

·信号与信息处理·

差分原理在液体红外光检测中的应用与算法设计

赵振刚, 翟建芳

(中国科学技术大学软件学院, 江苏 苏州 215123)

摘要: 红外发光二极管及光敏器件的组合设计是一种超低成本液体检测的方案, 针对该方案极易受环境光和装置扰动等因素的影响而导致噪声将有用信号淹没的状况, 提出了一种毫秒级分时检测净环境光及在红外发射管补偿条件下的混合环境光强的机制, 取分时检测数值的二次差分作为液体有无的判断依据。通过实验进行了批量数据采集和建模, 并进行了分阶算法设计。结果表明, 该方法获得了复杂多变环境中检测结果的一致性, 已在静脉输液监护等实际产品中获得应用。

关键词: 液体检测; 红外光检测; 差分

中图分类号: TN216; TN219; R826.2*6

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2014)-01-0043-06

Algorithm Designation and Application of Differential Principle in Liquid Infrared Detection

ZHAO Zhen-gang, ZHAI Jian-fang

(College of Software Engineering, University of Science & Technology of China, Suzhou 215123, China)

Abstract: It is an ultra low-cost solution for liquid detection with infrared LED (light emitting diode) and infrared sensitive devices. But the day light and movement of detection equipment can easily lead severe noise which will cover the desired signal. To decrease the affection of the noise as described, the method is introduced to sample light from physical environment and mixed light with infrared LED individually in dozens of milliseconds. The second order difference of the sampled value is used as the reasoning behind the judgment whether the liquid exists or not. A batch of data is collected to model the change of liquid, and algorithm is established with partition variables. The results show that the desired signal which triggered by liquid could be detected correctly in adverse environment. As the result, this method can be used in real products such as intravenous infusions.

Key words: liquid detection; infrared detection; differential principle

判断容器内是否有液体是一种常见的工业和生活需求, 根据传感器工作原理的不同, 可分为超声波法^[1]、可变电容法^[2]、液位检测法、光电法等。

超声波法是利用超声波在不同传播介质中的特性差异, 主要是在两种不同的介质界面上, 超声波的能量会被反射和透射, 其量化程度与介质的声阻抗特性有关, 在使用时要求超声波换能器与液体容器外壁直接接触, 若两者之间存在空隙, 则接收性能会受到较大影响。

可变电容法是将两个电极固定于液体容器两侧

外壁, 将被测量的变化转换为电容量, 作为测量液体的电信号量, 该方法对液体的类别、浓度及容器尺寸等参数敏感。

液位检测法是一种接触式测量, 通过内置浮子等机械物品到液体装置内实现位移的测定, 进而判断液体情况。

静脉输液监护是一种通过机电一体化装置来替代医护人员对病人的静脉输液情况实时监控的手段, 通过连续感知输液管内的液体有无从而能够及时检测输液是否结束, 进而自动切断输液通路并呼

叫医护人员,避免人为疏忽导致的医疗事故和伤害。静脉输液监护场景中的液体检测有其特殊的要求,一是要检测装置小型化便携化和高鲁棒性,不影响病人在输液期间的自由活动,避免长期卧床或静坐带来的身体不适;二是输液管孔径相对较小,一般在2~5 mm,对液体的检测精度和抗干扰性要求较高;三是静脉用药的种类不同,液体颜色和介电属性等也有差异,要求检测方法的普适性。

相比较而言,红外光对射传感器的电路简单,成本非常低廉,红外光对不同颜色液体的光吸收性不敏感,是一种快捷的液体检测方法,但相对于输液管的尺寸以及装置开放式安装的要求等条件,该方法的干扰因素较多,因此一直没有实用的案例。针对这一需求,从有效信息提取的角度,设计了基于差分原理的液体检测算法并达到了实用效果。

