

文本文件的语音识别中汉语音节的特征分析¹

张晓东 吴 捷

(皖西学院物理与电子信息工程系, 安徽 六安 237012)

摘 要:汉语语音识别中连续大词汇量的语音识别率较差。若能把连续大词汇量的语音进行实时自动切分为单个音节,便可提高系统的识别率。如何做到对语音识别中音节的自动切分,首先需找出汉语语音音节的特征。本文综合了当前对汉语音节特征的研究成果,通过深入地比较分析,系统地给出了汉语语音音节的功率谱特征和时域特征,为汉语语音音节的自动切分提供算法依据,对提高连续大词汇量语音的识别率有重要意义。

关键词:短时能量;短时平均过零率;自相关函数;功率谱

The Features Analysis of Chinese Speech Syllable in Text - file Speech Recognition

ZHANG Xiao - dong (College of Wanxi, Anhui Liuan 237012, China.)

Abstract: In Chinese speech recognition, the speech recognition ratio of continuous large vocabulary is comparatively poor. If speech sound of continuous large vocabulary can be automatically divided into segments of single syllable, the recognition ratio of system can be raised. How to make automatic segmentation of syllable in the recognition of speech sound? First of all, We should find out the features of Chinese speech syllable. Synthesizing current research achievements of Chinese syllabic feature with thorough comparison and analysis, this paper systematically offers the features of power spectrum and time - domain of Chinese speech syllable, Which provides algorithm basis for automatic segmentarion of Chinese speech syllable and has a great significance for raising the recognition ratio of continuous large vocabulary.

Keywords: Short Time average energy; Short Time average cross zero ratio; Autocorrelation function; Power spectrum

1 引言

语音传递信息是人类最重要的交换信息的形式。现在,人类已经进入了信息时代,语音处理技术有了迅猛的进步,在国际上连续语音识别系统已达到很高的识别率^{[1][2][3]}。汉语语音识别技术对孤立词,小词汇特定人的语音识别率也已很高。但对连续汉语语音识别率还很低。用现代的手段研究语音技术使计算机能自动的识别 分割汉语的音节,对提高连续汉语语音识别率和识别速度有着重要的意义^{[4][5]}。本文综合了目前对汉语音节特征的研究成果,通过深入地比较分析,系统地给出了汉语语音音节的功率谱特征和时域特征,为汉语语音音节的自动切分提供算法依据。

2 汉语语音音节的组成特点

作者简介:张晓东(1961-),男,安徽六安人,皖西学院副教授。

* 基金项目:安徽省教育厅自然科学基金项目(项目编号:03kj324)

音节是听觉能感受到的最小的语音单位,有一个或几个音素按一定规律组合而成。除个别情况外,一个音节就是一个汉字。汉语语音音节的组成特点如下:

(1)每个音节最少要由三个成分组成,即声母、韵母、声调(四声)。声母可以是零声母。韵母内部又可分为韵头、韵腹、韵尾。韵母中可以没有韵头、韵尾,但必须有韵腹。例如:“吴(wú)”由零声母 w、韵腹 u 和阳平声调组成。

(2)一个音节最多可以由五个成分组成。例如:“娟(juān),由声母 j、韵头 u、韵腹 a、韵尾 n 和阴平声调组成。

(3)音节中必须有元音因素,至少一个,最多有三个,而连续排列,分别充当韵母的韵头、韵腹和韵尾。例如:“飘(piāo),由韵头 i、韵腹 a、韵尾 o 组成元音因素。

(4)韵头只能由 i u ü 充当,韵尾由原因 i o u 或鼻辅音 n ng 充当。各元音都能充当韵腹,如果韵母不止一个元音时,由开口度较大、舌位较低、发音较响亮的元音充当韵腹。例如:企“飘”(piāo)中发音较响亮的元音 a 充当韵腹。

(5)辅音音素只出现在音节的开头(作声母)或末尾(作韵尾),没有辅音连续排列的情况。例如:“谱”(pǔ),由声母 p,韵尾 ü 组成。

(6)单韵母(除舌尖韵母 i 所、后外),腹韵母和鼻韵母(除 eng ong 外)都能自成音节,其声母是零声母。例如:单韵母“啊”(a),腹韵母“奥”(ao)、鼻韵母“恩”(en)。

