

中图法分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)07-1159-05

论文索引信息: 刘鹏程, 贾渊. 改进的样本块修补算法去除肉品图像反光 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(7): 1159-1163

改进的样本块修补算法去除肉品图像反光

刘鹏程, 贾渊

(西南科技大学计算机学院, 绵阳 621000)

摘要: 由于肉品中存在水分, 在可见光下采集图像就会产生反光区域, 进而导致肌肉信息部分丢失。为了提高获取肉品图像相关信息的准确性, 需尽量还原反光区域。在基于样本块的图像修补算法基础上, 结合肉品图像特点, 提出改进算法: 用 Prewitt 算子代替 Robert 算子, 使信息缺损区域的线性结构得到更好的保持; 采用二次匹配法减少搜索最佳匹配块过程中的扫描数据量, 比原算法节约约 2/3 的修复时间; 在修复过程中加入 α 剪裁均值滤波消除接缝效应, 使得修复结果更好地满足视觉心理学要求。实验结果表明, 改进的修补算法在效率和修复效果上优于原算法, 不仅可用于肉品图像反光区域的修复, 对其他图像的修复也有效。

关键词: 肉品图像; 图像修复; 二次匹配; 接缝效应

Remove the glint of meat image with an improved inpainting algorithm based on exemplar patch

Liu Pengcheng, Jia Yuan

(College of Computer Science and Technology, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621000 China)

Abstract: Because of moisture in meat, there would be reflective area in the meat image under visible light, which lead to the loss of some muscle information. In order to improve the accuracy of obtaining meat image's related information, it is necessary to restore the reflective area as much as possible. Based on the algorithm of image completion by exemplar path, with the feature of meat image, an improved algorithm is presented in this paper. First, replacing Robert operator with Prewitt, so that the LISREL of information lost area get better preserved. Then, by using twice matching method, the amount of scanning data is reduced in the process of searching the best matched block, and the repair time is saved about 2/3 of original algorithm. After that, to eliminate seam effects, adding α -cut Mean Filter in the process of inpainting, it makes the repair results meet the requirements of visual psychology better. The experimental results show that both the inpainting efficiency and effect of improved algorithm are better than the original, and the method can not only repair the reflective area of meat image, but also be useful for other images' inpainting.

Keywords: meat image; image inpainting; twice matching; seam effect

0 引言

肉品中水分的存在, 在可见光下其图像的肌肉部分会产生反光, 反光部分被当做脂肪去除, 使得提取的相关信息如面积、脂肪颗粒数等重要参数不准

确, 因此需要修复反光部分。目前应用于图像修复技术上的思想主要有两类: 第 1 类是基于偏微分方程的图像修复技术, 如整体变分、曲率驱动扩散、弹性修复模型等方法^[1-5]。其中, TV 修复模型关键思想是在约束条件下求泛函极值的过程, 具有形态学不变性, 但和 Mumford-Shah 模型一样, 在较大区域

收稿日期: 2009-11-30; 修回日期: 2009-12-30

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)基金项目(2008AA10Z211)。

第一作者简介: 刘鹏程(1987—), 男。现为西南科技大学计算机学院计算机应用技术专业在读研究生, 主要研究方向为图像处理、偏微分方程。E-mail: liupc_swust@yahoo.com.cn。

的修复上不能很好地满足连接性^[6]。Chan 等人通过在 TV 模型扩散系数中加入惩罚项而提出了 CDD 模型,满足了“连接线准则”,与基于三阶偏微分方程的 BSCB 模型和改进 Mumford-Shah 能量公式的 Mumford-Shah-Euler 模型一样,实现过程抽象复杂,收敛性不好^[7]。同时,基于偏微分方程的修复方法需要大量的迭代运算,速度慢,对纹理的修复效果不好^[8];第 2 类基于纹理合成的图像修复技术^[9-12],在全图信息完好区域搜索与待修补块最相似的块直接复制进行修复,修复速度快,适合修复单一纹理图像,但对有线性特征和多纹理的图像修复能力有限^[13]。

