



数字信号处理实验

——MATLAB 仿真 DTMF 信号的生成与解码

陈超

10213053

国际学院

目录

摘要.....	1
1. 概述.....	1
1.1 实验环境.....	1
1.2 实验思路.....	1
i) 单个号码的信号生成:	1
ii) 长串号码的信号生成:	2
iii) DTMF 信号解码:	2
iv) 音频处理:	3
v) 图形界面集成:	3
2. 实验过程.....	3
2.1 软件流程图	3
3. 运行结果	4
4. 结论.....	7

摘要

DTMF（双音多频信号）由于其具有抗噪声抗衰减性能好、实现难度小等优点，被广泛应用于中低速数据的传输中。DTMF 是按键电话通信，也广泛用于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。研究其在 MATLAB 下的仿真实现，有助于其具体系统的优化设计。

本题要求设计简单的系统，对每个按下的按钮能返回对应的音频信号，本文在题目要求的基础上，拓展功能，介绍 DTMF 信号的产生与解码。

本文首先阐述了 DTMF 信号的原理，介绍了在 MATLAB 中产生 DTMF 信号的方法，并根据输入的号码，生成符合传送、接收标准的音频文件。本文详细说明了如何通过快速傅里叶变换对输入的音频信号提取频谱信息，根据提取的频谱信息，分析其时域与频域信号波形并进行检测解码。

本文通过 MATLAB 的 GUIDE 工具生成图形界面，将操作与结果集成化、可视化。发声部分成句是按照国际标准规定的双音多频拨号系统的频率，用一对高、低频率音频组成一个按键语音，并在图上显示相应的波形。

关键词：双音多频、快速傅里叶变换、MATLAB、解码、数字信号处理

1. 概述

1.1 实验环境

本实验是在 MATLAB 环境下进行仿真。本实验使用的版本为 MATLAB 2013a。

1.2 实验思路

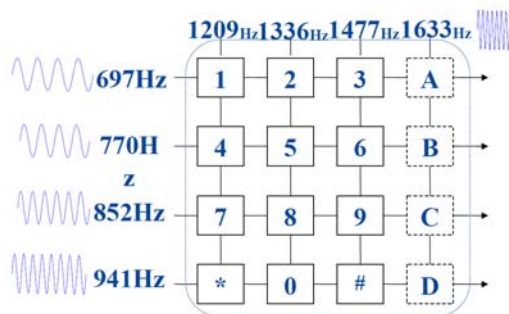
实验主要有三个功能：单个号码的信号生成、长串号码的信号生成、DTMF 信号解码。

实验主要有两个技术问题：音频处理、图形界面集成。

i) 单个号码的信号生成：

如图所示，每个 DTMF 信号都是有一对高、低频率音频信号组合而成，高频率和低频率分别有 4 个，共组成 16 个不同的信号。

统一信号的采样频率为 $f_s=8\text{KHz}$ （话音最高频率为 4KHz ，采样频率不小于其两倍），假设信号持续时间为 0.05s ，则离散时间序列为 $t=(1:0.05*f_s)/f_s$ 。对于一个特定信号，查表得其对应两个频率 f_l 和 f_h ，则该信号的函数为 $y=\sin(2*\pi*f_l*t)+\sin(2*\pi*f_h*t)$ 。



ii) 长串号码的信号生成:

根据 ITU Q.23 建议, DTMF 信号指标是: 传送/接收率为每秒 10 个号码, 即每个号码存在 100ms。每个号码传送过程中, 信号存在的时间为 45~55ms, 100ms 中其余时间为静音。

本次实验中约定 100ms 的信号中有 50ms 为信号存在时间, 50ms 为静音。将 100ms 看成一个单元, 则长串号码信号可以由单元拼接而成。因此只要对一个信号单元进行分析。对于一个信号单元, 具体函数可在“单个号码的信号生成”中获得。假设这个号码的信号为 y (持续 0.05s), 则, 静音信号为 z (持续 0.05s, 看作是频率为 0 的话音信号), 则该单元信号可以表示为 $[y \ z]$ 。

iii) DTMF 信号解码:

这是实验中实现的最重要的功能。

被解码的信号为本实验第二个功能中生成的 .wav 格式音频。原因在于模拟在无噪声无失真的理想信道传输后的信号的采样。实验中采用 FFT 对信号进行频谱分析。找出突出的两只谱线, 获得其频率再查表得出具体按键信息。

具体实现时, 考虑如下几个问题:

问题 1: 被解码的信号如何做 FFT 变换?

