(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 105164593 A
(43)申请公布日 2015.12.16

(21)申请号 201380072273.0
(22)申请日 2013.12.03
(30)优先权数据
61/760,766 2013.02.05 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.08.04
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2013/075305 2013.12.03
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2014/121863 DE 2014.08.14
(71)申请人 西门子股份公司
地址 德国慕尼黑
(72)发明人 M·比朔夫 T·陈 R·格洛特曼 O·亨尼希 J·金 E·里茨豪普特-克莱斯尔
(74)专利代理机构 北京市金杜律师事务所 11256
代理人 王茂华
(51)Int.Cl.
G05B 13/02(2006.01)
G05B 17/00(2006.01)
H02S 10/00(2014.01)

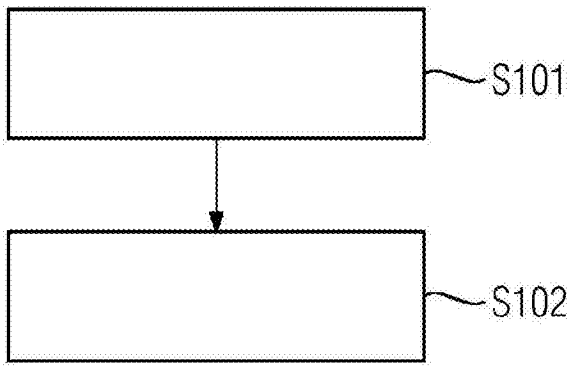
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

用于控制利用可再生能源操作的发电系统的方法和设备

(57)摘要

提出了一种用于控制能够利用可再生能源操作的发电系统的方法和设备。在该方法中，使用具有输入矢量和输出矢量的学习系统针对预定预测期间和预定区域做出关于所述发电系统的能量产生的预测。输出矢量包括所述发电系统的用于所述预定预测期间的多个连续未来时间点的一个或多个操作变量。输入矢量包括影响用于预定观察期间的多个时间点中的一个时间点的所述一个或多个操作变量的一个或多个输入变量。输入变量包括用于所述预定观察期间和所述预定区域的信息中的至少三项。此外，在该方法中，基于生成的所述预测控制所述发电系统，使得减小所述发电系统的所述能量产生中与气候有关的波动。因此，其变得可能根据生成的预测来控制发电系统，使得降低发电系统的能量产生中以气候为条件的波动。



CN 105164593 A

1. 一种用于控制能够利用可再生能源操作的发电系统的方法，具有以下步骤：

- 使用具有输入矢量（206）和输出矢量（207）的学习系统（205）针对预定预测期间和预定区域生成（S101）所述发电系统的能量产生的预测（209），其中所述输出矢量（207）包括所述发电系统的用于所述预定预测期间的多个连续未来时间点的一个或多个操作变量（208），并且其中所述输入矢量（206）包括影响用于预定观察期间的多个时间点中的一个时间点的所述一个或多个操作变量（208）的一个或多个输入变量，其中所述输入变量包括用于所述预定观察期间和所述预定区域的以下数据（201-204）中的至少三个数据：

- 气候数据（201），

- 由卫星提供的云漂移的第一图像数据（202），

- 由地面照相机提供的云漂移的第二图像数据（203），以及

- 使用所述气候数据（201）通过用于仿真所述发电系统的所述能量产生的物理模型所生成的仿真数据（204），以及

- 基于生成的所述预测（209）控制（S102）所述发电系统，使得减小所述发电系统的所述能量产生中与气候有关的波动。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于

在所述预测（209）的生成之前，通过所述学习系统（205）的成分的主成分分析来压缩所述输入矢量。

3. 根据前述权利要求中任一项所述的方法，其特征在于

所述学习系统（205）由 n 个神经网络（210、211）形成，每个神经网络具有输入矢量（206）和输出矢量（207）。

4. 根据权利要求 3 所述的方法，其特征在于

用于第 i 个所述神经网络（211）的所述输入矢量（206）除所述输入变量外还包括第 (i-1) 个所述神经网络（210）的所述输出矢量（207），其中 $i \in [1,\cdots,n]$。

5. 根据前述权利要求中任一项所述的方法，其特征在于

n 个所述神经网络（210、211）的每一个神经网络被设计为具有多个互连层的人工神经前馈网络，所述互连层包括输入层、多个隐蔽层和输出层，其中所述输入层包括多个输入神经元，以描述所述输入矢量（206），并且其中相应的隐蔽层包括多个隐蔽神经元，并且其中所述输出层包括多个输出神经元，以描述所述输出矢量（207），并且其中所述输出层包括对应于所述多个隐蔽层并且在每种情况下包括一个或多个输出神经元的多个输出簇，其中每个输出簇描述相同的所述输出矢量（207）并连接到不同的隐蔽层。

