(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111874268 A
(43)申请公布日 2020.11.03

(21)申请号 202010710052.3

(22)申请日 2020.07.22

(71)申请人 中国科学院微小卫星创新研究院
地址 201203 上海市浦东新区海科路99号
申请人 上海微小卫星工程中心

(72)发明人 陆新颖 洪霞 余志洋 任前义

(74)专利代理机构 上海智晟知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 31313
代理人 李镝的

(51)Int.Cl.
B64G 1/24(2006.01)
B64G 1/66(2006.01)
B64G 1/10(2006.01)

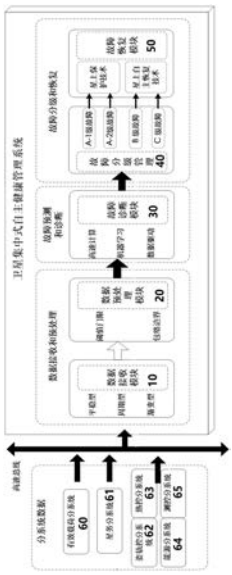
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

卫星集中式自主健康管理系统

(57)摘要

本发明提供了一种卫星集中式自主健康管理系统,包括:数据接收模块,被配置为采集分系统数据;数据预处理模块,被配置为对所述分系统数据进行预处理;故障诊断模块,被配置为根据所述分系统数据的预处理结果进行健康预测与故障诊断,形成故障诊断结果;故障分级管理模块,被配置为将所述故障诊断结果进行分级;故障恢复模块,被配置为根据故障的分级结果进行多种恢复操作。



CN 111874268 A

1.一种卫星集中式自主健康管理系统,其特征在于,包括:

数据接收模块,被配置为采集分系统数据;

数据预处理模块,被配置为对所述分系统数据进行预处理;

故障诊断模块,被配置为根据所述分系统数据的预处理结果进行健康预测与故障诊断,形成故障诊断结果;

故障分级管理模块,被配置为将所述故障诊断结果进行分级;

故障恢复模块,被配置为根据故障的分级结果进行多种恢复操作。

2.如权利要求1所述的卫星集中式自主健康管理系统,其特征在于,所述数据接收模块通过高速总线接收星上所有分系统的关键遥测数据和业务数据,其包括有效载荷分系统的业务信息、星务分系统的业务信息、测控分系统的测控信息、姿轨控分系统的控制信息、热控分系统的遥测信息和能源分系统的遥测信息。

3.如权利要求2所述的卫星集中式自主健康管理系统,其特征在于,其中,将所述关键遥测数据和业务数据分为平稳型数据、周期型数据和渐变型数据;

所述平稳型数据保持长期稳定的特性,所述周期型数据与时间有强依赖性,所述渐变型数据的发展趋势随单机寿命而呈现逐渐减弱或增强;

所述平稳型数据包括单机设备的模拟电压遥测信息,所述周期型数据包括单机设备的温度信息,所述渐变型数据包括星载原子钟的光强信息。

4.如权利要求3所述的卫星集中式自主健康管理系统,其特征在于,所述数据预处理模块依次从所述数据接收单元中读取所述关键遥测数据和业务数据,并根据平稳型数据、周期型数据和渐变型数据的分类,执行阈值门限预处理及包络边界预处理以诊断出卫星的显性故障;

数据预处理模块从数据接收单元中读取数据,将平稳型数据直接与阈值门限进行比较以判断系统健康状态;

卫星成功完成地面试验后获得的经验区间位于包络门限的上边界及下边界之间,通过周期型数据的包络门限对周期型数据进行分析后提取健康特征;

如果卫星参数的实测值在所述经验区间内,则健康状况通过,若累计一段时间的实测值在所述经验区间外,则健康状况不通过;

将所述渐变型数据送入故障诊断模块进行分析和预测。

5.如权利要求4所述的卫星集中式自主健康管理系统,其特征在于,所述故障诊断模块包括高速计算单元,其中:

所述高速计算单元根据所述数据预处理模块形成的预处理结果,执行机器学习预测及数据驱动诊断,以诊断出卫星的隐性故障;

执行机器学习预测包括:使用历史数据对函数模型进行训练以及自我学习,不断逼近真实模型,最后使用训练完成的函数模型对未来趋势进行预测;

