

# 一种基于双边滤波的图像边缘检测方法

李德军, 赵文杰, 谭海峰, 陈永甜

(空军航空大学, 吉林 长春 130022)

**摘要:**提出了一种基于双边滤波的图像边缘检测方法。利用图像像素的空间邻近度和灰度相似度的乘积来代替传统的Canny算法中高斯滤波的权系数,用该乘积与原图像进行卷积运算,然后通过非极大值抑制和高低阈值的方法检测出图像的边缘。基于双边滤波的图像边缘检测方法不仅有效地去除了图像中的噪声,而且很好地检测出了图像的真实边缘。

**关键词:**双边滤波;图像平滑;边缘检测;非极大值抑制

**中图分类号:**TP391.4

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2007)04-0161-03

## A New Method of Edge Detection Based on Bilateral Filtering

LI De-jun, ZHAO Wen-jie, TAN Hai-feng, CHEN Yong-tian

(Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China)

**Abstract:** In this paper, a new method of edge detection based on bilateral filtering is presented. This method makes use of the product of geometric closeness and photometric similarity replace coefficient of Gaussian filter in Canny arithmetic. This product convolves with image and uses non-maxima suppression, two threshold methods detect boundary of image. Edge detection based on bilateral filtering method not only filters noise, but also effectively detects the real boundary of image.

**Key words:** bilateral filtering; image smoothing; edge detection; non-maxima suppression

## 0 引言

边缘检测是图像处理和计算机视觉的一个重要组成部分<sup>[1]</sup>。在进行边缘检测之前一般都会对所检测的图像进行滤波处理,去除噪声以提高边缘检测的效果。一般的滤波方法在平滑图像的过程中,往往不可避免地产生了边缘模糊。

为了在图像滤波的过程中保留住图像的边缘,并且达到平滑的效果,更好地检测出图像的真实边缘,文中提出了一种基于双边滤波的图像边缘检测方法,它结合图像的空间邻近度和灰度相似度的关系,利用空间邻近度和灰度相似度的乘积来代替传统的Canny算法中高斯滤波器的权系数<sup>[2]</sup>,通过与原图像进行卷积运算后进行边缘检测。与传统的Canny算法相比,它不仅有效地去除了图像中的噪声,而且尽可能地检测出了图像的真实边缘,在实际的应用中得到了较好的效果<sup>[3]</sup>。

## 1 基本算法

### 1.1 双边滤波

双边滤波(Bilateral Filtering)首先是由Tomasi和Manduchi提出的<sup>[4]</sup>。传统的低通滤波假定图像上的一点与其邻域内的点的灰度是相似的,与噪声是不相关的;而图像边缘上的点与它两边的点有着很大的差异,因此在滤波的过程中就不可避免地去除了图像的高频分量,造成了边缘的丢失。而双边滤波在处理相邻各像素值的灰度时,不仅考虑到了空间的邻近关系,也考虑到了灰度的相似关系,通过对二者的非线性组合,自适应滤波得到平滑图像。对于图像 $f(x)$ ,在空间范围内进行低通滤波得到的图像为 $I(x)$ ,则:

$$I(x) = k_d^{-1}(x) \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\epsilon) c(\epsilon, x) d\epsilon \quad (1)$$

其中 $c(\epsilon, x)$ 代表了中心点与它的邻近点 $\epsilon$ 的空间邻近度,在这里设 $x = (x_1, x_2)$ , $\epsilon = (\epsilon_1, \epsilon_2)$ 为图像的空间坐标。如果低通滤波保留的是信号中的直流分量,那么

$$k_d(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} c(\epsilon, x) d\epsilon \quad (2)$$

如果滤波器具有移不变性质, $c(\epsilon, x)$ 就是向量 $\epsilon$ 与 $x$ 的差。同理,在灰度范围内进行滤波的方法与空间范围内的方法相似,它表示为:

$$I(x) = k_r^{-1}(x) \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\epsilon) s(f(\epsilon), f(x)) d\epsilon \quad (3)$$

收稿日期:2006-07-05

基金项目:空军预研基金资助项目(HTEHY2002013)

作者简介:李德军(1981-),男,河北秦皇岛人,硕士研究生,研究方向为数字信号分析与数字图像处理;赵文杰,博士,副教授,研究方向为数字信号分析与数字图像处理、计算机应用。

其中  $s(f(\varepsilon), f(x))$  代表了中心点  $x$  与它的邻近点  $\varepsilon$  的灰度相似度。此时,

$$k_r(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} s(f(\varepsilon), f(x)) d\varepsilon \quad (4)$$

与空间邻近度不同的是,灰度相似度是由图像间两点灰度的差值来决定的。根据式(1)与式(3),将空间邻近度与灰度相似度相结合进行滤波,这样得到的输出图像为:

$$k(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} c(\varepsilon, x) s(f(\varepsilon), f(x)) d\varepsilon \quad (5)$$