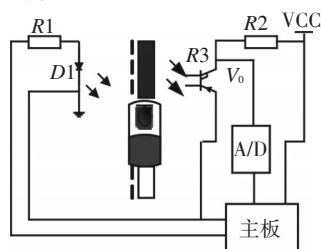
1 红外光电法的液体检测电路设计与试验

1.1 红外光电法的液体检测原理

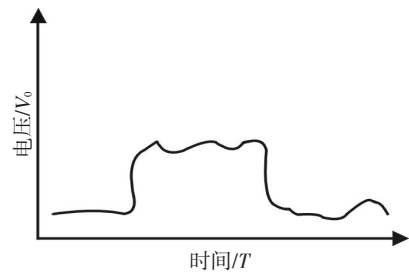
设计的红外光电法的液体检测电路如图1所示。该电路原理简单,制作方便,其中发射电路由限流电阻 R_1 和红外发光二极管 D_1 组成,可由主板上的微处理器控制 D_1 的通断,当 D_1 导通时将产生一定光照强度的红外辐射;接收电路由光敏电阻 R_3 和精密电阻 R_2 组成, R_3 的阻值随辐射光的变化而变化,且响应时间一般在微秒级。

电路工作时,将输液管置于红外光发射和接收电路之间,管子中的液体变化会产生不同的透光量,进而影响 R_3 阻值的变化,在严格保证VCC固定的条件下,通过对 R_3 的电势进行A/D采样,主板上的微处理器可实时感知 R_3 处的辐射光强度,推算液体的物理状况。

理想的工作曲线如图1b所示,管子有无液体将直接导致红外光的透光量不同,液体从无到有时,A/D采样的电压值 V_0 具有稳定的上升沿,反之具有轮廓清晰的下降沿。



(a) 液体的红外光电检测电路示意图



(b) 理想条件下液体变化信号量曲线示意

图1 液体的红外光检测应用场景

记 R_3 处分压值为 V_0 ,则经过10 bit宽度A/D转换后的数值为

$$V_0' = V_0 \times 1024 / V_{ref} \quad (1)$$

其中, V_{ref} 为A/D系统的参考电压,该电路中取微处理器内部的稳定值2.5 V,为了检测液体变化需检测 V_0 的变化沿,取一定时间内 V_0 序列的差值

$$\Delta V_0' = V_0'_i - V_0'_k \quad (2)$$

并根据 $\Delta V_0'$ 与测定的固定阈值相比较,即可判断液体的变化情况。

1.2 红外光信号量的扰动分析

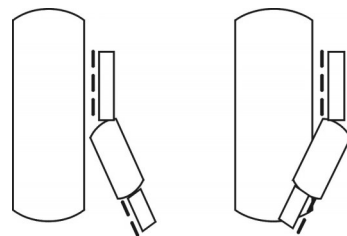
然而在实际使用中,由于光敏电阻 R_3 对红外波段光强的敏感性,极易被动接收外界辐射光变化带来的背景噪声,噪声来源可分为:

(1)人为走动产生的检测装置扰动,如图2a所示,病人自由活动时的扰动造成输液管和红外光传感器之间的相对位置变化,从而导致透光量变化;

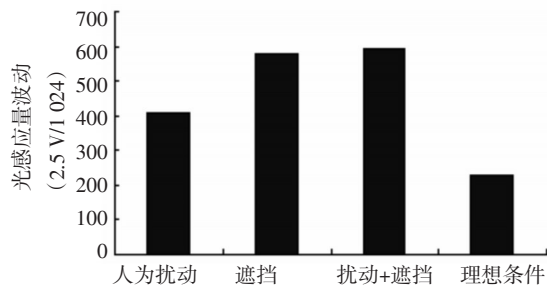
(2)环境自然光照条件变化,相同的物理环境在不同的日照条件下,接收电路的感应量也不相同,如检测装置暴露在直射自然光下与楼宇内的日光灯下的采样差值远大于单一环境下液体有无变化时的差值;

(3)人为走动和室内障碍物的光线遮挡,在检测装置周边人或物不同时,其接收的自然光量也不同。

若上述三个干扰因素相叠加,将使得红外光感应量的样本分布杂乱无序,即噪声值完全将有用信息淹没。



(a) 人为扰动示意



(b)不同条件下接收电路感应量波动幅度

图2 光感应受外界扰动因素分析

图2b显示了不同加扰条件的光敏电子响应幅值的最大波动情况,该样本数据的测试条件为:A/D宽度为10 bit,测试地点为江苏省苏州市,环境自然光照度变化时间为4月份下旬中的4个晴天,每天测试时间为8:00~19:00。

