

# 傅里叶频谱径角特征的植物相似性<sup>①</sup>

周 游, 庞 全

(杭州电子科技大学 生物医学工程与仪器研究所, 杭州 310018)

**摘 要:** 提出一种基于图像傅里叶频谱径角变换的纹理特征提取方法, 对藤茎类植物的显微图像进行了相似性度量测试. 与常见的两种纹理特征提取方法进行比较, 能更准确的定义和描述该类植物图像的纹理特征和进行相似性度量.

**关键词:** 纹理特征; 相似性度量; 傅里叶频谱; 径角变换

## Plant Similarity Analysis Based on Fourier Spectrum and Its Angular and Radial Features

ZHOU You, PANG Quan

(Institute of Biomedical Engineering and Instrument, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** A new texture feature extraction method is proposed, which is based on Fourier Spectrum Features Using Angular and Radial Partitioning, conducting the similarity measure experiment on microscopic image of vine. compared with two common texture feature extraction method, the results are more accurate to define and describe texture characteristics and similarity measure of the vine image.

**Key words:** texture feature; similarity measure; Fourier spectrum; angular and radial partitioning

### 1 引言

傅里叶变换实现了把图像从空间域到频域的转换, 傅里叶功率谱数值的大小反应不同频率成分的强度. 国内外的学者对傅里叶变换提取纹理特征的研究较多. 徐贵力等人<sup>[1]</sup>根据傅里叶变换的共轭对称性, 提出了长方环傅里叶周向谱能量百分比计算算法, 毛秉毅<sup>[2]</sup>提出了将对数极坐标和傅里叶变换相结合方法, 完成旋转不变性的傅里叶纹理特征提取, Mehran Deljavan Amiri 等人<sup>[3-5]</sup>提出了对傅里叶功率谱图分别进行角度变换和半径变换, 提取图像纹理特征, 进行图像检索研究工作.

本文在前人研究的基础上提出了一种新的傅里叶频谱图径角变换的纹理特征提取方法, 实现了对图像快速傅里叶变换后的频谱图的定量描述, 并进行了藤茎类植物相似性度量实验, 结果更加准确, 操作容易实现.

### 2 基于图像傅里叶频谱径角变换的纹理特征提取方法

#### 2.1 傅里叶频谱径角变换基本原理

角度变换是用一个适合图片尺寸大小的圆来对要处理的图像感兴趣的区域进行约束, 然后以角度  $\varphi = 2\pi/k$  为基准单位对图像中的圆形区域进行等分操作, 其中  $k$  表示把圆形区域按角度等分的块数. 半径变换是依据不同大小的半径  $r = m \times (\text{width})/2n$ , 把一幅图像均匀的分成不同大小的同心圆, 其中  $\text{width}/2$  代表一幅图像宽度的一半,  $n$  表示圆环的个数,  $m$  表示第  $m$  个圆环, 例如把图像均匀分成 3 个同心圆, 那么第 2 个圆的半径大小为  $\text{width}/3$ . 实际也可以采用图像的高度的一半为基准划分. 两种变换的示意图如图 1 和图 2 所示.

基于图像傅里叶频谱图径角变换的纹理特征提取方法, 是综合运用角度变换和半径变换把傅里叶变换的频谱图(能量谱)进行分块标记, 考虑到傅里叶频谱

<sup>①</sup> 基金项目: 国家科技部支撑计划(2009BAB47B06)

收稿时间: 2012-04-05; 收到修改稿时间: 2012-05-20

图频率分布是关于圆心对称的,为了进行有效的计算,减少计算量,本文将选取径角变换后的傅里叶频谱图的 1/4 区域进行纹理特征提取实验研究. 实验图像处理方法如图 3 所示,其中角度变换参数设置  $\varphi = 45^\circ$ , 半径变换的参数设置  $r_1 = width/6$ ,  $r_2 = width/3, r_3 = width/2$ . 经过径角变换后,实现了把图像感兴趣的区域一共分成 6 个子区域,分别进行标记,标记区域效果如图 4 所示.

