



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101197592 B

(45) 授权公告日 2011.09.14

(21) 申请号 200610162179.6

审查员 王成苗

(22) 申请日 2006.12.07

(73) 专利权人 华为技术有限公司

地址 518129 广东省深圳市龙岗区坂田华为  
总部办公楼

(72) 发明人 方李明

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限  
公司 11227

代理人 逯长明

(51) Int. Cl.

H04B 3/23(2006.01)

H04B 3/32(2006.01)

H04B 3/46(2006.01)

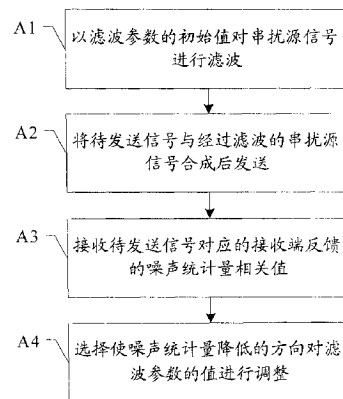
权利要求书 4 页 说明书 11 页 附图 8 页

(54) 发明名称

远端串扰抵消方法、装置及信号发送装置和  
信号处理系统

(57) 摘要

本发明公开了一种远端串扰抵消方法,主要包括采用自适应滤波的方式对联合发送信号进行串扰抵消预编码,通过接收端上报的噪声统计量相关值所间接体现的接收信号中串扰分量的影响,对滤波参数值的自适应变化进行正确的导向。本发明还提供相应的远端串扰抵消装置及信号发送装置和信号处理系统。对本发明方案进行的理论及仿真实验研究均证明,本发明中滤波参数值的自适应调整具有良好的收敛性和串扰抵消效果;避免了现有固定滤波器方案中需要预知信道传输矩阵的困难;同时,在应用于 xDSL 时,由于现有接收端能够通过嵌入式操作信道 (EOC) 上报在现有标准中已提供的某些类型的噪声统计量相关值,因此能够完全避免对现有传输标准的冲击。



1. 一种远端串扰抵消方法,其特征在于,包括:  
以滤波参数的初始值对待发送信号的串扰源信号进行滤波;  
将所述待发送信号与经过滤波的串扰源信号合成后发送;  
接收所述待发送信号对应的接收端反馈的噪声统计量相关值,所述噪声统计量相关值包括信噪比参数数值、相邻两次信噪比参数的差值或相邻两次信噪比参数的差值的符号;  
根据所述噪声统计量相关值选择使所述信噪比参数升高的方向对所述滤波参数的值进行调整。
2. 根据权利要求1所述的远端串扰抵消方法,其特征在于:  
所述对串扰源信号进行滤波是分别对各路串扰源信号进行时域滤波;  
所述将待发送信号与经过滤波的串扰源信号合成,是将所述待发送信号与时域滤波后的各路串扰源信号合成。
3. 根据权利要求2所述的远端串扰抵消方法,其特征在于:所述待发送信号先经过时域滤波后再与所述经过时域滤波的串扰源信号合成;所述待发送信号进行时域滤波所使用的滤波参数的值,根据所述接收端反馈的噪声统计量相关值按照使所述信噪比参数升高的方向进行调整。
4. 根据权利要求2所述的远端串扰抵消方法,其特征在于:所述待发送信号先经过延时后再与所述经过滤波的串扰源信号合成。
5. 根据权利要求1所述的远端串扰抵消方法,其特征在于:  
所述对串扰源信号进行滤波是分别对各路串扰源信号在各个子载波上的分量进行频域滤波;  
所述将待发送信号与经过滤波的串扰源信号合成,是将所述待发送信号在各个子载波上的分量分别与频域滤波后的各路串扰源信号在相应子载波上的分量合成。
6. 根据权利要求5所述的远端串扰抵消方法,其特征在于:所述待发送信号在各个子载波上的分量先经过频域滤波后再与各路串扰源信号在相应子载波上的分量合成;所述频域滤波所使用的滤波参数的值,根据所述接收端反馈的噪声统计量相关值按照使所述信噪比参数升高的方向进行调整。
7. 根据权利要求5所述的远端串扰抵消方法,其特征在于:所述待发送信号在各个子载波上的分量分别与频域滤波后的各路串扰源信号在相应子载波上的分量合成后,在发送前还进行频域滤波;所述频域滤波所使用的滤波参数的值,根据所述接收端反馈的噪声统计量相关值按照使所述信噪比参数升高的方向进行调整。
8. 根据权利要求1~5任意一项所述的远端串扰抵消方法,其特征在于,所述根据噪声统计量相关值选择使信噪比参数升高的方向对滤波参数的值进行调整包括:  
分别采用若干梯度向量对当前滤波参数值进行迭代;  
根据接收端反馈的对应迭代后的各组滤波参数值的噪声统计量相关值,判决使所述信噪比参数最大的梯度向量;  
以该梯度向量迭代后的滤波参数值作为当前滤波参数值;  
重复上述迭代过程直到滤波参数值收敛。
9. 根据权利要求8所述的远端串扰抵消方法,其特征在于,所述噪声统计量相关值为信噪比参数数值或相邻两次信噪比参数的差值的符号,所述采用梯度向量对当前滤波参数

值进行迭代的公式为：

$$w(n+1) = w(n) + \lambda \times \text{sign}[e(n)] \times u(n)$$

其中  $w(n+1)$  与  $w(n)$  分别为进行第  $n+1$  次迭代后与迭代前的滤波参数值， $\lambda$  为选定的步长， $\text{sign}[e(n)]$  为估计的噪声误差符号， $u(n)$  为由  $w(n)$  进行滤波的输入信号。

10. 根据权利要求 1～5 任意一项所述的远端串扰抵消方法，其特征在于，所述根据噪声统计量相关值选择使信噪比参数升高的方向对滤波参数的值进行调整包括：

除一组待调整滤波参数外，固定其它各组滤波参数的值；

根据接收端反馈的噪声统计量相关值，搜索使所述信噪比参数升高的待调整滤波参数的更新值；

以该更新值作为所述待调整滤波参数的当前值，按照上述过程继续搜索其余各组滤波参数的更新值，直到所有的滤波参数均搜索一遍；

重复上述循环搜索过程直到各组滤波参数值收敛。

11. 根据权利要求 10 所述的远端串扰抵消方法，其特征在于，所述搜索使信噪比参数升高的待调整滤波参数的更新值包括：

比较所述待调整滤波参数的值分别使用  $w+\lambda$ 、 $w$ 、 $w-\lambda$  时，所述接收端反馈的噪声统计量相关值所反映的信噪比参数的变化；其中， $w$  为待调整滤波参数调整前的值， $\lambda$  为选定的步长，

若对应信噪比参数最大的值为  $w$ ，则缩小步长  $\lambda$  继续比较，直到对应信噪比参数最大的值不是  $w$  时，以该对应噪声统计量最小的值作为所述待调整滤波参数的更新值。

12. 根据权利要求 10 所述的远端串扰抵消方法，其特征在于，所述噪声统计量相关值为信噪比参数数值，所述搜索使信噪比参数升高的待调整滤波参数的更新值包括：

以选定的步长  $\lambda$  定向对所述待调整滤波参数的值进行搜索，当所述信噪比参数数值呈降低变化时改变搜索方向，

当所述信噪比参数数值在相邻的两次搜索中由增长变化变为降低变化时，记录最后三个待调整滤波参数的搜索值，

根据所述最后三个待调整滤波参数的搜索值以及与之相应的信噪比参数数值，对待调整滤波参数的值与信噪比参数的函数关系进行曲线拟合，

根据拟合曲线估计对应信噪比参数最高值的滤波参数值作为待调整滤波参数的更新值；

在后一轮循环搜索过程中，缩小步长  $\lambda$  进行各待调整滤波参数值的搜索。

13. 根据权利要求 12 所述的远端串扰抵消方法，其特征在于，估计所述待调整滤波参数的更新值的曲线拟合公式为：

$$\hat{w} = \left( \frac{(e_{\text{mid}} - e_{\text{min}}) \times (w_{\text{max}} - w_{\text{min}})}{e_{\text{max}} - e_{\text{min}}} + w_{\text{min}} + w_{\text{mid}} \right) / 2$$

其中  $\hat{w}$  为拟合后获得的待调整滤波参数的更新值， $w_{\text{max}}$ 、 $w_{\text{mid}}$ 、 $w_{\text{min}}$  分别为所

述最后三个待调整滤波参数的搜索值中对应最小、中间和最大信噪比参数数值的滤波参数值， $e_{\text{max}}$ 、 $e_{\text{mid}}$ 、 $e_{\text{min}}$  分别为与  $w_{\text{max}}$ 、 $w_{\text{mid}}$ 、 $w_{\text{min}}$  对应的信噪比参数数值。

14. 一种远端串扰抵消装置，其特征在于：包括第一滤波器组、信号合成模块和反馈接收模块；

所述第一滤波器组包括若干自适应滤波器,用于对待发送信号的串扰源信号进行滤波;根据所述反馈接收模块收到的噪声统计量相关值选择使信噪比参数升高的方向对各个自适应滤波器的参数进行调整,所述噪声统计量相关值包括信噪比参数数值、相邻两次信噪比参数的差值或相邻两次信噪比参数的差值的符号;

