

# 基于传感器技术的可穿戴式设备 信号频率测量

程晓芳

(陕西国防工业职业技术学院, 西安 710300)

**摘要:** 利用信号需求分析结果, 选取待处理的规范指标信号, 评价算子的计算说明, 完成信号质量评价; 在此基础上, 通过调整传感器偏振信号、计算测量标准具的方式, 对可穿戴式设备信号的频率间隔进行调整分析, 完成可穿戴式设备信号频率测量方案搭建; 相同物理平台上进行实验, 与 QT 方法相比, 应用新型信号频率测量方案后, 抗电磁干扰免疫水平得到有效提升, 检测带宽占比最大值不超过 55%。

**关键词:** 传感器技术; 频率测量; 需求分析; 指标信号; 质量评价; 偏振调制; 测量标准具; 频率间隔

## Wearable Device Signal Frequency Measurement Based on Sensor Technology

Cheng Xiaofang

(Shaanxi Institute of Technology, Xi'an 710300, China)

**Abstract:** According to the result of signal demand analysis, the standard index signal to be processed is selected, and the calculation of evaluation operator is made to evaluate the signal quality. On this basis, the frequency interval of the wearable equipment signal is adjusted and analyzed by adjusting the polarization signal of the sensor and calculating the measuring standard device, and the frequency measurement scheme of the wearable device signal is constructed. Compared with QT method, the new signal frequency is applied. After the rate measurement, the immunity level of EMI is improved effectively, and the maximum ratio of detection bandwidth is not more than 55%.

**Keywords:** sensor technology; frequency measurement; demand analysis; indicator signal; quality evaluation; polarization modulation; measurement standard; frequency interval

## 0 引言

可穿戴技术是在 20 世纪中后期, 最早由麻省理工学院媒体实验室提出的, 在传感器、多媒体、无线通信等多项交互处理手段的支持下, 人们的衣着质量得到大幅提升。随着可穿戴技术的应用普及, 可穿戴式设备应运而生。所谓可穿戴式设备指的是可以直接穿在人体, 或在人体衣服、配件中进行有效整合的便携设备<sup>[1-2]</sup>。这种新型设备不仅具备硬件执行平台的所有操作功能, 也能够和数据交互、云端传输等技术手段的支持下, 实现信息与数据间软件交流关系的构建。

传统 QT 方法通过建立隶属函数的方式, 对可穿戴式设备信号的数据来源进行统计, 并通过 AHP 数学方法对所有信号数据进行量化处理, 达到测量信号频率的目的。但随着科学技术手段的进步, 这种传统测量方法逐渐显露出检测带宽占比率高、电磁干扰免疫性能较差等问题。为避免上述情况的出现, 在保留 QT 方法应用优势的基础上, 通过信号质量评价、测量标准具计算等手段, 建立一种基于传感器技术的新型可穿戴式设备信号频率测量方案, 并通过对比实验证明该方法的时效性。

## 1 可穿戴式设备频率测量参数选取与计算

在信号需求分析、指标信号选取、评价算子计算三个步骤的支持下, 完成可穿戴式设备信号的质量评价, 实现新型频率测量方法的基础准备环节搭建。

### 1.1 信号需求分析

随着可穿戴式设备运行信号总量的不断增加, 数据与数据之间的交互方式也变得更加复杂。由于大量可穿戴式设备在运行过程中都会产生信号数据, 且这些数据的种类及来源情况较为复杂, 其自身的需求分析可从如下几方面进行:

1) 信号数据量大。可穿戴式设备信号的数量和种类繁多, 同一类信号所对应的设备运行状态也不尽相同, 在整个运行过程中由于设备连接状态的改变, 各类信号数据所面对的需求条件也随之变化, 这也是造成设备信号频率参数大量堆积的主要原因。

2) 信号数据采集周期不一致。为避免数据丢失对频率测量结果造成的影响, 信号采集周期的设置必须参考可穿戴式设备运行状况的反馈周期<sup>[3]</sup>。在可穿戴式设备运动现状的影响下, 信号数据的关注度不尽相同, 所以与其匹配的采集周期也会出现较大差异。

