

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.03.027

基于模糊集的玉米饮料滋味自动鉴评方法^{*}

刘晶晶¹ 孙永海¹ 陈莉¹ 孙钟雷² 王笑丹¹ 付天宇¹

(1. 吉林大学生物与农业工程学院, 长春 130025; 2. 长江师范学院生命科学与技术学院, 重庆 408100)

摘要: 利用传感器阵列对玉米饮料滋味在模糊信息层面上实现自动化鉴评。针对玉米饮料滋味感官鉴评的不同剖面引入权值概念, 利用云模型实现定性定量信息的转换和完成综合云模型基于权值差异的调整。分析传感器对玉米饮料滋味感官鉴评甜味、酸甜味、入口风味3个剖面的敏感度差异。在构建的模糊神经网络中, 将针对特定剖面敏感的传感器阵列采集信息作为输入, 感官鉴评云模型转化的信息作为输出, 训练模糊神经网络, 以得到的模糊化层中心值、模糊化层节点宽度值和模糊决策层调节参数来确定网络结构。预测分析结果表明, 该系统在玉米饮料滋味模糊信息的鉴评过程中, 误差率在0.002 43~0.091 77之间, 效果良好。

关键词: 玉米饮料 滋味 鉴评 模糊神经网络 云模型

中图分类号: TS207.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)03-0147-06

Automation Evaluation of Corn Juices Taste Based on Fuzzy Information

Liu Jingjing¹ Sun Yonghai¹ Chen Li¹ Sun Zhonglei² Wang Xiaodan¹ Fu Tianyu¹

(1. College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China

2. College of Life Science and Technology, Yangtze Normal University, Chongqing 408100, China)

Abstract: Fuzzy information of corn juices was automatically evaluated based on a sensor array. The concept of weights was introduced for different taste sensory evaluation aspects of corn juices. The conversion of the qualitative and quantitative information was achieved. At the same time, adjustment of a comprehensive cloud model was completed based on the difference of weight. According to the requirements of the different evaluation aspects of corn juices including sweetness, soursweet and flavor, sensor array were analyzed and combination of different sensor array signals were obtained. Fuzzy neural networks were built for prediction of corn juices taste fuzzy information. The information for different aspects collected from sensor array was input. The information from cloud model according to sensory evaluation was output. With training fuzzy neural network, fuzzy layer center value, the fuzzification layer node width values and fuzzy decision-making regulation parameters were obtained to determine the network structure. The forecast analysis showed that the system allowed good effect with 0.002 43 ~ 0.091 77 error rate in the process of automation evaluation of fuzzy information for corn juices.

Key words: Corn juices Taste Evaluation Fuzzy neural networks Cloud model

引言

液体饮料感官评价中描述性语言提供的模糊信息至关重要, 这些描述性模糊信息能够为研发方向和产品的市场认可程度提供参考。然而直接由人进

行感官评定, 则需要花费大量时间培训鉴评人员, 消耗过多的人力物力。故而近年来, 研究人员利用传感器阵列在食品工业中对基本呈味物质和液体饮料进行区分辨识^[1-5]。传感器阵列在液体饮料区分辨识中能够得到类别这一确定性的区分结论, 快速且

收稿日期: 2012-09-24 修回日期: 2012-10-19

^{*} 国家自然科学基金资助项目(31271861)和国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2008AA100802)

作者简介: 刘晶晶, 博士生, 主要从事农产品智能检测与评价研究, E-mail: liujj1986tiger@sina.com

通讯作者: 孙永海, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品智能检测与评价研究, E-mail: sunyh@jlu.edu.cn

规避了评价的主观性,但是没有将与感官鉴评相对应的模糊信息预测出来。

利用传感器阵列针对采集到的饮料信息预测出该种饮料的描述性模糊信息,既能实现高效自动化检测,又能避免组织感官评定试验中人力和物力的消耗。本文在文献[6]中实现感官鉴评结论定性定量云模型转换的基础上,分析传感器对玉米饮料滋味的不同剖面的敏感度差异,选择针对特定剖面的传感器信号,并通过模糊神经网络完成云模型结论和传感器信号之间的映射,实现玉米饮料滋味模糊信息的自动化鉴评。

