

# 基于调制传递函数的数码影像质量评价研究

刘佳琪 崔红霞 王鸿雁 刘畅

(渤海大学信息科学与技术学院 辽宁 锦州 121000)

**摘要** 由于高清数码影像获取过程中经常受到多种因素的影响,从而导致观测到的影像质量降低,为后续的数据分析带来诸多困难。针对这种情况,首先对传统的客观影像质量评价方法进行分析;然后提出一种基于调制传递函数的无参考型影像质量评价方法;最后通过对比试验证明该方法的可行性与可靠性。实验结果表明:针对高清数码影像,基于调制传递函数的评价方法与人眼主观评价结果一致,并较传统的像质评价方法更稳定。

**关键词** 调制传递函数 像质评价 刃边法 调制传递函数面积

**中图分类号** TP7 **文献标识码** A **DOI**:10.3969/j.issn.1000-386x.2017.03.029

## RESEARCH ON DIGITAL IMAGE QUALITY ASSESSMENT BASED ON MTF

Liu Jiaqi Cui Hongxia Wang Hongyan Liu Chang

(College of Information Science and Technology, Bohai University, Jinzhou 121000, Liaoning, China)

**Abstract** Digital image acquisition is often influenced by many factors, which leads to the decrease of the quality of the image and brings many difficulties to the subsequent data analysis. Thus, the theory and method of the evaluation and recovery of digital image are studied. First of all, the traditional objective evaluation method of image quality is introduced. Then, a no-reference image quality assessment method based on the modulation transfer function is described. Finally, comparison tests show that the method is feasible and reliable. The results show that the evaluation method based on the modulation transfer function is consistent with the subjective evaluation of human eyes, and is more stable than the traditional image quality evaluation methods.

**Keywords** MTF Image quality evaluation Knife edge method MTFA

## 0 引言

高清数码影像在获取的过程中由于受到多种因素的影响,使获得的影像质量下降,造成影像模糊,评价影像质量实际就是评价其采集、传输、存储以及处理技术<sup>[1]</sup>。

传统的主观评价方法是通过人的视觉来检查影像,根据评价人员的经验对影像质量优劣做出主观评定<sup>[2]</sup>。如果对评价结论要求较高的场合可能需要多个专家对影像质量分别进行评价,然后对每位专家的打分结果进行统计加权平均,得到最终的主观评价的结果<sup>[3]</sup>。显而易见,人工检查方法不仅费时、费力,而且

受到检查者职业素质、心理、认知水平等因素的影响,越来越难以满足不断增长的应用需求。为了缓解以上问题,需要对影像数据进行客观质量评价,在现有条件下选择质量更优的数码影像,同时过滤质量太差而无法使用的数据。传统的像质客观评价方法主要包括方差、信息熵、峰值信噪比、平均梯度<sup>[4]</sup>等。以上传统的影像质量评价方法主要基于物理意义上的简单的误差统计分析,而较新的评价模型提出了对人类视觉感知能力进行模拟,如国外学者 Sheikh 等人先后提出了利用自然场景统计的评价方法<sup>[5]</sup>和基于视觉与图像信息关系的评价方法<sup>[6]</sup>;国内学者提出了一种新的利用梯度信息评价的梯度相似性模型<sup>[7]</sup>;周维勋等人提出了一种利用视觉注意模型和局部特征的遥感影像检索方

法<sup>[8]</sup>;沈盛或等人提出了一种基于 MapReduce 的高分辨率遥感影像特征提取方法<sup>[9]</sup>;丰明坤等人提出了一种基于视觉多通道梯度与低阶矩自适应图像评价的方法<sup>[10]</sup>等。但由于人类视觉系统的复杂性和未知性,目前还没有研究出成熟的人类视觉系统模拟方法。此外,由于高清数码影像的分辨率较高,一些评价卫星航天影像的方法并不完全适用。随着影像获取与处理技术的飞速发展以及人们对高清晰度的数码影像信息的需求日益增加,能正确反映主观评价结果的客观评价方法就更显其日益重要的经济意义和使用价值。

针对上述问题,本文基于调制传递函数 MTF 的影像质量评价方法,提出了一种针对高清数码影像质量评价的方法,通过实验将传统的影像质量评价方法与基于调制传递函数的影像质量评价方法进行对比,并参照主观评价结果分析各评价方法的可行性与稳定性。

