



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113225277 B

(45) 授权公告日 2023. 12. 19

(21) 申请号 202010070985.0

CN 102882817 A, 2013.01.16

(22) 申请日 2020.01.21

US 2013064281 A1, 2013.03.14

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 110603582 A, 2019.12.20

申请公布号 CN 113225277 A

US 6744814 B1, 2004.06.01

US 9838072 B1, 2017.12.05

(43) 申请公布日 2021.08.06

黄琴. 短波信道中TCM解码与自适应均衡的联合实现.《中国优秀博硕士学位论文全文数据库(硕士)信息科技辑》.2004,(第4期),I136-381.

(73) 专利权人 瑞昱半导体股份有限公司

地址 中国台湾新竹

Ji Juan-juan等.Orthogonal Wavelet Transform based Double-error function Blind Equalization Optimization Algorithm.《2009 INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT HUMAN-MACHINE SYSTEMS AND CYBERNETICS》.2019,第1卷全文.

(72) 发明人 苏季希 黄亮维

审查员 廖丹峰

(74) 专利代理机构 北京市立方律师事务所

11330

专利代理师 李娜 赵莎

(51) Int.Cl.

H04L 25/03 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 101257583 A, 2008.09.03

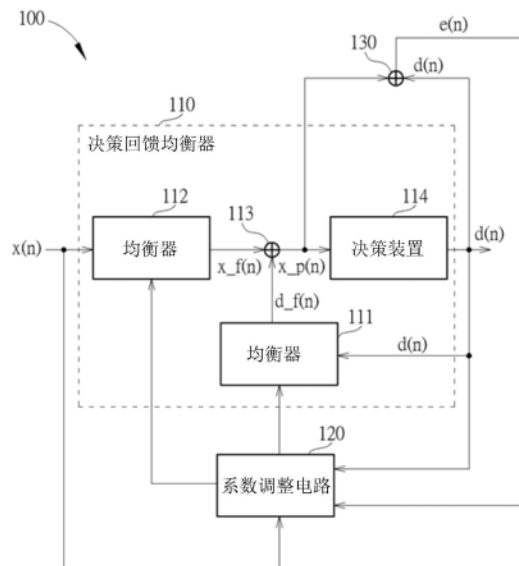
权利要求书3页 说明书7页 附图10页

(54) 发明名称

信号处理装置与信号处理方法

(57) 摘要

一种信号处理装置,包括一决策回馈均衡器以及一系数调整电路。决策回馈均衡器包括第一均衡器,用以根据一组第一系数对一第一信号执行滤波操作,以产生一第一滤波过的信号,其中该组第一系数包括多个第一系数。系数调整电路用以根据一错误信号适应性地调整第一系数中的一或多者。第一系数的限制操作还选择性地被执行,当第一系数的限制操作被执行时,第一系数中的至少一者被设定为一第一既定数值,以产生一组受限制的第一系数。



1. 一种信号处理装置,该信号处理装置包括:

决策回馈均衡器,包括:

第一均衡器,用以根据一组第一系数对第一信号执行滤波操作,以产生第一滤波过的信号,其中该组第一系数包括多个第一系数,和

第二均衡器,用以根据一组第二系数对第二信号执行滤波操作,以产生第二滤波过的信号,其中该组第二系数包括多个第二系数,以及

系数调整电路,用以根据错误信号适应性地调整该多个第一系数中的一者或多者,

其中该多个第一系数的限制操作还选择性地被执行,当该多个第一系数的该限制操作被执行时,该多个第一系数中的至少一者被设定为第一既定数值,以产生一组受限制的第一系数,并且当该第一均衡器根据该组受限制的第一系数执行滤波操作时,该第二均衡器具有特定频率响应,该特定频率响应于特定频带具有削弱的增益值,并且

其中该系数调整电路还根据该错误信号适应性地调整该多个第二系数中的一者或多者,并且该多个第二系数的限制操作还在适应性地调整该多个第二系数中的一者或多者的过程中选择性地被执行,并且当该多个第二系数的该限制操作被执行时,该多个第二系数中的至少一者在适应性地调整该多个第二系数中的一者或多者的过程中还根据削弱因子被调整,以产生一组受限制的第二系数。

2. 如权利要求1所述的信号处理装置,其中该第一均衡器为回馈式均衡器,该第二均衡器为前馈式均衡器。

3. 如权利要求2所述的信号处理装置,其中该决策回馈均衡器还包括:

第一结合器,耦接至该第一均衡器与该第二均衡器,用以结合该第一滤波过的信号与该第二滤波过的信号,以产生处理过的信号;

决策装置,用以根据该处理过的信号产生决策信号;以及

第二结合器,耦接至该第一结合器与该决策装置,用以结合该处理过的信号与该决策信号,以产生该错误信号。

4. 如权利要求1所述的信号处理装置,其中该组第二系数与该组受限制的第二系数为该第二均衡器于频域的系数,在该多个第二系数的该限制操作被执行后,该组受限制的第二系数所对应的频率响应于特定频带具有削弱的增益值。

5. 如权利要求1所述的信号处理装置,还包括:

快速傅立叶转换装置,耦接至该第二均衡器,用以对输入信号执行快速傅立叶转换以产生该第二信号;

快速傅立叶逆转换装置,耦接至该第二均衡器,用以对该第二滤波过的信号执行快速傅立叶逆转换以产生输出信号;

第一结合器,耦接至该第一均衡器与该快速傅立叶逆转换装置,用以结合该第一滤波过的信号与该输出信号,以产生处理过的信号;

决策装置,用以根据该处理过的信号产生决策信号;以及

第二结合器,耦接至该第一结合器与该决策装置,用以结合该处理过的信号与该决策信号,以产生该错误信号。

6. 一种信号处理方法,包括:

根据错误信号适应性地调整第一均衡器的一组第一系数,其中该组第一系数包括多个

第一系数；

根据该错误信号适应性地调整第二均衡器的一组第二系数,其中该组第二系数包括多个第二系数；

在适应性地调整该组第一系数后,响应于控制信号选择性地执行该组第一系数的限制操作,其中当该限制操作被执行时,将该多个第一系数中的至少一者设定为第一既定数值,以产生一组受限制的第一系数;并且当该第一均衡器根据该组受限制的第一系数执行滤波操作时,该第二均衡器具有特定频率响应,该特定频率响应于特定频带具有削弱的增益值;

将该组第一系数或该组受限制的第一系数提供至该第一均衡器,使该第一均衡器根据该组第一系数或该组受限制的第一系数执行滤波操作;以及

将该组第二系数提供至该第二均衡器,使该第二均衡器根据该组第二系数执行滤波操作,

其中,根据该错误信号适应性地调整第二均衡器的一组第二系数包括:

根据该错误信号适应性地调整该多个第二系数中的一者或多者,并且该多个第二系数的限制操作还在适应性地调整该多个第二系数中的一者或多者的过程中选择性地被执行,并且当该多个第二系数的该限制操作被执行时,该多个第二系数中的至少一者在适应性地调整该多个第二系数中的一者或多者的过程中还根据削弱因子被调整,以产生一组受限制的第二系数,

其中该组第一系数与该组受限制的第一系数为该第一均衡器于时域的系数。

7. 如权利要求6所述的信号处理方法,其中,该组第二系数为该第二均衡器于时域的系数;

其中该第一均衡器为通讯装置内的回馈式均衡器,该第二均衡器为该通讯装置内的前馈式均衡器。

8. 一种信号处理方法,包括:

根据错误信号适应性地调整第一均衡器的一组第一系数,其中该组第一系数包括多个第一系数;

根据该错误信号适应性地调整第二均衡器的一组第二系数,其中该组第二系数包括多个第二系数;

将该组第一系数或一组受限制的第一系数提供至该第一均衡器,使该第一均衡器根据该组第一系数或该组受限制的第一系数执行滤波操作;以及

将该组第二系数提供至该第二均衡器,使该第二均衡器根据该组第二系数执行滤波操作,

其中该组第一系数与该组受限制的第一系数为该第一均衡器于频域的系数,并且其中根据该错误信号适应性地调整该第一均衡器的该组第一系数的该步骤包括:

响应于控制信号选择性地执行该组第一系数的限制操作,其中当该限制操作被执行时,该多个第一系数中的至少一者还根据削弱因子适应性地被调整,以产生该组受限制的第一系数;并且当该第一均衡器根据该组受限制的第一系数执行滤波操作时,该第二均衡器具有特定频率响应,该特定频率响应于特定频带具有削弱的增益值。

