

引用格式:朱平,甄子洋,覃海群,等.基于立体视觉和光流的无人机避障算法研究[J].电光与控制,2017,24(12):31-35. ZHU P, ZHEN Z Y, QIN H Q, et al. Stereo vision and optical flow based obstacle avoidance algorithm for UAVs[J]. Electronics Optics & Control, 2017, 24(12):31-35.

基于立体视觉和光流的无人机避障算法研究

朱平, 甄子洋, 覃海群, 江驹
(南京航空航天大学自动化学院, 南京 210016)

摘要: 无人机在飞行过程中必须能够检测障碍物并且准确躲避。为使无人机在飞行过程中更加安全,提出了一种双目立体视觉和光流相结合的避障方法。双目立体视觉通过边缘索引算法来获取可靠的视差值,并根据视差线汇聚角度得到空间深度信息,进而辨别物体的远近;基于SIFT的光流法能得到障碍物相对于摄像头的每一个时刻的运动速度。为了更快地得到更加准确的位置信息,将立体视觉和光流结合在一起。实验结果表明,该方法能有效提高避障的效率和精度。

关键词: 无人机; 避障; 双目立体视觉; 光流

中图分类号: V249.1 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-637X.2017.12.007

Stereo Vision and Optical Flow Based Obstacle Avoidance Algorithm for UAVs

ZHU Ping, ZHEN Zi-yang, QIN Hai-qun, JIANG Ju

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: UAVs must be able to detect obstacles during flight and avoid the obstacles precisely. In order to make the UAV safer in flight, a method of obstacle avoidance is proposed combining binocular stereoscopic vision with optical flow. The binocular stereoscopic vision is used to obtain reliable parallax value through edge index algorithm, to get the spatial depth information according to the parallax convergence angle, thus to identify the object distance. The SIFT based optical flow method can obtain the movement speed of the obstacle relative to the camera at each moment. In order to obtain more accurate position information more quickly, the stereoscopic vision and optical flow are combined together. The experimental results show that this method can effectively improve the efficiency and precision of obstacle avoidance.

Key words: UAV; obstacle avoidance; binocular stereo vision; optical flow

0 引言

近年来我国无人机产业发展快速,已经成为科技和经济热点。随着该行业研究的不断升温,其在巡航、监视等方面的作用也越来越得到重视。因此,无人机避障算法的研究成为研究无人机的重点^[1-4]。为了获取景物信息,实现避障功能,学术界提出了多种障碍物检测的方法。

立体视觉法是目前应用较成熟的方法之一,在文

献[5]中介绍了其主要原理是利用聚集视差的方法来获取景物的位置信息。但是由于视觉立体匹配算法计算量过大、实时性不强,国内学者狄红卫等人提出了一种平行配置系统的快速立体匹配算法^[6],得到了较好的实验效果,但是对于两个离得太近的物体辨识度不高。

光流法检测运动目标为另一种常用的障碍检测方法。无人机通过摄像头采集到某些特定运动变换对应着某类特定的特征点变换规律,结合光流传感器和图像处理相关技术,得到障碍物的位置、姿态、速度等相关数据^[7]。Thompson将背景光流方向与运动目标的光流方向之间的差异进行比较,以此来获得物体的相关信息^[8]。杨威、国外学者Sasa等针对复杂环境下的检测提出了一种新的方法,但是其适用范围有限^[9-10]。

针对立体视觉和光流的利弊,孟浩等将SIFT算法结合到双目视觉定位中,取得了较好的匹配效果,但是

收稿日期:2017-01-20

修回日期:2017-03-06

基金项目:国家自然科学基金(61673209,61533008);航空科学基金(2016ZA52009);中央高校基本科研业务费专项资金(NJ20160026);大学生创新训练计划项目基金

作者简介:朱平(1994—),女,江苏南京人,硕士生,研究方向为控制工程。

对于物体的速度信息无法确定,不能达到避障的效果^[11-12]。因此,本文结合光流与双目立体视觉算法,能够准确地判断物体的景深,并能得到距离镜头最近物体的运动速度,然后做出相应的避障动作,在避障中取得很好的效果并且提高了运算速度。

1 问题描述

立体视觉可以根据几何光学的投影,利用视差原理来感知物体深度信息,但是,立体视觉对于两个离得太近的物体辨识度不高。而光流能够在场景中给出各时刻的运动速度,对于辨识物体的远近没有明显的功用。因此,结合两种方法的优势,既可弥补各自存在的不足,又能在避障中取得很好的效果。对此,本文给出算法流程,如图1所示。

