

文章编号: 1009-038X(2000)06-0552-04

糜状食品物料微结构图象特征的小波分析

李华北, 赵杰文

(江苏理工大学生物与环境工程学院, 江苏镇江 212013)

摘要: 由于糜状食品物料微观结构和流变特性密切相关, 所以正确地识别和提取糜状食品微结构图象的特征, 是建立流变特性计算模型的关键步骤. 本文基于多分辨率分析方法, 对不同微观结构的糜状食品图象进行小波变换, 研究了图象多尺度特征. 同时对变换后的小波系数进行统计分析, 探讨了不同微结构图象小波变换系数统计量的区别及变化特点, 并通过计算矩阵特征值, 对建立流变特性计算模型的统计参数进行降维处理.

关键词: 微结构; 小波变换; 统计分析

中图分类号: TP391

文献标识码: A

Wavelet Analysis on the Feature of Microstructure Image of Minced Food Material

LI Hua-bei, ZHAO Jie-wen

(School of Biology and Environmental Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212013)

Abstract: Because of close relationship between the microstructure of minced food material and its rheological behaviour, correctly recognizing and extracting the characters of its microstructure image is one of the most important subjects to model the rheological behaviour. Images of various minced food material microstructures were wavelet transformed in this paper to study the multiscale features of the image. Simultaneously, the wavelet coefficient transformed was analyzed statistically to discuss the differences of their statistic data. In the end, the statistic parameters for rheological behaviour modeling were predigested by calculating the eigenvalue of the matrix.

Key words: microstructure; wavelet transform; statistic analysis

糜状食品物料如肉糜和鱼糜等是食品加工过程中的重要中间原料, 其流变特性研究是制定糜状食品加工工艺、设计加工机械和进行产品质量控制的依据. 实验和理论都表明, 糜状食品物料属于非牛顿流体, 一般用幂律流体模型描述^[1], 且其微观结构的不规则形态和流变特性间有着密切关系^[1,2], 通过对糜状食品物料微结构图象特征的分

析, 可建立相应的流变特性计算模型, 从而获取流变特性参数. 所以, 正确地分析、提取微结构图象的特征参数, 是建立糜状食品物料微结构与食品流变特性之间的定量描述的关键步骤.

糜状食品物料微观结构非常复杂, 一般具有分形结构^[1], 所以应在多尺度下分析、提取特征参数. 小波分析由于具有数学显微镜功能及变换系数的

收稿日期: 2000-05-22; 修订日期: 2000-09-18.

基金项目: 国家自然科学基金资助课题(19872030)

作者简介: 李华北(1964-), 男, 江苏镇江人, 工学博士.

自相似性, 在糜状食品物料图象分析和特征参数提取中, 可以取得较理想的结果. 本文基于小波变换中的多分辨率分析, 使用 Mallat 算法, 在多尺度下对糜状食品物料微结构图象进行了统计特征分析.

1 二维 Mallat 算法及小波选择

1.1 二维 Mallat 算法

Mallat 算法是小波变换中的一种快速算法, 二维 Mallat 算法^[3]可以从一维推广. 考虑可分离的二维尺度函数 $\varphi(x, y)$:

$$\varphi(x, y) = \varphi(x)\varphi(y)$$

于是, 相应地可以定义 3 个二维小波:

$$\psi^1(x, y) = \varphi(x)\psi(y)$$

$$\psi^2(x, y) = \psi(x)\varphi(y)$$

$$\psi^3(x, y) = \psi(x)\psi(y)$$

在二进离散变换情况下, 小波分解的滤波器组结构^[3]如图 1 所示. 一幅图象一次被分解为 4 个子图, 即图 2 中的 LL、LH、HL 和 HH, 它们分别表示

