



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107743292 B

(45)授权公告日 2019.09.10

(21)申请号 201711145812.5

G10L 25/51(2013.01)

(22)申请日 2017.11.17

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107743292 A

CN 102779509 A,2012.11.14,
CN 104133851 A,2014.11.05,
CN 101577605 A,2009.11.11,
EP 2116999 A1,2009.11.11,
CN 102411301 A,2012.04.11,

(43)申请公布日 2018.02.27

(73)专利权人 中国航空工业集团公司西安航空
计算技术研究所

审查员 陈霖

地址 710065 陕西省西安市锦业二路15号

(72)发明人 韩康 周斌 赵腊才 张军才
马晓晨

(74)专利代理机构 西安智邦专利商标代理有限
公司 61211

代理人 唐沛

(51)Int.Cl.

H04R 29/00(2006.01)

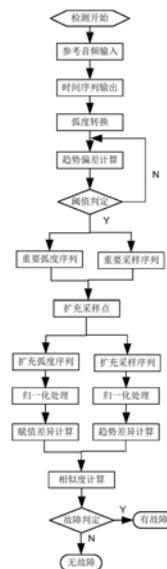
权利要求书3页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

一种音频电路的故障自动检测方法

(57)摘要

本发明属于机载嵌入式软件领域,涉及音频电路的故障自动检测方法,解决了机载音频采集电路故障的检测问题。本发明相比于现有检测方法具有快速、方便移植、低成本以及方便实现自动化的优点,具体包括(1)音频信号的时间序列建模;(2)定义弧度概念表示音频数据波形变化趋势;(3)利用趋势重要性对音频数据进行压缩;(4)计算音频信号的趋势偏差和幅值偏差;(5)定义相似度以判断音频采集电路是否故障。



1. 一种音频电路的故障自动检测方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 音频采集电路开始工作;

2) 获取数字音频时间序列以及参考音频时间序列;

3) 分别对数字音频时间序列和参考音频时间序列进行弧度转换;

4) 重复步骤3) 执行 $n-1$ 次,分别得到相应的数字音频时间序列对应的数字音频弧度时间序列 $S'_1 = \{(r_1, t_1), (r_2, t_2), \dots, (r_{n-1}, t_{n-1})\}$ 以及参考音频时间序列的对应的参考音频弧度时间序列 $S'_0 = \{(l_1, t_1), (l_2, t_2), \dots, (l_{n-1}, t_{n-1})\}$,其中 $n > 1$;

其中 r_i 为 t_i 时刻对应的弧度;其中 l_i 为 t_i 时刻对应的弧度;

5) 设置压缩比例因子 N ,趋势偏差阈值 Θ ,分别对数字音频弧度时间序列和参考音频弧度时间序列进行压缩,得到数字音频重要弧度时间序列集合 $S''_1 = \{(r_1, t_1), (r_2, t_2), \dots, (r_m, t_m)\}$ 、数字音频重要采样点序号集 P 以及参考音频重要弧度时间序列集合 $S''_0 = \{(l_1, t_1), (l_2, t_2), \dots, (l_k, t_k)\}$ 、参考音频重要采样点序号集 Q ;

其中, m 为数字音频弧度时间序列经过压缩后的弧度数目, k 为参考音频重要弧度时间序列经过压缩后的弧度数目;

6) 计算最小序列号集合 $\Phi = P \cup Q$;

7) 计算数字音频重要弧度时间序列需增加的采样点序号集合 $\Phi - P$;以及参考音频重要弧度时间序列需增加的采样点序号集合 $\Phi - Q$;

8) 根据需增加采样点序号集合 $\Phi - P$ 以及数字音频弧度时间序列 S'_1 ,得到扩充后数字音频重要弧度时间序列 $\Omega_1 = \{(r_1, t_1), (r_2, t_2), \dots, (r_K, t_K)\}$ 以及数字音频采样点时间序列 $\Psi_1 = \{(y_1, t_1), (y_2, t_2), \dots, (y_K, t_K)\}$,其中 $K = |\Phi|$, y_K 为数字音频采样点时间序列中第 K 个采样点的音频幅值;

