

基于改进遗传算法的深度图像获取技术

王琦, 朴燕

长春理工大学电子信息工程学院, 吉林 长春 130022

摘要 在三维立体成像技术研究中, 图像深度提取不受光源照射方向及物体表面发射特性的影响, 不存在阴影, 因此可以更准确地表现物体目标表面的三维深度信息。为了获取精确的深度图像, 提出一种深度获取方法, 采用基于改进的遗传算法的最佳熵阈值图像分割法对图像进行分割处理, 进而得到深度图像。此方法可明显提高所得到的深度图像的准确性和有效性。同时, 改进遗传算法可以快速逼近最佳阈值, 大大缩短最佳阈值图像分割过程中阈值的选取时间, 提高分割效率和深度获取的准确性。

关键词 图像处理; 三维立体成像; 深度获取; 熵; 阈值分割; 遗传算法

中图分类号 TP391.4

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP55.021003

Depth Image Acquisition Technology Based on Improved Genetic Algorithm

Wang Qi, Piao Yan

College of Electronic and Information Engineering, Changchun University of Science and Technology,
Changchun, Jilin 130022, China

Abstract In the research of three-dimensional imaging technology, the extraction of image depth is not affected by the illumination direction of the light source and the launch characteristics of the object surface, meanwhile with no shadow, and it can accurately show the three-dimensional depth information of the object surface. We propose a depth acquisition method to obtain the high-quality depth images, using the optimal entropy threshold image segmentation method based on improved genetic algorithm to segment the image and then obtain the depth image. This method can obviously improve the accuracy and real validity of the obtained depth image. The improved genetic algorithm can quickly approximate the optimal threshold, greatly shorten the threshold time of the optimal threshold image segmentation, and improve the accuracy of segmentation efficiency and depth acquisition.

Key words image processing; three-dimensional imaging; depth acquisition; entropy; threshold segmentation; genetic algorithm

OCIS codes 100.2000; 100.2960; 100.6890

1 引言

近年来, 三维影像、游戏和视频内容越来越多地展现在人们面前, 并且应用场合也越来越多, 如医学图像处理技术^[1-2]、工业生产、军事研究等领域^[3]都要求能够实现三维空间场景的自然再现。因此, 获取质量良好的深度图像深度信息已成为研究热点。

目前, 深度获取主要有以下方法: 1) 利用特殊的硬件设备来主动获取场景中每个点的深度信息, 但此类系统设备的价格非常昂贵, 不适合推广; 2) 基于传统的计算机立体视觉方法, 通过利用在 2 个视点获得的同一景物的 2 幅图像或多个视点图像进行立体匹配来恢复场景物体的深度信息。现有的立体匹配算法主要包括: 1) 基于区域(窗口)的立体匹

收稿日期: 2017-07-30; 收到修改稿日期: 2017-08-31

基金项目: 国家自然科学基金(60977011)

作者简介: 王琦(1991—), 女, 硕士研究生, 主要从事智能信息处理方面的研究。E-mail: 965146656@qq.com

导师简介: 朴燕(1965—), 女, 博士, 教授, 主要从事立体成像及数字视频图像处理方面的研究工作。

E-mail: piaoyan@cust.edu.cn(通信联系人)

配算法,能够很容易地恢复出高纹理区域的视差,但在低纹理区域会造成大量的误匹配,从而导致边界模糊,同时也很难对遮挡的区域进行处理;2) 基于特征的立体匹配算法,所提取的特征点对噪声不太敏感,所以能得到比较精准的匹配结果,但由于图像中的特征点很稀疏,此种方法只能获得一个稀疏的视差图。此外,鞠芹等^[4]提出一种基于多目立体匹配的深度获取方法,周颖^[5]利用最简单的平行双目立体系统获取场景的深度图像,Teulière等^[6]提出一种深度估计的直接方法,Hawe等^[7]提出一种基于稀疏矩阵度量的深度方法,但这些方法所获取的深度图在有效性、准确性和速度上都存在一定的问题。

