

微型实时多目立体视觉机设计与实现

贾云得 徐一华 刘万春 杨 聪 朱玉文

(北京理工大学计算机科学与工程系 北京 100081)

摘 要：本文给出一种实时计算场景稠密深度图的多目立体视觉机设计与实现方法.立体视觉机使用多个微型摄像机同步获取场景图像,采用图像修正、LoG滤波、多立体图像对匹配和稠密深度图等并行算法,利用FPGA的大规模并行处理能力和各算法间的多级流水线关系,在一片FPGA芯片上实现了立体视觉信息的实时处理.设计的立体视觉机体积小,运行速度快.当图像分辨率为 320×240 像素,深度搜索范围为64级,深度图精度为8位,时钟频率为60MHz时,恢复稠密深度图的速度大于30帧/秒.

关键词：立体视觉;稠密深度图;FPGA;实时计算;微型系统
中图分类号：TP391 **文献标识码：**A **文章编号：**0372-2112(2003)09-1334-03

A Miniature Real-Time Stereo Vision Machine with Multiple Cameras

JIA Yun-de ,XU Yi-hua ,LIU Wan-chun ,YANG Cong ,ZHU Yu-wen

(Dept. of Computer Science and Engineering ,Beijing Institute of Technology ,Beijing 100081 ,China)

Abstract : A miniature stereo vision machine to generate high-resolution dense depth maps has been developed for application to portable intelligent robots and smart visual interface. The machine uses multiple cameras ,each with a very wide field of view ,to synchronously capture stereo image sequences and then computes dense depth maps in real time. The whole algorithm ,including radial distortion correction ,LoG filtering ,correspondence finding ,and dense depth map computation ,is compactly implemented in a single FPGA. The machine ,running at 60Mhz ,could achieve more than 30 fps for building dense disparity maps with 320×240 pixels in 64-pixel disparity search range and 8-bit depth precision.

Key words : stereo vision ;dense depth map ;FPGA ;real-time computing ;miniature system

1 引言

立体视觉(stereo vision)技术已经在移动机器人、人机交互、视频监控、三维测量和物体建模等领域得到了广泛的应用.立体视觉系统一般由多个同步摄像机和通用计算机或通用硬件构成^[1~4].由通用计算机实现的立体视觉系统不仅体积大,计算速度慢,而且几乎占用计算机的全部资源;由通用硬件(DSP或FPGA)实现的立体视觉系统计算速度可以达到视频速度,但这些系统是在通用计算机总线控制下运行的,尽管占用很少的计算机资源,但体积仍然很大,系统复杂,接口不友好.本文给出一种立体视觉机的设计和实现方法.立体视觉机由多片成像芯片构成的立体视觉成像头、一片FPGA和多片共享数据存储器的主处理板、具有并行数据和高速串行数据传输接口的用户开发板等组成,系统主处理板主要完成图像修正、LoG滤波、多立体图像对匹配等并行计算,并利用FPGA内部的大规模细粒度并行处理能力,以及各算法模块间的多级流水线关系,实现了立体视觉信息的高度并行与实时处理.立体视觉机体积小,接口友好,能以视频速度高正确率高精度恢复场景稠密深度图,非常适用于各类微小型智能机器人和人机交互系统的立体视觉感知.

2 立体视觉算法

假设有 $K(K \geq 3)$ 个摄像机,其中一个摄像机为基摄像机,对应的图像和像素称为基图像和像素.和许多立体视觉

机^[3,4]一样,本文也采用绝对差之和的和(sum of SAD,SSAD)的多基线立体视觉匹配方法;为了提高大视场变形图像的匹配精度,还采用了图像变形修正方法,并建立了上述方法的并行优化算法和多级流水线计算软件结构.

