

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织  
国际局



(43) 国际公布日  
2012年7月12日 (12.07.2012)

(10) 国际公布号  
WO 2012/092890 A2

- (51) 国际专利分类号:  
H04L 27/01 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2012/070710
- (22) 国际申请日: 2012年1月21日 (21.01.2012)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (71) 申请人 (对除美国外的所有指定国): 华为技术有限公司 (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) [CN/CN]; 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN).
- (72) 发明人; 及
- (75) 发明人/申请人 (仅对美国): 吕瑞 (LV, Rui) [CN/CN]; 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN).
- (74) 代理人: 广州三环专利代理有限公司 (GUANGZHOU SCIHEAD PATENT AGENT CO., LTD); 中国广东省广州市越秀区先烈中路80号汇华商贸大厦1508室, Guangdong 510070 (CN).
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,

BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

本国际公布:

- 根据申请人的请求, 在条约第21条(2)(a)所规定的期限届满之前进行。
- 不包括国际检索报告, 在收到该报告后将重新公布(细则48.2(g))。

(54) Title: ADAPTIVE EQUALIZATION METHOD AND ADAPTIVE EQUALIZER

(54) 发明名称: 一种自适应均衡方法和自适应均衡器

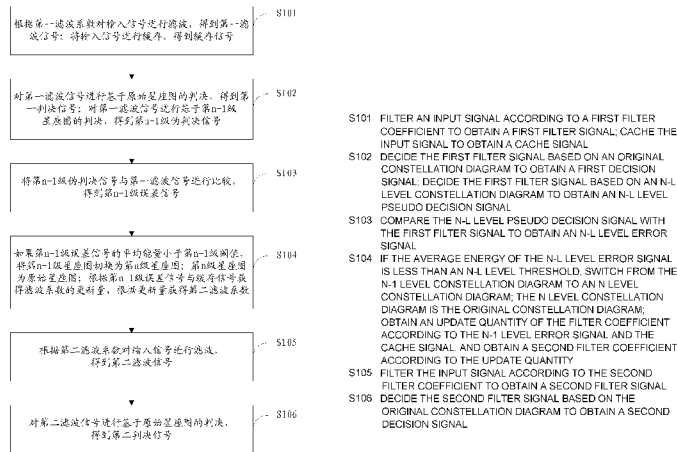


图1/ Fig. 1

(57) Abstract: The present invention relates to the technical field of network communications. Disclosed is an adaptive equalization method comprising: obtaining a first filter signal according to a first filter coefficient; deciding the first filter signal based on an original constellation diagram to obtain a first decision signal; deciding the first filter signal based on an n-1 level constellation diagram to obtain an n-1 level pseudo decision signal; comparing the n-1 level pseudo decision signal with the first filter signal to obtain an n-1 level error signal; if the average energy of the n-1 level error signal is less than an n-1 level threshold, switch the n-1 level constellation diagram to an n level constellation diagram; obtaining an update quantity of the filter coefficient according to the n-1 level error signal and a cache signal, and obtaining a second filter coefficient according to the update quantity; obtaining a second filter signal according to the second filter coefficient; and deciding the second filter signal based on the original constellation diagram to obtain a second decision signal. Also disclosed is an adaptive equalizer.

[见续页]



WO 2012/092890 A2

---

**(57) 摘要:**

本发明涉及网络通信领域，具体公开了一种自适应均衡方法，包括：根据第一滤波系数得到第一滤波信号；对第一滤波信号进行基于原始星座图的判决得到第一判决信号；对第一滤波信号进行基于第  $n-1$  级星座图的判决得到第  $n-1$  级伪判决信号；将第  $n-1$  级伪判决信号与第一滤波信号进行比较得到第  $n-1$  级误差信号；如果第  $n-1$  级误差信号的平均能量小于第  $n-1$  级阈值，将第  $n-1$  级星座图切换为第  $n$  级星座图；根据第  $n-1$  级误差信号与缓存信号获得滤波系数的更新量，根据更新量获得第二滤波系数；根据第二滤波系数得到第二滤波信号；对第二滤波信号进行基于原始星座图的判决得到第二判决信号。本发明实施例还公开了一种自适应均衡器。

## 一种自适应均衡方法和自适应均衡器

### 技术领域

本发明涉及网络通信技术，尤其涉及一种自适应均衡方法和自适应均衡器。

### 背景技术

在无线通信系统中，由于传输信道中多径分量的存在以及器件的非线性特性，导致系统中的传输信号往往存在码间串扰。自适应均衡技术能够对传输系统的畸变进行补偿和跟踪，消除传输信号的码间串扰，因此在无线通信系统中得到广泛应用。

自适应均衡器的性能主要通过收敛速度、收敛误差和盲均衡收敛特性评价。在突发通信和高速通信等环境下，要求自适应均衡器具有更高的性能。

现有技术中，通过改变自适应均衡器中系数更新单元的迭代更新步长参数或迭代更新算法，来调节自适应均衡器的收敛速度和收敛误差，提高自适应均衡器的性能。但是，受自适应均衡器中滤波器固有特性的限制，系数更新单元中对收敛速度与收敛误差的调节是互相制约的，提高一个性能的同时另一性能会降低，并且这种方法无法提高盲均衡收敛能力。

### 发明内容

本发明的实施例提供了一种自适应均衡方法和自适应均衡器，解决现有技术收敛速度与收敛误差的调节互相制约，并且无法提高盲均衡收敛能力的问题。

本发明的实施例采用如下技术方案：

本发明一方面提供了一种自适应均衡器，包括：

滤波器，用于根据第一滤波系数对输入信号进行滤波，得到第一滤波信

号;还用于根据第二滤波系数对所述输入信号进行滤波,得到第二滤波信号;

系数更新单元,用于将所述输入信号进行缓存,得到缓存信号;还用于根据第  $n-1$  级误差信号与所述缓存信号获得滤波系数的更新量,根据所述更新量获得所述第二滤波系数;

标准判决器,用于对所述第一滤波信号进行基于原始星座图的判决,得到第一判决信号;还用于对所述第二滤波信号进行基于所述原始星座图的判决,得到第二判决信号;

分级判决器,用于对所述第一滤波信号进行基于第  $n-1$  级星座图的判决,得到第  $n-1$  级伪判决信号;还用于如果第  $n-1$  级误差信号的平均能量小于第  $n-1$  级阈值,将所述第  $n-1$  级星座图切换为第  $n$  级星座图;所述第  $n$  级星座图为所述原始星座图;