9) 根据需增加参考采样点序号集合 $\Phi - Q$ 以及参考音频弧度时间序列 S'_0 ,得到扩充后参考音频重要弧度时间序列 $\Omega_0 = \{(l_1, t_1), (l_2, t_2), \dots, (l_K, t_K)\}$ 以及参考音频采样点时间序列 $\Psi_0 = \{(x_1, t_1), (x_2, t_2), \dots, (x_K, t_K)\}$,其中 $K = |\Phi|$, x_K 为参考音频采样点时间序列中第 K 个采样点的音频幅值;

10) 对步骤8) 得到的扩充后数字音频重要弧度时间序列以及数字音频采样点时间序列进行归一化处理;

11) 对步骤9) 得到的扩充后参考音频重要弧度时间序列以及参考音频采样点时间序列进行归一化处理;

12) 根据步骤10) 和步骤11) 归一化处理之后的弧度时间序列和采样点序列计算音频采样弧度时间序列趋势相似度,具体计算公式是:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^K |\Delta y_i - \Delta x_i| \times |r_i - l_i| \times \Delta t_i}{K}, \text{ 其中 } \Delta y_i = y_{i+1} - y_i, \Delta x_i = x_{i+1} - x_i, \Delta t_i = t_{i+1} - t_i;$$

13) 根据步骤10) 和步骤11) 归一化处理之后的采样点序列计算音频采样时间序列幅值偏差,具体计算公式是:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^K (y_i - x_i)^2}}{K};$$

14) 计算相似度,具体计算公式是:

$\delta = \alpha \times \eta + \beta \times \varepsilon$, 其中 α 和 β 满足: $\alpha + \beta = 1$ 且 α, β 均 ≥ 0 ;

15) 故障判断;

设定相似度阈值为 δ_0 ; $0 \leq \delta_0 \leq 1$;

若 $\delta \geq \delta_0$, 则判定为不相似; 输出故障; 反之, 相似, 则输出无故障。

2. 根据权利要求1所述的音频电路的故障自动检测方法, 其特征在于, 所述步骤2) 的具体步骤是:

2.1) 参考音频信号输入音频采集电路, 输出以T为周期的数字音频信号, 并将其表示为数字音频时间序列, 具体表达式是:

$$S_1 = \{(y_1, t_1), (y_2, t_2), \dots, (y_n, t_n)\},$$

其中, y_i 为采样时刻数字音频信号的幅值, t_n 为数字音频信号的采样点时刻信息;

2.2) 对参考音频信号以T为周期进行采样, 得到参考音频时间序列, 具体表达式是:

$$S_0 = \{(x_1, t_1), (x_2, t_2), \dots, (x_n, t_n)\},$$

其中, x_i 为采样时刻参考音频信号的幅值, t_n 为参考音频信号的采样点时刻信息。

3. 根据权利要求1所述的音频电路的故障自动检测方法, 其特征在于, 所述步骤3) 的具体步骤是:

对于数字音频时间序列第i个采样点的弧度 rad_{y_i} 表示为:

$$rad_{y_i} = \arctan \frac{y_{i+1} - y_i}{T}, \quad i \in [1, n]$$

对于参考音频时间序列第i个采样点的弧度 rad_{x_i} 表示为:

$$rad_{x_i} = \arctan \frac{x_{i+1} - x_i}{T}, \quad i \in [1, n]。$$

4. 根据权利要求1所述的音频电路的故障自动检测方法, 其特征在于, 所述步骤5) 的具体步骤是:

数字音频弧度时间序列的压缩:

A1: 计算数字音频弧度时间序列的趋势偏差; 具体计算公式是:

$\theta_y = |r_j - r_i|$, 满足 $0 < j - i \leq N$, 其中 $i, j \in [1, n]$, 计算范围为 $[1, n-1]$;

