



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109460599 B

(45) 授权公告日 2022. 06. 28

(21) 申请号 201811272264.7

(22) 申请日 2018.10.30

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109460599 A

(43) 申请公布日 2019.03.12

(73) 专利权人 南昌航空大学
地址 330000 江西省南昌市丰和南大道696号

(72) 发明人 朱永国 霍正书 徐雪锋 付春林

(74) 专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569
专利代理师 张海青

(51) Int. Cl.
G06F 30/20 (2020.01)
G06F 30/15 (2020.01)

(56) 对比文件

- CN 102721563 A, 2012.10.10
 - CN 104036102 A, 2014.09.10
 - CN 102024086 A, 2011.04.20
 - CN 105160074 A, 2015.12.16
 - CN 107784189 A, 2018.03.09
 - CN 108427837 A, 2018.08.21
 - CN 103984331 A, 2014.08.13
 - CN 103047959 A, 2013.04.17
 - CN 106096099 A, 2016.11.09
 - US 2016110680 A1, 2016.04.21
 - US 2006066150 A1, 2006.03.30
- 朱永国等. 大飞机数字化装配关键技术及其应用.《航空制造技术》.2016, (第5期), 32-35.
姚艳彬等. 飞机智能装配技术.《航空制造技术》.2014, 57-59.

审查员 李桐

权利要求书2页 说明书7页 附图2页

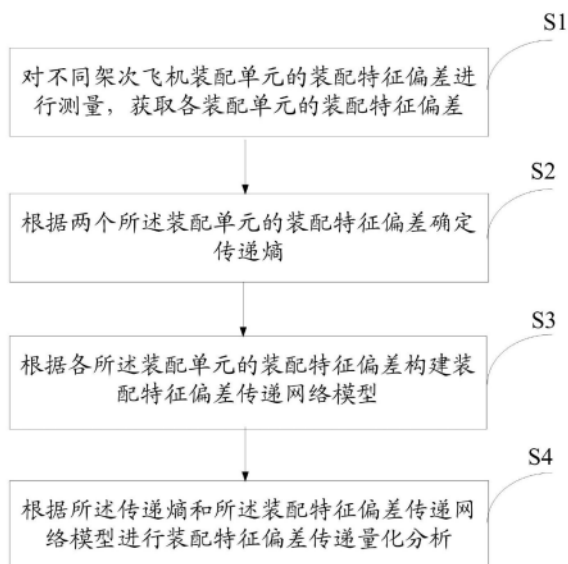
(54) 发明名称

一种装配特征偏差的传递量化分析方法及系统

(57) 摘要

本发明公开一种装配特征偏差的传递量化分析方法及系统,本发明首先对不同架次飞机装配单元的装配特征偏差进行测量,获取各装配单元的装配特征偏差;其次根据两个所述装配单元的装配特征偏差确定传递熵;然后根据各所述装配单元的装配特征偏差构建装配特征偏差传递网络模型;最后根据所述传递熵和所述装配特征偏差传递网络模型进行装配特征偏差传递量化分析,利用传递熵来确定装配偏差变量间的拓扑关系和衡量因果性的指标,揭示小批量研制模式下的复杂结构产品装配偏差传播机制和耦合规律,实现小批量生产模式下的复杂结构产品装配公差优化。

CN 109460599 B



1. 一种装配特征偏差的传递量化分析方法,其特征在于,所述传递量化分析方法包括:
对不同架次飞机装配单元的装配特征偏差进行测量,获取各装配单元的装配特征偏差;

根据两个所述装配单元的装配特征偏差确定传递熵;

根据各所述装配单元的装配特征偏差构建装配特征偏差传递网络模型;

根据所述传递熵和所述装配特征偏差传递网络模型进行装配特征偏差传递量化分析;

所述根据两个所述装配单元的装配特征偏差确定传递熵,具体包括:

确定装配特征偏差传递熵公式;

利用核密度估计,根据所述装配特征偏差传递熵公式和两个所述装配单元的装配特征偏差计算传递熵;

所述利用核密度估计,根据所述装配特征偏差传递熵公式和两个所述装配单元的装配特征偏差计算传递熵,具体公式为:

$$T_{J \rightarrow I} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \log_2 \frac{\hat{p}(x_{n+1}, x_n^{(k)}, y_n^{(l)}) \hat{p}(x_n^{(k)})}{\hat{p}(x_n, y_n^{(l)}) \hat{p}(x_{n+1}, x_n^{(k)})};$$

