

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2013.06.008

基于边缘检测的 Kinect 深度图像去噪算法

邹星星¹, 钟 莎¹, 马增强^{1,2}

(1. 石家庄铁道大学 电气与工程学院, 河北 石家庄 050043;
2. 河北省交通安全与控制重点实验室, 河北 石家庄 050043)

摘要: Kinect 实时提取的深度图像映射得到的彩色图像以及目标背景分离图像边缘存在明显锯齿, 且图像噪声大, 质量较差。对此提出一种针对 Kinect 深度图像去噪算法。运用基于 Prewitt 算子的分块自适应阈值边缘检测算法可得到比较精细的图像边缘; 进而根据获取边缘信息对深度图像进行分类, 边缘区采用单向多级中值滤波算法进行降噪处理, 而非边缘区采用双向多级中值滤波算法进行降噪处理。最终利用 Kinect 得到边缘清晰, 噪声较小的高质量深度图像, 实验证明了算法的有效性。

关键词: 边缘检测; 多级中值滤波算法; Prewitt 算子; Kinect

中图分类号: TN911.73

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2013)06-0036-04

Kinect Depth Image Denoising Based on Edge Detection

Zou Xingxing¹, Zhong Sha¹, Ma Zengqiang^{1,2}

(1. School of Electrical and Electronics Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang Hebei 050043, China; 2. Key Laboratory of Traffic Safety and Control in Hebei, Shijiazhuang Hebei 050043, China)

Abstract: The depth image and the target background image separation captured by Kinect real-time extraction exist obvious serrated and loud image noise. Proposes a denoising algorithm for Kinect depth image. Applies the auto-regulative thresholds edge detection algorithm based on Prewitt operator to obtain fine image edge, then classifies the depth image according to the edge information, and reduces noises of the edge region by the unidirectional multistage median filtering algorithm, while suppresses noises at non edge region by the bidirectional multistage median filtering algorithm. Finally, acquires high quality depth images of clear-edge and small noise by the proposed Kinect algorithm, and verifies the effectiveness of the algorithm.

Keywords: edge detection; multistage median filtering algorithm; Prewitt operator; Kinect

0 引言

健全的交互式人体追踪已经在游戏、人机交互、安全工程、远程呈现以及卫生保健等行业中得到了广泛应用^[1]。作为一款同时采集场景纹理和深度的视觉计算器, Kinect 价格低廉又可以提取高分辨率

的深度图像, 十分顺应当下人机交互领域的要求, 在近几年迅速成为研究热点。在微软公司为用户提供的程序包中, 提供了一种“用户分割”的功能, 如图 1 所示。利用这款程序, 可实现任意场景的快速转换, 如图 2 所示。

这种“用户分割”技术不仅应用广泛, 其核心算

收稿日期: 2013-10-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11372199), 国家级大学生创新创业训练计划基金资助项目(201210107005)

作者简介: 邹星星(1993-), 女, 湖南衡阳人, 石家庄铁道大学学生, 主要研究方向为图像处理,

E-mail: vivi_zou0_0@hotmail.com

法(基于深度图像的物体与背景分离技术)更是人机交互研究中的技术瓶颈。深度数据作为 Kinect 核心及人际交互的重要桥梁, 针对深度图像的边缘检测及降噪处理是 Kinect 后续开发应用时必须面对的实际问题。



图1 Kinect 自带“用户分割”程序

Fig. 1 “User segmentation” program of Kinect



图2 利用 Kinect 在不同场景快速穿梭

Fig. 2 Shuttling in different scenes by Kinect

Kinect 深度数据的提取强调性能与效率, 提取的深度图像质量较差, “用户分割”存在明显锯齿^[2]。为确保后续应用, 必须对深度图像进行边缘检测及降噪处理^[3]。处理深度图像的算法中, 目前比较普遍的是中值滤波算法。即循环遍历所有像素点, 取新的像素值为周围 9 个点像素的平均值或中间值^[4]。虽然中值滤波算法相对简单, 但对深度图像边缘检测以及降噪处理效果上都不足以满足后续应用。

本文针对深度图像经中值滤波算法处理后边缘模糊、图像质量不高的缺陷, 提出一种基于边缘检测及分类多级中值滤波的深度图像去噪及增强算法。针对边缘分割不精准问题采取了基于 Prewitt 算子的分块自适应阈值算法对图像进行边缘检测。在图像降噪方面, 单向多级中值滤波算法保护细节能力强而降噪效果差, 而双向多级中值滤波算法可以很好

