

基于 STM32 的气囊式智能止鼾枕设计与分析

李浩然 毛雨艳 吕国荣 崔译菲 吴齐睿^{通讯作者}

长春工业大学人文信息学院, 吉林长春, 130122;

摘要: 在打鼾影响睡眠质量的大背景下, 利用语音检测技术及嵌入式技术等提出了一种智能止鼾枕的设计, 同时克服了其他止鼾设备的一些弊端。当检测到鼾声的条件可以在用户无察觉的情况下, 通过止鼾枕内部的 STM32 控制枕头内部气囊充放气进行工作^[1], 改变睡眠姿势, 推动用户头部做出相应行动, 调整睡眠时的呼吸道状态, 从而达到止鼾的效果, 通过对用户鼾声信号的分析, 判断用户睡眠呼吸暂停综合征发生情况的因素。同时采用 YQ5969SAFY 语音识别模块对接收到的声音信号进行滤波处理, 利用基于 STM32F103 嵌入式系统的实时频谱分析技术来识别鼾声, 并利用闭环反馈控制技术来控制外围器件对枕头内部气囊的充放气, 从而实现智能止鼾枕的设计^[2]。

关键词: 语音检测, 气囊, 嵌入式技术, STM32, 睡眠监测

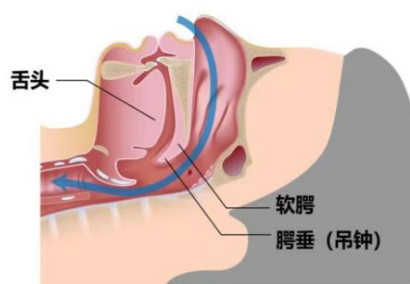
DOI:10.69979/3029-2808.24.11.015

引言

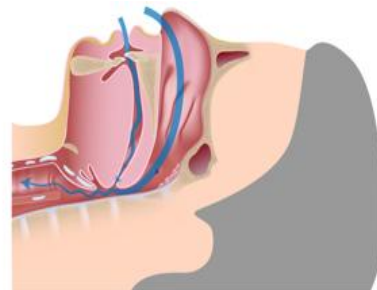
睡眠障碍是一种复杂的综合征。打鼾是其最为明显的表现, 长期睡眠障碍不仅对个人的身体健康产生负面影响, 还会损害心理健康, 导致生活质量下降。随着现代社会生活节奏的加快和工作压力的增大, 睡眠障碍问题受到广泛关注。打鼾是由于呼吸气流通过狭窄的上呼吸道时撞击上呼吸道软组织, 产生摩擦、涡流并引起咽喉部软组织振动而产生的一种声音。上气道包括鼻咽、口咽、喉咽三部分, 其中任何一个部位发生狭窄, 都会引起打鼾。^[3]

一般来讲, 长期打鼾的人往往会影响到他人的睡眠, 而引起关系的紧张; 而且长期打鼾者或是打鼾严重的人往往都伴有睡眠呼吸暂停综合征 (SAS), 该症状将导致长期的呼吸不顺畅以及缺氧, 导致血液中氧含量减少, 形成低血氧症, 从而诱发高血压、冠心病、脑血管疾病等并发症, 甚至出现夜间猝死。因此, 对鼾声的检测和治疗变得越来越重要。

针对上述问题, 结合信号检测、语音处理技术以及嵌入式技术等, 提出了该智能止鼾枕的设计。该设计可以在用户无察觉的情况下, 通过对用户鼾声信号的检测与分析, 判断用户是否患有睡眠呼吸暂停综合征, 并驱动气泵对枕头内部气囊的充放气, 从而调整用户的头部位置, 并使头部睡眠角度维持动态平衡, 达到止鼾的效果, 且能够对用户鼾声数据进行记录, 为相关的治疗提供参考数据。



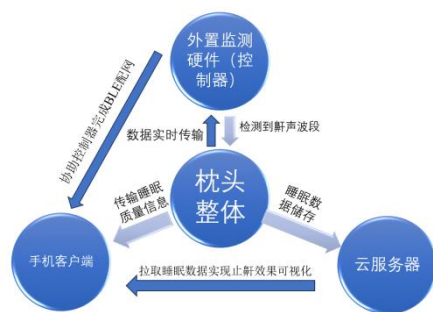
▲不打呼者的气道是流通的



▲打呼者的气道是半流通的

1 气囊式智能止鼾枕系统简介

气囊式智能止鼾枕系统主要由外置监测硬件 (下文称控制器)、枕头整体、云服务器和手机小程序四部分组成。该系统通过对用户的睡眠环境进行音频采集与分析, 判断用户是否打鼾, 根据用户的打鼾情况做出相应的止鼾策略, 控制气泵对枕头内气囊进行充放气, 调整用户的头部位置, 达到止鼾的效果, 并能通过手机客户端查看用户睡眠可视化数据, 从而了解自己的睡眠情况, 为后期睡眠问题诊断和治疗做重要的数据支撑。智能止鼾枕系统结构图如图 1 所示。



