

- [25] Reynolds T, Dweck A C. Aloe vera leaf gel: a review update[J]. Journal of Ethnopharmacology, 1999, 68: 3-37.
- [26] Saito H. Purification of active substances of Aloe arborescens Miller and their biological and pharmacological activity[J]. Phytotherapy Research, 1993, (7): S14-S19.
- [27] Winters W D, Bouthet C F. Polypeptides of Aloe barbadensis Miller[J]. Phytotherapy Research, 1995, (9): 395-400.
- [28] Winters W D. Immunoreactive lectins in leaf gel from Aloe barbadensis Miller[J]. Phytotherapy Research, 1993, (7): S23-S25.
- [29] McAnalley B H. United States of American Patent 869261, 1986.
- [30] Pugh N, Ross S A et al. Characterization of Aloeride, a new high-molecular-weight polysaccharide from Aloe vera with potent immunostimulatory[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2001, 49: 1030-1034.

人工神经网络在食品工业中的应用

李冰, 郭祀远, 李琳, 吴建文

(华南理工大学食品与生物工程学院, 广州 510640)

摘 要: 人工神经网络具有非线性的自适应的信息处理能力, 已广泛地用于化工、通信等领域。本文综述了神经网络在食品上的应用情况, 包括在食品的分类和分级, 食品加工过程的仿真和控制, 外来物与掺假物的鉴别, 气味分析以及感官评定等方面的应用。在此基础上, 对神经网络在食品工业上的应用前景进行了探讨。

关键词: 人工神经网络; 食品; 分级; 仿真; 控制

Abstract: Artificial neural network (ANN) has been widely employed in chemical industry, communication, etc. With its unique abilities of non-linearly and adaptively processing data. In this paper, the application of neural network on food industry was reviewed. ANN was applied to food classification, food processing simulation and control, foreign objects detection, odor analysis and sensory evaluation. The prospect of ANN on food industry was further discussed.

Key words: artificial neural network; food; classification; simulation; control

中图分类号: TS201.1; TP183

文献标识号: A

文章编号: 1002-6630(2003)06-0161-04

人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)简称神经网络, 模拟了人类大脑的神经网络部分结构和功能, 由多个非常简单的处理单元按某种方式相互连接而形成的计算系统, 具有学习、记忆、联想和计算功能。它可以有效地对模型不确定的数据进行大规模非线性自适应信息处理, 自动调节不同类型的非线性响应, 是一种新型的黑箱方法。在20世纪九十年代, 人工神经网络应用领域迅速扩大, 特别在图像识别、语音识别、股票预测、化工过程模拟方面展现了很好的智能特性。食品工业所涉及到的食品加工过程、品质控制、成分分析往往是属非线性和非稳态的系统, 将人工神经网络应用势必会促进食品工业的发展, 但目前这方面的研究工作还是处于初步阶段。本文将简单介绍神经网络的基本原理, 并综述了神经网络在国内外食品工业应用的情况, 在此基础上对神经网络在食品工业中的应用前景进行了探讨。

1 人工神经网络简介

人工神经网络是由大量处理单元——神经元广泛互连而成的网络。与传统的处理方法不同, 网络的信息处理是由神经元之间的相互作用来实现。它反映了人脑功能的许多基本特性, 但它并不是人脑神经网络的真实写照, 而是对其作某种简化、抽象和模拟, 是数学、计算机、神经生理学和心理学等众多学科相结合的产物。典型的人工神经网络的结构见图1。由图可见, 对于输入信号, 要先向前传播到隐节点, 经过激活函数之后, 再把隐节点的输出信息传播到输出节点, 最后给出输出结果。

ANN是一种新型的黑箱方法, 与传统的线性或非线性回归方法相比, 它具有以下优点: (1) ANN具有学习能力; (2) ANN是一个真正的多输入多输出系统; (3) ANN是一种复杂非线性系统, 在其中可以观察到分叉、混沌等典型的非线性现象, 对于强非线性系统具有较好的处理性能, 包括模拟、优化和控制

收稿日期: 2003-02-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(29876013); 广东省重点科技攻关项目(99M01409G)

