

# 基于 GPRS 和 Flexi Force 传感器的 足底压力监测系统设计

高 敏<sup>1</sup>, 张一帆<sup>\*1</sup>, 洪成雨<sup>2</sup>, 李毓陵<sup>1</sup>, 高卫东<sup>3</sup>

(1. 东华大学 纺织学院, 上海 201600; 2. 上海大学 土木工程系, 上海 200444; 3. 江南大学 纺织科学与工程学院, 江苏 无锡 214122)

**摘 要:**针对传统足底压力监测系统空间和区域的局限性,利用 GPRS 和 Flexi Force 实现移动无线通信条件下的足底压力远程数据采集。利用 GPRS 的 Internet 接入功能,建立数据采集模块与远程主机之间的无线通信,将通过 Flexi Force 薄膜压力传感器采集的足跟压力数据无线传输到指定设备上,真正实现足底压力远程监测。

**关键词:**通用无线分组业务;Flexi Force 传感器;无线传输;远程检测

**中图分类号:**TP 212 **文献标志码:**A **文章编号:**2096-1928(2020)01-0012-04

## Design of Remote Foot Pressure Monitoring System Based on the GPRS and Flexi Force Sensors

GAO Min<sup>1</sup>, ZHANG Yifan<sup>\*1</sup>, HONG Chengyu<sup>2</sup>, LI Yuling<sup>1</sup>, GAO Weidong<sup>3</sup>

(1. College of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, China; 2. Department of Civil Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China; 3. College of Textile Science and Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:**In view of the space and regional limitations of traditional plantar pressure data acquisition system, the remote sensing of plantar pressure using GPRS (General Packet Radio Service) and Flexi force is implemented. On the basis of the GPRS Internet access function, the wireless communication between the data acquisition module and remote host is established, and the heel pressure data collected by the Flexi Force pressure sensor can be wirelessly transmitted to the designated equipment, achieving the plantar pressure remote monitoring.

**Key words:**GPRS, Flexi Force film pressure sensor, wireless communication, remote monitoring

足底压力测定是康复医学中步态分析的一个重要组成部分,是分析和衡量足底压力异常的基础<sup>[1-3]</sup>。随着年龄的增长,足底压力分布会发生明显改变,因此了解足底压力分布变化以及生物力学分析有重要作用<sup>[4-5]</sup>。目前,足底压力分布的研究已广泛应用于很多领域,如运动生物力学、竞技体育科研、步态识别、临床足疾诊断、康复医学、个性化工业设计等<sup>[6]</sup>。

美国 Tekscan 公司开发的 F-Scan 测力鞋垫系

统,可对任何接触面的压力分布进行静态和动态测量,并以直观形象的二维、三维彩色图像实时显示压力分布的轮廓和数据,还能存储测量数据以便用户随时查看与分析<sup>[7]</sup>。德国 Novel 公司足底压力分布测量系统能准确测量并记录其表面所承受的静态和动态压力,多元化的分析软件可对测量的压力数据进行分析<sup>[8]</sup>。比利时 RSscan 公司研发的平板测力系统,可用于赤足或着鞋时不同运动状态的分析,可应用于多种运动形式(如走路、跑步、滑雪、滑

收稿日期:2019-03-18; 修订日期:2019-06-26。

作者简介:国家重点研发计划项目(2017YFB0309200)。

作者简介:高 敏(1992—),女,硕士研究生。

\*通信作者:张一帆(1983—),女,讲师,硕士生导师。主要研究方向为智能纺织品。Email: zhangyifan@dhu.edu.cn

冰等)的步态分析<sup>[9-10]</sup>。这些测量系统主要是利用不同类型的压力传感器通过蓝牙或 ZigBee 对足底压力进行短距离监测,不能实现远程意义上的足底压力监测。