2.1 几何变形修正

采用大视场镜头可以高效率地获取场景信息,但同时也引进了严重的图像变形^[5,6].图像变形一般分为径向变形和切向变形,其中径向变形是引起图像变形最主要的因素^[5].本系统只考虑径向变形,变形修正模型为

$$\begin{aligned} u' &= u + (u - u_0) \alpha (k_1 r^2 + k_2 r^4) \\ v' &= v + (v - v_0) \beta (k_1 r^2 + k_2 r^4) \\ r &= \sqrt{\alpha^2 (u - u_0)^2 + \beta^2 (v - v_0)^2} \end{aligned} \tag{1}$$

其中, u',v' 为校正后图像坐标, u,v 为实际获取图像的坐标, u_0,v_0 为光心位置, α,β 为镜头内部参数中的像素尺度系数, k_1,k_2 为径向变形系数.

2.2 LoG滤波

使用二维拉普拉斯高斯(LoG)滤波对图像进行预处理,可以减弱图像噪声,增强图像纹理特征,消除立体对之间亮度差异对匹配的影响.为了便于用硬件并行计算,将LoG分解为二维高斯滤波和拉普拉斯运算,并将二维高斯滤波分解为垂直和水平方向上的两次一维滤波. LoG输出结果的大部分值集中在0值附近的很小范围内,因此,可以通过非线性直方图变

换, 将 LoG 滤波结果由 10 位缩减为 4 位, 如图 1 所示. 该变换不但减少数据量, 减少硬件资源, 也增大了图像对比度, 提高了算法对弱纹理区域的深度恢复能力.



图 1 非线性直方图变换

2.3 对应点求解

为实现立体对之间的 SAD 匹配, 需要在任一候选深度下, 计算基图像中的任一像素在其他图像中的对应点位置. 该过程所需运算量很大, 而且涉及到矩阵运算和乘除法运算, 用 DSP 实现很费时, 用 FPGA 实现则占用很多逻辑资源. 我们建立了一种对应性求解简易算法, 该算法可以直接精确求解对应点, 计算速度快, 占用的 FPGA 逻辑资源也很少.

令绝对坐标系与基摄像机坐标系重合, 空间中一点 $P(x, y, z)$ (绝对坐标系) 在基摄像机成像平面中的投影 $p(c', r')$ (图像坐标系) 满足

$$z \cdot \begin{bmatrix} c' \\ r' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f' & & 0 \\ & a'f' & \\ & & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \tag{2}$$

f', a' 是基摄像机的内部参数. $p(x, y, z)$ 在其他摄像机坐标系中的坐标表示为 $P(x_c, y_c, z_c)$, 其在对应成像平面中的投影 $p(c, r)$ 满足

$$z_c \begin{bmatrix} c \\ r \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} fr_{11} & fr_{12} & fr_{13} & ft_1 \\ afr_{21} & afr_{22} & afr_{23} & aft_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \tag{3}$$

其中 f, a, r_{ij}, t_k 分别表示该摄像机的内部和外部参数.

将式 (2) 代入式 (3) 得到

$$\frac{z_c}{z} \begin{bmatrix} c \\ r \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{fr_{11}}{f'} & \frac{fr_{12}}{a'f'} & fr_{13} + \frac{ft_1}{z} \\ \frac{afr_{21}}{f'} & \frac{afr_{22}}{a'f'} & afr_{23} + \frac{aft_2}{z} \\ \frac{r_{31}}{f'} & \frac{r_{32}}{a'f'} & r_{33} + \frac{t_3}{z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c' \\ r' \\ 1 \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} c' \\ r' \\ 1 \end{bmatrix} \tag{4}$$

由此得到 $p(c', r')$ 和对应点 $p(c, r)$ 之间的关系式:

$$c = \frac{h_{11}c' + h_{12}r' + h_{13}}{h_{31}c' + h_{32}r' + h_{33}}; \quad r = \frac{h_{21}c' + h_{22}r' + h_{23}}{h_{31}c' + h_{32}r' + h_{33}} \tag{5}$$

式 (5) 中的 h_{ij} 由式 (4) 展开得到. 式 (5) 共有 6 个加法、6 个乘法和 2 个除法. 直接完成这些计算将占用大量的 FPGA 计算资源. 实际上, 对一幅图像进行 SAD 计算时, c' 和 r' 值顺序增大. 因此 6 个乘法器可以用 6 个累加器代替; 另外, 当各个摄像机成像平面与基摄像机成像平面基本平行时 (大多数立体视觉系统都属于这种情况), 式 (5) 中的分母 $h_{31}c' + h_{32}r' + h_{33} = z_c/z$ 约等于 1, 且变化范围较小. 建立查找表, 保存其变化范围内所需精度下所有数的倒数, 可将式 (5) 中的 2 个除法转化为 2 个乘法. 这样整个对应位置求解过程只需要 2 个

乘法和 12 个加法就可以实现.