利用图像处理,实现对肉品品质的无损检测,需要将肉品图像的脂肪和肌肉信息准确提取。应用偏微分方程,实现对肉品图像反光部分的修复,尚未发现公开发表的论文。在基于样本块图像修补的基础上,通过改进梯度算子、采用二次匹配法、加入接缝效应消除等技术,尝试修复反光部分,并与相关算法进行了对比。

1 图像修复模型及改进

1.1 区域建模

肉品图像中,反光部分和脂肪的颜色亮度高于肌肉,呈现白色。预处理时可设定亮度阈值来确定反光区域及其边界点。对反光区域的建模如图 1 所示^[14],图中 I 表示肉品图像中的反光区域及其邻域的截图, Ω 表示的就是待修复的反光区域, $\delta\Omega$ 表示反光区域的边界线, Ψ_p 是以位于反光区域边界线上的 p 点为中心的待修复样本块, n_p 作为 p 点的法线矢量, $\nabla I_p^\perp$ 表示 p 点的等照度线方向, Φ 表示信息完好区域。

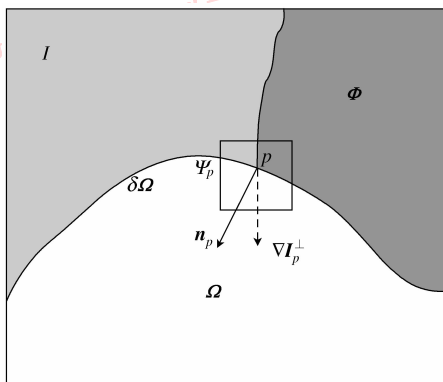


图 1 反光区域及其邻域示意图

Fig. 1 Map of reflective area's neighborhood and itself

1.2 算法描述

修复过程跟其他方法一样,也是从待修复区域的边缘开始向内修复,所以修复顺序的确定将和最终得到的修复效果、质量紧密相连。由传统的纹理合成修复图像技术知,待修复的样本区域内包含有效信息越多,具有越高的修复优先级^[12]。在借鉴传统纹理合成技术的同时,引入基于偏微分方程思想的等照度线强度约束修复顺序^[15],能够在保持纹理信息的同时很好地保持图像的线性结构。算法实现过程如下。

1) 确定修复顺序

借助像素等照度线方向约束的数据项和信任项约束修复顺序,优先修复边界线 $\delta\Omega$ 上高优先级边界点。以 p 点为例,其优先级 $P(p)$ 的计算形式为

$$P(p) = C(p)D(p) \quad (1)$$

式中,数据项 $D(p) = |\nabla I_p^\perp \cdot n_p|$, $\nabla I_p^\perp$ 表示点 p 灰度变化最小的方向,与点 p 处的梯度方向垂直, n_p 可通过求 p 点所处样本块 Ψ_p 内所有已知像素点到 p 点的方向单位矢量的平均值得到;信任项

$$C(p) = \sum_{q \in \Psi_p \cap \Phi} M(q), \text{ 初始时 } M(q) = \begin{cases} 0, & \forall q \in \Omega \\ 1, & \forall q \in \Phi \end{cases}$$

表示 p 点处样本块内有效像素点的个数。文献[14]在 $\nabla I_p^\perp$ 的计算上采用 Robert 梯度算子。本文采用 Prewitt 梯度算子,实验结果表明,具有更好的线性结构保持能力。

2) 搜索最佳匹配块

对于优先级最高的待修复样本块,将在图像的像素信息完好区域中选取最佳匹配块进行填充。采用模块间距来度量待修复样本块和参与匹配的目标块之间的相似度,进而搜索到与样本块最相似的目标块。数学表达式为^[15]

$$\Psi_q = \min_{\Psi_q \in \Phi} d(\Psi_p, \Psi_q) \quad (2)$$

式中, Ψ_p 表示待修复样本块, Ψ_q 为信息完好区域中的目标块, $d(\Psi_p, \Psi_q)$ 表示模块间距, $\min(\cdot)$ 表示选取与 Ψ_q 间距最小模块, Ψ_q 表示最佳匹配块。模块间距 $d(\cdot)$ 的计算可以通过求模块间对应像素点距离总和得到,常用的距离公式有 Man-Hattan 距离和欧氏距离^[15]。在基于样本块的修复模型中,由于每次填入的都是目标块中所有对应样本块信息缺损区域的像素,所以要求两者信息完好区域中每个对应像素点间距都很小,都为最相似,此时对单个像素点的差异影响较大;而从 Manhattan 距离形式中可知,对单个像素点差异影响小,因此不适用于这种情