纵轴为测得 V_0 经过A/D转换的数值,其中理想的液体变化条件为环境自然光无变化、无人为扰动和遮挡。可以看出,理想情况下管子中是否有液体会导致光敏电阻的幅值波动在200~300之间。值得说明的是,无论管子中是否有液体,无论发射电路中的红外发光二极管是否工作,在其他三种扰动条件下,光敏电阻相应的幅值波动都分布在图2b所示的区间,且都大于理想条件下的有效信号跳变。

2 基于差分法的传感器数据建模与算法设计

为了获得红外光电检测法的实用效果,需要从信号采集方式到数值处理算法做一系列优化处理。

2.1 算法的设计思路

由红外光电检测的原理可知,无论何种扰动,最终噪声直接来源是环境光强的变化。而由图2可见,为了达到装置的使用效果,一定要允许有人为扰动的正常存在,因此将消除环境光噪声作为算法设计的目标。

将环境光变化的情况作以分类,不难得出,其可分为如人为持续走动造成的短时高频扰动,如装置从太阳光直射到进入室内这类工作环境切换带来的低频阶跃式变化,以及在一天当中工作时间不同导致的环境光缓慢变化。

针对高频扰动和阶跃式变化,可以通过时间相关的数值滤波算法来减小噪声,而为了消除工作时

间不同带来的环境差异,就必须设计一种和环境自然光无关的普适算法,由第1节可知光敏电阻的响应时间在微秒级,而环境光自然变化相对缓慢,一般在数十分钟采用较大的数值变化,因此利用两者时间差,可采取差分的方式,即控制发射管中红外二极管的通断状态,来获取单纯的装置红外光经过管子的透光量。

2.2 分时采样的差分式样本数据建模

由第2.1节的分析可知,解决环境光强变化带来的噪声是核心问题,因此以环境光强为量测尺度,采集分布于环境光两个极值区间内的差分式光感应值,具体测试方式为在最强自然光照条件下,随机加入各种扰动,使光敏电阻处的自然光照度最大范围地波动,每个采样点分别进行2次测量,2次测量间隔10 ms,第1次测量环境光强,第2次测量在红外发光二极管工作条件下的混合光强,实时记录采样值,从而进行数据分析和建模,实测数据如表1和图3所示。

表1 差分式样本数据

有液体时			无液体时		
红外+环境光	环境光	差分	红外+环境光	环境光	差分
加扰方式:人为晃动					
151	405	254	198	371	173
115	371	256	190	358	168
101	285	184	177	345	168
98	255	157	110	243	133
383	589	206	412	575	163
511	767	256	609	767	158
105	306	201	117	255	138
487	723	236	587	751	164
163	461	298	255	437	182
167	471	304	275	433	158
207	466	259	287	477	190
210	465	255	295	458	163
152	447	295	246	413	167
167	463	296	243	412	169
103	325	222	137	292	155
加扰方式:遮挡,随机变暗或加强环境光					
159	423	264	399	432	33
217	511	294	319	507	188
312	619	307	459	619	160
377	697	320	511	703	192
413	735	322	511	735	224
445	767	322	575	767	192
487	767	280	630	767	137
510	831	321	635	831	196
607	943	336	747	943	196

续表1 差分式样本数据

605	927	322	743	934	191
590	895	305	727	895	168
511	875	364	683	875	192
483	767	284	622	767	145
634	959	325	757	959	202
639	983	344	767	983	216
115	371	256	182	350	168
138	412	274	285	467	182
203	501	298	327	503	176
255	575	320	399	575	176
95	255	160	111	246	135
103	319	216	123	255	132
104	334	230	153	313	160
107	350	243	137	315	178

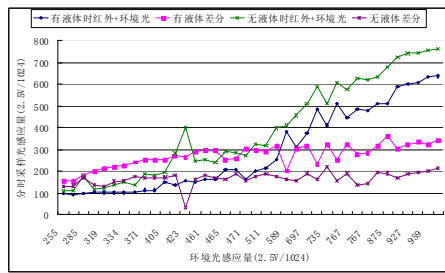


图3 差分式样本数据

图3横轴为自然环境光的数值。横向比较,随机的扰动使得光感应量呈现接近600个单位的波动,而各变量的变化存在较好的一致性。而从纵向角度比较,在管子中是否存在液体的两种条件下,其混合光强、差分光强之间存在正负属性一致的差值,即在任意瞬时时刻,有液体时的分时采样差分值总是大于没有液体时分时采样差分值,这是后续算法的设计依据。

