



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115309944 A

(43) 申请公布日 2022. 11. 08

(21) 申请号 202210479466.9

(22) 申请日 2022.05.05

(30) 优先权数据

21172310.1 2021.05.05 EP

(71) 申请人 西门子股份公司

地址 德国慕尼黑

(72) 发明人 刘雨珊 A·希梅尔胡贝尔

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

专利代理师 徐红燕 吕传奇

(51) Int. Cl.

G06F 16/901 (2019.01)

G06F 16/9035 (2019.01)

G06F 8/71 (2018.01)

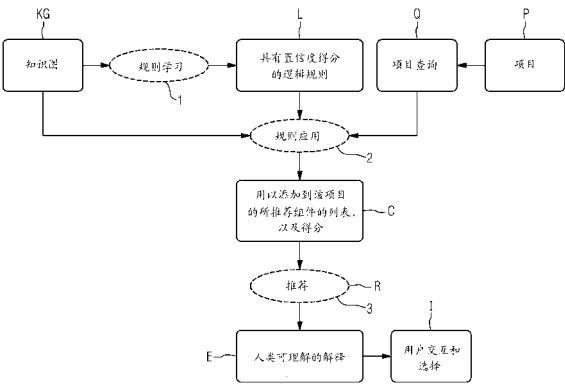
权利要求书2页 说明书7页 附图1页

(54) 发明名称

用于提供关于项目配置的推荐以配置工业系统的方法和系统

(57) 摘要

本发明涉及提供关于项目配置的推荐以配置工业系统的方法,包括:-经由接口来接收与重新配置工业系统的至少一个组件相关的项目查询,工业系统由知识图表示;-从知识图中自动挖掘均由规则主体和规则头部组成的逻辑规则,逻辑规则被指派给置信度值,通过确定规则主体在知识图中的出现频率并且验证规则头部是否成立来估计每个规则的置信度值;-通过计算每个候选者组件的得分来预测针对每个逻辑规则的项目查询的候选者组件,每个候选者组件的得分是从暗示候选者的每个规则的置信度值中导出;-基于所计算的得分来生成至少一个推荐;以及-经由用户接口向用户输出所生成的至少一个推荐或者执行所生成的推荐。



1. 一种用于提供关于项目配置的推荐以配置工业系统的方法，
所述方法包括以下步骤：
 - 经由接口来接收与用以重新配置所述工业系统的至少一个组件相关的项目查询(Q)，其中所述工业系统由知识图(KG)来表示，其中组件集中的组件由图节点来表示，并且两个组件之间的关系由对应节点之间的边来表示；
 - 从所述知识图中自动挖掘均由规则主体和规则头部组成的逻辑规则(L)，所述逻辑规则(L)被指派给置信度值，其中通过确定规则主体在所述知识图中的出现频率并且通过验证规则头部是否成立来估计每个规则的置信度值；
 - 通过计算每个候选者组件的得分来预测针对每个逻辑规则的所述项目查询的候选者组件，每个候选者组件的得分是从暗示所述候选者的每个规则的置信度值中导出的；
 - 基于所计算的得分来生成至少一个推荐(R)，以用于将所预测的候选者组件中的至少一个附加组件引入到所述工业系统中；以及
 - 经由用户接口(I)向用户输出所生成的至少一个推荐或者执行所生成的推荐。
2. 根据权利要求1所述的方法，其中所述至少一个推荐包括所预测的候选者组件根据所计算的其得分按照降序的排名。
3. 根据权利要求1或2所述的方法，其中所述挖掘过程从所述知识图的源节点开始，沿着所述知识图的边，到达由所述知识图的目标节点表示的目标组件，以提取所述源节点与所述目标节点之间的不同路径，其中从所提取的路径中导出的每个逻辑规则被指派给所述置信度值。
4. 根据前述权利要求中任一项所述的方法，其中所述至少一个推荐与至少一个用户可理解的解释(E)一起被呈现在用户接口上。
5. 根据前述权利要求中任一项所述的方法，其中所述置信度值能够取决于用户经由用户接口输入的和/或被存储在所述知识图中的用户要求。
6. 一种用于提供关于项目配置的推荐以配置工业系统的系统，其中所述系统包括至少一个处理器，所述处理器被配置成执行以下步骤：
 - 经由接口来接收与用以重新配置所述工业系统的至少一个组件相关的项目查询(Q)，其中所述工业系统由知识图(KG)来表示，其中组件集中的组件由图节点来表示，并且两个组件之间的关系由对应节点之间的边来表示；
 - 从所述知识图中自动挖掘均由规则主体和规则头部组成的逻辑规则(L)，所述逻辑规则(L)被指派给置信度值，其中通过确定规则主体在所述知识图中的出现频率并且通过验证规则头部是否成立来估计每个规则的置信度值；
 - 通过计算每个候选者组件的得分来预测针对每个逻辑规则的所述项目查询的候选者组件，每个候选者组件的得分是从暗示所述候选者的每个规则的置信度值中导出的；
 - 基于所计算的得分来生成至少一个推荐(R)，以用于将所预测的候选者组件中的至少一个附加组件引入到所述工业系统中，以及
 - 经由用户接口(I)向用户输出所生成的至少一个推荐或者执行所生成的推荐。
7. 根据权利要求6所述的系统，其中所述至少一个推荐包括所预测的候选者组件根据所计算的其得分按照降序的排名。
8. 根据权利要求6或7所述的系统，其中所述挖掘过程从所述知识图的源节点开始，沿