## 1 传统影像质量评价方法

传统的影响质量评价方法分为参考型和无参考型两种,参考型评价方法是指在参考影像已知的前提下,对目标图像进行评价的方法。由于在数码影像的获取过程中无法获得参考影像,因此参考型评价方法常用于仿真实验。下面4种评价方法中均方差和峰值信噪比属于参考型评价方法,信息熵和清晰度属于无参考型评价方法。

### (1) 清晰度

清晰度指影像上各部分纹路以及边界的清晰程度,是人眼主观评价影像质量的客观参考结果,但受噪声影响较大,可表示为:

$$\Delta_g^- = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \sqrt{\frac{\Delta_i^2 I(i,j) + \Delta_j^2 I(i,j)}{2}}}{(M-1)(N-1)} \quad (1)$$

其中  $I(i,j)$ 、 $\Delta_i I(i,j)$ 、 $\Delta_j I(i,j)$  分别为影像的灰度值和其在行、列方向的梯度, $M$ 、 $N$  分别为影像的行数和列数。

### (2) 信息熵

信息熵是从信息论的角度出发,是度量影像信息丰富程度的方式,其结果展示了影像所携带信息量的多少。一般情况下,影像的信息熵越大,代表该影像所含信息量越丰富,影像的质量也就越好。可表示为:

$$H(x) = - \sum_{i=0}^L I_i \log_2 I_i \quad (2)$$

其中  $I_i$  为影像中灰度值为  $i$  的像素点出现的概率, $L$  为影像像素值的动态范围。

### (3) 均方差

均方差是通过比较参考影像和目标影像像素差值的均方值的大小来确定影像的模糊程度的。通常均方值越小,影像的质量越好。可表示为:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (I(i,j) - I(i,j)')^2}{N \times M} \quad (3)$$

其中  $I(i,j)$  和  $I(i,j')$  分别为参考影像和目标影像的灰度值, $M$ 、 $N$  分别为影像的行数和列数。

### (4) 峰值信噪比

峰值信噪比常用作图像压缩、传输、复原等领域中信号重建质量的测量,可表示为:

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{MAX_I^2}{MSE} \right) \quad (4)$$

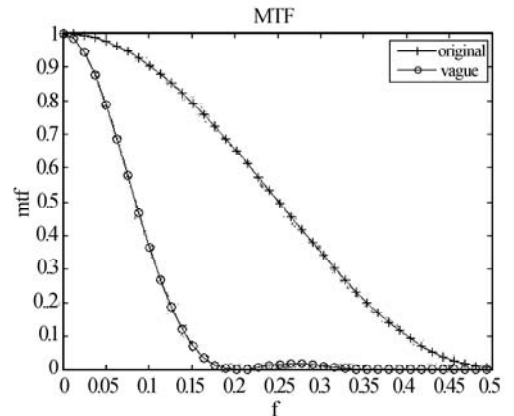
其中  $MAX_I$  为影像  $I$  中可能的最大像素值。

## 2 基于调制传递函数的影像质量评价方法

调制传递函数是评价系统成像质量的准则,该准则从根本上克服了清晰、信息熵、均方差和峰值信噪比等传统像质评价方法的不足之处<sup>[11]</sup>。MTF 是空间频率的函数,一般情况下,它的值介于 0 到 1 之间并随着空间频率的升高而下降,当空间频率为光学系统的截止频率时,其值下降到 0。在实验室环境下,原始图像与人为模糊后影像的 MTF 计算结果如图 1 所示。



(a) 原始影像 (b) 加入模糊后影像



(c) 调制传递函数

图1 模糊前后影像及 MTF 结果图

在图 1(c) 中, + 标志曲线是通过图 1(a) 得到的,

o 标志曲线是通过图 1(b) 得到的,通过图 1 可以看出原始影像的 MTF 值在整个频域均优于人为模糊图像的 MTF 值。因此,可以通过比较图像 MTF 值的大小来评价其质量的好坏,其计算流程如下:

1) 从图像中选取一块计算 MTF 所需的均匀亮暗的具有一定反差的地物边界。

2) 取每行灰度值的平均值,并对其进行差值拟合,得到过采样的边缘扩散函数 ESF (Edge Spread Function)。

3) 直边光源函数可以认为是线光源函数的积分,根据线性叠加原理,边缘扩散函数可表示为:

$$ESF(x) = \int_{-\infty}^{\infty} LSF(x) dx \quad (5)$$

4) 因此,通过边缘扩散函数可求得线扩散函数 LSF (Line Spread Function):

$$LSF(x) = \frac{dESF(x)}{dx} \quad (6)$$

5) 由于线扩散函数 LSF 与调制传递函数 MTF 是一对一维傅里叶变换与逆变换关系,因此对其进行离散傅立叶变换和归一化即可得到被测系统的 MTF 曲线<sup>[12]</sup>,根据傅里叶变换的卷积原理计算得一维调制传递函数为:

$$MTF(u) = \left| \int_{-\infty}^{\infty} LSF(x) \exp(-2\pi iux) dx \right| \quad (7)$$

对于一款理想的刃边区域,其过渡区域的宽度为 0;对于一块退化后的刃边区域,其过渡区域是一个渐变区域。由傅里叶变换的性质可知,函数在空域的压缩程度对应于其频谱在频域内的展宽,因此图像的模糊程度可以通过该渐变区域宽度的大小来评定<sup>[13]</sup>。

调制传递函数面积 MTFA (Modulation Transfer Function Area)<sup>[14]</sup>是用来描述一个成像系统整体分辨率的物理量,它的大小可以由 MTF 曲线与横纵坐标轴围成区域的面积来表示。在评价影像质量好坏时,MTFA 常常作为一个重要的评价指标。可以表示为:

$$MTFA = \int_{f_1}^{f_N} MTF(\xi) d\xi \quad (8)$$

其中,  $f_1$  和  $f_N$  分别代表频率的下限和上限。

基于 MTF 的评价方法不仅可以通过曲线的变化程度来估计影像的模糊程度,还可以将其量化,通过精确的数值来评价影像的质量。

### 3 实验过程及结论

本文实验选用了三种不同的数码相机拍摄影像,根据拍摄过程中可能造成影像质量下降原因的不同,

设计了三组不同的实验:(1) 评价运动模糊对影像质量影响仿真实验;(2) 评价光圈大小对影像质量影响实验;(3) 评价四拼相机及其拼接影像质量实验。本文实验一方面是验证基于 MTF 的影像质量评价方法的可行性,另一方面是基于 MTF 的评价方法,归纳总结影像拍摄时的最优光圈大小以及人眼所能识别最大运动模糊程度。

#### 3.1 评价运动模糊对影像质量影响仿真实验

在拍摄过程中,因为数码相机相对于被拍摄物是运动的,难免会产生运动模糊,因此评价由运动模糊引起的影像质量退化是至关重要的。

图 2(a) - (f) 分别为在实验室环境中所拍摄的清晰图片和人为分别加入水平方向上 5、10、15、20 和 30 的运动模糊后的图片。根据上文中介绍的 MTF 的计算方法,得到如图 3 所示的六幅影像的 MTF 函数曲线,并通过计算得出每幅影像的 MTFA 值,从而判断其影像质量。

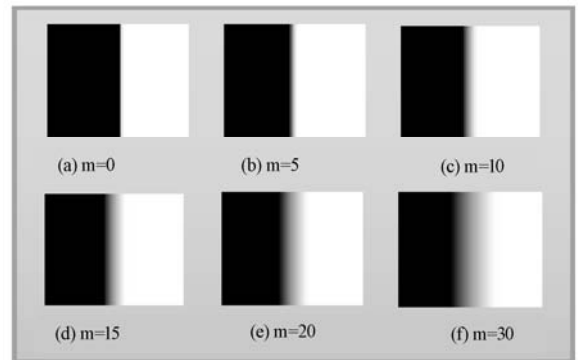


图 2 人为加入运动模糊后的影像

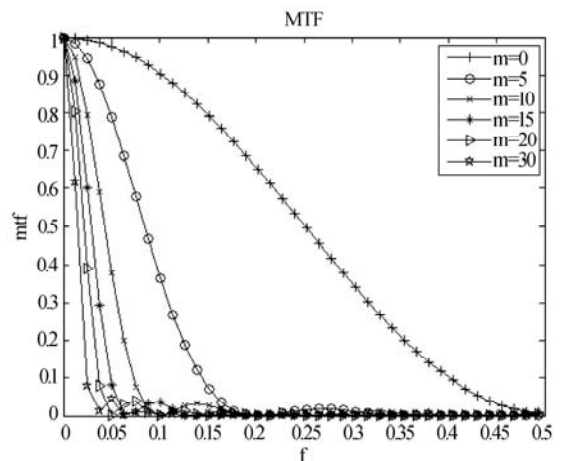


图 3 各影像 MTF 曲线图

原图与加入不同大小运动模糊后各影像的均方差、峰值信噪比、清晰度、信息熵和 MTFA 值如表 1 所示。通过人眼观察图 2 中各影像可知,随着人为加入的运动模糊越大,影像质量越差。通过分析表 1 中数据可得,随着模糊不断增大,均方差、峰值信噪比和清

