

文章编号: 2095-2163(2022)04-0114-07

中图分类号: TP23

文献标志码: A

基于 STM32 的压疮预防提醒坐垫的系统设计

蒋帅帅, 周志峰

(上海工程技术大学 机械与汽车工程学院, 上海 201620)

摘要: 针对医院关于久卧、久坐病人预防压疮产品的需求,设计了一种压疮智能预防提醒的装置——一种基于分布式柔性薄膜压力传感器的压疮预防提醒系统,以分布式柔性薄膜压力传感器为采集传感器、STM32F103RET6 单片机为控制核心,设计的 PCB 电路板集成了传感器采集电路量化电路、行列多路模拟开关电路、语音播报控制电路,低功耗唤醒电路,开发了样机,进行了实际信号采集和实验,验证了设计方案。实验结果表明,本文的设计方案实现了对久卧、久坐病人的及时智能语音提醒,有效避免了压疮的发生。

关键词: 单片机; 压疮预防; 柔性薄膜压力传感器; 数据采集

System design of pressure sore prevention reminding cushion based on STM32

JIANG Shuashuai, ZHOU Zhifeng

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

[Abstract] In response to the hospital's demand for pressure ulcer prevention products for long-term and sedentary patients, a pressure ulcer intelligent prevention reminding device is designed—a pressure ulcer prevention reminder system based on a distributed flexible membrane pressure sensor, in which the membrane pressure sensor is the acquisition sensor with distributed flexibility, and the STM32F103RET6 microcontroller is the control core. The designed PCB circuit board integrates the sensor acquisition circuit quantization circuit, the row and column multi-channel analog switch circuit, the voice broadcast control circuit, and the low-power wake-up circuit. The prototype has been developed and carried out. The actual signal acquisition and experiment verify the design scheme. The experimental results show that the proposed design realizes timely intelligent voice reminding to patients who are lying and sitting for a long time, effectively avoiding the occurrence of pressure sores.

[Key words] MCU; pressure sore prevention; flexible membrane pressure sensor; data collection

0 引言

压疮是卧床病人由于局部组织长期受压,发生持续缺血、缺氧、营养不良而导致组织溃烂坏死的一种现象,每年约有 6 万人死于压疮合并症^[1]。随着中国逐渐步入老龄社会,长期卧床的老人群体则愈加引起社会重视,同时各医院手术治疗后卧床病人也在增加,如何预防压疮是康复治疗 and 护理中一个难题^[2]。针对这一问题,设计开发一种压疮预防提醒系统,对卧床病人和老人进行实时监测预警,提高压疮预防的高效率和针对性,具有重要意义。

1 系统方案设计

图 1 为新型分布式压疮监护系统的系统结构

图。由图 1 可知,系统分为阵列压力点采集部分、电源管理部分、语音播报部分、系统调试接口部分。阵列压力点的采集硬件上采用行列多路模拟分时切换,结合 DMA 读取的方式,实现同一时刻对 4 路压力点的并行采集;通过柔性薄膜压力采集床垫对久坐人员压力的采集,系统处理感知到病人出现久坐或是久卧事件,则触发语音提醒,告知病人及时活动身体;当病人离开柔性床垫时,系统自动进入低功耗模式,病人再次触压到床垫时,系统自动从低功耗模式唤醒;系统自带锂电池支持充放电,便携性强,也可用于办公族的智能久坐提醒坐垫,有效避免久坐对人体产生的伤害。

作者简介: 蒋帅帅(1994-),男,硕士研究生,主要研究方向:信号处理、智能检测;周志峰(1976-),男,博士,副教授,硕士生导师,主要研究方向:计算机测控技术。

