

基于彩色立体视觉的障碍物快速检测方法^{*}

李庆忠¹ 陈显华¹ 顾伟康²

(中国海洋大学机电工程系 青岛266071)¹ (浙江大学信息与电子工程学系 杭州310027)²

Fast Method for Obstacle Detection Based on Color Stereo Vision

LI Qing-Zhong¹ CHEN Xian-Hua¹ GU Wei-Kang²

(Department of Machine and Electricity Engineering, China Ocean University, Qingdao 266071, China)¹

(Department of Information and Electronic Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)²

Abstract Real-time obstacle detection method is a key technique for machine vision based mobile robot and autonomous land vehicle navigation in unstructured environments. In this paper, considering the real-time requirement for stereo matching algorithm, an adaptive color segmentation method for possible obstacle region detection is first developed based on the color feature, and a simple region based stereo matching algorithm of binocular vision for real obstacle recognition is also introduced. Obstacle detection is implemented by combining the road color adaptive segmentation method and region based stereovision method. Lots of experiment results show that the proposed approach can detect obstacle quickly and effectively, and this algorithm is particularly suited for road environments in which the road is relatively flat and of roughly the same color.

Keywords Stereo vision, Obstacle detection, Mobile robot, Image segmentation

1 引言

移动机器人是能够在道路和野外连续地、实时地自主运动的智能机器人,是一种集环境感知、动态决策与规划、行为控制与执行等多项功能于一体的高智能化机器系统,其研究涉及图像实时处理、计算机视觉、传感器技术、人工智能、自动控制、计算机并行处理技术、机械学等多学科理论与技术,体现了信息科学和人工智能技术的最新成果,具有重要的军用及民用价值,该研究已成为国际机器人研究领域的热点。移动机器人的关键技术是视觉导航技术,视觉导航的主要功能是对各种道路场景进行快速识别和理解,从而确定移动机器人的可行道路区域,而视觉技术的关键是障碍物的快速检测与识别。

基于立体视觉的障碍物检测与识别,主要的计算量是图像对之间进行匹配点的寻找计算,这是影响立体视觉实时性的主要障碍。根据匹配基元的不同,立体匹配方法可分为三种,即点匹配、线匹配和区域匹配。基于点的立体匹配计算,可以重建出密集的三维地形图,但巨大的计算量和较大的误匹配率是其致命缺点。为降低误匹配率和缩小匹配寻找范围,Williamson等^[1,2]采用多目立体视觉技术,虽然取得了较好的试验结果,但图像数量的增加又会增加处理时间,此外在硬件实现上也比较困难。为提高匹配运算速度,Mandelbaum等^[3]采用双目视觉加视前端硬件技术,即由高速硬件完成视觉信息的一些前期处理,其实时性较高但成本也比较高。基于线的匹配或基于边缘的匹配,具有较强的鲁棒性,但只能得到非常稀疏的高度点,此外,由于检测出的边缘的不规则性,其误匹配率也较高,并且如何根据稀疏的高度点去组织恢复障碍物的稠密区域,也比较困难。

本文考虑立体视觉匹配计算的实时性要求,根据障碍物

区域的连续性以及障碍物的颜色特征,提出了障碍物颜色区域分割和立体匹配相结合的方法,实现了障碍物的实时彩色立体视觉检测,实验表明:在路面颜色基本一致和路面比较平整的路况下,本文提出的方法是可行和有效的。

2 基于颜色区域匹配的立体视觉方法

立体匹配算法一般不是在原始的图像对之间进行,而是首先对原始图像进行特征提取,然后再在特征图像对之间进行匹配运算。因此,立体匹配算法的实时性和可靠性主要取决于特征图像的提取方法,即如果提取的特征图像简单且有效,则会大大降低立体匹配的计算量,且能提高匹配准确率。此外,移动机器人的视觉导航问题,仅需要确定机器人前进的可行区域,即只要能判断是否是障碍物即可,而不需要对障碍物进行三维的立体重建。