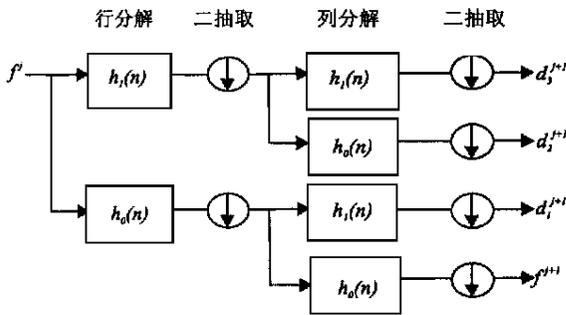


图 1 二维二进小波分解的滤波器组结构

Fig. 1 Two-dimensional and dyadic wavelet decomposition filter bank

$\varphi(x, y)$ 、 $\psi^1(x, y)$ 、 $\psi^2(x, y)$ 和 $\psi^3(x, y)$ 对应的分解. L 表示低频, H 表示高频, LL 反映图象行和列的低频信息(也称图象概貌); LH 反映图象列(垂直方向)高频信息, HL 反映图象行(水平方向)高频信

息, HH 则反映图象对角高频信息. 如接着再把低频信息 LL(图象概貌)进一步分解, 则又可得到 4 个子图, 即二次分解可得 7 个子图. 反复分解, 可得到不同分辨率下的图象信息.

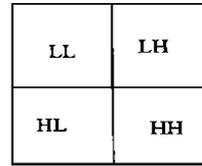


图 2 一次分解成 4 个子图

Fig. 2 A decomposition in four components

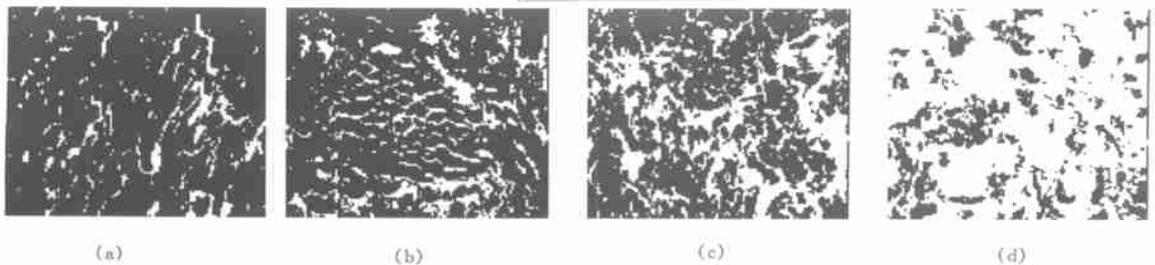
1.2 小波的选择

小波变换从本质上说是一种相关分析. 对于糜状食品微结构图象的分析, 从流变建模的角度讲, 总是希望提取的特征参数相关性较小, 所以在小波变换计算中, 宜采用正交小波, 如 Daubechies 小波; 但从分形的角度考虑, 所选取的小波要能检测图象的局部性能, 如 Marr 小波或 B 样条小波. 通过使用各种小波作变换计算比较, 最后确定使用 Daubechies 小波, 其正则性条件较好^[4]. 另外, 图象边界数据处理采用对称延拓的方法.

2 糜状食品物料微结构图象的小波变换及分析

2.1 图象的小波变换

图 3 是 4 幅经过二值化处理的猪肉糜图象 (256 × 256 × 8 bit). 由于掺水量不同, 因而具有不同微观结构. 对图 3 (a)、(b)、(c)、(d) 4 幅图象作小波变换, 选取分解次数为 3, 则一幅图象分解为 3 × 3 + 1 = 10 子图. 图 3 中 4 幅图象的小波变换统计数据见表 1~4. 其中, d_i^j 表示不同方向和次数的小波系数统计数据, 其下标 $i=1, 2, 3$, 分别代表水平、垂直和对角方向, 上标 j 代表分解次数; a_3 反映 $j=3$ 时的概貌图象.



