



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104608127 A

(43) 申请公布日 2015. 05. 13

(21) 申请号 201410637614. 0

(22) 申请日 2014. 11. 05

(30) 优先权数据

102013222456. 7 2013. 11. 05 DE

(71) 申请人 库卡实验仪器有限公司

地址 德国奥格斯堡

(72) 发明人 马丁·里德尔 赖纳·比朔夫

(74) 专利代理机构 隆天知识产权代理有限公司

72003

代理人 时永红 黄艳

(51) Int. Cl.

B25J 9/16(2006. 01)

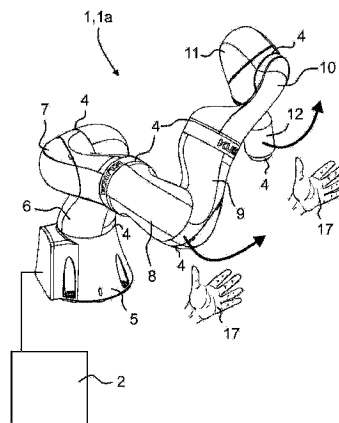
权利要求书2页 说明书9页 附图5页

(54) 发明名称

对冗余的工业机器人的运动过程的编程方法和工业机器人

(57) 摘要

本发明涉及通过手动引导地调整工业机器人的操纵器臂的姿势对冗余的工业机器人的运动过程编程的方法,工业机器人具有多个通过可调整的、包括至少一个冗余关节的关节彼此相接的节肢,关节能够通过工业机器人的至少一个机器人控制器可控地调整,包括步骤:手动引导地调整操纵器臂的与工具参考点相对应的节肢,从空间中的第一位置和第一方向至空间中的第二位置和/或第二方向;在取消冗余的情况下,通过确定至少一个冗余关节的优化的关节位置值,由操纵器臂的工具参考点的第二位置和第二方向,回溯计算操纵器臂的所有关节的关节位置值;在手动引导调整期间,根据回溯计算出的优化的关节位置值,在机器人控制器的控制下自动地调整操纵器臂的所有关节。



1. 一种通过手动引导地调整工业机器人 (1) 的操纵器臂 (1a) 的姿势对冗余的工业机器人 (1) 的运动过程进行编程的方法, 所述工业机器人具有多个彼此相接的节肢 (5-12), 这些节肢通过可调整的、包括至少一个冗余关节 (4) 的关节 (4) 相连接, 所述关节能够通过所述工业机器人 (1) 的至少一个机器人控制器 (2) 可控地调整, 该方法包括以下步骤:

手动引导地调整所述操纵器臂 (1a) 的与工具参考点 (16) 相对应的节肢 (5-12), 从空间中的第一位置和第一方向至空间中的第二位置和 / 或第二方向,

在取消冗余的情况下, 通过确定所述至少一个冗余的关节 (4) 的优化的关节位置值, 由所述操纵器臂 (1a) 的工具参考点 (16) 的第二位置和第三方向, 回溯计算所述操纵器臂 (1a) 的所有关节 (4) 的关节位置值,

在手动引导调整期间, 根据回溯计算出的所述优化的关节位置值, 在所述机器人控制器 (2) 的控制下自动地调整所述操纵器臂 (1a) 的所有关节 (4)。

2. 如权利要求 1 所述的方法, 其中, 从多个预先设定的不同算法中选择算法, 这些不同算法用于在取消冗余的情况下, 通过确定所述至少一个冗余关节 (4) 的优化的关节位置值, 由所述操纵器臂 (1a) 的工具参考点 (16) 的第二位置和第三方向, 回溯计算所述操纵器臂 (1a) 的所有关节 (4) 的关节位置值。

3. 如权利要求 2 所述的方法, 其中, 对所述算法的选择由所述工业机器人 (1) 的操作人员在其手动引导地调整所述操纵器臂 (1a) 之前进行。

4. 如权利要求 1 至 3 中任一项所述的方法, 其中, 根据所述操纵器臂 (1a) 的静态特性和 / 或运动学特性对所述至少一个冗余关节 (4) 的关节位置值进行优化。

