一个基于机器视觉的牛肉质量评估智能手机APP

Soleiman Hosseinpour ∗ , Ali Hakimi Ilkhchi, Mortaza Aghbashlo

中国农业大学农业工程与技术学院农业机械工程系纳米生物电子实验室，自然资源，德黑兰大学。

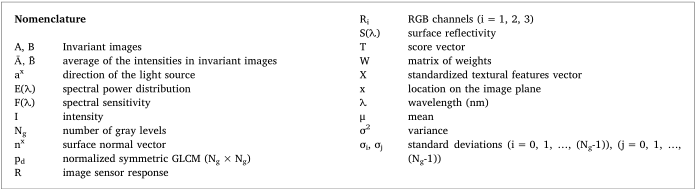
关键字: Android app，牛肉质地，图片分析，机器视觉，智能手机

牛肉嫩度是与牛肉质量、消费者满意度和购买决策相关的最重要的属性。目前，对牛肉进行快速、无创、无损的评价和预测新鲜产品特性的嫩度和质量在牛肉处理、加工、分析和买卖的工业、实验室和市场中是不好实现的。本研究首次开发并验证了一款基于机器视觉的新型智能手机app，通过在不受控制的条件下捕获新鲜牛肉图像预测牛肉嫩度。为了消除不受控制的条件的影响提出了光照不变、旋转不变、比例不变、平移不变的图像处理算法。普通用户可以很容易地捕捉到牛肉样品的图像，在亮度、旋转、缩放、平移等方面都有更大的自由度，无需担心结果的准确性。得到的预处理图像纹理特征与Warner-Bratzler获得的仪器数据有很好的相关性，采用人工神经网络技术测量剪切力。安装了开发的android应用程序在LG G4 H815智能手机上，使用30个牛肉样本对其性能进行了评估。所有牛肉样品分析得到的二维相关系数的出现能力，对图像处理算法的平均概率为0.92，这有力地支持了所开发算法的鲁棒性。神经网络模型能较好地预测，平均绝对百分比误差(MAPE)为3.28%，测定系数(r2)为0.97的值的app用均方误差(mean squared error, MSE)对未见样品的牛肉嫩度值进行了有希望的预测3.34 MAPE是3.74% r2是0.99。因此，开发的应用程序可以是一个从其真实的形象且低成本和用户友好的预测牛肉的嫩度和质量的工具。

牛肉的食用品质和适口性主要是柔软(质地)，多汁和风味(Aaslyng, 2002)。这些感官特性对于顾客的满意和制定采购决策(Platter et al.， 2005)。在一定的情况下，柔软度是最重要的属性之一，根据Platter等人分析，感官体验与饮食满意度是消费者愿意花更多的钱购买嫩牛肉产品。用客观和主观的方法评价Warner Bratzler剪切力(WBSF)和消费者(Destefanis et al.， 2008)，但是，这些方法中的大多数是侵入性的，破坏性评估方法和样品制备。一些相对较新的方法，如可见光，高光谱成像(ElMasry et al.， 2012)，光谱学(Bowling et al.， 2009)，超声技术(Tait, 2016)和x射线计算机断层扫描(Prieto et al.2010)已开发并用于牛肉嫩度预测;

然而，这些方法大多不具成本效益，且需要phisticated仪器。

在肉类工业中，需要从新鲜产品属性中快速，非侵入性和非破坏性地评估和预测肉质。 机器（计算机）视觉技术是一种功能强大且广泛使用的食品质量检测工具，因为它可靠，坚固，具有成本效益，非侵入性和非破坏性（Hosseinpour等，2014）。 因此，在文献中已经进行了大量研究，其中图像处理技术已被用于预测牛肉质量（Li等人，2001; Jackman等人，2010）。 牛肉图像的特征，如颜色，大理石花纹和质地，可以很好地反映牛肉质量（Xiong et al。，2014）。 值得注意的是，与牛肉贻贝中的结缔组织含量和纤维束大小相关的表面图像纹理是牛肉嫩度的重要指标（Swatland，2006; Jabri等，2010）。

