

DTMF 信号的产生与检测在 ADSP-2181 中的实现

李菁菁¹, 黄孝建¹, 李敬²

¹北京邮电大学信息与通信工程学院, 北京 (100876)

²清华大学电子工程系, 北京 (100084)

E-mail: jinglo@sina.com

摘要: DTMF 具有很强的抗干扰能力和较高的传输速度, DTMF 拨号音的识别在通信领域有着重要的地位和作用。本文介绍一种基于 DSP 芯片 ASDP-2181 的 DTMF 信号产生和检测的设计方法, 结合了 DTMF 较强的抗干扰能力和 DSP 的高速处理能力, 从而增加了系统的灵活性。

关键词: DTMF; ADSP-2181; Goertzel 算法

中图分类号: TN713

1. 引言

DTMF(Double Tone Multi-Frequency, 双音多频)作为实现电话号码快速可靠传输的一种技术, 它具有很强的抗干扰能力和较高的传输速度, 可广泛用于电话通信系统中。因其提供更高的拨号速率, DTMF 信令迅速取代了传统转盘式电话机使用的拨号脉冲信令。在许多交互式控制中, 例如语音菜单、电子邮件、来电显示、电话银行和 ATM 终端等, DTMF 也被广泛应用。本文主要研究在 DSP 上实现基于 ADSP-2181 的 DTMF 信号的产生和检测, DTMF 的产生过程基于两个二阶数字正弦波振荡器, 检测过程基于改进的 Goertzel 算法。此系统具有更高的准确和稳定性, 因此, 将 DTMF 信令的产生与检测集成到 DSP 芯片中, 是一项有意义的应用^[1]。

2. ADSP-2181 芯片介绍

ADSP 系列器件具有很强的运算能力、寻址能力和 I/O 操作能力, 在常用的卷积、滤波、FFT 以及矩阵运算等方面效果较好。ADSP-2181 以其指令速度快、存储量大、指令丰富、使用灵活等特点, 在图像、语音、雷达信号处理和数据采集等方面得到了广泛应用。

ADSP-2181 采用了哈佛结构, 可同时完成程序地址和数据地址的产生, 使得处理器能并行执行多条指令, 在一个处理周期里 ADSP-2181 可以做到: ①产生下一个程序地址; ②传送下一条指令; ③执行一个或两个数据移动; ④更新一个或两个数据地址指针; ⑤执行一条运算指令。ADSP-2181 除了与 ADSP-2100 系列的指令编码兼容外, 还支持一些新的指令, 这包括: 位设置、位清除、位触发等位操作指令, 新的 ALU 常数, 新的乘法指令, 全中断屏蔽, 这些指令增强了编程的灵活性^[2]。

3. DTMF 信号的产生

根据 CCITT 标准, 每一个 DTMF 双音多频信号都由一组行频和列频唯一确定, 频率图如表 1 所示:

表 1 电话键盘频率表

列 行	1209HZ	1336HZ	1477HZ	1633HZ
697HZ	1	2	3	A
770HZ	4	5	6	B
852HZ	7	8	9	C
941HZ	*	0	#	D

DTMF 双音频可以用两个可编程的二阶数字正弦振荡器产生，其中一个产生行频，一个产生列频。DTMF 音的产生过程如图 1 所示：

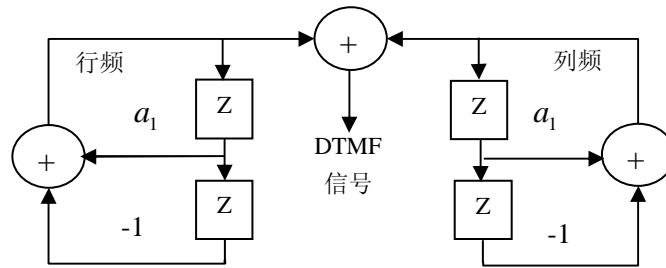


图 1 DTMF 编码正弦波数字振荡器

数字正弦振荡器可视为复共轭极点位于单位圆上的二阶振荡器。系统函数为 $H(z) = \frac{b_0}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}$ 的 2 阶系统，其中 $b_0 = A \sin w_0$ ， $a_1 = -2 \cos w_0$ ， $a_2 = -1$ 。对应的极点为 $P_{1,2} = e^{\pm jw_0}$ ，其单位脉冲响应为 $h(n) = \sin((n+1)w_0) \cdot u(n)$ 。系统差分方程为： $y(n) = -a_1 y(n-1) - a_2 y(n-2) + b_0 \delta(n)$ ，其初始条件为 $y(-1) = y(-2) = 0$ 。

