



双目立体视觉传感器结构参数优化设计

王以忠¹, 李孝猛¹, 张大克², 贾士儒³

(1. 天津科技大学电子信息与自动化学院, 天津 300222; 2. 天津科技大学理学院, 天津 300457;
3. 工业微生物教育部重点实验室, 天津 300457)

摘要: 采用最优回归设计 311-A 方案设计实验, 研究双目立体视觉传感器的结构参数对传感器测量精度的影响. 根据实验结果, 建立了双目立体视觉传感器的测量精度与传感器结构参数间的回归方程, 并通过对优化模型的求解, 得到了使双目立体视觉传感器测量精度更高的参数组合. 结果表明, 利用上述方法可以有效地提高双目立体视觉传感器的测量精度.

关键词: 双目立体视觉; 最优回归设计; 优化; 模型; 参数组合

中图分类号: TP391.41 文献标志码: A 文章编号: 1672-6510(2010)03-0058-03

Optimal Design of Structural Parameters of Binocular Stereo Visual Sensor

WANG Yi-zhong¹, LI Xiao-meng¹, ZHANG Da-ke², JIA Shi-ru³

(1. College of Electronic Information and Automation, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China;
2. College of Science, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China;
3. Key Laboratory of Industrial Microbiology, Ministry of Education, Tianjin 300457, China)

Abstract: The impact of structural parameters of binocular stereo visual sensor on the measurement accuracy of the sensor was studied based on 311-A optimum regression design. According to the experiment results, a regressive equation was established to set the relationship between measurement accuracy of binocular stereo visual sensor and its structural parameters. By resolving optimal model, the optimal combination of the parameters was got. The experiment results show that the proposed method is effective to improve the accuracy of binocular stereo visual sensor.

Keywords: binocular stereo visual; optimum regression design; optimal; model; parameters combination

随着计算机视觉技术的不断发展, 视觉传感器得到了越来越广泛的应用, 尤其是立体视觉传感器具有原理直观、结构简单、使用方便、测量精度较高、测量速度快等诸多优点, 大量地应用于工业检测、目标识别、工件定位、机器人引导和靶场实验等诸多领域^[1]. 双目立体视觉传感器通常由位于同一平面、互成一定角度的两台摄像机组成, 其结构参数对其测量精度有直接影响, 大多数双目立体视觉传感器的结构搭建是根据人们的经验来选择结构参数, 很少有可借鉴的理论依据^[2]. 目前对双目立体视觉传感器结构参数的相关理论研究, 主要是从理论上分析双目立体视觉传感

器结构参数与空间被测点之间的关系及其对系统测量精度的影响^[3-4], 并未给出优化设计双目立体视觉传感器结构参数的方法和步骤.

实验设计是研究如何制定适当实验方案, 以便对实验数据进行有效统计分析的数学理论与方法. 它主要是对实验因素作合理的、有效的安排, 最大限度地减少实验误差, 以达到高效和经济的目的^[5-6]. 最优回归设计是一种常用的设计方法, 具有处理组合少、信息量大、计算方便的特点^[7].

为了提高双目立体视觉传感器的测量精度, 本文采用最优回归设计 311-A 方案, 优化设计双目立体

视觉传感器的结构参数,以提高其测量精度.

1 双目立体视觉传感器参数

双目立体视觉传感器由两台 CCD 摄像机组成,如图 1 所示. 两台摄像机水平交向放置, o, o' 分别为两摄像机的透视中心,坐标原点设在 o 点,空间点 $p(x, y, z)$ 在 xoz 面上的投影为 p' . 左右摄像机图像坐标系分别为 $O_1X_1Y_1$ 和 $O_2X_2Y_2$; 经过左像平面中心 O_1 和透镜中心 o 的直线是左侧摄像机光轴 O_1o , 经过右像面中心 O_2 和透镜中心 o' 的直线是右侧摄像机光轴 O_2o' ; 两摄像机光轴与基线的夹角分别为 α_0 和 β_0 , 两摄像机的透镜中心连线 oo' 为基线, 基线距离记为 B , 摄像机的焦距分别为 f_1 和 f_2 , 被测物体到基线的垂直距离为 H .

