

基于多传感器融合的用于脑卒中患者的可穿戴式上肢动作识别系统*

廖梦佳¹ 秦亚杰^{1,3} 汪源源¹ 丁力² 贾杰²

摘要

目的:研究一种用于脑卒中患者上肢动作康复评估的可穿戴式的基于多传感器融合的上肢动作的自动识别系统。

方法:提出一种基于多传感器融合的可穿戴上肢动作识别系统,以实现上肢动作的自动识别。系统硬件包含一个主节点和三个从节点,其中主节点由一个WIFI模块和一个微处理器构成,从节点由一个高灵敏度加速度计和一个微处理器构成。从节点采集上肢动作的加速度信号,传输至主节点,再由主节点的WIFI模块无线传输至PC端。这样的系统硬件具有功耗低、微型化、可拓展性强等特点。系统软件基于Adaboost的动作分类算法,通过分析接收到的上肢动作的加速度信号,自动判断不同的三种上肢动作。

结果:系统对三种不同的上肢动作能够实现自动识别,识别准确率高达97.99%。

结论:该可穿戴式系统在脑卒中患者上肢动作康复评估中具有良好的应用价值。

关键词: 脑卒中;加速度计;动作识别;可穿戴;多节点

中图分类号:R741,R496 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2015)-05-0443-04

The wearable system based on the multi-sensor fusion for recognizing stroke patients' upper limb motion automatically/LIAO Mengjia, QIN Yajie, WANG Yuanyuan, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2015, 30(5): 443—446

Abstract

Objective: To study a wearable system based on the multi-sensor fusion for recognizing stroke patients' upper limb motion automatically.

Method: A wearable system was proposed based on multi-sensor fusion for recognizing stroke patients' upper limb motion automatically. The hardware of the system was made up of a master node and three slave nodes. The master node consists of a WIFI module and a microprocessor, and the slave node was made up with a highly sensitive three-axis accelerometer and a microprocessor. Accelerometer signals were collected by the slave node, then transmitted to the master node, after that, transmitted to the computer through the WIFI. This hardware system had characteristics of the low power consumption, miniaturization, expansibility and so on. The algorithm for motion classification based on Adaboost was realized in the software of this system, which would recognize three different motions automatically through analyzing the received acceleration signals of upper limb motion.

Result: Three different motion of upper limb could be recognized automatically by the system, the accuracy of motion recognition was up to 97.99%.

Conclusion: The wearable system has great value in rehabilitation assessment of upper limb motion for stroke patients.

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2015.05.007

*基金项目:上海市科委资助项目(13441902800)

1 复旦大学信息科学与工程学院,上海,200433; 2 复旦大学附属华山医院康复医学科; 3 通讯作者

作者简介:廖梦佳,女,硕士研究生;收稿日期:2015-04-01

Author's address School of Information Science and Engineering, Fudan University, Shanghai, 200433

Key word stroke; accelerometer; motion recognition; wearable; multiple nodes

脑卒中(stroke)是神经系统的常见病,严重危害着人类的生命健康。脑卒中后常产生运动功能障碍,因此病后的康复训练是一项重要的任务,而上肢康复则是其中一个难点^[1]。在康复医疗过程中,需要对患者进行多次康复评定,以判断患者是否适合回归家庭。然而,目前我国康复医疗工作者相对不足,尚不能满足康复事业发展的需要。因此,如果能提出一种实时监测患者上肢功能康复情况的方法,提供实时信息,帮助康复医师及时评定患者状态并调整康复治疗方

案,必然使得临床康复治疗更高效。基于这样的背景,近年来许多学者利用可穿戴式传感器来进行动作识别,开展面向康复应用的可穿戴设备研究^[2-5]。加速度计是最常用的一类传感器。加速度信号能够提供动作信息^[6-7],可以直接捕捉并判断不同康复阶段患者的上肢动作完成质量,进而达到评估病情的效果。

