

双音多频拨号系统的仿真和教学实现

雒明世¹, 魏二虎²

(1. 西安石油大学 计算机学院, 陕西 西安 710065; 2. 武汉大学 测绘学院, 湖北 武汉 430079)

摘 要:双音多频信号能够提供更高的拨号速率,在数字通信及其它方面有着广泛的应用。文章运用 MATLAB 软件实现了 DTMF 信号的产生、接收和检测,使用 MATLAB 中 GUI 用户界面管理功能实现双音多频拨号系统的仿真,为教学建立了平台。

关键词:双音多频;产生;检测
中图分类号:G642.0 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-5884(2013)11-0130-04

双音多频(Dual Tone Multiple Frequency, DTMF)信号因具有更高的拨号速率和抗干扰性能,固定和移动电话终端以及程控交换机均采用其发送接收号码。DTMF 信号广泛应用在交互式控制、电子邮件和银行系统中,用户可从电话发送 DTMF 信号来选择菜单进行操作。与此同时,双音多频解码技术在远程遥控系统中也起到重要的作用,它能够监控各种警情,可接收远端的电话遥控指令,实现防盗、防火等安防功能。本文主要实现了 DTMF 信号的产生、接收和检测,同时使用 MATLAB 实现拨号系统的仿真实现^[1-2]。

一 DTMF 信号的表示

DTMF 是用两个特定的单音频组合信号来代表数字信号以实现其功能的一种编码技术。DTMF 话机中通常有 16 个按键,其中有 10 个数字键(0~9)和 6 个功能键(*、#、A、B、C、D)。按照排列组合原理,会出现 8 种不同组合的单音频信号。具体的分法就是将 8 个频率分为高频群和低频群两组,分别作为列频和行频。每个键的频率模式由来自于列频和行频的两个频率叠加而成,8 个频率分为两组,总共构成 16 种不同组合方式,这 16 种不同的组合代表 16 个符号,这 16 种信号的表示方法如表 1 所示。

表 1

行频 列频	1 209 Hz	1 336 Hz	1 477 Hz	1 633 Hz
697 Hz	1	2	3	A
770 Hz	4	5	6	B
852 Hz	7	8	9	C
941 Hz	*	0	#	D

通常规定 DTMF 信号的指标为:(1)传送/接收率是每秒 10 个数字,或每个数字 100ms。(2)每个数字在传送过程中,信号的存在应该在 45ms~55ms 之间,100ms 里的其余时间必须是静声。(3)国际电信联盟(ITU)规定 DTMF 信号在每个频率点上允许有±1.5%的偏移,任何超出给定频率±3.5%的信号,均被认为是无效的,拒绝对其进行接收。(4)ITU 规定,在最坏的检测条件下,信噪比不得低于 15dB。

二 DTMF 信号的产生

DTMF 拨号音的产生原理就是将两个单音频的正弦信号叠加输出,即就是用 sin 函数产生离散的正弦值,生成 DTMF 信号的公式为:

buffer[t] = sin(t*2*pi*f1/fs) + sin(t*2*pi*f2/fs)

其中 t 表示采样序数,由 0 开始递增;f₁、f₂表示 DTMF 信号的两个正弦波频率;f_s表示采样频率;buffer[t]表示序数 t 时得出的采样值。

双音多频信号的产生主要包含音频任务和静默任务这两个流程,前者产生双音频的采样值,后者产生静默的采样值,每个任务结束时,要重置定时器和下一个任务,其中静默任务还包含一项任务就是从数字缓冲区取出数字并解包。

三 DTMF 信号的检测

DTMF 信号的检测通常采用硬件和软件相结合的方式实现。硬件主要用来发送和接收信号,软件主要用来分析接收信号中包含的数字信息,通常采用双正弦信号模拟电话

按键来进行检测^[3]。

DTMF 解码器通过数学变换把音频信号从时域转化到频域,从而得出对应的数字信息。即将接收到的模拟音频信号先进行 A/D 变换,恢复为数字信号,然后检测其中的音频频谱来确定所发送的数字[4]。DTMF 信号的检测算法通常有 3 种,分别是快速傅立叶变换(FFT)算法的 DFT、FFT 和 Goertzel。

DFT 算法计算公式如下 4-1 所示:

$$X(k) = \text{DFT}[x(n)] = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{kn} \quad (4-1)$$

由公式 4-1 可以得出:乘法次数和加法次数都是和 N 成正比的,随着 N 的增大,运算量也会越来越大,例如,当 $N = 8$ 时,DFT 需 64 次复数乘法,而当 $N = 1024$ 时,DFT 则需 1,048,576 次复数乘法,即高达一百多万次复数乘法运算,因此,要处理实时性很强的信号,这种算法的效率就会很低。

