

基于计算机视觉的牛肉分级技术综述

贾 渊¹, 姬长英¹, 汤晓艳²

(1. 南京农业大学工学院, 210031; 2 南京农业大学肉类研究室, 210095)

摘 要: 在中国牛肉分级标准颁布后, 牛肉的自动分级就成为一个值得关注的新课题。国外的牛肉自动分级技术已较为成熟, 而中国对此研究还处于起步阶段。综述了国内外牛肉自动分级技术的研究进展。中国的研究人员利用计算机视觉技术进行自动分级, 需要从生产工艺, 信息获取方式, 牛肉本身性状的研究等多方面结合。提取牛肉大理石纹作为分级的关键技术之一, 不但适合中国的标准, 同时也与国外标准相一致。

关键词: 牛肉分级; 肌肉脂肪; 大理石纹得分; 计算机视觉

中图分类号: TP274⁺. 3; TS251. 5⁺ 2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)05-0047-04

0 引 言

从 20 世纪 70 年代开始, 经过几十年的发展, 中国的肉牛产业已具有一定的规模, 出现了大型的牛肉生产加工企业和养殖场, 产量也逐年增加。近年来, 随着国民生活水平的提高, 牛肉的需求量也越来越大, 发达国家牛肉的年人均消费在 30 kg 以上, 而中国远低于此数^[1] (3 kg 左右), 因此中国的牛肉产业还有很大的发展空间。

尽管中国的肉牛产业发展很快, 但该行业起步较晚, 还存在不少问题, 最重要表现在牛肉质量不高, 国际竞争力不强, 优质高档牛肉大多依赖进口^[2]。为了提高牛肉的国际竞争力, 许多学者借鉴国外的先进经验, 认为需要从生产和质量评定来改变中国的牛肉生产现状, 一方面, 通过建立和推行 GMP 和 HACCP 全程质量控制技术体系, 在种牛源、饲养管理方式、屠宰工艺、分割成熟、保鲜等环节实现科学化、标准化和规范化, 提高牛肉质量^[3, 4]。另一方面, 建立统一的牛肉质量评定体系, 对牛肉质量进行分级和评定, 做到优质优价。实施统一的质量评定分级是发达国家生产优质牛肉的主要技术手段之一。自 20 世纪 20 年代美国颁布实施牛肉胴体评定分级标准以来, 加拿大, 澳大利亚, 日本等国均已颁布和实施了牛肉质量评定标准及其辅助用活牛标准^[5], 从而使该国的牛肉质量整体大幅度提高。在中国, 由于长时间没有可行的统一牛肉系统的评定方法和质量分级标准, 对优质牛肉无法客观评判, 因此牛肉市场运行不规范, 不能实现以质论价, 优质优价。

鉴于此, 国家“九五”攻关计划将“优质牛肉系统评定方法和标准”的建立作为一个重要课题来研究^[6]。南京农业大学、中国农科院畜牧所和中国农业大学的科研工作者通过大规模的试验研究后, 制定出了牛肉的等级

标准, 现已通过了国家农业部组织的专家评审, 颁布为农业行业标准, 从而结束了中国牛肉评定无统一标准的历史。该标准以胴体的等级评定为主, 向前向后延伸包括活牛的等级评定以及肉的分割与命名。牛肉胴体等级标准包括质量级和产量级。大理石纹和生理成熟度作为质量级评定的主要指标。大理石纹, 指的是牛肉肌纤维之间沉积的间层脂肪(肌肉脂肪), 它与肌肉中的膜蛋白质紧密结合在一起, 其主要组成是总磷脂。由于肌肉脂肪富含不饱和脂肪酸, 如亚麻酸和花生四烯酸等, 这些物质的氧化产物直接影响挥发性成分的组成, 继而改变肉品风味^[7]。大理石纹丰富的优质牛肉, 具有良好的风味、保水性、嫩度、滑腻感和多汁性口感; 肌肉脂肪少的普通牛肉则出现口感粗、质地硬、多汁性差、风味不佳。大理石纹的沉积和性状与营养水平、品种及性别有很大的关系, 同时也是市场消费选择的一种结果^[8], 许多国家将其作为牛肉评级标准的指标之一。

