

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102288286 A

(43) 申请公布日 2011. 12. 21

(21) 申请号 201110162528. 5

(22) 申请日 2011. 06. 16

(71) 申请人 中国科学院沈阳自动化研究所

地址 110016 辽宁省沈阳市东陵区南塔街
114 号

(72) 发明人 尚文利 胡东平 周晓锋 胡国良
姚秀琴 史海波

(74) 专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限
公司 21002

代理人 许宗富

(51) Int. Cl.

G01H 17/00(2006. 01)

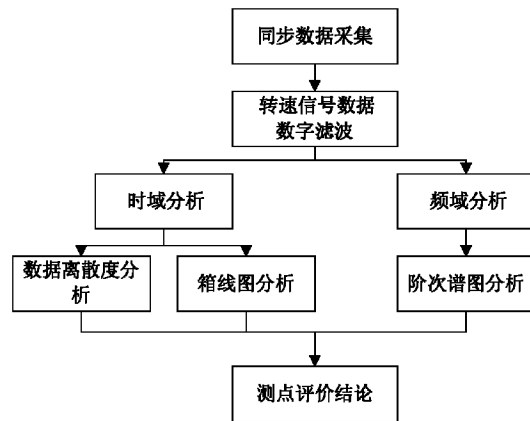
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 13 页

(54) 发明名称

一种振动加速度传感器齿轮箱测点精度分析与评价方法

(57) 摘要

本发明的目的在于提供一种针对各工况下不同测点位置和某一固定位置多组采集样本数据进行分析的一种振动加速度传感器齿轮箱测点精度分析与评价方法。本发明通过振动加速度传感器,以转速信号为主控,对齿轮箱进行振动信号和转速信号的同步数据采集;提取时域特征值进行分析评价,绘制 RMS-Peak 图和箱线图;计算阶次谱进行分析评价;通过时域分析、频域分析方法分析结果,形成齿轮箱测点精度分析与评价结果。本发明能够实现对齿轮箱壳体振动信号的阶次分析,通过时域、频域特征分析,得到更能表征各种故障特征的最佳位置,减少测量误差,确定振动传感器的安装位置,也为故障诊断的准确性提供了保障。



1. 一种振动加速度传感器齿轮箱测点精度分析与评价方法,其特征在于,通过振动加速度传感器,以转速信号为主控,对齿轮箱进行振动信号和转速信号的同步数据采集;提取时域特征值进行分析评价,计算均值 RMS,峰值 Peak,峰值指标 Crest, RMS/Peak/Crest 离散百分比,根据传感器位置、样本数、RMS/Peak/Crest 离散百分比绘制 RMS-Peak 图和箱线图;通过时域同步平均、数据滤波、重采样、FFT 变换,得到功率谱,计算阶次谱进行分析评价;通过时域分析、频域分析方法分析结果,形成齿轮箱测点精度分析与评价结果。

2. 根据权利要求 1 所述的一种振动加速度传感器齿轮箱测点精度分析与评价方法,其特征在于,所述通过振动加速度传感器,以转速信号为主控,对齿轮箱进行振动信号和转速信号的同步数据采集的采集方式为:采用计数器卡通过齿轮箱输入轴的编码器采集齿轮箱的转速信号,采用信号采集卡采集齿轮箱壳体的振动信号。

3. 根据权利要求 1 所述的一种振动加速度传感器齿轮箱测点精度分析与评价方法,其特征在于,所述通过振动加速度传感器,以转速信号为主控,对齿轮箱进行振动信号和转速信号的同步数据采集的采集过程为:

a 由计数器卡实时监测变速箱输入轴的转速,当转速达到采集要求时,启动信号采集卡的采集任务;

b 启动的计数器卡,在接收到通过 RTSI 数据线传递的信号采集卡启动的同时发出的触发信号之后,计数器卡和信号采集卡开始同步采集数据;

c 在采集过程中,计数器卡通过循环实时累加每次从硬件缓冲区读取到的脉冲个数,当脉冲个数达到了预设值时,退出循环;

d 计数器卡和信号采集卡停止从硬件缓冲区中读取后续采集到的数据,结束采集任务。

4. 根据权利要求 1 所述的一种振动加速度传感器齿轮箱测点精度分析与评价方法,其特征在于,所述通过振动加速度传感器,以转速信号为主控,对齿轮箱进行振动信号和转速信号的同步数据采集,首先对齿轮箱的固定位置进行多次信号采集,再对不同位置处采集及多组样本。

5. 根据权利要求 1-4 所述的一种振动加速度传感器齿轮箱测点精度分析与评价方法,其特征在于,所述通过振动加速度传感器,以转速信号为主控,对齿轮箱进行振动信号和转速信号的同步数据采集后,还要对转速信号数据进行数字滤波。

6. 根据权利要求 1 所述的一种振动加速度传感器齿轮箱测点精度分析与评价方法,其特征在于,所述提取时域特征值进行分析评价,计算均值 RMS,峰值 Peak,峰值指标 Crest, RMS/Peak/Crest 离散百分比根据传感器位置、样本数、RMS/Peak/Crest 离散百分比绘制 RMS-Peak 图和箱线图的过程为:

a 建立样本集函数,保存原始采集样本并提供全部文件名索引,确定参与分析的箱号集合数组

b 计算均值、峰值、峰值指标分别为

$$RMS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$Peak = \max |X_i|$$

$$Crest = Peak - RMS$$

其中, $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ 为在有限长度的离散时间序列上得到的测量值;

c 计算 RMS/Peak/Crest 离散百分比；

d 根据箱号、样本数、RMS/Peak/Crest 离散百分比绘制 RMS-Peak 图和箱线图。

7. 根据权利要求 1 所述的一种振动加速度传感器齿轮箱测点精度分析与评价方法,其特征在于,所述通过时域同步平均、数据滤波、重采样、FFT 变换,得到功率谱,计算阶次谱进行分析评价的过程为:

A 读取信号数据文件；

B 读取系统参数及齿轮箱传动比参数；

C 计数器卡编码器信号滤波；

D 计算各状态参与时域平均运算的整旋转周期数；

E 计算各轴旋转 2π 角度对应的计数器卡的有效脉冲数；

F 计算各状态参与时域平均运算的计数器卡有效脉冲数；

G 计算单位转角间隔重采样数；

H 计算计数器卡最小采样脉冲数；

I 计算计数器卡重采样计算处理步长；

J 重采样；

K FFT 变换,得到功率谱；

L 计算阶次谱,并绘图输出。

一种振动加速度传感器齿轮箱测点精度分析与评价方法

技术领域

[0001] 本发明涉及振动数据分析技术,尤其涉及一种振动加速度传感器齿轮箱测点精度分析与评价方法。

背景技术

[0002] 振动加速度传感器在机械振动工程中得到了广泛的应用。被测体的振动信号由振动传感器获取。测试时,振动传感器直接与被测体接触,灵敏反映振动变化。安装在被测体表面的振动传感器获得的振动信号包含被测体内部所有零件的振动信息,获取准确的故障诊断结果。任何一种测试方法所获得的测试数据往往都是含有误差的,测试因素对于测试结果有很大的影响。因此需要对多次同一测试条件下的测试数据结果进行分析与评价,以便有针对性地对测试条件进行改善,采取适当的测试方法,达到减小误差的效果。

[0003] 有些机械工程中,由于生产条件的约束,如汽车变速器装配生产流水线上需要对每个新装配的变速器进行振动信号分析和故障诊断,振动加速度传感器不能固定在单个变速器壳体上,需要用特殊的夹具将振动加速度传感器弹压在变速器壳体上,其每次弹压的位置精度和力度对采集数据都有较大影响。因此需要进行测点精度分析与评价,以保证测试数据的一致性和较高的精度。

[0004] 在故障诊断实验中,需要通过振动传感器获取各工况下不同测点位置的被测体振动信号,然后从振动信号中提取时域、频域特征值进行分析评价。首先对于某一固定位置多组采集样本进行研究,以降低测量误差,在此基础上对不同位置处获取多组采集样本。

[0005] 目前,资料文献中尚未发现系统化的算法以及相关的专利申请。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于针对现有技术中存在的不足,提供一种针对各工况下不同测点位置和某一固定位置多组采集样本数据进行分析的一种振动加速度传感器齿轮箱测点精度分析与评价方法。

[0007] 本发明为实现上述目的所采用的技术方案是:一种振动加速度传感器齿轮箱测点精度分析与评价方法,其特征在于,通过振动加速度传感器,以转速信号为主控,对齿轮箱进行振动信号和转速信号的同步数据采集;提取时域特征值进行分析评价,计算均值 RMS,峰值 Peak,峰值指标 Crest, RMS/Peak/Crest 离散百分比,根据传感器位置、样本数、RMS/Peak/Crest 离散百分比绘制 RMS-Peak 图和箱线图;通过时域同步平均、数据滤波、重采样、FFT 变换,得到功率谱,计算阶次谱进行分析评价;通过时域分析、频域分析方法分析结果,形成齿轮箱测点精度分析与评价结果。

[0008] 所述通过振动加速度传感器,以转速信号为主控,对齿轮箱进行振动信号和转速信号的同步数据采集的采集方式为:采用计数器卡通过齿轮箱输入轴的编码器采集齿轮箱的转速信号,采用信号采集卡采集齿轮箱壳体的振动信号;

[0009] 所述通过振动加速度传感器,以转速信号为主控,对齿轮箱进行振动信号和转速

信号的同步数据采集的采集过程为：

[0010] a 由计数器卡实时监测变速箱输入轴的转速，当转速达到采集要求时，启动信号采集卡的采集任务；

[0011] b 启动的计数器卡，在接收到通过 RTSI 数据线传递的信号采集卡启动的同时发出的触发信号之后，计数器卡和信号采集卡开始同步采集数据；

[0012] c 在采集过程中，计数器卡通过循环实时累加每次从硬件缓冲区读取到的脉冲个数，当脉冲个数达到了预设值时，退出循环；

[0013] d 计数器卡和信号采集卡停止从硬件缓冲区中读取后续采集到的数据，结束采集任务。

[0014] 所述通过振动加速度传感器，以转速信号为主控，对齿轮箱进行振动信号和转速信号的同步数据采集，首先对齿轮箱的固定位置进行多次信号采集，再对不同位置处采集及多组样本。