所述信号合成模块,用于将所述待发送信号与经过所述第一滤波器组滤波的串扰源信号合成;

所述反馈接收模块,用于接收所述待发送信号对应的接收端反馈的噪声统计量相关值。

15. 一种信号发送装置,其特征在于:包括串扰抵消单元和信号发送单元;

所述串扰抵消单元包括第一滤波器组、信号合成模块和反馈接收模块;

所述第一滤波器组包括若干自适应滤波器,用于对待发送信号的串扰源信号进行滤波;根据所述反馈接收模块收到的噪声统计量相关值选择使信噪比参数升高的方向对各个自适应滤波器的参数进行调整,所述噪声统计量相关值包括信噪比参数数值、相邻两次信噪比参数的差值或相邻两次信噪比参数的差值的符号;

所述信号合成模块,用于将所述待发送信号与经过所述第一滤波器组滤波的串扰源信号合成;

所述反馈接收模块,用于接收所述待发送信号对应的接收端反馈的噪声统计量相关值;

所述信号发送单元,用于将所述信号合成模块合成后的信号发送给所述接收端。

16. 一种信号发送装置,其特征在于:包括数字信号处理单元、串扰抵消单元和信号发送单元;

所述数字信号处理单元,用于输出待发送信号及所述待发送信号的串扰源信号;

所述串扰抵消单元包括第一滤波器组、信号合成模块和反馈接收模块;

所述第一滤波器组包括若干自适应时域滤波器,用于分别对所述数字信号处理单元输出的待发送信号的各路串扰源信号进行时域滤波;根据所述反馈接收模块收到的噪声统计量相关值选择使所述信噪比参数升高的方向对滤波参数的值进行调整,所述噪声统计量相关值包括信噪比参数数值、相邻两次信噪比参数的差值或相邻两次信噪比参数的差值的符号;

所述信号合成模块,用于将所述待发送信号与经过所述第一滤波器组时域滤波后的串扰源信号合成;

所述反馈接收模块,用于接收所述待发送信号对应的接收端反馈的噪声统计量相关值;

所述信号发送单元,用于将所述信号合成模块合成后的信号发送给所述接收端。

17. 根据权利要求 16 所述的信号发送装置,其特征在于:所述串扰抵消单元还包括第二自适应时域滤波器,用于在所述待发送信号进入所述信号合成模块前对其进行时域滤波;根据所述反馈接收模块收到的噪声统计量相关值选择使所述信噪比参数升高的方向对滤波参数的值进行调整。

18. 根据权利要求 16 所述的信号发送装置,其特征在于:所述串扰抵消单元还包括延时滤波器,用于在所述待发送信号进入所述信号合成模块前对其进行延时。

19. 一种信号发送装置,其特征在于:包括数字信号处理单元和信号发送单元;  
所述数字信号处理单元包括调制子单元、串扰抵消子单元和信号输出子单元;  
所述调制子单元,用于对待发送信号及所述待发送信号的串扰源信号在各个子载波上的分量进行调制;

所述串扰抵消子单元包括第一滤波器组、信号合成模块和反馈接收模块;

所述第一滤波器组包括若干自适应频域滤波器,用于分别对所述调制子单元输出的待发送信号的各路串扰源信号在各个子载波上的分量进行频域滤波;根据所述反馈接收模块收到的噪声统计量相关值选择使信噪比参数升高的方向对滤波参数的值进行调整,所述噪声统计量相关值包括信噪比参数数值、相邻两次信噪比参数的差值或相邻两次信噪比参数的差值的符号;

所述信号合成模块,用于将所述待发送信号在各个子载波上的分量分别与经过所述第一滤波器组频域滤波后的各路串扰源信号在相应子载波上的分量合成;

所述反馈接收模块,用于接收所述待发送信号对应的接收端反馈的噪声统计量相关值;

所述信号输出子单元,用于对所述信号合成模块合成后的各个子载波上的分量进行傅立叶逆变换,输出时域信号;

所述信号发送单元,用于将所述信号输出子单元输出的时域信号发送给所述接收端。

20. 根据权利要求 19 所述的信号发送装置,其特征在于:所述串扰抵消子单元还包括第二自适应频域滤波器,用于在所述待发送信号在各个子载波上的分量进入所述信号合成模块前对其进行频域滤波;根据所述反馈接收模块收到的噪声统计量相关值选择使所述信噪比参数升高的方向对滤波参数的值进行调整。

21. 根据权利要求 19 所述的信号发送装置,其特征在于:所述串扰抵消子单元还包括第二自适应频域滤波器,用于在所述信号合成模块输出的频域合成信号进入所述信号输出子单元前对其进行频域滤波;根据所述反馈接收模块收到的噪声统计量相关值选择使所述信噪比参数升高的方向对滤波参数的值进行调整。

22. 一种信号处理系统,其特征在于:包括信号发送装置和信号接收装置;

所述信号发送装置具有如权利要求 15 ~ 21 任意一项所述的结构;

所述信号接收装置包括接收处理单元、噪声统计单元和反馈发送单元;

所述接收处理单元,用于接收所述信号发送装置发送的信号;

所述噪声统计单元,用于对所述接收处理单元收到的信号进行噪声统计,生成噪声统计量相关值;

所述反馈发送单元,用于将所述噪声统计单元生成的噪声统计量相关值通过反馈信道发送给所述信号发送装置。

## 远端串扰抵消方法、装置及信号发送装置和信号处理系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及数字信号的传输处理技术领域,具体涉及一种远端串扰抵消方法、装置及信号发送装置和信号处理系统,本发明特别适合应用于数字用户线(DSL:Digital Subscriber Lines)的下行联合发送技术中。

### 背景技术

[0002] DSL是以双绞线作为传输介质的点对点传输技术,是用户进行宽带网络接入的一种高效而经济的手段。DSL又常称为xDSL,其中“x”代表着不同种类的数字用户线路技术。常见的包括综合业务数字网数字用户线(IDSL:ISDN DSL;ISDN:Integrated Services Digital Network)、非对称数字用户线(ADSL:Asymmetric DSL)、高速数字用户线(HDSL:High-bit-rate DSL)、甚高速数字用户线(VDSL:Very high data rate DSL)等。各种数字用户线路技术的不同之处,主要表现在信号的传输速率和距离。除了基于基带传输的IDSL外,xDSL一般与传统电话业务(POTS:Plain Old Telephone Service)共存于同一对双绞线上,POTS占用基带部分,xDSL占用高频部分彼此独立进行传输。

[0003] 随着应用发展的需要,对xDSL带宽的要求越来越高,xDSL使用的频带也随之提高,串扰(尤其是高频段的串扰)问题表现得日益突出。在xDSL中,通常使用数字用户线接入复用器(DSLAM:Digital Subscriber Line Access Multiplexer)提供多路xDSL信号的接入服务,由于xDSL上下行信道采用频分复用技术,近端串扰对系统的性能危害不大;但远端串扰会严重影响线路的传输性能,当一捆电缆内有多路用户都要求开通xDSL业务时,会因为远端串扰使一些线路速率低、性能不稳定、甚至不能开通等,最终导致DSLAM的出线率比较低。

[0004] 远端串扰示意图如图1所示,图1中 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 为信号发送点, $y_1$ 、 $y_2$ 、 $y_3$ 为对应的远端信号接收点,实线箭头表示正常的信号传输,虚线箭头表示某信号发送点的信号对其余信号发送点的远端接收点的串扰。由图1可以看出,对于 $x_1$ 点的待发送信号而言, $x_2$ 、 $x_3$ 点的待发送信号是它的串扰源;当然, $x_1$ 点的待发送信号对 $x_2$ 、 $x_3$ 点的待发送信号而言也是它们的串扰源。因此,为了描述清楚起见,在下文中均以一路待发送信号为参照对象进行描述,而将其余信号视为其串扰源,所描述内容可自然扩展到各路信号,对信号所使用的区别名称仅为描述方便起见,并不表示对信号进行实质性的划分。

[0005] 为了解决远端串扰造成信道性能下降的问题,业界提出利用在DSLAM端进行联合收发特性,使用信号联合处理的方法来消除各路信号中的远端串扰。目前的处理方式主要是在频域中以固定滤波器的方式进行,基本思想是在预知信道传输矩阵的前提下进行串扰抵消计算。这种方法反映在对信号的联合接收上,就是对接收到的各路信号的各个频点根据预知的信道传输矩阵进行频域滤波,然后利用通用判决反馈均衡方法来估计输入信道的信号。这种方法的实质在于,由于信道传输矩阵已知,因此接收信号中的串扰分量与串扰源的关系可推导,利用串扰源对应的接收信号来近似模拟串扰源,就可以在联合接收端实现串扰抵消处理。另一方面,在信号的联合发送上,情况与联合接收类似,只是由于处于发

