

基于镜像神经系统机制的语音动作康复训练系统设计^①

卢振利^{②*} 马志鹏^{***} 波罗瓦茨·布朗尼斯拉夫^{***} 梅尼科·麦然^{****}

(* 常熟理工学院电气与自动化工程学院 常熟 215500)

(** 中国矿业大学信息与控制工程学院 徐州 221116)

(*** 诺维萨德大学技术科学学院, 诺维萨德 21000, 塞尔维亚)

(**** 马里博尔大学, 马里博尔 462000, 斯洛文尼亚)

摘 要 本文主要针对不随意运动型脑瘫患儿,通过人机交互(HCI)的模式结合仿生机械手达到脑瘫康复训练的目的。整体设计中采用了单片机 Arduino mega 2560 为主控制器,显示屏 1602 作为数据显示,语音模块采用 LD3320 语音芯片,LabVIEW 作为上位机显示患者需要识别的手势动作图片。当运行开始后,脑瘫患儿通过观看上位机界面上随机切换显示的图片,对应说出图片的内容,利用语音芯片进行语音辨识,识别后的数据在显示屏上显示,并利用串口传送的方式传递给上位机相应数据,系统将进行判断是否正确,并且记录脑瘫患儿做出反应的时间和正确率,机器手接收到语音识别后的正确数据,会做出与上位机显示图片一致的动作手势,达到训练脑瘫患者反应能力、说话能力以及认识各类手势动作的学习能力的目的,较好地实现脑瘫患者的康复训练。

关键词 单片机, 手抓动作, 人机交互(HCI), LabVIEW, 脑瘫康复训练

0 引 言

小儿脑性瘫痪也称小儿大脑性瘫痪,通俗来讲就是脑瘫。按照患儿的肢体障碍情况及运动功能障碍可分为痉挛型、手足徐动型、共济失调型、混合型这4大类。而作为发病率最高的痉挛型脑瘫,包括肌肉强直和痉挛,在所有脑瘫患者中的比例达到了50% ~75%,居于首位^[1-3]。

人的认知能力、模仿能力都建立在镜像神经元的功能上,它可以让人直接执行一些简单的动作以及模仿他人的动作,从而使得镜像机制成为人与人联系的桥梁^[4]。在此基础上提出镜像神经系统机制,通过这一机制,使患者理解一些简单的手势与动作。

本文基于语音辨识的脑瘫康复训练系统,采用了串口通信的方式,使得上下位机信息相互传送,结合仿生机械手,来训练痉挛型脑瘫患儿。

1 系统设计

本课题针对脑瘫患者康复训练系统设计,选择了单片机 Arduino mega 2560^[5] 控制驱动整个电路。语音模块采用 LD3320 语音芯片^[6,7],通过非特定型语音识别模块的录入和识别,根据语音芯片内部的关键字拼音库,将芯片采集到的声音信号转化为库中的拼音,进行识别匹配。

当每次上位机显示不同手势动作图片时,脑瘫患儿根据上位机显示的图片,对着语音芯片说出对应图片的名称,利用语音芯片进行语音识别,液晶显

① 中国斯洛文尼亚政府间科技合作交流项目和中国塞尔维亚政府间科技合作交流项目资助。
② 男,1974年生,博士,硕士生导师;研究方向:机器人智能控制;联系人,E-mail: zhenlilu@cslg.cn
(收稿日期:2018-06-04)

示屏将会显示出识别到的文字拼音,识别到的数据利用串口传送的方式发送给上位机,上位机接收到数据后,将与显示的图片内容进行对比,并且记录脑瘫患儿识别的时间和正确率,同时对机器手势动作

进行分析定义,正确后系统将会给机器手发送数据,使得机器手能做出与上位机图片一致的手势动作,帮助患儿理解上位机图片中的真正含义。本系统的设计框图整体如图 1 所示。

