

文章编号:1004-9037(2013)05-0685-06

基于视频图像的输液滴速实时监测系统

黄 越¹ 郭山红¹ 陈文鼎^{1,2} 谢仁宏¹ 芮义斌¹ 李 鹏¹

(1. 南京理工大学电子工程与光电技术学院,南京,210094;2. 中国移动江苏公司淮安分公司,淮安,223001)

摘要:提出了一种基于视频图像的输液滴速实时监测系统,应用数字摄像头获取输液滴斗部位视频图像,利用ARM9嵌入式平台读取并处理视频图像。在Windows CE 5.0平台下开发了USB摄像头驱动程序,监测液滴下落的过程,采用帧间差分法处理输液视频图像,并通过判断是否发生液面震动来获取实时输液速度。讨论了阈值选取和图像定位方法,并通过实验进一步验证,给出了实验结果,结果表明该系统可实时显示输液速度,并及时发出输液速度过低或过高报警。论文对测速误差进行了分析,给出了提高测速精度和软件可靠性的具体措施。该系统使用简单,灵活方便,不妨碍传统人工监视,可满足普通输液监测需求。

关键词:输液监测;帧间差分法;嵌入式系统

中图分类号:TN919.5 **文献标志码:**A

Real-Time Medical Infusion Monitoring System Based on Video Image

Huang Yue¹, Guo Shanong¹, Chen Wending^{1,2}, Xie Renhong¹, Rui Yibin¹, Li Peng¹

(1. School of Electronic and Optical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, 210094, China;
2. Jiangsu Branch Company in Huaian, China Mobile, Huaian, 223001)

Abstract: A real-time medical infusion monitoring system is proposed based on video image. In the system, a digital camera is used to obtain the infusion video image of the drip bucket, and an ARM9 embedded system is adopted to process the collected video images. The camera driver of USB interface on Windows CE 5.0 is developed. The liquid drop is monitored, and the inter-frame difference method is adopted to process the video images. By judging the surface vibration, the infusion speed is obtained. The methods for threshold selection and image positioning are discussed. Experimental results indicate that the proposed system can display the speed of infusion droplets at real time, and give alerts in time when the infusion speed is too low or too high. The system is easy to use and can meet the demands of normal infusion monitoring.

Key words: infusion monitoring; inter-frame difference method; embedded system

引 言

静脉输液技术是一种常用的临床医疗手段,通常耗时较长,而且白天夜间都可能进行。输液状态需要不断观测,在输液结束时必须及时拔针,这给患者、家属以及医护人员带来了繁重的负担。因此实现输液的自动监测成为临床应用的迫切需求。

目前输液自动监控主要采用以下几种方法:
(1)机械称重式输液检测。早在1985年有学者提出利用弹簧秤测量输液时重力的变化来进行检测

的方案,但实际应用中情况复杂多变,如药液密度有的差距很大,输液瓶的质量不统一等,所以可靠性很差,实用性不高^[1]。(2)电容计量式输液检测。其主要原理是输液时随着液面的降低,电容也随之发生变化,以此来进行检测^[2-3]。其缺点是同样不能适用于实际应用中复杂多变的情况,如不同输液瓶的容积并不一样,所以不适合推广。(3)红外光电式输液检测。其主要原理是液体能够通过散射和吸收等方式使穿透的红外光变弱^[4-5]。实际做法是在滴斗的一侧装上红外装置,另一侧装上感光接收装置。当液滴落下时,红外光被减弱,接收装置

中的传感器会将光信号的变化转换为电信号的变化,进行处理后得到输液速度信息。该方法优点是性价比较高,与药液不接触,不受输液器材的影响。缺点是安装麻烦不灵活,同时对光照变化很敏感,实际使用中为减小干扰,有时还需将检测装置密封起来。目前国内外市场上较成熟的产品多为红外式光电检测,典型的产品如北京佩恒控制设备技术研究所生产的 YW-1-2000^[6]。

