

面向机器人辅助脑瘫康复的语义训练系统设计^①

卢振利^② * * * 将睿莹 * 马志鹏 * * * * 沈玄霖 * * * * 马克本奇奇 * * * *
波罗瓦茨布朗尼斯拉夫 * * * * * 梅尼科麦然 * * * * * 李 斌 * *

(* 常熟理工学院电气与自动化工程学院 常熟 215500)

(** 中国科学院沈阳自动化研究所机器人学国家重点实验室 沈阳 110014)

(*** 中国矿业大学信息与电气工程学院 徐州 221116)

(**** 常熟市第二人民医院 常熟 215500)

(***** 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 人机交互是脑瘫康复训练机器人辅助系统的关键技术。语言训练对脑瘫患者康复起到至关重要的作用。针对有语言障碍的脑瘫患者,设计了语音语言康复训练系统。该语音语义测试系统底层控制器采用 51 单片机芯片,通过两个按键切换单字和词语短句模式;语音辨识采用 LD 3 320 模块,下位机控制系统采用 C 语言,上位机用到 C# 进行编程。语音芯片把信号辨识结果通过串口发送到上位机,上位机根据语音语义规则进行辨识匹配,对测试完成评判和统计。该工作为脑瘫康患者的语音语义康复训练提供了关键技术。

关键词 人机交互, 语音辨识, 脑瘫康复, 评价分析

0 引 言

脑瘫(crebral palsy)作为一种先天性小儿疾病,其成因多种多样,表现出的病症也不尽相同^[1]。其中,最常见的表现为说话表达障碍,并伴随着运动障碍,运动自我的协调能力较差,他们的双手抓不紧东西,走路不协调,站不稳,姿势出现障碍和异常,稳定性差^[2]。在 3-6 岁通过康复训练可以明显改善其症状,有望达到正常人的功能水平。传统的中医疗法应用针灸、推拿、按摩等进行康复治疗。现代机器人相关技术为运动治疗和语言治疗提供了方便,改善了康复训练的效果^[3]。

1 相关工作

在语音训练初期,主要是训练脑瘫患儿对拟声

词以及一些简单词语的理解,但随着年龄的增加,脑瘫患儿也要有句子训练,来增加语言表达能力,以便于融入社会。

本研究组先期研究了使用人机交互的方式对脑瘫患儿进行康复训练的技术,设计了基于语音交互的脑瘫康复训练系统。其应用 Labview 设计了单个物体及相关名称学习进行的评价系统^[4]。本文在此工作基础上针对语句,对语义进行训练。

2 系统构架

本研究为脑瘫患者设计了一个语音语义训练系统,采用了 51 单片机中的 STC12C5A60S2 芯片^[5],并运用 LD3320 的语音芯片,根据芯片内部所拥有的拼音库,将麦克风所采集到的语音转换为库里拼

① 国家重大科技计划支撑计划(2014BAK12B01),机器人学国家重点实验室开放基金(2014-008)和中塞政府间科技合作委员会第三届例会(266-3-1)资助项目。
② 男,1974 年生,博士;研究方向:机器人智能控制,机器人人机交互,康复机器人;联系人,E-mail: zhenlilu@ csig. cn (收稿日期:2018-02-09)

音,与已输入的拼音做比较。所设计的语音语义系统训练有两种模式,一种是单字模式,第二种是短句子模式。当选择模式 1 时,患者根据显示屏所出现的字开始朗读,所采集到的语音信息,系统会在 3 s 内给出判断患者朗读的正确与否,显示屏以及电脑显示屏将会同步实现。模式 2 也是与模式 1 一样的原理,最后系统将会根据患者所有朗读的单字和句子统计正确率,反馈情况将会传送到电脑上。

3 硬件系统

系统包括了单片机、按键选择电路、晶振电路、稳压电路、LCD 显示电路、语音芯片等。本设计选择了 STC12C5A60S2 单片机来控制整个电路,根据之前设计的要求,需要两个按键来切换两种功能,按键一是单字模式,按键二是短句子模式,语音芯片选择 LD3320 芯片。图 1 是系统的硬件图。

