



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105389413 A

(43) 申请公布日 2016. 03. 09

(21) 申请号 201510664836. 6

(22) 申请日 2015. 08. 26

(30) 优先权数据

14306316. 2 2014. 08. 26 EP

(71) 申请人 达索系统公司

地址 法国韦利济 - 维拉库布莱

(72) 发明人 J-F • 拉莫

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 刘瑜 王英

(51) Int. Cl.

G06F 17/50(2006. 01)

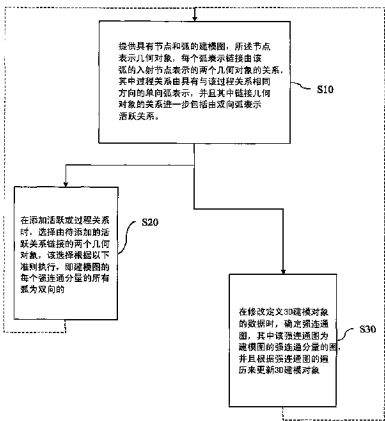
权利要求书2页 说明书18页 附图9页

(54) 发明名称

方法和装置

(57) 摘要

本发明特别地涉及一种用于设计三维建模对象的计算机实现的方法。该方法包括提供具有节点和弧的建模图，所述节点表示几何对象，每个弧表示链接由该弧的入射节点表示的两个几何对象的关系，其中过程关系由具有与该过程关系相同方向的单向弧表示，并且其中链接几何对象的关系进一步包括由双向弧表示的活跃关系。该方法还包括在修改定义该 3D 建模对象的数据时，确定强连通图，其中该强连通图为该建模图的强连通分量的图，并且根据强连通图的遍历来更新该 3D 建模对象。该方法改进了 3D 建模对象的设计。



1. 一种用于设计 3D 建模对象的计算机实现的方法, 所述 3D 建模对象表示工业产品, 并且所述 3D 建模对象由包括多个几何对象的数据和链接所述几何对象的关系来进行定义, 其中, 链接所述几何对象的所述关系包括过程关系, 并且其中, 所述方法包括以下步骤:

提供具有节点和弧的建模图, 所述节点表示所述几何对象, 所述弧中的每一个弧表示链接由所述弧的入射节点表示的两个几何对象的关系, 其中, 所述过程关系由与所述过程关系具有相同方向的单向弧表示, 其中, 链接所述几何对象的关系进一步包括由双向弧表示的活跃关系; 并且其中, 所提供的建模图遵守所述建模图的每一个强连通分量的所有弧为双向的准则; 以及

当添加链接在添加之前被包括在对所述 3D 建模对象进行定义的数据中的几何对象中的两个几何对象的关系时, 选择要由要被添加的所述关系链接的两个几何对象, 所述选择根据所述准则来执行。

2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中, 对要由要被添加的所述关系链接的所述两个几何对象的选择包括:

在所有几何对象中选择第一几何对象;

在所述建模图内标识在它们和所述第一几何对象之间添加所述关系将打破所述准则的所有几何对象; 以及然后

根据所标识的几何对象来选择第二几何对象。

3. 根据权利要求 2 所述的方法, 其中, 要被添加的所述关系是活跃关系, 并且所述标识包含确定被包括在所述第一几何对象的强连通分量中的所有节点的所有部落节点, 或者要被添加的所述关系是将所述第一几何对象作为输入的过程关系, 并且所述标识包含确定被包括在所述第一几何对象的强连通分量中的所有节点的所有父节点, 或者要被添加的所述关系是使得所述第一几何对象作为输出的过程关系, 并且所述标识包含确定被包括在所述第一几何对象的强连通分量中的所有节点的所有子节点。

4. 根据权利要求 3 所述的方法, 其中, 确定被包括在所述第一几何对象的强连通分量中的所有节点的所有部落节点或所有父节点或所有子节点通过确定所述建模图的强连通图来被执行, 其中, 所述强连通图是所述建模图的强连通分量的图, 并且然后在所述强连通图中确定所述第一几何对象的所述强连通分量的所有部落节点或所有父节点或所有子节点。

5. 根据权利要求 2、3 或 4 所述的方法, 其中, 对所述第一几何对象和 / 或所述第二几何对象的所述选择经由用户交互来被执行。

6. 根据权利要求 2-5 中的任一项所述的方法, 其中, 对所述第二几何对象的所述选择被限制为所述建模图中未被标识为破坏所述准则的几何对象。

7. 根据权利要求 1-6 中的任一项所述的方法, 其中, 所述活跃关系为样式关系和 / 或机械关系。

8. 根据权利要求 7 所述的方法, 其中, 所述工业产品为机械部件或消费物品。

9. 根据权利要求 1-8 中的任一项所述的方法, 包括在进一步修改对所述 3D 建模对象进行定义的数据时, 确定强连通图, 其中, 所述强连通图为所述建模图的强连通分量的图, 并且根据所述强连通图的遍历来更新所述 3D 建模对象。

10. 一种由权利要求 1-9 中的任一项所述的方法设计的三维对象。

11. 一种由权利要求 10 所述的三维对象表示的工业产品。
12. 一种用于制造工业产品的方法,包括以下步骤,根据权利要求 1-9 中的任一项所述的方法来设计表示所述工业产品的三维对象,并且然后基于所设计的三维对象来制造所述工业产品。
13. 一种包括用于执行权利要求 1-9 中的任一项所述的方法的指令的计算机程序。
14. 一种具有记录于其上的权利要求 13 所述的计算机程序的数据存储介质。
15. 一种 CAD 系统,其包括处理器、存储器和图形用户界面,所述处理器耦合于所述存储器和所述图形用户界面,所述存储器具有记录于其上的权利要求 13 所述的计算机程序。

方法和装置

技术领域

[0001] 本发明尤其涉及工业设计领域,所述工业设计诸如车辆设计、包装设计、机械设计、消费物品以及电子器件设计。

背景技术

[0002] 多种系统和程序被提供在市场上以用于对象的设计、工程和制造。CAD 为计算机辅助设计的缩写,例如其涉及用于设计对象的软件解决方案。CAE 为计算机辅助工程的缩写,例如其涉及用于对未来产品的物理行为进行仿真的软件解决方案。CAM 为计算机辅助制造的缩写,例如其涉及用于对制造过程和操作进行定义的软件解决方案。在这样的计算机辅助设计系统中,图形用户界面在关于技术效率方面扮演重要角色。这些技术可以被嵌入在产品生命周期管理 (PLM) 系统中。PLM 指代商业策略,其帮助公司共享产品数据、应用公共过程,并且在扩展企业概念中影响从概念到其生命周期结束的产品开发的企业知识。

[0003] 由 DASSAULT SYSTEMES (根据商标 CATIA、ENOVIA 和 DELMIA) 提供的 PLM 解决方案提供了工程中心,其组织产品工程知识;制造中心,其管理制造工程知识;以及企业中心,其使企业集成和连接到工程中心和制造中心。连同以上三个中心,系统传送开放对象模型,其链接产品、过程、资源以能够创建动态的、基于知识的产品,并且能够进行决策支持,其驱动优化的产品定义、制造准备、生产和服务。

[0004] 不同的框架被提供给工业设计者,以用于三维建模对象的设计。在更广泛的框架中,工业设计者经由过程关系来执行其设计。更精确地,工业设计者定义基本几何形状和过程的历史,所述过程将基本几何形状转换为根据过程的历史被分层次连接的更复杂的对象,以形成期望的复杂模型。该框架为更加优选的框架,特别是因为其允许有经验的设计者相对更快地执行其设计。事实上,利用适当的过程,人们可以以相对更少的操作来实现复杂模型。该主题的参考为“Hanbook of solid modeling”;Donald E Lacourse,Ed:Mac Graw Hill。

[0005] 在另一框架中,工业设计者经由非过程关系来执行其设计。更精确地,工业设计者定义基本形状,然后,定义在几何形状之间的活跃关系,以使遵守约束的集合的基本几何形状的集合形成所期望的复杂模型。

[0006] 在本上下文中,仍然需要改进的解决方案来设计 3D 建模对象。

发明内容

[0007] 因此提供了一种用于设计三维建模对象的计算机实现的方法,所述三维建模对象表示工业产品,并且由包括多个几何对象的数据和链接所述几何对象的关系来进行定义,其中链接所述几何对象的关系包括过程关系。该方法包括提供具有节点和弧的建模图的步骤,所述节点表示该几何对象,所述弧的每一个弧表示链接由弧的入射节点表示的两个几何对象的关系,其中该过程关系由具有与该过程关系相同的方向的单向弧表示,并且其中链接几何对象的关系进一步包括由双向弧表示的活跃关系,并且其中,所提供的建模图遵

守以下准则,即所述建模图的每一个强连通分量的所有弧为双向的。以及所述方法包括当添加链接在添加之前被包括在对所述 3D 建模对象进行定义的数据中的几何对象中的两个几何对象的关系时,选择由要被添加的所述关系链接的两个几何对象,所述选择根据所述准则来执行。

[0008] 该方法可以包括如下中的一个或多个:

[0009] - 对要由待被添加的所述关系链接的所述两个几何对象的选择包括在所有几何对象中选择第一几何对象,在所述建模图中标识在它们和所述第一几何对象之间添加所述关系将打破所述准则的所有几何对象,以及然后根据所标识的几何对象来选择第二几何对象;

[0010] - 要被添加的所述关系是活跃关系,并且所述标识包含确定被包括在所述第一几何对象的强连通分量中的所有节点的所有部落节点,或者要被添加的所述关系是将所述第一几何对象作为输入的过程关系,并且所述标识包含确定被包括在所述第一几何对象的强连通分量中的所有节点的所有父节点,或者要被添加的所述关系是使得所述第一几何对象作为输出的过程关系,并且所述标识包含确定被包括在所述第一几何对象的强连通分量中的所有节点的所有子节点。

[0011] - 确定被包括在所述第一几何对象的强连通分量中的所有节点的所有部落节点或所有父节点或所有子节点通过确定所述建模图的强连通图来被执行,其中,所述强连通图是所述建模图的强连通分量的图,并且然后在所述强连通图中确定所述第一几何对象的强连通分量中的所有节点的所有部落节点或所有父节点或所有子节点;

[0012] - 其中,对所述第一几何对象和 / 或所述第二几何对象的所述选择经由用户交互来被执行;

[0013] - 对所述第二几何对象的所述选择被限制为所述建模图中的未被标识为破坏所述准则的几何对象;

[0014] - 所述活跃关系为样式关系和 / 或机械关系;

[0015] - 所述工业产品为机械部件或消费物品;和 / 或

[0016] - 所述方法包括,在进一步修改对所述 3D 建模对象进行定义的数据时,确定强连通图,其中,所述强连通图为所述建模图的强连通分量的图,并且根据所述强连通图的遍历来更新所述 3D 建模对象。

[0017] 进一步提供了一种计算机程序,包含用于执行该方法的指令。

[0018] 进一步提供了一种计算机可读存储介质,具有记录其上的计算机程序。

[0019] 进一步提供了一种 CAD 系统,包括处理器、存储器和图形用户界面,所述处理器耦合于所述存储器和所述图形用户界面,该存储器具有记录于其上的计算机程序。

[0020] 进一步提供了一种由所述方法设计的三维对象。

[0021] 进一步提供了一种存储该三维对象的数据文件。

[0022] 进一步提供了一种存储该三维对象的数据结构

[0023] 进一步提供了一种由该三维对象表示的工业产品。

[0024] 进一步提供了一种用于制造工业产品的方法,包括根据上述设计方法来设计表示该工业产品的三维对象,然后基于所设计的三维对象来制造工业产品的步骤。

附图说明

- [0025] 现将以非限制示例的形式并且参考附图来描述本发明的实施例，其中：
- [0026] - 图 1 示出了方法的示例的流程图；
- [0027] - 图 2 示出了系统的图形用户界面的示例；
- [0028] - 图 3 示出了系统的示例；并且
- [0029] - 图 4- 图 32 说明了该方法。

具体实施方式

[0030] 参考图 1 的流程图，提出了一种用于设计三维建模对象的计算机实现的方法。该 3D 建模对象表示工业产品。3D 建模对象由包括多个几何对象和链接几何对象的关系的数据进行定义。链接几何对象的关系包括过程关系和活跃关系。该方法包括提供具有节点和弧的建模图的步骤 S10，所述节点表示几何对象，所述弧的每一个表示链接由弧的入射节点表示的两个几何对象的关系。在该图中，过程关系由具有与过程关系相同的方向的单向弧表示，并且活跃关系由双向弧表示。提供步骤 S10 与方法的其他步骤不同地被表示，但从计算机实现的视角，该提供可以实际上产生作为背景过程，以使建模图（在方法中潜在地被修改的）始终被提供。