6. 根据权利要求 3 至 5 中任一项所述的方法，其特征在于

针对 n 个所述神经网络（210、211）的每一个神经网络单独提供包括在所述输入变量内的所述数据（201-204）。

7. 根据权利要求 3 至 6 中任一项所述的方法，其特征在于

n 个所述神经网络（210、211）的序列是可预定义的。

8. 根据前述权利要求中任一项所述的方法，其特征在于

多次执行生成（S201）预测（209）的步骤，以便生成多个预测（209），其中在用于相应的预测（209）的生成（S101）的每个情况中指定不同的预测期间和 / 或不同的观察期间。

9. 根据权利要求 8 所述的方法，其特征在于

合并生成的多个所述预测(209)以形成合并的预测(209)。

10.根据权利要求9所述的方法,其特征在于

通过加权求和来合并生成的多个所述预测(209)。

11.根据权利要求9所述的方法,其特征在于

通过其它神经网络来合并生成的多个所述预测(209)。

12.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于

所述第一图像数据和/或所述第二图像数据(202、203)包括由模式识别提供的图像特征。

13.一种计算机程序产品,其在程序控制设备上启动根据权利要求1-12中任一项所述的方法的性能。

14.一种具有在程序控制设备上启动根据权利要求1-12中任一项所述的方法的性能的命令的存储的计算机程序的数据介质。

15.一种用于控制能够利用可再生能源操作的发电系统的设备(212),具有:

-预测生成装置(213),用于使用具有输入矢量和输出矢量的学习系统针对预定预测期间和预定区域生成与所述发电系统的能量产生有关的预测,其中所述输出矢量包括所述发电系统的用于所述预定预测期间的多个连续未来时间点的一个或多个操作变量,并且其中所述输入矢量包括影响用于预定观察期间的多个时间点中的一个时间点的所述一个或多个操作变量的一个或多个输入变量,其中所述输入变量包括用于所述预定观察时间期间和所述预定区域的以下数据中的至少三个数据:

-气候数据,

-由卫星提供的云漂移的第一图像数据,

-由地面照相机提供的云漂移的第二图像数据,以及

-使用所述气候数据通过用于仿真所述发电系统的所述能量产生的物理模型所生成的仿真数据,以及

-控制装置(214),用于基于生成的所述预测控制所述发电系统的控制装置(214),使得减小所述发电系统的所述能量产生中与气候有关的波动。

用于控制利用可再生能源操作的发电系统的方法和设备

技术领域

[0001] 本发明涉及用于控制利用可再生能源操作的发电系统的方法和设备。

背景技术

[0002] 在电气发电行业中，可再生能源发电系统使用的频率越来越高。这种发电系统的能量产生严重依赖于外部变量，特别是气候条件。因此，希望这种类型的可再生能源发电系统以适当的方式来预测未来生成的能源量，从而能够作为结果来计划这种发电系统的能量供给，因而电网的操作会更有效。

发明内容

[0003] 因此，本发明的一个目的是改进可以用可再生能源操作的发电系统的控制。

[0004] 相应地，提出了一种用于控制可以用可再生能源操作的发电系统的方法。在该方法中，使用具有输入矢量和输出矢量的学习系统针对预定预测期间和预定区域执行发电系统的能量产生的计算机支持的预测的生成。输出矢量包括发电系统的一个或多个操作变量，用于预定预测期间的多个连续未来时间点。输入矢量包括影响用于预定观察期间的多个时间点中的一个时间点的一个或多个操作变量的一个或多个输入变量。输入变量包括用于预定观察时间期间和预定区域的至少三个以下数据：气候数据；由卫星提供的云漂移的第一图像数据；由地面照相机提供的云漂移的第二图像数据；以及使用气候数据通过用于仿真发电系统的能量产生的物理模型所生成的仿真数据。进一步地，在该方法中，基于生成的预测控制发电系统，使得减小发电系统的能量产生中与气候有关的波动。

[0005] 例如，可用可再生能源操作的发电系统是发电站或混合发电站，例如光伏发电站或太阳能发电站。

[0006] 学习系统是能够基于其输入和输出适应其特性的系统。因此，用一组训练数据训练学习系统是可能的，使得其可以识别在训练数据中的特定的、预定的或自动被确定的模式或可概括的结构。在学习阶段之后，除了训练数据，这种类型的学习系统还能够识别数据中被确定的模式或可概括的结构，并相应地分类其它数据。