作者简介: 李冰(1972-), 女, 讲师, 在职博士生, 主要从事食品与生物化工方面的科研与教学工作。

制；(4) ANN 属于一种并行运算系统，与串行运算相比具有高得多的运算速度，响应时间非常短，可以满足在线模拟、在线优化、自适应控制的需要^[1]。

2 神经网络在食品工业中的应用

2.1 外来物的探测

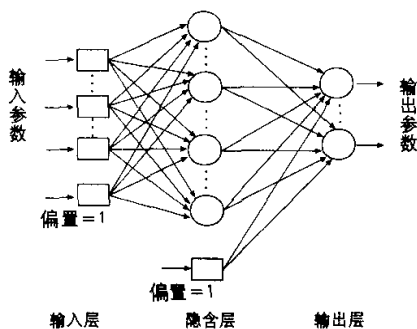


图1 典型神经网络的结构

食品有时会偶尔混入极少量的外来物(如:金属、玻璃、木屑、橡胶或塑料),虽然量少,但是会严重地损害食品的质量。与以前依靠操作人员肉眼进行判断相比,现在许多食品厂已采用先进的仪器探测方法,如X射线衍射,可较为快速而准确地检测出食品中夹带的外来物。仪器探测法产生大量的测量数据,这就要求有一种分析运算方法能快速地大量的数据中找出差异而判别出外来物,从而提高生产的效率。分析方法很多,但目前较为有效的是ANN法。Patel等^[2]利用X射线检测含有外来物的包装冷冻甜玉米的质构,外来物都是硬质物如金属、石头、玻璃屑,它们的大小不同。利用ANN法分析X射线衍射数据,发现,ANN法能较准确地判别出含有外来物的冷冻甜玉米,并且其判别速度比常用的主元素分析法(PCA)略为快些。对于软质外来物如木屑和塑料,在X射线数据上外来物与食品原料的差异很小,情况更为复杂,很难做出判别。根据ANN自学习自适应的特点,不是只采用一个简单的ANN,而是构造了一组子网络。让每个子网络用来识别一种外来物,各自训练了网络,然后将结果最后融合输入一个决策单元,让决策单元决定食品是否合格。对含有木屑和橡胶圈的包装冷冻玉米粒的X射线衍射数据用上述的并行ANN法进行分析,每个子网络的拓扑结构为9-6-3,训练的数据样本量分别为7816和7866,对木屑和橡胶圈的识别率可达到97.3%和92.9%^[3]。

2.2 掺假食品的鉴别

掺假物是人为地故意地加入食品中,可根据不同食品初步估计加入的掺假物的种类,选用相应的检测方法,并结合ANN算法对测量数据分析,可获得较满意的结果。例如:牛油中往往会被掺入一些低价的植物油。一般的检测方法是采用气相色谱根据酰基碳数分离甘油三酸酯,以判断是否被掺假。但是牛油中甘油三酸酯的种类超过1300种,靠人工分析是不现实的。在Lipp等^[4]的实验中,以2%的葵花籽油、大豆油、玉米油

和猪板油分别混入来自不种产地的纯牛油中,在样本量较少时(28个样本)ANN法成功识别20个样本。如果增加训练样本,则有助提高识别的准确度。Dettman等^[5]对413个浓缩橙汁样本(其中173是掺假的样本)利用神经网络进行识别。以高效液相色谱测量的8种黄酮和黄酮糖苷的浓度和以等离子色谱测量的8种微量元素的浓度来表征浓缩橙汁,并以这16个变量作为ANN的输入参数。研究表明,ANN能准确地区别89.9%浓缩橙汁是否掺了假。