以上的各种监测方法均可完成输液检测,但还是存在不少缺点,如何更直观、更方便地进行输液检测是本设计的主要目的。本文提出了一种基于视频图像的输液滴速实时监测系统,应用摄像头获取输液滴斗部位的视频图像,利用嵌入式系统对上述图像进行实时信号处理,获得输液液滴速度信息,在监测终端上实时显示。该系统采用非介入式方案,可 24 h 监控,对输液装置无特殊要求,不妨碍传统人工监视,安装方便灵活,可大大减轻病员家属及医护人员的劳动强度。

1 输液滴速实时监测系统

该监测系统主要由滴斗监控探头和滴速监测终端组成,如图 1 所示。监控头主体是一个 USB 摄像头,外加 LED 灯和固定支架,该摄像头通过细绳系到输液挂钩上。固定支架使摄像头与滴斗之间保持固定距离,并保持相对固定;LED 灯照明可保障夜间或光线昏暗场合获得清晰图像。

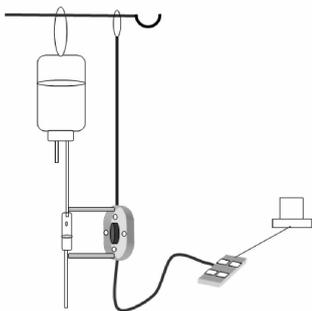


图 1 输液滴速实时监测系统示意图

视频监控终端流行的方案主要有基于数字信号处理器(Digital signal processor, DSP)和基于 ARM 的,综合考虑处理速度和实现人机接口功能,这里采用先进精简指令集机器(Advanced RISC machine, ARM)方案。监测终端采用 ARM9 硬件平台,终端不断读取监控探头传来的视频图像并进行分析处理,获得实时液滴速度信

息,并根据事先设定的门限,发出输液过快或输液完成告警信息,同时可将输液视频和告警信息通过有线或无线网口传输到报警护士台,便于医护人员监视所有输液病员的状况。

系统硬件平台如下:采用赤岩公司 CY-ZCH01 USB 接口摄像头,30 万像素,30 帧/s, MJPG 格式,采用 MI360 CMOS 彩色图像传感器,主控芯片为中星微公司的 zc0301。监测终端采用基于 S3C2440 芯片的 ARM9 系统飞凌 FL2440,配有按键、显示屏、LED 灯和蜂鸣器。

设计中应用 Wince 开发系统,读取和处理视频图像信息,并实现终端信息显示、人机交互、告警提示和通信功能。

本设计中采用流驱动方式实现对 USB 流接口驱动程序的编写。在 Wince 系统中,流驱动通过文件系统应用程序编程接口(Application programming interface, API)来完成应用程序和设备管理器的交互^[7]。流接口驱动一般是动态链接库,系统通过设备管理器来加载流接口驱动。流接口驱动通过调用 USB 模块提供的接口函数实现与底层 USB 设备通信。

编写摄像头流驱动程序主要完成 3 个入口函数和接口函数的编写。编译摄像头驱动生成 zc030x.dll 后,通过 Make Run-Time Image 将其编译到内核中,然后将生成的内核下载到开发板上即可使用。驱动程序提供了几个关键接口函数,供后续程序开发,这些接口函数是:初始化摄像头、获取当前视频格式和尺寸、设置当前视频格式和尺寸模式、获取一帧视频图像、启动摄像头和关闭摄像头函数。

2 视频图像处理

从 USB 接口获得液滴视频图像后,需要对其进行运动图像分析,获取输液速度信息。通过对比,采用帧间差分法实现对输液液滴视频图像的运动分析。

2.1 帧间差分法

帧间差分法^[8-10]是一种基于像素对比的运动检测方法,主要使用捕获数据中的两帧或多帧数据进行对比,通过比对差异来捕捉目标运动的轮廓,完成目标检测。其算法原理如图 2 所示。