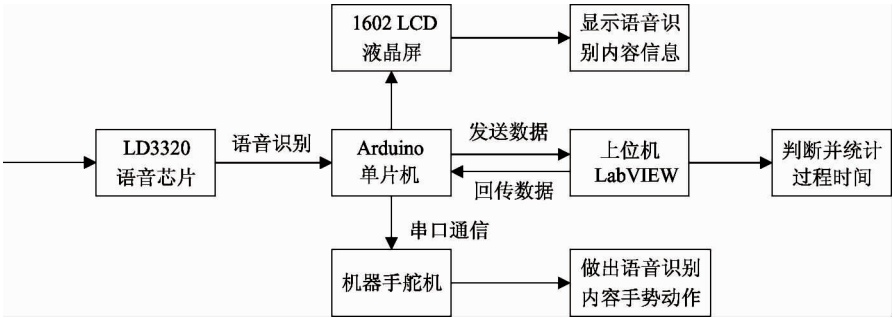


图 1 脑瘫康复训练系统整体框图

2 下位机系统设计

2.1 硬件设计

本设计中硬件部分采用了单片机 Arduino mega 2560作为主控制器,用以驱动整个电路系统,显示屏 1602 作为数据显示,语音模块采用 LD3320 语音芯片,用以语音辨识,仿生机械手内部舵机接在单片机传感器扩展板上。单片机作为整个硬件电路的核心,首先对采集到的语音信号进行识别与比较,并将所得的最优效果以串口形式发给上位机,同时使得数据显示在液晶屏上,然后将上位机回传数据发送给机器手舵机,控制舵机做出语音识别内容相同的手势动作。

2.2 语音识别

语音识别的过程,可以理解为是将用户说的内容通过频谱分析并转换成对应信息,和内部构建的关键词词库进行匹配,将匹配率最高的结果作为最终的识别结果。在该系统的设计当中,语音识别列

表即关键词词库是脑瘫患儿对应图片说出胜利、厉害、握拳和支持这 4 个词语。在语音芯片的单片机内部首先要先写入这 4 个关键词,使得放置在寄存器中方便调用^[8-10]。表 1 为关键词列表。

2.3 仿生手舵机控制

仿生手做出类似于人的各种不同手势,实际上是利用了仿生手内部五根手指连接的舵机发挥作用。但实际情况是舵机的旋转不同于所看到的普通电机那般圆圈式的转动,而是通过下达的编程指令,在 0°至 180°之间的范围内不停旋转,直至接到指令使其停止转动。调节 PWM(脉冲宽度调制)信号的占空比可以改变舵机的转动的角度。

在实际操作中,先对其需要做出的手势动作进行分析与定义,例如做出“胜利”手势即表示为食指与中指不改变起始参数,大拇指、无名指和小指都需要弯曲转动 160°。在这里需要指明的是,按照理论大拇指、无名指和小指应该弯曲 180°,但考虑到极限值弯曲时容易造成仿生机械手内部的大舵机磨损严重,所以选择了极限值范围内的角度进行参数设置。对其他的手势动作的定义分析运用了上述的类似原理。手势定义完成后,再应用简单语言编程串口通信,需要接收到主控制器传达的指令后,各关节才能够按照起始手势动作定义的参数进行相应操作,做出对应的手势动作。仿生机械手动作流程如图 2 所示。

表 1 语音识别列表

编号	字符串
0x01	zhichi
0x02	woquan
0x03	lihai
0x04	shengli

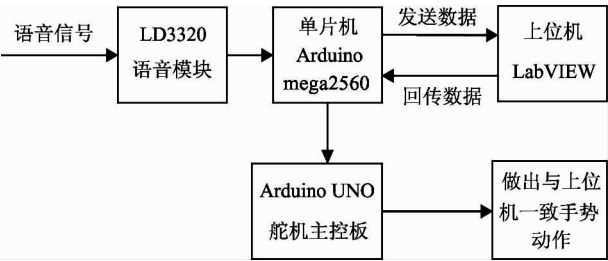


图 2 仿生机械手动作流程框图

3 上位机系统设计

本系统应用 LabVIEW^[11,12] 作为上位机,目的是实现人机交互 (human-computer interaction, HCI) 下,上位机能够帮助判断脑瘫患儿的反应能力,以及综合训练患儿的说话能力和正确认识各种手势动作的能力。当采集到语音信号,进行识别并判断后,单片机将所得结果通过串口传送给上位机,由上位机进行判断和统计时间,并且能够实时显示每次所得结果的时间曲线和正确率统计结果。