[0015] 所述通过振动加速度传感器，以转速信号为主控，对齿轮箱进行振动信号和转速信号的同步数据采集后，还要对转速信号数据进行数字滤波。

[0016] 所述提取时域特征值进行分析评价，计算均值 RMS，峰值 Peak，峰值指标 Crest，RMS/Peak/Crest 离散百分比根据传感器位置、样本数、RMS/Peak/Crest 离散百分比绘制 RMS-Peak 图和箱线图的过程为：

[0017] a 建立样本集函数，保存原始采集样本并提供全部文件名索引，确定参与分析的箱号集合数组

[0018] b 计算均值、峰值、峰值指标分别为

$$[0019] \quad RMS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$[0020] \quad Peak = \max |X_i|$$

$$[0021] \quad Crest = Peak - RMS$$

[0022] 其中， $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ 为在有限长度的离散时间序列上得到的测量值；

[0023] c 计算 RMS/Peak/Crest 离散百分比；

[0024] d 根据箱号、样本数、RMS/Peak/Crest 离散百分比绘制 RMS-Peak 图和箱线图。

[0025] 所述通过时域同步平均、数据滤波、重采样、FFT 变换，得到功率谱，计算阶次谱进行分析评价的过程为：

[0026] 读取信号数据文件；

[0027] 读取系统参数及齿轮箱传动比参数；

[0028] 计数器卡编码器信号滤波；

[0029] 计算各状态参与时域平均运算的整旋转周期数；

[0030] 计算各轴旋转 2π 角度对应的计数器卡的有效脉冲数；

[0031] 计算各状态参与时域平均运算的计数器卡有效脉冲数；

[0032] 计算单位转角间隔重采样数；

[0033] 计算计数器卡最小采样脉冲数；

[0034] 计算计数器卡重采样计算处理步长；

[0035] 重采样；

- [0036] FFT 变换,得到功率谱;
- [0037] 计算阶次谱,并绘图输出。
- [0038] 本发明的有益效果体现在:
- [0039] 1. 本发明能够实现对齿轮箱壳体振动信号的阶次分析,通过时域、频域特征分析,得到更能表征各种故障特征的最佳位置,减少测量误差,确定振动传感器的安装位置,也为故障诊断的准确性提供了保障。
- [0040] 2. 本发明不仅能够分析针对统一测量位置多次连续测量数据进行精度分析和评价,而且能够针对齿轮箱壳体多个测量位置的采集数据进行精度分析和评价。
- [0041] 3. 本发明不仅适用于齿轮箱振动信号分析,而且原理与算法同样适用于其它旋转机械类机构的振动测量数据采集精度分析与评价。
- [0042] 4. 本发明的方法易于掌握和使用,算法满足工业现场实时性性能要求,经过实际应用测试,算法准确、可靠。

附图说明

- [0043] 图 1 是本发明的分析与评价方法流程图;
- [0044] 图 2 是本发明的同步数据采集流程图;
- [0045] 图 3 是本发明的时域分析流程图;
- [0046] 图 4 是本发明的时域特征值关系图;
- [0047] 图 5 是本发明的时域分析的 RMS-Peak 图;
- [0048] 图 6 是本发明的时域分析的箱线图;
- [0049] 图 7 是本发明的频域分析总体框图;
- [0050] 图 8 是本发明的功率谱计算流程图;
- [0051] 图 9 是本发明的计数器卡编码器信号滤波流程图;
- [0052] 图 10 是本发明的计算各状态参与时域平均运算的整旋转周期数流程图;
- [0053] 图 11 是本发明的重采样计算流程图;
- [0054] 图 12 是本发明的 FFT 变换算法流程图;
- [0055] 图 13(a) 是本发明实施例的 60 号箱在位置 13 处 3 档状态下的阶次谱图示意图;
- [0056] 图 13(b) 是本发明实施例的 60 号箱在位置 15 处 3 档状态下的阶次谱图示意图;
- [0057] 图 13(c) 是本发明实施例的 60 号箱在位置 13 处 5 档状态下的阶次谱图示意图;
- [0058] 图 13(d) 是本发明实施例的 60 号箱在位置 15 处 5 档状态下的阶次谱图示意图。

具体实施方式

- [0059] 下面结合附图及具体实施例对本发明做详细说明。
- [0060] 一种振动加速度传感器齿轮箱测点精度分析与评价方法,如图 1 所示。通过振动加速度传感器,以转速信号为主控,对齿轮箱进行振动信号和转速信号的同步数据采集;提取时域特征值进行分析评价,计算均值 RMS,峰值 Peak,峰值指标 Crest,RMS/Peak/Crest 离散百分比,根据传感器位置、样本数、RMS/Peak/Crest 离散百分比绘制 RMS-Peak 图和箱线图;通过时域同步平均、数据滤波、重采样、FFT 变换,得到功率谱,计算阶次谱进行分析评价;通过时域分析、频域分析方法分析结果,形成齿轮箱测点精度分析与评价结果。

[0061] 同步数据采集流程图如图 2 所示。计数器卡采用美国 NI 公司的 PCI-6601 计数器，通过齿轮箱输入轴的编码器采集转速信号。数据采集卡采用美国 NI 公司的 PCI-4474 采集齿轮箱壳体振动信号。首先，由计数器卡实时监测变速箱输入轴的转速，当转速达到采集要求时，启动信号采集卡的采集任务。先启动的计数器卡不是立即开始采集工作，而是等待数据卡启动的同时发出的触发信号，在接收到信号采集卡通过 RTSI 数据线传递的触发信号之后，计数器卡和信号采集卡开始同步采集数据。在采集过程中，计数器卡通过循环实时累加每次从硬件缓冲区读取到的脉冲个数，当达到了预设值时，便退出循环，从而使计数器卡和信号采集卡停止从硬件缓冲区中读取后续采集到的数据，之后结束采集任务。

[0062] 在变速器故障诊断实验中，通过振动传感器获取各工况下不同测点位置的箱体振动信号，然后从振动信号中提取时频域特征值进行分析评价。首先对于某一固定位置多组采集样本进行研究，以降低测量误差，在此基础上对不同位置处获取的多组采集样本进行了详细研究。

[0063] 本发明的具体操作过程如下。

[0064] (1) 建立样本集

[0065] 首先确定采集数据的存储路径，原始观测样本，由保存在 Path 路径下的原始观测样本组成。函数 TrainingSet 创建样本集文件名 Sample，由不同箱号、不同档位组成，在程序中选择调用要考察的箱号集，数组 mNo 为参与分析的箱号集合。

[0066] (2) 时域特征分析

[0067] 时域特征分析流程如图 3 所示。结果输出和绘图，只输出 mStatus 指定档位的计算结果。其他结果，可以在命令窗口中调用。确定后运行 Analyze_101_plotRP(A, mStatus) 绘图得传感器在某一固定位置的多组数据分析结果。

[0068] 通过计算几组采样数据的 RMS、Peak、Crest 等时域参数分析几次采样值之间的离散情况，比较不同实验得到的结果，并分析导致数据分散的原因，可能包括：1) 传感器安装的重复性；2) 试验台加载过程；3) 外部随机干扰等，本程序计算结果可以评估上述影响因素的程度。

[0069] 如图 4 所示，峰值 peak 是在某个时间内振幅的最大值，能反映振动信号是否含有冲击成份；均方根值 RMS 反映振动信号在分析频带范围内的振动大小，也就是故障程度的大小，它是各个元件在测试过程中所有合成振动的能量平均；峰值指标 Crest 兼备了峰值和有效值这两个信号在诊断领域的优点，对变速器内部零件的损坏，整体能量的变化都将有较敏感的体现。

[0070] 改变分析的数据采样样本集，在某一固定位置处，某齿轮箱工作时的档位状态下采集多个好箱数据样本进行分析，输出结果为每组样本 RMS、Peak、Crest 值的误差百分比（方差 / 均值），其误差允许最大范围大概在 10% -20% 之间。选择运行 Analyze_101_percent(A, mStatus) 绘图程序，输出计算结果，格式为：

[0071] 箱号 样本数 RMS 离散百分比 Peak 离散百分比 Crest 离散百分比

[0072] 将某一坏箱数据加到该采集样本中进行分析，在齿轮箱同一档位状态下得到其结果如图 5 所示。图中，* 代表好箱数据，+ 代表一类故障数据，由结果可知：1) 相同类别箱体数据特征值分布聚集度较高；2) 不同类别箱体数据特征值分布离散度较高。说明由该测点位置采集到的数据可以区分出合格箱和故障箱，达到故障判别的目的。

[0073] 采用箱线图 (Boxplot) 来分别对在不同位置处采集的多组数据进行分析。箱线图也可以粗略地看出数据是否具有对称性,分布的分散程度等信息,特别可以用于对几个样本的比较,直观明了地识别数据批中的异常值。箱线图的绘制依靠实际数据,不需要事先假定数据服从特定的分布形式,没有对数据作任何限制性要求,它只是真实直观地表现数据形状的本来面貌;另一方面,箱线图判断异常值的标准以四分位数和四分位距为基础,四分位数具有一定的耐抗性,多达 25% 的数据可以变得任意远而不会很大地扰动四分位数,所以异常值不能对这个标准施加影响,箱线图识别异常值的结果比较客观。利用箱线图比较几批数据的形状。