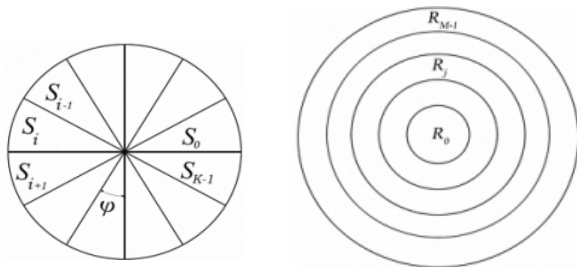


图 1 角度变换把圆等分成 k 个连续区域示意图 图 2 半径变换把圆分成 m 个同心圆示意图

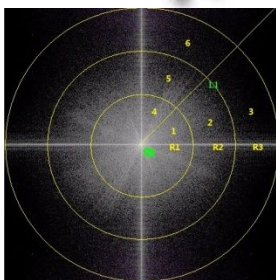


图 3 傅里叶频谱径角变换示意图

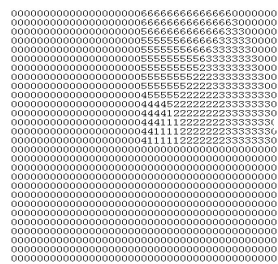


图 4 程序执行时图像像素点区域标记效果图

### 2.2 基于径角变换的快速傅里叶频谱图分块标记

傅里叶变换后的图像,含有非常重要的图像的空间频域信息和图像结构的方向性信息. 使用图像的频谱特征,是因为其相对图像的空间域,对外界噪声不敏感. 对于数字图像的频谱来说,低频分量的分布反映了图像主体的基本形状,高频分量的分布反映图像的细节. 通过观察傅里叶变换后的频谱图可以看出图像的能量分布,如果频谱图中暗的点数较多,那么实际图像比较柔和,反之,如果频谱图中亮的点数多,那么实际图像是尖锐的,边界分明且边界两边像素差异较大. 对频谱移频到原点以后,可以看出图像的频率分布是以原点为圆心,对称分布的. 半径变换对傅里叶频谱图等分处理可以反映出不同区域纹理的粗糙度的分布范围,角度变换对傅里叶频谱等分处理可以

反映出图像不同区域纹理的结构方向性信息.

### 2.3 算法流程及实现

基于图像傅里叶频谱图径角变换的纹理特征提取和相似性度量方法的具体算法流程如下:

- (1) 对藤茎类植物原图  $f(i, j)$  进行快速傅里叶变换,得到傅里叶频谱图  $f(u, v)$ .
- (2) 对傅里叶频谱图进行径角变换,结果把要进行实验的图像的 1/4 部分分成了 6 个区域,并进行相应的标记处理.
- (3) 对标记的 6 个图像区域,分别计算各自区域的平均值  $\mu$  和  $\sigma$  标准方差.
- (4) 6 个区域计算得到的平均值  $\mu$  和标准方差  $\sigma$ ,组成了描述藤茎类植物纹理特征的 12 维特征向量  $f_{ff} = (\mu_1, \sigma_1, \dots, \mu_6, \sigma_6)$ ,运用欧式距离进行相似性度量.

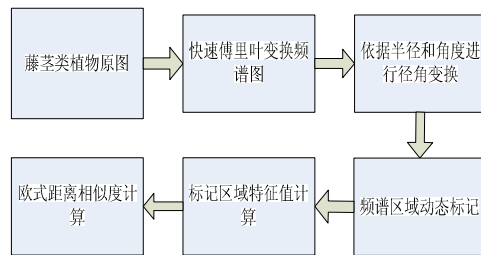


图 5 算法流程图

图像区域动态二维数组标记代码实现如图 6:

```

//标记图像区域的动态二维数组初始化
int **flag=new int *[nHeight];
for (i=0;i<nHeight;i++)
{
    flag[i]=new int [nWidth];
    memset(flag[i],0,nWidth*sizeof(int));
}
for(i=0;i<nHeight/2;i++)
for (j=nWidth/2;j<nWidth;j++)
{
    double ra;
    ra=sqrt((nHeight/2-i)*(nHeight/2-i)+(j-nWidth/2)*(j-nWidth/2));
    if (nHeight/2-i<j-nWidth/2)
    {
        if (ra>0&&ra<nWidth/6)
        {
            flag[i][j]=1;
        }
        else if (ra>nWidth/6&&ra<nWidth/3)
        {
            flag[i][j]=2;
        }
        else if (ra>nWidth/3&&ra<nWidth/2)
        {
            flag[i][j]=3;
        }
    }
    if (nHeight/2-i>j-nWidth/2)
    {
        if (ra>0&&ra<nWidth/6)
        {
            flag[i][j]=4;
        }
        else if (ra>nWidth/6&&ra<nWidth/3)
        {
            flag[i][j]=5;
        }
        else if (ra>nWidth/3&&ra<nWidth/2)
        {
            flag[i][j]=6;
        }
    }
}

```

图 6 动态标记频谱图程序片段

## 3 实验与分析

试验图片来自藤茎类植物木茎切片图库,图片

的大小规格为 256x256, 实验软件开发平台是 vc++6.0. 实验将图片库的图片分为四类, 每一类进行相似性度量的图片的样本数量均为 30 张. 第一类进行相似性度量的图片, 选取的是同种白橡木茎不同区域的切片, 图片特点是纹理结构和颜色均相似, 第二类图片, 选取的是白橡木茎和胡桃木茎的切片, 图像特点是纹理结构相似, 颜色不同. 第三类图片, 选取的是小茴茎和中麻黄茎的切片, 图像特点是颜色接近, 纹理结构不同. 第四类图片, 实验选取的是北沙参根茎和川木通茎的切片, 图像特点是颜色和纹理结构均相似.