3.1 串口通信系统设计

为确保上下位机的串口通信一致,使用 VISA 的仪器,应用了标准输入/输出接口。VISA 不仅可以有效地控制串口、USB 和其他设备,实现串口的相互通讯,还能够根据使用的仪表类型调用相对应的驱动程序、操作系统和其他编程环境(见图 3)。换句话说,无论是哪一种设备、操作系统和编程语言,都可以应用相对应的程序接口。所以选择合适的仪表控制方法是十分重要的一个环节。

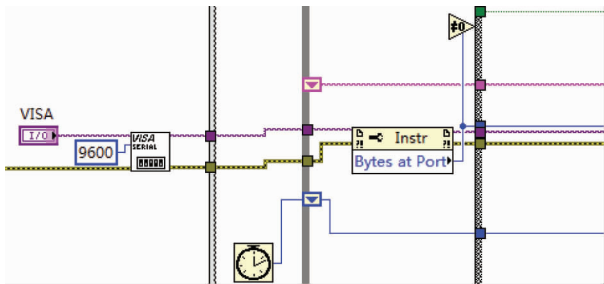


图 3 串口数据读取和连接

3.2 数据传送处理模块

数据写入二进制文件,被收集到的数据首先会存储在一个数组内,接着通过连接“电子表格字符

串”功能,经过该功能处理后,数组将会转换为 16 进制字符串的形式,然后将所得的数据写入该二进制文件内。若想方便统计各数据,也可以选择连接字符串“日期/时间”功能,这样做的目的是可以进行实时图像识别时间统计记录,编写一个二进制文件。

3.3 评价测试结果

LabVIEW 实现在人机交互模式下对脑瘫患儿的综合能力的康复训练。上位机通过对患儿的评价系统画面监测,经过实践证明各模块都能稳定工作,能够确保上位机和下位机之间的数据发送和回传,实现上、下位机间的通讯,前面板并能实时显示脑瘫患儿识别的正确率和反应时间。

借助清楚排版的前面板,直观有效地测试数据,以及多次的实验测试,可以得到有效的结果证明,并且通过前面板上的实时显示用时和正确率的图表,更加清晰地得知每个患儿在进行单次测试时的效果情况,使得功能逐步完善,可以满足本设计系统的需求。

当整体电路系统构建完成之后,单片机与计算机进行串口通讯,正常开始运行上位机 LabVIEW 程序,当第一个串口初始化的绿灯进行闪烁时,表明通信成功,可以继续往下实验。若是脑瘫患儿根据上位机上显示的图片语音识别正确后,上位机界面将作出判断,绿色指示灯亮,并且记录患儿反应识别的用时情况。上位机并能实时显示每次患者测试时的时间统计和正确率的运算。上位机评价系统运行界面如图 4 所示。

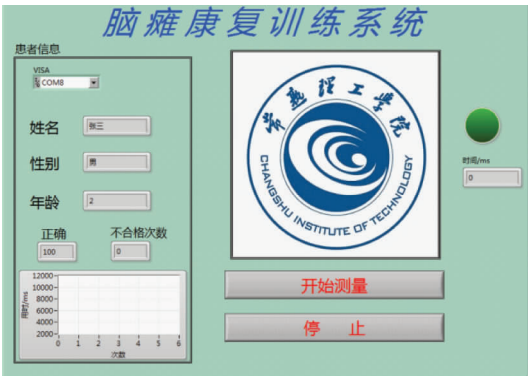


图 4 上位机评价系统界面显示图

4 系统运行调试

4.1 语音识别模块调试

当语音芯片与单片机连接后,待到上电之后,LED 灯亮,表示语音芯片与单片机连接已经正常。此时若对着语音芯片说“支持”,显示屏能正确显示相同文字信息“zhi chi”,即表明语音芯片测试正确。如图 5 所示。

