

基于数字图像技术的水资源计量数据实时采集系统研发及应用

陈红¹, 金鹏涛^{1,2}, 马世斌³, 彭真³, 周子靖³, 周宇飞³, 钟爱成⁴

(1. 河海大学水利水电学院; 2. 河海大学苏州研究院; 3. 沂沭泗水利管理局沂沭河水利管理局; 4. 苏州市河道管理处)

摘要:针对当前大量取用水数据未采用在线方式采集,导致数据统计时间间隔大、数据偏差发现不及时的问题,研发了水资源计量数据实时采集系统,该系统采用摄像机实时采集取用水计量仪表显示数据,经图像处理、识别,提取相应水量数据,实现水量数据的在线采集。基于数字图像技术,构建了水表字符区定位方法,创立了水表字符自适应模板匹配算法,识别准确率提高至 97.5%。系统已应用于山东某规模以上取水户取水数据实时采集,对比用户上报数据可知,系统具有自动校核功能,为水资源精细化管理提供了支持。

关键词:取用水计量;实时采集系统;数字图像技术;数据校核;模板匹配

Development and application of real-time water resources metering data acquisition system based on digital image technology//Chen Hong¹, Jin Pengtao^{1,2}, Ma Shibin³, Peng Zhen³, Zhou Zijing³, Zhou Yufei³, Zhong Aicheng⁴
(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University; 2. Suzhou Institute for Advanced Research of Hohai University; 3. Yishuhe Water Conservancy Bureau of Yishusi Conservancy Bureau; 4. Suzhou River Management Department)

Abstract: To address the current problem where a large volume of water withdrawal and usage data is not collected online, leading to large statistical time intervals and untimely detection of data deviations, a real-time water resources metering data acquisition system was developed. The system employs cameras to capture real-time images of the data displayed on water withdrawal and usage meters. Through image processing and recognition, the corresponding water volume data are extracted, enabling online collection of water volume data. Based on the digital image technology, a method for locating the character area of water meters was constructed, and an adaptive template matching algorithm for water meter characters was created, improving the recognition accuracy to 97.5%. The system has been applied to the real-time acquisition of water withdrawal data from a large-scale water user in Shandong Province. A comparison with the user-reported data shows that the system has an automatic verification function, providing support for the refined management of water resources.

Key words: water withdrawal and usage metering; real-time data acquisition system; digital image technology; data verification; template matching

我国水资源时空分布不均,人均水资源占有量低,水资源短缺现象时有发生^[1]。为此,国家要求建立严格的水资源刚性约束制度,其中加强取用水管理是实施水资源消耗总量和消耗强度管控、强化水资源刚性约束的重要内容^[2-3]。取用水计量是加强取用水管理工作的基础。目前,部分重点取水户已实现在线计量,水量数据可实时传输至相应主管部门,但仍有大量取水户采取人工方式上报取用水数据^[4],该方式存在上报时间间隔大、难以及时发现数据偏差等问题,影响了水资源监管和配置。若对传统取用水计量仪表进行在线改造,费时费力,成本高,且可能对水计量仪表的测量精度造成影响。因此,如何构建一套传统水计量仪表数据实时采集系统对提升水资源管控能力至关重要。

近年来,图像技术被广泛应用于流速、流量等流体测量领域^[5-6]。例如:唐洪武等^[7]通过粒子图像处理技术,实时测量了河工模型中自航船模的船尾流场及航道断面流场和表面流速,该测量技术对水流运动干扰较小;Fujita 等^[5]基于实验室流体力学研究中的粒子图像测速(PIV)技术提出了大尺度粒子图像测速法(LSPIV),该方法可实现大面积流体表面流场的快速测量;陈红等^[8]采用图像技术研发

