

牛肉眼肌图像在线采集和实时分割系统*

逢滨 孙啸 刘德营 陈坤杰

(南京农业大学工学院, 南京 210031)

摘要: 根据肉牛屠宰现场牛肉自动分级的技术要求,设计并构建了一个以 TMS320DM642 处理芯片为核心的牛胴体眼肌图像在线采集和实时分割系统。首先利用所开发系统在线采集牛肉图像,然后通过蒙板方法,对所采集图像进行背景分割;由于 DM642 系统采用 Y、Cb、Cr 3 个色度分量来分别描述和存储图像,为节省算法处理的数据量,对 Cr(红色)色度空间图像进行二值化处理,然后再用区域面积标记法和小区域消除法提取眼肌区域。实验结果表明,利用 DM642 系统能够实现牛肉图像的在线采集和眼肌区域分割,眼肌图像提取的准确率平均值为 92.9%。

关键词: 牛肉眼肌 图像分割 数字信号处理器

中图分类号: S24; TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)06-0189-05

On-line Acquisition and Real-time Segmentation System of Beef Rib-eye Image

Pang Bin Sun Xiao Liu Deying Chen Kunjie

(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract: A beef image on-line acquisition system based on TMS320DM642 was developed according to the technological requirements of beef automatic grading. The rib-eye beef images were collected online by using the developed system. Then a mask was constructed for background segmentation of each acquired image. As DM642 adopted three chrominance components of YCbCr model to display and save images respectively, in order to reduce calculating time, only Cr chrominance component of beef image was considered in the following image processing. After the Cr chrominance component of beef images were binarized, region labeling algorithms and small regions removing method were employed to extract the effective rib-eye region. Experiments showed that the proposed DM642 system could be used for beef image acquisition online and rib-eye region segmentation. The average extraction accuracy of effective rib-eye region was 92.9%.

Key words: Beef rib-eye Image segmentation Digital signal processors

引言

目前,世界上主要的牛肉生产及消费国家均已制订并颁布实施了符合本国国情的牛肉等级评定标准^[1]。牛肉等级可分为质量等级与产量等级,无论是对牛肉质量等级还是产量等级进行评定,都需要对牛胴体肋间眼肌部分进行识别和处理。根据牛胴体眼肌部分的大理石花纹丰富程度可以评定出牛肉质量等级,而眼肌面积是牛胴体产量等级评定的重

要因素。在现有的牛肉分级标准体系下,机器视觉和图像处理技术被认为是最有效的方法^[1]。国内外专家在牛肉自动分级方面做了大量的研究^[2-9],但大多数都是基于计算机板卡方式与工业相机连接,最终都是通过计算机实现相关的算法。该方式借助了计算机的通用性,开发难度低,成本高、体积大且便携性差,不利于牛肉自动分级技术的在线实时处理。近年来数字信号处理技术得到了快速发展,为新一代的数字图像采集、处理、识别系统奠定

收稿日期: 2012-07-30 修回日期: 2012-11-13

* 国家自然科学基金资助项目(31071565)和公益性行业(农业)科研专项资助项目(201303083)

作者简介: 逢滨, 博士生, 主要从事嵌入式系统与图像处理研究, E-mail: qdpangbin@126.com

通讯作者: 陈坤杰, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品加工及检测技术研究, E-mail: kunjiechen@njau.edu.cn

了硬件基础^[10-13]。本文基于数字信号处理器(DSP)设计牛肉图像在线采集系统,将采集到的牛肉图像进行眼肌图像分割,为牛肉自动分级技术的研究提供嵌入式实现平台。

1 图像采集系统构成

根据肉牛屠宰现场对牛肉图像采集和处理的特殊场合要求,设计了牛肉图像采集与处理系统,其结构如图1所示。图像采集系统由DM642嵌入式处理单元、CCD相机槽及相机、LED圆环形光源、喇叭状外罩体组成。据统计,牛肉眼肌面积最大不超过200 mm × 150 mm,而牛眼肌为非矩形形状,因此,采集罩下端开口设计成直径为250 mm的圆形结构,这样可以满足牛肉眼肌区域全部进入相机采景区域。