3) 信号数据类型复杂。随着可穿戴式设备运行条件的改变, 所有信号数据在一个测试周期内都呈现周期性变化趋势, 但由于每个信号波动的峰、谷值均不相同, 也就导致信

收稿日期:2019-01-11; 修回日期:2019-02-26。

作者简介:程晓芳(1983-), 女, 研究生, 讲师, 主要从事智能电子设备方向的研究。

号数据整体变化形态较为复杂, 进而出现多种不同类型的信号频率数据。

### 1.2 指标信号的选取

可穿戴式设备指标信号选取以信号需求分析结果作为依据, 通过对信号频率数据的定性、定量分析, 得到具有量化性的信号质量考察维度体系。从稳态分析角度来看, 可穿戴式设备信号质量数据的可靠性受到信号数据总量的直接影响<sup>[4]</sup>。设  $e$  代表可穿戴式设备信号数据总量, 根据稳态有效分析法则, 可将信号质量数据的可靠度表示为:

$$\omega_1 = 1 - \int_{\alpha'}^{\alpha} f(e) de \quad (1)$$

其中:  $\alpha, \alpha'$  分别代表稳态积分的上、下限参数,  $f(e)$  代表与可穿戴式设备信号数据总量相关的定义式。从设备自身的运行特点来看, 可穿戴式设备信号质量数据的核查系数受到信号数据采集周期  $t$ 、信号类型向量  $q$  的共同影响, 且在运行环境保持不变的前提下, 核查系数与  $t, q$  之间的关系可表示为:

$$\omega_2 = (1 + q)y^{\varphi} \quad (2)$$

上式中,  $y$  代表可穿戴式设备信号质量数据的核查条件,  $\varphi$  代表理想状态下信号数据采集周期的最小值。已知有效度函数作为基本应用准则, 会对可穿戴式设备指标信号的选取结果产生定向影响, 假定设备信号质量数据可靠性与核查系数不发生偏移影响, 利用  $\omega_1, \omega_2$  可将信号需求分析下的指标信号选取结果表示为:

$$U = 1 - \frac{|\omega_1 - \omega_2|}{\frac{(\ln E)}{i} + \chi} \quad (3)$$

其中:  $\ln E$  代表以 10 为底可穿戴式设备信号的总需求量,  $i$  代表平均需求条件,  $\chi$  代表选取规划常量。

### 1.3 质量评价算子的计算

可穿戴式设备指标信号的质量评价算子具备一定数据标准化处理能力, 可以根据不同信号选取结果所占权重, 判断该信号的基础运行频率是否满足测量要求。假设在理想状态下, 所有可穿戴式设备的质量预设指标评分均为 1, 但由于受到人体运动状态改变、外界环境变换等情况的影响, 一部分指标的质量评分会发生上升或下降, 且与其相关的隶属度、权重等属性数值也会随之发生变化<sup>[5]</sup>。设  $\lambda$  代表指标隶属度,  $\eta$  代表指标所占权重, 联立公式 (3) 可将可穿戴式设备信号质量评价算子表示为:

$$h = ds - \sum_{\lambda=1}^{\infty} \frac{U}{\eta} \hat{k} \quad (4)$$

其中:  $d$  代表设备信号质量的平均评价参数,  $s$  代表理想评价时长,  $\eta$  代表设备指标质量的预设门限数值,  $\hat{k}$  代表被积分的质量评价算子计算参数。在不出现物理偏差的情况下, 质量评价算子计算结果不可能为 0, 只有大于 0、小于 0 两种结果形式。若质量评价算子计算结果大于 0, 则代表可穿戴式设备信号的选取指标能够承载频率测量方案的运算要求; 若质

