江　西　理　工　大　学

语音信号处理　实验报告

实验名称　实验二 语音信号时域分析

日　期 2023.03　专　业 智能科学与技术 班　级 智科 201 班

实验人　吴佳龙　学　号　2420203236　同组人

一、实验目的

1、了解语音信号短时时域分析的原理。

2、了解短时时域分析的一些参数计算方法。

3、根据原理能编程实现短时时域分析的参数计算。

二、实验原理

语音信号的时域分析就是分析和提取语音信号的时域参数。语音信号本身就是时域信号，这种分析方法直接利用语音信号的时域波形。

时域分析方法的特点是：

①表示语音信号比较直观、物理意义明确。

②实现起来比较简单、运算量少。

③可以得到语音的一些重要的参数。

④只使用示波器等通用设备，使用较为简单等。

设第n帧语音信号$x_n(m)$的短时能量用E_n表示，则其计算公式如下：

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

E_n是度量语音信号幅度值变化的函数，但它对高电平非常敏感（因为计算时采用信号的平方）。

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。对于连续语音信号，过零即意味着时域波形通过时间轴；而对于离散信号，如果相邻的取样值改变符号则称为过零，过零率就是样本改变符号的次数。

定义语音信号$x_n(m)$的短时过零率Z_n为：

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

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

三、实验设备及环境

1、设备：笔记本、台式电脑

2、实验环境：Windows 7、Windows10 或 Linux 操作系统

MATLAB/Python3.6+，Anaconda3，Pycharm2017+

四、实验内容与步骤

1、实验内容：

1）为了显示方便，编程实现 FrameTimeC 函数，函数的功能为计算分帧后每帧语音中点处对应的时间。函数定义如下：

输入参数：frameNum 帧的个数，framelen 帧长，inc 帧移，fs 采样频率；

输出参数：frametime 分针后每帧对应的时间。

2）根据 reference.wav，编程实现短时能量，短时过零率并利用 python 或 matlab 绘图。

五、实验注意事项

1、实验中应遵守实验室实验规则，爱护实验室设备，保持卫生清洁；各种实验仪器设备在观察使用后放归原处，不得损坏或随意放置。

六、思考题

1、语音信号预处理中预加重和分帧的目的是什么？

预加重的目的是为了对语音的高频部分进行加重，去除口唇辐射的影响，增加语音的高频分辨率。因为高频端大约在 800Hz 以上按 6dB/oct (倍频程)衰减，频率越高相应的成分越小，为此要在对语音信号进行分析之前对其高频部分加以提升。

分帧是为了将不平稳的语音信号分成若干个短时平稳的小段，以便进行傅里叶变换或其他处理。

2、请写出汉明窗和汉宁窗的窗函数表达式？

汉明窗：

$$w(n) = 0.54 - 0.46\cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right)$$

汉宁窗：

$$w(n) = 0.5 - 0.5\cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right)$$