通讯作者: 周志峰 Email: zhousjtu@126.com

收稿日期: 2021-08-19

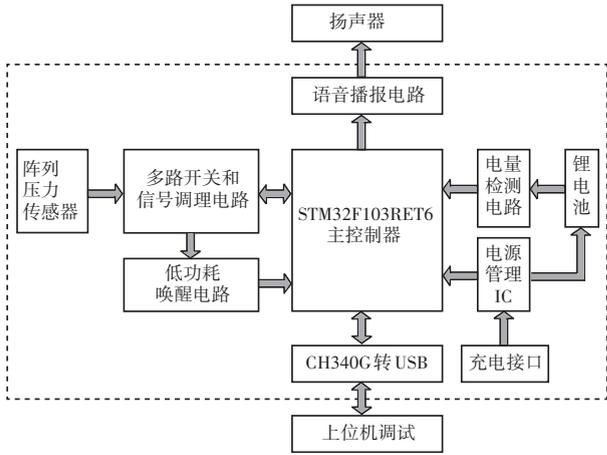


图 1 系统结构图

Fig. 1 System structure diagram

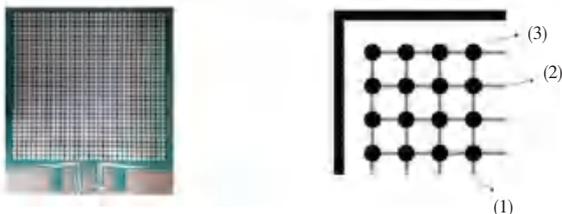
2 主要硬件电路设计

2.1 SOC 中心控制器

人体接触压力的采集处理和整个算法的实现选用的嵌入式平台为 STM32F103RET6, 该增强型 MCU 使用的是高性能 ARM® Cortex™-M3 32 位的 RISC 内核, 工作频率为 72 MHz, 内置高速存储器 (高达 512 K 字节的闪存和 64 K 字节的 SRAM), 丰富的增强 I/O 端口和联接到 2 条 APB 总线的外设, 强大的外设接口和完善的库函数, 编程简单易学^[3]。

2.2 阵列压力点采集电路的设计

图 2 是本作品使用的柔性压力传感器实物图, 采用 32 行 32 列阵列式设计, 1 024 个独立感应单元分布在 400 mm * 400 mm 的正方形之内, 每个感应点尺寸为 8.5 mm * 8.5 mm。图 2(b) 中, (1) 为列线, (2) 为行引线, (3) 为单个压力传感器。该款分布式压力传感器每个感应点采用独立设计, 实现最小干扰。阵列分布式柔性薄膜压力传感器是通过精密印刷工艺, 将纳米力敏材料、银浆等材料转移到柔性薄膜基材上, 经干燥固化制作而成。



(a) 柔性压力传感器实物图 (b) 柔性压力传感器结构图

图 2 柔性薄膜压力传感器

Fig. 2 Flexible film pressure sensor

本作品使用的柔性压力传感器在受到压力时, 电阻随压力增大而减小, 其压阻特性表现为电阻与压力呈幂函数关系, 电阻倒数与压力呈近似线性关系。

图 3 是传感器采集量化电路等效电路图, 采用的是同相比例放大电路, 使用的运放为 MCP6004T, 单电源供电, 供电电压为 3.3 V。这里, R_d 是单个压力传感器的等效电路图, R_d 的电导随着压力的增加而线性增加, R_f 是反馈电阻, 图 3 中的 a 部分是参考电压电路, 使用的是 REF3012 参考电压芯片, 输入 3.3 V, 输出为 1.25 V, 经过 2 个 20 K 的电阻分压后产生 0.625 V 的电压, 然后连接到运放的同相端, 即运放的同相端输入电压 $V_{ref} = 0.625$ V, 利用理想运放的虚短和虚断得:

$$V_{out} = V_{ref} * (\frac{R_f}{R_d} + 1) \tag{1}$$

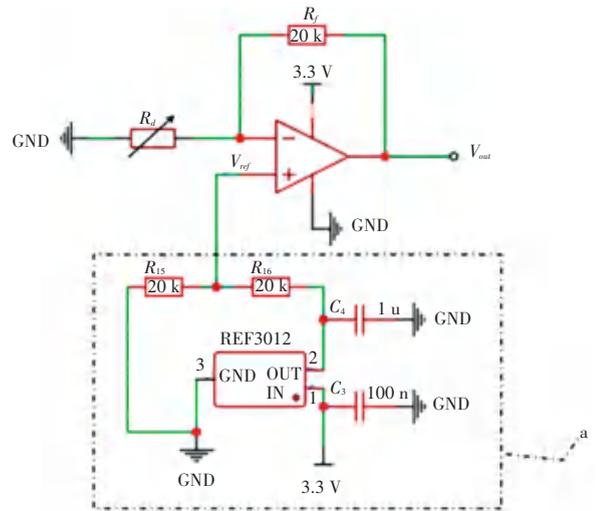


图 3 单个压力点采集的等效电路图

Fig. 3 The equivalent circuit diagram of a single pressure point collection

由式(1)求得运放的输出 V_{out} 与输入 $\frac{1}{R_d}$ 成线性关系。STM32 单片机 AD 的参考电压为 3.3 V, 所以要保证运放的输出电压要小于 3.3 V, 由 R_d 在设计重量 0 Kg 到 20 Kg 的作用范围内阻值区间为 6 000 KΩ到 5 KΩ, 将式(1)带入 $V_{out} \leq 3.3$ V 计算得 $R_f \leq 21.4$ KΩ, 这里取贴片电阻表中常用的 20 KΩ作为 R_f 。将 R_f 和 R_d 带入式(1)计算得运放的输出电压范围为 0.627 V 到 3.125 V, 在单片机 ADC 的最大采集电压 3.3 V 以内。

研究可知, 单个从机系统实现 1 024 个压力点的采集算法步骤具体如下。

(1)采集的顺序是从上到下逐行地采集,将单片机 GPIO 口配置成推挽输出,通过控制单片机 6 个 GPIO 口控制 2 片 16 路行多路模拟开关的片选线(如图 4 中 H_A_4 和 H_A_5)和对应地址线(如

图 4 中 H_A_0、H_A_1、H_A_2、H_A_3 为行地址线, V_A_0、V_A_1、V_A_2 为列地址线)选通,一次选通一路行引线 $H_i(0 \leq i \leq 31)$ 。首次取 $i = 0$, 从第 0 行开始,后续逐行依次递增。

