

文章编号: 0253-9721(2006)10-0009-05

# 纱线扭结分布特征的计算机自动识别方法

徐宾刚, MURRELLS Charlotte, 陶肖明

(香港理工大学 纺织及制衣学系, 香港)

**摘 要** 纱线单位长度上的湿扭结个数是评价和衡量纱线残余扭矩的一项重要间接指标。结合数字图像和信号处理技术, 提出了一种基于纱线图像的扭结分布特征的自动识别方法。该方法首先提取纱线的扭结特征曲线, 进而利用信号处理的手段实现了以若干高斯信号来自动匹配和识别纱线扭结特征曲线。实验结果表明, 该方法可以自动准确地计算出纱线湿扭结个数, 同时可获得纱线扭结高度及宽度 2 个几何参数。

**关键词** 纱线; 扭结; 信号处理; 图像处理; 模式识别

中图分类号: TS106.419 文献标识码: A

## Computerized characterization of the yarn snarling distribution

XU Bin-gang, MURRELLS Charlotte, TAO Xiao-ming

(Institute of Textiles and Clothing, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China)

**Abstract** The number of yarn wet snarling per unit length is an important indirect index for the evaluation of yarn residual torque. A computerized characterization method for the yarn snarling distribution was proposed by applying the digital image and signal processing techniques to the actual yarn snarling images. The yarn snarling characteristic curve is firstly extracted, then several Gauss signals would be calculated to match with the yarn snarling characteristic curve. Experimental results revealed that the number of yarn wet snarling can be automatically calculated with a high accuracy by the proposed method, besides, the height and width values of each snarling can also be obtained.

**Key words** yarn; snarling; signal processing; image processing; pattern recognition

加捻是短纤维纺纱的重要环节。在此过程中, 纱线发生弹性扭转变形, 以期获得足够的强度、耐磨性和平滑性, 另一方面, 纱线也同时产生大量的残余扭矩或捻度活性。研究表明, 纱线残余扭矩的存在与其织物的许多物理性能密切相关, 例如平针织物的扭转变形<sup>[1]</sup>及机织物的表面平整性<sup>[2]</sup>等。近年来, 单股无扭矩纱线技术<sup>[3,4]</sup>的研究在平衡纱线残余扭矩和提高纱线及织物性能等方面都做了许多有益的工作。要评价和衡量纱线的残余扭矩, 测量纱线的湿扭结个数是一种重要的间接手段<sup>[3,5]</sup>, 其常用方法是利用纱线捻度测试仪来测量纱线单位长度上扭结的捻回数。本文将信号和图像处理技术应用到纱线扭结的几何轮廓分析中, 通过对纱线扭结轮廓的特征提取和数据拟合, 以期实现纱线扭结个数及其

特征的计算机自动识别。

## 1 基本原理

图 1 为纱线扭结特征自动识别方法的基本原理与流程, 主要包括 3 个部分: 图像预处理、信号处理和参数计算。首先对拍摄的纱线扭结图像进行简单的灰度和二值化预处理, 然后提取纱线直径沿其轴向分布的曲线——扭结特征曲线, 并将其看作一维的离散数字信号进行后续的处理。信号处理主要涉及 2 个变换: 1) 首先对一维扭结特征信号进行 FFT 变换, 从中提出幅值最大的基频正弦分量, 计算扭结沿纱线轴向波动变化的近似频率, 将其作为后续 AOP(自适应旋转投影分解法)<sup>[6]</sup>变换的输入参数;

收稿日期: 2006-01-11 修回日期: 2006-04-18

作者简介: 徐宾刚(1973-), 男, 助理教授, 博士。主要研究领域包括纺织机械与纱线力学、数字信号及图像处理等。

2) AOP 变换利用输入的近似频率,可自动、精确地计算出用以匹配扭结特征信号的一组高斯信号,并利用这些信号参数进一步重构出扭结分布特征信号,进而实现以若干高斯信号参数来自动识别和压缩复杂的扭结分布特征曲线。最后,利用高斯信号参数,可快速准确地计算出纱线扭结的个数,同时可给出扭结高度及宽度 2 个几何参数,如图 2 所示。AOP 是近年发展起来的一种新型参数化时-频分解方法,目前已成功应用于语音信号分析<sup>[7]</sup>、引信目标特征提取<sup>[8]</sup>和图像分割<sup>[9]</sup>等领域。