送的地位,因此不是对产生串扰后的信号进行处理,而是对发送前的信号进行频域预编码,预先将可能出现的串扰进行抵消,这样在接收端收到的就是串扰抵消后的信号。

[0006] 上述方法的缺陷在于需要预知信道传输矩阵,而信道传输矩阵难以准确而方便的获得,同时该矩阵本身具有慢时变的特性,会受到传输环境因素的影响,因此上述方案在实际实现中会有一定的困难。

## 发明内容

[0007] 本发明提供一种能够对下行联合发送的信号进行自适应处理的远端串扰抵消方法,包括:以滤波参数的初始值对待发送信号的串扰源信号进行滤波;将所述待发送信号与经过滤波的串扰源信号合成后发送;接收所述待发送信号对应的接收端反馈的噪声统计量相关值,本发明所称噪声统计量相关值包括信噪比参数数值、相邻两次信噪比参数的差值或相邻两次信噪比参数的差值的符号;根据所述噪声统计量相关值选择使所述信噪比参数升高的方向对所述滤波参数的值进行调整。

[0008] 本发明还提供相应的远端串扰抵消装置,包括第一滤波器组、信号合成模块和反馈接收模块;所述第一滤波器组包括若干自适应滤波器,用于对待发送信号的串扰源信号进行滤波;根据所述反馈接收模块收到的噪声统计量相关值选择使所述信噪比参数升高的方向对各个自适应滤波器的参数进行调整;所述信号合成模块,用于将所述待发送信号与经过所述第一滤波器组滤波的串扰源信号合成;所述反馈接收模块,用于接收所述待发送信号对应的接收端反馈的噪声统计量相关值。

[0009] 此外,本发明还提供几种信号发送装置,其一包括串扰抵消单元和信号发送单元;所述串扰抵消单元包括第一滤波器组、信号合成模块和反馈接收模块;所述第一滤波器组包括若干自适应滤波器,用于对待发送信号的串扰源信号进行滤波;根据所述反馈接收模块收到的噪声统计量相关值选择使所述信噪比参数升高的方向对各个自适应滤波器的参数进行调整;所述信号合成模块,用于将所述待发送信号与经过所述第一滤波器组滤波的串扰源信号合成;所述反馈接收模块,用于接收所述待发送信号对应的接收端反馈的噪声统计量相关值;所述信号发送单元,用于将所述信号合成模块合成后的信号发送给所述接收端。

[0010] 其二包括数字信号处理单元、串扰抵消单元和信号发送单元;所述数字信号处理单元,用于输出待发送信号及所述待发送信号的串扰源信号;所述串扰抵消单元包括第一滤波器组、信号合成模块和反馈接收模块;所述第一滤波器组包括若干自适应时域滤波器,用于分别对所述数字信号处理单元输出的待发送信号的各路串扰源信号进行时域滤波;根据所述反馈接收模块收到的噪声统计量相关值选择使所述信噪比参数升高的方向对滤波参数的值进行调整;所述信号合成模块,用于将所述待发送信号与经过所述第一滤波器组时域滤波后的串扰源信号合成;所述反馈接收模块,用于接收所述待发送信号对应的接收端反馈的噪声统计量相关值;所述信号发送单元,用于将所述信号合成模块合成后的信号发送给所述接收端。

[0011] 其三包括数字信号处理单元和信号发送单元;所述数字信号处理单元包括调制子单元、串扰抵消子单元和信号输出子单元;所述调制子单元,用于对待发送信号及所述待发送信号的串扰源信号在各个子载波上的分量进行调制;所述串扰抵消子单元包括第一滤波

器组、信号合成模块和反馈接收模块；所述第一滤波器组包括若干自适应频域滤波器，用于分别对所述调制子单元输出的待发送信号的各路串扰源信号在各个子载波上的分量进行频域滤波；根据所述反馈接收模块收到的噪声统计量相关值选择使所述信噪比参数升高的方向对滤波参数的值进行调整；所述信号合成模块，用于将所述待发送信号在各个子载波上的分量分别与经过所述第一滤波器组频域滤波后的各路串扰源信号在相应子载波上的分量合成；所述反馈接收模块，用于接收所述待发送信号对应的接收端反馈的噪声统计量相关值；所述信号输出子单元，用于对所述信号合成模块合成后的各个子载波上的分量进行傅立叶逆变换，输出时域信号；所述信号发送单元，用于将所述信号输出子单元输出的时域信号发送给所述接收端。

[0012] 另外，本发明还提供一种信号处理系统，包括信号发送装置和信号接收装置；所述信号发送装置可采用如前所述的几种结构；所述信号接收装置包括接收处理单元、噪声统计单元和反馈发送单元；所述接收处理单元，用于接收所述信号发送装置发送的信号；所述噪声统计单元，用于对所述接收处理单元收到的信号进行噪声统计，生成噪声统计量相关值；所述反馈发送单元，用于将所述噪声统计单元生成的噪声统计量相关值通过反馈信道发送给所述信号发送装置。

[0013] 本发明采用自适应滤波的方式对联合发送信号进行串扰抵消预编码，通过接收端上报的噪声统计量相关值所间接体现的接收信号中串扰分量的影响，对滤波参数值的自适应变化进行正确的导向，理论及仿真实验研究均证明具有良好的收敛性和串扰抵消效果；避免了现有固定滤波器方案中需要预知信道传输矩阵的困难；同时，在应用于 xDSL 时，由于现有接收端能够通过嵌入式操作信道 (EOC: Embedded Operations Channel) 上报在现有标准中已提供的某些类型的噪声统计量相关值，因此能够完全避免对现有传输标准的冲击。

## 附图说明

- [0014] 图 1 是远端串扰示意图；
- [0015] 图 2 是本发明远端串扰抵消方法基本流程示意图；
- [0016] 图 3 是本发明实施例一远端串扰抵消方法流程示意图；
- [0017] 图 4 是本发明实施例一中信号处理示意图；
- [0018] 图 5 是本发明实施例二中信号处理示意图；
- [0019] 图 6 是本发明实施例三远端串扰抵消方法流程示意图；
- [0020] 图 7 是本发明实施例三中信号处理示意图；
- [0021] 图 8 是本发明实施例四中信号处理示意图；
- [0022] 图 9 是本发明实施例五远端串扰抵消装置结构示意图；
- [0023] 图 10 是本发明实施例六信号发送装置结构示意图；
- [0024] 图 11 是本发明实施例七信号发送装置结构示意图；
- [0025] 图 12 是本发明实施例八信号发送装置结构示意图；
- [0026] 图 13 是本发明实施例九信号发送装置结构示意图；
- [0027] 图 14 是本发明实施例十信号发送装置结构示意图；
- [0028] 图 15 是本发明实施例十一信号处理系统示意图。



[0029] 下面通过具体实施方式并结合附图对本发明作进一步的详细说明。

### 具体实施方式

[0030] 本发明提供了一种远端串扰抵消方法,采用自适应滤波的方式对联合发送信号进行串扰抵消预编码,以接收端反馈的噪声统计量相关值作为自适应滤波参数值的调整依据,基本步骤如图 2 所示,包括:

[0031] A1、以滤波参数的初始值对待发送信号的串扰源信号进行滤波;

[0032] 滤波可以在频域进行,分别对串扰源信号在各个子载波上的分量进行滤波;也可以在时域进行,将多载波调制的信号看作是一般信号,进行整体的时域滤波处理;对于滤波参数的初始值可以使用指定值,例如以 0 作为初始值,也可以随机生成;

[0033] A2、将所述待发送信号与经过滤波的串扰源信号合成后发送;

[0034] 本步骤将滤波后的串扰源信号并入待发送信号中,可以采用相加的合成方式,也可采用相减的合成方式;若之前进行的是时域滤波,则可直接对待发送信号与滤波后串扰源信号进行时域合成;若之前进行的是频域滤波,则可分别合成待发送信号与滤波后串扰源信号在各个子载波上的分量;

[0035] A3、接收所述待发送信号对应的接收端反馈的噪声统计量相关值;

[0036] 本文中所谓噪声统计量相关值具有广泛的含义,能够体现接收信号中噪声分量情况的统计值都可以作为噪声统计量相关值,例如,可包括噪声统计量数值、相邻两次噪声统计量的差值或相邻两次噪声统计量的差值的符号等;噪声统计量相关值与噪声统计量之间可以是正相关的关系也可以是负相关的关系,在 xDSL 应用中,可选择接收信号的信噪比参数作为噪声统计量相关值,信噪比越高表示噪声越小;由于现有传输标准可以直接提供各个子载波的信噪比参数,因此该反馈的获得可以不对现有传输标准进行更改;此外,如果只采用差值的符号作为反馈,就可以仅用 1 个比特(用两个状态分别表示噪声统计量的增加、保持不变或降低)或 2 个比特(用三个状态分别表示噪声统计量的增加、保持不变和降低)来进行反馈,能够大幅度减少反馈数据量,降低对 EOC 信道的要求;

[0037] A4、根据所述噪声统计量相关值选择使所述噪声统计量降低的方向对所述滤波参数的值进行调整;