[0031] 如图 1 所示，该方法可以包括在修改 S30 对 3D 建模对象进行定义的数据时确定强连通图的步骤 S30。该确定可以被执行，例如，从草稿开始执行或从对在方法的先前迭代中确定的强连通图进行更新 / 检索开始执行。该强连通图为建模图的强连通分量的图。该方法还包括在 S30 根据强连通图的遍历来更新 3D 建模对象。修改 S30、确定 S30 和更新 S30 被表示在同一个框 S30 中，这是因为它们可以被视为被重叠在单个步骤中，并且不一定是顺序的。

[0032] 同样如图 1 所表示的，提供步骤 S10 可以可选地在选择步骤 S20 之前，在添加 S20 链接在添加之前被包括在对三维建模对象进行定义的数据中的几何对象中的两个（即至少两个）几何对象的（活跃或过程）关系（即要由要被添加的关系链接的对象已存在 / 已经被实例化，即其不是通过添加而被新创建的）时，两个几何对象由待添加的关系进行链接。并且，选择 S20 和添加 S20 被表示在同一个框中，因为它们可以被视为被重叠在单个步骤，并且不一定按序。在这种情况下，选择 S20 根据图所遵守的特定准则执行，例如，在整个方法中。该准则可以在下文被称为“S20 的准则”或“与 S20 相关的准则”或“顺序准则”。特别地，所提供的建模图遵守以下准则，即建模图的每个强连通分量的所有弧为双向的。

[0033] 还如图 1 所表示的，步骤 S20 和 S30 的每一个可以在重复迭代之前。特别地，在 S20，活跃或过程关系的添加组成对定义 3D 建模对象的数据的修改，以使 S10 和 S20 的迭代可以在 S10 和 S30 的迭代之前，其中迭代的 S30 的数据修改为该迭代的 S20 的活跃或过程关系的添加。其概念上与 S20 以及然后 S30 的迭代相对应，因为 S10 为后台过程。在该情况下，S20 指定 S30，就这种意义而言，其添加了进一步的条件，即对定义 3D 建模对象的数据的修改不以 S20 中所述的特定方式以外的任何方式执行。例如，该方法可以包括具有 S10 和 S20 的第一迭代，以及具有 S10 和 S30 的第二迭代，然后可选地利用每次 S20 或 S30 被执行的其他迭代。对定义 3D 建模对象的数据的其他类型（未示出）的修改，诸如添加将已有几何对象作为输入以及创建新的几何对象作为输出的过程关系（即下文可能被称为添加“新

的过程”)，删除过程关系、或删除活跃关系，可以被考虑。在这种情况下，参考图 1 的流程图，方法在所述其他类型的修改时不执行 S20。该迭代过程对应于工业设计者以连续方式来执行设计方法。事实上，设计者添加或删除过程或活跃关系、或他 / 她对定义 3D 建模对象的数据作出其他修改。每次存在这样的修改时，S30 可以被执行。每次修改包括添加特定活跃或过程关系时，S20 可以被执行，并且 S30 然后可能被执行。

[0034] 注意，S30 对应于在先前修改时对 3D 建模对象的更新。该更新允许修改的直接集成，例如，以向设计者提供其视觉反馈（如果例如 3D 建模对象被显示，同时修改被执行）。然而，该更新不一定在运行中被执行。事实上通常是，设计者执行设计修改而不进行任何更新（并且因此没有任何视觉反馈）。该修改可以累加，并且该更新可以随后在任何时间产生。在该情况下，方法包括 S10 和 S20 的若干次迭代（或由 S20 所设想的之外的其他修改）。然后，该方法可以包括 S10 和 S30 的迭代，以可能在另一工作站、另一天和 / 或由另一人来执行更新。

[0035] 该方法改进 3D 建模对象的设计。特别地，该方法允许利用过程关系和活跃关系二者来设计三维对象。其向工业设计者提供了过程关系的体系结构上的优点，以使设计者可以使用过程，以便快速实现复杂几何形状，同时向工业设计者提供了活跃关系的可伸缩性，以使设计者可以在任何时间设置任何约束。方法通过提供在修改其定义数据时执行 3D 建模对象的更新的系统的方式，从而以鲁棒的方式实现了这两个框架的集成。事实上，该方法可以根据在 S30 处对强连通图的遍历来系统地执行更新。通过依靠其在图论方面所做的，该方法相对更快地执行。事实上，通过图来表示 3D 建模对象和关系以及在修改其定义数据时经由使用强连通图来执行对 3D 建模对象的更新允许更简单和快捷的更新，特别地是因为强连通图可以从一个方法的迭代到另一个而简单地更新。例如，先前迭代的子结果可以在任何迭代中使用。因此，当迭代时该方法允许平滑的设计。同样重要地，该方法允许针对工业设计者的直观和可预测的更新。事实上，工业设计者具有广泛分布并且一致的设计偏好。特别地，正如发明者进行的测试所确认的，工业设计者期望，当修改对包括过程关系的 3D 建模对象进行定义的数据时，所述过程关系的输入不被该更新修改 / 移除，除非由设计者进行修改。该方法通过强连通图的遍历来保证该需求。最终，在遵守建模图的每个强连通分量的所有弧为双向的准则的实现中，其由在每次活跃关系或过程关系被添加至两个已有对象之间的 3D 建模对象时系统地执行 S20 的选项来保证，该方法允许重用已有的专用解算器来鲁棒地并且快速地执行更新（在其之后，即，在 S30）。事实上，强连通分量提供了活跃关系涉及的几何对象组的分离（更可能地，工业设计环境中对于每一个组为相同类型），以使更新可以通过改变已有和充足的活跃解算器和过程执行 / 估计来执行，如下文当详细描述 S30 的示例时将提到的。其比开发可以处理两种类型关系的专用的解算器的系统更加简单和系统化。

[0036] 该方法是计算机实现的。其表示方法的步骤（或基本上所有步骤）由至少一个计算机或任何类似系统来执行。因此，方法的步骤由计算机可能完全自动或半自动地执行。在示例中，触发该方法的至少某些步骤可以通过用户与计算机的交互执行。所需要的用户与计算机交互的等级可以取决于自动预见的等级并且与实现用户需求的需要相权衡。在示例中，该等级可以由用户定义和 / 或预定义。

[0037] 该方法的计算机实现的典型示例用于利用适用于该目的的系统来执行该方法。该

系统可以包括处理器、存储器和图形用户界面 (GUI), 所述处理器耦合于所述存储器和所述图形用户界面, 该存储器具有记录其上的包括执行该方法的指令的计算机程序。该存储器还可以存储数据库。存储器为适用于这样的存储的任何硬件, 可能包括若干物理分立的部件 (如一个用于程序, 而一个可能用于数据库)。

[0038] 该方法总体上操作建模对象。建模对象为由存储于数据库中的数据所定义的任何对象。由此可知, 表述“建模对象”指代数据本身。由该方法设计的 3D 建模对象连同其定义数据, 具有建模图的结构特征, 所述建模图具有表示两种类型的关系的弧。在 S20 的准则被遵守的实现中, 3D 建模对象具有该图遵守所述准则的进一步特征。3D 建模对象可以被存储于专用的数据结构中, 可能在数据文件中。

[0039] 根据系统的类型, 建模对象可以由不同类型的数据进行定义。系统事实上可以为 CAD 系统、CAE 系统、CAM 系统、PDM 系统和 / 或 PLM 系统的任何组合。在不同的系统中, 建模对象由对应的数据进行定义。因此人们可以提及 CAD 对象、PLM 对象、PDM 对象、CAE 对象、CAM 对象、CAD 数据、PLM 数据、PDM 数据、CAM 数据、CAE 数据。然而, 这些系统并非彼此排斥, 因为建模对象可以由与这些系统的任何组合相对应的数据来进行定义。系统可以因此优选为 CAD 和 PLM 系统, 如以下提供的这样的系统的定义中显而易见的。

[0040] CAD 系统表示至少适用于基于建模对象的图形表示来设计建模对象的任何系统, 诸如 CATIA。在这种情况下, 定义建模对象的数据包括允许建模对象的表示的数据。CAD 系统可以例如利用边或线, 在特定情况下利用面或表面来提供 CAD 建模对象的表示。线、边或表面可以以多种方式表示, 例如非均匀有理 B 样条 (NURBS)。特别地, CAD 文件包含规范, 几何形状可以根据该规范而被生成, 这继而允许表示被生成。建模对象的规范可以存储于单个或多个 CAD 文件中。CAD 系统中表示建模对象的文件的典型大小为每部分一兆字节的范围。并且建模对象可以典型地为上千个部分的组件。

[0041] 在 CAD 的环境中, 建模对象可以典型地为 3D 建模对象, 例如, 表示产品, 诸如, 部件或部件的组件、或可能为产品的组件。“3D 建模对象”表示由允许其 3D 表示的数据进行建模的任何对象。3D 表示允许从所有角度观看部件。例如, 3D 建模对象当被进行 3D 表示时, 可以被处理和围绕其任何轴或围绕显示表示的屏幕中的任何轴旋转。其特别地排除 2D 图标, 2D 图标不属于 3D 建模。3D 表示的显示实现了设计 (即统计学上增加了设计者实现其任务的速度)。由于产品设计是制造过程的一部分, 所以这加速了工业制造过程。

[0042] 在利用例如 CAD 软件解决方案或 CAD 系统完成 3D 建模对象的虚拟设计之后, 3D 建模对象可以表示要在真实世界中制造的产品的几何形状, 诸如 (例如机械) 部件或部件的组件、或更广泛地任何刚性体组件 (例如, 移动机构)。CAD 软件解决方案在多种并且无限制的工业领域中允许产品的设计, 所述工业领域包括 : 航天、建筑、构造、消费物品、高科技设备、工业装置、运输、航海和 / 或近海或运输。由该方法设计的 3D 建模对象因此表示如下的工业产品, 所述工业产品可以为陆地车辆 (包括例如轿车和轻型卡车装置、赛车、摩托车、卡车和马达装置、卡车和公共汽车、火车) 的一部分, 空中车辆 (包括例如航空装置、航天装置、推进装置、防御产品、航线装置、空间装置) 的一部分, 海军车辆 (包括例如海军装置、商船、近海装置、游艇和工作艇、航海装置) 的一部分, 机械部件 (包括例如工业制造机器、重型移动机器或装置、安装装置、工业装置产品、装配式金属产品、轮胎制造产品), 电机或电子部件 (包括例如消费电子产品、安全和 / 或控制和 / 或仪器产品、计算和通信装置、

半导体、医学设备和装置), 消费物品(包括例如家具、家庭和花园产品、休闲物品、时尚产品、耐用品零售产品、非耐用品零售产品), 包装(包括例如食品、饮料和烟草、美容和个人护理、家庭产品包装)。该方法特别有效地应用于当 3D 建模对象表示机械部件或消费物品时。事实上, 在相关需要设计的领域中, 工业设计者相对更多地受益于由活跃关系提供的灵活性, 以使该方法提供的过程关系和活跃关系的混合特别相关。

[0043] PLM 系统表示适用于管理表示物理制造产品的建模对象的任何系统。在 PLM 系统中, 建模对象因此由适合于制造物理对象的数据来进行定义。所述数据可以典型地为维度值和 / 或公差值。对于对象的正确制造, 事实上具有这些值是最佳的。

[0044] CAM 表示计算机辅助制造。CAM 解决方案表示适用于管理产品的制造数据的任何解决方案, 硬件软件。制造数据总体上包括与要制造的产品、制造过程、和所需资源有关的数据。CAM 解决方案用于计划和优化产品的整个制造过程。例如, 其可以为 CAM 用户提供关于可行性、制造过程的持续时间或资源(诸如特定机器人)的数量的信息, 所述信息可以用于制造过程的特定步骤; 因此允许对管理或所需要的投资进行决策。CAM 为 CAD 过程和潜在的 CAE 过程之后的后续过程。该 CAM 解决方案由根据商标 **DELMIA®** 的 Dassault Systèmes 提供。