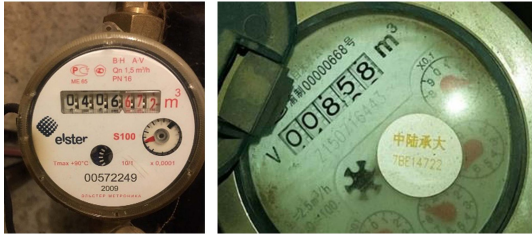
了表面流场测量系统,对比实验表明图像测速数据与传统流速仪测量结果一致。有研究者将图像技术引入仪表字符识别领域。例如:陈妃奋^[9]运用机器学习方法对仪表字符进行图像识别,该方法需要大量样本图像,面对新型仪表字符时,识别准确率受到一定影响;陈文萍等^[10]提出了一种基于YOLOv5的水计量仪表字符自动识别方法,该方法计算量大,对硬件设备性能要求较高,计算速率有待提高;高菊等^[11]采用模板匹配算法,实现了仪表字符的轻量化识别,但对于不同类型、不同尺度水计量仪表字符,传统模板匹配算法会出现识别错误。

当前水计量仪表类型高达数百种,其字符的形式、大小、对比度各异,有必要研发一套兼具高精度和高效率的仪表字符识别算法,以满足水资源计量数据实时采集的要求。本文基于数字图像技术,研发了水资源计量数据实时采集系统,以期解决传统取水计量数据采集难题,提升水资源监管能力。

1 图像处理

1.1 图像采集

采用摄像机获取水计量仪表显示数据的图像,通过4G网络以TCP/IP协议传输至网络服务器,服务器接收、存储相应图像数据。基于C/S架构,采用Python语言开发,应用多线程技术,支持多台终端设备同时传输数据。将水计量仪表图像进行压缩,分辨率为640×480像素时图像大小为30 kB,提升数据传输效率。图1为两个典型水计量仪表的图像。



(a) 水表1 (b) 水表2

图1 水计量仪表图像

1.2 图像预处理及字符区定位

仪表图像包含字符、转盘等内容,为提高图像处理效率,首先分离字符区,采用Canny算子^[12]提取字符区边缘,具体处理流程如图2所示,包括灰度变换、Canny边缘检测、二值化处理、字符区定位和倾

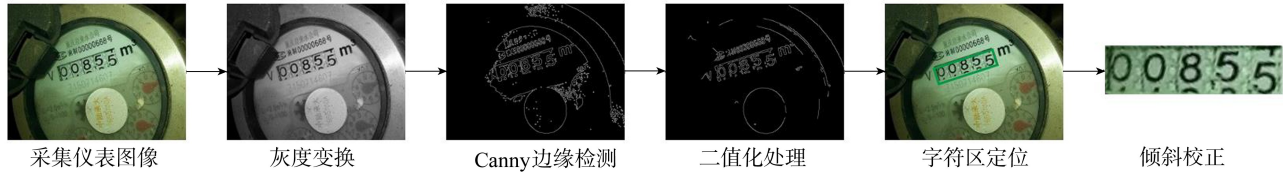


图2 字符区定位流程

斜校正。

a. 灰度变换:原始图像为RGB彩色图像,为提高边缘检测处理速度,降低数据量并提高边缘检测计算效率,将24位彩色图像转化为8位灰度图像。

b. Canny边缘检测:通过计算图像的灰度梯度值G和方向θ,利用Canny算子对图像进行边缘检测。沿水平、垂直方向依次比较灰度梯度,对于梯度最大的坐标点,则保留其灰度值,否则将其灰度设置为0,不作为边缘点。灰度梯度值和方向的计算公式分别为:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \tag{1}$$

$$\theta = \arctan(G_y/G_x) \tag{2}$$

式中:G_x、G_y分别为图像水平和垂直方向的灰度梯度。

c. 二值化处理:边缘检测处理后图像仍存在部分噪声,采用二值化处理减少噪声干扰,经过测试,二值化最佳阈值为直方图灰度峰值的1/2~2/3。当坐标点(x,y)的灰度值大于最佳阈值时,相应灰度值设为255,反之,则设为0。