其中, $T_{J \rightarrow I}$ 为自装配单元J至装配单元I所传递的传递熵, N为检测数据的长度, $\hat{p}(\)$ 为核密度估计, x_n 和 y_n 分别为第n架次飞机两装配单元的装配特征装配特征偏差, x_{n+1} 表示第n+1架次的装配特征偏差, k和l分别为x和y的植入维度,

$$x_n^{(k)} = (x_n, x_{n-1}, \dots, x_{n-k+1}), \quad y_n^{(k)} = (y_n, y_{n-1}, \dots, y_{n-k+1}),$$

$$x_n^{(l)} = (x_n, x_{n-1}, \dots, x_{n-l+1}), \quad y_n^{(l)} = (y_n, y_{n-1}, \dots, y_{n-l+1}).$$

2. 根据权利要求1所述的传递量化分析方法,其特征在于,所述根据所述传递熵和所述装配特征偏差传递网络模型进行装配特征偏差传递量化分析,具体包括:

根据所述传递熵确定两个所述装配单元的装配特征偏差的传递方向和传递值;

利用所述装配特征偏差传递网络模型进行各装配层级装配特征偏差的传递与分解。

3. 根据权利要求2所述的传递量化分析方法,其特征在于,所述利用所述装配特征偏差传递网络模型进行各装配层级装配特征偏差的传递与分解,具体包括:

利用所述装配特征偏差传递网络模型进行各装配层级装配特征偏差的传递与累积;

利用所述装配特征偏差传递网络模型进行各装配层级装配特征偏差的分解与溯源。

4. 一种装配特征偏差的传递量化分析系统,其特征在于,所述传递量化分析系统包括:

获取模块,用于对不同架次飞机装配单元的装配特征偏差进行测量,获取各装配单元的装配特征偏差;

传递熵确定模块,用于根据两个所述装配单元的装配特征偏差确定传递熵;

装配特征偏差传递网络模型确定模块,用于根据各所述装配单元的装配特征偏差构建装配特征偏差传递网络模型;

传递量化分析模块,用于根据所述传递熵和所述装配特征偏差传递网络模型进行装配特征偏差传递量化分析;

所述传递熵确定模块,具体包括:

装配特征偏差传递熵公式确定单元,用于确定装配特征偏差传递熵公式;

传递熵确定单元,用于利用核密度估计,根据所述装配特征偏差传递熵公式和两个所述装配单元的装配特征偏差计算传递熵;

所述利用核密度估计,根据所述装配特征偏差传递熵公式和两个所述装配单元的装配特征偏差计算传递熵,具体公式为:

$$T_{J \rightarrow I} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \log_2 \frac{\hat{p}(x_{n+1}, x_n^{(k)}, y_n^{(l)}) \hat{p}(x_n^{(k)})}{\hat{p}(x_n, y_n^{(l)}) \hat{p}(x_{n+1}, x_n^{(k)})};$$

其中, $T_{J \rightarrow I}$ 为自装配单元J至装配单元I所传递的传递熵, N为检测数据的长度, $\hat{p}(\)$ 为核密度估计, x_n 和 y_n 分别为第n架次飞机两装配单元的装配特征装配特征偏差, x_{n+1} 表示第n+1架次的装配特征偏差, k和l分别为x和y的植入维度,

$$x_n^{(k)} = (x_n, x_{n-1}, \dots, x_{n-k+1}), \quad y_n^{(k)} = (y_n, y_{n-1}, \dots, y_{n-k+1}),$$

$$x_n^{(l)} = (x_n, x_{n-1}, \dots, x_{n-l+1}), \quad y_n^{(l)} = (y_n, y_{n-1}, \dots, y_{n-l+1}).$$

5. 根据权利要求4所述的传递量化分析系统,其特征在于,所述传递量化分析模块,具体包括:

第一分析单元,用于根据所述传递熵确定两个所述装配单元的装配特征偏差的传递方向和传递值;

第二分析单元,用于利用所述装配特征偏差传递网络模型进行各装配层级装配特征偏差的传递与分解。

6. 根据权利要求5所述的传递量化分析系统,其特征在于,所述第一分析单元,具体包括:

传递与累积子单元,用于利用所述装配特征偏差传递网络模型进行各装配层级装配特征偏差的传递与累积;

分解与溯源子单元,用于利用所述装配特征偏差传递网络模型进行各装配层级装配特征偏差的分解与溯源。

一种装配特征偏差的传递量化分析方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及飞机装配特征偏差数字化协调技术领域,特别是涉及一种装配特征偏差的传递量化分析方法及系统。