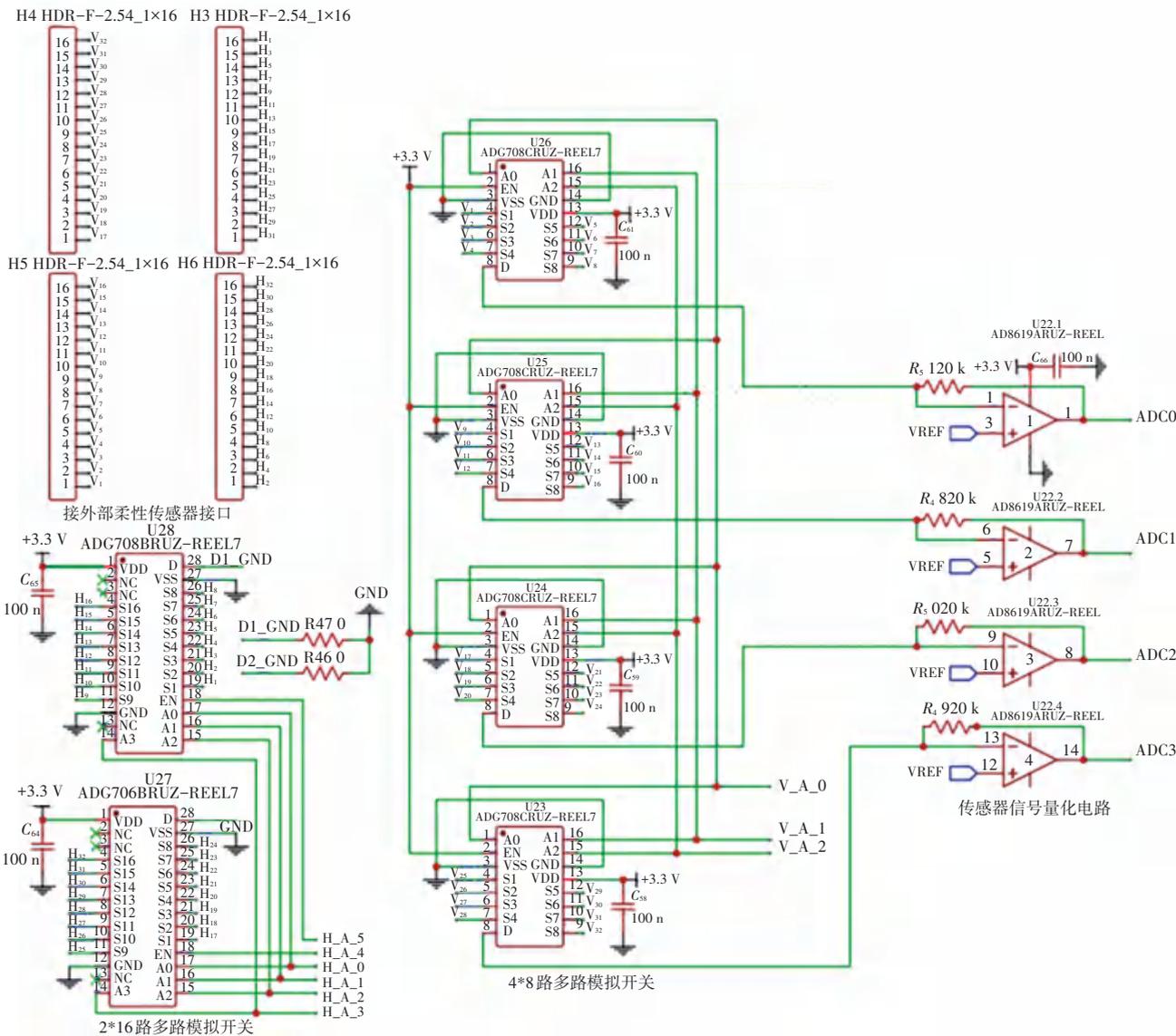


图 4 1024 个阵列压力点采集原理图

Fig. 4 Principle diagram of 1024 array pressure points collection

(2)同理,通过单片机的 3 个 GPIO 口控制 4 片 8 路列多路模拟开关的片选和地址线选通,一次选通 4 路列引线 $V_j(0 \leq j \leq 31)$, 4 路对应的下标 j 分别为 $n, n + 8, n + 16, n + 24(0 \leq n \leq 7)$ 。首次取 $n = 0$, 则 j 分别为 $0, 8, 16, 24$, 即 V_0, V_8, V_{16}, V_{24} 列同时选通,后续 n 依次递增。

接到 MCP6004T 内部的 4 个同相放大电路的反相输入端。

(3)结合原理图,图 3 是单个点采集的等效电路图,选通的 4 个压力采集点为 $P(i, n), P(i, n + 8), P(i, n + 16), P(i, n + 24)$, 一端经过行多路模拟开关接地,另一端分别经过 4 个列多路模拟开关

(4)本实例中采用的是压阻式传感器,当压力垫压力发生变化, R_d 的电导会随着压力成线性变化, $P(i, n), P(i, n + 8), P(i, n + 16), P(i, n + 24)$ 压力采集点可以等效于 R_d 。由式(1)将以上 4 个点电压阻信号经过 4 个同相放大电路量化为电压信号,送入单片机 ADC 的 4 个输入通道中,单片机读取保存。

(5)重复步骤(2)~(4),直到将第 0 行所有压

力点采集完成, 后续逐行依次递增。

(6) 再依次重复步骤(1)和(5), 直到将 32 行 * 32 列、共 1 024 个压力点采集完成。

(7) 由于是对 4 个信号的同时采集, 采用的是 ADC+DMA 独立模式多通道采集的方式, DMA 采用的是 ADC 到内存的方式, 初始化配置完成, DMA 自动将 4 路模拟信号采集好放到指定内存中, 不需要设置延时等待, 实现一次同时对 4 路压力点的并行采集。

2.3 语音播报电路的设计

主控制器和 SYN6288 语音合成芯片之间通过 UART 接口连接, 控制器可通过通讯接口向 SYN6288

语音合成芯片发送控制命令和文本, SYN6288 语音合成芯片把接收到的文本合成为语音信号输出, 输出的信号经功率放大器进行放大后连接到喇叭进行播放。系统组成如图 5 所示。语音播报电路原理如图 6 所示。

