



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116104613 A

(43) 申请公布日 2023.05.12

(21) 申请号 202211372856.2

G06N 3/047 (2023.01)

(22) 申请日 2022.11.03

(30) 优先权数据

21207745.7 2021.11.11 EP

(71) 申请人 沃尔沃卡车集团

地址 瑞典, 哥德堡

(72) 发明人 塞缪尔·贾蒂 达维德·里齐

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限

责任公司 11219

专利代理师 车文 高伟

(51) Int. Cl.

F01N 3/20 (2006.01)

F01N 11/00 (2006.01)

F01N 13/00 (2010.01)

F02D 45/00 (2006.01)

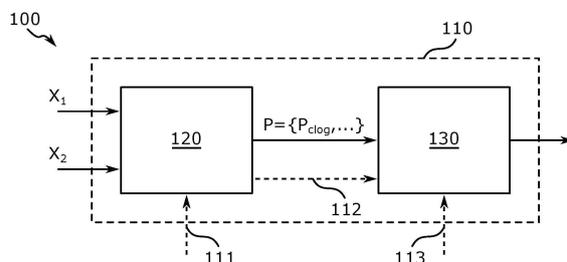
权利要求书2页 说明书14页 附图8页

(54) 发明名称

非侵入式还原剂喷射器堵塞检测

(57) 摘要

本申请涉及非侵入式还原剂喷射器堵塞检测。提供了用于确定还原剂(例如尿素)喷射器是否堵塞的计算机实现的方法(100)。该方法包括接收指示喷射器占空比 X_1 和泵占空比 X_2 的数据。使用经训练的机器学习模块(120),计算指示喷射器堵塞的概率的至少第一值(P_{clog})。该方法进一步包括基于第一值来提供还原剂喷射器是否堵塞的指示(I)。还提供了用于使用该方法提供指示的设备、计算机程序、还原剂喷射器系统以及例如包括这种还原剂喷射器系统的内燃发动机。



1. 一种用于确定还原剂喷射器是否堵塞的计算机实现的方法(100), 包括:

接收指示至少以下项的数据: i) 用于所述还原剂喷射器的喷射器占空比 (X_1), 和 ii) 用于向所述还原剂喷射器提供还原剂的泵的泵占空比 (X_2);

将所述数据作为输入提供给确定模块(110), 其中, 所述确定模块使用一种或多种机器学习算法(120), 所述一种或多种机器学习算法(120) 被训练成基于指示所述喷射器占空比和所述泵占空比的所述数据来推断至少包括指示所述还原剂喷射器堵塞的概率的第一值 (P_{clog}) 的一个或多个统计的集合 ($P = \{P_{clog}, \dots\}$), 以及

基于所述一个或多个统计来提供所述还原剂喷射器是否堵塞的指示(I)。

2. 根据权利要求1所述的方法, 其中:

所述确定模块至少部分地使用人工神经网络ANN来实现, 所述人工神经网络至少包括输入层、连接到所述输入层的隐藏层、以及连接到所述隐藏层的输出层, 并且

所述隐藏层或所述输出层包括用于提供所述第一值的至少一个神经元。

3. 根据权利要求2所述的方法, 其中:

所述输入层包括至少 $2N$ 个输入神经元,

N 个输入神经元的第一集合被配置为接收指示跨 N 个不同的第一时间实例的第一时间窗口采样的喷射器占空比的值, 并且

N 个输入神经元的第二集合被配置为接收指示跨 N 个不同的第二时间实例的第二时间窗口采样的泵占空比的值。

4. 根据权利要求3所述的方法, 其中:

所述第一时间窗口等于所述第二时间窗口, 并且

所有的所述第一时间实例和所述第二时间实例分开相同的时间差(dt)。

5. 根据权利要求1所述的方法, 其中:

提供所述还原剂喷射器被堵塞的指示包括确认满足一个或多个条件的全集 ($c = \{c_1, \dots\}$), 并且

所述一个或多个条件包括第一条件 (c_1), 所述第一条件 (c_1) 是: 对于至少一个时间实例, 所述第一值或应用于所述第一值的第一函数的值至少不低于第一阈值 (PT_{clog})。

6. 根据权利要求5所述的方法, 其中:

所述一个或多个统计进一步包括指示所述还原剂喷射器未堵塞的概率的第二值 (P_{good}), 并且

所述一个或多个条件进一步包括第二条件 (c_2), 所述第二条件 (c_2) 是: 对于所述至少一个时间实例, 所述第二值或应用于所述第二值的第二函数的值至少不高于第二阈值 (PT_{good})。

7. 根据权利要求5所述的方法, 其中:

所述一个或多个条件进一步包括第三条件, 所述第三条件是: 在所述至少一个时间实例之前的并且可选地还包括所述至少一个时间实例的至少第一时间段 (T_{en}) 期间, 向所述还原剂喷射器请求的请求质量流量 (MF_{req}) 和/或所述请求质量流量的时间平均值 (MF_{req_avg}) 至少尚未低于质量流量阈值 (MFT_{req})。

8. 根据权利要求5所述的方法, 其中:

所述一个或多个条件进一步包括第四条件, 所述第四条件是: 在所述至少一个时间实

例之前的并且可选地还包括所述至少一个时间实例的至少第二时间段(T_{vote})期间,所述一个或多个条件中的所有其它条件已经被满足的时间实例的计数(C_{clog})至少不低于第一投票阈值(CT_{clog}),并且

所述第二时间段至多延伸回到最后满足所述第四条件的时间实例。

9. 根据权利要求8所述的方法,其中:

所述第二时间段最多延伸回到以下时间实例中的最近的时间实例:所述第四条件最后被满足的时间实例,以及所述一个或多个条件中的所有所述其它条件尚未被满足的时间实例的计数(C_{good})最后至少不低于第二投票阈值(CT_{good})的时间实例。

10. 根据权利要求5所述的方法,其中:

所述一个或多个条件进一步包括第五条件,所述第五条件是:第二计数(C_{bucket})至少不低于第三投票阈值(CT_{bucket}),所述第二计数(C_{bucket})在所述一个或多个条件中的所有其它条件都已经满足的每个时间实例处被增加,并且在所述一个或多个条件中的所有其它条件尚未满足的每个时间实例处被减少。

11. 根据权利要求1所述的方法,其中:

所述一个或多个统计进一步包括指示所述还原剂喷射器仅部分堵塞的概率的至少一个附加值(P_{clog_p})。

12. 一种用于确定还原剂喷射器是否堵塞的设备,其包括处理电路,所述处理电路被配置为使得所述设备:

接收指示至少以下项的数据:i) 用于所述还原剂喷射器的喷射器占空比(X_1),和ii) 用于向所述还原剂喷射器提供还原剂的泵的泵占空比(X_2);

通过执行根据权利要求1所述的方法来生成所述还原剂喷射器是否堵塞的指示(I),并且

输出包括所述指示的信号。

13. 一种计算机可读介质,其包括用于确定还原剂喷射器是否堵塞的计算机程序,所述计算机程序包括计算机代码,当在设备的处理电路上运行时,所述计算机代码使得所述设备:

接收指示至少以下项的数据:i) 用于所述还原剂喷射器的喷射器占空比(X_1),和ii) 用于向所述还原剂喷射器提供还原剂的泵的泵占空比(X_2);

通过执行根据权利要求1所述的方法来生成所述还原剂喷射器是否堵塞的指示(I),以及

输出包括所述指示的信号。

14. 一种用于内燃发动机的还原剂喷射系统,包括:

还原剂喷射器,所述还原剂喷射器被配置为将还原剂喷射到所述发动机的排气系统中;

泵,所述泵被配置为向所述还原剂喷射器提供还原剂;

控制单元,所述控制单元被配置为控制用于所述还原剂喷射器的喷射器占空比(X_1)和用于所述泵的泵占空比(X_2),以及

根据权利要求13所述的用于确定所述还原剂喷射器是否堵塞的设备。

15. 一种内燃发动机,其包括根据权利要求14所述的还原剂喷射系统。

非侵入式还原剂喷射器堵塞检测

技术领域

[0001] 本公开涉及在内燃发动机的排气系统中使用的还原剂(例如尿素)喷射器领域。特别地,本公开涉及对这种还原剂喷射器的堵塞的检测。

背景技术

[0002] 为了满足地方/地区当局设定的排放标准,需要内燃发动机(特别是柴油驱动的发动机)的制造商设计其发动机和所伴随的排气系统,使得在发动机使用期间氮氧化物(NO_x)的排放低于一定的最大允许水平。为了实现这种目标,可以使用选择性催化还原(SCR),其中使用催化剂将不需要的NO_x分子转化为例如双原子氮(N₂)和水(H₂O)。为了提供用于这种方法的还原剂,普遍的选择是在废气中提供例如尿素(也称为碳酰胺)。由于废气的高温,尿素将热分解成氨和二氧化碳(CO₂),并且氨然后可以与NO_x分子反应以实现NO_x分子到例如氮气和水的上述期望转化。

[0003] 为了提供还原剂,还原剂剂量系统通常包括还原剂喷射器,该还原剂喷射器在SCR催化剂上游产生还原剂(例如尿素和水的混合物,也称为例如柴油机尾气处理液,DEF)到发动机排气系统中的喷雾。然而,由于还原剂的化学特性,晶体可能在喷射器周围(或内部)形成,并且导致还原剂喷射器的部分堵塞或完全堵塞。如果还原剂喷射器变得堵塞,则还原剂不能被适当地引入废气中,并且将不可能实现所期望的NO_x分子的还原。为了在发动机运行时仍满足排放标准,必须采取其它措施(例如强制减小发动机扭矩以减少SCR催化剂上游的NO_x分子的产生),从而导致例如发动机用户的整体体验的非期望的衰退。因此,希望能够检测还原剂喷射器是否堵塞,以便尽快执行还原剂喷射器的适当修复或甚至更换还原剂喷射器。

[0004] 然而,目前可用的用于检测例如尿素喷射器的堵塞的解决方案通常是侵入式的,并且需要例如在发动机运行的同时暂时偏离并且干扰对尿素的给料的正常策略。

发明内容

[0005] 为了至少部分地解决当前可用的用于对还原剂喷射器的堵塞的检测的方法的上述问题,本发明提供了一种用于确定还原剂喷射器是否堵塞的改进的(计算机实现的)方法、用于确定还原剂喷射器是否堵塞的改进的设备、用于确定还原剂喷射器是否堵塞的改进的计算机程序、用于内燃发动机的改进的还原剂喷射系统以及改进的内燃发动机。其它方面还提供了一种用于内燃发动机的改进的排气系统、以及一种改进的车辆。

[0006] 根据本公开的第一方面,提供了一种用于确定还原剂喷射器是否堵塞的计算机实现的方法。该方法包括接收数据。该数据至少指示i)用于还原剂喷射器的喷射器占空比和ii)用于向还原剂喷射器提供还原剂的泵的泵占空比。该方法还包括将所述数据作为输入提供给确定模块。该确定模块实现一种或多种机器学习算法。该一种或多种机器学习算法被训练成基于指示喷射器占空比和泵占空比的所述数据来推断一个或多个统计。所述一个或多个统计至少包括第一值。该第一值指示还原剂喷射器堵塞的概率。该方法进一步包括