本文提出利用改进遗传算法(GA)进行图像分割^[8-10]从而获取深度图像的方法。本文方法分割后的图像通过匹配后可以得到一个稠密的视差图,然

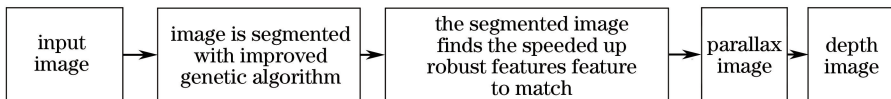


图1 基于改进遗传算法获取深度图像的流程

Fig. 1 Flow chart of retrieving depth image based on improved genetic algorithm

3 改进遗传算法的分割方法

图像分割是图像处理和计算机视觉中基本而关键的技术,也是图像理解和目标识别的关键和首要步骤,并为计算机视觉的后续分类、识别提供依据。图像分割的目的就是按照特定的标准将图像划分成若干个有相同特点的区域并提取出感兴趣的部分,其结果直接影响着后续图像分析和图像理解的实施。通常,图像分割方法包括阈值法、边缘检测法和区域跟踪法,其中阈值法是图像分割的常用方法。

目前,研究人员提出了众多阈值分割方法,如Otsu^[12]提出了通过最大类间方差准则来选取阈值的方法,该方法解决了阈值选取中难以确定阈值分割门限的问题;Kapur等^[13]提出最佳熵阈值方法,不需要先验知识,而且对于非理想双峰直方图的图像也可以进行分割,但在确定阈值时,尤其是确定多阈值时,计算量很大。兼具稳健性、并行性和自适应性的遗传算法是一种优化算法。在众多图像分割方法中,阈值法以其实现简单、计算量小、性能稳定成为图像分割中最基本、应用最广泛的分割技术。本文算法在获取图像深度时使用改进的遗传算法以确定最佳熵阈值,不仅缩短了寻找阈值的时间,还提高了阈值分割的抗噪性能。针对传统遗传算法易陷入

后将视差图转换成深度图这显著提高了所得深度图像的准确度和真实有效性。提出的改进的最佳阈值获取深度图的方法更加高效、快捷,大大缩短了最佳阈值图像分割中阈值的选取时间,提高了在获取深度图像时的分割效率。

2 图像深度估计

获取深度图像的方法^[11]一般包含:1) 对图像进行分割,得到可识别的目标;2) 对分割后的图像进行立体匹配,得到对应点的视差图像;3) 根据对应点的视差与深度的关系计算出深度,从而将视差图像转化为深度图像。

利用双目图像进行深度估计,其基本原理是利用改进遗传算法对图像进行分割,从而实现深度的估计。基于改进遗传算法分割方法获取深度图像的流程如图1所示。

局部最优、收敛速度慢、抗噪能力差等不足提出了改进方法,有利于计算机视觉的后续处理。

3.1 遗传算法

遗传算法^[14]是一种通过模拟自然进化过程搜索最优解的方法,是一种模拟达尔文生物进化论的自然选择和遗传学机理的生物进化过程的计算模型。由美国的Holland教授于1975年首先提出的遗传算法进入20世纪90年代以后迎来了兴盛发展时期,无论是理论研究还是应用研究都十分热门。尤其是遗传算法的应用研究格外活跃,不但扩大了应用领域,而且利用遗传算法进行优化和规则学习的能力也显著提高。

遗传算法作为一种求解问题的高效并行的全局搜索方法,主要特点是群体搜索策略和群体中个体之间的信息交换,能在搜索过程中自动获取和积累有关搜索空间的知识,自适应地控制搜索过程以求得最优解或近似最优解,即满意解。遗传算法利用简单的编码技术和繁殖机制(选择、交叉和复制)来表现难以用传统搜索方法解决的复杂和非线性的问题。传统遗传算法的分割原理如图2所示。

