

# 基于 TMS320VC5509 的 G. 729A 算法实现

管必聪, 吕 虹

(安徽工程科技学院 电气工程系, 安徽 芜湖 24100)

**摘 要:** 国际电信联盟 (ITU-T) 于 1996 年提出了 G. 729A 8 kbps 语音编码标准。通过分析该标准的核心算法 CS-ACELP 的算法原理, 根据数字信号处理器的特点, 将 ITU 给出的标准 C 代码移植到 TMS320VC5509 DSP 上并对源代码中运算量较大的模块进行了代码优化, 实时实现了 G. 729A 低速率语音编解码器。经过测试, 结果表明合成语音具有较高的自然度和可懂度。

**关键词:** 语音编码; 数字信号处理器; G. 729A; 共轭结构算术码本激励线性预测

中图分类号: TN912.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2008)02-0050-03

## Implementation of G. 729A algorithm based on TMS320VC5509

GUAN Bi-cong, LV Hong

(Department of Electrical Engineering, Anhui University of Technology and Science, Wuhu 241000, China)

**Abstract:** The ITU-T organization standardized the G. 729A for 8 kbps speech coding in 1996. Firstly, the core algorithm principle of the standard, conjugate-structure algebraic-code-excited linear-prediction (CS-ACELP) was analyzed. According to the characteristics of the digital signal processor, the standard C code given by the ITU were transplanted into the DSP TMS320VC5509 and the larger operational quantity modules of the source code were optimized. Finally, the G. 729A low-rate speech codec were implemented real-time. After the test, the results show that the synthesized speech has better naturalness and intelligibility.

**Key words:** speech coding; digital signal processor (DSP); G. 729A; conjugate-structure algebraic-code-excited linear-prediction (CS-ACELP)

## 0 前 言

国际电信联盟推出的关于语音编码的建议 G. 729 Annex A 中, 采用共轭结构算术码本激励线性预测 (CS-ACELP) 算法, 把 64 kbps 的 PCM 信号压缩成 8 kbps, 合成出的语音质量接近 32 kbps 的 ADPCM 编码质量, 这个方案的特点是: 分析窗采用混合窗; 线谱对参数采用二级矢量量化; 以子帧为单位的码本搜索分为自适应码本搜索和代数码本搜索; 基音分析采用开环基音分析和自适应码本搜索相结合, 降低了运算量, 减少了基音的量化比特数, 提高了基音预测的准确度; 代数码本算法简单, 不需要存储码本, 恢复音质清晰<sup>[1]</sup>。因具有良好的合成语音质量、适中的复杂度、较低的时延等优点, G. 729A 标准已被广泛应用在 VOIP 网关、IP 电话中。

本研究主要介绍基于 TMS320VC5509 的 G. 729A 算法实现。

## 1 G. 729A 编、解码算法原理

### 1.1 编码器原理

G. 729A 语音编码器的原理框图, 如图 1 所示。语音信号经话路带宽滤波和 8 kHz 采样后, 量化成 16 bit 线性 PCM 信号。在编码之前, 先进行信号定标和高通滤波的预处理。编码器对 PCM 信号按每 10 ms (80 个样点) 的语音帧计算一次开窗语音的自相关系数, 并利用 LD 算法转换为 LP 系数。LP 系数再变换到 LSP 域用于量化和内插。采用合成分析法 (A-B-S) 搜索激励信号, 以感知加权误差方法, 即以“原始语音信号和合成语音信号之间的差值最小”为准则搜索激励信号。其主要过程是将误差信号通过以未量化的 LP 系数构成的感知加权滤波器。感知加权的程度是以保证输入信号频率响应的平滑均匀为目标而自适应调整的。

