

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101401398 B

(45) 授权公告日 2012. 12. 12

(21) 申请号 200780008128. 0

代理人 穆德骏 陆锦华

(22) 申请日 2007. 01. 29

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

G10L 21/02 (2006. 01)

11/368, 729 2006. 03. 06 US

H04M 1/57 (2006. 01)

H04M 9/08 (2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

H04M 1/00 (2006. 01)

2008. 09. 08

(86) PCT申请的申请数据

(56) 对比文件

PCT/US2007/061190 2007. 01. 29

CN 1540925 A, 2004. 10. 27,

(87) PCT申请的公布数据

审查员 魏玲

W02007/120958 EN 2007. 10. 25

(73) 专利权人 飞思卡尔半导体公司

地址 美国得克萨斯

(72) 发明人 卢西奥·F·C·佩索阿

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限

责任公司 11219

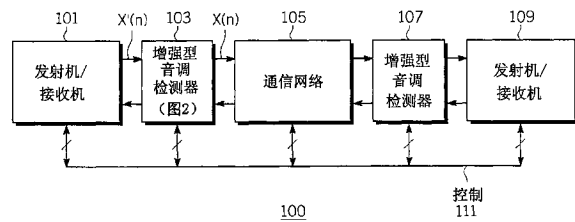
权利要求书 1 页 说明书 9 页 附图 5 页

(54) 发明名称

用于音调检测和增强的包括自适应多带通滤波器的增强型音调检测器

(57) 摘要

一种增强型音调检测器 (103), 包括自适应多带通滤波器 (201)、音调检测器 (203) 和滤波器控制单元 (205)。自适应多带通滤波器具有接收输入信号 (X' (n)) 的信号输入端、提供滤波后的信号 (X(n)) 的信号输出端以及用于接收至少一个控制信号 (r1c1) 的至少一个控制输入端。音调检测器具有耦合到自适应多带通滤波器的信号输出端的输入端, 和当音调事件被检测到时提供至少一个音调检测信号的至少一个输出端 (DTE)。滤波器控制单元具有接收输入信号的第一输入端、接收至少一个音调检测信号的至少一个第二输入端, 以及提供至少一个控制信号的至少一个第一输出端。控制信号可以包括一个或多个频率分量信号和相应的带宽信号, 其中频率分量信号对应于音调事件的分量频率。



1. 一种音调事件检测系统,包括:

自适应多带通滤波器,该自适应多带通滤波器对采样的输入信号进行滤波并且提供采样的滤波后的信号,并且该自适应多带通滤波器具有多个频率输入端和相应的多个带宽控制输入端;

音调检测器,该音调检测器针对音调事件监视所述采样的滤波后的信号并且在所述采样的滤波后的信号内检测到音调事件时提供音调指示;以及

控制器,该控制器接收所述音调指示,将至少一个频率信号中的每一个频率信号提供到所述多个频率输入端中相应的一个频率输入端,并且该控制器将带宽信号提供到用于所提供的所述至少一个频率信号中的每一个频率信号的所述多个带宽控制输入端中相应的一个带宽控制输入端。

2. 根据权利要求 1 所述的音调事件检测系统,其中所述自适应多带通滤波器包括多个自适应带通滤波器,每个所述自适应带通滤波器使相应的频率以减小的相移通过。

## 用于音调检测和增强的包括自适应多带通滤波器的增强型 音调检测器

### 技术领域

[0001] 本发明总体上涉及音调事件检测和增强,并且更具体地涉及一种具有自适应多带通滤波器的增强型音调检测器,其在高噪声的信令条件下改善音调检测并且增强性能。

### 背景技术

[0002] 音调事件检测是在具有共享数据和电话网络上的语音通信的数字电话系统中的重要应用。国际电信联盟 (ITU) 开发了用于通过分组网络进行数据传输 (V 系列调制解调器信号) 的标准 (V. 150), 该标准定义了公共交换电话网 (PSTN) 和因特网协议 (IP) 网络之间的交互操作。在数据传输之前或数据传输期间, 一系列音调事件被交换, 使得无论何时检测到音调事件, 均需要采取特定的动作以发起和维持 IP 上的恰当数据通信。

[0003] 音调事件可以包括单音或具有不同调制方案的多音段的组合。例如, 音调事件可以包括具有导通 / 断开调幅 (AM) 的单频音。在另一个示例中, 音调事件可以包括由单频音跟随的双频率分量音。在另一个示例中, 音调事件可以包括具有周期性相位变化的单频音。因此, 期望根据不同的调制方案可靠地检测音调事件。可以被检测的一些典型的音调事件包括 T. 30 呼叫音 (CNG)、V. 25 呼叫音 (CT)、V. 25 应答音 (ANS)/T. 30CED、具有反相的 V. 25 应答音 (ANS\_PR)、具有调幅的 V. 8 应答音 (ANSam)、具有调幅和反相的 V. 8 应答音 (ANSam PR)、V. 22 未加扰的二进制 1 (USB1)、V. 21 信道 2HDLC (高级数据链路控制) 标志、TIA/EIA-825TTY 音调、V. 8 复 (bis) 发起 / 响应、Q. 24 双音多频 (DTMF)、多频音 (例如 MFR1、MFR2) 等。这些音调事件由幅度、频率或相位调制或由幅度、频率和相位的任意组合调制。此外, 这些音调事件可以包括每个信号段中的多于一个的频率分量, 所述信号段具有相同的音调特性。

[0004] 音调检测器被频繁地用于通信系统以监视接收信号并且识别预定义的信令音的存在。然而, 在许多实际情况中, 当信令音被噪声高度破坏时, 可能指望音调检测功能体来结束破坏。已开发的新的音调检测方法试图经由后处理低通滤波来处理噪声情况。然而, 由于频率和定时容差的要求, 当噪声失真增大至超过关键水平时, 错过的检测速率趋于增大。因此, 需要识别噪声条件, 并且选择性地对信号进行滤波以增大信号噪声比 (SNR), 从而扩大音调检测的工作范围。

### 附图说明

[0005] 参考以下描述和附图, 将更好地理解本发明的益处、特征和优点, 其中:

[0006] 图 1 是根据本发明的一个实施例的通信系统的框图;

[0007] 图 2 是根据本发明的示例性实施例实现的图 1 中的增强型音调检测器的框图;

[0008] 图 3 是根据本发明的示例性实施例实现的图 2 中的自适应多带通滤波器的简化框图;

[0009] 图 4 是根据本发明的示例性实施例、用于实现图 3 中的第一滤波器的自适应带通

滤波器 (ABPF) 的简化框图;

[0010] 图 5 是根据本发明的另一个实施例、用于实现图 3 中的第一滤波器的自适应带通滤波器的简化框图;

[0011] 图 6 是绘制了关于相应带宽控制信号的各个值的、选定分量频率  $f_0$  为 1 千赫兹 (kHz) 的图 3 中的示例性 ABPF 的传递函数的增益 (dB) 对频率 (Hz) 的图表;