七、实验程序及结果展示

```
1)    #-coding:utf-8-*-
from scipy.io import wavfile
import matplotlib.pyplot as plt
from windows import *
from timefeature import *
from soundBase import *
import matplotlib as mpl
plt.rcParams['font.family'] = ['sans-serif']
plt.rcParams['font.sans-serif'] = ['SimHei']
mpl.rcParams['axes.unicode_minus'] = False #  解决保存图像是负号'-'显示为方块的问题

data, fs, bits = soundBase('reference.wav').audioread()



inc = 100
wlen = 200
win = hanning_window(wlen)
N = len(data)
time = [i / fs for i in range(N)]

EN = STEn(data, win, inc)    #  短时能量
Mn = STMn(data, win, inc)    #  短时平均幅度
Zcr = STZcr(data, win, inc)    #  短时过零率

X = enframe(data, win, inc)
X = X.T
Ac = STAc(X)
Ac = Ac.T
Ac = Ac.flatten()

Amdf = STAmdf(X)
Amdf = Amdf.flatten()

fig = plt.figure(figsize=(14, 13))
plt.subplot(3, 1, 1)
```

```
plt.plot(time, data)
plt.title('(a)语音波形')
plt.subplot(3, 1, 2)
frameTime = FrameTimeC(len(EN), wlen, inc, fs)
plt.plot(frameTime, Mn)
plt.title('(b)短时幅值')
plt.subplot(3, 1, 3)
plt.plot(frameTime, EN)
plt.title('(c)短时能量')
plt.savefig('images/energy.png')

fig1 = plt.figure(figsize=(10, 13))
plt.subplot(2, 1, 1)
plt.plot(time, data)
plt.title('(a)语音波形')
plt.subplot(2, 1, 2)
plt.plot(frameTime, Zcr)
plt.title('(b)短时过零率')
plt.savefig('images/Zcr.png')



import pyaudio
import wave
import librosa
import librosa.display
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.io import wavfile
import numpy as np
import pandas as pd
from scipy.signal import lfilter


class soundBase:
    def __init__(self, path):
        self.path = path

    def audiorecorder(self, len=2, formater=pyaudio.paInt16, rate=16000,
frames_per_buffer=1024, channels=2):
        """
        使用麦克风进行录音
        2020-2-25    Jie Y.   Init
        :param len:  录制时间长度(秒)
        :param formater:  格式
        :param rate:  采样率
```

```
            :param frames_per_buffer:
            :param channels:  通道数
            :return:
            """
            p = pyaudio.PyAudio()
            stream = p.open(format=formater, channels=channels, rate=rate, input=True, frames_per_buffer=frames_per_buffer)
            print("start recording......")
            frames = []
            for i in range(0, int(rate / frames_per_buffer * len)):
                data = stream.read(frames_per_buffer)
                frames.append(data)
            print("stop recording......")
            stream.stop_stream()
            stream.close()
            p.terminate()
            wf = wave.open(self.path, 'wb')
            wf.setnchannels(channels)
            wf.setsampwidth(p.get_sample_size(formater))
            wf.setframerate(rate)
            wf.writeframes(b''.join(frames))
            wf.close()

        def audioplayer(self, frames_per_buffer=1024):
            """
            播放语音文件
            2020-2-25     Jie Y.    Init
            :param frames_per_buffer:
            :return:
            """
            wf = wave.open(self.path, 'rb')
            p = pyaudio.PyAudio()
            stream = p.open(format=p.get_format_from_width(wf.getsampwidth()),
                            channels=wf.getnchannels(),
                            rate=wf.getframerate(),
                            output=True)
            data = wf.readframes(frames_per_buffer)
            while data != b'':
                stream.write(data)
                data = wf.readframes(frames_per_buffer)

            stream.stop_stream()
            stream.close()
            p.terminate()
```

```
    def audiowrite(self, data, fs, binary=True, channel=1, path=[]):
        """
        信息写入到.wav 文件中
        :param data: 语音信息数据
        :param fs: 采样率(Hz)
        :param binary: 是否写成二进制文件(只有在写成二进制文件才能用 audioplayer 播放)
        :param channel: 通道数
        :param path: 文件路径，默认为 self.path 的路径
        :return:
        """
        if len(path) == 0:
            path = self.path
        if binary:
            wf = wave.open(path, 'wb')
            wf.setframerate(fs)
            wf.setnchannels(channel)
            wf.setsampwidth(2)
            wf.writeframes(b''.join(data))
        else:
            wavfile.write(path, fs, data)

    def audioread(self, return_nbits=False, formater='sample'):
        """
        读取语音文件
        这里的 wavfile.read()函数修改了里面的代码，返回项 return fs, data 改为了 return fs, data, bit_depth
        如果这里报错，可以将 wavfile.read()修改。
        :param formater: 获取数据的格式，为 sample 时，数据为 loat32 的，[-1,1]，同 matlab 同名函数. 否则为文件本身的数据格式
                                    指定 formater 为任意非 sample 字符串，则返回原始数据。
        :return: 语音数据 data, 采样率 fs，数据位数 bits
        """
        fs, data, bits = wavfile.read(self.path)
        if formater == 'sample':
            data = data / (2 ** (bits - 1))
        if return_nbits:
            return data, fs, bits
        else:
            return data, fs, bits

    def soundplot(self, data=[], sr=16000, size=(14, 5)):
        """
```

```
        将语音数据/或读取语音数据并绘制出来
        2020-2-25    Jie Y.   Init
        :param data: 语音数据
        :param sr: 采样率
        :param size: 绘图窗口大小
        :return:
        """
        if len(data) == 0:
            data, fs, _ = self.audioread()
        plt.figure(figsize=size)
        x = [i / sr for i in range(len(data))]
        plt.plot(x, data)
        plt.xlim([0, len(data) / sr])
        plt.xlabel('s')
        plt.show()

    def sound_add(self, data1, data2):
        """
        将两个信号序列相加，若长短不一，在短的序列后端补零
        :param data1: 序列 1
        :param data2: 序列 2
        :return:
        """
        if len(data1) < len(data2):
            tmp = np.zeros([len(data2)])
            for i in range(len(data1)):
                tmp[i] += data1[i]
            return tmp + data2
        elif len(data1) > len(data2):
            tmp = np.zeros([len(data1)])
            for i in range(len(data2)):
                tmp[i] += data2[i]
            return tmp + data1
        else:
            return data1 + data2

    def SPL(self, data, fs, frameLen=100, isplot=True):
        """
        计算声压曲线
        2020-2-26    Jie Y.   Init
        :param data: 语音信号数据
        :param fs: 采样率
        :param frameLen: 计算声压的时间长度(ms 单位)
        :param isplot: 是否绘图，默认是
```

```
    :return: 返回声压列表 spls
    """

    def spl_cal(s, fs, frameLen):
        """
        根据数学公式计算单个声压值
        $y=\sqrt(\sum_{i=1}^Nx^2(i))$
        2020-2-26      Jie Y. Init
        :param s: 输入数据
        :param fs: 采样率
        :param frameLen: 计算声压的时间长度(ms 单位)
        :return: 单个声压数值
        """
        l = len(s)
        M = frameLen * fs / 1000
        if not l == M:
            exit('输入信号长度与所定义帧长不等！')
        # 计算有效声压
        pp = 0
        for i in range(int(M)):
            pp += (s[i] * s[i])
        pa = np.sqrt(pp / M)
        p0 = 2e-5
        spl = 20 * np.log10(pa / p0)
        return spl

    length = len(data)
    M = fs * frameLen // 1000
    m = length % M
    if not m < M // 2:
        # 最后一帧长度不小于 M 的一半
        data = np.hstack((data, np.zeros(M - m)))
    else:
        # 最后一帧长度小于 M 的一半
        data = data[:M * (length // M)]
    spls = np.zeros(len(data) // M)
    for i in range(len(data)// M - 1):
        s = data[i * M:(i + 1) * M]
        spls[i] = spl_cal(s, fs, frameLen)

    if isplot:
        plt.subplot(211)
        plt.plot(data)
        plt.subplot(212)
```

```
                plt.step([i for i in range(len(spls))], spls)
                plt.show()
        return spls

    def iso226(self, phon, isplot=True):
        """
        绘制等响度曲线，输入响度 phon
        2020-2-26     Jie Y.    Init
        :param phon:  响度值 0~90
        :param isplot:  是否绘图，默认是
        :return:
        """
        ## 参数来源: 语音信号处理试验教程，梁瑞宇 P36-P37
        f = [20, 25, 31.5, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, \
             1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000, 10000, 12500]
        af = [0.532, 0.506, 0.480, 0.455, 0.432, 0.409, 0.387, 0.367, 0.349, 0.330, 0.315, \
              0.301, 0.288, 0.276, 0.267, 0.259, 0.253, 0.250, 0.246, 0.244, 0.243, 0.243, \
              0.243, 0.242, 0.242, 0.245, 0.254, 0.271, 0.301]

        Lu = [-31.6, - 27.2, - 23.0, - 19.1, - 15.9, - 13.0, - 10.3, - 8.1, - 6.2, - 4.5, - 3.1, \
              - 2.0, - 1.1, - 0.4, 0.0, 0.3, 0.5, 0.0, - 2.7, - 4.1, - 1.0, 1.7, \
              2.5, 1.2, - 2.1, - 7.1, - 11.2, - 10.7, - 3.1]

        Tf = [78.5, 68.7, 59.5, 51.1, 44.0, 37.5, 31.5, 26.5, 22.1, 17.9, 14.4, \
              11.4, 8.6, 6.2, 4.4, 3.0, 2.2, 2.4, 3.5, 1.7, - 1.3, - 4.2, \
              - 6.0, - 5.4, - 1.5, 6.0, 12.6, 13.9, 12.3]
        if phon < 0 or phon > 90:
            print('Phon value out of range!')
            spl = 0
            freq = 0
        else:
            Ln = phon
            # 从响度级计算声压级
            Af = 4.47E-3 * (10 ** (0.025 * Ln) - 1.15) + np.power(0.4 * np.power(10,
np.add(Tf, Lu) / 10 - 9), af)
            Lp = np.multiply(np.divide(10, af), np.log10(Af)) - Lu + 94
            spl = Lp
            freq = f
            if isplot:
                plt.semilogx(freq, spl, ':k')
                plt.axis([20, 20000, -10, 130])
                plt.title('Phon={}'.format(phon))
                plt.grid()
                plt.show()
```