况。欧氏距离通过平方项可以放大对单个像素点的差异所造成的影响,能有效反映出模块间匹配度。为了增强样本块与目标块间对应每个像素点相似度的健壮性,在欧氏距离基础上采用综合 RGB 颜色空间的欧几里得距离来计算目标块和源块之间的匹配度^[14],即

$$d(\Psi_p, \Psi_q) = \sqrt{|p_r - q_r|^2 + |p_g - q_g|^2 + |p_b - q_b|^2} \quad (3)$$

式中, p_x 和 q_x 分别表示待修复样本块和源目标块对应有有效像素点的颜色分量。

在搜索最佳匹配块的过程中发现,相比于常用的遍历匹配法,采用先隔行隔列粗略搜索最佳匹配块中心点位置,再在此中心点位置的八邻域点内精确搜索最佳匹配块进行修复的二次匹配法^[16]在修复效果上相差不大,但所需时间仅是前者的 1/3。

3) 模块复制修复及优先权信息更新

搜索到当前待修复样本块的最佳匹配块后,立即执行模块修复,以复制的方式修复样本块中无效信息区域的像素信息。但在图像的修复过程中,待修复样本块中很多像素点状态发生变化。样本块中的原边界点将变成内部点,样本块中位于无效信息区域内点或变为已知点或变为边界点。为了下一次修复顺序的正确计算,需要及时更新相应点的边界标识和信任度信息。

4) 接缝效应的消除

在图像的修复过程中,由于是采用样本块修复,所以介于边界 $\delta\Omega$ 两边的模块之间的颜色强度变换和纹理特征会在一定程度上带来接缝效应,进而影响视觉效果。为了更好地满足视觉上的连通性、自然性,需要让待修复样本块中无效区域的边界成为连通模块间的桥梁,在一定程度上缓解模块差异引起的接缝效应。本文借用 α 剪裁均值滤波^[17]方法对位于无效区域边界线上的边界点施行滤波。数学表达式为

$$f(x, y) = \frac{1}{N - 2P} \sum_{i=p}^{N-P} f_i(x, y) \quad (4)$$

式中, $f(x, y)$ 表示当前点像素值, N 是模板内像素的个数, P 是剪裁掉的极大或极小像素点的个数。

基于灰度值剪裁后,便知哪些像素点参与滤波运算,因此可将其扩展应用到彩色图像。实验结果表明,此方法简单、有效,在较好地消除待修补区域内接缝效应的同时还能达到滤波的效果。

5) 重复以上过程,直至所有的反光区域修复完毕。

2 实验及结果分析

为了比较各算法的性能,在 Windows XP 环境下进行了实验,实验平台的基本情况如下:程序语言为 C++, 运行环境是 VC6.0 和 QT 库,实验机器是 Pentium 4, 3.00 GHz, 512 MB 内存的方正 PC, 图像修复效果的评价目前仍以主观评价结合人类视觉心理学为主,图像修复效果的对比主要在原文修复模型与改进模型之间展开。

图 2(a) 为猪肉图像切片, (b) 中的白色区域为人工模拟。选择的参数为:修复模板 9×9 ; α 剪裁均值滤波模板大小 3×3 ; 剪裁参数 3。各算法的处理结果如(c)~(f)所示。(c)表示原文修复模型的修复结果,接缝效应和视觉连通性均低于图(f)。(d)表示只改进梯度算子,其边界更准确、自然,但视觉连通性不够好且明显存在接缝效应(放大可发现)。(e)表示在改进梯度算子基础上,加入了二次匹配,与原算法相比,速度更快,线性结构保持更好,但在视觉连通性和接缝效应上仍存在问题。(f)即本文算法修复结果,其速度、线性结构保持、视觉连通性及接缝效应处理效果均优于前述各算法。