[0074] 选择运行 Analyze_101_boxplot(A, mStatus) 绘图程序得传感器在不同位置处数据分析结果如下所示:通过比较不同位置处数据的异常值及其离散度大小来判断最佳位置。

[0075] 图 6 所示为同一档位状态下不同时域指标的分析结果,上面位置处的数据异常值多于下面位置处的异常值,为进一步准确判断,提取频域信号特征进行分析判断。

[0076] (3) 频域特征分析

[0077] 在时域诊断的基础上,进入频域分析、利用阶次信息进一步判断不同位置的信号特征,确定传感器的安装位置。

[0078] 时域分析总体框图如图 7 所示,其中功率谱的计算流程图如图 8 所示。

[0079] A 读取信号数据文件。

[0080] B 读取系统参数及齿轮箱传动比参数。

[0081] C 计数器卡编码器信号滤波:如图 9 所示。

[0082] $x = gb_filter6601(mData, n, Nmax, Nmin)$

[0083] 其中:传参 mData(i):原始数据;n:处理数据个数;Nmax:上限值;Nmin:下限值;

[0084] 理论计算:
$$上限值 N_{max} = \frac{20 \times 10^6}{\frac{起始转速}{60} \times 编码器分辨率},$$

[0085]

$$下限值 N_{min} = \frac{20 \times 10^6}{\frac{终止转速}{60} \times 编码器分辨率},$$

[0086] 偏置量 ≥ 3 ;返回有效数据个数为 k-1。

[0087] 目的是消除噪音信号对计数的影响。其计算过程:

[0088] 1) 首先进行参数初始化,返回有效个数下标 $k = 1$; $ti = 0$; $tii = 0$; $err = 0$; % 不等于 0 时为错误标志 $offset = 5$; % 偏置

[0089] 2) 在变量 i 位于偏置量 offset 到 n 之间时进行步骤 3 分析,否则转向 13;

[0090] 3) $ti = mData(i) - mData(i-1)$ 表示 6601 相邻两个计数脉冲差值,转向 4 对其进行判别;

[0091] 4) 判别 $ti \leq Nmax \& \& ti \geq Nmin$, 结果为 Y 时转向 7, 否则转向 5;

[0092] 5) 当 ti 未处于上下限值之间时,判断标志位 err 是否为 0, 结果为 Y 时转向 6, 否则转向 2, $i = i+1$ 进行下一循环判断;

[0093] 6) 当步骤 5 判别 $err == 0$ 时, $t0 = mData(i-1)$; $tii = mData(i-1) - mData(i-2)$

中间变量值,标志位 $err = 1$, 然后转向 2 进行 $i = i+1$ 循环判断;

[0094] 7) 判别标志位 err 是否为 0, 结果为 N 时转向 12; 结果为 Y 时转向 8;

[0095] 8) $m = \text{floor}((mData(i)-t0)/tii)$ 进行向下取整, 即后一差值与前一差值比值;

[0096] 9) 判别 m 值, 若 $m > 1$, 转向 10, 否则转向 11;

[0097] 10) $m > 1$ 时, 对数据进行循环计算 $mm = 2:m$, $mData(k) = t0+tii*(mm-1)$, $k = k+1$; 消除噪声干扰计数值, 得到处理后数据;

[0098] 11) 若 $m < 1$, 或步骤 10 运行结束, 标志位 $err = 0$;

[0099] 12) $mData(k) = mData(i)$, 说明数据不需要进行处理; 返回有效值, $k = k+1$;

[0100] 13) 循环结束, 输出运行结果 $x = mData(1:n)$; $x(n) = k-1$;

[0101] 14) 结束, 返回计算值。

[0102] D 计算各状态参与时域平均运算的整旋转周期数:

[0103] $Nrev = gb_Nrev(Naxes, Nstatus, Rmax, Rmin, GearRate)$;

[0104] 参数 $Naxes$: 轴数, $Nstatus$: 档位数, $Rmax$: 最大旋转周期数, 取 20, $Rmin$: 最小旋转周期数, 取 4, $GearRate$: 传动比参数。

[0105] 其计算过程如下:

[0106] 1) 循环变量 $i = 1:Nstatus$, 从 1 档开始进行循环;

[0107] 2) 首先赋值三轴进行时域平均最小圈数为 $Rmin$, 系统参数设置为 4;

[0108] 3) 进行 $i = 1:Nstatus$ 、 $j = 1:Naxes-1$ 档位数、轴数二维数据循环计算;

[0109] 4) 通过公式 $Tmp = \text{floor}(Nrev(Naxes, i)*eta3(Naxes, i)/eta3(j, i))$ 取整运算, $eta3$ 参数即为 $GearRate$ 函数求得的传动比;

[0110] 5) 进行判别, 若 $Tmp < Rmin$, 则取 $Tmp = Rmin$; 否则运行 6;

[0111] 6) 进行判别, 若 $Tmp > Rmax$, 则取 $Tmp = Rmax$; 否则运行 7;

[0112] 7) 结果赋值 $Nrev(j, i) = Tmp$, 转向 3 运行至循环结束。

[0113] E 计算各轴旋转 2π 角度对应的计算器卡的有效脉冲数:

[0114] $N2pi = gb_N2pi(Naxes, Nstatus, SensorN, GearRate)$;

[0115] 参数 $Naxes$: 轴数, $Nstatus$: 档位数, $SensorN$: 编码器分辨率, $eta3$ 同 $GearRate$: 传动比参数。其计算公式如下所示:

[0116] $N2pi(j, i) = SensorN*eta3(j, i)$, 其中 $i = 1:Nstatus$ 代表档位数、 $j = 1:Naxes$ 代表轴数, 传参 $eta3$ 为传动比参数。

[0117] $SensorN$ 编码器分辨率即为编码器旋转一周所产生的脉冲数, 与传动比 $eta3(j, i)$ 相乘可得各轴各档位下旋转 2π 角度对应的 6601 的有效脉冲数。

[0118] F 计算各状态参与时域平均运算的计数器卡有效脉冲数: 如图 10 所示。

[0119] $N2npi = gb_N2npi(Naxes, Nstatus, N2pi, Nrev)$;

[0120] 参数 $Naxes$: 轴数, $Nstatus$: 档位数, $N2pi$: 各轴旋转 2π 角度对应的 6601 的有效脉冲数, $Nrev$: 各状态参与时域平均运算的整旋转周期数。其计算公式如下所示:

[0121] $N2npi(j, i) = \text{ceil}(N2pi(j, i)*Nrev(j, i))$; ceil 函数代表向上取整, 其中 $i = 1:Nstatus$ 代表档位数、 $j = 1:Naxes$ 代表轴数。

[0122] G 计算单位转角间隔重采样数:

[0123] $Nphi = gb_Nphi(Naxes, Nstatus, Nfft, SensorN, GearRate)$;

[0124] 参数 Naxes :轴数, Nstatus :档位数, Nfft :FFT 计算点数, 取 1024, SensorN :编码器分辨率, eta3 同 GearRate :传动比参数。其计算公式如下所示 :

[0125] $Nphi(j, i) = Nfft / (SensorN * eta3(j, i))$;其中 $i = 1:Nstatus$ 代表档位数、 $j = 1:Naxes$ 代表轴数、 $SensorN * eta3(j, i)$ 代表各轴旋转 2π 角度对应的 6601 的有效脉冲数代表。

[0126] H 计算计数器卡最小采样脉冲数 :

[0127] $N6601 = gb_N6601(Naxes, Nstatus, N2npi)$;

[0128] 6601 将按照此值控制采样过程, 参数 Naxes :轴数, Nstatus :档位数, N2npi :各状态参与时域平均运算的 6601 有效脉冲数。

[0129] 其计算过程 :

[0130] 1) 循环变量 $i = 1:Nstatus$, 从 1 档开始进行循环 ;

[0131] 2) 中间变量 $Tmp = 0$;

[0132] 3) $j = 1:Naxes$ 轴状态从 1 轴开始, 进入 4 进行判别 ;

[0133] 4) 比较参与时域平均运算的 6601 有效脉冲数 $N2npi(j, i) > Tmp$ 时, $Tmp = N2npi(j, i)$, 否则返回 3 轴数 $j = j+1$ 判别至循环结束, 转向 5 ;

[0134] 5) 结果 $N6601(i) = Tmp+20$;其中预留部分余量 20, 返回 1 进行 $i = i+1$ 档位状态至循环结束 ;

[0135] 6) 结束, 返回运行结果。

[0136] I 计算计数器卡重采样计算处理步长 :

[0137] 插值计算用的控制参数, 与轴和档位有关。

[0138] $Npsi = gb_Npsi(Naxes, Nstatus, Nphi)$;

[0139] 参数 Naxes :轴数, Nstatus :档位数, Nphi :计算单位转角间隔重采样数。

[0140] 其计算过程 :

[0141] 1) 循环变量 $i = 1:Nstatus$ 代表档位状态, $j = 1:Naxes$ 代表轴状态 ;

[0142] 2) 在某一状态下比较单位转角间隔重采样数 $Nphi(j, i) \geq 1$ 时, 转向 3, 否则转向 4 ;

[0143] 3) 6601 重采样处理步长 $Npsi(j, i) = 1$;

[0144] 4) $Npsi(j, i) = \text{ceil}(1/Nphi(j, i))$; % ceil 往上取整 ;

[0145] 5) 结束, 返回运行结果。

[0146] J 重采样 :如图 11 所示。

[0147] $S = gb_Resample(mStatus, Naxes, Nfft, Nrev, Npsi, Nphi, N6601, zeta, S6601, S4474)$;

[0148] 参数 mStatus :当前分析档位状态, 运行时需给定, 可修改 ;Naxes :轴数, Nfft :FFT 计算点数 ;Nrev :各状态参与时域平均运算的整旋转周期数 ;Npsi :计算 6601 重采样计算处理步长 ;