在图 2 中,假定第 m 帧图像灰度数据为 $f_m(x, y)$,第 $m-1$ 帧为 $f_{m-1}(x, y)$, (x, y) 为离散

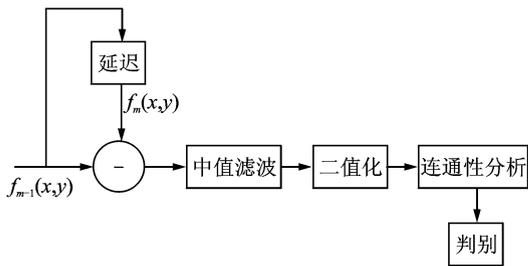


图 2 帧间差分法原理

的像素坐标,则它们之间的差分灰度图像数据 $D_m(x,y)$ 表示为

$$D_m(x,y) = |f_m(x,y) - f_{m-1}(x,y)| \quad (1)$$

$D_m(x,y)$ 反映了前后帧图像的变化。对视频图像帧间差分处理后,通常要对差分后的数据进行滤波以消除干扰,主要方法有中值滤波等。二值化是指获得差分图像数据后,需要选取一个合适的阈值 R 来判定前后帧图像发生变化的部位。如果像素点的值大于阈值 R ,则将该像素点定义为“1”,即为该运动的目标区域;反之则定义为“0”,即为静止的背景。表示为

$$R_m(x,y) = \begin{cases} 0 & D_m(x,y) \leq R \\ 1 & D_m(x,y) > R \end{cases} \quad (2)$$

式中: R 是二值化的阈值。

二值化后对 $R_m(x,y)$ 为 1 的像素点进行连通性分析,当连通的区域大于给定阈值时,则判定检测到了运动目标,并将该区域标记为目标所在区域。

2.2 输液速度获取

滴斗中液滴由形成到落入液面可分为 3 个阶段:第 1 阶段:液滴形成,尚未落下;第 2 阶段:液滴在管中滴落,未到达液面;第 3 阶段:液滴落到液面,引起液面震动,第 3 阶段可能新的液滴开始生成。

通过比较分析发现第 3 阶段图像前后变化最明显,因此选取液滴落到液面引起的液面震动作为判断依据:即以液面的每次震动作为一个周期,通过捕捉运动像素点个数判断是否发生了一次液面震动,然后根据两次震动间隔推算液滴速度。

2.3 阈值选取

帧间差分法中二值化的关键在于选取合适的阈值来分割运动目标和背景。常见的方法是根据经验选取一个大致的阈值,在检测过程中阈值固定

不变。在实际检测中,由于噪声干扰和光照等因素影响,即使事先进行了滤波处理,这种方法的检测结果还是会受到很大影响。所以在实际应用中如何及时更新阈值,得到一个合理的动态阈值非常重要。

循环迭代的阈值算法就是反复更新子图像的直方图,用来获得最高峰值,反复利用循环迭代计算,最终得到阈值^[9]。由于不断地循环迭代,循环的次数越多,图像中的局部特征就越容易被利用。具体方法如下:

(1) 计算图像中的最小和最大灰度值 $f_{\min 0}$ 和 $f_{\max 0}$,假定初始阈值为

$$T_k = \frac{f_{\min 0} + f_{\max 0}}{2} \quad (3)$$

(2) 利用求出的阈值进行图像分割,求出背景和运动目标各自的平均灰度值 f_A 和 f_B

$$f_A = \frac{\sum_{f(x,y) < T_K} f(x,y)N(x,y)}{\sum_{f(x,y) < T_K} N(x,y)} \quad (4)$$

$$f_B = \frac{\sum_{f(x,y) > T_K} f(x,y)N(x,y)}{\sum_{f(x,y) > T_K} N(x,y)} \quad (5)$$

