

基于 STM32 与串口服务器的 IP 语音通信系统设计

李基, 邵琼玲, 王盛军

(航天工程大学 航天装备系, 北京 101416)

摘要: 针对模拟训练系统中语音通信的应用需求, 提出了一种基于 TCP/IP 协议在局域网内进行 IP 语音通信的实现方法; 分析了该语音通信系统的组成结构和工作原理, 设计了以微处理器 STM32F103ZET6 为核心、以语音编解码芯片 VS1053B 为驱动的语音控制电路, SD 卡连接电路和电源电路; 移植了 UCOS III 嵌入式实时操作系统增强控制系统的实时性和稳定性, 采用 FatFs 文件系统管理 SD 卡存储设备; 利用串口服务器实现串口数据与以太网数据的快速交换, 完成模拟训练系统局域网的搭建, 实现基于 TCP/IP 协议的稳定高效的 IP 语音通信。采用 .NET Framework 的 Socket 模块和 Winform 模块设计了上位机模拟网控软件; 测试结果表明, 系统稳定可靠、扩展性强, 语音通信质量满足模拟训练使用要求。

关键词: IP 语音通信; STM32; 串口服务器; UCOS III; VS1053B; .NET Framework 平台

Research on IP Voice Communication Based on STM32 and Serial Server

Li Ji, Shao Qiongling, Wang Shengjun

(Department of Aerospace Equipment, Space Engineering University, Beijing 101416, China)

Abstract: Aiming at the application of voice communication in simulation training system, a method of IP voice communication based on TCP / IP protocol in LAN is proposed. The composition and working principle of the voice communication system are analyzed, the voice control circuit driven by the microprocessor STM32F103ZET6 and the speech codec chip VS1053B is designed, the SD card connection circuit and the power supply circuit are also designed. The embedded real time operating system UCOS III is transplanted in order to enhance the real-time and stability of the control system, and the FatFs file system is used to manage the SD card storage device. The serial port server is used to achieve rapid exchange of serial data and Ethernet data and build the LAN of simulation training system, IP voice communications based on TCP/IP protocol is accomplished stably and efficiently. The .NET Framework's Socket module and Winform module are used to design PC's simulation network control software. Test results show that the system is stable, reliable and scalable, voice communication quality is good to meet the requirements of simulation training.

Keywords: IP voice communication; STM32; serial server, UCOS III; VS1053B; .NET Framework platform

0 引言

随着科学技术的快速发展, 军事装备更新换代步伐加快。新型装备信息化、集成化程度更高, 在效率和性能方面较传统设备更有优势; 但是高科技装备往往也会带来更大的操作复杂度, 对操作者的要求更高, 使得装备训练周期更长, 同时客观条件上存在保障成本高、资源有限(如通信卫星)等问题, 这些问题阻碍了实装训练的广泛开展, 为解决这一突出矛盾, 各种模拟训练系统应运而生, 模拟训练系统能够模拟实装设备的主要功能、提供与实装设备相同的操作, 能够实现良好的训练效果。语音通信是许多模拟训练系统的重要组成部分。在现有的模拟训练系统中, 基于蓝牙技术的语音通信^[1]、基于无线局域网的语音通信^[2]能够满足短距离的可靠通信需求, 在通信距离上存在较大限制; 基于 CAN 总线的语音通信距离较远^[3], 但是在远距离通信的数据量方面存在较大约束。本文针对模拟训练系统远距离语音通信的需求, 在分析了几种语音传输技术

特点的基础上, 设计了基于 STM32 和串口服务器的 IP 语音通信系统。该系统实现了模拟训练系统中各用户之间进行单双工通信的功能, 具有较强的可靠性和扩展性, 系统设计特点使得其易于集成在多种基于以太网的模拟训练系统上, 共同实现装备模拟训练。

