

# 北京航空航天大学

## 第二十三届“冯如杯”

### 学生创意竞赛论文

院（系）名 称 \_\_\_\_\_

专 业 名 称 \_\_\_\_\_

作 者 姓 名 \_\_\_\_\_

学 号 \_\_\_\_\_

指 导 教 师 \_\_\_\_\_

2013 年 4 月

## 基于多传感器的智能内衣系统

---

## 摘要

随着科学技术日新月异的发展，人们对身体健康水平的要求不断提升。然而日益加快的生活节奏使人们越来越无暇顾及自身的健康。高强度的工作、学习往往令身体不堪重负，而且人们难以抽出宝贵时间进行必要的体质锻炼，加之现在“看病难”的问题十分严重，导致“亚健康”人群的队伍不断壮大，人们的身体素质岌岌可危。

传感器技术的飞速发展为解决这个难题提供了可能。不妨设想，人们完全可以在工作学习、运动或患病时将自己的身体状况交给一件智能化的内衣来实时监控。“基于多传感器的智能内衣系统”正是利用这个想法，通过生理信息采集、信号调理分析和数据反馈三个阶段，实现对人体健康监测。此外，我们可以在医护人员和被测者之间建立远程医疗监护网络，将健康数据的共享范围进一步扩大。

多传感器的智能内衣系统在医疗、体育和军事领域有重要的应用价值，而且将其推广到人们的日常生活里也是指日可待。

## 关键词

传感器，生理信息采集，信号调理分析，数据反馈，健康监测

## Abstract

Along with the rapid development of science and technology, people's demand of physical health level increases. But the increasingly accelerated life makes people care their own health less and less. High-stress work and learning tend to make bodies overwhelmed, and people are hard to spare time to make the necessary physical exercise. In addition, the problem of "difficult to see a doctor" is increasingly serious, which leads to the number of "sub-health" growing, and people's physical quality is at stake.

However, the fast development of sensor technology offers the potential to solve the difficult problem. Please assume, intelligent underwear can completely offer real-time monitoring of physical condition when people are working, studying, exercising and being sick. "Underwear of intelligent system based on multi-sensor" exploits the idea, through the collection of physiological information, regulation and analysis of signal and data feedback, has realized the monitoring to the health of human body. In addition, we can extend health information sharing scope to the entire Internet.

Underwear of intelligent system based on multi-sensor have important application value in health care, sports and military field, and to promote it to people's daily life is just around the corner.

## Keywords

sensor, collection of physiological information, regulation and analysis of signal, data feedback, health-monitoring

## 目录

|                    |    |
|--------------------|----|
| 摘要 .....           | 3  |
| 1 绪论 .....         | 7  |
| 1.1 项目背景与创意来源..... | 7  |
| 1.2 国内外研究现状.....   | 7  |
| 1.3 系统结构的技术路线..... | 7  |
| 2 身体健康指标概述 .....   | 8  |
| 2.1 物理指标 .....     | 8  |
| 2.1.1 体温 .....     | 8  |
| 2.1.2 心率 .....     | 8  |
| 2.1.3 血压 .....     | 9  |
| 2.2 生化指标 .....     | 9  |
| 3 系统的整体设置 .....    | 10 |
| 3.1 信息采集模块 .....   | 10 |
| 3.1.1 运动模式 .....   | 10 |
| 3.1.2 工作学习模式 ..... | 11 |
| 3.1.3 患病模式 .....   | 11 |
| 3.2 调理分析模块 .....   | 12 |
| 3.2.1 信号调理 .....   | 12 |
| 3.2.2 数据分析 .....   | 12 |
| 3.3 数据反馈模块 .....   | 13 |
| 3.4 系统整体流程图 .....  | 14 |
| 4 误差分析与发展前景 .....  | 16 |
| 4.1 误差分析 .....     | 16 |
| 4.2 发展前景 .....     | 16 |
| 5 结束语 .....        | 17 |
| 参考文献 .....         | 18 |