背景技术

[0002] 飞机是一种零件数量众多、装配协调关系复杂、装配准确度要求高、质量控制严格的典型复杂结构产品,飞机产品装配过程属于多工序制造过程,具有复杂性、动态性、非线性等特点。零件制造误差、工装定位误差、薄壁件变形回弹、铆接变形、装配基准等众多偏差源都会产生飞机装配特征偏差的累积,导致飞机装配过程中常出现超差现象。目前,高级教练机、支线客机、大型运输机等重点新型号飞机正处在由小批生产向批量生产过渡的关键阶段,涌现了较多亟待解决的装配超差难点,严重影响了飞机批产进程。另外,装配特征偏差传递量化分析一直是飞机制造企业在尺寸精度提升过程中的难题。

[0003] 近年来,随着激光跟踪仪、局域GPS、CCD工业相机等数字化测量设备的快速发展,在飞机研制过程中引入数字化测量设备已经成为国内外飞机制造公司的共识,利用数字化测量设备可测得装配尺寸数据。充分利用和挖掘这些数据中所包含的信息,揭示装配特征偏差的传播机理,减少装配过程异常波动,控制和改进产品装配质量具有重要的意义。

[0004] 在以往的研究中,研究人员已经提出了许多方法用于装配特征偏差传递量化分析,即刻画两个变量间的相互作用,如传统统计分析方法、Granger因果关系法和互信息法等,但由于飞机生产批量小等因素又导致无法观测到装配过程中各类偏差输入、传递与输出的大量完备检测数据,测量数据呈现出小样本、高维、不完备等特点,同时还忽略了变量间作用关系,因此难以用传统的统计方法对测量数据进行装配特征偏差传递量化分析。Granger因果关系法假设系统之间的关系是线性的,因此存在量化分析精度低等问题;互信息法又不能表示系统之间信息传递的方向性。

发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种装配特征偏差的传递量化分析方法及系统,以实现实现小批量生产模式下对装配特征偏差传递量化分析,提高量化分析精度。

[0006] 为实现上述目的,本发明提供了一种装配特征偏差的传递量化分析方法,所述传递量化分析方法包括:

[0007] 对不同架次飞机装配单元的装配特征偏差进行测量,获取各装配单元的装配特征偏差;

[0008] 根据两个所述装配单元的装配特征偏差确定传递熵;

[0009] 根据各所述装配单元的装配特征偏差构建装配特征偏差传递网络模型;

[0010] 根据所述传递熵和所述装配特征偏差传递网络模型进行装配特征偏差传递量化分析。

[0011] 可选的,所述根据两个所述装配单元的装配特征偏差确定传递熵,具体包括:

[0012] 确定装配特征偏差传递熵公式；

[0013] 利用核密度估计,根据所述装配特征偏差传递熵公式和两个所述装配单元的装配特征偏差计算传递熵。

[0014] 可选的,所述根据所述传递熵和所述装配特征偏差传递网络模型进行装配特征偏差传递量化分析,具体包括:

[0015] 根据所述传递熵确定两个所述装配单元的装配特征偏差的传递方向和传递值;

[0016] 利用所述装配特征偏差传递网络模型进行各装配层级装配特征偏差的传递与分解。

[0017] 可选的,所述利用所述装配特征偏差传递网络模型进行各装配层级装配特征偏差的传递与分解,具体包括:

[0018] 利用所述装配特征偏差传递网络模型进行各装配层级装配特征偏差的传递与累积;

[0019] 利用所述装配特征偏差传递网络模型进行各装配层级装配特征偏差的分解与溯源。

[0020] 可选的,所述利用核密度估计,根据所述装配特征偏差传递熵公式和两个所述装配单元的装配特征偏差计算传递熵,具体公式为:

$$[0021] \quad T_{J \rightarrow I} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \log_2 \frac{\hat{p}(x_{n+1}, x_n^{(k)}, y_n^{(l)}) \hat{p}(x_n^{(k)})}{\hat{p}(x_n, y_n^{(l)}) \hat{p}(x_{n+1}, x_n^{(k)})};$$

[0022] 其中, $T_{J \rightarrow I}$ 为自装配单元J至装配单元I所传递的传递熵, N为检测数据的长度, $\hat{p}(\)$ 为核密度估计, x_n 和 y_n 分别为第n架次飞机两装配单元的装配特征装配特征偏差, x_{n+1} 表示第n+1架次的装配特征偏差, k和l分别为x和y的植入维度,

$$x_n^{(k)} = (x_n, x_{n-1}, \dots, x_{n-k+1}), \quad y_n^{(k)} = (y_n, y_{n-1}, \dots, y_{n-k+1}),$$

$$x_n^{(l)} = (x_n, x_{n-1}, \dots, x_{n-l+1}), \quad y_n^{(l)} = (y_n, y_{n-1}, \dots, y_{n-l+1}).$$