而从目前的研究成果中不难发现,面向康复应用的可穿戴设备逐渐发展得更轻便、更易佩戴,不仅可用于门诊,也可用于家庭医疗且动作识别率更高^[2-5]。本文提出一种基于多个三轴加速度计融合的可穿戴动作识别系统,采用Adaboost算法进行分类,具有更低功耗、更微型化和更高动作识别准确率的特点。

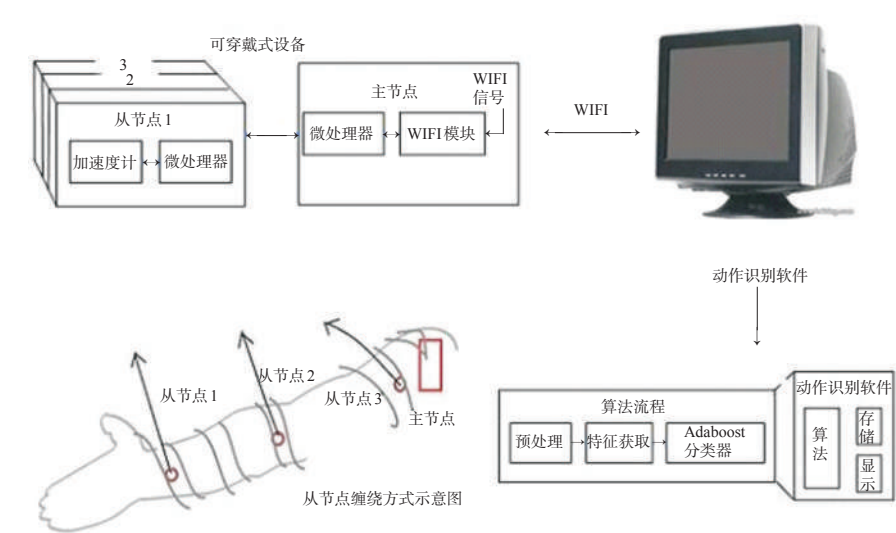
1 基于多传感器融合的可穿戴式上肢动作识别系统整体功能

基于多传感器融合的可穿戴式上肢动作识别系统由可穿戴式设备和PC端软件部分组成(图1)。可穿戴式设备主要由主节点和从节点组成,主从节点之间通过SPI总线连接。本系统中的SPI总线用柔性的导线制成,更有利于传感器的移动和拓展,在传输协议的限定下可增加至12个加速度计。总线传输速率可达到每秒300k字节,因此,系统甚至可增加采样频率更高的传感器,如4路肌电传感器和5个加速度从节点。本系统目前共采用三个从节点,相互串联在总线上,分别放置于上肢的不同位置用于采集信号,以及将信号传输到主节点。主节点控制从节点进行信号的采集、读取从节点发出的数据,并通过WIFI模块发出的WIFI信号与PC端(电脑端)建立连接,将数据发送到PC端。再由PC端软件从底层驱动提取数据,进行存储、解码,将信号显示在界面上,并用相应算法进行信号分析,从而实现动作识别的功能。

1.1 可穿戴设备

1.1.1 从节点:由ADI公司的三轴加速度传感器ADXL345和微处理器SHC6601组成,尺寸为23mm×23mm×1mm。

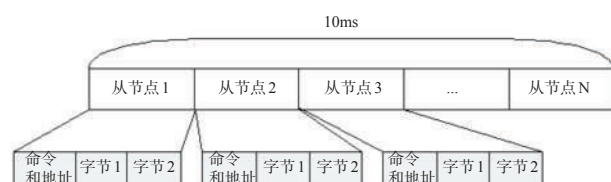
图1 多传感器融合的可穿戴式上肢动作识别系统整体功能图



从节点中,ADXL345是一款小而薄的超低功耗三轴(X、Y和Z轴)加速度计,分辨率高。本系统中用来测量规定动作的加速度变化,以实现动作的识别。微处理器SHC6601具有超低功耗特点,用于控制加速度计进行加速度信号的采集,实现自定义的主从总线数据传输客户端协议。

