



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G05B 19/41875 (2019.05); G05B 17/02 (2019.05); G05B 23/0267 (2019.05)

(21)(22) Заявка: 2018133619, 24.09.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
24.09.2018Дата регистрации:
12.12.2019

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
26.09.2017 DE 102017217099.9

(45) Опубликовано: 12.12.2019 Бюл. № 35

Адрес для переписки:

101000, Москва, ул. Мясницкая, 13, стр. 5, ООО
"Союзпатент", С.Б. Фелициной

(72) Автор(ы):

АУФДЕРХАЙДЕ Хельге (DE)

(73) Патентообладатель(и):

СИМЕНС МОБИЛИТИ ГМБХ (DE)

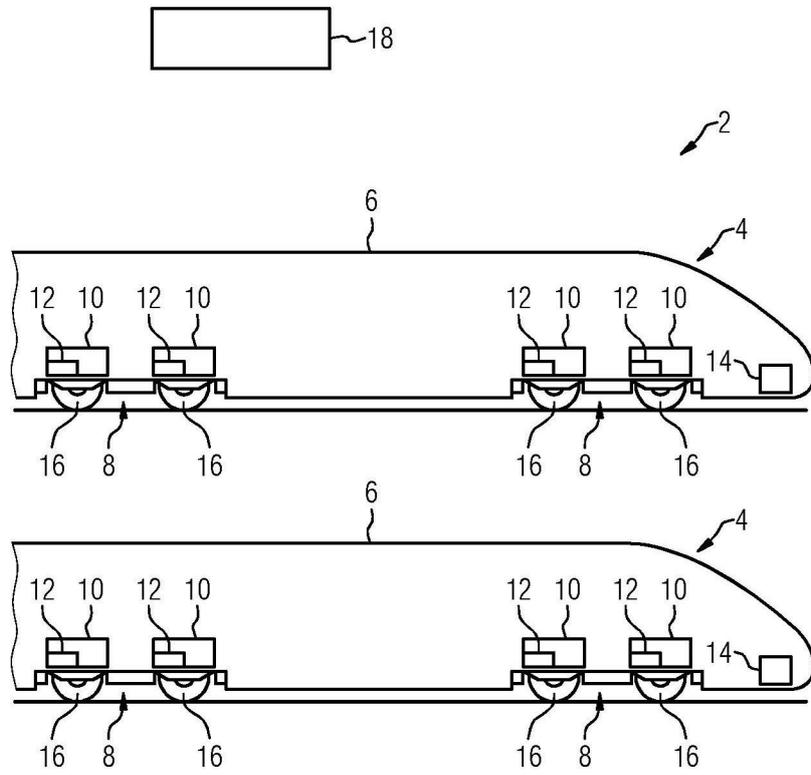
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2460980C2, 10.09.2012. RU
2313815C2, 27.12.2007. RU 2213372C2, 27.09.2003.
USWO2012/154951A1, 15.11.2012. US8437 534B2,
07.05.2013.

(54) СПОСОБ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И БЛОК ОБРАБОТКИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к средствам исследования функционального поведения технической системы. Технический результат заключается в расширении арсенала средств того же назначения. Техническая система включает множество компонентов (4, 6, 8, 10, 12, 14, 16) и возникающую на основе технических зависимостей компонентов (4, 6, 8, 10, 12, 14, 16) системную структуру. Для усовершенствования

способа предложено с помощью системной структуры из нескольких компонентов (4, 6, 8, 10, 12, 14, 16) выявлять технически подобные компоненты (10), технически подобные компоненты (10) с использованием их функционального поведения группируют в кластеры (22, 24, 26) и выявляют технические зависимости элементов, по меньшей мере, одного из кластеров (22, 24, 26). 2 н. и 10 з.п. ф-лы, 2 ил.



ФИГ. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G05B 19/41875 (2019.05); *G05B 17/02* (2019.05); *G05B 23/0267* (2019.05)

(21)(22) Application: **2018133619, 24.09.2018**

(24) Effective date for property rights:
24.09.2018

Registration date:
12.12.2019

Priority:
(30) Convention priority:
26.09.2017 DE 102017217099.9

(45) Date of publication: **12.12.2019 Bull. № 35**

Mail address:
**101000, Moskva, ul. Myasnitskaya, 13, str. 5, OOO
"Soyuzpatent", S.B. Felitsinoj**

(72) Inventor(s):
AUFDERKHAJDE Khelge (DE)

(73) Proprietor(s):
SIMENS MOBILITI GMBKH (DE)

(54) **METHOD OF ANALYZING FUNCTIONAL BEHAVIOR OF A TECHNICAL SYSTEM AND A PROCESSING UNIT**

(57) Abstract:

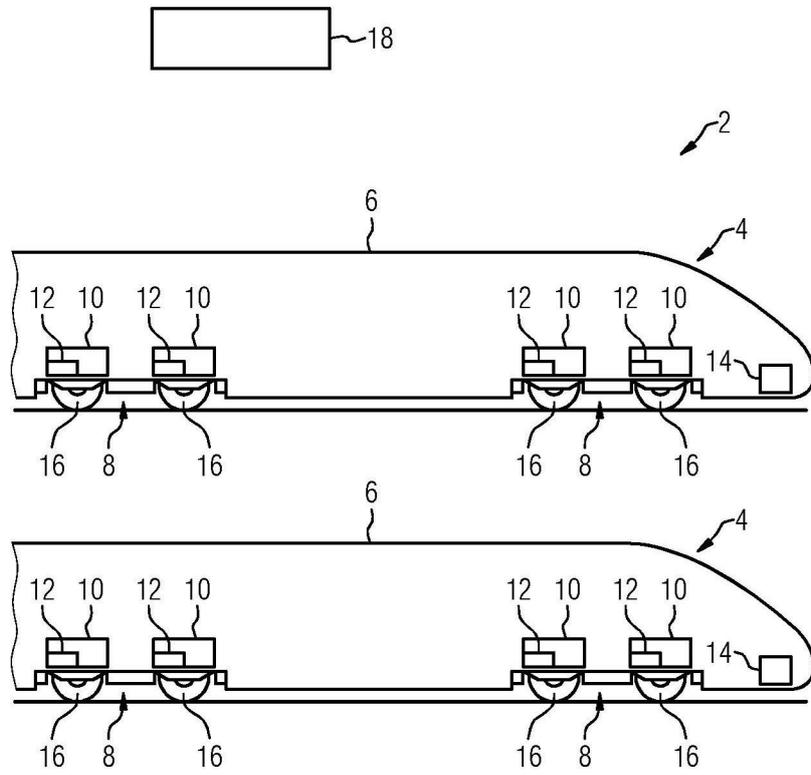
FIELD: computer engineering.
SUBSTANCE: invention relates to means of investigating functional behavior of a technical system. Technical system includes multiple components (4, 6, 8, 10, 12, 14, 16) and system structure arising on the basis of technical dependences of components (4, 6, 8, 10, 12, 14, 16). To improve the method, it is proposed to detect technically similar components (10) using a

system structure of several components (4, 6, 8, 10, 12, 14, 16), technically similar components (10) are grouped into clusters (22, 24, 26) using their functional behavior and detecting technical dependencies of elements of at least one of clusters (22, 24, 26).

EFFECT: wider range of tools for the same purpose.
12 cl, 2 dwg

RU 2 708 965 C 1

RU 2 708 965 C 1



ФИГ. 1

Изобретение относится к способу исследования функционального поведения технической системы, содержащей несколько компонентов и возникающую на основе технических зависимостей компонентов системную структуру.

Известно, что для исследования функционального поведения технической системы, например, текущее значение эксплуатационного параметра исследуемого компонента сравнивается с установленным предельным значением. Если, например, значение эксплуатационного параметра исследуемого компонента больше установленного предельного значения, то это означает, что исследуемый компонент показывает ненормальное поведение. Однако установление предельного значения уже предполагает знание прежнего или обычного поведения системы и, тем самым, знание прежнего или обычного поведения компонентов. Несмотря на это знание, установление предельного значения связано с большой ненадежностью.

Задачей изобретения является создание усовершенствованного способа исследования функционального поведения, по меньшей мере, одной технической системы.

Эта задача решается посредством способа исследования функционального поведения технической системы, содержащей несколько компонентов и возникающую на основе технических зависимостей компонентов системную структуру, при котором, согласно изобретению, с помощью системной структуры из нескольких компонентов выявляются технически подобные компоненты, технически подобные компоненты с использованием их функционального поведения группируются в кластеры, и выявляются технические зависимости элементов, по меньшей мере, одного из кластеров.

В частности, с помощью системной структуры из нескольких компонентов могут быть выявлены исследуемые технически подобные компоненты.

Благодаря способу можно исследовать функциональное поведение системы без знания ее прежнего или обычного поведения. Благодаря этому способу можно отказаться от установления предельного значения.

Посредством указанного способа можно учитывать влияния на структурную единицу системной структуры, например влияния окружающей среды, пробег системной структуры или реализованная мощность системной структуры. Кроме того, можно обнаружить такие влияния, например, в том случае, если выявленная техническая зависимость элементов одного из кластеров включает в себя принадлежность этих элементов кластера к определенной структурной единице.

Преимущественно технически подобные компоненты, которые с использованием своего функционального поведения группируются в определенный кластер, образуют элементы этого кластера. Соответствующий кластер включает в себя, тем самым, по меньшей мере, один компонент. По меньшей мере, одним компонентом соответствующего кластера является преимущественно элемент соответствующего кластера.

Компонентом может быть, например, конструктивный элемент или группа конструктивных элементов.

Выражение «выявляются технические зависимости элементов, по меньшей мере, одного из кластеров» преимущественно не исключает того, что, по меньшей мере, один кластер включает в себя только один элемент. Под выражением «выявляются технические зависимости элементов, по меньшей мере, одного из кластеров» подразумевается преимущественно то, что выявляются технические зависимости всех элементов, по меньшей мере, одного кластера.

Системная структура может определяться с помощью технических зависимостей компонентов технической системы. Кроме того, системная структура может быть

задана.

С помощью системной структуры из нескольких компонентов выявляются технически подобные компоненты. В качестве технически подобных компонентов могут рассматриваться компоненты, которые технически однородны и имеют одинаковые 5 технические зависимости. В частности, технически подобные компоненты имеют одинаковые технические зависимости. Преимущественно технически подобные компоненты могут заменяться между собой. При одинаковых краевых условиях от технически подобных компонентов ожидается аналогичное функциональное поведение.

Функциональное поведение соответствующего компонента целесообразно зависит, 10 по меньшей мере, от одного значения эксплуатационного параметра этого компонента. Преимущественно значение эксплуатационного параметра соответствующего компонента оказывает влияние на его функциональное поведение. Значением эксплуатационного параметра этого компонента может быть также значение эксплуатационного параметра вышестоящей структурной единицы, которое 15 преимущественно оказывает влияние на функциональное поведение соответствующего компонента. Значением эксплуатационного параметра может быть значение температуры, давления, приложенного напряжения, потребленной мощности, скорости вращения и т.д.