比较器,用于将所述第  $n-1$  级伪判决信号与所述第一滤波信号进行比较,得到所述第  $n-1$  级误差信号;

其中,  $n$  为大于 1 的正整数。

本发明另一方面提供了一种自适应均衡方法,包括:

根据第一滤波系数对输入信号进行滤波,得到第一滤波信号;将所述输入信号进行缓存,得到缓存信号;

对所述第一滤波信号进行基于原始星座图的判决,得到第一判决信号;对所述第一滤波信号进行基于第  $n-1$  级星座图的判决,得到第  $n-1$  级伪判决信号;

将所述第  $n-1$  级伪判决信号与所述第一滤波信号进行比较,得到第  $n-1$  级误差信号;

如果所述第  $n-1$  级误差信号的平均能量小于第  $n-1$  级阈值,将所述第  $n-1$  级星座图切换为第  $n$  级星座图;所述第  $n$  级星座图为所述原始星座图;根据所述第  $n-1$  级误差信号与所述缓存信号获得滤波系数的更新量,根据所述更新

量获得第二滤波系数;

根据所述第二滤波系数对所述输入信号进行滤波,得到第二滤波信号;

对所述第二滤波信号进行基于所述原始星座图的判决,得到第二判决信号;

其中,  $n$  为大于 1 的正整数。

本发明实施例提供了一种自适应均衡方法和自适应均衡器,能够不改变自适应均衡器中滤波器的固有特性,在保证收敛误差的前提下提高收敛速度和盲均衡收敛能力。

## 附图说明

为了更清楚地说明本发明实施例的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其它的附图。

图 1 为本发明的实施例提供的一种自适应均衡方法的流程图;

图 2 为本发明的实施例提供的一分级星座图构造的示意图;

图 3 为本发明的实施例提供的另一分级星座图构造的示意图;

图 4 为本发明的实施例提供的一种自适应均衡器的结构框图;

图 5 为本发明的实施例提供的一种自适应均衡器的分级判决器的结构框图。

## 具体实施方式

本发明实施例提供了一种自适应均衡方法和自适应均衡器。为了更好的理解本发明的技术方案,下面结合附图对本发明实施例进行详细描述。

应当明确,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的

实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其它实施例，都属于本发明保护的范围。

首先，对本发明实施例一种自适应均衡方法和自适应均衡器所依据的原理进行说明。

自适应滤波器的 Butterweck (巴特韦克) 迭代过程反映了自适应均衡器的工作原理和收敛行为，如公式 (1) 所示：

$$\varepsilon(n+1) = (I - \mu R)\varepsilon(n) + f_0(n) \quad (1)$$

其中， $I$  为单位矩阵； $R$  为自适应均衡器输入信号矢量的自相关矩阵； $\mu$  为自适应均衡器迭代过程中的步长参数； $\varepsilon(n)$  为第  $n$  次迭代后，自适应均衡器的实际系数矢量  $w$  与最优系数矢量  $w_{op}$  的误差； $f_0(n)$  为一个随机激励函数。该公式反映了迭代过程中，自适应均衡器实际系数矢量  $w$  向最优系数矢量  $w_{op}$  逼近的过程，也即是自适应均衡器收敛的过程。

公式 (1) 中，等式右侧的两部分具有不同的含义：

$(I - \mu R)\varepsilon(n)$ ，表示自适应均衡器中滤波器的固有特性，它既影响迭代速度的大小，也决定收敛过程的稳定性；

$f_0(n)$ ，表示迭代过程的随机激励能量，它直接影响迭代的速度和更新的幅度。

进一步，随机激励函数  $f_0(n)$  的特性如公式 (2) 所示，

$$\begin{aligned} f_0(n) &\xrightarrow{\text{正比于}} \mu, J_{min} \\ J_{min} &\xrightarrow{\text{正比于}} p \end{aligned} \quad (2)$$

其中， $\mu$  为自适应均衡器迭代过程中的步长参数； $J_{min}$  为最小收敛误差； $p$  为判决信号与自适应均衡器输入信号之间的互相关参数，判决信号为自适应均衡器的输出信号。

增大步长参数  $\mu$  可以加快收敛速度，但会改变自适应均衡器中滤波器的

固有特性，可能导致自适应均衡器不稳定，无法收敛；而增大判决信号与自适应均衡器输入信号之间的互相关参数 $p$ 可以加快收敛速度，不会改变自适应均衡器中滤波器的固有特性，不会破坏自适应均衡器的稳定性。

在判决信号最大取值范围不变的情况下，减小判决信号的取值集合可以实现相关性的聚合，从而增大判决信号与自适应均衡器输入信号之间的互相关参数 $p$ 。判决信号的取值集合通过判决信号的星座图体现，因此，改变判决信号的星座图可以实现对判决信号取值集合的调整，从而改变判决信号与自适应均衡器输入信号之间的互相关参数 $p$ ，动态修正均衡器的收敛特性。

综上所述，将判决信号星座图的星座点数由少至多进行调整，直至恢复到原始星座图的星座点数，使得互相关参数 $p$ 按照从大到小的顺序改变，从而在不改变自适应均衡器中滤波器的固有特性和收敛误差的前提下，提高收敛速度和盲均衡收敛能力。

本发明实施例，一种自适应均衡方法的流程如图 1 所示，该方法包括以下步骤：

步骤 S101，根据第一滤波系数对输入信号进行滤波，得到第一滤波信号；将输入信号进行缓存，得到缓存信号。

步骤 S102，对第一滤波信号进行基于原始星座图的判决，得到第一判决信号；对第一滤波信号进行基于第  $n-1$  级星座图的判决，得到第  $n-1$  级伪判决信号。

第  $n-1$  级星座图为在第  $n$  级星座图的基础上对星座点聚合得到，第  $n$  级星座图为原始星座图。

在坐标系的四个象限中，将第  $n$  级星座图中的所有星座点划分为多个规则区域，规则区域需满足以下两个条件：规则区域是连续的，一个规则区域不能被其它规则区域截断；同一级别的规则区域所覆盖的原始星座点的个数是相同的，各规则区域的原始星座点的相对位置是相同的。