1.1.2 主节点:主要由雷凌(Ralink)公司的WIFI芯片RT5350F的和微处理器STM32F组成,尺寸为60mm×47mm×1mm。实际使用时封装在相应的盒子里。在从节点与主节点的信号传输中,本系统设计了如图2示的应用层传输协议。

图2 应用层传输协议



每10ms将所有从节点的数据采集1次,其中加速度计的采样频率为100Hz,加速度计的每个轴每次采集两个字节的的数据,因此每采集一次数据共6个字节。从节点的数据传输到主节点后,由主节点的WIFI模块发出WIFI信号,PC机搜索到该WIFI信号,并建立连接,即可接收主节点数据。WIFI模块的数据传输被协议设计为先打包多个10ms的数据再一并发送至PC机。这种协议能降低WIFI模块的功耗,从而保证整个系统的低功耗。

1.2 PC端软件

PC端软件主要分为两部分:信号处理算法和信号显示界面。

1.2.1 算法。

1.2.1.1 数据采集:本实验中暂时选择健康人进行实验,以验证系统的动作识别功能,便于后期用于不同康复程度的临床患者。根据Fugl-Meyer量表和医生的建议,选择了三个上肢动作进行实验,分别为:①手自然放于膝前,尽量匀速抬起至水平状态;②手自然放于膝前,弯曲手臂,接触腰椎;③手臂自然放于水平桌面,尽量匀速弯曲手臂,至上臂与桌面垂直。实验中,传感器分别放置在手腕背面、肱骨外上髁和肱骨中上三分之一点外侧。共有4名实验者

参与实验,实验者均为健康人,习惯用手为右手,实验用手为左手。实验者的姓名、年龄、性别和身高如表1所示。每位实验者需要完成以上3个动作,每个动作重复25次。

表1 实验者各项参数

姓名	性别	年龄(岁)	身高(cm)
金*	男	22	183
温*	男	30	170
彭*	男	25	175
廖*	女	23	168

1.2.1.2 算法原理:①预处理。由于系统的信号采集芯片集成了数字滤波器,且在传输过程中设计了滤波功能,使得采集到的加速度信号信噪比较高,因此预处理过程中不再滤波。实验中每个动作重复25次,每次采集到的数据长度不一致,用移动平均法确定每段数据的有效部分,并将数据长度调整至每段200个点。②特征获取。为有效将三个不同动作进行分类,需要根据原始数据获取具有较强分类能力的特征参数。参考文献^[8-9]和实际信号的特点,采用均值、标准差、信号矢量大小(signal vector magnitude)和信号能量四个特征。均值能反映一个动作的平均加速度水平,能有效区分动态动作和静态动作。实验中三个动作的加速度水平有明显差别,故选择此特征,具体计算式为:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \alpha(n) \quad (1)$$

标准差反映信号的波动水平:

$$std = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (\alpha(n) - \bar{\alpha})^2} \quad (2)$$

信号矢量大小:

$$SVM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2} \quad (3)$$

信号能量为频域特征,能反映动作的复杂度和变化模式。对每段信号进行傅里叶变化,再求频谱的平方和,用信号的点数进行归一化即可求得。③分类,采用Adaboost分类器对三种动作信号进行分类。Adaboost是一种迭代算法,其核心思想是针对同一个训练集训练不同的分类器(弱分类器),然后把把这些弱分类器集合起来,构成一个更强的最终分类器(强分类器)。其算法本身是通过改变数据分布来实现的,它根据每次训练集之中每个样本的分类是否正确,以及上次的总体分类的准确率,来确定每

个样本的权值。将修改过权值的新数据集送给下层分类器进行训练,最后将每次训练得到的分类器融合起来,作为最终的决策分类器。使用Adaboost分类器可以排除一些不必要的训练数据特征,并放在关键的训练数据上面,因此分类能力很强。采集到的数据样本共100个,故在利用Adaboost进行分类验证时,采用五折交叉验证法,将数据集分成5份,轮流将其中4份作为训练数据,1份作为测试数据,进行5次分类实验,5次的实验结果如表2所示。