A2: 建立数字音频弧度时间序列对应的数字音频重要弧度时间序列集合 $S''_1 = \{(r_1, t_1), (r_2, t_2), \dots, (r_m, t_m)\}$ 以及数字音频重要采样点序号集P;

选择一个弧度, 根据步骤A1) 的计算该弧度趋势偏差并判断是否满足偏差阈值条件 $\theta_y \geq \Theta$, 若满足, 则记录该弧度同时记录该弧度对应采样点的序列号; 若不满足, 则进行下一个弧度的计算, 直至所有弧度全部计算完成, 最终得到的数字音频重要弧度时间序列集合 $S''_1 = \{(r_1, t_1), (r_2, t_2), \dots, (r_m, t_m)\}$ 以及数字音频重要采样点序号集P;

参考音频弧度时间序列的压缩:

B1: 计算参考音频弧度时间序列的趋势偏差; 具体计算公式是:

$\theta_x = |l_j - l_i|$, 满足 $0 < j - i \leq N$, 其中 $i, j \in [1, n]$, 计算范围为 $[1, n-1]$;

B2: 建立参考音频弧度时间序列对应的参考音频重要弧度时间序列集合 $S''_0 = \{(l_1, t_1), (l_2, t_2), \dots, (l_k, t_k)\}$ 以及参考音频重要采样点序号集Q;

选择一个弧度, 根据步骤B1) 的计算该弧度趋势偏差并判断是否满足偏差阈值条件 $\theta_x \geq$

⊙, 若满足, 则记录该弧度同时记录该弧度对应采样点的序列号; 若不满足, 则进行下一个弧度的计算, 直至所有弧度全部计算完成, 最终得到的参考音频重要弧度时间序列集合 $S''_0 = \{(l_1, t_1), (l_2, t_2), \dots, (l_k, t_k)\}$ 以及参考音频重要采样点序号集 Q 。

一种音频电路的故障自动检测方法

技术领域

[0001] 本发明属于机载嵌入式软件,具体涉及音频采集系统中的采集电路故障检测方法。

背景技术

[0002] 音频数据采集系统是航空电子系统的重要组成部分,负责对舱音进行采集。音频采集系统主要是基于音频采集电路实现的,音频采集电路的故障与否关系到能否有效地完成对舱音的采集,因而对于音频采集电路的故障检测至关重要。

[0003] 现有对音频采集电路的故障检测方法主要是通过对音频采集数字电路的物理电平进行检测以及人工输入语音并观察输出是否与输入一致。其中,物理电平检测法通过设计专门的硬件电路,测试输出电平的高低,再将测试结果与经过无故障的音频数据采集电路时的结果进行对比,得出电路故障与否;人工检测法是通过人力向音频数据采集电路输入语音,再对转换后的输出语音通过人耳听的方式进行观察,根据观察结果判断音频数据采集电路是否故障。

[0004] 物理电平检测法需要针对被检测音频电路设计专门的电路,集成到音频采集电路上。由于检测电路比较复杂,因而功耗较高,对系统的资源占用较多;又检测电路一旦集成完毕,若想增加检测内容或对现有检测电路进行改进,需重新对整个音频采集系统进行设计,耗费开发及维护成本较高。

[0005] 人工检测的方法在检测时通过人工观察经过音频采集电路的输出是否与输入一致。由于人耳在长时间工作时的不确定性,在有大量的音频采集电路需要检测时无法保证检测的准确性;并且由于人工检测无法做到自动化检测,因此检测效率比较低下。

发明内容

[0006] 为了解决背景技术中的问题,本发明提出一种音频电路的故障自动检测方法,该故障检测方法不仅检测成本低、检测精度高并且实现了音频采集电路的快速、自动化的故障检测,同时针对不同领域的音频采集系统具有通用性。

[0007] 本发明的基本实现原理是:

[0008] 本发明通过对音频采集电路输入参考音频信号,并将输出的数字音频信号与参考音频信号进行相似性对比,判断音频采集电路能否保持音频的一致性,进而判断音频电路是否存在故障。