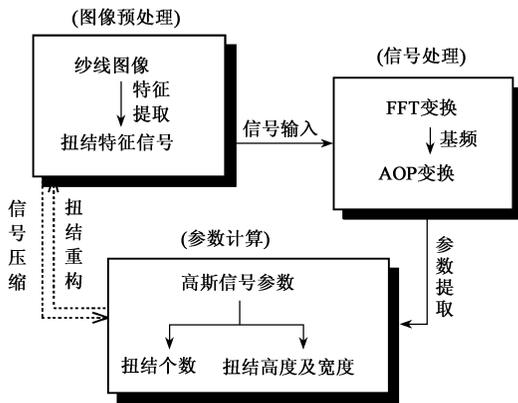


图1 基本原理与流程示意图

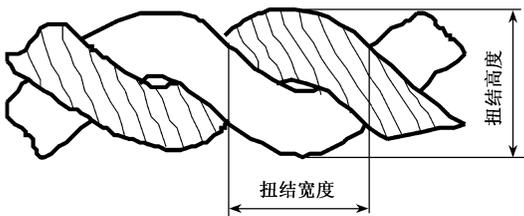


图2 纱线扭结的高度和宽度

## 2 自动识别算法

### 2.1 纱线扭结的特征提取

图 3(a)为一段纱线扭结的原始彩色图像,经灰度和二值化处理后得到黑白图像,见图 3(b),再以像素为单位,读取纱线直径沿其轴向分布的数据,得到扭结特征曲线,如图 3(c)所示。由图 3 可看出,纱线扭结的轮廓特征反映到图 3(c)上,就成为纱线直径沿其轴向有规律的波动,因此这条波动曲线可以看作是纱线扭结分布的特征曲线。如果要自动识别出图 3(a)中纱线扭结的个数及每个扭结的高度和宽度,就必须自动提取扭结特征曲线上系列波动的高点幅值及相邻波动低点的距离。从图 3(c)还可看出,由于扭结分布的不均匀,扭结特征曲线的波

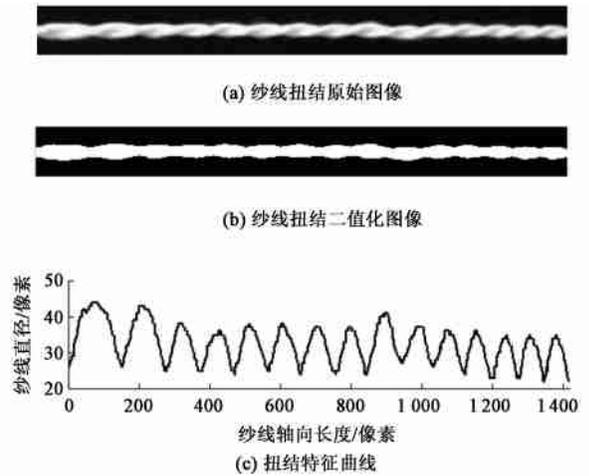
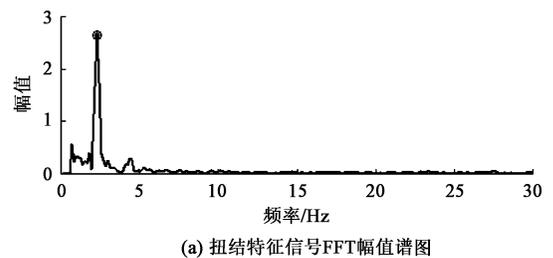


图3 纱线扭结的特征提取

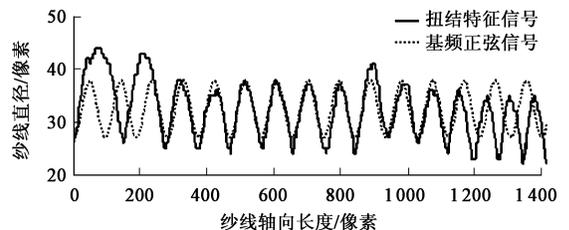
动是变频率的,而且所有高点的幅值各异,再加上纱线图像及其预处理误差带来的曲线局部毛刺和奇异点,增大了扭结自动识别的难度。

