

立体视觉的四阶段预处理方法

于舒春,闫继宏,赵杰,蔡鹤皋

(哈尔滨工业大学 机器人研究所, 哈尔滨 150080)

摘要:针对 LOG 滤波方法的不足,提出了一种新的四阶段预处理方法。此方法分为 4 个阶段:①用均值滤波去除随机噪声;②用高斯滤波去除高斯噪声;③用直方图均衡化法平衡立体图对间的亮度差异;④用拉普拉斯锐化增强图像的边缘和细节。实验结果表明,此方法可以有效地去除图像的噪声,平衡立体图对间的亮度差异。

关键词:自动控制技术;立体视觉;预处理;LOG 滤波;直方图均衡

中图分类号:TP242 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5497(2007)03-0651-04

Four step pretreatment method for stereo vision

Yu Shu-chun, Yan Ji-hong, Zhao Jie, Cai He-gao

(Robot Research Institute, Harbin Institute of Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: In order to improve LOG filter performance for stereo vision, a four step pretreatment method was proposed. This method was divided into 4 steps: wiping out random noise by mean filter, reducing Gaussian noise by Gaussian filter, balancing brightness difference between stereo image pair through histogram equalization, and enhancing image edges and details by Laplace sharpness. Experimental results show that this four step pretreatment method can eliminate image noise and reduce brightness difference effectively.

Key words: automatic control technology; stereo vision; pretreatment; LOG filter; histogram equalization

随着立体视觉技术应用的日益广泛,人们对立体匹配的精度要求越来越高^[1]。从真实环境中采集的立体图对往往受到各种噪声的干扰^[2],再加之不同摄像机间存在亮度差异,直接进行立体匹配很难得到高质量的视差图。为此,人们提出了很多预处理方法来去除立体图对中的亮度噪声。常见的有均值滤波^[3]、中值滤波^[4]和 LOG 滤波^[5]等,其中 LOG 滤波效果最好,但存在无法消除图像中的随机噪声^[6]和没有平衡立体图对间亮度差异的问题。

作者在 LOG 滤波的基础上提出了一种四阶段预处理方法,以期在继承 LOG 滤波优点的前提下,有效地弥补其不足。

1 LOG 滤波分析

通过对立体视觉中的噪声分析得到 3 条重要信息:①图像噪声往往是多种噪声的混合。②由于图像噪声的加性以及乘性可转加性,滤噪时可以对不同的噪声分阶段地滤除。③对于立体视觉来说,除了要滤除图像噪声外,还要平衡立体图对

收稿日期:2006-04-24.

基金项目:“863”国家高技术研究发展计划项目(2001AA422250).

作者简介:于舒春(1980-),男,博士研究生. 研究方向:计算机视觉技术. E-mail:ysds_2005@yahoo.com.cn

通讯联系人:赵杰(1968-),男,教授,博士生导师. 研究方向:机器人多传感器集成控制技术,机器人遥操作.

E-mail:jzhao@hit.edu.cn

间的亮度差异。

真实图像中的噪声大部分都服从高斯分布,对图像进行高斯平滑,可有效地滤除图像中的噪声。但经过高斯平滑后,图像的边缘和细节将变得模糊,因此需对平滑后的图像进行锐化。

LOG 滤波就是基于这种考虑产生的,它首先对图像进行高斯平滑,进而进行拉普拉斯锐化,既有效地滤除了图像中的高斯噪声,又保证了图像边缘和细节的清晰程度。但是直接将 LOG 滤波应用于立体视觉的预处理,效果并不理想。因为如果图像中含有的噪声不都服从高斯分布,LOG 滤波对它们将无能为力;LOG 滤波没有平衡立体图对间亮度差异的能力。为此,作者提出了一种四阶段预处理方法。

2 四阶段预处理方法

2.1 均值滤波去除随机噪声

第一阶段操作用到两个 3×3 模板,见图 1。

1	1	1	模 板	1	1	1
1	1	1		1	0	1
1	1	1		1	1	1

图 1 均值滤波模板

Fig. 1 Template of mean filter

首先用模板一搜索图像中的随机噪声。用 $f(x, y)$ 来表示原始图像中的像素灰度,模板的中心点 $f(1,1)$ 即为待搜索的像素。

按下式求出模板内的灰度均值 $\hat{f}(x, y)$

$$\hat{f}(x, y) = \sum_{0 \leq x, y \leq 2} f(x, y) / 9 \quad (3)$$

之后计算 $\hat{f}(x, y)$ 与 $f(1,1)$ 的差值,并将此差值与预先设定的阈值 α 进行比较。通过对图像像素灰度值矩阵的观察,可人为设定 α 。在不同实验条件下, α 取值也不相同,此处 α 设定为 10。