[0023] 本发明还提供一种装配特征偏差的传递量化分析系统,所述传递量化分析系统包括:

[0024] 获取模块,用于对不同架次飞机装配单元的装配特征偏差进行测量,获取各装配单元的装配特征偏差;

[0025] 传递熵确定模块,用于根据两个所述装配单元的装配特征偏差确定传递熵;

[0026] 装配特征偏差传递网络模型确定模块,用于根据各所述装配单元的装配特征偏差构建装配特征偏差传递网络模型;

[0027] 传递量化分析模块,用于根据所述传递熵和所述装配特征偏差传递网络模型进行装配特征偏差传递量化分析。

[0028] 可选的,所述传递熵确定模块,具体包括:

[0029] 装配特征偏差传递熵公式确定单元,用于确定装配特征偏差传递熵公式;

[0030] 传递熵确定单元,用于利用核密度估计,根据所述装配特征偏差传递熵公式和两个所述装配单元的装配特征偏差计算传递熵。

[0031] 可选的,所述传递量化分析模块,具体包括:

[0032] 第一分析单元,用于根据所述传递熵确定两个所述装配单元的装配特征偏差的传递方向和传递值;

[0033] 第二分析单元,用于利用所述装配特征偏差传递网络模型进行各装配层级装配特征偏差的传递与分解。

[0034] 可选的,所述第一分析单元,具体包括:

[0035] 传递与累积子单元,用于利用所述装配特征偏差传递网络模型进行各装配层级装配特征偏差的传递与累积;

[0036] 分解与溯源子单元,用于利用所述装配特征偏差传递网络模型进行各装配层级装配特征偏差的分解与溯源。

[0037] 可选的,所述利用核密度估计,根据所述装配特征偏差传递熵公式和两个所述装配单元的装配特征偏差计算传递熵,具体公式为:

$$[0038] \quad T_{J \rightarrow I} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \log_2 \frac{\hat{p}(x_{n+1}, x_n^{(k)}, y_n^{(l)}) \hat{p}(x_n^{(k)})}{\hat{p}(x_n, y_n^{(l)}) \hat{p}(x_{n+1}, x_n^{(k)})};$$

[0039] 其中, $T_{J \rightarrow I}$ 为自装配单元J至装配单元I所传递的传递熵, N为检测数据的长度, $\hat{p}(\)$ 为核密度估计, x_n 和 y_n 分别为第n架次飞机两装配单元的装配特征装配特征偏差, x_{n+1} 表示第n+1架次的装配特征偏差, k和l分别为x和y的植入维度,

$$x_n^{(k)} = (x_n, x_{n-1}, \dots, x_{n-k+1}), \quad y_n^{(k)} = (y_n, y_{n-1}, \dots, y_{n-k+1}),$$

$$x_n^{(l)} = (x_n, x_{n-1}, \dots, x_{n-l+1}), \quad y_n^{(l)} = (y_n, y_{n-1}, \dots, y_{n-l+1}).$$

[0040] 根据本发明提供的具体实施例,本发明公开了以下技术效果:

[0041] 本发明首先对不同架次飞机装配单元的装配特征偏差进行测量,获取各装配单元的装配特征偏差;其次根据两个所述装配单元的装配特征偏差确定传递熵;然后根据各所述装配单元的装配特征偏差构建装配特征偏差传递网络模型;最后根据所述传递熵和所述装配特征偏差传递网络模型进行装配特征偏差传递量化分析,利用传递熵来确定装配偏差变量间的拓扑关系和衡量因果性的指标,揭示小批量研制模式下的复杂结构产品装配偏差传播机制和耦合规律,实现小批量生产模式下的复杂结构产品装配公差优化。

附图说明

[0042] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,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他的附图。

[0043] 图1为本发明实施例装配特征偏差的传递量化分析方法流程图;

[0044] 图2为本发明实施例装配特征偏差分层传递熵网络图;

[0045] 图3为本发明实施例装配特征偏差的传递量化分析系统结构图。

具体实施方式

[0046] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完

整地描述,显然,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做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0047] 本发明的目的是提供一种装配特征偏差的传递量化分析方法及系统,以实现实现小批量生产模式下对装配特征偏差传递量化分析,提高量化分析精度。

