



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102592606 B

(45) 授权公告日 2013. 07. 31

(21) 申请号 201210079029. 4

(22) 申请日 2012. 03. 23

(73) 专利权人 福建师范大学福清分校

地址 350300 福建省福州市福清市龙江街道  
校园新村 1 号

(72) 发明人 陈国钦 詹仁辉

(74) 专利代理机构 福州元创专利商标代理有限  
公司 35100

代理人 蔡学俊

(51) Int. Cl.

G10L 21/02(2013. 01)

审查员 万济萍

权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种补偿小空间听音声环境的均衡信号处理方法

(57) 摘要

本发明涉及一种补偿小空间听音声环境的均衡信号处理方法,为了实现基于数字信号处理方法的室内声场信号处理,获取声场均衡补偿的播放信号,以及混响处理,本发明涉及主要技术包括:(1)正确建立室内自回归AR模型的关键问题,即室内响应信号的获取和AR模型阶数的选择。(2)基于模型的补偿算法结构,以及由此进一步实现基于频率响应均衡补偿的混响处理方法;它有别于室内建筑声学设计的室内声场处理方法,可灵活针对不同声用房实现相应的声场补偿处理,以及针对不同听音需要实现不同的混响等效果。



1. 一种补偿小空间听音声环境的均衡信号处理方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤 1:从电声系统对室内声环境输入激励信号,获取室内声环境的脉冲响应信号,并转换成数字信号,该数字信号即室内冲击响应信号  $y(n)$ ;

步骤 2:根据驻波数估算结论:

$$dN = \frac{2Vf^2}{c^3} \left( 1 + \frac{\lambda}{2\Lambda} \right) d\omega$$

计算阶数  $p=2dN$ ,式中  $f$  为估算某个频率,  $\lambda$  为相应波长,  $d\omega$  为估算的带宽,  $c$  为声速,  $\Lambda=4V/S$ ,  $V$  为室内容积,  $S$  为室内总表面积;

步骤 3:利用基于自相关的线性预测算法:  $y(n)=a_1y(n-1)+a_2y(n-2)+\dots+a_p(n-p)+e(n)$  获得室内声环境 AR 模型的  $p$  阶结构参数,式中  $e(n)$  称为残差,  $a_1, a_2, \dots, a_p$  为室内声环境 AR 模型  $p$  阶结构参数;

步骤 4:设在  $z$  域,室内输入激励信号为  $x(z)$ ,输出为  $y(z)$ ,根据阶数  $p$  和室内声环境 AR 模型  $p$  阶结构参数确立室内声环境的 AR 模型,构成的相应全极点滤波器结构的系统传递函数:

$$H(z) = \frac{y(z)}{x(z)} = \frac{1}{1 - \sum_{j=1}^p a_j z^{-j}} ;$$

步骤 5:获取室内输入激励信号  $x(z)$  后,基于所述系统传递函数建立补偿小空间听音声环境的均衡信号处理算法如下:

$$C(z) = x(z) - H(z) \times x(z)$$

则  $C(z)$  就是对声环境驻波在相应频段的有效均衡补偿信号。

2. 根据权利要求 1 所述的补偿小空间听音声环境的均衡信号处理方法,其特征在于:所述的输入激励信号为白噪声脉冲、周期脉冲或麈噪声。

## 一种补偿小空间听音声环境的均衡信号处理方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于室内声信号处理技术,涉及利用数字信号处理(DSP)室内声信号的方法。

### 背景技术

[0002] 室内声信号用于听音包括两部分信号组成:一是声源直接传达到接收位置的直达声,它随传输距离增大而衰减;二是声源激励起的室内声环境驻波,它稳定分布于室内。声环境驻波直接影响听音的质量。