以下是系统各组成部分的功能：

1.1 控制器

基于 STM32 开发的内置鼾声监测算法，是系统的控制核心，包括各种传感器，具备环境音源采集、分析和睡眠质量检测和环境感知等功能，可以与手机客户端、云服务器和枕头通信。控制器可以通过手机客户端进行 BLE 配网，并将本地睡眠数据通过 Wi-Fi 上传到云服务器进行存储。^[5]

1.2 枕头整体

系统的执行端，与控制器进行双向 BLE 通信，同时内置微型气泵和气囊等装置。枕头将感应到的压力数据实时传输给控制器，当用户躺下时，控制器结合压力数据进行综合判断，并打开鼾声监测算法进行鼾声监测，当监测到用户打鼾时，控制器发送 BLE 指令让枕头气囊鼓起，改变用户脖子俯仰角度，使呼吸道通畅，从而缓解打鼾症状。

1.3 云服务器

系统的睡眠数据存储中心，可以接收并存储控制器上传的睡眠数据，并接受手机客户端的网络数据请求。利用云服务器强大计算能力，对睡眠数据进行深度分析，挖掘如睡眠周期、深浅度变化等特征，为用户提供精准睡眠质量评估，同时结合大数据分析和专业算法，根据用户睡眠数据给出个性化睡眠改善建议，如调整枕头高度、改善睡眠环境等。

1.4 手机客户端

系统的睡眠数据可视化中心，可以与控制器和云服务器通信。可以与其他智能健康设备连接进行全面健康分析，主要负责从服务器拉取睡眠数据实现止鼾效果可视化。

2 智能止鼾枕系统硬件设计

智能止鼾枕系统的硬件核心包括控制器硬件和枕头端硬件。控制器硬件主要负责鼾声监测并协调整个系统的运作，枕头端硬件主要负责执行来自控制器的鼾声

干预指令并将结果反馈给控制器。

选用 STM32F103 系列单片机作为嵌入式开发平台。STM32 单片机是一款 32 位单片机，其基于专为要求高性能、低成本、低功耗的嵌入式应用专门设计的 ARM Cortex-M 内核，功耗小，集成度高，运行速度快。同时代码风格和定义非常相似。即使系统产品有更新迭代，也不会大幅影响。总体构架如图 3-1 所示

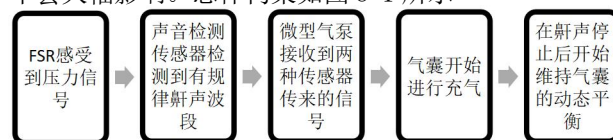


图 3-1 总体构架

2.1 薄膜式压力传感器 (FSR)

2.1.1 压阻效应

当 FSR 薄膜受到压力作用时，薄膜中的导电材料会发生形变，导致其电阻值发生变化。这种电阻值的变化与压力大小之间存在一定的关系，可以通过测量电阻值来确定压力的大小。

2.1.2 测量电路

通常，FSR 薄膜式压力传感器会与一个测量电路相连，用于测量其电阻值的变化。这个测量电路可以将电阻值的变化转换为电信号，例如电压或电流的变化，以便进行后续的信号处理和分析。

2.1.3 信号处理

测量得到的电信号会经过信号处理电路进行放大、滤波等处理，以提高信号的质量和稳定性。

2.1.4 输出

经过处理后的信号可以通过模拟或数字方式输出，通过数字信号等方式，传递给鼓风机从而带动气囊工作。

2.1.5 优点

与传统压力传感器相比，薄膜式压力传感器因响应速度快、灵敏度高、尺寸小、抗电磁干扰能力强^[4]。选用 FSR 的目的也是为了使用高效和减少各种外因对传感器造成的影响。

主要原因仍是由于 FSR 可以及时反映压力的动态变化，适应各种不规则表面的压力测量。

2.2 微型气泵

由于传统的风扇鼓风噪声过大，且传统的有叶风扇置于枕头内部显然难度过大，同时，充气设备尽量要动力足，体积小，所以选择了微型充气泵。气泵通过一段硅胶管与枕头内部的气囊相连，实现对气囊进行充气，从而调整枕头高度，微型气泵由枕边设备内部的 STM32 的主控制器控制，且该微型气泵具有体积很小、噪声小、容易操作等特点。^[6]