## 图表目录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 图 2-1 不同体温对机体产生的影响 .....    | 8  |
| 图 3-1 PVDF 薄膜传感器结构示意图 ..... | 10 |
| 图 3-2 PVDF 薄膜应变示意图 .....    | 11 |
| 图 3-3 PVDF 传感器受力弯曲示意图 ..... | 11 |
| 图 3-4 前置电路的设计 .....         | 12 |
| 图 3-5 信号调理部分示意图 .....       | 12 |
| 图 3-6 医疗监护系统结构示意图 .....     | 13 |
| 图 3-7 远程医疗网络体系结构示意图 .....   | 14 |
| 图 3-8 系统整体流程图 .....         | 15 |
| 表 1-1 智能内衣系统的三个模块 .....     | 7  |
| 表 2-1 不同心率下的运动状况 .....      | 9  |
| 表 2-2 血压值与不同疾病的关系 .....     | 9  |
| 表 3-1 系统工作的三种模式 .....       | 10 |
| 表 3-2 基站远程数据传输通信的两种形式 ..... | 13 |

# 1 绪论

## 1.1 项目背景与创意来源

伴随现代化生活节奏的日益加快,越来越多的人开始在事业和健康上进退两难。每天两点一线的生活让人们在高强度的工作之余无暇顾及体能锻炼,导致颈椎病、高血压、心脏病等疾病的概率急剧增加,并逐渐向低龄化的趋势发展;而且迫于工作的压力,去医院进行必要的定期体检以及患病后的及时治疗往往被忽视、延误。所以,发明出一种能自动对身体状况实时监控提醒的智能系统迫在眉睫。

与此同时,传感器技术正在日益提高。传感器能够实时对采集的多个信息或数据进行综合处理,并做出全面、高效、合理的判断、估计和决策,这已经大大超出了人脑的综合处理能力。

那么,如果将传感器技术应用于人们生活中随处可见的紧身内衣上,问题不就迎刃而解了么?选择紧身内衣,是为确保传感器与皮肤保持足够的直接接触,从而获得所需的肌体信息。把不同类型的传感器嵌在内衣里侧,可以准确、敏感、高效地采集到所需的生理信息,输入系统内经过分析处理后,由系统做出最终判断反馈给被测者,让被测者对自身的健康状况了如指掌;亦可以在此基础上建立远程医疗监护网络,实现健康数据的无线传输。

## 1.2 国内外研究现状

经过查阅大量国内外文献,发现将多传感器的智能监测系统与紧身内衣相嫁接的科学成果还没有真正出现。但是当今传感器技术在质和量上都有了可喜的突破,不仅在精密化、微型化、高效化、智能化都有了突飞猛进的发展,而且已被大量运用于生活中的诸多领域<sup>[1]</sup>。

将传感器应用于健康状况的监测也取得了技术上的进展。过去由于技术的局限性和不稳定性,医生往往依赖于人工诊断的结果。但随着技术的成熟,不同类型的传感器已被医院广泛用于检测各种生理指标。

## 1.3 系统结构的技术路线

我设想的这套智能内衣系统主要由 3 个模块组成,如表 1-1 所示。

表 1-1 智能内衣系统的三个模块

|        |  |
|--------|--|
| 信息采集模块 | 利用压电传感器、温度传感器、生化传感器实时采集被测者的体温、心率以及反映身体健康状况的生化信息。                                     |
| 调理分析模块 | 对第一模块采集到的信号进行电荷放大、电压放大、滤波除噪、A/D 转换等处理,然后导入预先编译的数据库,进行识别与分析,通过数据库的已有程序做出合理判断。         |
| 数据反馈模块 | 将第二模块分析得到的信息结论及系统据此提出的管家建议反馈给被测者和医疗监护人员,以便被测者第一时间了解自己的健康状况,在医护人员配合下尽早做出科学合理的锻炼或康复规划。 |