[0003] 对于实际听音空间,需要的是符合要求的室内声场。音乐厅和电影院是人们知道的专业大厅堂,都经过专业的建筑声学设计,但作为人们日常用于听音的空间都是小空间,通常都没有建筑声学设计,存在两方面的现状:一是由于小空间声环境激励起的驻波分布中,低频段(通常 500Hz 以下)是稀疏的驻波分布,容易造成语音“声染色”缺陷,高频段虽有密集的驻波分布,但由于房间自由声程短而几乎不存在混响声,所以很难用建筑声学设计出大厅堂的良好扩散声场,而且日常小听音空间也不适于象广播大楼的小声用房进行低频驻波控制的建筑声学设计。二是日常小听音空间在实际使用中以直达声为主要听音信号,即前方表达声像变化的主扬声器和表达环境效果的环境扬声器,更多地迎合听众对声像表达的关注,而对声环境反射声的影响有所忽略了。此外,通常在节目制作时,日常小听音空间听两声道音乐时,人声唱歌声像定位于中间,看环绕声 AV 节目时,对话语音也是定位于中间(有的加中间扬声器的系统,语音由其播放)。

[0004] 综上所述,小空间听音声场可能的最大缺陷就是低频段的语音“声染色”失真,一旦出现将影响音乐或 AV 节目在低频段重要信息的保真,尤其语音。如果能获得一种补偿声环境的适当信号,在室内适当方式传播(如应用一种波前合成的声还原技术,它是基于波动理论并由扬声器矩阵来产生波前。波前合成技术可以调整子虚声源的位置,甚至可以将子虚声源调到扬声器阵列无限远,产生出声压和传播距离无关的平面波,使整个聆听区域达到均匀的响度分布。),将可以均衡声环境激起的低频段稀疏驻波对语音的听音影响。

### 发明内容

[0005] 为了解决上述声系统中的室内声环境问题,本发明给出了一种集成式的基于 AR 模型的室内声信号的数字信号处理(DSP)方法,用于获得均衡补偿声环境激起的驻波信号低频段稀疏驻波的播放信号。

[0006] 本发明采用以下方案实现:一种补偿小空间听音声环境的均衡信号处理方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0007] 步骤 1:从电声系统对室内声环境输入激励信号,获取室内声环境的脉冲响应信号,并转换成数字信号,该数字信号即室内冲击响应信号  $y(n)$ ;

[0008] 步骤 2:根据驻波数估算结论:

[0009]

$$dN = \frac{2Vf^2}{c^3} \left( 1 + \frac{\lambda}{2A} \right) d\omega$$

[0010] 计算阶数  $p=2dN$ , 式中  $f$  为估算某个频率,  $\lambda$  为相应波长,  $d\omega$  为估算的带宽,  $c$  为声速,  $A=4V/S$ ,  $V$  为室内容积,  $S$  为室内总表面积;

[0011] 步骤 3: 利用基于自相关的线性预测算法:

$y(n) = a_1 y(n-1) + a_2 y(n-2) + \dots + a_p y(n-p) + e(n)$  获得室内声环境 AR 模型的  $p$  阶结构参数, 式中  $e(n)$  称为残差,  $a_1, a_2, \dots, a_p$  为室内声环境 AR 模型  $p$  阶结构参数:

[0012] 步骤 4: 设在  $z$  域, 室内输入声源信号为  $x(z)$ , 输出为  $y(z)$ , 根据阶数  $p$  和室内声环境 AR 模型  $p$  阶结构参数确立室内声环境的 AR 模型, 构成的相应全极点滤波器结构的系统传递函数:

$$H(z) = \frac{y(z)}{x(z)} = \frac{1}{1 - \sum_{j=1}^p a_j z^{-j}};$$

[0014] 步骤 5: 获取室内输入声源信号  $x(z)$  后, 基于所述系统传递函数建立补偿小空间听音声环境的均衡信号处理算法如下:

[0015]

$$C(z) = x(z) - H(z) \times x(z)$$

[0016] 则  $C(z)$  就是对声环境驻波较在相应频段的有效均衡补偿信号。

[0017] 在本发明一实施例中, 所述的输入激励信号为白噪声脉冲。

[0018] 本发明的有益效果是:

[0019] 1、由于采用基于模型的数字信号处理方式, 可以基于形成室内声信号的算法集成, 便于嵌入到电声系统中。解决了吸声结构装修影响使用和不利长期维护的问题, 而且使室内的影响纳入可控的范围。解决建筑声学的声场语音听音保真和混响调节问题。

[0020] 2、由于采用了 DSP 构架, 具有高度的灵活性, 可以实时修改, 因而实时性强。解决了建筑声学装修的效果固定、适用性不强的问题。可应用于家庭影院、卡拉 OK、会议室、广播大楼等小声学用房的声系统进一步改造研发中。

## 附图说明

[0021] 图 1 是本发明系统算法实现框图;

[0022] 图 2 是本发明获取向听音区播放的均衡补偿信号算法结构;

[0023] 图 3 是本发明的基于均衡补偿算法的混响处理应用方案;

[0024] 图 4 是小室内冲击响应、频率响应和 616 极点模型的频率响应仿真处理结果示意图。

[0025] 图 5 是小室内声环境均衡的各种时域相关信号仿真处理结果示意图。

[0026] 其中图 4 和图 5 是  $6.3 \times 3.6 \times 2.8$  ( $m^3$ ) 的小房间冲击响应 (100Hz~400Hz) 及其处理结果, 图中  $C(n)$  为该算法获得的声环境补偿信号;  $y(n)$  为声环境激励起的驻波信号;  $x'(n)$  为听音处的直达声衰减信号;  $y(n)+x'(n)$  为未均衡的听音信号;  $y(n)+x'(n)+C(n)$

为均衡后听音信号。

### 具体实施方式

[0027] 本发明实施例首先要获取室内声环境的室内冲击响应  $y(n)$  和确定室内声环境自回归 AR 模型(以下简称:室内声环境 AR 模型)的阶数  $p$ , 用于线性预测室内声环境 AR 模型的  $p$  阶结构参数。

[0028] 在离散域, 线性预测是依据室内冲击响应的时域信号  $y(n)$  与  $y(n-1)$ , 甚至更早值  $y(n-i)$ , ( $i=2, 3, \dots, q$ ) 的相关性提出的。因此, 可将  $y(n)$  表示为其以前数据的线性组合, 即

$$[0029] \quad y(n) = a_1 y(n-1) + a_2 y(n-2) + \dots + a_p y(n-p) + e(n)$$

[0030] 该式称为  $y$  的  $p$  阶自回归预测模型,  $e(n)$  称为残差,  $a_1, a_2, \dots, a_p$  为室内声环境 AR 模型  $p$  阶结构参数, 这里的线性预测的主要任务就是获取该参数。AR 模型就是一个  $p$  阶的全极点滤波器, 因此预测获得的室内声环境 AR 模型参数就是相应的全极点滤波器结构参数。

[0031] 一般地,  $e(n)$  包括三部分: 一是输入信号, 也称激励信号; 二是由于模型的不准确引起的误差; 三是噪声。实际应用中, 信号是随机且带噪声的, 预测误差不可能为零。预测误差的特点是开始时衰减很快, 随着预测器阶数  $p$  越来越接近正确阶数, 衰减会变慢, 最后  $e(n)$  是与  $y(n)$  不相关的零均值随机过程。正确预测室内声环境 AR 模型的条件为: 获取室内声环境冲击响应  $y(n)$  和正确确定室内声环境 AR 模型的阶数  $p$ 。

[0032] 具体的本发明的方法包括以下步骤:

[0033] 步骤 1: 从电声系统对室内声环境输入激励信号, 获取室内声环境的脉冲响应信号, 并转换成数字信号, 该数字信号即室内冲击响应信号  $y(n)$ ;