基于所述一个或多个统计(即,至少基于第一值)来提供还原剂喷射器是否堵塞的指示。

[0007] 根据第一方面的方法的本公开对现有技术的改进在于所提出的方法是被动的,即,它不会主动干扰为排放控制提供的正常给料策略和命令。另外,所提出的方法也能够是在发动机运行的同时连续地运行,因为其依赖于连续可用的几个信号(即,喷射器占空比和泵占空比),因此,运行该方法所需的启用条件不那么严格。除了能够沿着正常给料策略连续地运行之外,所提出的方法还允许检测还原剂喷射器的内部堵塞(例如,针周围的堵塞)和外部堵塞,因为这两种类型的堵塞都将影响被提供给确定模块的数据。

[0008] 如本文中所使用的,术语“还原剂”被设想为包括流体/液体形式的任何物质、分子或其混合物,其可以被喷射到内燃发动机的排气系统中,以便减少在运行时从内燃发动机释放到环境中的NO_x分子的量。例如,设想的还原剂是尿素,或者例如尿素和例如水的混合物,例如在DEF或例如AUS32中发现的,并且还例如作为“AdBlue”销售。还可以设想,使用还原剂喷射器喷射的还原剂例如是氨或类似物。

[0009] 在该方法的一个或多个实施例中,所述确定模块可以至少部分地使用人工神经网络(ANN)来实现。该ANN可以至少包括输入层、连接到该输入层的隐藏层、以及连接到该隐藏层的输出层。该隐藏层或输出层可以包括用于提供第一值的至少一个神经元。

[0010] 在该方法的一个或多个实施例中,该输入层可以包括至少2N个输入神经元。N个输入神经元的第一集合可以被配置为接收指示跨N个不同的第一时间索引的第一时间窗口采样的喷射器占空比的值。N个输入神经元的第二集合可以被配置为接收指示跨N个不同的第二时间实例的第二时间窗口采样的泵占空比的值。

[0011] 在该方法的一个或多个实施例中,第一时间窗口可以等于第二时间窗口。所有的第一时间实例和第二时间实例可以分开相同的时间差。

[0012] 在该方法的一个或多个实施例中,提供还原剂喷射器堵塞的指示可以包括确认满足一个或多个条件的全集。该一个或多个条件可以包括第一条件。该第一条件可以是:对于至少一个时间实例,第一值或应用于第一值的第一函数的值至少不低于第一阈值。在本文中,特定值“至少不低于特定阈值”能够通过确认该特定值高于特定阈值和/或通过验证该特定值等于特定阈值来验证。

[0013] 在该方法的一个或多个实施例中,第一函数可以包括将低通滤波应用于第一值。这可以有用于在输入数据中存在的最终噪声有机会影响由该方法执行的判定前过滤掉这样的噪声。

[0014] 在该方法的一个或多个实施例中,所述第一条件可以进一步包括:对于第一多个后续时间实例中的每一个,第一值或应用于第一值的第一函数的值等于或超过第一阈值。

[0015] 在该方法的一个或多个实施例中,所述一个或多个统计可以进一步包括第二值。该第二值可以指示还原剂喷射器未堵塞的概率。所述一个或多个条件可以进一步包括第二条件,该第二条件是:对于至少一个时间实例,第二值或应用于第二值的第二函数的值至少不高于第二阈值。

[0016] 在该方法的一个或多个实施例中,第二函数可以包括将低通滤波应用于第二值。与第一值一样,对第二值的滤波可以使得该方法的判定较少依赖于所述输入数据信号中的最终噪声。

[0017] 在该方法的一个或多个实施例中,第二条件可以进一步包括:对于第二多个后续

时间实例中的每一个,第二值或应用于第二值的第二函数的值等于或超过第二阈值。

[0018] 在该方法的一个或多个实施例中,所述一个或多个条件可以进一步包括第三条件,该第三条件是:在至少一个时间实例之前并且可选地还包括该至少一个时间实例的至少第一时间段期间,向还原剂喷射器请求的请求质量流量和/或该请求质量流量的时间平均值至少尚未低于质量流量阈值。

[0019] 在该方法的一个或多个实施例中,所述一个或多个条件可以进一步包括第四条件,该第四条件是:在该至少一个时间时刻之前并且可选地还包括该至少一个时间实例的至少第二时间段期间,已经满足一个或多个条件中的所有其它条件的时间实例的计数至少不低于第一投票阈值。在一些实施例中,第二时间段可以最多延伸回到最后满足第四条件的时间实例。

[0020] 在该方法的一个或多个实施例中,第二时间段可以最多延伸回到以下时间实例中的最近的时间实例:第四条件最后被满足的时间实例,以及所述一个或多个条件中的所有其它条件尚未被满足的时间实例的计数最后至少不低于第二投票阈值的时间实例。

[0021] 在该方法的一个或多个实施例中,所述一个或多个条件可以进一步包括第五条件,该第五条件是:(第二)计数至少不低于第三投票阈值,该(第二)计数在所述一个或多个条件中的所有其它条件都已经满足的每个时间实例处被增加并且在所述一个或多个条件中的所有其它条件都未满足的每个时间实例处被减小。

[0022] 在该方法的一个或多个实施例中,所述一个或多个统计可以进一步包括指示还原剂喷射器仅部分堵塞的概率的至少一个附加值。

[0023] 根据本公开的第二方面,提供了一种用于确定还原剂喷射器是否堵塞的设备。该设备包括处理电路。该处理电路被配置为使得该设备接收指示至少以下项的数据:i)用于还原剂喷射器的喷射器占空比,和ii)用于向还原剂喷射器提供还原剂的泵的泵占空比。该处理电路还被配置为通过执行根据第一方面的方法来生成还原剂喷射器是否堵塞的指示。该处理电路还被配置为输出包括该指示的信号。

[0024] 根据本公开的第三方面,提供了一种用于确定还原剂喷射器是否堵塞的计算机程序。该计算机程序包括计算机代码,当在设备的处理电路上运行时,该计算机代码使该设备接收指示至少以下项的数据:i)用于还原剂喷射器的喷射器占空比,和ii)用于向还原剂喷射器提供还原剂的泵的泵占空比。还(由在该设备的处理电路上运行的计算机代码)使得该设备通过执行根据第一方面的方法来生成还原剂喷射器是否堵塞的指示,并且输出包括该指示的信号。

[0025] 根据本公开的第四方面,提供了一种用于内燃发动机(的排气系统)的还原剂喷射系统。该系统包括被配置为将还原剂喷射到排气系统中的还原剂喷射器。该系统还包括泵,该泵被配置为向还原剂喷射器提供还原剂。该系统还包括控制单元,该控制单元被配置为控制用于还原剂喷射器的喷射器占空比和用于泵的泵占空比。该系统还包括根据第二方面的用于确定还原剂喷射器是否堵塞的设备。

[0026] 在还原剂喷射系统的一个或多个实施例中,该设备可以被实现为控制单元的一部分,反之亦然。

[0027] 根据本公开的第五方面,提供了一种用于内燃发动机的排气系统。该排气系统包括根据第四方面的还原剂喷射系统。

[0028] 根据本公开的第六方面,提供了一种内燃发动机。该内燃发动机包括根据第四方面的还原剂喷射系统和/或根据第五方面的排气系统。

[0029] 根据本公开的第七方面,提供了一种车辆。该车辆包括内燃发动机和根据第五方面的排气系统。

[0030] 从以下详细描述、附图和权利要求书中,本公开的其它目的和优点将变得明显。在本公开的范围,设想参考例如第一方面的方法描述的所有特征和优点与参考第二方面的设备、第三方面的计算机程序、第四方面的还原剂喷射系统、第五方面的排气系统、第六方面的内燃发动机和第七方面的车辆描述的任何特征和优点相关,适用于所述任何特征和优点,并且还可以与所述任何特征和优点组合使用,反之亦然。

附图说明

[0031] 现在将在下面参考附图来描述示例性实施例,在附图中:

[0032] 图1A至图1G示意性地图示了根据本公开的方法的各种实施例的流程图;

[0033] 图2示意性地图示了根据本公开的机器学习模块的实施方式的实施例;

[0034] 图3A至图3C示意性地图示了来自被执行以验证本公开的方法的功能的各种测试运行的数据;

[0035] 图4示意性地图示了根据本公开的设备实施例,并且

[0036] 图5示意性地图示了根据本公开的还原剂(例如尿素)喷射系统、排气系统和内燃发动机的实施例。

[0037] 在附图中,相同的附图标记将用于相同的元件,除非另有说明。除非明确地相反陈述,否则附图仅示出了说明示例实施例所必需的这样的元件,而为了清楚起见,可以省略或仅建议其它元件。如图中所示,为了说明的目的,一些元件和区域的(绝对或相对)尺寸相对于它们的真实值可能被夸大或低估,并因此被提供以图示实施例的总体结构。

具体实施方式

[0038] 现在将在下文中参照附图更全面地描述根据本公开的所设想的方法、设备、计算机程序、还原剂喷射系统、排气系统、内燃发动机和车辆的示例性实施例。附图示出了当前优选的实施例,但本发明可以以许多不同的形式实施,且不应被解释为限于本文中阐述的实施例;相反,这些实施例是为了彻底性和完整性而提供的,并且向技术人员充分传达本公开的范围。

[0039] 如本文中前面所述,可以设想,“还原剂”可以是例如尿素(或者尿素和例如水的混合物)。尽管还设想还原剂可以是其它物质,例如氨,但尿素将在下文中(仅出于示例性原因)被用作还原剂的示例。为此,术语“还原剂”和“尿素”将互换地使用。类似地,术语“还原剂/尿素喷射器”和仅“喷射器”也将互换地使用。

[0040] 图1A示意性地图示了根据本公开的一个实施例的计算机实现的方法100的流程图。在下文中,将假设该实施例和其它实施例将仅涉及计算机实现的方法,并且在下文中,这种计算机实现的方法将被简单地称为“方法”。

[0041] 方法100包括确定模块110,该确定模块110被配置为确定还原剂/尿素喷射器是否堵塞。为此,确定模块110包括机器学习模块120,该机器学习模块120实现一种或多种机器

学习算法,并且接收至少指示用于喷射器的喷射器占空比 X_1 的数据和指示用于向喷射器提供尿素的泵的泵占空比 X_2 的数据作为其输入。当然,在该实施例或其它实施例中,可选地也可以是提供给机器学习模块120的其它附加输入数据111。如本文中稍后将更详细地描述的,机器学习模块120已经被训练以至少基于输入数据 X_1 和 X_2 (并且在一些实施例中基于可选的输入数据111)推断一个或多个统计的集合 $P = \{P_{clog}, \dots\}$ 。该集合 P 至少包括第一值(或统计) P_{clog} ,其指示喷射器堵塞的概率。例如,在适当缩放之后,值 P_{clog} 可以假定在0和1之间的一个十进制值,其中,例如,0表示喷射器堵塞的估计概率为0%,其中,0.5表示喷射器堵塞的估计概率为50%,并且其中,1表示喷射器堵塞的估计概率为100%。当然也可以对集合 P 的值进行其它缩放。当然,在本实施例或其它实施例中,机器学习模块120也可以可选地输出附加输出数据112。

[0042] 来自机器学习模块110的输出(至少包括集合 P ,可选地还包括可选的附加输出数据112)被提供给判定模块130,该判定模块130基于集合 P (包括第一值 P_{clog})来做出喷射器是否堵塞的判定,并且输出指示所做出的判定的信号 I 。例如,如果由判定模块130判定喷射器堵塞,则信号 I 可以对应于逻辑“1”,而如果判定是喷射器未堵塞,则信号 I 可以替代地对应于逻辑“0”或例如对应于未确定状态。当然,信号 I 的确切形式并不重要,只要信号 I 包含足够的信息以便从中推断由判定模块130做出的判定即可。该信号 I 可以是模拟信号、数字信号或类似信号。为了做出其判定,判定模块130还可以在该实施例或其它实施例中可选地接收和使用附加输入数据113。