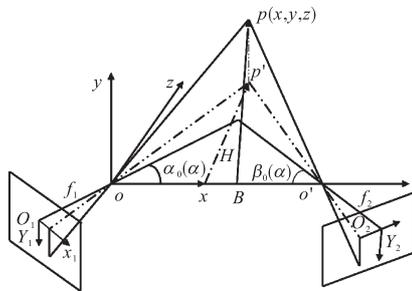


图 1 双目立体视觉传感器结构图

Fig.1 Structure of binocular stereo vision sensor

根据上述分析,双目视觉传感器的结构参数主要包括:两摄像机光轴与基线的夹角、基线距离、摄像机有效焦距和被测物体到基线的垂直距离,它们之间不是独立变化的,而是存在一定的约束关系. 本文中两

摄像机对称摆放,两摄像机光轴与基线的夹角相等,即 $\alpha_0 = \beta_0 = \alpha$, 两摄像机的焦距为固定值,有 $f_1 = f_2 = 25 \text{ mm}$. 因此,需要优化的参数为:摄像机光轴与基线的夹角、基线距离和被测物体到基线的垂直距离.

2 实验设计

2.1 实验方案选择

实验设计是一系列实验及分析方法集,是以概率论、数理统计和代数等为理论基础,科学地安排实验方案,正确地分析实验结果,尽快地获得最优化方案的一种数学方法^[8]. 其在农业生产、工业工程、科学研究等各个领域得到了广泛的应用^[9-10].

实验设计的方法有很多种,常用的有正交设计、均匀设计、球面对称设计和最优回归设计等^[11]. 其中最优化回归设计具有实验工作量小、信息丰富等特点,能以较少的实验处理组合获得较大的信息量与最佳实验方案^[12]. 根据实验参数个数的不同,最优回归设计使用不同的方案,如针对 2 个参数的 206 方案,针对 3 个参数的 311-A 方案,针对 4 个参数的 416-A 方案等. 本文对双目立体视觉传感器的 3 个参数进行优化设计,因此采用最优回归设计中的 311-A 方案进行实验.

2.2 数学模型

最优回归设计 311-A 方案是针对 3 个参数进行最优回归设计的一种设计方案,它将 3 个因素(即参数 x_1, x_2 和 x_3) 的不同取值分成 11 个组合,以形成 11 组实验,每组实验中 3 个参数的取值是用编码值来确定的. 最优回归设计 311-A 方案的编码值见表 1.

表 1 最优回归设计 311-A 方案编码值

Tab.1 Coded values of factors of 311-A optimum regression design

因素	编号										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
x_1	0	0	-1.414	1.414	-1.414	1.414	2	-2	0	0	0
x_2	0	0	-1.414	-1.414	1.414	1.414	0	0	2	-2	0
x_3	2	-2	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	0

实验参数的取值,按照 x_1, x_2, x_3 三个因素的编码值进行线性编码代换,以便把因变量 y 对自变量(三个因素)的回归关系转化为 y 对 x_1, x_2, x_3 的编码值关系,从而建立 y 与 x_1, x_2, x_3 的回归方程^[13]:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{j=1}^3 b_j x_j + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^3 b_{jj} x_j^2 \quad (1)$$

式中: b_0 为常数项; b_j 为一次项回归系数; b_{ij} 为互作项回归系数; b_{jj} 为二次项回归系数.

3 参数优化实验

本文以摄像机光轴与基线的夹角 α , 基线距离 B , 被测物体到基线的距离 H 为实验因子,以高度为 9 mm 的量块高度测量值为实验指标. 根据使用的双目立体视觉传感器,确定各参数的取值范围如下: B , 34 ~ 46 cm; H , 28.5 ~ 34.5 cm; α , 56° ~ 60°.

3.1 实验方案

B 的值记为 x_1 , H 的值记为 x_2 , α 的值记为 x_3 . 根

据各参数的取值范围和表 1 中的编码值算出具体实验设计方案, 见表 2.