9. 如权利要求8所述的信号处理方法,其中该第一均衡器为通讯装置内的前馈式均衡器,在该组第一系数的该限制操作被执行后,该组受限制的第一系数所对应的频率响应于

特定频带具有削弱的增益值。

信号处理装置与信号处理方法

技术领域

[0001] 本发明是关于一种可应用于通讯装置内的信号处理装置,尤指一种可有效降低射频干扰对于系统效能影响的信号处理装置。

背景技术

[0002] 通讯系统通常包括发送机与接收机等通讯装置。发送机会将欲发送的信号,例如,一个或多个符号,在调变的过程中根据其承载的内容设定于对应的电压电平,并经由适当的处理(例如,编码、放大等信号处理)后发送出去。接收机则负责接收信号并处理接收到的信号。接收机电路通常会包括一决策装置,或称裁剪器(slicer),用以判定由发送端所发送的符号所对应的电压电平。然而,在多數的通讯系统中,外部或内部产生的干扰都可能导致传输信号产生电压偏移,举例而言,传输信道内的噪声可能造成传输信号的电压电平偏移其理想的电压电平(即,发送端所设定的电压电平),进而导致决策装置判定错误。

[0003] 有鉴于此,通讯装置通常会配置相关电路/装置,用以补偿信道效应对信号造成的影响。补偿电路/装置通常可藉由适应性的方式调整/训练相关的参数,使得信道效应补偿效能可达优化。然而,通常训练参数的环境内并不包含实际存在于真实通讯环境内的射频干扰。因此,虽补偿电路/装置的参数可于训练的过程中被调整到最佳值,但当接收机电路实际开始运作时,射频干扰仍会对接收机电路的整体效能造成影响。举例而言,由于接收机的射频前端电路以及/或补偿电路/装置通常会将接收到的信号做一定程度的放大后处理,此时不想要的射频干扰成分也会被放大。当射频干扰经放大后变得过大时,所需信号的电压电平偏移量也会过大,过大的电压电平偏移量将造成接收端误判,使通讯效能下降。若接收端持续发生误判或封包错误的问题,最终可能导致接收端与发送端的联机中断等严重后果。

发明内容

[0004] 本发明的一目的在于提供一种信号处理方法与相关的信号处理装置,以解决上述射频干扰过大的问题。在本发明所提出的信号处理方法与对应的信号处理装置中,藉由于频域或于时域限制均衡器的参数,使得均衡器的频率响应于特定的频率范围可有效地被削弱。

[0005] 本发明的一实施例提供一种信号处理装置,包括一决策回馈均衡器以及一系数调整电路。决策回馈均衡器包括第一均衡器,用以根据一组第一系数对一第一信号执行滤波操作,以产生一第一滤波过的信号,其中该组第一系数包括多个第一系数。系数调整电路用以根据一错误信号适应性地调整第一系数的一或多者。第一系数的一限制操作更选择性地被执行,当第一系数的限制操作被执行时,第一系数中的至少一者被设定为一第一既定数值,以产生一组受限制的第一系数。

[0006] 本发明的另一实施例提供一种信号处理方法,包括:根据一错误信号适应性地调整一第一均衡器的一组第一系数,其中该组第一系数包括多个第一系数;在适应性地调整

该组第一系数后,响应于一控制信号选择性地执行该组第一系数的一限制操作,其中当限制操作被执行时,将第一系数中的至少一者设定为一第一既定数值,以产生一组受限制的第一系数;以及将该组第一系数或该组受限制的第一系数提供至第一均衡器,使第一均衡器根据该组第一系数或该组受限制的第一系数执行滤波操作,其中该组第一系数与该组受限制的第一系数为第一均衡器于时域的系数。

[0007] 本发明的另一实施例提供一种信号处理方法,包括:根据一错误信号适应性地调整一第一均衡器的一组第一系数,其中该组第一系数包括多个第一系数;以及将该组第一系数或一组受限制的第一系数提供至第一均衡器,使第一均衡器根据该组第一系数或该组受限制的第一系数执行滤波操作,其中该组第一系数与该组受限制的第一系数为第一均衡器于频域的系数,并且其中根据错误信号适应性地调整第一均衡器的该组第一系数的步骤包括:响应于一控制信号选择性地执行该组第一系数的一限制操作,其中当限制操作被执行时,第一系数中的至少一者还根据一削弱因子适应性地被调整,以产生该组受限制的第一系数。

附图说明

- [0008] 图1是显示根据本发明的第一实施例所述的信号处理装置的范例方块图。
[0009] 图2是显示根据本发明的第一实施例所述的系数调整电路的范例方块图。
[0010] 图3是显示根据本发明的第一实施例所述的信号处理装置的部分方块图。
[0011] 图4是显示根据本发明的第一实施例所述的信号处理方法的一范例流程图。
[0012] 图5是显示根据本发明的第一实施例所述的频率响应范例示意图。
[0013] 图6是显示根据本发明的第二实施例所述的信号处理装置的范例方块图。
[0014] 图7是显示根据本发明的第二实施例所述的系数调整电路的范例方块图。
[0015] 图8是显示根据本发明的第二实施例所述的信号处理装置的部分方块图。
[0016] 图9是显示根据本发明的第二实施例所述的信号处理方法的一范例流程图。
[0017] 图10是显示根据本发明的第二实施例所述的频率响应范例示意图。

具体实施方式

[0018] 图1是显示根据本发明的第一实施例所述的信号处理装置的范例方块图。信号处理装置100适用于一通讯装置,例如,一通讯系统内的接收机,用以处理接收到的信号。信号处理装置100可包括一决策回馈均衡器110以及一系数调整电路120。决策回馈均衡器110可包括均衡器111与均衡器112、结合器113以及决策装置114。均衡器111根据一组第一系数对信号 $d(n)$ 执行滤波操作,以产生滤波过的信号 $d_f(n)$,其中该组第一系数可包括多个第一系数,信号 $d(n)$ 为决策装置114的一输出信号(或称决策信号)。均衡器112根据一组第二系数对信号 $x(n)$ 执行滤波操作,以产生滤波过的信号 $x_f(n)$,其中该组第二系数可包括多个第二系数,信号 $x(n)$ 可以是信号处理装置100的一输入信号,或者接收机的一接收到的信号。

[0019] 结合器113耦接至均衡器111与112,用以结合信号 $x_f(n)$ 与信号 $d_f(n)$,以产生处理过的信号 $x_p(n)$ 。决策装置114可为一裁剪器(slicer),用以根据处理过的信号 $x_p(n)$ 产生决策信号 $d(n)$ 。

[0020] 信号处理装置100还可以包括另一结合器130,耦接至结合器113与决策装置114,用以结合处理过的信号 $x_p(n)$ 与决策信号 $d(n)$,例如,将两者相减,以产生错误信号 $e(n)$ 。系数调整电路120可根据错误信号 $e(n)$ 、决策信号 $d(n)$ 与信号 $x(n)$ 适应性地调整第一系数中的一或多者与第二系数中的一或多者。式(1)与式(2)是显示出在系数调整电路120中所执行的适应性调整操作:

$$[0021] \quad c_i(n+1) = c_i(n) + \mu_c [x(n+i)e(n+i)], i = -(K-1), \dots, 0, 1, \dots, N \quad \text{式(1)}$$

$$[0022] \quad b_j(n+1) = b_j(n) + \mu_b [d(n+j)e(n+j)], j = 1, \dots, N \quad \text{式(2)}$$

[0023] 其中 $b_j(n)$ 为均衡器111于时域的系数(即,均衡器于时域执行滤波操作时所使用的系数), $c_i(n)$ 为均衡器112于时域的系数, n 代表取样时间点 n 的时间索引, j 为均衡器111的阶数索引, i 为均衡器112的阶数索引, N 为均衡器111阶数(tapnumber), $(N+K)$ 为均衡器112的阶数, μ_c 为调整系数 $c_i(n)$ 所使用的权重, μ_b 为调整系数 $b_j(n)$ 所使用的权重。

[0024] 图2是显示根据本发明的第一实施例所述的系数调整电路的范例方块图。如图所示,系数调整电路220可包括多个乘法器(例如乘法器221、222、225与226)、多个结合器(例如结合器223与227)、以及多个延迟电路(例如延迟电路224与228),用以根据错误信号 $e(n)$ 、决策信号 $d(n)$ 与输入信号 $x(n)$ 以及回授的系数 $c_i(n)$ 与 $b_j(n)$ 产生系数 $c_i(n+1)$ 与 $b_j(n+1)$ 。