1993 年英国 BT Cellnet 公司提出了通用无线分组业务 (general packet radio service, GPRS),它是 GSM Phase2 + (1997 年) 规范实现的内容之一。GPRS 是第 2.5 代无线移动通信技术 (即 2.5G 网络),它介于 2G 网络 (2-generation wireless telephone technology)、第二代无线移动通信技术和 3G 网络 (3-generation wireless telephone technology)、第三代无线移动通信技术之间,是 2G 向 3G 过渡的桥梁。通过这个技术,GPRS 用户可以接入到 Internet,与全世界的计算机实现互联<sup>[11]</sup>。GPRS 具有数据传输速率高、接入时间短、按流量计费、实时在线等特点<sup>[11-12]</sup>。

文中利用嵌入式系统技术、无线通信技术和智能传感器技术,通过 GPRS 和 Flexi Force 薄膜压力传感器对足底压力进行远程监测。GPRS 是以手机系统 (GSM) 为基础的数据传输技术,在现有的 GSM 基站系统基础上通过改造实现了数据的分组交换。

1 GPRS 工作原理

首先,通过 GPRS 的数据终端 (如手机) 与移动通信服务商的基站 (base station subsystem, BSS) 建立通信;然后将数据发送到 GPRS 服务支持节点 (serving GPRS suport node, SGSN), SGSN 负责记录并跟踪 SGSN 服务区内移动终端的当前位置,并提供安全功能和接入控制,是无线接入网和数据网的分界线;通过 SGCN 传输到 GPRS 骨干网中的数据经 GPRS 网关支持节点 (gateway GPRS suport node, GGSN) 与其他 Internet 连接, GGSN 负责控制用户的路由信息,用于实现 GPRS 网络与其他网络的互通,可视为 GPRS 网络对外部数据网络的网关或者路由,是 GPRS 核心网和外网的分界线。GGSN 与 SGSN 组合在一起,共同实现 GPRS 的路由功能,数据从 Internet 到达 GPRS 模块的传输过程和这个过程正好相反<sup>[13-15]</sup>。GPRS 工作原理如图 1 所示。

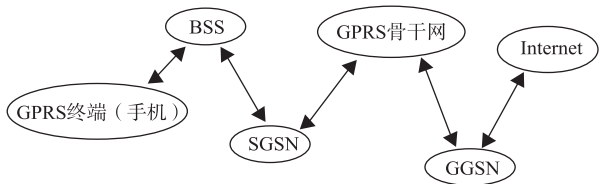


图 1 GPRS 工作原理  
Fig.1 GPRS working principle

2 Flexi Force 薄膜压力传感器工作原理

Flexi Force 薄膜压力传感器是一种超薄和挠性印刷电路,具有可弯曲性和测力特性,可用于测量两表面之间的压力 (牙齿咬合力,握力等)。Flexi Force 薄膜压力传感器线性度  $< \pm 3\%$ 、重复性  $< \pm 2.5\%$  (满量程)、滞后性  $< \pm 4.5\%$  (满量程)、漂移  $< 5\%$  lgt、响应时间  $< 5\ \mu\text{s}$ 、厚度为 0.15 mm,对应的传感器输出电阻大小为 1 k $\Omega$  ~ 1 M $\Omega$ 。传感器的采集频率为 30 Hz 的 Flexi Force 传感器薄如纸张且柔韧性强,在线性、滞后性、漂移和灵敏度方面具有优良特性,测量精度高<sup>[16]</sup>。Flexi Force 传感器的制造基于两层基板,基材由聚酯薄膜 (或聚酰亚胺) 构成,导电材料 (银) 被施加在基层上,然后是一层压敏墨水。为了形成完整的传感器,利用黏合剂将两个基底层粘合在一起,传感器的感应区域由传感器顶部的压敏墨水 (银色圆圈) 的大小确定。当有力施加在传感器的感应区域,薄膜压力传感器在电路中相当于可变电阻。传感器感应区域没有压力时,阻值非常高 ( $> 1\ \text{M}\Omega$ );当有力作用在传感器区域时,导电材料接触导电电极,从而改变传感器的电阻<sup>[17-19]</sup>。