执行数据驱动诊断包括:构建数据的训练库,利用数据驱动的分类方法训练故障分类器,经特征提取与模式分析后生成基于目前事实的故障诊断规则,并利用历史数据对规则进行测试和优化,进一步丰富规则诊断器。

6.如权利要求5所述的卫星集中式自主健康管理系统,其特征在于,所述故障分级管理模块根据所述故障诊断模块的输出结果,对所述显性故障和隐性故障分为四个等级,其中:

第一等级为影响整星安全且不可自主恢复的故障；

第二等级为影响载荷任务且不可自主恢复的故障；

第三等级为可通过重构进行恢复的故障；

第四等级为可通过复位进行恢复的影响程度的故障。

7.如权利要求6所述的卫星集中式自主健康管理系统，其特征在于，在卫星无法进行自主恢复情况下，对第一等级故障和第二等级故障实施星上自主保护措施，保证整星安全；

对第三等级故障和第四等级故障实施由卫星自主恢复的措施，包括采取复位、切机和重构措施，同时保证载荷任务正常。

8.如权利要求7所述的卫星集中式自主健康管理系统，其特征在于，第一等级故障包括能源故障、姿控故障及星务故障，卫星将启动进入安全模式，实施自我保护；

第二等级故障包括时频故障及放大器故障，卫星将调整发射功率，实施自我保护；

第三等级故障通过自主切冷备/热备隔离恢复系统工作的故障，涉及整星所有分系统，由自主健康管理单元向平台计算机发起故障恢复指令，将故障单机切换至备份工作；

第四等级故障通过软件自主补偿，复位或开关机进行恢复，由卫星集中式自主健康管理系统向平台计算机或载荷任务处理机发起故障恢复指令，将故障单机实施自主复位或开关机。

卫星集中式自主健康管理系统

技术领域

[0001] 本发明涉及卫星自主健康管理技术领域，特别涉及一种卫星集中式自主健康管理系统。

背景技术

[0002] 卫星作为一个复杂度较高、涉及技术较广且造价昂贵的综合性系统，并且由于所处空间环境的不确定性以及发射前测试的局限性，在轨运行期间不可避免地会出现一些异常或故障。对于长期在轨运行的卫星来说，为了避免某些关键单机部件发生故障而引起整个系统瘫痪，必须在故障发生伊始或发生前予以迅速有效地处理，维持系统的功能基本正常，从而保证安全可靠地完成任务。

[0003] 受限于我国的测控站测控范围，中低轨卫星都有自己的不可测或不可控弧段。当卫星在此期间出现异常时，地面无法及时发现和处理，可能造成故障蔓延，缩短卫星使用寿命。对于气象卫星、导航卫星等航天器，还有服务连续性的要求，如果中断时间过长将会造成巨大的军事或经济损失。

[0004] 目前国内卫星的健康管理仍以传统的地面监控站监测为主，地面工作人员依据卫星下传的遥测数据进行状态判断和故障处理。但随着卫星功能的复杂化、在轨运行的长期化，在轨发生故障的可能性不断增加，对卫星系统的自主健康管理越来越受到人们的重视。

[0005] 目前卫星自主健康管理功能主要以综合电子作为平台，对电源分系统、姿控分系统开展故障诊断、故障分类和故障恢复研究及工程实现，可以保证航天器最基本的生存能力。其不足之处在于：

[0006] 1)随着航天应用的发展，像通信卫星、导航卫星、气象卫星等有任务连续性要求的航天器而言，其载荷的自主健康管理功能需求显得十分迫切，现有的工程应用和学术研究中缺乏载荷故障的自主诊断与恢复；

