

· 研究简报 ·

矢量量化器的典型训练序列方法

林 韵 肖自美

(中山大学无线电电子学系)

摘 要 本文探讨了矢量量化器设计中信源样本的选取问题,提出了典型训练序列的概念和生成方法。实验结果表明用典型训练序列设计矢量量化器的有效性,同时,简化了设计。

关键词 数据压缩, 信源编码, 矢量量化, 训练序列

在矢量量化器(VQ)的经典LBG算法中^[1],既可采用信源分布函数的形式,也可采用信源的训练序列形式。对于同一信源,按照训练序列设计的VQ与根据分布函数设计的VQ是一致的^[2]。由训练序列设计的VQ不仅可以达到由分布函数设计的VQ的性能,而且对于信源未来产生的序列(设计外训练序列)也具有同样的性质。

如何选取训练序列是VQ设计中的一个至关重要的问题。从理论上讲,训练序列越长越好。因为由长度为 n 的训练序列所设计的矢量量化器 Q_n 渐近地收敛于(当 $n \rightarrow \infty$)由分布函数设计的矢量量化器。但是在实际应用中,只能采用有限长度训练序列,并且希望训练序列尽可能短而又十分有效。目前提出的一些自适应VQ方案要求实时在线设计或修正码书。由于硬件实现的运算速度的限制,只能采用有一定长度的训练序列。

本文研究训练序列的有效选取方法,为训练序列的长度和有效性的矛盾提供一种解决途径。使所选取的训练序列在一定长度下,足够准确地反映信源的分布。

1 矢量量化器设计中的训练序列

训练序列是由信源产生的信号序列,它反映了信源的分布特性。从理论上讲^[2],充分长的训练序列能够“准确地”(对于平稳遍历源以概率1)反映信源的分布。即,设 F_n 表示训练序列的样本分布, F 表示信源分布函数,那么

$$F_n \xrightarrow{\text{概率}} F \quad (n \rightarrow \infty)$$

实际工程设计中,在一定的精度要求下,究竟需采用多长的训练序列才能足够准确地反映信源的分布,这是一个尚未解决的问题,我们的目的就是,在训练序列长度一定的情况下,要求该序列尽可能准确地反映信源分布,也就是寻找有效的训练序列。

图1是对同一语音信源进行的两组实验结果。 N 是所设计的矢量量化器的码书尺寸。量化器的性能用信噪比 SNR (dB)表示。在实验(a)中,我们根据由信源采集的一个

本文1992年4月15日收到

长度为4 k样点的训练序列,设计了一组矢量量化器。它们的维数 $j=4$,码书尺寸分别为 $N=8,16,32,64$ 。这组矢量量化器的训练序列内的性能和训练序列外的性能分别在图1(a)中用虚线和实线表示。实验(b)的情况与实验(a)相同,只是设计时采用的训练序列的长度为256k样点。由图1(a)可见,当用4 k样点的训练序列设计的矢量量化器来量化非设计用信号时,量化性能严重劣化。这说明设计时选用4 k样点的训练序列对信源分布的反映不够准确、全面。以至于由此设计出的矢量量化器不能够适应以后的信号特性,造成量化性能劣化。这个问题既可通过增加训练序列的长度来解决,也可以通过改善训练序列的采集方法,提高矢量量化器的性能。从图1(b)可见,用长度为256k样点设计的矢量量化器对设计用训练序列和非设计用的训练序列的量化性能几乎相同,满足实际要求。由此可见,对语音信源,256k样点的训练序列就可以足够准确地反映信源的分布,而4 k样点长度的训练序列则不然。

