

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.  
H04L 27/06 (2006.01)



# [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200480043594.9

[43] 公开日 2007年6月27日

[11] 公开号 CN 1989751A

[22] 申请日 2004.7.15  
 [21] 申请号 200480043594.9  
 [86] 国际申请 PCT/US2004/022779 2004.7.15  
 [87] 国际公布 WO2006/019371 英 2006.2.23  
 [85] 进入国家阶段日期 2007.1.15  
 [71] 申请人 汤姆森特许公司  
 地址 法国布洛涅  
 [72] 发明人 乔舒亚·L·科斯洛夫

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所  
 代理人 吕晓章 李晓舒

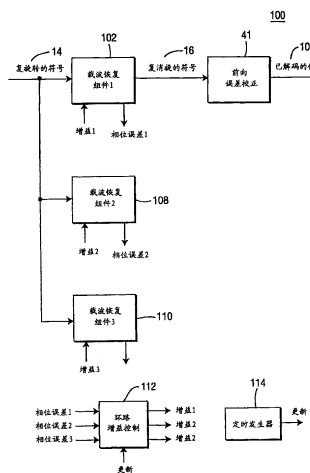
权利要求书4页 说明书7页 附图6页

## [54] 发明名称

改进的载波恢复的系统和方法

## [57] 摘要

用于载波恢复的系统和方法包括多个载波恢复组件(102、108、110)，每个组件处理相同的输入符号(14)，并且每个组件具有增益输入和误差输出。环路增益控制(112)从载波恢复组件(102、108、110)接收误差，并给载波恢复组件(102、108、110)提供增益。基于当前周期期间的误差，环路增益控制器(112)确定哪个组件产生最低误差，并选择与那个组件相关联的增益作为最佳增益，在下一周期期间将其施加到输出用于解码的符号(16)的组件。



1. 一种载波恢复的系统，包含：

多个载波恢复组件（102、108、110），每个处理相同的输入符号（14），并且每个具有增益输入和误差输出；

环路增益控制器（112），其从载波恢复组件接收误差，并给载波恢复组件提供增益，并且基于当前周期期间的误差，该环路增益控制器（112）确定哪个组件产生最低的误差，并选择与那个组件相关联的增益作为最佳增益，在下一周期期间将其施加到输出用于解码的符号的组件。

2. 如权利要求1所述的系统，其中误差是相位误差。

3. 如权利要求1所述的系统，其中误差是消旋的符号及其限幅的形式之间的差。

4. 如权利要求1所述的系统，其中该环路增益控制器（112）由来自定时发生器（114）的更新信号（更新）使能。

5. 如权利要求1所述的系统，其中使用最佳增益计算要提供到要在随后周期中用于处理输入符号的其它组件的附加增益。

6. 如权利要求5所述的系统，其中使用乘法器（32、322）计算附加增益，以便提供大于最佳组件增益的第一增益和小于最佳组件增益的第二增益。

7. 如权利要求1所述的系统，其中使用误差平方累加器（310）为每个组件累加误差。

8. 如权利要求7所述的系统，其中环路增益控制器（112）进一步包含逻辑电路（302），以便从误差平方累加器确定最小的累加误差。

9. 如权利要求8所述的系统，其中逻辑电路（302）输出信号以通过使能复用器（328）来选择最佳组件增益，以便选择与最小的累加误差相关联的增益。

10. 如权利要求1所述的系统，其中每个组件包含相位检测器（38）以及第一通路（214）和第二通路（216）。

11. 如权利要求10所述的系统，其中第一和第二通路（214、216）中的每个通路具有输入到其上的当前提供的组件增益的函数（202、206）。

12. 如权利要求10所述的系统，其中将第一和第二通路（214、216）相加并将其输入到相位积分器以得到校正相位。

13. 如权利要求 12 所述的系统, 其中将校正相位施加到正弦/余弦查找表 (18) 来提供复数值以便消旋下一输入符号。

14. 一种载波恢复组件 (400), 包含:

相位检测器 (38);

耦合到所述相位检测器的通路 (414), 该通路包括从输入到其上的多个增益中选择的当前增益 (增益), 该当前增益是基于前一时间周期中的标准来选择的;

相位积分器 (420), 其接收所述通路的输出, 该相位积分器包括多个寄存器 (422), 每个寄存器与多个增益之一相关联; 以及

查找表 (18), 用于从所述相位积分器接收校正相位, 使得将相位校正提供到消旋器 (12) 来消旋输入符号以便用于在所述相位检测器中进行相位检测, 所述相位检测器接收消旋的符号。

15. 如权利要求 14 所述的组件, 其中所述相位检测器 (38) 输出多个相位误差, 每个相位误差与多个增益之一相关联。

16. 如权利要求 14 所述的组件, 进一步包含误差计算器 (428), 用于计算多个误差, 每个误差与多个增益之一相关联。

17. 如权利要求 14 所述的组件, 其中所述相位积分器 (420) 包括循环移位器, 使得一个寄存器是相关联的, 并且在与多个增益之一相关的周期期间是有效的。

18. 如权利要求 14 所述的组件, 其中依据基于与用于前一时间周期的多个增益相关联的最低误差选择的当前增益处理符号 (14)。

19. 如权利要求 14 所述的组件, 其中由复用器 (430) 选择所述当前增益。

20. 如权利要求 14 所述的组件, 其中使用误差平方累加器 (310) 为每个增益累加误差。

21. 如权利要求 20 所述的组件, 其中使用来自所述误差平方累加器 (310) 的最小的累加误差来选择要在下一时间周期用于处理符号的新的增益值, 从多个增益中选择所述新的增益。

22. 如权利要求 14 所述的组件, 其中所述相位积分器 (420) 按等于多个增益中增益的数目乘以符号速率的速率起作用。

23. 如权利要求 14 所述的组件, 其中将校正相位施加到正弦/余弦查找

表(18)来提供复数值,以便消旋下一输入符号。

24. 如权利要求14所述的组件,其中对于所有相关联的增益对符号进行处理,其中对于多个增益的所有增益作出误差确定,使得所有增益保持用于将来时间周期的候选。

25. 一种载波恢复组件(400),包含:

相位检测器(38);

一阶通路(414)和二阶通路(416),耦合到所述相位检测器,该一阶通路包括从输入到其上的多个增益中选择的当前增益(增益),

该二阶通路包括输入到其上的当前增益的倍数(K12),该二阶通路进一步包含具有用于累加误差的多个寄存器(426)的二阶积分器(424),每个寄存器与多个增益之一相关联;