一个音节起头的辅音是声母,声母后边部分是韵母,全音节的音高变化是声调。这是我国的传统分类方法。而国际上流行的科学分类这是清音利浊音。清音在发音时声带不振动,类似于宽带噪音源的输出气流高速冲过某处收缩的声道而产生湍流得到的音,浊音是当气流通过声门时使声带发生振动而产生的准周期脉冲激励声道得到的音。而这个准周期称为基音周期。所以我们研究语音信号中的清音和浊音或声母和韵母,可以找出汉语语音音节的特征属性。

3 汉语语音音节的功率谱特征

信号的功率谱密度反映的是信号在各个频率上能量的分布情况。韵母的功率谱、同韵母汉字语音的功率谱、同声母汉字语音的功率谱、两个汉语单词四声的功率谱及汉语单词的男声,女声功率谱特征各不相同,存在不同的规律特点^{[6][7]}。

(1) 韵母的功率谱特征

汉语韵母共有三十九个,并分为单韵母,复韵母和鼻韵母 3 类,由于韵母单元是由元音(或元音加鼻音)构成的,发音有明显的共振峰特征,即发音的声学一致性较好。通过实验可得韵母的功率谱特征如表(1)。

表(1)汉语韵母共振峰频率及其声强(功率谱)

共振峰 韵母	第 1 个		第 2 个		第 3 个		第 4 个		第 5 个	
	频率	声强	频率	声强	频率	声强	频率	声强	频率	声强
a	200	40.6	787	43	1775	17.9	2762	15.5		
o	200	38.4	387	51.4	850	44				
e	187.5	37.9	387.5	50.9	975	31.8	2525	12.8		
i	200	44.9	1600	16.4	2200	19.7	3200	17.1		
u	200	41.3	400	45.5	1400	8.8				
ü	200	41.5	1987	24.6	3387	13				
ou	200	42.3	412.5	50.9	1837.5	21.9				
ai	187.5	38.9	737	40.7	1662	27.7	2600	15.5		
au	187.5	39.8	575	41.4	1537	29.2	2675	16.1		
ua	200	44.3	825	47	1237	47.5	2062	24	3100	18.3
iao	187.5	37.6	775	50	2312	21.8				
uan	212.5	46.2	1050	43	2300	17	3317	6.3		

对表 1 的分析结果如:

- ① 基频基本保持不变,共值在 200HZ 左右。
- ② 除基频外,共振峰的数目各 2~4 个。
- ③ 第一个共振峰频率在 400~2000HZ 之间、第二个共振峰频率在 850~3400HZ 之间。
- ④ 基频及其共振峰频率范围在 180~3400HZ 之间。
- ⑤ 最大相对声强为 51.4dB,而最小相对声强为 6.3dB,两者相差 45dB,最大相对声强在第 1 以第 2 共振峰上,这表示能量的大部分集中在前面 2 个共振峰上。
- ⑥ 从功率谱的形状来看,a 与 u 的区别较大。而 o 与 e,i 与 ü 的区别较小。具有同韵母的复合韵母第 1、2 共振峰谱特性相似。例如 ai,au,ua 等与 a 的谱特性相似,两个韵母的复韵母的谱特性介于两韵母之间,并由一个向另一个滑动,例如 ai 和 ou。

(2)同韵母汉字语音的功率谱特征

通过实验可得下述 15 个同韵母汉字的功率谱如表(2)