d. 字符区定位:利用字符边缘通常呈现直线的特征,通过计算相邻像素点的斜率并比较其一致性,实现字符区域的定位。当斜率一致时,可认为相关坐标点位于同一直线上,相应直线即为字符区域边界。

e. 倾斜校正:根据定位得到的字符区域顶点坐标,并根据边界绘制矩形边框,对边框内图像进行旋转变换,实现图像角度校正。

1.3 字符分割

分析水表灰度图像,相邻字符间存在显著的纵向分割线,根据该特征对每个字符进行分割。对字符区图像进行灰度变换和二值化处理。沿纵向依次统计灰度值为255的像素数,沿横坐标显示灰度值为255的像素数,相应谷值对应横坐标即为分割线坐标,从而实现字符间的分割,字符分割过程及效果如图3所示。将分割后的各字符图像存入原始字符图像数据库,作为初始图像模板备选图像。

2 自适应模板匹配算法

2.1 模板生成

从数据库选取对比度高、字符无遮挡的0~9数

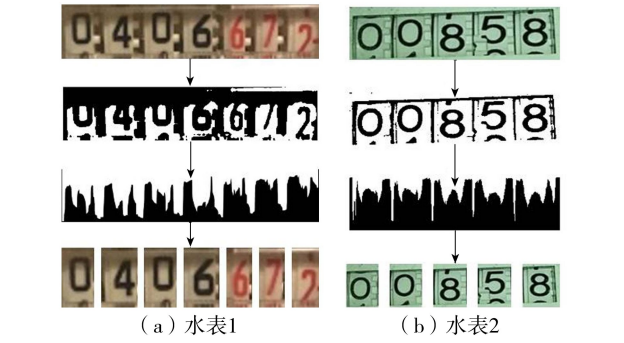


图3 字符分割过程及效果

字图像,将目标数字单独截取并保存为图像文件,作为初始模板,如图4(a)所示。对初始模板执行二值化处理,实现数字与背景的分,生成二值图像,如图4(b)所示。二值化处理后,图像大小各异,需调整为统一大小尺寸。数据库字符图像的长、宽平均值分别为 28 像素和 34 像素,为减小图像调整量和变形,将初始模板图像尺寸统一调整为 28×34 像素。对于宽度较窄的字符,为防止变形,在字符右侧像素灰度值赋值为 255,形成优化模板,如图4(c)所示。

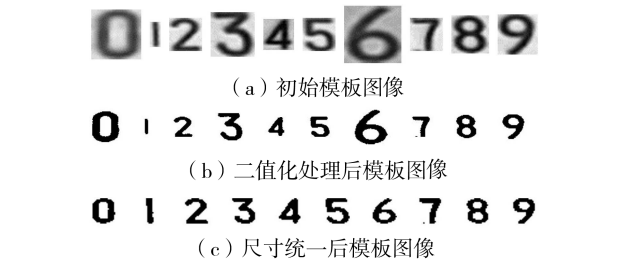


图4 模板图像制作

2.2 模板匹配

依次统计分割字符图像宽度 w 和高度 h ,生成大小为 $w \times h$ 且灰度值为 255 的底板图像,在该图像中写入数字 0 并保存为模板;重复上述步骤依次生成模板图像 0~9,作为相应水计量仪表图像匹配模板。在识别仪表字符时,循环计算模板图像与相应字符图像相关度,计算公式为:

$$R(x,y) = \frac{\sum_{x',y'} [T(x',y')I(x+x',y+y')] }{\sqrt{\sum_{x',y'} T(x',y')^2 \sum_{x',y'} I(x+x',y+y')^2}} \quad (3)$$

式中: (x,y) 为搜索位置坐标; (x',y') 为模板内局部坐标; $T(x',y')$ 为模板像素值; $I(x+x',y+y')$ 为待匹配图像像素值; $R(x,y)$ 为模板匹配结果,即相关系数。