答: 以 200 点为一帧做 FFT 变换。

理由:

为了减少计算量, 首先不能对接收到的一长串信号整体做 FFT, 可以取 N 个点为一帧, 以一帧为单位做 FFT。

在对 N 取值时, 要考虑频谱分辨率的问题。DTMF 信号的 8 个频率中, 最小间隔在 697Hz 与 770Hz 之间, 为 73Hz。为了在频谱图中区分不同的频率分量, 则频谱分辨率必须小于 73Hz, 即 $8000/N < 73$, $N > 109.6$ 。

在采样频率为 8000Hz, 单个有声信号持续 0.05s 情况下, 单个有声信号占 400 个点。为了算法方便, 可取 200 个点 (400 的一半) 为一帧。则每个信号占 2 帧, 每个静音信号占两帧。对于每帧做 256 点 FFT。

问题 2: 每帧信号的幅频谱处理几个点?

答: 处理 64 个点。

理由:

由于对每帧信号做 256 点 FFT, 频域信号获得 256 个点, 因为幅频谱有偶对称性, 可以仅画 $N/2$ (128) 个点。由于 DTMF 信号中的最高频率为 $1633\text{Hz} < 2000\text{Hz}$ ($N/4$), 因此只画前 $N/4$ (64) 个点即可满足要求。第 m 个点对应的频率为 $8000 \cdot m / N$ 。

问题 3: 如何在获得的 64 点频谱图中识别出按键信息?

思路:

假设获得的第 k 个点的实际频率为 f , 则有以下公式: $k = (f / f_s) \cdot N$ 。其中 $f_s = 8\text{KHz}$, $N = 64$ 。由此, 我们可以得出特定的频率体现为哪个频率点。对应如下表:

fL 点数	fH 点数			
	40	44	48	53
23	1	2	3	A
26	4	5	6	B
28	7	8	9	C
31	*	0	#	D

对于一个信号长度有限的频谱信号，频谱中必然出现频谱泄露的现象，可以通过设置适当的阈值，消除较小的频谱线，获得两条谱线，再查表得出按键信息。

iv) 音频处理：

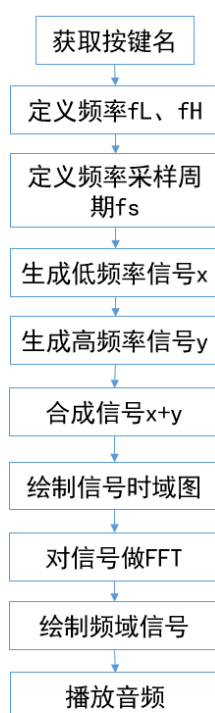
通过 sound 函数进行音频播放，通过 wavread 以及 wavwrite 函数来读写 .wav 文件。

v) 图形界面集成：

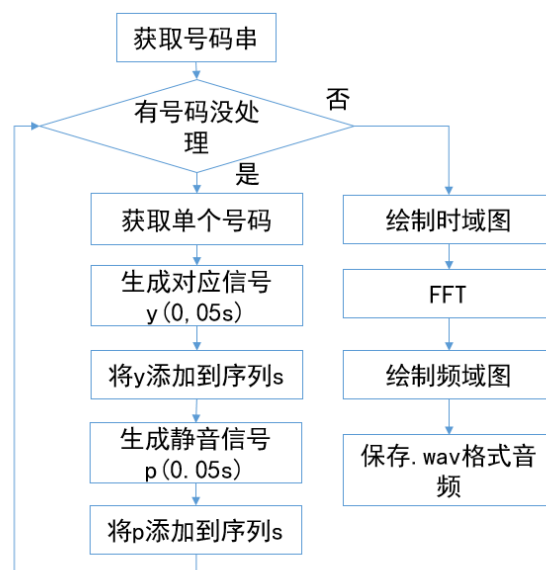
实验用 MATLAB 中的 GUIDE 工具绘制图形界面，并将操作和运算集成在图形界面中。