地抑制噪声, 但不可避免地带来边缘的模糊效应。因此本算法利用边缘检测获取的边缘信息对图像进行分类选取降噪算法, 以解决上述困境。由此获得边缘明显且噪声低的深度图像, 同时很好地解决了物体与背景分离时物体边缘锯齿明显, 获取图像质量较低的诟病。

1 算法框架

中值滤波算法是最优针对椒盐噪声的去噪算法。但其在保护细节能力上弱于单向多级中值滤波算法, 同时在降噪效果上弱于双向多级中值滤波算法^[5]。故本算法在图像边缘区采取单向多级中值滤波算法保护边缘细节, 在非边缘区采取双向多级中值滤波算法以达到最好的降噪效果。为获取边缘信息作为判断依据, 本算法首先采用基于 Prewitt 算子的分块自适应阈值算法对深度图像进行边缘检测, 以获取精准边缘信息。主要算法框架如图 3 所示。

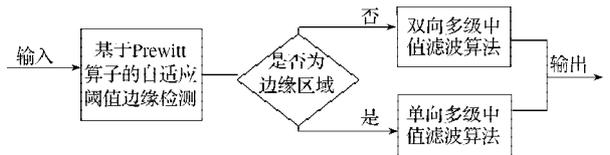


图3 Kinect 深度图像边缘检测算法框图

Fig. 3 Block diagram of Kinect depth image edge detection algorithm

1.1 基于 Prewitt 算子边缘检测

边缘检测的基本思想是首先利用边缘增强算子, 突出图像中的局部边缘, 然后定义像素的边缘强度, 通过设置门限的方法提取边缘点集。目前, 比较常见的边缘检测方法主要采用基于 Roberts 算子、LOG 算子、Sobel 算子和拉普拉斯算子的检测方法或基于连续小波的检测方法^[6]。

由于处理的是深度图像, 所以本算法采用的是基于 Prewitt 算子的边缘检测算法^[7]。这是一种一阶微分算子的边缘检测, 利用像素点上下、左右邻点的灰度差, 在边缘处达到极值检测边缘, 去掉部分伪边缘, 对噪声具有平滑作用。具体算法如下:

将深度图像定义为 $f(x, y)$, 则对应 Prewitt 算子的定义为:

$$G(i) = \left[\begin{matrix} f(i-1, j-1) + f(i-1, j) + f(i-1, j+1) \\ f(i+1, j-1) + f(i+1, j) + f(i+1, j+1) \end{matrix} \right] \quad (1)$$

$$G(j) = \left[\begin{matrix} f(i-1, j+1) + f(i, j+1) + f(i+1, j+1) \\ f(i-1, j-1) + f(i, j-1) + f(i+1, j-1) \end{matrix} \right] \quad (2)$$

$P(i, j) = \max[G(i), G(j)]$ 或 $P(i, j) = G(i) + G(j)$ 。(3)
式(1)~(3)中: i, j 为图像横向纵向像素点; G 函数代表像素点所具有的灰度新值。

凡灰度新值大于或等于阈值的像素点都是边缘点。需选择适当的阈值 T , 若 $P(i, j) \geq T$, 则点 (i, j) 为边缘点, $P(i, j)$ 为边缘图像。

一般的, 图像中都有灰度变化平坦、尖锐区域, 不同区域阈值应根据变化率来确定其大小。而经典 Prewitt 算子阈值选取固定, 容易出现边缘丢失情况。本文采取了分块自适应阈值选择算法解决这一问题。在灰度变化率不高的地方, 边缘也能有效检测, 进而获取更为精确的边缘信息。

将图像分为 3×3 的各小区域, 3×3 的 (i, j) 相邻像素在 Prewitt 算子梯度幅值计算时的各像素点关系如表 1 所示。

表 1 Prewitt 算子中各个像素点的关系

Table 1 Relationship of each sub-pixel in Prewitt

| | | |
|--------------|------------|--------------|
| $(i-1, j-1)$ | $(i, j-1)$ | $(i+1, j-1)$ |
| $(i-1, j)$ | (i, j) | $(i+1, j)$ |
| $(i-1, j+1)$ | $(i, j+1)$ | $(i+1, j+1)$ |