[0025] 根据本发明的第一实施例,除上述适应性调整外,响应于一控制信号constrain_en,均衡器111的系数 $b_j(n)$ 的一限制操作还可以选择性地被执行。当限制操作被执行时,系数 $b_j(n)$ 中的至少一者会被设定为既定数值,以产生一组受限制的系数。式(3)是显示出系数 $b_j(n)$ 的限制操作:

$$[0026] \quad b_1(n) = p_1, b_2(n) = p_2, \dots, b_M(n) = p_M \quad \text{式(3)}$$

[0027] 其中 $M < N$,而 p_1, p_2, \dots, p_M 为事先设计的常数。

[0028] 图3是显示根据本发明的第一实施例所述的信号处理装置的部分方块图,用以说明均衡器的滤波操作以及系数 $b_j(n)$ 的限制操作。在第一实施例中,均衡器111/311为一回馈式均衡器(FeedBack Equalizer,缩写为FBE),均衡器112/312为一前馈式均衡器(FeedForward Equalizer,缩写为FFE),均衡器111/311与112/312于时域执行滤波操作。如图3所示,藉由多个延迟电路331与332将信号 $x(n)$ 与 $d(n)$ 延迟后产生对应的延迟信号,再藉由多个乘法器333与334将上述信号与对应的系数 $c_{-K+1}(n)$ 、 $c_{-K+2}(n) \dots c_0(n)$ 、 $c_1(n) \dots c_{N+1}(n)$ 、 $c_N(n)$ 以及 $b_1(n) \dots b_{N-1}(n)$ 、 $b_N(n)$ 或受限制的系数 p_1, p_{N-1}, \dots, p_N 相乘,以实施滤波器于时域的滤波操作。

[0029] 如图3所示,均衡器311可包括多个多任务器335,响应于由一外部装置所产生的控制信号constrain_en选择将 $b_j(n)$ 或 p_j 的其中一者输出至乘法器333。

[0030] 图4是显示根据本发明的第一实施例所述的信号处理方法的一范例流程图。信号处理方法可由如图1~3所示的信号处理装置所执行,并包括以下步骤:

[0031] 步骤S402:根据一错误信号适应性地调整均衡器的一组系数。如式(1)与式(2)以及图2所示的由系数调整电路120/220所执行的适应性调整。

[0032] 步骤S404:在适应性地调整该组系数后,响应于一控制信号选择性地执行系数的限制操作。当系数的限制操作并未被执行时,该组系数未被调整。当系数的限制操作被执行时,系数 $b_1(n) \sim b_N(n)$ 中的一或多个系数 $b_j(n)$ 会被设定为既定数值 p_j ,以产生一组受限制

的系数。如式(3)以及图3所示,根据控制信号constrain_en选择性将 $b_j(n)$ 或 p_j 的其中一者输出至对应的乘法器。

[0033] 步骤S406:将该组系数(当系数的限制操作并未被执行时)或该组受限制的系数(当系数的限制操作被执行时)提供至均衡器,使均衡器根据目前的系数执行滤波操作。如图3所示,藉由多任务器335将对应的系数输出,以执行滤波操作。

[0034] 在本发明的第一实施例中,系数的限制操作是于时域执行的。藉由所述限制操作将均衡器111/311的第1~M阶系数设定为事先设计的常数,可使均衡器112/312的频率响应于一特定频带具有一削弱的增益值。由于均衡器111/311与均衡器112/312的频率响应彼此相关,因此,当均衡器111/311的第1~M阶系数藉由所述限制操作被重新塑形(reshape)时,即便均衡器112/312的系数并未被调整,其频率响应也会因均衡器111/311的系数重新塑形而有对应的变化。假设当均衡器111/311根据未被重新塑形的系数(即,根据适应性调整而产生的系数)执行滤波操作时,均衡器112/312具有第一频率响应,而当均衡器111/311根据被重新塑形的/受限制的系数(即,一或多个系数被设定为 p_j)执行滤波操作时,均衡器112/312具有第二频率响应,则相较于第一频率响应,第二频率响应于一特定频带具有一削弱的增益值。

[0035] 图5是显示根据本发明的第一实施例所述的频率响应范例示意图。频率响应曲线501代表当均衡器111/311根据未被重新塑形的系数执行滤波操作时均衡器112/312的频率响应,频率响应曲线502代表当均衡器111/311根据被重新塑形的/受限制的系数执行滤波操作时均衡器112/312的频率响应。由图中可以看出,相较于频率响应曲线501,频率响应曲线502在正规化的频率 $0 \sim 0.7(\pi * \text{轻度}/\text{取样次数})$ 的频带具有一削弱的增益值,其中正规化的频率的计算方式可以是频率/取样频率。

[0036] 根据本发明的一实施例,所述系数的限制操作(重新塑形)可在系数的适应性训练过程中被实行,也可在适应性训练完成后被实行。举例而言,均衡器111/311与112/312的系数可在一适应性训练过程中根据错误信号 $e(n)$ 被适应性地调整,以期可使错误信号 $e(n)$ 最小化。待适应性训练过程结束后,通常可为均衡器111/311与112/312训练出最佳的系数。而在得到最佳的系数后,可再根据本发明的第一实施例于时域执行回馈式均衡器的系数限制操作,其中常数 p_1, p_2, \dots, p_M 可事先根据需要削弱增益值的频率范围而设计。如此一来,即便前馈式均衡器的系数并未被调整,藉由限制回馈式均衡器的系数,仍可使前馈式均衡器的频率响应产生对应的变化,以达到削弱的增益值效果。

[0037] 图6是显示根据本发明的第二实施例所述的信号处理装置的范例方块图。信号处理装置600适用于一通讯装置,例如,一通讯系统内的接收机,用以处理接收到的信号。信号处理装置600可包括一决策回馈均衡器610以及一系数调整电路620。决策回馈均衡器610可包括均衡器611与均衡器612、结合器613以及决策装置614。均衡器611根据一组第一系数对信号 $d(n)$ 执行滤波操作,以产生滤波过的信号 $d_f(n)$,其中该组第一系数可包括多个第一系数,信号 $d(n)$ 为决策装置614的一输出信号(或称决策信号)。均衡器612根据一组第二系数对信号 $X(n)$ 执行滤波操作,以产生滤波过的信号 $X_f(n)$,其中该组第二系数可包括多个第二系数。

[0038] 在第二实施例中,信号处理装置600或决策回馈均衡器610还可以包括快速傅立叶转换装置615与快速傅立叶逆转换装置616。快速傅立叶转换装置615用以对时域信号 $x(n)$

执行快速傅立叶转换(Fast Fourier Transform,缩写为FFT)以产生频域信号 $X(n)$,其中时域信号 $x(n)$ 可为信号处理装置600的一输入信号,或者接收机的一接收到的信号。快速傅立叶逆转换装置616用以对频域信号(滤波过的信号) $X_f(n)$ 执行快速傅立叶逆转换(Inverse FFT,缩写为IFFT)以产生一输出信号 $x_f(n)$,其中输出信号 $x_f(n)$ 为时域信号。结合器613耦接至均衡器611与快速傅立叶逆转换装置616,用以结合信号 $x_f(n)$ 与信号 $d_f(n)$,以产生处理过的信号 $x_p(n)$ 。决策装置614可为一裁剪器(slicer),用以根据处理过的信号 $x_p(n)$ 产生决策信号 $d(n)$ 。

[0039] 信号处理装置600还可以包括另一结合器630与快速傅立叶转换装置640。结合器630耦接至结合器613与决策装置614,用以结合处理过的信号 $x_p(n)$ 与决策信号 $d(n)$,例如,将两者相减,以产生错误信号 $e(n)$ 。快速傅立叶转换装置640用以对时域的错误信号 $e(n)$ 执行快速傅立叶转换以产生频域的错误信号 $E(n)$ 。

[0040] 系数调整电路620可根据错误信号 $e(n)$ 与 $E(n)$ 、决策信号 $d(n)$ 与输入信号 $X(n)$ 适应性地调整第一系数中的一或多者与第二系数中的一或多者。式(4)与式(5)是显示出在系数调整电路620中所执行的适应性调整操作:

$$[0041] \quad C_k(n+1) = (1-\alpha_i * \text{leaky_on}_i) * C_k(n) + \mu_c * X_k(n) E_k(n), i=1, \dots, P \quad \text{式(4)}$$

$$[0042] \quad b_j(n+1) = b_j(n) + \mu_b [d(n+j) e(n=j)], j=1, \dots, N \quad \text{式(5)}$$

$$[0043] \quad X_k(n) = \text{FFT}[x(n)], k=1, 2, \dots, K \quad \text{式(6)}$$

$$[0044] \quad E_k(n) = \text{FFT}[e(n)] \quad \text{式(7)}$$

[0045] 其中 $b_j(n)$ 为均衡器611于时域的系数, $C_k(n)$ 为均衡器612于频域的系数(即,均衡器于频域执行滤波操作时所使用的系数), n 代表取样时间点 n 的时间索引, j 为均衡器611的阶数索引, N 为均衡器611的阶数, k 为频域的索引, K 代表快速傅立叶转换装置640执行FFT的点数, μ_c 为调整系数 $c_i(n)$ 所使用的权重, μ_b 为调整系数 $b_j(n)$ 所使用的权重, $X_k(n)$ 为信号 $x(n)$ 执行快速傅立叶转换的结果, $E_k(n)$ 为信号 $e(n)$ 执行快速傅立叶转换的结果。