量评价算子计算结果小于 0, 则代表可穿戴式设备信号的选取指标不能承载频率测量方案的运算要求。结合上述理论依据, 完成可穿戴式设备信号的质量评价。

## 2 基于传感器技术信号频率测量方案的设计

在可穿戴式设备信号质量评价的基础上, 通过传感器信号偏振调制、测量标准具计算、信号频率间隔调整三个主要步骤, 实现新型信号频率测量方案的搭建。

### 2.1 传感器信号的偏振调制方法设计

传感器信号偏振调制可从横波、纵波两个方向同时进行。对于传感器信号的横波偏振调制来说, 当可穿戴式设备信号垂直进入偏振分束器后, 可以得到两个处于平衡状态输出频率信号, 且它们调制指数的绝对值相等、符号相反。其中一个输出频率信号在经过横波相位调制后, 利用 PM 设备进入上级 PF 装置; 另一个输出频率信号直接进入偏振合束器, 并在其中等待与 PF 装置中的输出频率信号汇合<sup>[6-7]</sup>。详细调制原理如图 1 所示。

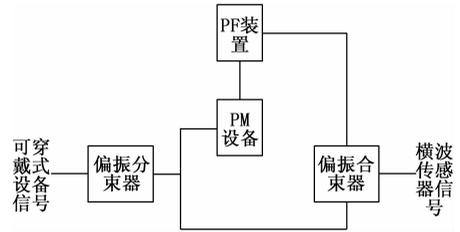


图1 传感器信号横波偏振调制原理图

对于传感器信号的纵波偏振调制来说, 当可穿戴式设备信号垂直进入偏振分束器后, 所有输出频率信号全部进入 PM 设备, 并在其中进行指数绝对值协调等操作。当 PF 装置发出连接请求后, 一部分频率信号直接进入偏振合束器, 另一部分频率信号先在输出装置中进行短暂循环, 再进入偏振合束器, 最后生成纵波传感器信号。详细调制原理如图 2 所示。

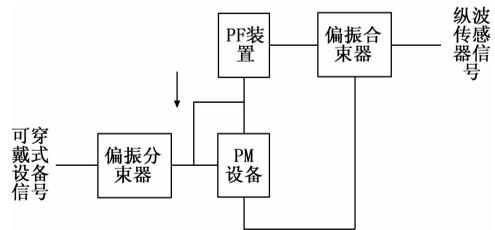


图2 传感器信号纵波偏振调制原理图

### 2.2 测量标准具计算

在传感器技术支持下, 为保证可穿戴式设备信号数据的高速传输, 与指标信号质量评价算子相关的频率容量必须得到实时扩充。随着可穿戴式设备信号频率测量时间的不断增加, 评价算子频率容量扩充度始终在一个标准值附近上下徘徊, 该标准值即为测量标准具。随着传感器信号偏振调制效率的不断增加, 可穿戴式设备信号的传导能够克服电子检测

器件的波形瓶颈，在信号平行传导区域中频率测量的基本带宽得到大幅提升，但其整体占比结果却不断降低<sup>[8-9]</sup>。且在原有信号强度的基础上，传感器对设备基础频率进行了有效提升，并以此方法赋予可穿戴式设备强有力的抗电磁干扰能力。设可穿戴式设备信号质量评价算子不随测量时间的增加而改变，始终保持为  $h$ ，传感器信号横波偏振调制量  $x_1$ 、纵波偏振调制量  $x_2$  也始终保持相互独立。利用上述物理量，可将可穿戴式设备信号频率的测量标准具表示为：

$$l = \frac{h \left| \sum_v^c f_{\omega} \right|^{-1}}{(x_1 + x_2)^2} \quad (5)$$

其中： $c$ 、 $v$  分别代表标准具测量的积分上、下限参数， $f_{\omega}$  代表可穿戴式设备信号的传输消耗量， $\omega$  代表传输消耗周期的平均时长。

### 2.3 信号频率间隔的测量调整分析

可穿戴式设备信号频率间隔调整是新型测量方案搭建的末尾环节，可以对最终的测量精度、测量范围等无理数值进行严格限定。根据传感器的传导特性可知，可穿戴式设备信号具备较强的可重构性，且随着测量时间的不断增加，与可穿戴式设备并列测量仪器的各项测量信号也会发生一定改变<sup>[10]</sup>。图 3 反应了完整的可穿戴式设备信号频率间隔调整原理。

