

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2015.06.015

基于RGB-D相机的无人机快速自主避障

杨维^{1,2}, 朱文球¹, 张长隆²

(1. 湖南工业大学 计算机与通信学院, 湖南 株洲 412007;
2. 湖南基石信息技术有限公司 技术研究院, 湖南 长沙 410000)

摘要: 提出一种快速的多旋翼无人机自主避障算法。利用RGB-D相机获取场景对应的深度图, 采用分层策略对深度图像进行描述, 以区分障碍物与非障碍物; 再对场景的深度图像以区域块搜索的方式寻找无人机的避障路径, 进而达到自主避障的效果。为了验证该算法的可行性, 在ROS系统上进行仿真和实验, 结果表明该方法耗时少、精度高、可靠性强。

关键词: 无人机; 避障; RGB-D; 区域块搜索; ROS

中图分类号: TP391.4; V279

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2015)06-0074-06

A Fast Autonomous Obstacle Avoidance Algorithm Based on RGB-D Camera

Yang Wei^{1,2}, Zhu Wenqiu¹, Zhang Changlong²

(1. School of Computer and Communication, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;

2. Research and Development Department, KeyShare Information Technology Co., Ltd., Changsha 410000, China)

Abstract : Proposes a fast autonomous obstacle avoidance algorithm applied in multi rotor UAV. Uses RGB-D camera to obtain RGB images and depth images, and applies hierarchical strategy for the description of depth images in order to distinguish obstacles and non obstacles; Searches for the obstacle avoidance path of UAV with regional searching on the field depth images, and then achieves the effect of autonomous obstacle avoidance. The algorithm is tested on ROS, and the results show that the proposed method is less time-consuming, high accuracy and reliability.

Keywords : UAV; obstacle avoidance; RGB-D; regional searching; ROS

0 引言

随着信息技术的不断进步, 自主导航多旋翼无人机飞行器得到了迅速发展。其中, 飞行器自主导航过程中对障碍物的判断和避障是自主飞行中的一个重要问题, 也是一个难题。为解决上述问题, 国内外学者提出了多种方法, 如W. E. Green等^[1]提出基于运动视差的光流避障方法; L. Muratet等^[2]提出仿生导航系统, 但这种方法的计算量大, 并且难以

检测出正前方的障碍物; C. Bills等^[3]利用单目角度信息进行室内自主导航; K. Celik等^[4]利用单目视觉进行室内的定位与地图构建(simultaneous localization and mapping, SLAM), 此类方法仅适用于室内结构化环境, 不具有普遍性; 文献[5-6]利用障碍物表面相关性大小的变化进行识别与避障, 但也只是适应室内等特定场合, 具有较大的局限性; R. Roberts等^[7]采用2个视觉系统进行导航, 但该方法

收稿日期: 2015-09-10

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(13JJ9017)

作者简介: 杨维(1991-), 男, 湖南岳阳人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为数字图像处理,

E-mail: wei_yang321@163.com

通信作者: 朱文球(1969-), 男, 湖南攸县人, 湖南工业大学教授, 主要从事数字图像处理, 模式识别等方面的研究与教学,

E-mail: wenqiu_zhu@126.com

计算量太大; 乔俊飞等^[8]提出将基于神经网络的 Q 学习方法应用于机器人的自主避障中; 肖雪等^[9]提出基于光流的自主移动机器人避障系统, 但机器人只能在静态场景中对体积较大的障碍物进行避障。

本文提出一种快速的基于区域块搜索的最优避障算法。根据无人机在图像中消失点的所在行, 选取区域块, 接着利用矩形块对区域块进行遍历, 以选择能够使无人机安全通过的无障碍区域。相比对整个图像进行遍历寻找安全通道的方法, 本文区域块搜索算法节约了图像遍历的时间, 并且对选定的区域采用矩形块遍历, 比逐像素遍历算法计算时间更短。

1 深度数据获取

深度图表示图像场景各点与相机的距离, 距离越远, 其对应点的像素值就越小, 反之越大。深度图的获取有 2 类方法: 一种是基于深度传感器, 另一种是基于立体视觉。本文采用基于深度传感器获取深度图, 即通过华硕 Xtion Pro Live 体感摄像头获取。