## 2 身体健康指标概述

### 2.1 物理指标

#### 2.1.1 体温

体温是生命体征最为基础的指标，一方面反映机体的某些病理变化，另一方面又反过来对机体产生影响。（如图 2-1）

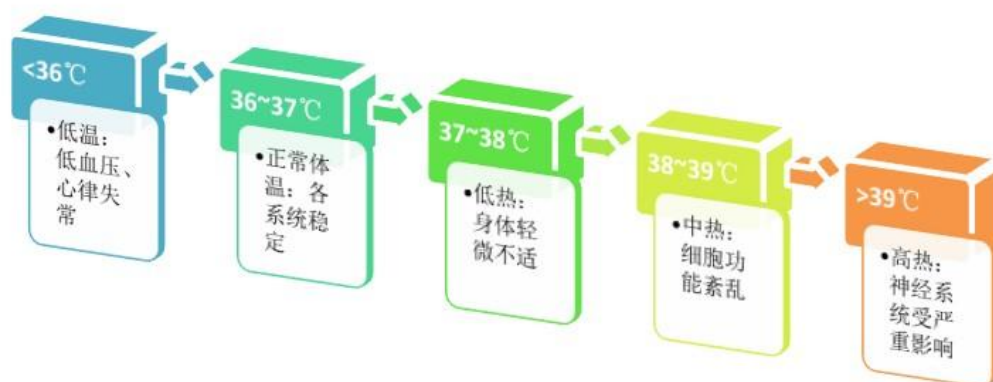


图 2-1 不同体温对机体产生的影响

#### 2.1.2 心率

中医学中依据“望闻问切”诊病，其中“切”就是切脉。按照中医脉诊理论，从两手腕的寸、关、尺三部按不同的心率可获知人体五脏六腑的病理变化，判断病情。

静息状态下，正常健康成年人的心率在 60~100 次/分之间，平均 75 次/分左右。如果心率过缓或过速，都会对生命造成极大威胁。所以在日常生活中记录并观察心率（尤其对有心脏病史者）尤为重要。

同样，心率也是衡量运动效果的重要指标。唯有适当的运动才有益于健康，过量了则对健康有害。测定运动前、中、后的心率，可以帮助锻炼者及时了解自己的身体状况。要做到适当运动，关键是控制好运动强度。按运动前的指标心率进行锻炼，是控制好运动强度行之有效的方法<sup>[2]</sup>。

以跑步运动过程为例，心率反映了跑步的总用力程度、跑步的性质、能量和氧气的消耗、乳酸的积累以及机体的疲劳与恢复等等（如表2-1所示），所以我们可以借助心率指标来了解和控制跑步的强度、量、密度等，做到有的放矢，克服盲目性、提高目的性，来获得事半功倍的跑步效果。

心率在120次 / 分以下时，机体的血压、血液成分、尿蛋白和心电图指标都没有明显变化，故健身价值不大，锻炼效果不明显。

心率在120-150次 / 分之间，为跑步有效价值范围。

心率在130次 / 分的跑步，是减肥运动的最佳心率。

心率140次 / 分进行连续跑、重复跑、间歇跑等，能提高最大耗氧量和有氧代谢能力。



表2-1 不同心率下的运动状况<sup>[3]</sup>

| 心率(次/分) | 运动强度百分比 | 能量代谢    | 血乳酸含量(毫克分子/升) | 应用   | 跑时自我感觉       |
|---------|---------|---------|---------------|--|--------------|
| 180 以上  | 100%    | 无氧代谢    | 10 以上         | 提高无氧能力, 最大持续跑时限 10s                          | 费力, 剧烈喘气     |
| 170~180 |         |         | 7~10          | 发展速度耐力跑, 持续跑不超过 3min;<br>发展专项耐力跑, 持续跑至少 3min | 呼吸急促, 有难受感   |
| 160~170 | 90%     | 有氧、无氧代谢 | 4~7           |  | 相当程度的喘气, 有累感 |
| 150~160 | 80%     |         |               |  |              |
| 140~150 | 70%     | 有氧代谢    | 3~4           | 保持有氧能力, 持续跑至少 5min                           | 能自由控制跑步节奏    |
| 130~140 | 60%     |         |               |  |              |
| 120~130 | 50%     |         | 2~3           | 利于恢复体力, 增进健康, 但对提高运动机能、技巧作用不大                | 呼吸自然, 轻松愉快   |
| 110~120 | 40%     |         |               |  | 呼吸正常轻松       |

### 2.1.3 血压

血压是观测体内供血情况的重要指标, 维持正常的血压值是健康的重要前提, 血压过高或过低都会严重影响健康。(如表 2-2)

表 2-2 血压值与不同疾病的关系<sup>[4]</sup>

| 血压类型 | 血压值         | 疾病类型        |
|------|-------------|-------------|
| 低血压  | 收缩压<90mmhg  | 休克、心肌梗塞     |
|      | 舒张压<60mmhg  |             |
| 正常血压 | 收缩压<130mmhg | ——          |
|      | 舒张压<85mmhg  |             |
| 高血压  | 收缩压>140mmhg | 动脉粥样硬化、心力衰竭 |
|      | 舒张压>90mmhg  |             |

