

## 一种基于 EVRC 的二阶固定码本搜索方法\*

王苗,黄冰,李强

(桂林电子科技大学 信息与通信学院,广西 桂林 541004)

**摘要:** 在 EVRC 高效固定码本搜索方法的基础上提出了一种二阶固定码本搜索方法。这种方法由两阶组成,在第一阶,利用快速连续搜索方法搜索出低质量的矢量码本;在第二阶,利用全面的脉冲替换程序来优化所确定码本的性能。模拟仿真结果表明,二阶固定码本搜索方法的搜索量约为传统搜索量的 21.5%,并且获得的语音质量与传统固定码本搜索方法得到的语音质量基本相同。

**关键词:** 变速率语音编码;EVRC;固定码本搜索;ACELP

中图分类号: TN912.3

文献标识码: A

## A two-stage codebook search method of EVRC speech codec

WANG Miao, HUANG Bing, LI Qiang

(Information &amp; Communication College, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

**Abstract:** In this paper, a two-stage codebook search method of EVRC speech codec is proposed. At the first stage, a coarse codevector is selected by a sequential search, and at the second stage, the exhaustive pulse replacement procedure is run to enhance the performance of codevector. Simulation with speech data show that the new method yields voice quality equivalent with only 21.5% codebook search load.

**Key words:** variable-rate speech algorithm; EVRC; fixed codebook search; ACELP

增强型变速率语音编解码算法(EVRC)由于其较低的编码速率和较好的语音质量,在数字通信系统领域得到了广泛的应用。由于 EVRC 算法的复杂度较高,因此对硬件系统的性能要求很高。为了在低性能的硬件系统上实现该算法,对算法进行优化就显得非常必要。固定码本搜索是 EVRC 算法中比较重要的模块,它占用的空间是算法占用总空间的 16%,运算量是全速率编解码算法总运算量的 26%,因此成为算法优化的重点。

## 1 传统码本搜索方法

在码本搜索中,搜索的主要目的是使式(1)中的  $T_k$  最大:

$$T_k = \frac{C_k}{E_k} = \frac{(d^T C_k)^2}{C_k^T \Phi C_k} \quad (1)$$

其中  $d$  为目标信号  $X_w(n)$  和加权滤波器单位冲击响应  $h_{wq}(n)$  的互相关函数,  $C_k$  为  $k$  序号的码矢量,  $\Phi$  为加权滤波器单位冲击响应  $h_{wq}(n)$  的自相关矩阵。

传统的码本搜索方法通过对 2 个 track 进行联合搜

索来搜索 8 位最佳脉冲位置。首先将 55 个位置分为 5 个 track,分别为 T0、T1、T2、T3 和 T4,每个 track 包含 11 个脉冲位置。先对 T0-T1 进行联合搜索求得两个脉冲位置,搜索量为  $11 \times 11$ ;然后对 T2-T3、T4-T0、T1-T2 分别联合搜索求得其他 6 个最佳脉冲位置。可以看出,在 T3 和 T4 中各得到一个脉冲位置,在 T0、T1 和 T2 中各得到 2 个脉冲位置,由此可以得到所需要的 8 个脉冲位置以及相应的码矢量,搜索量为  $11 \times 11 \times 4$ 。由于还有 T0-T1、T4-T0、T1-T2 为单脉冲 track 等 3 种情况,因此传统的码本搜索方法的搜索量为  $11 \times 11 \times 4 \times 4 = 1936$ 。

## 2 二阶码本搜索方法

2000 年 1 月,韩国学者 Hochong Park 提出了一种基于 EVRC 的高效码本搜索方法,利用二阶搜索方法来替代传统的码本搜索方法。这种算法将搜索量降低为传统搜索量的 23%,但是它仅仅考虑了在符合脉冲联合规则的双脉冲 track 中删除脉冲的情况,而在单脉冲 track 和不符合脉冲联合规则的双脉冲 track 中删除脉冲的情况

\* 基金项目:广西科学基金项目资助(桂科自 0640167)

则没有考虑。新的搜索方法充分考虑了以上 3 种情况,利用分类处理的方法解决了这个问题。

### 2.1 算法原理

二阶固定码本搜索方法是由两阶组成,在第一阶中,利用快速连续脉冲搜索方法搜索出低质量的码本矢量。先假定单脉冲 track 是 T0-T1,在 T0 中搜索出一个脉冲位置使  $T_k$  最大。然后在这个脉冲位置的基础上,在 T1 中搜索一个最佳位置使  $T_k$  最大,同理在前面得到的最佳脉冲位置的基础上,分别在双脉冲 track T2、T3、T4 中各搜索出 2 个脉冲位置。这样就得到了一个包含 8 个脉冲位置的低质量的码本矢量  $C_1$ 。然后对于单脉冲 track 为 T1-T2、T2-T3 和 T4-T0 等情况,分别按上述方法求得  $C_2$ 、 $C_3$  和  $C_4$ ,选择  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$  和  $C_4$  中使  $T_k$  最大的一个作为第一级搜索所得的低质量的码本矢量  $C$ 。