由于 DTMF 频率范围在 697HZ~1633HZ 之间，所以 8KHZ 的采样频率能够满足奈奎斯特定理的要求。对于音频的持续时间，AT&T 规定每秒最多按 10 个键，即每个键时隙最短约 100ms。其中，实际音频持续时间至少为 45ms，不大于 55ms，因此在时隙的剩余时间内音频产生器必须保持静默，用以区别两个 DTMF 数字信号。

4. DTMF 信号的检测

DTMF 双音多频信号的检测是对进入解码端的信号进行检测，并把双音频信号转换成对应的数字信息。由于数据流是连续的，为了保证 DTMF 检测的实时性，因此要求检测过程必须是实时连续的。

4.1 Goertzel 算法

Goertzel 算法是 DTMF 检测的核心^[3]。该算法利用二极点的 IIR 滤波器计算离散傅里叶变换值，能够快速高效地提取输入信号的频谱信息。如图 2 所示，在 Goertzel 滤波器中，当 N 点样值输入滤波器后，输出伪 DFT 值 $v_k(N)$ ，由 $v_k(N)$ 即可确定频谱的平方幅度，其系

$$H_k(z) = \frac{1 - W_N^k z^{-1}}{1 - 2 \cos(2\pi k / N) z^{-1} + z^{-2}} \quad , \quad \text{其中 } W_N^k = e^{-j \frac{2\pi k}{N}}$$

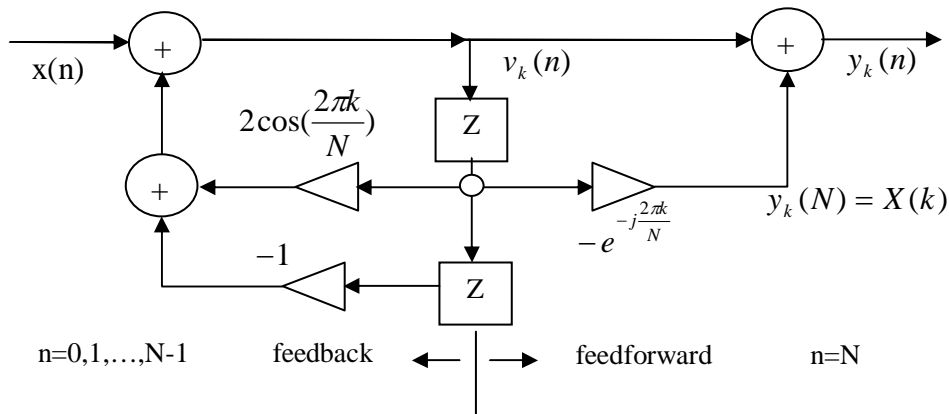


图 2 DTMF 检测 Goertzel 算法原理框图

由于 IIR 滤波器是一个递归结构，并不像 DFT 或 FFT 算法那样需要计算数据块，长度为 N 的 DFT 定义为： $X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j\frac{2\pi}{N}nk}$ 其中， $k = 0, 1, \dots, N-1$ 。用 DFT 计算一点的频率需要很多复系数来计算，对于一个 N 点的 DFT 需要计算 N^2 个复系数，即使对 N 点 DFT 中的一个单点频率也需要计算 N 个复系数，而 Goertzel 算法计算一点的频率只需要一个实数和一个复数，即： $X(k) = y_k(N) = v_k(N) - e^{-j\frac{2\pi}{N}k} v_k(N-1)$ ，其中， $v_k(-1) = v_k(-2) = 0$ 。

对频率值进行平方代数变换改进后，Goertzel 算法移除了音频检测过程中不相关的相位信息，可只用一个实数来检测一个音频，即：

$$|X(k)|^2 = y_k(N) \cdot y_k^*(N) = v_k^2(N) + v_k^2(N-1) - 2\cos(\frac{2\pi}{N}k)v_k^2(N)v_k^2(N-1)$$