[0038] 在影响噪声统计量的因素中,除串扰分量外的其他噪声成分,例如空间相关噪声、环境噪声等均与滤波参数值无关,可以将其视为期望获得的响应,因此能够用噪声统计量随滤波参数值的变化间接的表现出接收信号中串扰分量随滤波参数值的变化,所以根据噪声统计量的变化进行滤波参数值的调整对于串扰的消除是有效的;对噪声统计量与自适应滤波器参数间关系的理论研究表明,噪声统计量是滤波参数值的二次函数,因此,以噪声统计量降低的方向对滤波参数的值进行调整一定会获得收敛的结果。

[0039] 本发明还提供相应的远端串扰抵消装置及信号发送装置和信号处理系统。下面以详细的方法实施例,对各种推荐的时、频域滤波模型以及滤波参数值的调整方法进行介绍,并分别对本发明设备和系统的实施例进行详细说明。

[0040] 实施例一、一种远端串扰抵消方法,流程如图 3 所示,信号处理如图 4 所示,本实施例方法具体采用时域自适应滤波的方式,包括:

[0041] B1、以滤波参数的初始值对待发送信号的串扰源信号进行时域滤波;

[0042] 参阅图 4,清楚起见,图 4 中以  $x_1$  路信号作为待发送信号,只画出了  $x_2$ 、 $x_3$  路信号对  $x_1$  路信号的串扰,在对串扰源滤波的反映上,也仅画出了对  $x_2$ 、 $x_3$  路信号进行时域滤波的滤波器  $w_{12}$  和  $w_{13}$ ;显然,这个处理模型可以自然推广到各路信号,例如,还可以继续加入滤波器  $w_{21}$  和  $w_{23}$  来分别将  $x_1$  和  $x_3$  路信号作为  $x_2$  路信号的串扰源进行滤波,当然此时滤波器  $w_{21}$  和  $w_{23}$  需要的反馈为来自  $y_2$  端的统计;

[0043] B2、将所述待发送信号先经过时域滤波后与经过时域滤波的各路串扰源信号合成,然后发送;

[0044] 为增加线路的可调节性,例如改变待发送信号的增益等,本实施例在待发送信号与经过时域滤波的各路串扰源信号合成前还让待发送信号先经过滤波器  $w_{11}$  的时域滤波,当然,该滤波器同样接收来自  $y_1$  端的反馈;

[0045] B3、接收所述待发送信号对应的接收端反馈的噪声统计量相关值;

[0046]  $y_1$  端在收到信号后,执行接收处理,然后反馈统计得到的噪声统计量相关值,在 xDSL 中,通常是通过 EOC 信道进行反馈;

[0047] B4、根据所述噪声统计量相关值选择使所述噪声统计量降低的方向对所述滤波参数的值进行调整;

[0048] 本实施例中需要调整的滤波参数值为自适应时域滤波器  $w_{11}$ 、 $w_{12}$  和  $w_{13}$  的滤波参数值。基于滤波参数值与噪声统计量之间基本的二次函数关系可知,存在使噪声统计量最小的滤波器参数,该滤波器参数可以认为就是使串扰得到最好抵消的目标值,因此可以基于各种数学运算手段来求取滤波器参数的目标值。下面结合实际应用,给出几种优选的参数调整方法。以下关于滤波参数值的调整方法的描述并不限于某个或某类滤波器,只要是按照噪声统计量降低的方向进行调整的滤波参数均可采用。

[0049] 调整方法一、梯度估计判决迭代方案

[0050] 本方案的主要依据是,由于滤波参数的值与噪声统计量之间具有二次函数关系,那么在由若干组需要调整的滤波参数值构成的多维空间中,噪声统计量形同一个“超碗”,滤波参数值调整的目的就是到达这个“超碗”的碗底。假定从“超碗”上的任意一点出发,选择若干梯度向量作为对下一步的估计,通过分别尝试并判断尝试后的反馈,就可以从这些估计中选择出与碗底方向最接近的梯度向量,然后重复这个过程,一步步的走下去,只要判断的正确率大于 50%,一定会得到收敛于碗底的结果。下面对此方法的步骤进行详细说明:

[0051] 1.1 分别采用若干梯度向量对当前滤波参数值进行迭代;为提高梯度向量估计的准确程度,可以采用如下公式进行迭代:

[0052]  $w(n+1) = w(n) + \lambda \times \text{sign}[e(n)] \times u(n)$  其中  $w(n+1)$  与  $w(n)$  分别为进行第  $n+1$  次迭代后与迭代前的滤波参数值,  $\lambda$  为选定的步长,  $\text{sign}[e(n)]$  为估计的噪声误差符号,  $u(n)$  为由  $w(n)$  进行滤波的输入信号。 $\text{sign}[e(n)] \times u(n)$  即为梯度向量,对  $\text{sign}[e(n)]$  的取值进行不同的估计,就可以得到不同的候选梯度向量。对于不同种类的自适应滤波器,  $u(n)$  可以有不同的数据形式。例如,若使用阶数为  $M$  长度为  $L$  的块最小均方误差 (LMS: Least Mean Square) 滤波器,则  $u(n)$  为  $L$  行  $M$  列的矩阵;若使用阶数为  $M$  的普通 LMS 滤波器,则  $u(n)$  为  $M$  维向量。

[0053] 需要说明的是,上述迭代公式提供大量候选迭代值作为可供尝试的滤波参数值。

例如,若  $u(n)$  输入为长度为  $L$  的数据块,由于  $\text{sign}[e(n)]$  共有 +、- 两种符号,因此共可产生  $2^L$  个候选迭代值,在实际应用中可以只选取所有可能情形中的部分作为候选迭代值以提高搜索速度。

[0054] 1.2 根据接收端反馈的对应迭代后的各组滤波参数值的噪声统计量相关值,判决使所述噪声统计量最小的梯度向量;

[0055] 在理想情况下,根据反馈的噪声统计量相关值判决的梯度向量总是正确的,然而在实际中受其他噪声可能出现的统计非平稳性的影响,判决也可能发生错误,但是只要判决的正确率大于 50%,最终都会得到收敛的结果,只是可能在“超碗”表面经过的路程比较曲折。根据自适应滤波器的原理,可以通过适当增加步长来提高判决的正确率。

[0056] 1.3 以判决获得的梯度向量迭代后的滤波参数值作为当前滤波参数值;

[0057] 1.4 重复上述迭代过程直到滤波参数的值收敛。

[0058] 上述调整方法是对接受同一反馈控制的滤波参数采用多值估计、反馈判决的方式进行调整,下面再给出另一种根据反馈进行滤波参数值的调整的方法。

[0059] 调整方法二、最优值搜索方案

[0060] 本方案的主要依据是,对于一组滤波参数而言,噪声统计量表现为简单的二次曲线,如果假定其他组滤波参数的值不变,可以很方便的搜索到对应曲线最小值的该组最优值,若各组滤波参数的值轮流重复这个最优值搜索过程,一定会得到收敛的结果。下面对此方法的步骤进行详细说明:

[0061] 2.1 除一组待调整滤波参数外,固定其它各组滤波参数的值;

[0062] 2.2 根据接收端反馈的噪声统计量相关值,搜索使所述噪声统计量降低的待调整滤波参数的更新值;这个更新值就是在实际搜索中对最优值的一个近似,以下提供两种更新值的搜索方法,

[0063] 2.2.1 单次搜索过程中变步长的方法,包括

[0064] 2.2.1.1 比较所述待调整滤波参数的值分别使用  $w+\lambda$ 、 $w$ 、 $w-\lambda$  时,所述接收端反馈的噪声统计量相关值所反映的噪声统计量的变化;其中,  $w$  为待调整滤波参数调整前的值,  $\lambda$  为选定的步长,

[0065] 2.2.1.2 若对应噪声统计量最小的值为  $w$ ,则缩小步长  $\lambda$  继续比较,一般可缩小为之前步长的一半,直到对应噪声统计量最小的值不是  $w$  时,以该对应噪声统计量最小的值作为所述待调整滤波参数的更新值。

[0066] 2.2.2 一轮搜索过程中定步长的方法,此方法要求反馈的噪声统计量相关值为噪声统计量数值,包括

[0067] 2.2.2.1 以选定的步长  $\lambda$  定向对所述待调整滤波参数的值进行搜索,当所述噪声统计量数值呈增长变化时改变搜索方向;

[0068] 2.2.2.2 当所述噪声统计量数值在相邻的两次搜索中由降低变化变为增长变化时,记录最后三个待调整滤波参数的搜索值;

[0069] 2.2.2.3 根据所述最后三个待调整滤波参数的搜索值以及与之相应的噪声统计量数值,对待调整滤波参数的值与噪声统计量数值的函数关系进行曲线拟合,根据拟合曲线估计对应噪声统计量最低值的滤波参数值作为待调整滤波参数的更新值;由于有三对函数值,可以采用的拟合方法比较多,例如,可以进行二次曲线拟合,以拟合曲线的最低点作为