[0046] 在本发明的第二实施例中,系数 $C_k(n)$ 的限制操作(重新塑形)是在适应性地调整的过程中根据开关信号 leaky_on_i 选择性地被执行,其中系数 $C_k(n)$ 可进一步被分为多个群组,而系数 $C_k(n)$ 的限制操作(重新塑形)可以群组为控制的单位, i 为群组索引值, P 为群组总数量,开关信号 leaky_on_i 的数值可被设定为0或1, α_i 为削弱因子, $0 < \alpha_i < 1$ 。举例而言,当 leaky_on_i 被设定为1时,属于第 i 个群组的系数 $C_k(n)$ 在适应性地调整的过程中还会如式(4)所示根据削弱因子 α_i 被调整,以产生一组受限制的系数。当 leaky_on_i 被设定为0时,属于第 i 个群组的系数 $C_k(n)$ 在适应性地调整的过程中不会根据削弱因子 α_i 被调整。

[0047] 图7是显示根据本发明的第二实施例所述的系数调整电路的范例方块图。如图所示,系数调整电路720可包括多个乘法器(例如乘法器721、722、725、726与727)、多个结合器(例如结合器723与728)、以及多个延迟电路(例如延迟电路724与729),用以根据错误信号 $e(n)$ 、 $E_k(n)$ 、决策信号 $d(n)$ 与输入信号 $X_k(n)$ 以及回授的系数 $C_k(n)$ 与 $b_j(n)$ 产生系数 $C_k(n+1)$ 与 $b_j(n+1)$ 。

[0048] 举例而言,假设快速傅立叶转换装置640执行16点的FFT,即 $K=16$,则均衡器612于频域有16阶的系数 $C_k(n)$ 。此外,假设群组总数量 $P=4$,则每个群组可包括4个系数。当 leaky_on_1 被设定为1时,属于第1个群组的系数 $C_1(n) \sim C_4(n)$ 适应性地调整的过程中还会如式(4)所示根据削弱因子 α_1 被调整,并依此类推。

[0049] 图8是显示根据本发明的第二实施例所述的信号处理装置的部分方块图,用以说明均衡器的滤波操作。在第二实施例中,均衡器611/811为一回馈式均衡器(FBE),均衡器612/812为一前馈式均衡器(FFE),均衡器611/811于时域执行滤波操作,均衡器612/812于频域执行滤波操作。如图8所示,均衡器811藉由多个延迟电路831将信号 $d(n)$ 延迟后产生对应的延迟信号,再藉由多个乘法器833将上述信号与对应的系数 $b_1(n) \cdots b_{N-1}(n)$ 、 $b_N(n)$ 相乘,以实施滤波器于时域的滤波操作。另一方面,均衡器812藉由乘法器832将频域的输入信号与对应的 $C_1(n)$ 、 $C_2(n) \cdots C_k(n)$ 相乘,以实施滤波器于频域的滤波操作。

[0050] 图9是显示根据本发明的第二实施例所述的信号处理方法的一范例流程图。信号处理方法可由如图6~8所示的信号处理装置所执行,并包括以下步骤:

[0051] 步骤S902:根据一错误信号适应性调整均衡器的一组系数。如式(4)与式(5)以及图7所示的由系数调整电路620/720所执行的适应性调整。

[0052] 其中,根据本发明的第二实施例,步骤S902可进一步包括:响应于一控制信号选择性地执行前馈式均衡器(FFE)的系数的一限制操作,其中当限制操作被执行时,前馈式均衡器的系数中的至少一者还根据一削弱因子适应性地被调整,以产生一组受限制的系数。如式(4)以及图7所示,系数 $C_k(n)$ 的限制操作(重新塑形)是在适应性调整的过程中根据开关信号 $leaky_on_i$ 选择性地被执行。

[0053] 步骤S904:将该组系数(当系数的限制操作并未执行时)或该组受限制的系数(当系数的限制操作并执行时)提供至均衡器,使均衡器根据目前的系数执行滤波操作。

[0054] 在本发明的第二实施例中,前馈式均衡器(FFE)的系数的限制操作(重新塑形)是于频域执行。藉由所述限制操作将均衡器612/812的一或多个系数根据事先设计的削弱因子削弱,可使均衡器612/812的频率响应于一特定频带具有一削弱的增益值。假设当均衡器612/812根据未被重新塑形的系数(即,根据适应性调整而产生且未被削弱的系数)执行滤波操作时,均衡器612/812具有第一频率响应,而当均衡器612/812根据被重新塑形的/受限制的系数(即,根据适应性调整而产生且其中的一或多个被削弱的系数)执行滤波操作时,均衡器612/812具有第二频率响应,则相较于第一频率响应,第二频率响应于一特定频带具有一削弱的增益值。

[0055] 图10是显示根据本发明的第二实施例所述的频率响应范例示意图。频率响应曲线1001代表当均衡器612/812根据未被重新塑形的系数执行滤波操作时的频率响应,频率响应曲线1002代表当均衡器612/812根据被重新塑形的/受限制的系数执行滤波操作时的频率响应。由图中可以看出,相较于频率响应曲线1001,频率响应曲线1002在正规化的频率 $0 \sim 0.8(\pi * \text{弧度} / \text{取样次数})$ 的频带具有一削弱的增益值。

[0056] 根据本发明的一实施例,所述系数的限制操作(重新塑形)可在系数的适应性训练过程中被实行,也可在得到最佳的系数后被实行。举例而言,均衡器611/811与612/812的系数可在一适应性训练过程中根据错误信号 $e(n)$ 被适应性调整,以期可使错误信号 $e(n)$ 最小化。在适应性训练过程大致结束后,通常可为均衡器611/811与612/812训练出最佳的系数。而在得到最佳的系数后,可再根据本发明的第二实施例于频域执行前馈式均衡器的系数限制操作,其中开关信号 $leaky_on_i$ 与削弱因子 α_i 可事先根据需要削弱增益值的频率范围而设计。如此一来,前馈式均衡器的频率响应可产生对应的变化,以达到削弱的增益值效果。

[0057] 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。

[0058] 【符号说明】

[0059] 100、600:信号处理装置

[0060] 110、610:决策回馈均衡器

[0061] 111、112、311、312、611、612、811、812:均衡器

[0062] 113、130、223、227、613、630、723、728:结合器

[0063] 114、614:决策装置

[0064] 120、220、620、720:系数调整电路

[0065] 221、222、225、226、333、334、721、722、725、726、727、832、833:乘法器

[0066] 224、228、331、332、724、729、831:延迟电路

[0067] 335:多任务器

[0068] 501、502、1001、1002:频率响应曲线

[0069] 615、640:快速傅立叶转换装置

[0070] 616:快速傅立叶逆转换装置

[0071] $b_1(n)$ 、 $b_1(n+1)$ 、 $b_{N-1}(n)$ 、 $b_N(n)$ 、 $b_N(n+1)$ 、 $c_{-K+1}(n)$ 、 $c_{-K+1}(n+1)$ 、 $c_{-K+2}(n)$ 、 $c_0(n)$ 、 $c_0(n+1)$ 、 $c_1(n)$ 、 $c_{N-1}(n)$ 、 $c_N(n)$ 、 $C_1(n+1)$ 、 $C_2(n+1)$ 、 $C_K(n+1)$ 、 $C_N(n+1)$ 、 $C_1(n)$ 、 $C_2(n)$ 、 $C_K(n)$ 、 p_1 、 p_{N-1} 、 p_N 系数

[0072] constrain_en控制信号

[0073] $d(n)$ 、 $d(n+1)$ 、 $d(n+N)$ 、 $d_f(n)$ 、 $e(n)$ 、 $e(n-K+1)$ 、 $e(n+1)$ 、 $e(n+N)$ 、 $E(n)$ 、 $E_1(n)$ 、 $E_2(n)$ 、 $E_K(n)$ 、 $x(n)$ 、 $X(n)$ 、 $X_1(n)$ 、 $X_2(n)$ 、 $X_K(n)$ 、 $x(n-K+1)$ 、 $x(n+1)$ 、 $x(n+N)$ 、 $x_f(n)$ 、 $X_f(n)$ 、 $x_p(n)$:信号