人与智能手机的互动日益增长，影响着我们生活的方方面面。 智能手机是配备强大的处理器，内置传感器，更大的存储空间，无线通信和标准打开源软件的先进的手机，使他们能够感知和理解他们的环境。 因此，智能手机已经创造了新的研究机会来设计和实现Android应用程序在许多领域，如医疗保健（Higgins，JP，2016; Jacobs等，2017），医疗和生物技术（Zhang et al。，2016; Liao et al 。，2016），农业（Han et al。，2016; Vesali et al。，2015），食品工业（Yu et al。，2015; Masawat et al。，2105），医学（Bueno et al。，2016; Cho） 等，2015），环境监测，生物安全和生物恐怖主义（Hutchison等，2015），旅游（Law等，2018），物联网（Fitzgerald等，2018）。

近年来，研究人员越来越关注使用智能手机相机开发图像处理应用（Chung等，2018; Shrivastava等，2018）。这可能是因为智能手机的成本很低，而且由于先进的处理器，高分辨率相机和内存存储设备，它们的处理能力得到了提升。尽管基于智能手机的视觉已经在图像处理和人工智能方面创造了新的应用，但在此类Android应用程序商业化之前仍有许多挑战需要解决。各种有影响力的参数，如照明，视点（旋转，缩放和平移），相机参数（光圈，快门速度，白平衡，焦距和ISO），以及硬件限制和多样性都会严重影响性能，准确性和复杂性。基于智能手机的视觉系统。为了解决这些问题，已经开发并采用了各种方法，如在受控条件下的成像（Choodum等，2013）和使用先进的图像处理算法（Casanova等，2013）。然而，在智能手机应用中控制成像环境是困难的甚至是不可能的。不变特征提取仍然是模式识别和图像处理中的关键挑战。因此，已经开发了几种图像处理算法来提取在不受控制的条件下捕获的图像的不变特征，以改善视觉系统的性能（Legaz等，2018; Zhu等，2017），但开发的算法很少用于基于智能手机的图像处理（Casanova et al。，2013）。

因此，这项研究首次进行，以在非标准化和不受控制的条件下捕获的鲜牛肉图像创建新的智能手机应用程序，以估计新鲜牛肉样本的嫩度（WBSF值）。为此，第一次开发了旋转，缩放，平移和平移不变图像处理算法，从新鲜的牛肉图像中提取不变的图像纹理特征。然后使用a将所获得的特征与Warner Bratzler剪切力（WBSF）数据相关联机器学习技术即人工神经网络（ANN）模型。该算法用于构建一个用户友好的智能手机应用程序，用于在真实世界成像条件下实时预测牛肉嫩度，之后，应用程序的预测准确性为确认使用了三十个看不见的肉样。使用此应用程序，消费者将能够预测购买时咀嚼购买牛肉所需的力量。最后，开发的应用程序具有很大的潜力，可以由普通消费者在实验室和肉类行业中应用于市场，以评估牛肉质量。

## 2. 材料和方法

### 2.1 简单准备

167个牛的肌肉样本来自当地一家肉店。 所有肉体的背阔肌（M. longissimus dorsi）肌肉在商店中被移除。 将所有肌肉样品分成两组，分别包括137和30个屠体作为训练和测试样品。 为了进行实验，在肌肉的纵向上从第12/13肋骨界面取出2.5cm厚的牛排样品。 因此，牛肉样品的表面尽可能光滑。 新鲜样品立即用于实验而无需储存。 首先，通过智能手机从牛肉样品中获取所需的图像。 然后根据美国肉类科学协会（AMSA，2005）规定的烹饪方法研究指南，使用WBSF标准对样品进行烤制以测量肉嫩度。

### 2.2 图像采集

LG G4 H815智能手机配有高分辨率CCD传感器摄像头（5312×2988像素，1 / 2.6英寸，f / 1.8），用于捕捉鲜牛肉图像。 分辨率为2976×2976像素的图像是在不同的条件下有意捕获的。照相机和样品平面之间的照明，旋转，距离和平移。 从样本中捕获的图像没有任何背景（特写图像）。 特写图像不需要任何预处理步骤，因为整个图像是感兴趣的区域。