相关系数的范围为 0~1,其值越高表示匹配度越高,反之匹配度越低。选择相关系数最大的模板,其对应数字作为仪表字符匹配结果,重复以上步骤,

直至完成仪表字符识别。

2.3 分析评估

影响字符匹配效果的处理流程主要有字符分割和模板匹配,为分析评估匹配效果,从测试集中选取 2 张典型水表图像,图像包含 5 位字符及 7 位字符,并与传统等距分割算法测试效果对比,结果如图 5 所示。



图5 典型水表字符分割对比

传统等距分割算法根据仪表图像字符位数进行等距分割,受图像变形等影响,字符分割不完整。本文提出的自适应模板匹配算法基于相邻字符间的纵向分割线统计特征像素点数量,避免了字符图像变形及边缘噪声干扰,字符分割完整,有利于提高模板匹配的准确度。

为测试自适应模板匹配算法的准确率和运算速率,与相同硬件环境下传统模板匹配算法进行对比,结果如表 1 所示。自适应模板匹配算法的准确率大幅优于传统模板匹配算法,处理速度可达 60 帧/s,高于传统模板匹配算法。

表1 不同识别算法评价指标对比

算法	准确率/%	速度/(帧/s)
自适应模板匹配算法	97.5	60
传统模板匹配算法	68.0	45

3 系统开发

取水计量实时监测系统包括现场监测子系统、云平台服务器、应用终端 3 个模块,如图 6 所示。云平台服务器作为综合数据库为各应用模块提供数据支持;现场监测子系统采用 C/S 架构与云平台服务器进行数据交互;应用终端采用 B/S 架构与云平台服务器进行数据交互。

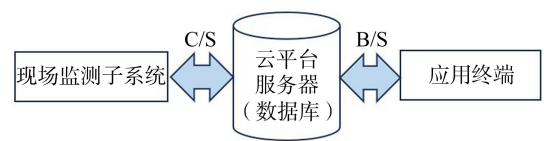


图6 系统组成及交互关系

现场监测子系统采用 Python 语言,基于 QT(跨平台的 C++图形用户界面应用程序框架)开发。现场监测子系统的核心功能是数据采集与上传,数据实时采集过程中,可通过可视化界面进行串口参数设置,系统通过调用 Python 串口模块 (pySerial) 实

现图像数据的串口采集,并以 16 进制格式进行数据解析与显示,最终还原为图像。考虑现场可能有多个取水口,系统采用多线程开发,支持多台终端设备同时在线传输数据,避免了因多串口延迟导致系统卡顿或不同步等现象,系统主界面如图 7 所示。



图 7 现场监测子系统界面

云平台由服务器和数据库组成,现场监测子系统将实时采集的取用水数据传输至云平台,云平台 Web 程序获取数据,并开展分析,再通过远程应用终端提供服务。

应用终端基于 Django 框架开发,具有实时监测、用户申报、数据校核、数据统计评估和预警分析等功能。远程 Web 端通过 HTTP 协议与云平台进行通信,用户登录流程中,用户通过输入注册的用户名和密码登录系统,服务器验证用户信息并生成登录凭证存储在会话(Session)中,实现用户身份验证。实时信息展示取水量信息,包括实时取水过程、日取水量统计、月用水量及季度用水量统计等,如图 8 所示;用户申报模块让用户新增和管理申报记录,系统通过权限控制保证数据安全性;在数据校核阶段,系统将用户上报数据和监测数据进行核对,确保取水数据的准确性;数据统计评估模块提供取水量的实时监控、历史累计分析和数据查询,支持结果导出,为水资源管理提供可视化支持;预警分析功能根据设定阈值对取用水量进行预警,提醒取水单位合理配置水资源。水资源预警规则主要为超计划或超许可,系统根据规则进行预警处理并推送相关信息。