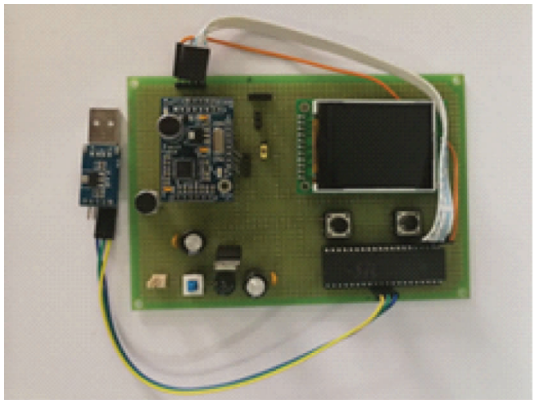


图 1 系统硬件图

图 1 的左上角是系统的语音识别模块,右上角是 LCD 显示模块,其下面两个按键用来切换器工作状态,再下面是单片机控制器以及串口模块,在左下角的是主电路模块。

语音识别的整体系统包括特征提取,升学模型,语音模型,搜索算法等模块。语音识别系统是一个多种模式结合的系统,对识别语音的方法有差别,但基本原理一样。语音识别的基本原理如下:对输入语音进行频谱分析,再经过特征提取,将短周期称为帧,由帧单元组成特征提取作为语音识别系统的输入^[6,7]。图 2 为语音识别过程框图。

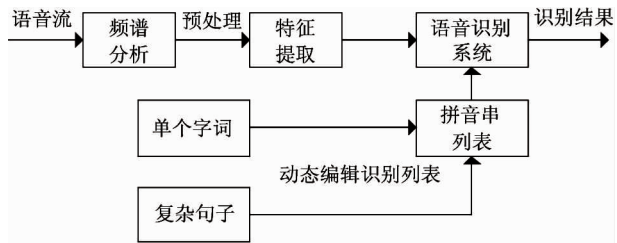


图 2 语音识别芯片识别框图

语音芯片的接口模块由单片机、语音芯片、下载电路、LD3320 串口电路组成。单片机选用的是 51 单片机,语音芯片的型号是 LD3320。单片机与上位机通讯通过 VCC/GND/RXD/TXD 传送指令,其中 TXD2 接单片机 P3.1,RXD2 接单片机的 P3.0 口。

4 软件设计

4.1 语音识别模块

在语音识别模块软件设计时,语音芯片和单片机通过串口相连接,在语音识别开始后,系统内部一系列都需要初始化。语音识别初始化以后,经我们的写入的关键词列表后,等待信号的传输,麦克风收入了所采集到的信息。收集到的信息以字符串的形式传输到芯片上,通过设置片内的寄存器,语音芯片开始把内置的关键词列表和所收集到的信号进行匹配。所有的动作指令都是寄存器去完成。图 3 为程序流程图。

寄存器写入列表的规则是,每个识别条目都一一对应它所处的编号,不同的编号条目可以是相同的,而且是不用连续的,每一个识别条目是标准普通话的汉语拼音(小写),两个字中需要空格割开。当编写一个列表识别时,每个待识别的语句需要一个编号。完成识别编号后,经过串口返回单片机的值,这个编号是要一个字节的。词汇表如表 1 所示。

寄存器的地址 C1 (ASR 开始识别字),当识别结束后,把结果存放到地址 C5 中,只要麦克风采集到任何声音将会产生一个中断,在寄存器的地址 BA 里为 ASR:在中断的过程中会有几个预选答案,Value1-4: N 个候选, Value0-4: 没有识别候选。地址 C5/C7/C9/CB 分别代表读取 ASR 结果候补 2,候补 3,候补 4,但是得到的答复是 C5 寄存器是最高的,