掺水量: (a) 30% (b) 40% (c) 50% (d) 60%

图 3 4 种不同微结构的猪肉糜图象

Fig. 3 Four kinds of different microstructure image of minced pork

表1 图3(a)图象小波系数统计分析

Tab. 1 Wavelet coefficients statistic analysis on image fig. 3(a)

统计参数	均值	最大值	最小值	分布范围	标准差
d_1^1	-0.002	1.184	-1.032	2.216	0.133
d_1^2	-0.001	1.957	-1.701	3.658	0.238
d_1^3	0.001	2.883	-2.712	5.595	0.487
d_2^1	-0.004	1.322	-1.117	2.439	0.177
d_2^2	0.005	2.232	-2.190	4.423	0.373
d_2^3	-0.002	3.750	-3.465	7.216	0.725
d_3^1	0.001	0.891	-0.938	1.828	0.113
d_3^2	0.000	1.385	-1.332	2.717	0.188
d_3^3	0.018	2.228	-2.045	4.274	0.434
a_3	0.529	8.184	-1.628	9.812	1.250

表2 图3(b)图象小波系数统计分析

Tab. 2 Wavelet coefficients statistic analysis on image fig. 3(b)

统计参数	均值	最大值	最小值	分布范围	标准差
d_1^1	-0.007	1.205	-1.187	2.391	0.230
d_1^2	-0.010	2.084	-2.309	4.393	0.429
d_1^3	0.019	3.901	-3.190	7.092	0.959
d_2^1	-0.006	1.314	-1.230	2.544	0.194
d_2^2	0.004	2.252	-2.249	4.501	0.405
d_2^3	-0.006	4.685	-3.104	7.762	0.728
d_3^1	0.000	1.199	-1.033	2.233	0.157
d_3^2	0.000	1.639	-1.162	2.801	0.254
d_3^3	0.002	2.463	-2.107	4.571	0.603
a_3	1.056	10.195	-1.735	11.930	1.764

表3 图3(c)图象小波系数统计分析

Tab. 3 Wavelet coefficients statistic analysis on image fig. 3(c)

统计参数	均值	最大值	最小值	分布范围	标准差
d_1^1	-0.006	1.236	-1.187	2.423	0.328
d_1^2	-0.002	2.760	-1.892	4.652	0.476
d_1^3	0.026	4.526	-3.974	8.500	0.970
d_2^1	-0.007	1.394	-1.478	2.871	0.240
d_2^2	0.003	2.898	-2.110	5.008	0.503
d_2^3	0.055	4.703	-3.249	7.952	1.088
d_3^1	0.002	1.288	-1.060	2.348	0.175
d_3^2	0.005	1.893	-1.083	2.976	0.272
d_3^3	-0.022	2.933	-3.115	6.048	0.717
a_3	1.875	11.448	-1.342	12.790	2.464

表4 图3(d)图象小波系数统计分析

Tab. 4 Wavelet coefficients statistic analysis on image fig. 3(d)

统计参数	均值	最大值	最小值	分布范围	标准差
d_1^1	-0.003	1.254	-1.190	2.444	0.399
d_1^2	-0.001	2.834	-1.857	4.691	0.484
d_1^3	0.068	5.471	-3.935	9.406	1.294
d_2^1	0.003	1.536	-1.430	2.966	0.295
d_2^2	-0.007	2.956	-2.667	5.623	0.533
d_2^3	0.064	5.202	-3.389	8.591	1.363
d_3^1	0.000	1.491	-1.084	2.575	0.191
d_3^2	0.001	1.933	-1.128	3.061	0.288
d_3^3	-0.006	3.214	-3.109	6.323	0.959
a_3	3.396	12.568	-1.268	13.836	3.436

从表中可以看出,在同一幅图象中,小波变换后不同分辨率的子图象数据大都集中在零点附近,其均值变化较小.最大值、最小值的绝对值及标准差随着分辨尺度 j 的增加而增大,这说明在高分辨率的分解中,小波系数的范围越来越大,且包含了许多重要的信息,反映了糜状食品物料微结构图象的多尺度特征.从能量分布的角度看,分解到最后剩下的平滑概貌子图 a_3 同样具有很重要的地位.