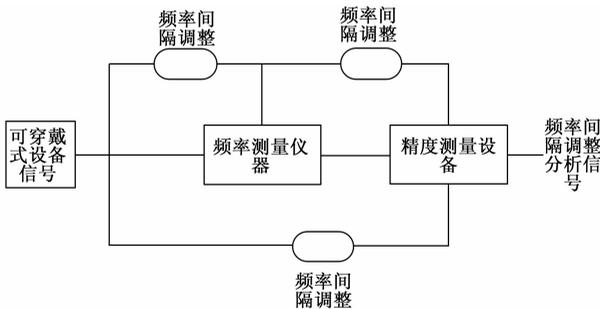


图 3 可穿戴式设备信号频率间隔调整原理图

分析上图可知，一次完整的可穿戴式设备信号频率测量需要对频率间隔进行三次调整，且这三次物理操作间不产生任何关联影响。当可穿戴式设备信号进入频率测量仪器后，这些信号平均分成两份，并同时频率间隔调整。其中一份信号在经过一段时间的物理运行后，进行第二次频率间隔调整，最终进入精度测量设备。另一份信号直接进入精度测量设备，在其中进行物理融合后，形成完整的频率间隔调整分析信号。整合上述所有操作原理，完成传感器技术下可穿戴式设备信号频率测量方案的搭建。

## 3 测量技术的应用试验

为突出说明传感器技术下可穿戴式设备信号频率测量方案的实用价值，在相同物理平台上，模可穿戴式设备的应用情况，设计如下对比实验。以两台信号发出装置完整的可穿戴式设备模拟机作为实验对象，其中实验组模拟机搭载传感

器技术下的新型信号频率测量方案，对照组模拟机搭载传统 QT 方法，在保证其它影响因素不变的前提下，应用控制变量法，分别记录相同实验环境下，实验组、对照组实验数据的变化情况。

### 3.1 实验参数设定

结合物理平台应用条件，根据表 1 完成实验参数设置。

表 1 实验参数设定表

参数名称	实验组	对照组
SOV	0.42(分层)	0.42(分层)
	0.71(整体)	0.71(整体)
LEI/(%)	74.35(分层)	74.35(分层)
	71.28(整体)	71.28(整体)
FMB	0.64(分层)	0.64(分层)
	0.83(整体)	0.83(整体)
DBE/(%)	57.16(分层)	57.16(分层)
	60.67(整体)	60.67(整体)
EET/min	100	100

上表中 SOV 参量代表传感运行向量、LEI 参数代表电磁干扰免疫水平极值、FMB 参数代表频率测量基量、DBE 参数代表检测带宽占比极值、EET 参数代表实验时间，为保证实验结果的绝对公平性，实验组、对照组实验参数始终保持一致。

### 3.2 抗电磁干扰免疫水平对比

为避免突发性事件对实验结果真实性造成影响，本次实验分两部分进行。在可穿戴设备信号保持分层运行、传感运行向量为 0.42 的条件下，以 100 min 作为实验时间，分别记录在该段时间内，实验组、对照组实验对象抗电磁干扰免疫水平的变化情况；在可穿戴设备信号保持整体运行、传感运行向量为 0.71 的条件下，以 100 min 作为实验时间，分别记录在该段时间内，实验组、对照组实验对象抗电磁干扰免疫水平的变化情况。详细实验对比结果如表 2、表 3 所示。

表 2 抗电磁干扰免疫水平对比表(分层)

实验组抗电磁干扰免疫水平/(%)	实验时间/min	对照组抗电磁干扰免疫水平/(%)
60.37	10	37.68
61.22	20	49.32
62.78	30	37.68
63.41	40	50.15
64.66	50	37.68
75.92	60	52.44
75.92	70	37.68
75.92	80	53.71
74.35	90	37.68
73.83	100	52.57