Xtion Pro Live 是华硕公司开发的体感摄像头 (见图 1), 是 Xtion Pro 的升级版, 采用了视觉与深度传感器原理, 提供了供开发者进行二次开发的开发套件。Xtion Pro Live 在硬件方面, 由 RGB 摄像头、红外发射器、红外接收器以及 2 个麦克风组成。2 个红外设备用来感应场景深度并转化分辨率为 320×240 像素的深度图, RGB 摄像头以 30 帧/s 的速度提供实际场景分辨率为 640×480 像素的彩色图像。



图 1 Xtion Pro Live 体感摄像头

Fig. 1 Xtion Pro Live camera

深度数据提取的伪代码如下:

```
Begin
include <XnCppWrapper.h> /* 添加 openni 库 */
Initialize the DepthGenerator; /* 初始化深度图存储器 */
mapmode.nXRes ← 640;
mapmode.nYRes ← 480;
mapMode.nFPS ← 30; /* 设置图像长宽及图像帧率 */
read data; /* 开始读取图像 */
output(depth_images);
```

end。

Xtion Pro Live 深度测距原理是: 由红外发射器发射单束红外激光, 经光栅产生衍射, 形成激光散斑, 均匀地投射到测量空间, 经测量空间的粗糙物体反射, 形成随机的散斑, 再通过红外摄影机记录空间的每个散斑, 通过晶片计算便得到 3D 深度图像 (见图 2)。



图 2 3D 深度图像

Fig. 2 3D depth image

获取到测量空间的深度图像后, 其不同的灰度值代表不同的深度信息。经 Matlab 软件拟合, 可得到深度图中不同灰度值所对应的实际距离的关系 (见图 3), 即

$$p = h_p \times 0.0248 + 0.2207, \quad (1)$$

式中: p 为灰度值;

h_p 为相应的实际距离。

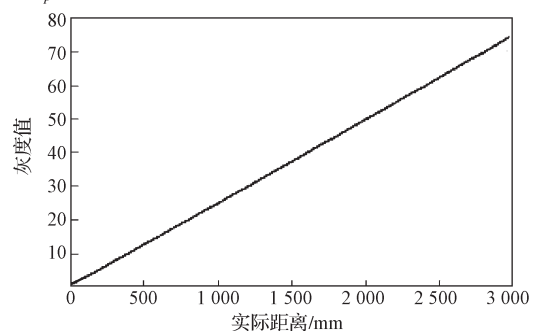


图 3 深度图的灰度值与实际距离的关系图

Fig. 3 Relationship between grey value and actual distance of depth image

2 深度图分层

深度图分层是根据图像场景中各点的灰度值 (距离相机的远近程度) 将场景分为几个层次, 给每一层的像素点赋一个给定的灰度值, 以便区分不同的层次, 为避障策略提供依据。本文采用文献[10]中相机的感知空间分层方法和文献[11]中凸包运算方法, 将整个场景的深度图分成 3 个区间层。在下述的 3 个层次中, 盲区层的像素灰度值为 0, 避障决策层的像素灰度值为 125, 安全层的像素灰度值为 250。