1 系统结构与工作原理

1.1 系统总体结构

该 IP 语音通信系统主要由服务器模块、网络模块和用户模块三部分组成。系统组成结构如图 1 所示, 服务器模块是整个通信系统的控制核心, 主要由控制计算机构成, 该计算机上运行着网控软件, 实现对用户申请入网的应答和数据的收发, 模拟网控软件基于 C# 语言实现; 网络模块提供了 IP 语音通信的物理通道, 主要包括语音网关、串口服务器以及由他们组成的局域网链路, 其中语音网关由路由器模拟, 与串口服务器共同作用实现数字语言和 IP 语音的转换; 用户模块指 IP 语音终端, 该终端的设计以微处理器 STM32F103ZET6 为硬件核心、以语音编解码芯片 VS1053B 为语音驱动芯片, 软件平台采用嵌入式实时操作系统 UCOS III, 通过设计语音发送与接收任务, 实现语音实时接收与播放。

1.2 系统工作原理

IP 语音通信系统的工作原理如图 2 所示。语音信号在系

收稿日期: 2017-08-24; 修回日期: 2017-09-22。

作者简介: 李基(1993-), 男, 河南信阳人, 硕士研究生, 主要从事卫星通信、单片机与嵌入式应用的研究。

邵琼玲(1970-), 男, 山东昌乐人, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事航天装备应用、单片机与嵌入式应用的研究。

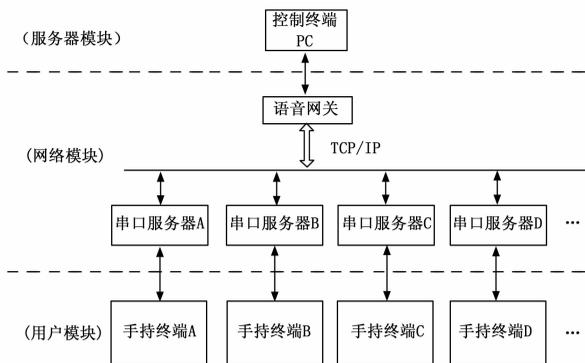


图 1 系统组成结构图

统中以模拟信号、数字信号和 IP 数据包三种形式存在。

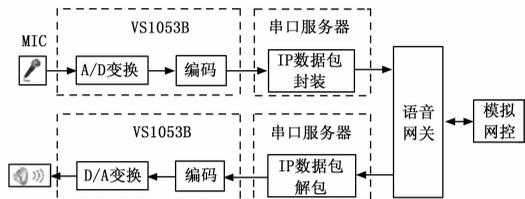


图 2 系统工作原理

MIC 将声信号转化为模拟电信号；VS1053B 将模拟信号进行 A/D、D/A 变换以及编解码，由于大部分语音频率低于 4 kHz，根据奈奎斯特采样定理可将 VS1053B 的采样频率定为 8 kHz，量化位数为 16bit；串口服务器基于 TCP/IP 协议实现数字信号与 IP 数据包的转换，其中 IP 数据包在局域网络中传输，数字信号在 IP 语音终端中传输。

其中 IP 语言终端包含语音发送和接收两个任务。当手持终端处于语音发送状态时，VS1053B 以 8 kHz 的采样率实时采集音频信号，并编码成 wav 格式的音频数据，STM32F103ZET6 通过串口将数据发送给串口服务器。当手持终端处于语音接收状态时，与其相连接的串口服务器先将接收到的 TCP/IP 数据包解析为串口数据，然后发送给接收终端，终端通过串口接收音频数据，送入 VS1053B 进行解码并播放。

2 硬件设计

2.1 STM32F013ZET6 与 VS1053B

IP 语音终端采用意法半导体公司生产的 32 位增强型微处理器 STM32F103ZET6 作为控制核心，该处理器采用 ARM 公司的 Cortex-M3 内核，CPU 最高速度可达 72 MHz，内置看 2 个看门狗和 1 个滴答定时器^[4]，其中滴答定时器的中断作为 UCOSIII 系统的时基。该芯片的优势是片上集成了丰富的外设接口，这些丰富的外设接口极大地提高了硬件电路设计效率。其中包括 3 路串行外设接口 (SPI1~SPI3) 和 5 路异步串行通信口 (USART1~USART5)。在本设计中，分别利用 SPI1 和 USART1 与 VS1053 和串口服务器进