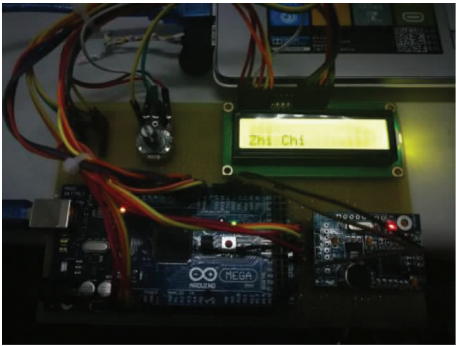


图 5 语音芯片测试图

4.2 仿生机械手调试

仿生机械手在本系统设计中的作用是为了帮助脑瘫患儿正确认识上位机显示的各种不同手势动作的正确含义。患儿对照着上位机的不同手势图片时,作出反应并说话,识别正确后,机械手将作出与上位机一致的图片动作。仿生机械手具体调试结果如图 6 所示。

4.3 上位机模块测试

打开上位机 LabVIEW,界面会跳出将要进行康复训练的脑瘫患儿信息的输入框。在填写完每个患儿的相关信息后,就表示即将要开始测试了,同时提醒患儿务必加强注意力,以保证实验的正常进行。患者信息输入测试图如图 7 所示。

当上位机界面显示手势图片“支持”时,患者需要对语音芯片说出“zhi chi”,若判断正确后,指示灯亮,并且系统将会统计患者识别的用时长短,时间是以毫秒来计算的。接着,上位机将间断显示图片,给患者进行康复训练。上位机测试图如图 8 所示。