[0009] 本发明的具体技术方案是:

[0010] 1) 音频采集电路开始工作;

[0011] 2) 获取数字音频时间序列以及参考音频时间序列;

[0012] 3) 分别对数字音频时间序列和参考音频时间序列进行弧度转换;

[0013] 4) 重复步骤3) 执行 $n-1$ 次,分别得到相应的数字音频时间序列对应的数字音频弧度时间序列 $S'_1 = \{(r_1, t_1), (r_2, t_2), \dots, (r_{n-1}, t_{n-1})\}$ 以及参考音频时间序列的对应的参考

音频弧度时间序列 $S'_0 = \{(l_1, t_1), (l_2, t_2), \dots, (l_{n-1}, t_{n-1})\}$, 其中 $n > 1$;

[0014] 其中 r_i 为 t_i 时刻对应的弧度; 其中 l_i 为 t_i 时刻对应的弧度;

[0015] 5) 设置压缩比例因子 N , 趋势偏差阈值 Θ , 分别对数字音频弧度时间序列和参考音频弧度时间序列进行压缩, 得到数字音频重要弧度时间序列集合 $S''_1 = \{(r_1, t_1), (r_2, t_2), \dots, (r_m, t_m)\}$ 、数字音频重要采样点序号集 P 以及参考音频重要弧度时间序列集合 $S''_0 = \{(l_1, t_1), (l_2, t_2), \dots, (l_k, t_k)\}$ 、参考音频重要采样点序号集 Q ;

[0016] 其中, m 为数字音频弧度时间序列经过压缩后的弧度数目, k 为参考音频重要弧度时间序列经过压缩后的弧度数目;

[0017] 6) 计算最小序列号集合 $\Phi = P \cup Q$;

[0018] 7) 计算数字音频重要弧度时间序列需增加的采样点序号集合 $\Phi - P$; 以及参考音频重要弧度时间序列需增加的采样点序号集合 $\Phi - Q$;

[0019] 8) 根据需增加采样点序号集合 $\Phi - P$ 以及数字音频弧度时间序列 S'_1 , 得到扩充后数字音频重要弧度时间序列 $\Omega_1 = \{(r_1, t_1), (r_2, t_2), \dots, (r_K, t_K)\}$ 以及数字音频采样点时间序列 $\Psi_1 = \{(y_1, t_1), (y_2, t_2), \dots, (y_K, t_K)\}$, 其中 $K = |\Phi|$, y_K 为数字音频采样点时间序列中第 K 个采样点的音频幅值;

[0020] 9) 根据需增加参考采样点序号集合 $\Phi - Q$ 以及参考音频弧度时间序列 S'_0 , 得到扩充后参考音频重要弧度时间序列 $\Omega_0 = \{(l_1, t_1), (l_2, t_2), \dots, (l_K, t_K)\}$ 以及参考音频采样点时间序列 $\Psi_0 = \{(x_1, t_1), (x_2, t_2), \dots, (x_K, t_K)\}$, 其中 $K = |\Phi|$, x_K 为参考音频采样点时间序列中第 K 个采样点的音频幅值;

[0021] 10) 对步骤8) 得到的扩充后数字音频重要弧度时间序列以及数字音频采样点时间序列进行归一化处理;

[0022] 11) 对步骤9) 得到的扩充后参考音频重要弧度时间序列以及参考音频采样点时间序列进行归一化处理;

[0023] 12) 根据步骤10) 和步骤11) 归一化处理之后的弧度时间序列和采样点序列计算音频采样弧度时间序列趋势相似度, 具体计算公式是:

$$[0024] \quad \eta = \frac{\sum_{i=1}^K |\Delta y_i - \Delta x_i| \times |r_i - l_i| \times \Delta t_i}{K}, \text{ 其中 } \Delta y_i = y_{i+1} - y_i, \Delta x_i = x_{i+1} - x_i, \Delta t_i = t_{i+1} - t_i;$$