2.3 声音检测传感器

声音检测传感器的工作原理基于声波振动与传感

器物理特性之间的关系,不同类型的声音传感器采用不同的原理来检测声音信号。根据不同使用者的需求,本产品选择了电容式声音传感器和压电式声音传感器。

2.3.1 电容式声音传感器

电容式声音传感器的工作原理基于声波振动与电容变化之间的关系。它主要由一个固定的电容器和一个可振动的电极组成。当声波进入传感器时,会引起电极的振动,从而导致电容器的电容量发生变化。具体来说,当电极靠近电容器的固定极板时,电容量会增加;当电极远离固定极板时,电容量会减小。这种电容量的变化可以被转换为电信号输出,从而实现对声音的检测。电容式声音传感器通常具有较高的灵敏度和频率响应特性,适用于各种声音检测应用。

2.3.2 压电式声音传感器

压电式声音传感器是一种利用压电效应来检测声音信号的传感器。如图 3-2。其工作原理基于某些电介质的压电效应,即当这些电介质受到机械应力时,会在其表面产生电荷。具体来说,压电式声音传感器通常由一个压电材料制成的振动膜片和一个电极组成。当声音信号通过空气传播到传感器时,会引起振动膜片的振动。这种振动会使压电材料受到机械应力,从而在其表面产生电荷。这些电荷可以通过电极被检测到,并被转换为电信号输出。但是需要注意的是,不同类型的压电材料具有不同的压电特性,因此在为枕头选择压电式声音传感器时,需要根据使用者自身的需求来选择合适的压电材料。

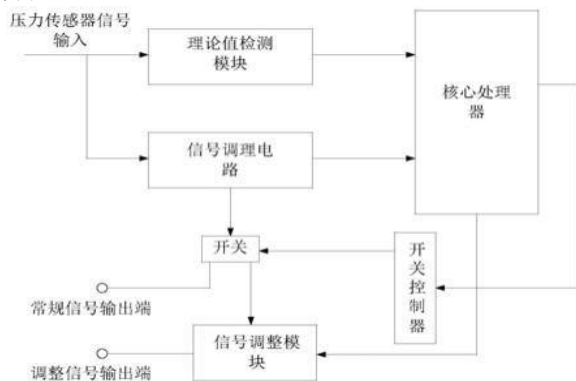


图 3-2 压力传感器流程图

2.3.3 可调节式气囊

可调节式气囊的材质是新型环保橡胶,橡胶的良好弹性,充足的气密性可以让其在工作中承受一定的压力,并且在充气 and 放气过程中保持较好的形状稳定性。在止鼾枕的工作过程中,内置微型气泵接收到来自 FSR 和声音传感器的信号,开始向气囊内进行鼓气,使气囊进行动态平衡的调节。同时当检测到环境中鼾声消失,或检测到气囊内部压力过高时,枕头内部的主控制器将控制微型气泵对其内部气囊进行放气,防止气囊破裂对用户

造成伤害。图 3-3 产品概念模型。



图 3-3 概念模型

3 智能止鼾枕系统软件设计

3.1 枕头端软件设计

枕头的核心控制器为 STM32F103 单片机,内置鼾声检测与气囊控制模块,对用户实时在枕睡眠状态进行分析。通过将鼾声的频谱、能量与样本库中参数进行对比,调整枕头内部气囊的充/放气。外界噪声对鼾声的负面影响很大,对鼾声的处理是提高止鼾枕止鼾效果的充分条件。^[7] 在鼾声信号分析中,常用的技术包括傅里叶变换 (FFT) 和小波变换 (STFT)。通过对鼾声信号进行频域分析,可以提取出鼾声的峰值、均值、标准差等特征参数。例如,有研究通过计算鼾声片段的短时傅里叶变换 (STFT) 来提取特征向量,并利用支持向量机 (SVM) 进行分类。通常使用闭环反馈控制技术是基于反馈原理建立的自动控制^[8]

根据研究,鼾声波段的计算可以通过以下步骤实现:

分帧处理:将鼾声信号分成若干短帧(如 100 毫秒),并计算每帧的平均能量或功率谱密度。

频段划分:将鼾声信号的频率范围划分为若干子带(如 60 Hz 至 4 kHz),并计算每个子带的能量或功率。

特征提取:对每个子带提取关键特征,如峰值、均值、标准差等,并形成特征向量用于后续分析。

3.2 应用端程序设计

在软件设计方面,智能止鼾枕小程序的前端主要采用 React Native 框架进行开发,以实现跨平台(iOS 和

Android)的应用。后端服务则基于 Node.js 和 Express 框架构建,提供了 RESTful API 供前端调用。

在睡觉之前,打开手机的蓝牙与止鼾枕连接,选用 MongoDB 作为主数据库,它灵活的文档结构非常适合存储睡眠监测数据。通过“守眠者小程序”,可以记录每一次使用过后的参数,同时小程序可以通过大数据模拟来得出让用户打鼾情况最少的参数,并推荐使用。在睡眠期间,为了保持接收信号的良好,手机最好与止鼾枕相隔不要太远,以免中断信号。监测通过内置在睡眠枕头中的传感器,小程序可以实时监测用户的睡眠心率、呼吸频率、翻身次数等基本生理数据。这些数据能够直观地反映用户的睡眠状态,帮助用户了解自己的睡眠质量。用户可以通过小程序查看自己在夜间打鼾情况,分析自己在不同睡眠阶段的睡眠状况,以便及时发现潜在的健康问题。除了生理数据,小程序还可以对用户的睡眠行为进行分析,如入睡时间、觉醒次数、睡眠时长等。通过对这些数据的统计和分析,用户可以了解自己的睡眠习惯,找出影响打鼾的因素,从而采取相应的措施进行改善。

4 枕头主体设计

根据相关人体工学原理研究发现,合理的枕头设计应该是侧卧和仰卧位高度不同、从而使颈椎在侧卧位和仰卧位下均保持良好的姿势,够贴合颈椎的生理曲度,避免因枕头过高或过低导致颈椎负担加重或呼吸道受阻,从而减少颈椎及其周围肌肉的慢性劳损。^[9]

我们使用的是蝶形枕的形状,如图 5-1 蝶形枕在头颈位置向外延伸,延伸位置恰好贴合悬空的颈椎和部分脊背,能提供稳定支撑。由于蝶形枕中间低、两侧高,睡眠中无须有意识地调整枕头,不仅适合喜欢睡觉翻身的人群,而且还能贴合平躺、侧卧时的颈椎、肩颈曲线,同样适合有颈椎问题的人。



图 5-1 蝶形枕模型

5 结语

本文概述介绍了一款基于 STM32 与气囊结合应用的智能止鼾枕,通过利用传感器和声音检测技术来检测鼾声,结合自主研发的 APP,将使用者的基本睡眠质量,改善方式,建议睡眠姿势等进行提醒与研究分析,从而让使用者在合理的时间进行最健康的改善。介绍了该枕头的硬件与软件方面的特点,从检测鼾声为切入点入手,整体详细的介绍了该枕头组成功能及其详细特点。

参考文献

- [1] 王东云,宋亚明,但永平,等. 基于 STM32 的智能止鼾枕设计[J]. 自动化应用,2018, (02): 139-140+145.
- [2] 王兴宇,沈淑曼,孙汉辉. 基于 STM32F103 的智能止鼾枕设计[J]. 电声技术,2018,42 (12): 3-7. DOI: 10. 16 311/j. audioe. 2018. 12. 002.
- [3] 《打鼾一个被忽视的健康杀手》郝艳艳
- [4] 《薄膜式光纤压力传感技术研究》孙哲
- [5] 郭焰芳,吴建雄,陈健锋,等. 基于 Linux 的嵌入式智能止鼾枕系统的设计与实现[J]. 电脑知识与技术,2024,20 (02): 94-96+108. DOI: 10. 14004/j. cnki. ckt. 2024. 0068.
- [6] 《微型气泵的特点与应用》何擎谋;吴心怡;甘彬婷;蔡文智;涂晓婷
- [7] 王兴宇,沈淑曼,孙汉辉. 基于 STM32F103 的智能止鼾枕设计[J]. 电声技术,2018,42 (12): 3-7. DOI: 10. 16 311/j. audioe. 2018. 12. 002.
- [8] 侯丽敏. 鼾声和语音信号的声学差异 [C]. 中国声学学会. 中国声学学会 2017 年全国声学学术会议论文集. 中国声学学会:中国声学学会,2017:2 贺石生,邵玉军,侯铁胜. 成人卧位状态下枕高的测量分析[J]. 第二军医大学学报,2008,29 (6): 709-710.

作者简介:李浩然 (2003.07-),男,汉族,山西大同人,本科,研究方向:车辆工程。单位,长春工业大学人文信息学院,吉林省长春市,130122