[0007] 例如，发电系统的操作变量是由发电系统生成的能源输出量。

[0008] 该方法使未来生成的能源使用量以适当的方式被预测，从而能够规划这种类型的发电系统的能量供给，因此电网的运行会更有效。

[0009] 进一步地，该方法使发电系统能够基于生成的预测被控制，使得减小或阻止发电系统的能量产生中与气候有关的波动。

[0010] 该方法的另一个优点在于使用至少三个不同数据源用于将生成的预测的可能性。这样，可以结合不同数据源的优点，例如，各个测量点、时间帧或时间分辨率的精度和/或误差宽容度。因此，生成的预测比仅仅使用一个或两个数据源更精确和更稳定。

[0011] 在该方法的实施例中，在预测生成前，通过学习系统成分(component)的主成分分析压缩输入矢量。

[0012] 主成分分析是用于输入矢量所包括的数据的无损失压缩的统计方法。非线性主成分分析的使用，其是以学习系统的形式实现的，例如神经网络，是特别有利的。这样，非常大的输入矢量也可以被高效和快速地处理。

[0013] 在本方法的其它实施例中，学习系统由 n 个神经网络形成。

[0014] 神经网络是通用函数逼近器，其结构根据生物神经细胞选择。

[0015] 神经网络特别适用于控制和调节技术系统，例如发电系统。

[0016] 可以用神经网络替换传统的控制器或者为它们指定参考值，其中神经网络由生成的预测确定。

[0017] 因此，可以进一步根据生成的预测控制发电系统，使得进一步减小发电系统的能量产生中与气候有关的波动。

[0018] 神经网络进一步使预测误差随时间推移而最小化，由此提高最终生成的预测。

[0019] n 个神经网络可以具有相同的或不同的架构。

[0020] 在本方法的其它实施例中，用于第 i 个神经网络的输入矢量除输入变量外，还包括第 (i-1) 个神经网络的输出矢量，其中 $i \in [1,\cdots,n]$。

[0021] 因此，学习系统包括一系列独立的、形式为神经网络的自学子系统。除了各自的输入矢量所包括的输入变量，除第一子系统外，每个子系统还接收各自前面的子系统生成的预测作为其它输入数据。这样，前面的子系统的预测误差可以由各自的后面的子系统减小。

[0022] 在本方法的其它实施例中，n 个神经网络的每一个被设计为具有多个互连层的人工神经前馈网络，多个互连层包括输入层，多个隐蔽层和输出层，其中输入层包含多个输入神经元，以描述输入矢量，以及其中各个隐蔽层包含多个隐蔽神经元，以描述输出矢量，以及其中输出层包括对应多个隐蔽层并且在每种情况下包括一个或多个输出神经元的多个输出簇，其中每个输出簇描述相同的输出矢量并连接到不同隐蔽层。

[0023] 因此，n 个神经网络的每一个表示前馈网络的特殊变量。前馈网络的特征在于互相重叠的多个神经元层以从较低到较高层的处理方向通过适当的权重以权重矩阵的形式互相耦接，其中在单个层里面的神经元没有相互连接。

[0024] n 个神经网络的每一个的特征在于输出层包括对应多个隐蔽层并且在每个情况中包括一个或多个输出神经元的多个输出簇，其中每个输出簇描述了相同的输出矢量并连接到不同隐蔽层。因此，输出簇分配给每个隐蔽层，其中隐蔽层仅耦接到该输出簇。因此，建立了单独的输出簇，其描述了在神经网络中相互依赖的发电系统的相同操作变量。

[0025] 与传统前馈网络相比，在根据本发明的神经网络中，位于最上面的隐蔽层下面的隐蔽层不仅连接到较高的隐蔽层，还连接到输出层的输出簇。因此，其它误差信息输入至输出层，使得相应地所训练的神经网络可以更好地预测发电系统的操作变量。输入矢量连接到每个隐蔽层。

[0026] 在本方法的其它实施例中，针对 n 个神经网络的每一个神经网络单独提供包括在输入变量内的数据。

[0027] 因此，每个子系统具有输入变量的特征值作为输入数据。例如，用于第一子系统的输入变量对应所观察到的气候数据的高时间分辨率，引起短期预测，相反，用于第二子系统的输入变量对应所观察到的气候数据的低时间分辨率，因此引起长期预测。高时间分辨率意味着，例如，时间分辨率精确到分钟或小时，而低时间分辨率意味着，例如，分辨率精确到

天。

[0028] 在本方法的其它实施例中，n 个神经网络的序列是可预定义的。

[0029] 对应输入数据的子系统的分类，例如在质量、时间帧或输入变量所包括的数据的时间分辨率方面，能够进一步提高所生成的预测的质量。

[0030] 在本方法的其它实施例中，多次执行生成预测的步骤，以便生成多个预测，其中在用于生成相应的预测的每个情况中指定不同的预测期间和 / 或不同观察期间。

[0031] 多个不同预测可以用这种方式生成。

[0032] 在本方法的其它实施例中，合并生成的多个预测，以形成合并的预测。

[0033] 通过合并生成的多个预测来形成合并的预测，可以进一步提高最终生成的、合并的预测的质量。

[0034] 在本方法的其它实施例中，通过加权求和的方式合并生成的多个预测。

[0035] 例如，加权求和允许多个生成的预测的每一个是等权重的。但是，为了提高各自的预测对合并的预测的影响，也可以是多个生成的预测中的一个或多个的权重比其它的重。这样，例如，基于更精确或更可靠数据的预测可以比基于不精确或不可靠数据的预测的加权更重，而不需要放弃不精确或不可靠数据的使用。