通过观察 DFT 的运算量可以看出,利用系数的对称性和周期性,可以减少 DFT 的运算量,因而得出了快速傅立叶 FFT 算法。FFT 算法运算量比 DFT 运算量明显减少,但它需要全部抽样数据到达时才能进行计算,其缺点是不适合双音多频信号频谱的计算,也就满足不了双音频拨号系统实时性的要求。

Goertzel 算法本身也是对 DFT 的快速运算,相对于前面讲的两种算法而言,其优点是对不需要的点不进行计算,可以选择性地计算个别点处的 DFT,这样就在很大程度上提高了计算效率,因此,Goertzel 算法非常适合 DTMF 信号的检测。Goertzel 算法的本质是一个两极点的 IIR 滤波器^[5]。

我们可以通过 MATLAB 编程实现 DTMF 信号的检测,Goertzel 算法根据输入序列 $x(n)$ 和指定的 DFT 样本的序号 k 计算待求的 DFT 样本 X 。核心语句如下:

```
function X = gfft(x,k)
N = length(x); x1 = [x,0];
d1 = 2 * cos(2 * pi * k/N)
v = filter(1,[1,-d1,1],x1);
w = exp(-i * 2 * pi * k/N);
x = v(N+1) - w * v(N);
```

四 MATLAB 仿真实现

DTMF 信号产生用公式如下:

式中的 f_1 和 f_2 代表 DTMF 的两个正弦波频率, f_1 表示低频带频率, f_2 表示高频带频率。在接收端,要对收到的 DTMF 信号进行检测,即检测两个正弦波频率,从而判断对应的十进制数字或符号。DTMF 信号产生、检测的流程如图 1 所示:

信号检测的程序设计步骤及部分程序如下:

1. 设置参数并读入 8 位电话号码

```
% clear all;clc;
tm = [1,2,3,65;4,5,6,66;7,8,9,67;42,0,35,68]
% DTMF 信号代表的 16 个数字
TN = input('输入 8 位电话号码 = ') % 输入 8 位数字
```

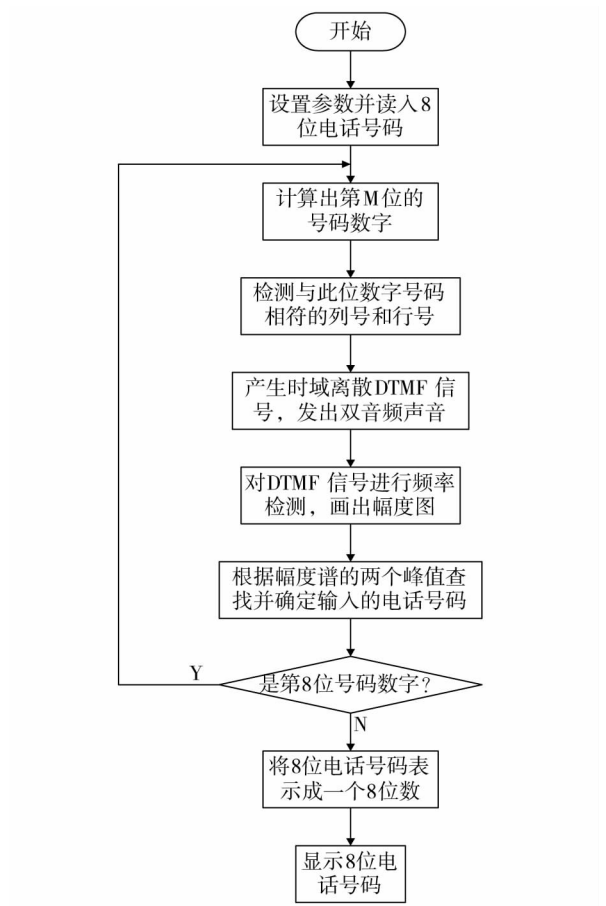


图 1 DTMF 产生、检测流程图

```
TNr=0; % 接收端电话号码初值为 0
2. 产生时域离散 DTMF 信号,并连续发出 8 位号码对应的 DTMF 音;
for m = 1:8;
d = fix(TN/10^(8-m));
% fix 是一个取整函数,取整规则是向最靠近零取整。
TN = TN - d * 10^(8-m);
n = 0;1023 % 为了发声,加长序列
x = sin(2 * pi * n * f1(p)/8000) + sin(2 * pi * n * f2(q)/8000)
sound(x,8000); % 发出声音
3. 对时域离散 DTMF 信号进行频率检测,画出幅度谱;
X = Goertzel(x(1:N),K+1);
val = abs(X)
subplot(4,2,m);stem(K,val,'r');grid;xlabel('k');ylabel('1X(k)')
4. 根据幅度谱的两个峰值查找并确定输入的 8 位电话号码;
limit = 80; % 基频检测门限为 80
TNr = TNr + tm(r,s-4) * 10^(8-m) % 表示成为一个 8 位数
disp('接收端检测到的号码为: ')
disp(TNr)
```