[0043] 输入数据 X_1 和 X_2 优选被提供为分别在离散时间实例 t_i 处获取的真实喷射器占空比和泵占空比的样本,其中, i 是对应于特定样本的整数,并且使得 $X_1(i) = X_1(t = t_i)$ 并且 $X_2(j) = X_2(t = t_j)$ 。在一些实施例中,所有时间实例在时间上是等距的。在其它实施例中,设想时间实例之间的时间间隔可以不同。对于喷射器占空比和泵占空比二者,时间实例优选是相同的,但也可以设想:例如,在不同于泵占空比的时间实例的时间实例处提供用于喷射器占空比的数据。例如,对于两个占空比,随后的时间实例之间的时间可以是相同的,但是例如喷射器占空比的时间实例可以将泵占空比的时间实例滞后固定的量,反之亦然。在其它实施例中,例如可以使得一个占空比比另一个更高或更低的频率被采样等。在任何情况下,设想机器学习模块120和对应的(多个)机器学习算法优选使用以与方法100将操作的实际实时数据相同的方式采样的训练数据来训练。

[0044] 在下文中,将假设所有信号在离散时间实例处被采样。

[0045] 判定模块130

[0046] 图1B示意性地图示了方法100的一个实施例的流程图。这里,图1A所示的判定模块130通过检查第一条件 c_1 来实现,该第一条件 c_1 对应于至少不低于第一阈值 PT_{clog} 的值 P_{clog} 。如果满足该条件 c_1 (即,如果 $P_{clog} \geq PT_{clog}$),则 $c_1 = 1$ (或“真”)。否则, $c_1 = 0$ (或“假”)。指示 I 等于 c_1 的值,使得仅在 $P_{clog} \geq PT_{clog}$ 的情况下指示喷射器堵塞。通过引入和比较第一阈值 PT_{clog} ,能够使指示更有用且更可靠,因为它要求机器学习模块120做出的概率猜测的确定性达到某一最低水平。

[0047] 图1C示意性地图示了图1B所示的方法100的进一步设想的开发的流程图。在图1C中,除了 P_{clog} 之外,机器学习模块120还输出第二值(或统计) P_{good} ,该第二值 P_{good} 指示喷射器未堵塞的估计概率。因此,机器学习模块120作为分类器工作,该分类器试图将喷射器的状

态分类为“堵塞”或“未堵塞”(或“良好”),并且该分类器提供喷射器属于任一类别的估计概率。与图1B中所示的方法100(其中仅使用单个类别(“堵塞”))相比,这可以增强来自机器学习模块120的输出的可靠性,因为能够进一步检查估计是否合理,即,通过比较机器学习模块120没有指示喷射器可能同时是两个类别的成员来进行。如图1C所示,这可以通过也将第二值 P_{good} 与第二阈值 PT_{good} 进行比较来实现,并且确保在确定喷射器堵塞之前需要满足至少对应于不高于第二阈值的 P_{good} 的第二条件。这通过使用确认模块131来获得,该确认模块131考虑所有输入 c_1 和 c_2 ,并且仅在 c_1 和 c_2 都为真的情况下才输出正信号(即“堵塞”)。例如,确认模块131可以是AND(与)逻辑门的形式,即输出 $c_1 \wedge c_2$ 。如果机器学习模块120提供 P_{clog} 是高并且 P_{good} 是低,则可以以更高的置信度判定喷射器实际上堵塞($I=1$),因为首先需要满足条件 $P_{clog} \geq PT_{clog}$ 并且 $P_{good} < PT_{good}$ 两者。同样,如果来自机器学习模块120的输出 P_{clog} 低并且 P_{good} 高,则可以以更高的置信度来判定喷射器不堵塞($I=1$),因为既不满足 $P_{clog} \geq PT_{clog}$ 也不满足 $P_{good} < PT_{good}$ 。然而,如果机器学习模块120用于输出例如两者 P_{clog} 和 P_{good} 都是高,则结果是非确定性的,并且,即使仍然满足 $P_{clog} \geq PT_{clog}$,但由于未同时满足 $P_{good} < PT_{good}$ 等,这两个类别以及这两个阈值的使用将防止输出 I 为1(真)。

[0048] 图1D和图1E示意性地图示了图1B和1C中所示的方法100的进一步设想开发的流程图。

[0049] 在图1D中,机器学习模块120使用与图1B中相同的单个类别“堵塞”,但是第一条件 c_1 由附加的第三条件 c_3 补充,该第三条件 c_3 也必须在指示 I 变为肯定之前被满足。第一条件 c_1 和第三条件 c_3 都被提供给确认模块131,该确认模块131仅在 c_1 和 c_3 都为真(即 $I=c_1 \wedge c_3$)时才输出肯定指示 I 。这里,第三条件 c_3 基于以用于喷射器的请求质量流量 MF_{req} 的形式(如由负责喷射器的正常操作的控制系统请求,并且例如以克/秒为单位测量)以及质量流量阈值 MFT_{req} 的形式提供给判定模块130的附加输入数据113。对于每个时间实例,将检查 MF_{req} 是否至少不低于阈值 MFT_{req} 。定时器模块132然后检查在第一时间段 T_{en} (其在当前时间实例之前并且可能还包括当前时间实例)期间的值 MF_{req} 是否总是至少低于 MFT_{req} 。如果定时器模块132发现这是真,则其输出 c_3 是真。如果在时间间隔 T_{en} 期间的一个或多个时间实例处定时器模块132发现 MF_{req} 已经低于 MFT_{req} ,则其替代地输出负值 c_3 。第一时间段 T_{en} 例如可以是滚动时间段,包括例如当前时间实例和先前时间实例 M_1 ,或类似的。其它实施例可以包括例如替代地检查(在第一时间段 T_{en} 内获取的)(滚动)时间平均值 MF_{reqavg} (而不是仅 MF_{req} 的单个实例)在 T_{en} 期间的任何点是否已经至少不低于 MFT_{req} ,并且如果满足该条件则输出 c_3 为真,否则输出 c_3 为假。将向喷射器请求的质量流量的历史包括作为附加条件可以进一步有助于增加该方法所输出的最终判定(即指示 I)的可靠性。例如,如果在最近的时间间隔内几乎没有向喷射器请求的质量流量,则喷射器的打开时间(即,占空比)可能非常低,使得难以区分喷射器是堵塞还是仅仅没有打开足够长的时间而对例如泵占空比或类似占空比有明显影响。可以相应地选择阈值 MFT_{req} ,使得能够检测到在最后时间间隔期间的低(或甚至缺乏)所请求的质量流量。在一个示例实施例中,所请求的最小质量流量例如可以是 $MFT_{req}=0.5$ 克/秒。当然,设想也可以使用其它阈值,这取决于例如发动机、排气系统、所使用的还原剂的类型等的确切配置和尺寸测量。还应注意,在本文中,认为指示 I 的“正”值(例如“1”或“高”)对应于喷射器堵塞。当然,也可能重新配置例如判定模块130,使得当喷射器堵塞时指示 I 可替代地为“负”(例如“0”或“低”)。这也适用于例如机器学习模块120,其中例如神经网络也能

够被训练成使得低输出值对应于高概率,反之亦然,并且其中可以重新配置判定模块130以相应地适配指示I。换句话说,重要的是,当喷射器从未堵塞变为堵塞时,指示I以某种方式改变其值,反之亦然,使得这种改变能够用于例如向操作者、驾驶员等表明喷射器的堵塞条件已经改变。

[0050] 在图1E中,原理与图1D相同,但也考虑了第二类别(“未堵塞”或“良好”),如本文中前面参考图1C所解释的。确认模块131接收所有 c_1 、 c_2 和 c_3 ,并且仅在所有条件均为真(即, $I = c_1 \wedge (c_2 \wedge c_3)$)的情况下才输出肯定指示I。代替在判定喷射器堵塞之前仅需要 c_1 和 c_3 是真,添加附加条件 c_2 还能够提高由方法100做出的判定的可靠性,特别是因为它防止了例如当 P_{clog} 和 P_{good} 二者都高时的不确定情况导致“喷射器堵塞”的判定。

[0051] 在图1B至图1E中所示的所有方法100的共同点是,在做出判定之前总是对照阈值 PT_{clog} (第一条件 c_1)检查该值 P_{clog} 。这通过要求机器学习模块120在做出关于I的判定之前所做出的估计的最小确定性来帮助提高可靠性。在图1C和图1E所示的方法100中,添加进一步的条件 c_2 ,其中要求机器学习模块120首先还计算喷射器未堵塞的概率 P_{good} ,并且确保在判定喷射器堵塞之前 P_{clog} 和 P_{good} 同时都不高。最后,在图1D和图1E所示的方法100中,还添加了附加条件 c_3 ,从而要求:为了判定喷射器被堵塞,在直到当前时间的特定时间内,向喷射器请求的请求质量流量(或至少这种请求质量流量的平均值)必须已超过特定阈值。

[0052] 图1F和图1G示意性地示出了图1D和图1F的方法100的进一步设想开发的流程图。

[0053] 在图1F中,机器学习模块120使用单一类别“堵塞”,结合对向喷射器所请求的质量流量的历史的要求。换句话说,上述条件 c_1 和 c_3 (但不是 c_2)都被使用和检查。另外,图1F所示的方法100还增加了第四条件 c_4 ,该条件 c_4 包括可以如下解释的所谓的“投票条件”。在特定的在前的第二时间段 T_{vote} 期间,投票定时器模块133检查来自确认模块131的输出已经有多少次是正确的。也就是说,投票定时器模块133在第二时间段 T_{vote} 期间保持先前时间实例的数量的计数 C_{clog} ,在该第二时间段 T_{vote} , c_1 和 c_3 二者已经同时为真。如果在第二时间段 T_{vote} 期间判定了计数 C_{clog} 至少不低于第一投票阈值 CT_{clog} (即,例如判定为 $C_{clog} \geq CT_{clog}$),则来自投票定时器模块133的输出被设置为真。然后能够重置计数 C_{clog} ,并且能够启动新的第二时间段 T_{vote} 。同样,如果在整个第二时间段 T_{vote} 期间计数 C_{clog} 保持低于第一投票阈值 CT_{clog} ,则输出 c_4 被设置为假,并且计数 C_{clog} 被重置,并且新的第二时间段 T_{vote} 开始。在第二时间段 T_{vote} 结束之后,可以设想,例如,在新的第二时间段 T_{vote} 结束时进行新判定之前,条件 c_4 保持与先前的第二时间段相同。通过以这种方式重新开始第二时间段 T_{vote} ,能够查明第二时间段 T_{vote} 在时间上没有比最后一次满足条件 c_4 并且被设置为真更进一步地延长。

[0054] 通过使用上述“投票系统”,能够提高方法100的可靠性,因为在该方法的状态(即指示I)可以改变以指示喷射器堵塞之前的某个时间间隔期间,需要来自确认模块131的几个相等的输出。这防止了例如来自确认模块131的单个错误输出对结果产生重大影响。同样,通过在投票过程开始之前仅等待特定的第二时间段 T_{vote} ,在稍后时间发生的检测器的潜在“未堵塞”也能够被方法100拾取,并且相应地改变指示I。这里,该指示I由确认模块131提供,从而检查所有条件 c_1 、 c_3 和 c_4 是否均为真,即,使得 $I = (c_1 \wedge (c_3 \wedge c_4))$ 。