5. 如权利要求 4 所述的方法, 其中, 所述根据所述操纵器臂 (1a) 的静态特性和 / 或运动学特性对所述至少一个冗余关节 (4) 的关节位置值的优化按照对待编程的运动过程的要求来进行。

6. 如权利要求 4 或 5 所述的方法, 其中, 待优化的特性是过程力、所述操纵器臂 (1a) 的刚性、所述操纵器臂 (1a) 的定位精度、所述操纵器臂 (1a) 的运动速度、所述操纵器臂 (1a) 的加速能力和 / 或在所述操纵器臂 (1a) 的力反馈过程中的灵敏度。

7. 如权利要求 4 至 6 中任一项所述的方法, 其中, 对所述至少一个冗余关节 (4) 的关节位置值的优化按照一个或多个预先设定的作用方向 (18) 来进行。

8. 如权利要求 7 所述的方法, 其中, 所述一个或多个预先设定的作用方向 (18) 由所述工业机器人 (1) 的操作人员在其手动引导地调整所述操纵器臂 (1a) 之前手动地向所述机器人控制器 (2) 预先给定, 或者根据由操作人员通过其对所述操纵器臂 (1a) 的手动引导所预先设定的运动方向由所述机器人控制器 (2) 自动地确定。

9. 如权利要求 1 至 8 中任一项所述的方法, 其中, 所述机器人控制器 (2) 被设计和 / 或设置为, 在根据手动引导调整期间通过回溯计算得到的所述优化关节位置值并通过所述机器人控制器 (2) 可控地自动调整所述操纵器臂 (1a) 的所有关节 (4) 之后或期间, 手动地调整所述操纵器臂 (1a) 的关节, 特别是所述至少一个冗余关节 (4)。

10. 如权利要求 9 所述的方法, 其中, 所述机器人控制器 (2) 被设计和 / 或设置为, 允许利用力反馈来手动地调整所述操纵器臂 (1a) 的关节 (4)。

11. 如权利要求 10 所述的方法, 其中, 所述力反馈随着相对于特别是所述至少一个冗余关节 (4) 的优化关节位置值的偏差而线性或累进地增加。

12. 一种工业机器人,具有:机器人控制器(2),该机器人控制器被设计和/或设置用于执行包含编程的运动过程的机器人程序;冗余的操纵器臂(1a),该冗余的操纵器臂具有多个彼此相接的节肢(5-12)和关节(4),所述节肢和关节按照所述机器人程序被自动化,和/或在手动操作中自动地调整,其中,所述机器人控制器(2)被设计和/或设置用于执行如权利要求1至11中任一项所述的方法。

对冗余的工业机器人的运动过程的编程方法和工业机器人

技术领域

[0001] 本发明涉及一种通过手动引导地调整工业机器人的操纵器臂的姿势,对冗余的工业机器人的运动过程进行编程的方法,操纵器臂具有多个彼此相接的节肢,这些节肢通过可调整的并包括至少一个冗余关节的关节相连接,这些关节可以通过工业机器人的至少一个机器人控制器被可控地调整。本发明还涉及一种对应的工业机器人。

背景技术

[0002] 专利文献 DE 102011106321 A1 提出了一种用于控制特别是与人协作的机器人的方法,在该方法中取消了特定于机器人或特定于任务的对机器人的冗余。在该专利文献中,特别是将能够在物理上与人交互的机器人称为与人协作的机器人,例如,在机器人的工作空间中为人员设置驻留地点。在这样的机器人应用中,特别希望能够减轻机器人的接触点与其周围环境、尤其是人员发生碰撞所造成的后果。为此,目前例如 ISO-10218 预先设定边界值,例如工具参考点、即所谓的工具中心点 (TCP) 的最大速度为 0.2m/s 至 0.25m/s。这种与人协作的机器人可以在市场上买到,并且也被称为轻型机器人。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于:通过手动引导地调整工业机器人的操纵器臂的姿势,更好地、尤其是更简单地对冗余的工业机器人的运动过程进行编程。