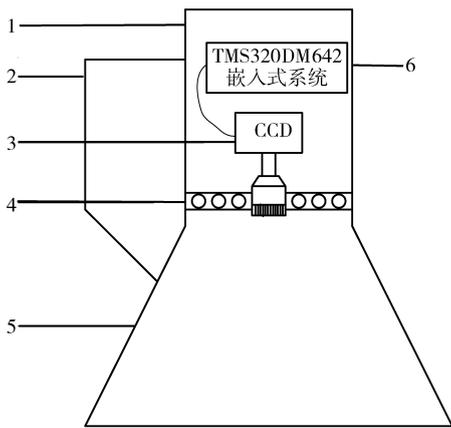


图1 牛肉图像采集与处理系统结构图

Fig. 1 Structure of beef automatic grading system

- 1. 嵌入式系统槽 2. 手柄 3. CCD传感器 4. LED圆环形光源
- 5. 外罩体 6. DSP系统

2 嵌入式系统硬件设计

嵌入式系统基于高速DSP构建,其硬件结构如图2所示,整个系统以DM642芯片为核心,配以相应的视频编解码电路,连接到CCD摄像头和液晶显示器,用于牛肉图像的采集、处理和显示。

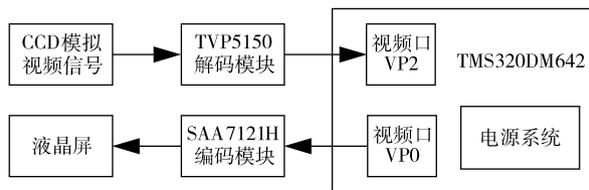


图2 嵌入式硬件系统结构框图

Fig. 2 Hardware structure of embedded system

整个系统的输入电源电压为直流5V,通过LDO芯片获得1.4、1.8和3.3V的直流电源,其中1.4V直流电源为TMS320DM642内核提供电源,3.3V直流电源为DM642主要电路和其他低压芯片

供电,1.8V直流电源为视频解码芯片TVP5150供电。CCD摄像头通过TVP5150解码电路与DM642连接,DM642使用视频VP2口采集牛肉图像,并通过VPO口经SAA7121H视频解码模块,把采集处理过的牛肉图像送到液晶屏显示。

整个嵌入式系统工作流程如下:通过TVP5150解码电路,接收CCD摄像头传出的PAL制式的视频数据流,把输入视频流转换为8位BT.656格式的视频数据,DM642芯片通过片上的视频口把BT.656数据流存入FIFO,然后通过EDMA通道把FIFO中的数据导入片外Flash存储器,在程序中可以调用图像数据进行相应的算法处理,然后将处理完毕的图像通过视频编码芯片SAA7121H进行PAL制式的视频编码,最后将视频数据传送到显示器进行显示。

3 嵌入式系统软件设计

为了在嵌入式硬件系统上完成牛胴体肋间眼肌切面图像数据的采集和眼肌图像分割工作,在CCS3.3平台上采用C语言编写了TMS320DM642的应用程序,程序流程如图3所示^[14]。