传统遗传算法是一种十分有效的智能搜索算法,具有良好的稳健性,且不需很多的先验知识等,这使其能适应于不同的环境,并且在大多数情况下

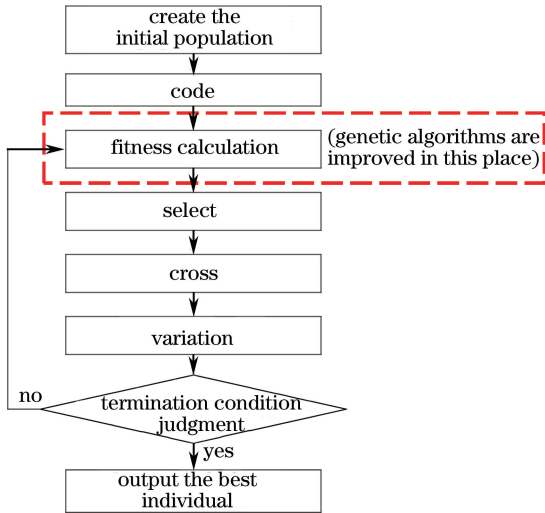


图2 传统遗传算法的分割原理图

Fig. 2 Principle of segmentation of traditional genetic algorithm

都能得到最优解。但在使用传统遗传算法时也存在收敛性能差、容易早熟等缺点。这些缺点给用传统遗传算法对图像进行分割带来很大困难,因而无法得到准确的深度图像。为了解决以上问题,提出一种基于改进遗传算法的最大熵阈值分割方法,可以提高收敛性能且避免早熟性,从而得到最佳的分割图,并得到最优的深度图像。

3.2 基于改进遗传算法的最佳熵阈值分割方法

由图2中红色虚线框可以看出,适应度的计算影响着算法中的选择、交叉和变异,但其性能又是影响算法收敛程度和早熟程度的关键所在,所以在改进的遗传算法中,为了改善适应度计算所带来的问题,提出一种最佳熵的阈值分割方法,其分割依据是使分割背景和分割目标熵值最大。

在阈值分割时会将灰度图转化为二值图像,既能压缩数据,又可降低后续处理步骤的复杂性。若图像的灰度空间为 $G = \{0, 1, 2, \dots, L-1\}$,其中灰度值 i 的个数为 n_i ,则图像熵定义为

$$H = - \sum_{i=0}^{L-1} f_i \lg(f_i), \quad (1)$$

式中 $f_i = n_i/N$, $N = \sum_{i=0}^{L-1} n_i$, f_i 表示灰度值 i 在图像中出现的频率, N 表示图像总的像素数。

基于改进遗传算法的最佳熵阈值计算方法表述为:假定有阈值 (s, t) 把图像分割为目标 L_A 和背景 L_B 2个区域,分割后图像的信息大都保留在这2个区域,因此计算时可以忽略其他噪声和边缘区域。为了能够得到更加准确的阈值,对分割后的目标和

背景2个区域进行优化,即将分割后的目标和背景区域再次分割为 H_A, H_B, K_A, K_B 。对再次分割得到的区域通过最佳阈值的方法计算得到其最佳阈值,通过得到的最佳阈值,再计算改进后的最佳熵阈值 $L(s^*, t^*) = \arg \max \{L(s, t)\}$,且

$$H_A = - \sum_{i=0}^v \left(\frac{p_i}{p_v} \right) \times \lg \left(\frac{p_i}{p_v} \right), \quad (2)$$

$$H_B = - \sum_{i=v+1}^{L-v} \left(\frac{p_i}{p_{L-v}} \right) \times \lg \left(\frac{p_i}{p_{L-v}} \right), \quad (3)$$

$$K_A = - \sum_{i=v}^u \left(\frac{p_i}{p_u} \right) \times \lg \left(\frac{p_i}{p_u} \right), \quad (4)$$

$$K_B = - \sum_{i=u+1}^{L-1} \left(\frac{p_i}{p_{L-1}} \right) \times \lg \left(\frac{p_i}{p_{L-1}} \right), \quad (5)$$

$$L_A = H_A + K_A, \quad (6)$$

$$L_B = H_B + K_B. \quad (7)$$

图像总熵为

$$\begin{aligned} L(s_1, t_1) &= L_A(s_1, t_1) + L_B(s_1, t_1) = \\ &= \ln p_v(1-p_v) + \frac{h_v}{p_v} + \frac{H-h_v}{1-p_v} + \\ &= \ln p_t(1-p_t) + \frac{k_t}{p_t} + \frac{K-k_t}{1-p_t}. \end{aligned} \quad (8)$$

改进的最佳阈值选取准则为

$$L(s^*, t^*) = \arg \max \{L(s, t)\}. \quad (9)$$

基于改进遗传算法的最佳熵阈值分割方法实现过程如下。

1) 创建初始种群。在进行二维阈值分割时,采用均匀分布在 $(0, 0) \sim (255, 255)$ 之间随机产生的 n 对个体,编码为16位二进制码。

2) 编码。对于灰度值在 $0 \sim 255$ 之间的图像,一维最佳熵分割可采用8位二进制代码分割值,由于二维最佳熵分割待分割值是二维的,所以用16位二进制码表示分割阈值。