本研究采用双目立体视觉,研究的目的是如何确定区分路面和障碍物的有效特征,然后在提取的有效、简单特征图像上进行快速的立体视觉匹配计算,实现立体视觉障碍物的实时检测。通过研究发现:区分路面和障碍物的最有效特征是边缘特征和颜色特征。即不管光照方向如何变化,在图像不饱和的前提下,障碍物的边缘总是可以由边缘检测算法检测出来,但对于检测出来的不规则的边缘图像,如何组织成障碍物的连续区域却十分困难;其次区分路面与障碍物的有效特征就是颜色,因为与路面颜色差异较大的障碍物,在亮度图像上有时却看不出差别。此外还观察到,虽然道路场景的颜色随光照的变化而变化,但在图像不饱和的前提下,路面与障碍物之间的颜色差异总是存在的。并且在非路为草坪的道路场景下,路面与非路(草坪)区分的最佳特征是亮度特征。因此本文采用的立体视觉障碍物检测方法是:首先在亮度图像上进行直方图阈值分割,得到道路区域。然后在道路区域内通过颜色特征

^{*} 本研究受国家自然科学基金(项目编号:60105003)资助。李庆忠 博士后,副教授,主要研究方向:智能机器人,图像处理。陈显华 硕士研究生,主要研究方向:图像处理与识别。顾伟康 教授,博士生导师,主要研究方向:智能机器人,图像处理。

分割出与路面颜色不同的可疑障碍物区域,然后再在图像对之间进行基于区域的立体匹配计算,若可疑障碍物区域高出路面,则判为障碍物区域,否则判为路面。障碍物立体视觉检测处理流程如图1所示。下面具体介绍算法的实现过程。

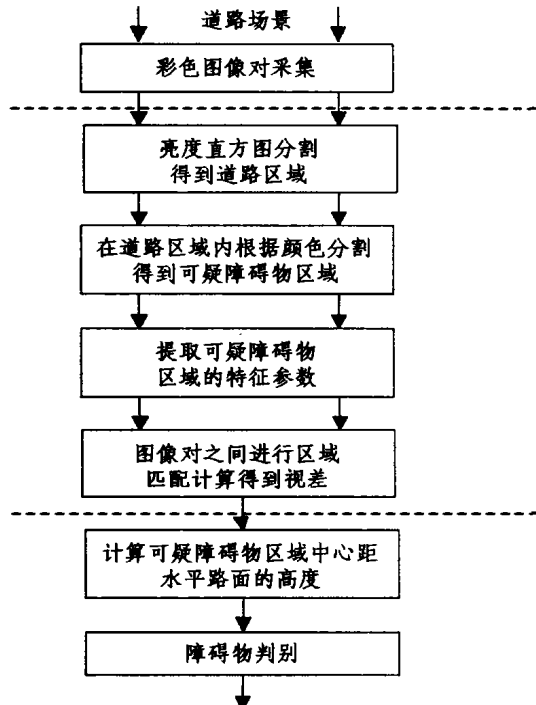


图1 障碍物立体视觉检测流程图

2.1 可疑障碍物区域的颜色分割方法

为了检测道路区域内的可疑障碍物,本文采用 HIS 颜色空间,从 RGB 空间到 HIS 空间的转换公式为:

$$I = \frac{R+G+B}{3} \quad (1)$$

$$H = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2}[(R-G) + (R-B)]}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right\} \quad (2)$$

$$S = 1 - \frac{3\min(R,G,B)}{R+G+B} \quad (3)$$

在 HIS 空间中, I 表示强度或亮度,它反映了像素的整体亮度。包含彩色信息的两个分量是色调(H)和饱和度(S)。其中色调反映了该彩色最接近什么光谱波长的光或颜色;饱和度反映了颜色的深浅程度。

为提高算法的鲁棒性和实时性,首先对亮度图像进行直方图阈值分割后得到了道路区域。然后在道路区域内根据色调对可疑障碍物区域进行检测,这样可以大大降低图像处理的数据量。根据色调图像分割可疑障碍物区域的步骤如下:

(1) 在移动机器人采集的正前方色调图像的一个方形区域($k \times k$)内,计算路面的平均参考色调值 H_R 。如此选择该方形图像区域,可保证此区域内不存在障碍物。这样每采集一次图像,都可由此得到当时路面的参考色调值,该参考色调值是动态变化的,即光照变化后路面色调会变化,而路面参考色调值是随路面色调变化随时采集确定的。

(2) 根据区域增长法对道路区域进行分割。选用的特征向量为某像素邻域 W_N 内的平均色调值:

$$p(i,j) = \frac{\sum_{(u,v) \in W_N} f(u,v)}{N} \quad (4)$$

式(4)中的 N 是邻域内像素的个数,衡量任一像素(i,j)是否

是可疑障碍物的公式是:

$$S(i,j) = |p(i,j) - H_R| \quad (5)$$

如果 $S(i,j)$ 小于设定的阈值 T ,则像素(i,j)为路面,否则为可疑障碍物。经过如此处理后就分割出可疑的障碍物区域。这种可疑障碍物区域只能表明它们与路面的颜色不同,但是否高出路面而成为真正的障碍物,还需要由下面的立体视觉匹配方法进一步确定。