如果对牛肉胴体采用分级员评级, 一般由分级员在低温环境中, 将真实肉样与标准的等级图板进行对比, 分级结果受主观因素影响, 精度低, 速度慢; 对分级员本身而言, 容易造成视觉疲劳, 低温环境对分级员的身体也是不利的。因此利用计算机视觉技术, 建立牛肉自动分级系统有着重要的意义^[6]。

1 国内外牛肉自动分级技术的现状

运用计算机视觉技术对农产品的品质进行检测是近十几年发展起来的, 目前主要用于农产品外观质量的评价及自动分级, 将其应用于牛肉品质检测和分级始于 20 世纪 90 年代。1990 年, McDonald 和 Chen 首先运用图像处理的办法, 依据瘦肉与脂肪不同的反射特性, 对背最长肌的瘦肉和脂肪进行了区分^[9]。1996 年, Gerand 等对 60 个大排的大理石纹和颜色等级进行感官评定和计算机图像处理^[10], 结果表明计算机图像处理能有效预测大理石纹和颜色等级(相关指数为 0.86 和 0.84)。1997 年, Li 等利用牛肉图像的纹理特征分析牛肉的嫩度, 利用回归分析和神经网络技术对图像特征和牛肉嫩度感官评定进行比较, 发现纹理特征对牛肉嫩度有显著的作用^[11]。在可见光下, 牛肉图像的噪声干扰较强, 有专家尝试用其他方式来获得牛肉性状信息,

收稿日期: 2003-09-08 修订日期: 2004-06-16

作者简介: 贾 渊(1973-), 男, 博士研究生, 研究方向为计算机视觉技术在农业工程中的应用。南京市浦口 南京农业大学工学院 68 #, 210031。Email: jiayanli1225@sina.com

通讯作者: 姬长英(1957-), 男, 博士生导师, 研究方向为农业机器人、土壤力学系统、机电一体化。南京市浦口 南京农业大学工学院, 210031

W. O. Herring等运用超声波技术,对获得的超声波图像进行处理,在此基础上,再进行大量的回归分析,从而达到较为精确预测背膘厚度以及肌肉脂肪含量的目的^[12-14]。美国开发的计算机自动分级系统,利用实时超声波技术、超声波弹性法、探针法及近远红外分光法来测定大理石纹、肉色、脂肪厚度、眼肌面积和宰后一天的剪切力值等指标,用以客观评定牛肉等级^[15]。澳大利亚开发出一种评级系统,输入指定的参数,如悬挂方式、性别、胴体重、生理成熟度、大理石纹得分、最终的pH值和成熟天数等,该系统就会给出所分析的胴体及各分割肉块的食用品质等级,并给予相应的烹饪方式建议^[12]。加拿大开发的牛胴体评级计算机视觉系统(CV S, Computer Vision System),可以利用胴体整体图像来分析胴体组成,还可以分析12-13脊肋眼肌截面处图像以获得大理石纹信息等^[16-18]。MARC牛肉图像分析系统运用图像处理的手段可以完成诸如嫩度、精肉率、大理石纹得分等的检测^[19,20],肌肉的颜色和pH值都可以用图像处理的方法得到。从上面可以看出,不管是静态图像还是在线检测,国外牛肉自动分级技术已较为成熟,利用计算机视觉技术,客观衡量牛肉品质,确定牛肉等级是可行的。

在国内,利用计算机视觉技术进行农产品品质检测和分级发展虽然较晚,但已开始将其应用于牛肉品质检测和分级系统开发的研究。任发政等尝试用Matlab来提取牛肉的大理石纹,通过分析,得出用图像处理的办法是可以完成牛肉大理石花纹的分级评定工作^[21]。孙永海等利用神经网络和图像处理技术,区分出牛肉图像中的瘦肉与脂肪,对冷却牛肉的新鲜度进行了评价,同时利用冷却牛肉的图像纹理,对牛肉的嫩度进行了分析和评价^[22-25]。屠康等对牛肉等级标准图像进行了分割,并对其中的代表大理石纹的像素进行了统计^[26]。利用多信息传感器融合技术,赵杰文、刘木华等对牛肉品质的无损检测开始进行研究^[27,28]。滕炯华等用气敏传感器获得牛肉气味信息,利用概率神经网络作为模式识别方法来检测牛肉的新鲜度^[29]。可以看出,不管是对牛肉的嫩度、新鲜度,还是对大理石纹的分析,国内对牛肉品质的自动分级技术的研究已经展开,从信号获取、处理方法等关键技术的研究和实现都在朝向多元化发展。