地址 C5 是读取 ASR 得到的最佳选。

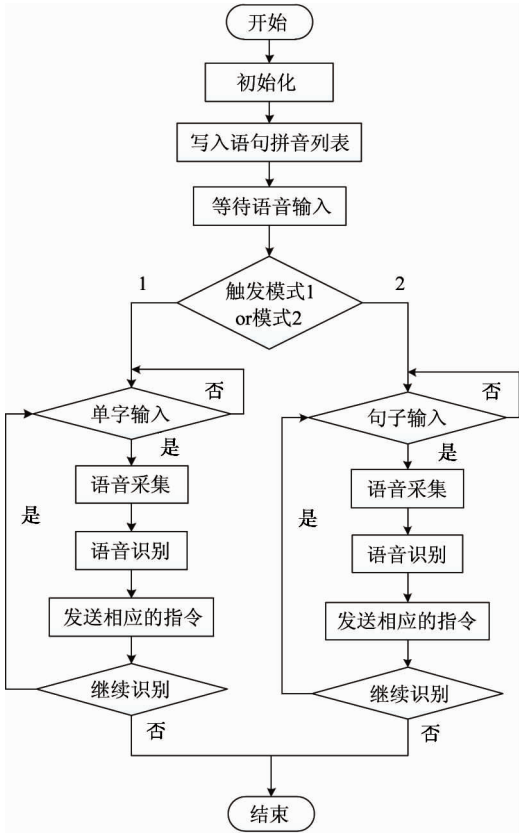


图3 程序流程图

麦克风收集到语音信号后,送到 LD3320 芯片中。与写关键字和匹配列表相比较,以获得最佳的效果,把得到的序号传递给单片机,此时模块把信号通过串口送给单片机。

表1 单词短句表

编号	字符串
0×02	ni hao
0×03	ni jiao she me
0×04	hen gao xing
0×05	ni
0×06	hao
0×07	jiao
0×08	she
0×09	me
0×10	hen
0×11	gao
0×12	shang
0×13	xia

该芯片运用了语音交互的功能,通过编写者设计的单个字或是词句来达到语音训练的效果,利用 LD3320 来识别词句,通过内置的芯片来对使用者进行语音的判别,将接受的结果用串口来传送到单片机内。

4.2 上位机程序

4.2.1 主界面设计

在系统开始测试之前,用下面的主界面来显示。如图 4 所示。

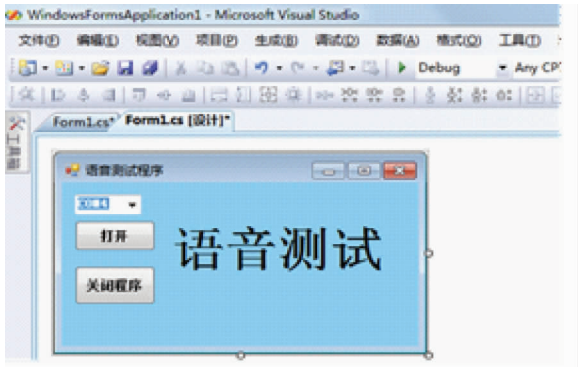


图4 主界面

4.2.2 串口通信实现

单片机内部有全双工串行接口,这个接口可以利用网络通信,也可以实现串行异步通信,在本文中我们所采用的就是串行异步通信,使用过程中可以设置不同的波特率,使用灵活。通过对单片机内 2 个特殊功能寄存器 SCON 和 PCON 的初始化,实现串行口的控制。串口需要先初始化,才能完成各项数据的输入和输出,第一按照串口的操作方式设定 SCON 的 SM0 和 SM1 的两位进制编码,第二处于工作 2 或者 3 状态下,可根据 TB8 中写入需发出的第 9 位数据位。第三若选定的操作方式不是 0,设定它发送的波特率:给 Smod 设置来确定控制波特率是否加倍。若选定操作 1 或者 3,对定时器 T1 初始化来设定其溢出率。串行口波特率有两种方式:固定与可变的,当使用可变的时需要计算初值,并对 T1 初始化,如波特率为固定的 0 或 2。

4.2.3 上位机程序

用 CH340 模块 USB 转 TTL 把语音测试板和电脑连接,通过使用 C#语言编写,用 namespace WindowsFormsApplication1 定义单片机的控制功能,上