## 2.2 生化指标

血液乳酸含量升高发生在缺氧状态, 也发生在细胞呼吸衰竭的一些情况; 在不缺氧的状态下, 也可能发生血乳酸含量升高, 如: 糖尿病、白血病和败血病。血乳酸含量> 10.5mmol/L 的患者, 死亡率可高达 70%, 因此测定血乳酸含量, 可揭示疾病的严重程度, 有利于诊断和治疗。

对于运动员而言, 乳酸同样是一项重要的指标。速度性运动项目的高水平运动员, 运动成绩好, 同时血乳酸最大浓度值也高; 耐力性运动项目的运动员, 在完成相同亚极量运动负荷时, 优秀运动员血乳酸值相对较低。这一特点可用以评定运动员训练水平或选材。运用于我们日常生活中的锻炼, 对某一个体运动训练前后的血乳酸值进行比较, 可以评定锻炼效果<sup>[5]</sup>。

### 3 系统的整体设置

#### 3.1 信息采集模块

本系统根据被测者常见的生活方式，划分为 3 种模式，在 3 种模式下分别执行不同任务，以实现不同用途（如图 3-1）。

表 3-1 系统工作的三种模式

| 运动模式  | 工作学习模式                                 | 患病模式  |
|---|--|---|
| 实时监控运动状况，便于被测者掌握运动强度。由系统的健康管家分析长期记忆的数据，为被测者提供合理科学的运动计划。 | 实时监控高强度工作学习者的身体状况，提醒长期伏案的被测者进行定时休息、活动。 | 实时监控出院病人的健康状况，便于预防和应对突发病情，也省去了病人定期去医院检查身体的麻烦。 |

##### 3.1.1 运动模式

智能内衣中应用的传感器需具备良好的柔性并适应大形变的工作环境，聚偏二氟乙烯(PVDF)是一种可以满足上述要求的聚合物型传感材料<sup>[6]</sup>，因此采用 PVDF 压电传感器（如图 3-1）测量运动时人体腕部的心率。本系统选择 PVDF 材料主要考虑到其以下几点优势：

- ① 压电常数大，变力响应灵敏度高，PVDF 的压电电压输出常数是目前所有压电体中最高的（ $d_{33}=20\text{pC/N}$ ）；
- ② PVDF 薄膜轻且柔韧，易于制备，能紧贴皮肤，可使脉搏信号通过薄膜而不失真；
- ③ 具有宽带特性，能满足脉搏信号的频率特性。人体的脉搏频率很低，约为  $0.5\sim 4\text{ Hz}$ ，一般情况下为  $1\text{ Hz}$  左右。由于 PVDF 膜的柔性及其厚度方向伸缩振动的谐振频率很高，使得在很宽范围内都有平坦的频率响应（PVDF 的响应范围是  $0.1\text{ Hz}\sim 100\text{ MHz}$ ）<sup>[7]</sup>；



图 3-1 PVDF 薄膜传感器结构示意图

当 PVDF 薄膜在垂直方向上受到外力的作用而变形时，根据压电效应，其内部会产生极化现象，同时在它的两个相对表面上出现正负相反的电荷（如图 3-2），将力学信息转化成电学信息，输送给调理分析模块，可以实现运动时心率的监测<sup>[8]</sup>。

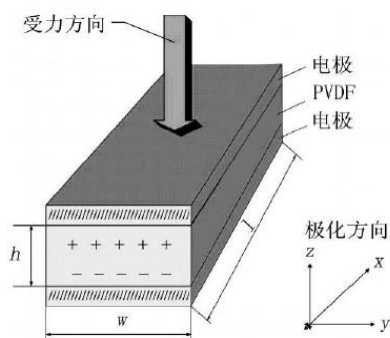


图 3-2 PVDF 薄膜应变示意图

同时，在运动模式下我们可以利用皮肤生化传感器检测运动前后汗液中乳酸浓度的变化，通过大量积累的历史数据，评定自己一段时间内的锻炼效果。

### 3.1.2 工作学习模式

在实际生活中，经常会存在 PVDF 在内衣里沿非垂直方向受力、以致大幅度变形的情况（如图 3-3），我们认为这同样可以转化为理想的垂直受力情况来解释：随着弯曲幅度的增大，PVDF 薄膜的外侧和内侧由于膜厚的关系，一侧拉伸而另一侧挤压的情况加剧，合力作用表现为在 PVDF 薄膜极化方向上的受力增加，所以相应电压仍会增加。

