

基于 ZigBee 技术的信息交互系统设计与实现

倪莉, 陈世瑜, 吕钊, 吴小培

(安徽大学 计算机科学与技术学院, 合肥 230601)

摘要: 基于生物电的人-机交互 (HCI) 技术作为特殊场景下常规人-机交互方法的一种补充, 具有非常广阔的应用前景; 为了解决基于生物电的 HCI 系统中多用户通信问题, 文章设计并实现了一种基于 ZigBee 技术的信息交互系统; 该系统主要由 ZigBee 无线通信模块、信息生成/处理模块、串口通信模块三部分组成, 用以实现多用户间使用眼电信号 (EOG) 进行无线信息交互; 在实验室环境下, 眼电信号有效检出率 98.2%, 传输距离在无遮挡、无路由的情况下可达到 70 m; 实验结果表明该系统具有识别率高、稳定性好、配置简单、使用方便等优点, 具有较强的实际应用价值。

关键词: ZigBee 技术; 信息交互系统; 串口通信; 编码/解码; 人-机交互技术

Design and Implementation of an Information Interaction System Based on ZigBee Technology

Ni Li, Chen Shiyu, Lü Zhao, Wu Xiaopei

(School of Computer Science and Technology, Anhui University, Hefei 230601, China)

Abstract: Human-Computer Interface (HCI) technology based on bioelectricity, which is a supplement to conventional HCI methods, has a broad application prospects. In order to achieve multi-user wireless information interaction in bioelectrical HCI system, an information interaction system based on ZigBee technology was proposed in this paper. The system was composed of ZigBee wireless communication module, information generation/processing module and serial communication module. Furthermore, EOG signals were used to generate interactive information by automatic detecting and coding. Effective EOG signal detection rate was more than 95%, and the transmission distance could reach 70 m without router and without shading and blocking under laboratory environment. Experimental results show that this system has the advantages of low power consumption, good stability, strong expansibility, easy to use and great practical value.

Keywords: ZigBee technology; information interaction system; serial communication; encoding/decoding; human-computer interface (HCI) technology

0 引言

基于生物电的人-机交互 (HCI) 技术作为常规人-机交互方法的一种补充, 已经获得了广大研究者的关注。例如, Bulling 等人通过对 EOG 信号的研究与分析来确定人体行为状态^[1]。王斐、王福旺等人对基于脑电信号的驾驶员的疲劳检测进行了较为深入的研究^[2-3]。可以看出, 基于生物电的人-机交互系统具有较强的实际应用价值, 已经成为新的研究热点。传统的基于生物电的 HCI 系统主要关注的是人与计算机之间的交互^[4], 而对于多用户间信息交互方法的报道相对较少。然而, 在一些实际应用场合, 多用户间信息交互是不可避免的。比如: 强背景噪声下的多人通信、战术侦察等场合, 无法使用语音进行直接通信, 而生物电信号, 尤其是眼电信号 (EOG) 具有较强的可控性、不易受外部环境影响且易于检测, 因此, 为了解决上述问题, 本文设计并实现了一种基于 ZigBee 的信

息交互系统, 用以实现多用户间使用眼电信号 (EOG) 进行通信。

1 系统总体设计方案

1.1 基本功能

系统构建一个基于 ZigBee 的无线通信平台, 其主要功能是实现不同用户间的无线信息交互。其中, 交互信息主要由对使用者自主控制下产生的不同次数眨眼信号的检测与编码实现, 比如: 当使用者连续进行两次到三次眨眼时, 系统根据检测结果产生一种交互信息, 同样当检测到两次-四次眨眼时, 则会产生另外一种交互信息。