如果 $\hat{f}(x, y)$ 与 $f(1,1)$ 的差值小于阈值 α ,即差异在 10 个亮度等级内,则认为该像素不是随机噪声;如果此差值大于阈值 α ,即差异大于 10 个亮度等级,则认为该像素是随机噪声,用模板二对此像素进行处理如下:

$$f_1(1,1) = \frac{\sum_{0 \leq x, y \leq 2} f(x, y) - f(1,1)}{8} \quad (4)$$

之后用 $f_1(1,1)$ 替代 $f(1,1)$ 即完成了随机噪声的去除。经此阶段的处理,图像灰度由 $f(x, y)$ 变为 $f_1(x, y)$ 。

2.2 高斯滤波去除高斯噪声

第二阶段将对图像中最主要的高斯噪声进行去除。同 LOG 滤波一样,使用二维高斯函数 $G(x, y, \sigma)$,如下式

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp(-\frac{1}{2\sigma^2}(x^2 + y^2)) \quad (5)$$

式中: σ 为高斯空间系数; $G(x, y, \sigma)$ 是一个圆对称函数,其平滑作用可用 σ 进行控制。

用 $G(x, y, \sigma)$ 对第一阶段的图像进行卷积便可去除图像中的高斯噪声,如下式

$$f_2(x, y) = G(x, y, \sigma) * f_1(x, y) \quad (6)$$

式中: $*$ 为卷积运算符。

经过此阶段的处理,图像中的高斯噪声被去除,图像灰度由 $f_1(x, y)$ 变为 $f_2(x, y)$ 。

2.3 直方图均衡化去除立体图对间亮度差异

立体图对间亮度差异的实质是:相同景物信息在各幅图像中灰度分布不在同一区间。而直方图均衡化方法可将图像原直方图分布映射为均匀分布,达到平衡立体图对间亮度差异的目的。

直方图均衡化方法原理如下:

(1) 对原图像作归一化处理,将原图像的灰度由 $[0, 255]$ 压缩到 $[0, 1]$,即作如下线性变换

$$r = f_2(x, y) / 255 \quad (7)$$

变换后的图像压缩到 $r \in [0, 1]$ 。

(2) 作如下变换

$$s = T(r) = \int_0^r p_r(\omega) d\omega \quad (8)$$

式中: $p_r(\omega)$ 是 r 的概率密度,变换后得到以 s 为灰度的图像, s 在 $[0, 1]$ 中均匀分布。

具体操作如下:

(1) 在 $0 \sim 255$ 的灰度范围内遍历整幅图像,得到图像中第 k 灰度级出现的次数 n_k 。

(2) 用频数近似代替概率值,如下式

$$P_r(r_k) = n_k / n \quad (9)$$

式中: $r_k \in [0, 1]$; $k \in [0, 255]$; n 为图像中像素总数。

(3) 计算变换后的灰度值,如下式

$$f_3(x, y) = 255 \times s_k = 255 \times \sum_{j=0}^k p_r(r_j) \quad (10)$$

经以上处理,图像的亮度分布均匀化,立体图对间的亮度差异得到平衡,图像灰度由 $f_2(x, y)$ 变为 $f_3(x, y)$ 。

2.4 拉普拉斯锐化

经过前面的处理,立体图对的噪声得以去除,立体图对间的亮度差异得到平衡,但是图像会变得模糊,因此需进行锐化,以提高图像的边缘和细节的清晰度。选择拉普拉斯算子进行锐化:

$$f_4(x, y) = \nabla^2 f_3(x, y) = \frac{\partial^2 f_3(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f_3(x, y)}{\partial y^2} \quad (11)$$

经过上式的处理,图像的边缘和细节变得清晰,图像灰度由 $f_3(x, y)$ 变为 $f_4(x, y)$, $f_4(x, y)$ 也是四阶段预处理方法最终输出的图像灰度。

3 实验与实验分析

为了验证本文方法的有效性,对从真实场景中采集的双目立体图对进行了预处理实验,实验结果如图 2 所示。由图 2 可知:

- (1) 原始立体图对存在严重的亮度差异。
- (2) 经过均值滤波和高斯滤波,在图像噪声得到去除的同时图像变得模糊,边缘和细节不清楚。
- (3) 经过直方图均衡化后,立体图对间的亮度差异大为降低。直方图均衡化结果如图 3 所示。从图 3(a)中可以看出,原始立体图对中左图的灰度分布集中在 10~160 之间,而右图的灰度分布集中在 40~180 之间,存在较大的亮度差异,直接进行立体匹配将有较多的错误匹配。从图 3(b)中可以看出,经过 2.3 节的直方图均衡化处理,左右图像的灰度分布均在 0~255 内,亮度差异大为降低,可以较好地满足立体匹配的要求。
- (4) 经过拉普拉斯锐化后,图像的边缘和细节得到加强,有效地改善了前 3 个阶段造成的图像模糊。

将用 LOG 滤波方法处理的立体图对和用本文的四阶段预处理方法处理的立体图对分别进行了立体匹配实验,结果如图 4 所示。

图 4(a)是在 LOG 滤波方法处理后的立体图对上执行 DP 和 SSD 立体匹配算法后得到的视差图。图 4(b)是在本文的四阶段预处理方法处理后的立体图对上执行 DP 和 SSD 立体匹配算法后得到的视差图。可以发现:

- (1) 由于 LOG 滤波不能滤除随机噪声,经 LOG 滤波后的立体图对执行 SSD 立体匹配,出

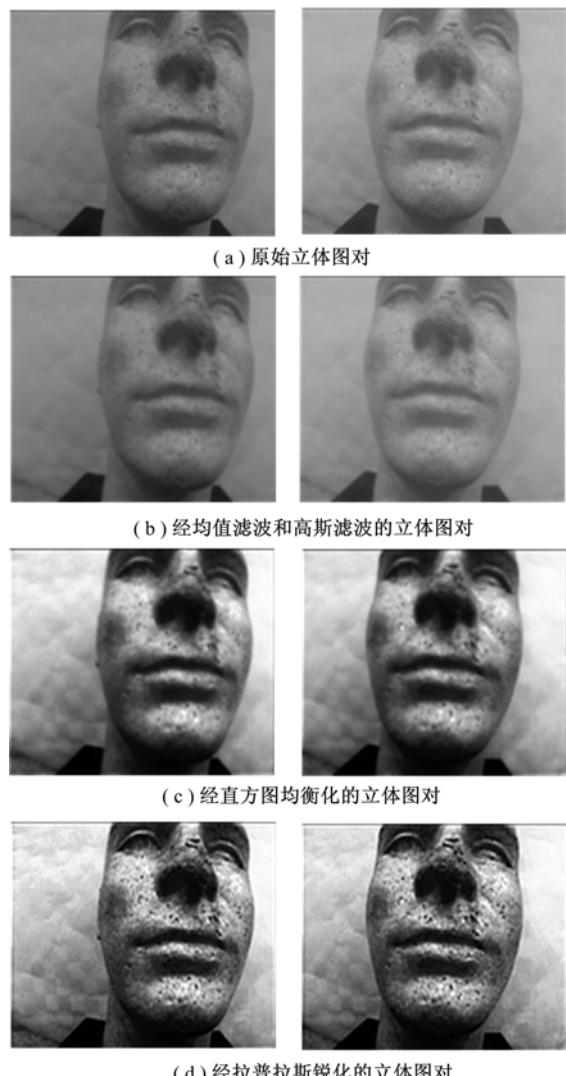


图 2 预处理结果

Fig. 2 Pretreatment results

现了更多的杂点;由于 LOG 滤波不能平衡左右图像间的亮度差异,经 LOG 滤波后的立体图对执行 DP 立体匹配几乎失败,执行 SSD 立体匹配也出现了大面积的误匹配。

(2) 由于四阶段预处理方法有效地去除了图像上的随机噪声并且平衡了立体图对间的亮度差异,因此在经四阶段预处理方法处理后的立体图对上执行 DP 和 SSD 立体匹配算法,均得到了令人满意的视差图,其匹配结果远远优于 LOG 滤波处理后的匹配结果。

在本文分辨率为 384×288 的立体图对上执行 LOG 滤波的时间为 0.016 s,执行四阶段预处理方法的时间为 0.031 s。虽然本文提出的方法耗时大约是 LOG 滤波方法的 2 倍,但是仍然可以满足立体匹配实时性的要求。