2. 实验过程

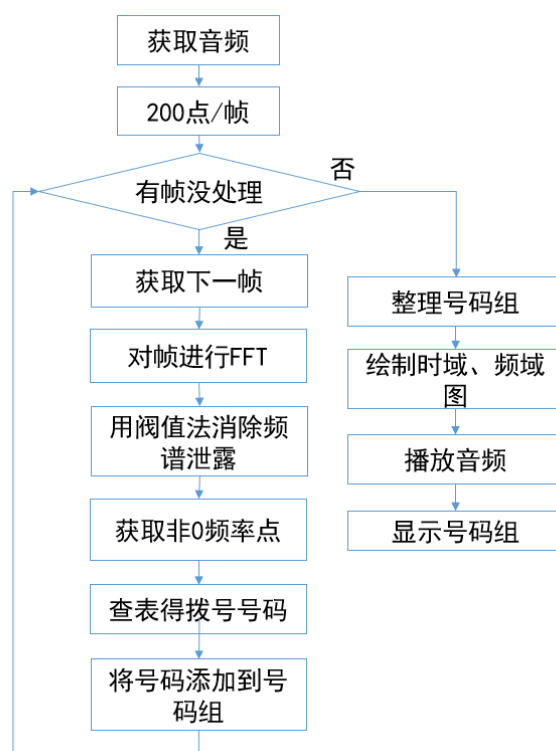
2.1 软件流程图



单个号码信号生成流程图



长串号码信号生成流程图



解码 DTFM 信号流程图

流程解释：

1) 单个号码信号生成

获取按键名，统一信号的采样频率为 $f_s=8\text{KHz}$ ，根据按键名定义两个频率 f_L 和 f_H ，对应关系可查表。根据两个频率分别生成两个信号。求出这两个信号的和信号，该和信号为输出信号。

2) 长串号码信号生成

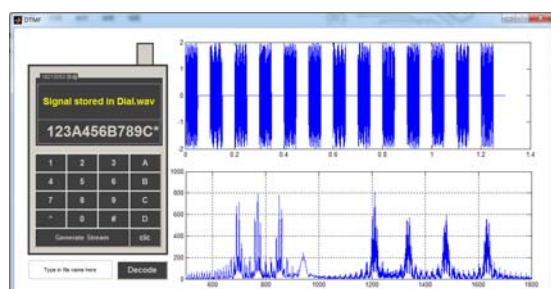
运用循环结构，对号码串中的每个号码做单个号码信号生成。对生成的信号截短取 $0\sim 0.05\text{s}$ 。将各个信号按顺序拼接。拼接时，每两个号码间插入等长的静音信号。即“信号_静音_信号_静音_信号_静音.....”。

3) 解码 DTFM 信号

读取.wav 格式文件，以 200 点为一帧进行分割，对每帧进行 fft 变换。对每个变换后的频域信号，用阈值法滤去频谱泄露产生的值。根据频谱中两个谱线所在位置，查表获得其对应的按键号码。将所有获得的号码整理并按顺序输出。