行数据通信。

VS1053B 是荷兰 VLSI 公司研制的一款高性能解码芯片，其内部包含一个高性能低功耗 DSP 处理器核 VS_DSP4，可实现对 MP3/OGG/WMA/FLAC/WAV 等音频格式的编解码。同时芯片内部还自带一个可变采样率的立体声 ADC 和一个高性能立体声 DAC^[5-6]，具有良好的语音录制与播放效果。

VS1053B 具有 8 个通用 I/O 口，通过 SPI 与微处理器 STM32F103ZET6 进行数据通信，VS1053B 的时钟线引脚 SCLK (28 脚)、设备数据输出线引脚 SO (30 脚)、设备数据输入线引脚 SI (29 脚) 引脚分别与单片机的 SPI1_SCK (PA5)、SPI1_MISO (PA6)、SPI1_MOSI (PA7) 引脚相连，VS1053B 传输数据和命令数据分别使用 SDI 模式和 SCI 模式。VS1053B 的 XREST (3 脚) 是复位信号线且低电平有效，与单片机的 PE2 相连；DREQ (8 脚) 是数据请求信号线，与单片机 PC13 相连；XDCS (13 脚) 为 VS1053B 数据接口开关，与单片机 PF6 相连；XCS (23 脚) 控制着 SCL 寄存器的读写操作，与单片机 PF7 相连。VS1053B 外接 12.288MHz 的晶振，通过 1、2 脚接 MIC 输入，46 脚接 HT6872 功放 IN+ 引脚，由功放 IC 的 OUT+、OUT- 引脚驱动 2W 喇叭。VS1053B 的电路连接如图 3 所示。

2.2 SD 卡连接电路

SD 存储容量大，支持 SPI/SDIO 驱动，比较适合作为语音数据的存储器。STM32F103ZET6 自带标准的 SDIO 接口驱动，最高通信速度可达 24 MHz。本设计中利用 STM32F103ZET6 的 SDIO 接口与 SD 卡进行数据通信。如图 4 所示，SD 卡槽的 1、2、5、7、8、9 引脚分别与 STM32F103ZET6 的 SDIO_D3 (PC11)、SDIO_CMD (PD2)、SDIO_SCK (PC12)、SDIO_D0 (PC8)、SDIO_D1 (PC9)、SDIO_D2 (PC10) 相连。