2.2 区域特征提取方法

为了进行基于区域的立体匹配计算,必须提取分割出的可疑障碍物区的特征向量。本文提取的特征量有:反映区域大小的面积 A 、周长 P ,以及描述区域形状的边缘曲线。其中区域的边缘曲线采用以区域形心点为圆心的半径序列来描述。根据边缘点求半径序列 $r_k(k=1,2,3,\dots,n)$ 的方法^[4]为:

(1) 对各区域进行边缘搜索,得到其边缘点序列(x_k, y_k)

$i=1,2,3,\dots,n$ 。

(2) 利用以下公式求得区域的形心坐标(x_c, y_c):

$$x_c = \frac{\oint_{x,y \in \text{boundary}} (xydx - \frac{1}{2}x^2dy)}{\oint_{x,y \in \text{boundary}} (ydx - xdy)} \quad (6)$$

$$y_c = \frac{\oint_{x,y \in \text{boundary}} (\frac{1}{2}y^2dx - xydy)}{\oint_{x,y \in \text{boundary}} (ydx - xdy)} \quad (7)$$

离散化后得:

$$x_c = \frac{\sum_{k=1}^n [x_k^2(y_k + y_{k-1}) - 2x_kx_{k-1}y_k]}{2 \sum_{k=1}^n [y_k(x_k - x_{k-1}) - x_k(y_k - y_{k-1})]} \quad (8)$$

$$y_c = \frac{\sum_{k=1}^n [2x_ky_ky_{k-1} - y_k^2(x_k + x_{k-1})]}{2 \sum_{k=1}^n [y_k(x_k - x_{k-1}) - x_k(y_k - y_{k-1})]} \quad (9)$$

(3) 计算边界点的半径序列 $r_k(k=1,2,3,\dots,n)$:

$$r_k = \sqrt{(x_k - x_c)^2 + (y_k - y_c)^2} \quad (10)$$

为了形状比较的统一性,求得的半径序列规格化至最大值为 255。

2.3 立体视觉区域匹配方法

本文采用的立体视觉为双目彩色视觉,两摄像机光轴平行安装,这样其极线与图像的行基本一致,匹配点的寻找在图像相应的行上寻找即可。立体视觉匹配计算的目的是求取左右两幅图像相应点之间的视差。基于像素点的匹配主要是在极线约束条件下,根据图像的灰度特征寻找匹配点,其计算复杂度为($m \times n \times d$),其中 m 为图像的像素点数, n 为相关计算窗口的大小, d 为视差的寻找范围。显然该匹配方法需要很大的计算量。基于边缘特征的匹配方法,需要对边缘算子处理的图像进行组织和组织,组织成一条条的边缘,然后再进行图像对之间线与线之间的匹配运算,因为线的条数较多且边缘线的不规则性,会出现较大的误匹配率,且仅能得到边缘位置的视差,如何再把线组织成连续的立体区域也比较困难。而基于区域的匹配,因为分割得到的每个区域是连续的且区域的个数有限,所以匹配计算量很小且具有很高的匹配成功率。本文采用的区域匹配方法为:

(1) 对分割得到的可疑障碍物区域进行编号处理并根据 2.2 节中介绍的方法计算各区域的特征向量 $P_i = (A_i, P_i,$

$\sum r_k$ 和其形心坐标 (x_n, y_n) 。

(2) 对于右边图像的任一区域 R , 根据极线约束条件, 在左图像上可以与它匹配的区域应具备的条件是: 两者形心的 y_c 坐标应相近。由此条件可以在左图像上找到区域 R 的 m 个候选匹配区域。

(3) 对于确定的候选匹配区域, 再根据特征向量之间的距离, 确定最佳匹配区域, 即最短距离的区域为最佳匹配区域。距离计算公式为:

$$D_j = a_1 |A_i - A_j| + a_2 |P_i - P_j| + a_3 \sum_{k=1}^n |r_{ik} + r_{jk}| \quad (11)$$

