

基于水平集的炉膛烤鸡色泽满意度模型

纪滨, 汪骏

(安徽工业大学计算机学院, 安徽马鞍山 243032)

摘要: 为了测量烤箱内烤鸡色泽品质并跟踪其变化过程, 提出了一种炉膛烤鸡色泽区域取样方法以及量化检测色泽品质的模型。其中, 色泽区域取样是通过基于水平集的自适应能量模型(ABEM), 以烤鸡图像的对比度信息和均值为基础, 使用水平集方法对炉膛图像进行取样, 实现烤鸡色泽区域图像的快速提取。为了验证该方法有效性, 采用该方法和距离正则化水平集方法(DRLSE)对炉膛图像进行取样, 试验结果表明, ABEM 方法可在不损失取样效果的前提下快速获取炉膛烤鸡的前景图像。量化检测色泽品质的模型是通过基于色泽满意度的相对指标模型(CSIM), 利用 HSV 颜色空间中 S 分量的核心频域, 计算烤鸡图像的色泽指标值, 并转化为烤鸡相对色泽满意度指标, 直观反映烤鸡色泽品质。试验结果表明将 ABEM 与 CSIM 相结合, 对于监测炉膛烤鸡色泽品质指标是有效的, 更为万能蒸烤箱的食品品质测控系统核心算法提供重要借鉴。

关键词: 水平集; 炉膛环境; 烤鸡; 色泽指标; 色泽满意度

文章编号: 1673-9078(2015)9-169-174

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.9.028

Color Satisfaction Model of Roast Chicken Based on the Level Set

JI Bin, WANG Jun

(School of Computer Science and Technology, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243032, China)

Abstract: A new sampling method and model for quantitative measurement of color quality of oven-roasted chicken was investigated. An adaptive-balance energy model (ABEM), based on the level set was used for sampling. Based on the mean value and the contrast information from images of the roast chicken, the level set was employed for sampling images of the oven chamber, and rapid extraction of the color area in the roast chicken was achieved. In order to verify this, ABEM and distance-regularized level set evolution method (DRLSE) were adapted for sampling images of the oven chamber. The experimental results showed that the foreground image of the roast chicken in the oven could be obtained using ABEM without compromising the sampling. Using the model for quantitative determination of color quality, the color index of the roast chicken image was computed via a color satisfaction-based relative index model (CSIM) and the core frequency domain of S component in the hue-saturation-value (HSV) color space. Subsequently, the color index was converted to the relative color satisfaction index for roast chicken, directly reflecting the chicken color quality. The results indicated that a combination of ABEM and CSIM is effective in monitoring the color quality index for roast chicken, thus providing an important reference for the core algorithm in food quality control systems.

Key words: level set; oven environment; roast chicken; color quality index; color satisfaction

颜色是食物品质的重要外在特征, 相关研究也表明颜色和食品的品质存在密切的关系^[1], 目前在万能蒸烤箱的烹饪加工过程中, 符合食用标准的熟化程度可以通过食品内部温度精准控制, 但是测控有色泽品质要求的烤炙食品尚无自动量化技术, 亟待解决, 因此, 研究检测方法是必要的。色泽品质的检测主要涉及色泽区域取样和色泽量化表达指标二个部分。常见的食品色泽检测为测色仪法^[2], 但此类仪器较适用于试验室工作场合, 色泽区域取样要求不高, 适用于色

收稿日期: 2014-11-26

基金项目: 安徽省教育厅高等学校自然科学基金项目(KJ2012Z032); 国家火炬计划资助项目(2011GH031230)

作者简介: 纪滨(1969-), 男, 副教授, 主要从事计算机视觉与应用、食品机械等方面研究

泽均匀的对象, 难以胜任真实场景中烤炙类食品外表色泽品质检测的任务。随着计算机视觉技术的发展, 计算机视觉法利用计算机模拟人眼的视觉功能, 从而能很好的完成图像处理及模式识别等工作, 其弥补了测色仪法的局限性, 被国内外认为是最有前景的客观评价方法^[3]。

在我们前期的计算机视觉色泽取样研究中, 探索了矩形框和水平集轮廓区域取样法, 其中水平集轮廓区域包含的色泽信息远比矩形框取样区域丰富全面, 因此, 针对具有天然轮廓目标的色泽取样具有明显优势, 但由于该水平集能量模型的限制, 其取样速度和效果仍存在一定的不足^[4]。目前水平集方法主要分为基于区域信息^[5-6]和基于边缘信息^[7-8]两大类。其中区域活动轮廓(CV)模型^[5]是一种较为常见的基于区域信