对比表 1、表 2 可知，实验组抗电磁干扰免疫水平在 50~60 min 之间的变化值最大，达到 11.26%，对照组抗电磁

干扰免疫水平在 70~80 min 之间的变化值最大，达到 16.03%，远超过实验组。在 60~80 min 之间，实验组抗电磁干扰免疫水平始终保持最大值 75.92%，与上限数值相比上升了 1.57%；在第 80 min 时，对照组抗电磁干扰免疫水平达到最大值 53.71%，与上限数值相比下降了 20.64%，远低于实验组。综上可知，在可穿戴设备信号保持分层运行、传感运行向量为 0.42 的条件下，应用传感器技术下可穿戴式设备信号频率测量方案，可促使抗电磁干扰免疫水平提升 22.21%。

表 3 抗电磁干扰免疫水平对比表(整体)

实验组抗电磁干扰免疫水平/(%)	实验时间/min	对照组抗电磁干扰免疫水平/(%)
61.45	10	40.02
61.45	20	41.77
61.45	30	54.29
72.38	40	53.61
72.38	50	52.48
72.38	60	51.95
70.67	70	50.64
70.67	80	50.30
70.67	90	49.76
69.50	100	49.53

对比表 1、表 3 可知，实验组抗电磁干扰免疫水平在 30~40 min 之间的变化值最大，达到 10.93%，对照组抗电磁干扰免疫水平在 20~30 min 之间的变化值最大，达到 12.52%，远超过实验组。在 40~60 min 之间，实验组抗电磁干扰免疫水平始终保持最大值 72.38%，与上限数值相比上升了 1.10%；在第 30 min 时，对照组抗电磁干扰免疫水平达到最大值 54.29%，与上限数值相比下降了 16.99%，远低于实验组。综上可知，在可穿戴设备信号保持整体运行、传感运行向量为 0.71 的条件下，应用传感器技术下可穿戴式设备信号频率测量方案，可促使抗电磁干扰免疫水平提升 18.09%。

### 3.3 检测带宽占比量对比

为避免突发性事件对实验结果真实性造成影响，本次实验分两部分进行。在可穿戴设备信号保持分层运行、频率测量基量为 0.64 的条件下，以 100 min 作为实验时间，分别记录在该段时间内，实验组、对照组实验对象检测带宽占比量的变化情况；在可穿戴设备信号保持整体运行、频率测量基量为 0.83 的条件下，以 100 min 作为实验时间，分别记录在该段时间内，实验组、对照组实验对象检测带宽占比量的变化情况。详细实验对比结果如图 4、图 5 所示。

分析图 4 可知，随着实验时间的增加，实验组、对照组检测带宽占比量呈现截然不同的变化趋势。20 min 之前实验组检测带宽占比量逐渐上升，20~100 min 之间实验组检测带宽占比量之间下降。40 min 之前对照组检测带宽占比量逐

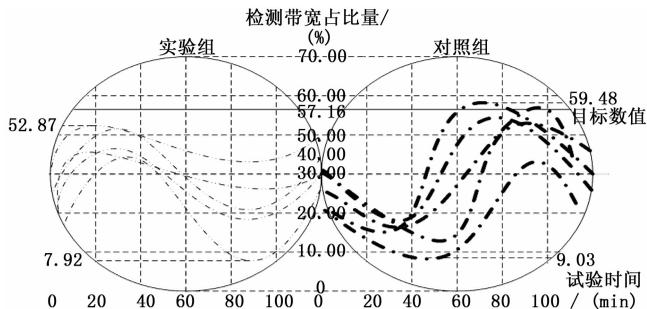


图 4 检测带宽占比量对比图(分层)