表(2) 15 个同韵母汉字的功率谱

共振峰 汉字拼音	第 1 个		第 2 个		第 3 个		第 4 个		第 5 个	
	频率	声强	频率	声强	频率	声强	频率	声强	频率	声强
张 zh(āng)	212.5	44.3	612	44.1	1837	23.2	3487	10.4		
郎 l(áng)	175	46	700	44	2462	15.3	3525	8.5		
常 ch(áng)	200	40.1	600	40.9	2025	18.8	2725	11.2		
帮 b(āng)	200	43	612.5	46.4	2050	24	2450	20.1		
忙 m(áng)	162.5	44.5	850	45	1700	23	2375	10		
抬 t(ái)	175	43.6	862	46.2	1200	42.1	2050	21.1		
来 l(ái)	375	42	750	45.7	2100	20.4	3050	14		
才 c(ái)	175	41.4	350	44.5	875	48	1762	23.5	3050	19
该 g(āi)	212.5	40.4	825	48.1	1675	34	3737	14		
开 k(āi)	212.5	37.2	812.5	49.3	1675	31.5	3125	16.6	3125	16.6
警 j(īng)	150	40	300	41.1	1925	11.9	2350	24.3		
明 m(íng)	175	46.3	675	30.6	2387	24.1	3575	20.2		
省 x(īng)	162.5	45.9	837	22.8	2187	23.5	3662	10.4		
评 p(íng)	187.5	45.8	1837	16.3	2375	36.7				
停 t(íng)	200	46.2	2350	26	2825	16.4				

对表 2 的分析结果如下;

- ① 同韵母汉语单词的功率谱特性,其低频部分都相似。直到第 3 个共振峰才不同,其高频部分近似声母的谱特性。而韵母在单词中起主要作用,在汉语单词语音的发音中声母部分短促而韵母部分绵长,能继续集中在韵母部分。
- ② 同韵母汉语单词的基频比该韵母的基频要低。
- ③ 同韵母汉语单词的频带宽度比该韵母的带宽要大,这是由于汉语单词中的声母具有较高频率的谱特性。
- ④ 同韵母汉语单词的高频部分的相对声强有效大的降低,这是由声母的谱特性所决定的

(3)同声母汉字语音的功率谱特征

通过实验可得下述 10 个同声母汉字的功率谱如表(3)

表(3) 10 个同声母汉字的功率谱

共振峰 汉字拼音	第 1 个		第 2 个		第 3 个		第 4 个		第 5 个	
	频率	声强	频率	声强	频率	声强	频率	声强	频率	声强
包(b)āo	200	38	812	43	1412	20.7	2225	20.2		
巴(b)ā	200	42.7	787	49	2562	22.3				
波(b)ō	212.5	39.6	412.5	56.4	1237	38.8	1862	28.5	3100	19
逼(b)ī	200	50.2	587.5	36.5	2162	13.1	3325	13.3		
奔(b)en	200	40	2250	16	2675	8.5				
吃(ch)ī	200	45.5	412.5	54.8	1162	26.3	2275	28.4	3300	13.5
称(ch)ēng	212.5	52.4	1250	33.3	2525	21.7	3137	12.6		
戳(ch)uō	200	46.5	412.5	52.2	1012	39.3	2437	21.9	3350	19.5
查(ch)á	162.5	43.7	800	47.4	1925	24	2875	23.3		
车(ch)ē	212.5	39.6	412.5	57	1250	37.1	1875	27.5	2287	24.1

对表(3)的分析结果如下:

- ① 同声母汉语单词的基频基本不变,个别单词(如查)的基频降低。
- ② 同声母汉语单词的频带宽度比韵母的带觉要大,这也是由于汉语单词中声母具有较高频率的谱特性。
- ③ 同声母汉语单词的功率谱特性,其低频部分均其韵母的谱特性类似,其高频部分十分相似。这一点均同韵母汉语单词的功率谱相似的原因相同。
- ④ 同声母汉语单词的能量集中在前面的 2~3 个共振峰范同内。

(4) 两个汉语单词四声的功率谱特征

通过实验可得两个汉语单词四声的功率谱,如表(4)

表(4) 两个汉语单词四声的功率谱

共振峰 四声	第 1 个		第 2 个		第 3 个		第 4 个		第 5 个	
	频率	声强	频率	声强	频率	声强	频率	声强	频率	声强
qia	200	40.4	812.5	49.4	1400	35.8	2225	26.8		
qia	162.5	38.7	312.5	42.3	937.5	44.1	1250	36.8	2337	19.6
qia	162.5	41.3	337.5	42.1	837	45.2	1175	37.5	2187	21.4
qia	300	44	887.5	47.5	1362	32.9	2062	26.1		
a	212.5	38.6	825	44			2675	18.1		
a	150	39	925	40.6	1237	34.6	1850	15.3	2313.5	13
a	262	40	800	44.4	1212	34.5	2437	21		
a	325	36.7	912.5	41.8	1250	37	2487	21.3	2975	13.4