[0007] 2)基于综合电子平台实现关键分系统的自主健康管理，其任务主功能与故障诊断功能交叉，占用FPGA/CPU资源多，执行策略复杂，可靠性较低。

发明内容

[0008] 本发明的目的在于提供一种卫星集中式自主健康管理系统，以解决在轨卫星因故障导致中断时间过长进而造成巨大的军事或经济损失的问题。

[0009] 为解决上述技术问题，本发明提供一种卫星集中式自主健康管理系统，包括：

[0010] 数据接收模块，被配置为采集分系统数据；

[0011] 数据预处理模块，被配置为对所述分系统数据进行预处理；

[0012] 故障诊断模块，被配置为根据所述分系统数据的预处理结果进行健康预测与故障诊断，形成故障诊断结果；

[0013] 故障分级管理模块，被配置为将所述故障诊断结果进行分级；

[0014] 故障恢复模块，被配置为根据故障的分级结果进行多种恢复操作。

[0015] 可选的，在所述的卫星集中式自主健康管理系统中，所述数据接收模块通过高速总线接收星上所有分系统的关键遥测数据和业务数据，其包括有效载荷分系统的业务信息、星务分系统的业务信息、测控分系统的测控信息、姿轨控分系统的控制信息、热控分系统的遥测信息和能源分系统的遥测信息。

[0016] 可选的，在所述的卫星集中式自主健康管理系统中，其中，将所述关键遥测数据和业务数据分为平稳型数据、周期型数据和渐变型数据；

[0017] 所述平稳型数据保持长期稳定的特性，所述周期型数据与时间有强依赖性，所述渐变型数据的发展趋势随单机寿命而呈现逐渐减弱或增强；

[0018] 所述平稳型数据包括单机设备的模拟电压遥测信息，所述周期型数据包括单机设备的温度信息，所述渐变型数据包括星载原子钟的光强信息。

[0019] 可选的，在所述的卫星集中式自主健康管理系统中，所述数据预处理模块依次从所述数据接收单元中读取所述关键遥测数据和业务数据，并根据平稳型数据、周期型数据和渐变型数据的分类，执行阈值门限预处理及包络边界预处理以诊断出卫星的显性故障；

[0020] 数据预处理模块从数据接收单元中读取数据，将平稳型数据直接与阈值门限进行比较以判断系统健康状态；

[0021] 卫星成功完成地面试验后获得的经验区间位于包络门限的上边界及下边界之间，通过周期型数据的包络门限对周期型数据进行分析后提取健康特征；

[0022] 如果卫星参数的实测值在所述经验区间内，则健康状况通过，若累计一段时间的实测值在所述经验区间外，则健康状况不通过；

[0023] 将所述渐变型数据送入故障诊断模块进行分析和预测。

[0024] 可选的，在所述的卫星集中式自主健康管理系统中，所述故障诊断模块包括高速计算单元，其中：

[0025] 所述高速计算单元根据所述数据预处理模块形成的预处理结果，执行机器学习预测及数据驱动诊断，以诊断出卫星的隐性故障；

[0026] 执行机器学习预测包括：使用历史数据对函数模型进行训练以及自我学习，不断逼近真实模型，最后使用训练完成的函数模型对未来趋势进行预测；

[0027] 执行数据驱动诊断包括：构建数据的训练库，利用数据驱动的分类方法训练故障分类器，经特征提取与模式分析后生成基于目前事实的故障诊断规则，并利用历史数据对规则进行测试和优化，进一步丰富规则诊断器。

[0028] 可选的，在所述的卫星集中式自主健康管理系统中，所述故障分级管理模块根据所述故障诊断模块的输出结果，对所述显性故障和隐性故障分为四个等级，其中：

[0029] 第一等级为影响整星安全且不可自主恢复的故障；

[0030] 第二等级为影响载荷任务且不可自主恢复的故障；

[0031] 第三等级为可通过重构进行恢复的故障；

[0032] 第四等级为可通过复位进行恢复的影响程度的故障。

[0033] 可选的，在所述的卫星集中式自主健康管理系统中，在卫星无法进行自主恢复情况下，对第一等级故障和第二等级故障实施星上自主保护措施，保证整星安全；

[0034] 对第三等级故障和第四等级故障实施由卫星自主恢复的措施，包括采取复位、切机和重构措施，同时保证载荷任务正常。

[0035] 可选的，在所述的卫星集中式自主健康管理系统中，第一等级故障包括能源故障、姿控故障及星务故障，卫星将启动进入安全模式，实施自我保护；

[0036] 第二等级故障包括时频故障及放大器故障，卫星将调整发射功率，实施自我保护；

[0037] 第三等级故障通过自主切冷备/热备隔离恢复系统工作的故障，涉及整星所有分系统，由自主健康管理单元向平台计算机发起故障恢复指令，将故障单机切换至备份工作；