[0025] 13) 根据步骤10) 和步骤11) 归一化处理之后的采样点序列计算音频采样时间序列幅值偏差, 具体计算公式是:

$$[0026] \quad \varepsilon = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^K (y_i - x_i)^2}}{K};$$

[0027] 14) 计算相似度, 具体计算公式是:

[0028] $\delta = \alpha \times \eta + \beta \times \varepsilon$, 其中 α 和 β 满足: $\alpha + \beta = 1$ 且 α, β 均 ≥ 0 ;

[0029] 15) 故障判断;

[0030] 设定相似度阈值为 δ_0 ; $0 \leq \delta_0 \leq 1$;

[0031] 若 $\delta \geq \delta_0$, 则判定为不相似; 输出故障; 反之, 相似, 则输出无故障。

[0032] 以下为上述技术方案的优选方式:

[0033] 上述步骤2)的具体步骤是:

[0034] 参考音频信号输入音频采集电路,输出以T为周期的数字音频信号,并将其表示为数字音频时间序列,具体表达式是:

[0035] $S_1 = \{(y_1, t_1), (y_2, t_2), \dots, (y_n, t_n)\}$,

[0036] 其中, y_i 为采样时刻数字音频信号的幅值, t_n 为数字音频信号的采样点时刻信息;

[0037] 对参考音频信号以T为周期进行采样,得到参考音频时间序列,具体表达式是:

[0038] $S_0 = \{(x_1, t_1), (x_2, t_2), \dots, (x_n, t_n)\}$,

[0039] 其中, x_i 为采样时刻参考音频信号的幅值, t_n 为参考音频信号的采样点时刻信息。

[0040] 上述步骤3)的具体是:

[0041] 对于数字音频时间序列第i个采样点的弧度 rad_{y_i} 表示为:

[0042] $rad_{y_i} = \arctan \frac{y_{i+1} - y_i}{T}, i \in [1, n]$

[0043] 对于参考音频时间序列第i个采样点的弧度 rad_{x_i} 表示为:

[0044] $rad_{x_i} = \arctan \frac{x_{i+1} - x_i}{T}, i \in [1, n]$ 。

[0045] 上述步骤5)的具体步骤是:

[0046] 数字音频弧度时间序列的压缩:

[0047] A1:计算数字音频弧度时间序列的趋势偏差;具体计算公式是:

[0048] $\theta_y = |r_j - r_i|$,满足 $0 < j - i \leq N$,其中 $i, j \in [1, n]$,计算范围为 $[1, n-1]$;

[0049] A2:建立数字音频弧度时间序列对应的数字音频重要弧度时间序列集合 $S''_1 = \{(r_1, t_1), (r_2, t_2), \dots, (r_m, t_m)\}$ 以及数字音频重要采样点序号集P;

[0050] 选择一个弧度,根据步骤A1)的计算该弧度趋势偏差并判断是否满足偏差阈值条件 $\theta_y \geq \Theta$,若满足,则记录该弧度同时记录该弧度对应采样点的序列号;若不满足,则进行下一个弧度的计算,直至所有弧度全部计算完成,最终得到的数字音频重要弧度时间序列集合 $S''_1 = \{(r_1, t_1), (r_2, t_2), \dots, (r_m, t_m)\}$ 以及数字音频重要采样点序号集P;

[0051] 参考音频弧度时间序列的压缩:

[0052] B1:计算参考音频弧度时间序列的趋势偏差;具体计算公式是:

[0053] $\theta_x = |l_j - l_i|$,满足 $0 < j - i \leq N$,其中 $i, j \in [1, n]$,计算范围为 $[1, n-1]$;

[0054] B2:建立参考音频弧度时间序列对应的参考音频重要弧度时间序列集合 $S''_0 = \{(l_1, t_1), (l_2, t_2), \dots, (l_k, t_k)\}$ 以及参考音频重要采样点序号集Q;