5 系统评估

5.1 训练方法

打开LabVIEW软件程序,启动上位机界面后,

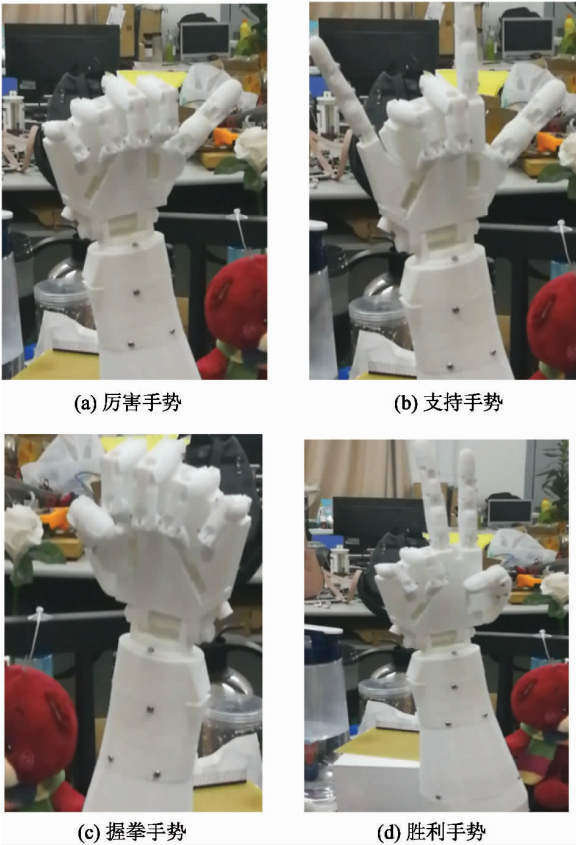


图 6 仿生机械手势测试图

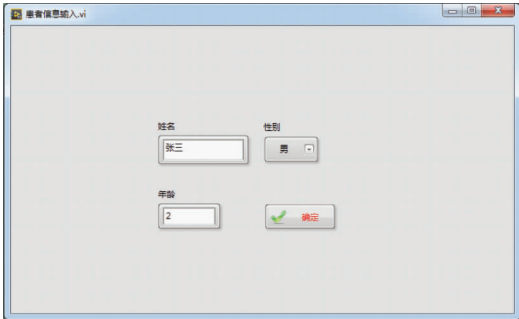


图 7 患者信息输入测试图



图 8 上位机测试图

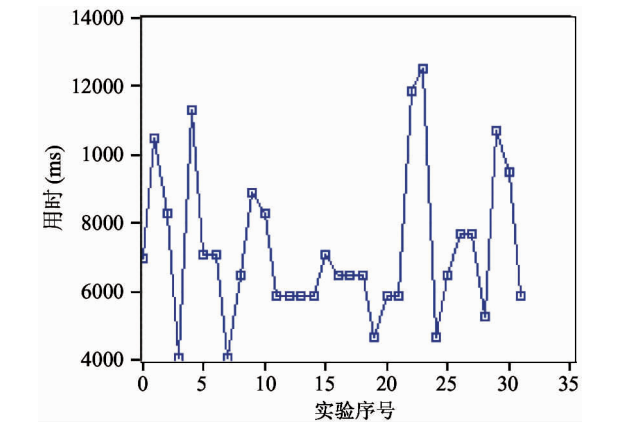
上位机界面首先会跳出一个患者信息输入框,用以帮助记录不同脑瘫患者的康复训练效果;当单片机与上位机连接后,单片机上电,初始化后,点击上位机界面的开始测量后,界面将会随机跳出不同手势动作的图片,具体有“支持”、“厉害”、“握拳”和“胜利”4 种不同的手势动作,脑瘫患儿对着显示的图片说出图片的内容,评价系统会根据语音识别后的信息作出判断,若为正确则指示灯亮并且系统将会记录患儿的反应时间,仿生机械手做出与显示图片一致的动作。在上位机的编程中,若是患儿识别的时间超过10 s,则判定为不合格、不正确。

5.2 案例分析^[13,14]

案例 1 患者 A 为女性,6 岁,临床诊断结果为不随意运动脑瘫。症状主要表现为手肢体运动有困难、握物能力差、交流能力较好、注意力集中时间比较长。语言诊断结果为语言发育基本正常。

测试结果评定:为了确保康复效果评估的准确性,本文进行了实验的测试,在多次的测试中,特别针对单个图片的识别时间及正确率作了研究,对于单个图片,本研究选择了“握拳”与“厉害”进行比较。以下是 30 次的测试结果及单个手势动作图片的识别统计情况。

根据上位机实时显示的统计图来分析,患者 A 在 30 次测试中的稳定性呈现一定的规律。图 9 所示是患者 A 在进行 30 次测试中上位机实时显示的图表分析情况。



根据表 2 和图 10 可以发现,患者 A 在识别“厉害”手势图片时,整体呈现不稳定性,且正确率较低,识别的时间处于波动当中,对单个图片的敏感程度有所差异。

表 3 为患者 10 次识别“握拳”手势图片的数据记录,表中记录了患者在识别“握拳”手势动作时的时间和正确率情况。

表 3 识别“握拳”动作数据记录统计表		
患者 A		
实验序号	“握拳”手势识别	
	时间 (ms)	正确率 (%)
1	4036	100
2	4039	100
3	5854	100
4	4644	100
5	5427	100
6	4641	100
7	4283	100
8	4862	100
9	4468	100
10	5024	100
统计结果	不及格次数	0
	总正确率 (%)	100

图 11 为识别“握拳”手势的时间及正确率。

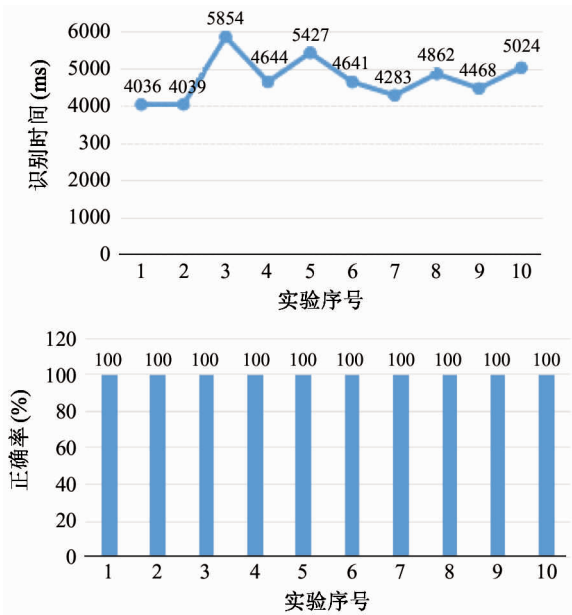


图 11 “握拳”手势识别时间与正确率

从表 3 和图 11 中可以发现,患者 A 在识别“握拳”手势图片时,基本保持在较高的测试水平。随着次数的增加,正确率较高,且反应识别的时间逐步缩短至一般水平。与识别“厉害”手势图片相比较,患者对“握拳”图片的敏感程度更高,且该患者是说话交流能力基本具备,说话的能力较好,主要缺陷在于运动方面。