[0038] 第四等级故障通过软件自主补偿，复位或开关机进行恢复，由卫星集中式自主健康管理系统向平台计算机或载荷任务处理机发起故障恢复指令，将故障单机实施自主复位或开关机。

[0039] 在本发明提供的卫星集中式自主健康管理系统中，通过卫星集中式自主健康管理架构包括一台专用的自主健康管理单元，融合卫星所有分系统的数据，集数据采集、数据预处理、健康预测、故障诊断、故障分类和故障恢复等功能于一体，进行星载产品在轨自主故障的预测和诊断，提高专业处理能力和效率。

[0040] 本发明通过分析卫星各分系统业务和遥测数据的特点，具有一定的共性，设计一台专用的自主健康管理单元，针对性地采用故障检测算法实现所有分系统任务的自主故障诊断与恢复，同时不影响综合电子或载荷核心处理器的主要任务，降低地面管控人员的操作复杂度，保证系统出现异常自主恢复后系统切换稳定，能正常工作，完成特定任务。

[0041] 卫星自主健康管理包括健康状态检测、诊断、预测以及恢复。首先，通过加入自主健康管理技术，能够充分利用冗余结构以及各子系统间的解析冗余特性，在卫星出现故障之后，及时发现并隔离、恢复故障设备，延长卫星工作寿命，保证卫星提供正常服务与功能；其次，自主健康管理系统还能够为卫星提供在轨的健康状态监测，预测并尽可能避免故障的发生；最后，自主健康管理系统又能够为设计高可靠性长寿命卫星提供检测数据，检测与分析故障发生原因，为未来新的卫星设计提供依据。

附图说明

[0042] 图1是本发明一实施例的卫星集中式自主健康管理系统示意图；

[0043] 图2是本发明一实施例的基于数据驱动的故障诊断流程示意图；

[0044] 图中所示：10-数据接收模块；20-数据预处理模块；30-故障诊断模块；40-故障分级管理模块；50-故障恢复模块。

具体实施方式

[0045] 以下结合附图和具体实施例对本发明提出的卫星集中式自主健康管理系统作进一步详细说明。根据下面说明和权利要求书，本发明的优点和特征将更清楚。需说明的是，附图均采用非常简化的形式且均使用非精准的比例，仅用以方便、明晰地辅助说明本发明实施例的目的。

[0046] 另外，除非另行说明，本发明的不同实施例中的特征可以相互组合。例如，可以用第二实施例中的某特征替换第一实施例中相对应或功能相同或相似的特征，所得到的实施例同样落入本申请的公开范围或记载范围。

[0047] 本发明的核心思想在于提供一种卫星集中式自主健康管理系统，以解决在轨卫星因故障导致中断时间过长进而造成巨大的军事或经济损失的问题。

[0048] 为实现上述思想，本发明提供了一种卫星集中式自主健康管理系统，包括：数据接收模块，被配置为采集分系统数据；数据预处理模块，被配置为对所述分系统数据进行预处理；故障诊断模块，被配置为根据所述分系统数据的预处理结果进行健康预测与故障诊断，形成故障诊断结果；故障分级管理模块，被配置为将所述故障诊断结果进行分级；故障恢复模块，被配置为根据故障的分级结果进行多种恢复操作。

[0049] 本发明克服现有技术的不足，提出卫星集中式自主健康管理构架，通过专用的自主健康管理单元，融合各分系统遥测数据、业务数据等，形成故障知识库，通过阈值监测、数据驱动、机器学习等算法识别卫星显性、隐性故障，按照故障等级分类，实施不同等级的故障恢复策略，实现平台、载荷、星间任务及工作单机的自主故障诊断与恢复，且恢复后仍能保证任务执行正常，降低地面管控人员的操作复杂度，提高航天器的自主生存能力。

[0050] 卫星集中式自主健康管理架构包括一台专用的自主健康管理单元，融合卫星所有分系统的数据，集数据采集、数据预处理、健康预测、故障诊断、故障分类和故障恢复等功能于一体，进行星载产品在轨自主故障的预测和诊断，提高专业处理能力和效率。