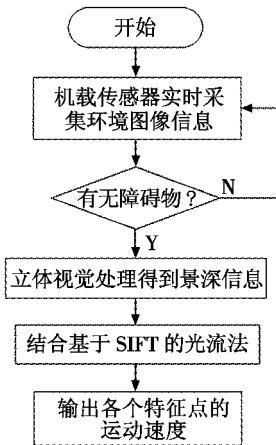


图1 无人机避障算法流程图

Fig.1 Flow chart of UAV obstacle avoidance algorithm

由图1可知,避障算法的主要步骤有以下两步。

1) 立体视觉处理得到深度信息。本文对多旋翼无人机上的图像传感器实时采集的图像信息进行计算之后得到视差值,再经过进一步的处理得到障碍物景深信息,初步检测障碍物的位置。

2) 结合光流法得到特征点运动速度。光流法在立体视觉处理的基础上,计算每个特征点的光流链,进而输出每个特征点的运动速度。

无人机在接收速度信息后即可做出相应的避障动作。下面对以上步骤进行详细的描述。

2 基于双目立体视觉的近物目标识别

近年来双目立体视觉的应用越来越普遍。本文摄取的两幅照片由两架摄像机在两个不同的位置拍摄,照片上面的特征点会有对应,通过测量各个点之间的差值,再通过一定的计算来获取物体的具体位置信息。

2.1 双目立体视觉原理

人眼在观察一个目标物时,会在视网膜上形成

图像,并且两眼的图像之间存在一定的位置差,这就是视差。

双目立体视觉的原理如图2所示。

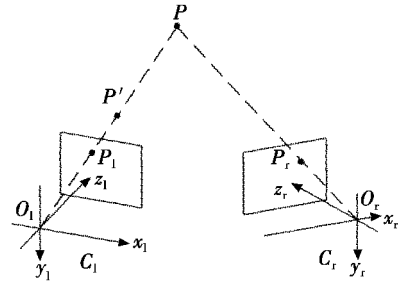


图2 平视双目立体视觉原理

Fig.2 Binocular stereo vision model

图中分别用 C_1 和 C_r 表示两架有一定角度差的摄像机,它们之间相距 b ,并且设定镜头的光心为 P 点,即为摄像机坐标系的原点所在位置。 O_1 和 O_r 为左右图像的原点。如果空间中有某一点 P ,其坐标为 (P_1, P_r) 。两架摄像机所得的图像在同一个平面上,那么点 P 的 Y 坐标就一样,即 $v_1 = v_2$ 。由此可以得到

$$\begin{cases} u_1 = f \frac{x^c}{z^c} \\ u_2 = f \frac{(x^c - b)}{z^c} v_1 \\ v_1 = v_2 = f \frac{y^c}{z^c} \end{cases} \quad (1)$$

式中: (x^c, y^c, z^c) 是 P 在左摄像机坐标系中的坐标; f 表示两架摄像机之间的焦距; (u_1, v_1) 和 (u_2, v_2) 分别为 P 在左边和右边图像中的坐标。根据视差定义, P 点在两幅图像中相应点的位置差为

$$d = (u_1 - u_2) = \frac{f \times b}{z^c} \quad (2)$$

将式(2)代入式(1)可得 P 的坐标为

$$\begin{cases} x^c = \frac{b \times u_1}{d} \\ y^c = \frac{b \times v}{d} \\ z^c = \frac{b \times f}{d} \end{cases} \quad (3)$$

由此可知,要确定一个点的具体位置坐标,只需确定在空间中的这个点在两架摄像机成像图像上的对应点。

2.2 基于双目视觉景深的障碍物检测

基于双目视觉的障碍物探测,因为检测过程中的目标和所使用的成像设备之间的联系是未知的,所以首先要进行的是对成像设备的参数设定。在获得其各个参数之后有利于将空间和平面中的点建立相互的联系。之后,需要找到同一场景点在左右两幅图像中的像点,并把它们正确地匹配起来,才能结合摄像机标定

参数计算出特征点的三维信息,进而得到目标的位姿信息。获得精确的匹配点之后,需要进行的是对图像的深度分割,然后对图像进行深度去噪,在深度连续的情况下做高斯滤波。根据情况,计算图像与障碍物的实际距离。最后进行深度分割,以便进行障碍物检测。