### 2.2 特征信号基频提取—FFT 变换

图 3(c)所示的扭结特征信号的数据长度  $N$  为 1 419 点,为了便于 FFT 变换,设采样频率  $F_s$  为 200 点/s,数据经去均值、加 Hanning 窗后进行 FFT 变换,得到幅值谱图 4(a)。



(a) 扭结特征信号FFT幅值谱图



(b) 扭结特征信号与基频正弦信号

图4 FFT 谱图及基频正弦信号

图 4(a)中幅值最大的分量就是扭结特征信号波动的近似频率。接下来,采用频谱插值算法可精确计算出该基频正弦分量的幅值  $a$ 、频率  $f$  和相位  $\psi$  构造出如下的基频正弦信号。

$$\begin{aligned} y &= a \sin(2\pi f t_i + \psi) + M \\ &= 5.4 \sin(2\pi \times 2.14 t_i - 1.7) + 32.5, \\ t_i &= \{1, 2, \dots, N\} / F_s \end{aligned} \quad (1)$$

式中:  $M$ 、 $t_i$  分别为基频正弦信号的均值和时间;  $N$ 、 $F_s$  分别为扭结特征信号的数据长度和采样频率。

图 4(b) 中的虚线为式 (1) 计算所得的基频正弦信号, 比较图中的基频正弦和扭结特征信号, 两者波动的频率和幅值大体相近。但由于基频信号自身是固定频率, 所以无法自适应地去精确匹配原扭结特征信号, 且这种情况会随着扭结不均匀度的增大而更加明显。虽然基频信号无法准确地匹配扭结特征信号, 但它仍然可以提取扭结波动的近似频率, 为后续 AOP 信号变换方法提供预处理参数。

### 2.3 特征信号参数提取与重构—AOP 变换

将 AOP 变换应用到图 3(c) 中扭结特征信号的分解和匹配, 基本原理如下。

设扭结特征信号序列为  $q(t)$ , 且基函数  $G = \{g_i\}_{i=0,1,\dots,\infty}$  为一经伸缩和时移的能量归一化 (即  $\|g_i\| = 1$ ) 高斯函数。

$$g_i(t) = (\pi\sigma_i^2)^{-0.25} \exp[-(t - \mu_i)^2 / 2\sigma_i^2] \quad (i = 0, 1, \dots, \infty) \quad (2)$$

式中,  $\sigma_i$ 、 $\mu_i$  分别为第  $i$  个基函数  $g_i(t)$  的方差和均值。

记信号  $q(t)$  在基函数  $G$  上的最大投影为  $\langle q, g_i \rangle$ , 投影后的信号残差量为  $R_q^1$ , 则

$$q = \langle q, g_i \rangle g_i + R_q^1 \quad (3)$$

显然  $g_i$  和  $R_q^1$  是正交的, 对信号残差量  $R_q^1$  可进行同样的分解, 依次类推可得

$$q = \sum_{n=0}^{N-1} \langle R_q^n, g_n \rangle g_n + R_q^N \quad (4)$$

式中,  $R_q^n$  为第  $n$  次分解后的信号残差量, 且  $R_q^0 = q$ 。这样, 扭结特征信号  $q(t)$  就分解为一组高斯基信号的组合。上述 AOP 的快速算法可参考文献 [9]。

由于 AOP 方法在求解高斯基函数序列时会涉及许多的经验性和试探性参数, 例如分解次数须预先假设, 且基准高斯信号的近似方差需靠经验人为试探给定, 所以要应用 AOP 实现扭结特征的自动识别, 就必须首先解决这 2 个问题。结合扭结自身分布的特点, 分解次数的终止条件可取

$$\langle R_q^N, g_N \rangle < \frac{1}{3} \frac{\sum_{n=0}^{N-1} \langle R_q^n, g_n \rangle}{N} \quad (5)$$