息的模型,其能够自动进行拓扑结构的变化,但是其无法处理灰度分布不均匀的图像。李春明等提出了一种基于局部拟合能量的活动轮廓(LBF)模型^[6],该模型对强度分布不均匀图像有较好的分割结果,但对弱边界图像的分割结果不尽理想。

食品色泽分析一般在颜色模型中进行,如 HSV、Lab 及 HIS 模型等^[9],利用食品图像 HSV 三分量的均值作为检测指标准确地识别了肉类食品的色泽^[10-11],其中色泽指标采用分量的均值模型较为简单,存在吸收色泽噪声信息的问题,尤其关于炉膛内烤鸡的外表色泽品质检测模型的研究却鲜有报道。因此本文利用图像的对比度信息和均值信息构建了新型的基于水平集的自适应能量模型(ABEM);而后结合色泽量化指标,提出了烤鸡的基于色泽满意度的相对指标模型(CSIM),为万能蒸烤箱内烤鸡的色泽品质检测技术提供有益参考。

1 材料与方 法

1.1 材 料

超市冷藏产品售卖的去爪无头红宝肉鸡;微型摄像机,帧率为 15 帧/s,台湾勤宇科技公司;SCC62WE 型万能蒸烤箱,德国 Rational 公司;笔记本计算机,美国 Dell 电脑公司。

1.2 图 像 采 集 系 统 装 置 介 绍

图像采集系统主要采集万能蒸烤箱炉膛烤鸡的视频记录信息,供计算机处理分析。其结构示意图如图 1 所示,将微型摄像机嵌入在万能蒸烤箱玻璃门上的摄像机固定装置中,对烤鸡的烹饪过程进行拍摄,将采集的信息输入到电脑中保存,供后继开展食品图像提取和色泽品质检测仿真分析。

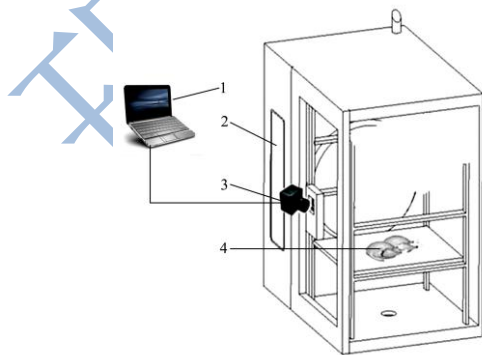


图 1 万能蒸烤视频图像采集系统

Fig.1 Video image acquisition system of combi-oven

注: 1.计算机, 2. 万能蒸烤箱, 3. 微型摄像机, 4. 烤鸡。

1.3 视 频 采 集 方 法

本文利用该系统采集了炉膛温度在 220 °C 条件下 11 只不同大小的去爪无头红宝肉鸡(800 g~1000 g)的烹饪视频,视频时间长度为从关上炉门正式烤炙到结束为止,任选其中 1 只(900 g)的视频作为基准样本,其出炉时间(23.5 min)由大厨根据满意的烤鸡色泽控制,另 10 只为设定烹饪时长为 25 min 的烤鸡试验样本(其中有 2 烤鸡表面抹有酱色涂料)。采集过程如下:将烤箱以 200 °C 预热 2 min 后将光鸡置入炉膛关门进行烹饪,利用微型摄像机获取 11 个批次烤鸡的烹饪视频,并将视频素材传输至计算机中。

1.4 色 泽 区 域 取 样 理 论 模 型

受 CV^[5]和 LBF^[6]模型启发,从预设的初始轮廓依靠水平集能量方程演化到接近真实边界的最终轮廓,本文提出了基于水平集的自适应能量模型(ABEM)。该能量方程如下所示:

$$\psi^{ABEM}(\phi, f_1, f_2, c_1, c_2, \theta) = \omega \varepsilon^{NLBF}(\phi, f_1, f_2, \theta) + (1 - \omega) \varepsilon^{CV}(\phi, c_1, c_2) + \nu L(\phi) + \mu P(\phi) \quad (1)$$