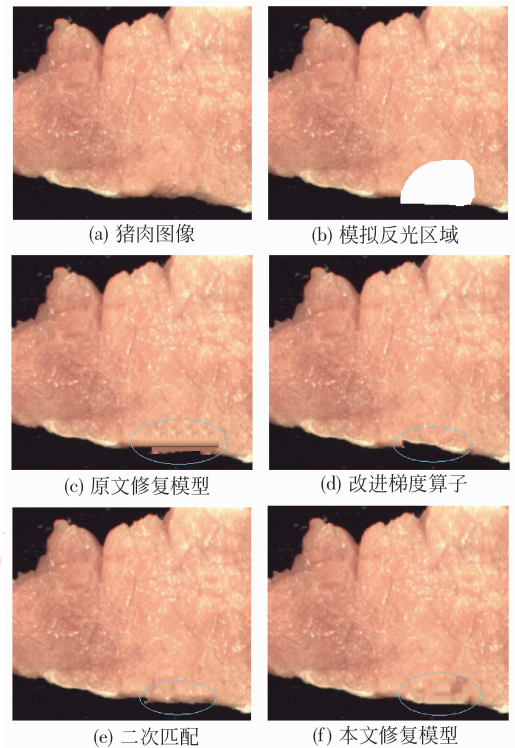


图 2 修复能力对比

Fig. 2 Inpainting capacity compare

为了进一步验证改进算法的效率和修复效果,进行了大量的实验。除了选择肉品图像外,还选择了如 Lena 图、自然风景图、人物图等。鉴于篇幅关系,就不一一列出,表 1 给出了其中 15 幅图像(第 2 幅—第 11 幅为肉品图片,第 12 幅为 Lena 图,第 13、14 幅为 人物图,第 15、16 幅为风景图)相关的实验结果。对比数据包括修补区域与原图像对应区域之间灰度值差异的标准差,平均值及算法运行时

间(标准差和平均值越大说明与原图相似程度越低)。通过表 1 和目测,可以得出如下结论:

1)改进算法在线性结构保持、视觉连通性及接缝效应处理效果方面都优于原算法,改进有效。

2)改进算法在与原图相似度、运行时间方面都优于原算法,改进有效。少数相似度差于原算法(如 2 号图),是由于区域线性结构的保持满足了视觉连通性,却增大了区域差异。

表 1 修复模型结果对比
Tab. 1 Inpainting model result compare

编号	图像大小	基于样本块图像修补模型			改进基于样本块肉品图像修补模型		
		标准差	平均值	时间/s	标准差	平均值	时间/s
2	318 × 283	35.9	24.0	39.8	59.6	36.1	11.1
3	268 × 256	8.39	1.78	8.91	5.45	1.34	2.30
4	283 × 234	5.36	0.88	3.36	4.71	0.70	1.02
5	323 × 281	19.8	5.70	28.0	19.6	6.27	7.41
6	232 × 235	7.98	4.48	9.53	4.46	2.45	2.53
7	232 × 235	12.6	2.19	6.92	6.64	1.41	1.99
8	288 × 270	37.8	17.9	53.5	12.2	7.24	13.2
9	253 × 223	2.24	0.42	3.16	1.98	0.38	0.94
10	289 × 236	13.8	2.17	7.98	11.7	1.76	2.25
11	234 × 237	2.21	0.24	2.45	2.29	0.24	0.63
12	186 × 186	7.54	1.37	3.09	5.18	0.97	0.94
13	290 × 307	22.8	12.7	8.49	20.9	11.1	2.44
14	387 × 330	18.9	7.11	13.6	17.6	6.78	3.64
15	297 × 265	18.0	7.82	25.5	15.7	6.83	6.72
16	289 × 273	9.14	3.61	11.5	8.84	3.50	3.50

3 结 论

针对基于样本块的图像修补算法线性结构保持能力较弱、接缝效应明显及修复速度慢的问题,提出改进算法,首先,在确定修复顺序的过程中用 Prewitt 算子替换 Robert 算子,更好地保持了图像的线性结构。其次,采用二次匹配法搜索最佳匹配块,减少了扫描数据量,有效地加快修复速度。然后,加入 α 剪裁均值滤波在一定程度上缓解了接缝效应,使修复结果更加满足视觉心理学要求。实验结果也表明,改进模型在提升修复效果的同时显著地节约了修复时间,需要指出的是,实验过程中发现,算法对较大区域的修复效果有待进一步提高,同时,进一步提高运算速度也是以后研究的方向。

参考文献 (References)

[1] Chan T, Shen F. Mathematical models for local non-texture inpaintings[J]. SIAM Journal on Applied Mathematics, 2002, (62):1017-1046.