将每个规则区域的质心点作为新的星座点，各质心点之间的中垂线作为新的星座点的判决分割线，得到第  $n-1$  级星座图。

当  $n=2$  时，第  $n-1$  级星座图为每个象限仅包括一个星座点的四星座点正交幅度调制形状的星座图。

步骤 S103，将第  $n-1$  级伪判决信号与第一滤波信号进行比较，得到第  $n-1$  级误差信号。

步骤 S104，如果第  $n-1$  级误差信号的平均能量小于第  $n-1$  级阈值，将第  $n-1$  级星座图切换为第  $n$  级星座图；第  $n$  级星座图为原始星座图；根据第  $n-1$  级误差信号与缓存信号获得滤波系数的更新量，根据更新量获得第二滤波系数。

第  $n-1$  级阈值由第  $n-1$  级星座图与原始星座图在第  $n-1$  级星座图聚合区域内的平均误差确定： $T_{d_{n-1}} = \alpha \times e_{n-1}$ 。其中， $1 < \alpha < 1.5$ ， $T_{d_{n-1}}$  表示第  $n-1$  级阈值， $e_{n-1}$  表示第  $n-1$  级星座图与原始星座图在第  $n-1$  级星座图聚合区域内的平均误差。

第  $n-1$  级星座图的聚合区域为第  $n-1$  级星座图中一个星座点在原始星座图中所覆盖的区域，原始星座图中所覆盖的区域由第  $n-1$  级星座图的判决分割线分割而成。

步骤 S105，根据第二滤波系数对输入信号进行滤波，得到第二滤波信号。

步骤 S106，对第二滤波信号进行基于原始星座图的判决，得到第二判决信号。

其中， $n$  为大于 1 的正整数。

下面结合附图对本发明实施例提供的一种自适应均衡方法和自适应均衡器进行详细描述。

应当明确，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有作出创造性劳

动前提下所获得的所有其它实施例，都属于本发明保护的范围。

本发明实施例提供了一种自适应均衡方法，该方法具体包括如下步骤：

步骤 S201，根据滤波系数对输入信号进行滤波，得到滤波信号；将输入信号进行缓存，得到缓存信号。

本实施例中，可以采用 FIR (Finite Impulse Response, 有限长单位冲激响应) 滤波器对输入信号进行滤波。

步骤 S202，对滤波信号进行基于原始星座图的判决，得到判决信号；对滤波信号进行基于第  $i$  级星座图的判决，得到第  $i$  级伪判决信号；

本实施例中，判决信号为抑制码间串扰后的输出信号。

步骤 S203，将第  $i$  级伪判决信号与滤波信号进行比较，得到第  $i$  级误差信号；

步骤 S204，如果第  $i$  级误差信号的平均能量小于第  $i$  级阈值，将第  $i$  级星座图切换为第  $i+1$  级星座图；根据第  $i$  级误差信号与缓存信号获得滤波系数的更新量，根据该更新量更新滤波系数。

本实施例中，如果第  $i$  级误差信号的平均能量小于第  $i$  级阈值，将第  $i$  级星座图切换为第  $i+1$  级星座图；如果第  $i$  级误差信号的平均能量大于或者等于第  $i$  级阈值，不切换星座图。

第  $i$  级阈值  $Td_i$  由第  $i$  级星座图与原始星座图在第  $i$  级星座图聚合区域内的平均误差  $e_i$  确定： $Td_i = \alpha \times e_i$ ， $1 < \alpha < 1.5$ 。

其中，第  $i$  级星座图的聚合区域是指第  $i$  级星座图中一个星座点在原始星座图中所覆盖的区域，原始星座图中所覆盖的区域由第  $i$  级星座图的判决分割线分割而成。在分级判决星座图逐级聚合的构造过程中便可计算确定各级判决对应的阈值。

根据第  $i$  级误差信号与缓存信号获得滤波器系数的更新量。可以通过各种常见的自适应算法，如 LMS、RLS 等，根据第  $i$  级误差信号与缓存信号计算系数的更新量。根据该更新量更新滤波系数。

步骤 S205, 将  $i$  值加 1, 循环执行上述步骤, 直至  $i$  等于  $n-1$ 。

步骤 S206, 根据滤波系数对输入信号进行滤波, 得到更新的滤波信号。

步骤 S207, 对滤波信号进行基于原始星座图的判决, 得到判决信号。

本实施例中,  $i < n$ ,  $i$ 、 $n$  均为正整数。

上述步骤中的第  $i$  级星座图为在第  $i+1$  级星座图的基础上对星座点聚合得到, 具体通过下述方法构造第  $i$  级星座图:

第  $n$  级星座图为原始星座图, 即以原始星座图作为最后一级星座图。

在第  $n$  级星座图的基础上对星座点进行聚合, 得到第  $n-1$  级星座图:

在坐标系的四个象限中, 将第  $n$  级星座图中的所有星座点划分为多个规则区域, 规则区域需满足以下两个条件: (1) 规则区域是连续的, 一个规则区域不能被其它规则区域截断; (2) 同一级别的规则区域所覆盖的原始星座点的个数是相同的, 各规则区域的原始星座点的相对位置是相同的。

将每个规则区域的质心点作为新的星座点, 各质心点之间的中垂线作为新的星座点的判决分割线, 得到第  $n-1$  级星座图。

类似地, 在第  $i+1$  级星座图的基础上对星座点进行聚合, 得到第  $i$  级星座图:

在坐标系的四个象限中, 将第  $i+1$  级星座图中的所有星座点划分为多个规则区域, 规则区域需满足以下两个条件: (1) 规则区域是连续的, 一个规则区域不能被其它规则区域截断; (2) 同一级别的规则区域所覆盖的原始星座点的个数是相同的, 各规则区域的原始星座点的相对位置是相同的。

将每个区域的质心点作为新的星座点, 各质心点之间的中垂线作为新的星座点的判决分割线, 得到第  $i$  级星座图。

在星座图四个象限分别得到最后一个星座点时, 聚合过程结束。由于原始星座图是对称的, 因此可以得到一个四星座点正交幅度调制 (4-QAM) 形状的最简星座图, 这个星座图为第 1 级星座图。即第 1 级星座图为每个象限仅包括一个星座点的 4-QAM 形状的星座图。

图 2 和图 3 所示为两种分级星座图构造的实例，其中：

- ，表示第 1 级星座图中的星座点；
- △，表示第  $n-2$  级星座图中的星座点；
- ，表示第  $n-1$  级星座图中的星座点；
- ×，表示第  $n$  级星座图（原始星座图）中的星座点。