第一层: 盲区层, 即在盲区层内的所有物体, 在

深度图中都呈现为黑色(经测试, Xtion Pro Live 的盲区为 0.5 m), 如无人机处于此层, 须紧急悬停。

第二层: 避障决策层, 当无人机距离障碍物 0.5~2.0 m 时, 须采取避障措施。

第三层: 安全层, 即无人机距离障碍物 2 m 以外, 这一层的物体距离相机较远, 属于安全区域, 无人机可自由飞行。

根据分层策略, 将深度图进行分层的示意图如图 4 所示。

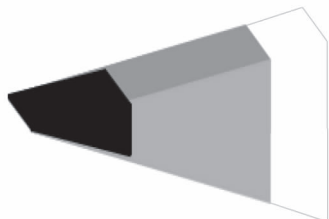


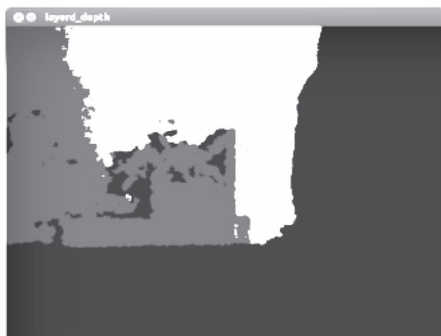
图 4 分层示意图

Fig. 4 Hierarchy schematic diagram

图 5 为某深度图分层前后的对比图。图 5a 是由 Xtion Pro Live 获取的深度图像。图 5b 是经分层之后的图像。



a) 原始深度图



b) 深度分层图

图 5 深度图分层前后对比图

Fig. 5 Comparison of depth image before and after layer

3 基于区域块搜索避障

避障就是当无人机识别到前方存在影响其运动的物体时, 采取一定的方法进行规避^[12]。本规避方

法是: 在图像中相机消失点附近寻找到一个能够使无人机安全通过的区域, 并且此区域距离相机消失点最近。

避障的具体步骤如下。

1) 定义一个尺寸 W (如图 6, 四边形 $ABCD$), 且略大于无人机的实际尺寸。

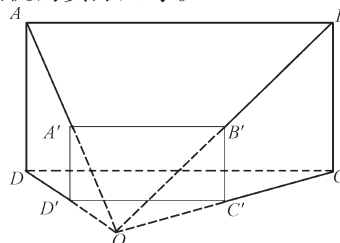


图 6 相机投影视图

Fig. 6 Projection view of camera

2) 规定当无人机距离障碍物 δ 时, 开始采取避障措施。

3) 计算无人机在图像中的尺寸 W' (见图 6, 四边形 $A'B'C'D'$), 再由相似三角形定理 (见图 7) 得到无人机与障碍物的距离, 即

$$\frac{f}{S} = \frac{W'}{W}$$

式中: f 为相机焦距;

S 为无人机与障碍物的距离。

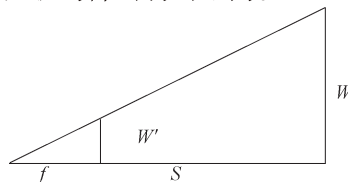


图 7 三角相似原理图

Fig. 7 Principle of similar triangles

4) 当 $S = \delta$ 时, 在图像中寻找能够使无人机安全通过的区域, 即利用区域块搜索方法在图像中寻找一个尺寸为 $W'_{width} * W'_{height}$ (W'_{width} 为无人机的宽度, W'_{height} 为无人机的高度), 且像素值均大于 θ (θ 是距离 δ 对应的像素值) 的像素块。区域块搜索方法如下:

①确定相机在图像中的消失点。

②假定图像的中心为消失点, 以无人机尺寸 W' 的高度 W'_{height} 为宽度, 以深度图的宽度 $depthimg_width$ 为长度, 形成搜索区域块, 即无人机的安全路径搜索范围 (见图 8)。

③利用矩形块对区域块进行遍历。以图像坐标系为基础, 先以 $depthimg_width/2 - W'_{width}/2$ 所在列为起点, 将矩形块 (大小为 $W'_{height} * 1$) 往右遍历区域块, 同理以 $depthimg_width/2 + W'_{width}/2$ 所在列为起点, 将矩形块 (大小为 $W'_{height} * 1$) 往左遍历

区域块; 其次, 统计存在连续 W'_{width} 个且像素值均大于 θ 的矩形块, 记录最后一列矩形块在对应图像坐标系下的位置, 即 x 轴下的坐标值, 从左往右遍历的计为 W_{l-r} , 从右往左遍历的计为 W_{r-l} 。

