



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105103223 A

(43) 申请公布日 2015. 11. 25

(21) 申请号 201480019607. 2

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021

(22) 申请日 2014. 03. 28

代理人 王波波

(30) 优先权数据

13305425. 4 2013. 04. 02 EP

(51) Int. Cl.

G10L 19/018(2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2015. 09. 30

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2014/056304 2014. 03. 28

(87) PCT国际申请的公布数据

W02014/161785 EN 2014. 10. 09

(71) 申请人 汤姆逊许可公司

地址 法国伊西莱穆利诺

(72) 发明人 陈晓明 彼得·乔治·鲍姆

迈克尔·阿诺德 乌尔里希·格里斯

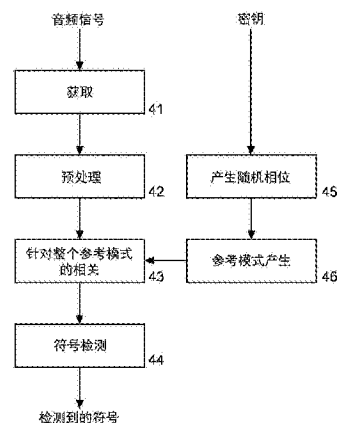
权利要求书2页 说明书13页 附图4页

(54) 发明名称

用于确定可包含回声、回响和 / 或噪声的接收到的音频信号中的水印符号的方法和设备

(57) 摘要

在通过引起回声、回响和 / 或噪声的声学路径发送了有水印的音频信号之后, 水印检测相关结果峰值集中在主相关结果峰值附近的有限时间范围内, 其中, 有限时间范围比总相关长度小得多。水印检测基于: 假设针对未标记内容的相关结果值的平均或预期概率分布中的  $n_p$  个相关结果峰值  $\{P_1, P_2, \dots, P_{n_p}\}$ , 概率被计算为: 在覆盖有限时间范围的窗口内, 存在大于或等于这些峰值  $v$  的来自相关结果值集合的  $n_p$  个或更多个值。



1. 一种用于确定能够包括回声、回响和 / 或噪声的接收到的音频信号中的水印符号的方法, 所述方法包括如下步骤:

- 将接收到的音频信号的一部分与关于相应的不同候选水印符号  $i_s$  的至少两个不同的候选参考模式信号 (46) 进行相关 (43), 以在每个情况下产生针对每个候选水印符号  $i_s$  的  $N$  个相关结果值  $c_{i_s}$ ;

- 针对每个候选水印符号  $i_s$ , 确定 (51) 所述相关结果值  $c_{i_s}$  内的  $M$  个峰值, 其中, 所述水印符号确定 (44、58、59) 的特征在于:

- 针对由所述  $M$  个峰值表示的全局峰值中的每一个以及针对每个候选水印符号  $i_s$ , 根据相关结果值  $c_{i_s}$  确定 (52)  $M$  个长度  $L$  的窗口中的每一个内的  $n_p$  个峰值的相应矢量  $v_{i_s}^k$ , 其中, 每个长度  $L$  的窗口包括所述  $M$  个全局峰值之一并且所有长度  $L$  的窗口的总和长度小于  $N$ , 其中,  $k = 1, \dots, M$ ;

- 针对所述  $M$  个长度  $L$  的窗口中的每一个, 基于峰值的矢量  $v_{i_s}^k$  以及针对非水印嵌入的音频信号的相关结果值的平均或预期概率分布, 计算 (54) 误检概率值  $FP(v_{i_s}^k)$ , 其中, 误检概率  $FP(v_{i_s}^k)$  被定义为这样的概率: 在针对非水印嵌入的音频信号内容的相关值的平均或预期概率分布中, 这样的长度  $L$  的窗口一次或多次包括大于或等于  $n_p$  个峰值的  $n_p$  个或更多个相关结果绝对值;

- 如果最小误检概率值  $\min_{i_s}(\min_k(FP(v_{i_s}^k)))$  小于预定阈值 ( $T_{max}$ ), 则针对所述接收到的音频信号的所述部分选择 (58) 候选水印符号  $i_s$  作为检测到的具有所述最小误检概率值  $\min_{i_s}(\min_k(FP(v_{i_s}^k)))$  的水印符号,

否则, 认为没有检测到水印符号。

2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中, 如果在所述误检概率  $FP(v_{i_s}^k)$  值的所述计算 (54) 中, 所述值小于另一预定阈值 ( $T_{min}$ ), 则认为 (55) 已经找到正确的候选水印符号  $i_s$ , 并省略进一步的, 并且所述预定阈值 ( $T_{max}$ ) 大于所述另一预定阈值 ( $T_{min}$ )。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法, 其中,  $M = 3$ 。

4. 根据权利要求 1 至 3 之一所述的方法, 其中, 存在两个不同的候选水印符号。

5. 一种用于确定能够包括回声、回响和 / 或噪声的接收到的音频信号中的水印符号的设备, 所述设备包括:

- 适用于将接收到的音频信号的一部分与关于相应的不同候选水印符号  $i_s$  的至少两个不同候选参考模式信号 (46) 进行相关, 以在每个情况下产生针对每个候选水印符号  $i_s$  的  $N$  个相关结果值  $c_{i_s}$  的装置 (43);

- 适用于针对每个候选水印符号  $i_s$ , 确定所述相关结果值  $c_{i_s}$  内的  $M$  个峰值并且针对所述接收到的音频信号的所述部分, 确定根据针对每个候选水印符号  $i_s$  的所述  $M$  个相关结果峰值得出的所述候选水印符号  $i_s$  中的水印符号的装置 (44、51、52、54、58、59);

其中, 针对由所述  $M$  个峰值表示的全局峰值中的每一个以及针对每个候选水印符号

$i_s$ , 根据相关结果值  $c_{i_s}$  确定 (52)  $M$  个长度  $L$  的窗口中的每一个内的  $n_p$  个峰值的相应矢量  $\mathbf{v}_{i_s}^k$ , 其中, 每个长度  $L$  的窗口包括所述  $M$  个全局峰值之一并且所有长度  $L$  的窗口的总和长度小于  $N$ , 其中,  $k = 1, \dots, M$ ,

并且, 针对所述  $M$  个长度  $L$  的窗口中的每一个, 基于峰值的矢量  $\mathbf{v}_{i_s}^k$  以及针对非水印嵌入的音频信号的相关结果值的平均或预期概率分布来计算 (54) 误检概率值  $FP(\mathbf{v}_{i_s}^k)$ , 其中, 误检概率  $FP(\mathbf{v}_{i_s}^k)$  被定义为这样的概率: 在针对非水印嵌入的音频信号内容的相关值的平均或预期概率分布中, 这样的长度  $L$  的窗口一次或多次包括大于或等于  $n_p$  个峰值的  $n_p$  个或更多个相关结果绝对值;

并且, 如果最小误检概率值  $\min_{i_s}(\min_k(FP(\mathbf{v}_{i_s}^k)))$  小于预定阈值 ( $T_{\max}$ ), 则针对所述接收到的音频信号的所述部分, 选择 (58) 候选水印符号  $i_s$  作为检测到的具有所述最小误检概率值  $\min_{i_s}(\min_k(FP(\mathbf{v}_{i_s}^k)))$  的水印符号,

否则, 认为没有检测到水印符号。

6. 根据权利要求 5 所述的设备, 其中, 如果在所述误检概率  $FP(\mathbf{v}_{i_s}^k)$  值的所述计算 (54) 中, 所述值小于另一预定阈值 ( $T_{\min}$ ), 则认为 (55) 已经找到正确的候选水印符号  $i_s$ , 并省略进一步的处理, 并且所述预定阈值 ( $T_{\max}$ ) 大于所述另一预定阈值 ( $T_{\min}$ )。

7. 根据权利要求 5 或 6 所述的设备, 其中,  $M = 3$ 。

8. 根据权利要求 5 至 7 之一所述的设备, 其中, 存在两个不同的候选水印符号。

## 用于确定可包含回声、回响和 / 或噪声的接收到的音频信号中的水印符号的方法和设备

### 技术领域

[0001] 本发明涉及用于确定可包含回声、回响和 / 或噪声的接收到的音频信号中的水印符号的方法和设备。

### 背景技术

[0002] 音频水印嵌入是以不可听的方式将附加信息嵌入音频信号的处理。通过改变音频信号,例如通过添加伪随机噪声或回声,来执行嵌入。为了使嵌入不可听,通过对音频信号进行心理声学分析来控制嵌入的强度。WO 2011/141292 A1 描述了在音频信号(例如由麦克风接收到的扬声器声音)中存在回声、回响和 / 或噪声的情况下的水印检测。这些回声导致与水印符号(即,参考信号)的长度  $N$  的相关结果值序列中的多个峰值,并用于提高水印检测的可靠性。这种统计检测器的基本步骤是:

[0003] - 针对每个候选水印符号寻找相关结果序列中的峰值  $\mathbf{v} = (v_1, v_2, \dots, v_{n_p})$ , 其中,  $v_1 \geq \dots \geq v_{n_p}$  并且  $n_p$  是被考虑的相关结果峰值的数目;