[0045] CAE 表示计算机辅助工程。CAE 解决方案表示适用于分析建模对象的物理行为的任何解决方案, 硬件软件。公知和广泛使用的 CAE 技术为有限元方法 (FEM), 其典型地包括将建模对象划分为元素, 所述元素的实际行为可以通过公式来被计算和仿真。该 CAE 解决方案由根据商标 **SIMULIA®** 的 Dassault Systèmes 提供。另一个发展中的 CAE 技术包括复杂系统的建模和分析, 所述复杂系统包括来自不同的物理领域的多个分量而不包括 CAD 几何数据。CAE 解决方案允许仿真和优化, 对要制造的产品的改进和验证。该 CAE 解决方案由根据商标 **DYMOLA®** 的 Dassault Systèmes 提供。

[0046] PDM 表示产品数据管理。PDM 解决方案表示适用于管理关于特定产品的所有类型的数据的任何解决方案, 硬件软件。PDM 解决方案可以由产品生命周期中涉及的所有参与者使用: 主要是工程师, 但也包括项目管理者、财务人员、销售人员和买家。PDM 解决方案总体上基于面向产品的数据库。其允许参与者共享其产品的一致数据, 并且因此防止参与者利用互不相同的数据。该 PDM 解决方案由根据商标 **ENOVIA®** 的 Dassault Systèmes 提供。

[0047] 图 2 示出了系统的 GUI 的示例, 其中该系统为 CAD 系统。

[0048] GUI 2100 可以为典型的 CAD 类型的接口, 具有标准菜单栏 2110、2120, 以及底部和侧边工具栏 2140、2150。这样的菜单和工具栏包含一组用户可选择的图标, 每个图标关联于一个或多个操作或功能, 如本领域已知的。这些图标中的一些关联于软件工具, 适用于对在 GUI 2100 中显示的 3D 建模对象 2000 进行编辑和 / 或操作, 所显示的 3D 建模对象 2000 是例如执行该方法的结果。软件工具可以被分组为工作台。每一个工作台包括软件工具的子集。特别地, 工作台中的一个为编辑工作台, 其适用于编辑建模产品 2000 的几何特征。在操作中, 设计者可以通过选择合适的图标来例如预先选择对象 2000 的一部分, 然后启动操作(例如改变维度, 颜色, 等)或编辑几何约束。例如, 典型 CAD 操作为对显示在屏幕上的 3D 建模对象的冲压或折叠进行建模。

[0049] GUI 可以例如显示关于所显示的产品 2000 的数据 2500。在图 2 的示例中, 被显示为特征树的数据 2500, 以及其 3D 表示 2000 属于包括制动钳和盘的制动组件。GUI 可以进

一步显示多种类型的图形工具 2130、2070、2080,例如用于有助于对象的 3D 方向、用于触发所编辑产品的操作仿真或绘制所显示的产品 2000 的多种属性。光标 2060 可以由触感设备控制以允许用户与图形工具交互。

[0050] 图 3 示出了系统的示例,其中该系统为客户端计算机系统,例如用户的工作站。

[0051] 示例的客户端计算机包括被连接到内部通信总线 1000 的中央处理单元 (CPU) 1010、也被连接到该总线的随机存取存储器 (RAM) 1070。客户端计算机进一步提供图形处理单元 (GPU) 1110,其关联于被连接到总线的视频随机存取存储器 1100。视频 RAM 1100 在本领域中还被称为帧缓冲器。大容量存储设备控制器 1020 管理对大容量存储器设备 (诸如,硬盘驱动 1030) 的访问。大容量存储器设备适用于有形地实现计算机程序指令和数据,包括所有形式的非易失性存储器,以示例的形式,包括半导体存储器设备,诸如 EPROM、EEPROM、以及闪存设备;磁盘,诸如内部硬盘和可移除磁盘;光盘;和 CD-ROM 盘 1040。前述的任一个可以由专门设计的 ASIC (专用集成电路) 补充或集成于所述专门设计的 ASIC (专用集成电路) 中。网络适配器 1050 管理对网络 1060 的访问。客户端计算机还可以包括触感设备 1090,诸如,光标控制设备、键盘等。光标控制设备在客户端计算机中使用,以使用户在显示器 1080 上任何期望的位置选择性地定位光标。此外,光标控制设备允许用户选择多种命令,并且输入控制信号。光标控制设备包括多个信号生成设备,以用于将控制信号输入至系统。典型地,光标控制设备可以为鼠标,所述鼠标的按钮用于生成信号。可选地或附加地,客户端计算机系统可以包括触摸板、和 / 或触摸屏幕。

[0052] 计算机程序可以包括可由计算机执行的指令,所述指令包括用于使上述系统执行该方法的单元。该程序可记录在包括系统的存储器的任何数据存储介质上。该程序例如可以被实现在数字电子电路中或被实现在计算机硬件、固件、软件、或其组合中。程序可以被实现为装置,例如,有形地被体现在机器可读存储设备中以用于由可编程处理器执行的产品。方法步骤可以由可编程处理器执行,所述可编程处理器通过操作输入数据并且生成输出执行指令的程序以实施方法的功能。因此处理器可以是可编程的并且被耦合来从数据存储系统、至少一个输入设备、以及至少一个输出设备接收数据和指令,并且将数据和指令发送至数据存储系统、至少一个输入设备、以及至少一个输出设备。应用程序可以以高级过程或面向对象的编程语言被实现,或如果需要以汇编或机器语言被实现。在任何情况下,语言可以为编译或解释语言。程序可以为完全安装程序或更新程序。系统中程序的应用在任何情况下产生用于执行方法的指令。

[0053] “设计 3D 建模对象”指代任何动作或动作序列,其为加工 3D 建模对象的过程的至少一部分。因此,该方法可以包括根据草图来创建 3D 建模对象。可选地,该方法可以包括提供先前创建的 3D 建模对象,然后修改该 3D 建模对象。通过利用计算机辅助几何设计的虚拟产品的设计由使用连接几何形状的关系而被高度增强。CAD 系统通过以下方式捕获设计意图,即设计变化可以通过所述关系来被传播至相关几何形状,以使整个模型可以被自动更新。

[0054] 在 CAD 世界中,传统上存在两种关系。与现有技术相反,这两种关系共同存在于该方法中。

[0055] 第一种为所谓的“过程关系”,也称“历史关系”。其捕获以下事实:对象 y 通过过程 f 来根据输入对象 x 计算。其符号化写成 $y = f(x)$ (其中 f 从数学的视角为“映射”),

并且表示输出对象 y 唯一地由输入对象 x 定义,并且,因此,改变输出对象 y 的仅有的方式是将输入对象 x 改变为 x' ,并且通过利用过程: $y' = f(x')$ 来计算对象 y 的新的版本 y' 。过程关系决定性地从输入对象到输出对象的方向定向,并且没有改变该方法的方法。过程关系可以创建已有对象的后验。例如,根据平面剖面来计算被挤压的实体可以通过该过程实现。改变结果实体的形状是要编辑过程并且改变输入数据:剖面的形状或深度值。另一示例为定义汽车的车架的表面中的孔洞,该孔洞例如表示窗户。通过过程和无环数据流相互计算的对象的链为“历史树”。在现有技术中更新历史树是要运行每一个过程,只要其所有输入对象是最新的。由于网络为无环的,所以该过程在有限数量的步骤之后结束。所有基于现有技术历史的几何建模器均基于该概念。

[0056] 第二种关系被称为“活跃关系”,在该方法的上下文中,其表示“非历史关系”或“非过程关系”。活跃关系包括与曲线和表面相关的样式约束(如,相切、匹配、连接面、端点重合、连接平滑性)。“活跃关系”还包括维度约束(例如距离、角、圆形半径、球形半径、圆柱半径)和几何约束(例如重合、共平面、切线、同轴、平行)。活跃关系可以创建已有对象的后验并且它们本身不是定向的。为便于使用,其可以为定向的,但该方法可以由 CAD 系统或工业设计者进行转向。因此,在该方法中活跃关系由双向弧来表示。活跃关系的网络由现有技术中的专用解算器来求解。其考虑相同时间内的所有关系并且可以运行迭代数字或组合算法来计算解决方案,例如通过迭代地搜索对公式系统的解决方案。例如,2D 草图由专用的解算器计算,刚体的 3D 机械组件也由专用的解算器计算。

[0057] 在本方法和 CAD 系统中,工业设计者因此可以按如下方式来设计 3D 建模对象。CAD 系统将几何对象的列表和几何对象之间的关系呈现给设计者(以任何图形方式)。如果根据草图设计,工业设计者可以通过声明从由系统所提供的库中选择的预定的基本形状(诸如,明显地作为非限制示例,扇形、圆形、椭圆、圆盘、球、矩形、平行六面体、圆柱)的实例来创建第一几何对象。工业设计者可以定义这样的基本形状(诸如长度,位置)的参数值。然后,设计者可以通过利用已有对象或通过再次实例化基本对象来构造新的几何对象。几何对象在任何情况下为独立存储的数据块(例如作为列表),其定义 3D 建模对象的几何形状,典型地按照如下讨论的相关方式。几何对象的集合典型地被呈现给可以对其进行区分的设计者。

[0058] 在任何时间,工业设计者可以定义一个或多个已有几何对象之间的活跃关系或甚至过程关系。从计算机实现的视角,这些关系不修改已有对象的列表,但其在已有对象的参数值上施加约束(如果受到活跃关系的影响)。活跃关系因此为非过程关系,在于其不创建新的几何形状,但其修改已有几何形状。活跃关系为被链接至 3D 建模对象的已有几何对象的约束。其被称为“活跃”,因为设计者可以通过对已有对象简单的操作来当场创建这样的关系,并且工业设计者可以直接看到结果(而不需要添加新的几何形状)。该方法的活跃关系可以包括样式关系(例如以上提到的相切、匹配、连接表面、端点重合、连接平滑性关系)和/或机械关系(例如以上提到的维度约束-例如距离、角、圆形半径、球形半径、圆柱半径-和/或以上提到的几何约束,例如重合、共平面、切线、同轴、平行)。这些类型的活跃关系在工业产品为机械部件或消费物品的上下文中证明特别地有用。

[0059] 在任何时间,设计者可以定义包含一个或多个已有几何对象的过程关系。过程关系可以典型地为结构性的,在于其利用一个或多个已有对象(以上提到的被呈现至用户的

已有对象的列表),并且其添加新的对象至该列表。与活跃关系相反,过程关系通常不修改输入几何形状(即过程关系对其输入几何对象的参数值不采取动作)。该输出对象持久性地与作为其来源的输入对象相关,以使删除输入对象一定删除输出对象。由过程关系创建的对象然后可以使用自身作为后续过程关系的输入,或其可以被活跃关系所包含。然而,如前所述,如果由此定义的输出实际上对应于由此定义的输入(该对应关系可选地通过过程关系的添加来实施),则过程关系还可以被添加在已有对象之间。

[0060] 重要的是,从计算机数据视角,注意过程关系和活跃关系之间的差别对方法和系统的计算机实现具有重要影响。事实上,参考面向对象编程,这两种关系为被编程的对象/类,其具有总体不同的行为,因为它们以不同的方式包含其他对象(这种情况下为几何对象)。这些行为对工业环境中特别相关的工程学具有影响。对于以下事实,该方法允许两种类型的关系,并且由此对于同一 3D 建模对象的两种行为是有利的,特别是在可能非常复杂并且每一个包括数十或数百个特征的机械部件或消费物品的情况下是有利的。

[0061] 在现有技术中,每一种类型的关系可以被单独估计或求解。过程关系通过更新无环数据流来进行估计;活跃关系通过专用的算法来进行求解。由于 CAD 工具的集成越来越好,工业设计者使用来在同一几何形状的模型中创建两种类型的关系。问题在于混合两种技术是困难的。典型的情形是过程 $y = f(x)$ 的输出对象 y 通过第一活跃关系被连接至另一对象 z ,对象 z 通过第二活跃关系被连接至过程的输入对象 x 。编辑对象 x 和估计过程 $f(\cdot)$ 改变对象 y ,其可以改变对象 z 然后改变对象 x ,而对象 x 为过程 $f(\cdot)$ 的输入对象。明显地,该循环数据流需要既非单独的活跃解算器也非单独的过程估计的求解技术。问题在于不存在提供通用和可接受解决方案的工业算法。该结论来自自由申请人通过原型执行的测试。从工业设计者视角,所计算的结果可以表现为不可预测、不稳定或不自然的方式。

[0062] 显然,在两个不令人满意的情形之间存在技术空隙。一方面是两个独立的技术(简称为过程与非过程),而另一方面是两个技术的完整集成。该方法构成中间解决方案,允许活跃关系和过程关系在一定的水平上共存于异构网络中。在稍后呈现的示例中,整个网络通过有限序列进行更新,交替进行执行于合适的网络子集的过程估计和活跃求解。其可以在下文利用表述“按序更新”来指代。