[0004] 本发明的目的利用一种通过手动引导地调整工业机器人的操纵器臂的姿势,对冗余的工业机器人的运动过程进行编程的方法来实现,该工业机器人具有多个彼此相接的节肢,这些节肢通过可调整的并包括至少一个冗余关节的关节相连接,这些关节通过工业机器人的至少一个机器人控制器被可控地调整,该方法包括以下步骤:

[0005] 通过手动引导将操纵器臂的与工具参考点相对应的节肢的姿势从空间中的第一位置 and 第一方向调整至空间中的第二位置 and / 或第二方向,

[0006] 在取消(Auflösung)冗余的情况下,通过确定至少一个冗余关节的优化的关节位置值,由操纵器臂的工具参考点的第二位置 and 第二方向,回溯计算出操纵器臂的所有关节的关节位置值,

[0007] 在手动引导调整期间,根据回溯计算得到的优化的关节位置值,通过机器人控制器可控地自动调整操纵器臂的所有关节。

[0008] 在此将冗余的工业机器人理解为能够借助于机器人控制器运动的操纵器臂,与完成任务所需相比,其具有更多的操纵器自由度。冗余度由操纵器臂的自由度的数量和完成任务所在的事件空间的维数的差来决定。在此可能会涉及到运动学冗余或任务特定的冗余。在运动学冗余中,运动学自由度的数量(通常为操纵器臂的关节的数量)要大于事件空间,该事件空间是在真实的环境中根据在空间中的运动由三个平移自由度和三个旋转自由度构成,即由六个自由度构成。例如,冗余的工业机器人可以是具有七个关节、特别是七个转动关节的轻型机器人。相反在任务特定的冗余中,所设置任务的维数要小于操纵器臂

的运动学自由度的数量。

[0009] 具有对应的机器人控制器的操纵器臂、特别是工业机器人是一种工作机器，其装备有工具，以能够自动地处理和 / 或加工对象，并对多个运动轴例如关于方向、位置和工作流程是可编程的。工业机器人通常包括具有多个通过关节相连接的节肢的操纵器臂和在运行期间自动控制或调节操纵器臂的运动过程的可编程的机器人控制器（控制装置）。通过受机器人控制器控制的驱动器、特别是电驱动器使节肢尤其是关于工业机器人的运动轴（其代表了关节的运动自由度）运动。

[0010] 具有多个通过关节连接的节肢的操纵器臂可以被配置为具有多个依次串行设置的节肢和关节的曲臂机器人，特别是这种冗余的工业机器人可以具有包括七个或更多关节的操纵器臂。

[0011] 如同工业机器人一样，具有对应的机器人控制器的操纵器臂还可以是所谓的轻型机器人，其与传统的工业机器人的不同之处首先在于：这种轻型机器人具有有利于人机协作的结构尺寸，并因此具有与其自重相比相对较高的运载能力。此外，轻型机器人特别是可以力调节来替代位置调节地运行，这例如能够简化对操纵器臂姿势的手动调整。此外，还可以由此实现安全的人机协作，因为可以避免或至少减轻例如操纵器臂与人的意外碰撞，从而不会对人造成伤害。这种操纵器臂或这样的轻型机器人通常具有六个以上的自由度，因此需要设置超定系统 (überbestimmtes System)，由此在空间中处于相同方向的相同的点可以通过操纵器臂的多种、甚至是无限多的不同的姿势到达。轻型机器人可以针对外部的力作用以适当的方式作出反应。可以使用能够在全部三个空间方向上测量力和转矩的力传感器来测量力。替代地或附加地，还可以在没有任何传感器的情况下，例如根据所测得的位于轻型机器人关节上的驱动器的电机电流来估计外部的力。就调节概念而言，例如可以采用将轻型机器人作为机械阻力（阻抗）来建模的间接的力调节，或者可以采用直接的力调节。