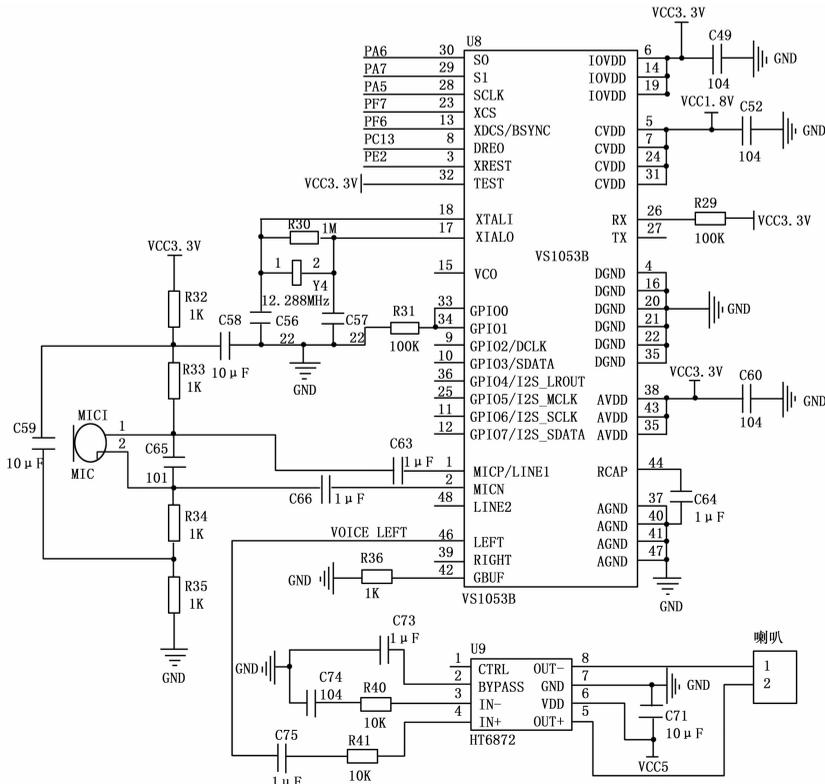


图 3 VS1053B 接口电路

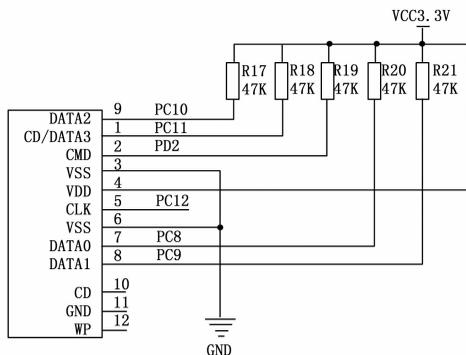


图 4 SD 卡接口电路

2.3 电源电路

AMS1117 是一个低漏失三端线性稳压器，具有良好的噪声抑制能力，片内集成过热保护和过流保护模块，只有输入输出和接地三个引脚，电路连接简单^[7]。故分别采用 AMS1117-3.3 和 AMS1117-1.8 分别将 5.0 V 电压转换为 3.3 V 和 1.8 V，电路连接如图 5 所示。

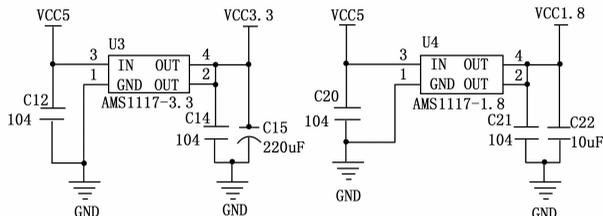


图 5 电源电路

3 软件设计

3.1 UCOS III 嵌入式实时操作系统

UCOS III 是一个可裁剪、可剥夺型的多任务内核，没有任务数目的限制，提供了所有现代实时内核所需要的功能，包括资源管理、同步、任务通信等。UCOS III 具有源码开放、可裁剪、移植方便、关中断时间短、运行效率高等特点，比较适合小型嵌入式设备使用^[8]。手持终端 STM32F103ZET6 移植了 UCOS III 3.03 版本源码，针对具体 STM32 处理器需要修改 bsp.c、bsp.h、os_cpu_a.asm、os_cpu_c.c、os_cfg_app.h 5 个文件，在此基础上便可以设计语音发送和接收任务。

STM32F103 的滴答计时器 (SysTick) 是一个 24 位倒数计数定时器，数值减到 0 时便产生一个异常请求，然后自动重装初值，继续循环递减。本设计中系统时钟节拍通过单片机的 SysTick 中断产生的，在 SysTick 中断里处理系统时钟服务程序，SysTick 中断服务函数如下：

```
void SysTick_Handler(void)
{
    OSIntEnter(); //进入中断
    OSTimeTick(); //处理系统时钟服务程序
    OSIntExit(); //触发任务切换
}
```

其中 OSTimeTick () 函数必须在时钟节拍中断服务程序中调用，用来更新任务的延时和等待超时，检查每个任务控制块中 OSTCBDly-1 后是否为 0，从而决定是否将任务从挂起态改为就绪态。