着所述知识图的边,到达由所述知识图的目标节点表示的目标组件,以提取所述源节点与所述目标节点之间的不同路径,其中从所提取的路径中导出的每个逻辑规则被指派给所述置信度值。

9.根据前述系统权利要求中任一项所述的系统,其中所述至少一个推荐与至少一个用户可理解的解释(E)一起被呈现在用户接口上。

10.根据前述系统权利要求中任一项所述的系统,其中所述置信度值能够取决于用户经由用户接口输入的和/或被存储在所述知识图中的用户要求。

11.一种计算机程序,其由计算机的一个或多个处理器执行,以便执行根据前述权利要求1至5中任一项所述的方法。

12.一种计算机可读存储介质,其具有根据先前权利要求11所述的计算机程序。

用于提供关于项目配置的推荐以配置工业系统的方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于提供关于项目配置的推荐以配置工业系统的方法和系统。

背景技术

[0002] 在工程项目中配置工业系统的过程包括若干个主要步骤。用户必须选择适当的组件,使得它们的相互作用满足产生于预期用例的所有功能要求。为此,分别负责配置工业系统的用户或工程师通常利用包含可用组件目录的配置软件。

[0003] 当提供一组产品组件以及其技术特征时,用户选择彼此兼容并且满足项目配置的功能要求的组件。基于项目类型和关于组件的背景知识,可以向用户提出初始组件,以便允许快速开始。然后,用户可以调整该配置并且添加更多必要的组件。可以通过设置特定于该项目的特定值(例如,设备温度、技术特征)来进一步配置一些组件。

[0004] 工业配置工具中的推荐器系统大多数提出所推荐的项,而没有考虑可以由知识图来表示的多关系数据结构。因此,预测仅由该项本身组成,并且不包含该图中的链接所能够提供的该项与整个配置的连接。

[0005] 存在用于解决推荐设置中的链接预测任务的不同方法:

- 由领域专家手动定义规则(例如,if-then规则)。对于手工制作有用的规则,需要领域知识和时间,当引入新的项或配置选项时,需要手工地适配这些规则。
- 基于张量分解方法的协同过滤[1],该方法在多维张量中表示关于实体和关系的信息。
- 隐特征表示方法,例如[4],该方法学习每个实体和关系的嵌入,并且通过计算(实体、关系、实体)三元组的得分来预测链接。

[0006] 虽然手动定义规则是时间低效的并且不可扩展到大数据集,但是基于张量分解和隐特征的方法是黑盒方法,这些方法既不可解释、也不是用户可理解的。

发明内容

[0007] 因此,本发明的目的是提供一种用于支持固定和/或完善(refine)查询的改进系统和/或方法。

[0008] 通过根据独立权利要求的特征的方法和一个或多个装置或系统、优选地是分布式系统来实现上述目的。从属权利要求中描述了本发明的优选实施例。从属权利要求的特征彼此以及与独立权利要求的特征的任何组合是可能的。

[0009] 本发明的一方面是一种用于提供关于项目配置的推荐以配置或设计工业系统的方法、优选地是计算机实现方法。该方法包括以下步骤:

- 经由接口来接收与用以重新配置该工业系统的至少一个组件相关的项目查询,其中该工业系统由知识图来表示,其中组件集合中的组件由图节点来表示,并且两个组件之间的关系(连接)由对应节点之间的边来表示;
- 从该知识图中自动挖掘均由规则主体和规则头部组成的逻辑规则,该逻辑规则

被指派给置信度值,其中通过确定或采样规则主体在该知识图中的出现频率并且通过验证规则头部是否成立来估计每个规则的置信度值;

- 通过计算每个候选者组件的得分来预测针对每个逻辑规则的所述项目查询的(可能)候选者组件,每个候选者组件的得分是从暗示所述候选者的每个规则的置信度值中导出的;

- 基于所计算的得分来生成至少一个推荐,以用于将所预测的候选者组件中的至少一个附加组件引入到该工业系统中;以及

- 经由用户接口向用户输出所生成的至少一个推荐或者执行所生成的推荐。

[0010] “如果规则头部成立”意味着如果该规则提供的值为真。

[0011] 挖掘该逻辑规则可以由学习代理来执行。

[0012] 工业系统的配置可以通过(工程)项目来完成。知识图中的链接预测问题,其中实体的上下文(以及与其他实体的连接)被考虑用于预测,其中该上下文中的实体是组件。

[0013] 本发明的方法包括从知识图中自动挖掘逻辑规则。当将数据驱动的方法与基于规则的解决方案进行比较时,该方法是可扩展的。此外,取决于基础工业系统的复杂性,本发明可以发现复杂的模式以作为推荐的基础。

[0014] 将本发明实现到项目工程软件工具中可以减少完成工程项目的配置所需要的时间。用户(例如,项目工程师)可以接受完整的所解释的推荐、或者选择所解释的推荐的一个或多个部分。

[0015] 可以通过置信度值的乘积(所谓的“噪声或”)或者通过置信度值的最大值(被称为聚合)来计算得分。

[0016] 通过用于估计规则置信度的采样技术以及在应用规则时最大聚合的高效实现,本发明可扩展到大数据集。

[0017] 挖掘过程通常从知识图的源节点开始,沿着知识图的边,到达由知识图的目标节点表示的目标组件,以提取源节点与目标节点之间的不同路径,其中从所提取的路径中导出的每个逻辑规则被指派给所述置信度值。知识图通常包含关于历史配置解决方案、组件连同其技术特征、用户数据、用户订单历史、以及考虑了组件和配置的背景信息(例如,兼容性、可用性)的信息。

[0018] 该至少一个推荐可以包括所预测的候选者组件根据所计算的其得分按照降序的排名(ranking)。

[0019] 该至少一个推荐可以与至少一个用户可理解的解释一起被呈现在用户接口上。

[0020] 这些推荐可以伴随着解释,这是由于这些规则充当关于为什么推荐某个组件的人类可理解的解释,这得到了更透明的配置过程。

[0021] 将本发明实现到项目工程软件工具中可以减少完成工程项目的配置所需要的时间。用户(例如,项目工程师)可以接受完整的所解释的推荐、或者选择所解释的推荐的一个或多个部分。

[0022] 所述置信度值可以取决于用户经由用户接口输入的和/或被存储在知识图中的用户要求。

[0023] 所生成的至少一个推荐可以用于通过将一个或多个补充物和/或附加物引入到该工业系统中来执行该工业系统的(重新)配置。

[0024] 本发明的另一方面是一种用于提供关于项目配置的推荐以配置工业系统的系统，其中该系统包括至少一个处理器，该处理器被配置成执行以下步骤：

- 经由接口来接收与用以重新配置该工业系统的至少一个组件相关的项目查询，其中该工业系统由知识图来表示，其中组件集合中的组件由图节点来表示，并且两个组件之间的关系由对应节点之间的边来表示；

- 从该知识图中自动挖掘均由规则主体和规则头部组成的逻辑规则，该逻辑规则被指派给置信度值，其中通过确定规则主体在该知识图中的出现频率并且通过验证规则头部是否成立来估计每个规则的置信度值；