式中: $f(x,y)$ 表示在图像 (x,y) 处的灰度值, $N(x,y)$ 表示在图像 (x,y) 处的加权值,一般默认取 $N(x,y) = 1$ 。

(3) 再次平均求新的阈值

$$T_{k+1} = \frac{f_A + f_B}{2} \quad (6)$$

(4) 如果求出的新的阈值 $T_{k+1} = T_k$,那么结束循环,否则 $k = k + 1$,继续进行第(2)步,直到满足条件为止。

图 3 为白天室内普通照明环境下输液速度为 138 滴/分时得到的视频图像帧间差分处理结果。此时二值化的阈值为 30,横轴为帧编号,30 帧/秒,纵轴为二值化后运动像素点个数,此时视频分辨率为 320 像素×240 像素。

在图 3 中,由帧间差分处理引起的像素点变化周期起伏,其中发生液面震动时引起的像素点变化最大,也最容易判断,同时可以看出差分处理有单峰出现,也有局部双峰现象,这是由于在液面震动的持续期间,两个相邻帧信号像素点变化不大。通过相邻信号特征判为发生一次液面震动,并确定其最大发生峰值时所在帧号。

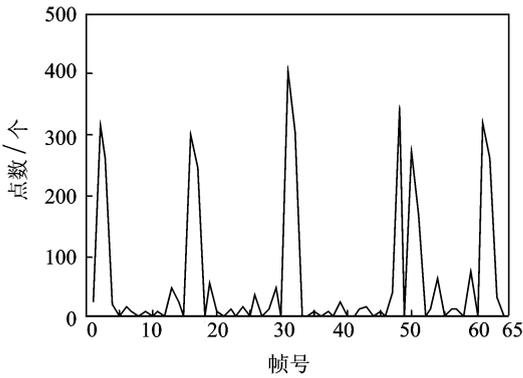


图3 输液速度为138滴/分的视频图像帧间差分处理结果

2.4 图像定位

当摄像头与滴斗位置相对固定时,可以通过对运动区域定位,将处理全幅图像变为处理局部图像,大大减小图像处理负担,满足系统实时测速要求。液滴掉入液面引起的震动具有连续大面积运动像素特征,根据数字形态学^[11-12],对二值化后的图像应用式(7)进行开运算得到波动的边缘,然后应用式(8)做闭运算将边缘内的部分填充起来,得到震动区域,为简单起见取矩形区域。

$$A \oplus B = \{x [(B)_x \cap A] \neq \phi\} \quad (7)$$

$$A \ominus B = \{x (B)_x \subseteq A\} \quad (8)$$

在飞凌 FL2440 开发平台上对 320 像素 × 240 像素分辨率的视频图像进行处理,包括获取图像数据、帧间差分处理、测速,总耗时约 220 ms。为避免滴管晃动影响,提高鲁棒性,实际图像定位取高度方向,即截取一定高度的局部图像进行处理,实验中截取了约 1/3 高度的图像,处理时间为 180 ms,缩短了 40 ms,大大提高了图像实时处理能力。

3 系统工作流程

该输液滴速实时监测系统工作流程图如图4所示。

在图4中,开机后首先系统初始化,打开USB摄像头;然后读取视频图像并进行处理,以训练二值化阈值并确定图像定位区域。接着定时读取一帧视频图像并获取灰度信息,考虑到ARM系统处理图像数据的能力,这里定时250ms读取并处理图像数据,随着系统的优化,间隔还可以缩短。对定时获取的各帧图像作前后差分处理、滤波和二值化处理,统计前后图像发生变化的像素数目。根据