位机中与通信模块的波特率需要一致,用 switch case 语句来编写所设置的词句,中间可以定义需要的字体和颜色,另外识别方式还可以通过增加背景颜色,方便做出判断。用 if 语句来判断串口是否接收到字符串,来选择是否打开。

5 实验评估

5.1 实验方法

语音的改正和校正是言语治疗的核心,包括促进言语的理解和口语的表达,恢复患儿的构音和发音的功能,提高患儿的语音的清晰程度等治疗^[8],我们设计的这个系统训练,其主要目的是锻炼患儿的语音语义的识别。

通过检查发现患儿能说话但是发音不清晰,有些患儿对单词的识别还行,可是对短句的识别能力较差。

脑瘫患儿在临床表现上是有差别的,但患病的症状确实可以伴随着全身,躯干及其肢体的运动都会给发育器官造成影响^[9-11]。构音障碍主要表现为发音困难不准、声音异常。

通过语音芯片和电子芯片相结合,再在电脑端对患儿识别的内容有所反映。当按下第一个按键时候,患儿将识别单字模式,单字一共有 10 个,包括不同的发音,不同的发音方式可以让患儿有多方面的训练。当第二个按键按下时,患儿将进行句子模式,句子的挑选就是之前单词的组合,这样可以让患儿有一个连续的训练并以单字为基础扩展语句训练。加强单字训练后再开始短句训练,让患儿有了单字的感觉再有语句的体会,同时加强了连贯性和语义性。

5.2 实验分析

案例 1 患儿 A,男,7 岁,诊断为轻度脑瘫,主要的临床表现为,声音异常,说话的音量异常,构音异常,说话会突然中断,说话缺乏连贯性和条理性。其测试结果见表 2。

由图 5 可知,患儿 A 的单字识别成功率不是很高,大部分的原因是患儿的发音没有发准确,或是咬字不清楚造成的语音识别系统无法做出有效的判

表 2 患儿 A 的测试效果

患儿 A 的语音测试结果			
单字的样例	正确率	短句的样例	正确率
你	100%	你好	100%
好	100%	你叫什么	0%
叫	100%	很高兴	0%
什	0%		
么	100%		
很	0%		
高	0%		
兴	0%		
上	0%		
下	0%		
单字统计率	40%	短句统计率	33.3%

断,系统每个单字的判别时间为3s,患儿A在后面几个单字中基本无法做出判断,对前鼻音和后鼻音无法有效地识别,需要对其多加强训练。在短句的测试中(图 6),由于患儿 A 的症状是说话突然中断、说话没有条理,所以识别短句时会出现卡顿,导致识别的短句没有连贯性,从而系统无法做出判断,默认失败。

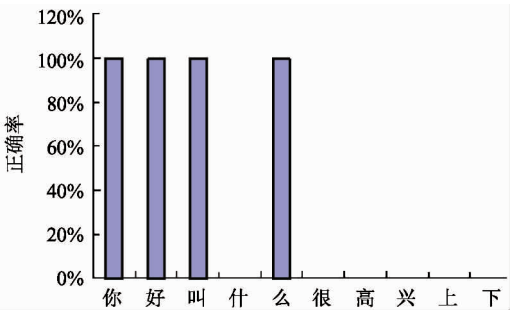


图 5 患儿 A 的单字测试图

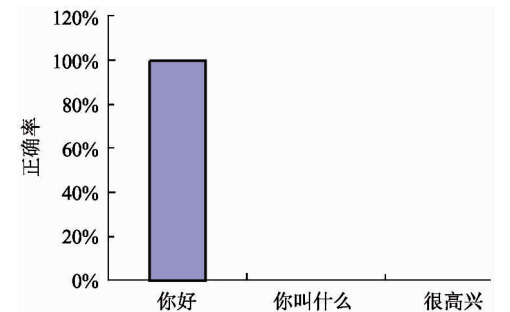


图 6 患儿 A 的短句测试图

案例 2 患儿 B,男,8 岁,诊断为不随意运动性

脑瘫,具体表现为左侧上肢不能举起物品,右手缺乏对新事物的适应能力,语言交流水平相对较好,发音相对正常。测试评定从单字开始,再开始测试短句,其测试效果见表 3。

表 3 患儿 B 的测试效果

患儿 B 的语音测试结果			
单字的样例	正确率	短句的样例	正确率
你	100%	你好	100%
好	100%	你叫什么	0%
叫	100%	很高兴	0%
什	100%		
么	100%		
很	0%		
高	0%		
兴	0%		
上	0%		
下	100%		
单字统计率	60%	短句统计率	33.3%