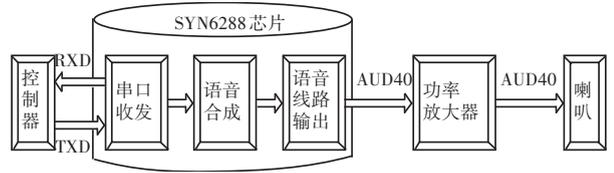


图 5 SYN6288 系统组成框图

Fig. 5 SYN6288 system block diagram

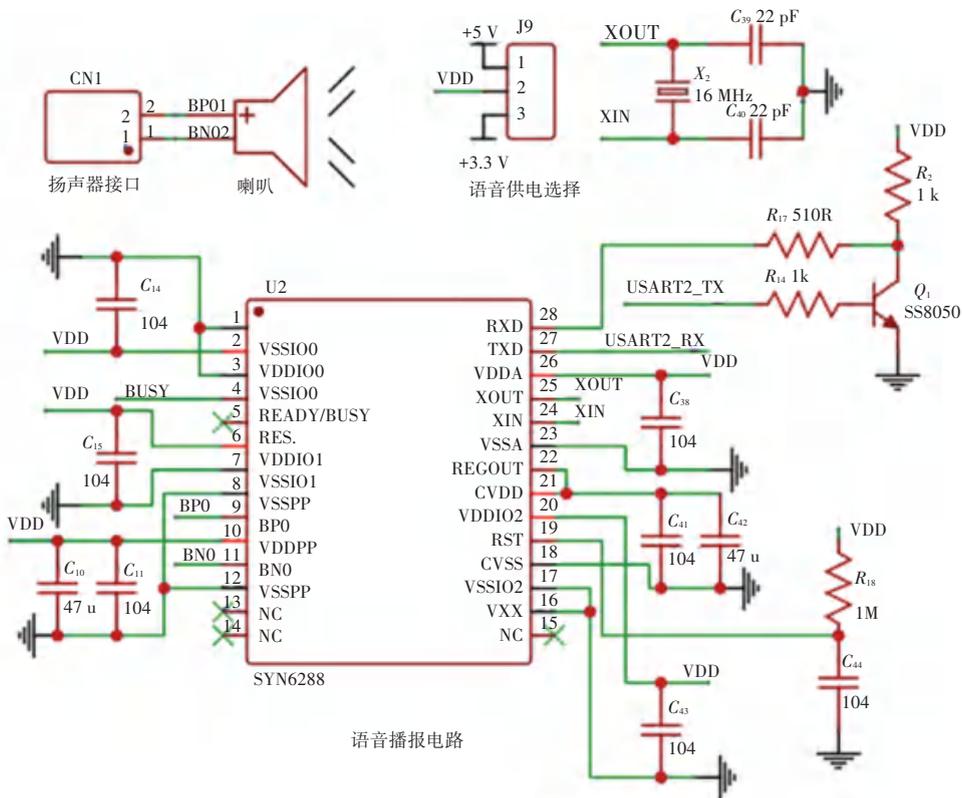


图 6 语音播报电路原理图

Fig. 6 Schematic diagram of voice broadcast circuit

2.4 低功耗唤醒电路的设计

低功耗唤醒原理如图 7 所示。当 LM393 电压比较器的“+”端电压高于“-”端时, 输出管截止, 相当于输出端开路, 这里设计的是通过 10 K 上拉电阻接高电平。当“-”端电压高于“+”端时, 输出管饱和, 相当于输出端接地。

设计思路是, 首先调节电位器将运放的反相端电压调节到 0.5 V, 当人离开压力垫时, 控制器读得

阵列压力点的压力和会很微小, 那么相应运放输出的电压也很小。程序里, 首先将 1 024 个点的压力求和记为 F_sum , 通过判断 F_sum 的数值大小来判断人已经离开压力垫, 当人离开压力垫时则将多路模拟开关选通到 (0, 4)、(0, 12)、(0, 20)、(0, 28) 和 (16, 4)、(16, 12)、(16, 20)、(16, 28) 的压力采集点 (如图 8 所示行列的选通的交合处), 然后进入低功耗休眠模式, 单片机内核时钟关闭。当人再次触压

到压力垫时,(0,4)和(16,4)对应 ADC0,(0,12)和(16,12)对应 ADC1,(0,20)和(16,20)对应 ADC2,(0,28)和(16,28)对应 ADC3,当以上压力点只要有一个被按压,都会触发比较器,输出高电平,然后触发单片机 Wake up 引脚,单片机从低功耗唤醒。

智能语音提醒,提示病人及时活动一下被长时间压迫的身体部位,否则进入静默监护模式;当单片机监测到病人离开坐垫时,则系统立刻进入低功耗模式,当坐垫再次受到按压时,则系统从低功耗模式下唤醒进入监护状态。

