

Application Note--Pitch Shifting(音高改变)

这篇文档描述了在bd3201里实现Pitch Shifting(音高改变)的一个基本方法。

1. 综述

bd3201能够通过读快(音高上升)或者读慢(音高下降)样点来实现基本的音高改变程序。程序是通过让样点在一个圆形的缓冲器内运行,并用两个指针从圆形缓冲器里读样点来实现的。这两个指针点在圆形缓冲器离相隔180度,因此当一个指针点跨过缓冲器的尾部到头部的时侯,另一个指针点正好在缓冲器的中间。

一个取样点是以在一个指针点的样点和另一个指针点的样点作线性插值计算得出的,cross-fading在两个指针点之间,例如cross fade系数对一个指针是0时表示指针从这个圆形缓冲器的尾部到头部。

这个被数字LFO(低频振荡器)计算出的cross fade系数和锯齿波一起产生这两个指针。

2. 计算

数字低频振荡器是在合唱发生器模块里被计算出的,用24位表示。计算结果的高20位供地址发生器和MAC实用。在这20位中,高13位发送给地址发生器,低7位被用来做MAC的差值系数。

13位发送给地址发生器的是2's 取反,有效的范围是+4096到-4096。这个范围被低频振荡器的振幅系数所控制,这个系数是15位的,总是小于1。

频率由一个13位的系数决定,这个13位的数是一个用于内部数字低频振荡器的18位字。

锯齿波的频率计算公式如下(假定使用12.288MHz 的晶振,48KHz的取样率):

$$f = (F * F_s * C) / (2 * M * \text{SIN}) = 0.045777 * F$$

这里

F = 13 位频率系数

F_s = 48000 (取样率)

C = 4194304 (0x400000, LFO的一个内部常量)

M = 262143 (0x3FFFF, 18位字的内部最大值)

SIN = 8388607 (0x7FFFFFF, 24位数的正最大值)

如果频率系数F=1, 则 f = 0.045777 * F = 0.045777...Hz

如果频率系数F=8191 (13位的最大值), 则 f = 0.045777 * F = 374.9557Hz

3. 音高上升 (Pitch up)

用于音高上升的适当频率和振幅系数的计算由圆形缓冲器的长度和音高上升的量共同决定。我们选择一个8192个样点长度的缓冲器(锯齿波的最大振幅)将会导致振幅系数为31767(15位振幅系数的最大值)。

下面来说频率系数的决定。首先我们需要确定需要上升的音高的期望值。如果音高上升一个八度音阶，我们想将圆形缓冲器中的8192个取样点以两倍取样速率播放，一个简单的计算方法就是确定我们想播放的取样速率比基本取样速率快多少，在这种情况下，我们想要将8192个取样点按基本取样速率48KHz再加上48KHz后的速率播放。由于取样率通过地址发生器采用向下计数器被写进了圆形缓冲器中，同时向上计数器产生了锯齿波，而我们需要反转锯齿波，这些通过CHR指令中的COMP标记来完成。因此，计算频率系数的公式如下：

$$f = 48\text{kHz faster} / 8192 \text{ samples} = 5.85938\text{Hz}$$

通过上面的 $f = (F * F_s * C) / (2 * M * \text{SIN})$ ，我们得出F的计算公式为：

$$F = (2 * M * \text{SIN} * f) / (F_s * C) = 127.999, \text{ 量化为 } 128$$

因此，将音高上升一个八度音阶，频率系数=128，振幅系数=31767，缓冲区长度为8192。

将音高上升 n ，这里 n 是八度音阶的分数倍数，则通用的计算公式为：

$$F = [2 * M * \text{SIN} * (2^n - 1)] / (C * \text{BufferSize}) = 1048571.185 * (2^n - 1) / \text{BufferSize}$$

因此，上升1/2个八度，采用同样的8192缓冲区大小：

$$F = 1048571.185 * (2^{1/2} - 1) / 8192 = 53.019, \text{ quantized to } 53. \text{ 量化为 } 53$$