动态阈值的选取为计算 3×3 区域内 9 个像素最大值的平均值与最小值的平均值, 再取两者均值作为阈值。具体公式如下:

$$f_{\max} = \max\{f(i-1, j-1), f(i, j-1), \dots, f(i+1, j+1)\}, \quad (4)$$

$$f_{\min} = \min\{f(i-1, j-1), f(i, j-1), \dots, f(i+1, j+1)\}, \quad (5)$$

$$T = (f_{\max} + f_{\min}) / 2. \quad (6)$$

1.2 多级中值滤波算法

本算法选择了专门针对椒盐噪声的中值滤波算法 (median filter, MF) 进行降噪处理。中值滤波法是一种非线性平滑技术, 它将每一像素点的灰度值设置为该点某邻域窗口内的所有像素点灰度值的中值^[8]。然而, 中值滤波算法处理得到的深度图像降噪效果存在缺陷。本算法改进了标准中值滤波算法而采用分类式多级中值滤波器。

多级中值滤波器共有两种, 分别是单向多级中值滤波器 (multi-level median, MLM₋) 和双向多级中值滤波器 (MLM₊)。在细节保护能力上, 单向多级中值滤波器最好, 标准中值滤波器次之, 双向多级中值滤波器再次之; 然而在滤噪性能上, 双向多级中值滤波器整体滤噪性能优于单向多级中值滤波器和标准中值滤波器。所以本算法结合两者的优点, 通过判断边缘区域进行分类, 针对不同区域选择不同

的滤波器进行去噪。边缘区域信息由上节边缘检测算法得到。降噪算法具体如下。

设 (i, j) 是获取到的深度图像的像素点。

1) 定义子窗口。对中心位于当前像素点的 $(2N+1) \times (2N+1)$ 的矩形窗口, 定义如下子窗口:

$$W_1(i, j) = \{(i+n, j); -N \leq n \leq N\}, \quad (7)$$

$$W_2(i, j) = \{(i, j+n); -N \leq n \leq N\}, \quad (8)$$

$$W_3(i, j) = \{(i+n, j+n); -N \leq n \leq N\}, \quad (9)$$

$$W_4(i, j) = \{(i+n, j-n); -N \leq n \leq N\}, \quad (10)$$

$$W_5(i, j) = W_1(i, j) \cup W_2(i, j), \quad (11)$$

$$W_6(i, j) = W_3(i, j) \cup W_4(i, j). \quad (12)$$

2) 定义单向多级中值滤波器。基于前 4 个子窗口的中值为

$$Z_k(i, j) = \text{median}[f(m, n), \quad (m, n) \in W_k(i, j), k = 1, 2, 3, 4], \quad (13)$$

式中 median[*] 表示中值滤波。

所有值中最大值与最小值分别为:

$$Y_{\max}(i, j) = \max_{1 \leq k \leq 4} Z_k(i, j), \quad (14)$$

$$Y_{\min}(i, j) = \min_{1 \leq k \leq 4} Z_k(i, j). \quad (15)$$

单向中值滤波输出定义为:

$$Y_{\text{MLM}_-}(i, j) = \text{median}[Y_{\max}(i, j), Y_{\min}(i, j), f(i, j)]. \quad (16)$$

定义双向多级中值滤波器。其基于子窗口 5 与子窗口 6 的中值为:

$$Z_k(i, j) = \text{median}[f(m, n), (m, n) \in W_k(i, j), k = 5, 6]. \quad (17)$$

类似地, 其最大值、最小值为:

$$Y_{\max}^+(i, j) = \max_{5 \leq k \leq 6} Z_k(i, j), \quad (18)$$

$$Y_{\min}^+(i, j) = \min_{5 \leq k \leq 6} Z_k(i, j). \quad (19)$$

双向多级中值滤波器输出为

$$Y_{\text{MLM}_+}(i, j) = \text{median}[Y_{\max}^+(i, j), Y_{\min}^+(i, j), f(i, j)]. \quad (20)$$

遍历像素点 $P_1(i, j)$ 带入上节算法获取的边缘点 $P(i, j)$ 中, 判断是否为边缘点。

将边缘点带入单向多级中值滤波算法的输出函数

$$Y_{\text{MLM}_-}(i, j) = \text{median}[Y_{\max}(i, j), Y_{\min}(i, j), f(i, j)]. \quad (21)$$