相位积分器(420),其通过将第一和二阶通路相加来接收相加结果,该相位积分器包括多个寄存器(422),每个寄存器与多个增益之一相关联;

查找表(18),用于从相位积分器接收校正相位,使得将相位校正提供到消旋器(12)来消旋输入符号以便用于相位检测器中的相位检测,该相位检测器接收消旋的符号。

26. 如权利要求25所述的组件,其中所述相位检测器(38)输出多个相位误差,每个相位误差与多个增益之一相联系。

27. 如权利要求25所述的组件,进一步包含用于计算多个误差的误差计算器(428),每个误差与多个增益之一相关联。

28. 如权利要求25所述的组件,其中二阶积分器(424)包括循环移位器,使得一个寄存器是相关联的,并且在与多个增益之一相关联的周期期间是有效的。

29. 如权利要求25所述的组件,其中二阶积分器(424)按等于多个增益中增益的数目乘以符号速率的速率起作用。

30. 一种载波恢复的方法,包含步骤:

依据当前环路增益和多个其它增益来处理符号(420);

累加与当前环路增益和多个其它增益的每一个相关联的误差信息(428);

以及

基于误差信息,从当前环路增益和多个其它增益之一中选择新的增益(320),用于在下一周期中处理符号。

31. 如权利要求 30 所述的方法，其中选择步骤（320）包括确定多个误差的中最小误差（310），每个误差与增益相关联，并且选择与最小误差相关联的那个增益作为新的增益。

32. 如权利要求 30 所述的方法，其中处理步骤（402）包括由多个组件（102、108、110）处理相同符号，每个组件具有与其相关联的自身增益。

## 改进的载波恢复的系统和方法

### 技术领域

本发明一般涉及数字通信，并且更具体地涉及用于使载波恢复系统的带宽最优化的方法和装置。

### 背景技术

载波恢复包括将接收到的信号同步到基准。在许多系统中，这使用锁相环（PLL）来执行。在数字系统中，使用数字锁相环（DPLL），其可能解决包括相移以及噪声考虑的多个不同的问题。在许多系统中，随着在数字载波恢复系统中 DPLL 环路带宽的增加，由于 DPLL 可以更好地跟踪信号相位噪声，所以降低了由于信号的相位噪声所产生的残留相位抖动。然而，随着 DPLL 环路带宽的增加，越来越多的附加噪声，例如白高斯噪声，进入载波恢复环路，并且引起更多的残留相位抖动。

通常，对于给定的相位和附加噪声条件，可能存在使总的残留相位抖动最小化的环路带宽。在目前实践中，基于期望的信号条件，设置载波恢复环路带宽为某个标称值。这在载波恢复之后产生未达最佳标准的环路带宽和不必要的大的残留相位抖动。

因此，需要使环路带宽最优化以便响应当前的信号条件而提供最小的相位抖动的系统和方法。

### 发明内容

载波恢复的系统和方法包括多个载波恢复组件，每个处理相同的输入符号，并且每个具有增益输入和误差输出。环路增益控制器从载波恢复组件接收误差，并给载波恢复组件提供增益。基于当前周期期间的误差，环路增益控制器确定哪个组件产生最低误差，并选择与那个组件相关联的增益作为最佳增益，在下一周期期间该最佳增益被施加到输出用于解码的符号的组件。

另一载波恢复实施例包括相位检测器和耦接到相位检测器的通路。该通路包括从输入到其的多个增益中选择的当前增益。该当前增益是在前一个时

间周期中基于标准选择的。相位积分器接收该通路的输出，并包括多个寄存器，每个寄存器与该多个增益之一相关联。查找表从相位积分器接收校正相位，使得将相位校正提供到消旋器（derotator）以消旋（derotate）输入符号，以便用于相位检测器中的相位检测，相位检测器接收消旋的符号。

载波恢复的方法包括：依据当前的环路增益和多个其它增益来处理符号，累加与当前的环路增益和多个其它增益的每一个相关联的误差信息；以及基于该误差信息来从当前的环路增益和多个其它增益中选择新的增益用于在下一周期中处理符号。在替代实施例中，选择步骤可以包括：确定多个误差的最小误差，每个误差与增益相关联；以及选择与最小误差相关联的那个增益作为新的增益。处理步骤可以包括：由多个组件处理相同符号，每个组件具有与其相关联的自身增益。

优选地，每个增益与平均的均方相位误差相关联。使用与最小的均方相位误差相关联的增益来处理发送到随后处理，例如前向误差校正，的消旋的符号。然而，当处理相同符号时，与其它增益相关联的相位误差被继续确定，并且保持用于将来时间周期中的最低相位误差选择的候选。

#### 附图说明

考虑现在要结合附图详细地描述的示例性的实施例，本发明的优点、特性、和各种附加属性将更全面地展现，附图中：

图 1 是依据现有技术的载波恢复组件的方框图；

图 2 是依据本发明的一个实施例的、具有环路增益控制器的载波恢复组件的系统的方框图；

图 3 是依据本发明的一个实施例的、用于图 2 的系统的载波恢复组件的方框图；

图 4 是依据本发明的一个实施例的、图 2 的环路增益控制器的方框图；

图 5 是用于载波恢复的本发明的可替代实施例的方框图，其中该系统提供循环移位，并且当保持与多个增益相对应的状态信息时再次使用这些组成部分；

图 6 示出了在图 3 和图 5 的实施例中使用的替代环路滤波器配置；以及

图 7 示出了在图 3 和图 5 的实施例中使用的替代环路滤波器配置。

应该理解，附图是用于说明本发明的构思的目的，并且不必要是用于说

明本发明的唯一可能的配置。

### 具体实施方式

本发明涉及载波恢复系统。本发明自动地使被例如相位噪声和附加噪声削弱的信号的环路带宽最优化。载波恢复系统再生本地载波，该本地载波锁定到相位传送信息的系统的输入信号。诸如相移键控（PSK）和正交调幅（QAM）的系统都是使用相位数据传送信息的例子。数字锁相环（DPLL）通常用于这种系统。在 DPLL 中使用的环路带宽表示相位噪声跟踪（例如，大的环路带宽较好）和附加噪声恶化（corruption）（其中，例如，小的环路带宽较好）之间的一种折衷。本发明提供一种自动地作为信号上遭遇的相位噪声和附加噪声的函数使 DPLL 环路带宽最优化以平衡 DPLL 带宽的影响的方法。