[0063] 该方法可能的应用的示例现参考图 4-7 讨论。

[0064] 维度和几何(机械)约束的典型使用为机械组件的设计。图 4 示出了直升机尾桨,如在 CAD 系统的屏幕上所显示的。该机械组件包括多个部分以及几何关系。每一个机械部件为单个实体,并且每一个几何关系链接两个实体的一对功能表面。图 5 示出了组件的分解配置以使所有部件是可见的。在该组件中,圆柱形表面 1 与圆柱形表面 2 同轴。圆柱形表面 5 与圆柱形表面 6 同轴。球形表面 3 与球形表面 4 同圆心。多个其他这样的几何关系由工业设计者创建。该方法的解算器计算所有实体的位置,以使整个组件符合所有关系。

[0065] 样式约束的典型应用为车身设计。图 6 示出了通过利用曲线和表面来设计的车身的形状。工业设计者首先创建曲线,然后表面通过选择曲线的闭合轮廓而被创建。工业设计者还创建匹配和相切关系,所述匹配和相切关系链接曲线对或表面对。曲线 1 至 7 通过根据图 7 的图的样式关系来连接。为清晰起见,应当理解,曲线 1 的端点为点 8 和 10,而曲线 2 的端点为点 9 和 11。曲线 1 和 3 为固定曲线。曲线 6 和 7 的端点共享曲线 1 的端点。曲线 2 的端点相应地被约束于曲线 6 和曲线 7。曲线 4 的端点相应地被约束于曲线 1 和曲

线 2。曲线 5 的端点相应地被约束于曲线 2 和曲线 3。最终,取决于曲线 2 的曲线 5 的端点与取决于曲线 2 的曲线 4 的端点重合,并且,此时,曲线 4 和曲线 5 之间的连接是连续曲率。当工业设计者改变几何形状时,例如通过沿曲线 3 滑动曲线 5 的端点,样式解算器能够保持所有这些关系。

[0066] 实体建模的经典特征列于表 I 中。在本讨论的上下文中,“特征”表示输入和输出对象之间的“过程关系”。输入对象的特性被详细描述。输出对象始终为实体。表 I 的过程关系可以全部或部分地由该方法考虑。

[0067]

名称	输入	输出
挤压	平面剖面, 方向, 范围	挤压实体
外卷	平面剖面, 轴, 角度范围	外卷实体
扫描	平面剖面, 导向曲线	扫描实体
厚表面	表面, 厚度值	加厚表面
并集, 交集, 减法	两个实体	实体
分割	切割表面, 实体	实体
圆形, 圆角	实体的尖锐边缘, 半径	实体
斜度角	实体表面, 拉伸方向, 斜度角	实体
剥离	开放实体表面, 剥离值	剥离实体
厚度	实体表面, 厚度值	实体
变换	实体, 变换(平移、旋转、镜像、 缩放、仿射)	变换实体
图案	实体参考特征, 网格定义	具有重复特征的实体

[0068] 表 I 实体建模中的经典特征

[0069] 现讨论步骤 S30。

[0070] 如上文提到的,对定义 3D 建模对象的数据的修改可以为已有几何对象和 / 或已有关系的任何参数的修改。其还可以指代新的几何对象或关系的添加(如在 S20)或已有几何对象或已有关系的删除。在修改时,该方法确定所谓的“强连通图”。强连通图是唯一的并且指代建模图的强连通分量的图(具有节点和弧,所述节点表示几何对象,每一个弧表示链接由弧的入射节点表示的两个几何对象的关系,其中过程关系由具有与过程关系相同的方向的单向弧表示,并且其中活跃关系由双向弧表示)。强连通分量概念在下文详细描述并且从图论中已知。来自图论的多个结果被用于本文的讨论。经典参考为:Frank Harary, Graph Theory, Addison Wesley 1969。在该优先权申请被提交时,维基百科提供了强连通分量概念的讨论。

[0071] 在对 3D 建模对象进行任何修改时,该方法提供了对象的活跃更新。其在 3D 建模对象向工业设计者呈现 / 显示的情况下特别有用。在该情况下,设计者可以直接看到修改的效果。更新还可以发生在较晚的时间,如上文所提到的。在任何情况下,更新基于强连通图来执行,并且更特别地根据强连通图的遍历执行。换言之,强连通图的弧之后是该方法的更新 S30/ 强连通图的弧由该方法的更新 S30 进行浏览。再换言之,方法根据强连通图的结构,并且更特别地根据强连通图的弧的方向来执行更新。在下文详细描述的特定示例中,强连通图的遍历为公知的深度优先遍历。其允许快而鲁棒的更新,而很好地使用了关联于 S20 的准则。特别地,在强连通图的遍历期间,每一个强连通分量可以独立于建模图的剩余部分而被求解。换言之,该方法使用几何对象的结构和链接它们的关系,其结构由建模图所捕获,并且该方法将该结构重新组织为另一结构,即,强连通图。然后,通过充分改变该求解和重复链接其之间的不同强连通分量的对象的过程,该方法独立地求解对应于强连通分量的几何对象的组。其允许仅活跃关系被实现的针对模型的专用解算器的重用。例如,每一个强连通分量可以通过公式系统解算器(即将一组活跃关系转换为公式系统并且实质上求解系统的解算器)或通过迭代解算器(即迭代地测试 3D 建模对象的参数值以达到基本遵守该组活跃关系涉及的约束的状态的解算器)来进行求解。这些解算器从现有技术已知。其包括变量解算器和样式解算器。解算器的特性取决于应用以及要求解的强连通分量所涉及的活跃关系的特性。

[0072] 该方法因此定义限制,“按序准则”,以用于将过程关系与活跃关系混合。该限制在包括 S30 的方法的示例中保证按序更新可以被执行。并且,在包括 S20 的示例中的方法以所述按序准则被保持的方式提供了用于编辑关系网络的便利。

[0073] 图 8 的图示示出了以上讨论的按序准则诊断和按序更新的示例的过程。有向(建模)图和强连通图为被该方法转换为用于执行计算的特定数据的数学概念。图 9 的图示示出了用于在网络中创建活跃或过程关系期间保存按序准则的过程。再次,有向(建模)图和强连通图为被该方法转换为用于执行计算的特定数据的数学概念。

[0074] 在数据模型的角度以及在更新的角度上,该方法提供了过程和非过程关系的真正水平的集成。继而,工业设计者的价值是更加灵活的和有力的设计系统以及扩展的设计能力。由本发明定义的按序准则是一种引导而非限制。其有助于工业设计者受益于异构网络,并且避免任何复杂的循环情形下的手工管理。按序准则在整个设计过程中可以被安全地保持,随时保证按序更新。其保持了 CAD 系统的整体性和可靠性。本发明的另一优点是已有过程估计和活跃解算器的可能的重用。新的算法是总的操作,其定义和执行更新序列。这使该实现更加简单和鲁棒。

[0075] 现提供图论背景技术来更好地理解该方法。

[0076] 第一,现讨论该方法使用的有向图的概念(建模图为有向图)

[0077] 有向图为四元组 $G = (X, U, \alpha, \omega)$, 其中 X 为节点的集合, U 为弧的集合, 并且其中 $\alpha : U \rightarrow X$ 并且 $\omega : U \rightarrow X$ 为连接函数。表述 $\alpha(u) = x$ 表示 $x \in X$ 为弧 $u \in U$ 的初始节点。弧 u 为节点 x 的输出弧。表述 $\omega(u) = y$ 表示 $y \in X$ 为弧 $u \in U$ 的结束节点。弧 u 为节点 y 的输入弧。

[0078] 根据该表示,设置 $\omega^{-1}(y)$ 为节点 y 的输入弧的集合, $\alpha^{-1}(x)$ 为节点 x 的输出弧的集合,设置 $\alpha(\omega^{-1}(y))$ 为节点 y 的输入节点的集合并且设置 $\omega(\alpha^{-1}(x))$ 为节点 x 的输出

节点的集合。

[0079] 通过定义,根节点 r 没有输入弧,表示 $\omega^{-1}(r) = \square$ 。叶子节点 1 没有输出弧,表示 $\alpha^{-1}(1) = \square$ 。

[0080] 现讨论该方法使用的其它图论概念。

[0081] 环:环为弧 $u_1, \dots, u_n$ 的列表,以使 $\omega(u_i) = \alpha(u_{i+1})$, 其中 $i = 1, \dots, n-1$ 而 $\omega(u_n) = \alpha(u_1)$ 。环可以由节点 $x_1, \dots, x_n$ 的列表较好地定义,以使对于 $i = 1, \dots, n-1$, 存在弧 u_i , 以使 $\alpha(u_i) = x_i$, 而 $\omega(u_i) = x_{i+1}$, 以及弧 u_n , 使 $\alpha(u_n) = x_n$, 并且 $\omega(u_n) = x_1$ 。图 10 示出了有向图。节点的集合为 $X = \{1, 2, \dots, 11\}$ 。具有双向的箭头为表示相反方向的两个箭头的图形快捷方式。节点 3、10、11 定义环。

[0082] 子图:给定节点 $Y \subset X$ 的子集, G 的对应子图 H 由连接节点 Y 的 G 的所有的弧定义。公式上, $H = (Y, V, \alpha, \omega)$, 其中 $V = \{u \in U, \alpha(u) \in Y, \omega(u) \in Y\}$ 。

[0083] 有向无环图:

[0084] 根据定义,有向无环图不包括环。

[0085] 强连通分量:

[0086] 强连通分量的目标用于以如下方式将有向图组织为子图,即子图包括所有环并且其以无环方式被连接在一起。该图论概念最有效地组织有向图的环特性和无环特性。该方法的关键特征如下详细描述。

[0087] 公式上,第一步用于在节点 X 集合中定义关系 ρ 。如果存在从 x 到 y 的弧的路径和从 y 到 x 的弧的路径,则两个节点 $x, y \in X$ 为相关联的,其表示为 $x \rho y$ 。显然, ρ 为等价关系(自反,对称,过渡)。因此,由于基本代数,关系 ρ 将集合 X 划分为等价类 $X_1, \dots, X_p$, 其定义 X 的划分。这表示 $X = \bigcup_{i=1}^p X_i$ 以及如果 $i \neq j, X_i \cap X_j = \square$ 。

[0088] 根据定义,每一个 X_i 为图 G 的强连通分量。当然,可以存在连接从一个节点 X_i 到另一节点 X_j 的弧,但其不属于任何环。

[0089] 所有环在由 X_i 定义的子图中捕获,相应表示为 G_i 。

[0090] 映射类 $X \rightarrow \{X_1, \dots, X_p\}$ 由 $\text{class}(x) = X_i$ 定义,如果 $x \in X_i$ 。该映射被较好地定义,这是因为每一个 x 准确地属于一个 X_i 。

[0091] 图 11 示出了先前图的强连通分量(点状线包围)。公式上, $X_1 = \{7\}$, $X_2 = \{4, 5\}$, $X_3 = \{1, 2, 6, 8\}$, 而 $X_4 = \{3, 9, 10, 11\}$ 。此外, $\text{class}(6) = X_3$, $\text{class}(4) = X_2$, 等。

[0092] 强连通分量计算:

[0093] 强连通分量可以由以下算法计算。核心算法计算包括给定节点的强连通分量。在开始之前,所有节点未被标记并且强连通分量的计数器 n 为零。

[0094] 1. 如果存在未被标记的节点 x , 则 $n := n+1$, 否则, 到达步骤 6。

[0095] 2. 将标记 $\pm n$ 设置至节点 x 。

[0096] 3. 通过使用其原始方向的图的弧来将标记 $+n$ 设置至可以从节点 x 到达的所有节点。

[0097] 4. 通过使用其相反方向的图的弧来将标记 $-n$ 设置至可以从节点 x 到达的所有节点。

[0098] 5. 创建新的强连通分量,所述新的强连通分量包括被标记为 $\pm n$ 的节点的列表并

且到达步骤 1。

[0099] 6. 结束。

[0100] 图 12 示出了包括节点 3 的（第一）强连通分量的计算。最左侧图片为在步骤 2 之后的图，中间图片为步骤 3 之后的图，最右侧图片为步骤 4 之后的图。节点 3 的强连通分量为 {3, 9, 10, 11}。

[0101] 强连通图：

[0102] 根据定义，强连通图 S 的节点为强连通分量 X_i ，而强连通图 S 的弧为连接来自不同的子集 X_i 的两个节点的图 G 的弧（某些这样的弧可能对相同的子集 X_i 对是存在的，并且某些弧可能连接强连通图的相同的节点对）。最终， $S = \{X_s, U_s, \alpha_s, \omega_s\}$ ，其中：