[0051] 该系统包括数据接收模块10、数据预处理模块20、故障诊断模块30、故障分级管理模块40和故障恢复模块50。

[0052] 数据接收模块10通过高速总线接收星上所有分系统的关键遥测数据和业务数据，包括有效载荷分系统60的业务信息、星务分系统61的业务信息、测控分系统65的测控信息、姿轨控分系统62的控制信息、热控分系统63和能源分系统64的遥测信息等，按照平稳型、周期型和渐变型三大类进行划分，以保证采集后信息的有效性和完备性。

[0053] 数据预处理模块20有次序地从数据接收模块10中读取数据，根据已归类的三大类数据，采用阈值门限、包络边界等预处理技术诊断出卫星的显性故障。

[0054] 故障诊断模块30配备高速处理单元和传输总线，在数据预处理模块20输出结果的基础上，融合应用机器学习以及数据驱动的诊断方法，逐步对不同类型的遥测数据采取适应性强的诊断方法，深入分析和预测深层次、难以通过直观手段判断的故障。

[0055] 故障分级管理模块40和故障恢复模块50根据故障诊断模块30输出的结果，首先对故障进行分级，按照影响整星安全且不可自主恢复、影响载荷任务且不可自主恢复、可通过重构进行恢复、可通过复位进行恢复的影响程度，将故障等级分成四等级：A-1级(第一等级故障)、A-2级(第二等级故障)、B级(第三等级故障)、C级(第四等级故障)，A-1级故障最为严重，其次是A-2级，在无法进行自主恢复情况下，这两级故障实施星上自主保护措施，保证整星安全，B级、C级故障由卫星自主恢复，包括采取复位、切机和重构等措施，同时保证载荷任务正常。

[0056] 卫星集中式自主健康管理架构由一台专用的自主健康管理单元实现，该单元包括数据接收模块、数据预处理模块、故障诊断模块、故障分级和恢复模块。

[0057] 数据接收模块通过高速总线接收星上所有分系统的关键遥测数据和业务数据，包括载荷分系统的业务信息、测控分系统的测控信息、姿轨控分系统的控制信息、热控和能源分系统的遥测信息等，这些数据主要呈现以下三大特点：

[0058] (1)平稳型：即数据保持长期稳定的特性，如单机设备的模拟电压遥测信息，若该数据的方差接近0，则归类为平稳型数据；

[0059] (2)周期型：即数据与时间有强依赖性，呈现周期性变化，如单机设备的温度信息；

[0060] (3)渐变型:即数据发展趋势随单机寿命而呈现逐渐减弱或增强,如星载原子钟的光强信息。

[0061] 数据接收模块将这些大量数据首先按照三大类进行划分,以保证采集后信息的有效性和完备性。

[0062] 数据预处理模块从数据接收单元中读取数据,针对平稳型数据,直接通过阈值门限进行系统健康状态的判断,例如供电电压、电流以及温度等;针对周期型数据,通过包络门限对数据进行分析后提取健康特征;包络门限是一个上、下边界范围,是卫星成功完成地面试验后获得的经验区间,如果卫星参数的实测值在这个区间内,则健康状况通过,并且有较低的故障率,相反,如果累计一段时间的实测值不在这个区间内,则可预测健康状况不佳,故障率较高。针对渐变型数据,并不能直接用于系统健康状态的判断,需送入故障诊断单元进行深入分析和预测。

[0063] 故障诊断模块在预处理模块输出结果的基础上,融合应用机器学习以及数据驱动的诊断方法,逐步对不同类型的遥测数据采取适应性强的诊断方法,深入分析和预测深层次、难以通过直观手段判断的故障。

[0064] 基于机器学习的预测技术的工作过程为:使用历史数据对函数模型进行训练以及自我学习,不断逼近真实模型,最后使用训练完成的函数模型对未来趋势进行预测。

[0065] 基于数据驱动的诊断方法是构建数据的训练库,利用数据驱动的分类方法训练故障分类器,经特征提取与模式分析后生成基于目前事实的故障诊断规则,并利用历史数据对规则进行测试和优化,进一步丰富规则诊断器,诊断流程如图2所示。