由图 7 可知,患儿 B 的单字识别成功率较高,而短句的识别能力正确率一般。从单字的测试图可以看出,患儿 B 对其前鼻音和后鼻音还是判断不出,在今后的训练中可以适当增加其他音的设置,如爆破音与儿化音。在短句的测试图(图 8)可以看出,患儿 B 对词汇还是能成功识别,但是对短句也无法识别,出现了声调混乱,系统无法做出判别导致测试失败。

案例 3 患儿 C,7 岁,诊断为共济失调型,损伤的主要部位为小脑,其影响了语言系统,表达能力低下,理解力差,声音异常,构音异常。其测试效果见表 4。

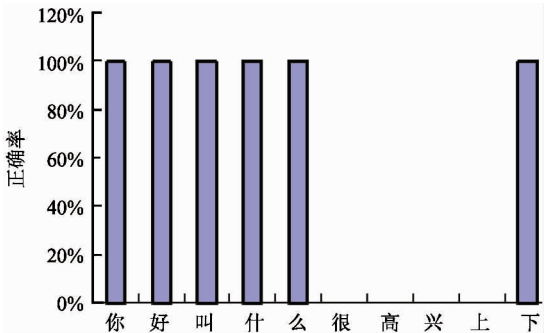


图 7 患儿 B 的单字测试图

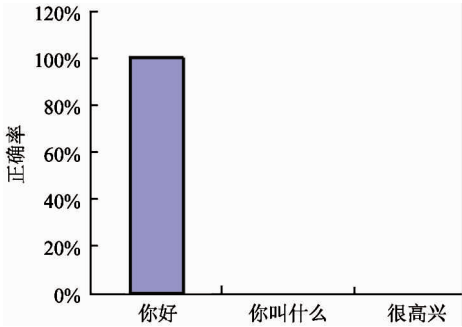


图 8 患儿 B 的短句测试图

表 4 患儿 C 的测试效果

患儿 C 的语音测试结果			
单字的样例	正确率	短句的样例	正确率
你	0%	你好	0%
好	0%	你叫什么	0%
叫	0%	很高兴	0%
什	0%		
么	100%		
很	0%		
高	0%		
兴	0%		
上	0%		
下	0%		
单字统计率	10%	短句统计率	0%

由图 9 可知患儿 C 的测试很困难,在单字测试图中可以看出患儿 C 无法对任何一个字做出任何识别,无法表达且声音异常,唯一成功的单字还是患儿 C 无意间发出的,被系统正好识别。有一定的偶然性。在短句的测试(图 10)中,患儿也无法对任何一句做出有效的识别,测试的成功率很低。说明这项系统不适合运用在这个患儿 C 上,需要对此做出改进,设计出有效的系统来对这个患儿进行治疗。

