

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2019.05.012

基于多方向光源的色纱织物密度图像检测

陈凯峰, 向忠, 史伟民

(浙江理工大学机械与自动控制学院, 浙江杭州 310018)

摘要:针对色纱织物存在不同颜色,密度检测具有较大难度的问题,课题组提出了一种基于多方向光源的色纱织物密度图像检测算法。利用织物的3D表面结构来弱化色纱织物的色彩信号,使用正方形分布的4个定向光源在特定的照射角度下对色纱织物进行照明及采样,再把4个图像进行融合,使融合后的图像集成了每张图像中较清晰的部分。对于局部加权回归算法中宽度系数不能因为织物改变而自适应的问题,提出了自适应算法,让不同织物具有适合的宽度系数去平滑其投影曲线。实验结果表明提出的算法准确率可达99.17%,适合在色纱织物密度检测方面进行推广。

关键词:色纱织物;密度检测;多方向光源;图像融合;自适应局部加权回归算法

中图分类号:TP391.41 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2019)05-0062-06

Density Image Detection of Yarn-Dyed Woven Fabric Based on Multi-Directional Light Source

CHEN Kaifeng, XIANG Zhong, SHI Weimin

(Faculty of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at the difficulty of density detection of yarn-dyed woven fabrics with different color, a yarn-dyed woven fabric density detection algorithm based on multi-directional light source was proposed. The three-dimensional surface structure of fabric was used to weaken the color signals of yarn-dyed woven fabric, and the fabric was illuminated and sampled at a specific irradiation angle with four directional light sources with square distribution. The four sampling images were fused, so that the merged image integrates the sharper portions of each image. For the problem that the width coefficient in the local weighted regression algorithm cannot be adaptive to the fabric changes, an adaptive algorithm was proposed to make different fabrics have suitable width coefficients to smooth the projection curves. The experiments show that the accuracy of the algorithm is up to 99.17%, which is suitable for promotion of the yarn-dyed woven fabric density detection.

Keywords: yarn-dyed woven fabric; fabric density detection; multi-directional illumination; image fusion; adaptive local weighted regression algorithm

随着计算机和图像处理技术的快速发展,基于机器视觉的纱线密度检测方法应运而生,使织物产品的质量有了更好的保证。目前有许多非常成熟的方法可以准确、稳定地检测纯色织物的密度,例如快速傅里叶变换^[1]、灰度共生矩阵^[2]、小波变换^[4]、相关系数^[5]和灰度投影方法^[6]。近年来,随着对服装外观的更高要求,色织面料由于其独特的颜色和质地在高价值的纺

织品市场中扮演着越来越重要的角色。由于彩色色织布由不同颜色的纱线组成,强度和色彩信号会不同程度地影响图像质量,难以直接应用上述方法检测色纱织物的密度,有色纱线织物通常需要特殊处理才能进行精确的密度检测。

目前的研究主要集中在如何削弱颜色对色织物密度检测的影响。众所周知,织物是根据预定的编织图

收稿日期:2019-03-06;修回日期:2019-07-26

第一作者简介:陈凯峰(1992),男,浙江嘉兴人,硕士研究生,主要研究方向为机器视觉、图像处理及织物密度检测等。通信作者:向忠(1982),男,湖南平江人,博士,副教授,主要研究方向为机器视觉及纺织装备智能化、信息化和绿色化。E-mail: xz@zstu.edu.cn

案水平交织纬线和垂直交织经线而生产的,纬线和经线的周期性交织产生 3D 织物结构。如果可以使用机器视觉方法获得织物表面的 3D 构造,则可以从 3D 表面图像容易地获得织物的密度;可以通过激光深度传感器^[7]和 3D 相机^[8]等专用设备获得表面深度信息。然而,由于这些特殊设备通常非常昂贵,所获得的数据量很大,并且数据处理过程复杂,处理时间长,极大地限制了这种方法在实践中的推广。