表2 基于Adaboost的三类动作的分类结果

实验次数	准确率(%)	特异率(%) (动作1)	特异率(%) (动作2)	特异率(%) (动作3)
1	100	100	100	100
2	98.3333	100	95	100
3	98.3333	95	100	100
4	100	100	100	100
5	93.3333	80	100	100
平均值	97.9999	95	99	100

5次实验的平均正确率为97.99%。算法仿真平台为Matlab R2013a,处理器型号为3.50-GHz Intel Xeon E5-2637。

1.2.2 显示界面:显示界面能清晰观察到加速度信号的变化。由于系统后续计划加入肌电传感器,故界面中已设计肌电信号显示窗口,肌电信号在本次实验中暂时未采集,所以其显示通道不显示实际数值。

显示界面的主要功能有:①界面上设计有“连接”、“开始采样”、“保存”等按钮,相应的功能即为连接WIFI信号、开始采集信号以及保存数据;②页面设计有“连接”、“开始采样”、“保存”等按钮,相应的功能即为连接WIFI信号、开始采集信号以及保存数据;③能在多个节点或通道的信号间切换显示;④显示界面的横轴和纵轴的标度能移动、放大和缩小;⑤设计有回到主页、前进和后退的按钮;⑥能实时对保存的每段数据进行命名。由于能在界面实时观察到信号的变化,实验过程清晰可控。

2 讨论

本系统实现了信号实时采集、传输、显示和处理的功能,具有微型化、可穿戴、低功耗和动作识别精度高的特点。

前端可穿戴式设备中的从节点,小巧轻便,通过柔性导线的连接,方便放置于特定的位置,便于在穿

着衣物的同时直接穿戴在上肢进行信号采集。同时,个数能够增减,还可以添加其他类型的传感器。主节点的传输协议设计巧妙,无线传输的方式十分便捷。主从节点均优先选择功耗低的芯片组成电路,且WIFI模块打包发送数据的方式也能降低功耗,使得整个系统的功耗较低。

PC端的显示界面功能齐全,能人工控制数据采集的开始和停止,保存的数据段可自定义名称。多通道的设计,确保实时观察到全部信号波形的变化,很大程度上简化了实验操作。

在以往的研究中,Shyamal Patel等研究人员用六个加速度计(单轴或双轴)获取不同时期的脑卒中患者某一动作的加速度信号,继而分类,判断出患者不同的康复阶段,从而达到康复状态评估的作用,能得到85%—95%的正确率^[3]。Nizan Friedman等^[5]研究人员提出了一种基于加速度计的类似于腕表的可穿戴装置,用于检测日常生活中手腕和手指的使用。对于不同的数据集,对动作的平均分类准确率在92%—98%,但伴随有19%—28%的波动。相对于上文介绍的系统和动作识别方法,本系统分类准确率更高。一是因为系统性能优良,采集到的数据信噪比高;二是因为选择了恰当的特征描述信号的特点,虽然简单却颇为有效,且分类器性能较强。但是系统的主从节点的外形还需优化,信号处理算法的准确率可进一步提升,实验动作也可进一步丰富。

在今后的研究中,我们将拓展系统的性能,通过多传感器融合的方式识别更为复杂的动作;优化设备的工业设计、加强系统的可穿戴性,开展临床试验验证,推广到临床脑卒中患者的上肢动作康复状况的评估上和家庭医疗中。

参考文献

[1] Go AS, Mozaffarian D, Roger VL, et al. Heart disease and stroke statistics - 2014 update: a report from the American heart association [J]. Circulation, 2014, 129:e28—e292.
[2] Roy SH, Cheng MS, Chang SS, et al. A combined sEMG and accelerometer system for monitoring functional activity in stroke [J]. IEEE Transaction on Neural System and Rehabilitation Engineering, 2009, 17:585—594.
[3] Patel S, Hughes R, Hester T, et al. A novel approach to monitor rehabilitation outcomes in stroke survivors using (下转第453页)