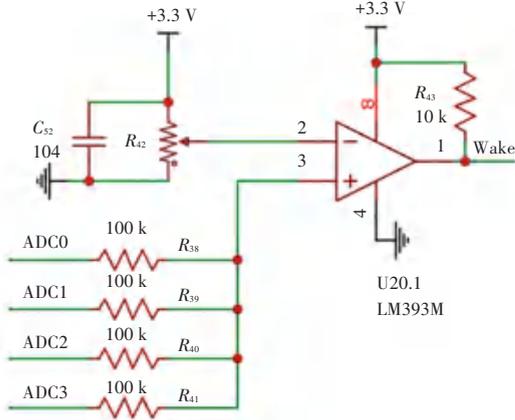


图7 低功耗唤醒原理图

Fig. 7 Low-power wake-up schematic diagram



图8 低功耗时多路开关静态选通点

Fig. 8 Multi-channel switch static gating point at low-power consumption

3 软件设计

3.1 软件总体设计

至此,文中给出的系统研发结构如图9所示,软件总体设计流程如图10所示。由图10可知,首先整个控制系统要对系统时钟初始化,其次对各个模块进行初始化,当外设初始化完成后会有语音提示初始化完成,然后是控制器对1024个压力点的采集和处理,处理完成后进入压疮语音提醒处理程序。当单片机通过柔性薄膜压力传感器监测到病人皮肤组织受到长时间压迫时引起久坐久卧事件,则触发

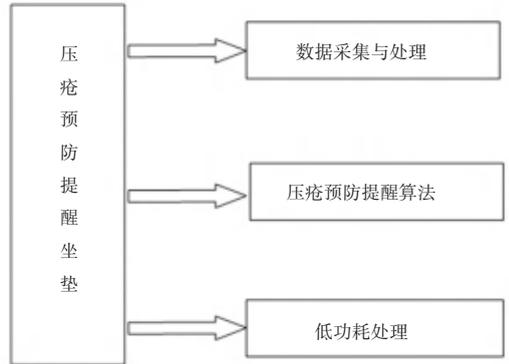


图9 系统结构图

Fig. 9 System structure diagram

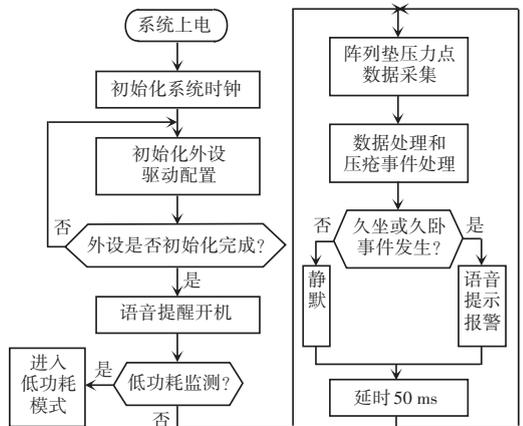


图10 软件总体设计流程图

Fig. 10 Flow chart of software overall design

3.2 采集数据预处理

(1)原始数据:根据柔性力敏传感器的结构特点,用 $F_{ij}(t)$ 表示阵列传感器在坐标 (i, j) 位置敏感单元 t 时刻的原始采样值,则传感器在 t 时刻的采样信息 $F(t)$ 可以用公式(2)所示的矩阵形式来表示,形式上类似于数字图像中的2-D灰度图像:

$$F(t) = \begin{pmatrix} F_{11} & F_{12} & \cdots & F_{1n} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ F_{m1} & F_{m2} & \cdots & F_{mn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

其中, m 和 n 分别为图像序列中行数和列数,本文中 m 和 n 均为32。

(2)数据预处理:在数据采集的过程中,由于震动和电磁干扰等原因可能会产生一些杂点数据,

因此需要对原始数据进行预处理, 消除图像中混入的噪声。均值滤波是一种线性滤波算法, 就是指在图像上对目标像素给一个模板 (本次设计选取的模板尺寸为 3×3 , 即以目标像素为中心的周围 8 个像素, 构成一个滤波模板), 该模板包括了其周围的邻近像素, 再用模板中的全体像素的平均值来代替

原来像素值。研究推得的数学运算公式为:

$$g_{ij} = \frac{1}{M} \sum F_{ij} \quad (3)$$

其中, F_{ij} 为原始数据; g_{ij} 为滤波后的数据; M 为该模板中包含当前矩阵在内的元素总个数。综上所述可得数据预处理代码参见图 11。

```

155 #define Square_Size 3 //矩阵块大小
156 //卷积均值滤波
157 uint16_t Press_part(uint8_t H_Num, uint8_t V_Num, uint8_t Array[][32]) //行序号 列序号
158 {
159     uint8_t i, j;
160     uint16_t temp;
161     for(i=0; i<Square_Size; i++)
162     {
163         for(j=0; j<Square_Size; j++)
164         {
165             temp += Array[H_Num+i][V_Num+j];
166         }
167     }
168     temp=temp/9;
169     return temp;
170 }
    
```