图 2 为矩形星座图，矩形星座图在分级聚合时将每相邻的 4 个星座点划分为一个规则区域进行聚合；图 3 为圆形星座图，圆形星座图在分级聚合时将每相邻的 2 个星座点划分为一个规则区域进行聚合。通过逐级聚合，最终得到图中所示的第 1 级星座图。

本实施例中，至  $i$  等于  $n-1$  时，星座图切换为第  $n$  级星座图，即星座图为原始星座图。完成判决信号星座图由第  $i$  级切换至原始星座图的过程，按照由少至多的顺序调整判决信号星座图的星座点数，直至恢复到原始星座图的星座点数，使得互相关参数  $p$  按照从大到小的顺序改变，从而实现在不改变自适应均衡器中滤波器的固有特性和收敛误差的前提下，提高收敛速度和盲均衡收敛能力。

上述步骤 S207 之后，可以进行正常的自适应均衡。

另一实施例中，基于上述步骤，步骤 S207 还可以包括，对滤波信号进行基于第  $n$  级星座图的判决，得到第  $n$  级伪判决信号。

本实施例中，第  $n$  级星座图为原始星座图，因此，第  $n$  级伪判决信号与判决信号相同。

另一实施例中，基于上述步骤，还可以包括：

步骤 S208，将第  $n$  级伪判决信号与滤波信号进行比较，得到第  $n$  级误差信号。

步骤 S209，根据第  $n$  级误差信号与缓存信号获得滤波系数的更新量，根据该更新量更新滤波系数。

另一实施例中，基于上述步骤，还可以包括：

步骤 S210, 循环执行步骤 S206 至步骤 S209。

上述实施例中, 初始条件下  $i$  的取值可以是 1 至  $n-1$  的任意一个正整数。如果初始条件下  $i=1$ , 即初始条件下对滤波信号进行基于第 1 级星座图的判决, 得到第 1 级伪判决信号。初始条件下的  $i$  的取值越小, 所采用的星座图聚合程度越高, 相应地, 判决信号与自适应均衡器输入信号之间的互相关参数  $\rho$  越大, 自适应均衡的收敛速度越快、盲收敛能力越强。因此可以根据对自适应均衡的不同性能要求, 选取初始条件下所采用星座图的级别。例如, 初始条件下也可以取  $i=j$ , 其中  $1 < j < n$ ,  $j$  为正整数, 即初始条件下对滤波信号进行基于第  $j$  级星座图的判决, 得到第  $j$  级伪判决信号。

下面以  $n=5$ 、初始条件下  $i=3$  为例, 具体处理过程如下:

步骤 S301, 根据滤波系数对输入信号进行滤波, 得到滤波信号; 将输入信号进行缓存, 得到缓存信号。

步骤 S302, 对滤波信号进行基于原始星座图的判决, 得到判决信号; 对滤波信号进行基于第 3 级星座图的判决, 得到第 3 级伪判决信号。

步骤 S303, 将第 3 级伪判决信号与滤波信号进行比较, 得到第 3 级误差信号。

步骤 S304, 如果第 3 级误差信号的平均能量小于第 3 级阈值, 将第 3 级星座图切换为第 4 级星座图; 根据第 3 级误差信号与缓存信号获得滤波系数的更新量, 根据该更新量更新滤波系数。

步骤 S305, 根据更新的滤波系数对输入信号进行滤波, 得到更新的滤波信号。

步骤 S306, 对更新的滤波信号进行基于原始星座图的判决, 得到更新的判决信号; 对更新的滤波信号进行基于第 4 级星座图的判决, 得到第 4 级伪判决信号。

步骤 S307, 将第 4 级伪判决信号与更新的滤波信号进行比较, 得到第 4 级误差信号。

步骤 S308, 如果第 4 级误差信号的平均能量小于第 4 级阈值, 将第 4 级星座图切换为第 5 级星座图; 根据第 4 级误差信号与缓存信号获得滤波系数的更新量, 根据该更新量更新滤波系数。

步骤 S309, 根据再次更新的滤波系数对输入信号进行滤波, 得到再次更新的滤波信号;

步骤 S310, 对再次更新的滤波信号进行基于原始星座图的判决, 得到再次更新的判决信号;

进一步地, 步骤 S310 还可以包括, 对再次更新的滤波信号进行基于第 5 级星座图的判决, 得到第 5 级伪判决信号。

进一步地, 基于上述步骤, 还可以包括:

步骤 S311, 将第 5 级伪判决信号与再次更新的滤波信号进行比较, 得到第 5 级误差信号。

步骤 S312, 根据第 5 级误差信号与缓存信号获得滤波系数的更新量, 根据该更新量更新滤波系数。

进一步地, 基于上述步骤, 还可以包括:

步骤 S313, 循环执行步骤 S309 至步骤 S312。

本发明实施例提供了一种自适应均衡方法, 通过改变判决信号星座图调整互相关参数  $p$ , 从而能够不改变自适应均衡器中滤波器的固有特性, 在保证收敛误差的前提下提高收敛速度和盲均衡收敛能力。

本发明实施例提供了一种自适应均衡器, 其结构如图 4 所示, 包括:

滤波器 410, 用于根据第一滤波系数对输入信号进行滤波, 得到第一滤波信号; 还用于根据第二滤波系数对输入信号进行滤波, 得到第二滤波信号。

滤波器 410 可以采用 FIR 滤波器实现。

系数更新单元 420, 用于将输入信号进行缓存, 得到缓存信号; 还用于根据第  $n-1$  级误差信号与缓存信号获得滤波系数的更新量, 根据更新量获得第二

滤波系数;

标准判决器 430, 用于对第一滤波信号进行基于原始星座图的判决, 得到第一判决信号; 还用于对第二滤波信号进行基于原始星座图的判决, 得到第二判决信号。

分级判决器 440, 用于对第一滤波信号进行基于第  $n-1$  级星座图的判决, 得到第  $n-1$  级伪判决信号; 还用于如果第  $n-1$  级误差信号的平均能量小于第  $n-1$  级阈值, 将第  $n-1$  级星座图切换为第  $n$  级星座图; 第  $n$  级星座图为原始星座图。