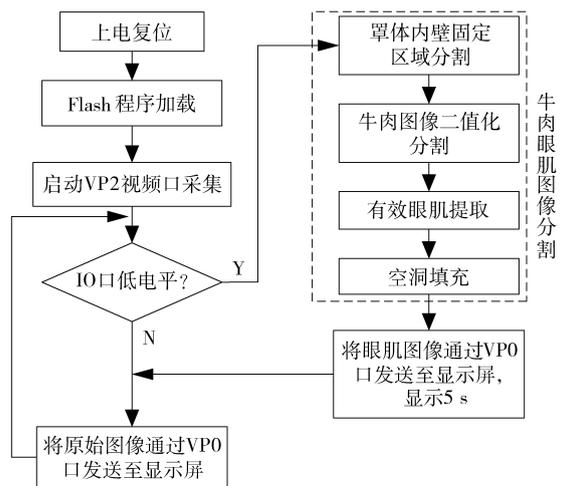


图3 嵌入式软件设计流程图

Fig. 3 Software flowchart of embedded system

4 牛肉眼肌图像分割

牛肉眼肌图像分割算法分为4部分,其中由于CCD摄像头信号经TVP5150解码芯片输出为ITU-BT.656视频数据流,包括了图像亮度Y、蓝色色度Cb和红色色度Cr信息,这3个分量在BT.656视频数据流中的比例为4:2:2,DM642将这3个分量信息分别存储在不同的缓存中,为了减少图像处理的数据量,只对图像的红色色度Cr通道的信息进行处理。

4.1 罩体内壁固定区域分割

由于本图像采集设备罩体内壁大小和结构是固定的,所以事先做一个模板(图4a)存于DM642的固定内存中,然后用实际采集的牛肉图像(图4b)减去模板图像,即可去除原始图片中罩体内壁的固定区域。

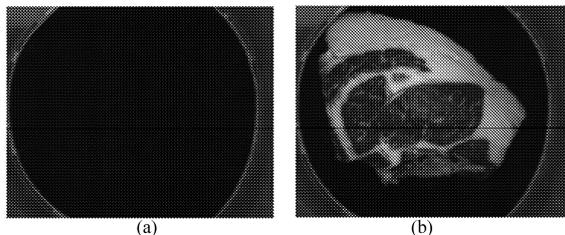


图4 模板图像与系统采集到的牛肉图像

Fig.4 Mask image and beef image

(a) 模板图像 (b) 牛肉图像

采集设备的罩体内壁固定区域去除的基本步骤:将在线采集的牛肉眼肌切面图像和模板图像进行比较,设 $f(x,y)$ 为图4b中任意一个像素值,设 $g(x,y)$ 为图4a中的任意一个像素值,则

$$f(x,y) = \begin{cases} f(x,y) & (f(x,y) - g(x,y) \neq 0) \\ 0 & (f(x,y) - g(x,y) = 0) \end{cases} \quad (1)$$

在线采集的牛肉图像经罩体内壁影像分割后所得的图像如图5所示。

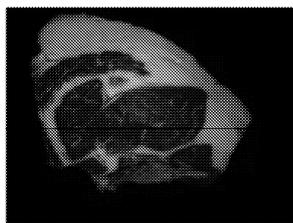


图5 去除罩体内壁的牛肉图像

Fig.5 Beef image without shuttering

4.2 图像二值化分割

选用最大类间方差法(Otsu算法)将图像中像素的灰度级按阈值划分为2类:目标类(肌肉部分)和背景类(脂肪部分)。当分为2类的类间方差最大时决定最佳阈值。确定最佳阈值 T 后,对图像进行二值化处理,即

$$f(x,y) = \begin{cases} 0 & (f(x,y) \geq T) \\ 255 & (f(x,y) < T) \end{cases} \quad (2)$$

对Cr通道图像(图6a)采用Otsu算法,所得二值化图像如图6b所示。

4.3 有效眼肌提取

二值化后的眼肌切面图像中,脂肪部分融入了背景中。肌肉部分为白色,其中一部分附生肌与有效眼肌实现了分离。根据上述特征,采用区域面积标记法来去除分离的附生肌。首先,对图像进行扫

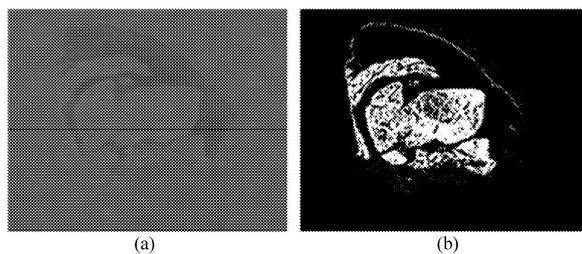


图6 Cr通道图像与二值化后的图像

Fig.6 Cr chroma image and binary image

(a) Cr通道图像 (b) 二值化后的图像

描,采用8连通判别算法,对各个连通区域进行标记,然后分别计算各连通区域的像素点数,最后比较各个连通区域的像素个数,通过二值图像的小区域消除法保留最多像素点数的连通区域,去除其他连通区域。有效眼肌提取结果如图7所示。