2.3 分类与分级

对大多数新鲜果蔬的包装过程已经达到很高的自动化程度,自动清洗机、打蜡机、根据大小或颜色的分类设备都有效地提高这一过程的效率。但是,在这一过程中重要的一步——水果质量的检查与分级仍是靠人工来操作,这大大降低了生产效率,同时制约了国际市场通用的果蔬分级标准的建立。果蔬外观特征很多,随季节、产地和品种不同而不同,应抽取主要特征,再运用ANN模式识别算法进行分类。颜色往往是衡量果蔬外部品质的一个重要指标,也间接反映果蔬的成熟度和内部品质,高品质的果蔬一般着色好。李庆中等^[6]抽取苹果的颜色特征,将遗传算法与神经网络结合设计识别器,对苹果颜色分级识别准确率在90%以上,分级一个苹果所用的时间为150ms,可实现苹果颜色的实时分级。杨秀坤等^[7]也利用遗传算法与神经网络结合进行苹果颜色的自动检测,训练过程只用5s,对苹果不同品种的判别准确率可达93%。Abd-sselam等以胡椒的红、绿、蓝三原色的刺激值(R、G、B)以及它们累加的平均值I作为前向型ANN的输入,研究了不同训练算法和不同隐含层单元数对ANN分级效果的影响,发现,Bayesian调节算法的训练效果最好,平均判别误差为5.8%,隐含层单元数为5时,平均判别误差只有7.1%。除了以颜色为特征外,不同农作物还有其它判别的方法。Hahan和Zanata以辣椒的长、宽、长和宽的乘积为ANN的输入参数,考察ANN对不同角度放置的辣椒的分级。当辣椒以90°放置时ANN对第三类的辣椒可以100%判别^[8]。橙子的分级除了考虑表面颜色好之外,还要表面完整不得有缺陷。Recce和Taylor提出用三步分类法,先是以橙子六个不同方向的颜色直方图为ANN的输入,ANN进行识别。不好的、可能有缺陷的橙子再用ANN进一步识别出有缺陷的橙子,这样可节省分类时间^[9]。

此外,ANN除可进行果蔬分类(分级)外,还可以对肉类分级。Shiranita等^[10]提出利用ANN进行肉类的分级。从肉类的图像处理数据中提取“大理石纹值”(marbling score,表征脊肉中脂肪分布密度)来表征肉类质量,运用三层前向型ANN进行模式识别,效果令人满意。

2.4 加工过程的仿真与控制

食品加工过程总是难以规范地操作,因为食物料的性质与季节、产地与气候紧密地联系,同是由于缺乏合适的传感器或不足够和不精确的在线测量,以及食品的物性的时变性。在传统的过程仿真中,需要建立假设、简化和大量的参数用来建立数学模型,这有可能与实际情况相差很远。因此,具有对非线性、非稳态系统有强处理能力的ANN尤适合应用于食品加工

过程的仿真和控制。

Mittal 和 Zha 对包裹可食性薄膜的片状食物的油炸过程建立 ANN 模型以预测其传热和传质过程。输入参数包括了油炸时间、食品厚度、薄膜厚度、食品初始温度、油温、食品与薄膜间的水迁移系数和油迁移系数、食品热扩散系数、传热系数、初始水分含量和初始脂肪含量, 输出为食品中心温度、平均温度、脂肪含量和平均水分含量, 二个隐层, 每层单元数为 50。ANN 较精确地描述片状食品油炸过程温度与成分含量的变化情况, 预测的温度值与实测值最大的绝对误差少于 1.2℃^[14]。

在恒定温度下灭菌釜中致死值 $F(t)$ 和平均质量保持值 $Q_v(t)$ 的动态变化是很重要的, Chen 等^[15]以灭菌釜的温度、热扩散系数、罐头半径、罐高、质量动态参数和 D 值为模型的输入参数, 利用滑动窗神经网络模型和多元回归与神经网络的混合模型对 $F(t)$ 和 $Q_v(t)$ 的动态变化进行模型, 这两种方法都能很好地描述 $F(t)$ 和 $Q_v(t)$ 的变化。相比之下, 滑动窗神经网络模型性能好些, 但网络的拓扑结构要复杂些。此外, Chen 等^[16]还对灭菌釜变温加热过程进行仿真, 遗传算法和 ANN 结合能有效地描述操作参数与灭菌釜变温函数参数的关系, 并可确定最佳的操作条件, 与灭菌釜恒温过程相比, 灭菌釜变温过程可节省 20% 的操作时间。

Mittal 和 Zhang 用 ANN 预测食品的冷冻时间, 输入参数包括了食品的厚度、长度、宽度、对流传热系数、冷冻部分的热导、食品密度、未冷冻部分的比热、食品的水分含量、初温和室温。研究表明, ANN 是一种简单、方便、准确的预测冷冻时间的方法^[17]。不过, 他们的 ANN 模型没有考虑部分热性质参数是随时间而变化的。因此, Boillereaux 等^[18]对冷冻食品融解时的热性质参数进行实时评估和预测, 以便更准确地在线控制食品的解冻过程。他们以明胶作为食品模型体系, 采用滑动窗 ANN 方法。