- 通过计算每个候选者组件的得分来预测针对每个逻辑规则的所述项目查询的候选者组件，每个候选者组件的得分是从暗示所述候选者的每个规则的置信度值中导出的；

- 基于所计算的得分来生成至少一个推荐，以用于将所预测的候选者组件中的至少一个附加组件引入到该工业系统中，以及

- 经由用户接口向用户输出所生成的至少一个推荐或者执行所生成的推荐。

[0025] 如上描述的系统的实施例可以类似地针对该方法和计算机程序(产品)以及计算机可读存储介质来应用。

[0026] 该系统可以由硬件、固件和/或软件或者它们的组合来实现。

[0027] 该计算机可读存储介质存储可由计算机的一个或多个处理器执行的指令，其中指令的执行使得该计算机系统执行该方法。

[0028] 该计算机程序(产品)由计算机的一个或多个处理器执行，并且执行该方法。

附图说明

[0029] 当结合附图阅读时，从以下详细描述中可以最好地理解本发明的前述和其他方面。出于说明本发明的目的，在附图中示出了目前优选的实施例，然而，要理解的是，本发明不限于所公开的具体手段。附图中包括以下的图：

该图1示出了本发明方法的工作流程。

[0030] 该图中所示的工作流程包括标记为1至3的步骤。

[0031] 用户数据和/或项目配置数据可以用于工程项目P，以便(重新)配置包括各种组件的工业系统。这些数据是多关系数据，其可以被表示为知识图KG，表示组件的其实体对应于节点，并且其关系对应于知识图中的边。

[0032] 用于提供关于项目配置的一个或多个推荐R的创造性任务可以被制订(formulate)为知识图中的一种链接预测问题。实体的上下文被考虑用于预测。框架可以用于提供可扩展的基于规则的推荐，其最终结果是用户可解释的推荐E，该推荐E可以被呈现在用户接口I上或者用于自动执行一个或多个推荐。在经由接口接收到与用以(重新)配置该工业系统的至少一个组件相关的项目查询Q之后，在步骤1中，框架基础方法首先基于历史信息 and 背景知识来学习规则。其次，在步骤2中，应用这些规则来生成所推荐的组件C，针对所推荐的组件C，这些规则也充当人类可理解的解释。第三，在步骤3中，可以将解释添加到最终可以被呈现在用户接口I上的一个或多个推荐。

[0033] 下文中，将更详细地解释步骤1至3：

步骤1:规则学习:这意味着:从该知识图中自动挖掘均由规则主体和规则头部组成的逻辑规则,该逻辑规则被指派给置信度值,其中通过确定规则主体在该知识图中的出现频率并且通过验证规则头部是否成立来估计每个规则的置信度值。

[0034] 步骤2:规则应用:这意味着:通过计算每个候选者组件的得分来预测针对每个逻辑规则的所述项目查询的候选者组件,每个候选者组件的得分是从暗示所述候选者的每个规则的置信度值中导出的。

[0035] 步骤3:推荐,可选地具有用户可理解的解释:这意味着:基于所计算的得分来生成至少一个推荐,以用于将所预测的候选者组件中的至少一个附加组件引入到该工业系统中,

以及最后:

经由用户接口向用户输出所生成的至少一个推荐或者执行所生成的推荐。

[0036] 规则学习:

输入:包含关于项目配置、组件、以及操作该工业系统的客户的所有信息的知识图。

[0037] 输出:具有置信度值的逻辑规则。

[0038] 关于历史配置解决方案、组件连同其技术特征、用户数据、用户订单历史、以及考虑了组件和配置的背景信息(例如,兼容性、可用性)的信息被编码到用作规则学习的输入的知识图中。在给定该知识图的情况下,应用从该图中自动挖掘规则的规则挖掘方法。

[0039] 逻辑规则具有形式 $h(x_0, x_{n+1}) \leftarrow b_1(x_0, x_1) \wedge b_2(x_1, x_2) \wedge \dots \wedge b_n(x_{n-1}, x_n)$, 其中 $h(x_0, x_{n+1})$ 是规则头部, 并且 $b_1(x_0, x_1) \wedge b_2(x_1, x_2) \wedge \dots \wedge b_n(x_{n-1}, x_n)$ 是规则主体。变量 x_n 和 x_{n+1} 可以在相同的实体上取得, 但也可以在不同的实体上取得。该规则意味着:如果规则主体成立, 则规则头部也成立。由于存在很少规则在所有条件下都为真, 因此我们向每个规则配备一置信度值。规则的标准置信度(即, 规则为真的可能性)由

规则支持
主体支持 来定义。

[0040] 示例:

·设备(客户, 编号) <- 订单历史(客户, 设备), 故障安全(设备, 类型), 安装高度(类型, 最大高度)

置信度:78%

·设备(项目, 编号) <- 项目类型(项目, 类型), 温度最大值(类型, 最大温度), 连接(最大温度, 连接类型), 插头(连接类型, 插头类型)