实验设计的这四类图片基本包括了现实中对藤茎类植物进行有效相似性度量时的实验环境. 实验目的是对藤茎类植物的四类图片, 进行纹理特征提取实验, 分析对比它们的实验效果, 为以后藤茎类植物的机器识别和分类选取较好的特征描述因子和特征提取方法.

四类实验图片, 由于篇幅的限制每一类图片选取其中的两张为代表进行简单的说明:

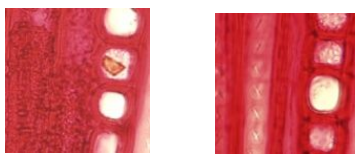


图 7 白橡木茎不同区域样本

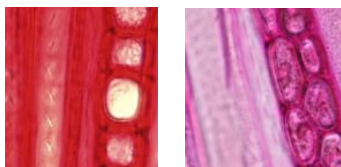


图 8 白橡木茎和胡桃木茎样本

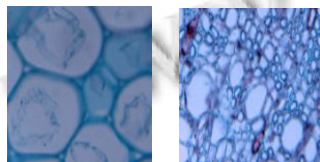


图 9 小茴茎和中麻黄茎样本

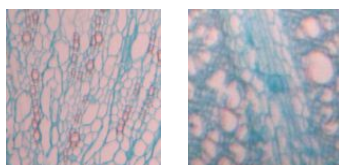


图 10 北沙参根茎和川木通茎样本

实验设计的步骤如下:

① 首先使用基于图像傅里叶频谱图径角变换的提取方法, 针对每一类图片, 设计进行 30 组纹理特征提取实验, 并进行实验编号. Tamura 纹理特征实验步骤和灰度共生矩阵方法实验步骤和新方法一致, 本文不再另做阐述.

② 使用纹理特征提取方法选取的特征因子参数作为用来描述图像的纹理特征向量, 采用欧氏距离函数来计算图像间的相似性. 欧式距离数值越小, 表明两幅图像的相似程度越高, 相反则图片相似度越低.

③ 每类进行相似性度量的图片, 进行了 30 组实验, 可以得到 30 组欧式距离数值, 第一类实验定义图像间的相似度的欧式距离统称为  $d_1 = \{d_{11}, d_{12}, \dots, d_{130}\}$ , 第二类实验定义图像间的相似度欧式距离统称为  $d_2$ , 同样  $d_2 = \{d_{21}, d_{22}, \dots, d_{230}\}$ , 依次得到  $d_3 = \{d_{31}, d_{32}, \dots, d_{330}\}$ ,  $d_4 = \{d_{41}, d_{42}, \dots, d_{430}\}$ .

④ 为了更准确的验证纹理特征方法进行图像相似度判断的结果与实验前人依据视觉感知经验来对图像间相似程度判断的符合程度, 本文分别对上述四个集合的元素求平均值, 分别用  $\bar{d}_1, \bar{d}_2, \bar{d}_3, \bar{d}_4$  来表示, 然后比较这四个值的大小.

由于灰度共生矩阵的计算量很大, 为简便起见, 实验采用 4 个最常用特征, 角二阶矩(能量), 对比度(惯性矩), 熵和局部平稳性, 作为描述图像的纹理特征向量.

Tamura 纹理特征提取方法是基于人类视觉特征的纹理特征表达, Tamura 纹理特征的六个分量对应于心理学角度上纹理特征的六种属性, 分别是粗糙度(coarseness), 对比度(contrast), 方向度(directionality), 线性度(linearity), 规整度(regularity)和粗略度(roughness). 其中, 前三个分量对于图像相似度度量 and 图像检索较为重要, 实验采用前三个分量组成描述一幅图片的纹理特征向量.

### 3.1 基于图像傅里叶频谱图径角变换的纹理特征提取方法实验结果分析

从大量的实验数据作者发现发现一个规律, 标记的 1,2,4 三块区域的均值和方差数值比标记的 3,5,6 三块区域的数值明显大很多, 这是因为, 1,2,4 三块区域更加靠近圆心, 而快速傅里叶变换后得到的频谱图绝大部分的能量集中在靠近圆心的区域, 实验数据的变化和实际的频谱图像的能量分布规律是非常一致的. 本方法提取的纹理特征使用欧氏距离计算相似度, 其

中欧式距离满足,  $\bar{d}_1 < \bar{d}_4 < \bar{d}_2 < \bar{d}_3$ , 这表明了第一类实验图片最为相似, 其次是第四类实验图片, 最不相似的为第三类图片, 这一规律与实验前依据人类的视觉经验判断期望的实验结果完全符合。