在键盘上输入 52052052, 按回车键, 当听到 8 声短音后, 观察到的图像如图 2 所示:

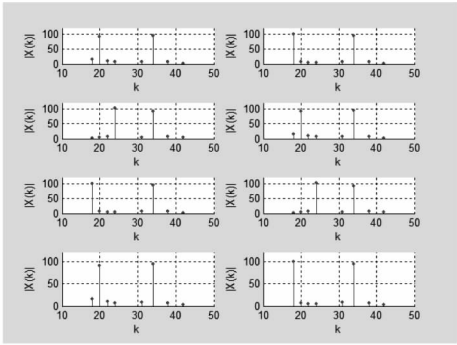


图 2 拨号结果显示

显示框提示输入及 DTMF 信号接收检测结果如图 3 所示:

键入 8 位电话号码= 52052052
接收端检测到的号码为:
52052052

图 3 拨号和接收结果

五 GUI 界面实现拨号仿真

运用 GUI 图形用户界面设计工具制作电话拨号盘, 使得 DTMF 信号和电话机的键盘矩阵相对应, 主要步骤如下:

- (1) 选用常用的 10 个数字键 0-9, 2 个功能键“*”、“#”, 其它键省略。
- (2) 设置一个编辑框, 用于动态的显示拨号号码, 模拟实际电话的拨号显示窗口。编辑框可用 (Edit Text) 添加。
- (3) 添加空白区域作为背景, 并用静态文本框制作文字信息。背景可用 (Frame) 添加, 静态文本框可用 (Static Text) 添加。使得图形电话拨号盘简洁美观。
- (4) 运用 GUI 图形用户界面设计工具生成的图形电话拨号盘用于拨号音的合成产生部分, 电话机键盘矩阵的排列方式制作四行三列的按键控件。

通过以上 4 步设计出来的 GUI 模拟键盘如图 4 所示:

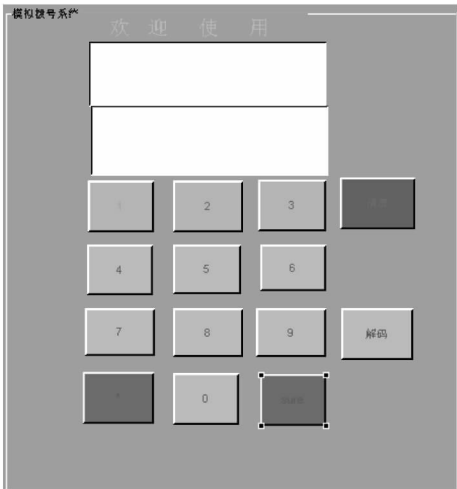


图 4 模拟拨号键盘

图 4 中按键的功能分别为: 数字键实现拨号的号码, 最上方显示屏显示拨号盘上按下的号码, “*”是删除的功能, “sure”键即“#”键代表确认拨号, 解码键的功能是实现第二个显示屏接收并显示拨出的号码, 清屏键是清除两个显示屏的内容。

下列举例按键“1”和解码按键的部分 CALLBACK 函数代码:

按键“1”:

Function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject handle to pushbutton1 (see GCBO)

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB

% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

n = [1:1000]; % 每个数字 1000 个采样点

d1 = sin(0.5346 * n) + sin(0.9273 * n); % 对应行列频叠加

n1 = strcat(get(handles.edit1, 'string'), '1'); % 获取数字号

set(handles.edit1, 'string', n1); % 显示号码

space = zeros(1, 100); % 100 个 1 模拟静音信号用 zeros 定义一个包含 100 个空号样本的行向量 space, 定义 phone 是电话号码, 在电话号码中加入噪声

global NUM

phone = [NUM, d1];

NUM = [phone, space]; % 储存连续拨号音信号

wavplay(d1, 8192); % 拨号音

上面的程序的解释如下:

- (1) NUM 定义的是全局变量, 用于存储连续的 DTMF 拨号音信号, 包括数字信号音和静音信号。
- (2) d0 = sin(0.7217 * n) + sin(1.0247 * n) 中的行频与列频是根据表 1 中 0 键对应的计算得出, 已知声音取样频率, 则取样后对于保留的两个功能键“*”和“#”, 按照现行双音频按键拨号的习惯, 将“*”作为删除键, “#”作为确认键。

(3) “*”删除键的作用是将前面拨错的号

码删除退回, 即将显示窗口已经显示的错误号码退回一位数字, 并且将连续拨号音信号的存储单元 NUM 中退回一位拨号音信号和静音信号。删除可以进行连续的操作。

(4) “#”确认键的作用是将前面拨过的号

码进行确认保留, 此时连续拨号音信号的存储单元 NUM 中的信号即为最后用于识别的连续 DTMF 拨号音, 并在显示窗口中显示“#”号作为标记。

解码键:

% —— Executes on button press in pushbutton15.