置信度:67%

可能的规则学习方法是AnyBURL [2], 其对该图中的随机游走(random walk)进行采样, 并且将它们归纳成逻辑规则。通过对该图中的规则主体出现的特定数量/频率进行采样并且检查规则头部是否成立来估计规则的置信度。

[0041] AMIE[3]中解释了进一步可能的规则学习方法。该方法是明确为支持开放世界假设场景而定制的。它受关联规则挖掘所启发, 并且引入了针对置信度的度量。它使用语言偏差(language bias)来限制搜索空间。如果规则中的两个原子共享一变量或一实体, 则它们

是被连接的。如果每个原子与该规则的每个其他原子传递性地连接,则该规则是被连接的。该方法仅挖掘被连接的规则,即,它避免构建包含不相关原子的规则。假设如果规则中的每个变量至少出现两次,则该规则是封闭的。这种规则不仅仅预测事实的存在。它仅挖掘封闭规则。在主体中包含头部关系的递归规则被允许。

[0042] 规则应用:

输入:具有置信度值的逻辑规则;包含关于项目配置、组件、以及操作该工业系统的客户的所有信息知识图;关于感兴趣项目的至少一个查询。该项目查询关于要(重新)配置的一个或多个组件。

[0043] 输出:至少一个推荐,例如采用至少一个所推荐的(候选者)组件的列表的形式,以添加到该项目,并且因此将至少一个所推荐的候选者组件引入到该工业系统中,其中该推荐还可以包含关于(一个或多个)候选者组件应当如何被集成/引入到该工业系统中的信息;每个所推荐的组件的得分。

[0044] 将步骤1中所学习/挖掘的规则应用于感兴趣的项目。如果假设规则是独立的,则可以使用“噪声或”聚合来找到预测。在这种情况下,所有可能的组件被预测为每个规则的候选者组件,其中候选者组件的得分是暗示该候选者组件的所有规则的置信度值的乘积。另一个可能的设置是最大值聚合,其中每个候选者组件的得分是利用暗示该候选者组件的所有规则的最大置信度值来计算的。更精确地说,针对它得到的每个规则,预测采用 $h(x_0, x_{n+1})$ 的形式,其中 x_0 已经存在于该图中(当前项目), x_{n+1} 是新推荐的组件,并且 h 是连接实体 x_{n+1} 和 x_0 的关系。关系 h 确定了新组件 x_{n+1} 应当如何确切地被集成到现有配置中。

[0045] 示例:

设备(P,Z) <- 项目类型(P, Production_54), 温度最大值(Production_54, 40), 连接(40, C_44), 插座(C_44, P_12)

置信度:67%

设备(S,X) <- 订单历史(S,Y), 故障安全(Y, “Prosafes”), 安装高度(“Prosafes”, 10m)

置信度:78%

可解释的推荐

输入:至少一个推荐,例如采用所推荐的组件的列表的形式,以添加到该项目;关于它们应当如何被集成到该配置中的信息;每个所推荐的组件的得分。

[0046] 输出:具有得分的所推荐组件的排序列表;关于为什么推荐该组件以及该组件应当如何确切地被集成到该配置中的人类可理解的解释。

[0047] 来自步骤2的推荐按照递减的得分被排序,并且在用户接口上输出。为了使结果是用户可理解的,重新制订暗示了预测的逻辑规则和该图中的所预测的链接/边。该链接描述了该组件如何连接到该项目,并且逻辑规则解释了该推荐。在进一步的步骤中,执行言语化(verbalization),这使得所生成的推荐是更加人类可理解的。

[0048] 示例:

·客户S应当订购设备X,这是因为客户S过去订购了设备Y,并且设备Y伴随着故障安全功能“Prosafes”,并且具有故障安全功能“Prosafes”的设备伴随着安装高度最大值10m,并且如果设备是以故障安全功能“Prosafes”和安装高度最大值10m被订购的,则设备X在78%

置信度的情况下是非常适合客户S的。

·针对项目P,应当订购设备Z,这是因为项目P具有项目类型Production_54,该项目类型Production_54伴随着温度最大值限制40度,并且具有温度最大值限制40度的设备具有连接类型C_44,并且具有连接类型C_44的设备具有插头类型P_12,并且如果项目具有类型Production_54,具有温度限制40度,伴随着连接类型C_44和插头类型P_12,则设备Z在67%置信度的情况下是非常适合项目P的。