Функциональное поведение соответствующего компонента, коротко соответствующее 20 функциональное поведение, можно описать с использованием, по меньшей мере, одного значения эксплуатационного параметра. Например, соответствующее функциональное поведение можно описать с использованием отклонения, по меньшей мере, одного значения эксплуатационного параметра от эталонного значения. Кроме того, соответствующее функциональное поведение можно описать с использованием ^{временного} 25 изменения, по меньшей мере, одного значения эксплуатационного параметра.

Предпочтительно, если соответствующее функциональное поведение технически подобных компонентов моделируется посредством соответствующей компьютерной программы. В частности, функциональное поведение технически подобных компонентов можно моделировать соответственно по отдельности. Целесообразно в компьютерную 30 программу для моделирования передается эксплуатационный параметр соответствующего компонента, в частности вышеназванное значение эксплуатационного параметра соответствующего компонента. Далее целесообразно, если компьютерная программа для моделирования обрабатывает, по меньшей мере, один эксплуатационный параметр соответствующего компонента. В частности, компьютерная программа для 35 моделирования может обрабатывать предварительно переданный эксплуатационный параметр соответствующего компонента.

Соответствующее функциональное поведение можно моделировать с использованием методов машинного обучения («machine learning»).

Целесообразно для группирования функциональное поведение технически подобных 40 компонентов сравнивается между собой. Технически подобные компоненты с технически одинаковым поведением преимущественно на основе схожести своего функционального поведения группируются в кластеры.

При сравнении функционального поведения технически подобных компонентов между собой можно сравнить, по меньшей мере, одно значение эксплуатационного 45 параметра, отклонения от, по меньшей мере, одного значения эксплуатационного параметра от эталонного значения и/или ^{временное} изменение, по меньшей мере, одного значения эксплуатационного параметра. Далее при сравнении соответствующего функционального поведения технически подобных компонентов между собой можно

сравнить, по меньшей мере, одно свойство моделирования. Свойством моделирования, называемым также характеристикой моделирования, может быть, например, взвешивание, по меньшей мере, одного значения эксплуатационного параметра, в частности взвешивание нескольких значений эксплуатационного параметра. Далее
5 свойством моделирования может быть использованное для моделирования соотношение зависимостей нескольких эксплуатационных параметров.

Соответствующее функциональное поведение можно моделировать с использованием нейронной сети. В этом случае свойством моделирования могут быть, например, массы узлов нейронной сети.

10 Преимущественно функциональное поведение технически подобных компонентов сравнивается между собой за счет того, что между собой сравниваются описывающие функциональное поведение соответствующих компонентов функциональные величины. Это значит, что целесообразно сравниваются функциональные величины, которые описывают функциональное поведение соответствующих компонентов.

15 Преимущественно при сравнении соответствующих функциональных величин между собой выявляется значение сравнения. Предпочтительно, если значение сравнения описывает схожесть сравниваемых между собой функциональных величин. В частности, значение сравнения может квантифицировать схожесть сравниваемых между собой функциональных величин.

20 Соответствующее функциональное поведение технически подобных компонентов можно описать с использованием одномерной функциональной величины. Это значит, что вышеназванной функциональной величиной может быть одномерная функциональная величина.

25 Предпочтительно, если соответствующее функциональное поведение технически подобных компонентов описывается с использованием многомерной функциональной величины. Это значит, что вышеназванной функциональной величиной является многомерная функциональная величина. Например, соответствующей функциональной величиной может быть вектор или матрица.

30 Значение сравнения может включать в себя, например, расстояние между функциональными величинами. Кроме того, значение сравнения может включать в себя угол между функциональными величинами, в частности, если соответствующая функциональная величина является многомерной.

Целесообразно технически подобные компоненты группируются в кластеры методом кластеризации.

35 Например, технически подобные компоненты могут группироваться в кластеры методом партиципирующей и/или иерархической кластеризации. Методом партиципирующей кластеризации может быть, например, так называемый метод k-средних, при котором, в частности, не требуется задавать число образуемых кластеров. Методом иерархической кластеризации может быть, например, метод кластеризации
40 с так называемым отсечением.

Предпочтительно, если идентифицируется, по меньшей мере, один статистически заметный кластер. Например, по меньшей мере, один статистически заметный кластер может идентифицироваться методом «Statistical Outlier Selection (метод выбора статистических выбросов)» и/или «OneClass-SupportVector-Machine (одноклассовый
45 метод опорных векторов)». Далее, по меньшей мере, один статистически заметный кластер может идентифицироваться на основе своего, в частности малого, размера. В частности, по меньшей мере, один статистически заметный кластер может иметь меньший размер, чем другой кластер. Размер кластера определяется преимущественно с помощью

числа его элементов.

Целесообразным является выявление технических зависимостей элементов этого, по меньшей мере, статистически заметного кластера. Это значит, что, по меньшей мере, один из кластеров, для элементов которого выявляются технические зависимости, является преимущественно статистически заметным кластером, в частности вышеназванным статистически заметным кластером.

Можно выявлять технические зависимости элементов нескольких из кластеров.

Системная структура может быть, например, древовидной структурой, в частности иерархической древовидной структурой. Кроме того, системная структура может быть графеновой структурой. Системная структура может быть также сетевой структурой.

Предпочтительно, если системная структура имеет структурные уровни. Структурными уровнями могут быть иерархические уровни, графеновые орбиты или сетевые орбиты. Иерархическим системным уровнем может быть, например, системный уровень, подсистемный уровень, компонентно-групповой уровень, компонентный уровень и/или другой уровень.

Далее предпочтительно, если выявляется принадлежность элементов, по меньшей мере, одного кластера к структурным уровням. Это значит, что, если выявляются технические зависимости элементов, по меньшей мере, одного кластера, то могут быть выявлены принадлежности элементов, по меньшей мере, одного кластера к структурным уровням.