本文以多旋翼无人机为载体,通过机载图像传感器实时采集环境的图像,进行处理后识别出障碍物,得到二维几何信息。之后将深度信息与二维几何信息进行融合得到关于障碍物图像的景深信息。无人机可以根据障碍物的景深特征进行实时姿态和路线的变化以实现快速避障的目的。

景深,是指能够在摄像头前成像的并且能够看清的距离范围,模型如图 3 所示。

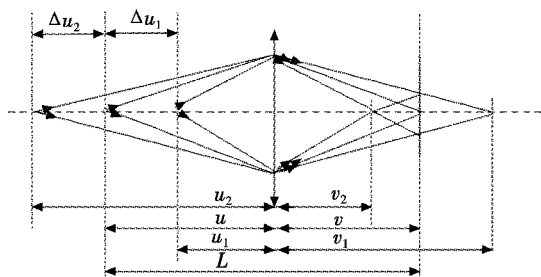


图 3 景深模型图

Fig. 3 Depth model

由物理光学高斯公式可知物距为

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} \quad (4)$$

式中: Δu 为景深; f 为焦距; u 为物距; v 为像距,计算得到

$$v = \frac{fu}{u-f} \quad (5)$$

由相似三角形关系可得

$$\frac{v_1 - v}{\delta} = \frac{v_1}{f/F} \quad (6)$$

式中: δ 为单位像素边长; F 为光圈值; v_1 为近点像距。前景深算式为

$$\Delta u_1 = u - u_1 = \frac{F\delta u(u-f)}{f^2 + F\delta(u-f)} \quad (7)$$

式中,近点物距为 u_1 。后景深公式为

$$\Delta u_2 = u - u_2 = \frac{F\delta u(u-f)}{f^2 - F\delta(u-f)} \quad (8)$$

式中,镜头的景深由允许的弥散圆直径、有效焦距、物距、光圈大小等决定。

由以上分析可知,通过双目立体视觉对图像的处理可以得到障碍物的景深信息,从而使无人机实现避障的功能。

3 基于 SIFT 算法的光流避障

但是双目立体视觉只能识别出障碍物的深度信

息,得到目标物体的远近,对于两个离得很近的物体并不能很好地辨别。为了更快地得到障碍物更加准确的位置信息,可以加入光流法对图像进行处理,得到物体的速度以更好地达到避障的效果。下面介绍光流法避障。

3.1 SIFT 特征点提取

Lowe 于 1999 年首次提出了 SIFT 算法^[13-14]。该算法在对物体的检测中应用非常普遍:一方面,它在图像二维平面空间中检测极值点,保证了图像尺寸的缩放及分辨率变化对特征点的提取不产生影响;另一方面,它对于图像的旋转、平移、视角等图像上的变化具有良好的适应性和抗噪性^[15]。在不同场景中进行了实验,结论显示,SIFT 特征提取算法是最优的^[16-18]。其主要有以下几个步骤:1) 构建尺度空间;2) 在 1) 的基础上进行极值的检测;3) 对特征点进行具体的定位;4) 在特征方向上进行赋值;5) 对特征点进行描述。

在用 SIFT 算法进行特征点提取之后,找到障碍物的下一步是进行运动估计匹配。本文使用求和绝对误差(Sum of Absolute Difference, SAD),算式为

$$SAD(m, n) =$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |f(x_i, y_j, t_k) - f(x_i + m, y_j + n, t_{k+1})| \quad (9)$$

式中: (m, n) 是位移矢量; $f(x_i, y_j, t_k)$ 是图像当前帧的灰度值; $f(x_i + m, y_j + n, t_{k+1})$ 是下一帧的灰度值; $M \times N$ 是搜索窗口的大小。如果某一个位移矢量的取值使 $SAD(m, n)$ 达到最小,则 $f(x_i + m, y_j + n, t_{k+1})$ 就是要找的最优匹配点。

3.2 基于 SIFT 的光流避障

上文介绍了如何获取特征点。对于空间中的一个目标物,利用光流算法,可以得到它的特征点在平面上的运动速度。由于物体是一个完整的个体,显然,对于同一个目标,它的特征点的光流基本上是相同的,也就是说它的速度大小和方向基本上是一样的。基于这种特性,可以对光流链聚类来分辨不同的运动物体。衡量 2 个光流矢量相似度的测度函数为

$$D(u_1, v_1; u_2, v_2) = \frac{\sqrt{(u_1 - u_2)^2 + (v_1 - v_2)^2}}{0.5\sqrt{u_1^2 + v_1^2 + \sqrt{u_2^2 + v_2^2} + \eta}} \quad (10)$$