[0034] 步骤 2: 根据驻波数估算结论:

[0035]

$$dN = \frac{2Vf^2}{c^3} \left( 1 + \frac{\lambda}{2A} \right) d\omega$$

[0036] 计算阶数  $p=2dN$ , 式中  $f$  为估算某个频率,  $\lambda$  为相应波长,  $d\omega$  为估算的带宽,  $c$  为声速,  $A = 4V/S$ ,  $V$  为室内容积,  $S$  为室内总表面积;

[0037] 步骤 3: 利用基于自相关的线性预测算法:

$y(n) = a_1 y(n-1) + a_2 y(n-2) + \dots + a_p y(n-p) + e(n)$  获得室内声环境 AR 模型的  $p$  阶结构参数, 式中  $e(n)$  称为残差,  $a_1, a_2, \dots, a_p$  为室内声环境 AR 模型  $p$  阶结构参数:

[0038] 步骤 4: 设在  $z$  域, 室内输入声源信号为  $x(z)$ , 输出为  $y(z)$ , 根据极点数  $p$  和室内声环境 AR 模型  $p$  阶结构参数确立室内声环境的 AR 模型, 构成的相应全极点滤波器结构的系统传递函数:

$$[0039] \quad H(z) = \frac{y(z)}{x(z)} = \frac{1}{1 - \sum_{j=1}^p a_j z^{-j}};$$

[0040] 步骤 5:获取室内输入声源信号  $x(z)$  后,基于所述系统传递函数建立补偿小空间听音声环境的均衡信号处理算法如下:

[0041]

$$C(z) = x(z) - H(z) \times x(z)$$

[0042] 则  $C(z)$  就是对声环境驻波较在相应频段的有效均衡补偿信号。

[0043] 请参见图 1,图 1 为本发明的系统算法实现框图。应用于不同小声用房的声系统时,首先根据所使用的电声系统对室内输入白噪声脉冲,充分激励起室内的驻波响应,获得室内冲击响应并转换为数字信号;然后估算室内声环境 AR 模型的阶数,进行线性预测,获取室内声环境 AR 模型的传递函数参数,建立室内的 AR 模型传递函数  $H(z)$ 。最后依据  $H(z)$  建立声场均衡补偿算法结构。

[0044] 请参见图 2,图 2 为本发明获取向听音区播放的均衡补偿信号算法结构。它是解决在声环境低频段驻波“声染色”的有效方式。设声环境传递函数为  $H(z)$ ,冲击相应为  $h(n)$ 。为了均衡声道输出信号  $y(n)$ ,取对  $y(n)$  的均衡信号  $C(n)$  为:

[0045]

$$C(n) = x(n) - h(n) * x(n)$$

[0046] 或

[0047]

$$C(z) = x(z) - H(z) \times x(z)$$

[0048]  $x(n)$  是声源在室内的输入信号,因此  $C(z)$  这就是对听音处有效的均衡补偿信号,这时相当于扩大了相应频段的语音听音的有效混响半径,即使语音听音不失真。

[0049] 那么,获得对听音者直接播放的补偿信号方法如下:

[0050] 首先用电声系统向小声用房播放适当的声环境激励信号(白噪声脉冲、周期脉冲、噪声等),获取声场脉冲响应,并转换为数字信号。再根据室内波动声学的室内驻波数估算式获得小房间的驻波数  $N$ ,确定合适的室内声环境 AR 模型的阶数  $p = 2N$ 。

[0051] 据上述获得的预测条件,通过线性预测算法获得室内声环境 AR 模型的系数  $a_1, a_2, \dots, a_p$ ,确立室内声环境 AR 模型的传递函数:

[0052]

$$H(z) = \frac{y(z)}{x(z)} = \frac{1}{A(z)} = \frac{1}{1 - \sum_{j=1}^p a_j z^{-j}}$$

