实验 1、双音频按键识别

任务：

使用两部手机录制按键声音文件，导出到 PC 机上。对录音中的按键音进行识别，检验算法的准确性。

1. 查阅文献或教材，找到 Goertzel 算法，用 Matlab 实现之，并测试其识别性能（精度、速度）。

2. 使用 Matlab 的 FFT 函数，将音频数据变换到频域，根据 DTMF 的频率组成，检测按键。

实现方法：

1. Goertzel 算法

   使用该算法前需要把声音转化成 8000 采样率单声道。

   这样我们可以把整个音频分成许多等长的部分，每个部分长度均为 205，对每个部分，使用 goertzel 算法求出 18、20、22、24、31、34、38、42 的八点 DFT，求出前四个和后四个中值最大的那个，其中前四个对应四个较小的频率，后四个对应四个较大的频率。这样就可以得到两个频率，从而得到识别结果了。

2. FFT 方法

   使用该算法前需要把声音转化成 8000 采样率单声道。

   整体做一次 fft，并求出 fft 得到数列中每个值的模，从而得到频谱图。然后找到两个合适的峰值即可。合适的峰值需要间隔一定的距离，且一个在前四个频率附近一个在后四个频率附近，满足这个条件最大的两个峰值即是我们所需的。找到这两个峰值对应的两个频率，我们就可以输出识别结果了。

实现结果：

可以全部正确识别 audio1 和 audio2 文件夹中的所有音频文件，说明识别算法正确且识别率比较高。

测试时，执行 test.m，会输出两个 ans，可以与文件名进行比较从而判断结果是否是正确的。

实验二、卷积计算方法的性能比较

任务：

根据公式计算、FFT 计算、Overlap-Save、Overlap-add 4 种卷积计算方法的原理，使用 *Matlab* 分别实现上述几种算法，并以不同长度的序列卷积来对比它们的计算效率。其中，*FFT* 函数直接调用 *Matlab* 内部函数，不必重新实现。

效率分析：

1. 公式计算：

   设两个序列的长度分别为 N 和 M，则效率为 O（NM），故在 N 和 M 都很大的时候计算会很慢。

2. FFT 计算：

   设两个序列中较长的序列长度为 N，由于 FFT 的效率为 O（NlogN），故效率应为 O（NlogN）。显然比公式法稳定，但在某些情况（比如一个序列长度特别长一个序列长度特别短）的时候效果不如公式法。而且 FFT 需要进行大量的复数乘法加法的操作，所以常数很大。