[0036] 在本方法的其它实施例中，通过其它神经网络的方式合并生成的多个预测。

[0037] 神经网络特别适合于处理和评估统计数据，例如所观察到的气候数据。因此，可以进一步提高合并的预测。

[0038] 在本方法的其它实施例中，第一和 / 或第二图像数据包括通过模式识别的方式提供的图像特征。

[0039] 模式识别是特别适合评估图像的方法。通过模式识别的方式提供的图像特征表示图像数据中的相关信息的概要 (summary)，本方法通过这种方式设计是更高效的。

[0040] 进一步地，提供了一种计算机程序产品，其启动程序控制设备上相应方法的性能。

[0041] 例如，可以提供或供给计算机程序产品，例如计算机程序装置，作为存储介质，例如内存卡、USB 闪盘、CD-ROM、DVD 或来自网络中的服务器的可下载文件。例如，这可以通过相应文件的传输和计算机程序产品或计算机程序装置在无线通信网络中执行。特别地，下面所描述的设备可以认为是程序控制设备。

[0042] 进一步地，提出了一种具有在程序控制设备上启动相应方法的性能的命令的存储的计算机程序的数据介质。

[0043] 进一步地，提出了控制能够利用可再生能源操作的发电系统的设备。设备包括预测生成装置，用于使用带有输入矢量和输出矢量的学习系统针对预定预测期间和预定区域生成与发电系统的能量产生有关的预测。输出矢量包括发电系统的用于预定预测期间的多个连续未来时间点的一个或多个操作变量。输入矢量包括影响用于可预定义的观察期间的多个时间点中的一个时间点的一个或多个操作变量的一个或多个输入变量。输入变量包括用于预定观察时间期间和预定区域的以下数据中的至少三个数据 ：

[0044] 气候数据，

[0045] 用卫星提供的云漂移的第一图像数据，

[0046] 由地面照相机提供的云漂移的第二图像数据，以及

[0047] 使用气候数据通过用于仿真发电系统的能量产生的物理模型所生成的仿真数据。

[0048] 设备进一步包括控制装置，用于基于生成的预测控制发电系统，使得减小发电系统的能量产生的与气候有关的波动。

[0049] 该方法使未来产生的能源使用量以适当的方式被预测，从而能够计划这种类型的发电系统的能量供给，因此，作为结果，电网的运行会更效。

[0050] 进一步地，设备使发电系统能够基于生成的预测被控制，使得减小发电系统的能量产生的与气候有关的波动。

[0051] 各个装置、预测生成装置和控制装置可以通过硬件和 / 或软件实现。如果由硬件实现，各个单元可以设计为设备或者设备的一部分，例如计算机或微处理器。如果由软件实现，各个单元可以设计为计算机程序产品、函数、例程、程序代码的一部分或可执行目标。

[0052] 本发明的其它可能实施例也包括，未清楚描述的，方法步骤、特征或方法的实施例或与示例性实施例有关的上述或下述的设备的组合。本领域技术人员还可以增加或修改各个方面作为对本发明各个基本形式的改进或补充。

附图说明

[0053] 上面描述的本发明的特性、特征和优点，以及其中的方式通过结合示例性实施例的下述描述，将变得更清楚且更容易理解，其将参考附图更具体地描述。

[0054] 图 1 示出了用于控制能够利用可再生能源操作的发电系统的方法的一个示例实施例的流程图；

[0055] 图 2 示出了用于控制能够利用可再生能源操作的发电系统的设备的一个示例实施例的框图；

[0056] 图 3 示出了用于控制能够利用可再生能源操作的发电系统的方法的学习系统的第一个示例实施例的框图；

[0057] 图 4 示出了用于控制能够利用可再生能源操作的发电系统的方法的学习系统的第二个示例实施例的框图；以及

[0058] 图 5 示出了用于控制能够利用可再生能源操作的发电系统的方法的学习系统的第三个示例实施例的框图。

[0059] 在附图中，相同的元件或具有相同功能的元件采用相同的标号表示，除非特别指出。

具体实施方式

[0060] 图 1 示出了用于控制可以用可再生能源操作的发电系统的方法的一个示例实施例的流程图。

[0061] 在第一步骤 S101 中，使用带有输入矢量和输出矢量的学习系统针对预定预测期间和预定区域生成与发电系统的能量产生有关的预测。输出矢量包括发电系统的用于预定预测期间的多个连续未来时间点的一个或多个操作变量。输入矢量包括影响用于来自预定观察期间的多个时间点中的一个时间点的一个或多个操作变量的一个或多个输入变量。输入变量包括用于预定观察时间期间和预定区域的下述数据中的至少三个数据：气候数据；由卫星提供的云漂移的第一图像数据；由地面照相机提供的云漂移的第二图像数据；以及使用气候数据通过用于仿真发电系统的能量产生的物理模型所产生的仿真数据。

