

# 基于 MATLAB 的双音多频信号识别<sup>①</sup>

## Detection of DTMF Signals Based on MATLAB

刘艳芳 窦育强 张爱丽 (河南师范大学 计算机与信息技术学院 河南 新乡 453007)

**摘要:** 本文主要运用 MATLAB 对录制的双音多频信号进行按键号码的检测。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, 并在最后比较了分别采用短时能量和短时过零率的优缺点。

**关键词:** 双音多频 端点检测 戈泽尔算法

### 1 引言

双音多频 (DTMF: Dual Tone Multi-frequency) 信号是在世界范围内广泛应用在按键式电话机上的一种电信标准, 近年来 DTMF 也应用在交互式控制中, 诸如语言菜单、语言邮件、电话银行和主叫用户信息识别(来电显示)上<sup>[1]</sup>。

DTMF 实际是由两种音调的声音组合而成: 低频和高频。DTMF 信号是由两组频率合成, 低频群: 697、770、852、941(Hz); 高频群: 1209、1336、1477、1633(Hz)。每一个 DTMF 信号由一个低频和一个高频组成。共产生 16 种信号。具体的频率键值如表 1 所示。

表 1 DTMF 频率及其对应的键值

高频群(Hz)	1209	1336	1477	1633
低频群(Hz)				
697	1	2	3	A
770	4	5	6	B
852	7	8	9	C
941	*	0	#	D

当按下一个数据键, 例如“3”时, 则产生频率为 697Hz 和 1477Hz 的两个正弦波, 并叠加。对 DTMF 信号所规定的指标是: 每个数字传送过程中, 信号必须存在至少 45ms, 且不得多于 55ms, 100ms 里的其他时间都是静音。

各种 DTMF 信号的应用都离不开 DTMF 信号的检测, 这是 DTMF 信号应用的关键。对它的检测, 主要通过数字信号处理的算法以及硬件实现。而在软件实现时, 一般论文只给出用双正弦信号模拟电话按键的检测, 对于连续按键声音的检测很少给出检测方案和结果<sup>[2-4]</sup>。本文主要通过 MATLAB 的软件编程来实现对 DTMF 信号的检测。并给出了用平均短时能量和平均过零率对 DTMF 信号进行端点检测的比较。

对 DTMF 信号的检测主要包括两个关键步骤: 在输入的数据信号流中连续地搜索各个输入号码 DTMF 信号的存在, 搜索信号有效的行频和列频从而得到对应的号码数字。

### 2 端点检测

语音信号的端点检测是进行其他语音信号处理(如语音识别, 讲话人识别等)重要且关键的第一步。对于输入的一段语音信号, 目前采用的端点检测方法大多基于 Rabiner L R 等人提出的算法。这种算法是用语音信号的短时平均过零率和短时平均能量值作为参数, 对一段语音信号的起点和终点进行检测, 从而把语音信号从背景噪声中区分出来<sup>[5-8]</sup>。找到语音信号的起止点, 从而减小语音信号处理过程中的计算量, 是众多语音信号处理领域中一个基本而且重要的问题。端点作为语音分割的重要特征, 在很大程度上影响识别的性能。一般认为, 一种理想的端点检测算法

① 基金项目:河南省科技攻关基金(082102210109);河南省教育自然科学基金(2007510008)

收稿时间:2009-01-07

应当具有以下几个特征：可靠性、鲁棒性、精确性、自适应性、简单性、实时性和对噪声特征无需先验知识。

设语音波形时域信号为  $x(l)$ ，设第  $n$  帧的短时能量用  $En$  表示<sup>[9]</sup>，则

$$En = \sum_{m=0}^{N-1} x_n^2(m) \quad (1)$$

$En$  是一个度量语音信号幅度值变化的函数。短时过零率表示一帧语音中语音信号波形穿过横轴(零电平)的次数。计算公式为：

$$Zn = \frac{1}{2} \sum_{m=0}^{N-1} |\text{sgn}[x_n(m)] - \text{sgn}[x_n(m-1)]| \quad (2)$$

式中， $\text{sgn}[\ ]$ 是符号函数，即：

$$\text{sgn}[x] = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

因为在各个按键之间肯定有一定的静音间隔，本文通过计算输入按键信号的短时过零率，设定阈值，将各个按键信号分割开并依次保存下来。

### 3 Goertzel算法

通过短时能量可以将一连串的按键信号分割开并保存下来。接下来就要对每个信号对其进行频谱分析，然后对照表 1 所给出的各种频率匹配即可。为了保证检测的有效性，降低算法的复杂性，在对 DTMF 信号进行频谱分析时候一般采用 Goertzel 算法<sup>[10]</sup>。Goertzel 算法是计算离散傅里叶变换的方法，当需要计算的频率点数不超过  $2\log N$  时，Goertzel 算法将比 FFT 更为有效。通过 FFT 可以计算得到信号所有谱线，了解信号整个频域信息，而对于 DTMF 信号只关系其 8 个行频/列频。此时 Goertzel 算法能更快速的在输入信号中提取频谱信息。Goertzel 可以看作一个高 Q 的窄带滤波器，滤波器的传递函数为：

$$H_k(z) = \frac{1 - e^{j2\pi k/N} z^{-1}}{1 + 2\cos(2\pi k/N) z^{-1} + z^{-2}} \quad (4)$$