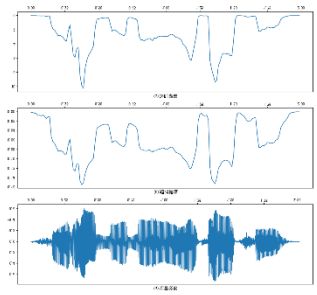
```
        return spl, freq

    def vowel_generate(self, len, pitch=100, sr=16000, f=[730, 1090, 2440]):
        """
        生成一个元音片段
        2020-2-26    Jie Y.   Init
        :param len: 长度，点数
        :param pitch:
        :param sr: 采样率
        :param f: 前 3 个共振峰，默认为元音 a 的
        :return: 生成的序列
        """
        f1, f2, f3 = f[0], f[1], f[2]
        y = np.zeros(len)
        points = [i for i in range(0, len, sr // pitch)]
        indices = np.array(list(map(int, np.floor(points))))
        y[indices] = (indices + 1) - points
        y[indices + 1] = points - indices

        a = np.exp(-250 * 2 * np.pi / sr)
        y = lfilter([1], [1, 0, -a * a], y)
        if f1 > 0:
            cft = f1 / sr
            bw = 50
            q = f1 / bw
            rho = np.exp(-np.pi * cft / q)
            theta = 2 * np.pi * cft * np.sqrt(1 - 1 / (4 * q * q))
            a2 = -2 * rho * np.cos(theta)
            a3 = rho * rho
            y = lfilter([1 + a2 + a3], [1, a2, a3], y)

        if f2 > 0:
            cft = f2 / sr
            bw = 50
            q = f2 / bw
            rho = np.exp(-np.pi * cft / q)
            theta = 2 * np.pi * cft * np.sqrt(1 - 1 / (4 * q * q))
            a2 = -2 * rho * np.cos(theta)
            a3 = rho * rho
            y = lfilter([1 + a2 + a3], [1, a2, a3], y)
        if f3 > 0:
            cft = f3 / sr
            bw = 50
            q = f3 / bw
```