[0055] 选择一个弧度,根据步骤B1)的计算该弧度趋势偏差并判断是否满足偏差阈值条件 $\theta_x \geq \Theta$,若满足,则记录该弧度同时记录该弧度对应采样点的序列号;若不满足,则进行下一个弧度的计算,直至所有弧度全部计算完成,最终得到的参考音频重要弧度时间序列集合 $S''_0 = \{(l_1, t_1), (l_2, t_2), \dots, (l_k, t_k)\}$ 以及参考音频重要采样点序号集Q。

[0056] 本发明具有的优点效果:

[0057] 1、本发明采用的方法能够快速有效的检测出音频采集电路是否存在故障,便于及时解决故障,保证了音频数据的成功采集。

[0058] 2、本发明使用的基于时间序列的相似度检测方法具有较高的可移植性,提高了检测方法的通用性,并且方便对检测内容进行改进,降低了系统开发的成本,便于实现自动化

检测。

[0059] 3、本发明中采用的基于趋势差异的重要性度量对音频信号采样点筛选的方法,在保证检测准确性的情况下能够有效地减少所需的采样数据,降低了对系统资源的消耗,提高了检测的效率。

附图说明

[0060] 图1为本发明的工作流程。

具体实施方式

[0061] 本发明的基本实现原理:

[0062] 通过引入弧度概念对进行相似性比较的采样数据进行了筛选,选取能反映音频变化的关键采样点。首先通过将音频数据时间序列转换为弧度时间序列,按照采样时刻计算弧度段的趋势偏差,根据设置的趋势偏差阈值,逐一计算趋势偏差,当趋势偏差大于等于阈值时,提取该采样点以及相应的弧度时间为关键点,实现对弧度序列进行比较数据的压缩,使得在保持一定精度的情况下减少计算所需数据量,提高计算效率。本发明通过设置预期压缩因子参数,对最大压缩比例进行限制。通过将经过筛选后形成的关键点,形成相应的重要弧度时间序列以及重要采样点时间序列。进而将对采样信号的相似性比较转换为对相应重要弧度时间序列和重要采样点序列的相似性比较。为了完成相似性比较,需要将两个弧度时间序列和重要采样点时间序列扩充为相等数量段的时间序列。本发明通过对两个弧度时间序列中包含的相应采样点时刻求最小包含集,即原始参考信号和经过采集电路采样后形成的重要采样点时间序列求取并集,基于并集中的采样点完成对两个弧度时间序列以及重要采样点时间序列的扩充。再对所有扩充后的时间序列按照幅值进行归一化处理,计算相应的趋势差异值以及幅值差异值。通过对趋势差异和幅值差异引入相应权重系数,定义了相似度,通过计算时间序列的相似度,根据设置的阈值判断是否相似,进一步得出音频数据采集电路是否存在故障。

[0063] 本方法的具体实现过程如下:

[0064] 步骤1) 音频采集电路的故障自动检测开始;

[0065] 步骤2) 参考音频信号输入音频采集电路,输出以T为周期的数字音频信号,表示为相应的数字音频时间序列 $S_1 = \{(y_1, t_1), (y_2, t_2), \dots, (y_n, t_n)\}$,其中 y_i 为采样时刻音频信号的幅值, t_i 为采样点的时刻信息; $n > 1$;

[0066] 步骤3) 对参考音频信号以T为周期进行采样,得到参考音频时间序列 $S_0 = \{(x_1, t_1), (x_2, t_2), \dots, (x_n, t_n)\}$,其中 x_i 为采样时刻音频信号的幅值, t_i 为采样点的时刻信息。

[0067] 步骤4) 分别对数字音频时间序列和参考音频时间序列进行弧度转换:

[0068] 对于数字音频时间序列第i个采样点的弧度 rad_{y_i} 表示为:

$$[0069] \quad rad_{y_i} = \arctan \frac{y_{i+1} - y_i}{T}, \quad i \in [1, n]$$

[0070] 对于参考音频时间序列第i个采样点的弧度 rad_{x_i} 表示为:

$$[0071] \quad rad_{x_i} = \arctan \frac{x_{i+1} - x_i}{T}, \quad i \in [1, n]。$$