应该懂得，虽然在载波恢复的 DPLL 系统方面描述了本发明，但是本发明范围更广，并且可以包括在以同步方式发送或接收信息的任何通信系统、集成电路或数据处理系统中。另外，本发明应用于使用误差，例如，相位误差来传送信息或需要为适当的系统功能而调节误差的任何系统。本发明可以应用于电信工业、无线电或电视工业、半导体或其它集成电路、电缆或卫星通信等等。

应该理解附图中所示的元件可以以各种形式的硬件、软件或其组合来实现。这些元件可以在一个或多个适当编程的通用设备上以硬件和软件的组合来实现，该通用设备可以包括处理器、存储器和输入/输出接口。

现在特别详细地参考附图，其中在几幅图中相同的标号标识相似或相同的元件，开始参考图 1，其中示出了本领域公知的载波恢复系统 10。系统 10 包含估计两个信号之间的相位差并基于相位不匹配而输出结果的相位检测器 38。使用限幅器 40 提供用于与消旋的符号 16 进行比较的限幅的（目标）符号。一阶和二阶通路 37 和 39 连接到相位积分器 20，然后其寻址查找表 18 来将消旋相位转换为复正弦/余弦值以便在消旋器 12 中消旋信号。因此相位积分器 20 和查找表 18 一起执行数控振荡器（NCO）的功能。然后通过去映射器（demapper），或者更典型地一个或多个前向误差校正（FEC）解码器或解码器 41，可以将消旋的符号 16 解码为数据。相位积分器 20 和二阶积分器 30 分别包括寄存器 22 和 28，以及分别包括加法器 24 和 32。每个通路 37 和



39 包括放大器 34 和 36 以便给其相应通路提供增益。在施加到相位积分器 20 之前，一阶和二阶通路 37 和 39 通过加法器 26 相加。

参考图 2，描述了本发明的示例性的实施例。系统 100 包括多个环路带宽，在分析周期上并基于品质或适当性的一些标准来测试所述多个环路带宽，选择最佳的环路带宽并使用其作为下一分析周期期间的带宽之一。系统 100 示例性地包括三个并列的载波恢复组件 102、108 和 110。每个组件 102、108 和 110 处理相同的数据组，例如旋转接收的符号 14 的相同组。每个载波恢复组件 102、108 和 110 具有符号输入 14、增益输入（增益 1、2 或 3）和误差输出（相位误差 1、2 或 3）。

如下面将要描述的，提供到三个载波恢复组件 102、108 和 110 的增益（增益 1、增益 2、增益 3）是由环路增益控制组件 112 提供的。环路增益控制组件 112 从三个载波恢复组件 102、108、110 接收误差输出（相位误差 1、相位误差 2、相位误差 3），并给载波恢复组件 102、108 和 110 提供增益（增益 1、增益 2、增益 3）。组件 112 还包括更新输入（“更新”）。

在预定义的分析周期期间，定时发生器 114 生成更新信号以将新的一组增益施加到三个载波恢复组件 102、108 和 110。时间周期可以包括任何适合的时间消逝，优选地使更新之间的时间周期最优化以提供最佳性能。图 3 中示出了一个载波恢复组件 102 的细节。

参考图 3，载波恢复组件 102 的操作类似用于组件 108 和 110。另外，组件 102 的许多操作类似于图 1 所示的已知载波恢复电路 10 的操作。由作为复乘法器的消旋器 12 消旋输入信号 14。通过计算该符号乘以限幅的符号的共轭的虚部来确定消旋的符号 16 和由限幅器 40 提供的目标（限幅的）符号之间的相位误差，也就是：

$$\phi_{err,est} \cong \text{imag}(z \cdot z_{sl}^*) = |z| \cdot |z_{sl}| \sin(\angle z - \angle z_{sl}) \cong |z|^2 \phi_{err}$$

其中： $z$  是符号， $z_{sl}^*$  是限幅的符号的共轭， $z_{sl}$  是限幅的符号，以及  $\angle z$  和  $\angle z_{sl}$  分别是符号和限幅的符号的相位角。

使用一阶通路 214 中的乘法器 214 将相位误差估计  $\phi_{err}$  乘以一阶增益 202，并且，如由放大器 208 更改的，由乘法器 206 将相位误差估计  $\phi_{err}$  乘以二阶增益 202。可以使用放大器或乘法器 208 来放大或调节二阶通路 216 的增益 202。

二阶通路 216 包括积分器 30。二阶寄存器 28 按符号速率计时（未示出）。一阶和二阶通路（214 和 216）通过加法器 26 相加在一起，并且然后由积分器 20 进行积分以得到校正相位。相位寄存器 22 按符号速率计时（未示出）。然后将该相位施加到正弦/余弦查找表 18 来提供复数值，以便在消旋器 12 中消旋下一符号。应该理解，二阶通路 216 可以完全从载波恢复组件中除去，或者那个附加的通路可以增加到一阶通路 214。

可变增益 202 输入到电路，并且直接用于一阶通路 214。该增益 202 通过因数  $K_{12}$  缩小，因数  $K_{12}$  小于在二阶通路 216 中由放大器 208 使用的因数。从要在环路增益控制电路之内分析的电路提供相位误差 212。参考图 4 示例性地描述环路增益控制组件的细节。

参考图 4，环路增益控制组件 112 检查三个输入误差信号（相位误差 1、2 和 3），并使用逻辑电路 302 确定哪个误差信号具有最小均方值。在所实施例中，在块 304 中平方相位误差，并且将该误差传到累加器 310，其中通过使用加法器 308 加上新的误差来更新误差平方寄存器 306。

当声明更新信号（更新）时，组件 112 选择产生最小误差信号的增益作为新的增益 1，并产生小于增益 1 的新的增益 2 和大于增益 1 的新的增益 3。使用响应索引 301 的复用器 328 作出该选择。当声明更新信号时，将三个误差信号累加器 310（即寄存器 306）复位为零，以开始下一分析周期中的累加平方误差的处理。

在环路增益控制电路 112 中，由三个载波恢复组件 102、108 和 110 提供的所有三个相位误差被平方（304）和积分（310）。这三个误差平方寄存器 306 按符号速率计时（未示出）。这些积分的误差提供到确定最小误差的索引 301 的逻辑块 302。例如，如果相位误差 1 的积分值小于相位误差 2 或 3 的积分值中的任一个，则逻辑电路 302 输出索引 1。