[0103] $X_s = \{X_1, \dots, X_p\}$

[0104] $U_s = \{u \in U, \text{class}(\alpha(u)) \neq \text{class}(\omega(u))\}$

[0105] $\alpha_s(u) = \text{class}(\alpha(u))$

[0106] $\omega_s(u) = \text{class}(\omega(u))$

[0107] 根据构造，强连通图始终无环。

[0108] 图 13 示出了示例的强连通图。

[0109] 有向无环图中的父 / 子节点和部落：

[0110] 令 $K = (Z, W, \alpha, \omega)$ 为有向无环图，并且令 $z \in Z$ 为特定节点，称为“选择节点”。根据定义，如果存在从 z 到 z' 的弧链（相对于从 z' 到 z 的弧链），则节点 $z' \in Z$ 为 z 的“孩子节点”（相对于“父节点”）。根据定义，“部落节点”为父节点或子节点。

[0111] 父节点和子节点可以简单地通过访问图的弧来计算。

[0112] 图 14 示出了有向无环图的示例，并且所选择的节点为“a”。“a”的子节点为“b”、“c”和“d”。“a”的父节点为“e”和“g”。因此，“a”的部落节点为“b”、“c”、“d”、“e”和“g”。

[0113] 现讨论对具有有向图（即建模图）的关系网络进行建模。

[0114] 几何形状和关系的网络由图进行建模。图的节点表示几何对象，并且弧表示关系。

[0115] 过程关系 $z = f(x, y)$ 由将输入对象 x 和 y 连接至输出对象 z 的弧 u 和 v 表示。弧的方向从过程 f 的输入对象 x, y 朝向过程 f 的输出对象 z 。换言之， $\alpha(u) = x, \omega(u) = z, \alpha(v) = y, \omega(v) = z$ 。单个过程可以由若干弧根据输入对象的数量来进行建模。过程的输出对象始终唯一。对过程关系进行建模的弧被称为“过程弧”。其由图 15 示出。

[0116] 从 CAD 工业设计者的视角，活跃关系可以为定向或非定向的。当为定向的时，其可以被转向或被设置为非定向的。当为非定向的时，可以以任何方式被定向。出于这些原因，活跃关系被建模如下。

[0117] 连接两个几何形状 a 和 b 的活跃关系由两个弧 v, w 表示。一个为从 a 到 b 的定向而另一个为从 b 到 a 定向（等价于双向弧）。换言之， $\alpha(v) = \omega(w) = x$ 而 $\alpha(w) = \omega(v) = y$ 。对活跃关系进行建模的弧被称为“活跃弧”。

[0118] 该建模捕获了过程关系始终为定向并且不可以被转向为与活跃关系相反的事实。从图形的视角，具有单个方向的箭头为过程弧，并且双向箭头为活跃弧。本质上，所有活跃弧都被包括在强连通分量中。

[0119] 现讨论按序更新准则，其可以应用于该方法的示例中。

[0120] 给定过程关系和活跃关系的网络,并且给定其相关联的图,按序更新的准则如下:没有过程弧可以被包括在强连通分量中。如果按序准则满足,则所有过程弧属于强连通图,并且在构造上,其以无环方式连接。

[0121] 图 16 的示例图不符合该准则,这是因为强连通分量 G4 中的过程弧 $3 \rightarrow 10$ 。其可以通过例如移除该弧(如在图 17 所示出的)或通过替换活跃弧 $3 \leftrightarrow 10$ (未示出)来进行校正。

[0122] 现讨论可以通过该方法应用于 S30 的按序更新算法的示例。

[0123] 活跃求解和过程估计的可选序列通过遍历强连通图 $S = (X_s, U_s, \alpha_s, \omega_s)$ 来获取。记住,强连通图的每一个节点定义表示形状关系和活跃关系的初始图的子图。

[0124] 如果强连通图的特征为多于一个叶子节点,则唯一(和符号化)的叶子节点通过创建从每一个叶子节点到所添加的叶子节点的定向弧来添加。在该方式中可以始终假设强连通图具有唯一的叶子节点。

[0125] 遍历算法使用先入先出列表(如下的 LIFO 列表)以特别地实现深度优先遍历。在列表结束处添加元素 x 被写成 $\text{Put}(x)$ 。读取列表中的最后一个元素被写成 $\text{Read}(y)$ 。指令 $\text{Read}(\cdot)$ 不改变列表中元素的数量。从列表中移除最后的元素被写成 RemoveLast 。

[0126] 按序更新算法在图 18 中描述。其主要是深度优先遍历,开始于叶子节点,并且利用弧的相反方向。如下详细描述“构建”方法在遍历期间调用。初始化为将强连通图的唯一的叶子节点放在列表中。在开始之前,所有节点被标记为 0,其被记为对于所有 $x \in X_s$, $p(x) := 0$ 。大致而言, $p(x) = 0$ 表示“由 x 定义的子图还未被求解”,而 $p(x) = 1$ 表示“由 x 定义的子图已被求解”。

[0127] 在该示例中,当求解强连通分量时,由作为过程关系的输出的强连通分量的节点表示的每个几何对象(包括输入节点为先前求解的强连通分量中的一个的过程关系)被设置为固定的。这允许鲁棒的求解和对用户意图相对较高的遵守。冲突可以根据任何方式处理。

[0128] 方法“构建”在强连通图 S 的节点 y 被调用。该节点实际上为强连通分量,并且为原始图 G 的节点的子集,表示 $y = X_i$ 。设置 $\omega_s^{-1}(y)$ 为节点 y 所有输入弧的集合。本质上,其为过程弧。设置 $\omega(\omega_s^{-1}(y))$ 为原始图的节点集合,其为过程弧 $\omega_s^{-1}(y)$ 的结束节点。方法“构建”执行如下两个动作。

[0129] $\text{Build}(y)$

[0130] 估计由过程弧 $\omega_s^{-1}(y)$ 建模的所有过程

[0131] 集合 $\omega(\omega_s^{-1}(y))$ 包括该估计的输出对象。

[0132] 求解由 $y = X_i$ 定义的活跃子图,考虑 $\omega(\omega_s^{-1}(y))$ 的对象为固定的并且无法被修改。

[0133] 按序更新算法以如下方式设计,即过程方法始终在所有其输入对象被估计或求解之后被估计。

[0134] 算法利用示例图运行。为便于阅读,初始图 G (图 19)和强连通图 S (图 20)被示出。LIFO 列表被表示为 L 。

[0135] (唯一的)叶子节点 $\{7\}$ 被放在列表中,以使 $L = (\{7\})$ 。由于 L 的最后元素 $\{7\}$ 的输入节点 $\{4, 5\}$ 被标记为 0,所以其被添加至列表中,以使 $L = (\{7\}, \{4, 5\})$ 。由于 L 的

最后元素 {4,5} 的输入节点 {1,2,6,8} 被标记为 0,其被添加至列表中,以使 $L = (\{7\}, \{4, 5\}, \{1,2,6,8\})$ 。

[0136] L 的最后元素 {1,2,6,8} 不具有输入节点。因此,该“构建”方法被应用于 {1,2,6,8},表示由节点 1,2,6,8 定义的 G 的活跃子图被求解。然后图 S 的节点 {1,2,6,8} 被标记为 1 并且被从 L 移除,以使 $L = (\{7\}, \{4,5\})$ 。

[0137] 现在,L 的最后元素 {4,5} 的所有输入节点被标记为 1,因此“构建”方法被应用于 {4,5},表示:

[0138] • 估计由计算来自输入对象 8 的输出对象 4 的弧 $8 \rightarrow 4$ 进行建模的过程;

[0139] • 由节点 4,5 定义的 G 的活跃子图被求解,考虑对象 4 是固定的。

[0140] 图 S 的节点 {4,5} 事实上可以被标记为 1,并且从 L 移除,以使 $L = (\{7\})$ 。L 中最后元素 {7} 的输入节点 {3,9,10,11} 被标记为 0,因此其被添加至 L,由此 $L = (\{7\}, \{3,9, 10,11\})$ 。

[0141] 由于 L 的最后元素 {3,9,10,11} 的所有输入节点被标记为 1,因此“构建”方法应用于 {3,9,10,11},表示:

[0142] • 估计由计算来自输入对象 6 的输出对象 3 的弧 $6 \rightarrow 3$ 进行建模的过程;

[0143] • 由节点 3,9,10,11 定义的 G 的活跃子图被求解,考虑对象 3 是固定的。

[0144] 然后,图 S 的节点 {3,9,10,11} 被标记为 1 并且从 L 移除,以使 $L = (\{7\})$ 。

[0145] 最终,L 的最后元素 {7} 的所有输入节点被标记为 1,故“构建”方法应用于 {7},表示估计由计算来自输入对象 5,8,11 的输出对象 7 的弧 $11 \rightarrow 7$ 、 $8 \rightarrow 7$ 和 $5 \rightarrow 7$ 进行建模的过程。然后,图 S 的节点 {7} 被标记为 1,并且从 L 中被移除,以使 $L = \square$ 。

[0146] 如所期望的,按序更新算法执行过程估计和活跃求解的交替序列(当求解时星形节点为固定的):

[0147] 1. 求解:{1,2,6,8}。

[0148] 2. 估计: $8 \rightarrow 4$ 。

[0149] 3. 求解:{4*,5}。

[0150] 4. 估计: $6 \rightarrow 3$ 。

[0151] 5. 求解:{3*,9,10,11}。

[0152] 6. 估计: $5,8,11 \rightarrow 7$ 。

[0153] 现讨论按序准则通过由于 S20 的网络版本来被保存的方法的示例。

[0154] 现在的问题是当工业设计者编辑关系的网络时保持按序准则。删除活跃关系或删除过程关系无法在图中创建新的环,因此按序准则被保存。创建新的过程对象用于将新的节点(对输出对象进行建模)和源自某些先前节点(对输入对象进行建模)的弧添加到新的节点。该操作无法创建新的环,故按序准则被保存。因此,可以使按序准则无效的仅有的操作为在已有对象,后验之间添加活跃关系或添加过程关系。例如,在图 21 的图的节点 4 和 1 之间添加活跃关系产生包括过程弧 $8 \rightarrow 4$ 的强连通分量 {1,2,4,5,6,8},如图 22 的图所示出的。显然,按序准则丢失。在另一示例中,在图 21 的图中添加节点 7 到节点 4 的过程关系产生包括过程弧 $5 \rightarrow 7$ 和 $7 \rightarrow 4$ 的强连通分量 {4,5,7},如在图 23 中所示出的。显然,按序准则丢失。

[0155] 如所示出的,在该示例中,所提供的建模图旨在遵守以下准则,即建模图的每个强

连通分量的所有弧为双向的。换言之，同一强连通分量的几何对象并未通过过程关系相互关联，以使潜在地包含它们的过程关系一定是具有其他强连通分量的几何对象。为保存该准则，该方法包括在 S20，在已有对象之间添加活跃关系或过程关系时，特定选择由待添加的活跃关系或过程关系链接的两个几何对象。选择 S20 根据准则执行。换言之，系统可以指示工业设计者将关系活跃或过程关系添加至已有几何对象的特定对（至少对于将两个对象作为输入的活跃关系或过程关系）。该方向可以为刚性的（即，用户无法打破准则）或仅仅是引导（简单帮助用户选择和指示 - 以任何方式 - 给定对象对的选择与准则兼容还是不兼容）。

[0156] 在示例中，选择要由待添加的活跃关系链接的两个几何对象包括在所有几何对象中选择第一几何对象。其典型地由用户（即经由用户交互）人工执行。然后该选择包括在建模图中（例如系统自动地）标识在它们和第一几何对象之间添加活跃关系会打破准则的所有几何对象。稍后说明实现该标识的有效和鲁棒的方式，其包括确定被包括在第一几何对象的强连通分量中的所有节点的所有部落节点。然后该方法包括根据所标识的几何对象来选择（典型地由设计者 - 经由用户交互）第二几何对象。正如所见，选择以外的步骤可以是完全自动的。如果选择如上述为刚性的，则对第二对象的选择可以被限制为未被标识打破准则的建模图的几何对象。

[0157] 用于创建活跃关系的交互对话可以由此询问工业设计者来选择第一元素和第二元素。一旦第一元素被选择，则示例中的系统能够通过标识网络中所有如果被选择则会使按序准则无效的所有元素，来预期对合适的第二元素的选择。从图形用户界面的视角，足以使该元素不可选择并且被标识。然后，被建议至工业设计者的选择始终保存了按序准则。