[0004] - 递归地计算候选水印符号被嵌入的误检概率  $P_{(k)}, k=1, \dots, n_p$ ;

[0005] - 选择导致最低  $P_{(k)}$  值的候选水印符号。

[0006]  $P_{(k)}$  是错误地接受候选水印符号的概率。其描述了来自非水印嵌入的信号部分的  $k$  个或更多个相关结果值大于或等于被考虑的实际  $k$  个峰值的概率。

[0007] 统计检测器解决了以下问题:

[0008] a) 如何递归地评估概率  $P_{(k)}$ , 其中, 可以逐渐增加被考虑的峰值的数目  $k$ 。

[0009] b) 如何通过重新使用已经执行的计算来最小化计算复杂度。

[0010] 该统计检测器使用若干相关结果峰值来提高检测性能。如果通过声学路径发送水印嵌入的音轨(这由于回声而导致多径检测), 则这种提高尤其有利。用于计算  $P_{(k)}$  的  $n_p$  个峰值  $v_1 \geq \dots \geq v_{n_p}$  来自于长度  $N$  的整个相关结果值序列。

### 发明内容

[0011] 然而, 这种类型的处理未以最佳方式反映物理真实性, 这是因为相关结果值序列中的附加峰值起源于回响并从而在主峰值附近群组化。即, 它们将相对于扬声器和检测装置的麦克风之间的直接路径但是仅在有限的时间段内被时间延迟。在水印检测装置通过与源相距距离  $d_s$  (以样本  $s$  为单位测量的) 的声学路径接收声音的情况下, 传播距离是  $d_m = d_s c T$  米, 其中,  $c T$  是声音在一个采样间隔中传播的距离,  $T = 1/f$  是采样率, 并且  $c$  是声音的速度。

[0012] 例如, 如果针对直接路径  $d_m^d = 4m$  并且针对间接路径  $d_m^i = 2d_m^d = 8m$ , 则在直接路径的主峰值和由于反射造成的相邻峰值之间的以样本为单位的距离是

$\Delta d_s = d_s^i - d_s^d = d_m^d / c_T \approx 560$  个样本, 其中,  $c \approx 343\text{m/s}$  且  $f \approx 48000$  样本 /s。在典

型的设置中, 相关长度是  $N = 16\text{k}$  个样本 (其中  $1\text{k} = 1024$ )。因此, 将在主峰值或多个主峰值附近的大小例如为  $L \approx 1\text{k}$  个样本 (即,  $L \ll N$ ) 的窗口中搜索峰值, 并且将计算相应的误检概率。由于主相关结果峰值位于  $N$  个相关结果值的当前集合中的某个位置, 因此针对大小  $N$  的缓存器中的大小  $L$  的窗口的所有可能的  $N-L+1$  个移位来计算误检概率。

[0013] 本发明将解决的问题在于比已知的统计水印检测器更好地考虑多路径接收的物理特性, 并从而提高误检概率计算和水印检测性能。该问题由权利要求 1 所述的方法解决。使用该方法的设备如权利要求 2 中所公开的。

[0014] 如上所述, 在通过引起回声、回响和 / 或噪声的声学路径发送了水印嵌入的音频信号之后, 水印检测相关结果峰值总体集中在有限时间范围 (其最大大小被表示为  $L$ , 比总相关长度  $N$  小得多) 内的主相关结果峰值附近。用于水印检测的相关任务可以由下面的公式表示:

[0015] 假设针对未标记的音频信号内容的相关结果值的平均或预期概率分布中的  $n_p$  个峰值  $\mathbf{v} = (v_1, v_2, \dots, v_{n_p})$ , 如何计算概率  $P_{FP}(n_p, L, \mathbf{v})$ , 即, 在长度  $L$  的滑动窗口内, 存在大于或等于这些峰值  $\mathbf{v}$  的来自当前长度  $N$  的相关结果值集合的  $n_p$  个或多个峰值?

[0016] 测量已经示出针对未标记的内容的相关结果值的平均或预期的概率分布对应于或类似于高斯分布。

[0017] 备注: 当通过当前输入音频信号部分上逐个样本地移位参考模式来执行相关时, 该相关的  $N$  值结果可具有正峰值和负峰值, 它们被一起表示为“峰量值”。

[0018] 为了简化以下描述, 介绍一些标记:

[0019]  $-c_j \triangleq (c_j, c_{j+1}, \dots, c_{j+L-1})$  表示在从  $N$  内的位置  $j$  开始的长度  $L$  的第  $j$  个滑动窗口内的  $L$  个相关结果值。

[0020]  $-c_j \geq v$  指示在针对未标记的内容的相关结果值的平均或预期的概率分布中, 在矢量  $c_j$  中存在大于或等于  $n_p$  个峰值  $\mathbf{v}$  的  $n_p$  个或多个当前相关结果值。

[0021]  $-c_j \not\geq v$  意味着在针对未标记的内容的相关结果值的平均或预期的概率分布中, 在矢量  $c_j$  中存在大于或等于  $n_p$  个峰值  $\mathbf{v}$  的少于  $n_p$  个当前相关结果值。

[0022] 备注:  $-c_j \not\geq v$  是  $c_j \geq v$  的补集, 即,  $\Pr\{c_j \not\geq v\} + \Pr\{c_j \geq v\} = 1$ , 其中,  $\Pr$  表示概率。

[0023] 设长度  $L$  的滑动窗口移位通过  $N$  个相关结果值。如上所述, 要求的 FP (误检) 概率是这样的概率: 在针对非水印嵌入音频信号内容的相关结果值的平均或预期概率分布中, 滑动窗口一次或多次包括大于或等于  $n_p$  个峰值的  $n_p$  个或多个相关结果量值。针对该 FP 概率的互补情况是: 在针对非水印嵌入的音频信号内容的相关结果值的平均或预期概率分布中, 没有滑动窗口包括大于或等于  $n_p$  个峰值的  $n_p$  个或多个相关结果量值, 即,  $-c_j \not\geq v, \forall j$ 。结果,  $\Pr\{-c_j \not\geq v, \forall j\}$  是针对误检概率

$\Pr\{\exists j \in (1, \dots, N-L+1), c_j \geq v\}$  (通过  $j$  对一个或多个窗口编索引) 的互补概率。

[0024] 最终的 FP 概率计算可以被表示为 (见下文的详细描述) :

[0025]

$$\begin{aligned} 1 - \Pr\{c_j \geq v, \forall j\} &= 1 - \Pr\{c_2 \geq v | c_1 \geq v\}^{N-L} \Pr\{c_1 \geq v\} \\ &= 1 - \left(1 - \frac{\Pr\{c_2 \geq v, c_1 \geq v\}}{\Pr\{c_1 \geq v\}}\right)^{N-L} \Pr\{c_1 \geq v\} \end{aligned}$$

[0026] 针对  $L = N$  (在此情况下  $c_1 \equiv c = (c_1, c_2, \dots, c_N)$ ), 根据上文在 ' $c_j \geq v$ ' 定义中的备注, 该一般公式简化为 WO 2011/141292 统计检测器中的递归计算的情况:  $\Pr\{c_1 \geq v\} = 1 - \Pr\{c_1 < v\}$ 。

[0027] 在 WO 2011/141292 中针对统计检测器描述了  $\Pr\{c_1 \geq v\}$  的计算: 基于针对当前信号部分的相关结果值中的峰值, 通过使用水印符号的类型的检测的误检概率的相关的值来检测候选符号中的哪个候选符号存在于当前信号部分中, 其中, 以递归方式计算误检概率, 并且通过首先使用针对较少数目的相关结果峰值的误检概率, 并通过根据要求的检测可靠度逐渐增加考虑的相关结果峰值的数目, 来评估给定数目的相关结果峰值的总误检概率。

[0028] 因此, 在以下描述中, 将误检概率的计算映射为计算  $\Pr\{c_2 \geq v, c_1 \geq v\}$  的问题: 对于给定数目 ( $n_p$  个) 的峰值, 可以根据针对从峰值  $i = 1, 2$  开始的  $n_p - 1$  个峰值的概率来递归地计算该概率 (参考实施例部分的描述)。

[0029] 在本发明通过显著减少误检检测决定来提高 WO 2011/141292 统计水印检测处理的检测性能的同时, 本发明还保留了 WO 2011/141292 水印检测的全部优点。

[0030] 有益地, 本发明可用于用户观看 TV 并经由水印嵌入的 TV 声音得到水印信息的第二屏幕场景, 例如, 用于使用水印信息来基本同步地下载和呈现与当前 TV 节目相关的附加信息的平板计算机。

[0031] 原理上, 本发明方法适合于确定可包括回声、回响和 / 或噪声的接收到的音频信号中的水印符号, 所述方法包括如下步骤:

[0032] - 将接收到的音频信号的当前部分与关于相应的不同候选水印符号  $i_s$  的至少两个不同候选参考模式信号进行相关, 以在每个情况下产生针对每个候选水印符号  $i_s$  的  $N$  个当前相关结果值  $c_{i_s}$ ;

[0033] - 针对每个候选水印符号  $i_s$ , 确定所述相关结果值  $c_{i_s}$  内的  $M$  个峰值:

[0034] - 针对所述接收到的音频信号的所述当前部分来确定根据针对每个候选水印符号  $i_s$  的所述  $M$  个相关结果峰值得出的所述候选水印符号  $i_s$  中的水印符号, 或者确定没有检测到水印符号, 其中, 所述水印符号确定包括以下步骤:

[0035] - 针对由所述  $M$  个峰值表示的全局峰值中的每一个以及针对每个候选水印符号  $i_s$ , 根据当前相关结果值  $c_{i_s}$  确定  $M$  个长度  $L$  的窗口中的每一个内的  $n_p$  个峰值的相应矢量

$v_{is}^k$ , 其中, 每个长度 L 的窗口包括所述 M 个全局峰值之一并且所有长度 L 的窗口的总和长度小于 N, 其中,  $k = 1, \dots, M$ ;

[0036] - 针对所述 M 个长度 L 的窗口中的每一个, 根据当前相关结果值  $c_{is}$  计算误检概率  $FP(v_{is}^k)$ , 其中, 误检概率  $FP(v_{is}^k)$  对应于这样的概率: 在针对非水印嵌入的音频信号的相关结果值的平均或预期概率分布中, 这样的长度 L 的窗口一次或多次包括大于或等于  $n_p$  个峰值的  $n_p$  个或更多个相关结果值;

[0037] - 针对所述接收到的音频信号的当前部分, 选择候选水印符号  $is$  作为检测到的具有最小误检概率值  $\min_{is}(\min_k(FP(v_{is}^k)))$  的水印符号。

[0038] 原理上, 本发明设备适合于确定可包括回声、回响和 / 或噪声的接收到的音频信号中的水印符号, 所述设备包括:

[0039] - 适用于将接收到的音频信号的当前部分与关于相应的不同候选水印符号  $is$  的至少两个不同候选参考模式信号进行相关, 以在每个情况下产生针对每个候选水印符号  $is$  的 N 个当前相关结果值  $c_{is}$  的装置;

[0040] - 适用于针对每个候选水印符号  $is$ , 确定所述相关结果值  $c_{is}$  内的 M 个峰值, 并且针对所述接收到的音频信号的所述当前部分, 确定根据针对每个候选水印符号  $is$  的所述 M 个相关结果峰值得出的所述候选水印符号  $is$  中的水印符号, 或者确定没有检测到水印符号的装置;

[0041] 其中, 针对由所述 M 个峰值表示的全局峰值中的每一个以及针对每个候选水印符号  $is$ , 根据当前相关结果值  $c_{is}$  确定 M 个长度 L 的窗口中的每一个内的  $n_p$  个峰值的相应矢量  $v_{is}^k$ , 其中, 每个长度 L 的窗口包括所述 M 个全局峰值之一并且所有长度 L 的窗口的总和长度小于 N, 其中,  $k = 1, \dots, M$ ,

[0042] 并且其中, 针对所述 M 个长度 L 的窗口中的每一个, 根据当前相关结果值  $c_{is}$  计算误检概率值  $FP(v_{is}^k)$ , 其中, 误检概率  $FP(v_{is}^k)$  对应于这样的概率: 在针对非水印嵌入的音频信号的相关结果值的平均或预期概率分布中, 这样的长度 L 的窗口一次或多次包括大于或等于  $n_p$  个峰值的  $n_p$  个或更多个相关结果值;

[0043] 并且其中, 针对所述接收到的音频信号的当前部分, 选择候选水印符号  $is$  作为检测到的具有最小误检概率值  $\min_{is}(\min_k(FP(v_{is}^k)))$  的水印符号。

[0044] 在各个从属权利要求中公开了本发明的有益附加实施例。

## 附图说明

[0045] 参照附图描述了本发明的示例性实施例, 附图示出了:

[0046] 图 1 三个或更多个相关值大于或等于三个相关结果峰值  $v_3$ 、 $v_2$ 、 $v_1$  的不相交 (disjoint) 可能性;

[0047] 图 2 具有两个  $\geq v$  的值的相交可能性, 其中, 相应代表矢量为  $[0, 1, 1]$ ,  $[0,$

0, 2],  $[m \geq 2, 0]$ ,  $[m \geq 1, 1, 0]$ ,  $[m \geq 1, 0, 1]$  且零补偿代表矢量为  $[[0, 1, 1]]$ ,  $[[0, 1, 1]]$ ,  $[[1, m \geq 1, 0]]$ ,  $[[m \geq 1, 0]]$ ,  $[[m \geq 1, 0, 1]]$ ;

[0048] 图 3 针对 '  $m \geq$  ' 情况的一般值分布;

[0049] 图 4 针对本发明处理的框图;

[0050] 图 5 针对本发明处理的流程图;

[0051] 图 6 示出了三个长度 L 的窗口的示例相关结果。

## 具体实施方式

[0052] A. 误检 (FP) 概率的定义

[0053] 在基于互相关的水印检测中使用单个相关结果峰值来确定嵌入的水印信息是公知的。然而,在本发明中,描述了采用多个相关结果峰量值的最佳水印检测。为了评估 FP 概率,假设:

[0054] - 任何未标记的信号部分内容和参考模式或水印符号之间的相关值是独立的等同分布的随机变量;

[0055] - 对于特定的相关结果峰值  $v$ , 已知如何计算相应的概率分布尾概率  $p \triangleq \Pr\{c \geq v\}$ , 其中,  $c$  表示服从如高斯等的特定分布的相关值。

[0056] 对于长度 N 的当前相关结果中的单个峰值  $v$ , FP 概率是这样的概率:在针对未标记的内容的相关结果值的平均或预期的概率分布中,在 N 个相关值中存在不小于该峰值  $v$  的一个或多个值。类似地,对于  $n_p$  个峰值  $v_1 \geq \dots \geq v_{n_p}$ , 误检概率被定义为这样的概率:在针对未标记的内容的相关结果值的平均或预期的概率分布中,存在大于或等于这些峰值  $v_1, v_2, \dots, v_{n_p}$  的  $n_p$  个或更多个相关结果值,其中,相应的尾概率被定义为  $p_i \triangleq \Pr\{c \geq v_i\}, 1 \leq i \leq n_p$ 。

[0057] 假设在排序之后的特定的相关结果矢量样本  $c_i^L \triangleq [c_1, \dots, c_L]$  ( $x_{n_1}^{n_2}$  表示收集从  $n_1$  到  $n_2$  编索引的序列值  $x$  的矢量), 即,  $c_1 \geq c_2 \geq \dots \geq c_L$ , 则可以确定其是否具有大于或等于  $v_1^{n_p}$  的  $n_p$  个或更多个值:

[0058]  $nGT = 0$ ;

[0059] for  $i = 1 : n_p$

[0060]     if  $c_i \geq v_i$

[0061]          $nGT = nGT + 1$ ;

[0062]     end

[0063] end

[0064] 如果  $nGT = n_p$ , 则  $c_i^L$  具有大于或等于  $v_1^{n_p}$  的  $n_p$  个或更多个值, 其在结果中被表示为  $c_i^L \geq v_1^{n_p}$ 。针对  $c_i^L \geq v_1^{n_p}$  的情况被划分为不相交事件。最终的 FP 概率是单独发生的事件的概率的总和。

[0065] A. 1 相关值分布、与多个峰值的比较

[0066] 为了将相关结果值与多个峰值进行比较,相关结果量值的整个范围被划分为  $n_p+1$  个区间:

[0067]  $[-\infty, v_{n_p}), [v_{n_p}, v_{n_p-1}), [v_{n_p-1}, v_{n_p-2}), \dots, [v_1, +\infty)$ 。

[0068] 然后通过有多少相关结果量值位于单独区间内进行计数来执行相关值分布,这可以由代表矢量来描述。由于有时某些区间中的值的数目与 FP 概率评估无关,因此代表矢量可具有不同长度。因此,在本描述中,代表矢量的最右侧元素始终对应于区间  $[v_1, +\infty)$ , 而其最左侧元素被称为其第一元素。

[0069] 图 1 示出了针对不同情况的相关值分布,其中,  $n_p = 3$  个或更多个相关结果值大于或等于三个峰值  $v_3 \leq v_2 \leq v_1$ 。情况  $P_1$  可以由代表矢量  $[m \geq 3]$  描述,其指示在区间  $[v_1, \infty)$  中存在 3 个或更多个相关结果值并且其他  $L-m$  个相关结果值小于峰值  $v_1$ 。另一方面,不论在区间  $[v_3, v_2)$  或  $[v_2, v_1)$  中存在多少个值,这些情况均包括在存在  $L-m$  个小于  $v_1$  的相关结果值的条件中。另一方面,为了与三个峰值进行比较,方便的是检查有多少个相关结果值位于特定区间  $[v_3, v_2), [v_2, v_1), [v_1, \infty)$  中。对于代表矢量  $[m \geq 3]$  而言,最坏的情况是在区间  $[v_3, v_2)$  和区间  $[v_2, v_1)$  中均不存在相关结果值,这与代表矢量  $[0, 0, m \geq 3]$  相对应。