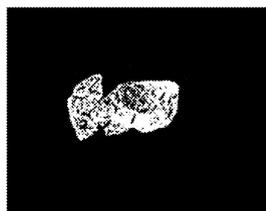


图7 有效眼肌图像提取结果

Fig.7 Result of extracted rib-eye region

4.4 空洞填充

因为牛胴体产量等级需要计算眼肌区域的面积,而牛肉质量等级要识别有效眼肌背景,进行牛肉大理石花纹提取,故需要对图7所示的空洞进行填充。采用边界跟踪法首先获得有效眼肌区域的边界点,然后使用预定义种子点-连通增长方法进行区域填充,最终精确提取出有效眼肌区域的二值图像,如图8所示。

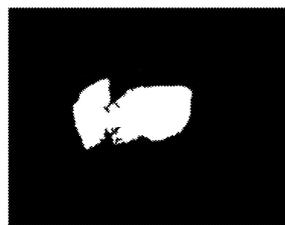


图8 空洞填充结果

Fig.8 Result of filling empty threshold

5 有效眼肌提取误差率

所谓提取误差率,是指图像经过处理后,结果图中目标区域与原始图像中的目标区域在像素数量尺度上误差的比例。为了衡量图像处理的有效性,在实际操作过程中有必要设置一个描述指标来衡量图像处理过程中目标区域的保留程度。利用有效眼肌区域像素提取误差率作为评价眼肌切面图像分割效果的一个指标,用 Q 来表示。以 $q(x,y)$ 表示原始图

片中有效眼肌区域的像素点, $q'(x,y)$ 表示分割后有效眼肌区域中像素点, 则有效眼肌提取误差率的计算公式为

$$Q = \frac{\left| \sum q'(x,y) - \sum q(x,y) \right|}{\sum q(x,y)} \times 100\% \quad (3)$$

用上述方法, 分别对所采集的 12 ~ 13 胸肋间眼肌切面图像进行分割效果分析, 首先使用 Photoshop

对原始图片的有效眼肌区域中人工选择相关的像素点进行统计, 并记录结果。先使用擦除工具将目标区域的边缘勾画出来, 然后再进行区域选择, 进而统计相关像素的数量。为了尽可能地减少误差, 此步骤重复 3 次, 取其平均值, 平均值舍去小数部分作为该图像样本的 $\sum q(x,y)$ 值。然后再用该方法对有效眼肌区域进行像素点的统计, 并通过式 (3) 计算出有效眼肌的提取误差率, 如表 1 所示。