[0074] leaky_on_i:开关信号

[0075] α_i :削弱因子

[0076] μ_b 、 μ_c :权重

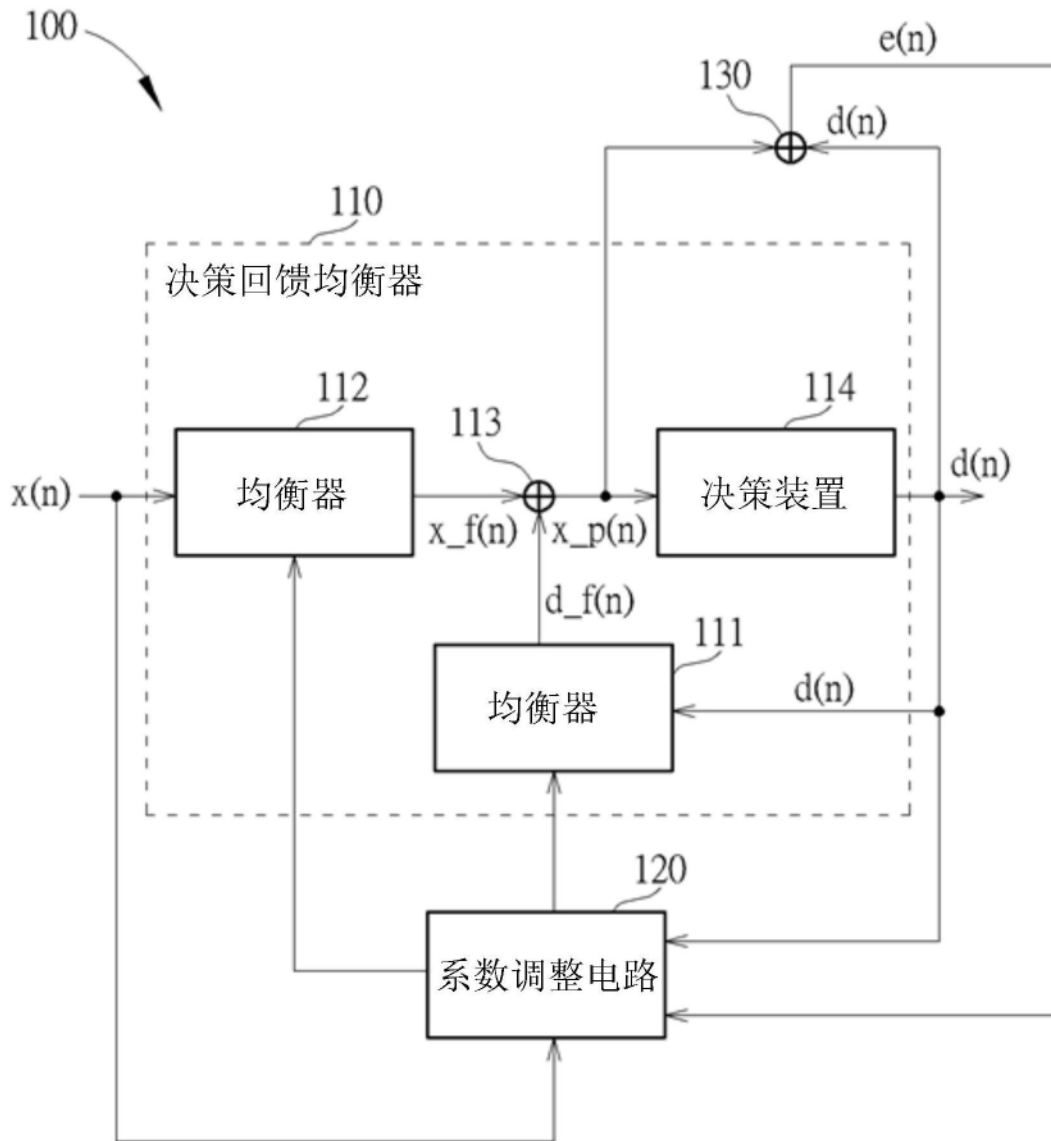


图1

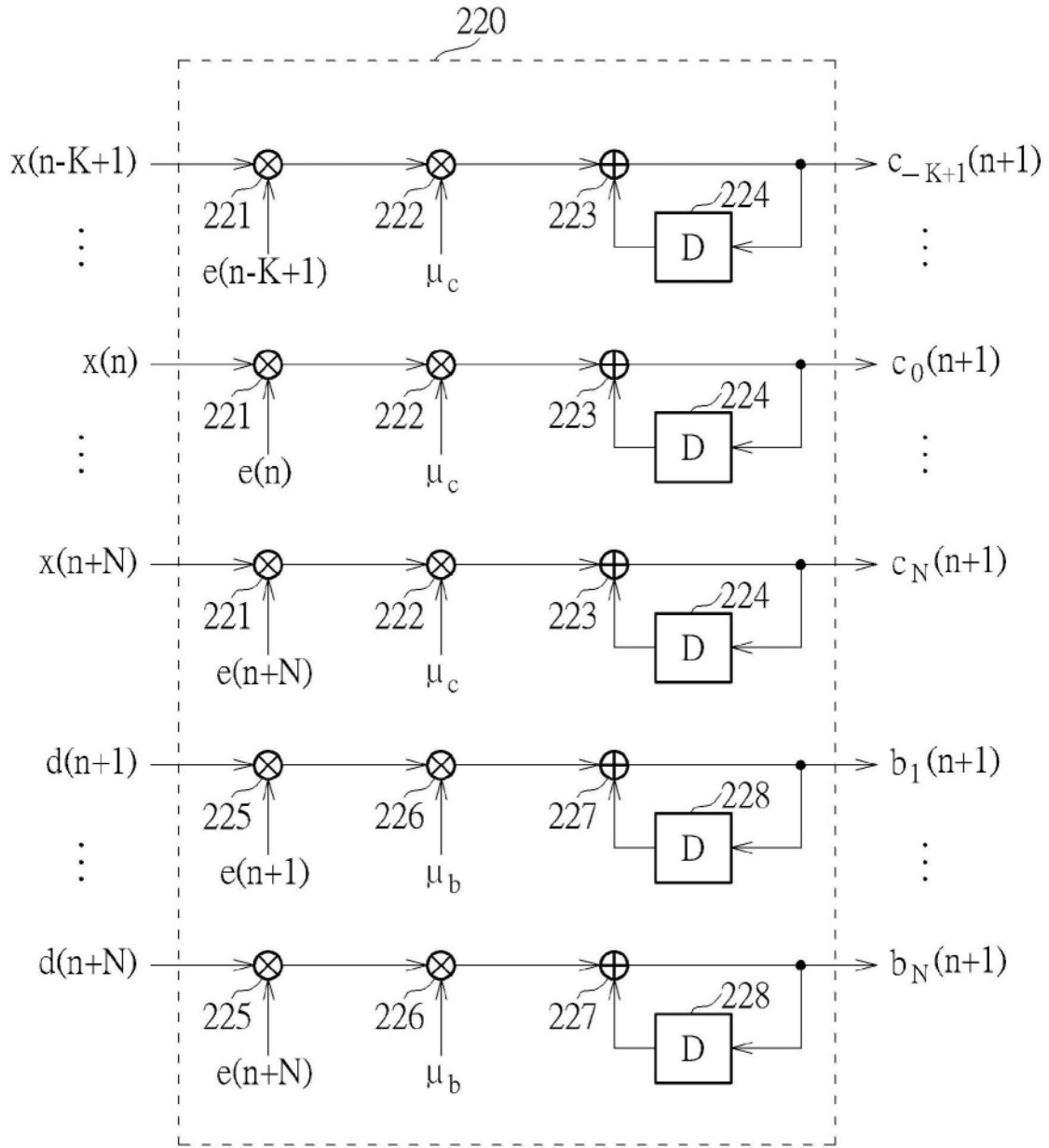