式中 ω 为平衡系数,求解表达式为:

$$\omega = \text{abs}(\alpha + \arctan(\beta)) / \pi \quad (2)$$

其中 α 为常系数范围在 0 到 0.5 之间(本文中 $\alpha = 0.3$), β 为局部方差均值,其表达式为:

$$\beta = \text{averag}(\text{var}(M_{r \times r}(\phi))) \quad (3)$$

其中 $M_{r \times r}(\phi)$ 是以演化曲线上的点为中心 $r \times r$ 大小的邻域, $\text{var}(M_{r \times r}(\phi))$ 是邻域的方差值。公式(2)和(3)表明,平衡系数 ω 的取值范围在 0 到 1 之间,且会跟随者演化曲线动态更新,这样能更好的平衡两种能量模型所占的比例。

ε^{NLBF} 为改进的局部拟合能量方程,其公式如下:

$$\begin{aligned} \varepsilon^{NLBF}(\phi, f_1(x), f_2(x), \theta(x)) &= \int_{\Omega} \varepsilon_x^{NLBF}(\phi, f_1(x), f_2(x), \theta(x)) dx \\ &= \lambda_1 \iint K_{\sigma}(x-y) |I(y) - f_1(x)|^2 H(\phi(y)) dy dx \\ &\quad + \lambda_2 \iint K_{\sigma}(x-y) |I(y) - f_2(x)|^2 (1 - H(\phi(y))) dy dx \\ &\quad + \lambda_3 \int (\theta_1 - \theta(x)) dx + \lambda_4 \int (\theta_2 - \theta(x)) dx \end{aligned} \quad (4)$$

式中 K_{σ} 为高斯核函数,可表示为:

$$K_{\sigma}(u) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} \sigma^n} e^{-|u|^2 / 2\sigma^2} \quad (5)$$

$\theta(x)$ 为窗口全局对比度,其以当前点 x 为中心,

取 $r \times r$ 大小的窗口作为点 x 的邻域范围, r 的取值与图像的分辨率有关, 图像分辨率越高, r 取值越大,

本文 $r = 5$, $\theta(x)$ 表达式为:

$$\theta(x) = \frac{M_{\max} - M_{\min}}{255} \quad (6)$$

(6)式中 M_{\max} 和 M_{\min} 分别表示窗口区域内图像

灰度值的最大值和最小值。 $\theta_i(x)$ 为封闭曲线内部对

比度, $\theta_o(x)$ 为封闭曲线外部对比度, 二者构造相同。

表达式为:

$$\theta_i(x) = \frac{M_{i_{\max}} - M_{i_{\min}}}{255}$$

$$\theta_o(x) = \frac{M_{o_{\max}} - M_{o_{\min}}}{255} \quad (7)$$

式中 $\theta_i(x)$ 为封闭曲线内部对比度, $M_{i_{\max}}$ 和 $M_{i_{\min}}$ 分别表示该曲线内部图像灰度值的最大值和最小值;

$\theta_o(x)$ 为封闭曲线外部对比度, $M_{o_{\max}}$ 和 $M_{o_{\min}}$ 分别表示该曲线外部图像灰度值的最大值和最小值。

(1)式中 ε^{CV} 为 CV 模型的能量项, 其可以加快演化的速度, 定义如下:

$$\varepsilon^{CV}(\phi, c_1, c_2) = \lambda_1 \int_{\Omega} |I(x) - c_2|^2 H(\phi(x)) dx + \lambda_2 \int_{\Omega} |I(x) - c_2|^2 (1 - H(\phi(x))) dx \quad (8)$$

(1)式中 $L(\phi)$ 为曲线 C 的长度能量项 $L(C)$, 其确保水平集函数 ϕ 演化的稳定性, 定义如下:

$$L(\phi) = \int_{\Omega} \delta(\phi(x)) |\nabla \phi(x)| dx \quad (9)$$

(1)式中 $P(\phi)$ 为惩罚能量项, 其可以解决水平集函数重新初始化的问题^[12], 公式如下:

$$P(\phi) = \int_{\Omega} \frac{1}{2} (|\nabla \phi(x)| - 1)^2 dx \quad (10)$$

(4)式中的 H 为 Heaviside 公式, 在本文中其被一个近似的光滑函数 H_{ε} 所代替, 其定义为:

$$H_{\varepsilon}(x) = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2}{\pi} \arctan \left(\frac{x}{\varepsilon} \right) \right) \quad (11)$$

其导函数表示如下:

$$\delta_{\varepsilon}(x) = H'_{\varepsilon}(x) = \frac{1}{\pi} \frac{\varepsilon}{\varepsilon^2 + x^2} \quad (12)$$