[0012] 图 7 是绘制了图 6 的相同传递函数关于相同值的带宽控制信号的相位 (度) 对频率 (Hz) 的图表;

[0013] 图 8 是示出了根据本发明的示例性实施例的图 2 中的自适应多带通滤波器的操作的流程图;

[0014] 图 9 是绘制了基于五分量 (即  $N = 5$ ) 音调检测应用的 1000 次随机试验 (每 dB) 的 SNR 滤波增益 (dB) 对 SNR (dB) 的图表。

### 具体实施方式

[0015] 以下描述被呈现, 以使得本领域普通技术人员能够做出并且使用提供在特定应用及本发明的要求的上下文内的本发明。然而, 对优选实施例的多种修改对本领域技术人员是明显的, 并且此处定义的一般原理可以应用到其他实施例中。因此, 本发明不旨在局限于此处所示和所述的特定的实施例, 而旨在给出最宽的范围, 该最宽的范围与此处公开的原理和新颖的特征相一致。

[0016] 图 1 是根据本发明的一个实施例的通信系统 100 的框图。通信系统 100 包括发射机 / 接收机 101、增强型音调检测器 103、通信网络 105、增强型音调检测器 107、发射机 / 接收机 109 和控制总线 111。控制总线 111 双向耦合到发射机 / 接收机 101、增强型音调检测器 103、通信网络 105、增强型音调检测器 107 和发射机 / 接收机 109。发射机 / 接收机 101 双向耦合到增强型音调检测器 103, 该增强型音调检测器 103 双向耦合到通信网络 105, 该通信网络 105 双向耦合到增强型音调检测器 107, 该增强型音调检测器 107 双向耦合到发射机 / 接收机 109。

[0017] 对于通信网络 105, 发射机 / 接收机 101 经由增强型音调检测器 103 提供并且接收数据信号。类似地, 对于通信网络 105, 发射机 / 接收机 109 经由增强型音调检测器 107 提供并且接收数据信号。因此, 发射机 / 接收机 101 和 109 能够通过通信网络 105 相互通信。发射机 / 接收机 101 和 109 均可以是用于通过通信网络 105 通信的任意装置, 例如电话、调制解调器等。同样, 通信网络 105 可以包括分组电话网络 (包括例如通过因特网协议 (IP) 传输语音、分组数据、异步传输模式 (ATM) 等), 并且通信网络 105 还能够应用到无线或有线系统或公共交换电话网 (PSTN)。在可替换的实施例中, 通信系统 100 可以表示任意类型的通信系统。

[0018] 控制总线 111 提供在发射机 / 接收机 101 和 109、增强型音调检测器 103 和 107 以及通信网络 105 之间的控制路径。经由控制总线 111 传送的控制信号一般不是在线信号。例如, 控制总线 111 可以包括启动 / 禁止信号, 用于启动或禁止增强型音调检测器 103 或 107, 或者控制总线 111 可以包括需要在增强型音调检测器 103 或 107 的各部分之间传送的信号。控制总线 111 还可以包括指示电话是接通还是挂断的信号。还要注意, 控制总线 111 可以包括发射信号的编码形式, 例如根据 RFC2833 标准的编码形式。

[0019] 注意,发射机/接收机 101 和增强型音调检测器 103 的操作与发射机/接收机 109 和增强型音调检测器 107 的操作类似。也就是说,通信系统 100 是对称的。此外,虽然本发明的实施例呈现为使用发射信号,但可以对发射信号或接收信号(即进入通信网络 105 的信号或来自通信网络 105 的信号)执行音调事件检测。发射机/接收机 101 将标示为  $x'(n)$  的发送或发射信号提供到增强型音调检测器 103。 $x'(n)$  信号是包括根据采样频率  $f_s$  的速度得到的采样的采样信号。 $x'(n)$  信号可以包括正常的语音或者可以包括根据特定的调制方案的音调事件,所述调制方案例如为 AM、频移键控(FSK)、差分相移键控(DPSK)等。如以下进一步的描述,增强型音调检测器 103 对  $x'(n)$  信号进行滤波,并且提供增强的信号  $x(n)$  到通信网络 105。

[0020] 例如,TTY 电话(未示出)启动通信网络(例如通信网络 105)上的语音和文本通信。TTY 电话(文本电话)通常包括允许文本通信的内置键盘。也就是,针对每个被按下的键,产生相应的字符串。所产生的字符串对应于经 FSK 调制的音调事件。TTY 电话的任意被按下的键产生音调事件,该音调事件具有七(7)个经 FSK 调制的音调,所述音调包括起始位音调、5 数据位字符设置音调和停止位音调。因此,在此示例中,音调事件包括七个独立的音段。在一个示例中(诸如,例如当通信网络是分组电话网络时),关于音调事件的信息被发送到接收机,以便在接收机一侧可以本地地重新产生该音调事件。也就是说,在发射机(例如发射机 101)检测到由 TTY 电话产生的起始位音调时,发射机可以抑制其余的音调直至检测到音调事件,此时,发射机将关于音调事件的信息发送到接收机(例如,接收机 109),该接收机之后可以根据发送的信息在本地重新产生音调事件。在一个示例中,在诸如控制总线 111 的控制线路上而不是经由通信网络 105 发射这种信息。可替换地,可以通过通信网络 105 直接发送音调事件的信息或音调。

[0021] 图 2 是根据本发明的示例性实施例实现的增强型音调检测器 103 的框图。增强型音调检测器 103 包括自适应多带通滤波器(AMBPF) 201、音调检测器 203 和滤波器控制单元 205。 $x'(n)$  信号被提供给自适应多带通滤波器 201 和滤波器控制单元 205 的相应输入端。自适应多带通滤波器 201 具有输出,该输出提供  $x(n)$  信号到音调检测器 203 和滤波器控制单元 205 的相应输入端。音调检测器 203 具有耦合到控制总线 111 的第一输出,用于提供显示为 DTE 的被检测音调或符号。在所示的实施例中,音调检测器 203 具有一个或多个第二输出,该第二输出提供多至数量“N”的频率分量信号  $c_1$ ,其中“1”是从 1 至 N 的索引并且其中“N”为大于零的正整数。频率分量信号  $c_1$  被提供到滤波器控制单元 205 的相应输入端。在所示的实施例中,滤波器控制单元 205 将频率分量信号  $c_1$  转发或传递到自适应多带通滤波器 201,并且进一步提供相应的一个或多个带宽控制信号  $r_1$ 。如以下进一步的描述,滤波器控制单元 205 提供  $c_1$ 、 $r_1$  信号以调节或更新自适应多带通滤波器 201,从而改善  $x(n)$  信号相对于未滤波的  $x'(n)$  信号的质量。滤波器控制单元 205 也被显示为双向耦合到控制总线 111 以在需要或期望时启动外部控制或编程。