[0149] Nphi :计算单位转角间隔重采样数 ;N6601 :计算 6601 最小采样脉冲数 ;zeta :传参, 其计算公式为 $zeta = \text{SampleRate} / \text{Clock6601}$, 其中 :4474 采样速率 $\text{SampleRate} = 20 * 10^3$, 6601 时钟频率 $\text{Clock6601} = 20 * 10^6$;S6601 :滤波后的转速信号, S4474 :振动信号。

[0150] delta :计算单位转角对应的 6601 时钟计数个数 ;该值为非整数 ;tt :计算当前插值点对应的标准时间的时刻 ;

[0151] 其计算过程 :

[0152] 1) $S = \text{zeros}(\text{Nfft}, \text{Naxes})$; %时域平均值数组, Nfft:FFT 计算点数,取 1024, S 为 1024 行 3 列的数组

[0153] 2) 循环变量 $l = 1:\text{Naxes}$,从 $l = 1$ 轴开始进行参数的赋值,转向 3 ;

[0154] 3) $n = \text{Nfft} * \text{Nrev}(l, \text{mStatus})$; % mStatus :预先设置的,某状态 1 轴下 Nrev 周期的总分析点数 ;

[0155] $\text{RS} = \text{zeros}(n, 1)$; %一维数组 $I = 3 + \text{Npsi}(l, \text{mStatus})$; % Npsi :6601 重采样步长 ;

[0156] $\text{ts} = \text{S6601}(I - \text{Npsi}(l, \text{mStatus}))$; % 6601 计数值 ;代入 I 得 $\text{ts} = \text{S6601}(3)$

[0157] $\text{tss} = \text{ts}$; $k = 1$; $i = 1$; %中间变量 ;

[0158] 4) 判别 $i < \text{N6601}(\text{mStatus}) \& (k < n)$? 其中 mStatu 在主调函数参数初始化中设置, N6601(mStatus) 为该状态下 6601 最小采样脉冲数,结果为 Y 时,转向 5,结果为 N 时转向 9 进行分轴算法 ;

[0159] 5) $\text{te} = \text{S6601}(i)$; % 6601 在 i 下标的数值

[0160] $\text{delta} = (\text{te} - \text{ts}) / \text{Nphi}(l, \text{mStatus})$; %计算单位转角对应的 6601 时钟计数个数 ;该值为非整数,其中 Nphi 表示单位转角间隔重采样数,

[0161] $\text{ts} = \text{S6601}(I - \text{Npsi}(l, \text{mStatus}))$, $(\text{te} - \text{ts})$ 为计数脉冲之差 ;

[0162] 变量 $\text{ti} = \text{tss} + \text{delta}$;

[0163] 6) 判别 $(\text{ti} < \text{te}) \& (k < n)$? ,结果为 Y 时转向 7,否则转向 9 ;

[0164] 7) 进行线性插值算法 : $\text{tt} = \text{ti} * \text{zeta}$; %计算当前插值点对应的标准时间的时刻, zeta 主调函数参数初始化中给出 ; $\text{m} = \text{floor}(\text{tt})$; %向下取整 ;

[0165] $\text{RS}(k) = \text{S4474}(\text{m}) + ((\text{S4474}(\text{m} + 1) - \text{S4474}(\text{m})) * (\text{tt} - \text{m}))$; $k = k + 1$; $\text{ti} = \text{ti} + \text{delta}$; 返回 6 至循环结束 ;

[0166] 8) 赋值中间变量 $\text{ts} = \text{te}$; $\text{tss} = \text{ti} - \text{delta}$; $i = i + \text{Npsi}(l, \text{mStatus})$ % i 加上重采样步长返回 4 进行循环判别 ;

[0167] 9) 进行分轴算法 :for $i = 1:\text{Nfft}$

[0168]

for $j = 1:\text{Nrev}(l, \text{mStatus})$ (周期数)

$\text{S}(i, l) = \text{S}(i, l) + \text{RS}(i + (j - 1) * \text{Nfft})$;

end

$\text{S}(i, l) = \text{S}(i, l) / \text{Nrev}(l, \text{mStatus})$; %时域平均滤波值

End

[0169] 然后返回 2) 进行循环运算 ;

[0170] 10) 重采样运算完成结束,返回结果为 $\text{S}(1024, 3)$ 的数组。

[0171] KFFT 变换,得到功率谱 :如图 12 所示。

[0172] `gb_fft(double*real, double*imag, int n, unsigned char sign)`, 其中参数 `*real`、`*imag` 为数据的实部与虚部, `n` 为进行 FFT 计算的点数, 可取 512、1024、2048 等, 一般取 1024, `sign` 为标志位。

[0173] FFT 算法是基于可以将一个长度为 N 的序列的离散傅里叶变换逐次分解为较短的离散傅里叶变换来计算这一基本原理的。产生了许多不同的算法, 但他们在计算速度上均取得了大致相当的改善。两类基本的 FFT 算法:

[0174] 1) 按时间抽取的基 2-FFT 算法, 在把原计算安排成较短变换的过程中, 时间序列可逐次分解为较短的子序列, 将输入序列长度为 $N = 2^M$, M 为正整数, 按时间顺序的奇偶分解为越来越短的子序列。 $N = 2^M$, M 为正整数, 若不满足这个条件, 可以人为地加上若干零值 (加零补长) 使其达到 $N = 2^M$ 。

[0175] 2) 按频率抽取的基 2-FFT 算法, 将离散傅里叶变换系数序列分解为较短的子序列。

[0176] 采用快速傅里叶变换, 流程图中标号 2-6 为参数的初始化; 10-16 为倒序排列算法; 17 计算旋转因子; 18 为蝶形算法: 序列经时域抽选 (倒序) 后, 存入数组中, 如果蝶形运算的两个输入数据相距 B 个点, 应用原位计算; 19 中间变量, 返回进行循环; 20 判别 `sign == -1 ?`, 判断输入是否规范, 满足条件后转向 21 进行 FFT 归一化。

[0177] L 计算阶次谱, 并绘图输出:

[0178] `orderK = gb_OrderK(S, Naxes, Nstatus)`, 参数 `S`: 重采样后信号, `Naxes`: 轴数, `Nstatus`: 档位数, 从阶次谱知识库中提取: 知识库建立如下所示:

[0179] `orderK = zeros(4, Naxes, Nstatus)` ;

[0180] `orderK(:, 1, 1) = [1, 12, 0, 0]` ; % 1 档 1 轴阶次谱知识

[0181] `orderK(:, 2, 1) = [1, 18, 43, 0]` ; % 1 档 2 轴阶次谱知识

[0182] `orderK(:, 3, 1) = [1, 0, 67, 0]` ; % 1 档 3 轴阶次谱知识

[0183] 同理建立其它档位状态下的阶次谱图。最后绘图输出 128 阶阶次谱:

[0184] % 1 轴齿轮阶次谱

[0185] `subplot(3, 1, 1)` ;

[0186] `stem(f(1:128), PyyA(1:128, 1), 'fill', '*-')` ;

[0187] `xlabel('输入轴阶次')` ; `ylabel('幅值')` ;

[0188] `r1 = orderK(:, 1, mStatus)` ;

[0189] % 2 轴阶次谱

[0190] `subplot(3, 1, 2)` ;

[0191] `stem(f(1:128), PyyA(1:128, 2), 'fill', '*-')` ;

[0192] `xlabel('中间轴阶次')` ; `ylabel('幅值')` ;

[0193] `r1 = orderK(:, 2, mStatus)` ;

[0194] % 3 轴阶次谱

[0195] `subplot(3, 1, 3)` ;

[0196] `stem(f(1:128), PyyA(1:128, 3), 'fill', '*-')` ;

[0197] `xlabel('输出轴阶次')` ; `ylabel('幅值')` ;

[0198] `r1 = orderK(:, 3, mStatus)`。

[0199] 如图 13(a)-13(d) 所示。该图为 60 号箱分别在位置 13 和位置 15 处 3 档状态下的阶次谱信号, 图中圆心位置为对应理论应出现阶次谱处, 3 档输入轴由主动 3 档参与啮合, 其齿数为 29, 因此可以在位置 13 处看到第 29 阶处有峰值, 而对应位置 15 处峰值几乎为 0; 3 档中间轴参与啮合的齿数为 40、18, 从图中可以看到在位置 13 处均有对应阶次出现, 位置 13 中还有 40 阶的倍频出现。

[0200] 输出轴参与啮合的齿数为 67, 此阶次在两个位置处均有出现, 但位置 13 处的幅值大于位置 15 处的幅值。

[0201] 五档阶次谱分析结果如图 13(c) 和图 13(d) 所示。五档输入轴由主动五档参与啮合, 其齿数为 39, 因此在第 39 阶处应有峰值出现, 由图所示在位置 13 处第 39 阶处有峰值, 而对应位置 15 处没有出现; 五档中间轴参与啮合的齿数为 32、18, 从图中可以看到在位置 15 处有对应阶次出现, 位置 13 中没有出现 32 阶。输出轴参与啮合的齿数为 67, 此阶次在两个位置处均有出现, 但在位置 13 中还有其倍频出现。

[0202] 综上所述, 在数据的分轴阶次谱分析中, 通过比较得到位置 13 几乎包含了变速器体内部所有齿轮、轴承及轴的信息, 并且有相应的倍频出现, 对故障诊断的准确性提供了很好的保证, 而其它位置变速器信息包括相对不完整、对应倍频处几乎没出现且部分阶次处幅值较小, 所以通过比较可得出较好位置, 上图所示得出位置 13 好于位置 15。