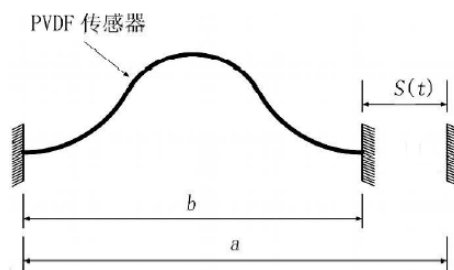


图 3-3 PVDF 传感器受力弯曲示意图

利用 PVDF 的这一特点，我们可以将传感器设计在内衣里接触重要关节（如颈椎、腰椎）的位置，计算伏案工作者在原地静止不动的持续时间，做到定时提醒被测者多休息、运动，以预防和缓解关节的劳损、增强全身血液循环。

### 3.1.3 患病模式

我们根据当代人最常见的疾病类型，确定了智能内衣在患病模式下的几个监控指标。

对于发烧者，我们采用 PT100 温度传感器监测体温。PT100 是一种铂热电阻，它的阻值随温度的上升匀速增长，温度的采集范围是  $-200^{\circ}\text{C} \sim +850^{\circ}\text{C}$  [9]。

对于心脏病患者，我们仍可采用 PVDF 压电传感器测量心率，其频率响应范围是  $0.1\text{Hz} \sim 100\text{MHz}$ （人的脉搏频率在  $0.5 \sim 4\text{Hz}$ ）。

对于糖尿病患者，我们采用无创的皮肤传感器来检测人体分泌的汗液中乳酸及其他生化物质的浓度。这是因为仅仅检测血糖无法全面反映病人的病情，其他血液生化参数对糖尿病的诊断和控制，特别是早期发现和晚期控制具有重要意义。研究发现，糖尿病人的血液乳酸含量明显高于正常人群 4~5 倍，乳酸过高易引发

糖尿病乳酸性酸中毒, 从而威胁生命, 因此定期检测乳酸浓度同样重要。

## 3.2 调理分析模块

### 3.2.1 信号调理

传感器将其他类型的信号转化为电荷信号, 而由于传感器自身的内阻很大, 所产生的电荷信号很小且容易散逸。为了保证信号的质量, 必须设计相适合的前置电路, 将微弱的电荷信号变成具有较高信噪比和一定抗干扰性的电压信号。如图3-4所示, 前置电路由前置线性电荷放大器(输出为 $U_2$ )、次级电压放大器(输出为 $U_3$ )和末级低通滤波器(输出为 $U_4$ )组成。

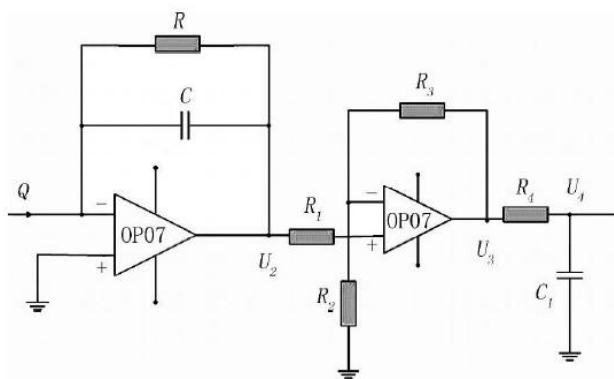


图 3-4 前置电路的设计

然后, 将前置电路与A/D转换电路相接。这里我们采用高精度的ADS8364, 是因为其6个通道可同时采样, 很适合用于智能内衣这种需同时采集多种信号的情况。

根据低功耗和处理能力的需要, 我们选择MSP430F169单片机作为处理器。MSP430F169有8通道/12位ADC及大量的I/O端口、带有模数转换器(ADC)以及必需的专用嵌入式存储器。存储器部分主要用于存储传感器所采集的临时数据, 在处理器将数据传输之后, 不做数据的大量存储。

我们所设计的射频通信使用以CC2420芯片为核心的射频通信模块, 该芯片是一款低功耗无线收发芯片, 尤其适合工作于低功耗低电压的无线通信设备中。该芯片工作在2.4GHz的免费ISM频段, 射频收发符合IEEE 802.15.4/ZigBee标准, 该标准专门针对于近距离高速数据传输, 具有较高的数据纠错和抗干扰能力, 能够满足本系统对射频通信的需要<sup>[10]</sup>。