[0070] 对于这种情况,由于  $v_1 \geq v_2, v_1 \geq v_3$ , 因此仍然存在  $\geq v_1$  的至少一个值,  $\geq v_2$  的一个值和  $\geq v_3$  的一个值。这可以被解释为与区间  $[v_3, v_2)$  和  $[v_2, v_1)$  相关联的两个零被区间  $[v_1, \infty)$  中的  $m \geq 3$  补偿。为了简单起见,被表示为  $[[\dots]]$  的“零补偿代表矢量”在此情况下可被定义为根据原始代表矢量  $m \geq 3$  得出的  $[[1, 1, m \geq 1]]$ 。如果没有另外声明,则将具有长度  $n_p$  的零补偿代表矢量用于区间  $[v_{n_p}, +\infty)$ 。

[0071] 例如,在情况  $P_2$  中,在区间  $[v_1, \infty)$  中存在两个相关结果值,在区间  $[v_2, v_1)$  中存在零个相关结果值,在区间  $[v_3, v_2)$  中存在  $m \geq 1$  个相关结果值,并且  $L-2-m$  个相关结果值小于  $v_3$ 。

[0072] 假设代表矢量  $a = [a_n, \dots, a_2, a_1]$ , 其相应零补偿对应部分通过以下步骤得出:

[0073] - 通过添加  $n_p-n$  个零而将矢量  $a$  扩展到长度  $n_p$ :  $a' = [0_{n_p-n}, a]$ ;

[0074] - 寻找  $a'$  中的大于  $'1'$  的元素, 如  $\{a_{j^{(t)}}, 1 \leq t \leq T\}$ ;

[0075] - 对于  $t = 1, 2, \dots, T$ , 执行零补偿: 如果在  $a_{j^{(t)}}$  的左手侧存在零, 则可以从右向左补偿最多  $a_{j^{(t)}} - 1$  个零。在零补偿期间, 顺序地更新零元素和相应的  $a_{j^{(t)}}$ 。每当补偿  $'0'$  时, 其在  $a'$  中的值被改变为  $'1'$ , 并且  $a'$  中的  $a_{j^{(t)}}$  减小 1。

[0076] 产生的矢量  $a'$  是针对  $a$  的零补偿代表矢量。应注意, 可仅通过用  $k$  替换  $n_p$  来类似地获得针对任何区间  $[v_k, +\infty)$  (其中,  $k \geq n$ ) 的零补偿代表矢量。

[0077] 例如, 针对在图 1 中列出的情况的代表矢量和它们的零补偿代表矢量分别是  $[m \geq 3], [m \geq 1, 0, 2], [m \geq 1, 2], [m \geq 2, 1], [m \geq 1, 1, 1]$  和  $[[1, 1, m \geq 1]], [[m \geq 1, 1, 1]], [[1, m \geq 1, 1]], [[1, m \geq 1, 1]], [[m \geq 1, 1, 1]]$ 。明显的是, 从代表矢量到相应的零补偿代表矢量的映射是唯一的, 而在反向映射中可能不是这样。

[0078] 有利地,在引入这种零补偿代表矢量的情况下,比较包括多个峰值的相关结果值变得更容易。具体地说,如果在零补偿代表矢量中不存在零元素,则可以假设收集 N 个相关值的相关矢量(被表示为  $\mathbf{c}_1^N = (c_1, c_2, \dots, c_N)$ ) 大于或等于  $n_p$  个峰值,其被简明地表示为  $\mathbf{c}_1^N \geq \mathbf{v}_1^{n_p}$ 。此外,如果在零补偿代表矢量中存在 k 个零,则可以说明  $\mathbf{c}_1^N$  正好具有  $n_p - k$  个  $\geq \mathbf{v}_1^{n_p}$  的值。

[0079] 根据图 1 中示出的值分布,针对单独事件的概率被计算为:

$$[0080] \quad p_1 = \sum_{m=3}^L \binom{L}{m} p_1^m (1-p_1)^{L-m}$$

$$[0081] \quad p_2 = \binom{L}{2} p_1^2 \sum_{m=1}^{L-2} \binom{L-2}{m} (p_3 - p_2)^m (1-p_3)^{L-2-m}$$

$$[0082] \quad p_3 = \binom{L}{2} p_1^2 \sum_{m=1}^{L-2} \binom{L-2}{m} (p_2 - p_1)^m (1-p_2)^{L-2-m}$$

$$[0083] \quad p_4 = \binom{L}{1} p_1 \sum_{m=2}^{L-1} \binom{L-1}{m} (p_2 - p_1)^m (1-p_2)^{L-1-m}$$

$$[0084] \quad p_5 = \binom{L}{1} p_1 \binom{L-1}{1} (p_2 - p_1) \sum_{m=1}^{L-2} \binom{L-2}{m} (p_3 - p_2)^m (1-p_3)^{L-2-m}$$

[0085] 并且最终 FP 概率是  $P_{FP} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5$ 。因子  $(p_i - p_{i-1})$  是获得具有范围  $[v_i, v_{i-1}]$  中的值的相关结果峰值的概率,而  $(1-p_i)$  是得到范围  $(-\infty, v_i]$  中的峰值的概率。

[0086] B. 针对有限范围内的相关结果峰值的 FP 概率

[0087] 如上所述,对于声学路径上的信号传输,相关结果峰量值通常集中在最大大小 L 的有限时间范围内,其中, L 比相关长度 N 小得多。

[0088] 因此,对于在 N 个相关结果值中的长度 L 的当前窗口内的  $n_p$  个峰量值,概率被计算为:在针对未标记的内容的相关结果值的平均或预期概率分布中,在该当前长度 L 窗口中存在大于或等于  $n_p$  个峰量值的  $n_p$  或更多个相关结果量值。

[0089] B.1 本发明的 FP 概率计算处理

[0090] 以上给出了  $\mathbf{c}_j \triangleq (c_j, c_{j+1}, \dots, c_{j+L-1})$ ,  $c_j \geq v$  和  $\mathbf{c}_j \geq \mathbf{v}$  的定义。

[0091] 对于包括一次或多次大于或等于  $n_p$  个预期峰值的  $n_p$  个或更多个值的滑动窗口的补偿情况是不存在包括大于或等于  $n_p$  个预期峰值的  $n_p$  个或更多个值的滑动窗口,即,  $\mathbf{c}_j \geq \mathbf{v}, \forall j$ 。结果,针对 FP 概率的补偿概率是

[0092]

$$\Pr\{c_j \geq v, \forall j\} = \Pr\{c_1 \geq v, c_2 \geq v, \dots, c_{N-L+1} \geq v\} \quad (1)$$

[0093] 使用链式法则, 联合概率  $\Pr\{c_1 \geq v, c_2 \geq v, \dots, c_{N-L+1} \geq v\}$  可以通过条件概率的方式来计算:  $\Pr\{c_1 \geq v, \dots, c_{N-L+1} \geq v\}$

$$\begin{aligned} &= \Pr\{c_{N-L+1} \geq v | c_{N-L} \geq v, \dots, c_1 \geq v\} \cdot \Pr\{c_{N-L} \geq v, c_{N-L-1} \geq v, \dots, c_1 \geq v\} \\ &= \Pr\{c_{N-L+1} \geq v | c_{N-L} \geq v, \dots, c_1 \geq v\} \Pr\{c_{N-L} \geq v | c_{N-L-1} \geq v, \dots, c_1 \geq v\} \dots \\ &\quad \Pr\{c_2 \geq v | c_1 \geq v\} \cdot \Pr\{c_1 \geq v\}. \quad (2) \end{aligned}$$

[0094] 对于相关矢量  $c_j$ , 在条件概率  $\Pr\{c_j \geq v | c_{j-1} \geq v, \dots, c_1 \geq v\}$  中仅最后一个前导  $c_{j-1}$  是相关的, 这是因为它包含  $c_j$  的除了一个之外的所有新元素:

[0095]

$$\Pr\{c_j \geq v | c_{j-1} \geq v, \dots, c_1 \geq v\} = \Pr\{c_j \geq v | c_{j-1} \geq v\}.$$

[0096] 因此, 联合概率  $\Pr\{c_1 \geq v, c_2 \geq v, \dots, c_{N-L+1} \geq v\}$  可被写作

[0097]

$$\Pr\{c_1 \geq v, \dots, c_{N-L+1} \geq v\} = \left( \prod_{j=2}^{N-L+1} \Pr\{c_j \geq v | c_{j-1} \geq v\} \right) \cdot \Pr\{c_1 \geq v\}.$$

[0098] 此外,  $L$  个相关样本的子集已经代表了所有  $N$  个样本的代表集合, 这是因为  $L$  足够大, 导致以下恒等式

[0099]

$$\Pr\{c_j \geq v | c_{j-1} \geq v\} \equiv \Pr\{c_2 \geq v | c_1 \geq v\},$$

[0100] 其被应用于方程 (2):

[0101]

$$\Pr\{c_1 \geq v, \dots, c_{N-L+1} \geq v\} = (\Pr\{c_2 \geq v | c_1 \geq v\})^{N-L} \cdot \Pr\{c_1 \geq v\} \quad (3)$$