1 玉米饮料滋味感官鉴评及云模型转化

1.1 玉米饮料滋味感官鉴评

所需玉米饮料在当地超市中购得,常温避光保存。对通过感官评定能力试验并具有一定分辨能力的感官鉴评人员进行试验筛选和训练,获选的感官鉴评人员具有描述玉米饮料滋味特性及其差别的能力,且对所评价的玉米饮料滋味评价标准、评价系统和描述性词汇的认知有较为一致的认识。对玉米饮料的滋味进行感官鉴评,按照感性认识记录甜味、酸甜味、入口风味3个特性特征的数值。并在测完剖面后,进行综合印象评估。每个剖面得分范围为0~10分,其权值 ξ 分别为0.3、0.3、0.4。玉米饮料滋味总的得分范围为0~10分,分值越高,表明玉米饮料滋味越好。

1.2 感官鉴评结果云模型处理

通过感官鉴评试验得到的味觉评分表,利用一维逆向云模型将针对滋味所得的具体数值即相应的云滴 z' 转化为能够表示定性概念 A 的3个数字特征(期望 E_x 、熵 E_n 、超熵 H_e)。在实际评分过程中,利用仅依赖于云滴的一种一维逆向云算法^[7-8]。以 E_x 、 E_n 和 H_e 的估计值 \hat{E}_x 、 \hat{E}_n 、 \hat{H}_e 作为定性概念的数字特征。

$$\hat{E}_x = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N z'_k \quad (1)$$

$$\hat{E}_n = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |z'_k - \bar{z}'| \quad (2)$$

$$\hat{H}_e = \sqrt{\left| \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (z'_k - \bar{z}')^2 - \hat{E}_n^2 \right|} \quad (3)$$

式中 N ——样本总数

利用逆向云模型在三维空间中对上述感官鉴评得到的数据进行确定的数值量与模糊概念之间的转化。得到表征玉米饮料滋味的感官特性表示 $\{E_{x1}, E_{x2}, E_{x3}; E_{n1}, E_{n2}, E_{n3}; H_{e1}, H_{e2}, H_{e3}\}$,其中 E_x 表示该种玉米饮料在相应剖面的期望值,代表玉米饮料

滋味感官评定的确定性概念; E_n 表示该种玉米饮料在相应剖面的定性概念 A 的不确定性,表明在数域空间中可以被定性概念接受的云滴群范围大小,揭示了定性概念 A 的随机性; H_e 表示该种玉米饮料在剖面的熵 E_n 的熵,可以利用超熵 H_e 来反映因素的不均衡性。经过云模型完成感官鉴评数据的定量数值和模糊概念转化,得到新的等意义的云滴 z_k ,该集合用 Z 表示。

文献[6]中的综合定性概念特征涉及到的多维度离散概念特征相应的权值均已在具体评分中体现,这样的形式在后期整合过程中较为简便,但对于感官鉴评过程而言,经常需要根据不同情况对权值进行调整,故而本文在感官鉴评标准设定过程中,将分值均设定为0~10,而权值 ξ 在后期数据处理过程中再次加入。则得到依据不同权值的综合云模型形式为

$$E_{xz} = \xi_1 E_{x1} + \xi_2 E_{x2} + \xi_3 E_{x3} \quad (4)$$

$$E_{nz} = \sqrt{\xi_1^2 E_{n1}^2 + \xi_2^2 E_{n2}^2 + \xi_3^2 E_{n3}^2} \quad (5)$$

$$H_{ez} = \sqrt{\xi_1^2 H_{e1}^2 + \xi_2^2 H_{e2}^2 + \xi_3^2 H_{e3}^2} \quad (6)$$