三个寄存器 324、325 和 326 包括在当前的分析周期中被三个载波恢复组件 102、108 和 110 使用的三个增益。在该分析周期结束时，声明更新信号（更新）以计时所有的三个寄存器 324、325 和 326。在那时，保持增益 1 的寄存器接收在分析周期期间已产生最小的累加误差的增益。也就是，如果最小的误差索引是 2，则使用增益 2 的载波恢复电路产生最小的累加误差，并且寄存增益 2 作为用于下一分析周期的新的增益 1。同时，由乘法器 320 将增益 2 乘以小于 1 的值  $K$  小，以便产生新的增益 2，并且由乘法器 322 将增益 2 乘

以大于1的值  $K$  大, 以便产生新的增益 3。因此, 将三个新的增益寄存, 以用于下一分析周期, 包括可从前一分析周期得到的最佳增益和稍小于和稍大于来自前一分析周期的最佳增益的两个附加增益。

当声明更新信号并选择了新的增益时, 将三个累加器 310 复位为零以便在下一分析周期期间得到有意义的相位误差的积分。

如从图 2 可以看出的, 由于增益 1 寄存从前一分析周期找到的最佳增益, 所以载波恢复组件 102 用于实际数据解码, 也就是, 输出其消旋的符号用于 FEC 41 或其它后续电路。

参考图 5, 示出了节省硬件需求的替代实施方式。这基于硬件的再利用, 并且基于认识到对于图 2 的三个载波恢复组件 102、108 和 110 中的每一个, 由二阶通路 416 的相位积分器/累加器 422 和二阶积分器/累加器 426 存储状态。因此, 如果每符号多时钟周期是可用的, 则可以使用具有多个状态元件 (422 或 426) 的单载波恢复组件 400 来实现如图 2 的三个单独的载波恢复组件 102、108 和 110 的功能。在图 5 中, 只需要单个消旋器 (复乘法器) 12、相位检测器 38、一阶乘法器 404、二阶乘法器 406、和正弦/余弦查找表 18。

该实施方式的基础是输入到电路的每个旋转的符号 14 在符号周期内保持恒定, 在符号周期时间内, 有效地将其施加到使用三个不同的增益的三个不同的载波恢复电路。在该实施方式中, 二阶寄存器 A、B 和 C (426) 和相位寄存器 A、B 和 C (422) 按三倍 ( $3 \times$ ) 符号速率计时 (未示出)。结构 420 和 424 通过寄存器 422 与 426 和加法器 24 与 32 的配置组合积分器与复用器作为, 例如循环移位寄存器。也可以使用其它的复用/去复用结构。

使用增益 1 产生的那些消旋的符号消旋器 12 的输出端寄存在使能的寄存器 402 中, 用于 FEC 41 或其它后续电路。当 ENA 1 为高时, 寄存器 402 的输入存储在下一正的  $3 \times$  时钟边沿。类似地, 相位误差 1、2 和 3 寄存在使能的寄存器 428 中。当 ENA 1、2 或 3 为高时, 寄存器 428 的输入分别在下一  $3 \times$  时钟边沿存储为相位误差 1、2 或 3。经由复用器 430 选择来自环路增益控制组件 112 (图 2) 的增益。增益选择值按次序 (1、2、3、1、2、3...) 旋转。在增益选择值的对应倍数的使能信号 ENA 为高, 也就是, 当增益选择为 1 时 ENA 1 为高, 依次类推。应该理解二阶通路元件 208、406、424 和加法器 26 可以除去, 或者附加通路可以增加到一阶通路上。

可以通过增加适当的使能信号来得到较高或较低的时钟速率, 例如两倍

或四倍符号速率或更高，并且可以将其用于这种电路中。在此描述的实施方式允许多个环路带宽施加到相同的数据组。在其它实现中，可以使用单个载波恢复电路，并且在分析周期期间可以使用单个环路增益。例如，增益 1 可以用于分析周期，并且用于计算的相关联的积分误差。在下一分析周期中，可以尝试较小的增益 2；在第三分析周期中，可以尝试较大的增益 3。在所有三个分析周期之后，可以选择最佳的增益并将其用作主操作增益 1，并且可以选择新的较小增益 2 和较大增益 3 用于另一次序的三个分析周期。这种方法的优点是优化了环路带宽，而无需多个载波恢复电路或每符号多个操作。

也可以以多种方式修改上面的实施例。例如，环路的二阶增益可以与 DPLL 的固有频率  $\omega_n$  的平方成正比。环路的一阶增益可以与固有频率乘以阻尼因数的乘积成正比。因此，为了保持恒定的阻尼因数（或者环路频率响应中的恒定峰值），二阶增益是环路的一阶增益乘以常数，并且还乘以一阶增益，如图 6 和 7 所示。

参考图 6，施加到乘法器 206 的总的二阶增益是  $K_{12}$  乘以来自乘法器 203 的增益（202）乘以增益（202）。参考图 7，乘法器 206 应用在乘法器 204 之后，使得二阶通路的级联增益又是增益\*增益\* $K_{12}$ ，其中  $K_{12}$  包括用于恒定阻尼比率的常数。

给出上面的示例性实施例，依据本发明可以采用许多替代实施例。例如品质标准可以是如上所述的由相位检测器估计的最小均方相位误差、到目标符号的最小均方间隔、或一些其它标准。其它实施例可以使用不同的硬件或软件结构，包括任何数量的相位误差和增益组件等等。在一个这种实施例中，可以不依赖于第二通路的增益而控制第一通路的增益。在一个例子中，这将包括一阶增益和二阶增益，它们可以基于在前一时间周期内确定的最小误差来选择。在另一例子中，可以基于在前一时间周期内确定的最小误差来选择一阶增益，并且可以基于在不同的前一时间周期确定的最小误差来选择二阶增益。

已经描述了改进的载波恢复的方法和系统的优选实施例（其意在示例并非限制），注意按照上面讲授本领域技术人员可以作出修改和改变。因此，应该理解可以在本发明公开的特定实施例中作出由所附权利要求概括的本发明范围和精神内的改变。已经如此描述了专利法所要求的本发明的细节和特性，因此在所附权利要求书中提出要求并希望由专利证书来保护的权利要求范围。