上升5个半音：

$$F = 1048571.185 * (2^{5/12} - 1) / 8192 = 42.859, \text{ quantized to } 43. \text{ 量化为 } 43$$

上升40分：

$$F = 1048571.185 * (2^{0.40/12} - 1) / 8192 = 2.992, \text{ quantized to } 3. \text{ 量化为 } 3$$

4. 音高下降 (Pitch Down)

音高下降与音高上升类似，只是除了加上基本取样率之外，我们还要从中减去它，这样，我们就不用反转锯齿波。例如，如果我们要将音高下降一个八度音阶，我们需要从取样率中减去24KHz，采用8192取样缓冲区，计算结果如下：

$$f = 24\text{kHz slower} / 8192 \text{ samples} = 2.92969\text{Hz}$$

$$F = (2 * M * \text{SIN} * f) / (F_s * C) = 63.9997, \text{ 量化为 } 64$$

下降 n ，这里 n 是八度音阶的分数倍数，通用的计算公式为：

$$F = [2 * M * H * (1 - 2^{-n})] / (C * \text{BufferSize}) = 1048571.185 * (1 - 2^{-n}) / \text{BufferSize}$$

因此，下降1/2个八度，采用同样的8192缓冲区大小：

$$F = 1048571.185 * (1 - 2^{-1/2}) / 8192 = 37.490, \text{ quantized to } 37.$$

下降5个半音：

$$F = 1048571.185 * (1 - 2^{-5/12}) / 8192 = 32.108, \text{ quantized to } 32.$$

下降40分：

$$F = 1048571.185 * (1 - 2^{-0.40/12}) / 8192 = 2.923, \text{ quantized to } 3.$$

; 说明，音高上升程序举例
; 上升1个八度音阶

LFO0 SAW AMP=32767 FREQ=128 XFAD=1/16
;SAW (锯齿波用于改变音高)

MEM CircularBufL 8192 ; 左声道缓冲区
MEM CircularBufR 8192 ; 右声道缓冲区
MEM temp1 1 ; 临时寄存器
MEM temp2 1 ; 临时寄存器

RZP ADCL K=.999 ; 读左声道数据进累加器

WZP CircularBufL K=.999 ; 写入起始内存

; 接下来用chorus指令读取延时内存的中间，加到锯齿波的地址中，
; 所返回的取样率乘以合唱发生器的系数1's取反，对第一个锯齿波用
; SIN输出，由于是音高上升，地址1's取反

CHR0 RZP CircularBufL" +SIN COMPA COMPK LATCH
CHR0 RAP CircularBufL"+1 +SIN COMPA

WAP temp1 K=0 ;将结果存入临时位置

; 现在用COS输出得到其他的锯齿波
; 再次反转锯齿波的地址位

CHR0 RZP CircularBufL" +COS COMPA COMPK LATCH
CHR0 RAP CircularBufL"+1 +COS COMPA

; 以上两指令的结果都在累加器中，写入临时位置将它带回到乘法器中，
; 再乘以crossfade系数的1's取反

CHR0 WZP temp2 +COS MASKA COMPK

; 得到第一个结果，乘以crossfade系数，并相加

CHR0 RAP temp1 MASKA
;

WAP OUTL K=0 ; 写入DAC

;右声道同左声道除了使用的缓冲区不同

RZP ADCR K=.999
WZP CircularBufR K=.999
CHR0 RZP CircularBufR" +SIN COMPA COMPK LATCH

```

CHR0 RAP CircularBufR"+1 +SIN COMPA
WAP temp1 K=0
CHR0 RZP CircularBufR" +COS COMPA COMPK LATCH
CHR0 RAP CircularBufR"+1 +COS COMPA
CHR0 WZP temp2 +COS MASKA COMPK
CHR0 RAP temp1 MASKA
WAP OUTR K=0
    
```