2 牛肉分级与自动分级

由于国内牛肉分级与自动分级的研究还处于起步阶段,分级指标多,内容复杂,因而还存在一些分歧,主要表现在以什么样的指标来分级,分级的内容包括哪些方面。比如用大理石纹作为分级的标准之一是否合适就存在不同看法。由于大理石纹的成分为脂肪,脂肪摄入与肥胖、糖尿病、心血管疾病和某些癌症等有相当大的关系,因而受到许多消费者和食品专家的质疑。但是脂肪作为三大营养素之一,本身具有许多特殊的性质,它对食品的风味、口感、质地等感官特性起着非常重要的作用,它还是脂溶性维生素和某些风味物质的载体^[8],

因此要一味降低甚至取消食品中的脂肪,则会严重影响食品的品质。广义的说,当前围绕着牛肉展开的研究,不管是对牛肉的嫩度、新鲜度、大理石纹、精肉率、营养成分和微生物检测等工作都可以归为牛肉分级的范畴,因为牛肉分级的目的就是要对牛肉的各种性状量化,从而确定牛肉的品质。从另一角度来看,牛肉是一种商品,其替代品非常多,消费者完全可以通过其它食品摄入牛肉所提供的营养(这也是国内牛肉消费较少的一个原因)。购买牛肉时,消费者会将营养、新鲜度等作为隐含因素加以忽略,而将“好吃”(口感)作为重要因素来考虑。口感与个人喜好、地域文化、消费习惯有关系。对同一块牛肉,个人口感好坏的定义是不一样的,因而要建立一个满足所有人的标准是不可能的。

因此,本文认为,消费者的选择是牛肉分级的原初动力,分级的最终归宿是将牛肉的品质与价值联系起来。牛肉的食用品质可以通过牛肉胴体的品质加以体现,因而本文给出一个牛肉分级的狭义定义,即牛肉分级指的就是对牛肉胴体品质的分级。利用计算机视觉技术的手段来完成对新鲜度、嫩度、大理石纹理等的分析,就可以对牛肉的品质加以分级,而牛肉自动分级才有了实在的意义。基于此,本文给出牛肉自动分级的定义,所谓牛肉自动分级,就是通过多种信号获取方式,得到牛肉性状信息不同的表现形式,然后利用计算机视觉或其它工程技术手段加以分析,最终按照现行的分级标准建立专家系统,给出牛肉品质的量化数据,从而达到自动分级的目标。牛肉品质的评定主要是依据牛肉嫩度、多汁性和大理石纹3个方面^[30],大理石纹是牛肉胴体等级标准中的重要指标^[31],通过对大理石纹的评级分析是牛肉自动分级技术的关键。大理石纹不但与牛肉的食用品质有很大的关系,而且还在于,通过对大理石纹的分析,积累的技术可以为其它部分所用,因此牛肉自动分级的核心是对大理石纹的分析和评级。

3 对中国开展基于计算机视觉的牛肉分级技术研究的思考

利用计算机视觉技术对牛肉进行分级,一般是通过计算机对CCD摄像头获取的牛肉图像进行处理和分析,提取与牛肉品质有关的纹理信息,然后运用牛肉标准的样本图片及专业人员在牛肉分级方面的经验,建立牛肉分级的模型和专家系统,进而达到对牛肉自动分级的目的。一般情况下,牛肉纹理清晰,不同肉质的颜色对比度大,可以用传统的图像处理技术对其分析。此外,近年来新的图像处理技术,如小波变换作为一种时频分析工具,可以进行信号的奇异性检测、图像增强及分割;神经网络不需要建立严格的数学模型,具有并行性、容错性以及信息分布于各个神经元等特点,特别适合于样本的模糊分类和判别。可以相信,这些新技术都可在牛肉的自动分级研究中得到应用,从而可能对牛肉性状信息有更准确的表达。但是就中国情况而言,现在谈牛肉自动分级还为时过早,本文将就在研究过程中出现的问题