3. Overlap-Save 和 Overlap-add 算法：

   这两种方法主要是优化了 FFT 的复数乘法进行的次数，都是采用分段的思路利用性质使复数乘法操作变成复数加法操作，所以使效率大大提高。

测试结果：

1. 公式计算：

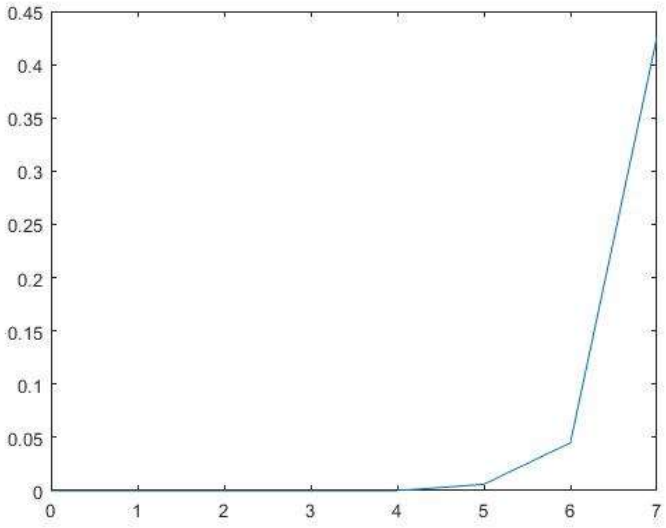
   从上到下依次为：

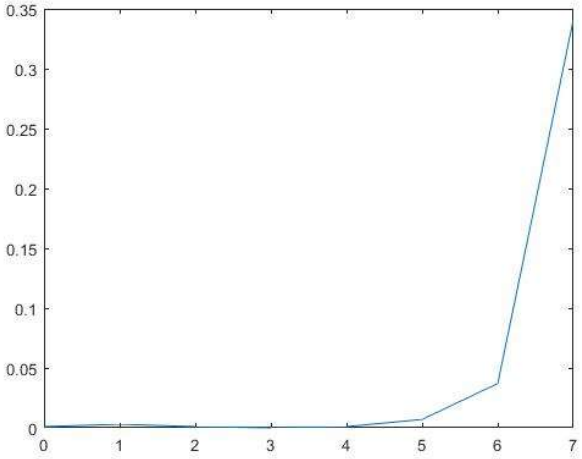
   X 的长度为 L，h 的长度为 3

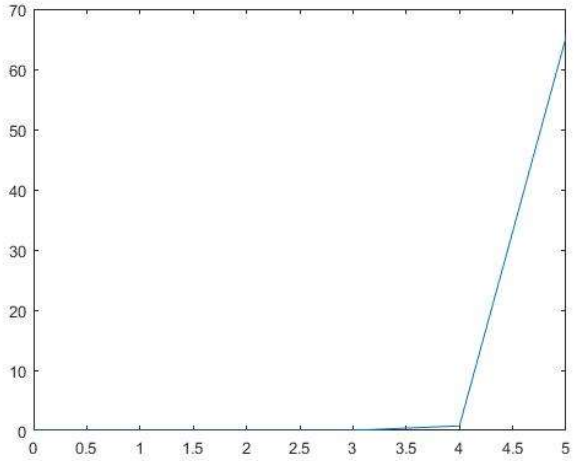
   X 的长度为 3，h 的长度为 L

   X 的长度为 L，h 的长度为 L

   其中，横坐标为 L 大小，L=10^x；纵坐标为进行操作所需的时间。







观察后我们可以发现，公式法不适合计算两个序列均很长的情况，与效率分析结果一致。

2. FFT 计算

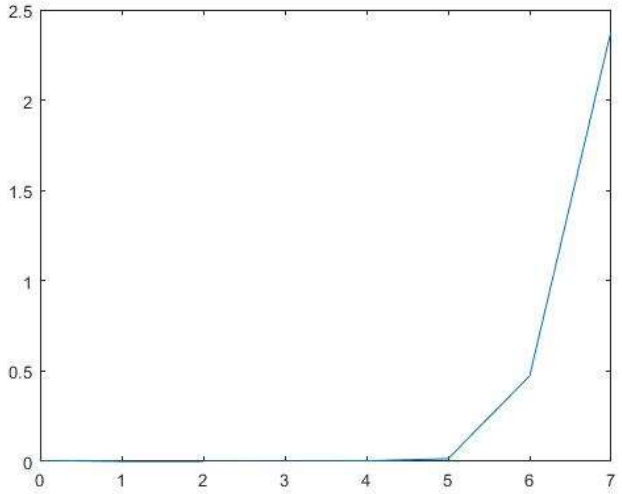
从上到下依次为：

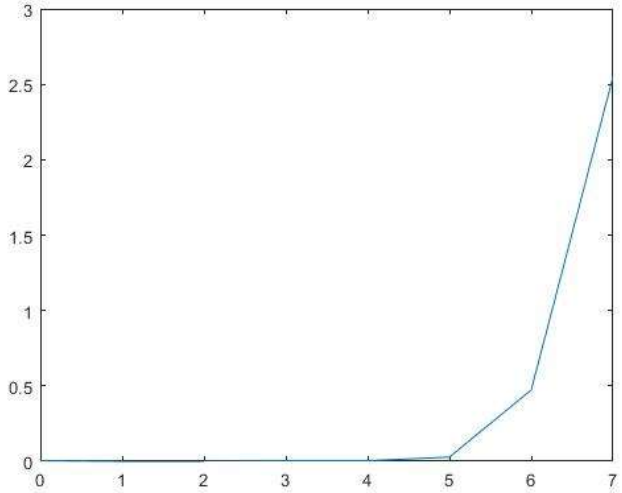
X 的长度为 L，h 的长度为 3

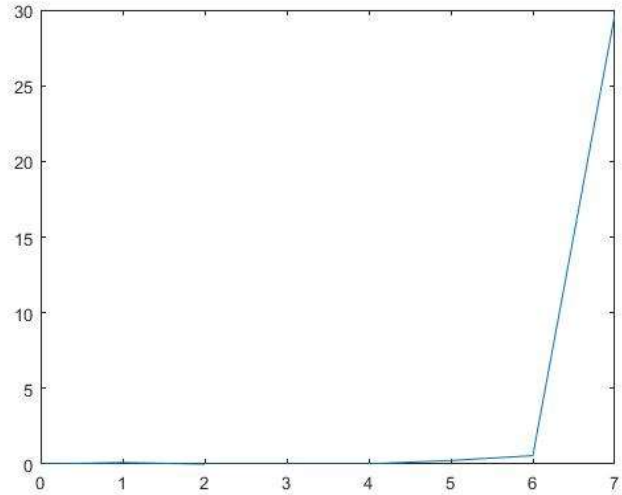