式中 E_{xz} ——综合期望 E_{nz} ——综合熵
 H_{ez} ——综合超熵

2 传感器阵列玉米饮料滋味信息提取

2.1 传感器阵列对基本味觉信息的提取

利用本实验室已构建的用于玉米饮料分类辨识的传感器阵列对基本味觉信息进行提取。该阵列共包含G1、G2、P1、P2、P3、S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7共12个传感器^[9],活化完成后,室温条件下待用。利用该传感器阵列、信号采集装置和控制系统采集基本呈味物质(代表甜味的葡萄糖和蔗糖,代表咸味的NaCl和KCl,代表酸味的柠檬酸和HCl,代表苦味的MgSO₄,代表鲜味的谷氨酸一钠(MSG))的相关信息。

传感器阵列对基本呈味物质的响应雷达图如图1所示。从图中可以看出雷达图中代表同一基本味觉的呈味物质在不同传感器上显示的点基本重合,使得其表征出的折线闭合图的形状相似。对单一传感器而言,图中表征不同呈味物质的点彼此之间的距离有一定差异,即不同传感器对不同味觉的响应程度有差异。对传感器采集的基本味觉信号进行单因素方差分析,该过程在SPSS软件中实现,相关数据在表1中体现。在各个传感器中,除P2传感器之外的其余11个传感器组间平方和均大于组内平方和,且所有传感器的 F 值均大于1.62,表明对应的相伴概率(Sig.值)均小于0.05。因此认为在

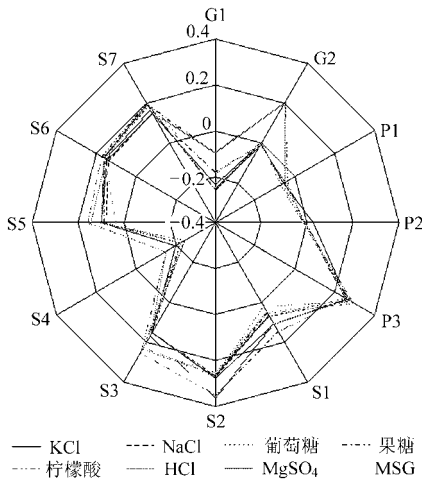


图 1 传感器阵列对基本呈味物质的响应雷达图
Fig. 1 Response radar chart of sensor array for basic taste substance

显著性水平 0.05 条件下,对单一传感器而言,5 种基本味觉识别信息中,至少有一组与另外一组差异显著。

表 1 传感器对基本味觉信号的方差分析
Tab. 1 Variance analysis for basic taste signals from sensors

传感器	组间平方和	组内平方和	F 值
G1	0.186	0.008	236.902
G2	0.403	0	41 081.933
P1	0.005	0	159.718
P2	0.005	0.006	9.190
P3	0.008	0.002	48.958
S1	0.059	0.014	46.733
S2	0.079	0.001	1 228.669
S3	0.050	0.022	24.667
S4	0.054	0.002	249.318
S5	0.059	0.002	356.964
S6	0.004	0.001	28.613
S7	0.014	0.004	38.142

2.2 针对不同味觉信息的传感器阵列组合

玉米饮料主要体现为甜味和酸甜味,同时在玉米饮料制作过程中的添加剂含有一定的盐离子,尤其是会引入钠离子和钾离子等表征咸味的离子。虽然由于呈味物质的协同和拮抗作用,在玉米饮料感官鉴评中难以分辨出咸味,但是这部分离子的种类和数量的变化仍然会对玉米整体风味造成影响,这些信息也需要采集。为此依据不同传感器对甜味、酸甜味和盐离子辨识效果的差异,提取不同传感器信息用于玉米饮料滋味的不同剖面信息的分析。