图2

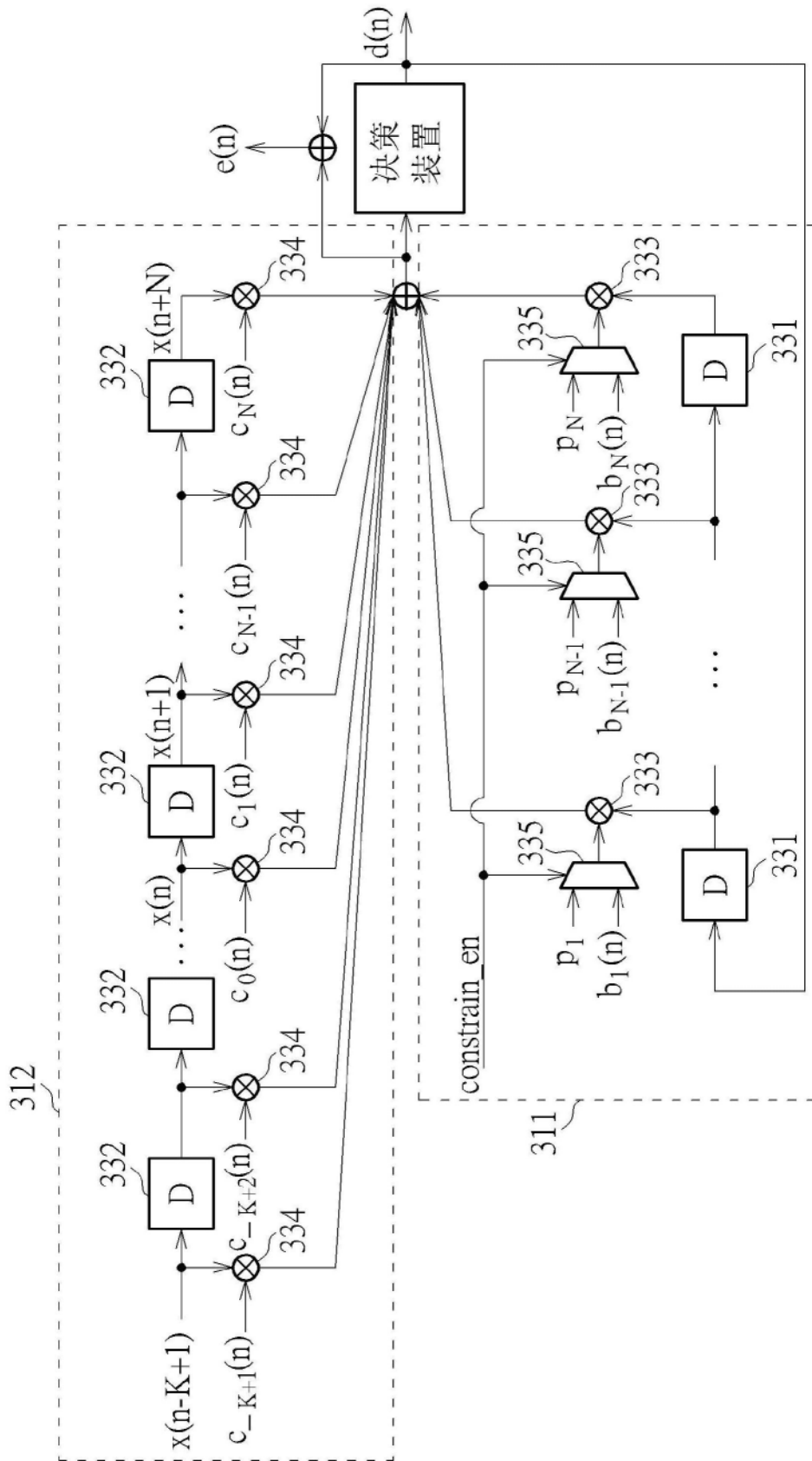


图3

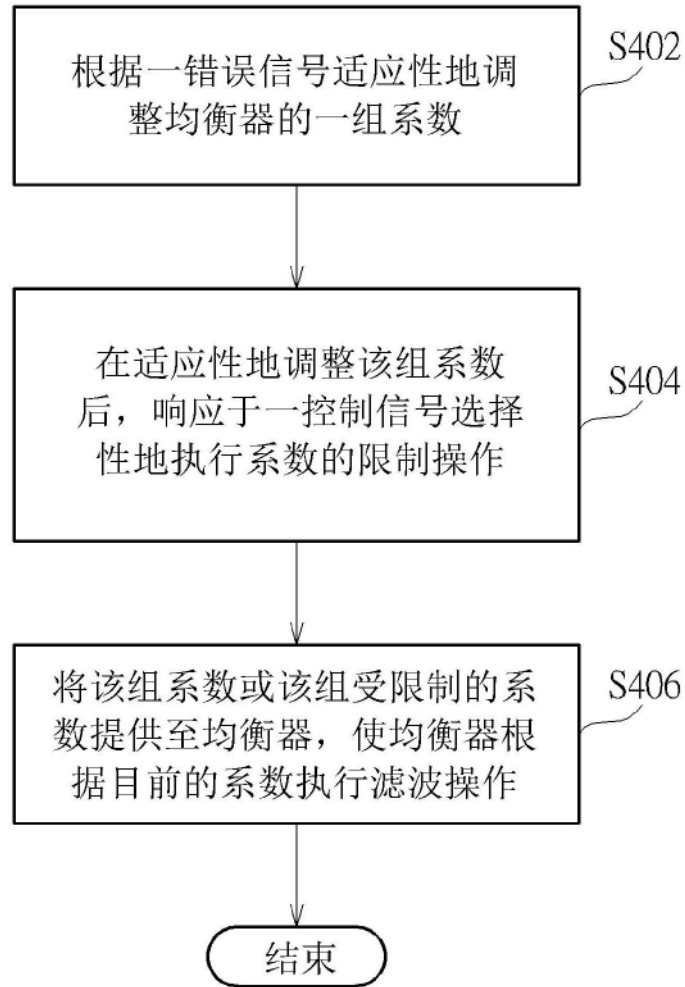


图4