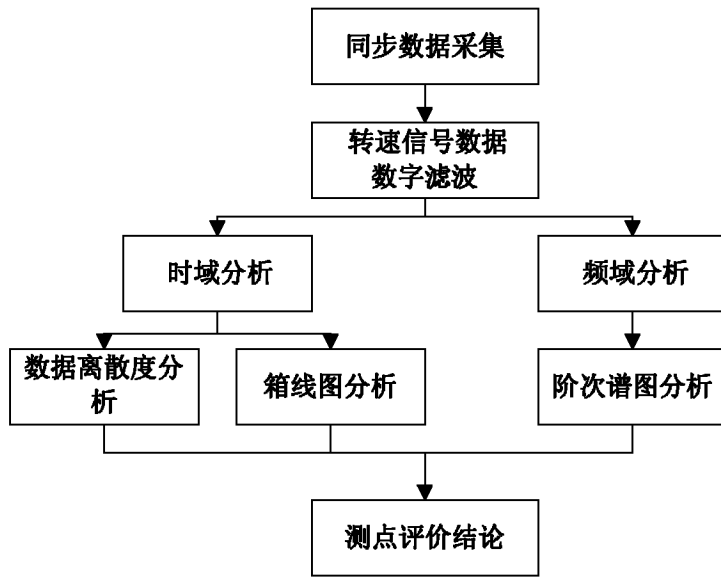


图 1

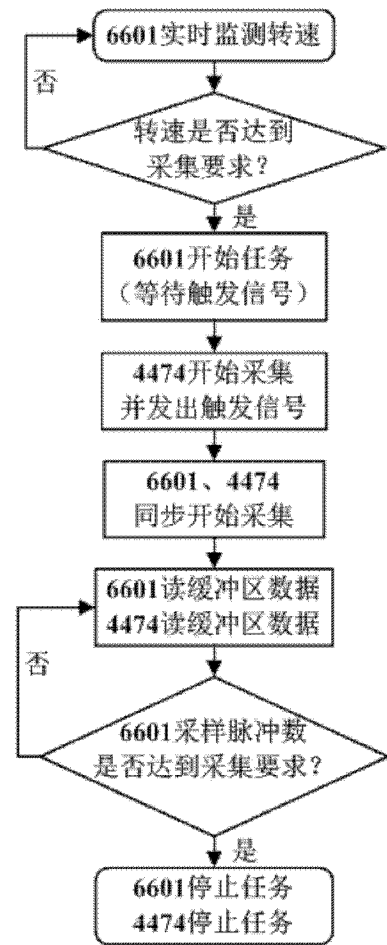


图 2

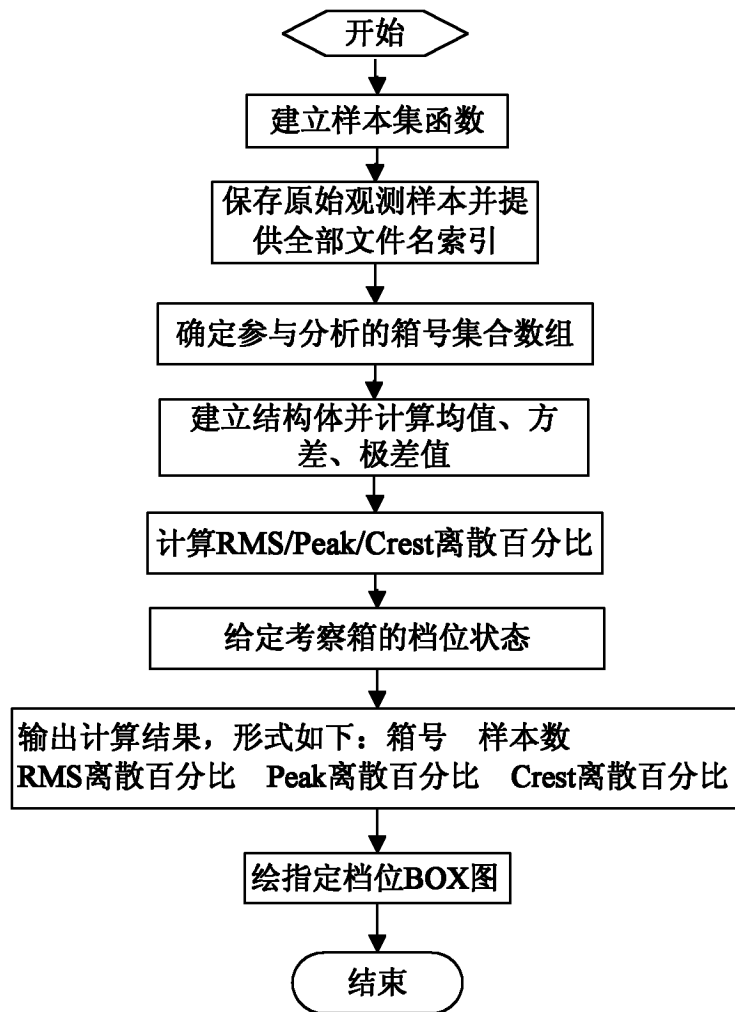


图 3

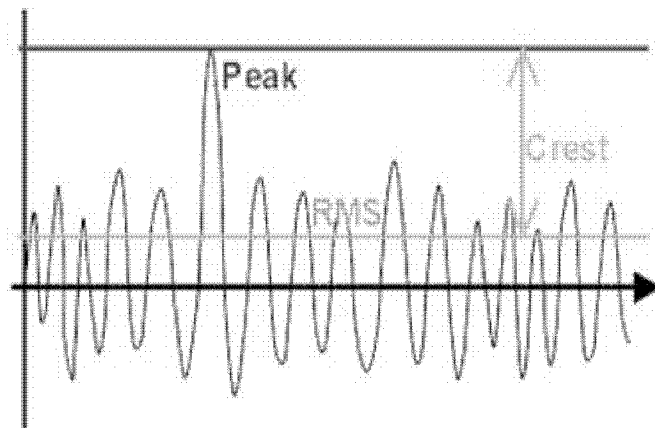


图 4