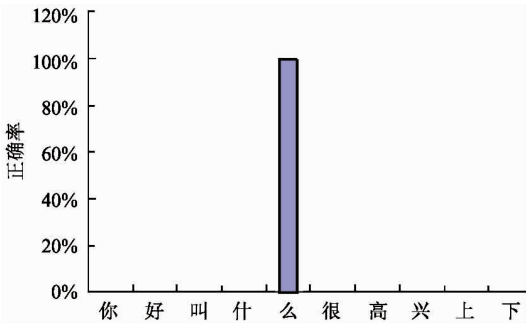


图 9 患儿 C 的单字测试图

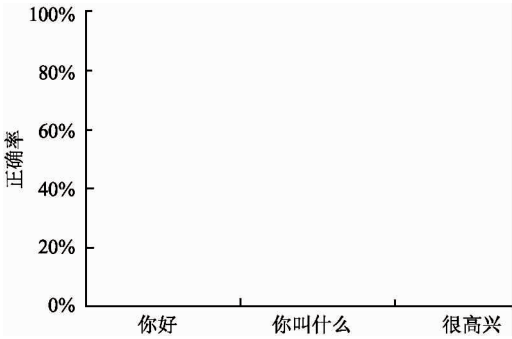


图 10 患儿 C 的短句测试图

从以上 3 个案例测试的患儿可以看出,患儿的发音清晰程度影响着整个系统的采样。因而需要对具体的患儿做出初步的判断,再制订相对应的方针来训练患儿。

6 结 论

语义作为语音训练的进一步康复训练,不仅满足脑瘫患儿对发音训练的需求,也促进了患者的身心健康发展,给患者带来了满足感,在儿童的生长发育过程中起了重要的作用。本研究针对常见短句,设计了语音训练与评价系统,结合语音辨识技术,可

为脑瘫患者中的语言障碍训练及进一步康复之路提供技术储备,提升了脑瘫康复治疗设备的智能化。

参考文献

[1] 赵铁菲. 脑瘫儿童的语言康复训练效果与临床类型、语言障碍分型及作业疗法的关系研究[D]. 吉林大学, 2005

[2] 王伟文, 孙增贤. 维生素 D 辅助康复治疗对脑瘫伴语言功能障碍患儿的影响研究[J]. 中华全科医学, 2016, 14(4): 609-611

[3] 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

[4] 卢振利, 沈玄霖, 刘军, 等. 基于语音交互的脑瘫康复训练系统的设计[J]. 高技术通讯, 2017, 27(03): 277-284

[5] 张毅刚. MCS 51 单片机应用设计[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1997

[6] 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

[7] 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

[8] Dahlgren S A, Smith M, Larsson M. An analysis of reading and spelling abilities of children using AAC: Understanding a continuum of competence[J]. *Augmentative and Alternative Communication*, 2010, 26(3): 191-202

[9] 李庆瑜, 龚远红. 我国脑瘫儿童社区康复护理现状与发展[J]. 护理学报, 2006, 17(3): 30-31

[10] 史惟, 李惠, 王素娟, 等. 脑性瘫痪儿童精细运动功能评估量表的心理测量学特性研究[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2006, 28(5): 320-323

[11] 李晓捷. 实用小儿脑性瘫痪康复治疗技术[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2009

Design of semantic training system for robot assisted cerebral palsy rehabilitation

Lu Zhenli * * *, Jiang Ruixuan * , Ma Zhipeng * * * *, Shen Xuanlin * * * *, Marko Bencici * * * * , Borovac Branislav * * * * *, Mernik Marjan * * * * *, Li Bin * *

(* School of Electrical Engineering and Automation, Changshu Institute of Technology, Changshu 215500)
(** State Key Laboratory of Robotics, Shenyang Institute of Automation, CAS, Shenyang110014)
(*** School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116)
(**** Changshu No. 2 People Hospital, Changshu 215500)
(***** Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Novi Sad 21000, Serbia)
(***** University of Maribor, Maribor 462000, Slovenia)

Abstract

Human-computer interaction is a key technology of the robot aided system for the rehabilitation training of cerebral palsy. Language training plays a vital role in the recovery of cerebral palsy. A speech language rehabilitation training system is designed for patients with cerebral palsy with language disorders. The controller of the phonetic and semantic test system uses 51 single chip, through two key for words and phrases words switching mode; speech recognition uses LD3320 module, low level control system uses the C language, and high level control system adopts C# programming. The speech chip sends the signal of recognition results to the host computer through the serial port. The host computer performs recognition and matching according to the voice and semantic rules, and completes the judgments and statistics for the test. This work provides a key technique for the speech semantic rehabilitation training of the patients with cerebral palsy.

Key words: human-computer interaction, speech recognition, cerebral palsy rehabilitation, evaluation and analysis