[0022] 音调检测器 203 估计  $x(n)$  信号频率和的振幅分量并且递归地调整该估计以在所估计的一个或多个频率分量上建立频率锁定。如果实现了频率锁定,则音调或音调事件被指示并且音调检测器 203 产生一个或多个频率分量信号  $c_1$ 。根据下面的等式 1,每个频率分量信号  $c_1$  均为相应归一化频率参数  $\theta_1$  的函数:

$$[0023] \quad c_1 = \cos \theta_1 \quad (1)$$

[0024] 其中,根据下面的等式 2 确定归一化频率参数  $\theta_1$  :

$$[0025] \quad \theta_1 = 2\pi f_1/f_s \quad (2)$$

[0026] 其中  $f_1$  是相应音调分量的频率并且  $f_s$  是  $x'(n)$  信号的采样频率。

[0027] 在可替换的实施例中,可以根据本领域技术人员所公知的提供音调指示或频率分量信息的其他方法来实现音调检测器 203。例如,音调检测器 203 可以直接提供频率信号  $f_1$  或归一化频率参数  $\theta_1$ ,而不是提供它们的函数。在另一个示例中,滤波器控制单元 205 将频率信号  $f_1$  或归一化频率参数  $\theta_1$  转换为自适应多带通滤波器 201 需要的适当信息,例如前述的频率分量信号  $c_1$ 。如果滤波器控制单元 205 预先知道预定的音调组的频率分量的整个组,则音调检测器 203 可以被实现成提供所指示的音调的特定的一个或多个频率的任意足够指示,并且滤波器控制单元 205 将被提供的信息转换为自适应多带通滤波器 201 需要的适当信息,例如前述的频率分量信号  $c_1$ 。

[0028] 在一个实施例中,滤波器控制单元 205 最初保持 (assert)  $r_1$  信号以将自适应多带通滤波器 201 编程为全通滤波器(例如通过设置  $r_1 = 0$ )。音调检测器 203 监视  $x(n)$  信号(最初与  $x'(n)$  信号相同)的输入采样并且仅当音调被指示时才提供  $c_1$  信号。例如,音调检测器 203 周期性地估计音调并且递归地调节该估计,直至该估计在第一预定数量的采样后或第一预定的时间量后被证实。如果该估计在第二预定数量的采样后或第二预定的时间量后仍保持被证实,则音调检测器 203 校验音调并且输出检测后的音调事件(DTE)。同时,当滤波器控制单元 205 接收到  $c_1$  信号时,该滤波器控制单元 205 开始调节自适应多带通滤波器 201 以改善并增强输入信号的信号质量,从而改善音调检测器 203 的音调事件检测过程。在常规的配置中, $x'(n)$  信号被提供到通信网络 105。而增强型音调检测器 103 提供  $x(n)$  信号, $x(n)$  信号是  $x'(n)$  信号的经滤波和增强的形式。

[0029] 图 3 是根据本发明的示例性实施例实现的自适应多带通滤波器 201 的简化框图。在所示的配置中,自适应多带通滤波器 201 被配置为从第一滤波器 ABPF1 至最后一个滤波器 ABPFN(即 ABPF1、ABPF2、..., ABPFN) 的 N 个自适应带通滤波器 (ABPF) 301 的并联组合。每个 ABPF301 均被配置为无限冲击响应 (IIR) 滤波器,该无限冲击响应 (IIR) 滤波器具有接收  $x'(n)$  信号的信号输入、接收频率分量信号  $c_1$ (即  $c_1$ 、 $c_2$ 、...,  $c_N$ ) 中的相应一个的第一控制输入、接收带宽控制信号  $r_1$ (即  $r_1$ 、 $r_2$ 、...,  $r_N$ ) 中的相应一个的第二控制输入,以及提供相应的滤波后的输出信号  $x_1(n)$ (即  $x_1(n)$ 、 $x_2(n)$ 、...,  $x_N(n)$ ) 的输出。通过加法器 303 将滤波后的输出信号  $x_1(n)$  相加到一起,该加法器 303 输出滤波后的  $x(n)$  信号。

[0030] 在所示的实施例中,ABPF301 共同地具有根据下面的等式 3 操作的滤波器结构:

$$[0031] \quad H(z) = \sum_{i=1}^N H_i(z), H_i(z) = \frac{1 - r_i^2 - 2r_i(1 - r_i)c_i z^{-1}}{1 - 2r_i c_i z^{-1} + r_i^2 z^{-2}} \quad (3)$$

[0032] 该滤波器结构为具有复共轭极点  $r_i e^{\pm j\theta_i}$  和单个零点  $2\frac{r_i}{1+r_i} \cos\theta_i$  的一个或多个二级 IIR 滤波器。该特定的结构具有在极点位置上没有相位改变的最大单元增益的特性,该特性与以下所示的等式 4 的特性一致:

$$[0033] \quad H_i(e^{j\theta_i}) = 1 \quad (4)$$

[0034] 极点的大小被选择成确保整个滤波器的稳定性,这意味着带宽控制参数  $r_1$  被选择成使得  $0 \leq r_1 < 1$ 。如等式 3 所示,滤波器控制单元 205 通过将带宽控制参数  $r_1$  编程为零而

将自适应多带通滤波器 201 初始化为全通滤波器。

[0035] 图 4 是根据本发明的示范性实施例、用于实现第一滤波器 ABPF1 的自适应带通滤波器 400 的简化框图。自适应带通滤波器 400 接收第一组频率和带宽控制值  $r_1$ 、 $c_1$ 。  $x'(n)$  信号被提供到功能块 401 和延迟块 403 的相应输入端。功能块 401 将输入的  $x'(n)$  信号的采样乘以  $[1-r_1^2]$ ，并且将结果提供到加法器 405 的一个输入端。具有记号  $z^{-1}$  的延迟块 403 将  $x'(n)$  信号的输入采样延迟一个采样值，并且将延迟后的采样值提供到功能块 407 的输入端，功能块 407 将延迟后的采样值乘以  $[-2r_1(1-r_1)]$ 。功能块 407 的输出被提供到加法器 409 的一个输入端，该加法器 409 的输出被提供到加法器 405 的第二输入端。加法器 405 的输出端提供  $x_1(n)$  信号作为该加法器 405 的输出。如本领域技术人员所理解的，功能块 407 的输出相对于功能块 401 的输出延迟一个采样值。提供在加法器 405 的输出端的  $x_1(n)$  的每个采样后的滤波值均被延迟块 411 延迟，该延迟块 411 将延迟后的  $x_1(n)$  的值输出到功能块 413 和另一个延迟块 415 的相应输入端。功能块 413 将延迟后的  $x_1(n)$  的值乘以  $[2r_1c_1]$  并且将该结果提供到加法器 409 的第二输入端。延迟块 415 将延迟后的  $x_1(n)$  的值延迟另一个采样时间并且将该延迟后的结果提供到另一个功能块 417 的输入端，该功能块 417 将该延迟后的结果乘以  $[-r_1^2]$ 。延迟块 411 和 415 的串联组合将  $x_1(n)$  的采样延迟两个采样值（即将每个采样值乘以  $z^{-2}$ ）。功能块 417 的输出被提供到加法器 409 的第三输入端。以此方式，如本领域技术人员所理解的，自适应带通滤波器 400 对第一组频率和带宽控制值  $r_1$ 、 $c_1$  执行等式 3 的函数，以提供滤波后的采样信号  $x_1(n)$ 。自适应带通滤波器 400 可以用于实现自适应带通滤波器 201 的任意或全部 ABPF301 以提供滤波后的采样信号  $x_1(n)$  至  $x_N(n)$ ，通过加法器 303 将所述滤波后的采样信号的采样相加在一起以产生  $x(n)$  信号。