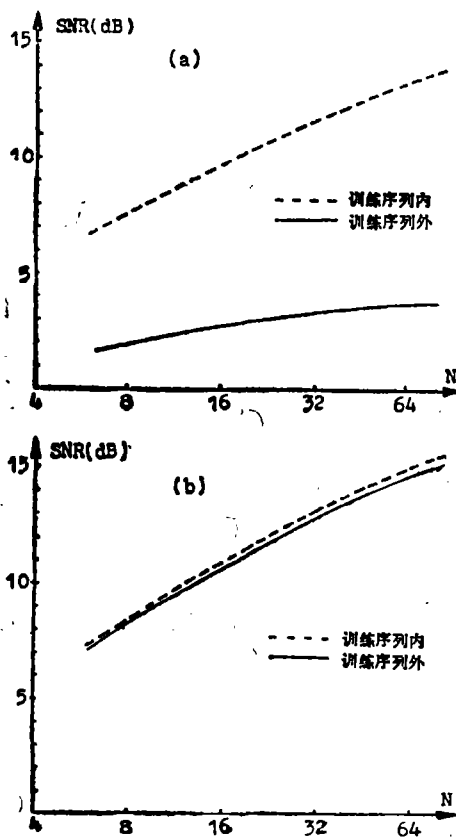


图1 训练序列的长度对量化性能的影响
($j=4$, 语音信源)

Fig. 1 The Influence of length of training sequence on performance of vector quantizers
(a) 4k长训练序列
(b) 256k长训练序列

以上的结果说明了训练序列的长度对量化器性能的影响。设计矢量量化器要求的训练序列的经验长度是码书尺寸的50~100倍^[3]。实际上,如果考虑信源的分布来选取训练序列,则所要求的训练序列的长度可以大大地缩短。

2 典型训练序列的概念

假设已有一个充分长的训练序列

$$TS = \{x_i, i = 1, 2, \dots, n, x_i \in R^i\}$$

并设由此训练序列设计的矢量量化器满足工程精度要求。通常,我们并不准确地知道训练序列应取的长度。在设计时,只要计算复杂度允许,总是取尽可能长的训练序列,由此造成了码书的设计时间长得惊人。靠训练序列的长度来保障训练序列对信源分布描述的准确性是人们通常采取的办法。如何在缩短训练序列的同时尽量保持其对信源描述的准确性是本文欲解决的问题。

由LBG算法可知,训练序列中矢量的顺序与矢量量化器设计性能无关。因此,我们可将 TS 看作是一个无序的矢量集合。如果某个训练序列 TS_1 中的矢量全部是由 TS 中的矢量组成的,并且由 TS_1 和 TS 设计的矢量量化器性能相同(在一定的精度前提下),那么,我们称 TS_1 为 TS 的典型训练序列。

众所周知,每个训练序列都对应于一个样本分布。训练序列的样本分布而不是训练序列本身决定了所设计的矢量量化器。相同的样本分布对应相同的矢量量化器。因此,从 TS 中选取典型训练序列 TS_1 ,就等价于要求 TS_1 与 TS 具有相同的样本分布。所以,选取典型训练序列的问题就是数理统计学中的抽样问题。在概率抽样中,简单随机抽样是最简单的抽样方法之一。但是,欲得到一个好的简单随机抽样,就要求有大样本,即既要求 TS 长又要求 TS_1 长,这与我们的初衷又相悖。而分层抽样可以提高整个总体指标估计值的精确度。在分层随机抽样中,层确定之后,就只要在每个层中进行简单随机抽样即可。

3 训练序列的分层随机抽样技术及计算机模拟结果

把训练序列 TS 分割为 S 层,即

$$TS = \bigcup_{i=1}^s TS^i \quad (1)$$

其中, TS^i 由落在 R^i 空间中的第 i 个超立方体中的矢量组成。各层中的样本抽取量可以是相互独立的。但为了使抽取后的各层样本直接组合就可以反映原样本分布,我们可以根据原训练序列 TS 的长度,来分配各个层的样本抽取量。设第 i 层的概率为 P_i ,即:

$$P_i = |TS^i|/|TS| \quad (2)$$

其中 $|\cdot|$ 表示集合的元素个数(限于讨论有限集),设欲选取的训练序列 TS_1 的长度为 L_1 ,即 $|TS_1| = L_1$ 。设 $|TS^i| = l_i$,那么用 TS_1 估计的 P_i 值 p_i 为

$$p_i = |TS_1^i|/|TS_1| = l_i/L_1 \quad (3)$$

为了使 TS_1 是 TS 的典型训练序列,必须 $p_i = P_i$,即

$$l_i = (|TS^i|/|TS|) \cdot L_1 \quad (4)$$

易验证

$$L_1 = \sum_{i=1}^s l_i \quad (5)$$

对已知训练序列进行分层,即对 R^i 中的信源空间进行分割,然后按上述步骤进行抽

样量分配, 在各层中进行简单的随机抽样。

为了证实本文所提出的典型训练序列方法的有效性, 我们用它来设计矢量量化器。首先采集256k样点的话音训练序列, 该段话音信号由两个男声话音片断和两个女声话音片断组成。