用 H_{ε} 和 δ_{ε} 代替(4)和(9)中的 H 和 δ 的到最终的拟合能量方程为:

$$\psi_{\varepsilon}^{ABEM}(\phi, f_1, f_2, c_1, c_2, \theta) = \omega \varepsilon_{\varepsilon}^{NLBF}(\phi, f_1, f_2, \theta) + (1 - \omega) \varepsilon_{\varepsilon}^{CV}(\phi, c_1, c_2) + \nu L_{\varepsilon}(\phi) + \mu P(\phi) \quad (13)$$

利用梯度下降法和变分法求解能量方程(13)的最小值, 得到如下的偏微分方程:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \delta_{\varepsilon}(\phi) \left(\omega \cdot F_1 + (1 - \omega) \cdot F_2 + \mu \cdot \operatorname{div} \left(\frac{|\nabla \phi|}{\phi} \right) \right) + \nu \cdot \left(\nabla^2 \phi - \operatorname{div} \left(\frac{|\nabla \phi|}{\phi} \right) \right) \quad (14)$$

其中, F_1 和 F_2 分别是局部作用力和全局作用力:

$$\begin{cases} F_1 = -\lambda_3 \int K_{\sigma}(x-y)(I(y) - f_1(x))^2 dx + \lambda_4 \int K_{\sigma}(x-y)(I(y) - f_2(x))^2 dy + \lambda_5 e_1 + \lambda_6 e_2 \\ F_2 = -\lambda_1 (I(x) - c_1)^2 + \lambda_2 (I(x) - c_2)^2 \end{cases} \quad (15)$$

利用变分法可求得局部拟合的背景和前景 f_1, f_2

为:

$$\begin{cases} f_1(x) = \frac{K_{\sigma} * [H_{\varepsilon}(\phi(x))I(x)]}{K_{\sigma} * H_{\varepsilon}(\phi(x))} \\ f_2(x) = \frac{K_{\sigma} * [(1 - H_{\varepsilon}(\phi(x)))I(x)]}{K_{\sigma} * (1 - H_{\varepsilon}(\phi(x)))} \end{cases} \quad (16)$$

c_1, c_2 为演化曲线内外部灰度均值, 可表示为:

$$\begin{cases} c_1 = \frac{\int H_{\varepsilon}(\phi(x))I(x) dx}{\int H_{\varepsilon}(\phi(x)) dx} \\ c_2 = \frac{\int H_{\varepsilon}(1 - \phi(x))I(x) dx}{\int H_{\varepsilon}(1 - \phi(x)) dx} \end{cases} \quad (17)$$

其中 e_1, e_2 为对比度能量项:

$$\begin{cases} e_1 = (\theta_1 - \theta(x)) \\ e_2 = (\theta_2 - \theta(x)) \end{cases} \quad (18)$$

根据图像信息的不同, 各能量项的所占比例不同。当演化曲线远离目标边界时, 曲线附近局部方差较小, 平衡系数 ω 的值较小, CV 模型的能量项作为主动力; 当演化曲线靠近目标边界时, 曲线附近局部方差较大, 平衡系数 ω 的值较大, LBF 模型的能量项作为主动力。在处理弱边界图像时, 由于引入了对比度能量项, 使得演化也能很好的完成。

1.5 色泽品质量化检测模型

现有烤鸡烹饪控制系统中缺乏色泽品质测控功能模块, 因此, 建立一个检测不同批次、同一加工模式的色泽品质量化检测模型是必要的, 通过设定一个量化的色泽品质基准, 和待检测的新样本进行匹配, 完成品质检测工作。针对色泽渐变过程较为平稳的食物, 如烤鸡, 在烹饪末期具有色泽几无差异的视觉现

象,由此启发,计算机视觉模拟人眼功能,设定一个量化的色泽品质基准,然后,监测待检测的烤鸡视频相对色泽满意度指标,作为色泽品质量化检测模型。

前期研究发现在烹饪过程中 HSV 颜色模型中, S 分量直方图的核心指标 S_c 具备表征烤鸡外表色泽品质的变化的能力^[4]。但是基准值取某一帧的色泽指标会受到噪声干扰,不适合确定地作为检验标准值,因此,按一定的帧取样间隔提取烹饪末期一组样本帧,这组色泽指标的 S_c 采用 DBSCAN 聚类算法^[13]过滤掉组中的异常样本,将剩下对应的 n 帧直方图 S 分量的核心区域的并集作为色泽品质基准,构造满意区间 ζ 。其中,每帧 S 分量的核心区域参照文献 4 定义,为直方图 S 分量频次按降序排列中前 M 个频次对应的区域分量, M 一般取直方图所有频次的前 10~30% 为宜,本文中 M=20%。

