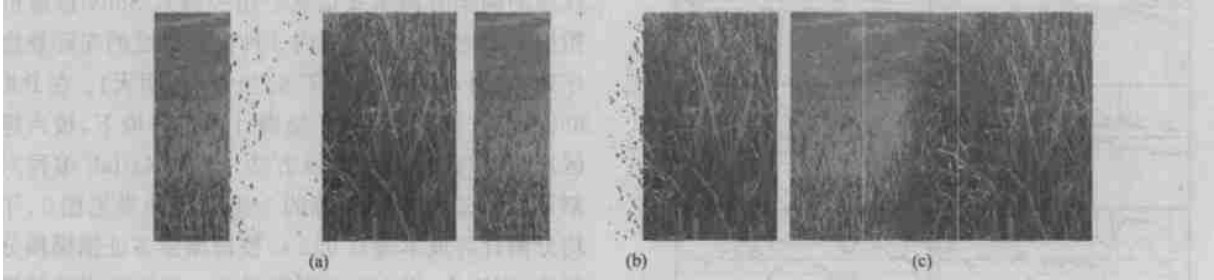


图 2 形成窄带兴趣区和初步跟踪边缘点集  
Fig. 2 Narrow-band ROI forming and primary edge points set  
(a) 兴趣区最大亮度点 (b) 兴趣区最小亮度点 (c) 初步跟踪效果图

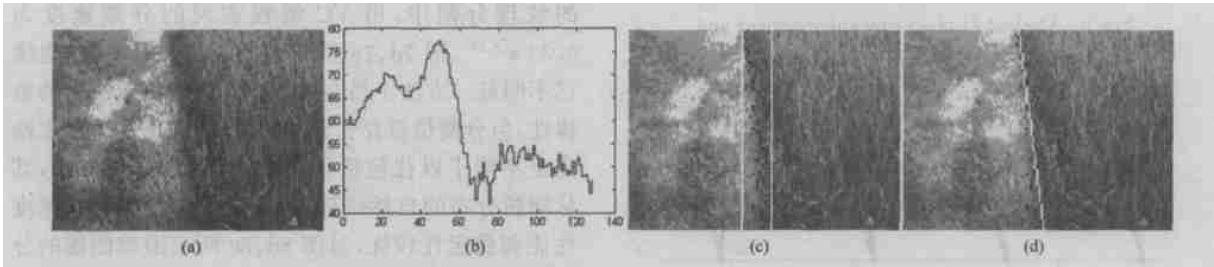


图 3 兴趣区提取与压缩的窄带方法示意图  
Fig. 3 ROI extracting histogram and formation of narrow-band distribution points  
(a) 2倍尺度下 HSV 的 V 图 (b) V 图的投影直方图 (c) 窄带兴趣区提取 (d) 跟踪导航线拟合

2 行增强多证据模糊分割法

纹理需由子空间支持,为此,提出了相邻行像素两类特征增强与多证据模糊判别分割法,具体如下:

(1) 将图像尺度提高1倍,把RGB彩色图转换成灰度图。

(2) 对图像上、中、下3区分别进行两次6~10行像素值的垂直投影,以增强像素行两类特征证据。取投影直方图最大、最小值,形成图5右上角所示的像素值上下界累积分布波形(这时像素累积值的跳动非常大,还很难看出规律)。

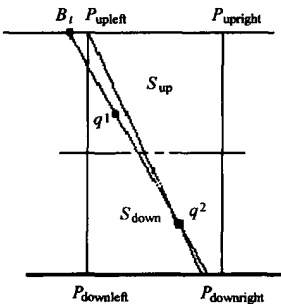


图 4 越界端点附加约束示意图  
Fig. 4 Add-ons limitation for surpassing points

(3) 对其进行一维级联递归滤波,以消去毛刺,计算式为

$$A(j)=\left[\sum_{i=0}^k I(j-i)\right] \setminus k$$

$(j=1,2,\cdots,n; 0 < k < 10)$

$\tag{4}$

图像上部的滤波效果见图5中1,2,中部的滤波效果见图5中3,4,下部的滤波效果见图5中5,6。其中1是图像1~8行像素特征累积增强后的分布,2是图像5~12行像素特征增强后的分布。其余类推。

(4) 多证据模糊判别增强。在求取多行像素的上下界波形均值的同时,分别计算其波形均值邻域内的每一个可疑分割点位置(垂线与其均值线的交点),然后按多证据模糊判断来决策对应波形的惟一分割点(垂直红线所处位置)。