对表 4 的分析结果如下:

- ① 相同汉语单词的四分,基频发生了变化。阳平声调的基频频率最低,而去声的基频频率最高。
 - ② 相同汉语单词的四声谱图,其共振峰基本相似,声强也近似相同。谱图的波形也近似,这是由于发四声时,发音部位是相同的,仅发音的方式稍有差别。
 - ③ 相同汉字的四声,其谱图上有共振峰的迁移,随着声调由阴平,阳平,上声,去声的不同。第 1 个共振峰 4 第 2 个共振峰之间的距离(频率值)逐渐加大。
 - ④ 在汉字四声的 ā(阳平)中第 2 个共振峰被淹没,而后出现第 3 个共振峰。
- (5) 汉语单词的男声,女声功率谱特征

通过实验可得下述五个汉语单词男女声的功率谱如表(5)。

表(5) 五个汉语单词男女声的功率谱

四声	共振峰	第1个		第2个		第3个		第4个		第5个	
		频率	声强	频率	声强	频率	声强	频率	声强	频率	声强
曹	男	175	28.5	700	40.8	2450	16				
	女	312.5	44.1	937.5	46.9	1212	37	2825	14		
操	男	225	50.6	887	49.9	1987	24.4	2437	26.3		
	女	337	44.3	1025	53.6	2050	25.5	3075	25.1		
诸	男	225	55.8	675	45.8	1137	33.4	2275	14.3		
	女	350	50.7	712	42.4	1075	30.2	1775	24.1		
葛	男	137	34.3	412.5	47.3	825	32	1362	26.4	2425	18
	女	225	42.8	662	43.1	1775	16.1				
亮	男	212.5	42.2	862	41.9	1237	38	1900	18.6	3075	15.6
	女	400	43	800	47	1175	20	1875	22	2250	22

对表 5 的分析结果如下:

- ① 女声的基频频率高于男声,在数值上有较大的差别。
- ② 男声、女声的频率值及声强值大不相同。
- ③ 对于同一个汉字,男女声的功率谱反映出的共振峰个数不一定相同。

4 汉语语音音节的时域特征

在研究汉语语音音节的特征时,除了利用汉语语音的功率谱分析法外还可使用时域分析法。时域分析就是分析和提取语音信号的时域特征参数,主要包括短时能量及短时平均幅度,短时过零率,短时自相关函数和短时平均幅度差等,这是语音信号的最基本短时特征参数,在各种语音信号数字处理技术中都有广泛的应用^{[8][9]}。

(1)汉语语音音节的短时平均能量及短时平均幅度特征

连续语音信号流的分幅是采用可移动的杏限长度窗口进行加权的方法来实现的.以 n 为标志的某幅语音信号的短时平均能量(Short TimeAverage Energy)定义为:

$$E_n = \sum_{m=0}^{\infty} x^2(m)h(n-m) = x^2(n) * h(n) \quad (1)$$

短时平均幅度(Short Time Average Magnitude) M_n 定义为:

$$M_n = \sum_{m=-\infty}^{\infty} |x(m)|\omega(n-m) = |x(n)| * \omega(n) \quad (2)$$

通过实验得到汉语语音音 1y 的短时能量、短时幅度特征为:

- ① 浊音的 E_n 值要比清音的 E_n 值大得多。
- ② 浊音的 M_n 值要比清音的 M_n 值大得多。

(2)汉语语音音节的短时过零率特征

信号的幅度值从正值到负值要经过零值。从负值到正值也要经过零值。称其为过零。如果统计其一秒钟有 n 次过零, n 则称为过零率。

如果信息按段分割并把各段信息的过零率统计平均,就是短时平均过零率(Sholt TimeAVerage Magnitude Cross Zero Ratio)