式中 $j=1, 2, 3, \dots, m$, n 为区域边缘半径序列的个数, a_1, a_2, a_3 为各项的权系数。

(4) 匹配区域确定后, 就可计算左右图像中匹配区域形心点之间的视差 d_c :

$$d_c = |x_n - x_p| \quad (12)$$

即视差 d_c 为两区域形心的 x 坐标差值。

2.4 障碍物高度计算方法

当障碍物形心的视差得到后, 就可根据视差计算该点相对地面的高度, 计算方法如图2所示。本研究采用的移动机器人平台是美国 IROBOT 公司的 ATRV-2 产品。两摄像机光轴平行安装, 摄像机焦距 f 是 6mm, 基线宽度 B 为 20.5cm, 摄像机光轴与水平面的夹角 α 为 17 度, 摄像机安装高度 H 为 80cm。对于三维场景中的任一物点 P , 当其视差 d_c 得到后, 该点在光轴方向离摄像机光心 O 的距离 OD 由下式计算:

$$OD = \frac{Bf}{d_c} \quad (13)$$

根据物点 P 在图像中的纵向位置和摄像机的靶面尺寸, 可以求得图2所示的物点 P 与光轴的夹角 β , 知道 β 后就可计算光心 O 到 P 的距离 OP , 最后得到物点 P 距水平地面的高度 P_H 为:

$$P_H = H - \frac{Bf \sin(\alpha + \beta)}{d_c \cos(\beta)} \quad (14)$$

根据公式(14)就可计算各障碍物形心离路面的高度, 当高度大于规定的阈值, 则判为真正障碍物, 否则判为路面。

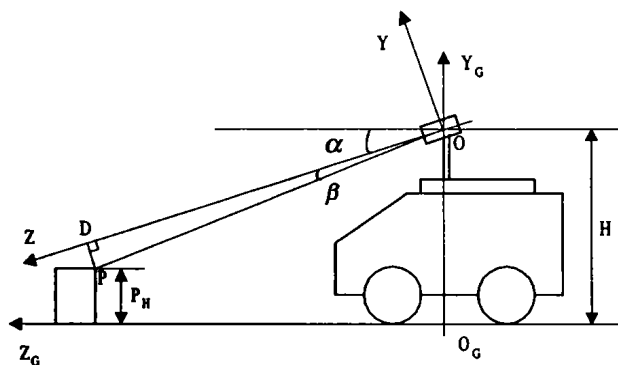


图2 障碍物高度计算示意图

3 实验结果与分析

为验证本文提出的方法的可行性, 首先对基于颜色的障碍物区域分割算法进行了实验。图3是本文颜色分割算法的部分实验结果。图中(a)是道路场景的原始彩色图像, 路面为水泥路面。(b)为颜色分割算法分割的结果, 路面上浅蓝色的瓶子和纸箱, 若通过灰度图像进行分割则较困难, 但通过颜色分割则效果良好。大量颜色分割实验表明: 在图像不饱和的前提

下, 只要路面颜色基本一致, 都能得到较好的分割效果。图4是立体视觉障碍物检测方法的部分实验结果。图中(a)、(b)是左右摄像机采集的道路场景的彩色图像, 路面上有4个物体, 从图像下方数起, 第一个为贴在路面上的红色纸片, 第二个是深红色的圆形塑料垫片, 第三个是黑色录像带, 第四个是纸箱。图(c)、(d)分别是两幅图像颜色分割的结果。图(e)是立体视觉障碍物检测的最终结果, 由图可知, 不构成障碍物的红色纸片和深红色塑料垫片已被剔除。大量实际检测结果表明: 在路面基本一致的情况下, 利用本文提出的障碍物判别方法是可行的。立体视觉障碍物检测程序采用 Visual C++ 编程, 在 P III 500 微机上的执行时间为 300ms, 可见实时性较好。



(a) 道路原始彩色图像 (b) 颜色分割结果

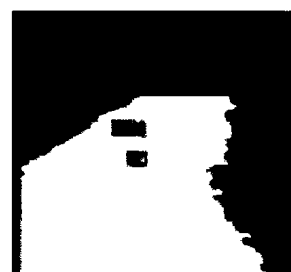
图3 道路颜色分割实验结果



(a) (b)



(c) (d)



(e)

图4 立体视觉障碍物检测结果

结论 本文将障碍物的颜色检测和区域立体视觉匹配方法相结合, 提出了彩色立体视觉障碍物检测的方法。该方法在

基于 Markov 随机场和 Bayesian 理论的脑内磁源重建^{*}

胡 净¹ 胡 洁² 叶 盛³

(电子科技大学生命科学与技术学院 成都610054)¹¹ (浙江大学医学院附属第一医院设备科 杭州310003)²
(浙江大学生物系统工程与食品科学学院 杭州310029)³

Neuromagnetic Source Image Reconstruction Based on Markov Random Field and Bayesian Theory

HU Jing¹ HU Jie² YE Sheng³

(College of Life Science and Technology, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)¹

(Equipment Division, First Affiliated Hospital, Zhejiang University College of Medicine, Hangzhou 310003)²

(College of Biosystem Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029)³

Abstract MEG source image reconstruction, an important and difficult problem in image processing applications, is formulated as ill-posed inverse problem, so regularization is necessary. Here, we adopt stochastic regularization, i. e., based on Markov random field and Bayesian theory. Additionally, the concept of line process is introduced. The experiments show the effectiveness of this method.