[0048] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0049] 图1为本发明实施例装配特征偏差的传递量化分析方法流程图,如图1所示,本发明提供一种装配特征偏差的传递量化分析方法,所述传递量化分析方法包括:

[0050] 步骤S1:对不同架次飞机装配单元的装配特征偏差进行测量,获取各装配单元的装配特征偏差;

[0051] 步骤S2:根据两个所述装配单元的装配特征偏差确定传递熵;

[0052] 步骤S3:根据各所述装配单元的装配特征偏差构建装配特征偏差传递网络模型;

[0053] 步骤S4:根据所述传递熵和所述装配特征偏差传递网络模型进行装配特征偏差传递量化分析。

[0054] 下面对各个步骤进行详细论述:

[0055] 步骤S1:对不同架次飞机装配单元的装配特征偏差进行测量,获取各装配单元的装配特征偏差;具体的,本发明采用三坐标测量机、激光跟踪仪或激光扫描仪等数字化测量设备对不同架次飞机装配单元的装配特征偏差进行测量,获取各装配单元的装配特征偏差。

[0056] 步骤S2:所述根据两个所述装配单元的装配特征偏差确定传递熵,具体包括:

[0057] 传递熵是信息熵理论的新分支,不仅可以描述系统间所发生的信息传递的信息量,也可以刻画出系统间信息传递的方向性与系统间信息传递的动态非线性特性,能有效地表达变量间作用关系。由复杂产品各装配阶段存在多源不确定误差源可知,装配特征偏差的传递量取决于该装配单元装配完成后的装配累积误差,因此,确定装配特征偏差传递熵公式,具体公式为:

$$[0058] \quad T_{J \rightarrow I} = \sum p(x_{n+1}, x_n^{(k)}, y_n^{(l)}) \log_2 \frac{p(x_{n+1} | x_n^{(k)}, y_n^{(l)})}{p(x_{n+1} | x_n^{(k)})};$$

[0059] 其中, $T_{J \rightarrow I}$ 为自装配单元J至装配单元I所传递的传递熵,N为检测数据的长度, x_n 和 y_n 分别为第n架次飞机两装配单元的装配特征装配特征偏差, x_{n+1} 表示第n+1架次的装配特征偏差,k和l分别为x和y的植入维度, $x_n^{(k)} = (x_n, x_{n-1}, \dots, x_{n-k+1})$, $y_n^{(l)} = (y_n, y_{n-1}, \dots, y_{n-l+1})$, $p()$ 为条件概率。

[0060] 为了计算装配偏差信息的传递熵,需要对检测数据采取有效的概率密度估计,核密度估计是一种从数据本身出发研究数据分布特征的方法。它不利用有关数据分布的先验知识,对数据分布不附加任何假定。为此,利用核密度估计,根据所述装配特征偏差传递熵公式和两个所述装配单元的装配特征偏差计算传递熵,具体公式为:

$$[0061] \quad T_{J \rightarrow I} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \log_2 \frac{\hat{p}(x_{n+1}, x_n^{(k)}, y_n^{(l)}) \hat{p}(x_n^{(k)})}{\hat{p}(x_n, y_n^{(l)}) \hat{p}(x_{n+1}, x_n^{(k)})};$$

[0062] 其中, $T_{J \rightarrow I}$ 为自装配单元J至装配单元I所传递的传递熵, N为检测数据的长度, $\hat{p}(\cdot)$ 为核密度估计, x_n 和 y_n 分别为第n架次飞机两装配单元的装配特征装配特征偏差, x_{n+1} 表示第n+1架次的装配特征偏差, k和l分别为x和y的植入维度,

$$x_n^{(k)} = (x_n, x_{n-1}, \dots, x_{n-k+1}), \quad y_n^{(k)} = (y_n, y_{n-1}, \dots, y_{n-k+1}),$$

$$x_n^{(l)} = (x_n, x_{n-1}, \dots, x_{n-l+1}), \quad y_n^{(l)} = (y_n, y_{n-1}, \dots, y_{n-l+1}).$$

[0063] 图2为本发明实施例装配特征偏差分层传递熵网络图, 如图2所示, 给出了第I层装配单元与第J层装配单元的装配特征偏差之间的传递熵。其中由第I层向第J层方向带有箭头的线表示不同装配层级之间的装配偏差关系, 实线灰色箭头表示装配特征偏差的溯源, 虚线灰色箭头表示装配偏差的累计。虚线黑色箭头表示表示装配偏差信息的分解方向, 实线黑色箭头表示表示同一装配层级不同装配单元的装配关系。图2中 $T_{P_{i1} \rightarrow P_{i1}^j}$ 表示装配单元 P_{i1} 的装配偏差与装配单元 P_{i1}^j 的装配偏差之间的传递熵。