图 11 数据预处理代码

Fig. 11 Data preprocessing code

3.3 压疮预防提醒算法的实现

压疮预防提醒算法流程见图 12。压疮预防提醒算法的流程为:

- (1) 分别设置压疮语音报警提醒的监测压力阈值 F_s 、时间清零的总的压力波动偏差阈值 ΔF_{sum} 和提醒时间阈值 $Time$ 。
- (2) 初始化压疮监护时间计数 $time = 0$ 。
- (3) 单片机读取每个压力数据 F_{ij} , 求和得总的压力点数据和为 F_{sum} 。
- (4) 判断是否病人身体与坐垫的接触压力 $F_{sum} > F_s$ 且 $|\Delta F_{sum}| < \Delta F$ 。
- (5) 如果是, 那么病人身体与坐垫之间压力大于警报监测阈值 F_s , 则判断人在病床上, 同时皮肤组织与床单之间的压力波动 $|\Delta F_{sum}|$ 很小, 判断一直受到压迫, 计数时间 $time$ 开始按每 1 s 加 1。
- (6) 如果否, 可能是病人暂时离开病床导致几乎检测不到压力, 或是病人自身身体翻动导致单位时间内总的压力波动绝对值 $|\Delta F_{sum}|$ 大于设置的压力波动值 ΔF , 所以认为没有产生压疮的可能, 于是将压疮监护时间计数 $time$ 清零。
- (7) 判断计数时间 $time$ 是否大于语音提醒时间阈值 $Time$ 。
- (8) 如果否, 则认为人体皮肤组织虽然受到压迫, 但时间短暂, 还没有达到触发压疮语音提醒的阈值时间, 则继续进行监测。
- (9) 如果是, 则认为病人皮肤组织受到很长时间的压迫, 如果再继续压迫, 就会产生压疮, 于是触

发语音报警, 语音模块发出压疮语音提醒, 提示病人及时活动一下被长时间压迫的身体部位。

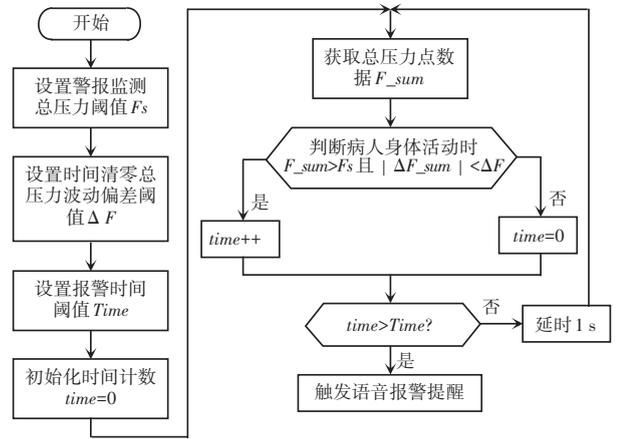


图 12 压疮预防提醒算法流程图

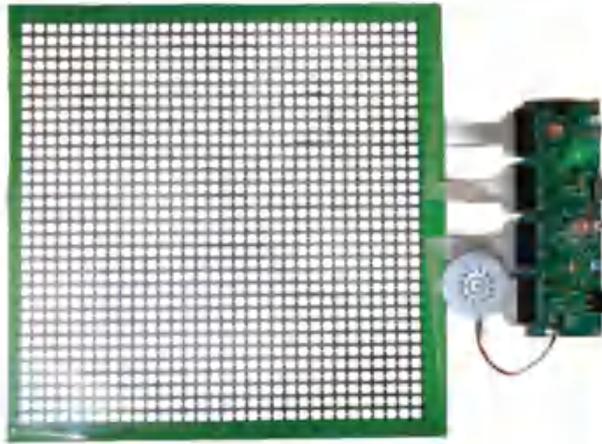
Fig. 12 Flow chart of pressure ulcer prevention reminding algorithm