课题组提出了一种基于多方向照明的色纱织物密度检测算法:分析在不同光照方向下采样的图像质量,并基于小波变换的图像融合方法进行融合;使用巴特沃斯低通滤波器对融合图像进行滤波;利用自适应局部加权回归算法平滑灰度投影曲线,以精确定位织物中的经纱和纬纱。最后,测试不同的色纱织物样品并与手动计算的结果进行比较以验证算法的有效性。

1 图像的获取

1.1 图像采集系统

因为织物表面是 3D 结构,当采用环形光源或多个方向光源同时进行照明时,由于入射光从多个方向照射过来,织物表面上的每个位置都有光照射到,这种情况下织物表面的光基本上是属于均匀照射,就会削弱纱线和间隙的差异。然而,当某个方向的光源在特定角度进行照射时,因为织物表面纱线和间隙存在凸和凹的 3D 关系,所以光线只会照射到凸起的部分,而凹陷的部分就会被凸起的部分挡住,这样就会形成亮暗的关系,使织物图像中始终保持明显的灰度差异,让图像更清晰,这 2 种情况如图 1 所示。

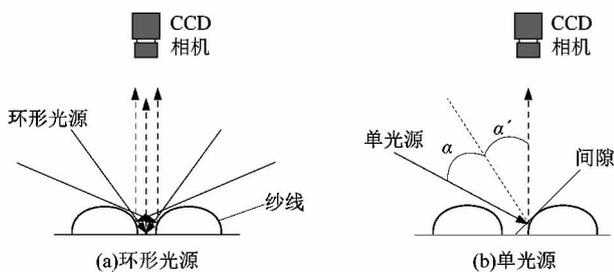


图 1 环形光源和单光源照明对比

Figure 1 Comparison of circular light source and single light source illumination

课题组所采用的光源和图像采集系统如图 2 所示。其中图 2(a)为光源的俯视图, $\Phi = 0^\circ$ 表示光源 L_1 照明时光源的编号为 1,所在的角度为 0° ,采样得到的图片表示为 I_0° ;同理其它光源 L_2, L_3 和 L_4 照明时,采样得到的图片表示为 $I_{90^\circ}, I_{270^\circ}$ 和 I_{360° 。采样的相机型号

为 acA 1600-20gm,像素为 200 万像素,输出的图像为灰度图,光源为白光光源。

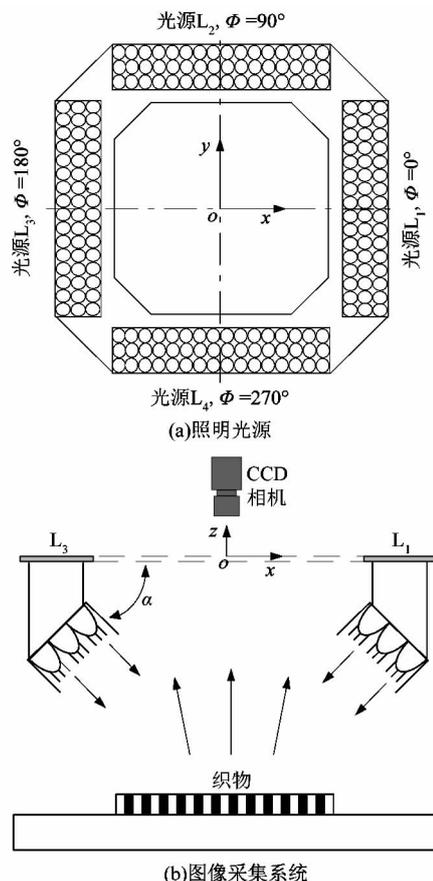


图 2 照明光源和图像采集系统

Figure 2 Illumination source and image acquisition system

1.2 光源倾斜角度确定

由于光源的倾斜角度对于图像的清晰度有较大的影响,为了找到适合的角度,课题组设计了针对性实验,从倾斜角为 5.0° 开始,每增加 2.5° 进行一次采用,直至倾角为 35.0° 为止,并对每个图片的熵值 E_n ,平均梯度 \bar{g} 和标准差 δ 进行客观评价。熵值 E_n ,平均梯度 \bar{g} 和标准差 δ 的值都是越大越好,值越大表明图像的信息、层次越丰富,图像也就越清晰。表 1 为某个样本的评价结果,把表中的数据进行拟合,结果如图 3 所示。熵值随倾斜角度的变化虽然存在波动,但最大熵值和最小熵值差距较小,约为 0.16;平均梯度随着倾斜角度的变化先减小,后又逐渐增大,当倾斜角度到达 26.5° 时,平均梯度达到最大值 10.35;标准差随着倾斜角的增大一开始是趋于上升,当倾斜角到达 15° 后,随着倾斜角度的增大,标准差变化不大,逐渐趋于稳