2.5 气味检测

当前气体传感器普遍存在着交叉敏感和选择性差等缺点, 使用单一传感器很难实现多组分气体的检测分析。目前使用较多的方式是通过多个敏感程度不同的气体传感器组成传感器阵列, 结合模式识别算法进行气体的分析, 即所谓的电子鼻 (Electronic Nose)。其原理是: 将被测气体按所需测量精度和浓度范围按成分分成不同的浓度等级, 采用标准气体配置这些等级的不同成分气体的所有组合作为标准模态来训练神经网络。通过识别某一未知气体样本的模式, 即可以得到未知气体的成分浓度。对气体传感器数据的处理常用方法有主元素分析、最小二乘法、函数判别分析、模糊逻辑和神经网络。目前的研究表明, 气体传感器阵列与 BP 算法训练的前馈神经网络模式识别方法结合进行多组份气体浓度测量具有很好的效果, 在采用改进型 BP 算法训练神经网络后, 对未知样本气体的定量测量准确率达到 90%。食品是电子鼻应用最大的市场, 电子鼻可帮助或取代人类, 进行鱼类检查, 发酵控制, 检查蛋黄酱腐败情况, 自动风味控制, 监控制奶酪成熟, 证明果汁是否是天然的, 饮料容器检查和威士忌分级。Haugen 和 Kvaal 综述了电子鼻在肉

类中的应用, 见表 1^[12]。

Zhang 和 Balaban 指出电子鼻具有快速、无损伤地辨别气体的能力, 多变量统计和普通神经网络通常用于模式识别, 对传感器信号进行处理。但这些方法耗时, 不适用于不断变化的食品。他们提出采用延时神经网络, 对四分钟内的时间序列的传感器信号进行分析, 能 100% 地正确辨别样品, 而判别函数分析法准确率只有 50%, 多层感应器的准确率也只有 62.5%^[14]。

表 1 电子鼻在肉类中应用

在肉类中的应用	肉类产品
感官质量	猪肉脂肪、羊肉末、发酵型香肠
分级与分类	丁的香肠、盐腌肉、猪肉脂肪、细菌类型
变质情况/货架期	羊肉末、绞细的猪肉和牛肉、真空包装牛肉
变味和被污染情况	猪肉
加工过程	发酵型香肠

2.6 感官评价与预测

新鲜蒸出的酒如葡萄酒蒸馏液、威士忌和朗姆酒通常有刺激的、令人不愉快的气味和辛酸的口感, 所以需放在橡木桶中数年以提高风味和口感, 这就是酒的陈化。酒陈化的机制至今仍未完全清楚, 环境条件、桶的使用、桶的质量、陈化前酒的质量等都会影响陈化的结果。目前, 缺乏一个可靠的模型指示陈化的程度和结果。这个建模过程是非常复杂, 高度非线性和对最终产品的质量评定缺乏客观的指标。Rapis 等^[11]以陈化的葡萄酒为研究对象, 分别建立其风味及口感与各因素的联系。以橡木桶的使用次数, 桶的使用长度和葡萄酒的年分作为输入, 风味(或口感)作为神经网络输出。风味与口感是由专家进行打分得到。对风味与口感分别对 140 组样品训练, 以 20 组未知样本进行验证, ANN 所得结果与专家的评分十分相近。

2.7 食品配方设计

在新食品的开发中, 为了使色、香、味达到预定的结果, 往往需要大量的实验, 以寻找出最佳化的组合。如果能建立实验条件与结果间关系的数学模型, 就可以节省时间, 减少实验次数。以往常用的建模方法是多元回归法, 但是在多因子、非线性的条件下多元回归法并不适用。ANN 则有效地解决这一问题。朱近等^[19]在设计全麦饮料配方时就采用 ANN 先对已有的 27 组数据进行拟合; 然后用 ANN 进行模拟, 输入各种配方成分的含量, ANN 就会输出预测结果, 从中挑选出最佳的配方。

3 结论与展望

食品工业中涉及的操作大部分是属于复杂的非线性系统, ANN 所具有的对非线性系统强的处理性能, 尤其适用于食品工业。ANN 已应用在食品的分类和分级, 食品加工过程的仿真和控制, 外来物与掺假物的鉴别, 气味分析、感官评定、配方设计等方面。随着传感器技术的发展, 相信 ANN 以其优越的数据处理能力在食品工业上的应用会越来越广。