相对色泽满意度指标 η 是考察待检测烤鸡的一组取样帧的直方图 S 分量,衡量它们的核心区域的并集相对于基准值的匹配程度,见公式(19)和(20)。在待检测的视频中,设置帧采样间隔,并以一组待匹配的帧数 m 作为监测窗口宽度,如果匹配成功则停止检测;如果不匹配,监测窗口则沿着视频帧的时间轴方向向后移动一个距离,距离间隔的选择以减少不必要的在线检测计算代价为准,其中 ℓ' 为待检测烤鸡的当前测试段满意系数, ℓ 为标准满意系数,其计算公式如下:

$$\eta = \frac{\ell'}{\ell} \tag{19}$$

$$\ell = \frac{\sum_{i=1}^n \text{sum}(I^i(S \subseteq \zeta))}{n * \text{sum}(I^i)}; \ell' = \frac{\sum_{j=1}^m \text{sum}(I^j(S \subseteq \zeta))}{m * \text{sum}(I^j)} \tag{20}$$

其中, I^i 为烤鸡色泽基准取样组的一帧图像, $\text{sum}(I^i)$ 表示图像 I^i 像素的总数, $\text{sum}(I^i(S \subseteq \zeta))$ 表示图像 I^i 经过 ABEM 方法提取烤鸡区域后的 S 分量中属于满意区间 ζ 的像素点的个数; I^j 是待检测烤鸡的帧取样组中的一帧图像, $\text{sum}(I^j)$ 表示图像 I^j 像素的总数; $\text{sum}(I^j(S \subseteq \zeta))$ 表示图像 I^j 经 ABEM 方法提取烤鸡区域后的 S 分量中属于满意区间 ζ 的像素点的个数。

当待检测烤鸡视频帧的取样组 η 值属于 1 的邻域时,则认为当前烤鸡的色泽品质和设定的基准值匹配,基于色泽满意度的相对指标模型,直观反映当前烤鸡的色泽品质情况,为烤鸡色泽品质自动监测技术奠定理论基础。

2 结果与讨论

2.1 烤鸡色泽区域取样试验

利用 Matlab2012b 平台进行试验,运行环境为: Dell inspiron 5447 PC, Intel(R) i5-4210U CPU, RAM:6GB。ABEM 的常规系数参照传统的经验值^[5-6], CV 能量项系数 λ_1 、 λ_2 设为 1, LBF 能量项系数 λ_3 、 λ_4 为 1, 长度能量项系数 $\nu=0.001 \times 225^2$, 惩罚能量项系数 $\mu=1.0$, 高斯核 $\sigma=3.0$, 时间步长 $\tau=0.1$, 而本文提出的对比度能量项系数 λ_5 、 λ_6 , 经过反复试验, 设为 10 时所取得的分割效果较好。

烤鸡视频采集方法同文献 4, 共获得 11 个批次的 800~1000 g 重量不等烤鸡的视频。对本文所提的 ABEM 方法和和 DRLSE 方法^[9]的目标分割效果进行对比, 对同一图像分别提取烤鸡色泽区域, 由于 DRLSE 方法其演化结果受初始轮廓的影响较大, 而本文方法不会受到初始轮廓的影响, 因此, 两种方法中设置水平集初始轮廓时, 以适合 DRLSE 方法的曲线为准。同时为了比较两种方法的演化速度, 记录各自演化的迭代次数。根据完整烹饪的视频长度, 等间隔抽取 8 个测试帧。试验显示, 两种分割方法对烹饪前期的分割效果较优于烹饪中期和后期的分割效果, 这是因为烹饪初期炉膛景物清晰, 烤鸡边界显著; 烹饪中期和后期炉膛内部因烤鸡体内水蒸汽溢出升腾干扰, 导致图像烤鸡边界弱化, 并且烤鸡皮下油脂融化沸腾也会模糊烤鸡边界, 导致 DRLSE 方法存在演化过界的现象, 如图 2(b)所示, 而本文方法仍能较准确的分割出目标, 如图 2(c)所示, 表明本文方法拥有处理弱边界图像的能力。