定,这明显不合理。分析得出,在3种评价标准中选用平均梯度来确定最佳倾角为最优方案,这与其它样本的实验结果也是一致的。课题组确定最优倾角为 $25.2^{\circ} \sim 27.5^{\circ}$,课题组最终取倾角 26.4° 为采用的光源倾斜角度。在倾斜角度为 26.4° 时采样得到的色纱织物图像如图4所示。

表1 光源不同倾斜角度时不同评价标准的结果
Table 1 Results of different evaluation criteria for different tilt angles of light source

$\alpha / (^{\circ})$	E_n	\bar{g}	δ
5.0	7.158	8.140	58.762
7.5	7.176	7.595	61.176
10.0	7.214	7.671	65.414
12.5	7.247	7.854	68.040
15.0	7.284	8.483	72.561
17.5	7.297	8.850	72.770
20.0	7.315	9.212	72.946
22.5	7.260	10.144	73.218
25.0	7.237	10.294	74.025
27.5	7.269	10.315	73.950
30.0	7.278	9.951	73.853
32.5	7.242	9.736	73.608
35.0	7.196	9.232	73.486

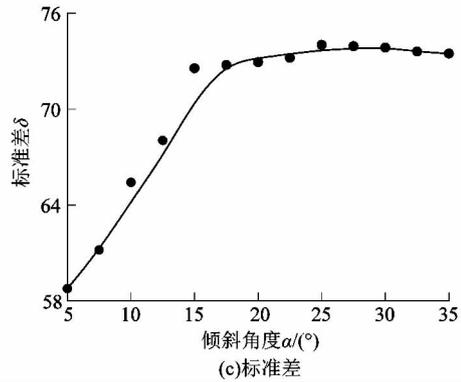


图3 不同评价数据的拟合曲线

Figure 3 Fitting curve of different evaluation data

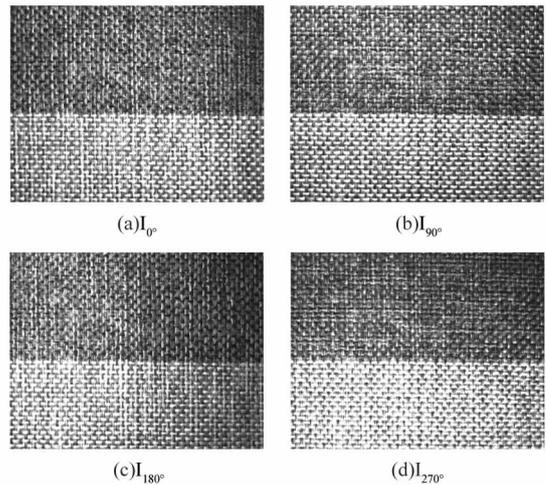
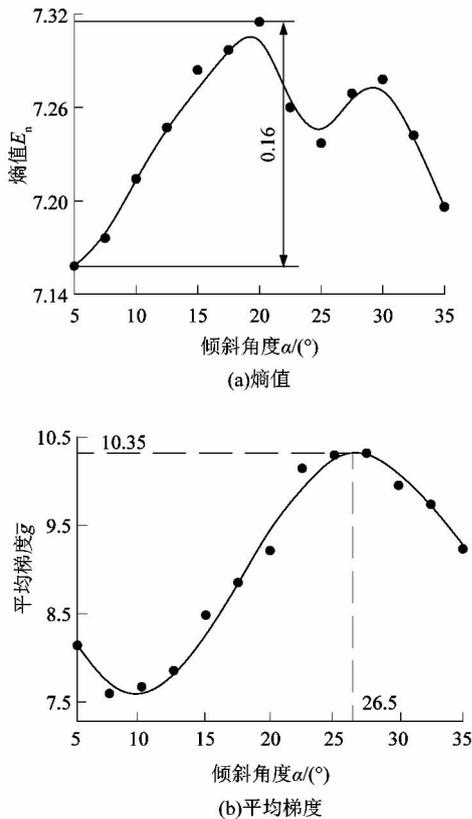