比较器 450, 用于将第  $n-1$  级伪判决信号与第一滤波信号进行比较, 得到第  $n-1$  级误差信号。

其中,  $n$  为大于 1 的正整数。

另一实施例中, 分级判决器 440 可以包括第一分级切换单元 441、第  $n-1$  级判决映射器 442、第  $n$  级判决映射器 443、监控单元 444 和第二分级切换单元 445, 如图 5 所示:

第一分级切换单元 441, 用于接收第一滤波信号, 连通第  $n-1$  级判决映射器 442; 还用于当分级切换信号指示切换时, 由连通第  $n-1$  级判决映射器 442 切换为连通第  $n$  级判决映射器 443。

图 5 中的虚线表示: 当分级切换信号指示切换时, 由连通第  $n-1$  级判决映射器 442 切换为连通第  $n$  级判决映射器 443。

第  $n-1$  级判决映射器 442, 第  $n-1$  级星座图位于第  $n-1$  级判决映射器 442, 第  $n-1$  级判决映射器 442 用于对第一滤波信号进行基于第  $n-1$  级星座图的判决, 得到第  $n-1$  级伪判决信号。

第  $n$  级判决映射器 443, 第  $n$  级星座图位于第  $n$  级判决映射器 443, 第  $n$  级星座图为原始星座图。

监控单元 444, 用于如果第  $n-1$  级误差信号的平均能量小于第  $n-1$  级阈值,

分级切换信号指示切换。

第  $n-1$  级阈值  $Td_{n-1}$  由第  $n-1$  级星座图与原始星座图在第  $n-1$  级星座图聚合区域内的平均误差  $e_{n-1}$  确定:  $Td_{n-1} = \alpha \times e_{n-1}$ 。其中,  $1 < \alpha < 1.5$ 。

第  $n-1$  级星座图的聚合区域是指第  $n-1$  级星座图中一个星座点在原始星座图所覆盖的区域, 原始星座图所覆盖的区域由第  $n-1$  级星座图的判决分割线分割而成。在分级判决星座图逐级聚合的构造过程中便可计算确定各级判决对应的阈值。

第二分级切换单元 445, 用于连通第  $n-1$  级判决映射器 442, 输出第  $n-1$  级伪判决信号; 还用于当分级切换信号指示切换时, 由连通第  $n-1$  级判决映射器 442 切换为连通第  $n$  级判决映射器 443。

图 5 中的虚线表示: 当分级切换信号指示切换时, 由连通第  $n-1$  级判决映射器 442 切换为连通第  $n$  级判决映射器 443。

进一步地, 第一分级切换单元 441 还用于接收第二滤波信号; 第  $n$  级判决映射器 443 还用于对第二滤波信号进行基于第  $n$  级星座图的判决, 得到第  $n$  级伪判决信号; 第二分级切换单元 445 还用于输出第  $n$  级伪判决信号。

进一步地, 分级判决器 440 还可以包括星座图获得模块 446, 用于在第  $n$  级星座图的基础上对星座点聚合, 得到第  $n-1$  级星座图。

星座图获得模块 446 可以具体包括星座图获得子模块 4461, 用于在坐标系的四个象限中, 将第  $n$  级星座图中的所有星座点划分为多个规则区域, 规则区域需满足以下两个条件: 规则区域是连续的, 一个规则区域不能被其它规则区域截断; 同一级别的规则区域所覆盖的原始星座点的个数是相同的, 各规则区域的原始星座点的相对位置是相同的; 还用于将每个规则区域的质心点作为新的星座点, 各质心点之间的中垂线作为新的星座点的判决分割线, 得到第  $n-1$  级星座图。

另一实施例中, 系数更新单元 420 可以包括缓冲器 421 和系数更新子单

元 422:

缓冲器 421, 用于将输入信号进行缓存, 得到缓存信号;

系数更新子单元 422, 用于根据第  $n-1$  级误差信号与缓存信号获得滤波系数的更新量, 根据更新量获得第二滤波系数。

可以通过各种常见的自适应算法, 如 LMS、RLS 等, 根据第  $n-1$  级误差信号与缓存信号计算滤波系数的更新量, 根据更新量获得第二滤波系数。

上述实施例一种自适应均衡器内的各模块之间的信息交互、执行过程等内容, 由于与本发明方法实施例基于同一构思, 具体内容可参见本发明方法实施例中的叙述, 此处不再赘述。

采用本发明实施例提供的一种自适应均衡方法和自适应均衡器, 在初始条件下调整判决信号的星座图产生较大的  $p$  值, 以增大随机激励能量, 从而加快收敛速度、增大最优搜索的范围, 增强盲收敛能力; 随着自适应均衡器的收敛, 逐步还原为判决信号的原始星座图, 逐步减小  $p$  值, 从而减小最小收敛误差  $J_{\min}$ 。采用本发明实施例提供的技术方案, 能够不改变自适应均衡器中滤波器的固有特性, 在保证收敛误差的前提下提高收敛速度和盲均衡收敛能力。

本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分步骤, 是可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成, 所述的程序可存储于一计算机可读取存储介质中, 该程序在执行时, 可包括如上述各方法的实施例的流程。其中, 所述的存储介质可为磁碟、光盘、只读存储记忆体 (Read-Only Memory, ROM) 或随机存储记忆体 (Random Access Memory, RAM) 等。

以上所述, 仅为本发明的具体实施方式, 但本发明的保护范围并不局限于此, 任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内, 可轻易想到的变化或替换, 都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此, 本发明的保

护范围应以权利要求的保护范围为准。

## 权利要求书

1、一种自适应均衡器，其特征在于，包括：

滤波器，用于根据第一滤波系数对输入信号进行滤波，得到第一滤波信号；  
还用于根据第二滤波系数对所述输入信号进行滤波，得到第二滤波信号；

系数更新单元，用于将所述输入信号进行缓存，得到缓存信号；还用于根据第  $n-1$  级误差信号与所述缓存信号获得滤波系数的更新量，根据所述更新量获得所述第二滤波系数；

标准判决器，用于对所述第一滤波信号进行基于原始星座图的判决，得到第一判决信号；还用于对所述第二滤波信号进行基于所述原始星座图的判决，得到第二判决信号；

分级判决器，用于对所述第一滤波信号进行基于第  $n-1$  级星座图的判决，得到第  $n-1$  级伪判决信号；还用于如果第  $n-1$  级误差信号的平均能量小于第  $n-1$  级阈值，将所述第  $n-1$  级星座图切换为第  $n$  级星座图；所述第  $n$  级星座图为所述原始星座图；