表 1 分割质量评价结果

Tab. 1 Evaluation results of image segmentation quality

| 样本号 | 原始像素个数 | 提取后像素个数 | 提取误差率/% | 样本号 | 原始像素个数 | 提取后像素个数 | 提取误差率/% |
|-----|--------|---------|---------|-----|--------|---------|---------|
| 1 | 61 243 | 65 898 | 7.6 | 31 | 62 760 | 58 868 | 6.2 |
| 2 | 59 146 | 55 952 | 5.4 | 32 | 64 046 | 61 804 | 3.5 |
| 3 | 62 493 | 57 868 | 7.4 | 33 | 58 842 | 61 372 | 4.3 |
| 4 | 67 045 | 64 558 | 3.7 | 34 | 67 045 | 68 118 | 1.6 |
| 5 | 59 708 | 47 648 | 20.2 | 35 | 65 443 | 60 796 | 7.1 |
| 6 | 59 523 | 62 552 | 5.1 | 36 | 62 563 | 58 934 | 5.8 |
| 7 | 67 102 | 71 436 | 6.5 | 37 | 61 520 | 64 412 | 4.7 |
| 8 | 62 635 | 58 752 | 6.2 | 38 | 59 655 | 66 634 | 11.7 |
| 9 | 59 961 | 66 254 | 10.5 | 39 | 57 403 | 59 412 | 3.5 |
| 10 | 62 921 | 65 584 | 4.2 | 40 | 63 532 | 57 686 | 9.2 |
| 11 | 71 226 | 62 396 | 12.4 | 41 | 61 230 | 74 884 | 22.3 |
| 12 | 67 861 | 70 372 | 3.7 | 42 | 67 706 | 72 852 | 7.6 |
| 13 | 57 449 | 59 862 | 4.2 | 43 | 61 543 | 58 220 | 5.4 |
| 14 | 65 585 | 66 700 | 1.7 | 44 | 60 195 | 63 144 | 4.9 |
| 15 | 63 022 | 60 564 | 3.9 | 45 | 56 766 | 58 412 | 2.9 |
| 16 | 66 355 | 59 376 | 10.5 | 46 | 58 715 | 55 016 | 6.3 |
| 17 | 62 661 | 61 722 | 1.5 | 47 | 63 666 | 59 528 | 6.5 |
| 18 | 57 485 | 61 164 | 6.4 | 48 | 62 440 | 57 070 | 8.6 |
| 19 | 59 635 | 58 322 | 2.2 | 49 | 61 290 | 64 416 | 5.1 |
| 20 | 63 449 | 68 970 | 8.7 | 50 | 56 830 | 60 740 | 6.7 |
| 21 | 57 830 | 67 546 | 16.8 | 51 | 63 301 | 71 214 | 12.5 |
| 22 | 66 776 | 64 372 | 3.6 | 52 | 70 233 | 68 476 | 2.5 |
| 23 | 71 102 | 79 136 | 11.3 | 53 | 62 344 | 64 900 | 4.1 |
| 24 | 65 888 | 70 698 | 7.3 | 54 | 59 935 | 61 552 | 2.7 |
| 25 | 60 441 | 67 602 | 12.4 | 55 | 69 674 | 72 740 | 4.4 |
| 26 | 58 964 | 63 504 | 7.7 | 56 | 66 022 | 69 720 | 5.6 |
| 27 | 67 789 | 71 924 | 6.1 | 57 | 60 288 | 52 872 | 12.3 |
| 28 | 59 512 | 61 832 | 3.9 | 58 | 57 469 | 66 204 | 15.2 |
| 29 | 61 811 | 65 334 | 5.7 | 59 | 60 222 | 56 188 | 6.7 |
| 30 | 59 644 | 52 188 | 12.5 | 60 | 63 463 | 59 464 | 6.3 |

从表 1 可以看出, 在 60 幅样本图片中, 提取误差率在 10% 以下的占到样本总量的 78.33%, 提取误差率在 15% 以下的则占到 93.33%。有效眼肌区域像素的提取准确率的平均值达 92.9%, 目标区域几乎被完整且有效地分割出来。由此可见, 有效眼肌区域的分割方法准确可靠, 没有提取误差率大于 22.3% 的情况。其中样本 5、21、41 及 58 提取误差率较大, 经分析是因为正常雪花牛的胴体排酸时间

为 7 ~ 14d, 由于上述 4 个样本属于急宰牛, 也就是排酸没有达到一定要求, 所以胴体分割时, 眼肌切面的血渍较为严重, 对后续图像的分割准确性造成了较大的影响, 造成有效眼肌提取误差率相对较大。

