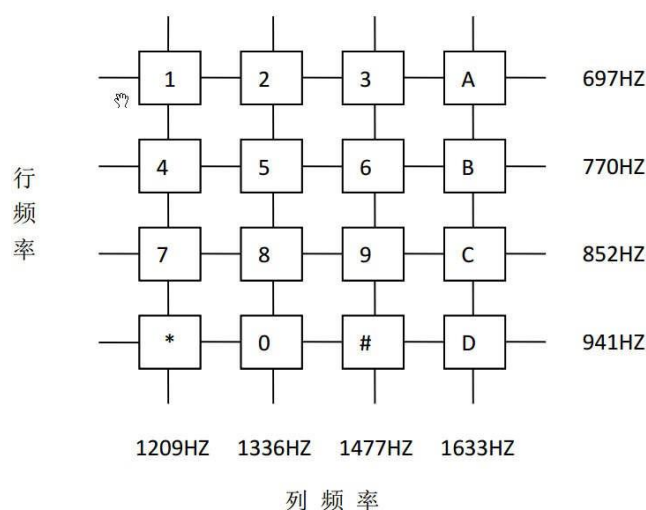


DTMF信号的检测与识别

现有拨号式电话机的拨号音均采用双音多频 DTMF (Dual Tone Multiple Frequency) 技术来产生和识别。电话机端根据用户所拨按键产生不同的音频信号：每个按键对应着由两个频率信号组成的音频信号。在交换机端，对收到的音频信号进行分析，检测有效频率组合的存在性，并将其转换成对应的按键或数字信息。在电话系统中，DTMF信号具有两种作用：一是控制交换机接通被叫用户的电话机；二是用于控制电话机的各种动作。

1、DTMF信号的产生

DTMF信号可直接利用行频和列频两组正弦信号的叠加来产生。行频和列频分别包含4个频率，每个按键对应着一个行频和列频的频率组合，因此DTMF信号共有16个编码。DTMF信号的具体频率配置见下图：



2、DTMF信号的检测与识别

对于DTMF信号的检测和识别可以有如下两种方法：

- 方法1：利用FFT直接计算输入信号的DFT，通过对信号整个频域信息的分析来检测DTMF的存在并识别相应的按键。

- 方法2：考虑到检测DTMF信号时只关心其8个已知频率的行频/列频信息，如果有选择地计算特定频率点处的频域信息，则可以大大降低计算复杂度。这正是Goertzel算法的出发点。该算法利用相位因子的周期性，将DFT计算表示为线性滤波形式，实现了有选择地计算特定频点处频域信息的效果。该算法的简要推导过程如下：

(1) 利用相位因子的周期性，可将DFT定义表示成如下形式

$$X[k] = \sum_{r=0}^{N-1} x[r] W_N^{rk} = \sum_{r=0}^{N-1} x[r] W_N^{-(N-r)k}$$

(2) 设 $h_k[n] = W_N^{-nk} u[n]$ ，而 $y_k[n]$ 为 $x[n]$ 和 $h_k[n]$ 线性卷积的结果。则有

$$X[k] = y_k[n] \Big|_{n=N} = \sum_{r=0}^{N-1} x[r] W_N^{-(n-r)k} u[n-r]$$

上式说明 $X[k]$ 可以由如下方式计算得到：将序列 $x[n]$ 输入到以 $h[n]$ 为单位抽样响应的LTI系统中，该系统输出的第N个值即为所求的结果。

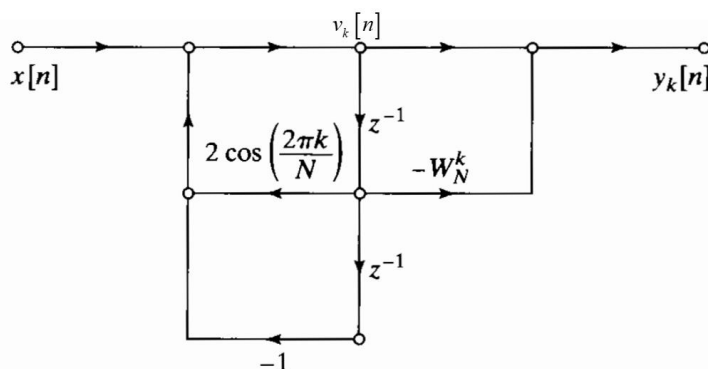
(3) 对 $h_k[n] = W_N^{-nk} u[n]$ 进行z变换可得

$$H_k(z) = \frac{1 - W_N^k z^{-1}}{1 - 2 \cos(\omega_k) z^{-1} + z^{-2}} = H_{k1}(z) H_{k2}(z)$$