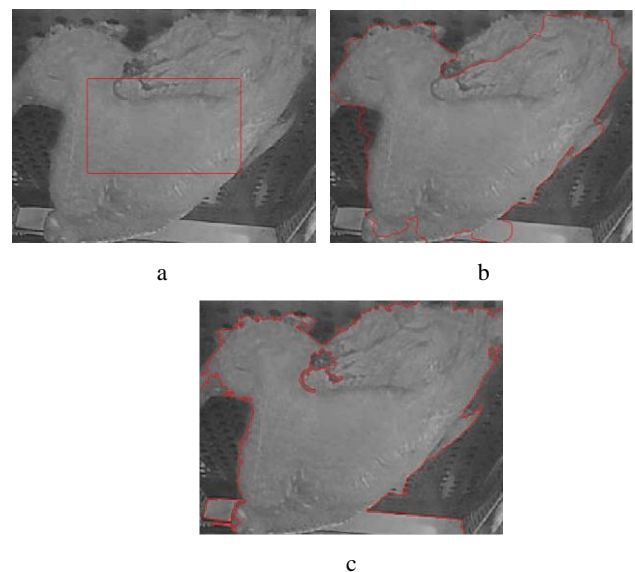


图 2 834g 烤鸡图像分割结果

Fig.2 Results of image segmentation for 834-g roast chicken

注: a: 演化图像及初始曲线; b: DRLSE 方法分割结果; c: 本文方法分割结果。

图 2 为 834 g 烤鸡试验组烹饪末期图像分割结果,

在烤鸡区域取样还包含了炉膛内托盘的不锈钢边条，这是因为金属边框在灰度图像中与烤鸡图像极为接近，不易分割出来，但是，文本烤鸡色泽品质指标保留的是代表烤鸡色泽艳丽部分的 S 分量核心区域信息，因此，并不会对后期满意度建模造成影响。试验结果表明，本文方法和 DRLSE 方法都能获取烤鸡目标区域，且不受外表颗粒状佐料的影响。

本文方法和 DRLSE 方法效果比较指标化，本文选用分割误差 S_D ，见公式(21)，迭代次数 N ，精确度 O_I ，见公式(22)。式(21)中 S_1 为抠图获得的烤鸡区域面积， S_2 为算法获取的烤鸡区域面积， S_D 的值越小越好。

$$S_D = |S_1 - S_2| / S_1 \cdot 100\% \quad (21)$$

$$O_I = |I_F \cap I_G| / |I_F \cup I_G| \cdot 100\% \quad (22)$$

精确度 O_I 表示算法所提取目标区域的二值化图像和手工抠取目标的二值化图像的重合程度。其值越高，表示目标提取的精确度越高。式(22)中 I_F 为手工抠取的真实目标图像， I_G 为分割所得目标图像。

本文算法所得结果的标准偏差均低于 DRLSE 方法，如表 1 所示。数据表明，本文提出的 ABEM 方法相较于 DRLSE 方法，能用较少的迭代次数，更为准确、稳定的分割出烤鸡图像，为后继的构建基于色泽满意度的相对指标模型提供了色泽取样区域。

表 1 855g 和 1000g 试验组烤鸡分割结果

Table 1 Segmentation results of 855-g and 1000-g roast chicken

编号	855g 烤鸡试验组						1000g 烤鸡试验组					
	DRLSE			ABEM			DRLSE			ABEM		
	N	S_D /%	O_I /%	N	S_D /%	O_I /%	N	S_D /%	O_I /%	N	S_D /%	O_I /%
1	300	3.42	88.22	10	2.06	92.75	200	8.63	80.41	10	2.82	85.14
2	300	3.45	86.15	10	0.16	93.10	200	12.34	76.42	10	6.23	81.76
3	300	9.77	80.33	10	0.64	90.97	200	9.69	78.53	10	2.33	80.90
4	300	35.45	68.54	10	7.53	88.60	200	11.53	77.54	10	7.48	81.52
5	300	10.46	76.52	10	6.17	87.99	200	13.23	75.32	10	8.19	82.24
6	300	15.63	72.99	10	7.09	86.42	200	8.32	79.37	10	7.31	82.28
7	300	9.86	73.89	10	8.64	84.03	200	6.32	77.43	10	5.62	82.75
8	300	8.62	68.44	10	9.86	82.86	200	9.43	75.38	10	6.30	82.27
均值	300	12.08	76.89	10	5.27	88.34	200	9.94	77.55	10	5.79	82.36
标准偏差	/	10.23	7.48	/	3.77	3.81	/	2.30	1.83	/	2.14	1.26