1.2 系统组成及原理

基于 ZigBee 技术的信息交互系统主要由 ZigBee 无线传输模块、信息生成/处理模块和串口通信模块三部分组成, 其基本组成框图如图 1 所示。

图 1 中, ZigBee 无线传输模块主要由网络协调器及若干子节点组成, 用于实现网络协调器与子节点之间的通信。信息生成/处理模块是由信息输入/输出单元和编码/解码单元组成, 该模块不仅可以用于检测使用者的眨眼次数并对其进行编码以生成交互信息, 同时还将接收的信息进行解码并输出。串口通信模块是主要用以实现信息生成/处理模块和 ZigBee 无线传输模块之间的信息传输。

结合图 1, 以用户 A 向用户 B 发送信息为例简要说明系统

收稿日期: 2014-08-28; 修回日期: 2014-09-30。

基金项目: 国家自然科学基金 (61271352); 安徽省自然科学基金 (1408085QF125); 计算智能与信号处理教育部重点实验室开放基金。

作者简介: 倪莉 (1993-), 女, 安徽阜阳人, 主要从事计算机应用与无线传感网方向的研究。

吴小培 (1966-), 男, 安徽贵池人, 教授, 博士生导师, 主要从事智能信息处理与人-机交互技术方向的研究。

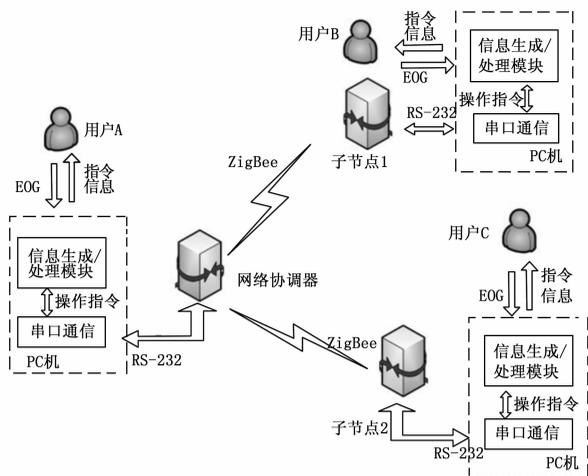


图 1 系统组成框图

工作过程。首先，由计算机自动检测用户 A 的眨眼次数并进行编码以获取操作指令，然后该指令信息经串口通信模块传递给网络协调器并发送，子节点 1 接收数据后利用串口将数据发送到 PC 机，再由信息生成/处理模块根据操作列表对该数据进行解码来获取用户 A 所要表达的意图，如：前进、后退、休息等，并将处理结果通过文字与语音两种方式反馈给用户 B。反之亦然。

2 系统实现方法

2.1 ZigBee 无线传输模块

2.1.1 ZigBee 硬件设计

网络协调器及若干子节点均由四部分组成，即功能模块、存储模块、ZigBee 射频模块和能量供应模块。

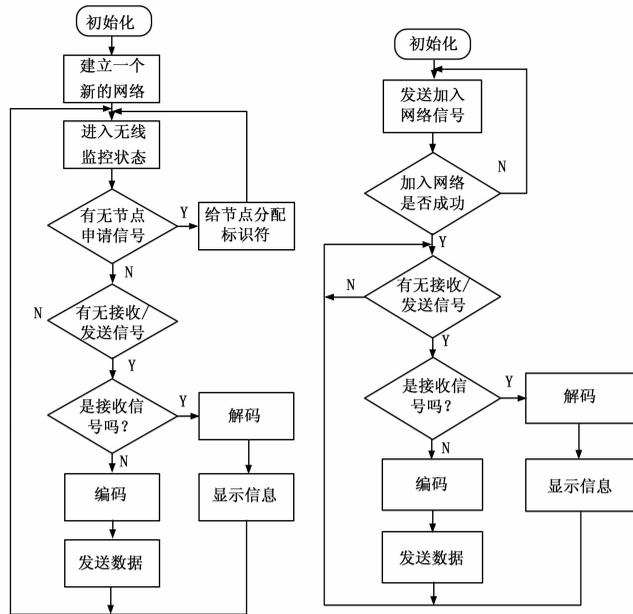
其中，功能模块负责监测区域内指令信息的接收和数据转换^[5]；存储模块对接收和发送的数据进行存储并且处理；ZigBee 射频模块负责网络协调器和若干子节点之间进行相互通信，交换控制信息、接收和发送数据；能量供应模块为网络协调器和若干子节点提供工作时所需的能量。