2.3 基于差分与时间相关滤波的检测算法流程

图4所示为最终的算法流程设计,共分为分时感知与均值滤波的红外光差分检测、环境光的状态空间观察窗处理、状态空间分阶处理、基于二次差分的液体变化沿检测四个阶段。

2.3.1 分时感知与均值滤波的差分检测

该步骤实现对红外光强的差分法采样,设环境自然光强为 B ,时刻 i 的取值为 B_i ,发射端红外光与环境光混合强度为 O ,时刻 i 的取值为 O_i ,这里的 B 和 O 均为经过A/D转换后的数值量,则差分透光值为

$$\Delta O_i = O_i - B_i$$

均值滤波实现对一定时间段内的采样序列的初步误差消除,设均值滤波序列长度为 M ,则滤波后的

$$\text{采样值 } B_i' = \frac{1}{M} \sum_{i=j}^{i=j+M} B_i, O_i' = \frac{1}{M} \sum_{i=j}^{i=j+M} O_i$$

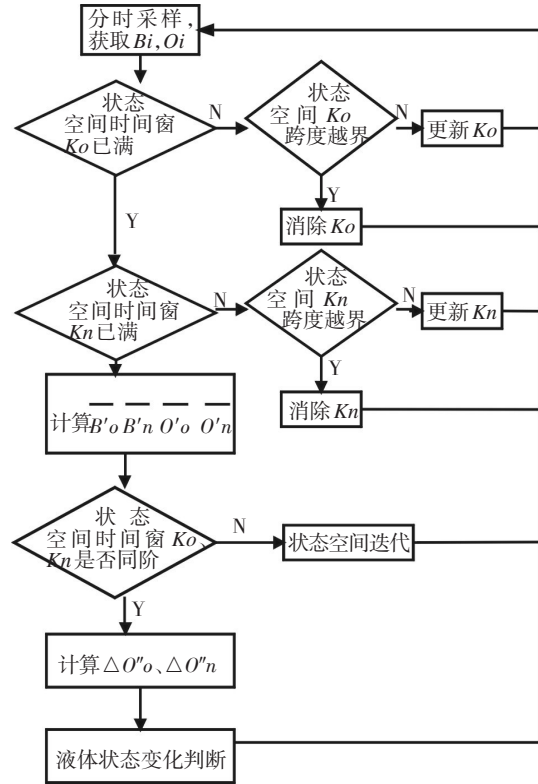


图4 基于差分与时间相关滤波的检测算法流程

2.3.2 环境光的状态空间观察窗处理

该步骤生成用于液体状态变化判断的两个状态空间

$$K_o = \{ \{B'_i, B'_{i-1}, \dots, B'_{i-L}\}, \{O'_i, O'_{i-1}, \dots, O'_{i-L}\} \} \quad (3)$$

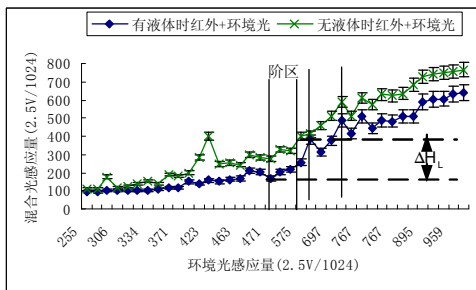
$$K_n = \{ \{B'_i, B'_{i+1}, \dots, B'_{i+L}\}, \{O'_i, O'_{i+1}, \dots, O'_{i+L}\} \} \quad (4)$$

每个状态空间包括 L 个采样序列值,每更新一个状态点,必须同步更新该状态空间的最大值 B_{\max} 、最小值 B_{\min} 以及跨度 $B_h = B_{\max} - B_{\min}$ 。