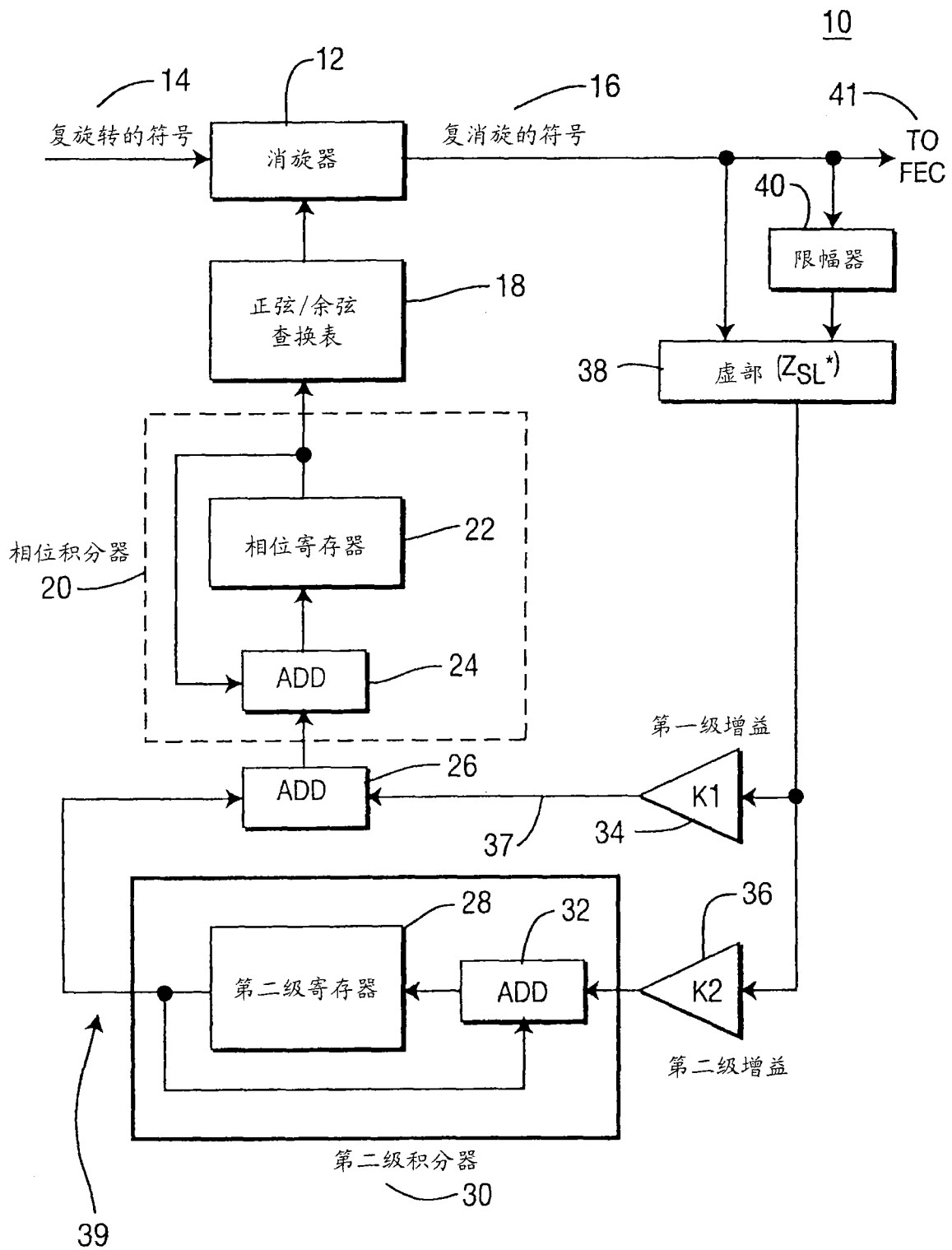


图 1 现有技术

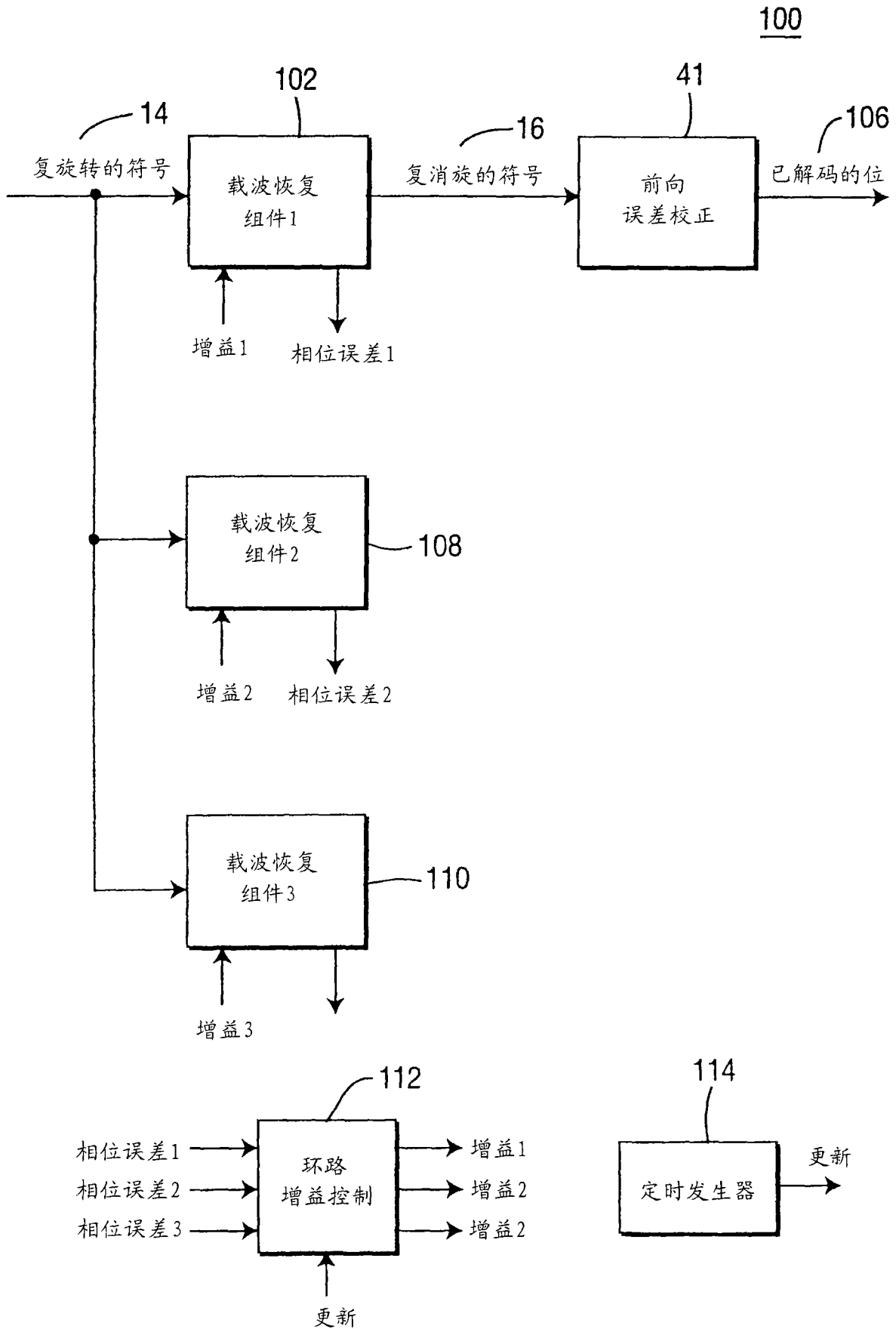