晰度都没有明显的规律,而信息熵和  $MTFA$  值呈递减状态。也就是说,基于  $MTF$  的影像质量评价方法同人眼的主观评价保持一致,是可行的,并在稳定性方面优于传统的影像质量评价方法。

表 1 各影像评价指标

模糊大小	0	5	10	15	20	30
均方差	0	1.5362e++3	1.2192e++3	1.3001e++3	1.5313e++3	2.0774e++3
峰值信噪比	0	16.2663	17.2701	16.9909	16.2801	14.9555
清晰度	2.2257	2.2432	2.2781	2.2781	2.2257	2.2694
信息熵	1.0834	1.5581	1.9971	2.4010	2.7974	3.5429
$MTFA$	0.2520	0.0887	0.0468	0.0323	0.0246	0.0166

### 3.2 评价光圈大小对影像质量影响实验

图 4(a) - (g) 为在实验室环境中不同光圈下所拍摄的扇形标志板,表 2 为各光圈下影像各评价指标的值。

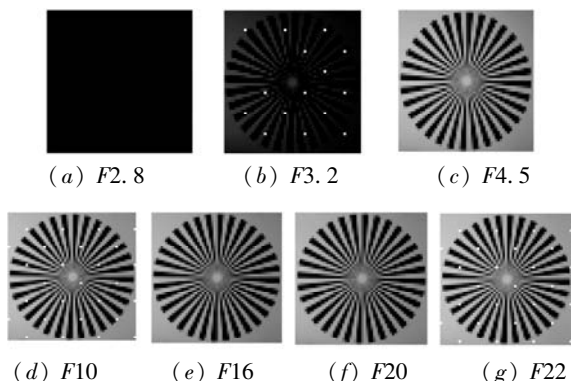


图 4 不同光圈下的扇形标志板

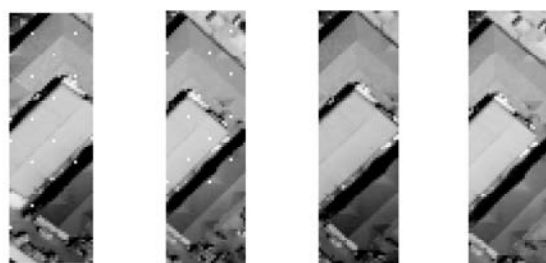
表 2 各标志板评价指标

光圈	F2.8	F3.2	F4.5	F10	F16	F20	F22
清晰度	1.9819	1.2150	2.1583	2.2672	2.0170	2.0297	2.1748
信息熵	5.6411	5.0549	5.6214	5.4929	5.5112	5.7258	5.8778
$MTFA$	0.0869	0.0993	0.1100	0.1189	0.1043	0.1032	0.0870

在表 2 的各数据中可已看出,在评价不同光圈下拍摄的影像质量时,基于  $MTF$  的影像质量评价方法明显优于传统的无参考型影像质量评价方法。分析表中  $MTFA$  的数据可得,在自然光环境中,光圈大小为 10 的时候,影像整体质量较好,因此在拍摄时,应将相机的光圈调整到 10 的位置。

### 3.3 评价四拼相机及其拼接影像质量实验

在获取四拼相机拍摄的高清影像后,需要对影像进行检校、拼接,融合成一幅大影像<sup>[15-16]</sup>。图 5 为通过四拼相机低空航拍获取的真实影像中有重叠的一部分,由于此影像在拼接过程中最多只有三幅重叠,因此图 5 中(a) - (d) 分别为一号相机、二号相机、三号相机拍摄影像和拼接影像中重合的部分。