[0036] 图 5 是根据本发明的另一个实施例、用于实现第一滤波器 ABPF1 的自适应带通滤波器 500 的简化框图。自适应带通滤波器 500 也接收第一组频率和带宽控制值  $r_1$ 、 $c_1$ 。  $x'(n)$  信号被提供到加法器 501 的一个输入端，该加法器 501 具有提供到功能块 503 和延迟块 505 的相应输入端的输出。功能块 503 将加法器 501 的输出乘以  $[1-r_1^2]$  并且将该结果提供到加法器 507 的一个输入端。延迟块 505 的输出被提供到另一个延迟块 509 和两个功能块 511 和 513 的相应输入端。延迟块 509 的输出被提供到功能块 515 的输入端，该功能块 515 将延迟块 509 的输出乘以  $[-r_1^2]$  并且将该结果提供到加法器 517 的一个输入端。功能块 511 将延迟块 505 的输出乘以  $[2r_1c_1]$  并且将该结果提供到加法器 517 的另一个输入端。加法器 517 的输出被提供到加法器 501 的另一个输入端。功能块 513 将延迟块 505 的输出乘以  $[-2r_1(1-r_1)]$  并且将该结果提供到加法器 507 的另一个输入端。加法器 507 的输出提供采样后的滤波值  $x_1(n)$ 。以此方式，如本领域技术人员所理解的，自适应带通滤波器 500 也对第一组频率和带宽控制值  $r_1$ 、 $c_1$  执行等式 3 的函数，以提供滤波后的采样信号  $x_1(n)$ 。自适应带通滤波器 500 可以用于实现自适应带通滤波器 201 的任意或全部 ABPF301 以提供滤波后的采样信号  $x_1(n)$  至  $x_N(n)$ ，通过加法器 303 将该滤波后的采样信号的采样相加在一起以产生  $x(n)$  信号。

[0037] 自适应带通滤波器 400 或 500 可以通过本领域技术人员所公知的任何适当的方式来实现，例如通过离散逻辑、集成在芯片上的电路或集成电路 (IC)、软件等来实现。在软件配置中， $r_1$  和  $c_1$  的值被存储在存储器装置中，一起存入存储器装置的还有  $x_1(n)$  信号和

$x'(n)$  信号的采样以及当输入信号被传播经过滤波器时的其他中间状态信号的采样。基于所选调制方案的音调事件或具有最高数量的频率分量的音调组来选择数字  $N$ 。当给定的音调组的每个音调事件的频率分量的数量变化时,用于特定音调组中的任意给定音调事件的频率分量的数量从一个音调事件变化到另一个。根据由滤波器控制单元 205 提供的频率分量信号  $c_1$  来对每个 ABPF301 进行编程。并且,相应带通控制值  $r_1$  确定位于相应频率中央的频带的宽度。在中心频率处的频率分量以均一的增益和零相移经过。高于和低于中心频率的频率分量基于  $r_1$  的值而被削弱。如果相应的  $r_1$  值为零,则滤波器被编程为全通配置,使得输入信号不经过滤波而通过。当相应的  $r_1$  值的水平增大至大于零时,相应的频率通带降低,以便滤出高于和低于被编程的中心频率的频率分量。

[0038] 图 6 是绘制了关于相应带宽控制信号  $r_0$  的各个值的、选定分量频率  $f_0$  为 1 千赫兹 (kHz) 的示例性 ABPF301 的传递函数的增益 (dB) 对频率 (Hz) 的图表。对于  $r_0 = 0$ , 增益为穿过整个相关频谱的均一值 (例如达到根据尼奎斯特准则的采样频率  $f_s$  的一半; 在所示的实施例中的采样频率  $f_s$  为 8kHz)。当  $r_0$  的值增加到大于零时, 中央的频率带宽减小或变窄, 从而使高于和低于编程的中心频率  $f_0$  (例如 1kHz) 的频率分量的振幅被降低。当  $r_0$  增大到 0.5 时, 高于和低于选定的分量频率  $f_0$  的频率被衰减 (例如 3kHz 处的频率分量被衰减近 5dB)。对于  $r_0 = 0.75$  时, 衰减被增大 (例如 3kHz 处的频率分量被衰减约 10dB)。对于  $r_0 = 0.95$  时, 衰减被进一步增大 (例如 3kHz 处的频率分量被衰减近 25dB)。无论  $r_0$  的值是多少,  $f_0 = 1\text{kHz}$  处的频率分量以 0dB 的增益或均一的增益穿过 ABPF301。

[0039] 图 7 是绘制了图 6 的相同传递函数关于相同值的带宽控制信号的相位 (度) 对频率 (Hz) 的图表。对于选定的分量频率  $f_0 = 1\text{kHz}$ , 相位改变为零 (没有相移)。对于高于或低于  $f_0$  的频率分量, 具有明显的相移 (达到超过 50 度)。

[0040] 由于每个改变均导致瞬态事件, 因此对带宽控制信号  $r_1$  进行增量式调节。带宽控制信号  $r_1$  的调节量取决于给定配置的特定音调事件。如果音调事件相对较长或者如果  $x'(n)$  信号的失真噪声水平  $L_{\text{NOISE}}$  相对较高, 则更缓慢地调节带宽控制信号  $r_1$ 。如果音调事件相对较短或者如果  $L_{\text{NOISE}}$  相对较低 (即使高于  $L_{\text{TH}}$ ), 则可以更快地增大带宽控制信号  $r_1$ 。

[0041] 图 8 是示出了根据本发明的示例性实施例的自适应多带通滤波器 201 的操作的流程图。在第一个框 801 处, 滤波器控制单元 205 将自适应多带通滤波器 201 初始化为全通滤波器。在所示的实施例中, 通过将全部带宽控制信号  $r_1$  设置为零来获得这种初始化, 以便  $x'(n)$  信号不改变地 (例如  $x(n) = x'(n)$ ) 有效通过自适应多带通滤波器 201。在其他实施例中, 自适应多带通滤波器 201 可以被临时禁止或被旁路。在下一个框 803 处, 接收到  $x'(n)$  信号的下一个采样。在下一个框 805 处, 由自适应多带通滤波器 201 一个采样一个采样地对  $x'(n)$  信号进行滤波。如本领域普通技术人员所理解的,  $x'(n)$  信号的采样传播经过自适应多带通滤波器 201, 该自适应多带通滤波器 201 产生相应的滤波后的  $x(n)$  信号的采样流。如果带宽控制信号  $r_1$  被设置为零, 则采样不被修改地 (没有衰减或相位改变) 有效通过。在下一个框 807 处, 滤波器控制单元 205 产生或以其他方式更新  $x'(n)$  信号的失真噪声水平 ( $L_{\text{NOISE}}$ ) 的估计。由于对  $x'(n)$  信号的滤波, 滤波器控制单元 205 还产生或更新  $x(n)$  信号的信噪比 (SNR) 改进。在一个实施例中, 一种估计功率水平的方法是通过低通滤波  $|x'(n)|^k$  和  $|x(n)|^k$ , 其中  $k = 1, 2, \dots$  等。参数  $k$  可以被设置为等于 2 并且单极点低通滤波器具有根据下面的等式 5 的形式:

[0042] 
$$H(z) = \frac{1-a}{1-az^{-1}}, \text{ 其中 } 0 < a < 1 \quad (5)$$

[0043] 等式 5 表明可以根据下面的等式 6 和 7 来确定功率估计 (P) :

[0044] 
$$P_{x'}(n) = aP_{x'}(n-1) + (1-a)x'(n)^2 \quad (6)$$

[0045] 
$$P_x(n) = aP_x(n-1) + (1-a)x(n)^2 \quad (7)$$

[0046] 在此方式中,通过采用由以下等式 8 提供的功率估计的比来计算 SNR 改进 Q(n) :

[0047] 
$$Q(n) = \frac{P_{x'}(n)}{P_x(n)} \quad (8)$$

[0048] 并且将其表示为分贝 (dB) 或  $10 \log_{10}(Q(n))$ 。

[0049] 在下一个框 809 处,对  $L_{\text{NOISE}}$  是否大于或等于预定的阈值噪声水平  $L_{\text{TH}}$  进行询问。如果  $L_{\text{NOISE}}$  小于  $L_{\text{TH}}$ ,则操作前进到框 811,在框 811 中,例如通过将带宽控制信号  $r_1$  设置为零而将自适应多带通滤波器 201 重置为全通滤波器。在此情况下,如果  $x'(n)$  信号的噪声水平低到使音调事件容易被辨别,则通过滤波来增强信号的需要被降低。如在框 809 处确定的,如果  $L_{\text{NOISE}}$  大于或等于  $L_{\text{TH}}$ ,或者在执行框 811 后,操作前进到框 813,在框 813 中,音调检测器 203 针对任意音调事件监视滤波后的  $x(n)$  信号。可以理解的是,当  $x(n)$  信号的采样传播经过音调检测器 203 时,音调检测器 203 针对音调事件进行连续监视。在下一个框 815 处,对音调事件是否被指示进行询问。如前所述,当音调检测器 203 检测音调事件或另外锁定在音调的一个或多个频率分量上时,该音调检测器 203 提供相应的频率控制信号  $c_1$  到滤波器控制单元 205。注意,对于可替换的实施例,可以通过音调检测器 203 提供频率的任意函数,在此情况下,滤波器控制单元 205 用于将它们转换为  $c_1$  的等价值。如果如在框 815 处确定的,音调事件没有被指示,则操作前进到框 817,以如前所述地将自适应多带通滤波器 201 重置为全通滤波器。如果音调事件未被指示,该音调事件在传输期间或在音调事件完成后丢失,则期望重置自适应多带通滤波器 201 以启动音调检测器 203 来检测下一个音调事件。

[0050] 在框 815 处,如果音调事件被指示,则操作前进到框 819,其中基于来自音调检测器的频率信息来更新自适应多带通滤波器 201,所述频率信息例如为频率分量信号  $c_1$  和带宽控制信号  $r_1$ 。如前所述,每个带宽控制信号  $r_1$  调整或滤波由相应的一个频率分量信号  $c_1$  指示的相应频率分量的相应频率分量。在框 817 中对自适应多带通滤波器 201 进行重置或在框 819 中对其进行更新后,操作前进到框 821 以确定是否存在要处理的更多输入采样。如果没有,则操作完成,且如果有,则操作前进返回框 803 以用于下一个输入采样。

[0051] 图 9 是绘制了 SNR 滤波增益 (dB) 对 SNR (dB) 的图表。第一条线 901 是基于五分量 (即  $N = 5$ ) 音调检测应用的 1000 个随机试验 (每 dB) 的平均 SNR 增益。第二条线 903 示出了 SNR 增益为  $\text{SNR}_{\text{GAIN}} \approx -0.45 * \text{SNR} + 11.37$ 。对于具有小于 3dB 的 SNR 的输入信号,平均 SNR 增益大于 10dB,这是对现有技术的充分改进。

[0052] 根据本发明的实施例的增强型音调检测器包括自适应多带通滤波器、音调检测器和滤波器控制单元。自适应多带通滤波器具有接收输入信号的信号输入端、提供滤波后的信号的信号输出端以及用于接收至少一个控制信号的至少一个控制输入端。音调检测器具有耦合到自适应多带通滤波器的信号输出端的输入端,以及在音调事件被检测到时提供至少一个音调检测信号的至少一个输出端。滤波器控制单元具有接收输入信号的第一输入

端、接收至少一个音调检测信号的至少一个第二输入端以及提供至少一个控制信号的至少一个第一输出端。

[0053] 自适应多带通滤波器可以包括多个自适应带通滤波器,每个自适应带通滤波器均具有相应的频率控制输入端,其中滤波器控制单元将频率分量信号提供到每个频率控制输入端。在一个实施例中,音调检测器检测音调事件并且提供频率分量信号,所述频率分量信号被提供到自适应多带通滤波器。在可替换的实施例中,滤波器控制单元将音调检测器信号转换为适当的频率分量信号。每个自适应带通滤波器可以包括带宽控制输入端,其中滤波器控制单元将带宽控制信号提供到每个带宽控制输入端。

[0054] 自适应多带通滤波器的控制输入端可以包括至少一个频率控制输入端和至少一个带宽控制输入端。在此情况下,滤波器控制单元将一个或多个频率分量信号提供到一个或多个频率控制输入端,并且将一个或多个带宽控制信号提供到一个或多个带宽控制输入端。滤波器控制单元还可以测量输入信号的噪声水平。在此情况下,滤波器控制单元最初可以将每个控制信号设置为全通值,并且在噪声水平低于阈值噪声水平时或在音调事件未被检测到时维持该全通值。如果在音调事件被检测时,噪声水平达到阈值噪声水平,则滤波器控制单元还可以调节带宽控制信号以降低带宽。滤波器控制单元还可以包括接收滤波后的输入信号的第三输入端。并且在此情况下,滤波器控制单元可以基于输入信号和滤波后的输入信号之间的 SNR 改进来调节每个带宽控制信号。

[0055] 根据本发明的实施例的音调事件检测系统包括自适应多带通滤波器、音调检测器和控制器。自适应多带通滤波器对采样的输入信号进行滤波,并且提供采样的滤波后的信号。滤波器具有多个频率输入端和相应的带宽控制输入端。音调检测器针对音调事件监视采样的滤波后的信号,并且在检测到音调事件时提供音调指示。控制器接收音调指示、将每个频率信号提供到相应的频率输入端,并且将带宽信号提供到用于所提供的每个频率信号的相应的带宽控制输入端。