综合整体的测试结果,可以分析得出:患者对单张图片的识别度比较敏感,针对性的手势动作能够引起患者的兴趣,让患者集中注意力,所以中期所识别的时间与正确率都处于中上的水平,而随着实验测试次数的增加,患者基本对图片都已经掌握,没有什么新意,正确率基本保持到 70% ~ 80% 之间;当后面实验次数增加到 20 次以上后,患者的注意力不如之前集中,实验对患者的测试效果不明显。这种情况下,可以多增加不同含义的新颖的手势动作图片,对患者帮助更大。

案例 2 患者 B 为男性,4 岁,临床诊断为痉挛性脑瘫。症状主要表现为不爱与人交流、说话能力低、表达能力低下且说话清晰度差。语言诊断结果为语言发育迟缓伴构音障碍。

测试结果评定:对患者 B 进行相同的测试,以下是 30 次的测试结果及单个手势动作图片的识别统计情况。

根据上位机实时显示的统计图来分析,患者 B 在 30 次测试中的稳定性呈现一定的规律。图 12 所示是患者 B 在进行 30 次测试中上位机实时显示的图表分析情况。

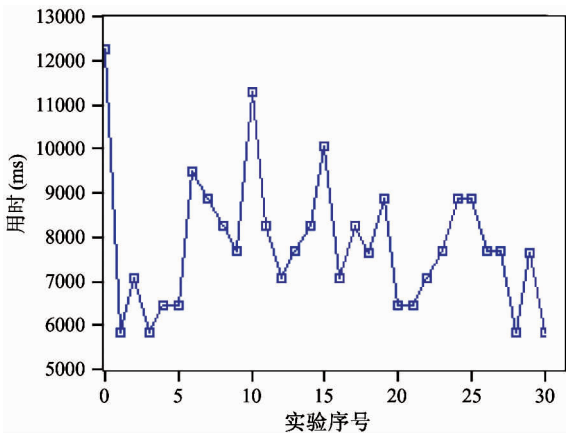


图 12 患者 B 30 次测试实时显示情况

从图 12 可以看出患者 B 在这 30 次测试中,前期呈现不稳定性,中后期的稳定性较好。在第 1 次和第 10 次对“支持”手势动作进行识别时,患者的识别程度很低,都为不正确,而随着测试次数的增加,患者的识别时间也在逐步降低,从第 15 次到第 25 次基本处于识别时间短的状态。

表 4 为患者 10 次内识别“支持”手势动作图片的数据记录,表中记录了患者在识别“支持”手势动作时的效果情况。

根据表 4 和图 13 可以发现,患者 B 在识别“支持”手势图片时,前阶段的识别正确率很低,且反应时间过长,因为该患者智力低下,对个别图片的认知存在差异。但随着训练次数的增加,患者识别的波动率逐步降低,中后阶段基本保持在一定的水平,识别时间基本维持在 7 至 8 s,正确率也稳定下来,康复效果训练有着一定的作用。

