

# 一种设计语言信号波形矢量 量化器的新算法

蒋刚毅 张礼和 蔡金海 郑 义

(杭州大学电子工程系 杭州 310028) (汕头大学电子工程系 汕头 515063)  
(汕头大学人工智能与模式识别开放实验室)

**摘要** 本文提出了波形矢量量化器码本的特征变量,对码本的分布特性进行了研究,提出了合理构造初始码本、快速训练码本和快速量化矢量的设计波形矢量量化器新算法。计算机模拟结果表明,新算法明显缩减了码本训练时间、提高了矢量量化的速度。

**关键词** 波形矢量量化器,特征变量,码本重构

## 1 引言

语言信号波形矢量量化是将信号的每 $K$ 个连续样点分成一组,形成 $K$ 维矢量,再对矢量进行量化。设 $Y$ 是量化器码本, $Y = \{Y_i; i = 1, \dots, N\}$ ,  $Y_i = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{iK})$ ;  $N$ 为码本长度,  $X_j$ 为第 $j$ 个输入矢量,  $X_j = (x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jK})$ ,  $Y_i$ 为 $X_j$ 的量化矢量,  $Q$ 是波形矢量量化器,  $\alpha$ 为编码器,  $\beta$ 为译码器,  $d(X_j, Y_i)$ 是失真测度。

$$Y_i = Q(X_j), \quad (1)$$

$$Q = \alpha \cdot \beta, \quad (2)$$

$$\alpha(X_j) = i, \quad (3)$$

$$\beta(i) = Y_i, \quad (4)$$

$Q$ 的设计主要包括 $Y$ 的设计和码字的搜索策略两方面。人们从这两方面开展了许多有成效的工作<sup>[1-3]</sup>。LBG算法<sup>[4,5]</sup>被广泛采用于码本设计,但它存在初始码本难以合理确定及码本训练的时间复杂度过高的情况。全搜索算法是矢量量化的基本搜索策略,它能取得最佳搜索结果但运算量过大。

本文运用特征变量分析了码本及其训练序列的分布特征,提出了设计波形矢量量化器的新算法。算法明显缩减了码本训练时间和提高了矢量量化速度且不增加码本存储空间。

## 2 语言信号波形矢量量化器设计新算法

**2.1 特征变量** 定义 $L$ 阶码字和值 $S_{,i}$ 及 $L$ 阶矢量和值 $S_{,j}$ 如下,并作为矢量量化码本的特征变量。

1993-12-16 收到, 1995-01-11 定稿

蒋刚毅 男, 1964年生, 讲师, 从事数字信号处理的教学和科研, 现为赴韩国亚洲大学访问学者。  
张礼和 男, 1932年生, 教授, 主要研究领域为语音数字信号处理。  
蔡金海 男, 1965年生, 讲师, 主要研究领域为语音数字信号处理。  
郑 义 男, 1944年生, 副教授, 主要研究领域为信息与信号处理。

$$S_{y_i} = \sum_{t=1}^K (y_{it})^L / K, \quad (5)$$

$$S_{x_i} = \sum_{t=1}^K (x_{it})^L / K. \quad (6)$$

(1) 码字和值与矢量和值是反映码字与矢量自身特征的标量, 一阶码字和值及一阶矢量和值分别反映了码字及矢量的分量的均值; 二阶码字和值及二阶矢量和值分别反映了码字及矢量的分量的平均能量。

(2) 若  $Y_i$  是  $X_i$  的量化矢量,  $d(X_i, Y_i) \leq (X_i, Y_i), i \in \{1, \dots, N\}$ , 则  $|S_{x_i} - S_{y_i}|$  必然很小。由此, 可在  $Y$  中确定子集  $Y^s, Y^s$  中码字的码字和值与  $S_{x_i}$  的差很小, 在  $Y^s$  内搜索可以获得量化矢量  $Y_i$ 。

(3) 若  $Z$  是由  $Y$  按其特征变量值顺序排列码字得到的码本;  $Z = \{Z_i: i = 1, \dots, N\}$ , 则  $Z$  等价于  $Y$ , 且  $Z_i \in Y$ 。  $Z$  在结构上具有有序性, 即  $S_{z_1} \leq S_{z_2} \leq \dots \leq S_{z_N}$ 。