2.2 图象数据对比分析

小波函数在时频两域都有较好的局部性,其变尺度特性使得小波变换对信号具有集中能量的能力.图象小波变换的极值和统计参数在多尺度上综合了原始图象的信息,它往往反映图象的急剧变化之处,也就是分析特性的关键之处,所以比只用原始数据分析图象更能从本质上表征其特征.因而研究糜状食品物料微结构图象小波变换系数随不同微结构的变化,是识别和提取图象特征的关键所在.

以图3中4幅图象的序号 a、b、c、d 作为横坐标,小波变换系数的5个统计参数为纵坐标,可以画出不同微结构图象的参数变化趋势图.由于数据较多,在此只给出分解次数 $j=3$ 情况下的最大值、最小值、分布范围和标准差变化趋势,如图4的(1)、(2)、(3)、(4)所示.其他分解次数的情况基本相同(均值除外),只是程度大小有差别,一般高分辨率下变化(j 取大值时)最明显.由于各个方向和分解次数下的均值大都是集中在零点附近,因而可以不作研究.

在图4中, $i=1、2、3$, 分别表示水平、垂直和对角方向.可以看出,根据糜状食品物料图象微结构

的不同, 其小波变换系数的最大值、分布范围、标准差在同一分解次数下的 3 个方向, 均呈上升趋势; 最小值的情况稍微复杂一些, 但其总的变化趋势仍

然是绝对值增大. 小波系数统计参数的不同反映了不同图象的微结构特征, 可以根据这一点进行图象特征提取和识别.

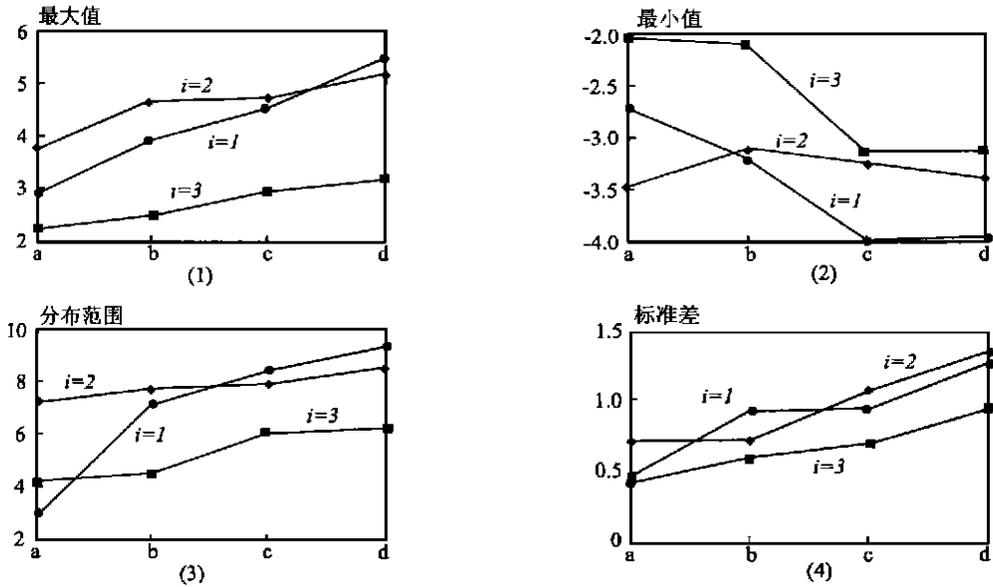


图 4 小波变换统计参数变化情况 ($j=3$)

Fig. 4 The variety of wavelet transform coefficients statistic ($j=3$)

2.3 小波系数的矩阵分析

从上面的分析得知: 不同尺度下的小波变换统计参数表征着相对应的微结构图象. 但是, 从用特征参数建立的流变特性的数学模型角度看, 在一幅图象中包含这么多参数是不方便的, 必须降维. 当然可以使用主成分分析、偏最小二乘法等较复杂的分析方法解决这个问题. 但为简明起见, 作者使用矩阵分析手段, 简化原始数据.