式 (5) 的物理意义是当第  $N+1$  次计算出来的高斯信号权值小于前  $N$  个高斯信号权值均值的  $1/3$  时终止分解。式 (5) 的提出是基于这样 1 个假设: 纱

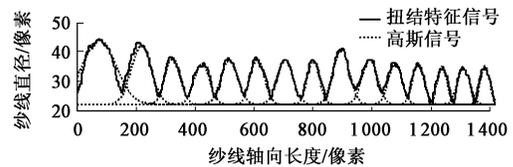
线图片中最小扭结的高度不小于扭结平均高度的  $1/3$ , 对于一张同类纱线的扭结图片来说, 这个假设是合理的。

AOP 快速算法中, 需要人为试探给定 1 个基准高斯信号的近似方差以作计算。本文结合 FFT 和 AOP 变换, 由 FFT 计算的近似频率来自动估计出该高斯信号的方差:

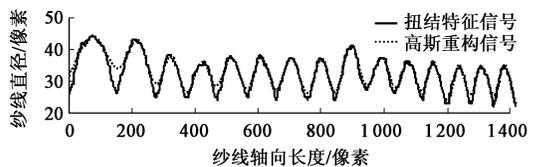
$$\sigma_x = \frac{F_s}{6f} \quad (6)$$

式 (6) 的数学意义是将 FFT 计算出的正弦基频分量的 1 个完整周期长度, 当作是基准高斯信号  $\pm \sigma_x$  的分布区间, 进而求解出所需近似方差。

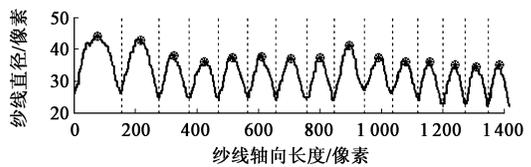
利用 FFT 提供的正弦基频频率, 图 3(c) 中扭结特征信号的 AOP 高斯分解结果如图 5(a) 所示, 共自动分解出 15 个高斯信号, 具体的信号参数列于表 1。将这些高斯信号叠加还可以重构出扭结特征信号, 如图 5(b) 所示, 可以看出两者的波动周期和高点幅值匹配良好, 高斯信号能够变频率自适应进行信号匹配。



(a) 纱线扭结特征信号与高斯信号



(b) 纱线扭结特征信号与高斯重构信号



(c) 扭结特征信号的特征识别

图 5 高斯信号的构造及扭结特征信号的识别

### 2.4 扭结个数与扭结高度和宽度的计算

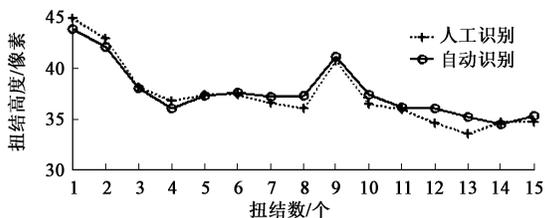
当 AOP 自动分解完毕, 求解出的高斯信号个数就是纱线扭结个数。扭结高度和宽度可以利用表 1 的信号参数求解得到。

计算叠加后的高斯信号在每个高斯信号均值处的数据就是高点幅值, 即扭结高度, 计算所有高斯信

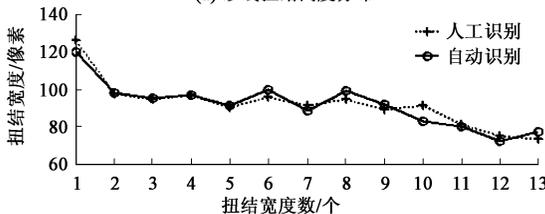
表 1 纱线扭结特征信号的高斯信号参数

序号	均值 $\mu$	权值 A	方差 $\sigma$	序号	均值 $\mu$	权值 A	方差 $\sigma$
1	74.5	219.1	57.0	9	895.5	131.8	26.8
2	217.5	156.1	34.1	10	991.5	104.1	25.8
3	323.5	105.9	24.8	11	1 077.5	90.4	22.9
4	422.5	94.6	25.7	12	1 156.5	82.5	19.4
5	515.5	107.9	27.9	13	1 237.5	70.3	15.9
6	610.5	100.8	23.6	14	1 309.5	76.1	20.8
7	705.5	104.8	26.8	15	1 382.5	70.5	15.9
8	800.5	92.1	20.5				