(4) 设  $b_r, b_f$  分别是全搜索和快速搜索算法的时间复杂度,  $D_r, D_f$  是全搜索和快速搜索算法的量化信噪比, 则定义搜索量压缩比  $\beta$  及信噪比损失值 SNR 损失分别为

$$\beta = b_r / b_f, \quad (7)$$

$$\text{SNR 损失} = D_r - D_f. \quad (8)$$

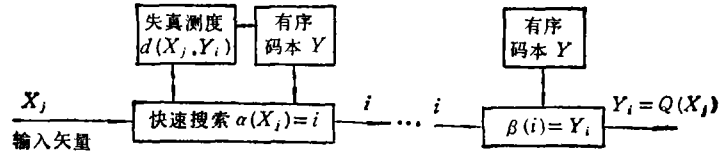


图 1 新算法设计的语言信号波形矢量量化器框图

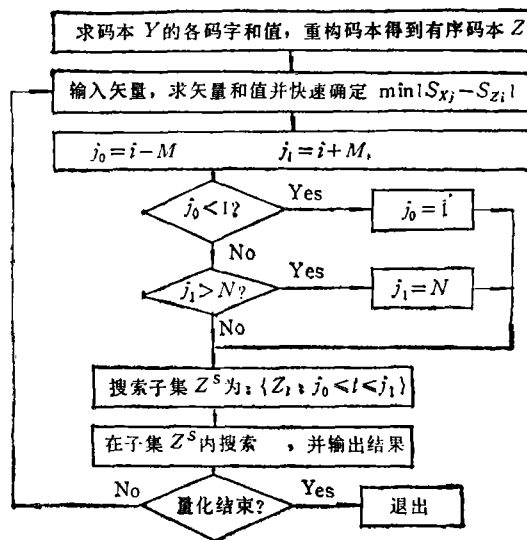


图 2 基于码本重构的矢量量化的新搜索算法框图

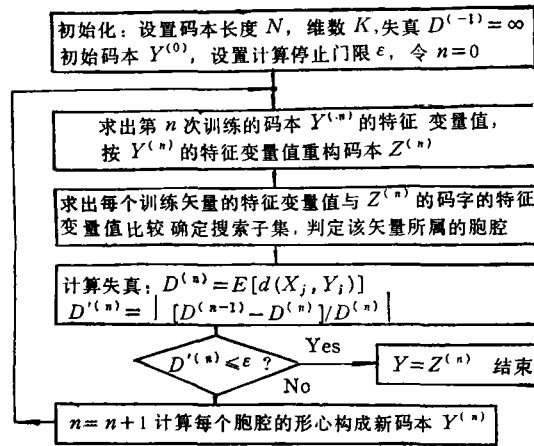


图 3 基于特征变量的码本快速训练算法

$\beta$  大、SNR 损失小, 则表明快速搜索算法有效。

**2.2 波形矢量量化器设计新算法** 基于重构码本在结构上的有序性, 新的语言信号波形矢量量化器如图 1 所示。新设计算法包括合理构造初始码本、快速训练码本和快速量化矢量。

图 2 为矢量量化的新搜索算法框图。 $M$  为搜索步长, 它是小于  $N/m$  的最大整数,  $m$  为步长因子。图 3 所示的码本快速训练的新算法, 采用基于特征变量的当前码本重构得到有序码本, 并利用图 2 中的快速搜索算法明显减少了训练过程中胞腔划分运算量, 进而提高了码本训练速度。初始码本构造如下:

- (1) 求出训练序列中各矢量的矢量和值。
- (2) 将训练序列按矢量和值分为  $N$  个胞腔, 判别并消除空胞腔。
- (3) 以胞腔的形心作为码字构成初始码本。

**2.3 复杂度** 矢量量化器的复杂度包括空间复杂度  $b$  (乘法/输入矢量) 和时间复杂度  $\mu$  (存储单元)。对于全搜索矢量量化器,  $b = NK$ ,  $\mu = NK$ 。对于二叉树搜索矢量量化器,  $N_i$  为二叉树最后一层的码字数,  $p$  为二叉树树叶所在层数, 则  $b = (2 \log_2 N_i) \cdot K$ ,

$$\mu = \left( \sum_{i=1}^{p-1} 2^i \right) \cdot K. \text{ 对于新算法设计的矢量量化器, } b \leq (2M + 1) \cdot K, \mu = KN.$$

### 3 结果和讨论

根据上述算法, 借助计算机对语言信号进行波形矢量量化模拟。采用一阶码字和值和一阶矢量和值作为特征变量。分别以 LBG 算法和新码本训练算法训练得到  $K = 2, 4, 6, 8, N = 64, 128, 256, 512, 1024$  的码本。表 1 为 LBG 算法和新的码本训练算法 ( $m = 20$ ) 进行胞腔划分时每个训练矢量搜索与其匹配码字所需平均搜索次数比较。由于码本训练的计算量主要取决于胞腔划分。因此, 压缩胞腔划分的复杂度能明显提高码本训练速度。图 4(a) 为  $K = 4, N = 1024$  的码本一阶码字和值的分布直方图, 图 4(b) 为码本训练序列的一阶矢量和值的分布直方图。由图可知, 码本特征变量的分布特征反