图 2

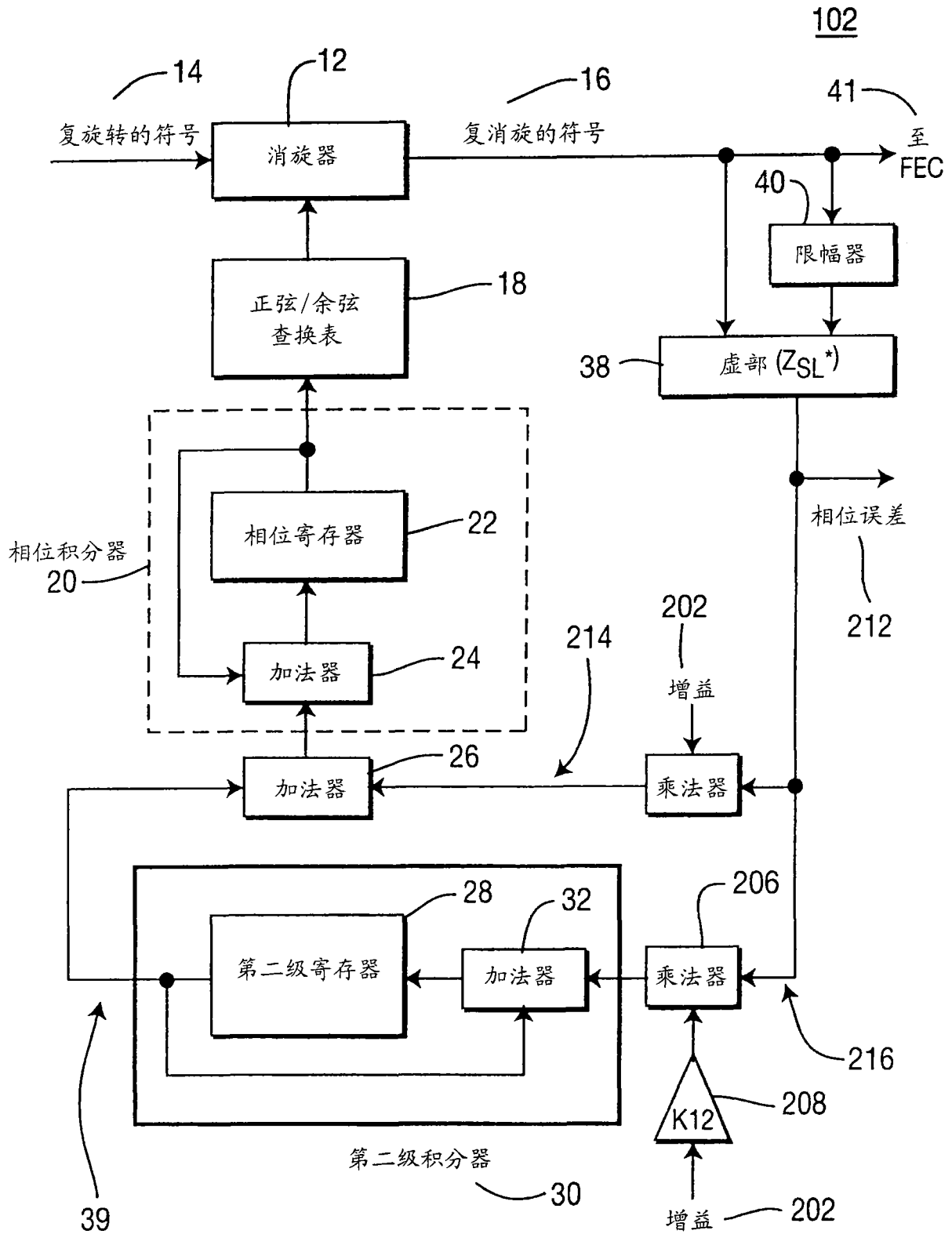
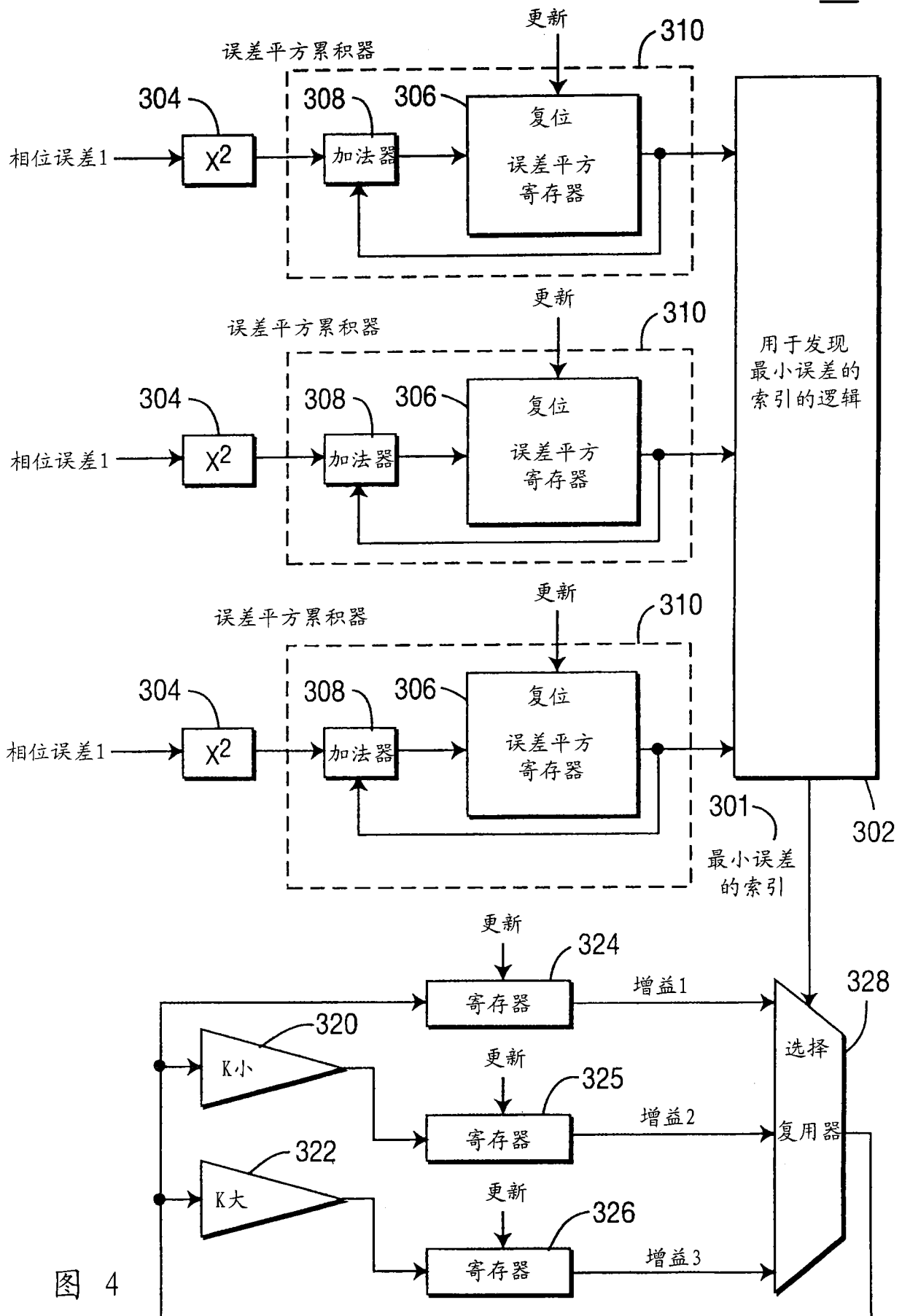