表 2 实验设计方案
Tab.2 Experimental design scheme

因素	编号										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
x_1/cm	40.00	40.00	35.76	44.24	35.76	44.24	46.00	34.00	40.00	40.00	40.00
x_2/cm	31.50	31.50	29.38	29.38	33.62	33.62	31.50	31.50	34.50	28.50	31.50
$x_3/(\circ)$	60.00	56.00	59.00	59.00	59.00	59.00	57.00	57.00	57.00	57.00	58.00

3.2 实验结果与回归分析

根据表 2 中各组参数组合, 调节双目立体视觉传感器的结构参数, 测量量块高度, 测量值用 y 表示. 各

次实验的测量结果见表 3, 其中 y 值为 3 次重复测量的平均值.

表 3 实验测量结果
Tab.3 Experiment results

因素	编号										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
x_1/cm	40.00	40.00	35.76	44.24	35.76	44.24	46.00	34.00	40.00	40.00	40.00
x_2/cm	31.50	31.50	29.38	29.38	33.62	33.62	31.50	31.50	34.50	28.50	31.50
$x_3/(\circ)$	60.00	56.00	59.00	59.00	59.00	59.00	57.00	57.00	57.00	57.00	58.00
y/mm	8.72	8.68	8.75	8.77	8.77	9.13	9.32	8.59	8.40	8.61	8.75

根据表 3 中的测量结果和最优回归设计 311-A 方案的统计分析方法, 建立量块测量高度值与传感器结构参数间的回归方程:

$$\hat{y} = 8.607 + 0.121x_1 + 0.007x_2 + 0.036x_3 - 0.106x_1^2 - 0.218x_2^2 + 0.004x_3^2 + 0.039x_1x_2 - 0.059x_1x_3 + 0.058x_2x_3 \quad (2)$$

将表 1 中的实验参数编码值代入回归方程计算得理论高度值 \hat{y} , 用对回归方程进行显著性检验的方法计算 $\chi^2 = \sum_{i=1}^{11} \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{\hat{y}_i}$, 得 $\chi^2 = 1.021$, 查 χ^2 分布表得 $\chi^2_{0.05}(10) = 18.307$, 因为有 $\chi^2 < \chi^2_{0.05}(10)$, 故回归方程的回归效果显著, 也就是说回归方程能反映 B、H、 α 与 y 之间的变化规律, 可作为参数优化设计的依据.

3.3 优化参数组合的确定

在测量中测量值与真值之差越小, 说明测量精度越高. 因此以量块测量高度值 \hat{y} 与量块的实际高度值 $h(h = 9 \text{ mm})$ 差的平方为目标函数, 以三个参数的取值范围为约束条件, 建立参数组合的优化模型如下:

$$\min Z = (\hat{y} - h)^2 = (8.607 + 0.121x_1 + 0.007x_2 + 0.036x_3 - 0.106x_1^2 - 0.218x_2^2 + 0.004x_3^2 + 0.039x_1x_2 - 0.059x_1x_3 + 0.058x_2x_3 - 9)^2 \quad (3)$$

$$s.t. \begin{cases} 36 \leq x_1 \leq 46 \\ 28.5 \leq x_2 \leq 31.5 \\ 55 \leq x_3 \leq 59 \end{cases}$$

运用 Matlab 软件求解优化模型 (3) 的最优解为 $x_1^* = 0.067, x_2^* = 0.288, x_3^* = 0.992$

将上述编码值换算为具体参数值, 得到优化后的参数值组合为

$$B = 41.17 \text{ cm}, H = 31.78 \text{ cm}, \alpha = 57.9^\circ$$

根据优化后的参数值组合, 调节双目立体视觉传感器的结构参数, 进行验证实验, 测得量块的高度值为 8.89 mm. 与表 3 中的测量结果相比, 双目立体视觉传感器的测量精度有所提高.

4 结 语

为了提高双目立体视觉传感器的测量精度, 本文采用最优回归设计 311-A 方案设计实验方案, 优化双目立体视觉传感器的结构参数. 进行了 11 组实验, 根据实验结果和最优回归设计 311-A 方案的原理, 建立了参数组合的优化模型, 运用 Matlab 软件计算出了最优参数值组合. 实验表明, 本文提出的参数优化方法可以提高双目立体视觉传感器的测量精度.

(下转第 70 页)