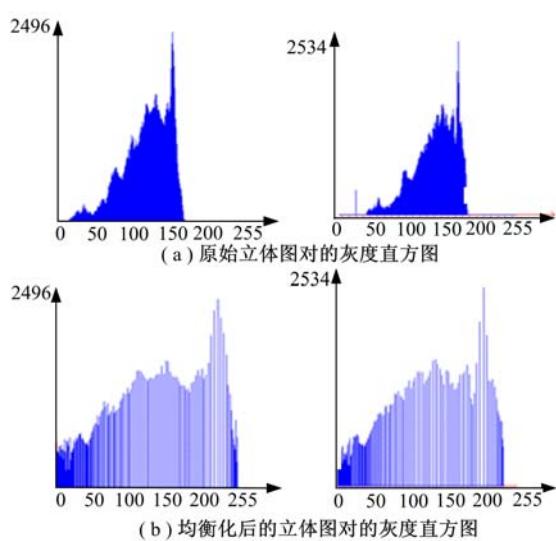


图3 直方图均衡化的实验结果

Fig. 3 Experimental results of histogram equalization

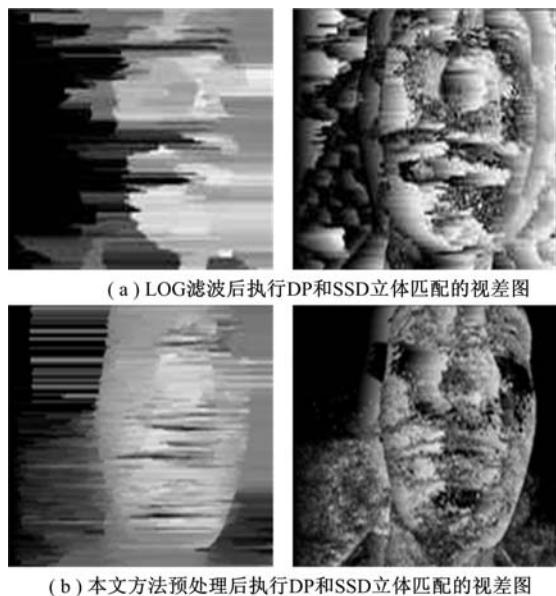


图4 立体图对匹配结果

Fig. 4 Stereo matching results

4 结束语

分析了立体视觉中的噪声以及LOG滤波方法,针对LOG滤波方法的不足,提出了一种新的四阶段预处理方法。此方法在高斯滤波前加入均值滤波,可以去除不服从高斯分布的随机噪声;直

方图均衡化的引入则有效地平衡了立体图对间的亮度差异。实验结果证明,作者提出的方法可以较好地去除图像的噪声,减小立体图对间的亮度差异,且可以保持图像边缘和细节的清晰程度。经过此方法处理的立体图对,可以满足立体匹配的要求。

参考文献:

- [1] 权铁汉,于起峰. 摄影测量系统的高精度标定与修正[J]. 自动化学报,2000,26(6):748-755.
Quan Tie-han, Yu Qi-feng. High-accuracy calibration and correction of camera system[J]. Acta Automatica Sinica, 2000, 26(6):748-755.
- [2] 张定庆,廖俊必. 图像匹配中噪声分析和预处理[J]. 四川大学学报,2002,34(2):80-84.
Zhang Ding-qing, Liao Jun-bi. Image noise analysis and pre-processing for pattern match[J]. Journal of Sichuan University, 2002, 34(2):80-84.
- [3] Min Kyeong-Sik, Tran Thanh-Ngon. Combination of space and time adaptive mean filters for noise reduction in antenna measurement[C] // Asia-Pacific Microwave Conference, 2005.
- [4] Wu Hai-shan, Gil Joan. A biased median filtering algorithm for segmentation of intestinal cell gland images[J]. Scientific World Journal, 2006, 6: 200-220.
- [5] Chen H C, Fang L T. LOG filter based inspection of cluster Mura and vertical-band Mura on liquid crystal displays[C] // Proceedings of SPIE, 2005, 5679:257-265.
- [6] 杨振亚,王勇. LOG算子边缘检测方法的改进方案[J]. 计算机应用与软件,2004,21(9):87-89.
Yang Zhen-ya, Wang Yong. The enhanced method of LOG operator in edge detection[J]. Computer Applications and Software, 2004, 21(9):87-89.
- [7] Scharstein D, Szeliski R. A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms[J]. IJCV,2002,47(1):7-42.
- [8] Bouguet J. Camera calibration toolbox for matlab [DB/OL]. http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/, 2004.