3) 适应度计算。根据改进的最佳熵阈值分割原理,选择的适应度计算函数(8)式。

4) 选择。根据遗传算法的收敛定理,先选择轮盘赌选择法(蒙特卡罗法),再采用精英策略。首先得到个体的相对适应度,即群中各个体的适应度与种群总适应度的比值。相对适应度小的基因逐步被淘汰,相对适应度大的基因将会被遗传到下一代。对于所保留的相对适应度大的基因则通过精英策略以一定的比例直接复制到下一代。这种方法使得最优个体可以绝对地复制到下一代。

5) 交叉。交叉互换的重要特征是它能产生不同于父体的子体。当交叉率比较高时,个体更新变

快,可以达到更大的解空间,但同时它会对已有的模式产生破坏;但当交叉率比较低时,搜索的范围减小,最优解的搜索变得缓慢。为了达到最好的实现效果,采用以下方法。

若 $f(t_1, t_2)(X') > f(t_1, t_2)(X)$, 则 $X' = (x_0, \dots, x_m, y_{m+1}, \dots, y_7, x_8, \dots, x_n, y_{n+1}, \dots, y_{15})$, 否则 $X' = X$; 若 $f(t_1, t_2)(Y') > f(t_1, t_2)(Y)$, 则 $Y' = (y_0, \dots, y_m, x_{m+1}, \dots, x_7, y_8, \dots, y_n, x_{n+1}, \dots, x_{15})$, 否则 $Y' = Y$ 。其中, $X = (x_0, \dots, x_7, x_8, \dots, x_{15})$ 与 $Y = (y_0, \dots, y_7, y_8, \dots, y_{15})$ 为 2 个交叉的父个体。

6) 变异。所选的变异法为自适应变异策略,变异概率为 0.1。

7) 终止条件判断。规定当算法执行到最大代数(终止条件)或经过 15 代进化,群体中的最高适应度值仍未发生变化(稳定条件)时,算法停止运行,具有最高适应度值的个体即为分割阈值。

所利用的测试图像是由 Middlebury 网站提供的“Tsukuba”和“Cones”,分辨率分别为 $384 \text{ pixel} \times 288 \text{ pixel}$, $450 \text{ pixel} \times 375 \text{ pixel}$ 。为了达到良好的图像对比性,在实验中,分别采用了 OTSU 阈值法、全局阈值(GT)法^[15]和未改进的传统遗传算法与本文方法进行对比。分割结果如图 3 所示。

由图 3 的分割结果可以看出,本文方法对于图像分割的效果相比其他方法有较显著的提高。主要原因是,作为一种求解问题的高效并行的全局搜索方法,基于改进遗传算法的最佳熵阈值计算方法可以体现群体搜索和群体中个体之间信息交换的 2 大策略的交叉和变异算子,为每个个体提供了优化的机会,从而使整个群体在优胜劣汰的选择机制下保证了进化的趋势。即在遗传中对所需要的未知最佳阈值进行编码与解码,并通过(8)式对其进行计算。在进行选择操作时,先采用精英策略选择信用度最优的个体,再对剩余的个体采用轮盘赌选择法。整个过程中采用 2 次轮盘赌选择法:先是在子群选择中采用 1 次轮盘赌选择来确定所选子群,再在个体选择中采用 1 次轮盘赌来确定所选个体,这样有利于种群选取的多样性。通过交叉和变异,对于所有

表 1 不同方法的分割性能对比

Table 1 Segmentation performance comparison of different methods

Image	OTSU method		GT method		GA method		Proposed method	
	Image threshold	Operation time /ms	Image threshold	Operation time /ms	Image threshold	Operation time /ms	Image threshold	Operation time /ms
Cones	84	18.5936	90	13.4573	95	11.5392	106	9.5967
Tsukuba	96	20.3219	104	16.7945	108	13.7329	120	10.6476