2.4 SSAD 二维迭代计算

SSAD 计算主要用来完成某一窗口内 SAD 值的累加. 直接计算不仅速度慢, 而且大量的中间结果将占用大量的硬件存储资源. 另外, 后续深度计算模块要求连续搜索同一基像素在不同候选深度下的 SSAD 值, 因此 SSAD 计算也应该按照该顺序进行, 以消除由于计算顺序不一致引起的数据传输瓶颈. 我们建立了 SSAD 二维迭代算法, 该迭代方法不仅能保证 SSAD 运算能按照需要的运算顺序执行, 并最大限度地减少对存储资源的占用, 简化了系统实现. 图 2 所示的是 SSAD 二维迭代算法. $A_i (i = 1 \sim 4)$ 为 SAD 值, $S_j (j = 1 \sim 4)$ 表示以该位置为中心的 SSAD 值 (计算窗口为 7×7 像素). S_4 值可以通过如下的二维迭代方式求得:

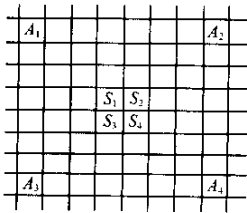


图 2 SSAD 二维迭代计算

$$S_4 = S_2 + S_3 - S_1 + A_1 - A_2 - A_3 + A_4 \tag{6}$$

3 系统实现

为了实现微型化, 立体视觉机采用多片成像芯片构成立体视觉头, 使用一片 FPGA 作为主处理器, 实现图像预处理和深度信息的实时计算. 根据算法中各步骤对外部 RAM 的使用情况, 将图像预处理和深度恢复计算划分为若干个子模块, 包括一个管理子模块, 用于协调各子模块之间工作. 图 3 为系统的整体结构框图, 其中括号内表示存储的内容, 用于存储 LoG 图像的静态存储器 SRAM 有 $K-1$ 个 (K 是摄像机数目).

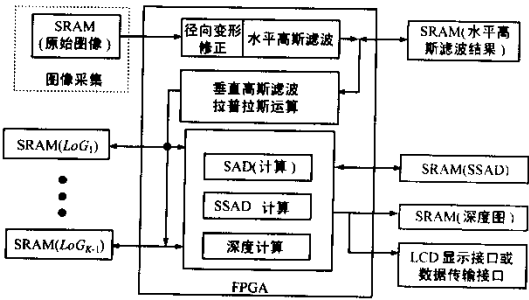


图 3 系统结构框图

图像预处理分为 6 个算法子模块: 图像修正、水平高斯滤波、垂直高斯滤波、拉普拉斯运算、数据压缩以及数据装配子模块. 图像修正子模块的输出直接作为水平高斯滤波的输入. 水平高斯滤波输出 8 位精度数据, 垂直高斯滤波则输出 10 位精度数据. 由于存在对缓存的互斥访问, 水平与垂直滤波不能同时运行, 因此两者可共用一套乘加法逻辑来实现. 高斯滤波输出的数据流直接传给拉普拉斯运算子模块, 再输出给数据压缩子模块. 数据压缩子模块利用查找表实现非线性直方图变换功能, 将 10 位的 LoG 滤波数据转化为 4 位数据. 该查找表保存在 FPGA 的内部 RAM 中.

稠密深度图恢复包括 SAD 计算、SSAD 计算和深度计算三个算法子模块. 对基图像中的一个像素在某一候选深度下并行计算 SAD 的过程如下. 计算它在所有其他图像中对应像素

的位置,插值计算到子像素级精度,计算 AD 值,再求和得到 SAD 值,SSAD 计算采用二维迭代公式(6),其中求和窗口为 9×9 . 利用立体图像对之间的相似性度量函数(SSAD)曲线,通过抛物线插值,可以计算子像素级精度的深度值.