X 的长度为 3，h 的长度为 L

X 的长度为 L，h 的长度为 L

其中，横坐标为 L 大小，L=10^x；纵坐标为进行操作所需的时间。







通过观察我们可以发现，FFT 优化的确大幅提高了速度，但是由于复数乘法次数过多，所以在两个序列长度均很长时时间仍然不能让人满意。

3. Overlap-Save 算法：

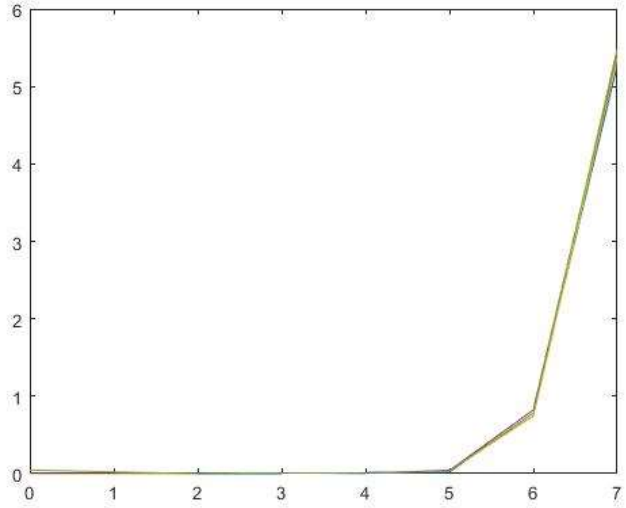
   从上到下依次为：

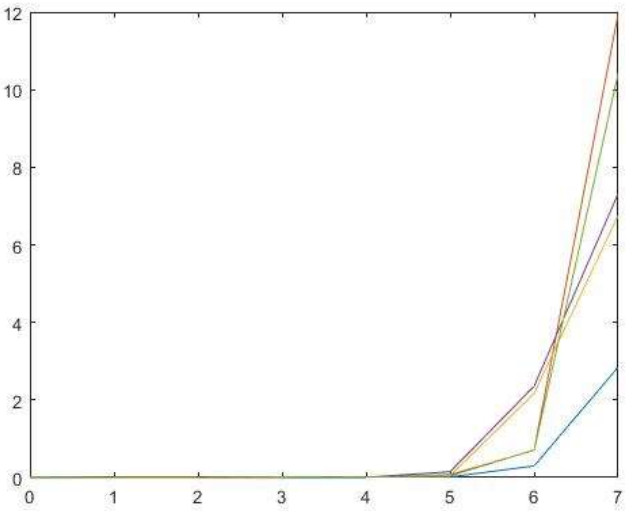
   X 的长度为 L，h 的长度为 3

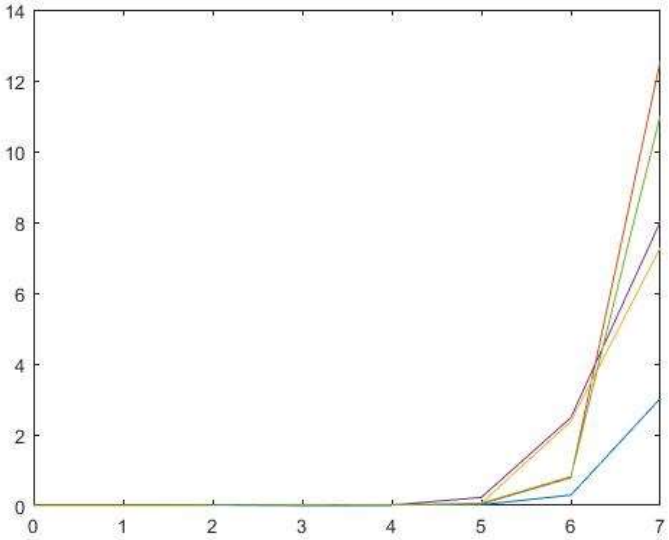
   X 的长度为 3，h 的长度为 L

   X 的长度为 L，h 的长度为 L

   其中，横坐标为 L 大小，L=10^x；纵坐标为进行操作所需的时间，不同直线代表不同的划分长度。







通过观察我们可以发现在两个序列长度均很长时，改进明显。在两个序列长度均在 10000000 以内时，时间可以稳定在 8s 之内，效率很稳定。

4. Overlap-add 算法：

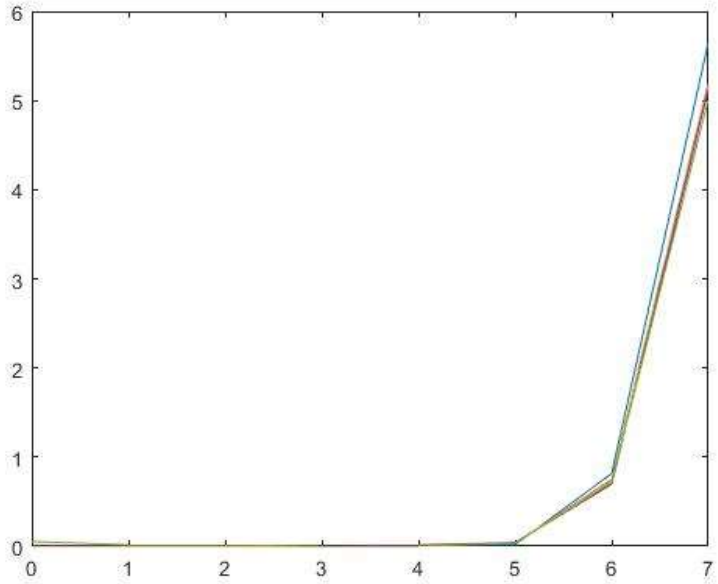