3. 运行结果

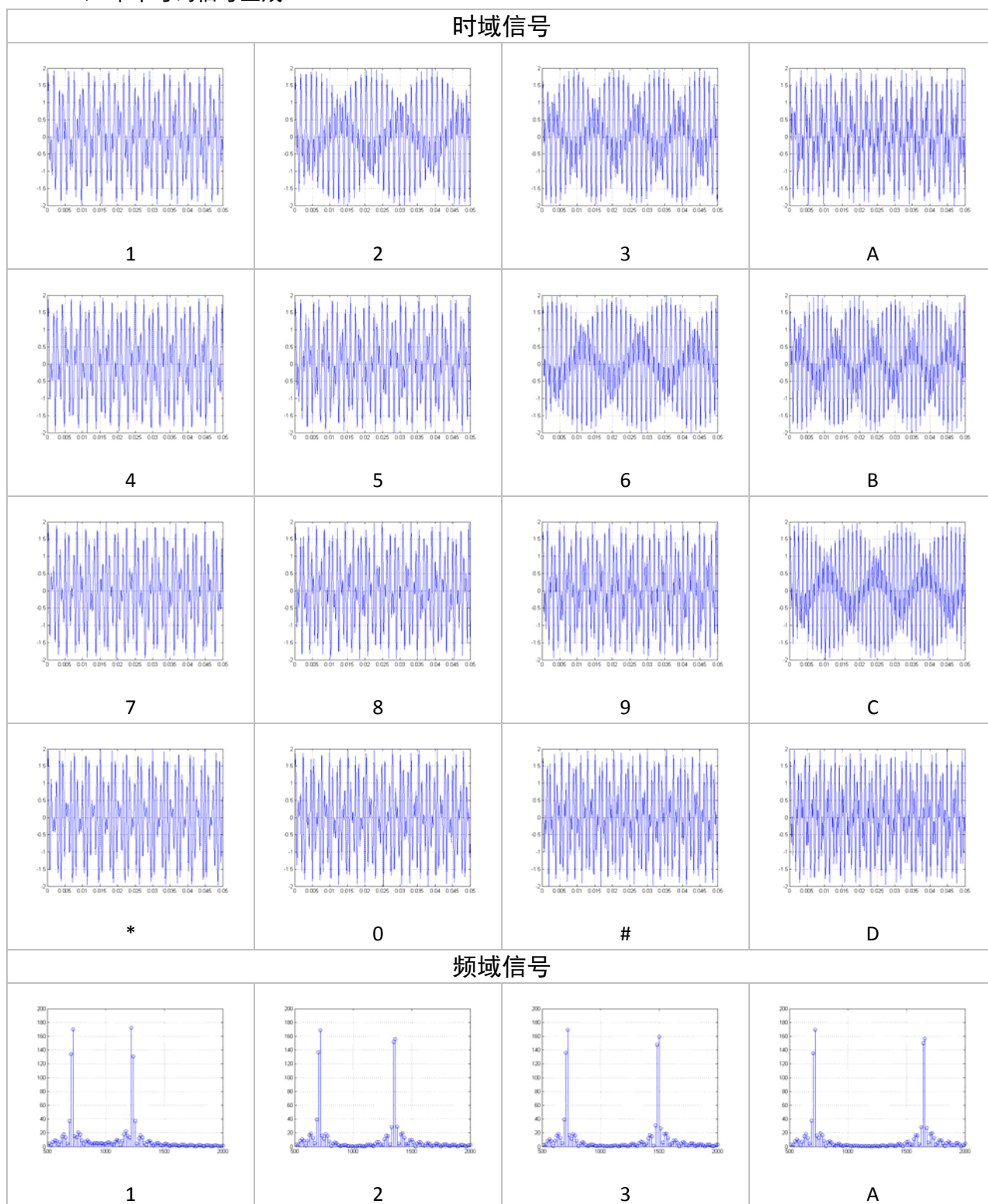
GUI 界面示例截图：

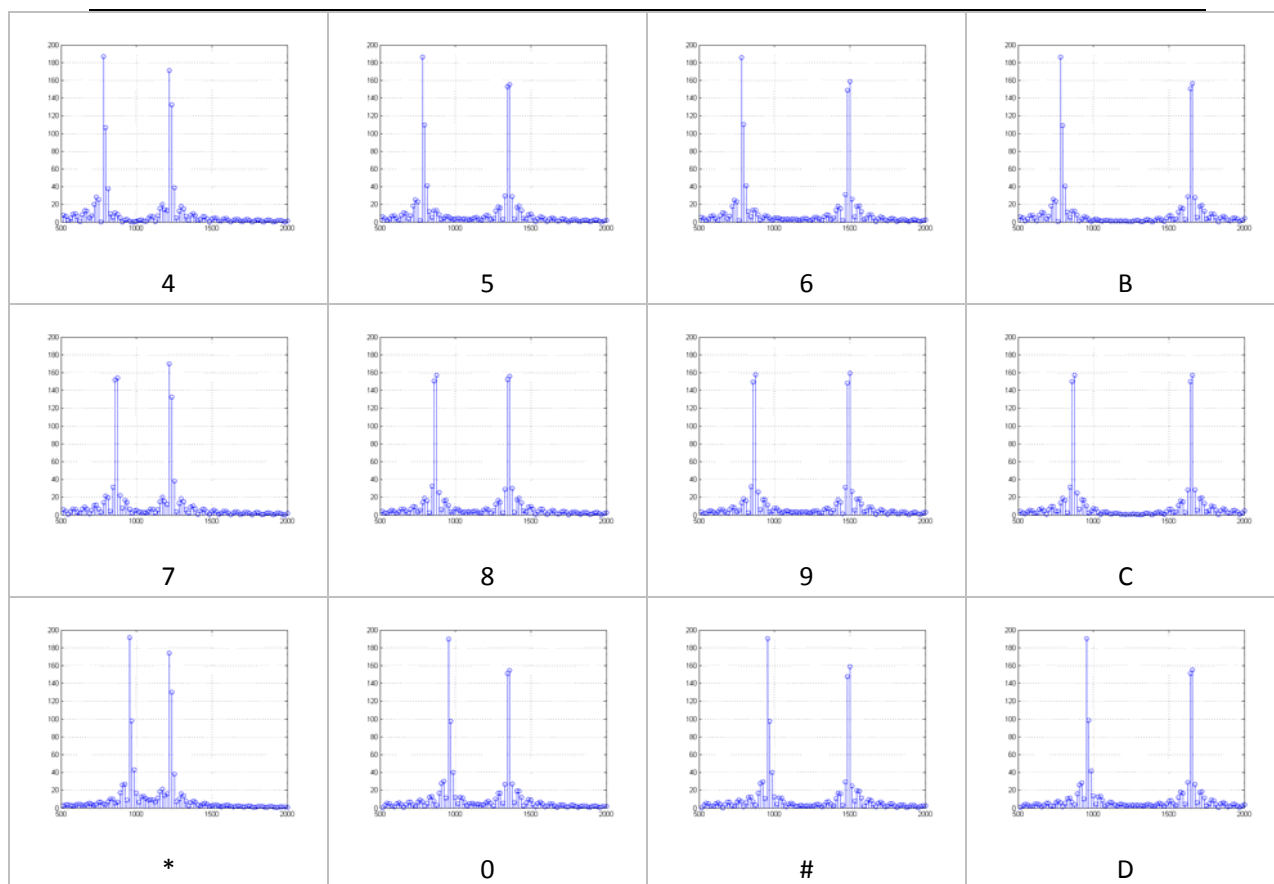


MATLAB 仿真 DTMF 信号的生成与解码

功能函数保存图片：

1) 单个号码信号生成

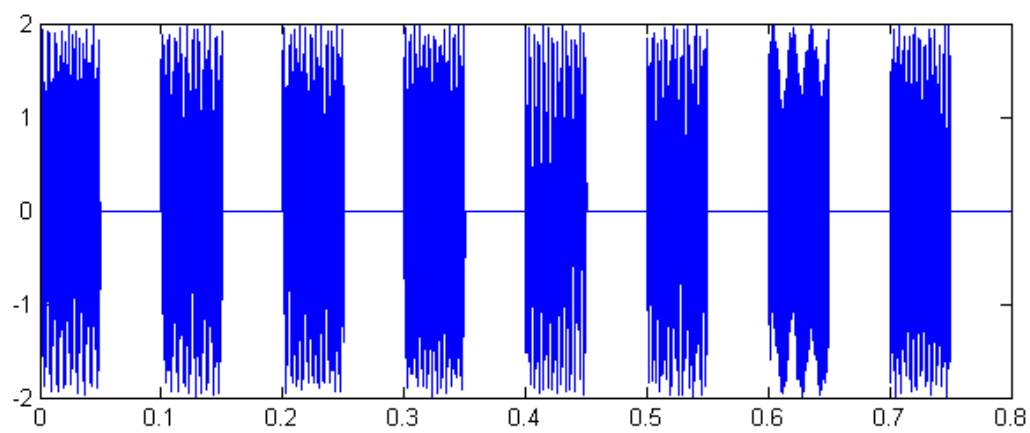