[0102] 因为已知如何评估  $\Pr\{c_1 \geq v\}$ , 因此 FP 概率计算简化为对条件概率  $\Pr\{c_2 \geq v | c_1 \geq v\}$  的评估。

[0103] B.2 条件概率评估

[0104] 可以使用条件概率的定义来重新用公式表示条件概率  $\Pr\{c_2 \geq v | c_1 \geq v\}$ 。假设两个事件 A 和 B (其中,  $P(B) > 0$ ), 假设 B 的情况下的 A 的条件概率被定义为

$$P(A|B) \triangleq \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad (4)$$

[0105] 因此,  $\Pr\{c_2 \geq v | c_1 \geq v\}$  可被写作:

[0106]

$$\Pr\{c_2 \geq v | c_1 \geq v\} = 1 - \Pr\{c_2 \geq v | c_1 \geq v\} = 1 - \frac{\Pr\{c_2 \geq v, c_1 \geq v\}}{\Pr\{c_1 \geq v\}} \quad (5)$$

[0107] 结果, FP 概率可被评估为

[0108]

$$\begin{aligned} 1 - \Pr\{c_j \geq v, \forall j\} &= 1 - \Pr\{c_2 \geq v | c_1 \geq v\}^{N-L} \cdot \Pr\{c_1 \geq v\} \\ &= 1 - \left(1 - \frac{\Pr\{c_2 \geq v, c_1 \geq v\}}{\Pr\{c_1 \geq v\}}\right)^{N-L} \cdot \Pr\{c_1 \geq v\}. \end{aligned} \quad (6)$$

[0109] 该一般公式针对  $L = N$  简化为 WO 2011/141292 的统计水印检测处理中的递归计算的情况 (在此情况下  $c_1 \triangleq [c_1, \dots, c_M]$ ):

[0110]

$$\Pr\{c_1 \geq v\} = 1 - \Pr\{c_1 \leq v\}.$$

[0111] 为了在  $L \neq N$  的情况下计算方程 (6), 执行在下面的章节中解释的拆分。

[0112] B. 3 基于相关值分布的联合概率评估

[0113] 联合概率  $\Pr\{c_2 \geq v, c_1 \geq v\}$  可被表达为

[0114]

$$\begin{aligned} \Pr\{c_2 \geq v, c_1 \geq v\} &= \Pr\{c_2^L \text{ 具有正好 } (n_p - 1) \text{ 个 } \geq v \text{ 的值,} \\ &\quad \text{将 } c_{L+1} \text{ 添加到 } c_2^L \text{ 得到 } c_2 \geq v, \\ &\quad \text{将 } c_1 \text{ 添加到 } c_2^L \text{ 得到 } c_1 \geq v\}. \end{aligned} \quad (7)$$

[0115] 再次将  $c_2^L$  具有正好  $(n_p - 1)$  个  $\geq v$  的值的的情况划分为两个不相交组:

[0116] • 在区间  $[v_{n_p-1}, +\infty)$  中,  $c_2^L$  具有正好  $(n_p - 1)$  个  $\geq v_1^{n_p-1}$  的值, 而在区间  $[v_{n_p}, v_{n_p-1})$  中不具有值。针对这种情况, 针对区间  $[v_{n_p-1}, +\infty)$  的相应零补偿代表矢量将不具有零元素, 并同时只具有 '1' 元素。否则, 区间  $[v_{n_p}, v_{n_p-1})$  中的零将被补偿, 这与  $c_2^L$  具有正好  $(n_p - 1)$  个  $\geq v$  的值的约束矛盾。

[0117] • 在区间  $[v_{n_p-1}, +\infty)$  中,  $c_2^L$  具有正好  $(n_p - 2)$  个  $\geq v_1^{n_p-1}$  的值, 而在区间  $[v_{n_p}, +\infty)$  中具有正好  $(n_p - 1)$  个  $\geq v$  的值, 这对应于针对值分布的一些区间中的 ' $m \geq b$ ' 的情况。从下面的示例中这将清楚。在  $n_p = 3$  的情况下, 在区间  $[v_2, +\infty)$  中,  $c_2^L$  具有正好  $n_p - 2 = 1$  个  $\geq v_1^{n_p-1}$  的值。这意味着针对区间  $[v_2, +\infty)$  的所有零补偿代表矢量具有一个零元素。更具体地说,  $[[0, 1]]$  和  $[[m \geq 1, 0]]$  是针对  $n_p = 3$  的相应零补偿代表矢量。

[0118] • 对于  $[[0, 1]]$ , 为了使在区间  $[v_3, +\infty)$  中,  $c_2^L$  具有正好  $(n_p - 1) = 2$  个  $\geq v$  的值, 在区间  $[v_3, v_2)$  中必须具有一个或多个值。结果, 针对区间  $[v_3, +\infty)$  的零补偿代表矢量变为  $[[m \geq 1, 0, 1]]$ , 这意味着在区间  $[v_3, v_2)$  中存在  $m \geq 1$  个值。

[0119] • 对于  $[[m \geq 1, 0]]$ , 其可被进一步区分为  $[[1, 0]]$  或  $[[m \geq 2, 0]]$ 。对于  $[[1, 0]]$ , 零补偿代表矢量必须是  $[[m \geq 1, 1, 0]]$ , 从而在区间  $[v_3, +\infty)$  中  $c_2^L$  具有正好  $(n_p - 1) = 2$  个  $\geq v$  的值。对于  $[[m \geq 2, 0]]$ , 相应代表矢量是  $[m \geq 2, 0]$ , 同时对区间  $[v_3, v_2)$  中的值的数量没有用于满足  $c_2^L$  具有正好  $(n_p - 1) = 2$  个  $\geq v$  的值这一条件所必须的要求。

[0120] 图 2 列出了  $c_2^L$  具有正好 2 个  $\geq v$  的值的的情况。  $P_1$  和  $P_2$  对应于在区间  $[v_3, v_2]$  中  $c_2^L$  不具有值的情况。情况  $P_3, P_4$  和  $P_5$  在一个区间中具有 ' $m \geq b$ '。对于图 2 的五种情况, 所有零补偿代表矢量均只具有单个零元素。因此可以直接选择针对  $c_{L+1}$  和  $c_1$  的值范围, 使得将  $c_{L+1}$  添加到  $c_2^L$  得到  $c_2 \geq v$ , 以及将  $c_1$  添加到  $c_2^L$  得到  $c_1 \geq v$ 。

[0121] 例如,  $P_2$  对应于零补偿代表矢量  $[[0, 1, 1]]$ 。如果  $c_1 < v_3$ , 则将  $c_1$  添加到  $c_2^L$  将导致  $c_1 \geq v_1^3$ 。另一方面, 如果  $c_{L+1} \geq v_3$ , 则将  $c_{L+1}$  添加到  $c_2^L$  将导致  $c_2^{L+1} \geq v_1^3$ 。

[0122] 因此, 单独的概率被计算为:

$$[0123] \quad P_1 \left( \binom{L-1}{1} p_1 \binom{L-2}{1} (p_2 - p_1) (1 - p_3)^{L-3} \right) p_3 (1 - p_3)$$

$$[0124] \quad P_2 \left( \binom{L-1}{2} p_1^2 (1 - p_3)^{L-3} \right) p_3 (1 - p_3)$$

$$[0125] \quad P_3 \left( \sum_{m=2}^{L-1} \binom{L-1}{m} (p_2 - p_1)^m (1 - p_2)^{L-1-m} \right) p_1 (1 - p_1)$$

[0126]

$$P_4 \left( \binom{L-1}{1} (p_2 - p_1) \sum_{m=1}^{L-2} \binom{L-2}{m} (p_3 - p_2)^m (1 - p_3)^{L-2-m} \right) p_1 (1 - p_1)$$

$$[0127] \quad P_5 \left( \binom{L-1}{1} p_1 \sum_{m=1}^{L-2} \binom{L-2}{m} (p_3 - p_2)^m (1 - p_3)^{L-2-m} \right) p_2 (1 - p_2)$$

[0128] 一般而言, 可通过采用二项式定理来重新用公式表示对概率  $P_3, P_4, P_5$  的求和项的计算:

[0129]

$$\begin{aligned} & \sum_{m=n_1}^{n_2} \binom{n_2}{m} (p_{i+1} - p_i)^m (1 - p_{i+1})^{n_2 - m} \\ &= \sum_{m=0}^{n_2} \binom{n_2}{m} (p_{i+1} - p_i)^m (1 - p_{i+1})^{n_2 - m} - \sum_{m=0}^{n_1-1} \binom{n_2}{m} (p_{i+1} - p_i)^m (1 - p_{i+1})^{n_2 - m} \\ &= (p_{i+1} - p_i + 1 - p_{i+1})^{n_2} - \sum_{m=0}^{n_1-1} \binom{n_2}{m} (p_{i+1} - p_i)^m (1 - p_{i+1})^{n_2 - m} \\ &= (1 - p_i)^{n_2} - \sum_{m=0}^{n_1-1} \binom{n_2}{m} (p_{i+1} - p_i)^m (1 - p_{i+1})^{n_2 - m} \end{aligned}$$