(5) 图像上、中、下3区分别有4条上下界波形,各自对应4个分割证据(如图5中1,2所示有4条垂直粗红线),按距离加权分析该4个候选分割

证据,决策出上、中、下 3 区的稳定分割点位置

(6) 依据图像上、中、下 3 个决策分割点,按图 6

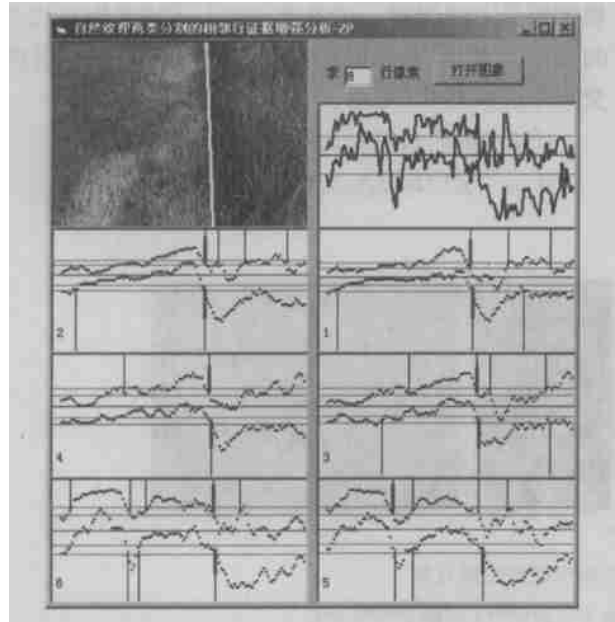


图 5 行像素增强多证据模糊分割方法  
Fig. 5 Method of pixel row enhancement and multi-evidence fuzzy segmentation

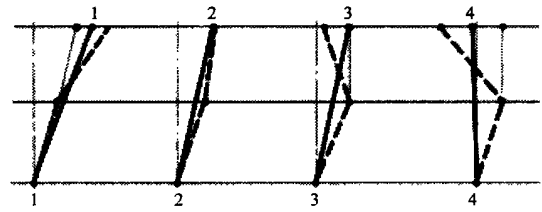


图 6 3 个分割点的 8 种组合 (另 4 种对称)  
Fig. 6 8 combinations among 3 segmenting points (with other 4 arranged in symmetry)

所示的 8 种组合规则进行方向修正,最后自动决策生成其纹理边缘分割线 加入中段区域分割的目的在于获得更精确的转向判断

3 实例与分析

像素值的投影直方图 (整体或局部) 以统计方式压缩了自然图像中噪声点的影响,在没有对每个像素点进行滤波预处理的条件下,可获得粗纹理和细纹理的两类分割本质信息。用手持式 Sony 摄像机拍摄了前方约 2 m 范围内 3 种识别难度的实际景物序列 (杭州, 4 月中旬上午 8 30 左右, 阴天)。在 PIII 850 MHz, 128 M RAM 便携计算机环境下,按兴趣区压缩加权中值窄带法 (方法 I) 用 Matlab 编程对割草纹理边缘方向跟踪的一组实验结果见图 7, 平均分割计算成本为 0.952 s 按行增强多证据模糊分割法 (方法 II) 用 VB 编程实现的一组跟踪实验结果见图 8, 对 320× 240 分辨率图像的平均分割计算成本为 0.07 s 相比之下, Chandler 等以小波方法对草的纹理分割中,用 VC 编程实现的分割速度为 0.33 s<sup>[9, 10]</sup>。图 7d 7e 和图 8d 8e 在人眼看来,边缘已不明显。方法 I 虽在方向判别上保持着一定的鲁棒性,但分割位置存在较大偏差;方法 II 的设计思路完全不同于以往包括小波<sup>[9, 10]</sup>在内的分割方法,其从随机分布的自然纹理中找出了一定规律,且速度性能和稳定性较优,对图 8d 8e 所示困难图像的分割效果取得了进展 这两种新方法对自然纹理的两类边缘分割是完全无监督的,图像中不同色块和阴影对其分割结果影响不大,且避免了耗时的计算和人操作介入。

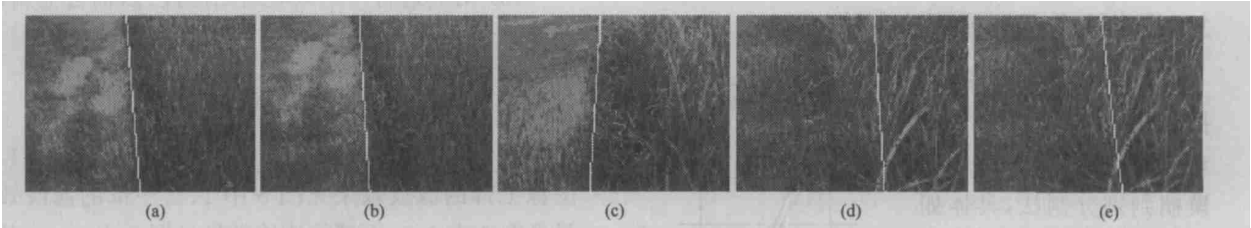


图 7 方法 I 对割草边缘线的无监督分割  
Fig. 7 Unsupervised segmentation on cut-uncut grass boundary (method I)