[0064] 步骤S3: 根据各所述装配单元的装配特征偏差构建装配特征偏差传递网络模型; 具体的, 将装配特征偏差传递网络模型定义为 $G = \{V, L, E, S, F_V, F_E\}$, 其中: V表示网络的顶点集合, L记录层次信息, E表示有向边的集合, S是记录装配单元父子关系的集合, F_V 为定义在顶点上的特征, F_E 为定义在边上的特征。用顶点表示装配单元, 用有向边表示装配单元偏差之间的信息传递关系, 如果装配单元I与装配单元J有偏差传递信息, 就存在一条从J顶点指向I顶点的边, 边的长度传递熵 $T_{J \rightarrow I}$ 进行量化。

[0065] 步骤S4: 所述根据所述传递熵和所述装配特征偏差传递网络模型进行装配特征偏差传递量化分析, 具体包括:

[0066] 步骤S41: 根据所述传递熵确定两个所述装配单元的装配特征偏差的传递方向和传递值; 具体的, 利用传递熵 $T_{J \rightarrow I}$ 来完成两装配单元的装配偏差在传递方向和传递强调上的双重特性评价, 传递熵 $T_{J \rightarrow I}$ 值的大小表示传递强调, 传递熵 $T_{J \rightarrow I}$ 值的正负表示传递方向, 实现对各装配单元之间偏差信息的动态关系量化描述。

[0067] 步骤S42: 利用所述装配特征偏差传递网络模型进行各装配层级装配特征偏差的传递与分解, 具体包括:

[0068] 步骤S421: 利用所述装配特征偏差传递网络模型进行各装配层级装配特征偏差的传递与累积; 利用所述装配特征偏差传递网络模型表达变量间的作用关系, 指出各装配层偏差间影响关系的方向和强度, 完成装配偏差的逐层传递与累积。

[0069] 步骤S422: 利用所述装配特征偏差传递网络模型进行各装配层级装配特征偏差的分解与溯源。利用所述装配特征偏差传递网络模型将传递熵 $T_{J \rightarrow I}$ 公式中J至I互换, 则可以得到自I至J的传递熵 $T_{I \rightarrow J}$, 利用则可完成装配偏差的逐层分解与溯源。

[0070] 图3为本发明实施例装配特征偏差的传递量化分析系统结构图, 如图3所示, 本发明还提供一种装配特征偏差的传递量化分析系统, 所述传递量化分析系统包括:

[0071] 获取模块1, 用于对不同架次飞机装配单元的装配特征偏差进行测量, 获取各装配

单元的装配特征偏差；

[0072] 传递熵确定模块2,用于根据两个所述装配单元的装配特征偏差确定传递熵；

[0073] 装配特征偏差传递网络模型确定模块3,用于根据各所述装配单元的装配特征偏差构建装配特征偏差传递网络模型；

[0074] 传递量化分析模块4,用于根据所述传递熵和所述装配特征偏差传递网络模型进行装配特征偏差传递量化分析。

[0075] 下面对各个模块进行详细论述：

[0076] 所述传递熵确定模块2,具体包括：

[0077] 装配特征偏差传递熵公式确定单元,用于确定装配特征偏差传递熵公式；

[0078] 传递熵确定单元,用于利用核密度估计,根据所述装配特征偏差传递熵公式和两个所述装配单元的装配特征偏差计算传递熵。

[0079] 所述传递量化分析模块4,具体包括：

[0080] 第一分析单元,用于根据所述传递熵确定两个所述装配单元的装配特征偏差的传递方向和传递值；具体包括：

[0081] 传递与累积子单元,用于利用所述装配特征偏差传递网络模型进行各装配层级装配特征偏差的传递与累积；

[0082] 分解与溯源子单元,用于利用所述装配特征偏差传递网络模型进行各装配层级装配特征偏差的分解与溯源。

[0083] 第二分析单元,用于利用所述装配特征偏差传递网络模型进行各装配层级装配特征偏差的传递与分解。

[0084] 所述利用核密度估计,根据所述装配特征偏差传递熵公式和两个所述装配单元的装配特征偏差计算传递熵,具体公式为：

$$[0085] \quad T_{J \rightarrow I} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \log_2 \frac{\hat{p}(x_{n+1}, x_n^{(k)}, y_n^{(l)}) \hat{p}(x_n^{(k)})}{\hat{p}(x_n, y_n^{(l)}) \hat{p}(x_{n+1}, x_n^{(k)})};$$