表 1 数据的结果能够说明试验中各组数据存在显著差异,但并不意味着任意两组之间的差异都显著,也不能说明哪两组之间差异显著,故而在此基础

上进行多重比较,即在统计上将多个均值两两相互比较,以具体判断任意两组之间的差异显著性。

单一传感器对不同基本味觉所得信号利用 LSD 检验(最小显著性差异法)进行多重比较。表 2 中为单一传感器酸味组与其他味觉组比较的均值差,当两组之间的相伴概率(Sig. 值)小于 0.05 时,表明利用改进的 T 检验在显著性为 0.05 条件下,两组之间差异显著。从表 2 中可以看出能够使得酸味与其他 4 种味道均有显著差异的传感器有 G1、G2、S1、S2、S4、S5 共 6 个传感器。

表 2 各个传感器酸味识别与其他味觉识别的均值差
Tab. 2 Mean difference of sour and other taste signal for various sensors

传感器	酸-咸	酸-甜	酸-苦	酸-鲜
G1	0.111 0 *	0.159 4 *	0.159 8 *	0.088 9 *
G2	0.211 9 *	0.209 7 *	0.216 9 *	0.209 1 *
P1	0.011 4 *	0.0202 *	0.002 6	0.027 6 *
P2	-0.023 1 *	0.000 03	-0.006 3	0.001 8
P3	0.000 2	-0.028 2 *	-0.018 7 *	-0.024 8 *
S1	0.042 0 *	0.092 2 *	0.062 3 *	0.082 1 *
S2	0.083 8 *	0.092 1 *	0.095 1 *	0.106 7 *
S3	0.057 5 *	-0.023 4 *	-0.017 2	-0.021 2
S4	0.063 4 *	0.072 9 *	0.097 4 *	0.073 8 *
S5	0.062 6 *	0.059 8 *	0.050 7 *	0.116 1 *
S6	0.021 8 *	0.001 4	0.002 2	0.005 7
S7	0.031 5 *	-0.007 8 *	-0.012 0	-0.009 6 *

注: * 表明相伴概率小于 0.05,差异显著,下同。

同理从表 3 中可以看出,仅传感器 P1 所采集信息能够使得甜味与其他 4 种味道分别有显著差异。传感器 G1、G2、P3、S1、S2、S4 所采集信息能使得甜味与 3 种味道之间有显著差异,至少使得甜与咸、酸两种味道差异显著,且能够保证耦合应用后,包含与

表 3 各个传感器甜味识别与其他味觉识别的均值差
Tab. 3 Mean difference of sweet and other taste signal for various sensors

传感器	甜-咸	甜-酸	甜-苦	甜-鲜
G1	-0.048 3 *	-0.159 4 *	0.000 4	-0.070 6 *
G2	0.002 2 *	-0.209 7 *	0.007 2 *	-0.000 6
P1	-0.008 9 *	-0.020 2 *	-0.017 6 *	0.007 3 *
P2	-0.023 1 *	-0.000 03	-0.006 4	0.001 8
P3	0.028 4 *	0.028 2 *	0.009 5 *	0.003 3
S1	-0.050 1 *	-0.092 2 *	-0.029 9 *	-0.010 1
S2	-0.008 2 *	-0.092 1 *	0.003 06	0.014 6 *
S3	0.080 9 *	0.023 4 *	0.006 2	0.002 2
S4	-0.009 5 *	-0.072 9 *	0.024 53 *	0.000 9
S5	0.002 8	-0.059 8 *	-0.009 0 *	0.056 3 *
S6	0.020 3 *	-0.001 4	0.000 7	0.004 2
S7	0.039 3 *	0.007 8 *	-0.004 2	-0.001 8

其他4种味道的差异。故而单纯考虑甜味的识别仅需求传感器G1、G2、P1、P3、S1、S2、S4的信息。将这7个传感器对玉米饮料所采集的信息用于玉米饮料甜度方面的鉴评。针对玉米饮料酸甜味这方面的信息同时需要考虑酸味的识别,需要将酸味识别差异显著的6个传感器包含在内,故而G1、G2、P1、P3、S1、S2、S4、S5这8个传感器对玉米饮料的采集信息可以用于玉米饮料酸甜味的鉴评。