5) 分别计算 W_{l-r} , W_{r-l} 与图像中心点所在列的差值, 用像素距离 p , q 表示。

6) 比较 p , q 大小。若 $p > q$, 则无人机往右偏; 若 $p < q$, 则往左偏; 若 $p = q$, 则直行。

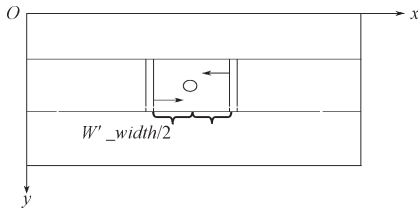


图 8 搜索区域示意图

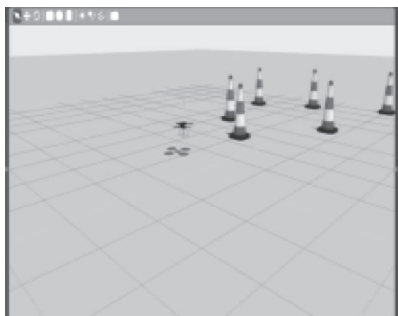
Fig. 8 Searching region diagram

4 实验

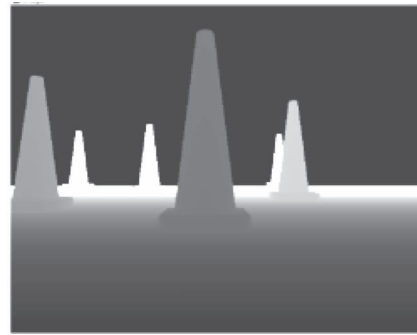
4.1 仿真实验

本文在仿真软件中对本算法的实时性和准确性进行分析。仿真环境: 在 ubuntu12.04 下安装 hydro 版本的 ROS (robot operating system) 系统, Core i5 3.10 GHz 处理器。ROS 是 Willow Garage 公司在 2010 年发布的开源机器人操作系统, 其提供了类似操作系统所提供的功能, 也提供一些工具程序和库来帮助开发者创建机器人的应用程序。它以节点的方式发布、订阅话题, 节点是指执行计算的过程, 话题就是具体的内容信息; 通过调用各个节点从而连接整个机器人的控制系统。

调用 ROS 中 gazebo 以及 hector-quardotor 节点, 模拟无人机的飞行场景, 再在场景中添加障碍物 (见图 9a)。利用华硕 Xtion Pro Live 体感摄像头得到关于场景的 RGB 图像以及对应的深度图 (见图 9b), 由于摄像头通过标定得到的数据与官方提供的内参无太大区别, 故采用原始内参系数。最后, 根据分层以及避障策略, 计算出无人机的避障线路, 其避障过程如图 10 所示。



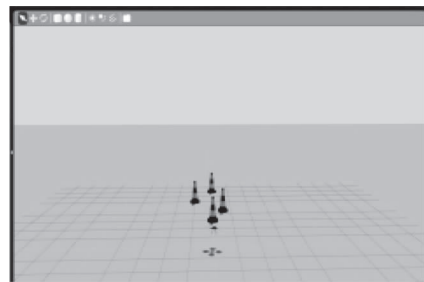
a) 原始场景图



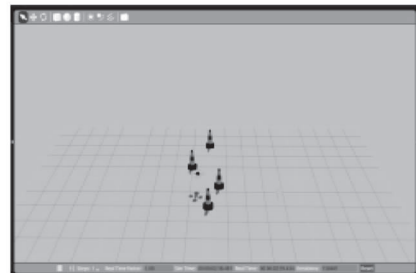
b) 深度图

图 9 飞行场景与深度图

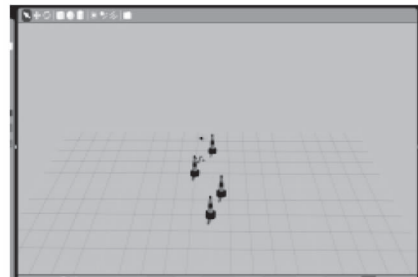
Fig. 9 The original scene and depth image



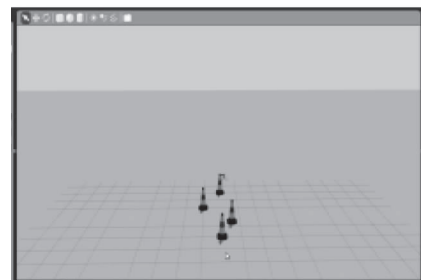
a) 避障初始状态



b) 避障过程



c) 避障过程 2



d) 避障结束状态

图 10 避障过程示意图

Fig. 10 The process of obstacle avoidance

4.2 实验测试

本文在实验场景中对本算法的可行性和有效性进行验证。实验测试环境：ubuntu12.04, QT4.8。硬件支持：Xtion Pro Live 体感摄像头。在Linux环境下，安装完成Xtion Pro Live体感摄像头的驱动及openni库。同时，选取飞机模板大小为 60×40 像素，设置采取避障措施的距离 $\delta=2$ m，参照官方参数设置相机。实际场景见图11a，深度图像见图11b。采用区域块搜索避障策略的深度分层图以及路径偏移图见图11c, 11d。



a) RGB图



b) 深度图



c) 深度分层图



d) 路径偏移图

图11 实验测试图

Fig. 11 Test chart

通过式(2)和式(3)得到偏移距离，

$$\frac{f}{\Delta x} = \frac{\delta}{d_p}, \quad (2)$$

$$d_p = \frac{\delta \Delta x}{f}, \quad (3)$$

式(2)~(3)中： Δx 为像素偏移距离；

d_p 为实际偏移距离。

上述实验中，计算出往右偏移27个像素单位，实际偏移距离为102.8 mm。经多次实验得到的数值如表1所示。

表1 d_p 与测量值误差表Table 1 The error between the measured value and d_p mm

d_p	测量值	误差
120	100	20
180	120	60
330	290	40
400	400	0
600	530	70

由表1可知，由于定义的飞机模板比实际飞机要大些，因此，计算值 d_p 与测量值存在一定的误差，但误差在可接受范围内。另外，在算法的时间复杂度方面，每处理一帧图像的时间大约在3~5 ms，算法的实时性较好。