在第二阶中,首先对在第一阶中得到的 8 个脉冲进行搜索,得到对  $T_k$  影响最小的那个脉冲,然后用新的脉冲去替换这个最不重要的脉冲,这种方法叫做脉冲替换法。首先从 8 个脉冲中依次去掉一个,然后求剩余 7 个脉冲的  $T_k$  值。比较求得的 8 个  $T_k$  值,最大的那个  $T_k$  值所对应的去掉脉冲即为对  $T_k$  影响最小的脉冲。把它删除后,重新搜索新的脉冲来替换它的位置。根据单脉冲 track 联合规则,只存在单脉冲 track 为 T0-T1、T1-T2、T2-T3 和 T4-T0 这 4 种情况。因此对  $T_k$  贡献最小的脉冲位置只有以下 3 种情况:

- (1) 贡献最小的脉冲在单脉冲 track 中;
- (2) 贡献最小的脉冲在符合单脉冲 track 联合规则的双脉冲 track 中;
- (3) 贡献最小的脉冲在不符合单脉冲 track 联合规则的双脉冲 track 中。

对于第一种情况,贡献最小的脉冲在单脉冲 track 中,则新的脉冲搜索范围被限制在原单脉冲 track 中,通过搜索该单脉冲 track 中剩余的 10 个脉冲,求得更新后的脉冲位置;对于第二种情况,贡献最小的脉冲在符合单脉冲 track 联合规则的双脉冲 track 中,新的脉冲搜索只在 2 个符合联合规则的 track 中进行,例如在 T0-T1 为单脉冲 track 的情况下,如果贡献最小的脉冲在 T2 中,则新脉冲必须在 T0 和 T2 中搜索;第三种情况,贡献最小的脉冲在不符合单脉冲 track 联合规则的双脉冲 track 中,同样将新的脉冲搜索范围限制在原单脉冲中。具体的替换规则如表 1 所示。

### 2.2 搜索量对比

由前面描述可知,传统固定码本搜索方法的搜索量为 1 936。在二阶固定码本搜索方法第一阶中,对于每个包含 11 个有效脉冲位置的 track 来说,搜索最佳脉冲需

表 1 脉冲替换规则表

原单脉冲 track 联合	删除脉冲位置	新脉冲位置	新单脉冲 track 联合
T0-T1	T0	T0	T0-T1
	T1	T1	T0-T1
	T2	T0	T1-T2
		T2	T0-T1
	T3	T3	T0-T1
T4	T1	T4-T0	
	T4	T0-T1	
T1-T2	T0	T0	T1-T2
		T2	T0-T1
	T1	T1	T1-T2
	T2	T2	T1-T2
	T3	T3	T1-T2
T3-T4	T0	T0	T3-T4
		T3	T4-T0
	T1	T1	T3-T4
	T2	T2	T3-T4
	T3	T3	T3-T4
T4-T0	T0	T0	T4-T0
	T1	T1	T4-T0
		T4	T0-T1
	T2	T2	T4-T0
	T3	T0	T3-T4
T4	T3	T4-T0	

要的搜索量为 11。由于 8 个脉冲是连续搜索的,并且有 4 种不同的 track 组合,因此第一阶的搜索量为  $11 \times 8 \times 4$ 。在第二阶中,可以假设 8 个脉冲位置中每个位置被删除的概率是一样的。首先以 T0-T1 为单脉冲 track 为例计算算法的搜索量。如果被删除的脉冲位置是在 T0、T1 或者 T3 中,则搜索量为  $8+10$ ,其中 8 为搜索最小贡献脉冲的搜索量,10 为搜索被删除后剩余 10 个位置的搜索量;如果被删除脉冲位置是在 T2 或者 T4 中,则搜索量为  $8+11 \times 2$ ,其中  $11 \times 2$  为在 2 个符合联合规则的脉冲 track 中搜索替换脉冲的搜索量。因此,在单脉冲 track 情况下,搜索量  $N_1$  为:

$$N_1 = (8+10) \times 3/5 + [8+(11 \times 2)] \times 2/5 = 22.8$$

同理可得,单脉冲 track 为 T1-T2、T3-T4 和 T4-T0 等情况下搜索量分别为:

$$N_2 = (8+10) \times 4/5 + [8+(11 \times 2)] \times 1/5 = 20.4$$

$$N_3 = (8+10) \times 4/5 + [8+(11 \times 2)] \times 1/5 = 20.4$$

$$N_4 = (8+10) \times 3/5 + [8+(11 \times 2)] \times 2/5 = 22.8$$

又因为语音信号是随机的,这 4 种情况出现的概率相等,所以脉冲替换程序的搜索平均量为:

$$N = 1/4 \times (N_1 + N_2 + N_3 + N_4) = 21.6$$

根据大量的语音测试可以得到,替换的脉冲数目

越多,合成语音质量与标准算法得到的合成语音质量越接近。在综合考虑了算法的搜索量和对合成语音质量的要求后,选择进行3次脉冲替换,这样既保证了合成语音的信噪比和标准算法得到的合成语音信噪比差别在0.01 dB以下,又使搜索量最小。此时的搜索量为:

$$11 \times 8 \times 4 + N \times 3 = 416.8$$

与传统固定码本搜索方法的搜索量相比较可得:

$$416.8 \div 1936 = 21.5\%$$

因此,二阶固定码本搜索方法的搜索量仅为传统搜索方法的21.5%,低于高效固定码本搜索方法的23%。

### 3 算法仿真

3GPP提供了EVRC浮点源代码,作者在不改变其他模块的前提下,对固定码本搜索模块进行修改,利用二阶固定码本搜索方法替代了传统固定码本搜索,并在Visual C++ 6.0环境下进行仿真测试。经过测试发现,固定码本搜索模块的运算量是传统搜索运算量的1/4,如表2所示,与上述搜索量对比情况相符。

表2 传统搜索与二阶搜索运算量对比

传统搜索/cycle	二阶搜索/cycle	降低百分比/%
12 557 326	3 016 109	75.98

选用的语料来源于CMU语料库,该语料库包含各种语境的声音样本,具有广泛的代表性。选用的语音波形图如图1所示,图2和图3分别为采用传统固定码本搜索方法和二阶固定码本搜索方法得到的语音波形图。经过对比可以发现,采用2种固定码本搜索方法得到的语音波形有较高的相似度。

为了更客观地评价二阶固定码本搜索方法的性能,分别求得了以上3段语音的信噪比,如表3所示。原始

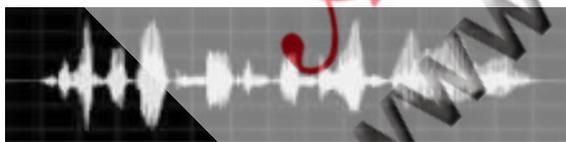


图1 原始语音波形

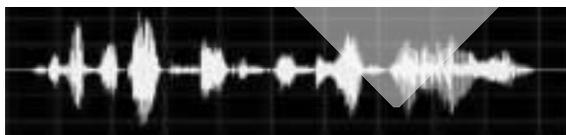


图2 传统搜索方法得到的语音波形



图3 二阶搜索方法得到的语音波形

表3 传统方法与二阶方法所得语音信噪比

	原始语音	传统方法所得语音	二阶方法所得语音
信噪比/dB	12.72	13.24	13.23

语音信号经过二阶固定码本搜索方法所得语音的信噪比与传统固定码本搜索方法所得语音的信噪比仅相差0.01 dB。

二阶固定码本搜索方法使搜索量降低为传统搜索方法的21.5%,且获得语音的信噪比与传统固定码本搜索方法所得语音的信噪比仅相差0.01 dB,是一种比较理想的固定码本搜索方法。

### 参考文献

- [1] PARK H. Efficient codebook search method of EVRC speech codec[M]. IEEE SIGNAL PROCESSING LETTERS, 2000.
- [2] 王炳锡,王洪. 变速率语音编码(第1版)[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004.
- [3] 赵力. 语音信号处理(第1版)[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [4] 鲍长春. 低比特率数字语音编码基础(第1版)[M]. 北京:北京工业大学出版社,2001.
- [5] 姚天任. 数字语音处理(第1版)[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2003.

(收稿日期:2009-12-15)

### 作者简介:

王苗,男,1987年生,硕士研究生,主要研究方向:语音信号处理。

黄冰,男,1945年生,教授,硕士生导师,主要研究方向:自适应信号处理,光通信。

李强,男,1982年生,硕士研究生,主要研究方向:语音信号处理。