语音信号序列 $X(n)$ 的短时平均过零率 Z_n 定义为

$$\begin{aligned} Z_n &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} |\text{sgn}[x(m)] - \text{sgn}[x(m-1)]| \omega(n-m) \\ &= |\text{sgn}[x(n)] - \text{sgn}[x(n-1)]| \omega(n) \end{aligned} \quad (3)$$

式中 $\text{sgn}[\cdot]$ 是符号函数即:

$$\text{sgn}[x(n)] = \begin{cases} 1, & x(n) \geq 0 \\ -1, & x(n) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

窗函数 $w(n)$ 取

$$w(n) = \begin{cases} \frac{1}{2N}, & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

发浊音时,声带振动,这个振动频率的声乐波在声道中共振。尽管有老干个共振峰,但是其能量集中于低于 3KHz 的频率范围内。反之,发清音时,声带不振动,声道的某部分阻塞气流产生类白噪声,其能量集中于较高的频率范围,用过零率来定量地判定清/浊语音。通过大量的实验统计,得到汉语语音音节短时平均过零率的特征为:

① 浊音具有有效低的过零率。团发浊音时,尽管声道有若干个共振峰,但由于声门波引起谱的高频跌落,所以其语音能虽约集中在 3KHz 以下。

② 清音具有较高的过零率。因发清音时,多数能量出现在较高频率上。

(3) 汉语语音音节的短时相关(短时自相关函数,平均幅度差函数)特征

相关分析是一种常用的时域波形分析方法,并有自相关和互相关之分。自相关函数具有一些性质,如它是偶函数,假设序列具有周期性,则其自相关函数也是同周期的周期函数等。我们可以把自相关函数的这些性质应用于语音信号的时域分析中。例如,对于浊音语音可以用自相关函数求出语音波形序列的基音周期。和其他语音参数一样,在语音信号分析中,我们分析的是短时自相关函数。

定义语音信号 $x_n(M)$ 的短时自相关函数 $R_n(k)$ 的计算式如下

$$R_n(k) = \sum_{m=0}^{N-1-k} x_n(m)x_n(m+k) \quad (0 \leq k \leq K) \quad (6)$$

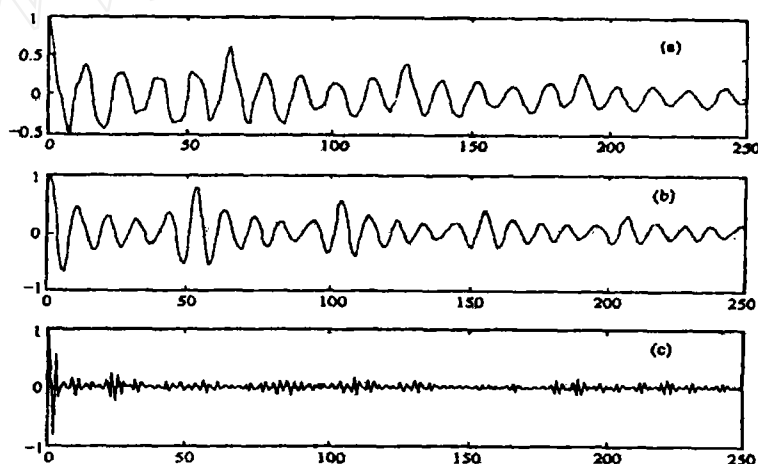


图 1

通过实验我们可以得到图(1)所示语音信号的自相关函数。图中窗长 $N=401$, 语音的采样率在 8KHz。由图可见,图 1(a)、(b) 对应于某两段浊音语音的自相关函数,具有一定的周期性。在相隔一定的取样后,自相关函数达到最大值。企图 1(c) 中清音的自相关函数没有很强的周期性,表明在信号中缺乏周期性,这种清音的自相关函数有一个类似于噪声的高频波形。浊音语音的周期可见自相关函数的第一个峰值的位置来估算。