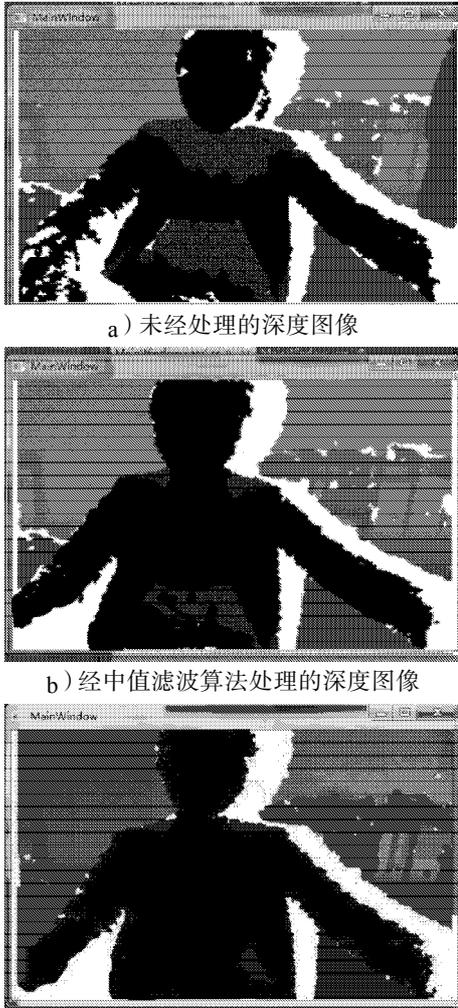
将非边缘点带入双向多级中值滤波算法的输出函数

$$Y_{\text{MLM}_+}(i, j) = \text{median}[Y_{\max}^+(i, j), Y_{\min}^+(i, j), f(i, j)]. \quad (22)$$

2 实验结果与分析

边缘检测及降噪算法的评价主要依据获取图像

的边缘清晰度及图像噪声大小。图 4 给出了未经算法处理的 (图 a)、经中值滤波算法处理的 (图 b) 及经本文算法处理的深度图像 (图 c)。对比图 4a, 4b, 4c, 未经处理的深度图像噪声明显, 边缘模糊, 伪边缘过多; 经中值滤波算法处理的比相对本算法的边缘相对模糊, 降噪效果也相对较差。



a) 未经处理的深度图像

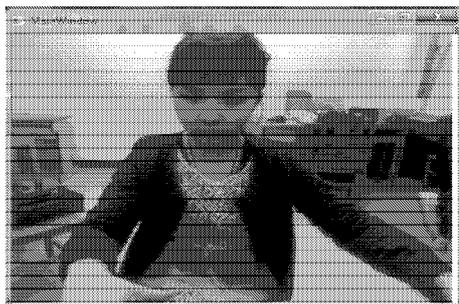
b) 经中值滤波算法处理的深度图像

c) 经本文算法处理的深度图像

图 4 不同算法得到的深度图像

Fig. 4 The images of different algorithms

为进一步检验本本算法边缘检测的精确及降噪效果, 给出加入算法前后的彩色图像对比见图 5 以及加入算法前后物体与背景分离效果见图 6。



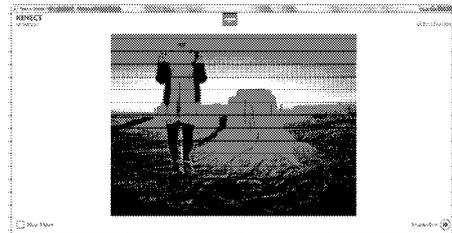
a) 处理前



b) 处理后

图 5 算法加入前后彩色图像

Fig. 5 The color images before and after the algorithm introduced



a) 处理前



b) 处理后

图 6 算法加入前后“用户分割”功能对比图

Fig. 6 The contrast of “user-segmentation” function before and after the algorithm introduced

本算法在 PC 机上实现了 20~30 帧/s 的处理速度, 实验证明即使 Kinect 深度图像是实时性获取的, 本算法依然能对所有获取的深度图像进行很好地处理。

3 结论

本文针对 Kinect 深度图像现有处理算法存在的边缘检测不精准及图像噪声大两个问题, 提出了一种基于边缘检测的深度图像去噪算法。该算法具有以下特点: 1) 通过基于 Prewitt 算子的边缘检测获取深度图像的边缘信息, 同时为确定最优阈值, 而利用分块动态阈值算法为基于 Prewitt 算子的边缘检测提供适当阈值, 确保了检测的精确性; 2) 在去噪算法上, 通过由边缘检测算法得到的边缘信息, 对边缘区进行判断。边缘区采用单向多级中值滤波算法重点保护边缘信息, 非边缘区采用双向多级中值滤波算法, 着重进行降噪处理, 以获取高质量图像。实验证明, 本文提出的算法在提取高质 (下转第 72 页)