水资源计量水表图像法实时监测系统



图 8 系统 Web 端界面

4 系统应用

选取山东某规模以上取水户作为实践试点,该取水户有 3 台计量仪表,年取水许可水量为 4500 万 m³。图 9 为该监测点(计量设备为传统的机械水表)采用图像法监测的累计用水量变化,监测时间为 2023 年 10 月 16 日至 2023 年 12 月 5 日。从图 9 可以看出,系统监测数据的连续性较高,表明系统运行稳定。同时,对该时段内监测点的月用水量进行了统计,并与相关管理单位的人工抄表统计数据进行了比较,如表 2 所示,系统监测的月用水量和相关管理单位的统计数据一致,表明该系统能准确开展计量仪表图像的识别和用水数据的统计。

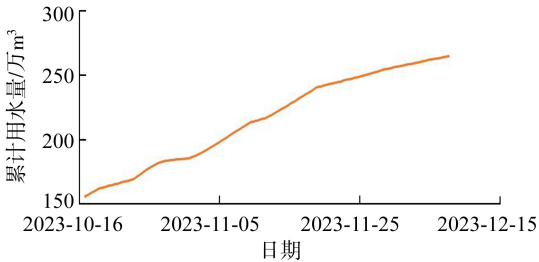


图 9 监测点累计用水量变化

表 2 月用水量统计

时间	系统监测月用水量/m ³	管理部门统计月用水量/m ³
2023 年 10 月	304 801	304 765
2023 年 11 月	707 055	707 100
2023 年 12 月	554 616	554 500

5 结 语

为解决传统水计量仪表在不改造等情况下的数据实时采集难题,提出了水表字符区定位方法,并构建了水表字符自适应模板匹配算法,实现了水资源计量数据的自动提取,识别准确率达 97.5%。该方法能显著提升数据采集在线率,推进水资源监管。开发的水资源计量数据实时采集系统已经成功应用于某规模以上取水户的统计数据校核工作,对比人工抄表数据和图像法监测数据,水量数据一致,图像法监测数据时间分辨率更高,更有利于水资源管理。

参考文献:

[1] 吴晓远,吴凤平. 流域国水资源短缺性组合评价模型及应用[J]. 经济与管理评论,2024,40(3):45-58. (Wu Xiaoyuan, Wu Fengping. Combined evaluation model and application of water resources shortage in basin countries [J]. Review of Economy and Management, 2024, 40(3): 45-58. (in Chinese))

[2] 谢新民,蒋云钟,闫继军,等. 流域水资源实时监控管理系统研究[J]. 水科学进展,2003,14(3):255-259. (Xie Xinmin, Jiang Yunzhong, Yan Jijun, et al. Study on real-

time monitoring and management system for water resources in river basin[J]. Advances in Water Science, 2003,14(3):255-259. (in Chinese))

[3] 金菊良,常哲,周亮广,等. 流域水资源安全风险评价问题的系统分析[J]. 水利水电科技进展,2025,45(5): 112-118. (Jin Juliang, Chang Zhe, Zhou Liangguang, et al. System analysis of water resources security risk assessment in river basins[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2025, 45 (5) : 112-118. (in Chinese))

[4] 李云胜. 泰安市水资源综合管理信息系统设计与实现 [D]. 济南:山东大学,2014.

[5] Fujita I, Muste M, Kruger A. Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications[J]. Journal of Hydraulic Research, 1998, 36 (3) :397-414.

[6] Astsatryan H, Hayrapetyan A, Narsisian W, et al. An interoperable cloud-based scientific GATEWAY for NDVI time series analysis[J]. Computer Standards & Interfaces, 2015,41:79-84.

[7] 唐洪武,陈诚,陈红,等. 实体模型表面流场、河势测量中图像技术应用研究进展[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2007, 35 (5) : 567-572. (Tang Hongwu, Chen Cheng, Chen Hong, et al. Review of image processing technique applied to measurement of surface flow field and river regime of physical model [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2007, 35 (5) : 567-572. (in Chinese))

[8] 陈红,周国梁,闫静,等. 基于回归分析的表面流场粒子匹配算法[J]. 水利水电科技进展,2020,40(1) :32-36. (Chen Hong, Zhou Guoliang, Yan Jing, et al. Study on particle matching algorithm for surface flow field based on regression analysis [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2020, 40 (1) : 32-36. (in Chinese))

[9] 陈妃奋. 基于深度学习的字轮式水表读数识别研究与应用[D]. 桂林:桂林电子科技大学,2021.