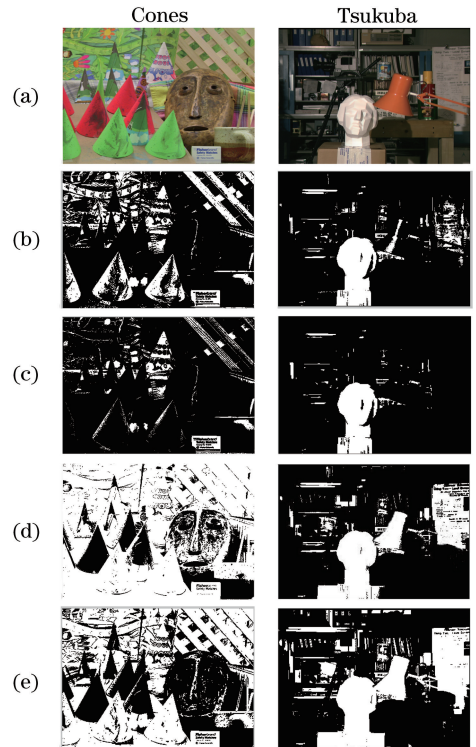


图 3 分割结果。(a)目标图像;(b) OTSU 方法;(c) GT 方法;(d) GA 方法;(e)本文方法

Fig. 3 Split results. (a) Target image; (b) OTSU method; (c) GT method; (d) GA method; (e) proposed method

子群中的所有个体都进行判断。本文采取一种自适应变异策略:若当前变异个体的适应度比群体适应度的平均值大,则使其以较小的概率变异,因为它代表着较优的个体;反之则以较大的变异概率繁殖下一代。最后终止判定时规定当算法执行到最大代数(终止条件)或经过 15 代进化,群体中的最高适应度值仍未发生变化(稳定条件)时,算法停止运行,具有最高适应度值的个体即为分割阈值。然后利用所确定的最佳阈值对图像进行分割,实现实验中改进的图像分割效果。表 1 对本文分割方法与其他方法的性能进行了比较,可以看出,本文方法对目标图像进行分割时,特征保留相比其他方法更加明显,得到的阈值范围更加稳定。由于阈值增加,也使得搜索空间越来越大,并且在图像分割时大大缩短了寻找阈值的时间,分割速度增加,更能满足图像处理实时性的要求。

4 立体匹配

立体匹配是计算机视觉中获取图像深度的重要研究领域之一。它可以应用于虚拟现实、机器人导航、三维环境重建等许多领域。立体匹配通过寻找同一空间场景在不同视点下投影图像像素间的一一对应关系,最终得到景物的视差图,是整个立体视觉系统的核心部分。但由于变形、遮挡、低纹理区域误匹配等的影响,立体匹配通常很难得到较高精度的视差图,这也是立体视觉中最困难的环节。目前,立体匹配算法主要有基于区域的立体匹配算法和基于特征的立体匹配算法。立体视差的稠密估计是计算机视觉应用的重要组成部分。而基于特征的视差估计技术仅在很少的已知特征点下计算视差,因此不能对图像进行良好估计。本文采用基于改进遗传算法的图像分割方法和特征匹配技术作为核心方法来实现立体视差的稠密估计。

4.1 立体匹配的实现

首先在图像中应用本文方法进行分割,在分割图像中查找加速健壮特征(SURF),并且执行匹配操作以获得这些特征点处的视差。然后将匹配的关键点映射到左右图像上用来寻找匹配的段,并将采样的坐标从匹配的段转换为SURF描述符,计算在对应的匹配段之间新匹配关键点处的视差。同时,得到左侧不匹配的段,并且要对其作进一步处理。对于每个不匹配的段,一个接一个地考虑它们的坐标,并且将它们转换为SURF类。在转换为SURF类后,将所有的段对沿着其极线的左侧的点执行匹配,为了留下最少的不匹配的段落,在左侧图像的相同极线上找到至少5个随机点,直到不匹配的段匹配才结束。在进行完以上步骤后如果发现还存在不匹配的段,就对其进行忽略处理。对于新发现的匹配段,将其转换为SURF描述符,并计算在对应的匹配段之间新匹配关键点处的视差。使用插值法获得描绘线段内的深度图,然后组合所有的段处理深度图。通过上述方法增加可匹配的特征点,使得完整图像中匹配的关键点数量增加,提高得到的深度图的质量。

4.2 基于改进算法的分割结果对立体匹配的影响

通过改进的分割方法将完整的图像分割成若干个非重叠的片段,即将若干像素分组为互斥集合。对于这若干个分割的非重叠片段,用参考图像中的每个分割区域整体去比较匹配图像中同一高度上的所有分割区域,找到相似度最高的分割区域,然后利用本文的立体匹配算法寻找特征点,