[2] Chan T, Shen J. Non-texture inpainting by curvature-driven diffusions(CDD) [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2001,12(4): 436-449.

[3] Bertalmio M, Sapiro G, Caselles V, et al. Image inpainting [C]//Proceedings of Special Interest Group for Computer GRAPHICS 2000. New Orleans: ACM Press, 2000: 417-424.

[4] Mumford D, Shah J. Optimal approximations by piecewiseo smooth functions and associated variational problems[J]. Comm. Pure Applied. Math, 1989(11): 577-685.

[5] Esedoglu S, Shen J. Digital inpainting based on the mumford-shah-euler image model [J]. European Appl. Math, 2002,

- 13(4):353-370.
- [6] Gao Shisong. Image Inpainting Based on PDE [D]. Nanjing: Nanjing University of Science, 2004,3:1-3. [高世松. 基于偏微分方程的图像修补[D]. 南京:南京理工大学, 2004,3:1-3.]
- [7] Zhang Fumei. Image Inpainting Based on PDE [D]. Tsingdao: Qingdao University, 2008,6:3-4. [张福美. 基于偏微分方程的图像修复[D]. 青岛:青岛大学, 2008,6:3-4.]
- [8] Xie Chengjun. Research on the Models, Algorithms and Applications of Digital Image Inpainting [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2007. [谢成军. 数字图像修补模型、算法及其应用研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2007.]
- [9] Efros A, Leung T. Texture synthesis by non-parametric sampling [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision, ICCV. Washington. DC: IEEE Computer Society, 1999: 1030-1040.
- [10] de Bonet J S. Multiresolution sampling procedure for annlysis and synthesis of texture images [C]//Proceedings of the 24th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, SIGGRAPH. New York: ACM Press, 1997:350-368.
- [11] Criminisi A, Pérez P, Toyama K. Object removal by exemplar-based inpainting [C]//Proceedings of the 2003 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR. Madison Wisconsin: IEEE Computer Society, 2003: 721-729.
- [12] Criminisi A, Pérez P, Toyama K. Region filling and object re-moval by exemplar-based image inpainting [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(9):1195-1220.
- [13] Huang Wei, Wang Wenshu. Dunhuang murals inpainting with intergrating structure and texture features [J]. Journal of Northwest University for Nationalities (Natural Science), 2009, 30(73): 60-69. [黄伟, 王文书. 一种结合结构和纹理特征修复敦煌壁画的方法[J]. 西北民族大学学报(自然科学版), 2009, 30(73): 60-69.]
- [14] Xue Yanbing, Zhang Hua, Wang Fayu, et al. Image completion by exemplar patch [J]. Journal of Tianjin University of Technology, 2008, 24(2): 46-48. [薛彦兵, 张桦, 王法玉, 等. 基于样本块的图像修补[J]. 天津理工大学学报, 2008, 24(2): 46-48.]
- [15] Wu Jiying, Ruan Qiuqi, An Gaoyun. A pde constraint Adaptive-exemplar based image inpainting model [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2007, 19(8): 1034-1040. [许冀颖, 阮秋琦, 安高云. 偏微分方程约束下基于动态大小模块的图像修复模型[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2007, 19(8): 1034-1040.]
- [16] Zuo Li. Image Processing Technology-Template Matching Algorithm [CP/OL]. (2002-03) [2009-09-12]. <http://www.jqsj.com.cn/Technicaldata/patternmatching.pdf>. [左力. 图像处理技术——模板匹配算法 [CP/OL]. (2002-03) [2009-09-12]. <http://www.jqsj.com.cn/Technicaldata/patternmatching.pdf>.]
- [17] Rafael C Gonzalez, Richard E Woods. Digital Image Processing [M]. 2th ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2001:183-193.