2.2 相对色泽满意度指标跟踪试验

为了计算基准样本的标准满意系数 ℓ ，获取烤鸡出炉前 30 秒的炉膛视频段，按时间间隔 1 秒抽取烤鸡满意色泽帧样，采用 ABEM 法提取出烤鸡的色泽取样区域图像。首先计算出每张前景图像的色泽指标，采用 DBSCAN 聚类算法^[15]过滤掉组中的异常的色泽指标，而后根据公式(20)求解满意区间 ζ 以及标准满意系数 ℓ ，为求解试验组各图像的相对色泽满意度指标提供标准和前提。按照上述方法选择无涂抹颗粒调味料的 900g 的烤鸡视频作为基准样本进行求解，得到满意区间 ζ 为 [0.32,0.95]，标准满意系数 ℓ 为 0.91。

在剩下的烤鸡视频中，随机抽取 3 个烤鸡视频作为待检测色泽满意度跟踪测试组，由于针对的是色泽渐变类食品，因此，每组按时间间隔 2 秒抽取测试帧样，监测窗口里的帧数 $m=15$ ，为减少不必要的计算

量，窗口移动距离设为 8 帧，即监测的时间间隔精度为 16 秒。根据所提取出烤鸡色泽取样图像，根据公式(20)计算监测窗口里的色泽满意系数 ℓ' ，得到相对色泽满意度指标 η ，跟踪记录下 η 值，监测烤鸡图像的色泽指标相对于基准的由生到熟的情况，绘制色泽指标 S_e 跟踪曲线图及相对满意度跟踪曲线图，如图 3 所示。图 3(a)中三条 S_e 曲线呈现逐渐增大的情况，代表烤鸡色泽越来越接近满意的鲜艳色泽。其中 834g 试验组烤鸡表面涂有酱色的烹饪佐料，因此其曲线始终高于其他试验组，说明酱色佐料的涂抹对色泽指标具有较大影响。观察曲线上升的时间前后可以发现，重量较大的 1000g 烤鸡其色泽指标上升时间较晚，原因是烤鸡重量较大其整体预热时间相对较长；在中期到后期的过程中都有较大波动，通过观察烹饪视频，我们发现造成这一现象的原因是在烤鸡烹饪的过程中，炉膛内部产生雾蒸汽，对图像的色泽取样造成干扰，

且S分量核心区域的值偏低,但在最后阶段雾蒸汽消失,因此,相对满意度指标对出炉前色泽品质的预警作用不会受到影响。

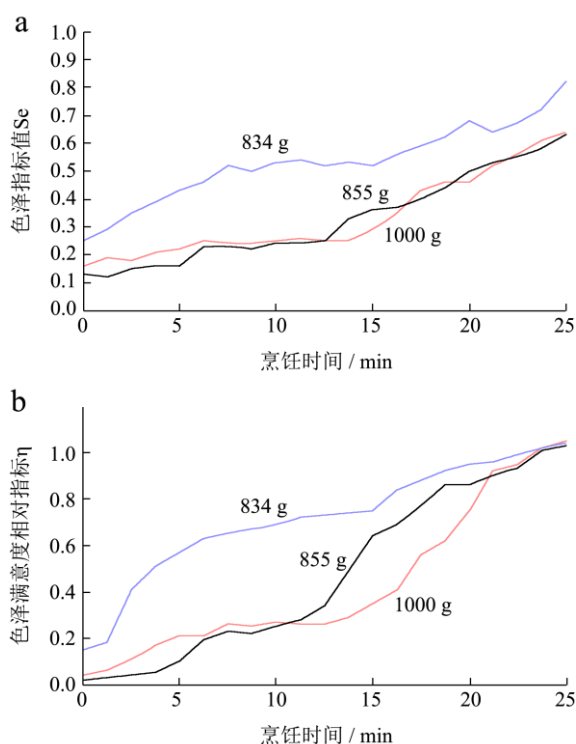


图3 指标跟踪曲线

Fig.3 Color index curves

注: a: 色泽指标曲线, b: 相对色泽满意度指标曲线。

根据两图曲线形态可以发现,基于色泽满意度的相对指标模型具有较好的收敛性,能很好地为定量评判烤鸡烹饪的色泽满意情况提供标准;并且其能够消除佐料、烤鸡大小等因素的干扰影响,且构造的曲线无明显波动,即对前文的烤鸡图像提取不准确的情况具有一定的抗噪性;该模型最后得到的相对色泽满意度指标为直观数据,其可以很好的反映当前烤鸡相较于标准组烤鸡的满意情况,为烹饪的结束提供有益参考。