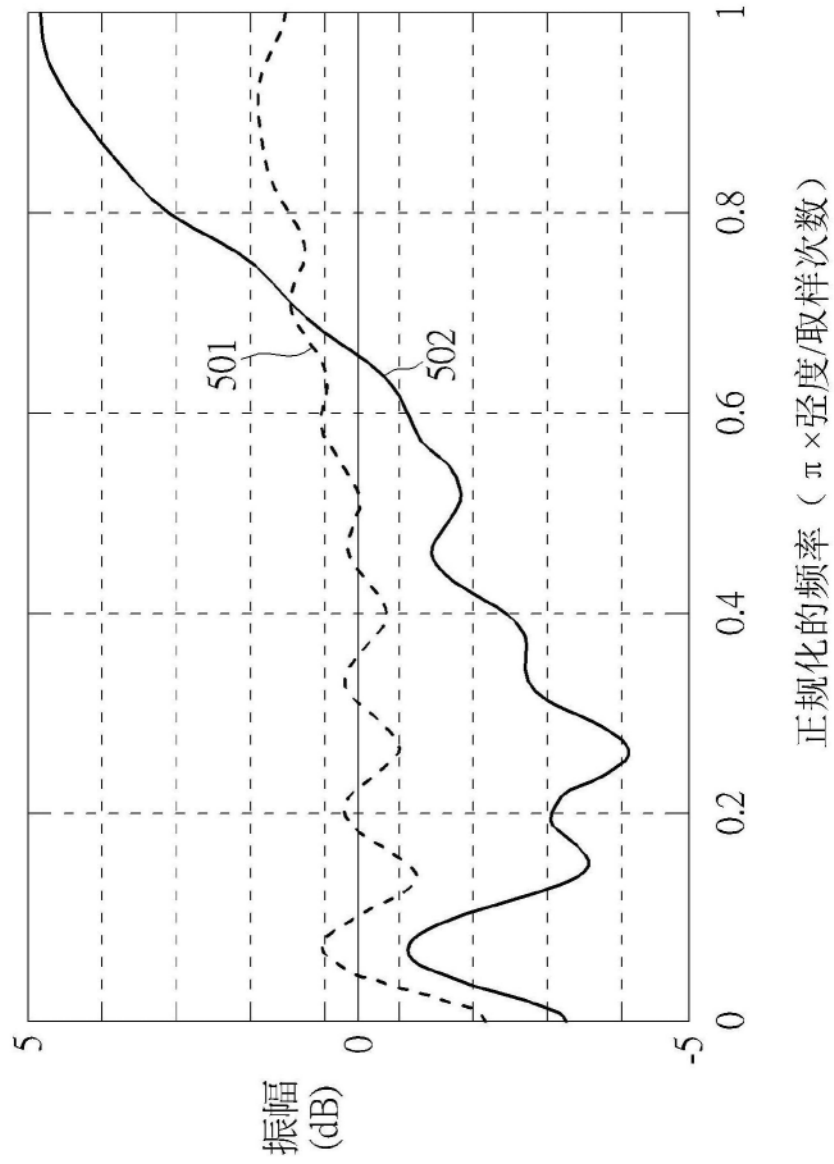


图5

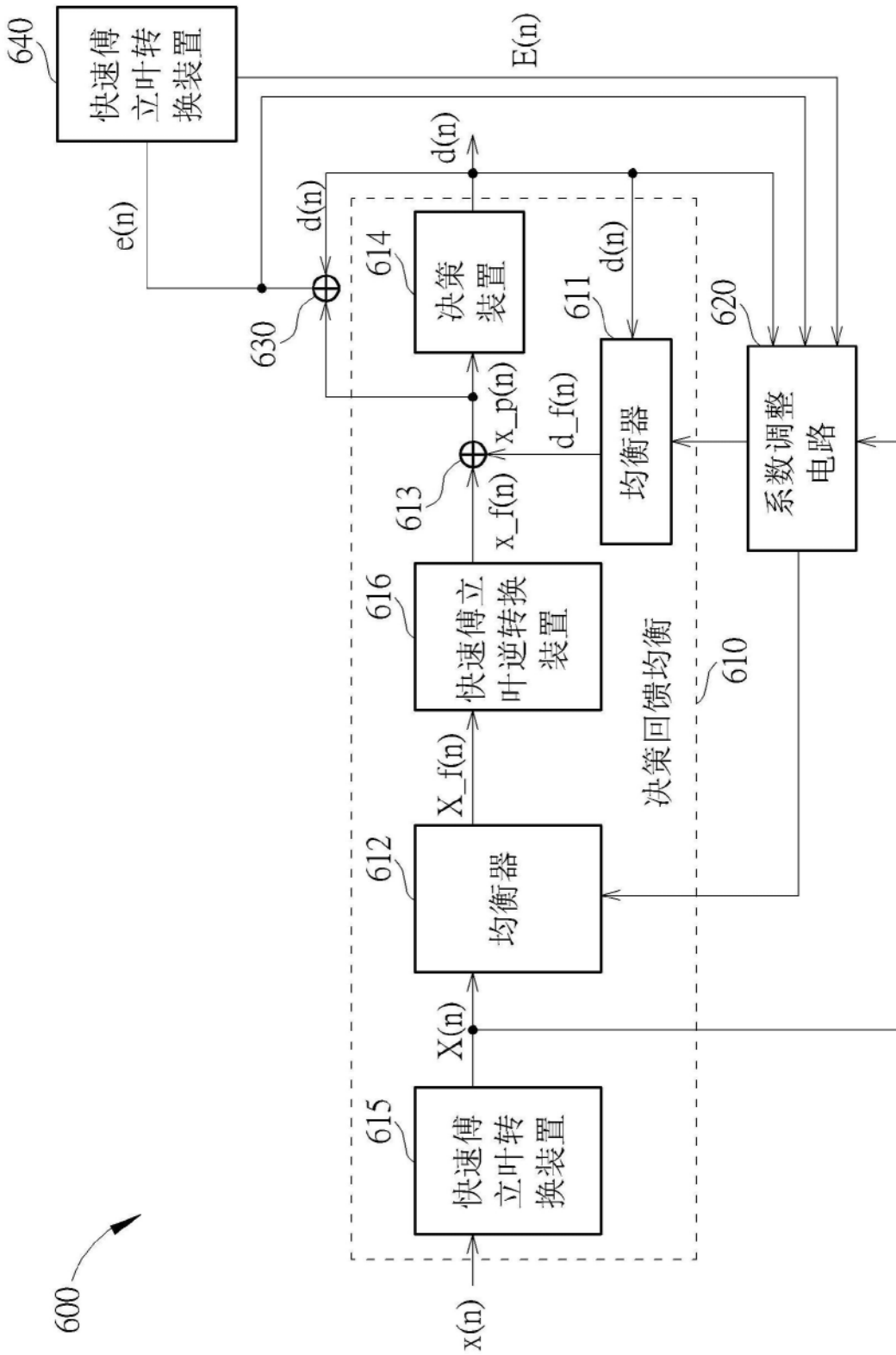


图6

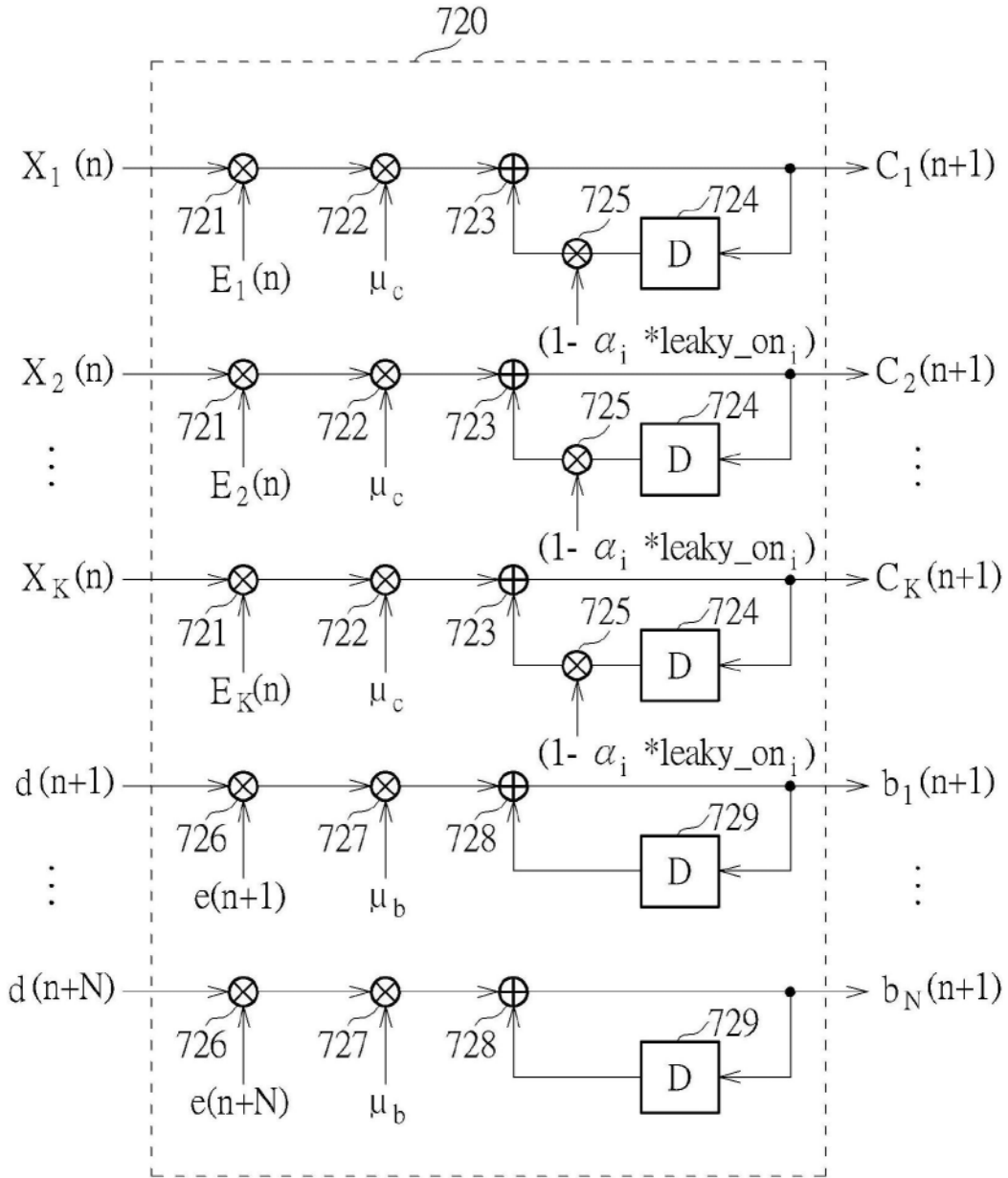


图7