### 3.2 基于灰度共生矩阵和 Tamura 纹理特征提取方法的实验结果分析

① 灰度共生矩阵中的能量, 熵, 能较好的反映出图片间的相似性和差异性, 而惯性矩和局部平稳性则表现的不稳定。灰度共生矩阵充分利用了空间信息, 对图像的对比度, 纹理的走向等描述准确度较好。

② Tamura 纹理特征提取出的特征向量使用欧式距离来衡量相似性结果满足  $\bar{d}_1 < \bar{d}_2 < \bar{d}_4 < \bar{d}_3$ , 通过统计大量的实验数据, 发现对比度的数值大小基本上决定了欧氏距离值的大小, 粗糙度和方向度对相似性度量结果影响很小, 使得对上述两个因子的计算变得毫无意义。实际在使用此种纹理特征提取方法时, 应该采取加权求和的方式来对纹理相似性特征进行计算。

### 3.3 三种纹理特征提取方法试验数据对比分析

表 1 展示了本文采取的三种纹理特征提取实验的实验结果, 说明了依据藤茎类图像的频域, 基于图像傅里叶频谱图径角变换的纹理特征提取方法, 相比灰度共生矩阵方法和 Tamura 方法这两种常见的纹理特征提取方法, 更加符合视觉感知经验判断期望的结果, 能更好的用来定义和描述藤茎类植物图像的纹理特征和准确的进行相似性度量。

## 4 结论

基于图像傅里叶频谱图径角变换的纹理特征提取方法, 相比灰度共生矩阵方法和 Tamura 纹理特征提取方

法能更好的用来定义和描述图像的纹理特征和准确的进行相似性度量研究, 从而可以推广应用在图像检索研究中。

表 1 三种纹理提取方法实验结果对比

| 实验类别  | GLCM度量  | Tamura度量  | 纹理谱度量   |
|-------|---|---|---|
| 第一类实验 | $\bar{d}_1 = 0.1751$                            | $\bar{d}_1 = 2.27803$                           | $\bar{d}_1 = 10.6131$                           |
| 第二类实验 | $\bar{d}_2 = 0.5278$                            | $\bar{d}_2 = 2.2824$                            | $\bar{d}_2 = 22.1907$                           |
| 第三类实验 | $\bar{d}_3 = 1.29092$                           | $\bar{d}_3 = 17.2431$                           | $\bar{d}_3 = 39.4755$                           |
| 第四类实验 | $\bar{d}_4 = 0.08397$                           | $\bar{d}_4 = 6.07442$                           | $\bar{d}_4 = 19.3124$                           |
| 实验结果  | $\bar{d}_4 < \bar{d}_1 < \bar{d}_2 < \bar{d}_3$ | $\bar{d}_1 < \bar{d}_2 < \bar{d}_4 < \bar{d}_3$ | $\bar{d}_1 < \bar{d}_4 < \bar{d}_2 < \bar{d}_3$ |

### 参考文献

- 徐贵力, 毛罕平. 利用傅里叶变换提取图像纹理特征新方法. 光电工程, 2004, 31(11): 55-58.
- 毛秉毅. 旋转不变傅里叶纹理特征提取. 计算机工程与应用, 2007, 43(10): 99-100.
- Amiri MD. Affine Invariant Iris Identification Using Angular and Radial Partitioning IEEE Trans. Signal processing and Information Technology (ISSPIT), 2009 IEEE Int. Symposium on, 2009, 14(17): 574-578.
- 杨波, 徐光佑. 纹理相似性度量研究及基于纹理特征的图像检索. 自动化学报, 2004, 30(6): 991-998.
- Abdesselam A. Texture Image Retrieval Using Fourier Transform, International Conference On Communication, Computer Power (ICCCP'09), 2009, 15(18): 343-348.
- 黄锡滋. 软件可靠性、安全性与质量保证. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- 张建明, 孙伟. 基于重庆软件资源库的构件可复用性度量研究. 中国科技论文在线, 2008, 3(2).
- Rosa NS, Cunha PRF, Justo GRR. Process NFA: A Language for Describing Non-Functional Properties. Proc. of the 35th Hawaii International Conference on System Sciences. 2002.
- 张岩, 梅宏. UML 类图中面向非功能属性的描述和检验. 软件学报, 2009, 20(6): 1457-1469.

(上接第 93 页)

Components for Embedded System Development. Architecting Systems, LNCS3938, 2006, 120-136.

- 杨放春, 龙湘明. 软件非功能属性研究. 北京邮电大学学报, 2004, 27(3).
- 王志刚, 王民北, 骆雷飞. 一个嵌入式软件构件的 NFA 量化度量模型. 计算机工程, 2006, 32(13).
- Lauesen S. COTS tenders and integration requirements. Proc of 12th IEEE International Requirements Engineering Conf., 2004: 66-75.