[0055] 图1G图示了其中机器学习模块120使用两个类别“堵塞”和“未堵塞”(或“良好”)的方法100的实施例。如图1F中所示,投票定时器模块133在第二时间段 T_{vote} 期间保持所有条件 c_1 、 c_2 和 c_3 已经同时为真的时间实例的数目的计数 C_{clog} (即,来自确认模块131的输出为真

的次数)。在一些实施例中,投票定时器模块133还可以正好如图1F中所示地表现,并且如果 C_{clog} 在整个第二时间段 T_{vote} 期间不保持低于 CT_{clog} ,则输出 c_4 为真。

[0056] 然而,在一些实施例中,投票定时器模块133还可以在第二时间段 T_{vote} 期间保持条件 c_1 、 c_2 和 c_3 未能同时为真的时间实例的数量的第二计数 C_{good} (即,来自确认模块131的输出为假的次数)。如果在第二时间段 T_{vote} 期间判定第二计数 C_{good} 至少低于第二投票阈值 CT_{good} ,则计数器 C_{clog} 和 C_{good} 可以被复位并且开始新的第二时间段 T_{vote} 。通过这样做,这使得满足条件 c_4 变得更困难,因为计数器 C_{clog} 可能比它原本更早地被重置(即在第二时间段 T_{vote} 过去之前)。这可以进一步增强来自方法100的输出的可靠性,因为在所有条件 c_1 、 c_2 和 c_3 未被同时满足的情况下发生的次数较多可能表明方法100的较高不确定水平。换句话说,在如图1G所示和参照图1G所描述的投票系统中,在来自确认模块131的正输出的数量 C_{clog} 和来自确认模块131的负输出的数量 C_{good} 之间存在持续的竞争,并且来自确认模块131的正输出的数量 C_{clog} 必须足够快地增加以在第二时间段 T_{vote} 期间达到其阈值 CT_{clog} ,以便判定喷射器堵塞。利用如图1G所示的投票系统,可以设置第二时间段 T_{vote} ,使得该第二时间段 T_{vote} 在时间上不会比以下各项最后时间中的最近的时间进一步向后延伸:设置 c_4 为真的最后时间,和计数 C_{good} 至少不低于第二投票阈值 CT_{good} 的最后时间。

[0057] 在方法100的另一个设想的实施例中,例如图1G中所示,投票定时器模块133可以替代地如下工作。使用单个计数 C_{bucket} ,而不是两个计数 C_{clog} 和 C_{good} 。对于来自确认模块131的输出每次为正时,增加单个计数 C_{bucket} 。同样,对于来自确认模块131的输出每次为负时,则减少单个计数 C_{bucket} 。为了使第四条件 c_4 为真,单个计数 C_{bucket} 必须至少不低于第三投票阈值 CT_{bucket} 。这种条件可以替代地被认为是第五条件 c_5 ,其能够被提供以替代第四条件 c_4 。这表示所谓的“漏桶”投票算法,其中来自确认模块131的大序列的正输出需要来自确认模块131的大序列的负输出,以便第五条件 c_5 (或第四条件 c_4)从真变为假,反之亦然。可以设想,计数 C_{bucket} 是有限的,使得它不能低于下限(诸如 CT_{min} ,例如零),并且使得它不能超过上限(例如 CT_{max})。在其它实施例中,可以设想没有这样的限制,使得计数 C_{bucket} 总是表示来自确认模块131的正输出数和来自确认模块131的负输出数之间的差。利用漏桶算法,可能例如不需要使用执行计数的任何特定时间段。然后投票定时器模块133可以仅被称为“投票模块”133,因为不一定存在计算其结果所涉及的任何先前时间段。

[0058] 图1F和图1G所示的所有方法100的共同点是使用投票系统,上面已经解释了投票系统的益处。应当注意,尽管例如图1F和图1G都示出了包括所请求的质量流量的历史(经由定时器模块132),但是设想在方法100的一些实施例中,与所请求的质量流量相关的所有事物(包括使用第三条件 c_3)可以是可选的,并且不形成如图1F和图1G所示的方法100的一部分。

[0059] 虽然在本文中的任何图中没有具体示出,但也可以设想机器学习模块120被配置为使用比只有单个类别(“堵塞”)更多的类别,或者比只有两个类别(“堵塞”以及“未堵塞”或“良好”)更多的类别。例如,设想也可以存在仅“部分堵塞”的喷射器的类别,其中在由机器学习模块120基于输入数据 X_1 和 X_2 推断的统计的集合P中提供的对应值 P_{clogp} 。例如,可以存在对应于估计喷射器被“25%堵塞”的一个类别,对应于“50%堵塞”另一类别,对应于“75%堵塞”的又一个类别等。具有也用于“部分地堵塞的”喷射器的类别能够是有益的,因为其可以被用于例如控制尿素向喷射器的供应。例如,如果确定了喷射器被“25%堵塞”,则

这可以通过控制系统增加尿素向喷射器的质量流量或类似方式来补偿。如果具有这样的附加类别,当然可以设想的是,需要满足的各种条件相应地改变。

[0060] 机器学习模块120

[0061] 如本文中各实施例中所设想的,机器学习模块120例如不仅可以在 X_1 和 x_2 的最近时间实例样本上操作,而且还可以考虑每个占空比的历史。例如,如果使用两个类别,其中 $p_1(I)$ 指示喷射器在时间实例 i 处属于第一类别的估计概率并且其中 p_2I 指示喷射器在时间实例 i 处属于第二类别的估计概率,则机器学习模块120的输出能够被如下公式化:

$$[0062] \quad [p_1(I), P_2(i)] = F[X_1(i), X_1(i-1), \dots, X_1(i-L_1); X_2(i), X_2(i-1), \dots, X_2(i-L_2)], \# (1)$$

[0063] 其中, L_1 和 L_2 是占空比 X_1 和 X_2 中的每一个考虑的历史时间实例的数量。例如可以假设 $L_1=L_2=L$,但也可以如本文中前面所述假设 $L_1 \neq L_2$ 。因此,机器学习模块120还可以依赖于变量 X_1 和 X_2 的历史值,而不仅依赖于占空比的最新可用样本。

[0064] 如果仅使用例如单个类别,则可以设想来自机器学习模块120的输出仅仅是 $P_1(i)$ 。如果使用两个以上的类别,则来自机器学习模块120的输出可以替代地是 $[P_1(i), P_2(i), \dots, P_Q(i)]$,其中 Q 是指示所使用的类别的总数的整数。如本文中所使用的,第一类别可以对应于喷射器堵塞,例如,使得 $P_1(i) = P_{\text{clog}}(i)$ 。同样,第二类别可以对应于喷射器未堵塞,例如,使得 $P_2(i) = P_{\text{good}}(i)$ 。当然,只要在所有执行的操作和计算之间保持一致性,各个类别的精确编号就无关紧要。

[0065] 在机器学习模型120的其它实施例中,可以使用回归来替代分类。在这种情况下,可能不存在特定类别,而是与喷射器的堵塞的估计水平相对应的单个输出 $P(i)$ 。例如,在适当缩放之后, $P(i) = 0.5$ 的估计可以例如对应于喷射器被50%堵塞(如由机器学习模块120所估计),而 $P(i) = 0.1$ 可以对应于喷射器被10%堵塞,等等。由于其简单性和模拟性质,这种方法可能是所希望的。

[0066] 如本文中所述设想的,机器学习模块120可以实现任何特定类型的(多个)机器学习算法,只要这样的(多个)算法能够被训练并且适合于提供如上所述的分类概率 $P_1(i), P_2(i), \dots$ 或模拟值 $P(i)$ 。算法的示例可以例如是人工神经网络(ANN),其通常包括例如多层感知器(MLP),但是也可以是来自机器学习技术领域的其它示例,例如支持向量机(SVM)、决策树、随机森林和长短期记忆神经网络(LSTM)等。

[0067] 参照图2,现在将使用MLP形式的ANN作为合适的示例机器学习算法来更详细地描述如本文中所述设想的机器学习模块120的示例实施例。

[0068] 图2示意性地图示了作为由机器学习模块120实现的机器学习算法的实施例的示例的MLP200形式的ANN。在该特定示例中,MLP200被配置为具有输入层210、隐藏层220和输出层230。在每个时间实例 t_j 处,给MLP200的输入信号是由喷射器占空比 X_1 和泵占空比 X_2 二者中的每一个的最后 N 个样本所形成的信号,即

$$[0069] \quad x_j = [X_1(j), X_1(j-1), \dots, X_1(j-N+1), X_2(j), X_2(j-1), \dots, X_2(j-N+1)]$$

[0070] 其中,如本文中前面所描述的, $X_1(j) = X_1(t=t_j)$ 例如对应于在时间实例 t_j 处获取的信号 X_1 的特定样本。通过使用每个占空比的最近 N 个样本,能够说所使用的时间窗口的大小是 N 。输入层包括总共 $N^I = 2N$ 个输入神经元211,被划分为 N 个输入神经元的第二组212和也是 N 个输入神经元的第二组213。输入神经元的第二组212接收输入信号 x_j 的第一 N 个样本

$[X_1(j), \dots, X_1(j-N+1)]$, 而输入神经元的第二组213接收输入信号 x_j 的其余 N 个样本 $[X_2(j), \dots, X_2(j-N+1)]$ 。每个第 i 个输入神经元211的输出 Z_i^l 与其输入相同, 即, $Z_i^l = x_j(i)$, 其中, $x_j(i)$ 是向量 x_j 的第 i 个元素。

[0071] 隐藏层220包括总共 N^h 个隐藏神经元221。输入层210和隐藏层220完全连接, 即, 使得每个输入神经元211形成到每个隐藏神经元221的连接214。特定第 i 个输入神经元221和对应的第 h 个隐藏神经元221之间的每个这样的连接被表示为 $w_{i,h}^1$, 并且对应于该连接的特定权重。

[0072] 来自每个第 h 个隐藏神经元221的输出 Z_h^H 能够被写为:

$$[0073] \quad Z_h^H = \sigma^H(\sum_{i=1}^{N^l} w_{h,i}^1 Z_i^l + b^H)$$

[0074] 其中, σ^H 是隐藏神经元221中使用的(非线性)激活函数, 并且其中 b^H 是偏置项。针对隐藏神经元221, 激活函数 σ^H 例如可以是以下形式的整流线性单元(ReLU):

$$[0075] \quad \sigma^H(x) = \max(0, x)$$

[0076] 输出层230包括总共 N^o 个输出神经元231。输出神经元231与隐藏神经元221完全连接, 使得每个隐藏神经元221形成到每个输出神经元231的连接222。特定第 h 个输入神经元221和对应的第 o 个隐藏神经元221之间的每个这样的连接被表示为 $w_{h,o}^2$, 并且对应于该连接的特定权重。

[0077] 来自每一个第 o 个输出神经元231的输出 Z_o^O 能够被写为:

$$[0078] \quad Z_o^O = \sigma^O(\sum_{h=1}^{N^H} w_{o,h}^2 Z_h^H + b^O)$$

[0079] 其中, σ^O 是用于输出神经元231的(非线性)激活函数, 并且其中 b^O 是偏置项。对于输出神经元231, 激活函数 σ^O 例如可以是以下形式的Sigmoid函数:

$$[0080] \quad \sigma^O(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

[0081] 如果使用分类器作为输出, 则每个输出 Z_o^O 可以例如对应于相应的分类器 Y_o 。如本文中设想的, 这种分类器 Y_o 可以对应于喷射器属于第 o 类别的估计概率 P_o (例如, P_{clog} 、 P_{good} 等)。