图2给出了设计的实验结果。图中 L 表示训练序列的长度, $SNR(\text{dB})$ 表示量化信噪比。其中 $L = 256\text{k}$ 样点对应的 SNR 值表示了按话音训练序列(原始训练序列)设计的VQ的性能, 而 $L = 4\text{k}, 8\text{k}, \dots, 128\text{k}$ 对应的 SNR 值则表示由长度 $L = 256\text{k}$ 的训练序列中抽取长度分别为 $L = 4\text{k}, 8\text{k}, \dots, 128\text{k}$ 的典型训练序列所设计的VQ的性能。实线表示了设计用训练序列的量化性能, 虚线表示训练序列外的量化性能。两条曲线几乎重合, 表明了设计性能优良, 证实了典型训练序列方法的有效性。

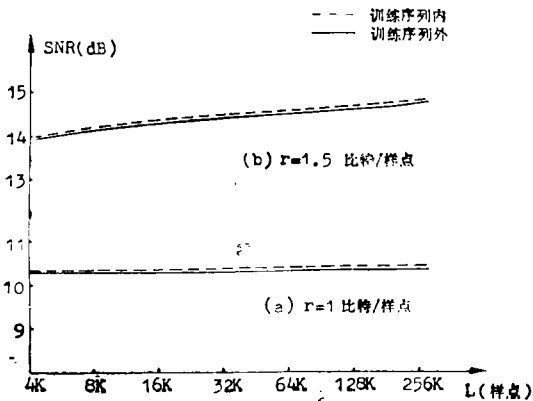


图2 用训练序列和典型训练序列设计的矢量量化器性能($j=4$, 语音信源)

Fig.2 Comparison of performance of vector quantizers designed on training sequence and on typical training sequence

图2中的(a)与(b)是两组相同的实验, (a)的码书尺寸 $N=16$ 而(b)的码书尺寸 $N=64$ 。

典型训练序列和非典型训练序列设计的VQ, 其性能可由训练序列外量化性能优劣来进行比较。对于 $j=4$, $N=16$, $L=4\text{k}$ 样点, 实验得到: 在典型训练序列时, 训练序列外 $SNR=10.4\text{dB}$ 而非典型训练序列时 $SNR=2.4\text{dB}$ 。

4k样点的非典型训练序列是从256k样点中随意截取得到, 而典型训练序列的4k样点是由256k样点按本文方法生成的。结果表明: 典型训练序列所设计的VQ性能较之非典型训练序列有显著优势。

4 小 结

本文分析了训练序列在码书设计中的作用, 提出了典型训练序列的概念。并提出了一种利用训练序列的随机抽样技术生成典型训练序列的方法。使通常耗时很多的矢量量化器的码书设计效率得到极大提高。可以用极短的训练序列来代替很长的训练序列设计矢量量化器, 其性能几乎保持不变。实践表明, 非典型训练序列的方法是不可能用如此短的训练序列设计出性能优良的矢量量化器的。

参 考 文 献

- 1 Linde Y, Buzo A, Gray R M. IEEE Trans on Com, 1980 COM-28(1)
- 2 Sabin M, Gray R M. IEEE Trans on IT, 1986, IT32(2)
- 3 Cuperman V, Gersho A. IEEE Trans on Com, 1985, COM-33(7)

A Method of Vector Quantizers Designcd on Typical Training Sequence

Lin Yun Xiao Zimei**

Abstract A method for the design of vector quantizers based on typical training sequences is proposed, which is shown to result in a substantial reduction of design complexity with nearly no loss in the performance of the vector quantizers.

Keywords data compression, source coding, vector quantization, training sequences

* Department of Radio and Electronics, Zhongshan University