表4中的数据为单一传感器咸味与其他味觉两两相比较的均值差。G1、G2、P1、S1、S2、S3、S4、S6、S7共9个传感器所采集信息能够使咸味与其他4种味道均有显著差异。利用这9个传感器所采集信息进行玉米饮料风味的鉴评。

表4 各个传感器咸味识别与其他味觉识别的均值差

Tab.4 Mean difference of salty and other taste signal for various sensors

传感器	咸-甜	咸-酸	咸-苦	咸-鲜
G1	0.048 3 *	-0.111 0 *	0.048 7 *	-0.022 2 *
G2	-0.002 2 *	-0.211 9 *	0.005 0 *	-0.002 8 *
P1	0.008 9 *	-0.011 4 *	-0.008 8 *	0.016 2 *
P2	0.023 1 *	0.023 1 *	0.016 7	0.024 9 *
P3	-0.028 4 *	-0.000 2	-0.018 9 *	-0.025 1 *
S1	0.050 1 *	-0.042 0 *	0.020 3 *	0.040 1 *
S2	0.008 2 *	-0.083 8 *	0.011 3 *	0.022 9 *
S3	-0.080 9 *	-0.057 5 *	-0.074 6 *	-0.078 7 *
S4	0.009 5 *	-0.063 4 *	0.034 0 *	0.010 4 *
S5	-0.002 8	-0.062 6 *	-0.011 8 *	0.053 5 *
S6	-0.020 3 *	-0.021 8 *	-0.019 6 *	-0.016 1 *
S7	-0.039 3 *	-0.031 5 *	-0.043 4 *	-0.041 1 *

而对于玉米饮料整体综合信息鉴评,需要综合考虑上述3组传感器阵列所采集到的信息,故而,利用G1、G2、P1、P3、S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7共11个传感器所采集的信息对玉米饮料整体信息进行不确定性鉴评。

3 基于模糊神经网络的玉米饮料感官鉴评模糊信息预测

模糊神经网络将模糊理论和神经网络结合起来,既有较强的自适应能力,又能够兼顾模糊化,可以拓宽信息处理的范围和能力^[10-12]。本文所用模糊神经网络包含5层,分别为输入层、模糊化层、模糊条件层、模糊决策层和输出层。

输入层主要针对不同味觉的传感器阵列所采集数据读入并进行归一化处理。得到 $x(i)$,其中 $i=1,2,\dots,n$; n 表示输入特征值的个数。针对玉米饮料感官鉴评不同方面的评定,分别将特定传感器阵

列所采集数据作为输入值。对于玉米饮料甜味方面的鉴评,则要将G1、G2、P1、P3、S1、S2、S4共7个传感器组成的阵列所采集信息作为输入值,此时 $n=7$ 。同样,对于玉米饮料酸甜味的鉴评,则将G1、G2、P1、P3、S1、S2、S4、S5这8个传感器所采集信息输入,对于玉米饮料风味的鉴评则将G1、G2、P1、S1、S2、S3、S4、S6、S7共9个传感器所采集信息输入,对于综合鉴评结论则将G1、G2、P1、P3、S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7共11个传感器所采集的信息输入。该层的各个节点直接与输入向量的各分量连接,能够使精确的采集数值进入模糊神经网络的下一层中。

模糊化层利用高斯隶属函数对输入层进行模糊化,该层的每个节点代表一个模糊变量值,确定各输入分量属于感官鉴评变量值的模糊集合的隶属度。根据Kolmogorov定理,本文选定隐含节点数为 $2n+1$ 。隶属函数表示为

$$u(i,j) = \exp\left(-\frac{(x(i)-c(j,i))^2}{b(j,i)}\right) \quad (i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,2n+1) \quad (7)$$

式中 $c(j,i)$ ——模糊化层中心值

$b(j,i)$ ——模糊化层节点宽度值

模糊条件层中的每个节点为一条模糊规则,用以匹配模糊规则前件,每条规则的适应度为

$$w(j) = \prod_{i=1}^n u(i,j) = \exp\left(-\sum_{i=1}^n \frac{(x(i)-c(j,i))^2}{b(j,i)}\right) \quad (8)$$