3.2 FatFs 文件系统

为实现存储设备 SD 卡的高效管理，需要移植一种文件管理系统。FatFs 是一种开源的 FAT 文件系统模块，支持 SD/MMC 卡、CF 卡、硬盘、NAND Flash 的读写，具有良好的硬件平台独立性，且支持 RTOS^[9]。所以本设计移植 FatFs R0.11 版本管理 SD 卡，实现语音数据的存取。

移植 FatFs 文件系统的过程中，需要修改 ffconf.h 和 diskio.c 两个文件的内容。ffconf.h 文件里包含了 FatFs 的所有配置项，可根据需要选择；diskio.c 中包含了底层驱动函数，针对 STM32F103ZET6 处理器需要编写磁盘初始化函数 disk_initialize ()、磁盘状态获取函数 disk_status ()、扇区读取函数 disk_read ()、写扇区函数 disk_write ()、磁盘参数获取函数 disk_ioctl ()、时间获取函数 get_fattime () 6 个接口函数。

3.3 IP 语音终端软件设计

根据语音通信功能的特点，将此功能划分为语音发送和语音接收 2 个模块，即在 IP 语音终端程序中实现语音发送和语音接收 2 个任务函数 (任务 A 和任务 B)。程序设计总体流程图如图 6 所示，首先初始化 STM32F103ZET6 的时钟系统、外设接口、VS1053B 模块以及 UCOS III 系统；UCOS III 系统要求在开启系统以前必须存在一个已经创建完成的任务，所以初始化以后创建开始任务，而后开启 UCOS III 系统；在开始任务的函数里创建了语音发送任务 A 和语音接收任务 B，任务创建完成以后，由于开始任务已不再需要，所以挂起开始任务；最后 UCOS III 系统执行任务调度。

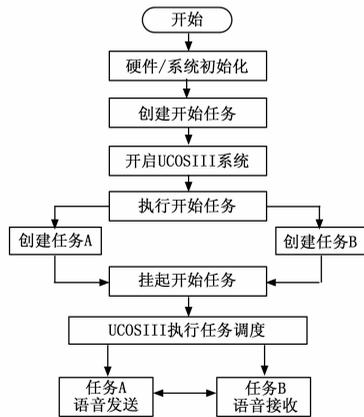


图 6 程序设计流程图

3.3.1 语音发送任务

语音发送任务函数流程如图 7 所示，在死循环任务中首先检测按键是否按下，如果按键按下则判断任务调度器是否关闭以及录音标志位是否置位，根据条件执行相应操作，从而确保在按键按下时调度器处于关闭状态、录音标志位处于置位状态，然后开始采集语音数据。当按键松开时，通过检测录音标志位是否置位来判断是否存在语音数据，如果录音标志位置位则将语音数据保存到 SD 卡中并通过串口发送出去，而后清除录音标志位并打开任务调度；如果录音标志位没有置位，说明没有语音数据需要发送，也说明任务调度器没有关闭，则直接跳过以上函数直接进入任务延时函数，引发任务调度。

3.3.2 语音接收任务

语音接收任务函数流程图如图 8 所示，在死循环任务中检

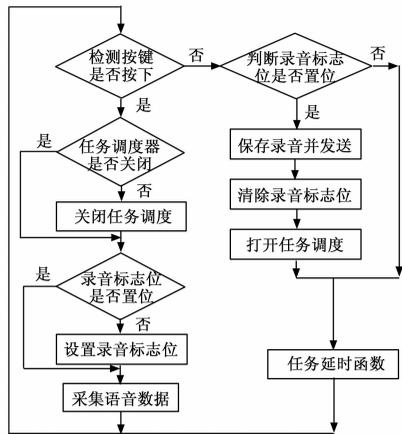


图 7 语音发送任务流程图

测串口数据寄存器非空标志位是否置位, 如果串口数据寄存器接收到数据, 则设置语言接收标志位并读取数据, 此时数据寄存器非空标志位将被清除, 接着判断该数据是否为语音数据结束标志, 如果是结束标志则清除语音接收标志位, 否则将跳过此步骤, 直接将数据发送给 VS1053B 并通过 HT6872 驱动喇叭输出。若检测到串口寄存器标志位没有置位, 接着判断语音接收标志位是否置位, 若语音接收标志位置位, 则说明正在进行语音接收, 则继续判断串口寄存器的标志位; 如语音接收标志位没有置位, 说明没有接收语音数据或者语音数据接收完毕, 直接进入任务延时函数, 引发任务调度。