[0158] 现在，确定被包括在第一几何对象的强连通分量的所有节点的所有部落节点可以通过确定建模图的强连通图，然后在强连通图中确定第一几何对象的强连通分量的所有部落节点，以快速和鲁棒的方式被执行。

[0159] 给定图 G 中所选择的节点 x（表示用户所选择的网络中的元素），不兼容节点可以被标识如下。

[0160] 1. 获取包括所选择的节点 x 的强连通图 S 的节点 Class(x)。

[0161] 2. 在强连通图 S 中，计算 Class(x) 的部落节点，被记为 Tribe(Class(x))。

[0162] 3. 与所选择的节点 x 不兼容的图 G 的节点，被记为 Ic(x)，为所有部落节点的并集：

$$[0163] \quad Ic(x) = \bigcup_{y \in Tribe(Class(x))} y$$

[0164] 图 24-28 对不兼容节点的标识进行示例化。初始图 G 的所选择的节点为 $x = 11$ ，如在图 24 所示出的。包括该选择的强连通图节点为 $Class(11) = \{3, 9, 10, 11\}$ ，如在图 25 中所示出的。

[0165] 在强连通图中， $\{3, 9, 10, 11\}$ 的不兼容节点为 $\{1, 2, 6, 8\}$ 和 $\{7\}$ ，如在图 26 所示出的。根据公式，其表示：

$$[0166] \quad Tribe(Class(11)) = Tribe(\{3, 9, 10, 11\}) = \{\{1, 2, 6, 8\}, \{7\}\}$$

[0167] 然后，不兼容节点为：

$$[0168] \quad Ic(11) = \{1, 2, 6, 8\} \cup \{7\} = \{1, 2, 6, 7, 8\}$$

[0169] 初始图中不可选择的弧和节点在图 27 的最左图中被示出。如果第二用户选择为节点 5, 如在图 27 的中间图中所示出的, 则连接节点 11 和 5 的活跃关系被创建, 并且结果图为图 27 的最右图。

[0170] 需要注意, 创建弧 $11 \leftrightarrow 5$ 改变了强连通分量, 即使按序准则被保存, 如在图 28 中所示出的。

[0171] 用于创建过程关系的交互对话询问用户选择第一元素和第二元素。在第一元素被选择时, 该方法可以通过标识网络中的如果被选择则会使按序准则无效的所有元素来预期对合适的第二元素的选择。从图形用户界面的视角, 足以使这些元素不可选择和被标识。然后, 被建议给用户的选择始终保存按序准则。令 x 为图 G 中所选择的节点 (表示网络中用户所选择的元素)。假设所选择的元素为被创建的定向弧的开始节点。则, 不兼容节点被标识如下,

[0172] 1. 获取包括所选择的节点 x 的强连通图 S 的节点 $Class(x)$ 。

[0173] 2. 在强连通图 S 中, 计算 $Class(x)$ 的父节点, 被记为 $Parent(Class(x))$ 。

[0174] 3. 图 G 中与所选择的节点 x 不兼容的节点, 被记为 $Ic(x)$, 为 $Class(x)$ 的节点以及所有父节点的并集:

$$[0175] \quad Ic(x) = Class(x) \cup \left(\bigcup_{Y \in Parent(Class(x))} Y \right)$$

[0176] 如果所选择的元素为所创建的定向弧的结束节点, 则通过以 Child 方法替换 Parent 方法来使用相同的方法。

[0177] 图 29-32 对不兼容节点的标识进行了示例化。初始图 G 的所选择的节点为 $x = 5$, 如图 29 的最左图中所示出的, 并且用户的意图为创建从节点 5 开始的定向弧。包括该选择的强连通图节点为 $Class(5) = \{4, 5\}$, 如图 29 中的最右图所示出的。在强连通图中, $\{4, 5\}$ 的不兼容节点为 $\{4, 5\}$ 本身和 $\{1, 2, 6, 8\}$, 因为 $Parent(Class(5)) = Parent(\{4, 5\}) = \{\{1, 2, 6, 8\}\}$, 并且根据公式:

$$\begin{aligned}
 [0178] \quad Ic(5) &= Class(5) \cup \left(\bigcup_{Y \in Parent(Class(5))} Y \right) \\
 &= \{4, 5\} \cup \left(\bigcup_{Y \in \{\{1, 2, 6, 8\}\}} Y \right) \\
 &= \{4, 5\} \cup \{1, 2, 6, 8\} \\
 &= \{1, 2, 4, 5, 6, 8\}
 \end{aligned}$$

[0179] 初始图中不可选择的弧和节点在图 30 的最左图中示出。如果第二用户选择为节点 11, 如图 30 的最右图中所示出的, 则将节点 5 连接至节点 11 的过程关系被创建, 如在图 31 中所示出的。需要注意, 创建弧 $5 \rightarrow 11$ 不改变强连通分量, 如在图 32 中所示出的。

[0180] 如下情形可以典型地由系统执行。

[0181] 1. 第一创建步骤

[0182] a. 创建平面 P_1 。

- [0183] b. 创建平面 P_2 。
- [0184] c. 在 P_1 和 P_2 之间创建距离约束 d_1 。
- [0185] 其使 P_1 和 P_2 平行。
- [0186] d. 在 P_2 上绘制剖面 K_1 。
- [0187] e. 利用延伸 $h1$ 和 $h2$ 从 K_1 伸出实体板 S_1 。
- [0188] f. 创建平面 P_3 。
- [0189] g. 在 P_3 和 S_1 的侧面之间创建距离约束 d_2 。系统仅移动平面 P_3 。
- [0190] 2. 第一修改步骤。
- [0191] a. 使 P_1 固定。
- [0192] b. 将距离值 d_1 改变为 $\tilde{d}_1$, 并且请求更新。
- [0193] c. P_2 、 K_1 、 S_1 被系统平移 $\tilde{d}_1 - d_1$ 。
- [0194] d. P_3 不被系统移动。
- [0195] 3. 第二修改步骤。
- [0196] a. 不使 P_1 固定。
- [0197] b. 将距离值 d_2 改变为 $\tilde{d}_2$, 并且请求更新。
- [0198] c. P_3 应当被平移 $\tilde{d}_2 - d_2$, 其它所有几何形状不被系统移动。
- [0199] 4. 第二创建步骤。
- [0200] a. 创建平面 P_4 。
- [0201] b. 到达距离约束创建对话。
- [0202] c. 选择 S_1 的面。
- [0203] d. P_1 、 P_2 和 P_3 不可供系统选择。 P_4 可供系统选择。