这样，Goertzel 算法不必用 N 个缓冲器取样来计算 N 点 DFT，只需每 N 点执行一次来提取频谱的平方幅度。

4.2 ADSP-2181 上 DTMF 的检测原理

在 ADSP-2181 上利用 16 个分离的改进型 Goertzel 算法来检测 DTMF 信号^[4]，其中 8 个长度为 205 的 Goertzel 算法来检测 DTMF 信号的基波，8 个长度为 201 的 Goertzel 算法检测 DTMF 信号的二次谐波。为了实现 8 个长度为 205 的 Goertzel 算法和 8 个长度为 201 的 Goertzel 算法的一致，反馈过程反复完成所有的 201 个取样 ($n=0, 1, \dots, 200$)。对于另外的 4 个取样，只有 8 个长度为 205 的 Goertzel 算法才被重复 ($n=201, 202, 203, 204$)。其他 8 个长度为 201 的 Goertzel 算法将忽略新的取样。当 $n=N=205$ 时，所有的前馈过程求出结果，此时任何新的输入取样也被忽略。DTMF 信号的检测包括两个主要的任务，第一个就是解决 16 个 Goertzel 算法计算输入音频信号的频谱平方幅度；第二个是开始检测所得的频率结果是否构成一个有效的 DTMF 数字。

4.3 DTMF 信号的有效性检测

DTMF 信号有效性检测的流程图如下图 3 所示，得到 DTMF 信号的基波及二次谐波的频谱平方幅度信息后，需要通过一系列检测才能确定信号的有效性：

- 检测可能的 DTMF 信号的强度是否足够大，行频率分量和列频率分量的平方幅度和应高于某一确定门限 THR_SIG。

- 如果 DTMF 信号存在，比较行频率与列频率的最大频谱分量差值，行频峰值大于列频峰值称为“反向扭曲”（Reverse Twist），通常，由于电话线具有低通特性，列频率（高频段）的峰值要比行频率（低频段）的峰值衰减得多。因此，检测时要设置一个 8dB 的可接受的反向扭曲门限 THR_TWIREV；当行频峰值小于列频峰值称为“标准扭曲”（Standard Twist），同样要设置一个 4dB 的标准扭曲门限^[4]THR_TWISTD。

- 分别在行列频率组比较频谱分量，最强的频谱平方幅度至少要比其他音频信号高一个门限值(THR_ROWREL,THR_COLREL)。

- 由于 DTMF 信号只有在基频上具有较高能量，而语音的频谱总是在基频上叠加了明显强度的二次谐波分量。为了将 DTMF 信号与可能的语音或音乐信号区分开，必须检测信号的二次谐波强度，确保信号的二次谐波分量小于某一个确定门限值(THR_ROW2nd,THR_COL2nd)。