图4 不同方向上采样得到的色纱织物图像

Figure 4 Yarn-dyed woven fabric images sampled in different directions



2 图像融合及滤波

2.1 图像融合

采集后的4个图像采用基于小波的融合方法,融合过程如图5所示,具体是把每个织物图像分别用小波进行一层分解^[9],得到1个低频 LL_0 和3个高频 HL_0, LH_0 和 HH_0 。低频采用的融合规则为加权平均法,融合得到新的低频 LL_n ,高频采用的融合规则为系数绝对值较大法,融合得到新的高频 HL_n, LH_n 和 HH_n ,最后进行小波逆变换融合得到新的图像 I_n 。图5的4个图像经该方法融合后的结果如图6所示,图像尺寸为原图像融合后裁剪的结果,像素是 800×800 。

2.2 图像滤波

融合后的图像需要对其进行滤波,由于织物表面本身存在一些细小的毛线,且拍摄过程中受到环境、传输工具等影响,导致图像中存在噪声。这些噪声在空间域中难以分辨和去除,但是当把图像转换到频域中

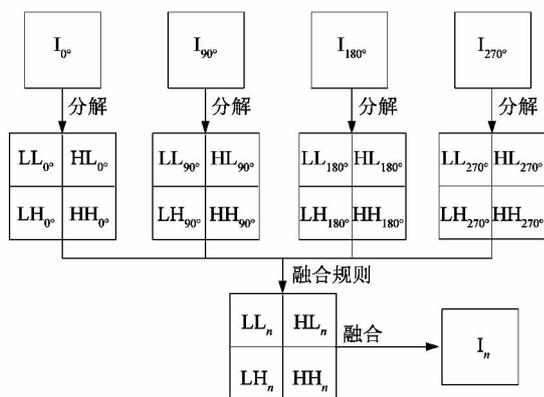


图5 小波变换融合过程

Figure 5 Wavelet transform fusion process

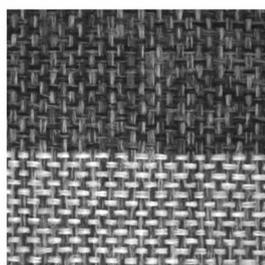


图6 融合后的图像

Figure 6 Merged image

时,噪声在频域中就会变成高频部分,只需要在频域中使用低通滤波的方法就可以去除。故采用巴特沃斯低通滤波^[10]的方法:

$$D(u, v) = \left[\left(u - \frac{M}{2} \right)^2 + \left(v - \frac{N}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}};$$

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + [D(u, v)/D_0]^{2\sigma}};$$

$$F_{bl}(u, v) = F_f(u, v) * H(u, v);$$

$$f_{bl}(x, y) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} F_{bl}(u, v) e^{2\pi i \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right)}.$$

式中: M 为图像的高度; N 为图像的宽度; $D(u, v)$ 表示一个坐标点与频率平面原点的距离; u 和 v 为频域中的坐标点; $H(u, v)$ 表示巴特沃斯滤波器; D_0 是一个非负值,称为截断频率,这里我们设为100; σ 是可以改变滤波器的形状大小, σ 较大对应较陡的过度,更接近理想滤波器的举止,这里令 $\sigma = 2$; $F_{bl}(u, v)$ 为滤波后的频域结果, $F_f(u, v)$ 为融合后图像经快速傅里叶变换转换到频域的结果,对 $F_{bl}(u, v)$ 进行快速傅里叶逆变换则可变回空间域图像 $f_{bl}(x, y)$; x 和 y 为空间域中的坐标点。