其中， $H_k(z)$ 为滤波器函数， $f$  为信号频率， $f_s$  为系统采样频率， $N$  为样本点数。频率  $f$  的 FFT 值可以用下式计算：

$$|X(k)|^2 = w_k^2(N-1) - 2\cos(2\pi f_k/f_s) \cdot w_k(N-1) \cdot w_k(N-2) + w_k^2(N-2) \quad (5)$$

### 4 算法的实现

(1) 将事先录制好的一段按键音频通过 MATLAB 的 `waveread(file)`函数导入到 MATLAB 的工作空间。

(2) 设计一个带通滤波器，本文采用的是 FIR 滤波器<sup>[11]</sup>，将高于 1633Hz 和低于 679Hz 的噪声滤除。

(3) 在时域上，计算输入信号的短时能量和短时过零率。并通过短时能量或过零率对信号进行端点检测，把每个按键对应的信号依次分割并保存。

(4) 利用 Goertzel 算法计算出分割后信号 8 个相应的频点的值，找到幅值最大的两个点即为本信号对应的高低频的位置。

(5) 循环 3-4 步骤，直到所有的信号都分析完毕。

(6) 显示输出结果，即音频对应的按键数字。

### 5 结果分析

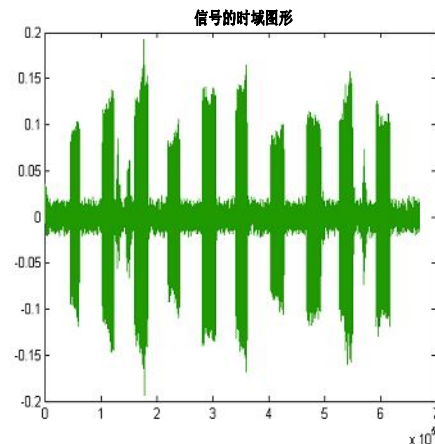


图 1 输入信号的时域

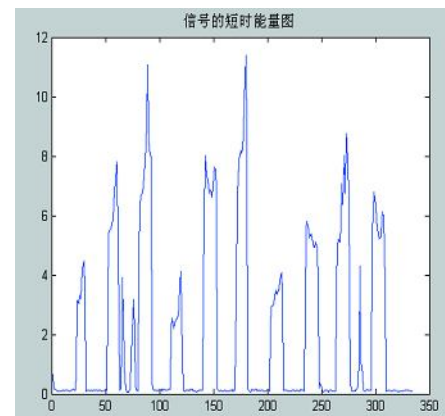


图 2 信号的短时能量图

如果一段音频为连续输入“1234567890”十个按键的声音,则时域图形如图 1 所示,短时能量图如图 2,而短时过零率如图 3。从图 1 可以看出在按键 1 和 2 之间、9 和 0 之间有很大的噪声,在短时能量图上可以看出影响很大,有的噪声能量和信号能量一样大小,以至于无法设置能量门限对其进行分割,而这些噪声在短时过零率图上影响就较小,所以采用短时过零率来进行端点检测较好。

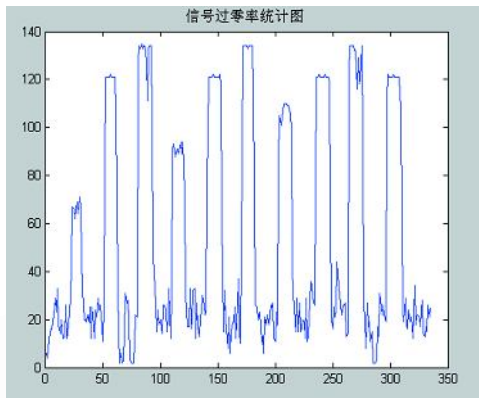


图 3 信号的短时过零率

在实验中发现,在背景噪声较小时用平均能量识别较为有效,而在背景噪声较大时用平均过零率识别较为有效。由于我们实验所采用的音频是通过计算机的耳机直接录制而成,实验条件简陋,所以最后都采用过零率来对信号进行端点检测。

## 6 结论

本文所设计的方案对于大多数所录制的按键音频

都能较好的识别并显示出结果,且采用 Geotzel 算法使运算速度提高很多。

## 参考文献

- 1 赵霞.双音多频信号产生及解码的研究.微电子学, 2001,31(6):418-421.
- 2 徐阿勇,李方洲,罗蔚华.基于 MATLAB 的 DTMF 技术计算机模拟.温州师范学院学报(自然科学版), 2005,26(5):40-44.
- 3 戈今朝,张禄林,钱玉美.一种心得基于 Goertzel 算法的 DTMF 信号检测方法.通信技术, 2002,129:16-18.
- 4 王志高.基于软件的 DTMF 产生器及其性能研究.长春理工大学学报(高教版), 2007,3(1):146-149.
- 5 刘庆生,徐霄鹏,黄文浩.一种语音端点检测方法的探究.计算机工程, 2003,29(3):121-138.
- 6 刘羽.语音端点检测及其在 Matlab 中的实现.计算机时代, 2005,(8):25-26.
- 7 江官星,王建英.一种改进的检测语音端点的方法.微计算机信息, 2006,22(51):30-31.
- 8 张震宇.基于 Matlab 的语音端点检测实验研究.浙江科技学院学报, 2007,19(3):197-201.
- 9 赵力.语音信号处理.北京:机械工业出版社, 2005:31-37.
- 10 Goertzel G. An Algorithm for the Evaluation of Finite Trigonometric Series. American Math Monthly, 1958. 65(1):34-35.
- 11 张学敏.FIR 低通和带通滤波器的关系分析与仿真.现代电子技术, 2008,(19):57-62.