### 2.3 特征提取

由于在智能手机的图像采集过程中存在位置和光照变化，因此应采用照明和仿射不变（即平移，旋转和尺度不变）方法来消除这种不受控制的条件的影响并提取强大的纹理特征。这里提出的不变特征提取算法包括三个子程序，包括光照不变量，仿射不变量和纹理特征提取算法。整体特征提取过程可分为以下几个步骤：

   i）将捕获的彩色图像调整为原始大小的25％（调整为744×744像素），以提高算法的时间效率，

   ii）中值滤波器（3×3）用于消除图像中的环境噪声以及由于例如CCD中的某些缺陷导致的图像中的尖锐和不可预见的干扰引起的盐和胡椒噪声。在传输图像。中值滤波器的机制是通过数组运行图像数组，用相邻数组的中值替换每个条目，

   iii）彩色图像从RGB空间转换为照明不变的灰度空间，

   iv）平移，旋转和尺度不变的空间来自光照不变的灰度空间，

v）从最后获得的空间中提取纹理特征。

#### 2.3.1 照明不变的空间

使用Maddern等人提出的方法实现了照明不变的颜色空间。 （2014）。从摄像机响应函数中提取该不变空间，显示具有光谱灵敏度函数F（λ）的图像传感器R对反射光I的响应来自具有光谱功率分布E（λ）的照射源下具有表面反射率S（λ）的场景如下：



其中a ^ x和n ^ x分别代表光源的方向和表面法向矢量（图1）。通过将光谱灵敏度函数建模为狄拉克δ函数并分离等式2的分量。 （1）使用对数变换，相机响应函数只需更改为以下等式：



其中G是a ^ n·x ^ x，称为几何因子。 Maddern等人。（2014）从等式（Eq）中提取一维灰度空间I. （2）如下：



其中R1，R2，R3是三个RGB通道中的传感器响应。通过使三个波长的值对应于灵敏度峰值（λ1<λ2<λ3）来确定α值，如下：



为了确定α值并因此确定不同灰度级空间的照度，需要传感器光谱响应的峰值。图2示出了用于从RGB颜色空间中的图像导出照明不变灰度级空间的过程的细节。

#### 2.3.2 旋转，缩放和平移不变的空间

为了实现旋转，尺度和平移不变空间，将傅里叶 - 梅林变换应用于所获得的光照不变灰度空间。 如图3所示，旋转，缩放和平移不变算法由三个连续的变换组成。形式包括傅立叶变换，对数极坐标变换和傅里叶变换。 对数极坐标变换是最受欢迎的坐标变换（Asselin和Arsenault，1994），由于其拓扑性质，将旋转和尺度映射到平移。 另一方面，可以基于傅里叶变换的移位定理来实现平移，旋转和尺度不变的空间。 傅立叶移位定理表明空间域中的平移对应于频域中的线性相位项。

为了研究开发的图像处理算法的稳健性，每个牛肉样本的图像捕获程序在三个亮度级别（400,700和1000 lx）进行三个旋转级别（0°，45°和90°），三个等级（0.5,0.8和1），在图像平面中的每个水平和垂直方向上的三个平移级别（图像宽度的0％，25％和50％），以及三次重复。 然后，通过在照明，旋转，比例和平移方面在不同条件下捕获的每个牛肉样本的每对图像的2-D相关系数（方程（5））来测量图像处理算法的鲁棒性。



其中，A和B分别是照明，旋转，尺度和平移不变空间中图像A和B的强度的平均值。 最后，使用MATLAB软件（Release，2016b）进行统计分析，以发现复制对2-D相关系数的影响。

#### 2.3.3 质地特征

灰度共生矩阵（GLCM）是最流行的，也是第一种用于分析食物图像纹理的统计方法（Zheng et al。，2006）。 GLCM是基于Haralick和Shanmugam（1973）提出的二阶统计技术导出的概率分布矩阵。 本研究考虑了广泛使用的GLCM技术，用于提取图像纹理特征。 从幅度中分别提取各种纹理特征，如方差，相关性，同质性，能量，熵，和熵和和方差（方程（6）-（12））和一些统计特征，如均值，方差和熵。 获得的照明和仿射不变空间的归一化GLCM的实部，用于编码随机性，像素间的线性度，像素相似度和空间的纹理均匀性：