低通滤波对于后续密度检测的精确度也有一个很大的改善。图7为图6的滤波结果,可以清楚地看到原图中细小的毛线已经没有了,滤波后的图像变得更加细腻、光滑。

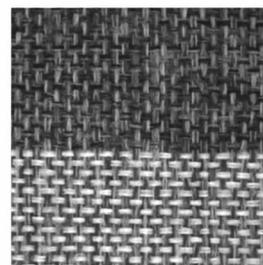


图7 滤波后的图像

Figure 7 Filtered image

3 密度检测

3.1 投影曲线自适应拟合

对滤波后的图像进行灰度投影的曲线上仍旧有很多局部峰值点,这些局部峰值点对于密度的检测仍有较大影响。故采用局部加权回归算法^[11]拟合投影曲线以消除局部峰值点。使用局部加权回归算法进行平滑滤波时需要考虑平滑的宽度,课题组提出使用系数 η 计算平滑宽度系数 k ,流程如图8所示。使用3个不同的色纱织物样本a,b和c检验在不同系数 η 的情况下,织物密度检测的准确率,结果如表2所示。当 η 为1.8~2.0时,织物密度准确率较高,故取 $\eta = 1.9$ 去平滑织物图像的投影曲线。

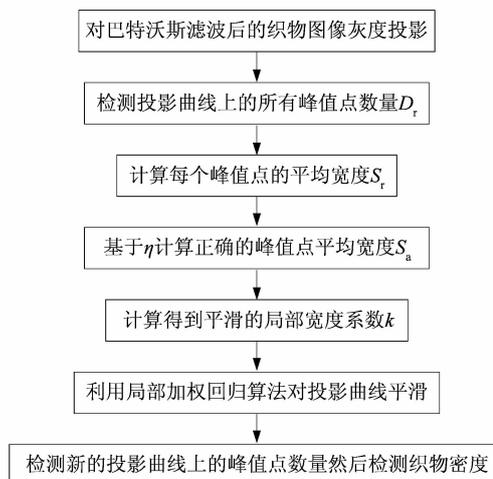


图8 自适应算法流程图

Figure 8 Adaptive algorithm flow chart

图8中几个参数的计算公式:

$$S_r = N/D_r;$$

$$S_a = S_r * \eta;$$

$$k = S_a / N。$$

式中： N 为图像的宽度； D_r 为投影曲线峰值点数量； S_r 为每个峰值点所占的宽度； η 为提前输入的系数； S_a 为估计的每个峰值点所占的宽度； k 为宽度系数，用于局部加权回归算法。

表2 η 不同时密度检测的错误率

Table 2 Error rate of different η values for density detection

序号	样本	η	经纱数量	纬纱数量	错误率/%	平均错误率/%
1	a	1.0	27	54	26.58	23.23
2	b	1.0	27	28	7.55	
3	c	1.0	20	86	35.56	
4	a	1.2	27	50	17.49	18.18
5	b	1.2	27	28	7.55	
6	c	1.2	20	82	29.50	
7	a	1.4	27	48	12.94	17.44
8	b	1.4	27	28	7.55	
9	c	1.4	19	87	31.82	
10	a	1.6	26	47	6.82	10.85
11	b	1.6	27	28	7.55	
12	c	1.6	19	78	18.18	
13	a	1.8	26	45	2.27	3.00
14	b	1.8	26	26	3.70	
15	c	1.8	19	68	3.03	
16	a	2.0	25	42	8.40	8.86
17	b	2.0	24	26	11.39	
18	c	2.0	18	65	6.78	

3.2 实验结果对比

确定了 η 值后进行实验，对某个织物样本经纱方向进行投影，如图9所示。从9(a)和图9(b)对比中可以发现使用巴特沃斯低通滤波对于局部峰值点是很明显的改善，而使用自适应局部加权回归算法后，即从图9(b)和图9(c)的比较中可以发现图9(b)中的局部峰值点已经没有了。

3.3 密度检测

选取6个色纱织物样本测定密度进行对比实验，结果如表3所示。使用课题组提出的方法，由表3的数据可计算出平均错误率为0.83%，所以织物密度检测的准确率高达99.17%。其中， $e = |d_A - d_M| / d_M \times 100%$ ， d_A 表示利用本文算法检测的织物密度， d_M 表示人工检测出的织物密度。