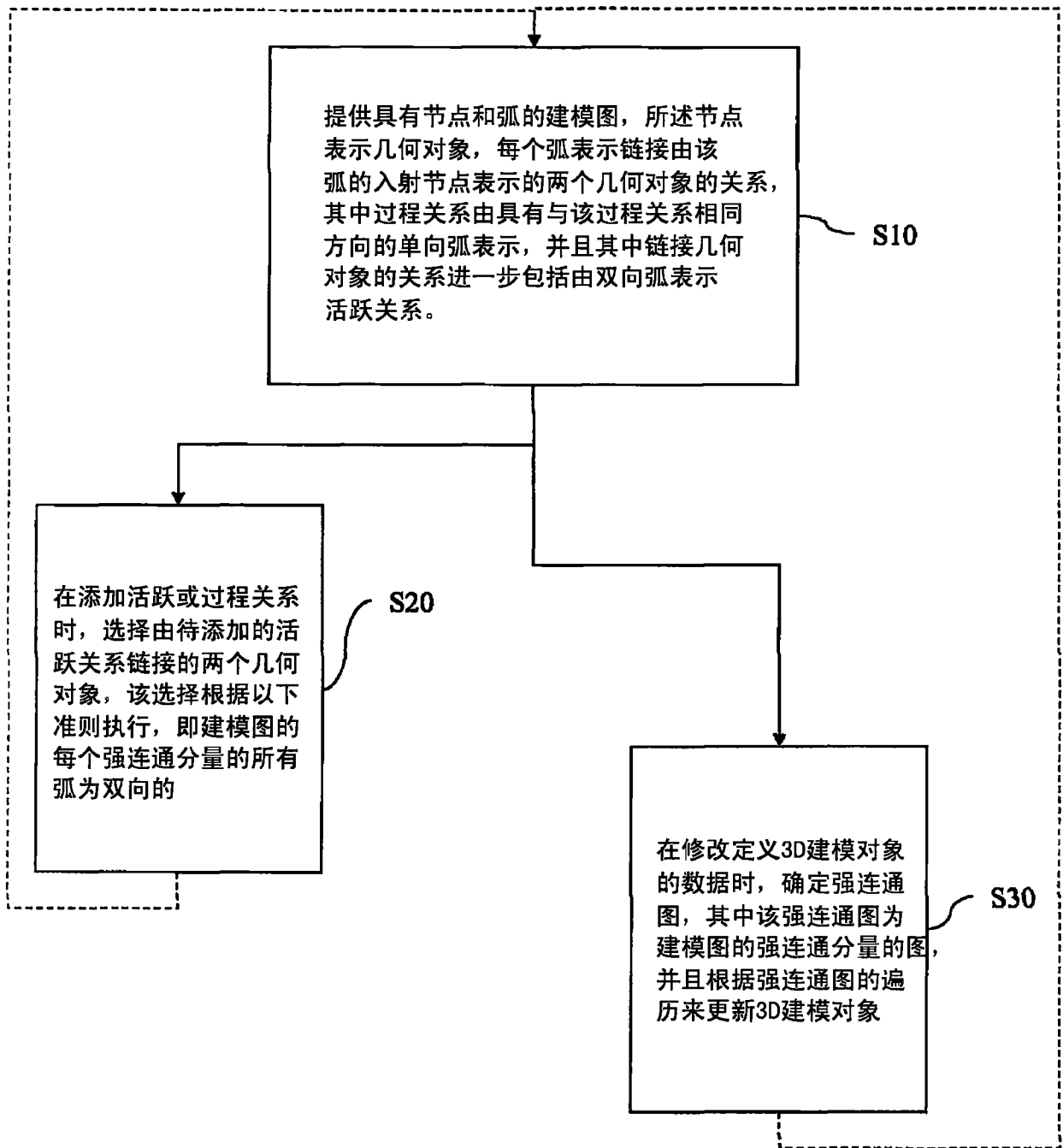


图 1

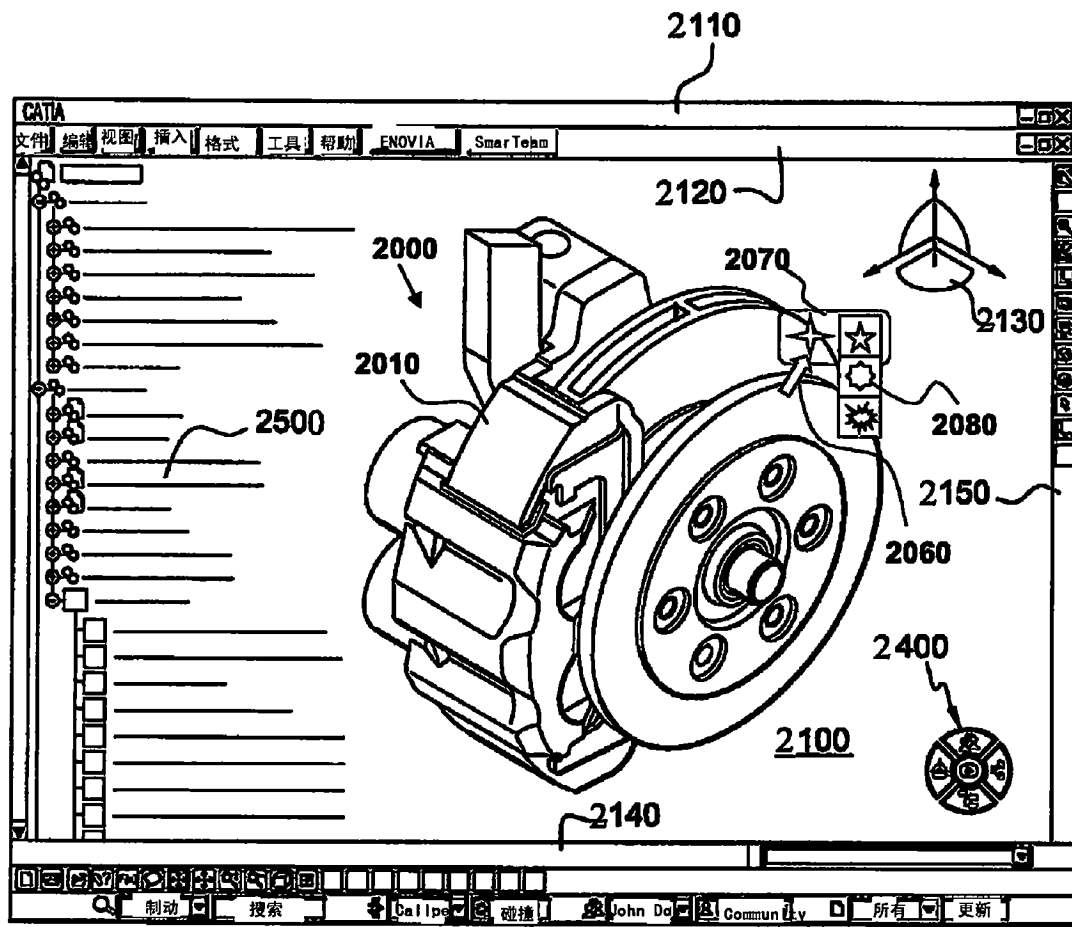


图 2

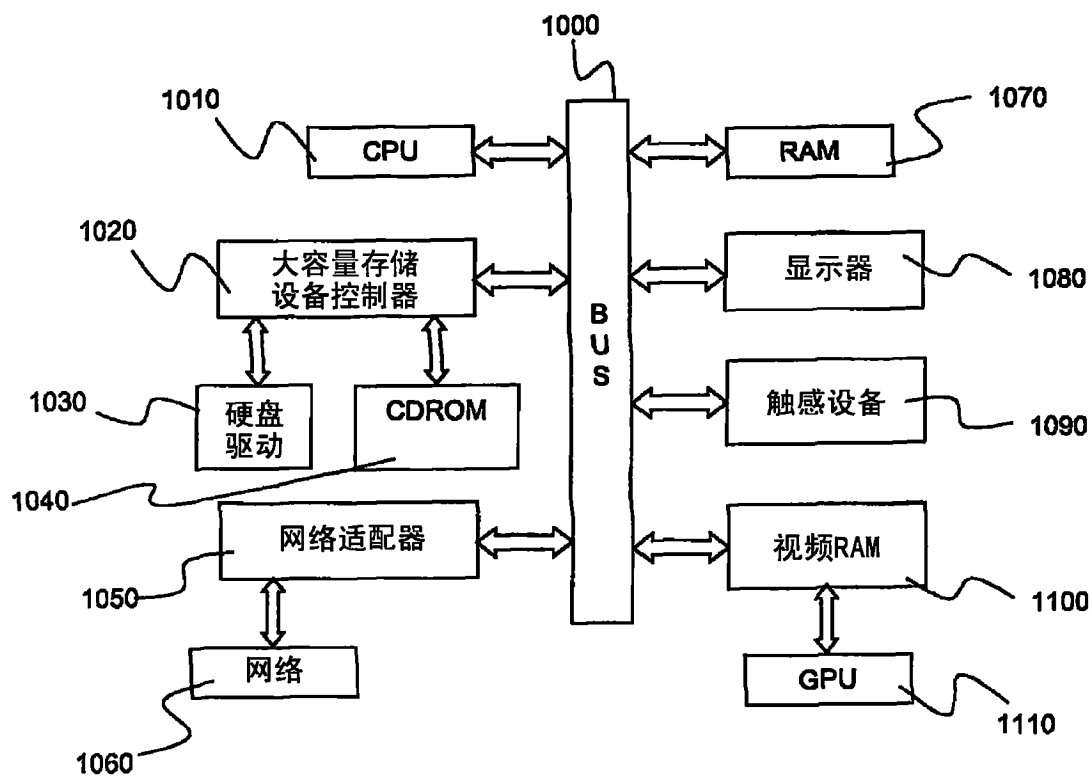


图 3

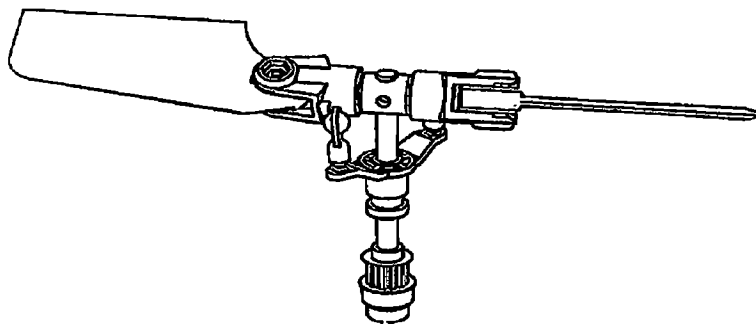


图 4

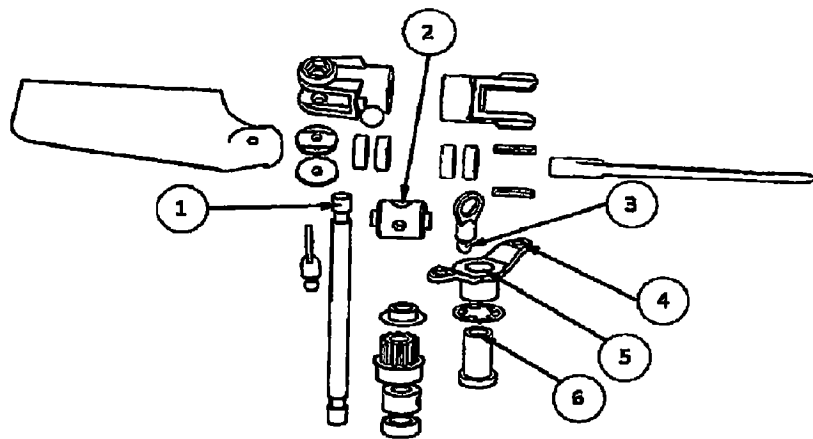


图 5

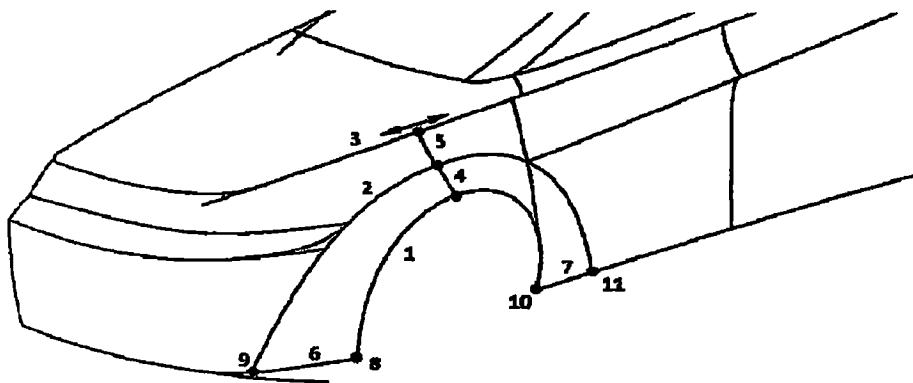


图 6

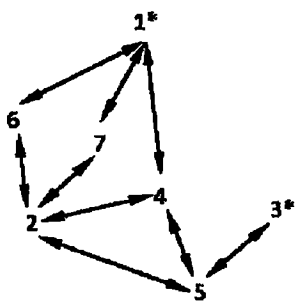


图 7

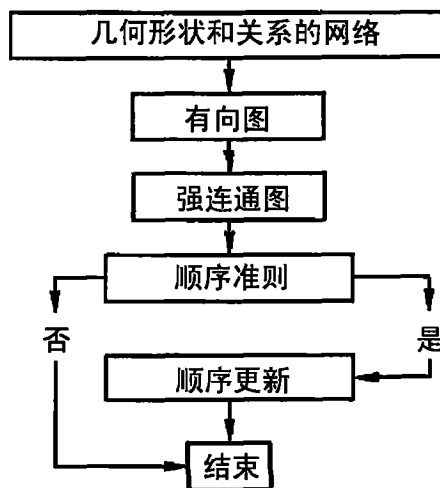


图 8

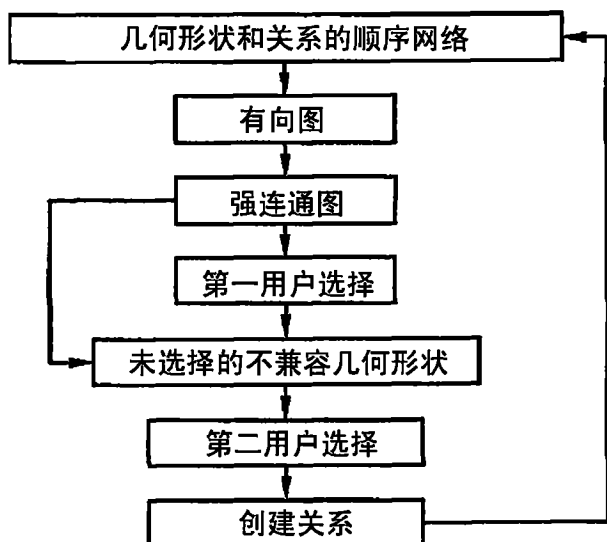


图 9

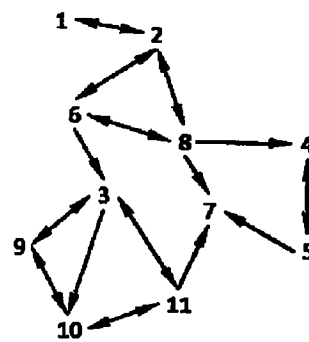


图 10

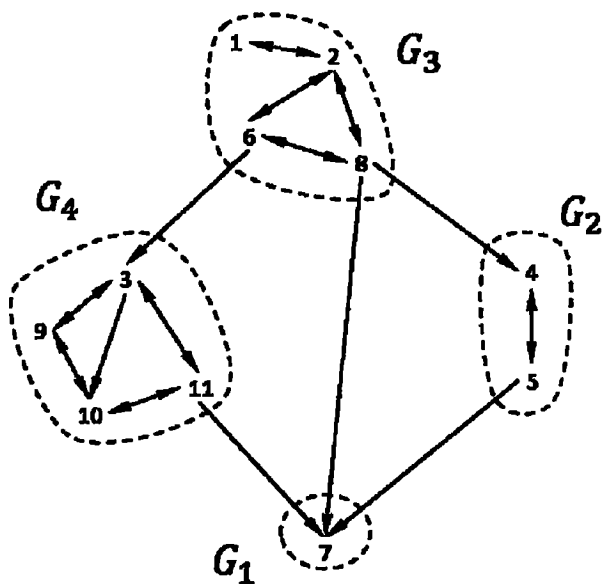


图 11

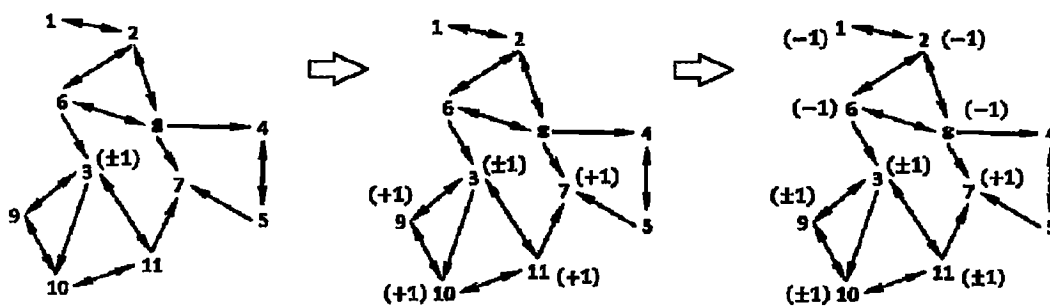


图 12

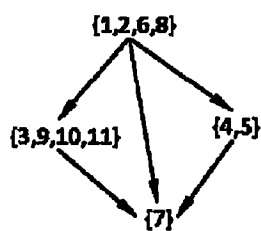


图 13

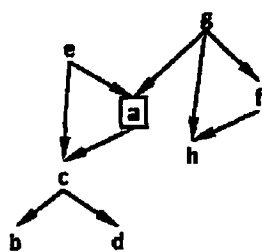


图 14

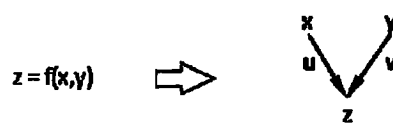


图 15

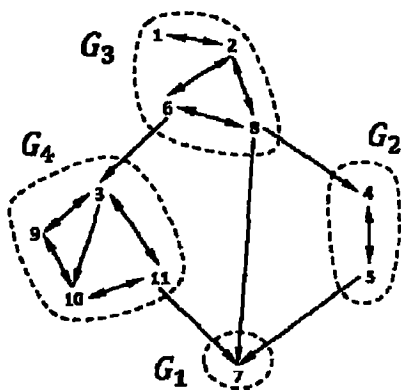


图 16