模糊决策层的神经元分别为

$$y_a = \sum w(j) = \sum_{j=1}^n \exp\left(-\sum_{i=1}^n \frac{(x(i)-c(j,i))^2}{b(j,i)}\right) \quad (9)$$

$$y_b = \sum f_i w'(j) \quad (10)$$

其中
$$\sum f_i = p(0) + p(1)x(1) + p(2)x(2) + \dots + p(i)x(i) + \dots + p(n)x(n) \quad (11)$$

式中 $p(i)$ ——模糊决策层的调节参数

$w'(j)$ —— $2n+1$ 个 $w(j)$ 所组成的向量转置后向量的元素

输出层为

$$y = \frac{y_b}{y_a} = \frac{\sum f_i w'}{\sum w} \quad (12)$$

在该模糊神经网络中,模糊化层中心值 $c(j,i)$ 、模糊化层节点宽度值 $b(j,i)$ 和模糊决策层调节参数 $p(i)$ 待定,通过训练该模糊神经网络确定这3个参数进而确定网络结构。

模糊神经网络训练过程中在第 r 次时得到

$$p_r(i) = p_{r-1}(i) + d_p + \alpha(p_{r-1}(i) - p_{r-2}(i)) \quad (13)$$

$$b_r(i) = b_{r-1}(i) + d_b + \alpha(b_{r-1}(i) - b_{r-2}(i)) \quad (14)$$

$$c_r(i) = c_{r-1}(i) + d_c + \alpha(c_{r-1}(i) - c_{r-2}(i)) \quad (15)$$

式中 d_p, d_b, d_c ——迭代过程参数

第 k 个样本的差值 $e(k)$ 为

$$e(k) = z_k - y_k \quad (16)$$

式中 y_k ——模糊神经网络预测数值

式(13)~(15)中的迭代过程参数 d_p, d_b 和 d_c 分别为

$$d_p = \frac{\beta e(k) w}{\sum w} \quad (17)$$

$$d_b(j, i) =$$

$$\frac{\beta e(k) \left(\sum f_i y_a - y_b \right) (x(i) - c(j, i))^2 w(i)}{b^2(j, i) y_a^2} \quad (18)$$

$$d_c(j, i) =$$

$$\frac{2\beta e(k) \left(\sum f_i y_a - y_b \right) (x(i) - c(j, i)) w(i)}{b(j, i) y_a^2} \quad (19)$$

式中 α, β ——调整系数,模糊神经网络训练过程给定初始值 α 为 0.5, β 为 0.01

训练过程中以 $\sum |e(k)|$ 作为误差控制项,最大训练次数设定为 100。在训练过程中不断调整模糊化层中心值、模糊化层节点宽度值和模糊决策层调节参数,直至满足误差要求或者达到最大训练次数,则网络结构确定,得到适用的模糊神经网络。

利用该模糊神经网络对玉米饮料滋味的甜味、酸甜味、风味和综合特性进行预测,定义误差率 C_p 来描述预测效果,即

$$C_p = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \frac{|y_k - z_k|}{z_k} \quad (20)$$

得到的预测结果如表 5 所示。甜味 H_e 信息预测结

果的误差率最大,但其 C_p 值也仅为 0.091 77,而综合信息中 E_n 值预测结果的 C_p 值更是达到了 0.002 43,表明预测的准确性较高。其中综合模糊信息整体鉴评效果非常好, C_p 值控制在 0.002 43 ~ 0.009 23 之间。

表 5 玉米饮料滋味预测的误差率

Tab. 5 Errors of corn juices taste prediction

	E_x	E_n	H_e
甜味	0.016 79	0.061 75	0.091 77
酸甜味	0.046 62	0.008 94	0.015 75
入口风味	0.016 11	0.003 38	0.010 55
综合	0.003 86	0.002 43	0.009 23