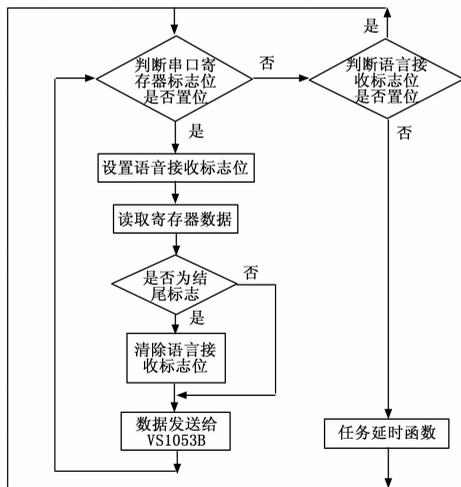


图 8 语音接收任务流程图

3.4 控制终端软件设计

由于服务器模块的 PC 终端与 IP 语音终端是基于 TCP/IP 协议的网口通信, TCP/IP 协议层次结构从上到下通常被分为网络接口层、网络层、传输层和应用层, 其中传输层典型协议包括面向连接的 TCP 协议和无连接的 UDP 协议, 基于语音数据传输准确性、稳定性的考虑, 本设计选择 TCP 协议。控制终端 PC 机基于 windows 平台, 选用 Visual Studio 2015 开发工具, 采用 C# 语言, 利用 .NET Framework 平台的 Socket (套接字) 模块设计网络通信部分, 利用 Winform 模块设计软件界面。

Socket 模块包含了许多 TCP/IP 网络的 API 函数, 利用这些 API 函数可以快速方便开发服务器软件。Winform 模块包含了许多界面常用控件, 极大地提高了界面设计效率, 本系统控制终端软件界面如图 9 所示。软件界面包含系统设备、系统内已连接设备工作状态和设备参数 3 个部分, 比较清晰地显示出该系统中各个用户的号码、IP 和通信状态等主要信息, 便于管理员的后台操作与管理。

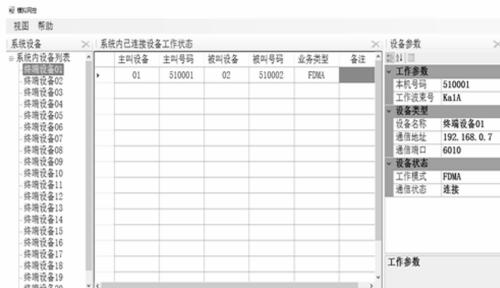


图 9 控制终端软件界面

利用 Winform 进行程序界面设计时, 不能在 UI 线程中处理数据收发等比较耗时的操作, 否则会导致界面崩溃, 可利用多线程来解决此问题。本设计中使用 Winform 模块中 BackgroundWorker 类开启一个后台线程, 在其 DoWork 事件处理函数中处理数据收发与处理耗时操作, 然后调用 RunWorkerAsync () 函数来启动 DoWork 事件, 最终有效解决了界面死机问题。

4 测试与分析

4.1 网络模块串口服务器的配置

串口服务器能够实现 RJ45 网口与 RS232 接口之间直接的数据透明传输, 其内部集成了嵌入式 TCP/IP 协议栈, 通常支持 TCP/UDP Server、TCP/UDP Client 等多种工作模式, 是不具备网络接口的终端设备连接局域网或互联网的理想选择。本设计中网络模块串口服务器选取有人物联网技术有限公司的 USR-TCP232-302 串口服务器, 其内部搭载 ARM 处理器, 支持 10/100Mbps 自适应传输。