从上到下依次为：

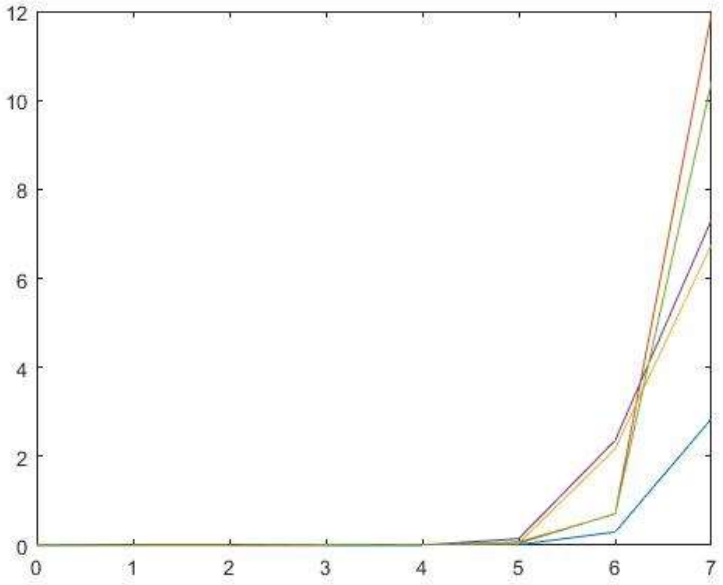
X 的长度为 L，h 的长度为 3

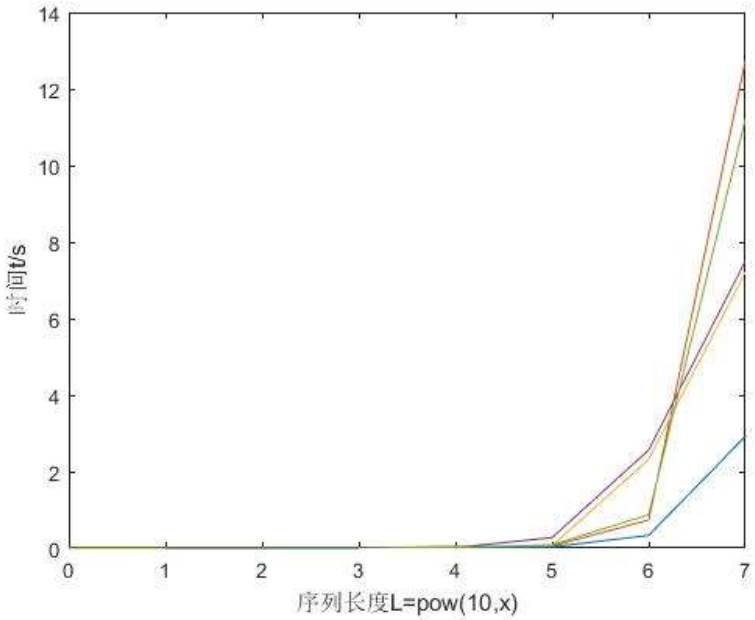
X 的长度为 3，h 的长度为 L

X 的长度为 L，h 的长度为 L

其中，横坐标为 L 大小，L=10^x；纵坐标为进行操作所需的时间，不同直线代表不同的划分长度。







与 Overlap-save 方法相似，均可以在两个序列长度在 10000000 以内时将时间压缩到 8s 以内，也是一种比较好的方法。

实验结论：

无论是公式法还是 FFT 优化的方法，对于两个长度都比较长的序列时都比较无力，而 overlap-save 和 overlap-save 方法可以很好地解决这个问题。

实验三、语音信号的频分复用

任务：

找内容不同的多段语音，要求时间长度相等，采样频率也相同。用*Matlab* 编程来验证通信系统中的“频分复用”原理。仅要求模拟和验证通信系统中的调制（相当于编码）和解调（相当于解码）的原理。

编码处理：对多个语音片段分别进行处理，然后将处理结果数据叠加起来，要求叠加后的数据长度和原始语音长度一致。