[0082] MLP 200能够使用已知的反向传播方法来训练, 使用例如基于梯度下降的亚当优化器和均方误差(MSE)作为误差函数。还设想还可以存在不止一个隐藏层, 例如两个隐藏层, 三个隐藏层或更多, 每个隐藏层包括 N^{Hk} 个隐藏神经元, 其中 k 是隐藏层的数目。

[0083] 生成训练数据

[0084] 现在将更详细地描述获得适于训练本文中所设想的机器学习模块120的数据的示例性方式。

[0085] 选择图2所示的MLP200的拓扑, 使得其中存在 $N^l = 20$ 个输入神经元211、 $N^h = 5$ 个隐藏神经元221并且 $N^o = 2$ 个输出神经元231。因此, MLP 200被配置为对每个输入占空比信号 X_1 和 X_2 使用10个样本的时间窗口和总共两个类别(对应于“堵塞”以及“未堵塞”或“良好”)。

[0086] 使用用于尿素剂量测试的实验室发动机台设置, 其中(柴油)发动机可以使用排气系统中已知的堵塞喷射器和已知的非堵塞喷射器两者来运行。对于每种类型的喷射器, 发

动机运行总共五个全球统一瞬态试验循环 (WHTC) 和总共一个服务中一致性循环 (In-Service Conformity Cycle) (ISC)。在运行时,使用100毫秒 (ms) 的恒定采样速率记录数据,即,使得采样的时间实例被定义为 $t_j = t_0 + j * 0.1$ 秒,其中, t_0 是信号采样的开始时间。从记录的数据中提取两个信号:喷射器控制占空比 X_1 和泵控制占空比 X_2 。在要求尿素加料系统在正常操作条件(即运行状态)下运行的同时提取这两个信号,并且从排放策略所请求的尿素的质量流量至少高于预定义阈值。在该特定示例中,预定义阈值为0.5克/秒 (g/s)。然后将采样数据串联以形成二维矩阵 \hat{D} ,其中,所述矩阵的每一行 \hat{D}_i 被定义为

$$[0087] \quad \hat{D}_i = [X_1(i), X_1(i-1), \dots, X_1(i-N+1), X_2(i), X_2(i-1), \dots, X_2(i-N+1), Y_1(i), Y_2(i)]$$

[0088] 其中,附加的列 Y_1 和 Y_2 对应于时间样本/实例 i 的喷射器的实际类别。例如,如果已知喷射器在时间实例 i 未堵塞,则 $Y_1(i)$ 被设置为“0”并且 $Y_2(i)$ 被设置为“1”。类似地,如果已知喷射器在另一个时间实例 j 堵塞,则 $Y_1(j)$ 被设置为“1”并且 $Y_2(j)$ 被设置为“0”。在已经插入了对应于未堵塞的喷射器的所有行之后,其接下来是对应于堵塞的喷射器,将矩阵 \hat{D} 的行重新混洗成新矩阵 \tilde{D} 。当然,混洗是为了保持每个时间窗口和相关联的类别的完整性,即不影响列的顺序。

[0089] 回到对图2所示的MLP200的输入数据的描述,每个输入向量 x_j 将因此对应于矩阵 \tilde{D} 的第 j 行 \tilde{D}_j 的前20列,而第 j 行的剩余两列将对应于在第 j 时间实例处的相应类别 Y_1 和 Y_2 的“正确”概率。应当被添加的是,由于矩阵 \tilde{D} 已经被重组,第 j 行在时间间隔 $t_0 + j * 0.1$ 秒至 $t_0 + (j+9) * 0.1$ 秒期间并不对应于实际记录的样本。相反,矩阵 \tilde{D} 中的第 j 行对应于原始采样的信号 X_1 和 X_2 的另一个时间间隔 $t_0 + j' * 0.1$ 秒至 $t_0 + (j'+9) * 0.1$ 秒,其中从 j 到 j' 的映射是随机的。

[0090] 在构造矩阵 \tilde{D} 之后,这些行的前 $X\%$ 被选择为训练集,行的接下来 $Y\%$ 被选择为验证集,行的其余 $Z\%$ 被选择为测试集。这里, $X+Y+Z=100\%$,并且在所描述的特定示例中,它被判定为使得 $X=60\%$, $Y=20\%$ 并且 $Z=20\%$ 。此外,所有与占空比 X_1 和 X_2 相关的值通过除以100而被归一化,从而得到介于0.0和1.0之间的值。

[0091] 验证所设想的机器学习模块120

[0092] 使用根据上述收集的训练集,然后通过使用反向传播和基于梯度下降的亚当优化器更新权重 $w_{h,i}^1$ 和 $w_{o,h}^2$ 并且以0.001的学习率来训练MLP 200。训练集中的样本总数为288219,所使用的批次(即,用于累积误差直到在MLP中发生第一次权重更新为止的样本数量)为32。误差函数为MSE,并且整个训练集使用30次(纪元)。在纪元30之后,确认该模型损失已稳定在足够低的数量,然后使用验证集来确认模型没有发生过拟合。在每个步骤中,MSE都使用 $P_1(i)$ 和 $P_2(i)$ 的最近估计的值、以及在每行 \tilde{D}_i 的最后两列中找到的“正确”答案来计算。

[0093] 剩余的测试数据集(即矩阵 \tilde{D} 的行的最后20%)然后被用于检查该模型的性能。所使用的性能标准是简单平均精度(AP),其被定义为:

$$[0094] \quad AP = \frac{TP}{TP + FP}$$

[0095] 其中,TP是真正分类(true positive classifications)的比率,并且FP是假正分类的比率。确定 $AP=0.927$ 的性能(根据来自 $TP=0.4721$ 和 $FP=0.0372$)。所确定的真负分类(true negative classifications)的比率为 $TN=0.4721$,而假负分类的比率为 $FN=0.0186$ 。在AP高达93%的情况下,由此得出结论,所设想的方法的性能是令人满意的,并且它在很大程度上已经学会了估计喷射器堵塞或未堵塞的合理概率。

[0096] 验证所设想的判定模块130和方法100

[0097] 使用如图1G所示的方法100,在发动机试验台中进行附加试验,同时还对从实际车辆(卡车)收集的数据进行附加试验,在该实际车辆(卡车)中,喷射器发生了真实的自然堵塞,并且在堵塞事件之前、期间和之后均可针对其获得数据。

[0098] 图3A图示了在发动机试验台中执行的第一次试验的结果。为了“模拟”喷射器的故障,软件修改被用于停止喷射器,并且使监视器相信喷射器已经故障。曲线图310示出在喷射器中/在喷射器处由传感器检测到的在0之间1.4小时的时间间隔内记录的尿素压力。曲线图311示出泵占空比 X_2 ,并且曲线图312示出喷射器占空比 X_1 。曲线图313示出了对于“堵塞”状态的投票计数 C_{count} ,并且曲线图314示出了对于“未堵塞”状态的投票计数 C_{good} 。曲线图315示出了喷射器堵塞的估计概率 P_{clog} ,如由机器学习模块120输出的,而曲线图316示出了喷射器未堵塞的估计概率 P_{good} ,如由机器学习模块120输出的。最后,由方法100得出的结论,即指示I,被示出在曲线图317中。占空比值 X_1 和 X_2 被归一化成区间 $[0, 1]$,而相应的投票计数 C_{clog} 和 C_{good} 通过分别除以相应的投票阈值 CT_{clog} 和 CT_{good} 而被归一化。对于二进制指示I,“0”表示“未堵塞”,而“1”表示“堵塞”。

[0099] 如从图3A中能够看出,软件“旁路”用于在测试运行2至3分钟左右停止喷射器,例如曲线图312中所示。如从曲线图317中也能够看出,该方法通过将喷射器的状态从“0”变为“1”,几乎立即正确检测到喷射器的堵塞。

[0100] 图3B和3C图示了在真实车辆(卡车)中执行的测量的结果,在该测量期间喷射器发生自然堵塞。图3A示出了发生堵塞之前的测量的部分,而图3B示出了包括喷射器的堵塞的发生在内的测量的部分。在图3A和3B中,所示的测量时间为0至0.7小时。各种曲线图的编号与图3A中的相同。在图3B和3C中,曲线图310是尿素压力。曲线图311和312分别是泵占空比 X_2 和喷射器占空比 X_1 。曲线图313和314分别是投票计数 C_{clog} 和 C_{good} 。曲线图315和316分别是估计概率 P_{clog} 和 P_{good} 。曲线图317是指示I。图3B和3C还包括两个附加曲线图,即曲线图318示出了进入车辆的排气系统的NOx的归一化量和曲线图319示出了离开车辆的排气系统的NOx的归一化量。由于用于NOx输入/输出的传感器只能在排气消声器达到一定温度后才能开始测量,因此应注意,在测试运行的前15分钟期间没有提供NOx输入/输出的测量数据。曲线图310至曲线图317的归一化与图3A中的归一化相同。通过研究曲线图318和曲线图319之间的差异,能够看出喷射器是否按应有的方式工作。如果排出的NOx的量低,则排气系统和喷射器正在工作并且能够知道喷射器没有堵塞。然而,当喷射器出现故障(堵塞)时,排出的NOx与进入的NOx相似,从而表明在排气系统中没有实现NOx的消除。

[0101] 如图3B中能够看出,如曲线图319所示的排出的NOx的量近似为0,并且曲线图317的指示I显示了方法100正确地得出喷射器未堵塞的结论,因为I在所示的整个时间间隔内保持为“0”。

[0102] 如图3C中能够看出,喷射器在进入测试运行的大约9至10分钟开始堵塞,因为曲线

图319所示的排出的 No_x 然后开始增加。从图3C中也能够看出,方法100正确且快速地开始表明喷射器在大约同时已经堵塞。因此,同样在这个真实世界的示例中,如本文中所设想并且例如参照图1G解释的方法100正确地识别了喷射器的堵塞。

[0103] 总结图3A至图3C,得出结论,如在实验室和真实环境中进行的测量所示,本文中所设想的方法100充分地管理以正确识别喷射器的堵塞。特别地,由于唯一使用的信号是喷射器占空比 X_1 和泵占空比 X_2 ,并且由于这些信号在喷射器的正常操作期间容易从例如用于喷射器的控制系统获得,因此如本文中所设想的方法100以非侵入方式工作而不干扰喷射器的正常操作,并且在能够检测喷射器的状态之前也不需要满足任何特定的其它条件。

[0104] 其它方面

[0105] 图4示意性地图示了用于确定还原剂(例如尿素)喷射器是否如本文中所设想的那样堵塞的设备400的实施例。设备400包括处理电路410。该处理电路410被配置为接收对应于如上所述的喷射器占空比和泵占空比的数据信号 X_1 和 X_2 。处理电路410还被配置为生成指示I,该指示表明喷射器是否阻塞,为此目的,处理电路410实现如本文中所讨论的方法100。该指示I被包括在从处理电路410输出的信号420中。

[0106] 如本文中所使用的,“处理电路”例如可以包括能够执行例如作为机器语言指令存储在处理器可以访问的某个存储器中的指令的任何集成电路,或者其中存储器被包括为处理电路本身的一部分。处理电路的示例例如可以包括(但不限于)中央处理单元(CPU)、图形处理单元(GPU)、现场可编程门阵列(FPGA)等。该处理电路可以提供为例如计算机、发动机控制单元、后处理控制模块(ACM)或类似物的一部分。

[0107] 还设想提供用于确定喷射器是否堵塞的计算机程序。该计算机程序包括计算机代码,当该计算机代码在处理电路(例如图4所示的设备400的处理电路410)上运行时,该计算机代码使得设备400接收数据 X_1 和 X_2 ,并且使用本文中所设想的任何方法100生成指示I,并输出包括该指示I的信号420。