比较器，用于将所述第  $n-1$  级伪判决信号与所述第一滤波信号进行比较，得到所述第  $n-1$  级误差信号；

其中， $n$  为大于 1 的正整数。

2、根据权利要求 1 所述的自适应均衡器，其特征在于，所述分级判决器具体包括：

第一分级切换单元，用于接收所述第一滤波信号，连通第  $n-1$  级判决映射器；还用于当分级切换信号指示切换时，由连通所述第  $n-1$  级判决映射器切换为连通第  $n$  级判决映射器；

第  $n-1$  级判决映射器，所述第  $n-1$  级星座图位于所述第  $n-1$  级判决映射器，所述第  $n-1$  级判决映射器用于对所述第一滤波信号进行基于所述第  $n-1$  级星座图的判决，得到所述第  $n-1$  级伪判决信号；

第  $n$  级判决映射器，所述第  $n$  级星座图位于所述第  $n$  级判决映射器；所述

第 n 级星座图为所述原始星座图；

监控单元，用于如果所述第 n-1 级误差信号的平均能量小于所述第 n-1 级阈值，所述分级切换信号指示切换；

第二分级切换单元，用于连通所述第 n-1 级判决映射器，输出所述第 n-1 级伪判决信号；还用于当所述分级切换信号指示切换时，由连通所述第 n-1 级判决映射器切换为连通所述第 n 级判决映射器。

3、根据权利要求 2 所述的自适应均衡器，其特征在于，所述第一分级切换单元还用于接收所述第二滤波信号；

所述第 n 级判决映射器还用于对所述第二滤波信号进行基于所述第 n 级星座图的判决，得到第 n 级伪判决信号；

所述第二分级切换单元还用于输出所述第 n 级伪判决信号。

4、根据权利要求 2 或 3 所述的自适应均衡器，其特征在于，所述分级判决器还包括星座图获得模块，用于在所述第 n 级星座图的基础上对星座点聚合，得到所述第 n-1 级星座图。

5、根据权利要求 1、2、3 或 4 所述的自适应均衡器，其特征在于，所述第 n-1 级阈值由所述第 n-1 级星座图与所述原始星座图在所述第 n-1 级星座图聚合区域内的平均误差确定： $Td_{n-1} = \alpha \times e_{n-1}$ ，其中，

$$1 < \alpha < 1.5;$$

$Td_{n-1}$  表示所述第 n-1 级阈值；

$e_{n-1}$  表示所述第 n-1 级星座图与所述原始星座图在所述第 n-1 级星座图聚合区域内的平均误差；

所述第 n-1 级星座图的聚合区域为所述第 n-1 级星座图中一个星座点在所述原始星座图所覆盖的区域，所述原始星座图所覆盖的区域由所述第 n-1 级星座图的判决分割线分割而成。

6、一种自适应均衡方法，其特征在于，包括：

根据第一滤波系数对输入信号进行滤波，得到第一滤波信号；将所述输入

信号进行缓存，得到缓存信号；

对所述第一滤波信号进行基于原始星座图的判决，得到第一判决信号；对所述第一滤波信号进行基于第  $n-1$  级星座图的判决，得到第  $n-1$  级伪判决信号；

将所述第  $n-1$  级伪判决信号与所述第一滤波信号进行比较，得到第  $n-1$  级误差信号；

如果所述第  $n-1$  级误差信号的平均能量小于第  $n-1$  级阈值，将所述第  $n-1$  级星座图切换为第  $n$  级星座图；所述第  $n$  级星座图为所述原始星座图；根据所述第  $n-1$  级误差信号与所述缓存信号获得滤波系数的更新量，根据所述更新量获得第二滤波系数；

根据所述第二滤波系数对所述输入信号进行滤波，得到第二滤波信号；

对所述第二滤波信号进行基于所述原始星座图的判决，得到第二判决信号；

其中， $n$  为大于 1 的正整数。

7、根据权利要求 6 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括对所述第二滤波信号进行基于所述第  $n$  级星座图的判决，得到第  $n$  级伪判决信号。

8、根据权利要求 6 或 7 所述的方法，其特征在于，所述第  $n-1$  级星座图为在所述第  $n$  级星座图的基础上对星座点聚合得到，具体包括：

在坐标系的四个象限中，将所述第  $n$  级星座图中的所有星座点划分为多个规则区域，所述规则区域需满足以下两个条件：所述规则区域是连续的，一个规则区域不能被其它规则区域截断；同一级别的规则区域所覆盖的原始星座点的个数是相同的，各规则区域的原始星座点的相对位置是相同的；

将每个规则区域的质心点作为新的星座点，各质心点之间的中垂线作为新的星座点的判决分割线，得到所述第  $n-1$  级星座图。

9、根据权利要求 8 所述的方法，其特征在于，当  $n=2$  时，所述第  $n-1$  级星座图为每个象限仅包括一个星座点的四星星座点正交幅度调制形状的星座图。

10、根据权利要求 6、7 或 8 所述的方法，其特征在于，所述第  $n-1$  级阈值由所述第  $n-1$  级星座图与所述原始星座图在所述第  $n-1$  级星座图聚合区域内的平

均误差确定： $Td_{n-1} = \alpha \times e_{n-1}$ ；其中，

$$1 < \alpha < 1.5;$$

$Td_{n-1}$  表示所述第  $n-1$  级阈值；

$e_{n-1}$  表示所述第  $n-1$  级星座图与所述原始星座图在所述第  $n-1$  级星座图聚合区域内的平均误差；

所述第  $n-1$  级星座图的聚合区域为所述第  $n-1$  级星座图中一个星座点在所述原始星座图中所覆盖的区域，所述原始星座图中所覆盖的区域由所述第  $n-1$  级星座图的判决分割线分割而成。