[0049] 在下文中描述了该系统的训练、部署和用户交互:

训练

作为起点,从关于项目配置、组件和客户的所有可用数据中自动挖掘逻辑规则(步骤1)。不需要针对每个新项目来学习/挖掘规则,但是针对若干个项目重复使用规则是可能的。然而,在一定量的新项目数据可用之后,更新/重新学习规则并且尤其是规则的置信度值是有用的。如果将新组件引入到系统配置,则这也成立。新的信息应当以及时的方式被并入到知识图中,使得规则学习步骤可以利用新的数据。

[0050] 部署

如果用户创建了新的项目,则应用来自步骤1的规则以生成候选者组件的预测(步骤2)以及可解释的推荐(步骤3)。

[0051] 用户交互

来自步骤3的可解释的推荐在图形用户接口中被呈现给用户,其中用户应当具有如下选项:直接点击期望的组件以将它们添加到当前项目配置。如果用户对项目具有某些要求(例如,仅使用某种类型的设备),则他或她可以在相应的过滤框中检查它们,并且本发明的方法可以过滤掉不匹配这些要求的组件。

[0052] 该方法可以由诸如微控制器或微处理器之类的至少一个处理器、由专用集成电路(ASIC)、由任何种类的计算机(包括移动计算设备,诸如平板电脑、智能电话或笔记本电脑)或者由控制室或云中的一个或多个服务器来执行。

[0053] 例如,该系统和/或计算机的处理器、控制器或集成电路和/或另一个处理器可以被配置成实现本文中描述的动作。

[0054] 上面描述的方法可以经由计算机程序(产品)来实现,该计算机程序包括一个或多个计算机可读存储介质,其上存储有可由计算系统和/或计算引擎的一个或多个处理器执行的指令。指令的执行使得该计算系统执行与上面描述的方法的动作相对应的操作。

[0055] 用于实现本文中描述的过程或方法的指令可以在非暂时性计算机可读存储介质或存储器上提供,该存储介质或存储器诸如高速缓存、缓冲器、RAM、FLASH、可移除介质、盘驱动器或其他计算机可读存储介质。处理器实行或执行指令来训练和/或应用经训练的模型以用于控制系统。计算机可读存储介质包括各种类型的易失性和非易失性存储介质。可以响应于存储在计算机可读存储介质中或其上的一个或多个指令集来执行附图中所示或本文中描述的功能、动作或任务。这些功能、动作或任务可以独立于特定类型的指令集、存储介质、处理器或处理策略,并且可以由软件、硬件、集成电路、固件、微代码等单独地或组合地操作执行。同样地,处理策略可以包括多处理、多任务、并行处理等。

[0056] 已经参考本发明的实施例和示例详细描述了本发明。然而,在权利要求所覆盖的本发明的精神和范围内,可以进行变化和修改。作为替代表达的短语“A、B和C中的至少一

个”可以规定可以使用A、B和C中的一个或多个。

[0057] 本文中使用的术语仅用于描述特定实施例的目的,并且不意图限制本发明的示例实施例。如本文中所使用的,单数形式“一(a、an)”和“该”意图也包括复数形式,除非上下文清楚地另行指示。

[0058] 要理解的是,所附权利要求中记载的元件和特征可以以不同的方式被组合,以产生同样落入本发明范围内的新权利要求。因此,尽管下面所附的从属权利要求仅从属于单个独立或从属权利要求,但要理解的是,这些从属权利要求可以替代地从属于任何前面或后面的权利要求,无论是独立权利要求还是从属权利要求,并且这种新的组合应被理解为形成本说明书的一部分。

[0059] 除非使用短语“用于……的装置”或者在方法权利要求的情况下使用短语“用于……的操作”或“用于……的步骤”来明确地记载一元件,否则权利要求中所记载的任何元件都不是装置加功能性限定(means-plus-function)元件。

[0060] 虽然上面已经参考各种实施例描述了本发明,但是应当理解,可以对所描述的实施例做出许多改变和修改。因此,所意图的是,前述描述被视为说明性的而非限制性的,并且要理解的是,实施例的所有等同物和/或组合意图被包括在本描述中。

[0061] 参考文献

[1] Marcel Hildebrandt et al. Configuration of Industrial Automation Solutions Using Multi-Relational Recommender Systems. ECML-PKDD 2018