3 足底压力的 GPRS 远程监测

图 2 为 GPRS 和 Flexi Force 传感器远程监测流程。足底压力监测系统是一个集合了电子、信息、传感器、通信等多学科的综合系统,主要由足底压力监测终端、通信网络、远程监测中心以及手持终端设备组成。足底压力监测终端作为本系统的重要组成部分,主要用于采集足底压力数据,再通过 GPRS 网络向远程监测中心发送相关数据信息,远程监测中心对接收到的数据进行处理、显示以及存储。远程操作者通过控制远程控制系统全面监控足底压力监测系统,同时对特定环境下的测试者进行远程操作;远程控制系统通过 Internet 接收来自 Flexi Force 薄膜压力传感器监测的足底压力信息,操作者只要对返回的传感器信息进行监控,即可实现足底压力的远程监测。

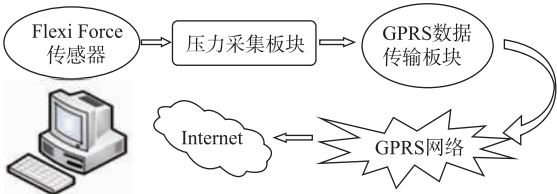
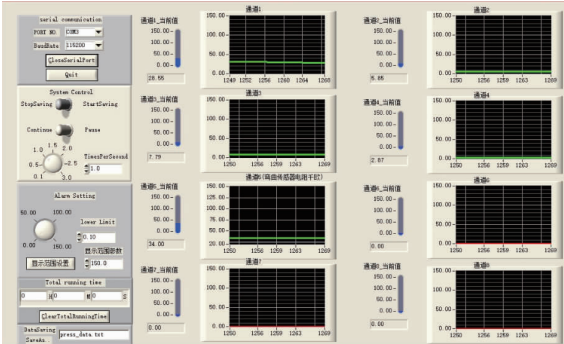


图 2 GPRS 和 Flexi Force 传感器远程监测

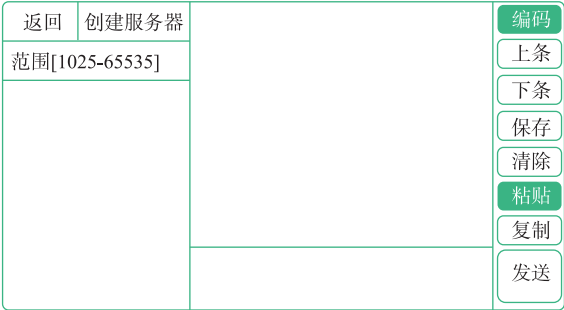
Fig.2 Remote monitoring with GPRS and Flexi Force sensors

4 实验部分

将 Flexi Force 薄膜压力传感器放置在鞋垫足跟处,测试者在跑步机上以不同速度运动,利用 GPRS 模块将 GPR 连接到基站 BBS,在基站系统 GPRS 协议(base station system GPRS protocol, BSSGP)层实现 BSS 和 SGSN 之间路由和其他信息的传输。GPRS 模块将数据传输到数据终端(手机等设备上),实现足跟压力数据的远程传输与监测。图 3 为监测系统的电脑和手机端界面。



(a)电脑端数据采集界面



(b)手机端数据采集界面

图 3 监测系统的电脑端和手机端界面

Fig.3 Computer and mobile interface of the monitoring system

利用 GPRS 模块和 Flexi Force 薄膜压力传感器将远程采集数据传输到数据终端(手机等设备上),通过 Origin 或 Excel 对数据进行分析,文中对不同身高和体质量的 30 位成年女性的足底压力进行测试,测试点具有足底应力相对集中的特点,分别