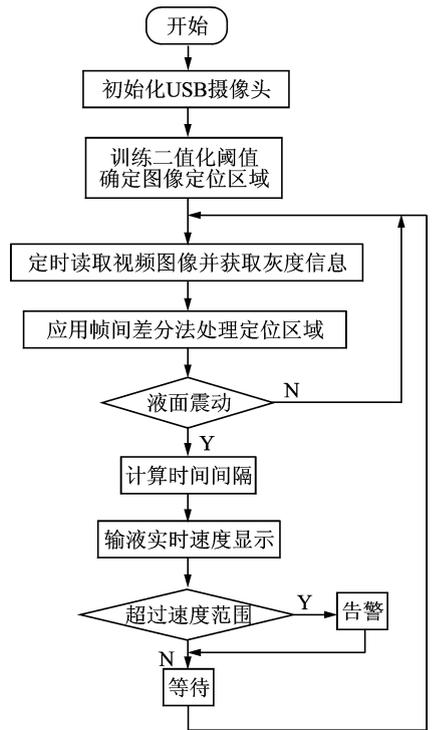


图4 系统工作流程图

变化的像素数目确定是否发生了一次液面震动;若未发生液面震动则重新开始读取图像并处理;若确定发生了液面震动,则根据此次震动的帧号和上次震动的帧号计算时间间隔,得到当前实时的液滴滴速并在监控终端上显示。接着判断输液速度是否超过预先设定的速度范围,若过快或过慢则发出告警提示。最后进入等待状态,等到定时结束再继续处理。

一般成年人输液速度在40~60滴/分,儿童、老年人在20~40滴/分,患有心肺功能的输液速度更慢,并且输液速度与药液种类相关。因此该监测系统工作时首先需要设定最低和最高输液速度,当低于最低速度时认为输液异常或输液即将结束,当高于最高速度时则发出提示过快告警。可以预先设个默认值,比如正常人,最低15滴/分,最高120滴/分,如果实际情况差别较大则重新设定。

当连续5s低于最低值或高于最高值则在终端屏上闪烁告警信息,同时启动蜂鸣器和LED灯闪烁告警,并通过网口将告警信息传送至告警护士台。

4 试验结果及讨论

将输液瓶挂好,将摄像头放置于正对着滴斗部

位且距离 10 cm 处固定好。调节滴斗内液面高度和液滴速度,滴斗内液面高度不宜过高,应使伸入滴斗的导管底部距离液面 2 cm 以上,这样液滴滴入液面的过程清晰可见。

从 PC 机上通过远程查看器得到的瞬时检测结果中可以发现,所测速度不是连续的,而是在 48~60 滴分之间徘徊。这是因为采用 250 ms 定时读取图像进行处理,即处理速度为 4 帧/秒。所检测的液滴瞬时速度为

$$v = 60 \times 4 / \text{液滴间隔帧数(滴/分)} \quad (9)$$

滴速为 106 滴/分的实测结果与图 5 类似,在 80~120 滴/分之间徘徊。此时最高限 120 滴/分,因为没有连续 5 s 超过最高速,故显示正常。

以 4 帧/秒处理速度的实际测量结果表明,可以瞬时测速但存在一定测速误差;当输液速度过快或过慢时,发出的告警非常及时有效。表明该系统可以满足普通输液监测需求。

观测发现液面从开始震动到恢复平静的时间在 0.2~0.4 s 之间,应用门限的方法虽然可以判断发生液面震动,但并不能确定发生最大震动的时刻,所以判断发生液面震动的间隔帧数会前后相差 1 帧,因此存在测速误差。随着图像处理速度的提高,缩短图像处理定时间隔,这种测速误差就会减小。当处理速度达到 10 帧/秒时,基本上能够找到液面震动最大区域时刻,也就消除了测速误差,当然这对系统硬件提出了更高要求。

实验发现,当液滴速度 $v \leq 120$ 滴/分时,所测结果较准确,且随着输液速度降低,数据准确率上升;当 $v \geq 120$ 滴/分时,液滴形成并落下的时间小于 0.5 s,这时就会出现液面尚未平静,但新的液滴已经落入液面的情况,因此检测效果很差。同时随着输液速度的提高,滴管晃动的幅度会增加,因此会出现突然速度很大的情况,如 240 滴/分的瞬时速度,这是因为系统将晃动误认为是一次震动,通过剔除奇异点或时间平均的方法可以去除这种虚警。在实验过程中偶尔也会出现瞬时低速的现象,这是因为获取的图像数据正好处在震动的间歇期产生漏帧的结果,同样可以通过剔除奇异点或时间平均的方法去除,时间平均取 1~2 s。