4 结论

(1) 利用云模型完成玉米饮料滋味鉴评中描述性语言和定量数值之间的转换,并在引入权值的概念下调整综合云模型的表达。便于滋味鉴评数据与传感器阵列自动采集数据之间建立映射。

(2) 依据传感器对玉米饮料滋味感官鉴评甜味、酸甜味、入口风味 3 个剖面的敏感度不同,对传感器采集数据进行分析。研究表明,传感器 G1、G2、P1、P3、S1、S2、S4 所采集信息适合于甜味分析;传感器 G1、G2、P1、P3、S1、S2、S4、S5 所采集信息用于酸甜味分析,传感器 G1、G2、P1、S1、S2、S3、S4、S6、S7 的传感器阵列采集信息用于风味分析;而对于综合信息,则 G1、G2、P1、P3、S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7 传感器所采集信息更为适合。

(3) 构建模糊神经网络,以传感器阵列采集信息为输入,感官鉴评云模型转换的信息为输出,训练模糊神经网络,调整模糊化层中心值、模糊化层节点宽度值和模糊决策层调节参数,确定网络结构,得到适用的模糊神经网络。利用该模糊神经网络进行预测,误差率在 0.002 43 ~ 0.091 77 之间,综合评价信息的误差率更低于 0.009 23,实现了玉米饮料滋味模糊信息自动鉴评。

参 考 文 献

- 1 Chen Quansheng, Zhao Jiewen, Vittayapadung S. Identification of the green tea grade level using electronic tongue and pattern recognition[J]. Food Research International, 2008, 41(5):500~504.
- 2 Liyama S, Ezaki S, Toko K. Sensitivity-improvement of taste sensor by change of lipid concentration in membrane[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2009, 141(2):343~348.
- 3 Dias L A, Peres A M, Veloso A C A, et al. An electronic tongue taste evaluation: identification of goat milk adulteration with bovine milk[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2009, 136(1):209~217.
- 4 Dias L G, Peres A M, Barcelos T P, et al. Semi-quantitative and quantitative analysis of soft drinks using an electronic tongue[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2011, 154(2):111~118.
- 5 姜莎,陈芹芹,胡雪芳,等. 电子舌在红茶饮料区分辨识中的应用[J]. 农业工程学报,2009,25(11):345~349. Jiang Sha, Chen Qinqin, Hu Xuefang, et al. Application of electronic tongue on black tea beverage discrimination[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(11): 345~349. (in Chinese)

- 6 刘晶晶,孙永海,陈莉,等. 基于云模型的玉米饮料感官鉴评[J]. 农业机械学报, 2013, 44(1):113~118,112.
Liu Jingjing, Sun Yonghai, Chen Li, et al. Sensory evaluation of corn juices based on cloud model[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(1):113~118,112. (in Chinese)
- 7 石礼娟,文友先,牟同敏,等. 逆向云在歪白识别中的应用[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12):196~199.
Shi Lijuan, Wen Youxian, Mou Tongmin, et al. Application of backward cloud to chalkiness detection[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(12):196~199. (in Chinese)
- 8 陈昊,李兵. 基于逆向云和概念提升的定性评价方法[J]. 武汉大学学报:理学版, 2010, 56(6):683~688.
Chen Hao, Li Bing. Qualitative evaluation method based on backward cloud and concept generalizing[J]. Journal of Wuhan University:Natural Science Edition, 2010, 56(6):683~688. (in Chinese)
- 9 刘晶晶,孙永海,丁健峰,等. 玉米汁分类辨识中的传感器阵列优化[J]. 吉林大学学报:工学版, 2013, 43(1):538~543.
Liu Jingjing, Sun Yonghai, Ding Jianfeng, et al. Optimization of sensor array for classification of corn juices[J]. Journal of Jilin University:Engineering and Technology Edition, 2013, 43(1):538~543. (in Chinese)
- 10 宿莎莎,汪飞星,王彩凤. 改进的标准模糊神经网络的工程造价快速估算[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(5):1151~1154.
Su Shasha, Wang Feixing, Wang Caifeng. Fuzzy neural network based on improved standard model and its application in calculating project's cost quickly[J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(5):1151~1154. (in Chinese)
- 11 关海鸥,许少华,谭峰. 基于遗传模糊神经网络的植物病斑区域图像分割模型[J]. 农业机械学报, 2010, 41(11):163~167.
Guan Haiou, Xu Shaohua, Tan Feng. Image segmentation model of plant lesion based on genetic algorithm and fuzzy neural network[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(11):163~167. (in Chinese)
- 12 关海鸥,衣淑娟,焦峰,等. 农作物缺素症状诊断的正则化模糊神经网络模型[J]. 农业机械学报, 2012, 43(5):162~167,156.
Guan Haiou, Yi Shujuan, Jiao Feng, et al. Diagnosis model of crop nutrient deficiency symptoms based on regularized adaptive fuzzy neural network[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(11):162~167,156. (in Chinese)