[0108] 如本文中所使用的,所设想的计算机程序例如可以被存储或分发在数据载体上。“数据载体”例如可以是暂时性数据载体,例如调制电磁波或调制光波。数据载体也可以是非暂时性的,包括例如易失性和非易失性存储器,诸如磁、光或固态类型的永久或非永久存储介质。这样的存储器可以是便携式的(例如在USB棒、CD盘、DVD等中/上发现的),或者固定地安装的(例如HDD、SSD等)。

[0109] 图5示意性地图示了如本文中所设想的用于内燃发动机600的还原剂(例如尿素)喷射系统500的实施例。系统500包括尿素喷射器510,该尿素喷射器510被配置为将尿素喷射到发动机600的排气系统610中。排气系统610可以例如包括催化剂612,并且设想尿素喷射器510可以被布置成在催化剂612的上游喷射尿素512(或例如尿素/水混合物)的喷雾,如图5所示。系统500还包括泵520,该泵520被配置为优选从其中能够存储尿素(或其混合物)的罐(未示出)或类似物向喷射器510提供尿素。系统500还包括控制单元530,该控制单元530被配置为控制用于喷射器510的喷射器占空比 X_1 和泵占空比 X_2 ,以便根据特定排放控制策略操作喷射器510和泵520。为此目的,当然也可以提供用于测量例如排气系统610中的排气的各种性质和/或用于测量例如发动机600本身的各种性质的附加传感器(未示出)。最后,系统500还包括如参考图4所描述的设备400。设备400用于在发动机600运行期间确定喷射器510是否堵塞。如本文中前面所描述的,为此目的,设备400分别从控制单元530接收喷

射器占空比 X_1 和泵占空比 X_2 (的副本)。在系统500的一些实施例中,设想该设备400被实现为控制单元530的一部分,或者控制单元530被实现为设备400的一部分。设备400输出指示I,该指示I例如可以用于在确定喷射器堵塞的情况下点亮车辆内的警告灯,发出可听警报,或者例如将包含该指示的远程消息发送到例如服务中心或类似机构。如本文中前面所讨论的,这可以有助于注意到喷射器堵塞,使得喷射器可以在没有进一步延迟的情况下被更换和/或修理。在一些实施例中,设想它甚至可以使得:如果指示I表明喷射器堵塞,则可以使用例如软件来强制内燃发动机在喷射器已经被修理/更换之前不会(重新)启动。

[0110] 本文中设想的还有一个方面包括发动机600,并且还包含例如排气系统610,特别是包括还原剂(例如尿素)喷射系统500。尽管在本文中的任何特定附图中未示出,但作为包括发动机600(以及排气系统610和尿素喷射系统500)的车辆也被设想为本公开的另一方面。本公开的另一方面仅包括排气系统610和还原剂/尿素喷射系统500。

[0111] 如本文中所设想的,“内燃发动机”(或内燃机,ICE)不一定是柴油驱动的发动机。在一些设想的实施例中,内燃发动机例如可以替代地是火花点火(SI)内燃发动机。这种内燃发动机例如可以由氢驱动。同样,如本文中所设想的,内燃发动机能够用于推进多种不同类型的车辆,包括例如卡车、公共汽车、轿车、作业机械或类似装置。内燃发动机还可以形成例如海洋船舶或其中由内燃发动机提供推进力的任何其它类型的船舶的一部分。还设想内燃发动机还可以用于驱动不是车辆本身的某物,例如(静止的)发电机或类似装置。特别地,设想所提出的用于检测还原剂喷射器是否堵塞的方法(和设备)还可以应用于其它类型的喷射器,特别是被配置为使用占空比(例如基于脉宽调制、PWM或类似)来驱动并且被配置为喷射任何类型的加压的非可压缩流体的任何类型的喷射器。这样的其它喷射器例如可以是形成发动机柴油喷射系统的一部分的柴油喷射器,或者例如是后处理碳氢化合物喷射器(AHI),该后处理碳氢化合物喷射器用于例如在马弗炉处喷射柴油以帮助将温度提高到较高水平以用于再生。

[0112] 尽管上文可以以特定组合来描述特征和元件,但也可以在没有其它特征和元件的情况下单独使用每个特征或元件,或者以具有或不具有其它特征和元件的各种组合来使用每个特征或元件。另外,通过研究附图、本公开和所附权利要求书,本领域技术人员在实践所要求保护的发明时可以理解和实现对所公开的实施例的变型。

[0113] 在权利要求书中,“包括”和“包含”不排除其它元素,并且不定冠词“一”或“一个”不排除多个。在相互不同的从属权利要求中叙述某些特征的事实并不表示这些特征的组合不能有利地使用。