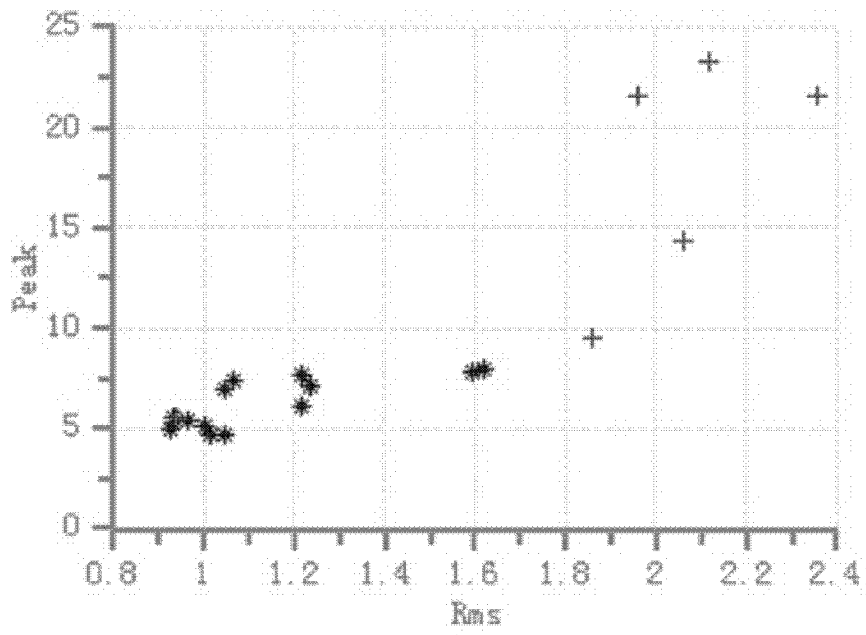


图 5

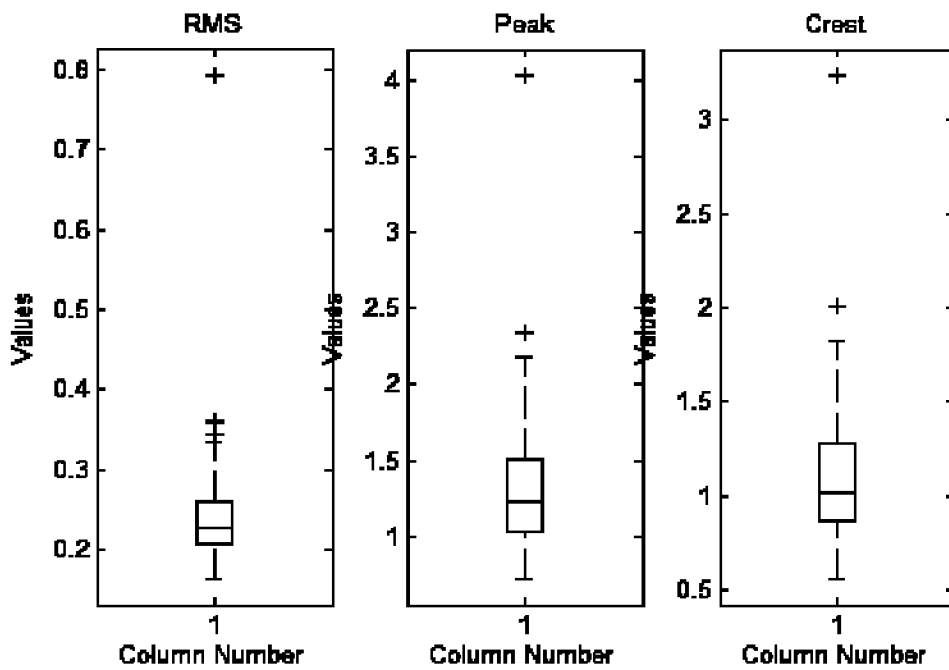


图 6

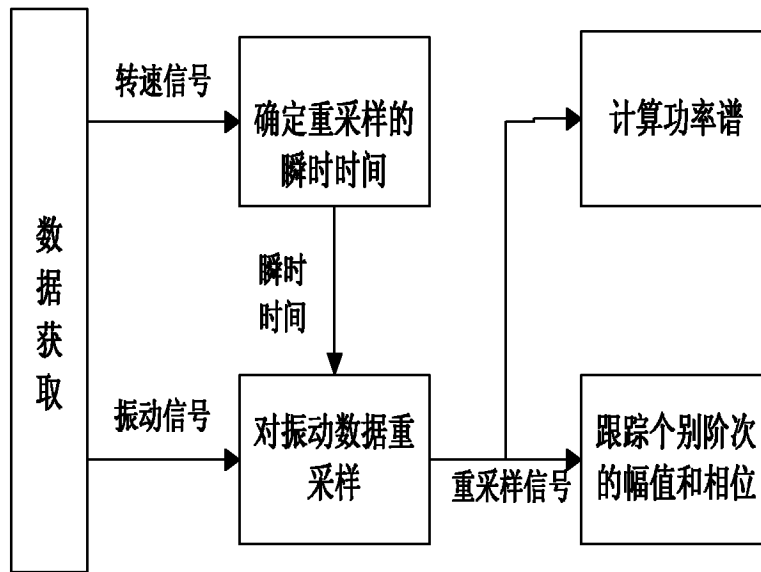


图 7

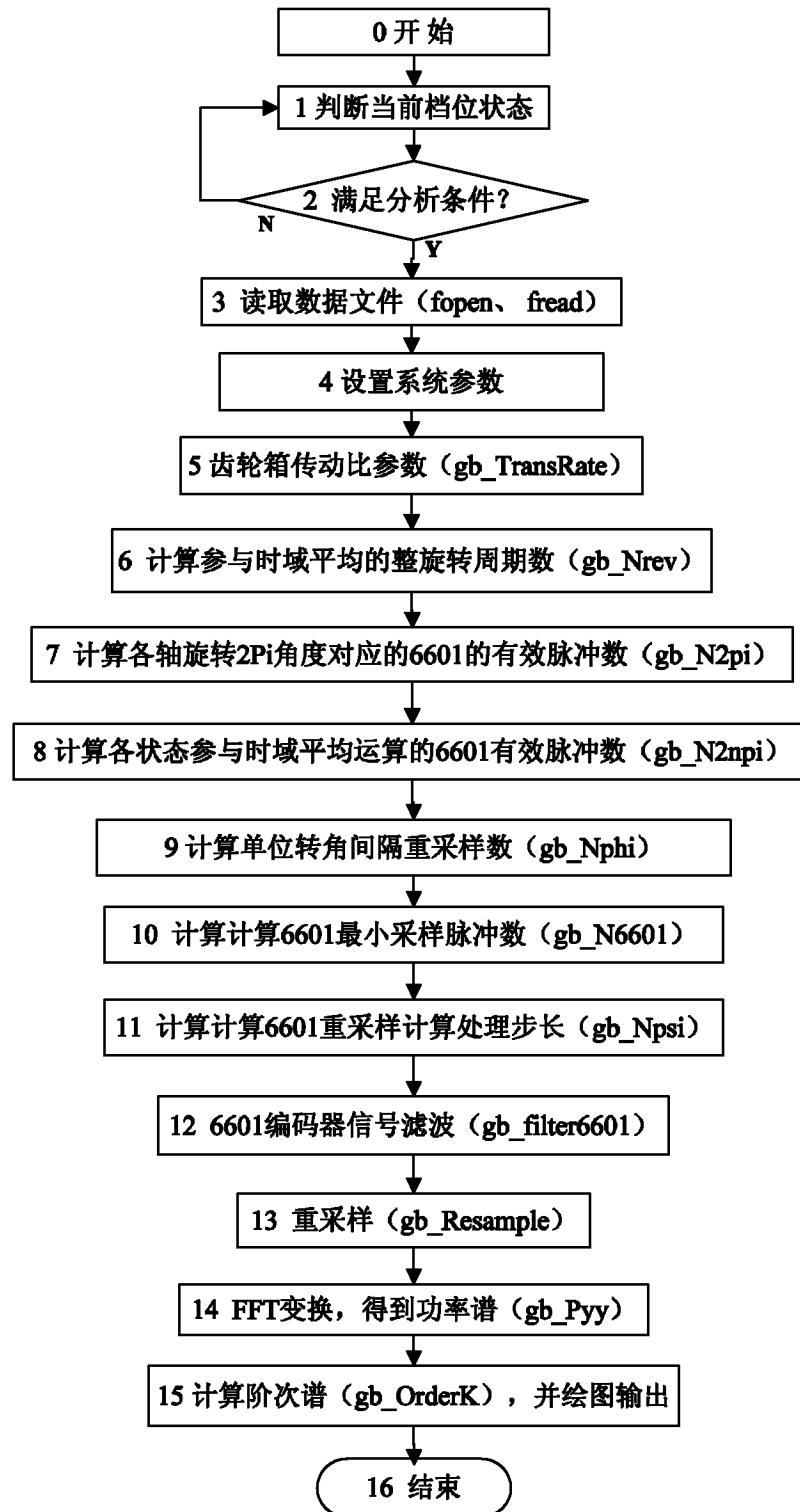


图 8