Например, могут быть выявлены принадлежности элементов вышеназванного, статистически заметного кластера к структурным уровням. Таким образом, элементы статистически заметного кластера могут быть присвоены структурному элементу.

Следовательно, можно обнаружить, можно ли полностью присвоить элементы, по меньшей мере, одного кластера, в частности статистически заметного кластера, отдельному структурному уровню. Это целесообразно в том случае, если все элементы, по меньшей мере, одного кластера могут быть присвоены к структурной единице структурного уровня.

Если элементы, по меньшей мере, одного кластера, в частности статистически заметного кластера, могут быть полностью присвоены отдельному структурному уровню, то преимущественно на этом структурном уровне, в частности в этой структурной единице, и лежит заметность. Если заметность лежит, например, на компонентном уровне, то можно исходить, например, из неисправности компонента. Преимущественно неисправным может быть тот компонент, который образует элемент, по меньшей мере, одного кластера.

Если же заметность лежит на системном уровне или если заметность нельзя присвоить никакому другому уровню ниже системного уровня, то можно исходить, например, из того, что заметность простирается по всем структурам по всей системе. В этом случае заметность может быть эксплуатационно- или системно-обусловленной. Кроме того, в этом случае можно преимущественно исключить неисправность отдельных компонентов.

Технически подобные компоненты могут быть выявлены с помощью системной структуры из нескольких компонентов вручную. Кроме того, технически подобные компоненты могут быть выявлены с помощью системной структуры из нескольких компонентов автоматически.

В одном предпочтительном варианте осуществления изобретения, по меньшей мере, группирование в кластеры происходит автоматически. Это значит, что технически подобные компоненты могут группироваться в кластеры автоматически с

использованием своего функционального поведения.

Далее предпочтительно, если выявление технических зависимостей происходит автоматически. Это значит, что технические зависимости элементов, по меньшей мере, одного кластера могут быть выявлены автоматически.

5 Система может включать в себя, по меньшей мере, одну техническую установку. Например, система может включать в себя, по меньшей мере, одно транспортное средство, в частности, по меньшей мере, одно рельсовое транспортное средство.

Целесообразно системой является объединение нескольких технических установок.

10 В одном предпочтительном варианте осуществления изобретения системой является состав из нескольких транспортных средств. В частности, системой может быть состав из нескольких рельсовых транспортных средств.

Например, технически подобными компонентами могут быть двигатели. Кроме того, технически подобными компонентами могут быть, например, тележки. Кроме того, технически подобными компонентами могут быть, например, вентиляторы.
15 Возможны также другие технически подобные компоненты системы с технически одинаковым поведением.

Изобретение и/или описанные варианты его осуществления, по меньшей мере, частично, как и в целом, может/могут быть реализовано/реализованы как в виде программного, так и в виде аппаратного обеспечения, последнее, например, с
20 использованием специальной электрической схемы.

Далее реализация изобретения и/или описанного варианта его осуществления, по меньшей мере, частично, как и в целом, возможна за счет считываемой компьютером запоминающей среды, где хранится компьютерная программа, которая, если она выполняется на компьютере, реализует изобретение или вариант его осуществления.

25 Также изобретение и/или описанные варианты его осуществления, по меньшей мере, частично, как и в целом, может/могут быть реализовано/реализованы за счет компьютерного программного продукта, содержащего запоминающую среду, где хранится компьютерная программа, которая, если она выполняется на компьютере, реализует изобретение и/или варианты его осуществления.

30 Кроме того, изобретение относится к блоку обработки для исследования функционального поведения технической системы, причем последняя содержит несколько компонентов и возникающую на основе технических зависимостей компонентов системную структуру. С помощью системной структуры из нескольких компонентов могут быть выявлены технически подобные компоненты. В частности, с
35 помощью системной структуры из нескольких компонентов могут быть выявлены исследуемые технически подобные компоненты. Технически подобные компоненты могут быть выявлены вне блока обработки, например вручную. Кроме того, технически подобные компоненты могут быть заданы/могут задаваться блоку обработки. Технически подобные компоненты могут быть выявлены также блоком обработки.

40 Согласно изобретению, блок обработки выполнен с возможностью группирования технически подобных компонентов с использованием их функционального поведения в кластеры и выявления технических зависимостей элементов, по меньшей мере, одного из кластеров.

Блок обработки может использоваться для осуществления вышеописанного способа.

45 В блоке обработки может храниться вышеназванная компьютерная программа для моделирования. Далее вышеназванная компьютерная программа для моделирования может выполняться в блоке обработки. Кроме того, вышеназванная компьютерная программа может быть отдельной от блока обработки.

Приведенное описание предпочтительных вариантов осуществления изобретения содержит многочисленные признаки, которые в отдельных зависимых пунктах формулы частично объединены в несколько. Однако эти признаки могут целесообразно рассматриваться также по отдельности и объединяться в другие целесообразные комбинации. В частности, эти признаки могут комбинироваться соответственно по отдельности и в произвольной подходящей комбинации с предложенным способом и блоком управления. Так, признаки способа можно рассматривать как свойство соответствующего блока обработки и наоборот.

Даже если в описании и формуле изобретения некоторые термины использованы в единственном числе или в сочетании с числительным, объем изобретения для этих терминов не ограничивается единственным числом или числительным.

Вышеописанные свойства, признаки и преимущества этого изобретения, а также то, как они достигаются, становятся более ясными и понятными в связи с нижеследующим описанием примеров его осуществления, более подробно поясняемыми со ссылкой на чертежи. Примеры осуществления служат для пояснения изобретения и не ограничивают его приведенной в них комбинацией признаков, также в отношении функциональных признаков. Кроме того, подходящие для этого признаки каждого примера осуществления могут рассматриваться также изолированно, могут быть исключены из примера осуществления, включены в другой пример осуществления для его дополнения и комбинированы с любым из пунктов формулы.