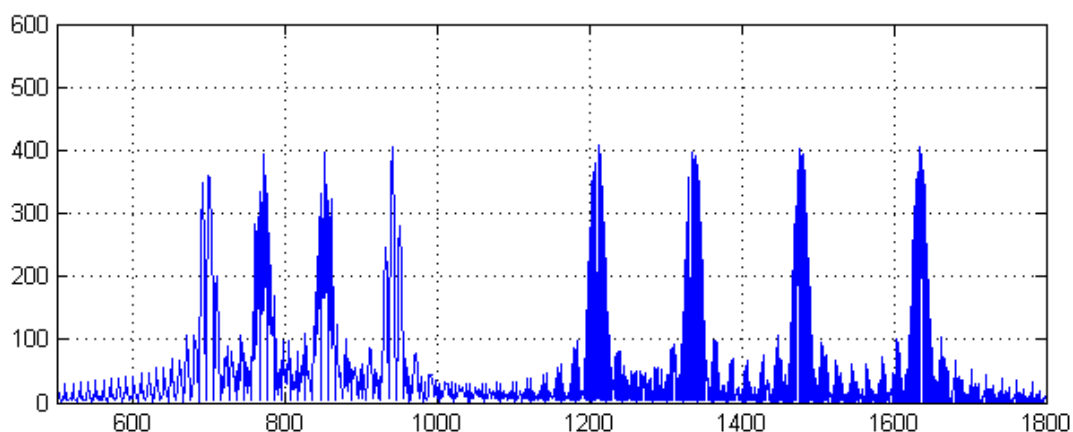
2) 长串号码信号生成

例：生成“159D*86A”

时域：

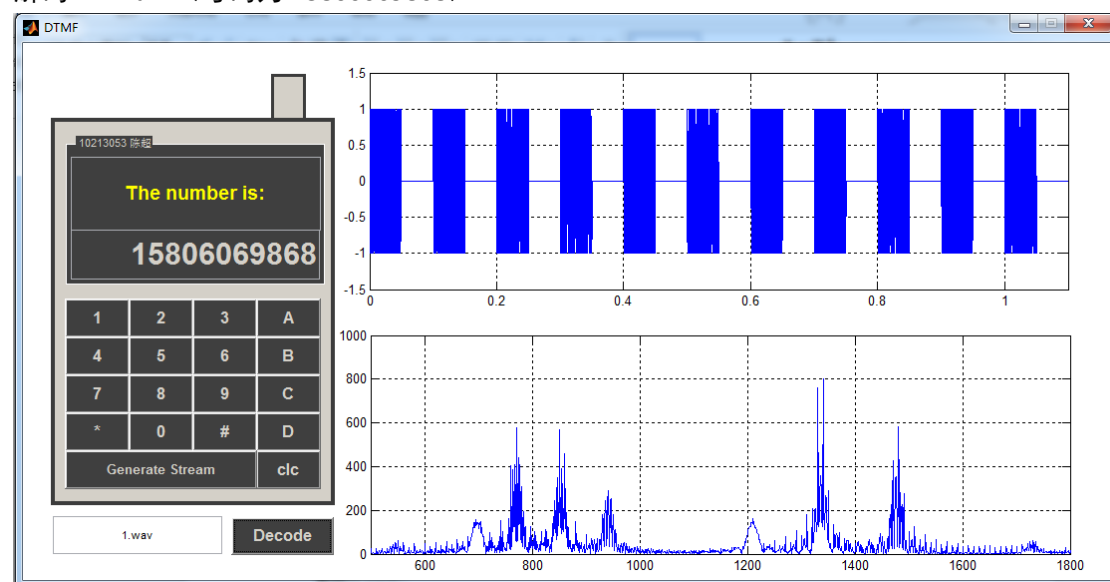


频域(FFT 近似 DTFT):



3) 解码 DTMF 信号 (GUI 截图)

解码 "1.wav" (号码为 15806069868) :



4. 结论

本实验的目的是理解 DTMF 音频产生的软件方法和 DTMF 解码的 FFT 算法。

实验用 MATLAB 成功生成 DTMF 信号和.wav 文件符合规范要求, 并成功解码生成的.wav 格式音频。在用 FFT 对信号解码时, 由于算法局限, 对变换以帧为单位 (200 点), 其运算速度仍有局限性。在现实中采用的是更优的 Goertzel 算法, 在此不再论述。