;说明,音高下降程序举例
;下降1个八度音阶

```

LFO0 SAW AMP=32767 FREQ=64 XFAD=1/16
;SAW (sawtooth for pitch shift)
    
```

```

MEM CircularBufL 8192 ;左声道缓冲区
MEM CircularBufR 8192 ;右声道缓冲区
MEM temp1 1 ;临时寄存器
MEM temp2 1 ;临时寄存器
    
```

```

RZP ADCL K=.999 ;读左声道数据进累加器
    
```

```

WZP CircularBufL K=.999 ;写入起始内存
    
```

;接下来用chorus指令读取延时内存的中间,加到锯齿波的地址中,
;所返回的采样率乘以合唱发生器的系数1's取反,对第一个锯齿波用SIN输出。

```

CHR0 RZP CircularBufL" +SIN COMPK LATCH ;
CHR0 RAP CircularBufL"+1 +SIN
;将结果存入临时位置
    
```

```

WAP temp1 K=0 ;Write to DAC
    
```

;现在用COS输出得到其他的锯齿波

```

CHR0 RZP CircularBufL" +COS COMPK LATCH
CHR0 RAP CircularBufL"+1 +COS
    
```

;以上两指令的结果都在累加器中,写入临时位置将它带回到乘法器中,
;再乘以crossfade系数的1's取反

```

CHR0 WZP temp2 +COS COMPK MASKA
;得到第一个结果,乘以crossfade系数,并相加
    
```

```

CHR0 RAP temp1 MASKA
    
```

```

WAP OUTL K=0 ;写入DAC
    
```

;右声道同左声道除了使用的缓冲区不同

```
RZP  ADCR      K=.999
WZP  CircularBufR K=.999
CHR0 RZP CircularBufR"  +SIN  COMPK  LATCH
CHR0 RAP CircularBufR"+1  +SIN
WAP   temp1      K=0
CHR0 RZP CircularBufR"  +COS  COMPK  LATCH
CHR0 RAP CircularBufR"+1  +COS
CHR0 WZP temp2 +COS COMPK MASKA
CHR0 RAP temp1 MASKA
WAP  OTR  K=0
```

音高上升的LFO系数:

上升值 (半音)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fs	48k	48k	48k	48k	48k	48k	48k	48k	48k	48k	48k	48k
振幅系数A	32767	32767	32767	32767	32767	32767	32767	32767	32767	32767	32767	32767
频率系数F	8	16	24	33	43	53	64	75	87	100	114	128

上升值 (半音)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Fs	48k	48k	48k	48k	48k	48k	48k	48k	48k	48k
振幅系数A	32767	32767	32767	32767	32767	32767	32767	32767	32767	32767
频率系数F	1	1	2	3	4	5	5	6	7	8

音高下降的LFO系数:

上升值 (半音)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fs	48k	48k	48k	48k	48k	48k	48k	48k	48k	48k	48k	48k
振幅系数A	32767	32767	32767	32767	32767	32767	32767	32767	32767	32767	32767	32767
频率系数F	7	14	20	26	32	37	43	47	52	56	60	64

上升值 (半音)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Fs	48k	48k	48k	48k	48k	48k	48k	48k	48k	48k
振幅系数A	32767	32767	32767	32767	32767	32767	32767	32767	32767	32767
频率系数F	1	1	2	3	4	4	5	6	6	7

bd3201 Application Note—Pitch Shifting (中文版)

© 2006 BDNC ALL RIGHT RESERVED

www.bdnc.com

香港公司

比特联创(香港)有限公司
香港沙田科技大道西 6 号集成电路开发
中心 512-513 室

电话: 852-28542731/ 23916797
传真: 852-23916796
电子邮件: general@bdnc.com

北京公司

比特联创电子(北京)有限公司
北京市海淀区三里河路 21 号甘家口大厦
写字楼南座 1513 室, 邮编: 100037

电话: 86-10-88392985/88392986
传真: 86-10-88392980
电子邮件: bdncele@public.bta.net.cn