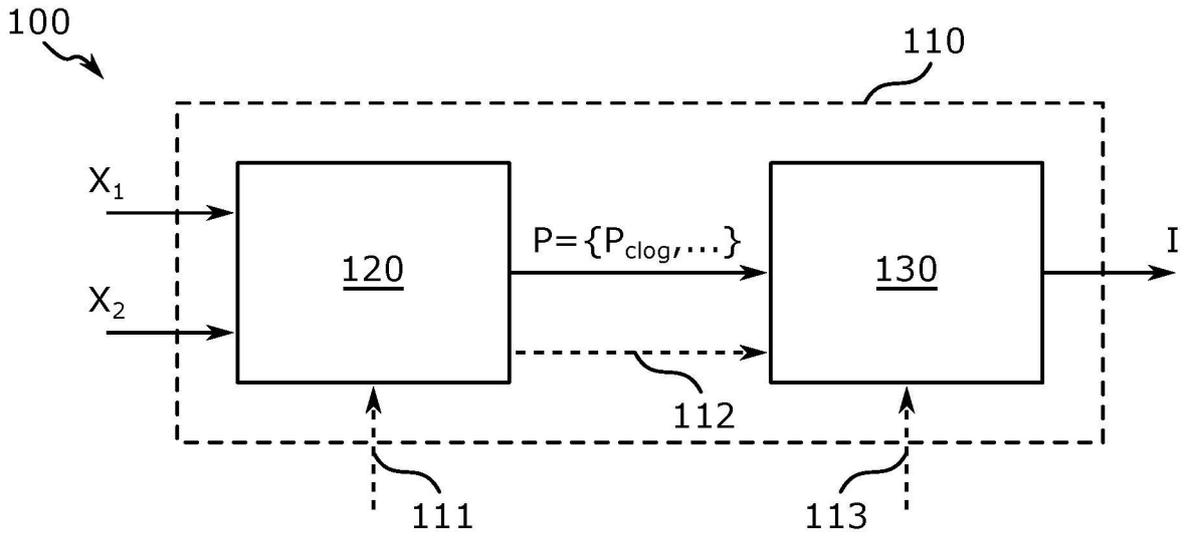


图1A

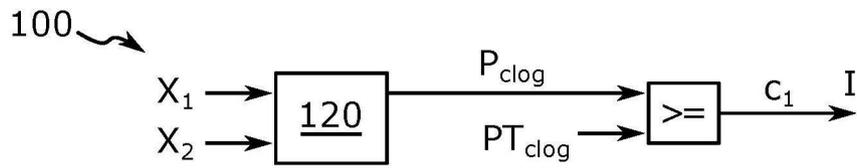


图1B

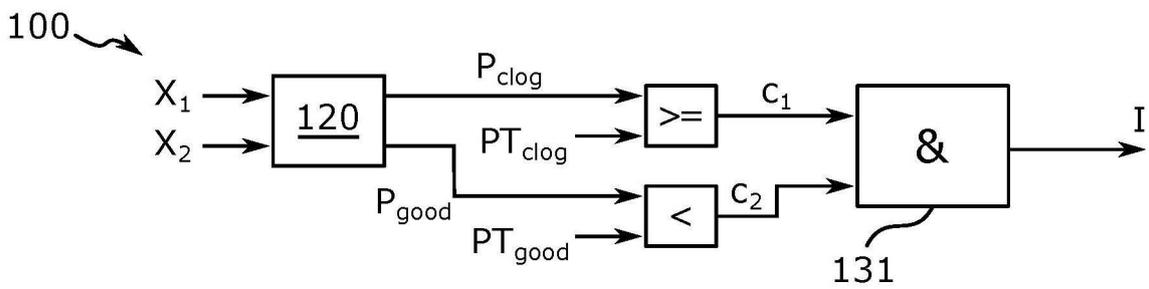


图1C

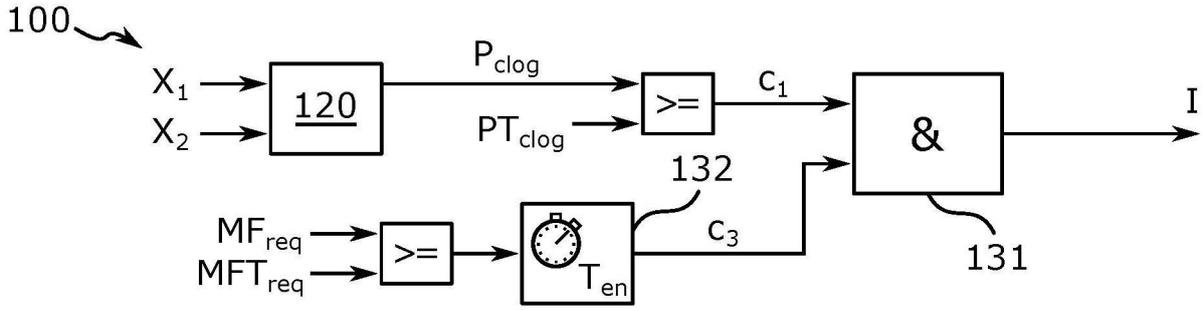


图1D

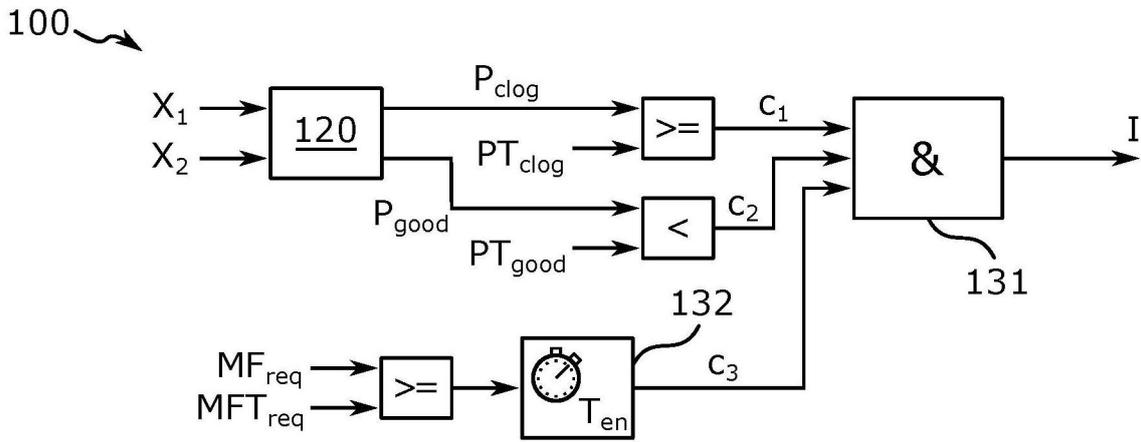


图1E

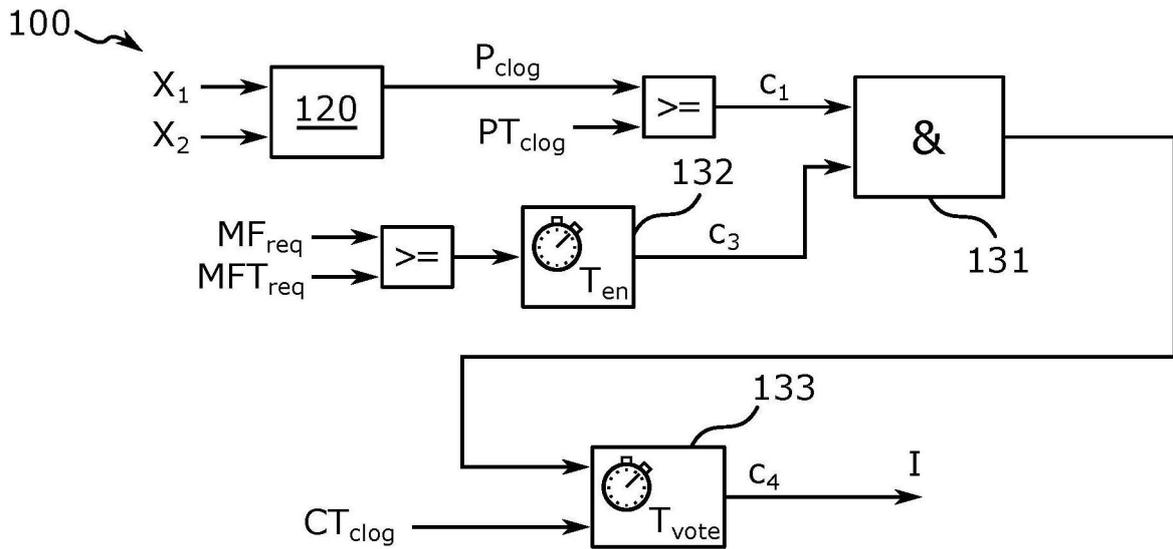


图1F