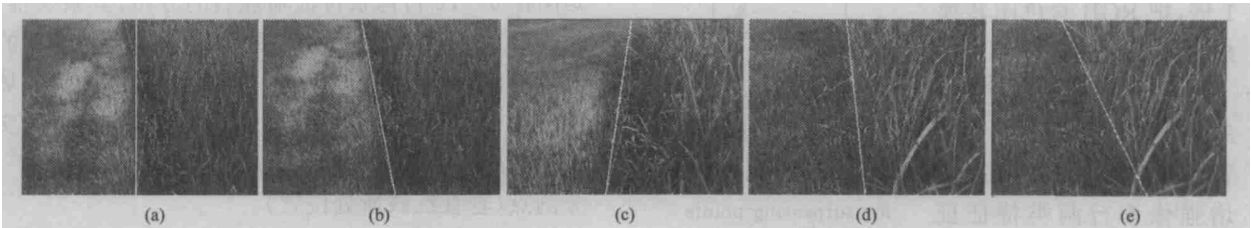


图 8 方法 II 对割草边缘线的无监督分割  
Fig. 8 Unsupervised segmentation on cut-uncut grass boundary (method II)

4 结束语

自然纹理边缘的实时分割跟踪是实现农作机械自主导航的关键工作。本文以园艺草割过与未割过的自然图像两类分割为研究对象,提出了两种全新的、无监督的分割方法:基于多尺度特征提取,以行像素最小、次小和最大、次大值求取加权中值点集

的窄带兴趣区法;相邻像素行的两类特征证据增强与多证据模糊判别增强分割法。  
通过对园艺草地这类非结构化的高相似自然纹理图像的割草边缘进行的自动跟踪分割实验,显示有能力在 70 ms 左右自主做出未经透视投影变换的作业机理想移动方向决策,而且对不同图像色块和阴影的影响不明显,具有较强鲁棒性

参 考 文 献

1

Franke U, Gavrilă D, et al. Autonomous driving goes downtown. IEEE Intelligent Systems, 1998, 13( 6): 34~ 48

2

Taylor C J, Kosecka J, Blasi R, et al. A comparative study of vision-based lateral control strategies for autonomous highway driving. International Journal of Robotics Research, 1999, 18( 5): 442~ 454

3

Durrant-Whyte H. A critical review of the state-of-the-art in autonomous land vehicle systems and technology. Sandia National Laboratories Report, Albuquerque, New Mexico 87185, 2001.

4

王荣本,储江伟,冯炎 等. 一种视觉导航的实用型 AGV 设计. 机械工程学报, 2002, 38(11): 135~ 138

5

李欣,李宏东,顾伟康 等. 一种结构化道路环境中的视觉导航系统. 浙江大学学报(工学版), 2002, 36(6): 630~ 633

6

Ollis L, Stentz A. First results in vision-based crop-line tracking. Proceedings of the IEEE Robotics and Automation Conference, Minnesota, 1996.

7

Gerrish J B, Fehr B W, Van Ee G R, et al. Self-steering tractor guided by computer vision. Applied Engineering in Agriculture, 1997, 13 ( 5): 559~ 563

8

沈明霞,姬长英,张瑞合 等. 基于农田景物边缘的农业机器人自定位方法. 农业机械学报, 2001, 32( 6): 49~ 51

9

Rand C Chandler, A Antonio Arroyo, Nechyba M, et al. Autonomous agent navigation based on textural analysis. Florida Conference on Recent Advances in Robotics (FCRAR 2002), Miami, Florida, 2002.

10

Rand C Chandler, A Antonio Arroyo, Nechyba M, et al. Robot navigation and textural analysis. Florida Conference on Recent Advances in Robotics (FCRAR 2003), Dania Beach, Florida, 2003.

11

Benson E R, Reid J F, Zhang Q. Machine vision-based guidance system for an agricultural small-grain harvester. Transactions of the ASAE, 2003, 46(4): 1255~ 1264

12

Broggi A, Massimo Cellario, Paolo Lombardi, et al. An evolutionary approach to visual sensing for vehicle navigation. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2003, 50( 1): 18~ 29

13

Rousseeuw P J, Leroy A M. Robust regression and outlier detection. John Wiley & Sons, New York, 1987.