- 判断 DTMF 信号是否包含稳定的数字信息，只有数字信息被连续检测到两次，才认为是稳定的数字信息。

- 最后要检测数字信息之后是否有停顿状态，这样才能确保当前的数字为有效数字。

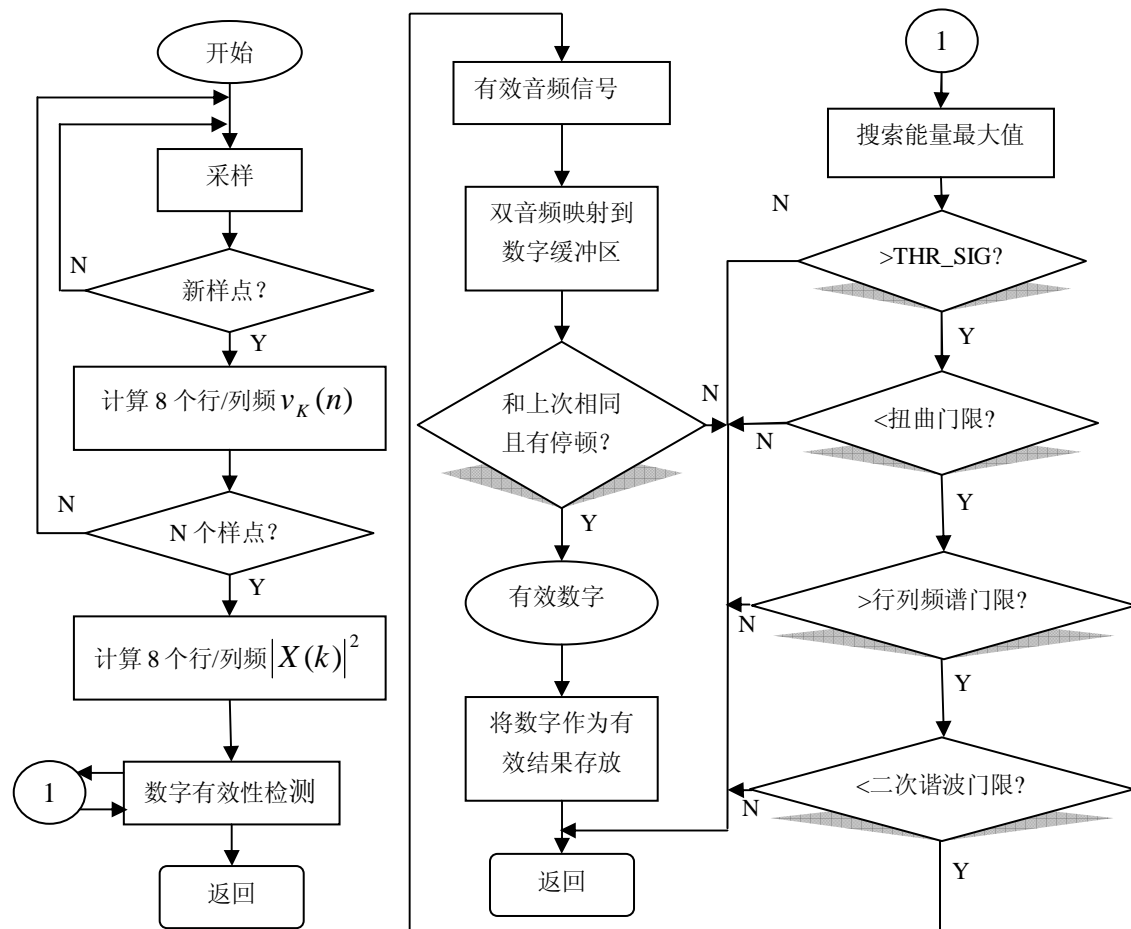


图 3 DTMF 有效性检测的流程图

4.4 性能及测试分析

按照 ITU-T Q.24 规定的 DTMF 规范（如表 2 所示），用音频编辑软件 CoolEdit2000 产生 12 个 DTMF 信号音“123456789*0#”，并以一个.dat 文件存放；用 Palmmicro 公司开发的

调试工具 PalmAdsp 进行仿真测试, 把上述.dat 作为输入数据, “123456789*0#”都能正确检测并识别出来。类似地, 用 CoolEdit2000 再产生若干组信号(可包括标准 DTMF、语音信号、音乐信号、噪声等), 正确的检测率达 99.9%, 能使 DTMF 信号与语音或音乐信号区分开。

表 2 ITU-T Q.24 中规定的 DTMF 规范

信噪比	>24dB	信号持续时间	45ms---55ms
允许频率失真	±1.5%	处理时间间隔	100ms
拒识频率失真	±3.5%	频率动态范围	25dBm
高低频率功率差	<4dB	ITU-T Q.24	

可见, Goertzel 算法不仅能够极大减小计算量, 而且能够实现 DTMF 的准确检测。此设计已成功应用在 Palmmirco 公司开发的 AR1688 VoIP 网关的 DTMF 检测中。

5. 结束语

基于 DSP 芯片 ADSP-2181 的 DTMF 产生和检测具有速度快、精度高、稳定性好、易于集成以及便于灵活应用等特点; 能准确有效地把 DTMF 信号从正常的通话、音乐等其它声音信号中区分出来。随着通信技术的不断提高, 该领域将来的发展趋势必然是用通用性强、模块化好的方法去实现高质量的通信服务。因此, 本文所讨论的技术方法具有相当高的实用价值和发展空间。这项技术可有效地应用到小型呼叫中心、语音信箱、ATM 终端及 VoIP 等领域。

参考文献

- [1] 张雄伟, 陈亮, 徐光辉. DSP 芯片的原理与开发应用[M].第三版. 北京: 电子工业出版社, 2003
- [2] ADSP-2100 FAMILY USERS MANUAL. Analog Device Inc.1995.9
- [3] Beck R, Dempster A. Finite-precision Goertzel Filters Used for Signal Tone Detection[J]. IEEE TransII,2001,48(6):691-700
- [4] 石明卫. 基于 Goertzel 算法实现高效多路 DTMF 检测[J].电视技术, 2001:74-76

The Producing and Detecting of Signal DTMF Based on ADSP-2181

Li Jing-jing¹, Huang Xiao-jian¹, Li Jing²

1 School of Information and Telecommunication Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing (100876)

2 Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing (100084)

Abstract

DTMF has great anti-interference ability and high transmission speed, and the identification of DTMF plays an important role in communication area. In this paper, a method to produce and detect Signal DTMF based on the DSP chip ASDP-2181 is introduced, which contains not only the strong anti-jamming capability of DTMF but also the high-speed processing capability of DSP. As a result, the system's flexibility is enhanced.

Keywords: DTMF;ADSP-2181;Goertzel algorithm

作者简介:

李菁菁, 女, 1987 年生, 硕士研究生, 主要研究方向是多媒体通信。