4 实验与讨论

实现的实时立体视觉机,可以配备三目成像头(见图4)和五目成像头. 摄像机镜头视场角可以达到 140 度,图像分辨率为 320×240 像素,深度搜索范围等分为 64 级. 系统中的六个执行模块(见图3)顺序执行:采集图像、图像修正及水平滤波、垂直滤波、立体匹配和深度图输出等模块. 由于各模块按流水线方式并行计算,因此系统运行周期为相邻模块所用时间之和的最大值. 当图像分辨率为像素,深度搜索范围 64 级,深度图像精度 8 位,系统时钟频率 60MHz 时,系统相邻模块所用时间之和的最大值是垂直滤波模块与立体匹配模块所用时间总和,约为 31 毫秒,因此,稠密深度图恢复速度大于 30 帧/秒. 使用超广角镜头三目立体视觉机恢复场景稠密深度图时,在 1.5 米处,深度测量误差小于 2 毫米,可以满足机器人视觉导航、视频监控、人机交互等应用的要求. 使用常规镜头五目立体视觉机时,在 1.5 米处,深度测量误差小于 0.8 毫米,可以满足各类视觉测量和建模系统的要求. 图 5 是使用五目常规镜头恢复人脸深度图结果,为了恢复更多的人脸深度数据,可以使用条纹光源照射物体^[7],以增加目标的纹理. 使用超广角镜头立体视觉系统可以高效率恢复大场景的深度图,用于场景目标分割与跟踪、障碍物检测、场景建模等. 图 6 是三目超广角镜头(视场角约为 140 度)立体视觉机恢复场景深度图的结果. 深度图用亮度图表示,像素越亮,表示距离越近.



图 4 微型实时立体视觉机

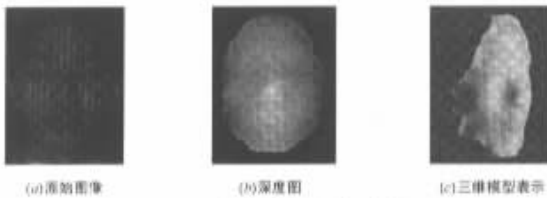


图 5 人脸三维数据获取实验结果

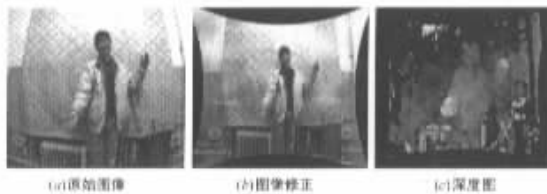


图 6 大视场变形图像深度图恢复

5 结束语

本文给出了微型实时立体视觉机的设计和实现方法. 微型化设计、超广角信息获取和实时计算是本系统的主要特征,这些特征有利于立体视觉机用于自主机器人特别是微小型自主机器人高效率视觉感知、导航、定位和目标识别. 该系统还可以设计成便携式三维摄像机,用于目标建模、目标跟踪、基于图像的绘制以及各种虚拟环境设计场合. 我们实验室正在进行这些方面的应用研究. 本系统采用开放式设计,可以配备不同数量的摄像机,以满足不同的应用任务. 该立体视觉机也可以通过用户接口板与用户系统的控制器进行通讯,可以通过 IEEE1394 传输接口与计算机进行高速通信和数据传输,以满足各种不用应用的需求和将来性能扩充的需求.