[2] Christian Meilicke et al. Anytime Bottom-Up Rule Learning for Knowledge Graph Completion. IJCAI 2019

[3] Luis Galárraga, Christina Teflioudi, Katja Hose, Fabian M. Suchanek, AMIE: “Association Rule Mining under Incomplete Evidence in Ontological Knowledge Bases”, 20th International World Wide Web Conference (WWW 2013), <http://resources.mpi-inf.mpg.de/yago-naga/amie/amie.pdf>

[4] EP20197648。

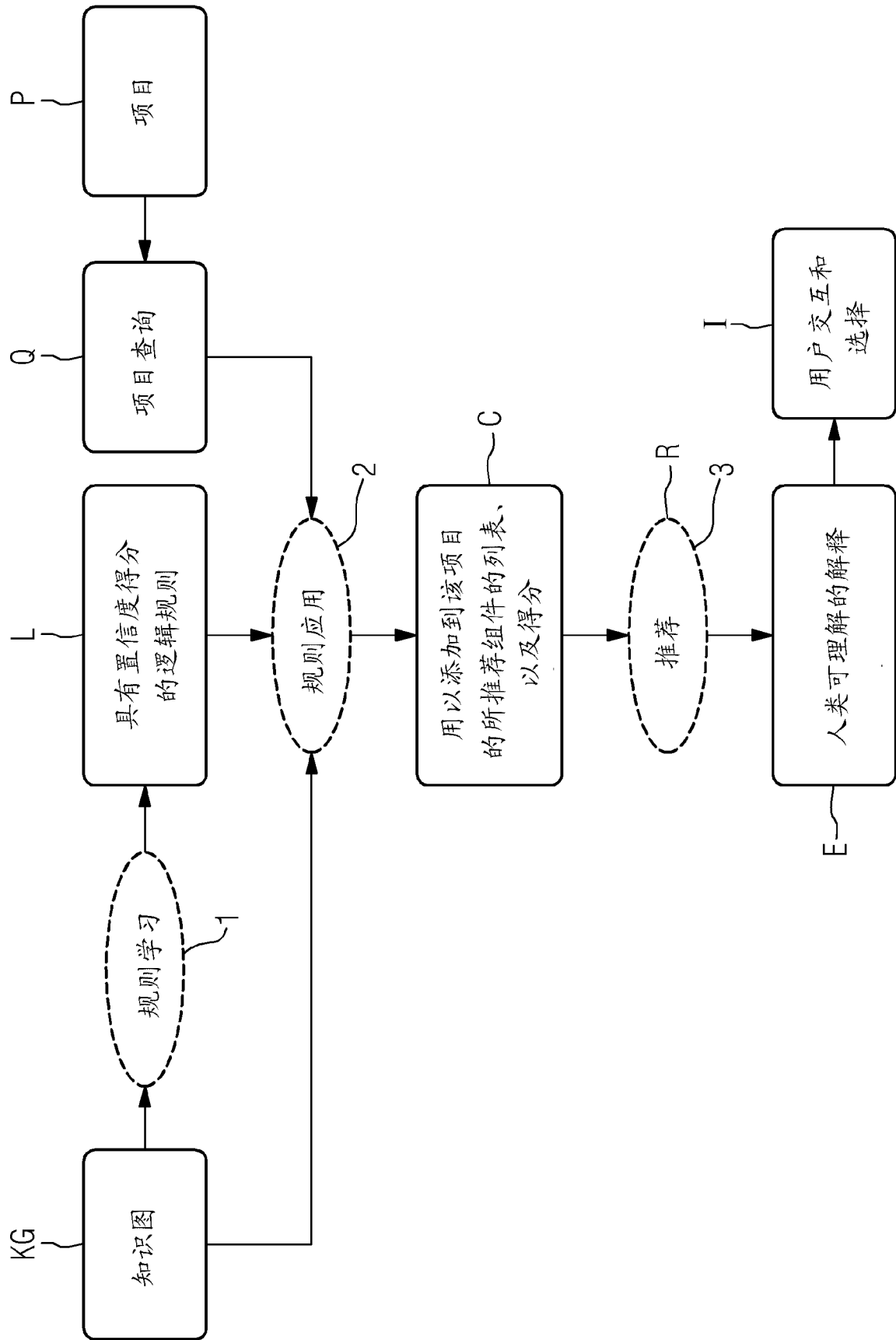


图 1