通常，网络协调器和子节点之间点可以通过星状连接、串状连接和网状连接等方式组成网络^[6-7]，本系统为了提高稳定性、降低成本，采用了星状连接方式。

2.1.2 ZigBee 网络的组建

网络协调器、各子节点及其无线信息交互过程如图 2 所示。

在网络协调器端，如图 2 (a) 所示，首先对网络进行格式化等初始化操作，如果网络初始化成功，则在 PC 机上显示“网络已组建”等成功建立网络的一些信息。网络建成后，则进入无线监控状态，由无线监控处理函数执行对空中 ZigBee 信号的不间断监控。若此时有子节点申请加入网络，网络协调器按照子节点加入网络的先后顺序分配 PAN ID (personal area network ID, 标识符) 并确保该 PAN ID 不会与现有网络的 PAN ID 冲突，同时在 PC 机上会显示加入网络的子节点的物理地址。若没有子节点申请，则继续监测是否接收或发送信号，若为发送信号，先对信息进行编码，后进行数据发送，发送成功之后再次进入无线监控状态。若接收信号，则将接收到



(a) 网络协调器流程图

(b) 子节点流程图

图 2 ZigBee 组网流程图

的信息进行解码，进而在 PC 机上显示，之后进入无线监控状态。若无接收信号，也无发送信号，直接进入无线监控状态。

在子节点端，如图 2 (b) 所示，各子节点初始化后可以在 PC 机上看到自己的物理地址并且开始发送加入网络信号。如果加入网络失败，则继续发送加入网络信号，直到成功加入网络为止。加入网络成功后，所加入网络的物理地址和分配的网络号将会在子节点所连的 PC 机上显示。之后无线监控处理函数则始终监测空中的 ZigBee 信号，若要发送信息，则通过调用发送子函数发送数据，发送成功之后再次进入无线监控状态。若接收信息，则将接收到的信息进行解码，进而在 PC 机上显示，之后进入无线监控状态。若既无接收信号，也无发送信号，进入无线监控状态。

2.2 信息生成/处理模块

该模块主要用来实现 EOG 信号的检测及发送指令的生成。

2.2.1 EOG 信号的检测

系统通过安置在使用者眼睛正上方的生物电极传感器实现对 EOG 信号的采集，为了对眨眼次数进行统计，我们首先对原始 EOG 信号 (图 3 (a)) 进行归一化处理，归一化后的波形如图 3 (b) 所示；接着，对其进行差分处理，得到相应的差分波形 (如图 3 (c))，最后丢弃负脉冲，在一定时间间隔内统计正脉冲的个数即是使用者的眨眼次数。为了有效判定连续眼部动作的属性，根据经验，系统设定不同眨眼动作间的时间间隔为 1 s，即在图 5 中当 $T \geq 1$ s 时，我们认定其为两次不同的连续眨眼，即 2 次眨眼与 3 次眨眼的组合，否则认为是连续 5 次眨眼。

2.2.2 交互信息的生成

由于 1 次眨眼与无意识的正常眨眼难以区分，而 5 次眨眼对使用者来说，控制起来有一定难度，因此，系统主要使用了 2 次、3 次与 4 次眨眼。为了增加可控的交互信息个数，我们