这种将空间邻近度和灰度相似度相结合进行滤波的方法就称为双边滤波。双边滤波器的特点是对图像的每一点用其空间相邻且灰度相近的像素的平均值代替原来的值,从而达到滤波的效果。在图像变化平缓的区域,一个小的邻域内图像的灰度变化不大,近似为常数,这时双边滤波器转化为标准的低通空域滤波器。而在图像变化剧烈的区域,滤波器用边缘点邻域内灰度相似的像素点的灰度平均值代替原灰度值<sup>[5]</sup>。双边滤波既可以达到滤波的效果又可以保持图像的边缘细节,因此是一种很有应用价值的滤波方法。

一般情况下,双边滤波器的空间邻近度函数  $c(\varepsilon, x)$  和灰度相似度函数  $s(f(\varepsilon), f(x))$  都取为参数为欧几里得距离的高斯函数,通常定义为:

$$c(\varepsilon, x) = e^{-0.5(\frac{d(\varepsilon, x)}{\sigma_d})^2} \quad (6)$$

$$s(\varepsilon, x) = e^{-0.5(\frac{\delta(f(\varepsilon), f(x))}{\sigma_r})^2} \quad (7)$$

其中  $d(\varepsilon, x)$  和  $\delta(f(\varepsilon), f(x))$  分别为图像间两点的欧几里得距离及像素的灰度差,  $\sigma_r$  是基于高斯函数的灰度标准差。

## 1.2 计算梯度幅值和方向

采用  $2 \times 2$  邻域内的一阶导数的有限差分来计算平滑后的图像  $I(x, y)$  的梯度幅值和方向,其中  $P_x(i, j)$  和  $P_y(x, y)$  分别为  $x$  和  $y$  方向上的偏导数。此时,像素的梯度幅值和方向分别为:

$$M(i, j) = \sqrt{P_x(i, j)^2 + P_y(i, j)^2} \quad (8)$$

$$\theta(i, j) = \arctan(P_x(i, j)/P_y(i, j)) \quad (9)$$

## 1.3 进行非极大值抑制

使用 Canny 算法中的非极大值抑制方法精确定位边缘,细化梯度幅值图像  $M(i, j)$  中的屋脊带,只保留幅值局部变化最大的点。在非极大值抑制过程中<sup>[2]</sup>,使用  $3 \times 3$  大小,包含 8 邻域方向对梯度幅值  $M(i, j)$  中所有像素沿梯度方向进行梯度幅值的插值,这一过程把  $M(i, j)$  宽屋脊带细化为一个像素宽,并且保留了屋脊的梯度幅值。

## 1.4 基于双阈值方法的边缘检测

双阈值算法是对经过非极大值抑制的图像  $M(i, j)$  分别使用高、低两个阈值分割得到两个阈值边缘图

像  $T_H$  和  $T_L$ 。由于图像  $T_H$  是由高阈值得到,因此它应该不含有假边缘,但  $T_L$  可能在轮廓上有间断。因此双阈值算法要在  $T_H$  中把边缘连接成轮廓,当达到轮廓端点时,该算法就在由低阈值得到的边缘图像  $T_L$  的 8 邻域位置寻找可以连接到轮廓上的边缘,这样,利用递归跟踪的算法不断地在  $T_L$  中搜集边缘,直到将  $T_H$  中所有的间隙都连接起来为止。

## 2 实验分析

### 2.1 图像滤波

本实验选取了飞机模型图像作为实验图像(见图 1),大小为  $256 \times 256$ (像素);图 2 是被均值为 0,方差为 0.01 的高斯白噪声污染的图像;使用双边滤波的方法对图 2 进行平滑处理。为了便于比较,在这里列出了传统的高斯平滑图像。图 3 是使用模板为  $5 \times 5$ ,  $\sigma_d = 5$  的高斯滤波后的图像;图 4 是使用模板为  $5 \times 5$ ,  $\sigma_d = 5$ ,  $\sigma_r = 5$  的双边滤波后的图像。

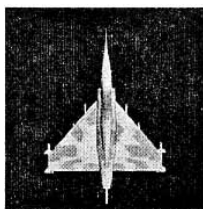


图 1 原始图像

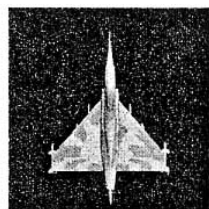


图 2 高斯噪声图像

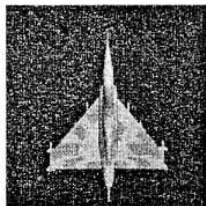


图 3 高斯滤波图像

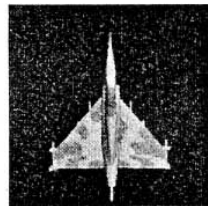


图 4 双边滤波图像

通过比较可以明显地看出,图 3 是高斯滤波后的图像,虽然很好地去除了高斯白噪声,但同时造成了图像模糊,边缘丢失现象严重;图中飞机边缘比较模糊,飞机轮廓与原图像相比也很不明显;图 4 是经过双边滤波后的图像,在与图 3 的比较中不难发现,图 4 中飞机的边缘和整体轮廓比较明显,在去除了图像中噪声同时保留了图像的边缘,而且图像边缘部分信息保留更加完整。