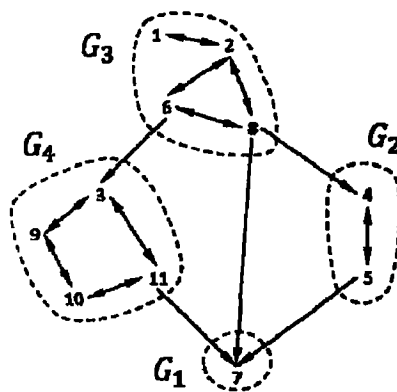


图 17

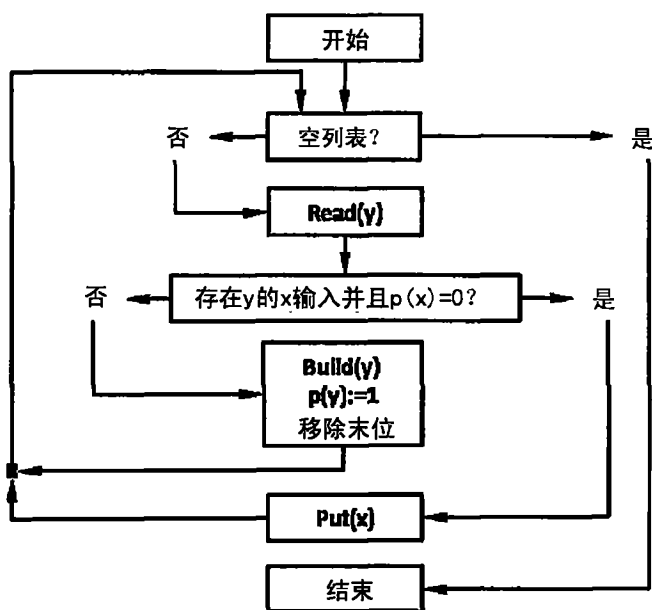


图 18

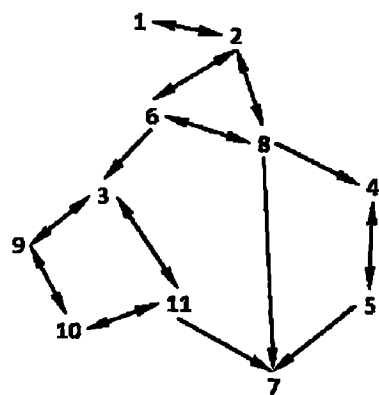


图 19

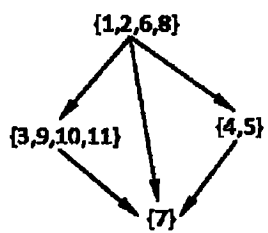


图 20

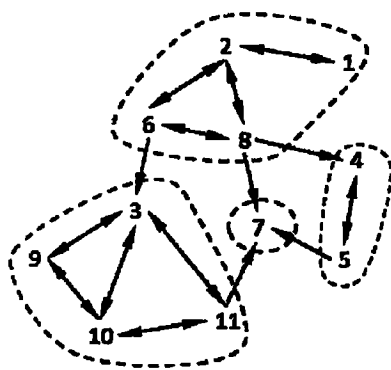


图 21

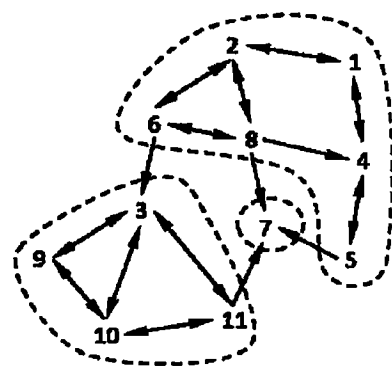


图 22

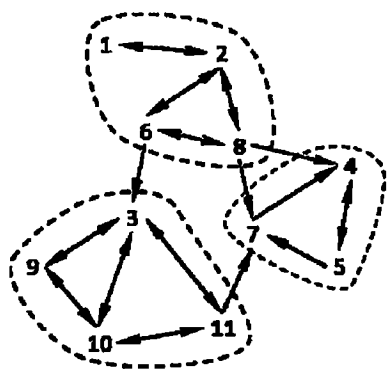


图 23

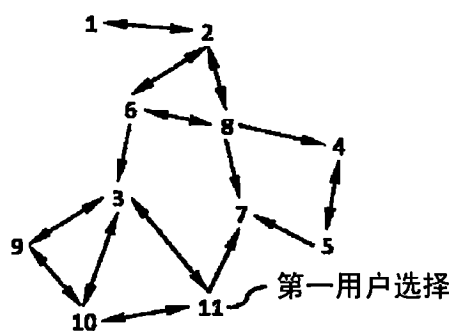


图 24

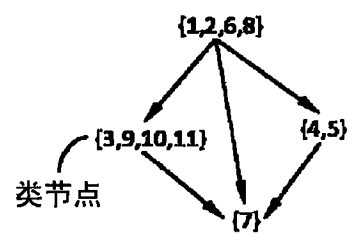


图 25

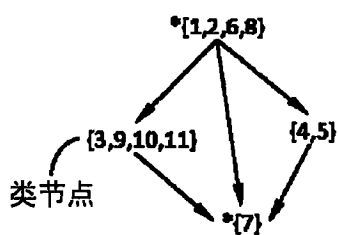


图 26

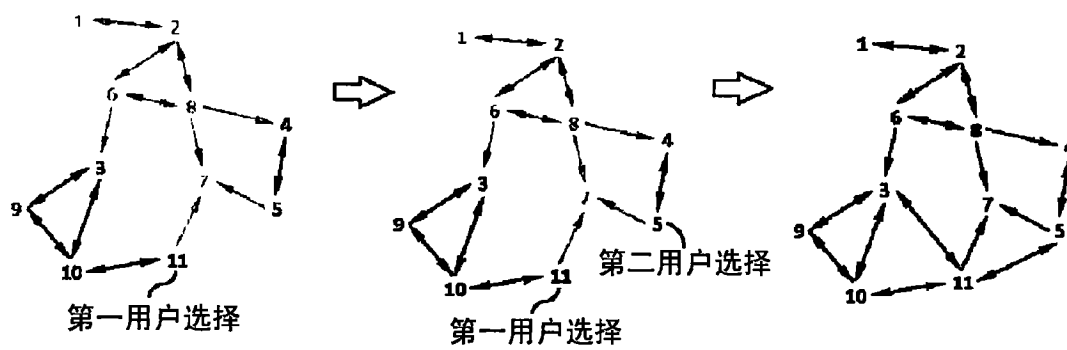


图 27

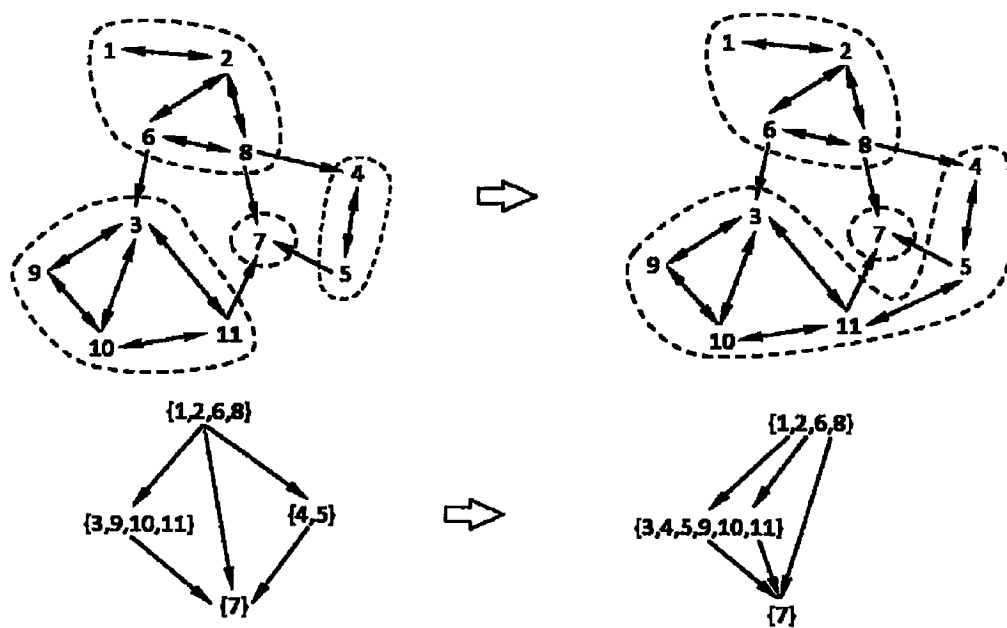


图 28

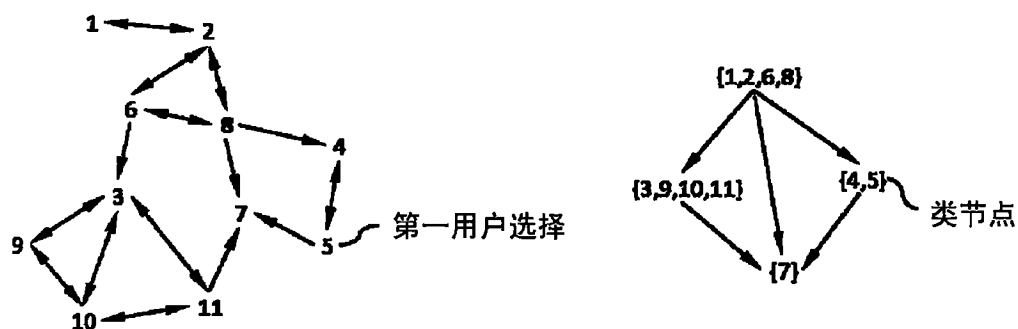


图 29

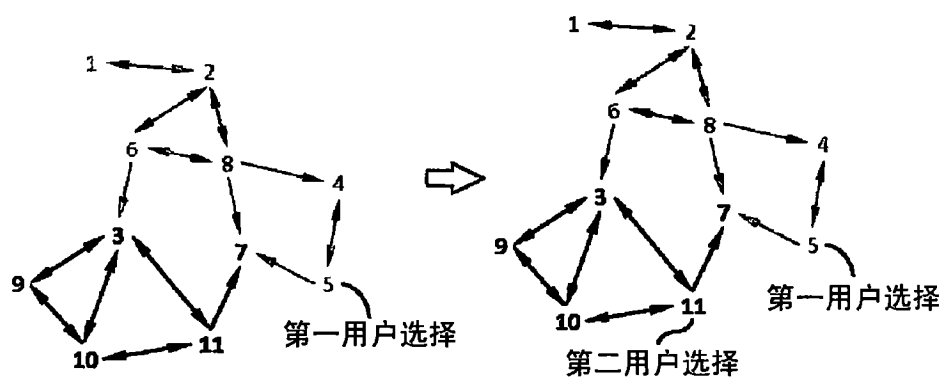


图 30

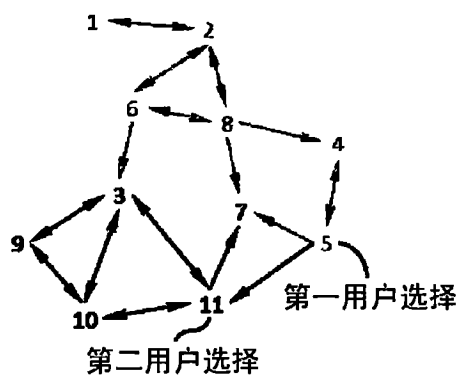


图 31

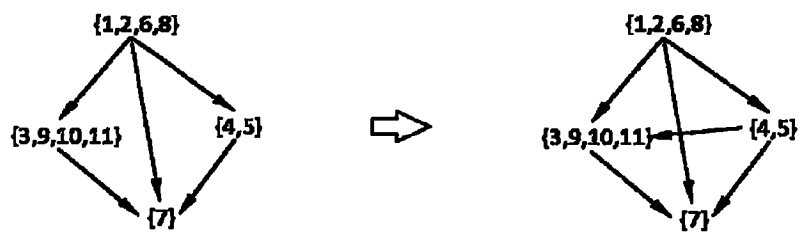


图 32