语音信号的线性预测分析原理及算法分析

姚 波[1] 黄永强[2]
（1.广州工商职业技术学院 广东 广州 510850；2.西南大学 电子信息工程学院 重庆 400715）

[摘 要]通过对LPC（线性预测编码）的研究，介绍语音信号的线性预测分析原理，详细分析用来求解线性预测方程的自相关法、协方差法的原理和计算方法，对算法进行比较，并用Matlab对实际语音信号进行线性预测编码实验。

[关键词]线性预测分析 线性预测 自相关法 协方差法 Burg法
中图分类号：TN92 文献标识码：A 文章编号：1671－7597（2009）0710031－01

一、引言

语音信号是一种基本的数字信号，我们可以用和其他数字信号一样的方法，在时域和频域来分析处理。但语音信号有着自身的特殊性和特点，语音技术的研究涉及多领域和学科，语音信号的一个重要特点是具有可预测性，因为它的自相邻取样之间有相关性。故人们研究发展过程中提出了多种模型、方法和概念来表达语音的特征和产生机理，其中最为成功的是线性预测 方法。

二、线性预测的基本原理

线性预测 这一术语是维纳1947年首次提出的，此后，线性预测应用于许多领域中。1967年，板仓等人员先将线性预测技术直接应用到语音分析和合成中。

线性预测，又叫线性预测分析、线性预测编码。根据线性预侧原理，将语音信号用一系列预测参数及其它有关参数表征，用传送这些参数来代替传送语音本身，接收端再将收到的这些参数通过一个时变数字滤波器综合成原来的语音。

三、线性预测分析的典型解法

为了有效地进行线性预测分析，有必要用一种高效率的方法来解线性方程组。虽然可以用各种各样的方法来解包含P个未知数的P个线性方程。但是系数矩阵的特殊性质使得解方程的效率比普通情况下所能达到的效率要高得多。下面就简单介绍几种这样的方法。

（一）自相关法。自相关法是通过求（p+1）个自相关函数，利用递推算法来求解模型参数的。它对语音数据加窗，并假定窗外的数据为0，而窗内的数据由信号和窗来决定。

这种方法在整个时间范围内使误差最小，并设x（n）在以外等于0，即假定x（n）经过有限长度的窗（如海明窗）处理。

加窗处理后，$\Phi(k,i)$ 可以表示为

$$\Phi(k,i)=\sum^{N-1+p}x_w(n-k)x_w(n-i) \tag{7}$$

其中 X_W 为加窗后的语音数据。

加窗处理后的自相关函数可表示为

$$R_n(k)=\sum_{m=n}^{n+N-k-1}x_w(m)x_w(m+k) \tag{8}$$

由于 $R_n(k)$ 为短时自相关函数，满足偶函数特性，同时 $R_n(k-i)$ 仅与k，i的相对值有关，所以 $\Phi(k,i)$ 可以表示为

$$\Phi(k,i)=R_n(k-i)=R_n(|k-i|) \tag{9}$$

则线性预测的标准方程组可表示为

$$\sum_{i=1}^{p}R_n(|k-i|)\hat{a}_i=R_n(k) \tag{10}$$

这就是自相关方程组，将其转换为矩阵形式如下

$$\begin{bmatrix} R_n(0) & R_n(1) & \cdots & R_n(p-1) \\ R_n(1) & R_n(0) & \cdots & R_n(p-2) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ R_n(p-1) & R_n(p-2) & \cdots & R_n(0) \end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix} \hat{a}_1 \\ \hat{a}_2 \\ \vdots \\ \hat{a}_p \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} R_n(1) \\ R_n(2) \\ \vdots \\ R_n(p) \end{bmatrix} \tag{11}$$

上式左边为相关函数的矩阵（相关矩阵），以对角线为对称，见上对角线以及和主对角线平行的任何一条斜线上所有的元素都相等。这种矩阵称为托普利兹矩阵，而这种方程称为Yuer-walker方程。对于式（11）这样的矩阵方程无需像求解一般矩阵方程那样进行大量的计算，利用托普利兹矩阵的性质可以得到求解这种方程则一种高效率方法。这种矩阵方程组可以以采用递归方法求解，递归方法在计算上是很有效的。其基本思想是：递归解法分步进行。在某一步我们已经有了一个解，这是一个（i－1）阶预测器的系数。然后利用（i－1）阶预测器的系数计算i阶预测器的系数，即i阶方程组的解可以用（i－1）阶方程组的解来表示、（i－1）阶方程组的解又可用（i－2）阶力程组的解表示，以此类推。

（二）协方差法。与自相关法不同，协方差法不需要对语音信号进行加窗处理。调整 $\Phi(k,i)=\sum^{N-1+p}x_w(n-k)x_w(n-i)$ 的取值范围将其重新定义为：

$$\Phi(k,i)=\sum_{n=0}^{N-1}x(n-k)x(n-i) \tag{12}$$

式中k=1，2，…，p；i=0，1，2，…p

设（n-i）=m，则式子（11）可表示为

$$\Phi(k,i)=\sum_{m=-i}^{N-i-1}x(m+(i-k))x(m) \tag{13}$$

式中k=1，2，…，p；i=0，1，2，…p

由此看出 $\Phi(k,i)$ 的值不仅取决于k和i的相对差值，还取决于i值本身。这样 $\Phi(k,i)$ 就不再是自相关函数。可将方程组改写为如下矩阵形式

$$\begin{bmatrix} \Phi(1,1) & \Phi(1,2) & \cdots & \Phi(1,p) \\ \Phi(2,1) & \Phi(2,2) & \cdots & \Phi(2,p) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \Phi(p,1) & \Phi(p,2) & \cdots & \Phi(p,p) \end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix} \hat{a}_1 \\ \hat{a}_2 \\ \vdots \\ \hat{a}_p \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} \Phi(1,0) \\ \Phi(2,0) \\ \vdots \\ \Phi(p,0) \end{bmatrix} \tag{14}$$

此方程组不再是一个拖布里兹矩阵，虽然他仍然是一个对称矩阵，但主对角线上的元素并不相等。这种方程组有多种解法，最常用的是养来里斯基解法。

其最主要的思想是将系数矩阵用消元法化成住对角线上元素都为1的上三角矩阵，然后再对其变量逐一求解。

五、结语

本文对语音信号的线性预测分析进行了比较系统的探讨，并用matlab进行了具体实验，说明了线性预测提供了一种简单而又有效的用少量参数来表示语音信号短时谱的方法，这种方法是以语音信号数字模型为基础的。实际应用中，线性预测模型带来的误差不大，分析计算简单，速度快，计算所得的数据量少，使得它在语音分析中的地位是极其重要的。

参考文献：

[1]韩纪庆、张磊、郑铁然，语音信号处理[M].北京：清华大学出版社，2004.

[2]胡航，语音信号处理[M].哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，2000.

作者简介：

姚波（1982-），男，广东梅州人，助教，主要研究方向：通信技术、计算机网络。