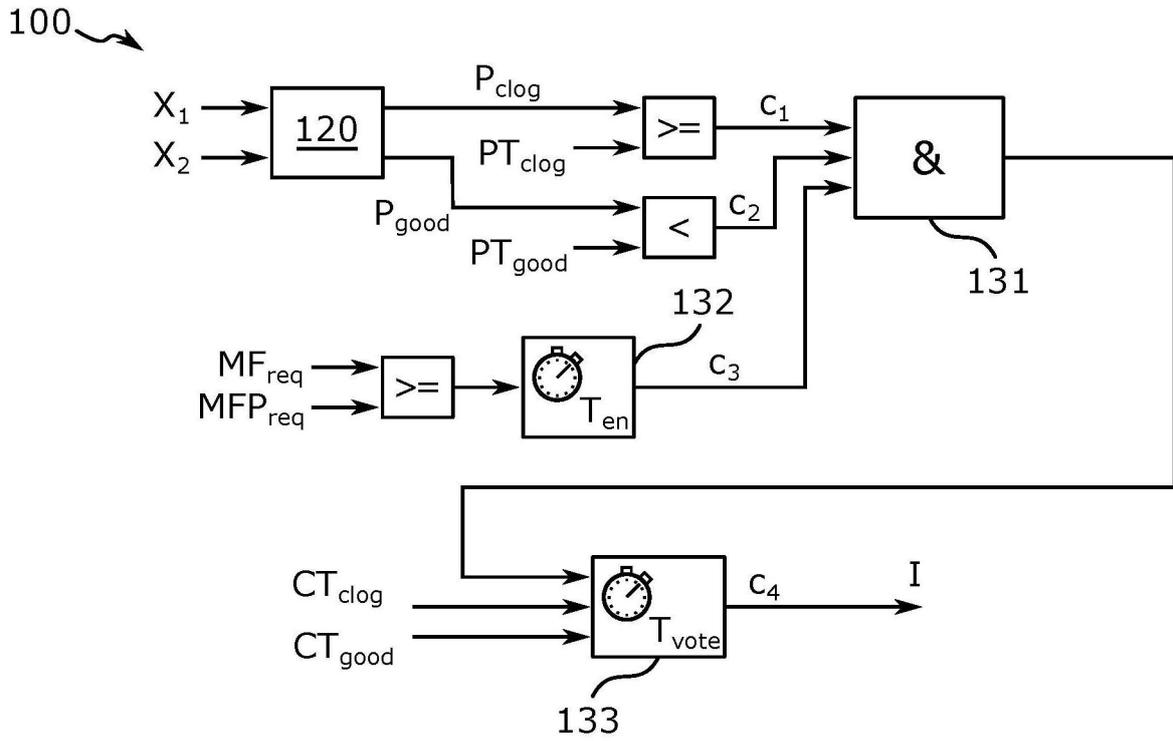


图1G

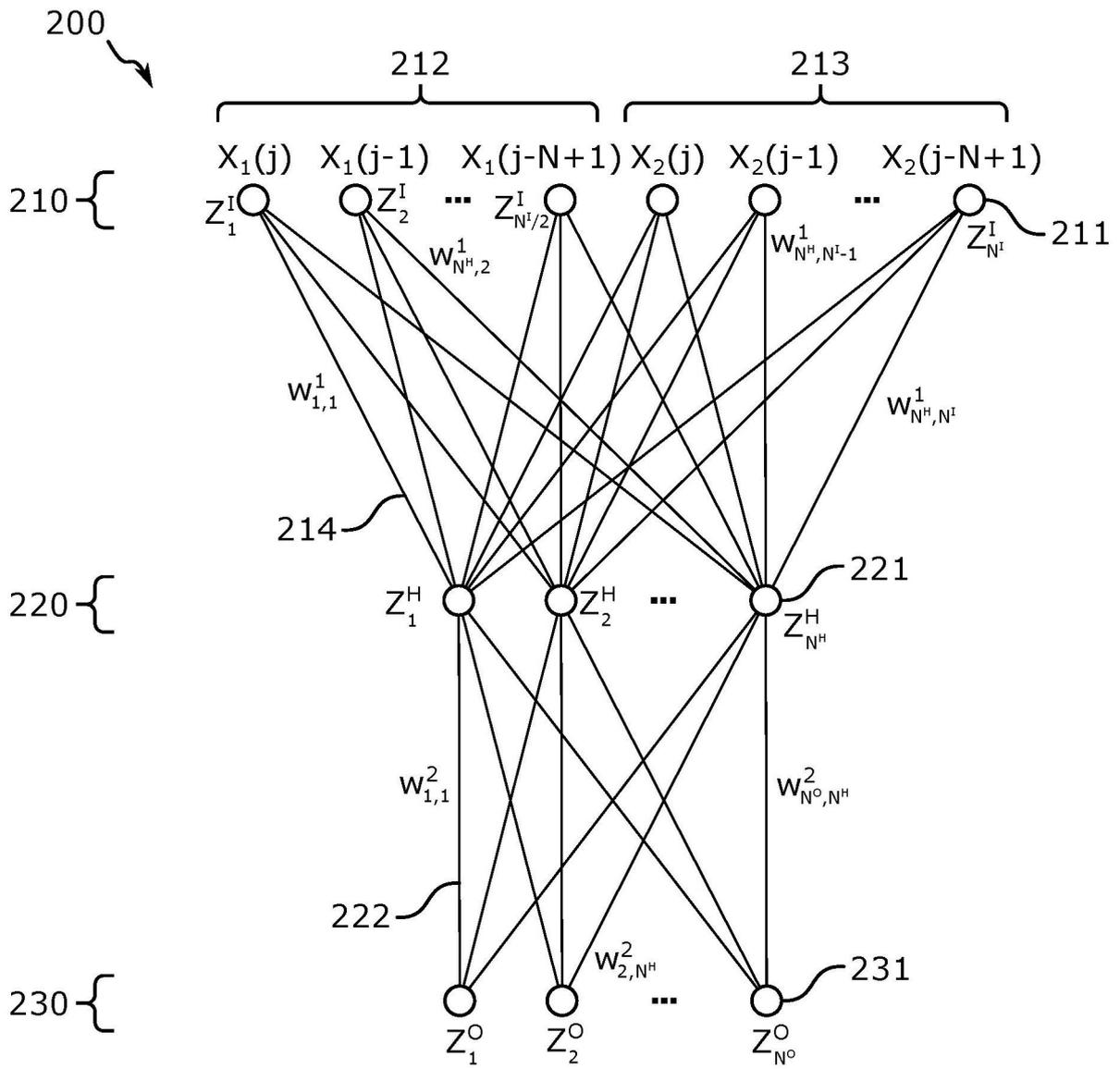


图2

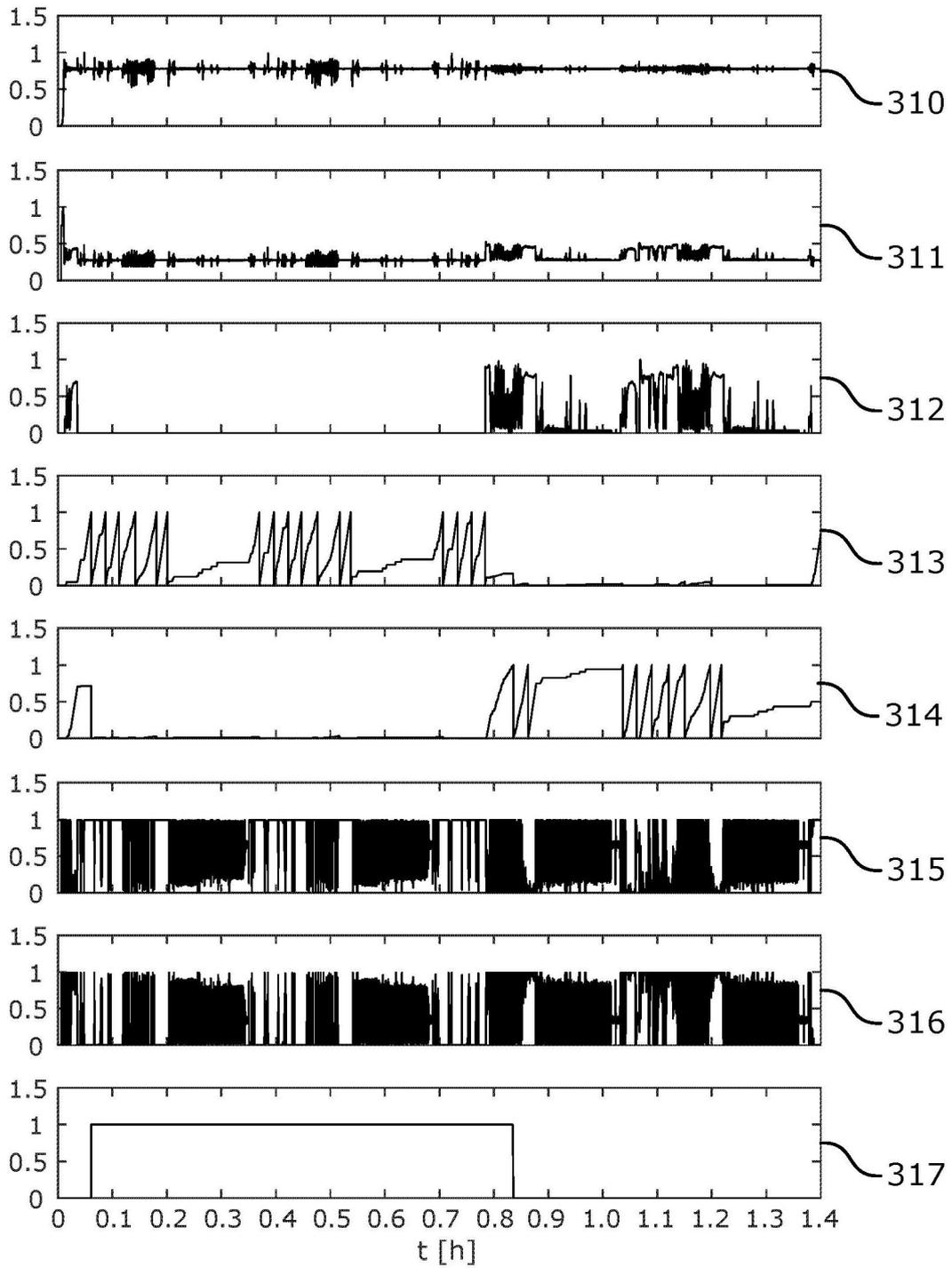


图3A

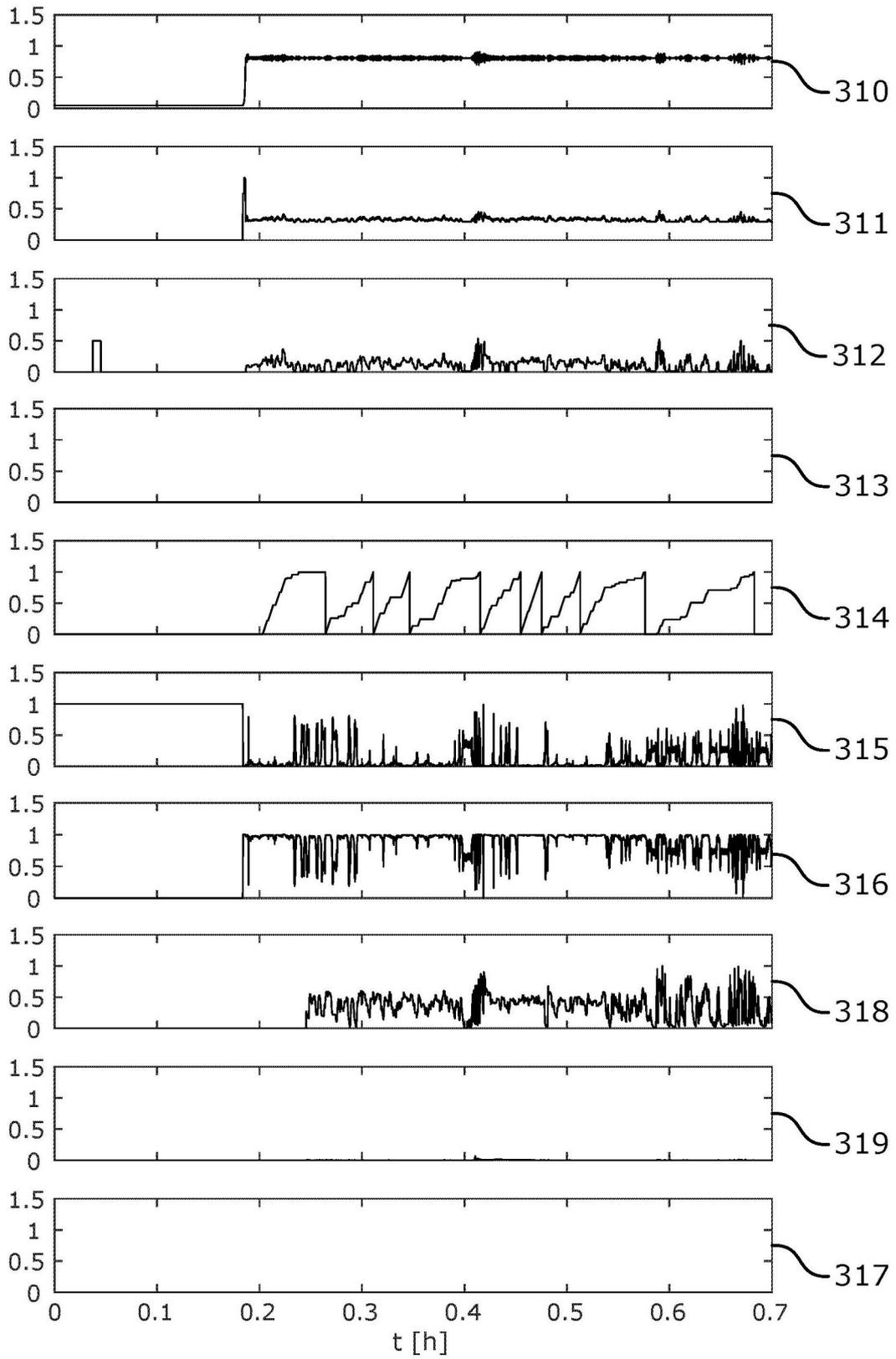


图3B

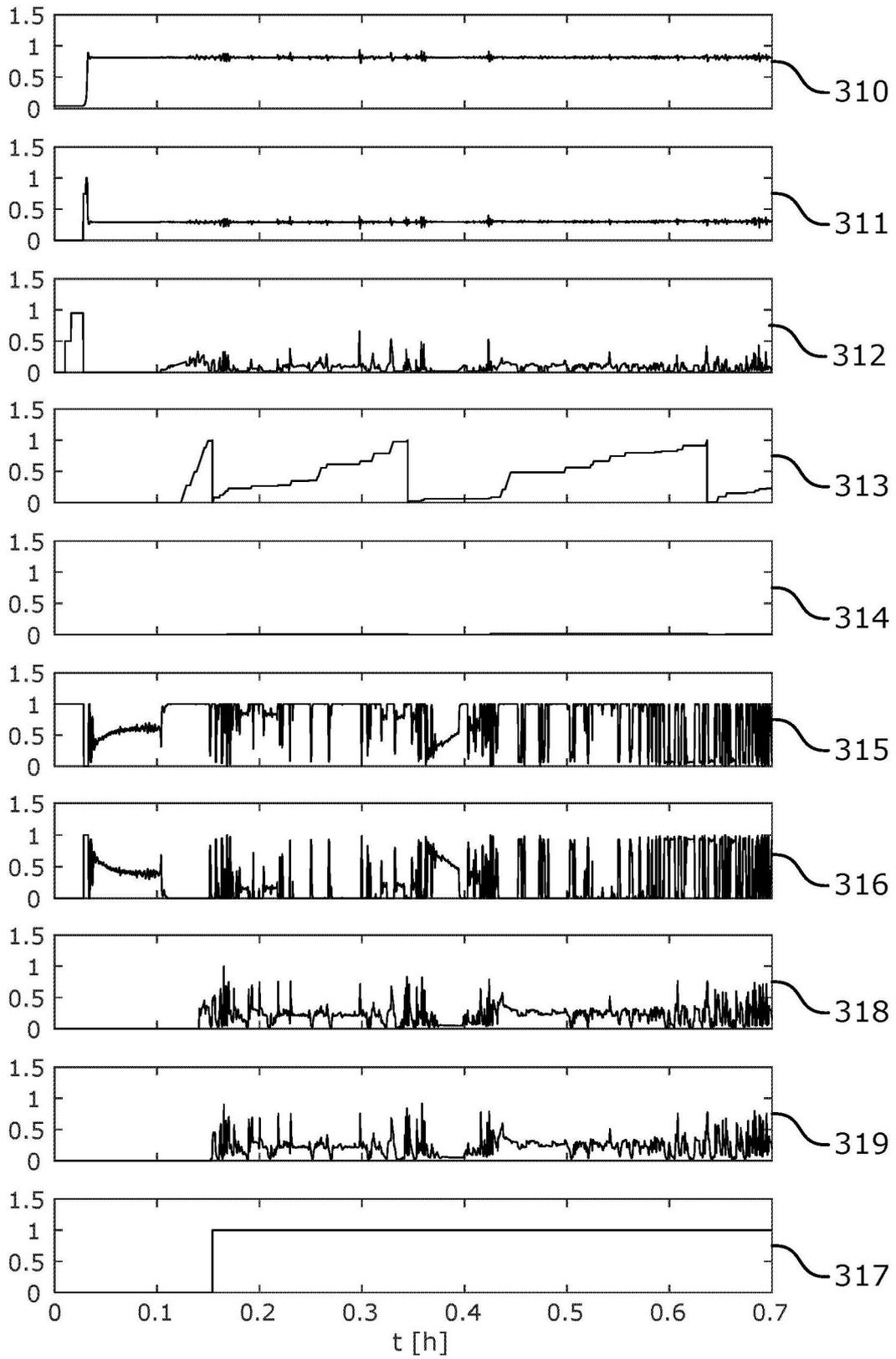


图3C

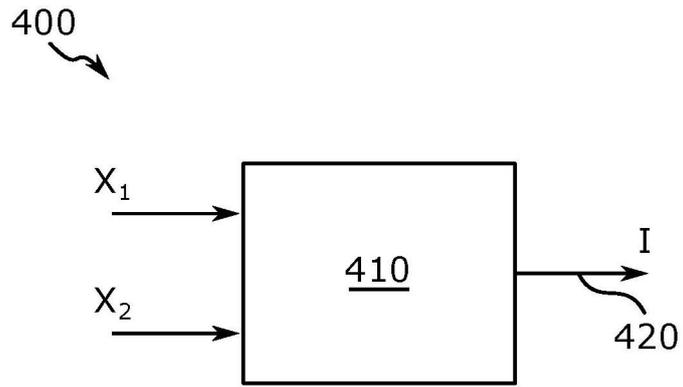


图4

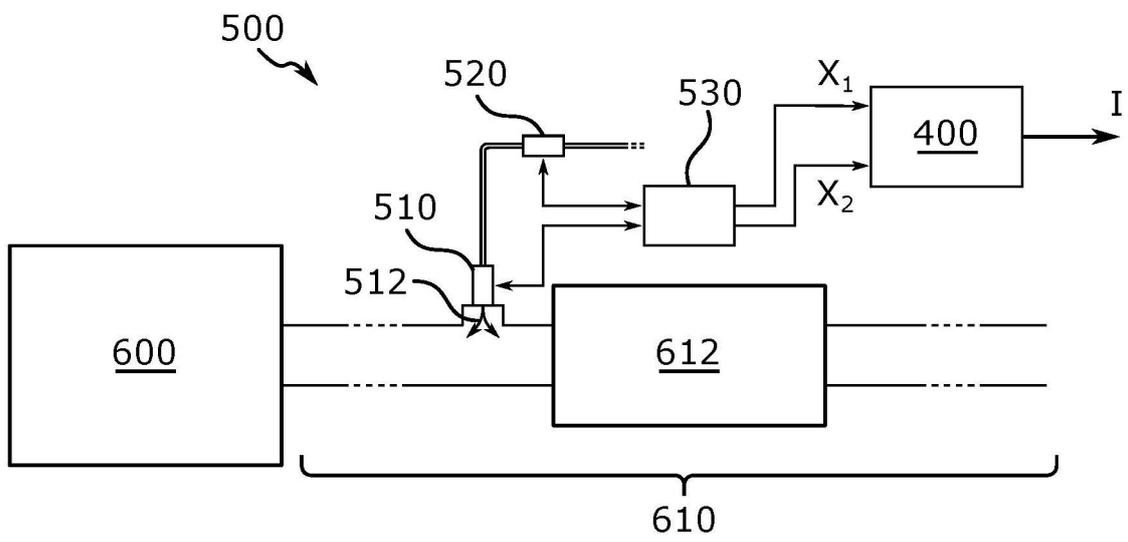


图5