以用户 A (IP 语音终端 A) 与用户 B (IP 语音终端 B) 通信为例, 介绍串口服务器的配置方案。其中串口服务器 A 与 IP 终端 A 相连, 串口服务器 B 与 IP 终端 B 相连。连接示意图如图 10 所示。

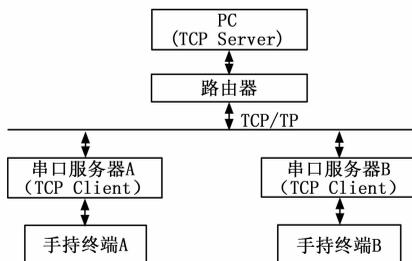


图 10 通信测试连接示意图

将串口服务器 A 和 B 均设置为 TCP Client 模式, 使用的配置软件为有人物联网技术有限公司提供的 USR-M0 V2.2.2.272 软件, 两串口服务器的具体设置参数如表 1 所示。

表 1 串口服务器参数

	串口服务器 A	串口服务器 B
MAC 地址	D8B04CBA5EE8	D8B04CD32AD3
本地 IP 地址	192.168.0.7	192.168.0.8
目标 IP 地址	192.168.0.1	192.168.0.1
工作模式	TCP Client	TCP Client
本地端口	6008	6008
目标端口	6010	6010
串口波特率	115200	115200
串口参数 (校验/数据/停止)	NONE/8/1	NONE/8/1

4.2 测试结果分析

经过实际通信测试，在单双工模式下，IP 语音数据传输的误码率非常低，在单次传输 1000 KB 数据量以下的误码率为 0，且不受通信距离限制。经过多名用户实际通话体验，均表示 IP 语音清晰、易分辨，通话质量满足模拟训练中语音通信需求。

5 结束语

采用串口服务器实现基于 TCP/IP 协议的 IP 语音通信的设计方案，满足模拟训练系统语音通信需求，并完成了硬件平台的搭建和软件系统的设计。经过实际通信测试，该系统 IP 语音数据传输误码率低、语音效果良好，且具有通信距离不受

约束等优势，满足了模拟训练的应用需求。该系统中基于 STM32 微处理器和 UCOSIII 操作系统设计的 IP 语音终端具有稳定性好、实时性强、可扩展等特点，对于模拟训练系统中终端设备的开发具有一定的参考价值。

参考文献：

- [1] 杨 卫, 陈佩珩, 张文栋, 等. 基于蓝牙技术的语音通信传输系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (2): 499-501.
- [2] GAO Jing, 达新宇. 基于无线传输的模拟电台训练系统设计 [J]. 微计算机信息, 2008, 24 (22): 259-261.
- [3] 廖 泉. 基于 CAN 总线的语音通信系统 [D]. 北京: 北方工业大学, 2006.
- [4] 崔 奎, 胡纯栋, 谢远来, 等. 支持多种温度传感器的多通道低温测量系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (2): 38-41.
- [5] VLSI. VS1053b - Ogg Vorbis/MP3/AAC/WMA/FLAC/MIDI AUDIO CODEC CIRCUIT Datasheet Version1. 30. [EB/OL]. [2016-12]. <http://www.vlsi.fi>.
- [6] 王 波. 基于 VS1053 和 ADXL345 的 MP3 播放器设计 [J]. 自动化技术与应用, 2014, 33 (7): 43-47.
- [7] 郑晓庆, 杨日杰, 杨立永, 等. 多路输出 DC-DC 电路设计 [J]. 国外电子测量技术, 2012, 31 (9): 31-33.
- [8] 拉伯罗斯. 嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{III}$ [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2012.
- [9] 张 涛, 左谨平, 马华玲. FatFs 在 32 位微控制器 STM32 上的移植 [J]. 电子技术, 2010, 47 (3): 25-27.