其中，

$$H_{k1}(z) = \frac{1}{1 - 2 \cos(\omega_k) z^{-1} + z^{-2}}, \quad H_{k2}(z) = 1 - W_N^k z^{-1}, \quad \omega_k = \frac{2\pi k}{N}$$

$H_k(z)$ 的实现可用如下的系统框图来表示



对于每一个待分析的特定频率点，其都对应着这样一个滤波器。对于第k个滤波器，其可通过如下的两个差分方程来实现

$$\begin{aligned}v_k[n] &= 2\cos(\omega_k)v_k[n-1] - v_k[n-2] + x[n] \\y_k[n] &= v_k[n] - W_N^k v_k[n-1]\end{aligned}$$

在实际计算过程中，首先令差分方程的初始状态为0。第一个差分方程随数据的输入迭代计算；而第二个差分方程只需要在最后输出时刻（即n=N）计算，得到

$$X[k] = y_k[N] = v_k[N] - W_N^k v_k[N-1]$$

下图给出了电话拨号“7”时的DTMF信号波形及上述两种方法得到的频谱。

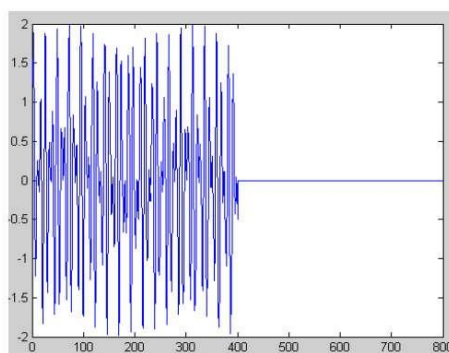


图 a

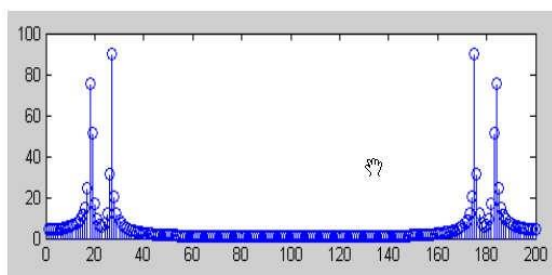


图 b

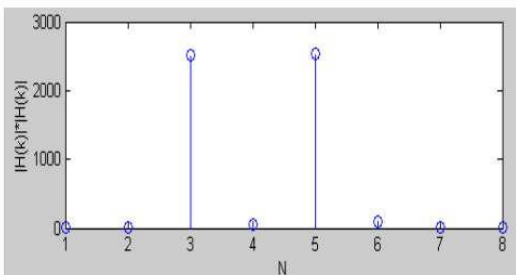


图 c

- a: 电话拨号“7”的DTMF编码信号波形
b: “7”的DTMF编码FFT频谱
c: “7”的DTMF编码GOERTZEL功率谱

3、课程设计内容

3.1、DTMF信号的产生

要求根据中文教材5.10.1节介绍的第二种数字正弦振荡器设计方法，编写实现DTMF信号产生的MATLAB程序：输入任意按键值，可产生与其对应的DTMF数字信号波形输出。产生数字信号的采样率设为8kHz。

3.2、DTMF信号的检测和识别

要求利用第2节讨论的两种算法，对给定音频文件中的DTMF信号进行检测和识别。音频文件采样率为8kHz。

（1）附件1目录中包括10个长度不一的音频文件，利用MATLAB提供的相关函数对这10个文件中的DTMF信号进行频谱分析，并给出10个文件中DTMF信号所对应的按键值。

（2）编写实现Goertzel算法的MATLAB程序，重新完成对这10个文件中DTMF信号所对应按键值的检测识别。

（3）附件2目录中有一个长音频文件，其中包含了一串DTMF信号，各DTMF信号之间的时间间隔不一且可能包含不合理的频率组合。请编写MATLAB程序对该串DTMF信号进行检测和识别。

4、课程设计报告要求

课程设计报告中应包括对DTMF信号产生和检测识别程序的算法原理和设计思路的说明、程序流程图、两种方法下DTMF信号检测识别结果和对结果的讨论分析等内容。