为第 3 跖骨、第 4 跖骨、第 5 跖骨和足跟 4 个点,足底测量部位如图 4 所示。足底压力测试结果如图 5 所示。

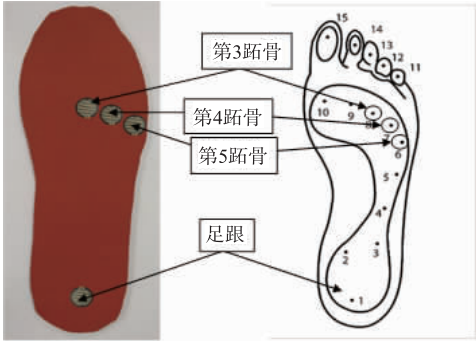
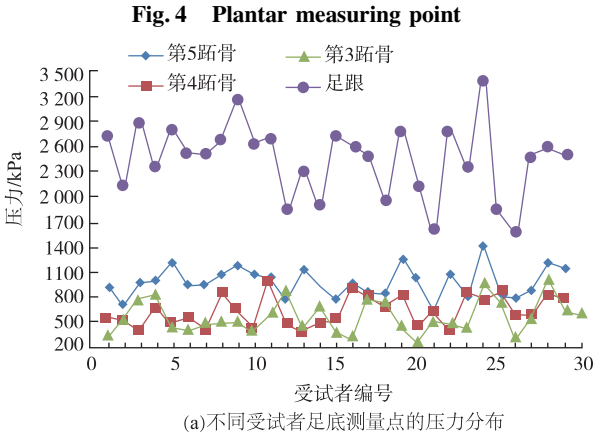
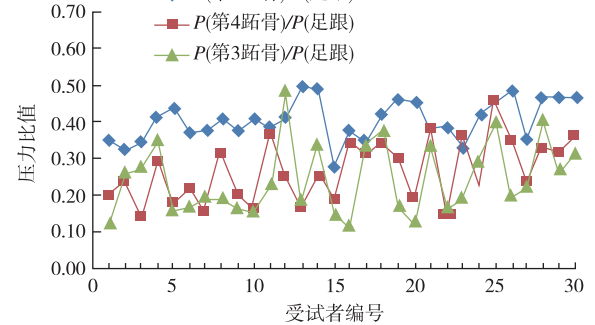


图 4 足底测量点



(a)不同受试者足底测量点的压力分布



(b)不同受试者前足3个测量点相对足跟的压力比值

图 5 足底不同测量点压力值比较

Fig.5 Comparison of pressure values at different measurement points of the sole of the foot

由图 5(a)可以看出,所有受试者的足跟压力始终保持最大;前足 3 个测量点的压力比较: $P(\text{第 5 跖骨}) > P(\text{第 4 跖骨}) > P(\text{第 3 跖骨})$ 。由于身高和体质量的不同,受试者在同一点的足底压力值各不相同。将前足 3 个测量点的压力值分别与足跟相比(见图 9(b)),30 名受试者的  $P(\text{第 5 跖骨})/P(\text{足跟})$ 、 $P(\text{第 4 跖骨})/P(\text{足跟})$  和  $P(\text{第 3 跖骨})/P(\text{足跟})$  变化趋势不明显。究其原因,主要是每个受试者步态不同,其重心偏移情况不同,表明其步态存在个体差异。

## 5 结 语

GPRS独特的“分组”模式,用户只有在发送或者接收数据期间才占用资源,多个用户可以高效享有同一无线信道,从而提高资源利用率;GPRS模块接入Internet网络,不受地点与空间的限制,克服了传统足底压力监测系统受距离的限制,在远程数据实时传输中有不可比拟的优势。该监测系统设计有手机端和电脑端的数据采集,保证数据采集的方便性,为远程足底压力监测系统App的研发与应用提供依据。

文中只对正常足各点压力进行了初步研究分析,而高弓足和扁平足足底压力有待研究,未来可以增加测量点,扩大受试者的年龄分布,建立足底压力数据库,方便足底压力自诊断技术的应用。