参考文献:

- [1] D Murry, C Jennings. Stereo vision based mapping and navigation for mobile robot[A]. Proc IEEE Conf on Robotics and Automation[C]. USA, May, 1997.
- [2] L Stefano, M Marchionni, S Mattoccia, G Neri. A fast area-stereo matching algorithm[A]. Proc of the 15th Int Conf on Vision and Interface[C]. Canada, 2002, 146 - 153.
- [3] T Kanade, A Yoshida, K Oda, H Kano, M Tanaka. A stereo machine for video-rate dense depth mapping and its new applications[A]. Proc of IEEE Int Conf on Computer Vision and Pattern Recognition[C]. June, 1996, 196 - 202.
- [4] Shigeru Kimura, Tetsuya Shinbo, H Yamaguchi, E Kawamura, K Nakano. A convolver-based real-time stereo machine (SAZAN)[A]. Proc of IEEE Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition[C]. June, 1999, 457 - 463.
- [5] J Weng, P Cohen, M Herniou. Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(10): 965 - 980.
- [6] 贾云得, 吕宏静, 徐岸, 刘万春. 鱼眼镜头成像立体视觉系统的高精度标定[J]. 计算机学报, 2000, 23(11): 1215 - 1219.
- [7] 贾云得, 吕宏静, 刘万春. 鱼眼变形立体图像恢复稠密深度图的方法[J]. 计算机学报, 2000, 23(12): 1332 - 1336.

作者简介:



贾云得 男, 1962 年生于山西, 教授, 博士, 博士生导师, 主要研究领域: 人工智能、计算机视觉、媒体计算等. Email: jyiar@bit.edu.cn.



徐一华 男, 1978 年生于浙江, 硕士研究生(现为微软亚洲研究院助理研究员), 主要研究领域: 计算机视觉、人机交互等. Email: j-yihuax@microsoft.com.

微型实时多目立体视觉机设计与实现

作者: [贾云得](#), [徐一华](#), [刘万春](#), [杨聪](#), [朱玉文](#)
 作者单位: [北京理工大学计算机科学与工程系, 北京, 100081](#)
 刊名: [电子学报](#) **ISTIC EI PKU**
 英文刊名: [ACTA ELECTRONICA SINICA](#)
 年, 卷(期): 2003, 31(9)
 被引用次数: 10次

参考文献(7条)

1. [D Murry, C Jennings](#) [Stereo vision based mapping and navigation for mobile robots](#) 1997
2. [L Stefano, M Marchionni, S Mattoccia, G Neri](#) [A fast area-stereo matching algorithm](#) 2002
3. [T Kanade, A Yoshida, K Oda, H Kano, M Tanaka](#) [A stereo machine for video-rate dense depth mapping and its new applications](#) 1996
4. [Shigeru Kimura, Tetsuya Shinbo, H Yamaguchi, E Kawamura, K Nakano](#) [A convolver-based real-time stereo machine](#) (SAZAN) 1999
5. [J Weng, P Cohen, M Herniou](#) [Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation](#) 1992(10)
6. [贾云得, 吕宏静, 徐岸, 刘万春](#) [鱼眼镜头成像立体视觉系统的高精度标定](#)[期刊论文]-[计算机学报](#) 2000(11)
7. [贾云得, 吕宏静, 刘万春](#) [鱼眼变形立体图像恢复稠密深度图的方法](#)[期刊论文]-[计算机学报](#) 2000(12)

相似文献(9条)