另通过观察烹饪视频发现,当相对色泽满意度指标位于 $[0.95,1.05]$ 之间,烤鸡的色泽品质最佳;考虑到能源的节约和提前预警,我们建议选取上述区间的下限为预警界限值,即选取满意度0.95为预警界限值;不同的烹饪温度建议使用与之对应的基准样本进行满意度检测。

3 结论

本文采用基于水平集的自适应能量模型对炉膛图像进行取样,完成烤鸡前景图像的提取。本方法提取误差均值为5.53%,比DRLSE方法所得的误差均值11.01%,降低了5.48%,而精确度均值为85.35%,

比DRLSE方法所得的77.22%,增加了8.13%;另本文方法仅需迭代10次便可更稳定的完成图像提取工作,且不受初始曲线位置的制约,更为适合处理炉膛烤鸡图像。本文在色泽指标的基础上,提出了相对色泽满意度的概念,并构建了基于色泽满意度的相对指标模型,建立了定量评判烤鸡烹饪的满意情况的标准,不仅为人们判断烤鸡的成熟情况提供有益参考,更为万能蒸烤箱智能测控食品色泽品质提供条件。本文将ABEM方法与CSIM模型相结合,提出了炉膛烤鸡图像从分割到色泽检测,再到满意度表现的完整分析方法,为炉膛烤鸡提取及色泽品质分析提供有益参考,更为万能蒸烤箱的烤炙食品色泽品质监控奠定技术基础。

参考文献

- [1] Pereira A C, Reis M S, Saraiva P M. Quality control of food products using image analysis and multivariate statistical tools [J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2009, 48(2), 988-998
- [2] 李宏光,吴宝宁,施浣芳,等.几种颜色测量方法的比较[J].*应用光学*,2005,26(3):60-63
LI Hong-guang, WU Bao-ning, SHI Huan-fang, et al. The comparison of multicolor measurement methods [J]. *Journal of Applied Optics*,2005,26(3):60-63
- [3] 董庆利,胡孟晗.应用计算机视觉评定肉类品质的研究进展[J].*现代食品科技*,2011,27(2):209-215
DONG Qing-li, HU Meng-han. Application of computer vision in meat quality evaluation [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2011, 27(2): 209-215
- [4] 纪滨,胡学钢,许正华,等.万能蒸烤箱烤鸡的色泽一致性检测方法与分析[J].*现代食品科技*,2014,30(3):189-194
JI Bin, HU Xue-gang, XU Zheng-hua, et al. Detecting and analyzing of color quality consistency of roasted chickens in combi-oven [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2014, 30(3): 189-194
- [5] Chan T, Vese L A. Active contours without edges [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2001, 10(2): 266-277
- [6] Li C M, Kao C Y, Gore J C, et al. Implicit active contours driven by local binary fitting energy [C].// *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Minneapolis, MN, United States: Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society, 2007: 1-7
- [7] Chen D, Yang M Q. Graph-cut-based normalized coupled -curve evolution model [J]. *Optical Engineering*, 2012, 51(2):

- 027005-1- 027005-9
- [8] Li C M, Xu C Y, Gui C F, et al. Distance regularized level set evolution and its application to image segmentation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2010, 19(12): 3243-3254
- [9] 纪滨,许正华,胡学钢,等.基于颜色的食品品质检测技术现状及展望[J].食品与机械,2013,29(4):229-232
JI Bin, XU Zheng-hua, HU Xue-gang, et al. Reviewing food quality detection technology based on color [J]. Food & Machinery, 2013, 29(4): 229-232
- [10] Munkevik P, Hall G, Duckett T. A computer vision system for appearance-based descriptive sensory evaluation of meals [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(1): 246-256
- [11] Lyon B G, Greene B E, Davis C E. Color, doneness and soluble protein characteristics of dry roasted beef semitendinosus [J]. Journal of Food Science, 1986, 51(1): 24-27
- [12] Li C M, Xu C Y, Gui C F, et al. Level set evolution without re-initialization: A new variational formulation [C]. //IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego, CA, United States: Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society, 2005: 430-436
- [13] Daszykowski M, Walczak B, Massart D. Looking for natural patterns in data: Part 1. Density-based approach [J]. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 2001, 56(2): 83-92