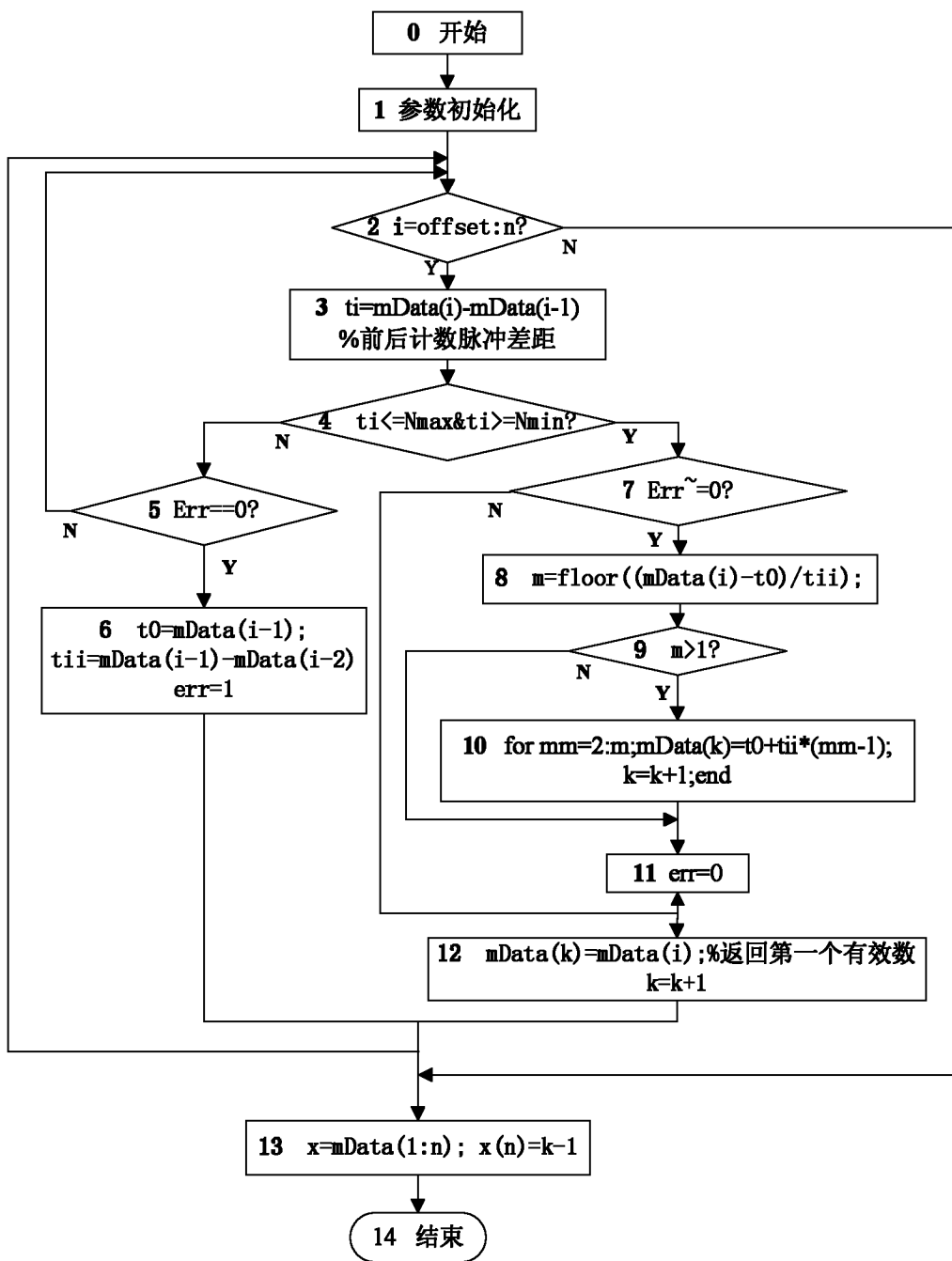


图 9

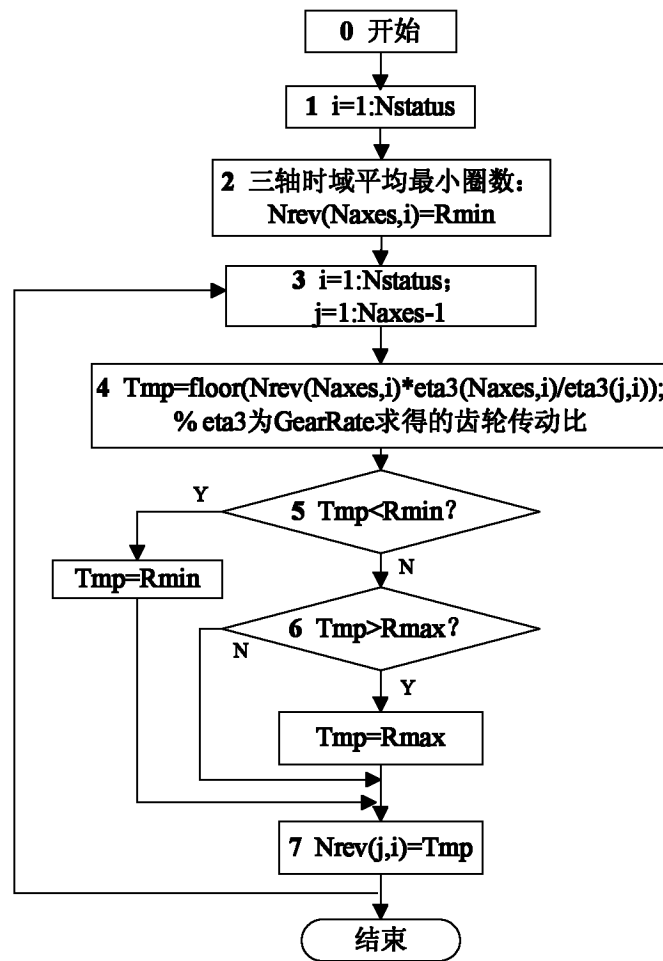


图 10

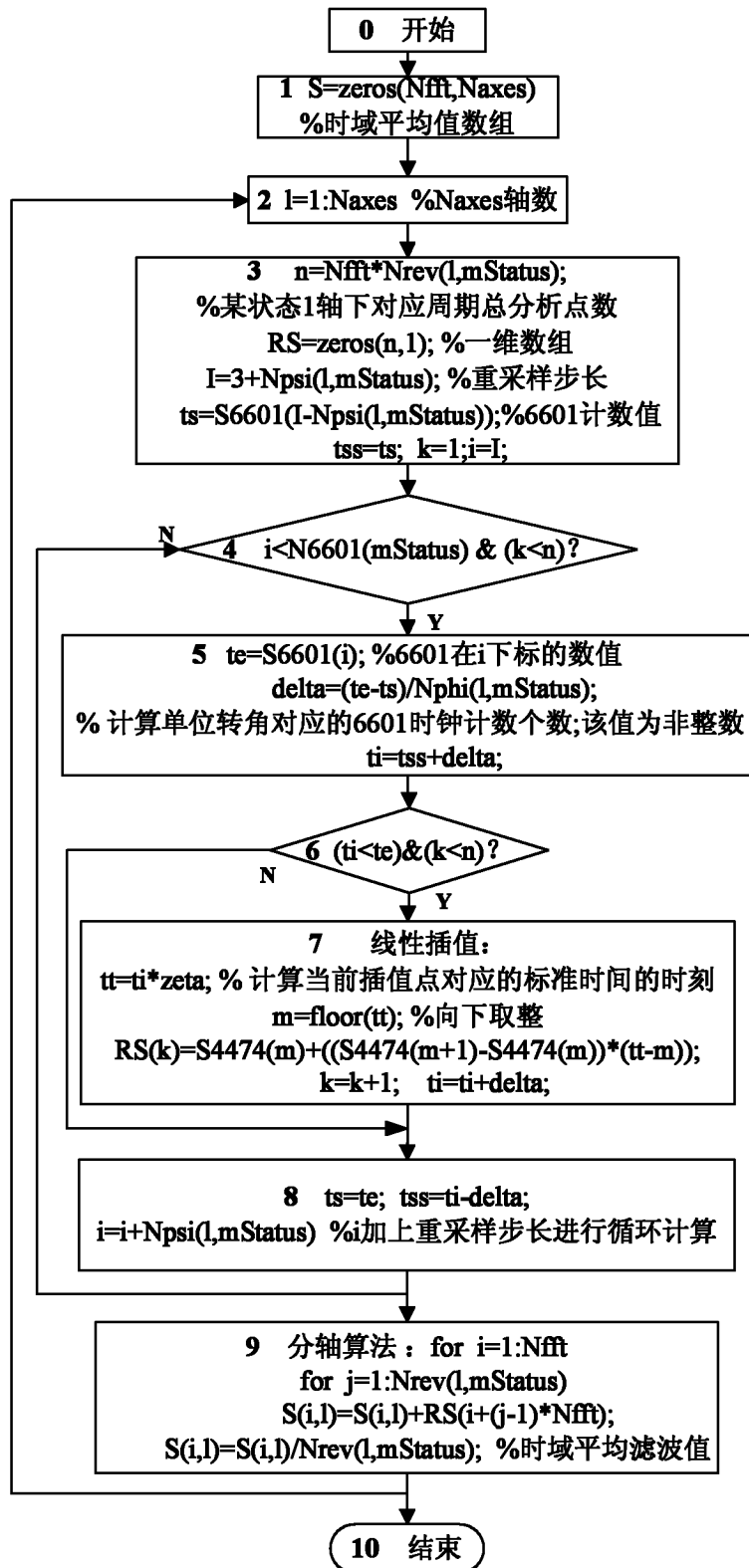


图 11

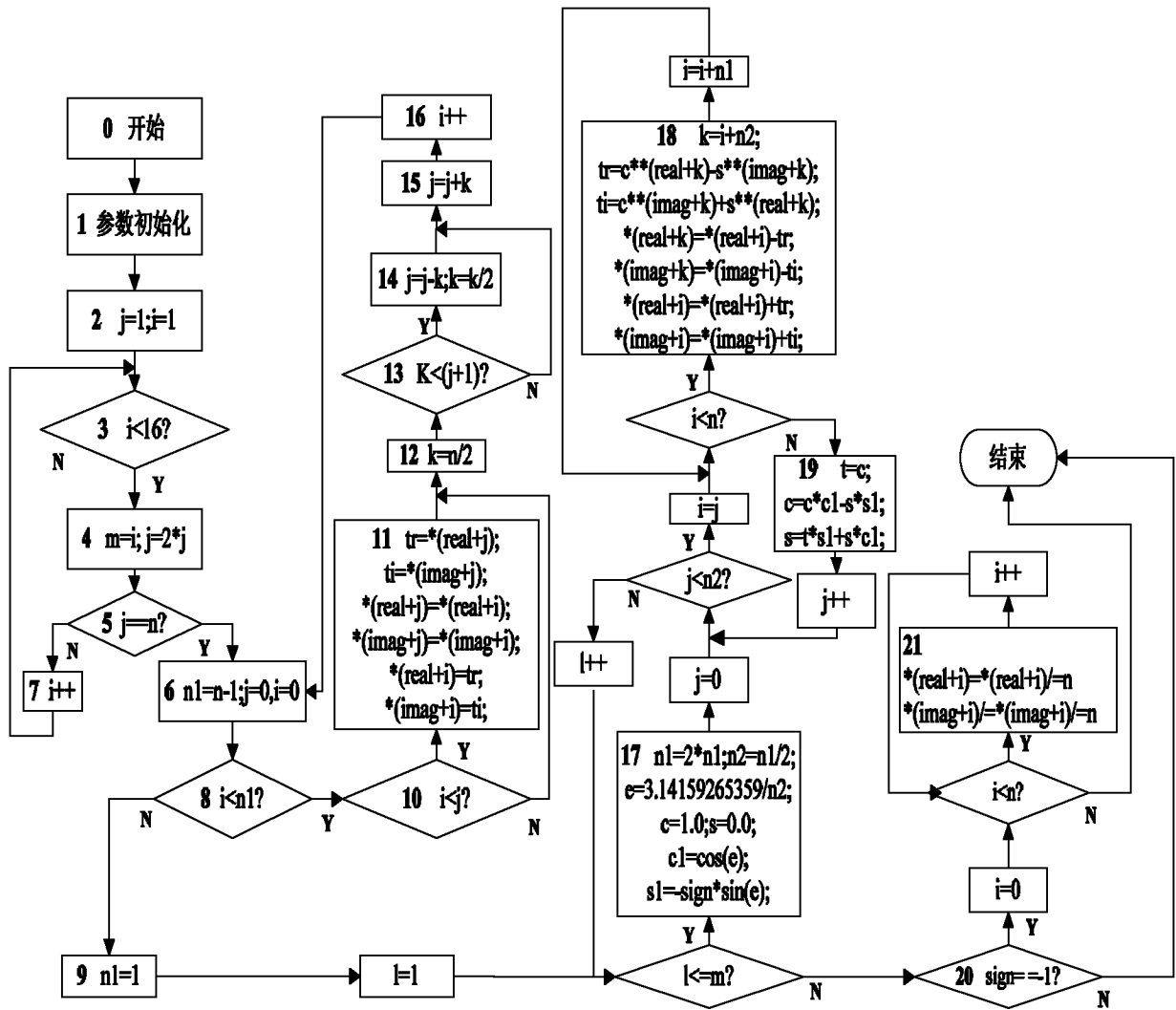


图 12