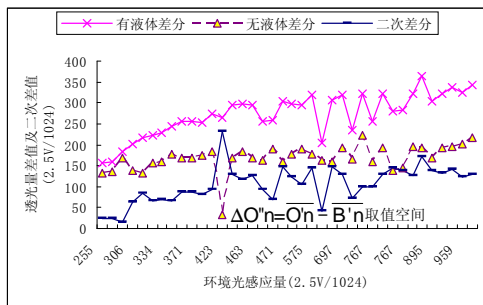
状态空间记录限定时间内接收端光感应值的一个稳态向量,这里稳态向量的定义为状态空间中背景光取值跨度 $B_h < \Delta H_L$, ΔH_L 为针对样本空间分阶后所形成的每阶的误差区间跨度,这里的分阶是指

样本空间中 ΔO_i 相对稳定的一个集合,如图 5a 所示。若在某时刻新的采样值导致 $B_n < \Delta H_L$ 这一条件不满足,则清除该状态空间数值,重新观察记录。

状态空间的限定时间成为一个观察窗,记为 ω , ω 的宽度和实际检测中装置在扰动条件下背景光的暂稳态时间有关,可根据实际应用而设定,建议为状态空间序列长度 L 的 10~100 倍,之所以这样取值为能够连续检测到该暂稳态中的稳定值,又能够消除一定的极值误差。



(a)分阶区间与跨度 ΔH_L 示意



(b)二次差分取值空间

图5 样本空间分阶与光感应值的二次差分

2.3.3 状态空间分阶处理

在生成 2.3.2 节中所述的两个状态空间后,通过两个状态空间的二次差分来检测液体的物理变化,而由样本空间可知,由于扰动造成的光感应量波动范围远超过液体变化所造成的光感应量跳变,因此只有两个状态空间处于一个分阶区间中才有比较意义。该步骤通过计算状态空间中的背景光与混合光均值,即

$$\overline{B^o} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^i B^o \text{ 与 } \overline{B^n} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^{i+L} B^n, \text{ 并判断 } \overline{B^o} \text{ 和 } \overline{B^n} \text{ 是否同阶,若是则进行液体状态判断,若不是则进行状态空间迭代,由 } K_n \text{ 覆盖 } K_o, \text{ 并进行新的状态空间观察,同理并计算 } \overline{O^o} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^i O^o, \overline{O^n} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^{i+L} O^n.$$

否同阶,若是则进行液体状态判断,若不是则进行状态空间迭代,由 K_n 覆盖 K_o , 并进行新的状态空间观察,同理并计算 $\overline{O^o} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^i O^o, \overline{O^n} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^{i+L} O^n.$

2.3.4 基于二次差分的液体变化沿检测

在上述两个状态空间处于同一分阶的前提下,取两个状态空间中的平均红外透光量,即 $\Delta O^o = \overline{O^o} - \overline{B^o}, \Delta O^n = \overline{O^n} - \overline{B^n}$,对两个差分值再次进行差分运算,得到 $\Delta O^n = \Delta O^n - \Delta O^o$, ΔO^n 的样本分布如图 5b 所示,根据 ΔO^n 的取值及 2.3.3 节中获得的分阶集合,可判断当前时刻液体是否存在变化,以及何种变化。

3 实验结果与应用

在实现并运用第 2 节描述的算法基础上,随机抽取 20 套液体检测装置样品分别进行了多种加扰条件下的 100 次测试,结果如表 2 所示。

表2 算法可靠性实验结果

环境光强	人为扰动/(%)	遮挡/(%)	扰动+遮挡/(%)
<200	87.4	98	82
≥200	100	100	100

由实验结果可知,在环境自然光强满足一定条件的情况下该算法能够可靠检测管子中液体的真实变化情况,具有较强的抗干扰能力。对于 A/D 转换后数值小于 200,即环境中自然光强大于 5.8 万勒克斯的情况,通过装置的结构等处理可以避免该类情况的发生。

4 结 论

在设计了红外光对管传感器电路的基础上,针对多扰动因素下红外光液体检测样本的无序分布,进行了批量数据采集和建模,通过二次差分的方法有效捕获了液体变化的阶跃信号,完成了算法的程序实现,实验结果稳定可靠,已获得产品应用。值得一提的是,该方法在大噪声背景下进行了有效的“有”、“无”二值信号的提取,那么反之,通过对该二值信号有效编码并融合到大噪声中,将是一种思路新颖的数据加密与传输方案,有着积极的实验和研究价值。

参考文献

[1] 王汝琳,王咏涛.红外检测技术[M].北京:化学工业出版社,2006.