将匹配的关键点映射到匹配的段,求得分割区域内每个像素的视差,当所有分割区域匹配完毕,就得到了整幅图像的视差。本文方法克服了传统方法进行分割时存在的分割区域测度值区分度不大,即低纹理的图像分割问题,以及容易混淆前景与背景、收敛性能差、容易早熟等问题,使得在匹配时可以执行更多的特征点来获取视差,从而能够得到稠密的视差图。因为视差图与深度图之间存在数学对应关系,通过上述方法即能够得到高质量的深度图(图4)。同时,随着分割效率的提高,技术的可行性亦增强。

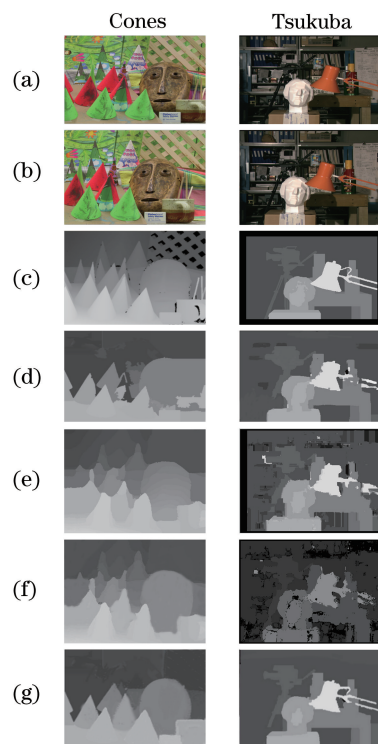


图4 实验结果对比。(a)左侧目标图像;(b)右侧目标图像;(c)真实深度图;(d)文献[17]方法;(e)文献[18]方法;(f)基于GA方法;(g)本文方法

Fig. 4 Comparison of experimental results. (a) Left target image; (b) right target image; (c) true depth map; (d) Ref. [17] method; (e) Ref. [18] method; (f) GA-based method; (g) proposed method

5 深度图

对上述通过立体匹配过程得到的所有的段视差图进行组合,获取整幅图片的视差图。然后再通过视差图与深度图的数学关系进行转换,即可得到图像最终的深度图。

5.1 实验结果

在实验中,分别利用文献[17]和[18]中的深度

获取方法,和基于 GA 分割匹配得到的深度图与本文方法进行对比。从图 4 可以看出,与其他算法相比,本文算法最明显的优势在于它对目标物体的分割更加清楚,明显,得到的深度图像更能反映出目标图像的真实场景。

5.2 实验结果分析

将通过本文方法计算得到的深度图与真实深度图进行分析,得到误差统计。实验所用图像对的基本参数如表 2 所示。

表 2 立体图像对参数

Table 2 Parameters of stereoscopic image pairs

Parameter	Cones	Tsukuba
Image size / (pixel×pixel)	450×375	384×288
Parallax range	0.59	0.15
Display grayscale	4	16

用 σ 表示求得的深度图与真实深度图的均方差,结果大于 0 且越接近于 0 的方法效果越好,即与真实深度图相差越小;用 DSS 表示求得的深度图与真实深度图像素差的平方和。各方法性能对比如表 3 所示。可以看出,基于本文方法所得到的深度图与真实深度图均方差值最小,并且更加接近于 0,且 DSS 也更小,说明本文方法得到的深度图更接近于真实深度图。

表 3 不同方法的性能比较

Table 3 Performance comparison of different methods

Method	Cones		Tsukuba	
	σ	DSS	σ	DSS
Proposed method	0.2540	1.2825×10^9	0.0360	2.3406×10^8
Ref.[17] method	0.3727	1.8818×10^9	0.0831	5.3952×10^8
Ref.[18] method	0.4012	2.0302×10^9	0.0968	6.2936×10^8
GA-based method	0.3285	1.6554×10^9	0.0684	4.4471×10^8

6 结 论

采用基于改进遗传算法的最佳熵阈值分割方法对图像进行分割,明显改善了分割的效果,并且较好地去除了噪声,在边缘处很好地保护了图像的特征等细节。相较于其他方法,阈值提高,并且处理时间较短。通过本文方法所得到的深度图的误匹配率较小,细节也得到了保护,得到的深度图更加真实有效。

参 考 文 献

[1] Ou P, Wu S, Zhou K. Fast human body

measurement method based on depth sensor skeleton tracking [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2017, 54(12): 121206.