(a) 相机 1 (b) 相机 2 (c) 相机 3 (d) 合成影像

图 5 四拼相机航拍影像

从每幅影像中选择一块均匀亮暗的具有一定反差的地物边界作为子图像,绘制  $MTF$  曲线并求得  $MTFA$  值。图 6 和表 3 分别为每幅影像对应的  $MTF$  曲线和  $MTFA$  结算结果。

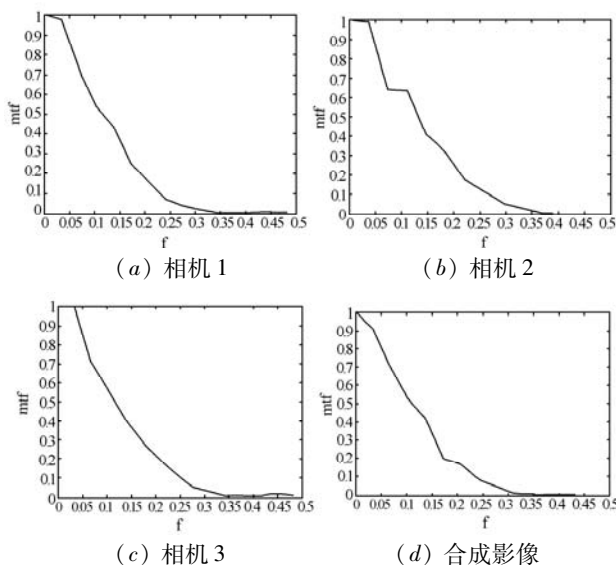


图 6  $MTF$  计算结果图

表 3  $MTF$  计算结果

image	aerial image1	aerial image2	aerial image3	synthetic image
$MTFA$	0.1294	0.1428	0.1394	0.1231

通过对比图 6 中各影像的  $MTF$  曲线和表 3 中各影像基于  $MTF$  的评价结果可以看出,相同型号的传感器之间因内部元件和拍摄角度等的细微差别,拍摄影像的质量略有不同;传感器拍摄影像与拼接影像之间因合成过程中畸变纠正和合成算法等的不同,拍摄影像与合成影像的质量也存在一定的差别。此方法还可用于评价影像拼接过程中影像质量是否有退化及其退化的程度。

## 4 结 语

本文从客观角度出发,基于  $MTF$  理论,针对高清影像评价了相机光圈大小对影像质量的影响、运动模糊大小对影像质量的影响和影像拼接处理对影像质量

的影响并与传统的影像质量评价方法进行了对比。实验结果表明:(1) 基于 MTF 的影像质量评价方法更符合基于人眼观察的主观评价的结果;(2) 光圈大小为 10 时,拍摄的影像质量最好;(3) 拼接影像不同区域内同一位置的 MTFA 值与原图都有一定差别,通过比较同一位置上拼接影像与原影像的 MTFA 值,即可判断拼接过程影像是否退化及其退化的退化程度。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Hu Q. Image quality related processing and applications based on Retinex wavelet theory [ J ]. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2004, 35 ( B4 ) : 962 - 967.
- [ 2 ] 焦冬秀. 基于人眼视觉特性的全参考高清图像质量评价 [ J ]. 广播与电视技术, 2011, 38 ( 8 ) : 40, 42, 44 - 45.
- [ 3 ] 卜丽静. 基于稀疏理论的星载雷达图像超分辨率重建 [ D ]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2011.
- [ 4 ] 尹灵芝, 朱军, 蔡国林, 等. 遥感影像质量评价方法综述 [ J ]. 测绘与空间地理信息, 2014, 37 ( 12 ) : 32 - 35.
- [ 5 ] Sheikh H R, Bovik A C, Veciana G D. An information fidelity criterion for image quality assessment using natural scene statistics [ J ]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14 ( 12 ) : 2117 - 2128.
- [ 6 ] Sheikh H R, Bovik A C. Image information and visual quality [ J ]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15 ( 2 ) : 430 - 444.
- [ 7 ] 马旭东, 闫利, 曹伟, 等. 一种新的利用梯度信息的图像质量评价模型 [ J ]. 武汉大学学报 ( 信息科学版 ), 2014, 39 ( 12 ) : 1412 - 1418.
- [ 8 ] 周维勋, 邵振峰, 侯继虎. 利用视觉注意模型和局部特征的遥感影像检索方法 [ J ]. 武汉大学学报 ( 信息科学版 ), 2015, 40 ( 1 ) : 46 - 52.
- [ 9 ] 沈盛彧, 刘哲, 张平仓, 等. 基于 MapReduce 的高分辨率遥感影像特征提取方法 [ J ]. 长江科学院院报, 2014, 31 ( 2 ) : 91 - 96.
- [ 10 ] 丰明坤, 赵生妹, 施祥. 基于视觉多通道梯度与低阶矩自适应图像评价 [ J ]. 仪器仪表学报, 2015, 36 ( 11 ) : 2531 - 2537.
- [ 11 ] Kuhls - Gilcrist A, Jain A, Bednarek D R, et al. Accurate MTF measurement in digital radiography using noise response [ J ]. Medical Physics, 2010, 37 ( 2 ) : 724 - 735.
- [ 12 ] 高峰, 朱庆阵, 周仲兴, 等. 基于差值数浮动的 MTF 精确测量方法 [ J ]. 纳米技术与精密工程, 2014, 12 ( 2 ) : 107 - 116.
- [ 13 ] 李铁成. 基于倾斜刃边法的遥感图像调制传递函数计算及图像复原技术研究 [ D ]. 杭州: 浙江大学, 2011: 25