- [2] 龚涵,陈浩宇.微弱光信号检测电路的设计与实现[J].机械与电子,2007(27):85-87.
- [3] 江文杰,施建华.光电技术[M].北京:科学出版社,2009.
- [4] 秉时.光敏电阻的种类、原理及工作特性[J].红外,2003(11):48.
- [5] 周红,杨卫群,沈学浩,等.光敏电阻基本特性测量实验的设计[J].物理实验,2003(11):9-11.
- [6] 王紫婷,王瑞峰,严天峰.智能液体点滴速度监控仪[J].自动化与仪器仪表,2004(5):48-50.
- [7] 全国大学生电子设计竞赛获奖作品选编[M].北京:北京理工大学出版社,2003.
- [8] Dickens Roberts, Ridley Allan. Ultrasonic detection of bubbles in fluids. American Society of Mechanical Engineers, Bioengineering Division (Publication) BED, 2001,50:727-728.
- [9] Aworek A, Krupa A, Trela M. Capacitance sensor for void fraction measurement in water/steam flows[J]. Flow Measurement and Instrumentation, 2004,15(5):317-327.
- [10] 张强.随机信号分析的工程应用[M].北京:国防工业出版社,2009.

(上接第25页)

- [6] ZEMAX Development Corporation. ZEBASE Optical Design Database 6.0 [Z]. USA: ZEMAX Development Corporation, 2007:48-50.
- [7] Harvey M Spence. Eyepiece design simplification through the use of aspherics [J]. Proceedings of SPIE, USA, 2004:592-598.
- [8] Eyepiece designs with radial and spherical polymer gradient-index optical elements [J]. Optical Engineering, 2013, 52(11): 112102 (1-8).
- [9] 萧泽新.工程光学设计(2版)[M].北京:电子工业出版社,2008:73-80.
- [10] 李士贤,李林.光学设计手册(修订版)[M].北京:北京理工大学出版社,1996:159-169.
- [11] 舒朝濂.现代光学制造技术[M].北京:国防工业出版社,2012:351-362.

(上接第31页)

- [6] 刘钧,刘欣.微光夜视仪中物镜光学系统的小型优化设计[J].应用光学,1999,29(6):519-523.
- [7] 宋波,刘钧,高明.头盔式微光夜视仪中折-衍混合物镜的设计[J].电光与控制,2008,15(2):78-82.
- [8] 张慧娟,王肇圻,卢振武.折/衍混合微光夜视头盔显示器光学系统设计[J].光学学报,2004,24(10):1393-1397.
- [9] 高明,强西林.头盔式双目微光夜视仪研制[J].西安工业大学学报,2001,21(4):300-305.
- [10] 刘钧,尚华.头盔式单目微光夜视仪中非球面物镜系统的设计[J].应用光学,2006,27(4):308-312.

(上接第42页)

- [5] 寇瑾.薄色谱法检验喷墨打印机墨水的种类[J].光谱实验室,2009,36(3):689-691.
- [6] 秦玉红.中文笔记特征因子结构分析的研究[J].科技世界,2012(5):30-31.
- [7] 高正荣.国外文件制成时间检验技术概况[J].甘肃科技,2006,22(11):166-168.
- [8] 高正荣.我国文件制成时间检验技术概况[J].甘肃科技纵横,2006,35(6):115-116.
- [9] 涂岩恺,陈庆虎,邓伟.计算机打印文档鉴别与检索[J].电子与信息学报,2011,33(2):499-508.
- [10] 李军.激光打印字迹人为热老化表现特征研究[J].河北北方学院学报,2012,28(5):86-89.
- [11] 蒋立琴,黄甦.墨粉的结构及鉴别方法研究进展[J].信息记录材料,2010,11(5):44-46.
- [12] 黄越,王冬,段佳,等.近红外光谱成像分析技术的应用进展[J].现代仪器,2011,17(5):13-18.