短时自相关函数是语音时域分析的重要参数,但是计算自相关函数的运算量很大。原因是乘法运算所需要的时间较长,利用快速傅立叶变换(FFT)等简化计算方法都无法避免乘法运算。为了避免乘法,一个简单的方法就是利用差值。为此采用另一种与自相关函数有类似作用的参量,即短时平均幅度差函数(AMDF)。平均幅度差函数能够代替自相关函数进行语音分析是基于这样一个事实,

如果信号是完全的周期信号(设周期为 N_p)。则相距为周期的整数倍的样点上的幅度值是相好的,差值为零。

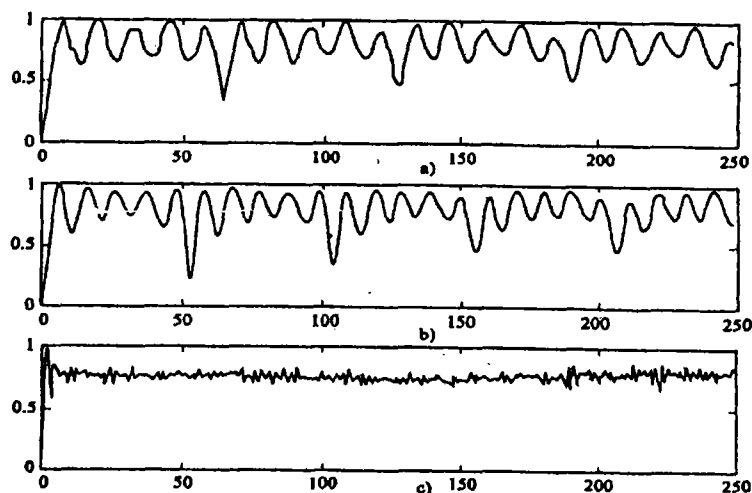


图 2

通过实验可以得出图(2),图(2)给出了与图(1)相同语音段的 AMDF 函数,并是宽度也一样。从图(2)中可以得出汉语语音音节的短时相关特征为:

- ① 不管是用短时自相关函数还是短时平均幅度差函数,都能看出对应于浊音语音的自相关函数或平均幅度差函数都有一定的周期性。在相隔一定的取样后,短时自相关函数会有最大值而短时平均幅度差函数将会有最小值。
- ② 而清音语音的自相关函数或平均幅度差函数都没有很强的周期性且在自相关函数不会出现最大值,在平均幅度差函数中也不会出现最小值。

5 结论

本文通过上述两种不同的分析方法(汉语语音的功率谱的分析,时域分析)找出了汉语语音中各音节中的特征有:

(1)汉语语音中不同韵母、同韵母、同声母、不同声调和发音者性别不同等五种不同情况的音节功率谱特征主要表现在共振峰特性上。

- a) 韵母的功率谱特征中基频基本保持不变,其值在 200HZ 左右,基频及其共振峰频率范围在 180~3400HZ 之间。而同韵母汉语单词的基频比该韵母的基频要低。其低频部分都相似。直到第 3 个共振峰才不同,其高频部分近似声母的谱特性。在汉语单词发音中声母部分短促而韵母部分绵长,能量集中在韵母部分,韵母在单词中起主要作用。
- b) 同声母汉语单词基频基本不变,个别单词的基频降低。其频带宽度比韵母的带宽要大,这也是由于汉语单词中声母具有较高频率的谱特性。其能量集中在前面的 2~3 个共振峰范围内。
- c) 两个汉语单词四声的功率谱特征中其相同汉语单词四声的基频发生了变化。阳平声调的基频频率最低,而去声的基频频率最高。其四声谱图的共振峰基本相似,声强也近似相同。
- d) 汉语单词男女声的功率谱特征中女声的基频频率要高于男声。男声、女声的频率值及声强值也各不相同。对于同一个汉字,男女声的功率谱反映出的共振峰个数也不一定相同。

(2)时域分析中通过对二种不同分析方法(短时平均能量及短时平均幅度,短时过零率,短时自相关函数和短时平均幅度差)找出的汉语音节的特征归纳有:

- a) 汉语语音音节的短时平均能量及短时平均幅度特征主要表现在清音和浊音在平均能量 E_n

- 和平均幅度 M_n 上有很大的区别,浊音平均能量 E_n 和平均幅度 M_n 值要比清音其值大得多。
- b) 汉语语音音节的短时过零率特征主要表现在浊音具有较低的过零率,而清音具有较高的过零率。
 - c) 汉语语音音节的短时相关特征主要表现在浊音在自相关函数、AMDF 中具有周期性和极值,而清音在自相关函数、AMDF 中无规律、无周期性和无极值等。

参考文献:

- [1]Averbuch, A. et al., Experiments with the TANGORA 20,000 word speech recognizer, proc. I-CASSP(Dallas Texas), 701—704, 1987.
- [2]Penny, P. et al., Experiments in continuous Speech recognition with a 60,000 Word Vocabulary, proc. ICSP'92(Banff, Canada), Vol. 1:225—228, 1992.
- [3]Bates, M. et al., The BBN/HARC Spoken Language Understanding System, Proc. ICASSP'93, 1993.
- [4]张晓东,等,完备正交积分变换下的信号重构[J]. 厦门大学学报, 2004, (2):188—191.
- [5]张晓东,等. 语音信号的 MPLPC 参数矢量量化[J]. 哈尔滨工业大学学报, 1999, (1):65—69.
- [6]朱民雄. 计算机语音处理[M]. 机械工业出版社, 2003. 1. 14—26, 64—73
- [7]王炳锡. 语言编码[M]. 西安电子科技大学出版社, 2002. 6. 50—56
- [8]张雄伟,等. 现代语言处理技术及应用[M]. 机械工业出版社, 2003. 8. 21—29
- [9]赵力. 语音信号处理[M]. 机械工业出版社, 2003. 3. 35—42

责任编辑:书龙

(上接第 76 页)也影响了程序的模块化结构。多文档(MDI)多窗口的风格,又影响到程序的安全性,在工控软件中不便使用。借助于单框架界面,实现多个视的简单切换,各个视的数据对象由数据库引擎来负责管理,将是较好的实现方法,本文用从 CRecordset 类派生的用户类封装的外部对象,借助数据库来代替文档类管理视的数据对象,实现多视之间的转换,方便易行。

类似于上例,对应框架资源定义的菜单命令,在框架类中分别定义对应菜单命令的处理函数为: OnView1(int nView), OnView2(int nView), OnView3(int nView)……。同样,在框架类中定义 SwitchToView1(int nView), SwitchToView2(int nView), SwitchToView3(int nView)……,分别负责视一(View1)与视二(View2), 视一(View1)与视三(View3), 视一(View1)与视四(View4)等等之间的切换,当实现从第 $i(1 < i < n)$ 个视到 $j(1 < j < n, j \neq i)$ 个视之间的切换时,程序先从视 i 到视一,再从视一到视 j 的切换,采用这种方法,作者在 DCS 组态软件的设计中,简单地实现了八个视及其外部数据对象(CRecordset 派生类)之间的切换。

六、结束语

在应用程序的实现中,采用单框架窗口风格时,如果多个视之间有数据联系,可以用类似上述的第二种方法,实现多个视及其数据之间的同步;而多个视之间没有数据相关时,用第一种方法要容易得多。可见,当多视的数据对象之间相关时,实现起来较复杂。所以在组态软件的开发中,数据模型的建立很重要,尽可能减少数据之间的联系,优化数据结构。当然,在一般应用程序的开发中,还是推荐使用多文档(MDI)界面的缺省实现。

参考文献:

- [1] 陈维,黄昱. Microsoft Corporation. Visual C++ 2.0 for Win32 大全(二)(第 1 版)[M]. 北京:清华大学出版社,1996.
- [2] 张军,赵先瑞. Microsoft Corporation. Visual C++ 2.0 for Win32 大全(三)(第 1 版)[M]. 北京:清华大学出版社,1996.
- [3] 邱仲潘,等. Michael J. Young. Visual C++ 4.0 从入门到精通(第 1 版)[M]. 北京:电子工业出版社,1997.

责任编辑:东生