图 3

112





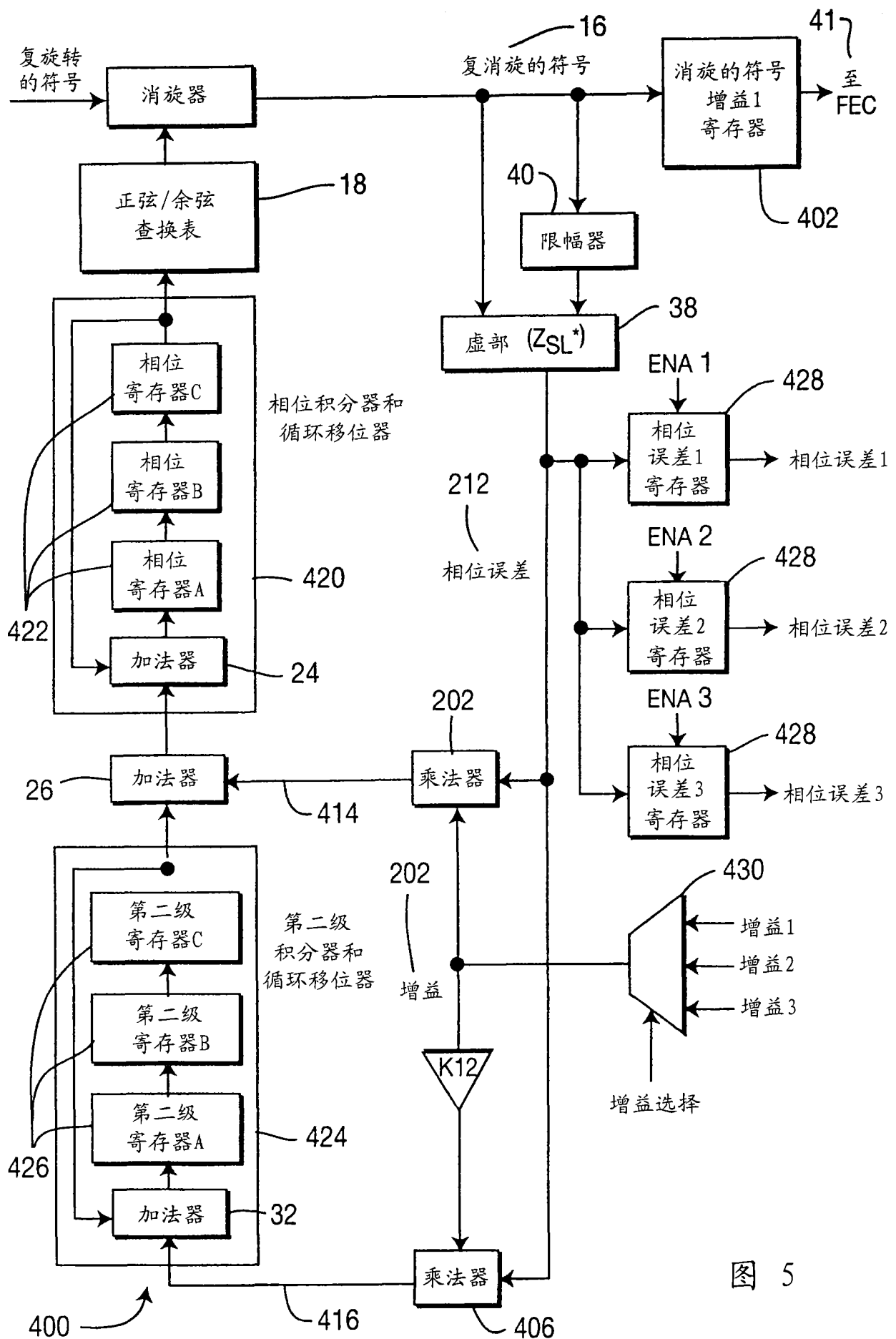


图 5