[0062] 在第二步骤 S102 中，基于生成的预测控制发电系统，使得减小发电系统的能量产生中与气候有关的波动。

[0063] 图 2 示出了用于控制可以用可再生能源操作的发电系统的设备 212 的一个示例实施例的框图。

[0064] 设备 212 包括预测生成装置 213，用于在预定预测期间和预定区域生成与发电系统的能量产生有关的预测，和控制装置 214，用于基于生成的预测控制发电系统。

[0065] 图 3 示出了用于控制可以用可再生能源操作的发电系统的方法的学习系统的第一个示例实施例的框图。

[0066] 学习系统 205 具有输入矢量 206 和输出矢量 207。输入矢量 206 包括影响用于预定观察期间的多个时间点中的一个时间点的一个或多个操作变量 208 的多个输入变量。输入变量包括数据，例如气候数据 201、第一图像数据 202 和第二图像数据 203。第一图像数据 202 是由卫星提供的云漂移的图像数据。第二图像数据 203 是由地面照相机提供的云漂移的图像数据。进一步地，输入数据包括仿真数据 204。使用气候数据 201 通过用于仿真发电系统的能量产生的物理模型来生成仿真数据 204。

[0067] 数据 201-204 首先经过处理。例如，对由卫星和由地面照相机记录的云层图像执行模式识别。由模式识别提供的图像特征或图像数据表示包含在与预定区域的气候条件有关的云层图像中的相关信息的概要。

[0068] 在处理之后，一组特征、数值呈现为各个数据 201-204。数据 201-204 形成了学习系统 205 的输入。学习系统 205 的输出由具有操作变量 208 的输出矢量 207 形成。因此，输出矢量 207 用作生成预测 209。

[0069] 可替换地或额外地，可以使用用于输入到学习系统 205 的仿真数据 204 用来校正生成的预测 209，由图 3 的虚箭头所示。因此，可以用仿真数据 204 校正任何不大可能的或不真实的预测结果。

[0070] 图 4 示出了用于控制可以用可再生能源操作的发电系统的方法的学习系统的第二个示例实施例的框图。

[0071] 在所示的示例性实施例中，学习系统 205 包括两个神经网络 210、211。两个神经网络 210、211 的每一个具有输入矢量 206 作为输入。因此，在当前情况下，两个神经网络 210、211 都使用相同的输入矢量 206。

[0072] 还可以想到，两个神经网络 210、211 的每一个具有其自己的输入矢量作为输入，其中，例如，用于第一神经网络 210 的输入矢量包括所观察到的气候数据的低时间分辨率的数据，而用于第二神经网络 211 的输入矢量包括所观察到的气候数据的较高时间分辨率的数据。这对应于包括在用于两个神经网络 210、211 的每一个的输入变量的数据 201-204 的独立规定。

[0073] 除了输入矢量的数据 201-204 外，第二神经网络 211 还接收第一神经网络 210 的输出矢量作为输入。

[0074] 因此，图 4 所示的示例性实施例表示校正系统。系统包括一系列独立的、形式为两个神经网络 210、211 的自学习子系统。作为输入数据，每个子系统可以具有形式为包括数据 201-204 的不同特性的上述输入矢量的独立数据源。此外，每个子系统，除了第一个，以相应输出矢量的形式接收前面的系统的预测作为其它输入数据。这样，前面的系统的预测

误差可以由各自的后面的子系统减小。

[0075] 为了提高预测质量，可以根据输入数据分类子系统，例如根据它们的质量、它们的时间帧或它们的时间分辨率。

[0076] 在一个子系统或神经网络 210、211 的每一次应用之后，可以以各自的输出矢量 207 的形式得到独立的预测。因此，不需要贯穿整个级联的神经网络 210、211。