由表 1 ~ 4 可知, 一幅图象中的每一个统计参数可以写成一个以尺度 j 为行、以小波分解 3 个方向为列的矩阵; 由此每一幅图象均可建立最大值、最小值、分布范围和标准差 4 个矩阵(因均值变化不明显, 故不使用均值数据), 这 4 个矩阵表征着相应某一微观结构的图象. 由于总分解次数取 3, 所以, 矩阵为方阵, 可以直接求取矩阵特征值, 其特征值模值数据见表 5.

表 5 统计矩阵特征值模值

Tab. 5 The eigenvalue of the statistical matrix

图号	最大值			最小值			分布范围			标准差		
图 3(a)	5.66	0.10	0.10	5.31	0.06	0.10	10.97	0.19	0.19	0.90	0.01	0.03
图 3(b)	6.52	0.08	0.52	5.51	0.11	0.14	12.01	0.36	0.36	1.19	0.01	0.07
图 3(c)	7.45	0.39	0.01	6.01	0.27	0.68	13.44	0.60	0.64	1.43	0.08	0.08
图 3(d)	8.08	0.75	0.10	6.23	0.20	0.94	14.31	0.89	0.97	1.71	0.09	0.09

由于图象小波分解所剩的概貌子图包含很多信息, 所以在建模时应同时考虑. 若分解次数取其他值时, 那么统计参数矩阵不是方阵, 此时可用其他矩阵特性参数表示, 如求取矩阵的奇异值等.

3 结论

糜状食品物料微观结构图象可认为是一种具有分形特点的纹理现象. 从对图象小波变换统计分

析知道, 图象不同的微观结构对应不同的小波系数统计特征, 使用基于多分辨率的小波分析方法, 可考察糜状食品图象在多尺度下不同方向的细节特征, 再结合最后分解剩下的图象平滑概貌信息, 能够较精确地识别及提取糜状食品图象的微观结构特征. 通过矩阵分析, 适当地处理、简化所得数据, 就可建立图象微结构和流变特性之间的计算模型. (下转第 559 页)

参考文献

- [1] 姚惠源主编. 谷物加工工艺学[M] . 北京: 中国财政经济出版社, 1999.
- [2] 陈正行, 周彤. 米糠: 一种潜在的健康食品优质原料[J] . 粮食与饲料工业, 1999, 10: 40 ~ 43.
- [3] 周雅萍. 米糠营养食品的开发[D] . 无锡: 无锡轻工大学, 1998.
- [4] RANDALL J M, SAYRE R N, SCHALTZ W G. Rice bran stabilization by extrusion cooking for extraction of edible oil[J] . **Journal of Food Science** 1985, 50: 361.
- [5] DANIEL MARTIN. Optimizing rice bran stabilization by extrusion cooking[J] . **Louisiana Agriculture**, 1993, 36(3): 13.
- [6] 朱文华, 姚惠源. 米糠挤压设备的研究开发[J] . 粮油加工与食品机械, 2000(3): 9~ 11.
- [7] 顾尧臣. 米糠的加工利用[J] . 粮食与饲料工业, 1987, 4: 4 ~ 10.
- [8] 许晖. 米糠的挤压改性研究及应用[D] . 无锡: 无锡轻工大学, 1996.

(责任编辑: 李春丽)

(上接第 555 页)

参考文献

- [1] 柴春祥. 糜状食品物料流变特性与微结构相关性的研究[D] . 镇江: 江苏理工大学, 1999. 22 ~ 58
- [2] RAJENDRA PBORWANKAR. Food texture and rheology: A tutorial[J] . **J Food Enf**, 1992, 16: 1.
- [3] MALLAT S. A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation[J] . **IEEE Trans** 1989, 11(7): 674 ~ 693.
- [4] DAUBECHIES I. Orthonormal bases of compactly supported wavelet[J] . **Comm on Pure and Applied Math**, 1988, 41: 909 ~ 996.

(责任编辑: 秦和平 李春丽)