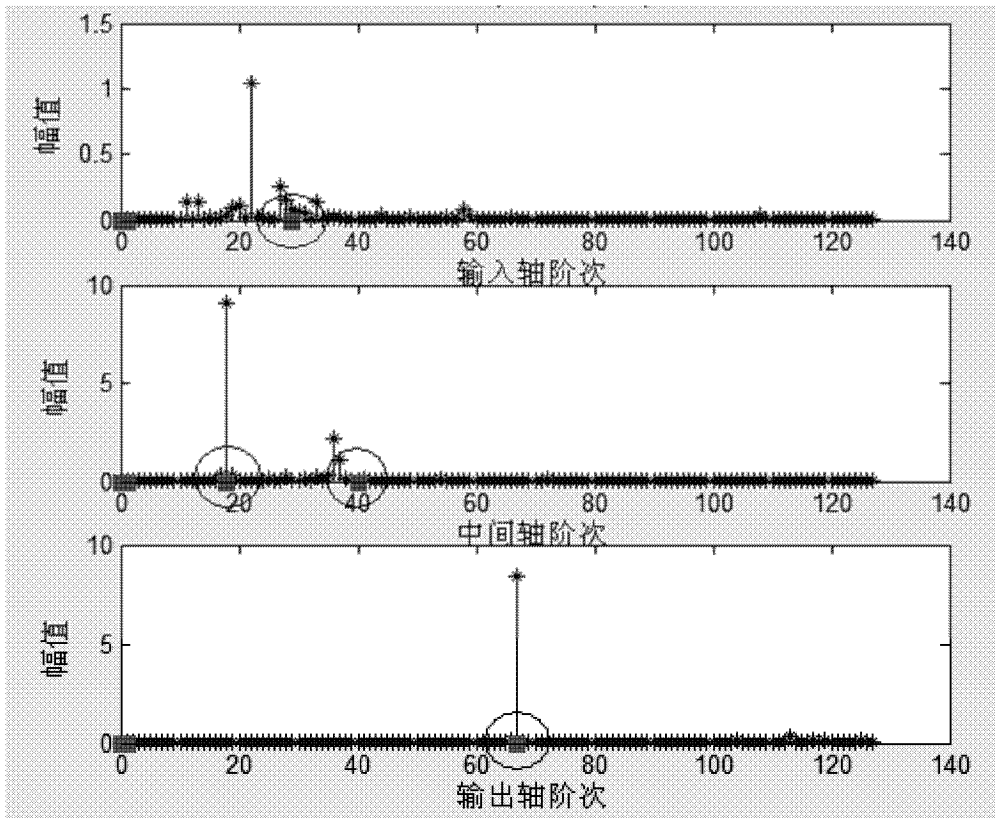


图 13(a)

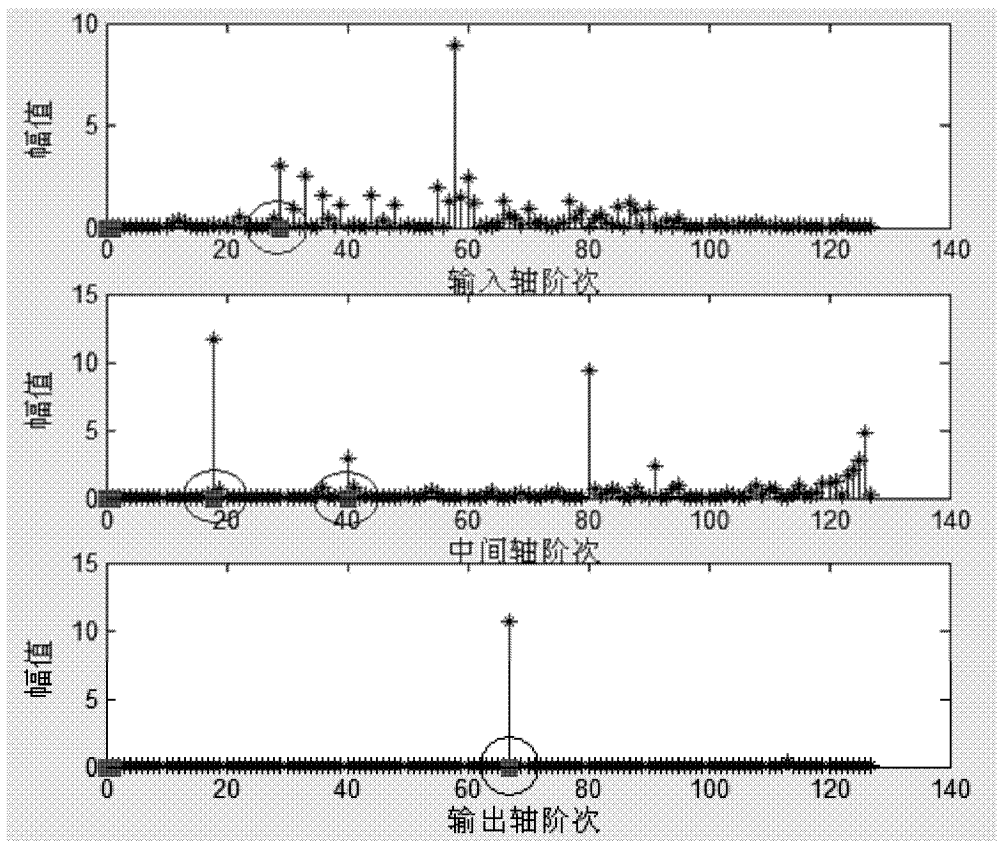


图 13(b)

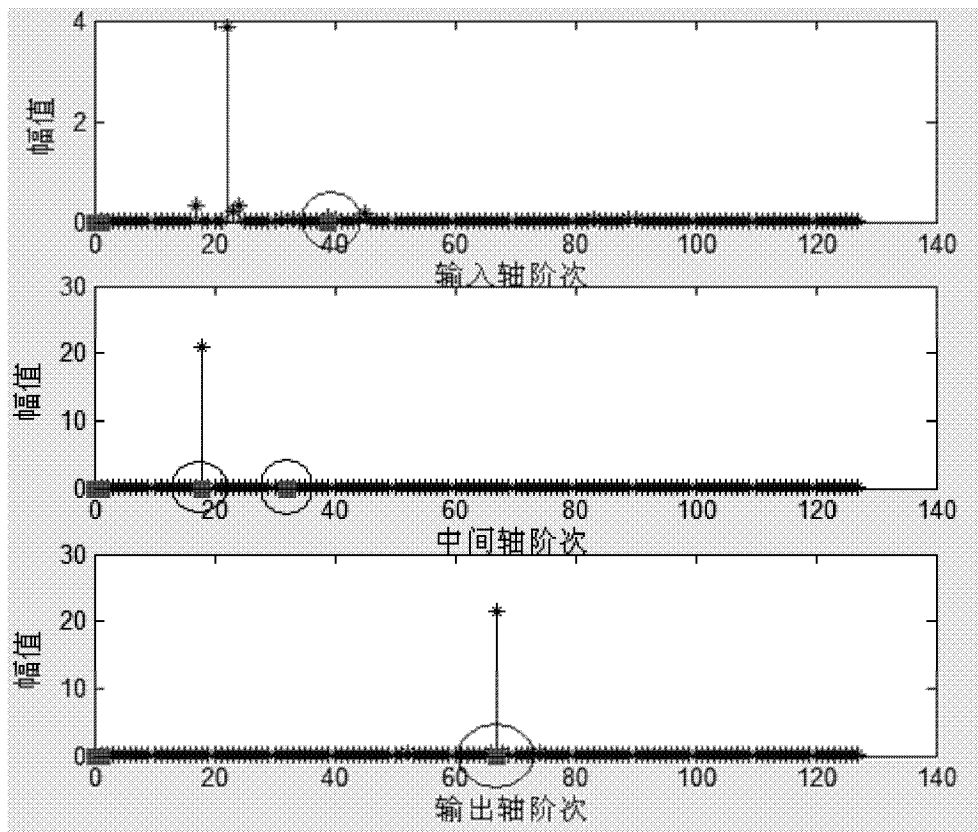


图 13(c)

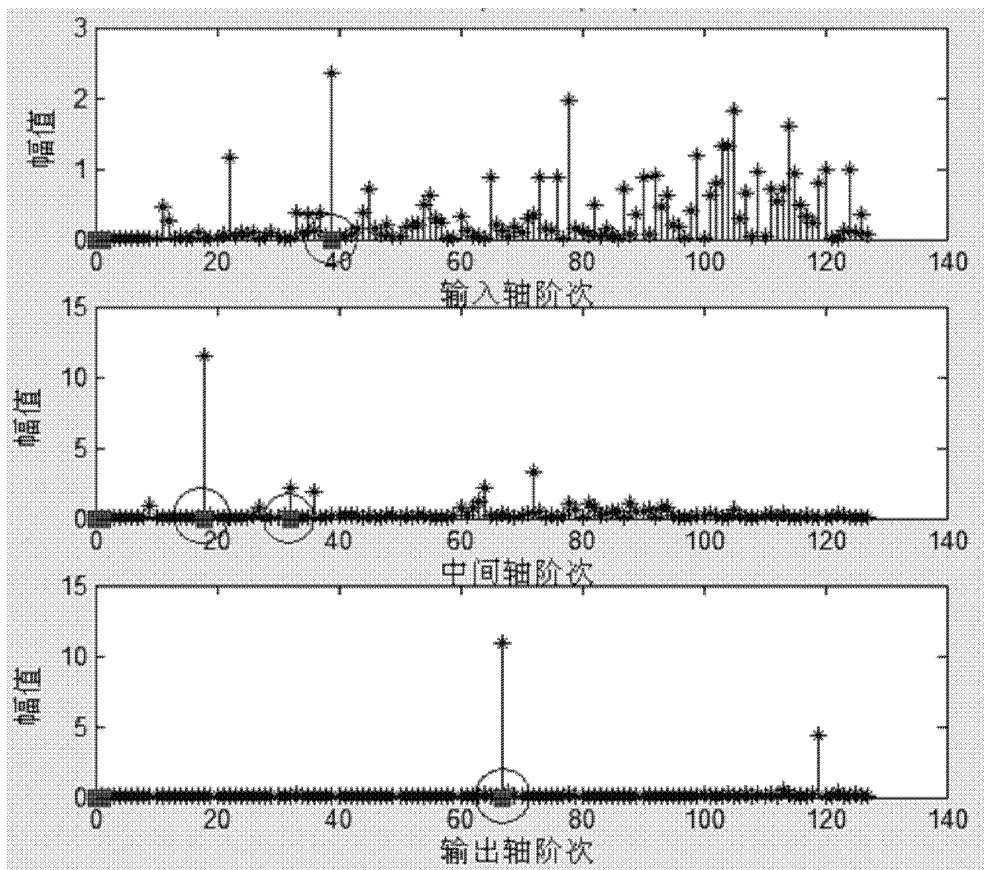


图 13(d)