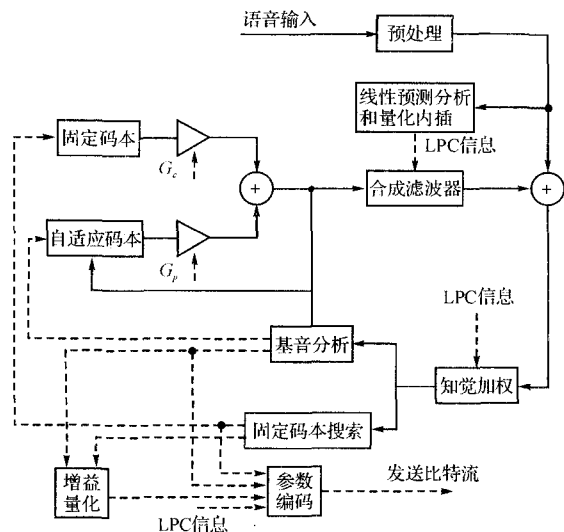


图 1 G.729A 语音编码器的原理框图

激励参数(固定码本和自适应码本参数)每 5 ms 子帧(40 个样点)计算一次。量化的和未量化的 LP 滤波器系数用在第 2 子帧中。而内插的 LP 滤波器系数(量化的和未量化的)用在第 1 子帧中。开环基音时延根据感觉加权语音信号每一帧估计一次。然后在每 5 ms 子帧中重复以下操作过程:将残差信号通过加权合成滤波器  $W(z)/A(z)$  滤波而获得目标信号  $x(n)$ 。所以滤波器的初始状态将通过滤波 LP 残差信号和激励信号的误差而更新。这也等效于将加权语音信号减去加权合成滤波器的零输入响应的方法。接下来计算加权合成滤波器的冲击响应  $h(n)$ 。然后用目标信号  $x(n)$  和脉冲响应  $h(n)$  搜索开环基音延迟附近的值作闭环基音分析(即寻找自适应码本延时和增益),分数基音延迟分辨率为 1/3 样点间隔。基音时延在第 1 子帧采用 8 bits 编码,在第 2 子帧采用 5 bits 编码。目标信号  $x(n)$  通过减去自适应码本贡献而更新,所得新的目标信号  $x'(n)$  被用在固定码本搜索中寻找最佳激励。一个 17 bits 的代数码本将被用于固定码本激励编码。自适应码本和固定码本贡献的增益将采用 7 bits 矢量量化(采用滑动平均预测方法计算固定码本增益)。最后,用选中的激励信号更新滤波器的存储器<sup>[2]</sup>。

## 1.2 解码器原理

G.729A 解码器结构图,如图 2 所示,其解码过程主要分为 3 步:参数解码、后处理、帧丢失处理。

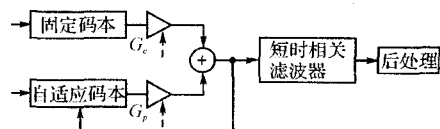


图 2 G.729A 解码器结构图

## 2 算法实现

### 2.1 TMS320C5509 性能简介

TMS320VC5509 是 TI 推出的一款高性能的 DSP,内部集成了大量的 SRAM,并且通过 EMIF 接口可以外扩 SDRAM,为完成复杂的语音算法提供了可能。同时也提供了如 I<sup>2</sup>C、McBSP、USB1.1、MMC 卡等外设接口。

TMS320VC5509 基于 TMS320C55x DSP 的核,因而具有高效率且低功耗的特点。C5509 采用统一编址的方式来划分存储空间,程序与数据总线均能对其访问,可以很方便地进行大量数据的处理与程序优化。双操作码指令集是其操作灵活和高速度的基础,它的执行速率最高可达 144 MIPS<sup>[3]</sup>。

### 2.2 代码编写及其优化

根据 ITU-T 提供的 G.729A 算法的标准 C 代码,在 DSP 开发工具 CCS 2.20 中对静态语音的测试结果表明:连续编码 6 000 帧的语音数据,编码 1 个 10 ms 帧平均占用约 440 万个时钟周期(4.4 MIPS),解码需要 87 万个时钟周期(0.87 MIPS),若使用运算能力为 144 MIPS 的 VC5509 需要约 40 ms 才能编、解码 1 个 10 ms 帧,不能满足实时编、解码的需要;同时,C 代码编译后高达 32 kB,占用了 C5509 过大的 RAM 空间,给程序设计带来很多不便。因此,需要将部分 C 代码改写为运行效率高、占用空间小的汇编代码。

本研究所要实现的语音编、解码器基于 VC5509 DSK,根据 DSP 的结构特点,可以使用内联函数、循环处理、特殊指令等方法来进行代码优化<sup>[4]</sup>。

### 2.3 算法优化

算法优化主要是根据系统要求的高低,对搜索算法进行适当的粗化。CS-ACELP 算法中的基音延迟搜索利用开环基音搜索得到最佳开环延迟  $T_{op}$ ,在后续的自适应码本搜索中,将第 1 子帧的基音延迟  $T_1$  的搜索范围限定在  $T_{op}$  周围的小范围延迟内(6 个样点);而第 2 子帧的延迟  $T_2$  的搜寻范围又将在第 1 子帧选择的延迟周围。通过这样一步步的运算,最终求得两子帧的基音延迟<sup>[5]</sup>。

第 1 级搜寻的方法是通过寻求加权语音信号  $sw(n)$  的相关系数来进行计算的。相关系数定义为:

$$R(k) = \sum_{n=0}^{79} sw(n)sw(n-k) \quad (1)$$

式中, $k$  的范围为 20 ~ 143。

若进行优化,可以将其中的累加次数从 80 次降低到 40 次(相关系数的求解对每个  $k$  均独立,且上述相关系数的目的是为了进行比较,求出最大值,最后再将最大值归一化,因此,适当降低累加次数对最终结果影