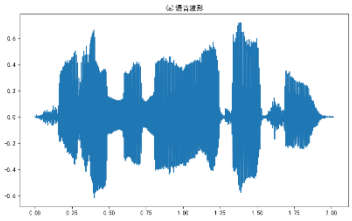
```
                rho = np.exp(-np.pi * cft / q)
                theta = 2 * np.pi * cft * np.sqrt(1 - 1 / (4 * q * q))
                a2 = -2 * rho * np.cos(theta)
                a3 = rho * rho
                y = lfilter([1 + a2 + a3], [1, a2, a3], y)
        plt.plot(y)
        plt.show()
        return y

import numpy as np


def enframe(x, win, inc=None):
    nx = len(x)
    if isinstance(win, list) or isinstance(win, np.ndarray):
        nwin = len(win)
        nlen = nwin    # 帧长=窗长
    elif isinstance(win, int):
        nwin = 1
        nlen = win    # 设置为帧长
    if inc is None:
        inc = nlen
    nf = (nx - nlen + inc) // inc
    frameout = np.zeros((nf, nlen))
    indf = np.multiply(inc, np.array([i for i in range(nf)]))
    for i in range(nf):
        frameout[i, :] = x[indf[i]:indf[i] + nlen]
    if isinstance(win, list) or isinstance(win, np.ndarray):
        frameout = np.multiply(frameout, np.array(win))
    return frameout


def STAc(x):
    """
    计算短时相关函数
    :param x:
    :return:
    """
    para = np.zeros(x.shape)
    fn = x.shape[1]
    for i in range(fn):
        R = np.correlate(x[:, i], x[:, i], 'valid')
        para[:, i] = R
    return para
```