号两两交点间的距离就是波动低点的距离,即扭结宽度<sup>[10]</sup>。图 5(c)中的星号及虚线所示为计算所得的 15 个高点幅值和 14 个波动低点的轴向坐标位置。进一步将这 15 个高点幅值和 13 个低点距离(因为只有 14 个波动低点)示于图 6,即得纱线扭结的高度和宽度沿其轴向分布情况。此外采用在原始彩色纱线图像上人工定位测量的方法(如图 7 所示)读取扭结高度和宽度,人工识别和自动识别的结果如图 6 所示,可见本文的自动识别方法和人工定位测量的结果较为接近。



(a) 纱线扭结高度分布



(b) 纱线扭结宽度分布

图 6 扭结轮廓参数的提取



图 7 扭结高度和宽度的人工定位测量

### 3 实验结果

取 83 tex (7 Ne) 和 29 tex (20 Ne) 常用机织和针织全棉纱线作测试,其捻度分别为 43.7、63.4 捻/10 cm。每种纱线取 3 幅纱线扭结图像,纱线样本长度为 12 cm。首先采用本文提出的方法自动计算扭结个数及其高度和宽度,然后与原始彩色纱线图像上人工定位测量的方法作比较,结果列于表 2。可以看出,对于 2 种不同线密度的纱线,2 种方

法所得的纱线扭结个数完全相同,2 种方法计算所得扭结高度和宽度的均值也非常接近,误差均在 1 个像素以内,即两者扭结高度均值的总体偏差仅为 3.5%,宽度均值的总体偏差仅为 0.4%。可见此方法可自动准确计算出纱线扭结的个数,所得纱线扭结高度和宽度也较为理想。另外,利用纱线捻度测试仪进行测试,结果与本文提出的自动识别方法所得的纱线扭结个数相同,但由于捻度测试仪不能测得纱线扭结的高度和宽度,所以未列入表 2。

表 2 自动识别和人工测量结果比较

纱线参数	样本	测量方法	扭结个数/个	扭结高度均值/像素 [ CV% ]	扭结宽度均值/像素 [ CV% ]
线密度: 83 tex 捻度: 43.7 捻/10 cm	1	自动	44	15.8 [ 6.9 ]	33.1 [ 18.5 ]
		人工	44	15.8 [ 6.8 ]	33.1 [ 17.7 ]
	2	自动	45	15.3 [ 5.7 ]	32.4 [ 23.7 ]
		人工	45	15.9 [ 5.7 ]	32.3 [ 21.8 ]
	3	自动	38	16.9 [ 6.4 ]	38.9 [ 21.0 ]
		人工	38	17.7 [ 5.6 ]	39.0 [ 17.3 ]
线密度: 29 tex 捻度: 63.4 捻/10 cm	1	自动	55	10.1 [ 6.0 ]	23.7 [ 19.8 ]
		人工	55	10.7 [ 4.3 ]	23.6 [ 16.0 ]
	2	自动	52	10.6 [ 5.8 ]	24.6 [ 22.0 ]
		人工	52	10.8 [ 4.5 ]	24.4 [ 15.8 ]
	3	自动	52	10.6 [ 6.0 ]	24.4 [ 21.8 ]
		人工	52	11.2 [ 4.9 ]	24.6 [ 10.3 ]

### 4 结论

本文将信号和图像处理技术应用到纱线扭结的几何轮廓分析中,进而对纱线扭结个数及其特征的计算机自动识别方法进行了探索性研究。通过对纱线扭结轮廓的特征提取,数据拟合,实现了以若干正弦及高斯信号参数来自动识别和压缩纱线扭结特征曲线的可能。实验结果表明,该方法可自动准确计算出纱线扭结个数及扭结高度和宽度。 FZXB