此外, 各装置之间的输入、输出电缆均为屏蔽线, 以屏蔽外界噪声并减小电缆噪声。信号调理部分的流程图如图3-5所示。

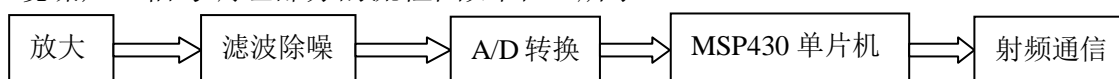


图 3-5 信号调理部分示意图

### 3.2.2 数据分析

经过放大滤波、存储处理和射频通信几个环节之后, 传感器所采集到的生理信息通过无线通信的方式被发送至基站设备。为了方便被测者的需要, 我们把基站设计为手持式, 基站可以将收到的传感器数据信息进行保存和处理。通过与已

存数据库内信息的比对,实现简易、初步的数据分析,得出合理的建议与解决方案。

数据分析主要依靠PC机的Visual Basic 6.0程序来实现对数字信号的存储与识别。通过预先编译的识别程序,可以还原不同类型的生理信息,这样才能做到对人体健康状况更深入、全面的认知。所以,我们需要通过RS-232接口将基站数据传输到计算机中。

### 3.3 数据反馈模块

通过手持式基站的LCD显示屏可以将生理数据反馈给被测者本人,使被测者实时了解自身健康状况,做到心中有数,提早拟定合理锻炼计划、提早预防和治疗疾病。

此外,数据通过RS-232接口传输到PC机上,PC机在软件中将所获得的数据以图形、表格的方式显示出来。PC机中的“健康管家”系统会计算当前和历史数据,并与内置标准数据库进行比较来做出精确、可靠的判断,最后对被测者提出科学建议和最佳解决方案。

同时,我们不妨设想将医疗中心的监护人员作为第二类反馈对象(如图3-6),这样可以通过两种方案实现(如表3-2)。

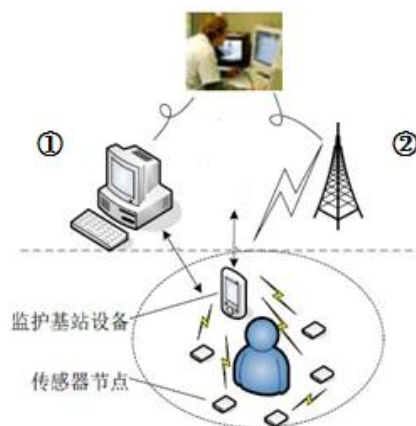


图3-6 医疗监护系统结构示意图

表3-2 基站远程数据传输通信的两种方案

| 不同方案        | 场所 | 措施   |
|-------------|----|--|
| Internet 网络 | 室内 | 基站与PC机连接,将数据通过Internet 网络传输至远程医疗监护中心,由专业医疗人员对数据进行统计观察,提供必要的咨询服务。 |
| GSM 短消息     | 室外 | 基站使用GSM 短消息的方式,将测量的数据发送至服务器终端医疗监护人员处进行管理和分析,使被测者及时得到医护人员的科学建议。   |

如果将资源共享的范围再进一步扩大,可以将该远程医疗系统接入Internet 网络,形成更大的社区医疗监护网络、医院网络乃至整个城市和全国的医疗监护体系。(如图3-7)

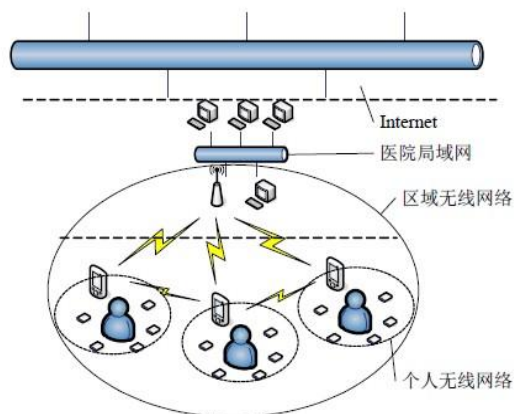


图3-7 远程医疗网络体系结构示意图

### 3.4 系统整体流程图

根据3.1~3.3节的讨论，我们绘制出系统的整体流程图（如图3-8）。被测者可以自主选择运动、工作学习、患病中的任意一种模式，当该模式开启时，相应的传感器会进入工作状态，开始实时监测被测者的健康指标。