[0056] 自适应多带通滤波器可以包括多个自适应带通滤波器,每个自适应带通滤波器使相应频率以减小的相移通过。在一个实施例中,至少一个频率信号为  $\cos(2\pi f/f_s)$ ,其中  $f$  是音调事件的分量的频率,并且  $f_s$  是采样的输入信号的采样频率。

[0057] 根据本发明的实施例的增强音调事件的方法包括:对输入信号进行滤波以提供滤波后的信号、监视该滤波后的信号并且在音调事件被指示时提供音调指示,以及响应于音调指示提供至少一个滤波器控制信号来更新自适应多带通滤波器。

[0058] 该方法可以包括提供至少一个频率分量信号和/或至少一个带宽控制信号。该方法可以包括提供频率分量信号和相应的带宽控制信号,以及在对应于频率分量信号的频率和对应于带宽控制信号的带宽上对输入信号进行带通滤波。

[0059] 该方法可以包括测量输入信号的噪声水平。在此情况下,该方法还可以包括:如果音调事件未被指示或如果噪声水平低于阈值水平,将带宽控制信号提供为全通值。并且,该方法还可以包括:如果噪声水平达到阈值水平,基于噪声水平来调节带宽控制信号。该方法还可以包括:测量输入信号和滤波后的信号之间的 SNR 改进水平,并且基于 SNR 改进水平调节至少一个控制信号。

[0060] 虽然已经示出并描述了本发明的特定实施例,但本领域技术人员将意识到,基于此处的教导,在不背离本发明及其更宽方面的情况下,可以做出进一步的改变和修改。所附