На чертежах представлено следующее:

фиг. 1 - состав из нескольких рельсовых транспортных средств;

фиг. 2 - диаграмма.

На фиг. 1 изображена техническая система 2, в виде состава из нескольких рельсовых транспортных средств 4. Для наглядности изображены только два рельсовых транспортных средства 4. Однако состав может иметь любое число рельсовых транспортных средств 4.

Каждое из рельсовых транспортных средств 4 содержит, по меньшей мере, один мотор-вагон 6. Каждое из рельсовых транспортных средств 4 может содержать другие вагоны (не показаны).

Каждый из мотор-вагонов 6 содержит две тележки 8. В этом примере каждая тележка 8 включает в себя два двигателя 10. Каждый из двигателей 10 может включать в себя, в свою очередь, один или несколько датчиков 12 для определения значений эксплуатационных параметров соответствующего двигателя 10. Например, здесь изображено по одному датчику 12. Датчиком 12 соответствующего двигателя 10 может быть, например, температурный датчик.

Поезд содержит, по меньшей мере, один дополнительный датчик 14, например, датчик скорости.

На каждой тележке 8 установлено по две колесные пары 16, которые приводятся в действие двигателями 10 соответствующей тележки 8.

Следовательно, состав содержит в этом примере, по меньшей мере, следующие компоненты: рельсовые транспортные средства 4, мотор-вагоны 6, тележки 8, двигатели 10, датчики 12, 14 и колесные пары 16.

Техническая система 2, в виде состава, имеет системную структуру, возникающую на основе технических зависимостей компонентов 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 состава.

В этом примере системная структура имеет иерархическую (древовидную) структуру. Системная структура включает в себя несколько системных уровней. В этом примере системная структура включает в себя уровень состава, уровень рельсового

транспортного средства, уровень вагонов, уровень и тележек и уровень двигателей. Соответственно система включает в себя несколько структурных единиц, а именно рельсовые транспортные средства 4, мотор-вагоны 6, тележки 8, двигатели 10.

Кроме того, на фиг. 1 изображен блок обработки 18 для исследования функционального поведения технической системы 2, в виде состава из нескольких рельсовых транспортных средств.

С помощью системной структуры из нескольких компонентов 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 выявляются технически подобные компоненты. В этом примере выявляется, ведут ли себя технически одинаково двигатели 10 тележек 8. Рельсовое транспортное средство 4 может включать в себя и другие двигатели (например, в системе вентиляции и т.п.), которые, однако, ведут себя технически неодинаково с двигателями 10 тележек 8.

По этой причине технически подобные компоненты включают в себя только двигатели 10 тележек 8, далее называемые просто двигателями 10. Эта информация передается на блок обработки 18. В принципе, блок обработки 19 может выявлять эту информацию также самостоятельно.

Технически подобные компоненты, здесь двигатели 10, показывают функциональное поведение.

Функциональное поведение соответствующего двигателя 10 целесообразно зависит от, по меньшей мере, одного значения его эксплуатационного параметра. Значением эксплуатационного параметра соответствующего двигателя 10 является, например, его температура. Значением эксплуатационного параметра двигателя 10 может быть также значение эксплуатационного параметра вышестоящей структурной единицы, которое оказывает влияние на функциональное поведение соответствующего двигателя 10.

Например, значением эксплуатационного параметра соответствующего двигателя 10 может быть скорость соответствующего рельсового транспортного средства 4.

Функциональное поведение соответствующего двигателя 10 можно описать с использованием, по меньшей мере, одного значения его эксплуатационного параметра.

В блоке обработки 18 хранится компьютерная программа. Значения эксплуатационных параметров двигателей 10 передаются на блок обработки 18. При этом значения эксплуатационных параметров двигателей 10 передаются, в частности, на компьютерную программу.

Соответствующее функциональное поведение технически подобных компонентов, здесь двигателей 10, моделируется соответственно посредством компьютерной программы. При этом компьютерная программа для моделирования обрабатывает, по меньшей мере, одно значение эксплуатационного параметра соответствующего двигателя 10.

Компьютерная программа для моделирования функционального поведения соответствующего двигателя 10 использует определенные датчики в качестве входа, например температурный датчик 12 соответствующего двигателя 10, и датчик 14 скорости соответствующего рельсового транспортного средства 4, в котором установлен двигатель 10. Таким образом, в качестве значений эксплуатационных параметров используются температура двигателя и скорость рельсового транспортного средства.

При моделировании функционального поведения соответствующего двигателя 10 можно, с одной стороны, составить статистически составленное долгосрочное поведение для каждого двигателя 10, а, с другой стороны, характеристику краткосрочного поведения при оперативной эксплуатации. При этом при моделировании моделированное функциональное поведение обрабатывается для каждого из двигателей 10 с применением методов машинного обучения. Характеристика соответствующего моделирования

записывается в память. Характеристика моделирования включает в себя, например, параметры фитингов, веса в нейронной сети, решающие функции, главные компоненты и т.д. Кроме того, моделирование соответствующего функционального поведения применяется к значениям эксплуатационных параметров при текущей эксплуатации.

5 Вывод о классах, отклонениях и т.д. записывается в память, чтобы получить свойства кратковременных и, возможно, обусловленных эксплуатацией отклонений.

Например, за счет моделирования функционального поведения каждого двигателя 10 на фиг. 1 получают нормальную кривую его температуры в качестве независимого от времени статистического долгосрочного поведения (т.е. нормальную кривую). Кроме
10 того, при моделировании функционального поведения каждого двигателя 10, в частности при текущей эксплуатации, получают временной ряд отклонений от этого долгосрочного поведения двигателя.