5 结束语

本文提出了一种基于视频图像的输液滴速实时监测系统,该系统可实时显示输液速度并及时发出速度异常告警。由于硬件平台处理速度的限制,该系统测得的输液速度存在一定误差,准确度不

高,但是告警非常及时。下一步工作是进一步改善硬件平台,优化软件,提高图像处理速度,进而提高测速精度和软件可靠性,同时考虑实际应用环境下人员走动、碰撞对装置的影响,提高软件的鲁棒性,使之实用化。

参考文献:

- [1] 于向英,孙孝红,王永珍. 新型弹簧输液报警器的研制与应用[J]. 护理研究,2003,17(9):1010.
Yu Xiangying, Sun Xiaohong, Wang Yongzhen. Development and application of the new infusion alarm made by spring[J]. Nursing Research, 2003,17(9):1010.
- [2] 李益民. 输液滴速监测技术[P]. 中国专利:102526837 A, 2012-01-18.
Li Yimin. The monitoring technology of transfusion speed[P]. Chinese Patent: 102526837 A, 2012-01-18.
- [3] 张爱华,张克平,朱亮. 电容式传感器用于检测医疗输液液位的研究[J]. 传感器技术,2004,23(8):9-11.
Zhang Aihua, Zhang Keping, Zhu Liang. Study on the detection of medical infusion liquid level for capacitive sensors[J]. Journal of Transducer Technology, 2004,23(8):9-11.
- [4] 江勇. 基于光电传感器的输液报警监控系统的研究[J]. 医疗装备,2010,23(12):9-11.
Jiang Yong. Research on infusion monitoring system based on photoelectric sensors[J]. Medical Equipments, 2010,23(12):9-11.
- [5] 包金明,芮成胜. 医用输液液滴速度监测方法及其装置[P]. 中国专利:101856525B, 2010-06-07.
Bao Jinming, Rui Chengsheng. Medical infusion liquid drop speed monitoring method and device[P]. Chinese Patent: 101856525B, 2010-06-07.
- [6] W-1-2000医用输液瓶(报警)监护仪[EB/OL]. [2001-01-24]. www.pharmnet.com.cn/product/detail/202472.html.
- [7] 汪兵. Windows CE 嵌入式高级编程及其实例详解[M]. 北京:中国水利水电出版社,2008:148-150.
Wang Bing. Windows CE embedded programming and detailed examples[M]. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2008:148-150.
- [8] Murat Tekalp A. Digital video processing[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1998:158-160.
- [9] Lipton Alan J, Hironobu Fujiyoshi, Patil Raju S. Moving target classification and tracking from real-time video[C]//Proceedings of Fourth IEEE Workshop on Applications of Computer Vision. Princeton,

NJ: IEEE, 1998: 8-14.

- [10] 杨庆华,李薇,舒兰英,等. 基于双高斯平均似然度和帧间差分的人脸视频图像肤色提取[J]. 数据采集与处理, 2013, 28(1): 92-97.

Yang Qinghua, Li Wei, Shu Lanying, et al. Skin extraction based on double Gaussian and inter-frame difference [J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2013, 28(1): 92-97.

- [11] 杨帆. 数字图像处理与分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007: 180-189.

Yang Fan. Digital image processing and analysis [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2007: 180-189.

- [12] 阮秋琦. 数字图像处理基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009: 497-501.

Ruan Qiuqi. The foundation of digital image processing [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2009: 497-501.

作者简介:黄越(1990-),女,硕士研究生,研究方向:图像处理;郭山红(1969-),女,副教授,硕士生导师,研究方向:数字信号处理、雷达, E-mail: guosh@ njust. edu. cn;陈文鼎(1987-),男,硕士研究生,研究方向:图像处理、嵌入式系统;谢仁宏(1966-),男,教授,研究方向:数字通信、雷达;芮义斌(1973-),男,副教授,研究方向:雷达;李鹏(1980-),男,讲师,研究方向:数字通信。