[0086] 其中, $T_{J \rightarrow I}$ 为自装配单元J至装配单元I所传递的传递熵, N 为检测数据的长度, $\hat{p}(\cdot)$ 为核密度估计, x_n 和 y_n 分别为第 n 架次飞机两装配单元的装配特征装配特征偏差, x_{n+1} 表示第 $n+1$ 架次的装配特征偏差, k 和 l 分别为 x 和 y 的植入维度,

$$x_n^{(k)} = (x_n, x_{n-1}, \dots, x_{n-k+1}), \quad y_n^{(k)} = (y_n, y_{n-1}, \dots, y_{n-k+1}),$$

$$x_n^{(l)} = (x_n, x_{n-1}, \dots, x_{n-l+1}), \quad y_n^{(l)} = (y_n, y_{n-1}, \dots, y_{n-l+1})$$

[0087] 数据挖掘是从数据中寻找其隐含关系模型的有效技术,为解决这一难题提供了新途径。本发明引入小样本数据挖掘和测量信息论,实现为飞机产品装配特征误差量化分析提供新的解决途径,可辅助解决重点新型号飞机由小批生产向批量生产过渡时涌现的装配超差难题,指导飞机批产及时正确地开展装配超差的预防工作,也为航天等其它复杂结构产品装配质量控制提供指导。

[0088] 本发明首先对不同架次飞机装配单元的装配特征偏差进行测量,获取各装配单元的装配特征偏差;其次根据两个所述装配单元的装配特征偏差确定传递熵;然后根据各所述装配单元的装配特征偏差构建装配特征偏差传递网络模型;最后根据所述传递熵和所述

装配特征偏差传递网络模型进行装配特征偏差传递量化分析,利用传递熵来确定装配偏差变量间的拓扑关系和衡量因果性的指标,揭示小批量研制模式下的复杂结构产品装配偏差传播机制和耦合规律,实现小批量生产模式下的复杂结构产品装配公差优化。

[0089] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。对于实施例公开的系统而言,由于其与实施例公开的方法相对应,所以描述的比较简单,相关之处参见方法部分说明即可。