Function pushbutton15_Callback(hObject, eventdata, handles)

```
% hObject handle to pushbutton15 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
```

```
global NUM % 解码程序
wavplay(NUM,2000);
L=length(NUM); % num 为全局变量
n=L/1100; % 采样点为 1000,100 是静音间隔
number = '';
for i = 1:n
    j = (i - 1) * 1100 + 1;
    d = NUM(j:j + 999); % 取出每个数字
    f = fft(d,2048); % 以 n = 2048 做 fft 变换
    a = abs(f);
    p = a. * a/10000; % 计算功率谱
    num(1) = find(p(1:250) == max(p(1:250))); % 找行频
    num(2) = 300 + find(p(300:380) == max(p(300:380))); % 找列频
    if (num(1) < 180) row = 1; % 确定行数
    if (num(2) < 320) column = 1; % 确定列数
    if z == [4,2] tel = 0; % 第四行第二列
    set(handles.edit2,string(number));
```

在程序运行时,拨打号码“12345678”,显示屏 1 显示“12345678”,按“JHJ”(sure)键听 8 位号码的连续拨号音,按解码键,接收号码显示在显示屏 2 上。运行结果如图 5 所示:

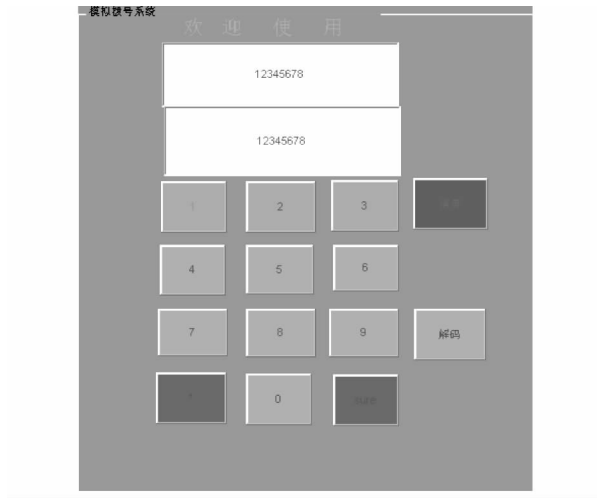


图 5 实验仿真结果

一个 GUI 中包含多个控件,GUIDE 中提供了用于指定每个控件所对应的响应函数的方法,即通过每个控件的响应属性将控件与对应的响应函数相关联。默认情况是 GUIDE 将每个控件的最常用的响应属性设置为% automatic。比如每个按钮有五个响应属性,ButtonDownFcn、Callback、CreateFcn、DeleteFcn 和 KeyPressFcn, GUIDE 将其 Callback 属性设置为% automatic。我们可以通过属性编辑器将其他响应属性也设置为% automatic。当再次保存 GUI 时,GUIDE 将 % automatic 替换为响应函数的名称,该函数的名称由该控件 Tag 属性及响应函数的名称组成。

六 结 论

本文主要针对 DTMF 信号的发生和解码给出了不同的仿真实现方法。

一般而言,采用硬件实现,速度快,能满足实时处理来电信号,解码可靠性高。同时,可以集成许多其他的电话控制功能,但硬件成本高,专用芯片的适用面窄。本次设计使用 MATLAB 软件中的不同功能多种方法实现对 DTMF 信号拨号系统的仿真,通过短时平均过零率对按键音频进行端点分割,并采用 Goertzel 算法对信号进行频谱分析,最后输出音频对应的连续按键号码,仿真过程中通过软件实现了信号的编解码,突出了软件速度快,成本低,应用广泛的优点。

参考文献:

[1] 赵 霞. 双音多频信号产生及解码的研究[J]. 微电子学,2001(6).

[2] 徐明远,刘增力. MATLAB 仿真在信号处理中的应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2007.

[3] 戈今朝,张禄林,钱玉美. 一种新的基于 Goertzel 算法的 DTMF 信号检测方法[J]. 通信技术,2002(9).

[4] 刘 羽. 语音端点检测及其在 Matlab 中的实现[J]. 计算机时代,2005(8).

[5] 高西全,丁玉美,阔永红. 数字信号处理 - 原理、实现及应用(第 2 版)[M]. 北京:电子工业出版社,2010.

(责任编辑 罗 渊)