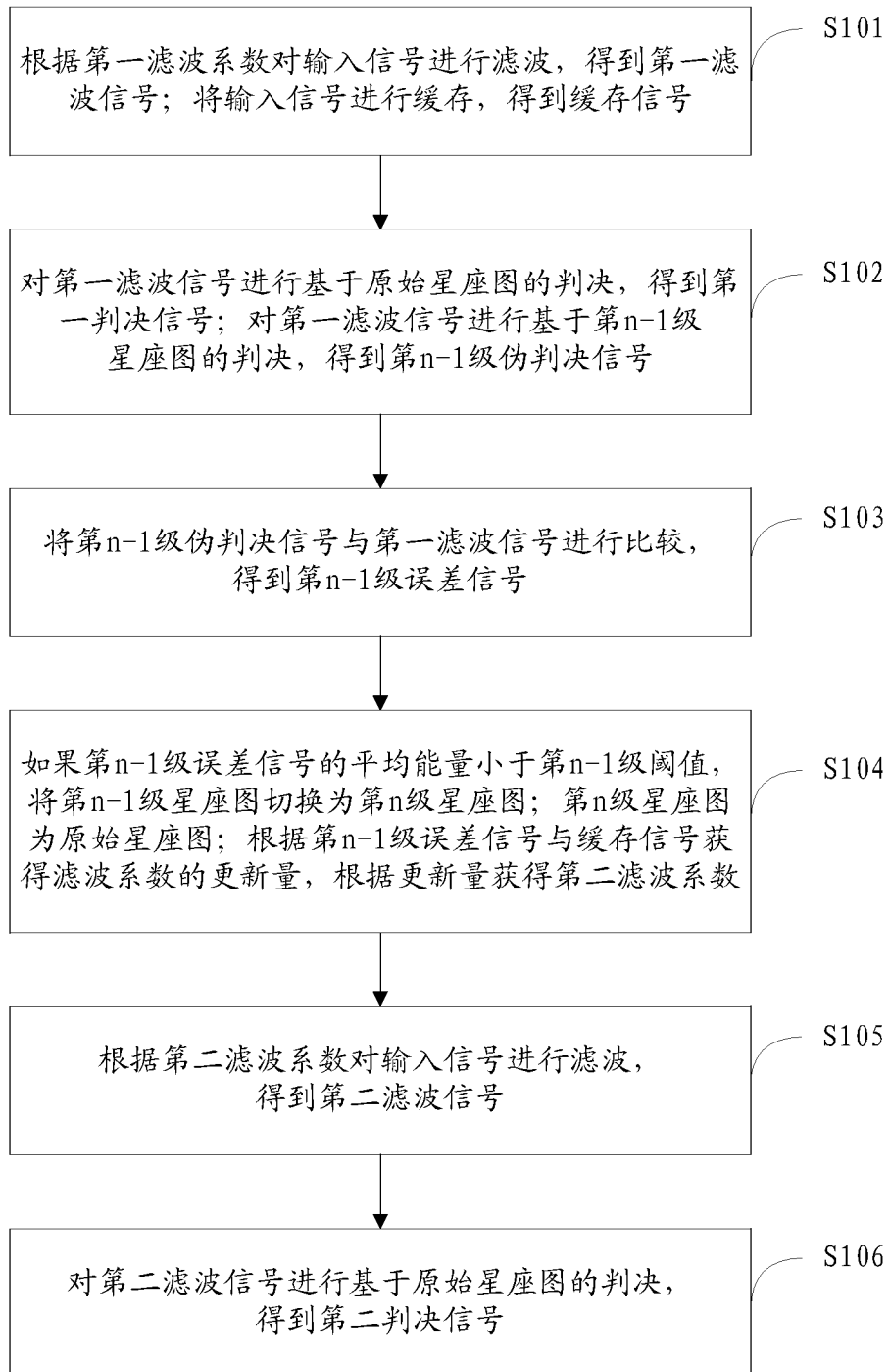


图 1

2/3

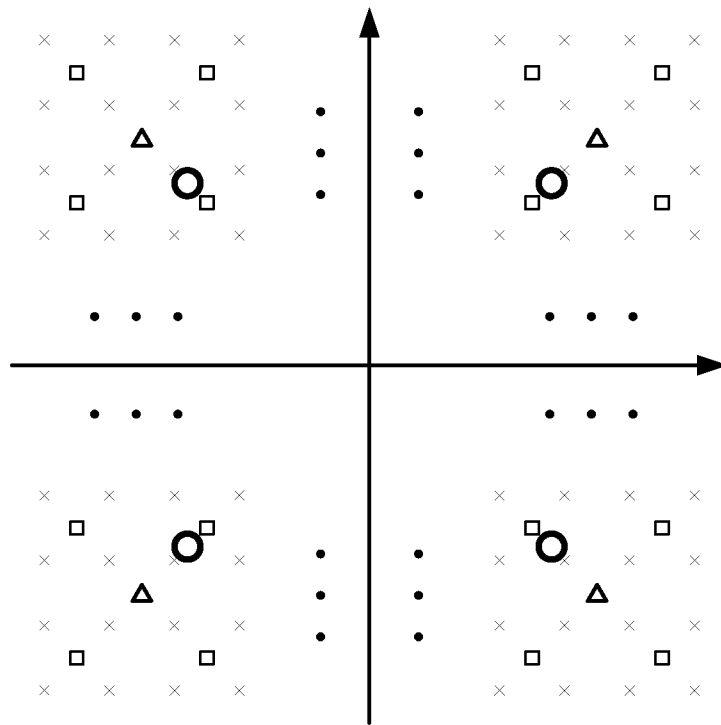


图 2

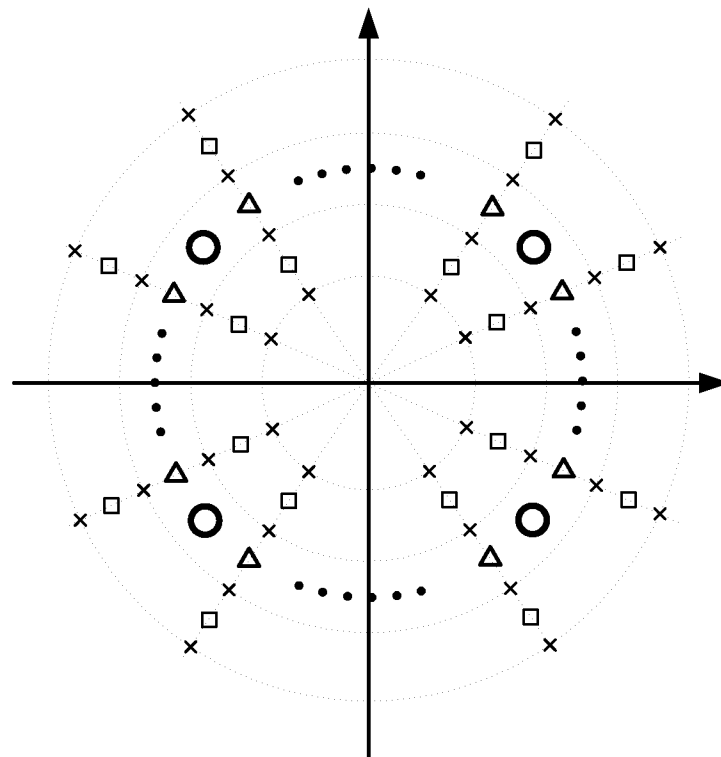