[0077] 图 5 示出了于控制可以用可再生能源操作的发电系统的方法的学习系统的第三个示例实施例的框图。

[0078] 在第三个示例性实施例中，使用两个独立的学习系统 205。两个学习系统 205 的每一个具有输入矢量 206 的数据 201-204 作为输入数据。

[0079] 或者，此处，两个学习系统 205 的每一个还可以具有以上述包含在此处也作为输入数据的数据 201-204 的不同特性的输入矢量的形式的独立数据源。

[0080] 合并两个学习系统 205 的每一个的输出矢量 207，以形成合并预测 209。例如，可以由加权和或者由其它学习系统（例如神经网络）实施合并。也可以根据定义的标准，基于两个输出矢量 207 的一个，选择独立的学习系统 205 的两个预测中的一个。

[0081] 因此，这种类型的完整的学习系统能够定义完整的预测 209 和获悉所给出的预测具有最大的可能性的条件。

[0082] 尽管本发明已经以优选示例性实施例的形式具体示出并描述，本发明并不能被所公开的示例限制，并且由本领域技术人员由此得到的其它变形不应脱离本发明的保护范围。

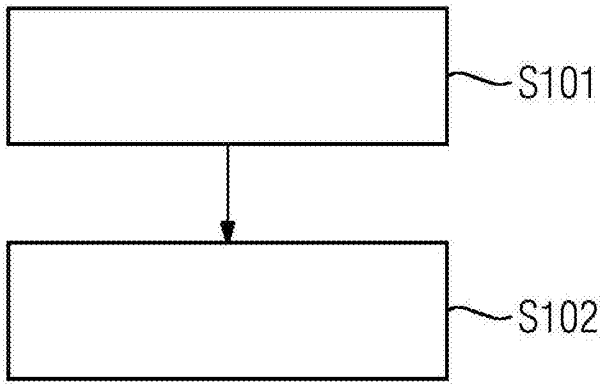


图 1

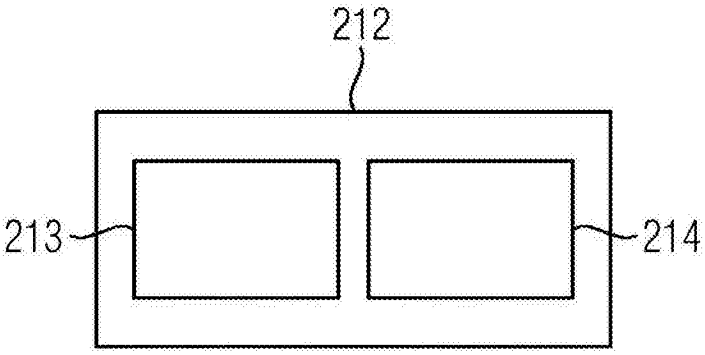


图 2

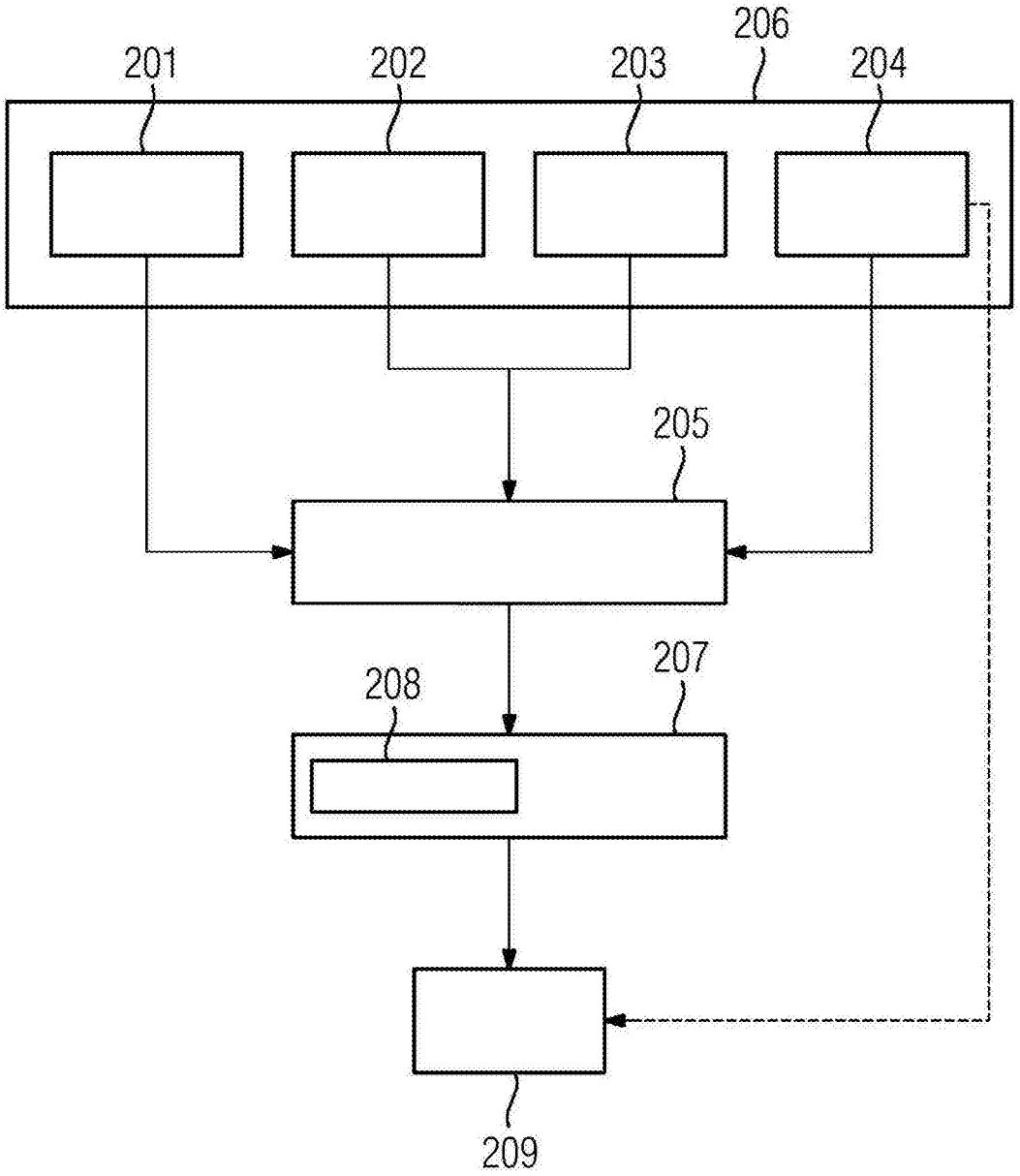


图 3

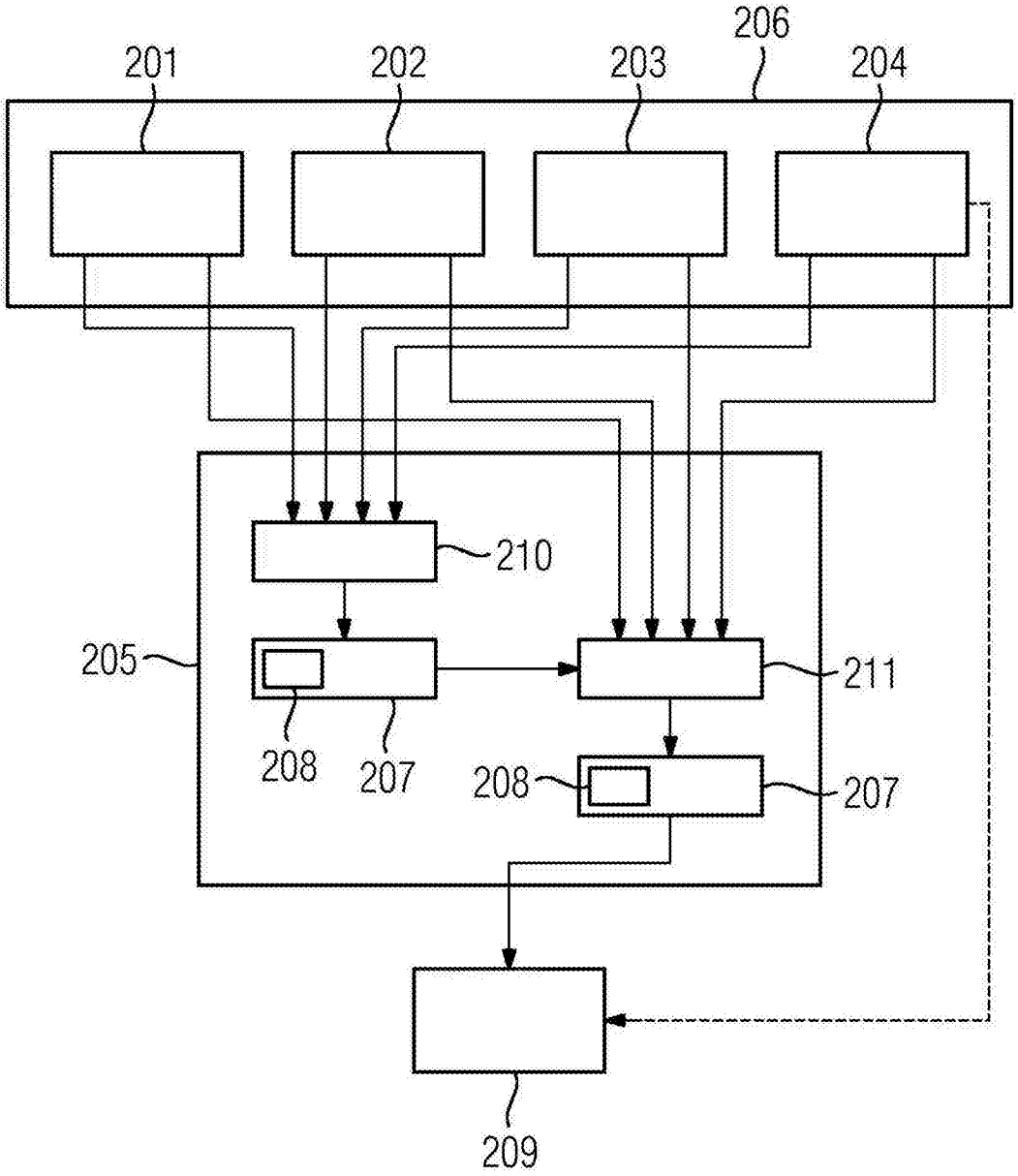


图 4

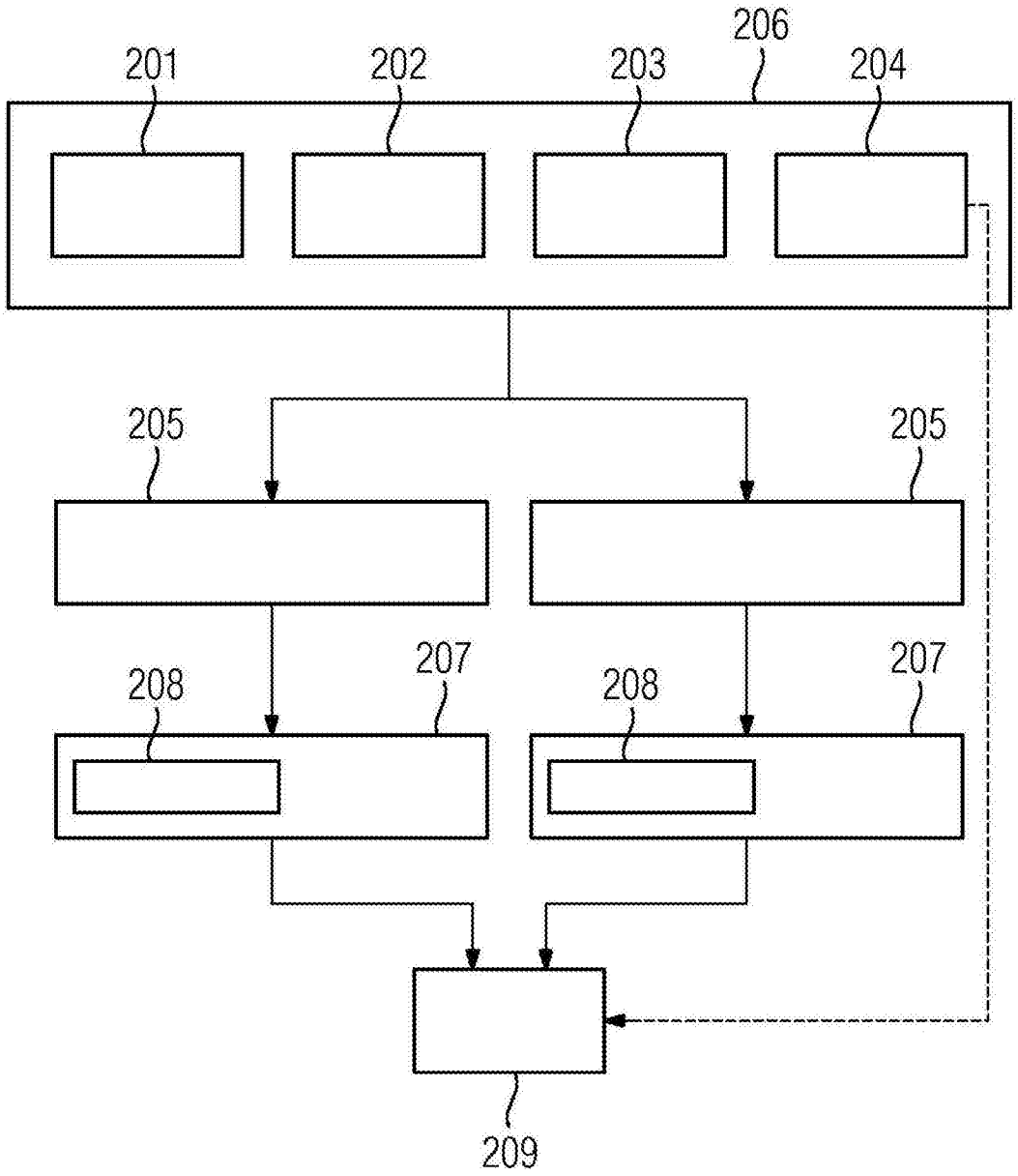


图 5