[0053] 建立相应的全极点滤波器。

[0054] 最后,获取室内输入声源的离散信号  $x(n)$ ,并建立向听音区域播放的均衡补偿信号  $C(n)$  算法如下:

[0055]

$$C(z) = x(z) - H(z) \times x(z)$$

[0056] 请参照图 3,图 3 为基于均衡补偿算法的混响处理应用方案。对小室内听音信号传播,进行高通和低通滤波后,低通信号加入声环境的补偿信号处理,然后分别对高通声源信号、低通声源信号和补偿信号进行通常的数字混响处理。这样播放的直达声和低频段补偿信号都加入了混响处理,这时室内听音即为不失真混响声信号。

[0057] 图 4 和图 5 为一个仿真处理实例结果。可见室内声环境 AR 模型的阶数选择方法满足要求,说明正确地获得了均衡补偿信号,达到预期要求。

[0058] 以上所述仅为本发明的较佳实施例,凡依本发明申请专利范围所做的均等变化与修饰,皆应属本发明的涵盖范围。

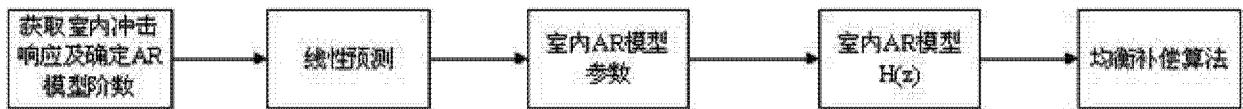


图 1

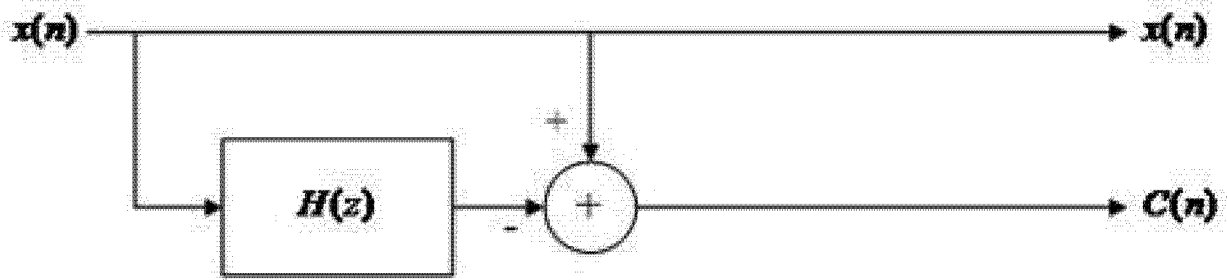


图 2

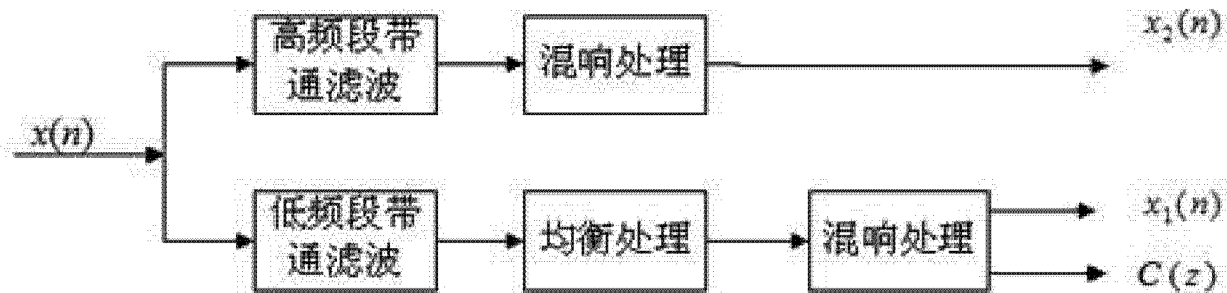


图 3



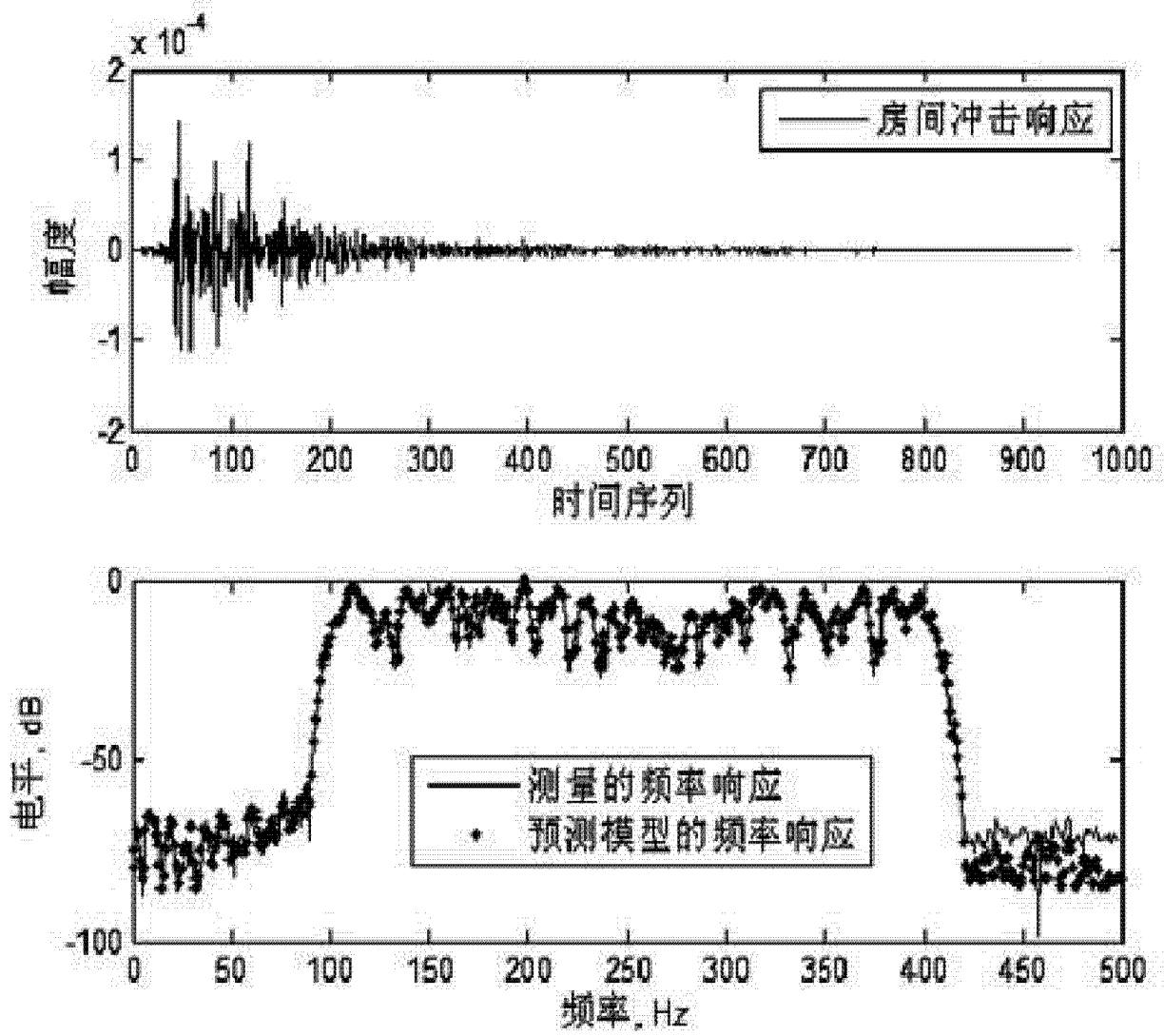


图 4

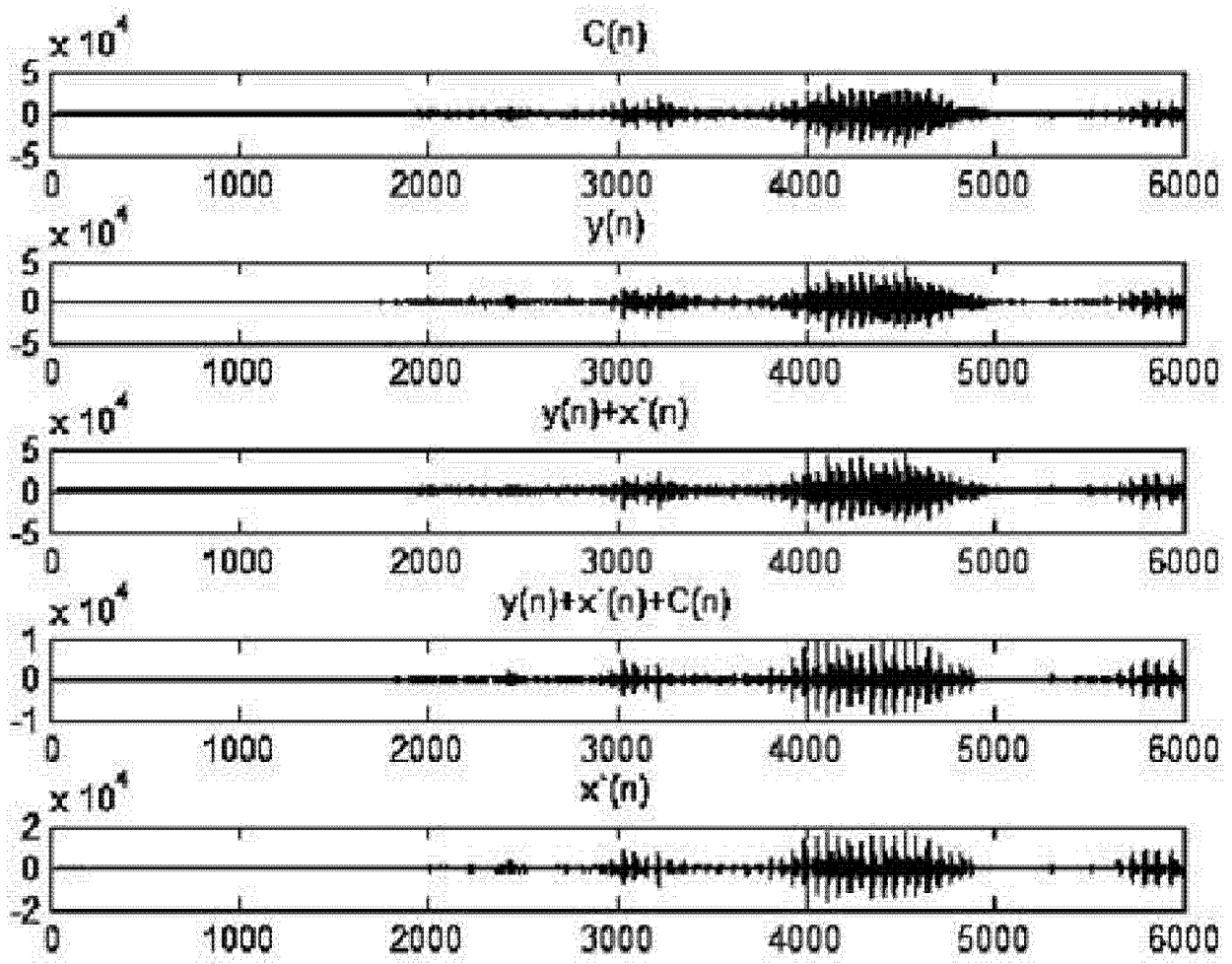


图 5