[0130] 如果  $n_1 \ll n_2 - n_1$ , 则其显著地减少了计算复杂度。

[0131] 此外, 对于诸如图 2 中所示的  $P_3, P_4, P_5$  等的 ' $m \geq b$ ' 的情况, 构建用于求和的查找表以便减少计算复杂度。

[0132] 图 3 示出了针对 ' $m \geq b$ ' 情况的总体值分布。区间  $[v_q, \infty)$  中的值的数量被表示为  $s$ , 并且在区间  $[v_{q+1}, v_q)$  中存在  $m$  个值。因此,  $1 \leq q \leq n_p - 1, 0 \leq s \leq n_p - 2$  并且  $b =$

$n_p-1-s$ 。假设峰值的数目是  $n_p$ ，则取决于  $q$  和  $s$  的查找表可被如下构建：

[0133]

$$P_b[q][s] \triangleq \sum_{m=b=n_p-1-s}^{L-1-s} \binom{L-1-s}{m} (p_{q+1} - p_q)^m (1 - p_{q+1})^{L-1-s-m}$$

$$= (1 - p_q)^{L-1-s} - \sum_{m=0}^{n_p-2-s} \binom{L-1-s}{m} (p_{q+1} - p_q)^m (1 - p_{q+1})^{L-1-s-m}$$

[0134] 在具有针对  $c_2^L$  具有正好  $(n_p-1)$  个  $\geq v$  的值的的所有不相交情况的代表矢量的情况下，可以直接评估 FP 概率。

[0135] B. 4 递归代表矢量构建

[0136] 代表矢量和零补偿矢量用于计算误检概率  $FP(\mathbf{v}_{\frac{L}{2}}^k)$ 。如果这些矢量已知，则可以用公式表示概率  $P_1$  至  $P_5$ ，见图 2 的描述中的示例。因此， $FP(\mathbf{v}_{\frac{L}{2}}^k)$  的计算被映射到构建针对给定数目 ( $n_p$ ) 的峰值所有矢量的问题。

[0137] 在下文中，解释了如何递归地获得这些代表矢量。如之前所讨论的，图 2 中的所有情况可由相应的代表矢量： $[0, 1, 1]$ ， $[0, 0, 2]$ ， $[m \geq 2, 0]$ ， $[m \geq 1, 1, 0]$ ， $[m \geq 1, 0, 1]$  表示。前两个矢量可被递归地确定，见上文。关于递归地构建后三个矢量，针对后三个矢量的两个属性是：

[0138] - ' $m \geq b$ ' 元素始终是第一元素；

[0139] - 所有元素的和变为  $m \geq 2$ 。

[0140] 换言之，假设代表矢量中的剩余元素不包括 ' $m \geq b$ ' 元素，则可以推导出 ' $m \geq b$ ' 元素：参照图 3，其中，假设  $s, b = n_p-1-s$ 。因此，针对图 2 中的  $P_3, P_4, P_5$  情况的代表矢量简化为  $[0]$ ， $[1, 0]$ ， $[0, 1]$ 。此外，问题变为如何寻找这些针对  $n_p$  个峰值的简化的代表矢量。

[0141] 由图 3 启发，这些代表矢量根据  $s \in \{0, 1, \dots, n_p-2\}$  个值被划分为不同集合。假设针对  $s$  的代表矢量，则可以通过扩展和添加单位矢量来构建针对  $s+1$  的相应代表矢量。

[0142] B. 4.1 初始化：

[0143] 对于  $s = 0$ ，代表矢量的集合是  $\{[0]\}$ ，对于  $s = 1$ ，代表矢量的集合是  $\{[0, 1], [1, 0]\}$ 。

[0144] B. 4.1 针对  $1 \leq s \leq n_p-3$  的更新：

[0145] 根据在针对  $s$  的集合中的单独代表矢量的长度  $l_j$ ，针对  $s+1$  的当前递归的代表矢量被区别地构建：

[0146] • 如果长度  $l_j < s+1$ ，则寻找代表矢量中的第一个非零元素。假设  $i$  是第一个非零元素的位置。将单位矢量  $e_1, \dots, e_i$  添加到代表矢量以得到新的代表矢量。示例单位矢量是  $e_i = (0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0)$ ，其中，第一个零具有位置 ' $1$ '，第二个零具有位置 ' $i-1$ '，' $1$ ' 具有位置 ' $i$ '，第三个零具有位置 ' $i+1$ '，并且最后一个零具有位置 ' $l_j$ '。

[0147] • 如果长度  $l_j = s+1$ ，则通过在开始添加一个零来扩展代表矢量。寻找扩展的代表矢量中的第一个非零元素并添加单位矢量。

[0148] 然而，如果针对代表矢量的零补偿代表矢量中的 ' $0$ ' 元素在代表矢量中的第一

个非零元素的右侧,则在不扩展的情况下针对该代表矢量执行寻找和添加过程。

[0149] B. 4. 3 示例 1

[0150] 针对  $s = 1$  的更新:两个代表矢量  $[1, 0]$  和  $[0, 1]$  均具有长度  $1j = s+1 = 2$ 。对于矢量  $[0, 1]$ , 在第一个非零元素之后不存在零元素。因此新的代表矢量被获得为  $[0, 0, 2]$ 、 $[0, 1, 1]$ 、 $[1, 0, 1]$ 。另一方面, 对于矢量  $[1, 0]$ , 在其第一个非零元素之后存在一个零元素, 因此在零补偿之后剩下了一个零。因此, 新的代表矢量是扩展和添加的单位矢量:  $[0, 2, 0]$ 、 $[1, 1, 0]$  以及没有扩展的添加的单位矢量:  $[2, 0]$ 。

[0151] B. 4. 4 示例 2

[0152] 针对  $s = 2$  的更新, 其中代表矢量集合为  $\{[0, 0, 2], [0, 1, 1], [1, 0, 1], [0, 2, 0], [1, 1, 0], [2, 0]\}$ 。根据以上描述, 针对  $s = 3$  的代表矢量被获得为:

[0153]  $[0, 0, 2] \rightarrow [0, 0, 0, 3], [0, 0, 1, 2], [0, 1, 0, 2], [1, 0, 0, 2]$

[0154]  $[0, 1, 1] \rightarrow [0, 0, 2, 1], [0, 1, 1, 1], [1, 0, 1, 1]$

[0155]  $[1, 0, 1] \rightarrow [0, 2, 0, 1], [1, 1, 0, 1], [2, 0, 1]$

[0156]  $[0, 2, 0] \rightarrow [0, 0, 3, 0], [0, 1, 2, 0], [1, 0, 2, 0], [0, 3, 0], [1, 2, 0]$

[0157]  $[1, 1, 0] \rightarrow [0, 2, 1, 0], [1, 1, 1, 0], [2, 1, 0]$

[0158]  $[2, 0] \rightarrow [3, 0]$

[0159] 针对具有  $[0, 1, 1, 1]$  作为其零补偿代表矢量的  $[0, 1, 0, 2]$ , 在零补偿之后在其第一个非零元素的右侧不存在零, 而针对具有  $[1, 0, 1, 1]$  作为其零补偿代表矢量的  $[1, 0, 0, 2]$ , 即使在零补偿之后在其第一个非零元素的右侧也剩余一个零。因此, 针对  $[0, 1, 0, 2]$  和  $[1, 0, 0, 2]$  将执行不同的更新过程以得到针对  $s = 4$  的代表矢量。

[0160] 在图 4 的本发明的水印解码器的框图中, 接收到的音频信号在获取或接收部分步骤或阶段 41 被采样, 之后通过预处理步骤或阶段 42 (其可执行例如谱白化) 到达相关步骤或阶段 43, 在相关步骤或阶段 43 中, 接收到的音频信号的当前部分与来自参考模式信号产生步骤或阶段 46 且与相应的不同水印符号有关的至少两个不同候选参考模式信号  $i_s$  相关, 以在每个情况中产生针对每个候选水印符号  $i_s$  的  $N$  个当前相关结果值  $c_{i_s}$ 。不同候选参考模式信号  $i_s$  的总数目为  $n_{\text{Symbols}}$ , 例如,  $n_{\text{Symbols}} = 2$ 。在随机相位产生步骤或阶段 45 使用密钥来产生相应的伪随机相位信号, 伪随机相位信号控制在步骤/阶段 46 中的参考模式信号产生。在步骤/阶段 43 中的相关之后的水印符号检测步骤或阶段 44 中, 在当前  $N$  个相关结果值  $c_{i_s}$  的  $M$  个主相关结果峰值附近检查长度  $L$  的窗口, 并执行以上结合图 5 描述的处理, 以便确定和输出相应的检测到的水印符号。