[0072] 步骤5) 对数字音频时间序列 S_i 按照步骤4) 执行 $n-1$ 次, 得到相应的数字弧度时间序列 $S'_1 = \{(r_1, t_1), (r_2, t_2), \dots, (r_{n-1}, t_{n-1})\}$, 其中 r_i 为 t_i 时刻对应的弧度;

[0073] 步骤6) 对参考音频时间序列 S_0 按照步骤4) 执行 $n-1$ 次, 得到参考音频弧度时间序列 $S'_0 = \{(l_1, t_1), (l_2, t_2), \dots, (l_{n-1}, t_{n-1})\}$, 其中 l_i 为 t_i 时刻对应的弧度;

[0074] 步骤7) 设置压缩比例因子 N , 趋势偏差阈值 Θ 。

[0075] 步骤8) 计算弧度时间序列的趋势偏差 $\theta = |r_j - r_i|$, 满足 $0 < j - i \leq N$,

[0076] 其中 $i, j \in [1, n]$, 计算范围为 $[1, n-1]$ 。

[0077] 步骤9) 根据趋势偏差公式逐一计算趋势偏差并判断是否满足偏差阈值条件 $\theta \geq \Theta$, 若满足, 则将该点增加到重要弧度时间序列集合, 并记录对应采样点的序列号; 若不满足, 则计算下一弧度, 计算过程满足步骤8) 要求;

[0078] 步骤10) 对数字音频弧度时间序列 S'_1 循环执行步骤8) 和步骤9), 得到相应的数字音频重要弧度时间序列 $S''_1 = \{(r_1, t_1), (r_2, t_2), \dots, (r_m, t_m)\}$ 以及数字音频重要采样点序号集 P ; 其中, m 为数字音频弧度时间序列经过压缩后的弧度数目;

[0079] 步骤11) 对参考音频弧度时间序列 S'_0 循环执行步骤8) 和步骤9), 得到相应的参考音频重要弧度时间序列 $S''_0 = \{(l_1, t_1), (l_2, t_2), \dots, (l_k, t_k)\}$ 以及参考音频重要采样点序号集 Q ; 其中, k 为参考音频重要弧度时间序列经过压缩后的弧度数目;

[0080] 步骤12) 计算最小序列号集合 $\Phi = P \cup Q$;

[0081] 步骤13) 计算数字音频重要弧度时间序列需增加的采样点序号集合 $\Phi - P$ 以及参考音频重要弧度时间序列需增加的采样点序号集合 $\Phi - Q$;

[0082] 步骤14) 根据需增加采样点序号集合 $\Phi - P$ 以及数字音频弧度时间序列 S'_1 , 得到扩充后数字音频重要弧度时间序列 $\Omega_1 = \{(r_1, t_1), (r_2, t_2), \dots, (r_K, t_K)\}$ 以及数字音频采样点时间序列 $\Psi_1 = \{(y_1, t_1), (y_2, t_2), \dots, (y_K, t_K)\}$, 其中 $K = |\Phi|$, y_K 为数字音频采样点时间序列中第 K 个采样点的音频幅值;

[0083] 步骤15) 根据需增加参考采样点序号集合 $\Phi - Q$ 以及参考音频弧度时间序列 S'_0 , 得到扩充后参考音频重要弧度时间序列 $\Omega_0 = \{(l_1, t_1), (l_2, t_2), \dots, (l_K, t_K)\}$ 以及参考音频采样点时间序列 $\Psi_0 = \{(x_1, t_1), (x_2, t_2), \dots, (x_K, t_K)\}$, 其中 $K = |\Phi|$, x_K 为参考音频采样点时间序列中第 K 个采样点的音频幅值;

[0084] 步骤16) 对步骤14) 得到的扩充后数字音频重要弧度时间序列以及数字音频采样点时间序列进行归一化处理;