表 5 为患者 B 10 次内识别“胜利”手势动作图片的数据记录,表中记录了患者在识别“胜利”手势动作时的效果情况。

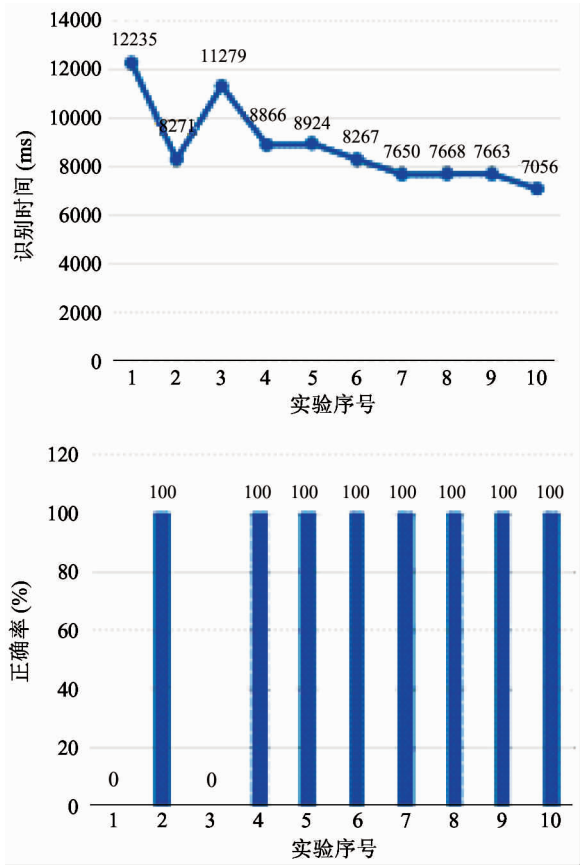


图 13 “支持”手势识别时间与正确率

表 4 识别“支持”动作数据记录统计表		
患者 B		
“支持”手势识别		
实验序号	时间(ms)	正确率(%)
1	12235	0
2	8271	100
3	11279	0
4	8866	100
5	8924	100
6	8267	100
7	7650	100
8	7668	100
9	7663	100
10	7056	100
统计结果	不及格次数	2
	总正确率(%)	80

表 5 识别“胜利”动作数据记录统计表		
患者 B		
“胜利”手势识别		
实验序号	时间(ms)	正确率(%)
1	5851	100
2	8866	100
3	8267	100
4	10076	0
5	8872	100
6	7668	100
7	7667	100
8	5851	100
9	5850	100
10	5847	100
统计结果	不及格次数	1
	总正确率(%)	90

图 13 为识别“支持”手势的时间及正确率。

图 14 为识别“胜利”手势的时间及正确率。

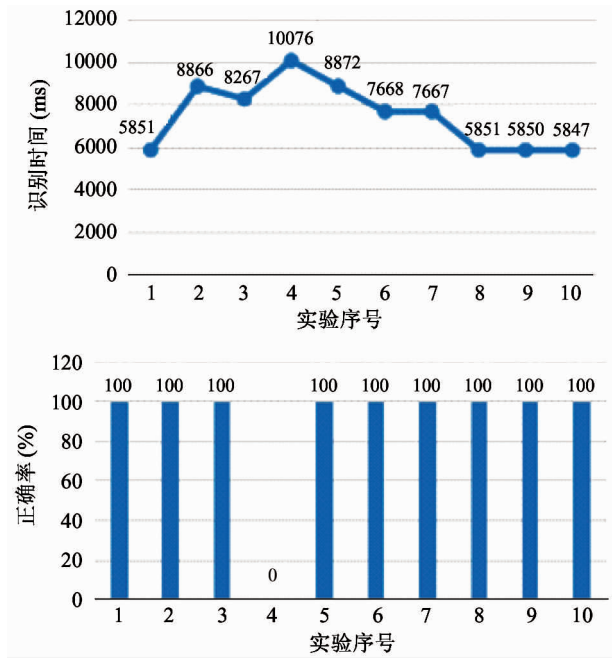


图 14 “胜利”手势识别时间与正确率

从图 14 和表 5 可以发现,患者 B 在识别“胜利”手势图片时,第 1 次到第 5 次的识别时间呈现增长的趋势,第 5 次以后,识别的时间逐渐降低,并能保持在一般水平。与识别“支持”手势图片相比较,患者此时的识别正确率也处于上升阶段。

综合整体的测试结果分析得出:当患者进行初期测试时,所识别的时间与正确率都处于较低的水平,而随着实验测试次数的增加,患者能够减少识别的时间,并逐步增加正确率,但是整体呈现不稳定的状态;当实验次数增加到 15 次以上后,患者基本能适应整个过程,反应的时间较之前缩短的幅度加大,正确率也基本稳定下来,反映出整个康复训练有一定的实验效果。