式中: η 代表误差的阶; (u_1, v_1) 和 (u_2, v_2) 为 2 个光流矢量。特征点光流链的聚类之后,粗聚类得到各个不同的类,但是在实际中还必须通过判断该点是否在离类中心一定的距离范围之内来决定是否删除一些坏点。通过光流的聚类,得到特征点相似的光流值,因而在输出最终的速度值时能得到大致相同的方向,从而很好地实现避障。

4 基于立体视觉和光流的无人机避障

由上文分析可知,立体视觉利用视差原理来感知物体深度信息,但是对于两个离得太近的物体辨识度并不高;而光流虽对于辨识物体的远近没有明显的功用,但能够在场景中给出物体各时刻的运动速度。因此,下文将提出将立体视觉和光流融合的方法。

对基于立体视觉的真空摄像头拍摄的照片,在经过标定之后获取摄像机内外参数的情况下,对图像序列在实验室环境下进行处理分析。双目立体视觉处理所得到的是视差图。在基于 SIFT 的光流法中,给出图像的光流场,检测场景中是否有运动变化。将两者结合,将有效地得到障碍物的位置信息和判断无人机的运动方向。

在立体视觉获取可靠的视差值之后,需要得到高质量的立体匹配值。匹配标准是以种子点为中心的相邻像素的相关性,算式为

$$C_{\text{opt}} = \frac{\sum_{i=1}^N [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad (11)$$

式中: x_1, x_2, \dots, x_N 和 y_1, y_2, \dots, y_N 分别是两匹配窗口各点的灰度值; \bar{x}, \bar{y} 分别为其灰度平均值; N 为匹配窗口大小。利用这种方法可以消除由摄像机、背景光等带来的影响,另外,这种方法也提高了匹配速度。

立体视觉对于两相距太近的物体,即使速度有很大的差别,也可能被视为一个融合的对象。基于众多光流技术的比较,本系统利用基于 SIFT 的光流法,加强对实时图像序列测量的精度。假设运动物体的灰度值在一个宽泛的场景中不随时间变化,利用每个特征点的滤波模型预测其运动方向与速度,即可得到每个特征点的光流链,然后根据相邻图像提取、匹配、预测的特征点和光流场。

基于以上立体视觉和光流法的计算之后,在物体运动过程中输出运动物体各特征点的运动速度,进而可以进行避障操作。

5 实验仿真

本文以多旋翼无人机为载体,通过机载图像传感器实时采集环境的图像信息。机架是多旋翼飞行器主体,尺寸与材料强度决定了旋翼无人机在空中的稳定性和载重能力。本文选用 650 mm 轴距机架,机架臂和脚架均采用 16 mm × 2 mm 尺寸的碳纤维管,中心板由 2 块采用 2 mm 厚度的碳纤维板组成。

实验选取室内场景图做立体视觉仿真分析,如图

4 所示。



图 4 立体视觉判断物体深度信息图

Fig. 4 Stereo vision for judging object depth information

选取有运动目标的场景进行光流分析,如图 5 所示。



图 5 基于 SIFT 特征点的光流算法

Fig. 5 Optical flow algorithm based on SIFT feature points

用立体视觉与光流法相结合的方法对遇到障碍物时的图像进行处理,如图 6 所示。



图 6 立体视觉和光流相结合的避障实例

Fig. 6 Stereoscopic vision and optical flow

由以上的实验可以做出如下的结果分析:

1) 图 4 中立体视觉根据几何光学的投影,利用视差原理来感知物体深度信息,即判断出物体离摄像头的距离,离镜头越近的物体其颜色显示越浅;

2) 图 5 中光流对于辨识物体的远近没有明显的功用,但是,光流能够在场景中给出物体各时刻的运动速度,进而为避障行为节省更多的时间,提升运算速度,图 5 为基于 SIFT 特征点的光流算法,图中显示了各个运动目标的速度信息;

3) 图 6 中结合两种方法的优势,既可弥补各自存在的不足,又能在避障中取得很好的效果。在图中,不仅判断出来离摄像头最近的物体是树,并且得到了其相对于摄像头的运动信息,以此为无人机的避障动作提供重要数据支持。

6 结束语

无人机在飞行的过程中必须能够检测障碍物并且

准确地躲避。本文结合立体视觉和光流这两种方法的优势,准确地判断物体的景深,并能得到距离镜头最近的物体的运动速度,然后做出相应的避障动作。实验结果表明这套系统避障效果良好:一方面,既可弥补两种方法各自存在的不足,又能在避障中取得很好的效果;另一方面,立体视觉和光流的互补结合,在一定程度上提升了运算速度。因此,这套系统的应用价值也是显而易见的。