参考文献:

- [1] 周爱月. 化工数学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- [2] Patel D, Davies E R, Hannah I. The use of convolution operators for detecting contaminants in food images [J]. Pattern Recognition, 1996, 29(6):1019-1029.
- [3] Patel D, Hannah I, Davies E R. Soft contaminant detection using neural networks: Techniques and limitations [J]. IEEE World Congress on Computational Intelligence, 1994, (7):4316-4320.
- [4] Lipp M. Determination of the adulteration of butter fat by its triglyceride composition obtained by GC. A comparison of the suitability of PLS and neural networks [J]. Food Chemistry, 1996, 55(4):389-395.
- [5] Dettmar H P, Barbour G S, Blackwell K T et al. Orange juice classification with a biologically based neural network [J]. Computer Chemistry, 1996, 20(2):261-266.
- [6] 李庆中, 张漫, 汪懋华. 基于遗传神经网络的苹果颜色实时分级方法 [J]. 中国图象图形学报, 2000, 5(9):779-784.
- [7] 杨秀坤, 陈晓光, 马成林等. 用遗传神经网络方法进行苹果颜色自动检测的研究 [J]. 农业工程学报, 1997, (6):173-176.
- [8] Hahn F, Zanata J I. Neural network classifier of jalapeno chile using imaging [J]. Proceedings of ICSP, 1996, 1488-1491.
- [9] Recce, M, Taylor J. High speed vision-based quality grading of oranges [M]. IEEE, 1996. 136-144.
- [10] Shiranita K, Hayashi K, Otsubo A. Determination of meat quality by image processing and neural network techniques [M]. The Ninth IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2000. 989-992.
- [11] Raptis C G et al. Classification of aged wine distillates using fuzzy and neural network systems [J]. Journal of Food Engineering, 2000, 46:267-275.
- [12] Haugen J E, Kvaal K. Electronic nose and artificial neural network [J]. Meat Science, 1998, 49(S1):S273-286.
- [13] Zhang H, Balaban M O, Principe J C. Improving pattern recognition of electronic nose data with time-delay neural networks. Annual Meeting and Food Expo, Anaheim, California, 2002. 91D-1.
- [14] Mittal G S, Zha J. Use of artificial neural network to predict temperatures, moisture, and fat in slab-shaped food with edible coating during deep-fat frying [J]. Journal of Food Science, 2000, 65(6).
- [15] Chen C R, Ramaswamy H S, Prasher S O. Dynamic modeling of retort processing using neural networks [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2002, 26(2):91-112.
- [16] Chen C R, Ramaswamy H S. Modeling and optimization of variable retort temperature (VRT) thermal processing using coupled neural networks and genetic algorithms [J]. Journal of Food Engineering, 2002, 53: 209-220.
- [17] Mittal G S, Zhang J X. Prediction of freezing time for food products using a neural network [J]. Food Research International, 2000, 33:557-562.
- [18] Boillereaux L, Cadet C, Le Bail A. Thermal properties estimation during thawing via real-time neural network learning [J]. Journal of Food Engineering, 2003, 57:17-23.
- [19] 朱近, 朱新星. B-P神经网络在全麦饮料配方设计中的应用 [J]. 食品科学, 1996, 17:3-7.

《食品科学》撰稿要求

1. 稿件(附软盘或电子邮件)要求论点明确, 论据可靠, 数据准确, 文字通顺, 简练。
2. 稿件要求6000字以内, 须有中图分类号、文献标识码、第一作者简介、中、英文标题, 并可做200字左右的中、英文文摘和3~8个关键词。
3. 凡属于重大科技获奖的论文和国家级省部级资助项目的研究报告、论文, 请来稿注明批准号, 我刊将优先刊登。
4. 来稿内容涉及配方时, 须写明配料的名称和配比, 勿用代号; 工艺过程要完整, 不要省略; 插图、表格需放在正文的相应地方, 不要集中; 引用图表要有出处, 计量要用法定单位。
5. 文稿中的参考文献不得超过40条。
6. 来稿请注明详细地址和电话, 便于通知联系。