Функциональное поведение соответствующего двигателя 10 описывается с помощью функциональной величины. Соответствующая функциональная величина может быть
15 одно- или многомерной.

Функциональная величина может описывать, например, вычисленные при моделировании отклонения от предварительно обученной нормальной кривой.

Вычисленные отклонения могут усредняться/могут быть усреднены в течение заданного
20 временного интервала.

Целесообразно моделирование происходит с использованием модели.

Функциональными величинами могут быть:

i. Для моделей главных компонентов (вывод вектора в пространстве свойств): угол между векторами v_A и v_B главных компонентов моделей A и B, т.е. $\cos(\langle v_A, v_B \rangle / (|v_A| |v_B|))$, причем $\langle \rangle$ обозначает скалярное произведение, а $| \cdot |$ - векторную норму.
25 Это значение равно 0, если v_A и v_B указывают в одном направлении.

ii. Для матрично-значимых характеристик (например, ^{вес} нейронной сети): расстояние на основе одной из норм стандартных матриц (в частности, евклидова норма матриц и векторов и норма собственных векторов).

iii. Для непрерывных характеристик (например, заключенные решающей функцией классификатора диапазоны N-мерного пространства, для которой присваиваются
30 определенные классы): расстояние на основе скалярного произведения $\int D_A(x) \cdot D_B(x) dx^N$, причем D_A и D_B обозначают на $\int D_A(x)^2 dx^N$ нормированные решающие функции моделей A и B, а интеграл \int вычисляется по всему пространству состояния вектора x.
35 Та же метрика относится к классификаторам, характеристикой которых являются соответствующие распределения вероятностей.

Для улучшения результатов можно на этапах ii, iii сначала осуществить свертку с узким стандартным распределением или скомбинировать между собой несколько из вышеназванных норм.

40 Технически подобные компоненты, в данном случае двигателя 10, группируются с использованием своего функционального поведения в кластеры (фиг. 2). Для группирования функциональное поведение двигателей 10 сравнивается между собой. Для этого между собой сравниваются описывающие функциональное поведение двигателей 10 функциональные величины. На основе сравнения функциональных
45 величин выявляется схожесть функционального поведения.

Соответствующей функциональной величиной в этом примере является вектор.

В этом примере соответствующая функциональная величина включает в себя, например, следующие три векторных элемента:

1. Средние значения температур двигателя обученных в течение одного года моделей.
 2. Угловое отклонение главных компонентов обученных в течение одного года моделей.

3. Усредненная в течение суточной эксплуатации норма декартова произведения векторов отклонения от главного компонента.

При сравнении соответствующих функциональных величин между собой определяется значение сравнения, которое описывает схожесть сравненных между собой функциональных величин. Значением сравнения является, например, расстояние между сравненными между собой функциональными величинами.

Технически подобные компоненты, здесь двигатели 10, группируются с использованием значений сравнения в кластеры.

При этом с помощью значений сравнения, здесь расстояний, вычисляются кластеры схожих функциональных величин и, тем самым, схожего функционального поведения.

На фиг. 2 изображена диаграмма 20. На ней нанесен векторный элемент функциональной величины произвольного первого двигателя 10 произвольной тележки 8 состава 2 (ось x 30) против однородного векторного элемента функциональной величины второго двигателя 10 той же тележки 8 (y-ось 32). Например, нанесено отклонение температуры от нормального поведения произвольного первого двигателя 10 состава 2 (ось x 30) против отклонения температуры от нормального поведения второго двигателя 10 той же тележки 8 (y-ось 32).

Сравнение между собой двигателей 10 обозначено соответственно в виде точки и отражает функциональное поведение соответствующей тележки 8. Следовательно, двигатели 10 сравниваются между собой на фиг. 2 на уровне тележек.

Белые поверхности на диаграмме 20 обозначают кластеры 22, 26. Также области с редкой штриховкой, окруженные областями с частой штриховкой, обозначают кластеры 24.

Соответствующий кластер 22, 24, 26 включает в себя те технически подобные компоненты (здесь тележки 8 с их двигателями 10), которые как по моделированному долгосрочному поведению, так и по эксплуатационным заметностям от моделированного краткосрочного поведения ведут себя схожим образом.

В этом примере тележки 8 и их двигатели 10 группируются в кластеры методом партиципаторной кластеризации, в частности так называемым методом k-средних.

Тележки 8 (и их двигатели 10) со схожим поведением сгруппированы в одном кластере 22, 22, 26. Кроме того, тележки 8 (и их двигатели 10) с разным поведением сгруппированы в разных кластерах 22, 22, 26.

Например, используя функциональные величины, можно идентифицировать статистические заметности («выбросы»). В этом примере, в частности на основе размера кластеров, можно обнаружить, что наибольший кластер 22, находящийся на диаграмме 29 справа сверху, соответствует нормальному функциональному поведению тележек 8 (и их двигателей 10). Это значит, что все тележки 8, чей первый двигатель 10 при сравнении со вторым двигателем 10 той же тележки 8 образует точку внутри наибольшего кластера 22, показывают нормальное функциональное поведение и, тем самым, незаметны.

Все другие кластеры 24, 26, в частности на основе своего размера, могут рассматриваться как статистически заметные кластеры 24, 26. В частности, все тележки 8, чей первый двигатель 10 при сравнении со вторым двигателем 10 той же тележки 8 образует точку вне наибольшего кластера 22, считаются заметными. В этом примере заметными кластерами являются кластеры 24, 26. Также остальные точки на диаграмме

20, которые могут рассматриваться, соответственно, как одноточечный кластер, могут считаться заметными.

Для автоматического распознавания статистически заметных кластеров можно применять, например, так называемый одноклассовый метод опорных векторов.