3.4 实验过程

本实验以久坐提醒为例, 当实验人员坐在压疮预防提醒垫上后, 首先是系统低功耗检测电路检测到坐垫受到按压, 触发单片机 wake_up 引脚, 单片机立刻从低功耗休眠状态下唤醒。当实验人员扭动身体时, 可通过压疮预防提醒算法判断为非久坐事件, 则不触发压疮预防语音提醒; 当实验人员坐在监护坐垫上不晃动身体且久坐超过 50 min 后, 单片机通过压疮预防提醒算法判断为久坐事件, 则触发语音提醒, 提示实验人员及时活动一下被长时间压迫的

身体部位来避免压疮的产生;当实验人员活动身体,则语音提醒立刻关闭;当实验人员离开坐垫后,则坐垫监护系统立刻进入低功耗休眠模式,当实验人员再次坐下时系统立刻从低功耗模式唤醒进入压疮预

防监护状态。压疮预防提醒系统样机和实验过程如图13所示。图13中,(a)为开发的样机实物图,(b)为实验过程和利用压力垫采集到的人体臀部受力大小的分布云图。



(a) 样机实物图



(b) 实验过程

图13 压疮预防提醒系统样机和实验过程

Fig. 13 Prototype and experimental process of pressure sore prevention reminding system

4 结束语

本次研究是一个将医院护理问题与传感器感知技术结合的设计,利用该压疮预防提醒系统能够有效地提醒医院病人避免久坐或久卧,能够很好地预防了压疮的产生,同时也进一步降低了医院的护理成本。本系统设计成本适中,实用性强,便于携带,可以广泛用于住院病人和居家病人的日常护理。

参考文献

[1] 陈娇,郑海玲,戴慧娟. 集束化护理干预在老年患者压疮护理中的应用研究[J]. 当代临床医刊, 2021, 34(04): 90-91.

[2] 彭艳. 生肌散外敷联合持续性干预对压疮感染患者创面恢复及炎症反应的影响[J]. 光明中医, 2021, 36(16): 2736-2738.
 [3] 刘火良,杨森. 野火-STM32 库开发实战指南[M]. 2版. 北京: 机械工业出版社, 2017.
 [4] 姜乾坤. 柔性电阻式触觉传感器信号采集系统的研究与设计[D]. 合肥:安徽农业大学, 2019.
 [5] 刘颖,王坤,宋明辉,等. 基于传感器阵列的压力分布数据快速采集系统设计[J]. 软件导刊, 2019, 18(08): 123-126.
 [6] 薛栋峰. 柔性触觉压传感器多尺度测量模型及其阵列化研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2018.
 [7] 韩韬. 基于深度学习的柔性压力阵列信息的压缩采样、重构和预测[D]. 上海:东华大学, 2018.
 [8] 刘少华. 基于柔性阵列压力传感器的坐姿监测与提醒系统的设计与实现[D]. 合肥:安徽大学, 2018.

(上接第113页)

[4] 赵学敏,田生湖,张潇璐. 基于深度学习的以图搜图技术在照片档案管理中的应用研究[J]. 档案学研究, 2020(04): 64-68.
 [5] 陈世荣,申佩佩,包颖. 一种适用于粗匹配的遥感影像快速变化发现方法[J]. 测绘通报, 2021(01): 90-93, 98.
 [6] 周华平,张晓宇,姚尚君,等. 融合 FLBP 和 Gabor 小波的图像轮廓提取算法[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2021, 39(01): 49-52.
 [7] GUO Chunle, LI Chongyi, GUO Jichang, et al. Zero-reference deep curve estimation for low-light image enhancement [C]// 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Seattle, WA, USA: IEEE, 2020.
 [8] 贾洪博,石蕴玉,刘翔,等. 基于光照重映射的低照度图像增强

算法[J]. 激光与光电子学进展, 2021, 58(22): 230-236.
 [9] 何丽,张红艳,房婉琳. 融合多尺度边界特征的显著实例分割[J/OL]. 计算机科学与探索; 1-14 [2021-03-03]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5602.TP.20210303.1016.006.html>.
 [10] 林东升. 三种 Retinex 图像去雾算法比较与分析[J]. 电脑知识与技术, 2020, 16(32): 197-198.
 [11] 刘凯. 基于压缩感知的图像哈希算法[D]. 桂林:广西师范大学, 2016.
 [12] 邹承明,薛栋,郭双双,等. 一种改进的图像相似度算法[J]. 计算机科学, 2016, 43(06): 72-76.
 [13] 张慧,张海滨,李琼,等. 基于人类视觉系统的图像感知哈希算法[J]. 电子学报, 2008, 36(S1): 30-34.