渐下降，40~80 min 之间对照组检测带宽占比量逐渐上升，80~100 min 之间对照组检测带宽占比量逐渐上升。实验时间为 20 min 时，实验组检测带宽占比量达到最大值 52.87%，与极限数值相比下降了 4.29%，实验时间处于 80~100 min 之间时，实验组检测带宽占比量达到最小值 7.92%。实验时间处于 60~80 min 之间时，对照组检测带宽占比量达到最大值 59.48%，与极限数值相比上升了 2.32%，远高于实验组，实验时间处于 40~60 min 之间时，对照组检测带宽占比量达到最小值 9.03%，高于实验组。综上可知，在可穿戴设备信号保持分层运行、频率测量基量为 0.64 的条件下，应用传感器技术下可穿戴式设备信号频率测量方案，可促使检测带宽占比量下降 6.70%。

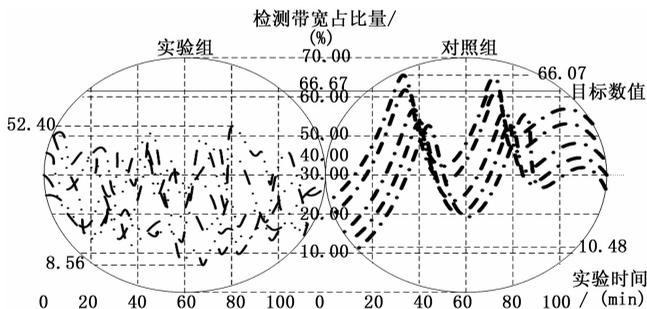


图 5 检测带宽占比量对比图(整体)

分析图 5 可知，随着实验时间的增加，实验组、对照组检测带宽占比量呈现截然不同的变化趋势。在整个实验过程中，实验组检测带宽占比量始终呈现较为明显的波动状态。对照组检测带宽占比量呈现上升、下降交替出现的变化趋势。实验时间为 80 min 时，实验组检测带宽占比量达到最大值 52.40%，与极限数值相比下降了 8.27%，实验时间处于 60~80 min 之间时，实验组检测带宽占比量达到最小值 8.56%。实验时间处于 20~40 min 之间时，对照组检测带宽占比量达到最大值 66.07%，与极限数值相比上升了 5.40%，远高于实验组，实验时间处于 0~20 min 之间时，对照组检测带宽占比量达到最小值 10.48%，高于实验组。综上可知，在可穿戴设备信号保持整体运行、频率测量基量为 0.83 的条件下，应用传感器技术下可穿戴式设备信号频率测量方案，可促使检测带宽占比量下降 13.67%。

## 4 结束语

新型可穿戴式设备信号频率测量方案以传感器技术平台作为应用背景,在信号需求分析、指标信号选取、评价算子计算三个步骤的支持下,完成信号质量评价,通过频率间隔调整等方式,对电磁干扰免疫力差、检测带宽占比高等问题进行有效解决。从搭建过程方面来看,新型测量方案中的数据计算量相对较小,且没有对数值精确度进行严苛要求,在一定程度上避免因运算误差造成方案测量准确率下降问题的出现,应用传感器技术下可穿戴式设备信号频率测量方案,可促使抗电磁干扰免疫力水平的提升,同时也可促使检测带宽占比量下降。从某些角度来看,传感器技术下可穿戴式设备信号频率测量方案能够充分代替传统 QT 方法,具备一定的实际推广价值。

### 参考文献:

- [1] 吕腾达,刘成. 基于机器视觉的柔性杆件振动频率测量算法研究 [J]. 电子设计工程, 2017, 25 (4): 119-121.
- [2] 李鸿强,崔佃银,袁丹阳,等. 基于容性耦合电极的可穿戴心电图信号检测及其去噪算法研究 [J]. 传感技术学报, 2017, 30 (1): 8-15.
- [3] 李哲茹,许金林,李晓风,等. 一种基于绿光的可穿戴式光电容

积脉搏波测量系统 [J]. 现代电子技术, 2016, 39 (20): 125-128.