1. 学位论文 [徐一华](#) [基于FPGA的实时立体视觉技术的研究](#) 2001
 立体视觉技术在机器人视觉、自主导航、工业测量和目标与环境建模等多种领域得到了广泛的应用。立体视觉算法时间复杂度很高, 使用普通计算机构成的立体视觉系统很难实现实时三维场景信息恢复。该文提出了一种基于FPGA(现场可编程门阵列)的专用立体视觉系统设计和实现方法, 该系统可以实现实时的稠密深度图高精度恢复。
2. 期刊论文 [贾云得, 吕宏静, 刘万春, JIA Yun-De, LU Hong-Jing, LIU Wan-Chun](#) [鱼眼变形立体图像恢复稠密深度图的方法](#) -[计算机学报](#)2000, 23(12)
 使用普通镜头立体视觉无法实现近距离或大视场的立体感知, 鱼眼镜头立体视觉可以解决这一问题, 因为鱼眼镜头的视场角可以达到180°。鱼眼镜头获取大视场的同时也引入了严重的图像变形。文中讨论了一种使用三个鱼眼镜头摄像机构成的多基线立体视觉系统恢复近距离大视场稠密深度图的方法。为了高精度恢复稠密深度图, 作者采用图像局部规范化方法、鱼眼变形图像校正方法、基于仿射变换区域匹配的相似性极小化准则, 来实现鱼眼变形立体图像对应性求解。文中最后给出了用真实物体和场景的大变形图像来恢复稠密深度图的实验结果。
3. 会议论文 [贾云得, 徐一华, 刘万春, 杨聪, 朱玉文](#) [基于FPGA的立体视觉信息并行计算系统](#) 2002
 文给出一种用于实时计算场景稠密距离图像(或深度图)的立体视觉并行计算系统实现方法, 该系统使用多个摄像机同步获取多幅场景图像, 采用图像变形校正并行算法、LoG滤波、多立体图像对对应性求解并行算法, 并利用FPGA内部的大规模细粒度并行处理能力, 以及各算法模块间的多级流水线关系, 实现了立体视觉信息的高度并行与实时处理。
4. 学位论文 [文雅](#) [基于图象和稠密深度图的人脸识别](#) 2003
 人脸识别是计算机科学研究领域的热门研究课题, 得到了许多研究人员的大力研究。迄今为止, 人们已经提出了多种人脸识别的算法, 大多数算法是针对二维图像识别设计的, 尽管速度较快, 但是很难克服光照、背景及表情等因素的干扰。针对这些问题, 该文采用了迭代最近点算法和三维目标定位法思想, 提出了一种通过三维人脸网面样本匹配实现人脸识别的新方法。其中人脸三维数据是用我们实验室研制的立体视觉系统获取的。此外该文还讨论了利用二维灰度图像进行识别的方法, 采用特征脸方法对二维图像进行特征提取, 在此基础上研究了神经网络和支持向量机的特征分类方法, 并给出了实验结果对比。最后, 综合上述各类人脸样本和识别方法, 我们对结合二维和三维的人脸特征及方法进行识别的可能性进行了实验分析和探讨。
5. 期刊论文 [贾云得, 吕宏静, 徐岸, 刘万春, JIA Yun-De, LU Hong-Jing, XU An, LIU Wan-Chun](#) [一种鱼眼镜头成像立体视觉系统的标定方法](#) -[计算机学报](#)2000, 23(11)
 鱼眼镜头成像立体视觉系统在微小型机器人视觉导航和近距离大视场物体识别与定位中有着广泛的应用。尽管鱼眼镜头摄像机具有很大的视场角(接近180°), 但同时也引入严重的图像变形, 常规的摄像机标定方法无法使用。该文提出一种标定鱼眼镜头摄像机立体视觉系统的方法。在鱼眼镜头变形模型的基础上, 通过考虑鱼眼镜头成像的径向变形、偏心变形和薄透镜变形, 建立了鱼眼镜头成像的精确成像模型; 然后, 利用非线性迭代算法, 精确求解摄像机外部参数、内部参数。实验表明, 使用该方法得到的立体视觉系统参数满足精确恢复大场景稠密深度图的要求。
6. 学位论文 [潘征](#) [基于视觉的多目标检测与跟踪技术](#) 2003
 该文在实时立体视觉系统的基础上, 研究了人体运动检测和跟踪算法以及多目标的检测与跟踪方法。首先, 该文基于模板匹配的方法, 针对实时性的要求对检测算法进行了优化。该算法的主要思想是根据给定的深度值范围, 将深度图像序列中的前景图像分割成不同的层次, 然后通过一系列的人体模板在这些层次中对人体进行定位。其次, 该文提出了一种新的人体跟踪的方法, 该方法借鉴了模型跟踪方法的精确性和鲁棒性, 但不需要构造精确的目标模型。我们采用卡尔曼滤波器预测并跟踪特征点的位置和速度, 用 Hausdorff 距离匹配方法实现人体的进一步定位和跟踪。最后, 该文对多人体运动跟踪系统的实现进行了讨论, 以及人体运动检测与跟踪算法在该系统上的实现过程。
7. 期刊论文 [贾云得, 吕宏静, 徐一华, 徐岸](#) [星球漫游车超广角实时立体视觉系统](#) -[自动化学报](#)2004, 30(6)
 给出了一种用于星球漫游车障碍检测和定位的超大视场立体视觉系统的实现方法。该系统采用具有超广角镜头(对角视场角约160度)的双目或三目摄像机获取场景立体图像, 利用摄像机标定参数对大变形图像进行修正等预处理, 然后在外极线、连续性等约束条件下, 基于查找表和Intel MMX指令集, 使用