基本原理是传感器将采集到的生理信息转化为电信号并进行电荷、电压放大，滤波除噪和模数转换，把信号传递给MSP430单片机，MSP430负责短期存储和处理，然后通过ZigBee标准的射频通信将信息传送至手持式基站。

基站有4种进行数据反馈的途径：第一，被测者能够直接通过基站的LCD显示屏实时读取身体健康状况，根据初步、简易处理的数据作出相应决策；第二，被测者可以通过RS-232接口将手持式基站与PC机相连，PC机中的“健康管家”系统会计算当前和历史数据，并与内置标准数据库进行比较来做出更精确、可靠的判断，最后为被测者提供最佳解决方案；第三，被测者将基站与PC机连接，将数据通过Internet网络传输至远程医疗监护中心，由专业医疗人员对数据进行分析，提供必要的咨询服务；第四，被测者在户外的话，可以通过GSM 短消息的方式，将测量的数据发送至服务器终端医疗监护人员处进行管理和分析，并及时得到医护人员的科学建议。

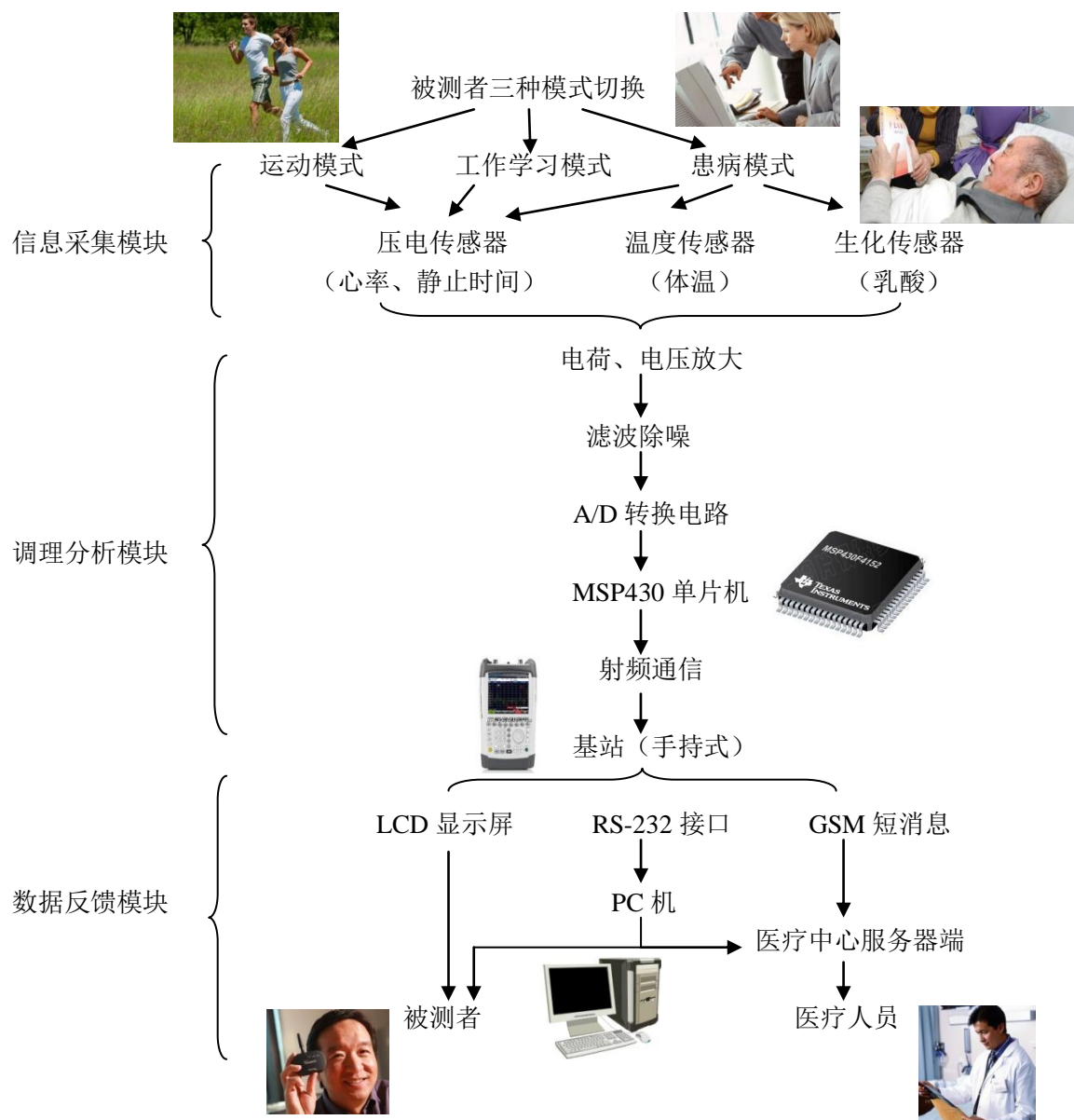


图 3-8 系统整体流程图

## 4 误差分析与发展前景

### 4.1 误差分析

①生理信号转化为微弱的电信号后频率很低，外界温度变化导致传感器产生的热效应噪声会对原信号造成一定干扰。

②不同人生理健康特征的特殊性、差异性，导致PC机标准数据库内的健康数据也存在一定误差。所以我们仍需要根据人的个体差异问题，将数据库的健康数据范围拓宽至一个合理可靠的范围。

### 4.2 发展前景

运用信息化、智能化手段解决人类面临的健康问题已成为时代发展的趋势。随着互联网的不断膨胀和人类对自身健康的日益重视，基于多传感器的智能内衣系统无疑为未来医疗体系的建设提供了一种新的思路。人们穿上紧身内衣，不但可以获晓自身的健康状况，而且可以保存用户个人的实时数据与历史数据，进行个性化分析；不但可以同时监测多种生理指标，省掉去医院排队看病的不便，而且可以实现医疗健康资源的网络共享。相信多传感器的智能内衣终将会步入每一个人的日常生活，朝着简洁（传感器体积小重量轻，较为隐蔽）、实用（在不同场合高效监测多种信息，为人类健康提供保障）的方向发展。



## 5 结束语

虽然我们提出的设想——多传感器的智能内衣系统只停留在一个较为理想化的阶段，但是这种设想为其以后的市场化发展提供了新的可能。同时，在科学技术日新月异的今天，健康资源的网络共享也为今后整个医疗体系的建设提供了新的思路。