- [4] 戴逸翔,王雪,戴鹏,等. 面向可穿戴多模生物信息传感网络的栈式自编码器优化情绪识别 [J]. 计算机学报, 2017, 40 (8): 1750-1763.
- [5] 赵丽清,尚书旗,高连兴,等. 基于同心轴圆筒式电容传感器的花生仁水分无损检测技术 [J]. 农业工程学报, 2016, 32 (9): 212-218.
- [6] 何坚,周明我,王晓懿. 基于卡尔曼滤波与 k-NN 算法的可穿戴跌倒检测技术研究 [J]. 电子与信息学报, 2017, 39 (11): 2627-2634.
- [7] 刘锦怡,张乐,胡海波,等. 强鲁棒性的可穿戴传感器的人体动作识别方法 [J]. 计算机工程与应用, 2017, 53 (4): 176-183.
- [8] 黄涌,郭旭宏,姚兆林,等. 基于主动干电极传感器的无线可穿戴脑电采集系统 [J]. 传感器与微系统, 2017, 36 (4): 80-83.
- [9] 周楠树,赵甦,王海洋. 基于可穿戴设备的无监督室内/室外场景探测方法 [J]. 计算机应用研究, 2017, 34 (8): 2258-2263.
- [10] 徐日新,陈小兵,祝烈煌,等. CASTWED: 卫星移动通信系统中一种结合可穿戴设备与智能终端的持续认证方案 [J]. 通信学报, 2017, 15 (8): 60-65.

(上接第 10 页)

- [2] Bouwmans T. Traditional and Recent Approaches in Background Modeling for Foreground Detection: An Overview [J]. Computer Science Review, 2014, 11: 31-66.
- [3] 周爱民,张青富,张桂戌. 一种基于混合高斯模型的多目标进化算法 [J]. 软件学报, 2014 (5): 913-928.
- [4] Zivkovic Z, Heijden F V D. Efficient adaptive density estimation per image pixel for the task of background subtraction [J]. Pattern Recognition Letters, 2006, 27 (7): 773-780.
- [5] 李明,赵勋杰. 改进的基于高斯混合模型的运动目标检测算法 [J]. 计算机工程与应用, 2011, 47 (8): 204-206.
- [6] Boulmerka A, Allili M S. Foreground Segmentation in Videos Combining General Gaussian Mixture Modeling and Spatial Information [J]. IEEE Transactions on Circuits & Systems for Video Technology, 2017, PP (99): 1-1.
- [7] Cucchiara R, Grana C, Piccardi M, et al. Detecting moving objects, ghosts, and shadows in video streams [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25 (10): 1337-1342.
- [8] Sanin A, Sanderson C, Lovell B C. Improved shadow Removal for Robust Person Tracking in Surveillance Scenarios [A]. International Conference on Pattern Recognition [C]. IEEE Computer Society, 2010.
- [9] 武明虎,宋冉冉,刘敏. 结合 HSV 与纹理特征的视频阴影消除

算法 [J]. 中国图象图形学报, 2017, 22 (10): 1373-1380.

- [10] 朱振国,田松禄. 基于权值变化的 BP 神经网络自适应学习率改进研究 [J]. 计算机系统应用, 2018, 27 (7): 207-212.
- [11] Sanin A, Sanderson C, Lovell B C. Shadow detection: A survey and comparative evaluation of recent methods [J]. Pattern Recognition, 2012, 45 (4): 1684-1695.
- [12] Paschos, G. Perceptually uniform color spaces for color texture analysis: an empirical evaluation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10 (6): 932-937.
- [13] Cucchiara R. Improving shadow suppression in moving objects detection with HSV color information [Z]. Intelligent Transportation Systems. IEEE, 2002.
- [14] Prati A, Cucchiara R, Trivedi M M. Analysis and Detection of Shadows in Video Streams: A Comparative Evaluation [A]. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision & Pattern Recognition [C]. IEEE, 2001.
- [15] Scharcanski J. Stochastic texture analysis for monitoring stochastic processes in industry [J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26 (11): 1701-1709.
- [16] Wang Y, Jodoin P M, Porikli F, et al. CDnet 2014: An Expanded Change Detection Benchmark Dataset [A]. 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW) [C]. IEEE Computer Society, 2014.