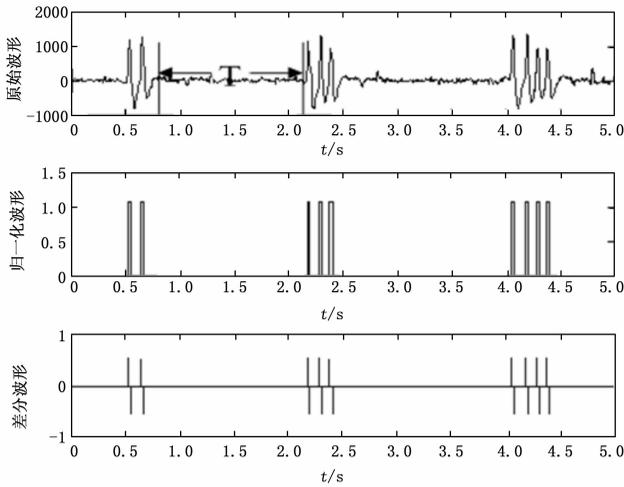


图 3 眨眼次数统计过程波形图

对 EOG 信号的检测结果进行了编码, 其眨眼次数组合及对应的交互信息关系如表 1 所示。需要说明的是, 眨眼次数组合 4—2 为系统复位操作, 该指令执行后, 系统将对该用户眨眼次数清零后重新统计, 以保证发送指令的准确性。

表 1 操作列表

眨眼次数组合	交互信息	发送信息	眨眼次数组合	交互信息	发送信息
2—2	前进	qianjin	3—4	向后转	houzhuo
2—3	后退	houtui	4—2	复位	无
2—4	休息	xiuxi	4—3	预留	预留
3—2	左转	zuozhuan	4—4	预留	预留
3—3	右转	youzhuan	5	启动	无

2.2.3 基本工作流程

信息生成/处理模块的基本工作流程如图 4 所示。

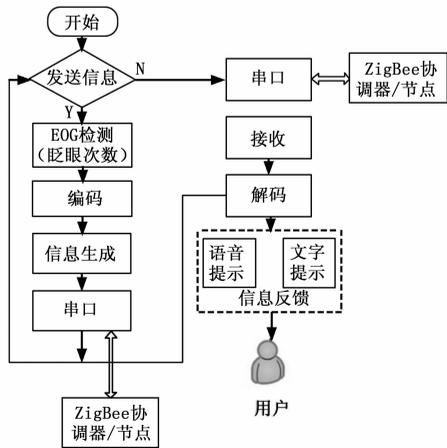


图 4 信息生成/处理流程图

首先系统会判断其工作状态, 如果需要发送信息, 则系统将会自动转到对 EOG 信号的检测, 并对其进行编码及生成待发送的交互信息, 从串口发送至 ZigBee 协调器/节点, 之后进行其工作状态的判断, 既而进入下一个循环; 反之, 如果系统

处于接收状态, 则系统将从在 ZigBee 协调器/节点所获取的信息通过串口发送到 PC 机, 由 PC 机将接收到的交互信息通过查找操作列表进行解码, 获取相应的指令, 并通过文字与语音两种方式反馈给使用者, 之后进行其工作状态的判断, 既而进入下一个循环。

2.3 串口通信模块

2.3.1 硬件设计

该模块主要用于实现 ZigBee 模块与 PC 机间的数据传输。在信息发送时, 所需传送数据经由该模块转换成 TTL 电平并通过 ZigBee 无线传输模块发送; 反之, 在接收信息时, 该模块将 ZigBee 无线传输模块所接收到的交互信息转换成 RS-232 的标准电平后传送到 PC 机以供后继处理。为了降低成本, 同时保证系统的稳定性, 我们选取了 MAX232 芯片^[8-9], 其硬件电路设计的原理图如图 5 所示。

2.3.2 软件设计

串口通信的基本过程描述如下: 网络协调器及子节点的串口进行初始化, 启动定时/计数器 1, 进入数据传输状态。取存储区数据并启动串行发送, 判断数据是否发送完毕, 若数据没有发送完毕, 则再次进入取存储区数据并启动串行发送状态, 直到数据发送完毕为止。数据发送完毕后, 串口进入等待 PC 机命令状态, 本次数据传输结束。