(上接第 152 页)

资源调度任务完成时间 (s) 的对比。

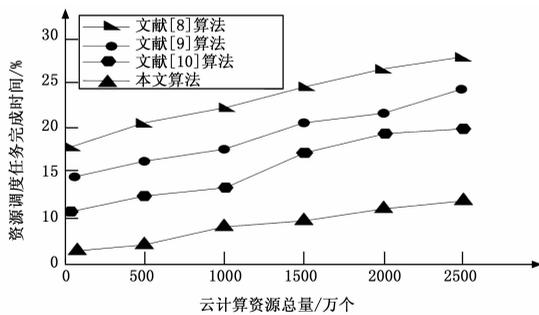


图 2 不同算法下资源调度任务完成时间对比

通过图 2 可知，文献 [8-10] 算法，在资源调度任务完成时间曲线上几乎没有交合点，说明 3 种算法对于资源调度任务的完成有很大差异，总体观察文献 [10] 算法相对较优，但比较之下，本文所提算法的调度任务完成时间曲线波动最小，且时间最少，由于本文算法对云计算资源进行了数据预处理，资源调动前的各种可能性假设，人工蜂群资源调动等操作，将云计算资源调动发挥了最大价值，大大减少了资源调度任务的完成时间，增强了云计算资源调度的整体性能。

仿真实验证明，所提算法可以准确有效地对云计算资源进行安全稳定地调度，提高了云计算资源的负载均衡度，增强了云计算的性能，减少了云计算资源调度的运行时间。

3 结束语

采用当前算法对云计算资源进行调度时，无法对其进行安

全稳定，公平可靠地调度，存在资源调度性能差的问题。提出一种基于 Wi-Fi 与 Web 的云计算资源调度算法。并通过仿真实验证明，所提算法可以准确地对云计算资源进行稳定有效地调度，为该领域的发展提供了强有力依据，为云计算资源的调度的进一步优化指明了方向，具有可借鉴意义。

参考文献：

- [1] 陈钦荣, 刘顺来, 林锡彬. 一种混合优化的云计算资源调度算法 [J]. 计算机科学, 2016, 37 (6): 15-23.
- [2] 马 莉, 唐善成, 王 静, 等. 云计算环境下的动态反馈作业调度算法 [J]. 西安交通大学学报, 2014, 48 (7): 77-82.
- [3] 郝 亮, 崔 刚, 曲明成, 等. 成本约束下的云计算能耗资源调度优化算法 [J]. 高技术通讯, 2014, 24 (5): 458-464.
- [4] 张 亮, 张曦煌. 一种面向云计算虚拟机资源拓扑结构的任务调度 [J]. 计算机应用研究, 2015, 32 (12): 3738-3741.
- [5] 黄海芹, 林基明, 王俊义. 基于改进混合遗传算法的云资源调度算法 [J]. 电视技术, 2015, 39 (18): 36-41.
- [6] 徐兵元, 张 羿. 基于多路径遍历优先选择的虚拟资源调度算法 [J]. 中国电力, 2014, 47 (8): 139-143.
- [7] 张焕青, 张学平, 王海涛, 等. 基于负载均衡蚁群优化算法的云计算任务调度 [J]. 微电子学与计算机, 2015, 32 (5): 31-35.
- [8] 魏 蔚, 刘 扬, 杨卫东. 一种通用云计算资源调度问题的快速近似算法 [J]. 计算机研究与发展, 2016, 53 (3): 697-703.
- [9] 战 非. 高校云数据中心基于蚁群算法的资源调度研究 [J]. 电子设计工程, 2016, 24 (16): 18-21.
- [10] 田国忠, 肖创柏, 赵娟娟. 云计算环境下多 DAG 调度的资源分配进化算法 [J]. 计算机应用研究, 2014, 31 (9): 2798-2802.