5 Кроме того, при сравнении каждому двигателю 10 присваивается степень необычности, называемая также степенью заметности. Степень необычности изображена на диаграмме 20 в виде штриховки. Чем чаще штриховка, тем выше степень необычности. Чем выше степень необычности, тем заметнее соответствующая тележка 8.

10 Затем выявляются технические зависимости элементов, по меньшей мере, одного статистически заметного кластера 24, 26, в частности всех статистически заметных кластеров 24, 26. Таким образом, можно выявить принадлежности элементов, по меньшей мере, одного статистически заметного кластера 24, 26 к структурным уровням. Кроме того, можно таким образом присвоить заметность структурному элементу.

15 В частности, по рисунку кластеров 22 определить структурный уровень заметности и, тем самым, заметную структурную единицу.

Каждому из двигателей 10 (m) соответствующей тележки 8 можно присвоить один кластер 22 (c_m). Кроме того, каждому двигателю 10 (m) можно присвоить «необычность» (d_m).

20 Для каждого структурного уровня (l) всем двигателям 10 (m) присваивается одинаковое иерархическое число (h_{lm}). Для каждого кластера 22, 24, 26 (c) и каждого структурного уровня (l) вычисляются два характеристических значения:

• $b_c = \sum_m d_m / N_c$, отдельно для всех c, причем m проходит соответственно по всем двигателям
25 в кластере c. Интуитивно b_c соответствует, тем самым, средней необычности кластера,

$$\bullet a_{cl} = \sum_h \left(\frac{\Theta_h(c, l)}{S} \right)^4, \text{ причем}$$

- в первой сумме h проходит по всем h_{lm} , встречающимся на структурном уровне l,
30 т.е. h в $\{h_{lm} : \text{все } m\}$,

- $\Theta_h(c, l)$ указывает число двигателей 10, для которого на структурном уровне l справедливо: $h_{lm} = h$ и $c_m = c$, т.е. число двигателей 10 в структурной единице с иерархическим числом h, относящихся к кластеру c,

- S - нормализация

$$35 \quad S = \sqrt{\sum_h \Theta_h(c, l)^2}.$$

Словами: коэффициент a_{cl} указывает, насколько сильно схожие двигатели 10 кластера c на структурном уровне l ограничены в определенной структурной единице в пределах
40 этого структурного уровня, или распределены ли двигатели 10 кластера c по всем различным структурным единицам. Диапазон значений a_{cl} - $[1/N_{hl}, 1]$, где N_{hl} указывает число однородных структурных единиц (различные значения h) на структурном уровне l. $a_{cl} = 1$ означает, что кластер c существует только в одной структурной единице, тогда как $a_{cl} = 1/N_{hl}$ указывает однородное распределение по всем структурным единицам.

45 Заметными являются кластеры 24, 26 с большими значениями их средней необычности b_c и, кроме того, большими значениями a_{cl} . Происхождение важнейших заметностей идентифицируют за счет того, что начинают с кластеров 24, 26 с наивысшей необычностью или идентифицируют релевантные кластеры 24, 26 посредством

определенного предельного значения. Выявляют технические зависимости элементов этих кластеров 24, 26. Для этого выявляют принадлежности элементов этих кластеров 24, 26 к структурным уровням.

На уровне тележек ($l = 2$):

- 5 - кластеры 26, лежащие за пределами диагонали 28: только одна тележка является частью рассматриваемого заметного кластера 26.

Тогда в отношении уровня тележек справедливо:

$$a_{c2} = \sum_{DG} \left(\frac{\Theta_{DG}(c,2)}{S} \right)^4 = \left(\frac{1}{1} \right)^4 = 1,$$

- 10 т.е. каждый из кластеров 26 локализован на одной тележке 8.

Это значит, что элементы соответствующего кластера 26 постоянно относятся к определенной тележке 8. Можно исходить из того, что элементы (тележки 8 и их двигатели 10) этих заметных кластеров 26 имеют заметность, например неисправность, т.е. у данной тележки 8 речь идет о релевантной заметности.

- 15 - Кластеры 24, лежащие на диагонали 28, однако не соответствующие наибольшему кластеру:

$a_{c1} < 1$, поскольку каждый из кластеров 24 распределен по нескольким тележкам 8.

• Для сравнения: кластер 22, наибольший кластер, лежащий на диагонали 28:

- 20 тележки 8 различных рельсовых транспортных средств 4 являются частью кластера 22.

$$a_{c2} = \sum_{DG} \left(\frac{\Theta_{DG}(c,3)}{S} \right)^4 = r \left(\frac{1}{\sqrt{r}} \right)^4 = 1/r,$$

поскольку сумма проходит по r тележек.

- 25 На уровне вагонов,

соответствует только у одного рассмотренного вагона на рельсовое транспортное средство 4 уровня рельсовых транспортных средств ($l = 1$):

• кластер 26:

$$30 a_{c1} = \sum_{Loks} \left(\frac{\Theta_{DG}(c,3)}{S} \right)^4 = \left(\frac{1}{1} \right)^4 = 1,$$

поскольку кластер 26 возникает только у одной из тележек 8.

• Первый из кластеров 24:

$$a_{c1} = 1/r,$$

- 35 поскольку этот кластер 24 возникает только у одного вагона 6 и одного рельсового транспортного средства 4. Речь идет о релевантной заметности у соответствующего вагона 6.

• Другой из кластеров 24:

$$a_{c1} = 1/r,$$

- 40 поскольку этот кластер 24 возникает в равной мере у r рельсовых транспортных средств 4.

Следовательно, двигатели 10 этого кластера 24 распределены по r рельсовых транспортных средств 4. Таким образом, речь идет не о релевантной заметности, а об обусловленном эксплуатацией поведении.