这篇论文从构思到执笔完成共历时将近四周。在整个过程中，我不仅收获了大量前沿的科技知识、论文的撰写经验，而且第一次深切感悟到，其实平日里看似没有头绪的想法跟科学精心嫁接后，就能变得不再荒谬。每一种造福于人类的发明都是源于生活中点滴的创意的。

撰写论文的时候深切感受到了知识经验的匮乏，所以自己还需在很多方面挖掘下功夫。在此非常感谢班主任老师的悉心指导，让我对论文的撰写技巧有了更深一层次的认识和突破。论文中如有不妥之处，敬请专家老师批评指正。

[参考文献]

- [1] 张岩, 胡秀芳, 张济国. 传感器应用技术[M]. 福建科学技术出版社, 2006.
- [2] 黄光民. 掌握心率, 运动效果更好[J]. 养生大世界, 2005 (06A): 39-39.
- [3] 周红波, 张晓炳. 运用心率导引跑步[J]. 山西体育科技, 2000, 3: 017.
- [4] 何吟绵, 何熹延. 高血压诊断标准进展[J]. 医学信息, 2001, 14(11): 734-737.
- [5] 钱铁群, 吕萍. 乳酸与运动训练的关系[J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 1998, 26(1): 111-113.
- [6] Wang F, Tanaka M, Chonan S. Development of a PVDF piezopolymer sensor for unconstrained in-sleep cardiorespiratory monitoring[J]. Journal of intelligent material systems and structures, 2003, 14(3): 185-190.
- [7] 王国力, 赵子婴, 白金星. PVDF 压电薄膜脉搏传感器的研制[J]. 传感技术学报, 2004, 12(4): 688-692.
- [8] 孟仁俊, 丁辛. 可嵌入服装的 PVDF 压电传感器的研制与应用[J]. 产业用纺织品, 2010 (002): 26-30.
- [9] 陈志文, 王玮. 基于 Pt100 铂热电阻的温度变送器设计与实现[J]. 现代电子技术, 2010, 33(008): 197-199.
- [10] 王骥, 沈玉利, 林菁. 基于无线传感器网络生理参数采集系统设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23(2): 94-99.