SAD算法快速进行对应点匹配计算. 实验表明, 该系统在图像分辨率为 320×120 像素、视差为64级时, 利用普通工控机恢复稠密深度图的速度为10帧/秒, 并能使机器人以1米/秒的速度行走.

8. 期刊论文 [吕宏静, 贾云得, L\(U\) Hong-jing, JIA Yun-de 用多基线立体视觉系统恢复稠密深度图像 -北京理工大学学报2000, 20\(1\)](#)

为有效地减少错误匹配, 提高匹配精度并恢复稠密深度图像. 利用多基线立体视觉恢复景物深度数据的冗余性, 使用简单条纹模式投影光源标记景物, 很好地解决了弱纹理区域或无纹理区域的对应性问题. 通过对图像进行局部规范化处理, 在外极线、唯一性和连续性约束条件下, 使用应用域知识和统计模型, 建立准确的匹配关系, 实现三维景物高精度恢复. 所恢复景物的高精度稠密深度图像, 在1.5~3.5m的距离范围内, 深度值偏差小于2mm.

9. 学位论文 [吕宏静 用于星球探测机器人导航的立体视觉技术](#) 2000

计算机立体视觉技术已经在工业机器人视觉、无人驾驶车辆自主导航、三维成像测量、航空摄像等领域得到迅速发展和广泛应用. 该论文以星球探测机器人视觉导航系统为研究背景, 主要讨论了立体视觉系统高精度标定和场景稠密深度图恢复技术. 该技术不仅可以用于空间探测机器人障碍物检测、路径规划, 也可以用于场景和特体建模, 以便识别和理解外界环境.

引证文献(10条)

1. [高云峰, 吴秀芬 服务机器人视觉系统模块化研究综述](#)[期刊论文]-[机械设计与制造](#) 2010(2)
2. [侯建, 齐乃明 月球车视觉系统立体匹配算法研究](#)[期刊论文]-[南京理工大学学报\(自然科学版\)](#) 2008(2)
3. [原魁, 路鹏, 邹伟 自主移动机器人视觉信息处理技术研究发展现状](#)[期刊论文]-[高技术通讯](#) 2008(1)
4. [郝继贵, 杨金峰, 李艳军, 叶声华 单摄像机立体视觉测量的研究](#)[期刊论文]-[科学与技术工程](#) 2007(17)
5. [蔡京平, 贾云得 一种用于星球探测机器人的计算系统体系结构](#)[期刊论文]-[小型微型计算机系统](#) 2006(6)
6. [蔡京平, 贾云得 一种用于星球探测机器人的计算系统体系结构](#)[期刊论文]-[小型微型计算机系统](#) 2006(6)
7. [谭树人, 张茂军, 徐伟 多传感器同步图像采集系统的设计](#)[期刊论文]-[电视技术](#) 2006(9)
8. [HOU Jian, QI Nai-ming Geometry constraints and matching algorithm for lunar rover stereo vision](#)[期刊论文]-[光电子快报\(英文版\)](#) 2005(3)
9. [庞作伟 自主吸尘机器人立体视觉基础研究](#)[学位论文]硕士 2005
10. [潘锋 仿人眼颈视觉系统的理论与应用研究](#)[学位论文]博士 2005

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dianzixb200309015.aspx

授权使用: 陕西理工学院(sxlgxy), 授权号: 0ea4f894-75fd-4d69-ada3-9df20113fe7e

下载时间: 2010年9月15日