4 结论

课题组通过把多方向光源采集的色纱织物图像进行融合来增强色纱织物的纹理特征。利用巴特沃斯低

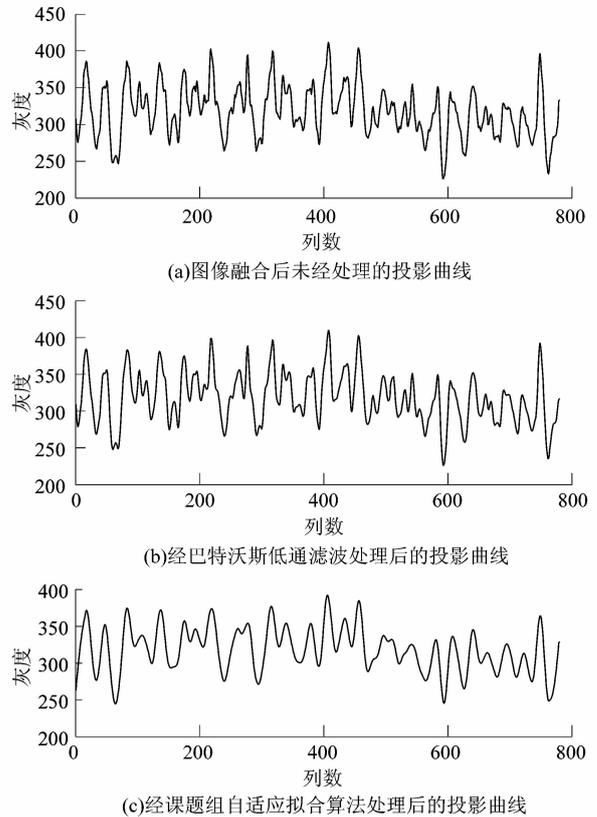


图9 不同情况下投影曲线的比较
Figure 9 Comparison of projection curves in different situations

表3 文中方法和人工检测的准确率比较

Table 3 Comparison of accuracy of method and manual detection in this paper

样本	本文算法检测出的织物密度/(根·m ⁻¹)		人工检测织物密度/(根·m ⁻¹)		错误率 e/%	
	经纱	纬纱	经纱	纬纱	经纱	纬纱
1	1 015	1 821	1 018	1 807	0.29	0.77
2	1 063	1 842	1 065	1 855	0.19	0.70
3	1 079	1 796	1 087	1 804	0.73	0.44
4	1 022	1 125	1 021	1 125	0.10	0.00
5	2 481	2 354	2 522	2 311	1.63	1.86
6	849	2 886	854	2 813	0.59	2.60

通滤波器对图像进行滤波，减少了大部分的高频噪声，使得投影曲线更加平滑。最后利用课题组提出的自适应的局部加权回归算法去平滑投影曲线，达到消除局部峰值点的目的。把本文的密度检测方法与人检测相比较，可以发现本文的密度检测方法可以得到较好的检测结果。后续的研究，可以考虑作进一步的改进，如图像融合算法的改进、尝试其他算法，使融合的图像

更加清晰;硬件方面同样存在提升的空间,特别是相机,文中使用的相机的像素在目前科技发展水平中已属于较低的水准,高像素的相机可拍到更清晰的图像,更有利于提升密度检测的准确性;对于密度检测算法可以考虑结合神经网络、深度学习等算法,以提高色纱织物密度的检测精度。

参考文献:

[1] PAN Ruru, GAO Weidong, LI Zhongjian, et al. Measuring thread densities of woven fabric using the fourier transform[J]. Fibres and Textiles in Eastern Europe,2015,23(1):35-40.

[2] TUNAK M, LINKA A, VOLF P. Automatic assessing and monitoring of weaving density[J]. Fibers & Polymers,2009,10(6):830-836.

[3] LIN J J. Applying a co-occurrence matrix to automatic inspection of weaving density for woven fabrics [J]. Textile Research Journal, 2002,72(6):486-490.