6 结论

(1) 构建以 TMS320DM642 为核心的牛肉图像在线采集和实时分割系统, 采用二值化、区域标记和

最小区域去除等图像处理方法,可以对所采集的牛肉 Cr 色度分量图像眼肌区域进行精确提取,准确率平均值达 92.9%。

处理方法,可以显著减少图像处理时间,实现牛肉眼肌图像的在线处理,为牛肉品质的在线检测和实时自动分级系统的开发打下良好的基础。

(2) 基于 TMS320DM642 嵌入式处理器的图像

参 考 文 献

- 1 陈坤杰,姬长英. 牛肉自动分级技术研究进展分析[J]. 农业机械学报,2006,37(3):153~156,159.
Chen Kunjie, Ji Changying. Research on techniques for automated beef steak grading[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2006,37(3):153~156,159. (in Chinese)
- 2 Shiranita K, Hayashi K, Otsubo A, et al. Grading meat quality by image processing[J]. Pattern Recognition, 2000, 33(1):97~104.
- 3 陈坤杰,姬长英. 基于图像运算的牛肉大理石花纹提取方法[J]. 农业机械学报,2007,38(5):195~196,206.
- 4 陈坤杰,秦春芳,姬长英. 牛胴体眼肌切面图像的分割方法[J]. 农业机械学报,2006,37(6):155~158.
Chen Kunjie, Qin Chunfang, Ji Changying. Segmentation methods used in rib-eye image of beef carcass[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006,37(6):155~158. (in Chinese)
- 5 赵杰文,刘木华,张海东. 基于数学形态学的牛肉图像中背长肌分割和大理石纹提取技术研究[J]. 农业工程学报,2004,20(1):143~146.
Zhao Jiewen, Liu Muhua, Zhang Haidong. Segmentation of longissimus dorsi and marbling in ribeye imaging based on mathematical morphology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004,20(1):143~146. (in Chinese)
- 6 Chen K, Qin C. Segmentation of beef marbling based on vision threshold[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 62(2):223~230.
- 7 陈坤杰,吴贵茹,於海明,等. 基于分形维和图像特征的牛肉大理石花纹等级判定模型[J]. 农业机械学报,2012,43(5):147~151.
Chen Kunjie, Wu Guiru, Yu Haiming, et al. Prediction model of beef marbling grades based on fractal dimension and image features[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(5):147~151. (in Chinese)
- 8 孟祥艳,孙永海,王笑丹,等. 牛胴体眼肌切面分级特征的提取与分析[J]. 吉林大学学报:工学版,2010,40(2):485~490.
Meng Xiangyan, Sun Yonghai, Wang Xiaodan, et al. Methods of extraction and analysis of grading features of ribeye section of beef carcass[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2010,40(2):485~490. (in Chinese)
- 9 陈坤杰,孙鑫,陆秋琰. 基于计算机视觉和神经网络的牛肉颜色自动分级[J]. 农业机械学报,2009,40(4):173~178.
Chen Kunjie, Sun Xin, Lu Qiuyan. Automatic color grading of beef lean tissue based on BP neural network and computer vision [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(4):173~178. (in Chinese)
- 10 王云新,刘铁根,朱均超,等. 嵌入式人体手背静脉图像采集系统的研制[J]. 仪器仪表学报,2009,30(2):308~312.
Wang Yunxin, Liu Tiegeng, Zhu Junchao, et al. Development of an embedded image acquisition system for human dorsal hand vein[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2009,30(2):308~312. (in Chinese)
- 11 Alberto J, Francisco J, Volodymyr I. Fuzzy directional (FD) filter for impulsive noise reduction in colour video sequences[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2012, 23(1):143~149.
- 12 Zhou Huxin, Lai Rui, Liu Shangqiang, et al. A new real-time processing system for the IRFPA imaging signal based on DSP & FPGA[J]. Infrared Physics & Technology, 2005, 46(4):277~281.
- 13 Zuo Chao, Chen Qian, Gu Guohua, et al. Improved interframe registration based nonuniformity correction for focal plane arrays [J]. Infrared Physics & Technology, 2012, 55(4):263~269.
- 14 Texas Instruments. TMS320C6000 CPU and instruction set reference guide[Z]. Teras Instruments, 2000.