#### 参考文献:

[ 1 ] 杨昆,陶肖明,叶荫权,等.一种新型针织用环锭纱的研制及应用[J].纺织学报,2004,25(6):58-60.  
 [ 2 ] 华涛,陶肖明,郑国宝,等.机织用扭妥™纱的应用研究[J].纺织学报,2004,25(5):38-40.  
 [ 3 ] Tao X M, Lo W K, Lau Y M. Torque balanced singles knitting yarns spun by unconventional systems part I: cotton rotor spun yarn[J]. Textile Res J, 1997, 67(10): 739-746.  
 [ 4 ] Xu B G, Tao X M, Wong S K, et al. Nu-Torque™ singles ring yarn and its production technology[ A ]. In: Chen X W, Ge Y, Yan X Y, eds. Proceedings of the Textile Institute 83rd World Conference [ C ]. Shanghai: The Textile

- Institute & Donghua University, 2004. 494—496.
- [ 5 ] Murrells C M, Wong K K, Hua T, et al. Study of yarn snarling in Nu-Torque™ singles ring yarns[ A ] . In: Chen X W, Ge Y, Yan X Y eds. Proceedings of the Textile Institute 83rd World Conference[ C ] . Shanghai: The Textile Institute & Donghua University, 2004. 401—404.
- [ 6 ] 殷勤业, 倪志芳, 钱世锷. 自适应旋转投影分解法[ J ] . 电子学报, 1997, 25 (4): 52—58.
- [ 7 ] 倪志芳, 殷勤业. 用自适应旋转投影分解法进行语音信号的分析[ J ] . 信号处理, 1997, 13(3): 54—60.
- [ 8 ] 张春. 时频分析在引信目标特征提取与 ISAR 成象中的应用[ D ] : [ 硕士论文 ] . 西安: 西安交通大学, 1997.
- [ 9 ] 傅弘, 阎鸿森, 齐春. 基于自适应定向正交投影分解的图像分割方法[ J ] . 中国图象图形学报, 2003, 8 (3): 286—291.
- [ 10 ] 章毓晋. 图像分割[ M ] . 北京: 科学出版社, 2001. 47—48.

(上接第 8 页)

### 参考文献:

- [ 1 ] Reneker D H, Chun I. Nanometre diameter fibres of polymer produced by electrospinning [ J ] . Nanotechnology, 1996, (7): 216—223.
- [ 2 ] Fomhals A. Process and apparatus for preparing artificial threads [ P ] . US Patent, 1975 504, 1934.
- [ 3 ] Huang Z M, Zhang Y Z, Kotaki M, et al. A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites[ J ] . Composites Science and Technology, 2003, 63: 2223—2253.
- [ 4 ] Won H P, Lim J, Dong I Y, et al. Effect of chitosan on morphology and conformation of electrospun silk fibroin nanofibers[ J ] . Polymer, 2004, 45: 7151—7157.
- [ 5 ] Ma Z W, Kotaki M, Yong T, et al. Surface engineering of electrospun polyethylene terephthalate (PET) nanofibers towards development of a new material for blood vessel engineering[ J ] . Biomaterials, 2005, 26: 252—2536.
- [ 6 ] Deitzel J M, Kleinmeyer J D, Hirvonen J K. Controlled deposition of electrospun poly(ethylene oxide) fibers [ J ] . Polymer, 2001, 42: 8163—8170.
- [ 7 ] Koski A, Yim K, Shivkumar S. Effect of molecular weight on fibrous PVA produced by electrospinning [ J ] . Materials Letters, 2004, 58: 493—497.
- [ 8 ] Kim K, Yu M K, Zong X H, et al. Control of degradation rate and hydrophilicity in electrospun non-woven poly( D, L-lactide ) nanofiber scaffolds for biomedical application[ J ] . Biomaterials, 2003, 24: 4977—4985.
- [ 9 ] Reneker D H, Kataphinan W, Theron A, et al. Nanofiber garlands of polycaprolactone by electrospinning [ J ] . Polymer, 2002, 43: 6785—6794.
- [ 10 ] Tsai P P, Schreuder-Gibson H, Gibson P. Different electrostatic methods for making electret filters[ J ] . Journal of Electrostatics, 2002, 54: 333—341.