[0085] 步骤17) 对步骤15) 得到的扩充后参考音频重要弧度时间序列以及参考音频采样点时间序列进行归一化处理;

[0086] 步骤18) 根据步骤16) 和步骤17) 归一化处理之后的弧度时间序列和采样点序列计算音频采样弧度时间序列趋势相似度, 具体计算公式是:

$$[0087] \quad \eta = \frac{\sum_{i=1}^K |\Delta y_i - \Delta x_i| \times |r_i - l_i| \times \Delta t_i}{K}, \text{ 其中 } \Delta y_i = y_{i+1} - y_i, \Delta x_i = x_{i+1} - x_i, \Delta t_i = t_{i+1} - t_i;$$

[0088] 步骤19) 根据步骤16) 和步骤17) 归一化处理之后的采样点序列计算音频采样时间序列幅值偏差, 具体计算公式是:

[0089]
$$\varepsilon = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^K (y_i - x_i)^2}}{K};$$

[0090] 步骤20) 计算相似度,具体计算公式是:

[0091] $\delta = \alpha \times \eta + \beta \times \varepsilon$,其中 α 和 β 满足: $\alpha + \beta = 1$ 且 α, β 均 ≥ 0 ;

[0092] 步骤21) 故障判断;

[0093] 设定相似度阈值为 δ_0 ; $0 \leq \delta_0 \leq 1$;

[0094] 若 $\delta \geq \delta_0$,则判定为不相似;输出故障;反之,相似,则输出无故障。

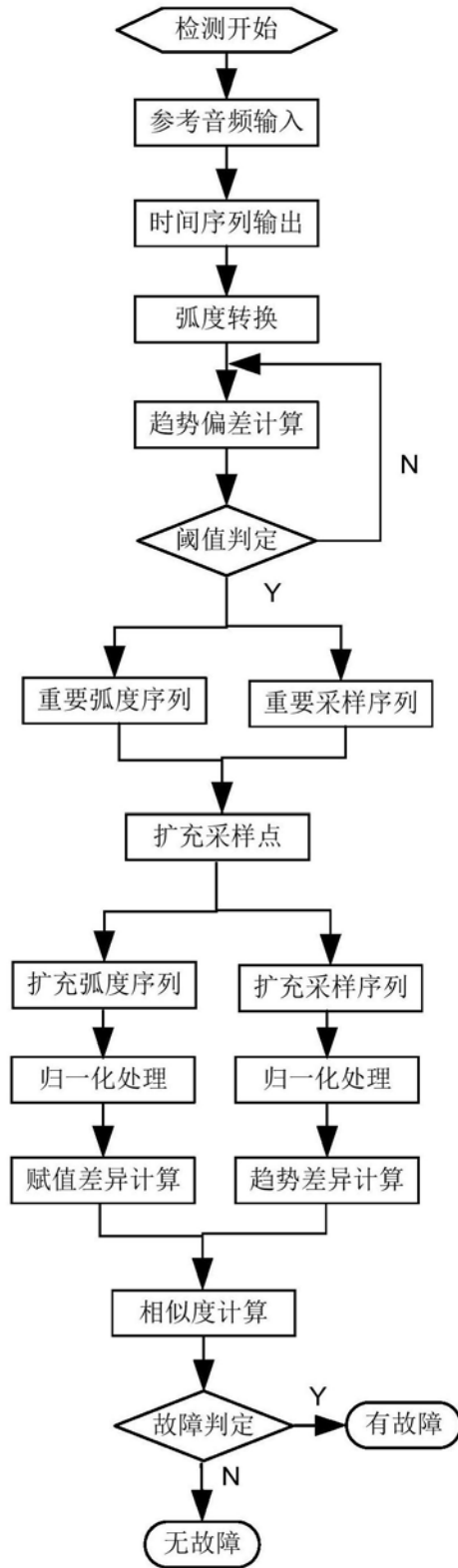


图1