[0066] 故障分级和恢复模块根据故障诊断模块输出的结果,按照影响程度分成A-1、A-2、B、C四等级,A-1级最为严重。

[0067] A-1级为影响整星安全且无法自主恢复的故障,包括能源故障、姿控故障、星务故障,卫星将启动进入安全模式,实施自我保护。

[0068] A-2级为影响载荷任务且无法自主恢复的故障,包括时频故障、放大器故障等,卫星将调整发射功率,实施自我保护。

[0069] B级为只能通过自主切冷/热备(隔离)来恢复系统工作的故障,涉及整星所有分系统,由自主健康管理单元向平台计算机发起故障恢复指令,将故障单机切换至备份工作。

[0070] C级为可通过软件自主补偿,复位或开关机进行恢复的故障,涉及整星所有分系统。由自主健康管理单元向平台计算机或载荷任务处理机发起故障恢复指令,将故障单机实施自主复位或开关机。

[0071] 综上,上述实施例对卫星集中式自主健康管理系统的不同构型进行了详细说明,当然,本发明包括但不局限于上述实施中所列举的构型,任何在上述实施例提供的构型基础上进行变换的内容,均属于本发明所保护的范围。本领域技术人员可以根据上述实施例的内容举一反三。

[0072] 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。

[0073] 上述描述仅是对本发明较佳实施例的描述,并非对本发明范围的任何限定,本发

明领域的普通技术人员根据上述揭示内容做的任何变更、修饰，均属于权利要求书的保护范围。

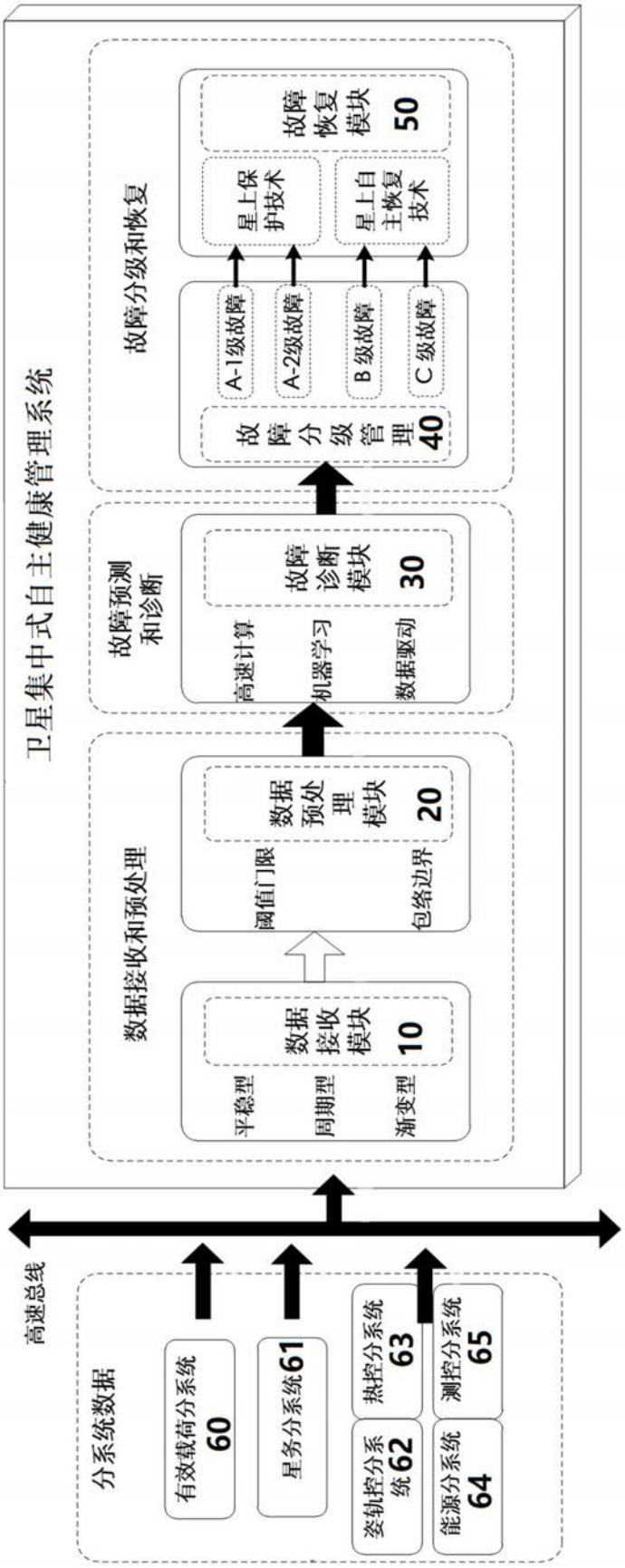

卫星集中式自主健康管理系统
数据接收和预处理
平稳型
周期型
渐变型
数据接收模块 10
阈值门限
包络边界
数据预处理模块 20
故障预测和诊断
高速计算
机器学习
数据驱动
故障诊断模块 30
故障分级和恢复
故障分级管理 40
A-1级故障
A-2级故障
B 级故障
C 级故障
星上保护技术
星上自主恢复技术
故障恢复模块 50
高速总线
分系统数据
有效载荷分系统 60
星务分系统61
姿轨控分系统62
热控分系统 63
能源分系统 64
测控分系统 65

图1

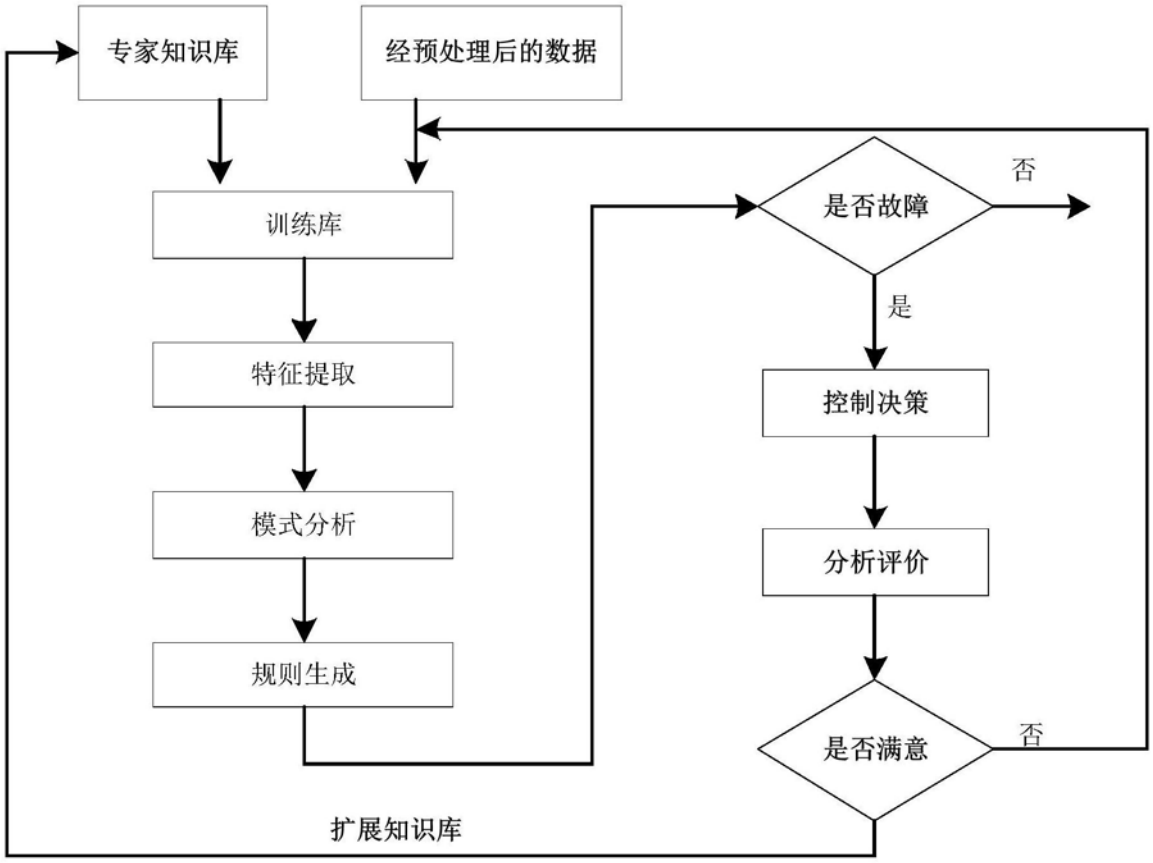

专家知识库
经预处理后的数据
训练库
特征提取
模式分析
规则生成
是否故障
否
是
控制决策
分析评价
是否满意
否
扩展知识库

图2