### 2.2 边缘检测

使用双边滤波的方法代替传统的 Canny 算法中高斯滤波法进行图像平滑<sup>[6]</sup>,然后通过非极大值抑制和双阈值方法处理后得到的边缘图像如图 5 所示,其中高低阈值分别为  $[0.13, 0.29]$ 。图 6 是使用传统的 Canny 算法得到的边缘图像,其中高低阈值分别为  $[0.$

05,0.14]。从图5和图6的比较中不难发现,图5的边缘连贯性要比图6好,并且孤立的噪声点非常少,边缘的定位准确,虚假边缘出现比较少,检测效果比较好。

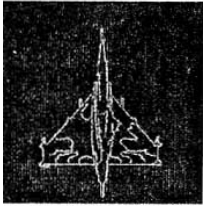


图5 双边滤波的边缘图像

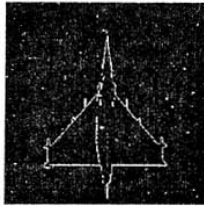


图6 Canny算法的边缘图像

### 3 结论

文中采用了基于双边滤波的方法进行图像的边缘检测处理,它不仅使用了像素的空间关系,而且包括了像素间的灰度关系,用像素的空间邻近度和灰度相似度的乘积来代替传统的Canny算法中高斯滤波的权系数进行图像平滑,然后通过非极大值抑制和高低阈值的方法检测出图像的边缘。与传统的Canny边缘检测方法相比较,它不仅能有效地去掉图像中的噪声保留

图像的形状特征,而且有效地检测出了图像的真实边缘,定位精度高,是一种非常实用的边缘检测方法。

### 参考文献:

- [1] Philippe Saint - M, Chen Jer - Sen. Adaptive Smoothing: A General Tool for Early Vision[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(6): 514 -- 529.
- [2] Canny J. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679 -- 698.
- [3] Caponetti L, Abbattisti N. A genetic approach to edge detection[C]//Int Conf Image Processing. [s. l.]: [s. n.], 1994.
- [4] Tomasi C, Manduchi R. Bilateral Filtering for Gray and Color Images[C]//Proceedings of sixth international conference on computer vision (ICCV'98). Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 1998.
- [5] Barrash D. A Fundamental Relationship between Bilateral Filtering, Adaptive Smoothing, and the Nonlinear Diffusion Equation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(6): 844 -- 847.
- [6] 蔡超. 小波域中的双边滤波[J]. 电子学报, 2004, 32(1): 128 -- 131.

(上接第160页)

```
switch(policy){
    case SCHED_FIFO;
    case SCHED_RR:
        ret = 1; break;
    case SCHED_OTHER:
        ret = 0; break;
}
return ret;
}
```

SCHED\_FIFO和SCHED\_RR都只用于实时任务,即静态优先级大于0的情况。这两种策略,按照可抢占优先级调度算法进行。一旦有SCHED\_FIFO或SCHED\_RR的任务就绪,将立即抢占SCHED\_OTHER的任务而投入运行。使用SCHED\_FIFO的任务将一直运行,直到有更高优先级的任务到达。在任务的执行过程中,任务可以主动调用Sched\_Yield()函数让出处理器,或是调用exit()函数退出运行。另外,如果任务因申请资源或执行I/O操作而被阻塞,也将让出处理器。SCHED\_RR策略可以看作是SCHED\_FIFO策略的增强,上面关于SCHED\_FIFO的描述,同样适用于SCHED\_RR,除了任务只允许运行一个时间片以外,当一个SCHED\_RR的任务连续运行的时间大于

等于时间片的大小时,该任务被剥夺运行,其PCB将放到该任务所处优先队列的队尾。

### 4 小结

文中对基于 $\mu$ Clinux的嵌入式系统的任务管理做了初步的研究,为进一步研究基于 $\mu$ Clinux系统的任务同步与通信的研究、基于 $\mu$ Clinux进行ARM嵌入式系统开发和应用做准备。

### 参考文献:

- [1] 陈渝,李明,杨晔,等. 源码开放的嵌入式系统软件分析与实践[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2004: 10 -- 11.
- [2] 魏洪兴,胡亮,曲学楼. 嵌入式系统设计与实践开发实验教材 II[M]. 北京:清华大学出版社, 2005: 69 -- 72.
- [3] 姚君兰. 增强Linux内核实时任务调度性能的研究[J]. 微计算机信息, 2006, 22(5-2): 42 -- 44.
- [4] 刘峥嵘,张智超,许振山,等. 嵌入式Linux应用开发详解[M]. 北京:机械工业出版社, 2004.
- [5] 汪建新,潘雪珍. 一个嵌入式实时操作系统的设计[J]. 江南大学学报:自然科学版, 2005, 4(4): 375 -- 377.