对更新值的估计,这种方式在滤波参数是多阶向量的情况下计算较为困难,因此,综合考虑准确度和计算速度,推荐使用如下线性拟合公式进行更新值的计算:

$$[0070] \quad \hat{w} = \left( \frac{(e_{mid} - e_{min}) \times (w_{max} - w_{min})}{e_{max} - e_{min}} + w_{min} + w_{mid} \right) / 2$$

[0071] 其中  $\hat{w}$  为拟合后获得的待调整滤波参数的更新值,  $w_{max}$ 、 $w_{mid}$ 、 $w_{min}$  分别为所述最后三个待调整滤波参数的搜索值中对应最大、中间和最小噪声统计量数值的滤波参数值,  $e_{max}$ 、 $e_{mid}$ 、 $e_{min}$  分别为与  $w_{max}$ 、 $w_{mid}$ 、 $w_{min}$  对应的噪声统计量数值。

[0072] 2.3 以搜索到的更新值作为所述待调整滤波参数的当前值,按照上述过程继续搜索其余各组滤波参数的更新值,直到所有的滤波参数值均搜索一遍;

[0073] 2.4 重复上述循环搜索过程直到各组滤波参数的值收敛;若在步骤 2.2 中是采用 2.2.2 定步长的方法进行搜索,则在后一轮循环搜索过程中,应当缩小步长  $\lambda$  进行各待调整滤波参数值的搜索,一般可缩小为原步长的 1/1.5。

[0074] 实施例二、一种远端串扰抵消方法,信号处理如图 5 所示,本实施例方法流程与实施例一基本相同,区别之处在于,本实施例在待发送信号与经过时域滤波的各路串扰源信号合成前是让待发送信号先经过延时滤波。

[0075] 对应图 5 与图 4 的差别,就是将图 4 中的自适应滤波器  $w_{11}$  换为延时处理滤波器,当然延时滤波也可以视为时域滤波的一种,设置该延时滤波的目的是让待发送信号以恰当的时机与滤波后的串扰源信号混合,使得信号发送到接收端时,对其进行的预编码能够恰当的抵消串扰源在该时刻产生的远端串扰。延时量主要取决于线路的具体工作环境和所使用自适应滤波器的阶数,因此该延时滤波器可不必由  $y_1$  端的反馈进行调整。这种方式的优点在于,能够简化用户上下线时的处理,例如当有新的用户线路加入时,假设之前仅有用户线路  $x_2$  和  $x_3$ ,当用户线路  $x_1$  上线时,只需要更新  $w_{12}$  和  $w_{13}$ ,而不会对与用户线路  $x_2$  和  $x_3$  关联的其他滤波器产生影响。当有用户退出时,例如假设用户线路  $x_1$  退出,停止使用  $w_{12}$  和  $w_{13}$  即可,不会对其他用户产生大的影响。

[0076] 其余自适应时域滤波器的具体滤波参数值的调整可参考实施例一中所提供的各种方法。

[0077] 实施例三、一种远端串扰抵消方法,流程如图 6 所示,信号处理如图 7 所示,本实施例方法具体采用频域自适应滤波的方式,包括:

[0078] C1、以滤波参数的初始值对待发送信号的串扰源信号进行频域滤波,即,分别对各路串扰源信号在各个子载波上的分量进行滤波;

[0079] 频域滤波相当于为各个子载波上的信号分量乘以一个复系数,该复系数的模表示在这个频带上的增益,复系数的相角表示在这个频带的超前或滞后相位响应。

[0080] 参阅图 7,图 7 中待发送信号  $x_1$  以及串扰源信号  $x_2$ 、 $x_3$  表现在频域可视为被分别承载于  $n$  个子载波  $TONE_1 \sim TONE_n$  上。在每个频带上均采用频域滤波器  $w_{12}$  和  $w_{13}$  对串扰源进行滤波,当然,对应于不同的频带, $w_{12}$  和  $w_{13}$  所代表的复系数可能是不同的,全文统一使用“ $w_{ij}$ ”来表示对第  $j$  路串扰源到第  $i$  路信号的串扰进行抵消滤波。

[0081] C2、将所述待发送信号在各个子载波上的分量先经过频域滤波后再与各路串扰源信号在相应子载波上的分量合成,然后发送;

[0082] 为提高线路的性能,本实施例在待发送信号的各个频域分量与经过滤波的各路串扰源信号的相应频域分量合成前,还让待发送信号的各个频域分量先经过频域滤波器  $w_{11}$  的滤波,当然,该滤波器同样可接收来自  $y_1$  端的反馈;

[0083] 对于这种多载波调制的信号,在发送时一般需要将该信号的多个载波采用傅立叶逆变换 IFFT 调制成一一路时域信号进行发送,因此,合成后的各个频域分量需要在发送前进行频域变换。

[0084] C3、接收所述待发送信号对应的接收端反馈的噪声统计量相关值;

[0085] 该噪声统计量相关值需要反馈到各个子载波的各个滤波器,包括串扰源的滤波器和待发送信号的滤波器;特别的,若噪声统计量相关值具有相应于各个频带的分量,例如为各个子载波的信噪比,可以将噪声统计量相关值相应于各个频带的分量对应反馈给该频带的各个滤波器;为简洁起见,图 7 中仅画出了对 TONE 1 中滤波器的反馈,其余频带的情形可类推。

[0086] C4、根据所述噪声统计量相关值选择使所述噪声统计量降低的方向对所述滤波参数的值进行调整;

[0087] 本实施例中需要调整的滤波参数值为各个子载波上的自适应频域滤波器  $w_{11}$ 、 $w_{12}$  和  $w_{13}$  的滤波参数值。在所反馈的噪声统计量相关值具有相应于各个子载波的分量的情况下,滤波参数的值调整时可只考虑所反馈的相应子载波的噪声统计量相关值分量。具体滤波参数值的调整可参考实施例一中所提供的各种方法,只是计算公式中的量均被视为频域的量。

[0088] 实施例四、一种远端串扰抵消方法,信号处理如图 8 所示,本实施例方法流程与实施例三基本相同,区别之处在于,本实施例不是在分量合成前对待发送信号在各个子载波上的分量进行频域滤波,而是在待发送信号在各个子载波上的分量分别与频域滤波后的各路串扰源信号在相应子载波上的分量合成后,再对合成信号进行频域滤波,当然,该滤波器同样可接收来自  $y_1$  端的反馈;

[0089] 对应图 8 与图 7 的差别,就是将图 7 中的滤波器  $w_{11}$  从合成前的  $x_1$  线路上移到合成后。这种方式的优点在于,当有新的用户线路加入时,例如假设之前仅有用户线路  $x_1$  和  $x_2$ ,当用户线路  $x_3$  加入时,只需要更新  $w_{13}$  和  $w_{11}$ ,而不需要更新其他滤波器。当有用户退出时,例如假设用户线路  $x_3$  退出,需要停止使用  $w_{13}$ ,则只需要重新更新  $w_{11}$  即可。在用户数量比较多的情况下,采用这种方式能够方便用户上下线,而尽量减少对其他用户产生影响。

[0090] 下面对本发明设备和系统的实施例进行详细说明。

[0091] 实施例五、一种远端串扰抵消装置,如图 9 所示,包括第一滤波器组 101、信号合成模块 102 和反馈接收模块 103;

[0092] 第一滤波器组 101 包括若干自适应滤波器  $w$ ,用于对待发送信号的串扰源信号进行滤波;根据反馈接收模块 103 收到的噪声统计量相关值选择使所述噪声统计量降低的方向对各个自适应滤波器  $w$  的参数进行调整;

[0093] 信号合成模块 102,用于将所述待发送信号与经过第一滤波器组 101 滤波的串扰源信号合成;

[0094] 反馈接收模块 103,用于接收所述待发送信号对应的接收端反馈的噪声统计量相

关值。

[0095] 本实施例串扰抵消装置可配置于 xDSL 的 DSLAM,对其联合发送的信号进行串扰抵消预编码。

[0096] 实施例六、一种信号发送装置,如图 10 所示,包括串扰抵消单元 100 和信号发送单元 200 ;

[0097] 本实施例信号发送装置可以包括若干个串扰抵消单元 100,分别对若干路待发送信号进行串扰抵消预编码,串扰抵消单元 100 具体可采用实施例五中远端串扰抵消装置的结构;在本实施例装置中,一路输入信号对于某个串扰抵消单元而言可能是待发送信号,而对于其余串扰抵消单元而言则作为串扰源信号输入;

[0098] 信号发送单元 200,用于将串扰抵消单元 100 的信号合成模块 102 合成后的信号发送给接收端。

[0099] 实施例七、一种信号发送装置,如图 11 所示,包括数字信号处理单元 300、串扰抵消单元 400 和信号发送单元 500 ;

[0100] 数字信号处理单元 300,用于输出待发送信号及所述待发送信号的串扰源信号;

[0101] 串扰抵消单元 400 包括第一滤波器组 401、信号合成模块 402、反馈接收模块 403 和第二自适应时域滤波器 404 ;

[0102] 第一滤波器组 401 包括若干自适应时域滤波器,用于分别对数字信号处理单元 300 输出的待发送信号的各路串扰源信号进行时域滤波;根据反馈接收模块 403 收到的噪声统计量相关值选择使所述噪声统计量降低的方向对滤波参数的值进行调整;