在用户信息交互过程中数据到达串口是间歇性和无规律性的, 但是又不能因为来不及处理而将突然到达的监测数据丢失^[10]。因此, 需要软件部分对串口进行实时监控。实时监控有两种方式: 一是反复读端口的轮询方式; 另一种是端口中断的异步方式^[11]。由于反复读端口效率低下, 故采用端口中断的异步方式。为了避免轮询间隙丢失数据, 一旦有数据到达端口, 立即抛出中断请求, 同时启动中断处理函数处理到达的数据。为了防止多个线程同时对同一个变量进行操作引起时序上的差错和进行文件操作等耗时操作时会引发阻塞现象的发生, 分别采用了临界区加解锁的技术和采用多线程方法, 并且为满足实时监控类程序的实时显示功能使用了定时器。

3 系统测试

3.1 测试条件

测试共有 15 名实验者参加, 其中 9 个男生 6 个女生, 年龄在 20~27 周岁之间, 身体健康且无眼部疾病, 测试前没有经过专门训练。测试过程中, 测试者分为 5 组, 每组 3 人, 每人使用一个系统终端, 轮流进行测试。

测试者安装的电极分为主电极、接地电极和参考电极。其中, 一个主电极安装于测试者的前额位置, 用以采集测试者的 EOG 信号; 一个接地电极和两个参考电极, 均安装于使用者耳部。

在 ZigBee 组网及串口通信方面, 系统使用 1 个网络协调器与 2 个终端节点组成了测试网络, 串口通信波特率为 57 600 bps, 数据格式为 8 个数据位、1 个停止位、无奇偶校验位。

3.2 测试步骤

实验开始时, 受试者首先将会听到时长为 0.5 s 的声音提示, 之后, 进行连续 5 次眨眼作为开始识别眨眼的触发事件, 则系统开始对眨眼次数进行检测。受试者可以在屏幕上看到眨眼次数组合和对应的指令信息。操作者依据屏幕提示完成眨眼

操作后，屏幕上会显示此次操作的检测结果，即指令信息。将此指令信息与刚才屏幕上提示的指令信息进行对比，如果相同，受试者进行 3 次眨眼将发送此指令信息，否则，受试者进行连续 4 次眨眼，代表取消该指令的发送，并且对用户最近一次的操作进行清除。之后，会有一个 2 s 的短暂休息，受试者可以闭眼、放松。每名实验者分别采集 20 次不同眨眼次数组合的连续眼电信号，单次实验范式流程图如图 6 所示。