映了其训练序列特征变量的分布情况。因此, 根据训练序列特征变量的分布情况设定初始码本, 使初始码本具有相似于训练好的码本的特征变量的分布特征, 能够减少码本训练的迭代次数。与 LBG 算法相比, 新码本训练算法在保证失真测度下, 使码本训练速度提高了一个数量级以上。

表 2 为同一码本分别采用全搜索、二叉树搜索、新搜索算法量化 1000 个矢量的比较。实验表明新搜索算法在量化精度、空间复杂度、时间复杂度等性能上都优于二叉树搜索算法。选取适当的  $M$  (或  $m$ ), 既提高了量化速度, 降低了复杂度, 又保持高的量化精度。

计算机模拟结果表明采用码字和值、矢量和值作为特征变量设计矢量量化器是可行的, 实验中采用了一阶码字和值, 具有物理意义明确、计算简单、易于硬件实现等特点。

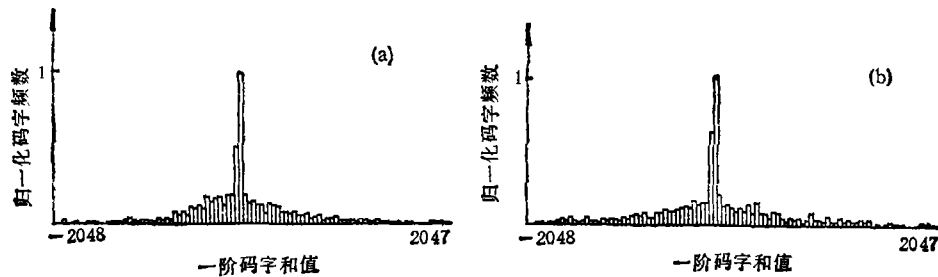


图 4 (a)  $K = 4, N = 1024$  的码本一阶码字和值分布直方图  
(b) 码本训练序列的一阶矢量和值的分布直方图

表 1 LBG 算法与新的码本训练算法胞腔划分运算量比较

$(K = 4)$ $N$	LBG 码本训练算法		新码本训练算法	
	胞腔划分的搜索次数	码本 SNR	胞腔划分的搜索次数	码本 SNR
64	64	14.46	7.66	14.43
128	128	15.80	12.51	15.75
256	256	16.97	23.38	16.88
512	512	18.15	47.43	18.05
1024	1024	19.89	96.45	19.78

表 2 全搜索算法、二叉树搜索算法及新搜索算法的比较

全搜索算法		$K = 4, N = 256$ , 搜索次数=256, $\beta = 1$ , SNR = 16.880dB, SNR 损失=0									
二叉树搜索算法		$K = 4, N = 256$ , 搜索次数=16, $\beta = 16$ , SNR=15.871dB, SNR 损失=1.009									
新搜索算法	$m$	2	6	10	16	20	30	40	50	60	
		搜索次数	174.56	72.48	45.11	30.55	23.67	16.44	12.78	10.81	8.89
	$\beta$	1.47	3.53	5.68	8.38	10.82	15.57	20.02	23.68	28.80	
$N = 256$	SNR (dB)	16.880	16.873	16.870	16.838	16.791	16.555	16.287	16.139	15.827	
$K = 4$	SNR 损失	0 dB	0.007	0.010	0.042	0.089	0.325	0.593	0.741	1.053	

## 参 考 文 献

- [1] Nakhol J, et al. Proc. of IEEE, 1985, 73(12): 1551—1685.  
[2] Chen D Y, et al. Proc. of ICASSP'84, California, USA: 1984, 9.11.1—9.11.4.  
[3] 黄胜华, 贝达昌. 中国科学技术大学学报, 1990, 20(2): 171—176.  
[4] Linde Y, et al. IEEE Trans. on COM, 1980, COM-28(1): 55—66.  
[5] Gray R M. IEEE ASSP Magazine, 1984, 1(1): 4—29.

## A NEW DESIGN ALGORITHM FOR WAVEFORM VECTOR QUANTIZER OF SPEECH SIGNAL

Jiang Gangyi Zhang Lihe Cai Jinhai

Zheng Yi

(Hangzhou University, Hangzhou 310028)

(Shantou University, Shantou 515063)

(Artificial Intelligence and pattern recognition Open Lab, Shantou University)

**Abstract** Characteristic variables of waveform vector quantizer of speech signal are presented and used to analyze codebook and its training sequence. It includes three parts, i. e., constructing initial codebook efficiently, training codebook fast and quantizing input vectors fast. Computer simulations show that the training speed of codebook is quickened by the new design algorithm and the complexity of vector quantizer is reduced.

**Key words** Waveform vector quantizer, Characteristic variable, Reconstruction of codebook