[0161] 在图 5 的流程图中, 针对利用步骤 50 接收到的输入相关块  $c_{i_s}$ , 参数  $i_s$  被设置为 '1'。例如,  $i_s = 1$  对应于候选水印符号 '0',  $i_s = 2$  对应于候选水印符号 '1'。对于每个候选水印符号  $i_s$ , 相应的相关结果值的集合  $c_{i_s}$  在步骤 51 中根据它们的大小被排序, 从而确定  $M$  个最大量值  $c_{i_s}^k$  (即, 全局峰量值), 例如,  $M = 3$  且  $k = 1, 2, 3$ 。在步骤 52 中, 针对每个全局峰量值  $k = 1, \dots, M$  且针对当前候选水印符号  $i_s$ , 确定每个全局峰值附近 (即包括每个全局峰值) 的原始相关结果值的  $\pm L/2$  范围内 (即在长度  $L$  的窗口内) 的  $n_p$  个峰量值的相应矢量  $v_{i_s}^k$ 。由比较步骤 53 控制, 参数  $i_s$  在相应的循环中从 '1' 递增到 ' $n_{\text{symbols}}$ '。

[0162] 由于  $L$  显著小于  $N$ , 因此全部的长度  $L$  的窗口的总和长度小于长度  $N$ 。实际上,  $L \ll N$ , 使得  $L$  在大小上至少比  $N$  小一个量级 (即,  $N/L > 10$ )。例如,  $N = 16k$  且  $L = 1k$ 。

[0163] 然后, 进入从  $i_s = 1$  递增到  $n_{\text{Symbols}}$  的外循环和从  $k = 1$  递增到  $M$  的内循环, 它们分别由比较步骤 57 和 56 控制。在内循环中, 在步骤 54 中根据当前相关结果值计算误检概率  $FP(v_{i_s}^k)$ , 之后进行比较步骤 55,  $k$  递增, 进行比较步骤 56, 并且在外循环

中,  $i_s$  递增并且进行比较步骤 57。误检概率  $FP(v_{i_s}^k)$  值对应于这样的概率: 在针对非水印嵌入的音频信号的相关结果量值的平均或预期概率分布中, 这样的长度  $L$  的窗口一次或多次包括大于或等于  $n_p$  个峰值的  $n_p$  个或更多个相关结果量值。在比较步骤 57 之后, 在步骤 58 中确定候选水印符号  $i_s$ , 其中, 针对该候选水印符号  $i_s$ , 最终误检概率  $f_p$  是  $\min_{i_s} (\min_k (FP(v_{i_s}^k)))$ 。步骤 59 通过将  $f_p$  值与另一阈值  $T_{\text{max}}$  比较以检查是否检测到水印符号。如果是, 则输出检测到的水印符号。如果不是, 则没有检测到水印符号。

[0164] 在比较步骤 55, 如果  $FP(v_{i_s}^k)$  小于预定阈值  $T_{\text{min}}$ , 则认为已经找到正确的候选水印符号  $i_s$ , 离开两个循环以便节省计算时间, 并且输出该水印符号。

[0165] 图 6 示出了长度  $N$  的示例相关结果以及用  $k = 1, 2, 3$  示出的三个长度  $L$  的窗口。每个长度  $L$  的窗口被布置在  $N$  个相关结果值中的峰值附近。在  $N$  内的第一个可能的长度  $L$  的窗口位置是  $j = 1$ , 并且最后一个可能的长度  $L$  的窗口位置是  $j = N-L+1$ 。