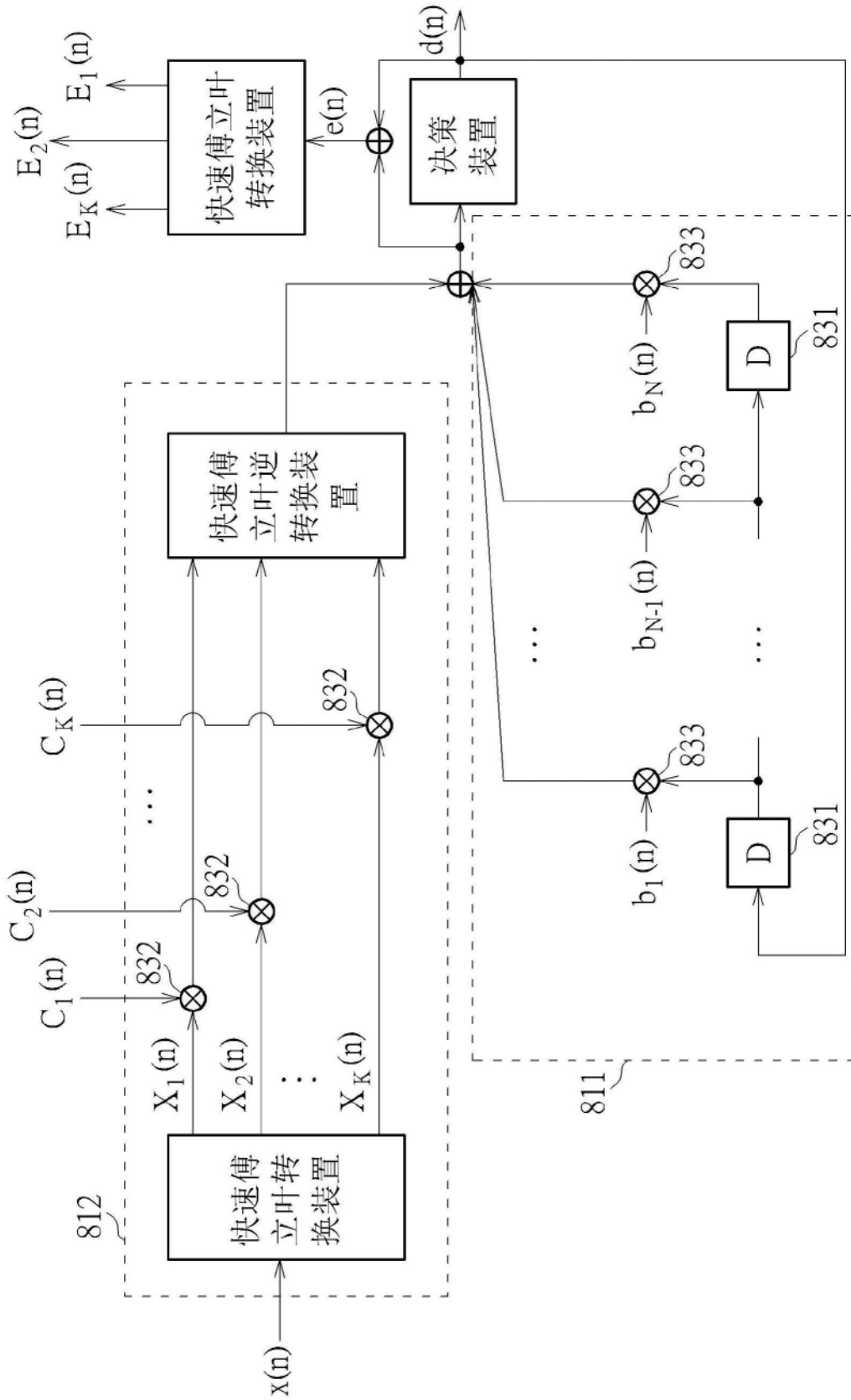


图8

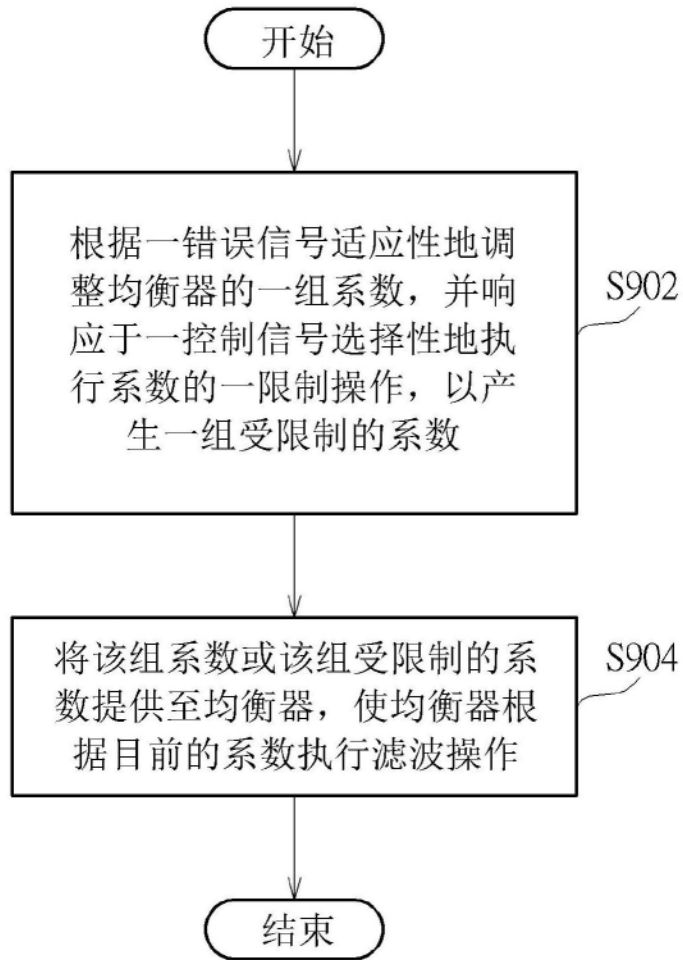


图9

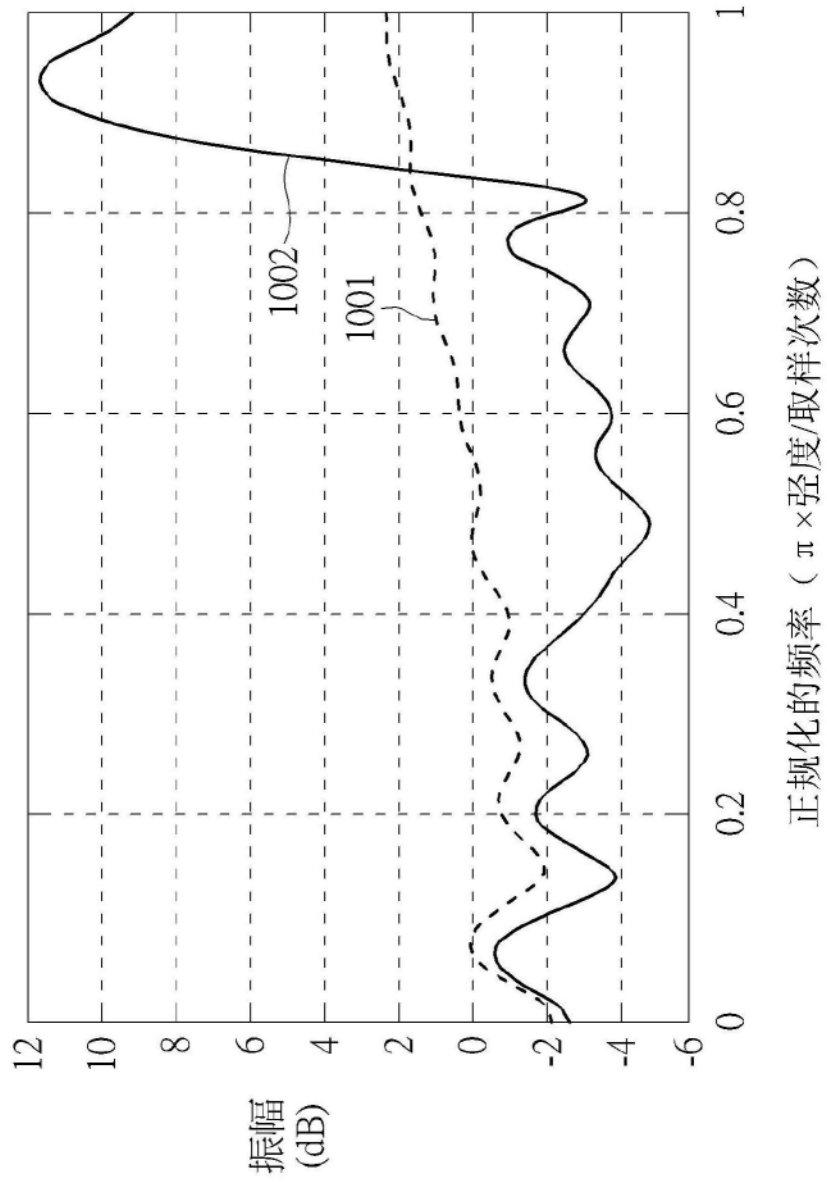


图10