参考文献

- [1] 卫立现,马剑峰,艾变开. 从专利角度看中国无人机领域竞争态势[J]. 中国发明与专利,2016(2):36-40.
- [2] 孙杰,林宗坚,崔红霞. 无人机低空遥感监测系统[J]. 遥感信息,2003(1):49-50.
- [3] 金伟,葛宏立,杜华强,等. 无人机遥感发展与应用概况[J]. 遥感信息,2009(1):88-92.
- [4] ELTNER A, SCHNEIDER D. Analysis of different methods for 3D reconstruction of natural surfaces from parallel-axes UAV images[J]. The Photogrammetric Record, 2015, 30(151):279-299.
- [5] 游素亚,徐光祐. 立体视觉研究的现状与进展[J]. 中国图象图形学报,1997,2(1):17-24.
- [6] 狄红卫,柴颖,李逵. 一种快速双目视觉立体匹配算法[J]. 光学学报,2009,29(8):2180-2184.
- [7] NEGAHDARIPOUR S. Revised definition of optical flow: integration of radiometric and geometric cues for dynamic scene analysis[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 1998, 20(9):961-979.
- [8] THOMPSON W B, PONG T C. Detecting moving object [J]. International Journal of Computer Vision, 1990, 4(1):39-57.
- [9] 杨威,张田文. 复杂景物环境下运动目标检测的新方法[J]. 计算机研究与发展,1998(8):724-728.
- [10] SASA G, LONCARIC S. Spatio-temporal image segmentation using optical flow and clustering algorithm[C]// First International Workshop on Image and Signal Processing and Analysis, Pula, Croatia, 2000:63-68.
- [11] 王民,刘伟光. 基于改进 SIFT 特征的双目图像匹配算法[J]. 计算机工程与应用,2013,49(2):203-206.
- [12] 孟浩,程康. 基于 SIFT 特征点的双目视觉定位[J]. 哈尔滨工程大学学报,2009,30(6):649-652.
- [13] LOWE D G. Object recognition from local scale-invariant features[C]//IEEE, International Conference on Computer Vision, 1999:1150-1157.
- [14] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2):91-110.
- [15] 何建伟,杨建峰,薛彬,等. 基于系统论匹配准则的尺度不变特征变换的图像自动拼接研究[J]. 光学学报,2010,4(4):989-993.
- [16] 吴垠,李良福,肖樟树,等. 基于尺度不变特征的光流法目标跟踪技术研究[J]. 计算机工程与应用,2013,49(15):157-161.
- [17] HORN B K P, SCHUNCK B G. Determining optical flow [J]. Artificial Intelligence, 1981, 17(1/2/3):185-203.
- [18] SUN D, ROTH S, BLACK M J. Secrets of optical flow estimation and their principles[C]//IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2010:2432-2439.
- (上接第10页)
- [8] 叶庆,孙晓泉,邵立. 红外预警卫星最佳探测波段分析[J]. 红外与激光工程,2010,39(3):389-393.
- [9] 余桂东. 图的 Hamilton 性和连通性的谱刻画[D]. 合肥:安徽大学,2012.
- [10] 任培. 战术数据链传输时延及其作战效果影响分析方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2009.
- [11] 孙卫红,何德全. 从定性到定量的信息安全模糊综合评估[J]. 系统工程理论与实践,2006(12):93-98.
- [12] NG C Y. An evidential reasoning-based AHP approach for the selection of environmentally-friendly designs[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2016, 61:1-7.
- [13] 韩峰,杨万海,袁晓光. 基于模糊集合的证据理论信息融合方法[J]. 控制与决策,2010(3):449-452.
- [14] 周须峰,唐硕. 天基对地打击武器作战能力分析[J]. 飞行力学,2008,26(4):55-58.
- [15] 郭锡监,高桂清. PAC-3 反导系统作战效能研究[J]. 现代防御技术,2007,35(2):19-22.
- [16] 刘明辉,杨峰,王磊,等. 基于 SVR 的反舰导弹作战效能探索性评估方法[J]. 计算机仿真,2009,26(8):9-12,44.
- [17] 浦甲伦,崔乃刚,郭继峰. 天基红外预警卫星系统及其探测能力分析[J]. 现代防御技术,2008,36(4):68-72.