[0166] 本发明处理可以由单个处理器或电子电路执行, 或者由并行操作和 / 或在本发明处理的不同部分上操作的若干处理器或电子电路执行。

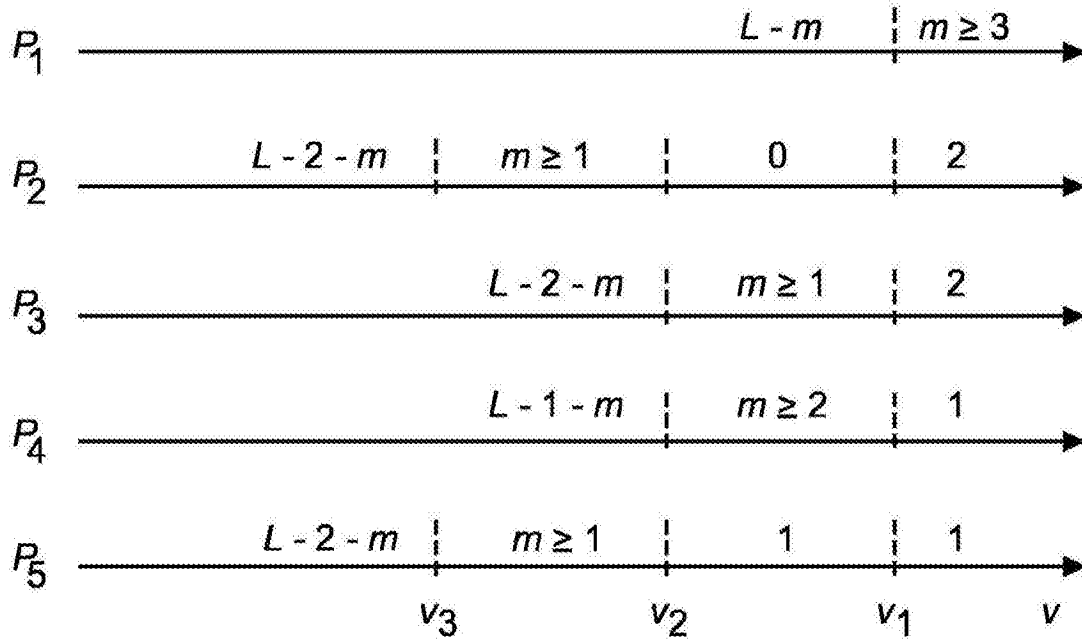


图 1

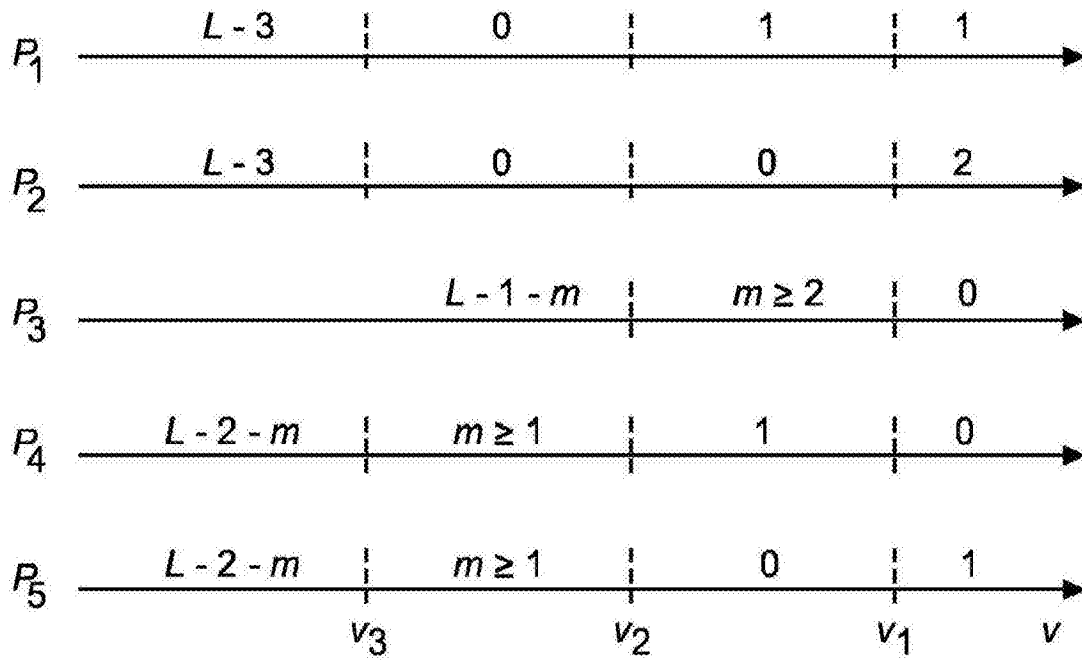


图 2

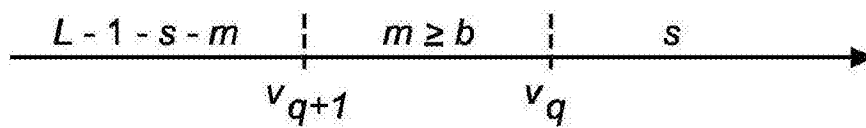


图 3

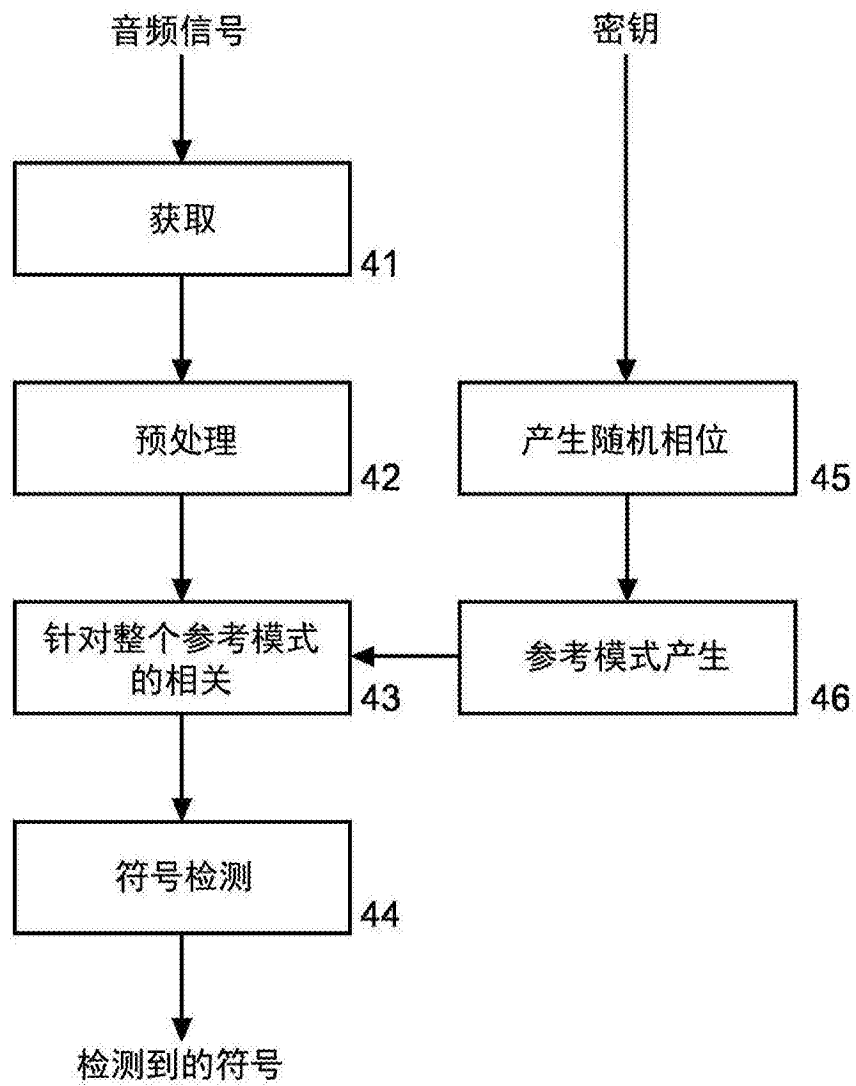


图 4

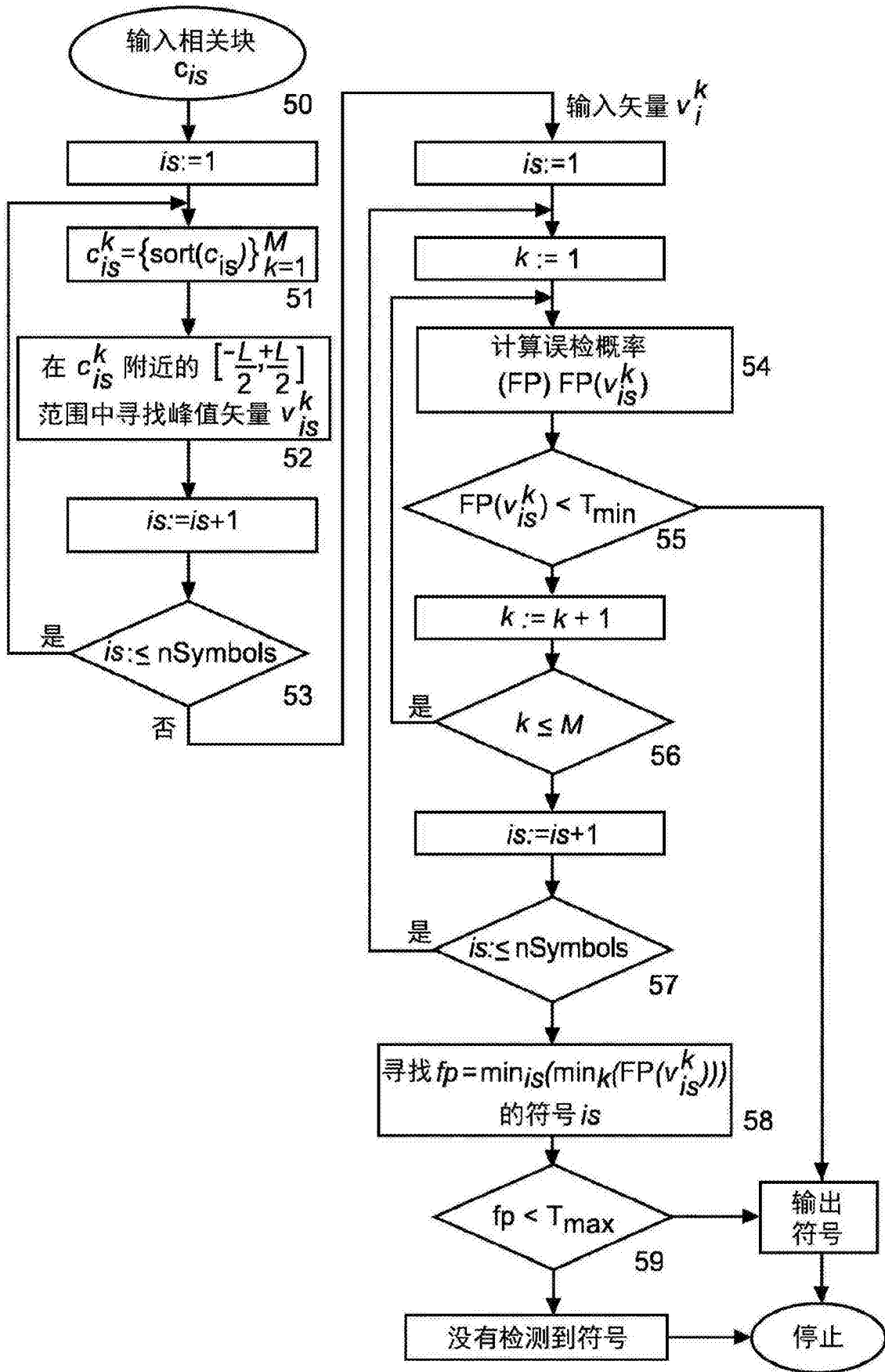


图 5

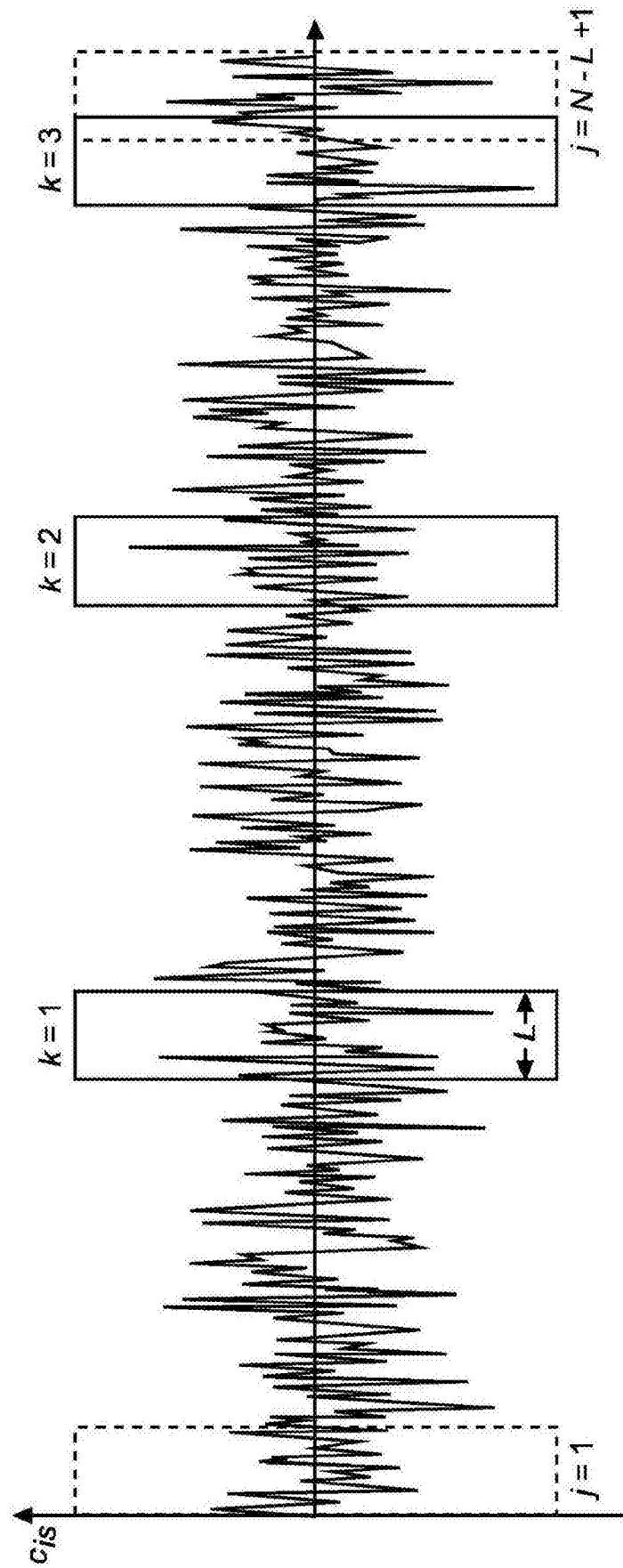


图 6