- 45 Хотя изобретение было подробно проиллюстрировано и описано на предпочтительных примерах его осуществления, оно не ограничено ими, и специалист может вывести из них другие варианты, не выходя за рамки объема охраны изобретения.

(57) Формула изобретения

1. Способ исследования функционального поведения технической системы (2),

состоящей, по меньшей мере, из одного рельсового транспортного средства и содержащей множество компонентов (4, 6, 8, 10, 12, 14, 16) и возникающую на основе технических зависимостей компонентов (4, 6, 8, 10, 12, 14, 16) системную структуру, при этом с помощью блока обработки (18) группируют технически подобные
5 компоненты (10) с использованием их функционального поведения в кластеры (22, 24, 26) и выявляют технические зависимости элементов, по меньшей мере, одного из кластеров (22, 24, 26).

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что соответствующее функциональное поведение технически подобных компонентов (10) моделируют посредством
10 соответствующей компьютерной программы, причем компьютерная программа для моделирования обрабатывает, по меньшей мере, один эксплуатационный параметр соответствующего компонента (10).

3. Способ по п. 2, отличающийся тем, что соответствующее функциональное поведение моделируют с использованием методов машинного обучения.

4. Способ по любому из пп. 1-3, отличающийся тем, что для группирования функциональное поведение технически подобных компонентов (10) сравнивают между
15 собой и технически подобные компоненты (10) на основе схожести их функционального поведения группируют в кластеры (22, 24, 26).

5. Способ по п. 4, отличающийся тем, что функциональное поведение технически
20 подобных компонентов (10) сравнивают между собой за счет того, что между собой сравнивают описывающие функциональное поведение соответствующих компонентов (10) функциональные величины, и при сравнении соответствующих функциональных величин между собой выявляют значение сравнения, которое описывает схожесть сравниваемых между собой функциональных величин.

6. Способ по любому из пп. 1-5, отличающийся тем, что соответствующее
25 функциональное поведение технически подобных компонентов (10) описывают с использованием многомерной функциональной величины.

7. Способ по любому из пп. 1-6, отличающийся тем, что технически подобные
30 компоненты (10) группируют в кластеры (22, 24, 26) с использованием метода партиционирующей и/или иерархической кластеризации.

8. Способ по любому из пп. 1-7, отличающийся тем, что идентифицируют, по меньшей мере, один статистически заметный кластер (24, 26) и выявляют технические зависимости элементов этого, по меньшей мере, статистически заметного кластера (24, 26).

9. Способ по любому из пп. 1-8, отличающийся тем, что системная структура является
35 древовидной структурой, графеновой структурой или сетевой структурой.

10. Способ по любому из пп. 1-9, отличающийся тем, что системная структура имеет структурные уровни, и выявляют принадлежности элементов, по меньшей мере, одного кластера (22, 24, 26) к структурным уровням.

11. Способ по любому из пп. 1-10, отличающийся тем, что, по меньшей мере,
40 группирование в кластеры (22, 24, 26) и выявление технических зависимостей осуществляют автоматически.

12. Блок обработки (18) для исследования функционального поведения технической системы (2), состоящей из, по меньшей мере, одного рельсового транспортного средства, причем техническая система (2) содержит несколько компонентов (4, 6, 8, 10, 12, 14, 16)
45 и возникающую на основе технических зависимостей компонентов (4, 6, 8, 10, 12, 14, 16) системную структуру, причем блок обработки (18) выполнен с возможностью группирования технически подобных компонентов (10) с использованием их функционального поведения в кластеры (22, 24, 26) и выявления технических

зависимостей элементов, по меньшей мере, одного из кластеров (22, 24, 26).

5

10

15

20

25

30

35

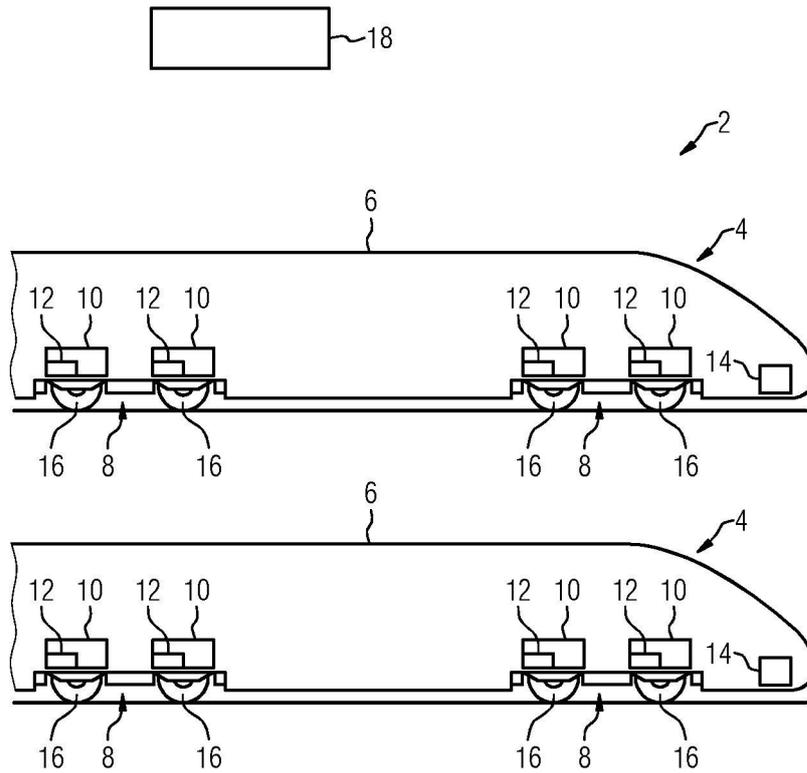
40

45

1

1/2

ФИГ. 1



2