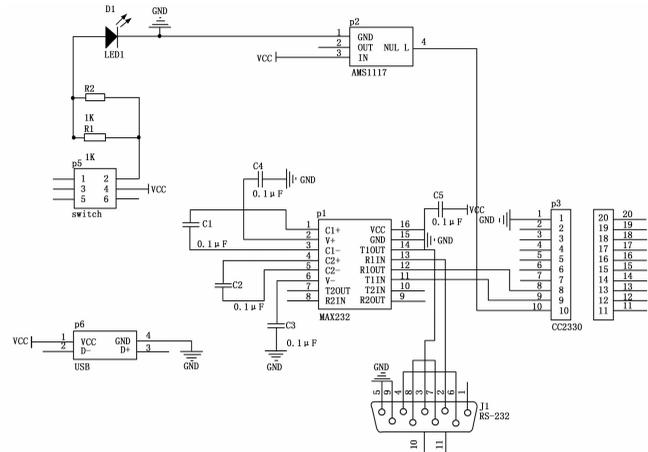


图 5 串口通信电路原理图

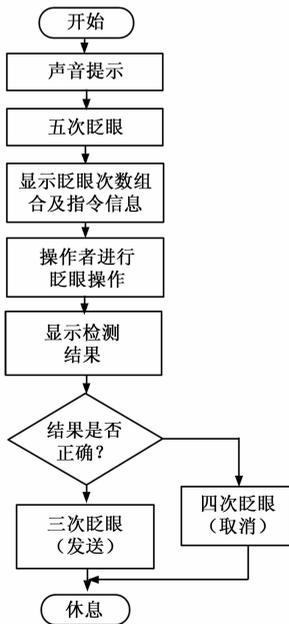


图 6 单次实验范式流程图

3.3 测试结果

本文设计的基于 ZigBee 技术的信息交互系统可以在多用户之间实现通信，且系统运行稳定。

为了统计 EOG 检测算法的性能，我们定义了 EOG 信号有效检出率 P ，其计算方法如下：

$$P = \frac{S_a}{S_m} \times 100\% \quad (1)$$

式中， S_a 表示算法有效检出眨眼次数总和， S_m 表示人工统计眨眼次数总和，对所有测试数据统计后得到 P 值为 98.2%，达到了较为理想的检测效果。另外，经过多次系统测试，其它性能描述如下。

- 1) 传输距离：传输距离在无遮挡、无路由的情况下可达到 70 m；
- 2) 工作电流：在接收状态下约为 30 mA，发射状态下约为 27 mA，休眠电流为 1 μ A；
- 3) 丢包率：小于 0.5%；
- 4) 工作温度：-20°~60°C；
- 5) 工作电压：2.8~3.5 V；
- 6) 网络最大容量：256 个节点。

上述参数基本达到了系统设计的要求，具有功耗低、稳定性好、扩展性强、使用方便等优点。

4 结语

本文提出了一种基于 ZigBee 的信息交互系统，该系统实现了多用户间通过眨眼来进行信息交互，取得了较为理想的效果。该系统不仅可以应用于在一些特殊的应用场景下，比如：临床病人的监护、残疾群体与外界环境的交互、无声的环境下的通信等方面，还可以在工业控制、医疗保健、航空航天等需要进行信息交互且不利于布线的场景下应用，具有较强的实际应用与推广价值。

参考文献：

- [1] Bulling A, Weichel C, Gellersen H. EyeContext: Recognition of high-level contextual cues from human visual behaviour [A]. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems [C]. ACM, 2013: 305-308.
- [2] 王 斐, 王少楠, 王惜慧, 等. 基于脑电图识别结合操纵特征的驾驶疲劳检测 [J]. 仪器仪表学报, 2014, 35 (2): 398-404.
- [3] 王福旺, 王 宏. 长途客车驾驶员疲劳状态脑电特征分析 [J]. 仪器仪表学报, 2013, 34 (5): 1146-1152.
- [4] 董士海. 人机交互的进展及面临的挑战 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16 (1): 1-13.
- [5] 王雅荟, 杨雷鹏, 范蟠果. 基于 ZigBee 技术的油田远程监控系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (2): 374-376.
- [6] 唐 涛. ZigBee 技术与应用 [J]. 数字通信世界, 2013 (4): 78-81.
- [7] 彭 友, 杨恢先, 满 莎. 蚁群优化和能量管理的 ZigBee 网络路由 [J]. 计算机应用, 2011, 31 (2): 335-337.
- [8] 戴 敏, 王宜怀, 潘启勇. 基于 Zigbee 技术的智能家居系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (3): 706-708.
- [9] 潘 方. RS232 串口通信在 PC 机与单片机通信中的应用 [J]. 现代电子技术, 2012, 35 (13): 69-71.
- [10] Yanling LIU. The use of communication between MCS-51 single chip microcomputer and PC microcomputer with MAX232 [J]. Journal of Tianjin Institute of Technology, 1999, 26 (12): 57-61.
- [11] 雒 莎, 葛海波. 基于查找表的自适应 Huffman 编码算法 [J]. 西安邮电学院学报, 2011, 16 (5): 76-79.