图 3

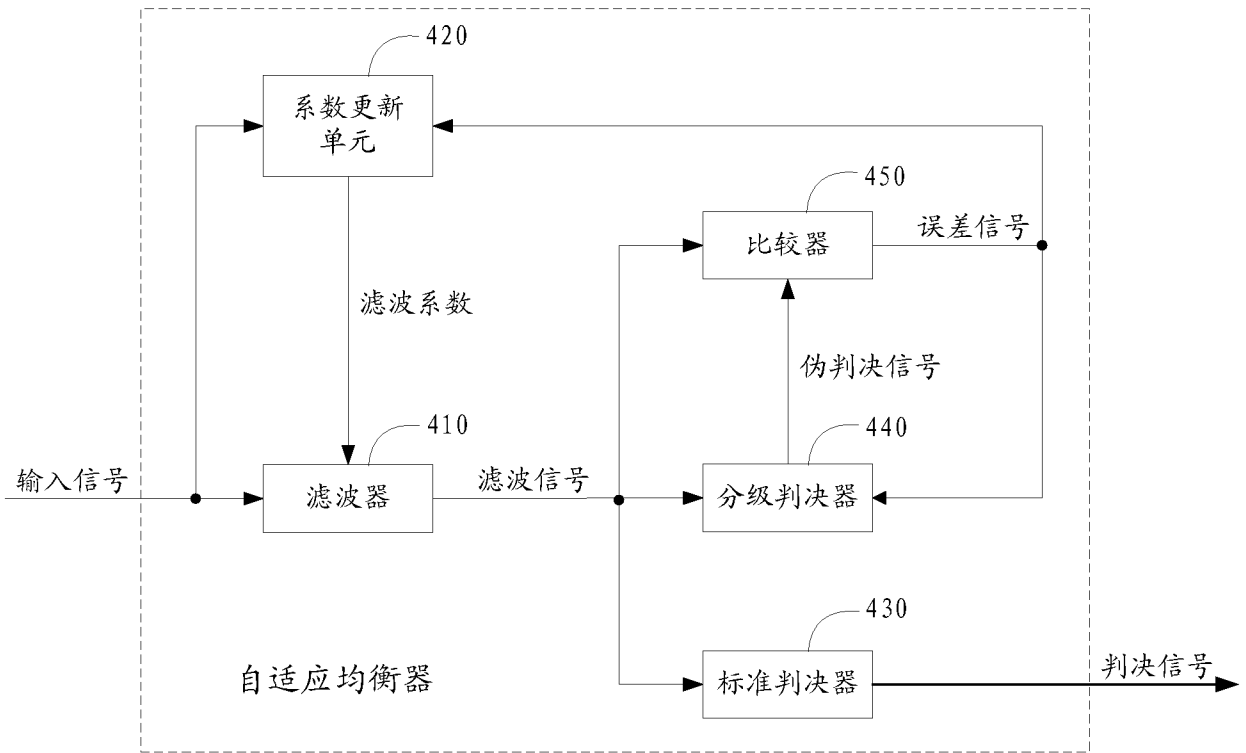


图 4

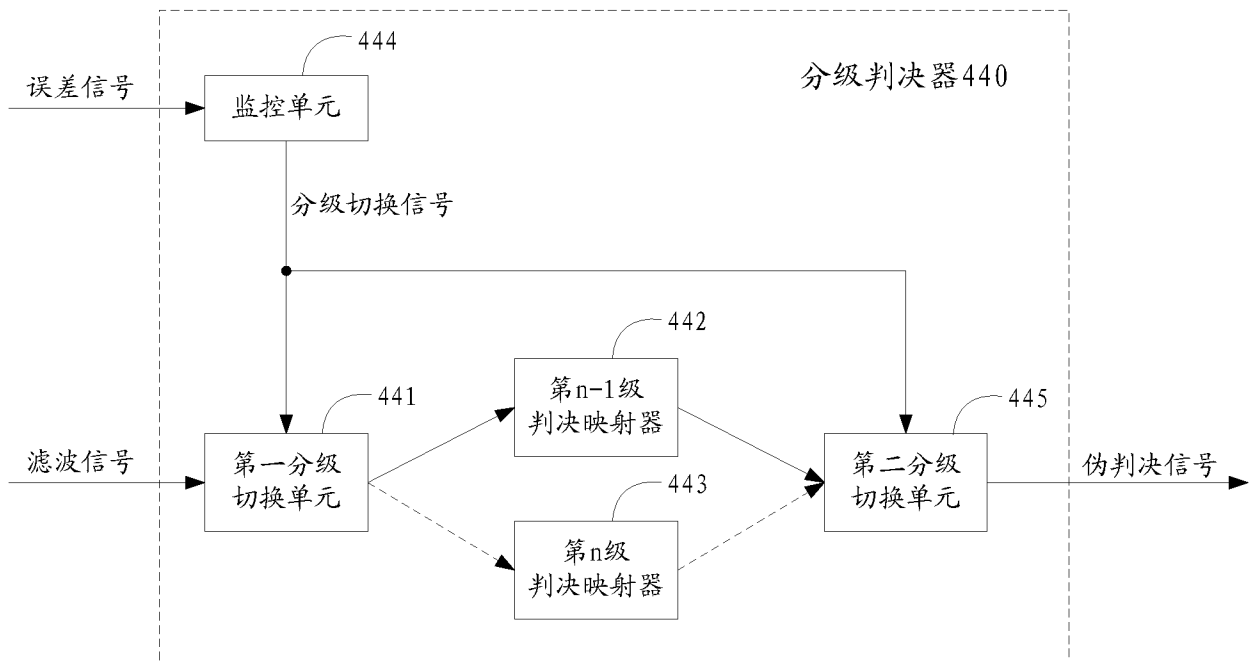


图 5