解码处理：对编码处理后的数据进行解码处理，要求能将叠加在一起的多路语音分离开，分离得到的多路语音相对于原始的语音，应保证失真尽可能小。

实现方法：

FFT 得到序列的下标与频率有一定的关系，利用这个关系即可实现最基本的“滤波“操作和“移动”操作。这个关系为下标值=频率值*总时间（单位为秒）。

因此，滤波时，我们需要找到对应频率范围的下标范围，将在这个下标范围之外的值设为 0 即可达到一个简单滤波的效果。

“移动”时，为了将 a-bHz 变为 c-dHz，我们只需将 a-bHz 对应的下标范围的全部数值移动到 c-dHz 对应的下标范围即可。

为了达到较好效果，虽然语音一般在 300-3400Hz 之间，但如果只去这些失真会比较严重。故我们取 0-5000Hz 这段区间。当我们有三段语音时，我们将其移动到 0-7000,7000-14000,14000-21000 范围内，采样率为 44100Hz，这样刚好满足采样定理，也可以防止频谱出现明显的混杂现象。

实现结果：

保真度较高，输入文件为 sound1.wav、sound2.wav、sound3.wav，输出文件为 output1.wav，output2.wav，output3.wav，编码后生成的文件为 output.wav。运行 test.m 即可执行全部流程。