[4] JING Junfeng, LIU Shan, ZHANG Lei, et al. Skew detection and yarns density calculation for woven fabric [J]. Journal of Fiber Bioengineering and Informatics,2014,7(4):615-625.

[5] MALEK A S, DREAN J Y, BIGUE L, et al. Optimization of automated

online fabric inspection by fast Fourier transform (FFT) and cross-correlation[J]. Textile Research Journal,2013,83(3):256-268.

[6] PAN Ruru, GAO Weidong, LIU Jihong, et al. Automatic inspection of double-system-mélange yarn-dyed fabric density with color-gradient image[J]. Fibers and Polymers,2011,12(1):127-131.

[7] QIU Huadong, LU Changhou, CHEN Wei, et al. Investigation of laser current influence on two-dimensional bar code contrast[J]. Advanced Materials Research,2011,314/315/316:197-204.

[8] PERWASS C, WIETZKE L. Single lens 3D-camera with extended depth-of-field[C]//San Diego, California, USA: International Society for Optics and Photonics,2012:829108.

[9] 邢素霞. 多光谱图像融合中小波分解层数研究[J]. 微电子学与计算机,2011,28(1):179.

[10] WANG Xin, GEORGANAS N D, PETRIU E M. Fabric texture analysis using computer vision techniques[J]. IEEE Transactions on Instrumentation & Measurement,2010,60(1):44-56.

[11] CLEVELAND W S. Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots [J]. Journal of the American Statistical Association,1979,74(368):829-836.

(上接第61页)

3) 将作动器模拟得到的电磁特性与通过公式计算得到的电磁特性做对比,确保设计的合理性。

参考文献:

[1] 蔡亦钢. 流体传输管道动力学[M]. 杭州:浙江大学出版社,1986:1.

[2] 王灏. 电厂汽水管系统振动的危害和原因以及对策分析[J]. 硅谷,2014,7(6):167.

[3] 武永强,罗忠. 一种新型高效传热铜管的冷凝传热性能实验研究[J]. 制冷与空调,2006,6(1):75-78.

[4] 许爱荣,张力. 往复压缩机输送管系振动分析与消振改造研究[J]. 广东化工,2017,44(11):238-239.

[5] 申冰冰,沈杰,沈庆,等. 基于指纹的考场身份自动识别系统设计[J]. 微型机与应用,2016,35(14):55-57.

[6] NISHIMURA T, HOSAKA H, MORITA T. Resonant-type smooth impact drive mechanism (SIDM) actuator using a bolt-clamped Langevin transducer[J]. Ultrasonics,2012,52(1):75-80.

[7] 卓忠疆. 机电能量转换[M]. 北京:水利电力出版社,1987:21-23.

[8] 阎治安,高小赞,易萍虎,等. 压缩机驱动用直线永磁电动机的研究[J]. 西安交通大学学报,2005(2):191-195.

[9] 赵博,张洪亮. Ansoft12 在工程电磁场中的应用[M]. 北京:中国水利水电出版社,2013:4.

· 行业简讯 ·

西门子携手合作伙伴推进中国水务行业数字化

2019 西门子数字化水务峰会在赤峰成功举办。本次峰会以“引领创新 共创价值”为主题,为 200 余位来自水行业的参会者搭建了探讨行业未来发展、解读相关政策和分享前沿数字化技术应用的绝佳平台。在此次峰会上,西门子同时宣布启动了“西门子数字化水务生态圈”,致力于与水务集团、系统集成商、行业设计院和协会以及专家等合作伙伴共同推进水务行业的数字化转型升级。

此次成立的“西门子数字化水务生态圈”吸引了超过百家合作伙伴的积极参与。通过将水务行业价值链中的不同机构和企业融合在一起,西门子致力于在行业内推动数字化的水务治理理念。峰会上,西门子展示了其基于网络的创新过程控制系统——Simatic PCS neo。该系统可以支持任意数量的用户基于网络并行开展工作,而无需在本地安装软件。西门子从设计、技术、框架等领域为企业和用户提供强有力的支持,从而实现能效的提升,避免不必要的水资源损失,并最大限度地降低资源消耗。

(张 争)