提出几点思考。

第一, 牛肉分级所涉及到的专家系统尚未建立。目前尽管已经公布了标准, 但标准是否能得到国内企业及消费者的接受, 还需要一个过程。另外, 牛肉标准在执行和推广过程中还会有一些新的问题出现, 需要进一步检验、修正和完善, 从而加以调整。加之现有的标准对等级所涉及的各项指标还没有一个确切的量化数据, 建立一个比较有效的专家系统还需要一段时间。

第二, 牛肉自动分级技术的服务对象不清晰。牛肉分级系统的最终结果是建立一个软件系统(或是在此基础之上的硬件系统), 这就涉及由谁来使用这样的软件系统。需要的用户有三类, 一是企业, 一是科研单位, 还有就是政府检验检疫部门。用户不同, 涉及到的技术难易, 运行方式就会有一定变化。举个简单例子, 如果软件系统是由政府使用, 则较少考虑牛肉检验时的成本, 但工厂则不行。又如每一个算法都涉及算法速度问题, 作为企业需要的是快速有效的算法, 而科研部门对此的要求可能会降低一些。

第三, 牛肉自动分级技术与生产工艺不相配套。本文在进行研究的过程中, 除了到江苏澳士达牧业有限公司拍摄图片外, 还到山东凯银清真肉业有限公司拍摄图片20余天, 发现目前的生产工艺离自动化分级的要求还很远。由于牛肉在进行分割时会出现意料不到的碎肉、骨粒、刀痕, 严重影响图片质量, 甚至到无法分析或得出错误结果的情况。因此国内要进行自动分级, 需要规范的生产工艺加以配套才能完成。

第四, 对牛肉本身性状的研究与自动分级脱节。实际上, 牛肉本身是一个复杂的生物体组织, 肉色和脂肪沉积与饲喂技术都有很大的关系, 牛肉除了肌肉和脂肪之外, 还有一些结缔组织(如血管等), 在屠宰、排酸之后, 毛细血管中还有淤血, 在切割时可能会流出来对牛肉切面造成污染, 这个随机因素无法控制。另外, 对某些牛肉, 分级标准的各指标之间有一定抵触。忽略这些影响, 自动分级技术的实现可能是无意义的。

第五, 牛肉性状信号获取方式没有引起足够重视。目前国内基本上采用CCD摄像头, 在统一的光照环境下得到牛肉图片。牛肉是一个复杂的生物体组织, 它会出现变形, 从而增加不可控制的随机因素。由于变形可能会造成大理石纹分布疏密发生变化, 大理石纹受到肌肉组织的遮隐, 肌膜表现出脂肪特点等多种情况。此外, 在光线强烈时还会出现反光、斑点噪声等情况。这也是国外采用其它手段来获得牛肉性状的一个原因。

第六, 现有工程技术与牛肉自动分级技术的结合还需要一个过程。本文在研究过程中还发现, 用现有的工程技术, 在牛肉图像处理中不一定有效。这是因为, 一般图像处理技术往往是建立在一些模型之上的, 但是牛肉图像相当复杂, 往往没有规律可循, 这就使得直接采用现有的一些工程技术, 可能对某些图像有效, 但对其它图像不一定有效, 系统的泛化能力差。因而牛肉自动分级技术的完成, 要结合牛肉自身的特性, 借鉴其他工程

中的成功经验, 加以综合形成可用的算法与模型。

综上所述, 本文认为, 要完成牛肉自动分级技术, 首先, 要借鉴国外的先进经验, 但同时要立足于自身对于工程技术的把握, 采用合适于国内牛肉特点的工程技术。其次是将生产工艺与牛肉自动分级联系起来, 改造现有的生产工艺使其更适合于牛肉自动分级技术的完成。第三, 牛肉性状信息获取多样化, 比如采用超声波、远红外分光法、近红外分光法, 在不同层面上分析牛肉品质特征的外在表现形式。在此基础上, 对牛肉静态图像的分析最终转向在线检测, 从而完成牛肉的自动分级。