[10] 陈文萍,娄嘉骏,江少锋,等. 基于 YOLOv5 的水表字轮读数自动识别方法[J]. 仪表技术, 2023 (3) : 43-46. (Chen Wenping, Lou Jiajun, Jiang Shaofeng, et al. Research on automatic recognition method of water meter wheel indications based on YOLOv5 [J]. Instrumentation Technology, 2023 (3) : 43-46. (in Chinese))

[11] 高菊,叶桦. 一种有效的水表数字图像二次识别算法[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2013, 43 (增刊 1) : 153-157. (Gao Ju, Ye Hua. An effective two-times recognition algorithm of meter digital image[J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2013, 43 (S1) :153-157. (in Chinese))

[12] 任荣梓,高航. 基于反馈合并的中英文混排版面 OCR 技术研究[J]. 计算机技术与发展,2017,27(3):39-43. (Ren Rongzi, Gao Hang. Investigation on layout analysis technology of Chinese and English mixed OCR based on feedback merging [J]. Computer Technology and Development, 2017, 27 (3) : 39-43. (in Chinese))

(收稿日期:2025 - 03 - 06 编辑:俞云利)

+++++

(上接第 70 页)

[29] 高玉琴,王慧,刘钺,等. 基于空间信息格网的南京市洪水风险评估[J]. 水利水电科技进展,2024,44(6) :6-12. (Gao Yuqin, Wang Hui, Liu Yue, et al. Flood disaster risk assessment in Nanjing City based on spatial information grids[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2024, 44 (6) : 6-12. (in Chinese))

[30] 高玉琴,徐诺,汪键,等. 基于复杂网络的洪涝灾害链风险评估[J]. 水资源保护, 2025, 41 (2) : 115-122. (Gao Yuqin, Xu Nuo, Wang Jian, et al. Risk assessment of flood disaster chain based on complex network[J]. Water Resources Protection, 2025, 41 (2) : 115-122. (in Chinese))

[31] 郑德凤,高敏,李钰,等. 基于 GIS 的大连市暴雨洪涝灾害综合风险评估[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2022,50(3):1-8. (Zheng Defeng, Gao Min, Li Yu, et al. Comprehensive risk assessment of rainstorm-flood disaster in Dalian City based on GIS[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2022, 50 (3) : 1-8. (in Chinese))

[32] 谢遵党. 水利水电工程数字设计工厂建设构想与实践[J]. 水利水电技术(中英文), 2023,54(2):60-72. (Xie Zundang. Concept and practice of digitalized design factory for water conservancy and hydropower engineering [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2023, 54 (2) : 60-72. (in Chinese))

[33] Li Daqian. Research on data sharing of water conservancy informatization based on data mining and cloud computing [C] // Journal of Physics: Conference Series. Chongqing: IOP Publishing, 2021:012130.

[34] 徐宗学,卢兴超,施奇妙. 城市暴雨洪涝灾害特征与风险评估研究进展[J]. 水利水电科技进展, 2025, 45 (1) : 1-9. (Xu Zongxue, Lu Xingchao, Shi Qimiao. Research progress on urban flooding disaster characteristics and risk assessment [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2025, 45 (1) : 1-9. (in Chinese))

[35] 杨芳,李旭东,宋利祥,等. 城市暴雨洪涝灾害链风险评估方法[J]. 水资源保护, 2025, 41 (5) : 52-60. (Yang Fang, Li Xudong, Song Lixiang, et al. Risk assessment methodology for rainstorm-induced urban flood disaster chain[J]. Water Resources Protection, 2025, 41 (5) : 52-60. (in Chinese))

(收稿日期:2025 - 03 - 13 编辑:雷燕)