(上接第 146 页)

- 9 唐建华. 西湖龙井茶农茶标识产地防伪管理系统的设计与实现[J]. 农业网络信息, 2009(6):13~17.
Tang Jianhua. Design and implementation of anti-fake original label management system[J]. Agriculture Network Information, 2009(6):13~17. (in Chinese)
- 10 裘正军,应霞芳,何勇. 基于 GPS 模块的便携式农田面积测量仪[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版, 2005, 31(3):333~336.
Qiu Zhengjun, Ying Xiafang, He Yong. A portable instrument for measuring field area based on GPS module[J]. Journal of Zhejiang University: Agriculture & Life Science, 2005, 31(3):333~336. (in Chinese)
- 11 刘根深. GPS 节水灌溉系统的研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(2):24~27.
- 12 刘前刚. GPS 定位算法及其在智能公交中的应用[D]. 长沙:湖南大学, 2009.
Liu Qian'gang. The Research on GPS location arithmetic and its application in intelligent public transport[D]. Changsha: Hunan University, 2009. (in Chinese)
- 13 陈龙. 基于 ARM 的 GPS 定位系统的研究与实现[D]. 西安:西安电子科技大学, 2008.
Chen Long. Resezrch and realize on GPS positioning system based on ARM[D]. Xi'an: Xidian University, 2008. (in Chinese)
- 14 于英杰,张书慧,齐江涛,等. 基于传感器的变量施肥机定位方法[J]. 农业机械学报, 2009, 40(10):165~168.
Yu Yingjie, Zhang Shuhui, Qi Jiangtao, et al. Positioning method of variable rate fertilizer applicator based on sensors[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(10):165~168. (in Chinese)
- 15 张文军. GPS 与嵌入系统软硬件接口及导航信息提取软件[J]. 计算机工程, 2005, 31(18):210~212.
Zhang Wenjun. Development of interface & program of navigation information retrieval between embedded system and GPS[J]. Computer Engineering, 2005, 31(18):210~212. (in Chinese)
- 16 方兴,方建勋,吴小欣. 利用叉积判断法实现安全管道判断[J]. 战术导弹技术, 2011(2):58~61.
Fang Xing, Fang Jianxun, Wu Xiaoxin. Application of cross-multiply method to judgement of safety channel[J]. Tactical Missile Technology, 2011(2):58~61. (in Chinese)
- 17 翟建勇,王党,卫张伟. 飞行目标与区域的位置关系探讨[J]. 导航, 2003(4):56~62.
- 18 周超,孙传恒,赵丽,等. 农产品原产地防伪标识包装设计及应用[J]. 农业机械学报, 2012, 43(9):125~130,172.
Zhou Chao, Sun Chuanheng, Zhao Li, et al. Design and application of agricultural products' original habitat anti-counterfeiting identification packaging system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(9):125~130,172. (in Chinese)