4 牛肉自动分级技术的前景展望

牛肉自动分级技术的研究具有重要意义。首先, 它符合中国食品工业的发展趋势。现在国民对食品品质提出了更高的要求, 需要有一个客观标准对食品品质进行评定。同时中国加入世贸组织后, 食品工业的竞争对手从国内同行扩大到国外的厂商, 而国外厂商先进的生产工艺和检测手段确保其产品以优良的品质参与竞争, 对国内食品生产企业构成了巨大的威胁。这就需要改变国内落后的生产工艺和检测手段。在美国, 出售的牛肉有95%做了分级评定。任意一本餐饮向导上都会有USDA(美国农业部缩写)Prime(特优)、Choice(优选)等牛肉分级标记。加拿大的牛肉分级制度管理也相当严格, 为了保证等级评定的可靠性, 加拿大政府对所有牛肉的等级证明实施强制性监督, 所有等级证明体系必须由政府分级机构人员进行监督实施。目前国内优质牛肉生产总体水平较低, 实施牛肉自动分级技术, 可以减少人为因素的影响, 增强说服力, 提高牛肉附加值, 使其在国际上更有信誉, 从而使肉牛业走向规范化、优质化、产业化, 带动肉牛业健康快速稳步发展, 这是符合肉牛业发展趋势的。

其次, 牛肉自动分级技术本身就具有研究价值。牛肉自动分级将摒弃传统的手段, 代之以现代的自动控制技术和计算机视觉技术, 结合现在牛肉的标准, 对牛肉级别的各指标进行量化, 减少人为判断的失误因素, 使之更科学化和合理化。这中间需要链接的问题很多, 涉及到多学科的相互应用, 相互融合。所以极有研究价值。

最后, 牛肉自动分级技术具有广阔的市场前景。牛肉自动分级技术是未来牛肉生产和鉴定的必备技术, 其需求是自不待言的。同时, 自动分级技术还将满足教学、科研的需要, 现在相关的产品在国内和国际上并不普及, 所以具有广阔的市场前景。总之, 牛肉自动分级的研究和应用对于提高中国牛肉生产水平, 增加畜牧业收入, 促进经济和社会的发展具有重要的意义。其科学价值在于丰富肉品, 尤其是牛肉品质表达及其检测的理论和方法, 改善肉品分级手段。同时可以发展计算机图像处理理论, 促进计算机理论和技术在农业和畜牧业上的应用。