[0090] 本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

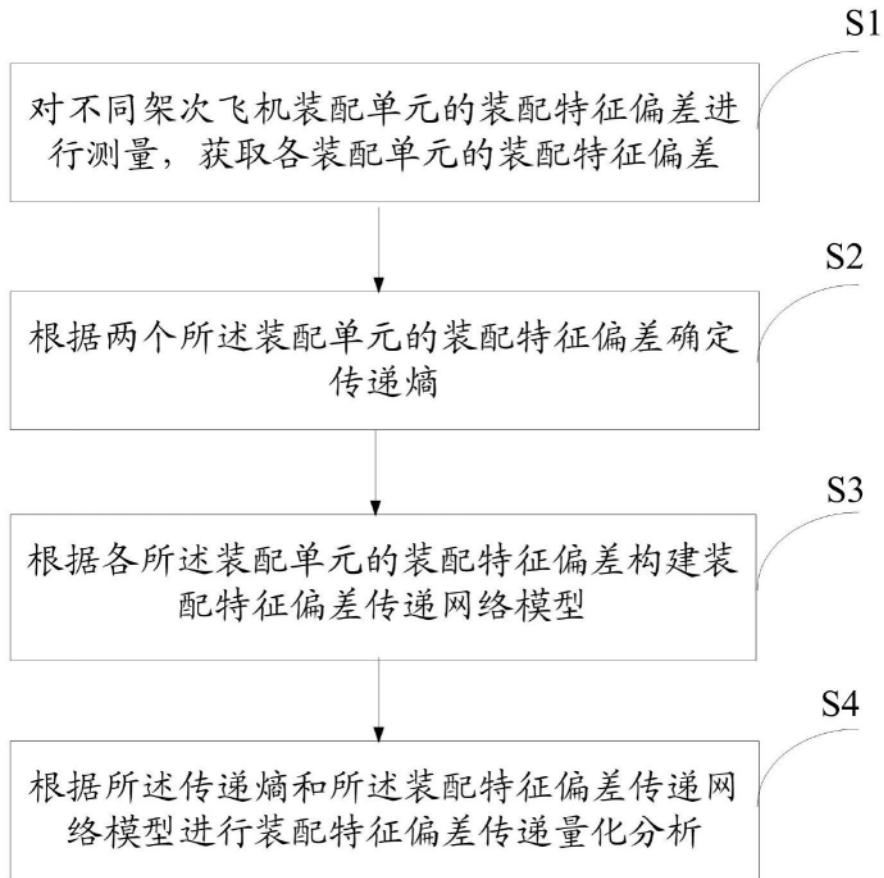


图1

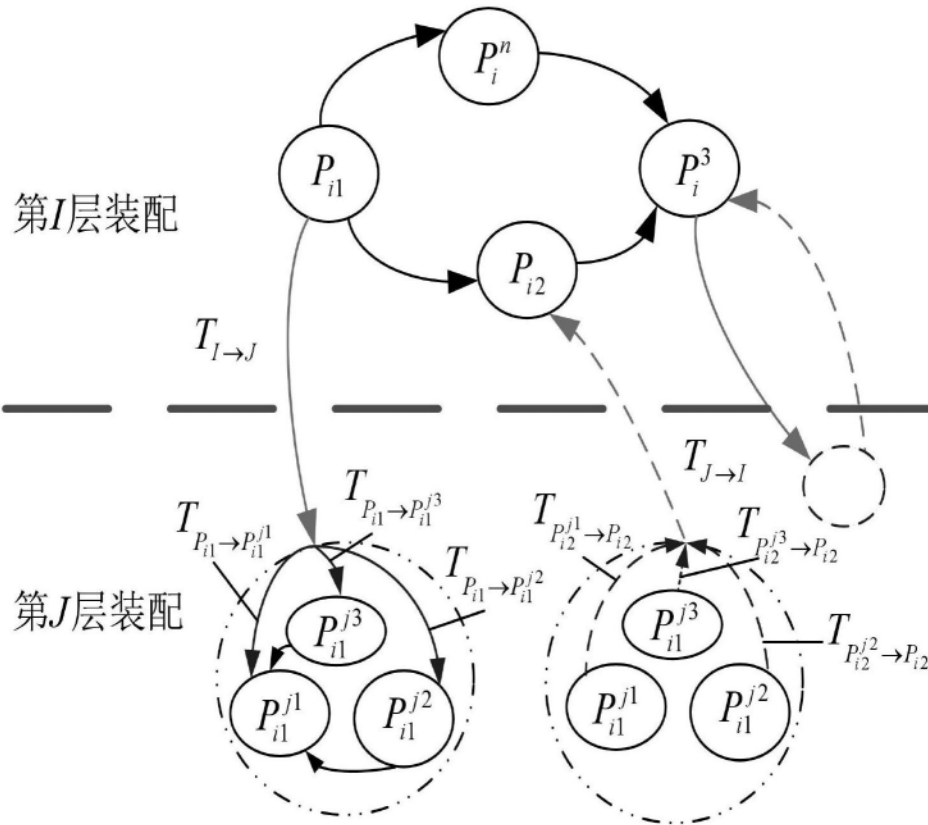


图2

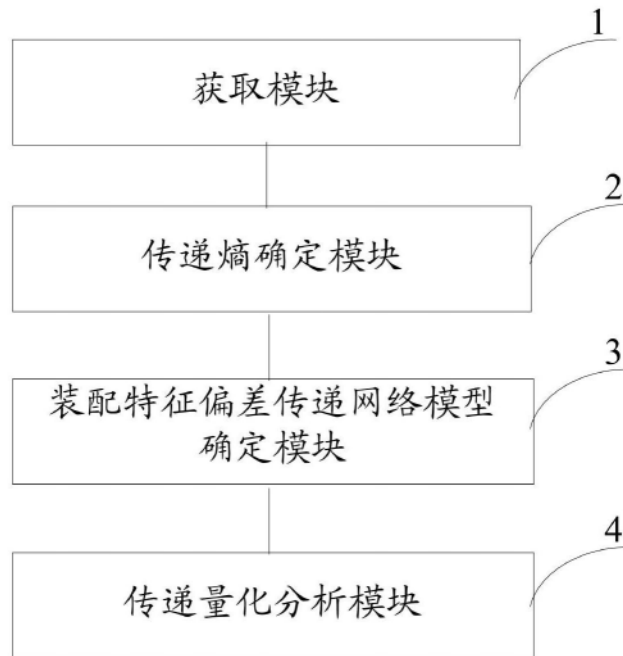


图3