响不大),粗化后的表达式如下:

$$R(k) = \sum_{n=0}^{99} sw(2n)sw(2n-k) \quad (2)$$

实践证明,上面的粗化对实际的结果影响不大,但运算量减少了一半。

同样的,在 CS-ACELP 算法中还有固定码本搜索算法,使用相同原理下的粗化可以达到减少运算量的效果,同时,对合成出的语音效果影响不大。

## 2.4 内联函数

内联函数是在某些 DSP 的汇编指令前加上“\_”构成,它可以很方便地实现某种需要若干 C 语句才能实现的功能,是一种非常简便、高效的优化方法,它的调用格式和普通的 C 函数一样,但是在编译时编译器会自动将 Intrinsic 用对应的汇编指令代替。DSP 指令集中绝大多数的运算逻辑指令都可以这样使用,如饱和和绝对值、饱和加、饱和减、饱和乘等。用 Intrinsic 替代原先的 C 代码,运算量可以得到下降。

## 2.5 循环处理

编译器对于 FOR 循环的处理,一般是通过重复指令或条件转移指令来实现,多数编译器将其编译成 RPTB 指令,但是 RPT 指令的效率更高,可以使乘法、累加和数据传送等多周期指令在执行一次后变成单周期指令,提高指令的执行速度。因此为了产生单重复指令,通常使用常数作为循环的上限,对 RPTB 循环体内的指令进行优化,充分利用 DSP 多总线结构和并行操作,尽量使用一条指令完成操作。对于循环体内的一些操作指令,在保证算法正确的前提下,能放在循环体外执行的语句,尽量放在循环体外执行。例如:算术运算的饱和、溢出处理,须经常重复执行,对于这部分代码可以合并甚至移到循环体外。对于多重循环,由于只有一套块重复寄存器而不能嵌套,这样外层的那些循环会多次使用 BANZ 或其他跳转指令,可以对循环次数少的循环体进行展开,以减少跳转次数。

## 2.6 充分利用 DSP 的特殊指令

灵活运用 DSP 的特殊指令,可以取得事半功倍的效果,例如,EXP 可以加在一个机器周期内求得累加器中数值的指数。NORM 可以在一个机器周期内归一化累加器数值。要对一个数进行归一化时,可以使用以下两条指令:

- EXP A
- NORM A

## 3 实验结果

本研究主要针对 G729A 算法的实时语音处理系

统设计,对主要算法及其实现的代码优化问题进行了论述。对输入和输出语音进行的测试表明,输出的合成语音质量达到了预定的要求。输入和输出语音波形及其频谱图,如图 3 所示。

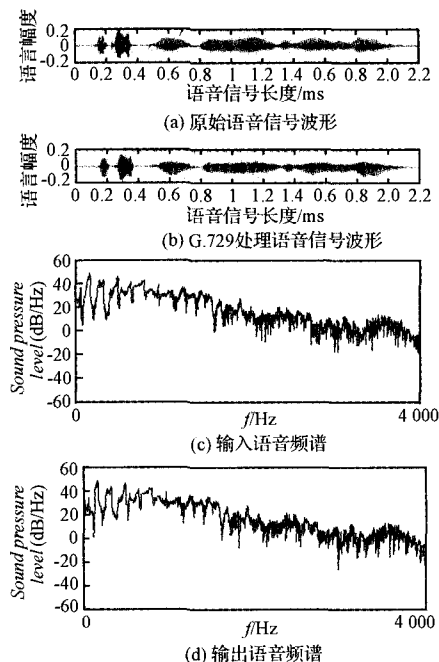


图 3 输入/输出语音波形及频谱图

## 4 结束语

从上面的语音波形图及频谱图可以发现,语音信号经过 G. 729A 标准编码后解码输出,在输出端能够得到比较清晰的合成语音。语音信号经过 729A 标准压缩后,主观测试表明:重建语音质量良好,清晰度及自然度与原始语音相比差别很小。

### 参考文献 (Reference):

- [1] ITU-T Rec. G. 729 Annex A (11/96) Reduced complexity 8 kbit/s CS-ACELP speech codec [M]. ITU-T Study Group 15-Transport networks, systems and equipment, 1996.
- [2] SALAMI R, LAFLAMME C, BESSETTE B. ITU-T G. 729 Annex A: reduced complexity 8 kb/s CS-ACELP codec for digital simultaneous voice and data [J]. *Communications Magazine, IEEE*, 1997, 35(9): 56-63.
- [3] 洪景新,陈国伙,刘光增. 基于 DSP 的 ITU-T G. 729 语音编解码实现 [J]. *厦门大学学报*, 2004, 43(3): 335-338.
- [4] 张瑞峰. 基于 DSP 的 G. 729 语音编解码器的设计 [J]. *电子技术*, 2003, 30(9): 33-35.
- [5] 王虹,陈 锴. G. 729 声码器的码本搜索改进 [J]. *电脑与信息技术*, 2005, 13(3): 48-50.

[编辑:李 辉]