### 参考文献:

- [1] YAVUZ M, DAVIS B L. Plantar shear stress distribution in athletic individuals with frictional foot blisters[J]. Journal of the American Podiatric Medical Association, 2010, 100 (2): 116-120.
- [2] GU Y D, LI J S, LAKE M J, et al. Image-based midsole insert design and the material effects on heel plantar pressure distribution during simulated walking loads[J]. Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, 2011, 14(8): 747-753.
- [3] STOKES I A, HUTTON W C, STOTT J R, et al. Forces under the hallux valgus foot before and after surgery[J]. Clinical Orthopaedics and Related Research, 1979 (142): 64-72.
- [4] CHANG C C, LEE M Y, WANG S H. Customized foot pressure redistribution insole design using image-based rapid pressure measuring system [C]//Proceedings of 2007 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Montreal: IEEE, 2008.
- [5] ADACHI W, TSUJIUCHI N, KOIZUMI T, et al. Development of walking analysis system consisting of mobile force plate and motion sensor[C]// Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Boston: IEEE, 2011.
- [6] 董襄,樊瑜波,张明. 人体足部生物力学研究[J]. 生物医学工程学杂志, 2002, 19(1): 148-153.  
DONG Xiang, FAN Yubo, ZHANG Ming. Studies on biomechanics of human foot: a review [J]. Journal of Biomedical Engineering, 2002, 19 (1): 148-153. (in Chinese)
- [7] 周军杰,俞光荣,曹成福,等. 足踝部反复损伤青少年足球运动员Foot Scan足底压力分析[J]. 中国运动医学杂志, 2010, 29(5): 520-524.  
ZHOU Junjie, YU Guangrong, CAO Chengfu, et al. Analysis

- on plantar pressure of adolescent soccer players with repeated foot and ankle injury [J]. Chinese Journal of Sports Medicine, 2010, 29 (5): 520-524. (in Chinese)
- [8] 麻静媛. 对Novel Pedar足底压力分布测量系统应用技术的初步开发[J]. 中国体育科技, 2002, 38(7): 23-25.  
MA Jingyuan. The initial exploitation of applied technique on vola pressure distribution in novel pedar measure system [J]. China Sport Science and Technology, 2002, 38 (7): 23-25. (in Chinese)
  - [9] 高琴. 基于嵌入式软核处理器技术的便携式人体足底压力分布测量系统[D]. 西安: 西安工程大学, 2007.
  - [10] 黄萍,钱念东,齐进,等. 拇外翻发病危险因素与足底压力特征[J]. 中国组织工程研究, 2016, 20 (42): 6351-6356.  
HUANG Ping, QIAN Niandong, QI Jin, et al. The risk factors and plantar pressure characteristics of hallux valgus [J]. Chinese Journal of Tissue Engineering Research, 2016, 20 (42): 6351-6356. (in Chinese)
  - [11] 汪渝. 基于GPRS技术海上溢油跟踪GPS浮标的研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2007.
  - [12] 刘丹. 小型多参数海洋环境监测浮标系统研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.
  - [13] 施万青,马洪涛. GPRS中网络结构与信令研究[J]. 无线通信技术, 2001, 10(2): 35-37.  
SHI Wanqing, MA Hongtao. Research on network structure and Signaling in GPRS [J]. Wireless Communication Technology, 2001, 10 (2): 35-37. (in Chinese)
  - [14] 乌欣,胡捍英. GPRS的网络结构和协议分析[J]. 通信技术, 2002(3): 59-61.  
WU Xin, HU Hanying. Network structure and protocol analysis of GPRS [J]. Communications Technology, 2002 (3): 59-61. (in Chinese)
  - [15] 周海兵. GPRS + GPS在水环境监测系统中的应用[D]. 北京: 中国科学院大学, 2015.
  - [16] 王国富,胡斯,叶金才,等. 基于Flexi Force传感器的压力测量方案设计[J]. 仪表技术与传感器, 2017(9): 8-12.  
WANG Guofu, HU Si, YE Jincai, et al. Design of pressure measurement scheme based on Flexi Force sensor [J]. Instrument Technology and Sensor, 2017(9): 8-12. (in Chinese)
  - [17] BAE J, TOMIZUKA M. A tele-monitoring system for gait rehabilitation with an inertial measurement unit and a shoe-type ground reaction force sensor[J]. Mechatronics, 2013, 23(6): 646-651.
  - [18] SAVELBERG H, DE LANGE A. Assessment of the horizontal, fore-aft component of the ground reaction force from insole pressure patterns by using artificial neural networks [J]. Clinical Biomechanics, 1999, 14(8): 585-592.
  - [19] CORDERO A F, KOOPMAN H, VAN DER HELM F. Use of pressure insoles to calculate the complete ground reaction forces [J]. Journal of Biomechanics, 2004, 37 (9): 1427-1432.

(责任编辑:邢宝妹)