[0103] 信号合成模块 402,用于将所述待发送信号与经过第一滤波器组 401 时域滤波后的串扰源信号合成;

[0104] 反馈接收模块 403,用于接收所述待发送信号对应的接收端反馈的噪声统计量相关值;

[0105] 第二自适应时域滤波器 404,用于在所述待发送信号进入信号合成模块 402 前对其进行时域滤波;根据反馈接收模块 403 收到的噪声统计量相关值选择使所述噪声统计量降低的方向对滤波参数的值进行调整;

[0106] 信号发送单元 500,用于将信号合成模块 402 合成后的信号发送给接收端。

[0107] 清楚起见,本实施例图 11 中只画出了一个串扰抵消单元,显然,本实施例装置也可如同实施例六一般,对各路输入信号分别设置串扰抵消单元。

[0108] 本实施例信号发送装置可采用实施例一中的远端串扰抵消方法。

[0109] 实施例八、一种信号发送装置,如图 12 所示,包括数字信号处理单元 300、串扰抵消单元 600 和信号发送单元 500 ;

[0110] 本实施例信号发送装置结构与实施例七基本相同,区别之处在于本实施例串扰抵消单元 600 中使用延时滤波器 604 来取代实施例七中串扰抵消单元 400 的第二自适应时域滤波器 404 ;该延时滤波器 604 用于在待发送信号进入信号合成模块 402 前对其进行延时,不需要获取反馈接收模块 403 接收的反馈信号。

[0111] 本实施例信号发送装置可采用实施例二中的远端串扰抵消方法。

[0112] 实施例九、一种信号发送装置,如图 13 所示,包括数字信号处理单元 700 和信号发送单元 800 ;

[0113] 数字信号处理单元 700 包括调制子单元 710、串扰抵消子单元 720 和信号输出子单元 730；

[0114] 调制子单元 710,用于对待发送信号及所述待发送信号的串扰源信号在各个子载波上的分量进行调制；

[0115] 串扰抵消子单元 720 包括第一滤波器组 721、信号合成模块 722、反馈接收模块 723 和第二自适应频域滤波器 724；

[0116] 第一滤波器组 721 包括若干自适应频域滤波器,用于分别对调制子单元 710 输出的待发送信号的各路串扰源信号在各个子载波上的分量进行频域滤波;根据反馈接收模块 723 收到的噪声统计量相关值选择使所述噪声统计量降低的方向对滤波参数的值进行调整；

[0117] 信号合成模块 722,用于将所述待发送信号在各个子载波上的分量分别与经过第一滤波器组 712 频域滤波后的各路串扰源信号在相应子载波上的分量合成；

[0118] 反馈接收模块 723,用于接收所述待发送信号对应的接收端反馈的噪声统计量相关值；

[0119] 第二自适应频域滤波器 724,用于在所述待发送信号在各个子载波上的分量进入信号合成模块 722 前对其进行频域滤波;根据反馈接收模块 723 收到的噪声统计量相关值选择使所述噪声统计量降低的方向对滤波参数的值进行调整。

[0120] 信号输出子单元 730,用于对信号合成模块 722 合成后的各个子载波上的分量进行傅立叶逆变换,输出时域信号；

[0121] 信号发送单元 800,用于将信号输出子单元 730 输出的时域信号发送给所述接收端。

[0122] 本实施例信号发送装置可采用实施例三中的远端串扰抵消方法。

[0123] 实施例十、一种信号发送装置,如图 14 所示,包括数字信号处理单元 900 和信号发送单元 800；

[0124] 本实施例信号发送装置结构与实施例九基本相同,区别之处在于本实施例中的第二自适应频域滤波器是在信号的频域分量合成后而不是合成前对其进行滤波。本实施例中,数字信号处理单元 900 的串扰抵消子单元 920 中第二自适应频域滤波器 924 位于信号合成模块 722 与信号输出子单元 730 之间,在对信号合成模块 722 输出的频域合成信号进行频域滤波后再将其输入信号输出子单元 730。当然本实施例中的第二自适应频域滤波器 924 同样可以获取反馈接收模块 723 接收的反馈信号进行滤波参数值的自适应调整。

[0125] 本实施例信号发送装置可采用实施例四中的远端串扰抵消方法。

[0126] 实施例十一、一种信号处理系统,如图 15 所示,包括信号发送装置 1 和信号接收装置 2；

[0127] 信号发送装置 1 具体可采用实施例六~十中所提供的结构,清楚起见,本实施例图 15 中采用的是实施例七信号发送装置的结构；

[0128] 信号接收装置 2 包括接收处理单元 21、噪声统计单元 22 和反馈发送单元 23；

[0129] 接收处理单元 21,用于接收信号发送装置 1 发送的信号；

[0130] 噪声统计单元 22,用于对接收处理单元 21 收到的信号进行噪声统计,生成噪声统计量相关值；

[0131] 反馈发送单元 23,用于将噪声统计单元 22 生成的噪声统计量相关值通过反馈信道发送给信号发送装置 1。

[0132] 以上对本发明所提供的远端串扰抵消方法及相应的远端串扰抵消装置、信号发送装置和信号处理系统进行了详细介绍,本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处,综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。