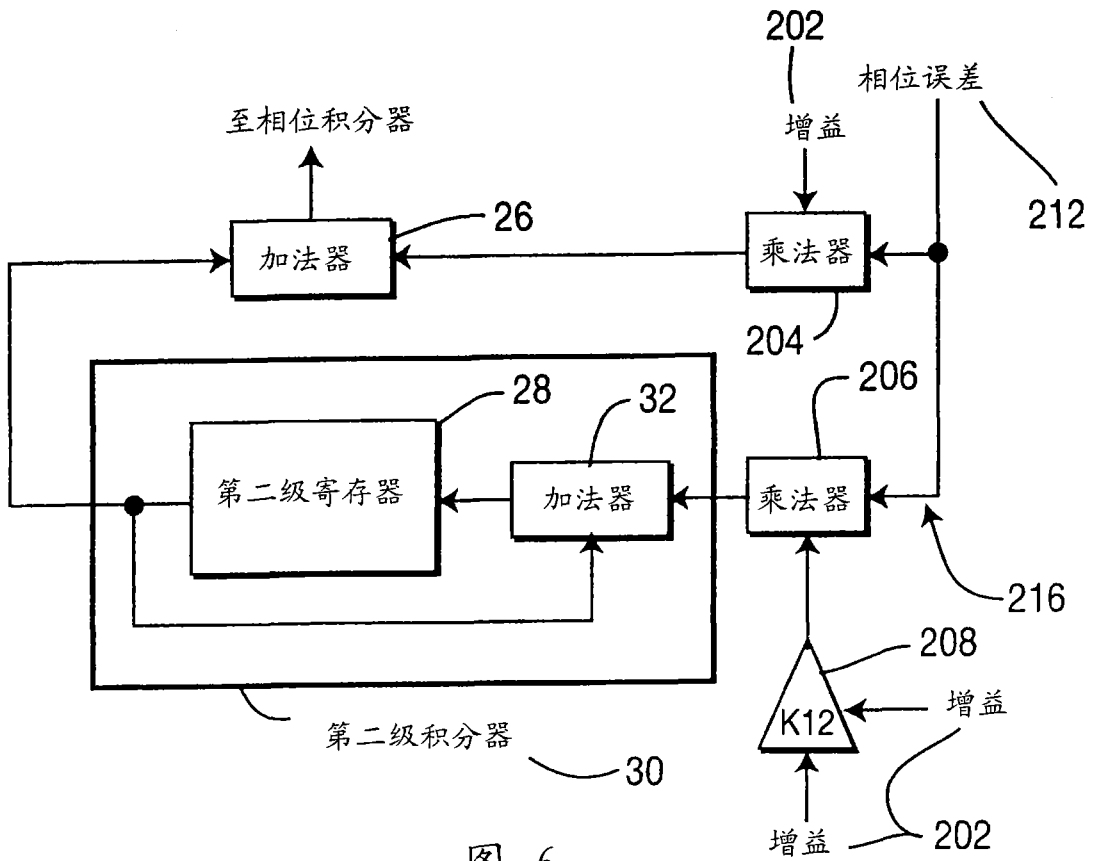


图 6

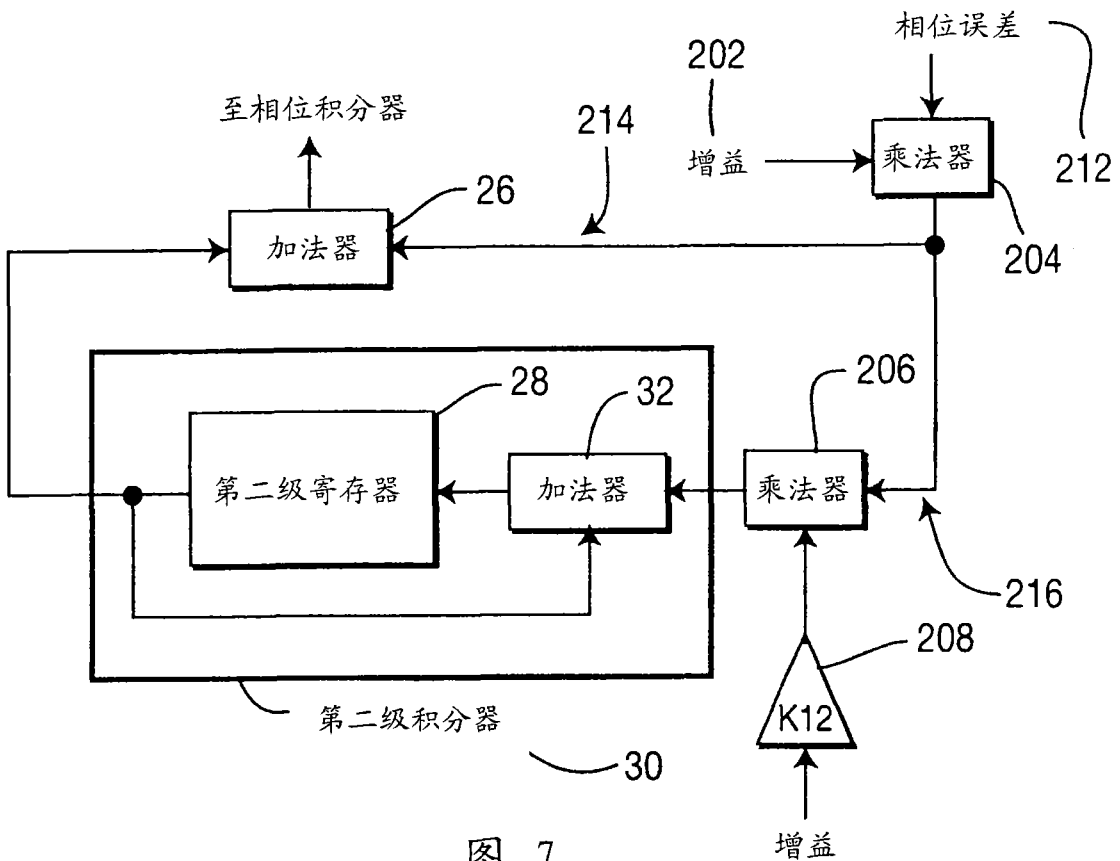


图 7