欧攀, 吴帅, 周锴. 基于深度传感器骨骼追踪的快速人体测量方法[J]. 激光与光电子学进展, 2017, 54(12): 121206.

[2] Wang S K, Pan J X, Chen P. Adaptive segmentation algorithm for CT image sequence based on structure continuity as prior information [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2016, 53(11): 111006.

王苏恺, 潘晋孝, 陈平. 基于结构连续先验的 CT 图像序列自适应分割算法[J]. 激光与光电子学进展, 2016, 53(11): 111006.

[3] Yao G S, Sun S Y, Fang J A, *et al.* Infrared and radar based scene depth estimation of night driverless vehicle[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2017, 54(12): 121003.

姚广顺, 孙韶媛, 方建安, 等. 基于红外与雷达的夜间无人车场景深度估计[J]. 激光与光电子学进展, 2017, 54(12): 121003.

[4] Ju Q, An P, Zhang Q, *et al.* Depth extraction method based on multi-view stereo matching [J]. Computer Engineering, 2010, 36(14): 174-176.

鞠芹, 安平, 张倩, 等. 基于多目立体匹配的深度获取方法[J]. 计算机工程, 2010, 36(14): 174-176.

[5] Zhou Y. The estimation and procession of the depth map[D]. Xi'an: Xi'an University of Electronic Science and Technology, 2008.

周颖. 深度图像的获取及其处理[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2008.

[6] Teulière C, Marchand E. A dense and direct approach to visual servoing using depth maps [J]. IEEE Transactions on Robotics, 2014, 30(5): 1242-1249.

[7] Hawe S, Kleinstaub M, Diepold K. Dense disparity maps from sparse disparity measurements [C]. IEEE International Conference on Computer Vision, 2011: 2126-2133.

[8] Su J, Li B, Wang Y Z. Infrared image enhancement based on PCNN segmentation and fuzzy set theory [J]. Acta Optica Sinica, 2016, 36(9): 0910001.

苏娟, 李冰, 王延钊. 结合 PCNN 分割和模糊集理论的红外图像增强[J]. 光学学报, 2016, 36(9): 0910001.

[9] Nie F Y, Li J Q, Zhang P F, *et al.* A threshold selection method for image segmentation based on Tsallis relative entropy[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2017, 54(7): 071002.

- 聂方彦, 李建奇, 张平凤, 等. 一种基于 Tsallis 相对熵的图像分割阈值选取方法[J]. 激光与光电子学进展, 2017, 54(7): 071002.
- [10] Miled W, Pesquet J C, Parent M. Dense disparity estimation from stereo images[C]// 3rd International Symposium on Image/Video Communications, 2006.
- [11] 章毓晋. 图象分割[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [12] Otsu N. A threshold selection method from gray level histograms[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(9): 1485-1490.
- [13] Kapur J N, Sahoo P K, Wong A K C. A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram[J]. Computer Vision Graphics & Image Processing, 1985, 29(3): 273-285.
- [14] Chong J S, Zhou X K, Wang H Q. Entropic thresholding method based on genetic algorithm[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 1999, 25(6): 747-750.
- 种劲松, 周孝宽, 王宏琦. 基于遗传算法的最佳熵阈值图像分割法[J]. 北京航空航天大学学报, 1999, 25(6): 747-750.
- [15] Yang H. Research on thresholding methods for image segmentation [J]. Journal of Liaoning University (Natural Sciences Edition), 2006, 33(2): 135-137.
- 杨晖. 图像分割的阈值法研究[J]. 辽宁大学学报(自然科学版), 2006, 33(2): 135-137.
- [16] Zhang W H. Region-SURF based image matching algorithm research [D]. Shanghai: East China University of Technology, 2011.
- 张万华. 基于区域 SURF 的图像匹配算法研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2011.
- [17] Mukherjee S, Guddeti R M R. A hybrid algorithm for disparity calculation from sparse disparity estimates based on stereo vision [C]. International Conference on Signal Processing and Communications, 2014: 1-6.
- [18] Wang Y B, Yang H Y, Lan S Y. Depth estimation of algorithm based on belief propagation and color segmentation[J]. Computer Technology Development, 2015, 25(9): 6-11.
- 汪永宝, 杨红雨, 兰时勇. 基于置信度传播和色度分割算法的深度估计[J]. 计算机技术与发展, 2015, 25(9): 6-11.