权利要求旨在将位于本发明的真正精神和范围内的全部这些改变和修改包括在其范围内。

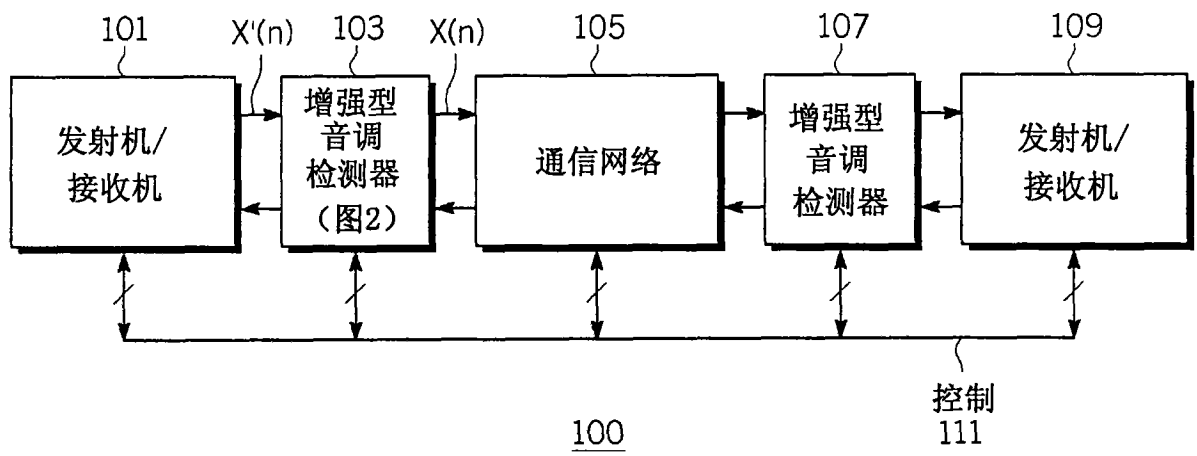


图 1

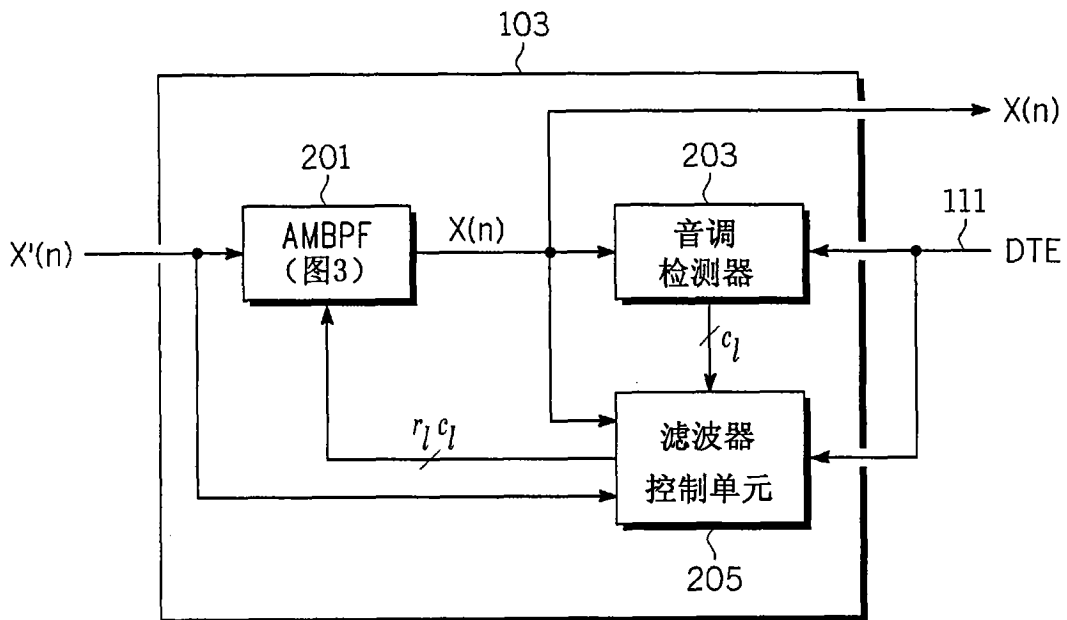


图 2

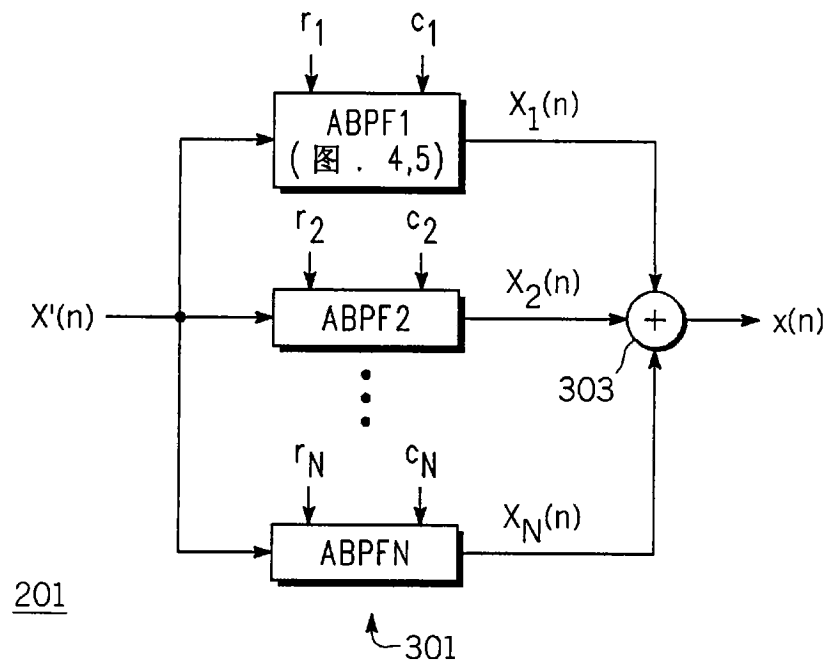


图 3

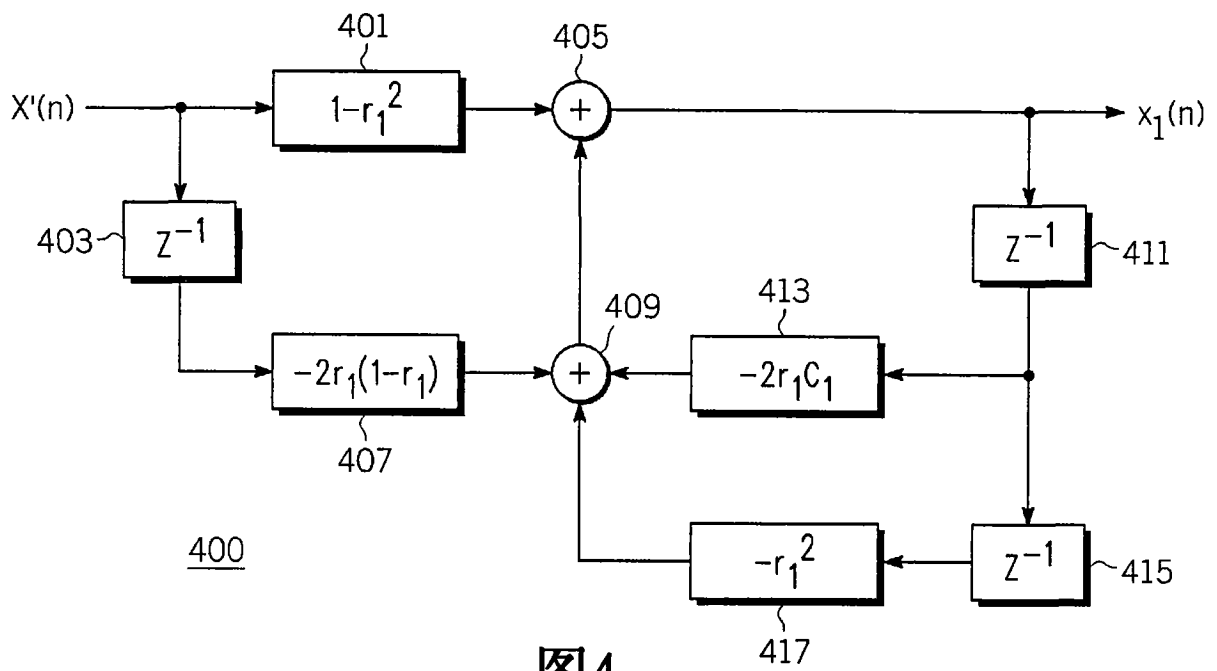


图 4