- 28.

- [ 14 ] Choi T. IKONOS satellite in orbit modulation transfer function (MTF) measurement using edge and pulse method [ D ]. South Dakota, USA: South Dakota State University, 2002.
- [ 15 ] 李婷. 无人机影像拼接关键技术研究 [ D ]. 徐州: 中国矿业大学, 2014: 48 - 59.
- [ 16 ] 高颖, 王阿敏, 王凤华, 等. 改进的小波换算法在图像融合中的应用 [ J ]. 激光技术, 2013, 37 ( 5 ) : 960 - 695.

(上接第 122 页)

## 7 结 语

传统纺纱机械的管理低效突出体现在细络联等核心设备故障检测的低效上。运用物联网技术构建高效的故障检测体系结构, 设计并建立了一套完整的基于 RFID 的细络联故障检测系统, 一定程度上解决了当前纺纱机械管理的低效问题, 通过生产实践证明设计的有效性。纺纱机械的故障检测可以有若干种实现方式, RFID 在故障检测中的应用也不仅仅局限于细纱机坏锭追踪, 通过射频标签信息编码可以向前追溯至原材料生产环节, 这也是我们后续工作的方向。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Auto-ID Labs [ EB/OL ]. [ 2015-08-02 ]. <http://www.autoid-labs.org/>.
- [ 2 ] 刘强, 崔莉, 陈海明. 物联网关键技术与应用 [ J ]. 计算机科学, 2010, 37 ( 6 ) : 1 - 4.
- [ 3 ] 薛小平, 王骞, 张芳. 物联网核心技术及应用演进 [ J ]. 计算机应用, 2013, 33 ( 10 ) : 2701 - 2706.
- [ 4 ] 张佳. 物联网技术在纺织行业供应链管理中的应用 [ J ]. 毛纺科技, 2010, 38 ( 9 ) : 55 - 57.
- [ 5 ] 刘向举, 李敬兆, 刘丽娜. 基于物联网的纺织车间环境智能测控系统 [ J ]. 计算机应用, 2015, 35 ( 7 ) : 2073 - 2076.
- [ 6 ] 陈宇铮, 汤仲喆, 倪云峰, 等. 基于 RFID 的冷链物流监测系统的设计 [ J ]. 计算机应用与软件, 2013, 30 ( 2 ) : 263 - 265.
- [ 7 ] 杨敏. 络筒工序纱线质量在线监控系统研究 [ J ]. 棉纺织技术, 2012, 40 ( 10 ) : 639 - 642.
- [ 8 ] 刘基宏, 潘如如, 王鸿博, 等. 管纱追溯管理系统的研发 [ J ]. 棉纺织技术, 2010, 38 ( 9 ) : 551 - 553.
- [ 9 ] 王帅. 基于 RFID 技术的细纱质量回溯系统 [ D ]. 天津: 天津工业大学, 2012: 1 - 2.
- [ 10 ] 王婵娟. 细络联的发展方向与研发探讨 [ J ]. 纺织器材, 2013, 40 ( 2 ) : 50 - 54.
- [ 11 ] Zhillbert T. Ubiquitous Sensor Networks (USN) [ R ]. Geneva: ITU-T, 2008.