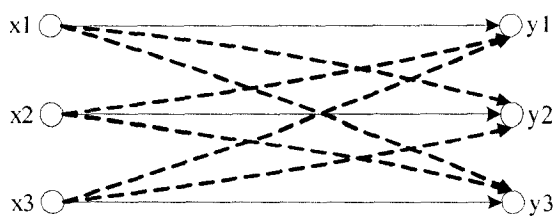


图 1

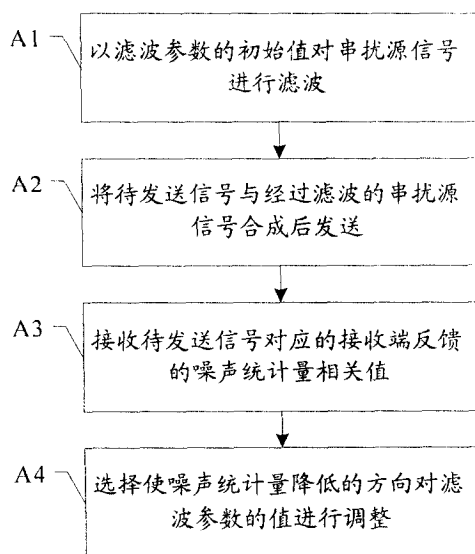


图 2

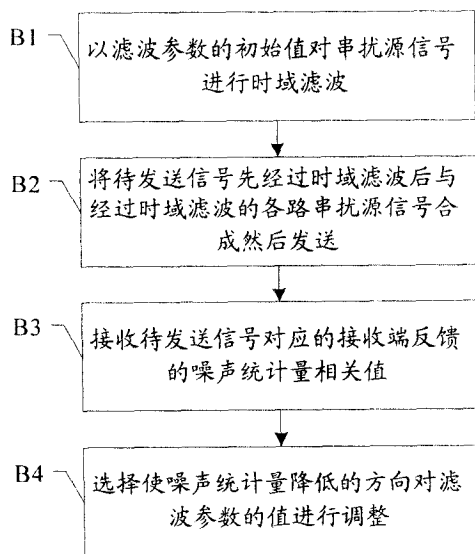


图 3

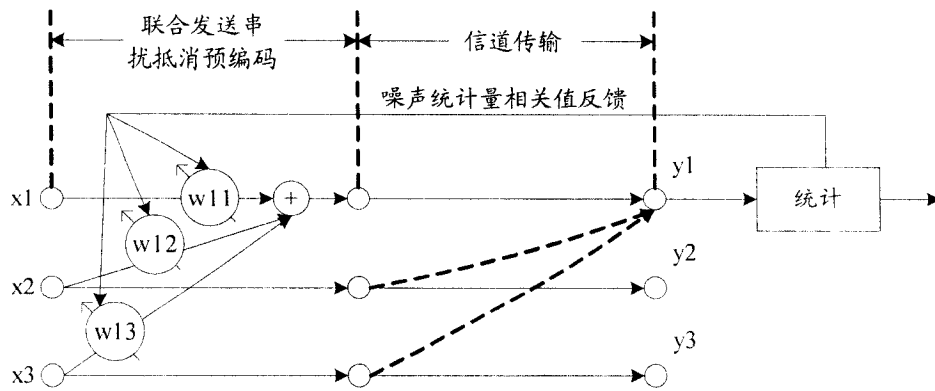


图 4

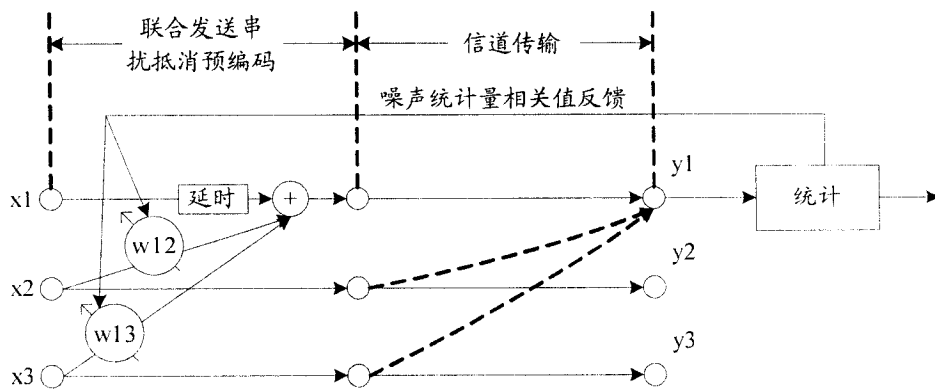


图 5

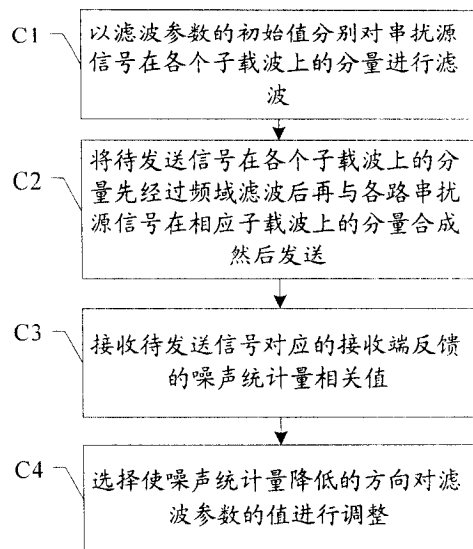


图 6

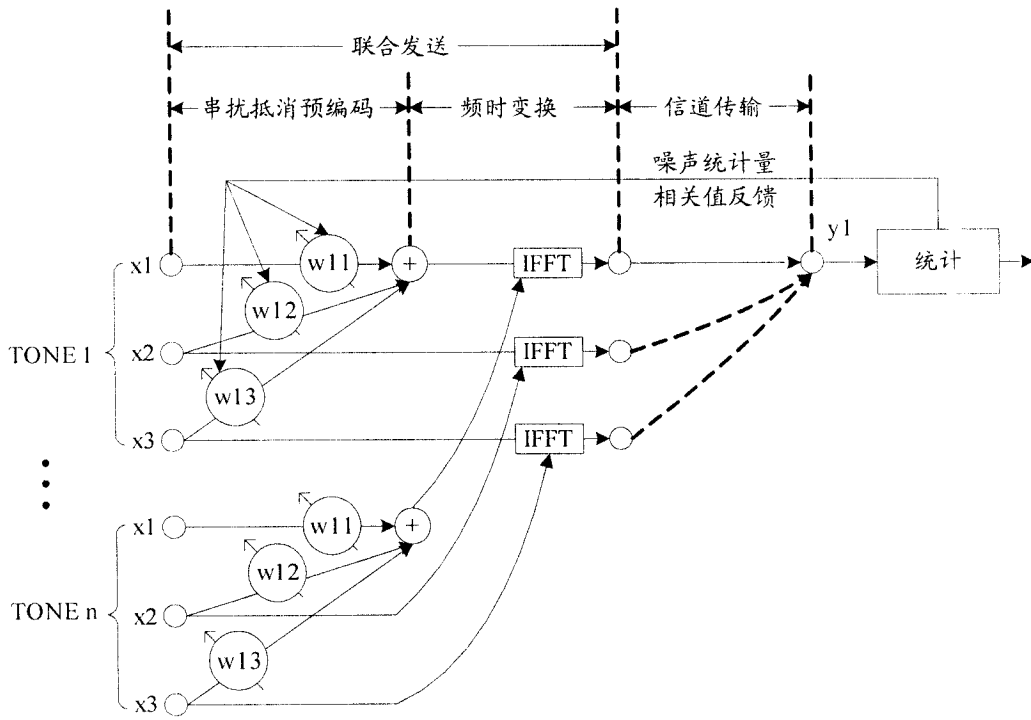


图 7

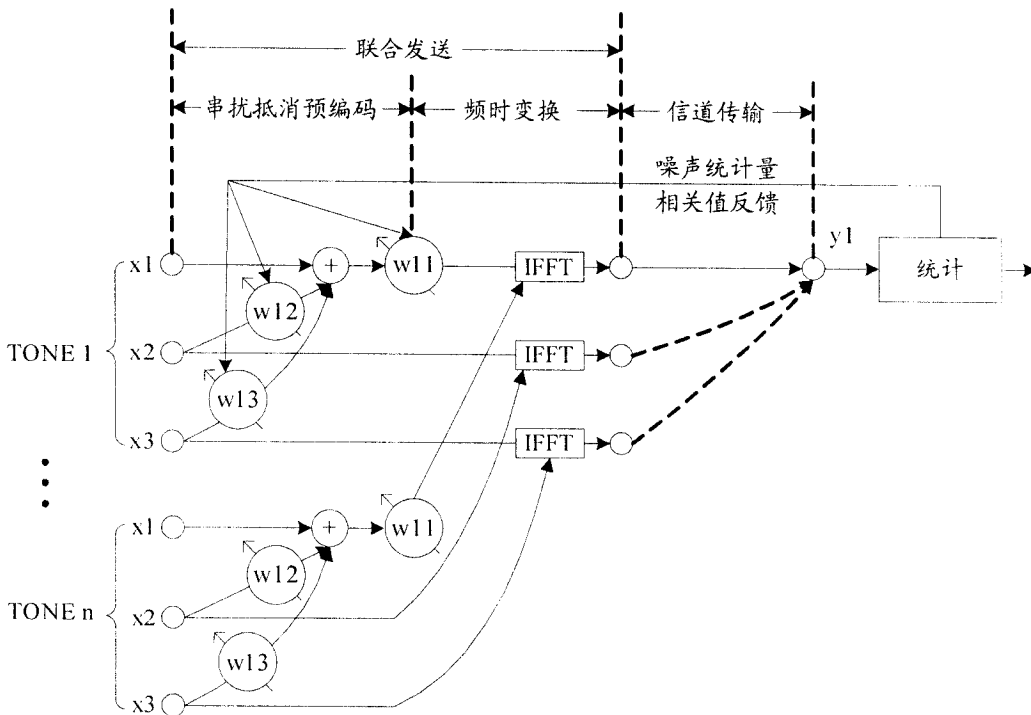