6 结 论

本文设计了基于语音辨识技术的脑瘫康复训练设计,主要针对运动障碍的脑瘫患儿,采用了单片机和语音芯片的结合,并借助仿生机械手做出各种手势动作,以串口通信的方式实现上、下位机之间的数据传送,对脑瘫患儿的各项数据进行记录。以 10 次为一个疗程,30 次为一个周期,分析患者康复训练的效果,为临床患儿诊疗提供参考数据。

参考文献

[1] 王秋根,张秋林主编. 脑瘫[M]. 上海:第二军医大学出版社,2001. 6-6

[2] 陈旭红著. 图解脑瘫康复技术与管理[M]. 北京:华夏出版社,2007. 8-8

[3] 侯梅,赵荣安,李玉堂,等. 脑瘫患儿构音障碍特点与言语治疗[J]. 中国康复,1999(2):86-87

[4] Lu Z, Silva F, Zhang L, et al. MNSM-inspired method for the motion control of dual-arm robot[C]. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Shenzhen, China, 2013. 1341-1346

[5] 刘一主编. 基于 STM32 的嵌入式系统设计[M]. 北京:中国铁道出版社,2015. 9-9

[6] 贺无名. 语音识别技术及其研究进展[J]. 中国科技信息,2006(18):157-158

[7] 周军. 语音辨识在医疗设备中应用探讨[J]. 医疗装备,2009,22(1), doi :10.3969/j. issn. 1002-2376. 2009.01.004

[8] Koerner M 编著,李逸波等译. 最新语音识别技术[M]. 北京:电子工业出版社,1998.04

[9] 张志霞,韩慧莲,薛宏伟. 语音识别技术分析[J]. 电脑开发与应用,2008,21(12):33-35

[10] 洪家平. LD3320 的嵌入式语音识别系统的应用[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2012,12(2):47-49

[11] Huang H H, Feters L, Hale J, et al. Bound for success: a systematic review of constraint-induced movement therapy in children with cerebral palsy supports improved arm and hand use[J]. Physical Therapy, 2009, 89(11): 1126-1141

[12] Michmizos K P, Krebs H I. Pediatric robotic rehabilitation: current knowledge and future trends in treating children with sensorimotor impairments[J]. Neurorehabilitation, 2017, 41(1): 69-76

[13] 李林. 小儿脑性瘫痪的教育康复[J]. 中国康复理论与实践,2007,13(12):1110-1112

[14] 李巧薇. 语言障碍诊治仪 ZM2.1 对正常成人及失语病人的检测研究[D]. 广州:暨南大学,2003

Design of cerebral palsy rehabilitation training system based on speech recognition technology to control robotic hand movements

Lu Zhenli^{* **}, Ma Zhipeng^{* **}, Borovac Branislav^{***}, Marjan Mernik^{****}

(^{*} School of Electrical Engineering and Automation, Changshu Institute of Technology, Changshu 215500)

(^{**} School of Information and Control Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116)

(^{***} Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Novi Sad 21000, Serbia)

(^{****} University of Maribor, Maribor 462000, Slovenia)

Abstract

This article is mainly aimed at children with involuntary movement cerebral palsy through the pattern of human-computer interaction combined with bionic robot to achieve the purpose of cerebral palsy rehabilitation training. In the overall design, the single-chip Arduino Mega 2560 is used as the main controller, the display 1 602 is used as the data display, the voice module is the LD3320 voice chip, and the LabVIEW is used as the upper computer to display the gesture motion pictures that the patient needs to recognize. When the operation starts, the child with cerebral palsy randomly switches the displayed picture by watching the upper computer interface, correspondingly speaking the content of the picture. The voice chip is used for voice recognition, the identified data is displayed on the display screen, and the serial port transmission method is used to transmit the corresponding data to the host computer, and the system will judge whether it is correct, and record the time and correct rate of the reaction of the child with cerebral palsy. After receiving the correct data after speech recognition, the robot hand will make an action gesture consistent with the picture displayed by the host computer, and achieve the purpose of training the cerebral palsy patient's reaction ability, speaking ability and learning ability of various gestures, and better help cerebral palsy patients to carry out rehabilitation training.

Key words: Arduino chip, machine grab action, human-computer interaction(HCI), LabVIEW, cerebral palsy training