Keywords Stochastic regularization, Markov, Bayesian, Reconstruction, Ill-posed

1 引言

基于脑磁图 MEG 的脑磁源成像,又可称电流密度重建或磁源分布图像重建,是一种新的检测神经电流活动特性的图像重构技术。它不是一个普通问题,而是跟诸如计算机视觉、地球物理等这些问题一样,是不定的或至少是病态的,从而推翻了当年 Hadamard 等人的认为不存在实际不定问题的论断。

磁源成像问题发展至今,已经提出了很多方法。如 Wang 等^[1]采用的 MNLSE (Minimum-Norm Least-Squares Estimation)方法, Matsura 等^[2]首先提出 SMN (Selective Minimum Norm)方法, Pascual-Marqui 等^[3]提出 LORETA (Low Resolution Brain-Electromagnetic Tomography), Gorodnitsky 等^[4]主要致力于 FOCUSS (FOCal Underdetermined System Solver)来开展脑磁的研究, Huang^[5]采用 MEM (Maximum Entropy Method)法, Phillips 等^[6], Baillet 等^[7]及 Hasson^[8]均采用了 Bayesian 理论的重建框架。各种方法中,对先验的电流源分布及源空间的权重函数都作了明确的假设,有的采用瞬时数据模型,或采用时空数据模型,或结合其它脑功能成像技术如 EEG、fMRI 等,限于篇幅,这里就不再赘述。

针对脑磁逆问题,必须加以合适的约束条件,使之转化为适定问题。虽然提出了很多磁源图像分布重建算法,但几乎均

可纳入一个共通的结构,即从正则(regularization)理论的观点来加以解释和拓展^[9]。正则化算法最初的提出主要是为了解决在运算过程中的数值不稳定问题,但在其发展过程中,逐步纳入了对脑内神经信号本身的包括测量系统零空间的一些先验知识,而包含有零空间信息的信号重建和恢复是目前从不完全观测数据进行图像重构的一个极其重要的领域。正则体现的是观测数据的置信度和某些先验知识之间的一种折中思想。我们知道,基于 Tikhonov 正则的确定性正则算法可以改善解的稳定性,但是却不能提供有关脑磁研究零空间分量的任何信息。近年来,在 MEG 逆问题研究中,构架在 Bayesian 统计理论框架下的随机性正则算法的磁源成像技术引起了脑磁研究学者的广泛注意。

2 理论与方法

在脑磁逆问题中,面临着诸如由于噪声影响而引起的测量数据的随机性以及关于脑内神经活动信息的不完全性。Hari(1986)和 Hamalainen 等(1988)最早提出把随机正则方法用于图像重建。之后 Clarke(1991)把它引用到 MEG 逆问题中,解决脑内磁源分布图像重建问题。

选择非二次的泛函作为正则函数的主要缺点是求解代价函数的最优化问题没有一个显式解,求解通常需要使用较费事的迭代算法。Bayesian 方法可同时考虑解的先验信息、观测

^{*} 本项目得到浙江省自然科学基金资助(编号:602111)。胡 净 博士,主要从事医学图像处理和不定逆问题研究。

路面颜色基本一致和路面比较平整的道路情况下,可快速、有效地实现障碍物检测。

参 考 文 献

- Williamson T, Thorpe C. A trinocular stereo system for highway obstacle detection. In: Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 1999, 3: 2267~2273
- Okutomi M, Kanade T. A multiple-baseline stereo. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993, 15

(4): 353~363

- Mandelbaum R, Hansen M, et al. Vision for autonomous mobility: image processing on the VFE-200. In: Proc. of IEEE Intl. Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA), Intelligent Systems and Semiotics (ISAS), 1998, 671~676
- Tao Y, et al. Fourier-based separation technique for shape grading of potatoes using machine vision. Transaction of the ASAE, 1995, 38 (3): 949~957