图 8

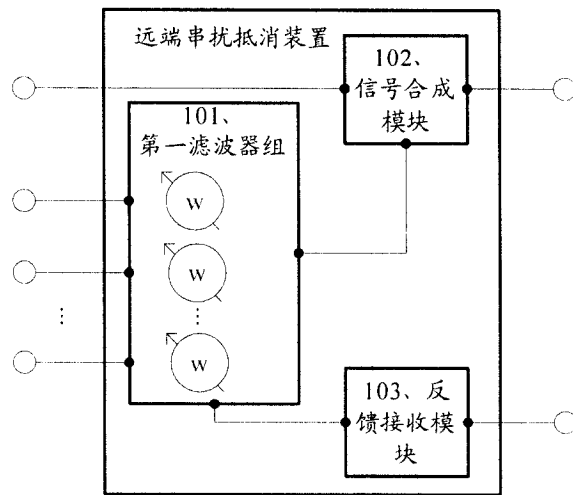


图 9

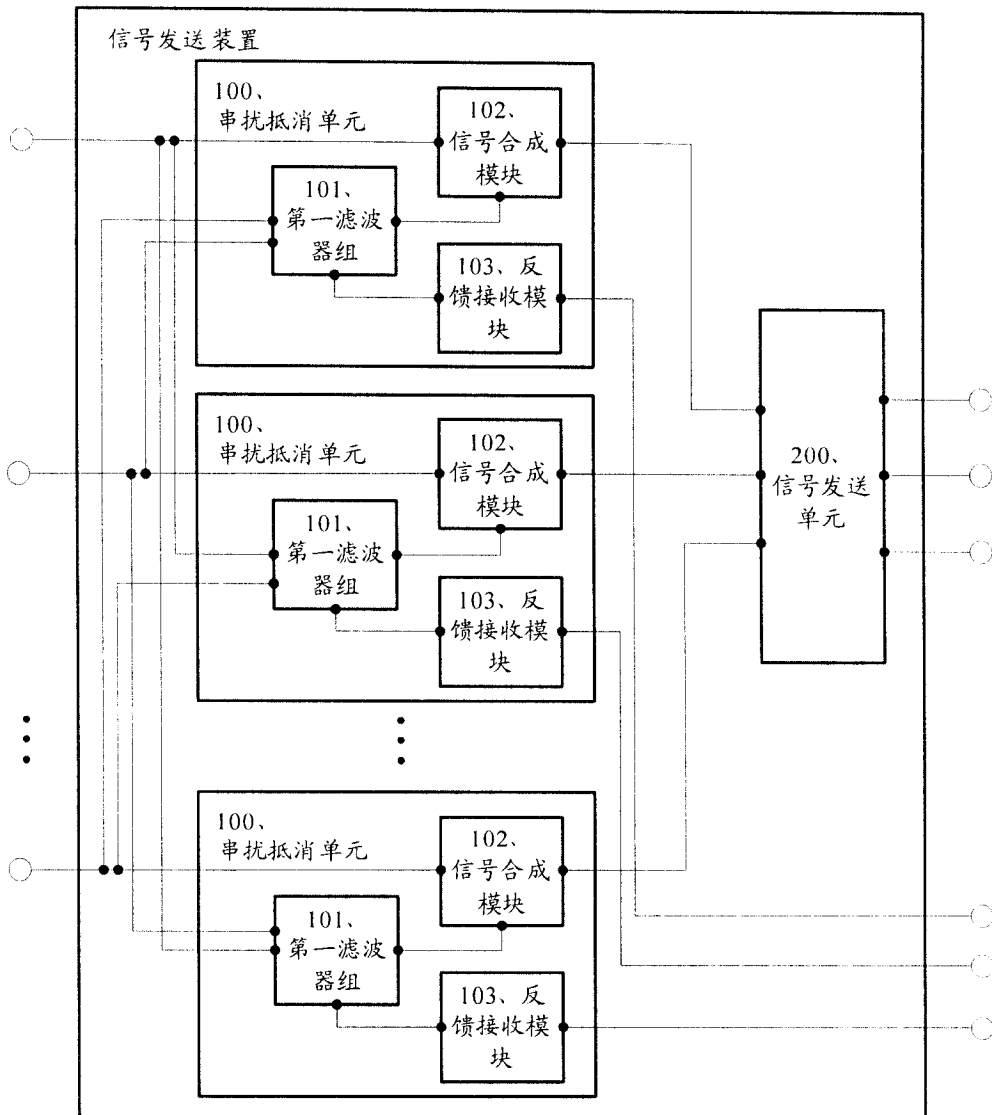


图 10

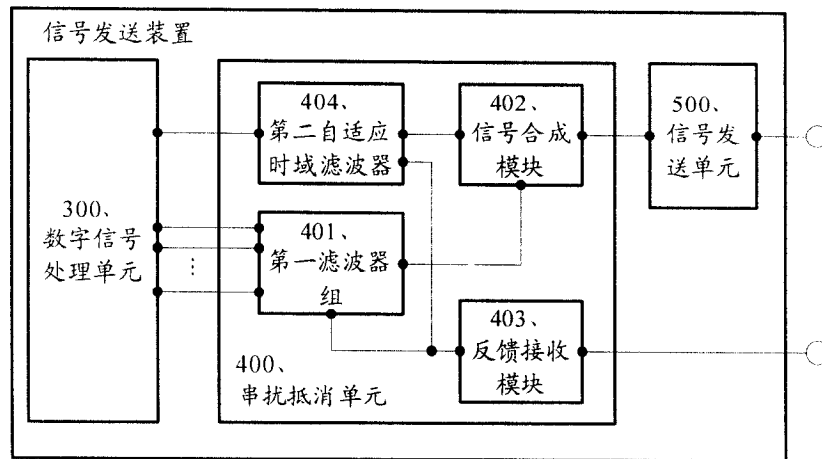


图 11

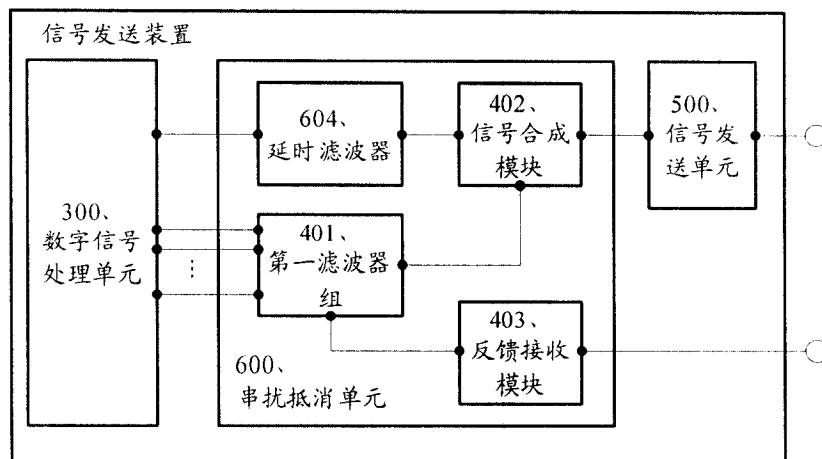


图 12

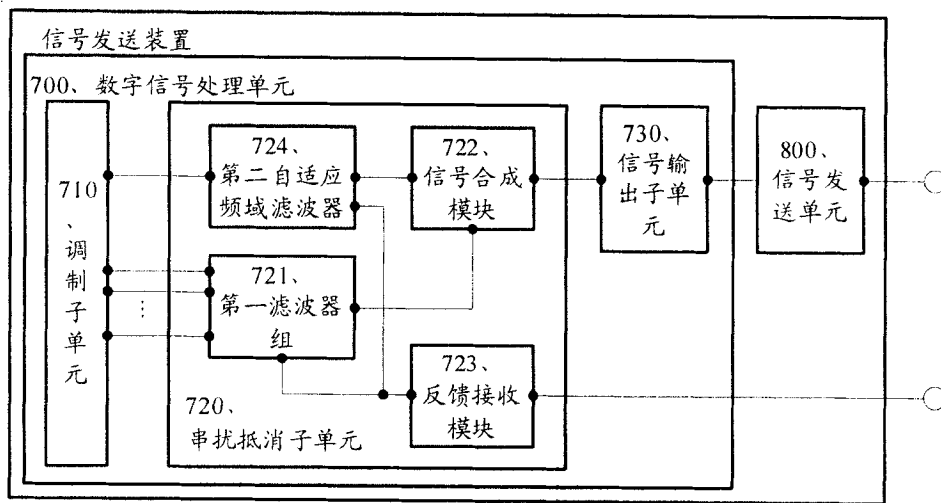


图 13

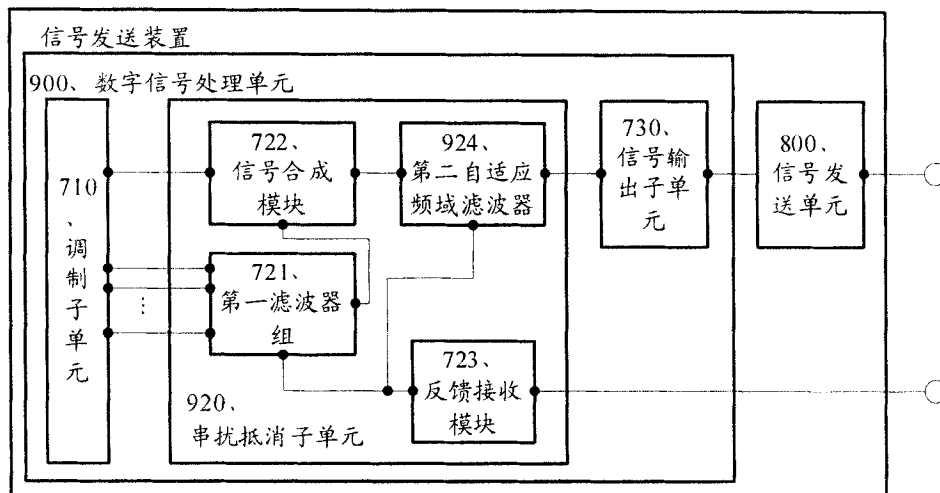


图 14

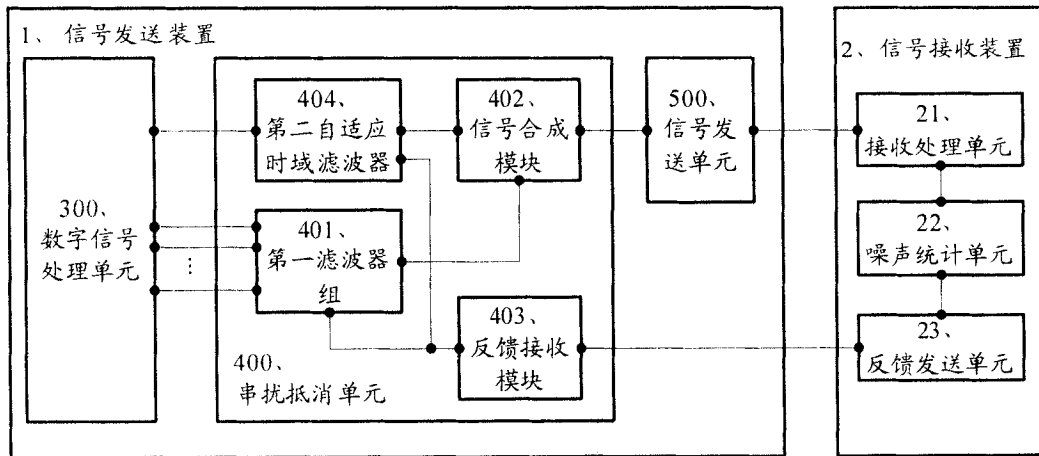


图 15