5 结语

针对无人机自主避障中计算量大的问题，本文提出一种快速的最优避障方法。该方法利用RGB-D相机进行图像采集，对深度图像进行分层处理，以区分障碍物与非障碍物，最后在特定区域内以块搜索形式确定避障的偏移量。实验证明该方法大大节省了图像处理的时间，在精度与可行性方面也满足要求。

参考文献：

- [1] Green W E, Oh P Y. Optic Flow Based Collision Avoidance on a Hybrid MAV[J]. IEEE Robotics & Automation Magazine, 2008, 15(1): 96-103.
- [2] Muratet L, Doncieux S, Meyer J A. A Biomimetic Reactive Navigation System Using the Optical Flow for a Rotary-Wing UAV in Urban Environment[J/OL]. Proceedings of the International Session on Robotics, 2004. [2015-05-10]. ftp://148.205.148.6/pub/alfredo/ROBOTICS/optic-flow/Muratet_ISR2004.pdf.
- [3] Bills C, Chen J, Saxena A. Autonomous MAV Flight in Indoor Environments Using Single Image Perspective Cues

- [C]//2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). [S. l.]: IEEE, 2011: 5776-5783.
- [4] Celik K, Somani A K. Monocular Vision SLAM for Indoor Aerial Vehicles[J]. Journal of Electrical & Computer Engineering, 2013, 2013(4): 1566-1573.
- [5] Lee J O, Lee K H, Park S H, et al. Obstacle Avoidance for Small UAVs Using Monocular Vision[J]. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 2011, 83(6): 397-406.
- [6] Michels J, Saxena A, Ng A Y. High Speed Obstacle Avoidance Using Monocular Vision and Reinforcement Learning[C]//Proceedings of the 22nd International Conference on Machine Learning. [S. l.]: ACM, 2005: 593-600.
- [7] Roberts R, Ta D N, Straub J, et al. Saliency Detection and Model-Based Tracking: A Two Part Vision System for Small Robot Navigation in Forested Environment[C]//SPIE Defense, Security, and Sensing. [S. l.]: International Society for Optics and Photonics, 2012: 83870S-83870S-12.
- [8] 乔俊飞, 侯占军, 阮晓钢. 基于神经网络的强化学习在避障中的应用[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2008 (增刊2): 1747-1750.
Qiao Junfei, Hou Zhanjun, Ruan Xiaogang. Neural Network-Based Reinforcement Learning Applied to Obstacle Avoidance[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2008(S2): 1747-1750.
- [9] 肖 雪, 秦贵和, 陈筠翰. 基于光流的自主移动机器人避障系统[J]. 计算机工程, 2013, 39(10): 305-308.
Xiao Xue, Qin Guihe, Chen Yunhan. Autonomous Mobile Robot Obstacle Avoidance System Based on Optical Flow [J]. Computer Engineering, 2013, 39(10): 305-308.
- [10] Hu Yuanyan, Wang Yingxun. Stereo Vision-Based Fast Obstacles Avoidance Without Obstacles Discrimination for Indoor UAVs[C]//2011 2nd International Conference on Artificial Intelligence, Management Science and Electronic Commerce. [S. l.]: IEEE, 2011: 4332-4337.
- [11] 董培建. 无人直升机障碍物检测与路径规划研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
Dong Peijian. Research of Obstacle Detection and Path Planning for Unmanned Aerial Vehicle[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2009.
- [12] 关震宇, 杨东晓, 李 杰, 等. 基于Dubins路径的无人机避障规划算法[J]. 北京理工大学学报, 2014, 34(6): 570-575.
Guan Zhenyu, Yang Dongxiao, Li Jie, et al. Obstacle Avoidance Planning Algorithm for UAV Based on Dubins Path[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2014, 34(6): 570-575.
- [13] 彭 辉, 王 林, 沈林成. 区域目标搜索中基于改进RRT的UAV实时航迹规划[J]. 国防科技大学学报, 2009, 31(5): 86-91.
Peng Hui, Wang Lin, Shen Lincheng. The Modified RRT-Based Real-Time Route Planning for UAV Area Target Searching[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2009, 31(5): 86-91.

(责任编辑: 邓 彬)