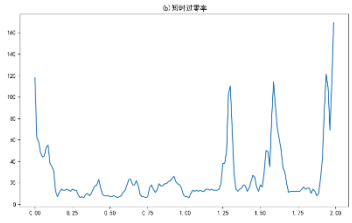
```
def STEn(x, win, inc):
    """
    计算短时能量函数
    :param x:
    :param win:
    :param inc:
    :return:
    """
    X = enframe(x, win, inc)
    s = np.multiply(X, X)
    return np.sum(s, axis=1)


def STMn(x, win, inc):
    """
    计算短时平均幅度计算函数
    :param x:
    :param win:
    :param inc:
    :return:
    """
    X = enframe(x, win, inc)
    s = np.abs(X)
    return np.mean(s, axis=1)


def STZcr(x, win, inc, delta=0):
    """
    计算短时过零率
    :param x:
    :param win:
    :param inc:
    :return:
    """
    absx = np.abs(x)
    x = np.where(absx < delta, 0, x)
    X = enframe(x, win, inc)
    X1 = X[:, :-1]
    X2 = X[:, 1:]
    s = np.multiply(X1, X2)
    sgn = np.where(s < 0, 1, 0)
    return np.sum(sgn, axis=1)
```

```
def STAmdf(X):
    """
    计算短时幅度差，好像有点问题
    :param X:
    :return:
    """
    # para = np.zeros(X.shape)
    fn = X.shape[1]
    wlen = X.shape[0]
    para = np.zeros((wlen, wlen))
    for i in range(fn):
        u = X[:, i]
        for k in range(wlen):
            en = len(u)
            para[k, :] = np.sum(np.abs(u[k:] - u[:en - k]))
    return para


def FrameTimeC(frameNum, frameLen, inc, fs):
    ll = np.array([i for i in range(frameNum)])
    return ((ll - 1) * inc + frameLen / 2) / fs

import numpy as np


def reg_window(N):
    return np.ones(N)


def hanning_window(N):
    nn = [i for i in range(N)]
    return 0.5 * (1 - np.cos(np.multiply(nn, 2 * np.pi) / (N - 1)))


def hamming_window(N):
    nn = [i for i in range(N)]
    return 0.54 - 0.46 * np.cos(np.multiply(nn, 2 * np.pi) / (N - 1))
```

结果图







实验结果分析

从图中可以看出，短时能量和短时过零率都随着时间变化而波动，反映了语音信号的动态特性。在有话段时，短时能量较高，短时过零率较低；在无话段或噪声段时，短时能量较低，短时过零率较高。这与语音信号的特点是一致的。因此，可以利用这两种特征来区分有话段和无话段，或者清音和浊音。