【参 考 文 献】

- [1] 高峰, 周光宏 我国肉牛业发展现状与趋势[J]. 畜禽业,

- 2002, 144(4): 54- 55
- [2] 汤晓艳, 周光宏, 等. 对中国牛肉分级制度的几点思考[J]. 黄牛杂志, 2003, 2: 53- 56
- [3] 刘 丽, 周光宏. 我国优质牛肉生产概况[J]. 黄牛杂志, 1998, 24(4): 32- 34
- [4] 高 峰, 周光宏. 建立完善我国优质牛肉生产全程质量控制体系[J]. 黄牛杂志, 2002, 28(1): 43- 45
- [5] 孙宝忠, 马爱进, 杨喜波, 等. 牛肉质量评定分级标准现状制定原则及作用[J]. 中国食物与营养, 2002, 5: 15- 16
- [6] 江龙建. 基于计算机视觉和神经网络技术的牛肉大理石花纹自动分级系统的研究[D]. p2
- [7] 司俊玲, 南庆贤, 马佃珍. 利用外源方法来提高牛肉大理石花纹的研究[J]. 肉类工业, 2003, 262(2): 24- 27
- [8] Kyu Ho M yang, 丁鉴锋摘译. 调控牛肉大理石花纹的营养策略[J]. 中国畜牧兽医, 2003, 30(1): 17- 18
- [9] McDonald T, Chen Y R. A geometric model of marbling in beef longissimus dorsi[J]. Trans of the ASAE, 1992, 35(3): 1057- 1062
- [10] Gerrand D E, Gao X, Tan J. Beef marbling and colour score determination by image processing[J]. Journal of Food Science, 1996, 61(1): 145- 148
- [11] Li J, Tan J, Martz F A. Predicting beef tenderness from image texture features[A]. In: 1997 ASAE Annual International Meeting Technical Papers [C]. Paper No. 973124, ASAE, 2950 Niles Road, St Joseph, MI 49085 - 9659, USA.
- [12] Stelzleni A M, et al. Use of ultrasound to identify brangus cattle with superior intramuscular fat and other carcass traits [J]. The Professional Animal Scientists, 2003, (19): 39- 43
- [13] Herring W O, et al. Comparison of four real-time ultrasound systems that predict intramuscular fat in beef cattle[J]. J Anim Sci, 1998, 76: 364- 370
- [14] Brethour J R. Using serial ultrasound measures to generate models of marbling and backfat thickness changes in feedlot cattle[J]. J Anim Sci, 2000, 78: 2055- 2061
- [15] 戴瑞彤, 杨龙江. 肉类质量的研究进展[J]. 肉类研究, 2000, 2: 11- 13
- [16] Tong A K W, et al. Evaluation of the canadian computer vision system for beef carcass grading [A]. 45th ICOST [C], 1999, 374
- [17] Cannell R C, et al. Online evaluation of a commercial video image analysis system (computer vision system) to predict beef carcass red meat yield and for augmenting the assignment of USDA yield grades[J]. J Anim Sci, 2002, 80: 1195- 1201
- [18] Tong A K W, et al. Evaluation of the canadian computer vision system for beef carcass grading[A]. 45th ICOST [C], 1999, 374
- [19] Shackelford S D, et al. Coupling of image analysis and tenderness classification to simultaneously evaluate carcass cutability, longissimus area, subprimal cut weights, and tenderness of beef[J]. J Anim Sci, 1998, 76: 2631- 2640
- [20] Shackelford S D, et al. On-line prediction of yield grade, longissimus muscle area [J]. Preliminary yield Grade, Adjusted Preliminary Grade and Marbling Score Using the MARC Beef Carcass Image Analysis System. J Anim Sci, 2003 81: 150- 155
- [21] 任发政, 郑丽敏, 等. 应用 Matlab 图像处理技术评判牛肉大理石花纹[J]. 肉类研究, 2002 4: 14- 15
- [22] 孙永海, 鲜于建川. 冷却牛肉质量评定系统开发[J]. 粮油加工与食品机械, 2003, 1: 67- 69
- [23] 孙永海, 鲜于建川, 石 晶. 基于计算机视觉的冷却牛肉嫩度分析方法[J]. 农业机械学报, 2003, 34(5): 102- 105
- [24] 孙永海, 赵锡维, 鲜于建川. 基于计算机视觉的冷却牛肉新鲜度评价方法[J]. 农业机械学报, 2004, 35(1): 104- 107
- [25] 孙永海, 鲜于建川, 骆晓沛. 冷却牛肉新鲜度评价及图像分析方法研究[J]. 食品科学报, 2003, 24(4): 31- 34
- [26] 屠 康, 王富昶. 计算机视觉在牛肉大理石花纹分级中的应用研究[J]. 粮油加工, 2003, 10: 43- 45
- [27] 刘木华, 江水泉, 赵杰文. 牛肉品质无损检测中信息融合技术的应用研究[J]. 粮油食品科技, 2003, 11(6): 24- 26
- [28] 赵杰文, 刘木华, 张海东. 基于数学形态学的牛肉图像中背最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): 144- 146
- [29] 滕炯华, 袁朝辉, 王 磊. 基于气敏传感器阵列的牛肉新鲜度识别方法研究[J]. 测控技术, 2002, 21(7): 1- 2
- [30] 武 军, 刘 熙, 邹尔新. 宰后成熟对牛肉肌组织结构及食用品质的影响[J]. 中国兽医学报, 2002, 22(5): 494- 496
- [31] 南京农业大学肉类研究室研制. 牛肉等级标准[S]. 2003

Review of beef grading with computer vision

Jia Yuan¹, Ji Changying¹, Tang Xiaoyan²

(1. College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China;

(2. Meat Laboratory of Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract: According to the trend of foreign countries and actual research status, automatic beef grading is a new study subject after Beef Grading Standard published in China. In comparison with advanced techniques abroad, the research of automatic beef grading in China is developing. The research advances of automatic beef grading technology abroad and at home were reviewed. To construct an applied system of beef grading with computer vision, researchers in China should combine beef production and signal acquiring with beef edible quality. Separating the marbling texture as one of the important technologies in beef grading does not only meet the present standard, but also meet the standards of the foreign countries.

Key words: beef grading; intramuscular fat; marbling score; computer vision