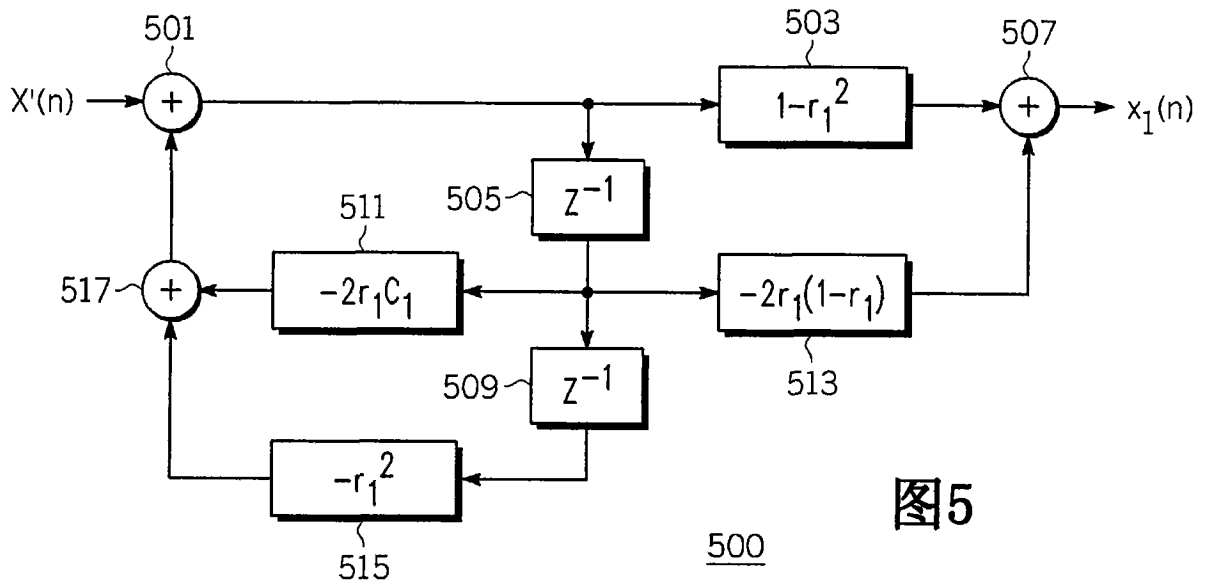


图5

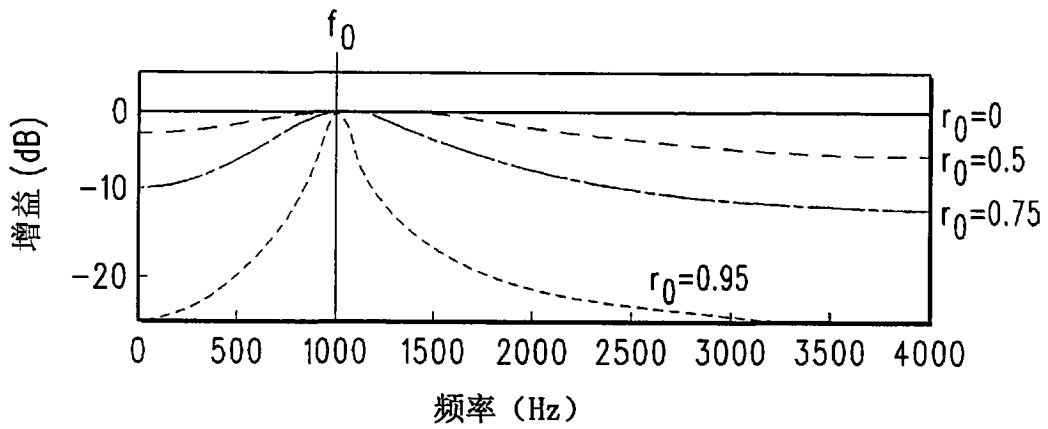


图6

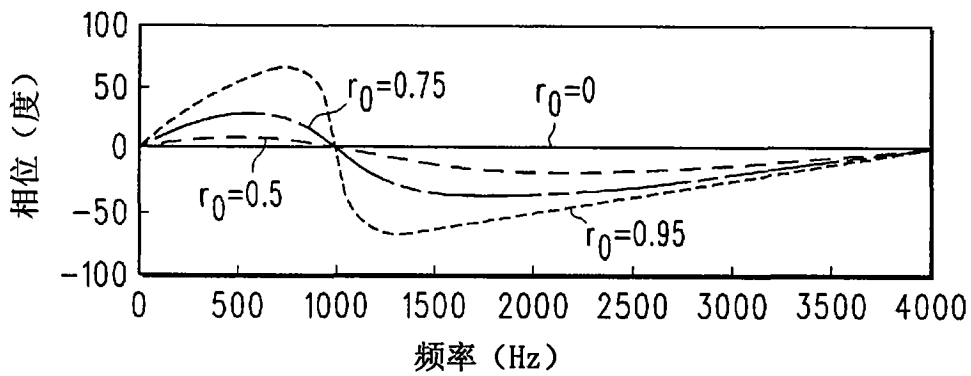


图7

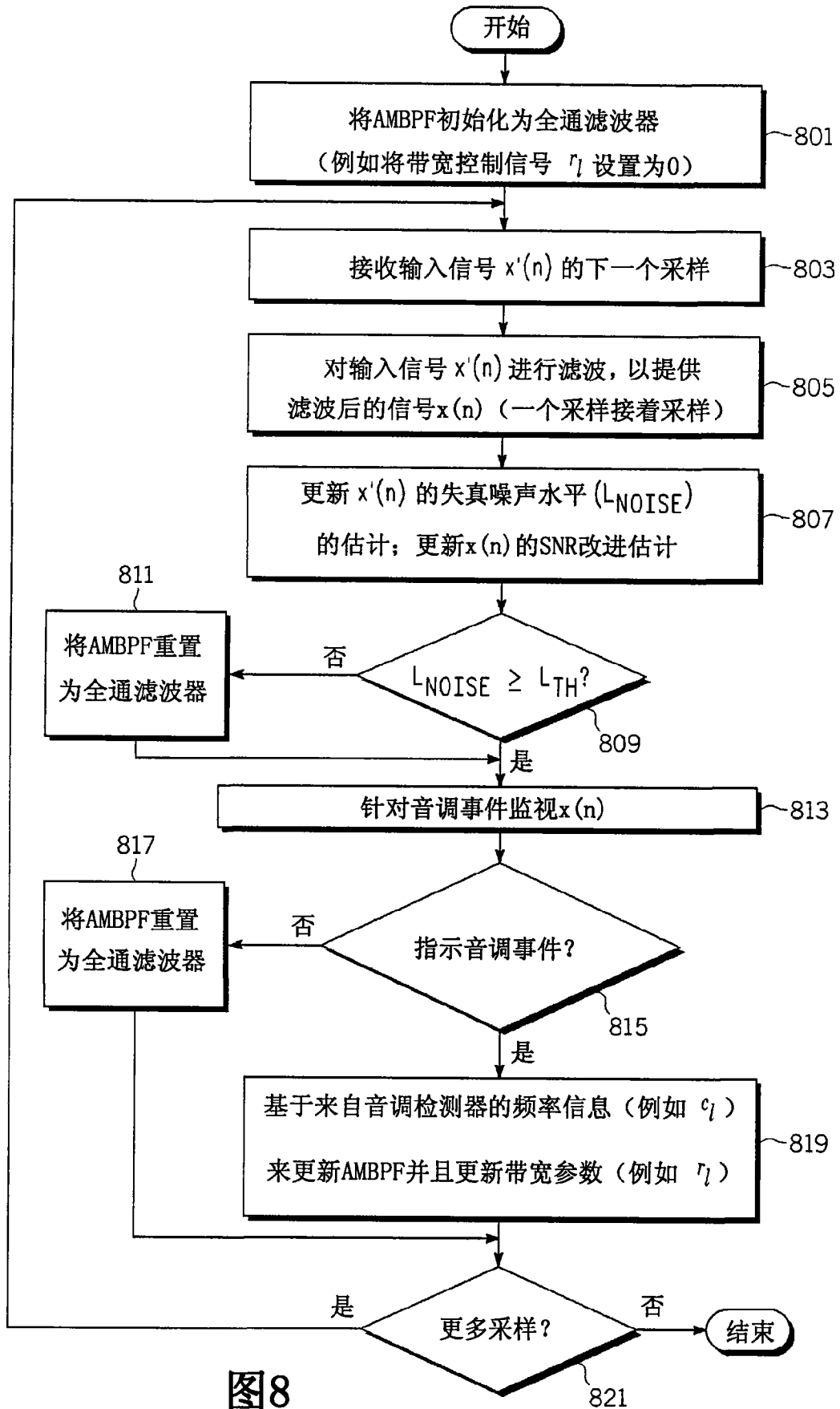


图8

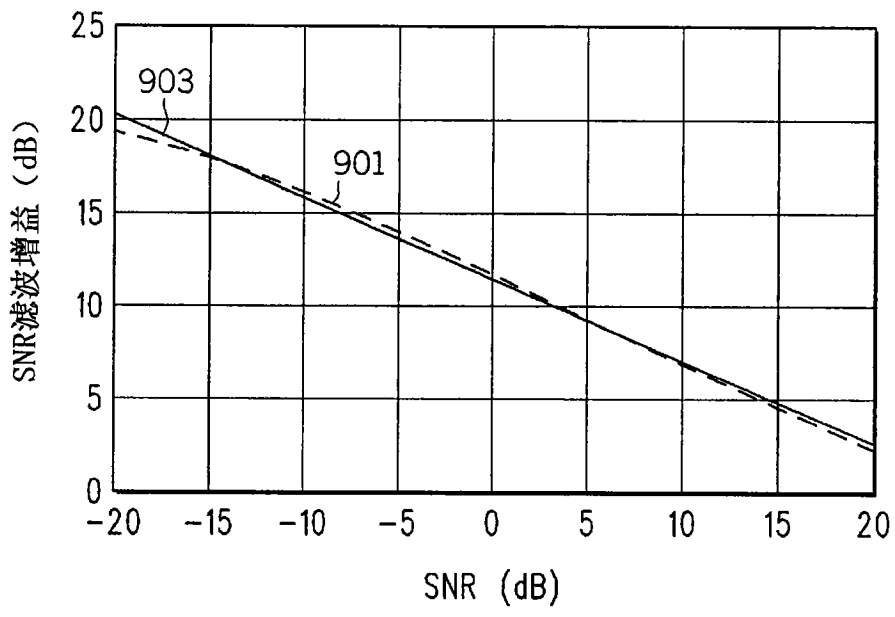


图 9