[0012] 操纵器臂的姿势通常是指操纵器臂的关节的所有关节位置的总和，这些关节使操纵器臂的各个节肢可调整地相连接。从狭义上讲，在定义明确的系统中，还可以例如将姿势理解为操纵器臂的参考点（例如工具参考点 (TCP)）的位置和方向。工具参考点例如可以由操纵器臂的位于手部法兰上的适当的点构成，在该手部法兰上固定有夹持器、工具或其他装置，以便能够通过调整操纵器臂的姿势使夹持器、工具或其他装置在空间中运动。一般情况下，工具参考点也可以是位于操纵器臂之外的虚拟的空间点，但是，该空间点在几何上刚性地与操纵器臂的一节肢、尤其是操纵器臂的手部法兰相连接。

[0013] 手动引导地调整操纵器臂的姿势通常是指：工业机器人的操作人员在操纵器臂的一个或多个关节上触碰操纵器臂，并例如通过按压、牵拉和 / 或转动所抓住的一个或多个节肢来改变，即调整操纵器臂的姿势，从而改变操纵器臂的当前的关节位置。在基础的实施例中，在操纵器臂的运动链中的最后一个节肢上，即在操纵器臂的手部法兰上例如固定有手柄，或者配有、特别是刚性地固定有至少一个手柄部分，通过该手柄部分可以将引导力输送到操纵器臂的机械结构中。引导力还可以通过直接接触、尤其是握抱位于操纵器臂的运动链最后的节肢被输送到操纵器臂的机械结构中。这种由工业机器人的操作人员施加在操纵器臂上的引导力可以例如通过专门为此设计和配备的传感器、特别是力传感器直接测量，或者是由操纵器臂的业已存在的关节传感器、尤其是力传感器 / 力矩传感器的测量值间接地计算得到，或者间接地根据工业机器人的关节的驱动器的电机电流来确定。替代

地在另一种实施方式中,对操纵器臂的手动调节可以在适当的情况下根据流程通过操作装置、特别是按钮或操纵杆来代替手动的引导来完成。

[0014] 例如,七轴的轻型机器人具有运动学冗余的结构,这种结构通过机器人的七个自由度来覆盖六个可能的空间中的运动方向。由此,使得工具参考点(例如末端执行器的TCP)的姿势通常能够驶向无限多的机器人位置。另一种被广泛使用的取消这种冗余的方法是设定冗余回路,并通过例如肘关节的不同位置对该冗余回路进行描述。在此,肘关节在运动期间的理想位置不是已知的,因为该位置从一应用场合到另一应用场合有不同的选择。对此存在各种不同的方式来区分良好的可调节性、关于奇点(Singularität)和关节角限制的较大运动区域或驱动器的较小负载的优先顺序。

[0015] 除了较高的可运动性之外,轻型机器人的主要优势还在于其集成式的力传感装置,其能够非常简单地实现对机器人的手动示教(Hand-Teachen),即,为了实现编程而手动地引导机器人。由于冗余的原因,在此不仅可以手动引导工具参考点的姿势,而且还可以手动设定肘关节的位置。特别可以将关节角度的组合,即节肢固定的坐标系统在空间或平面中的姿势(位置和方向)看作是肘关节的位置。在机器人程序自动开始时,机器人使已编程、即已示教的姿势也进入到已保存的位置。

[0016] 这种做法操作非常方便,并且能够产生良好的、可预见的机器人运动。然而用户通过其对位置的具体设定不仅可以限定工具参考点的姿势,而且还可以始终地限定机器人的能力。这种能力通过所谓的动/静态特性(kinetostatischen Eigenschaften)来表述,即,例如从笛卡尔空间向轴空间以及从轴空间向笛卡尔空间的力转换和速度转换,机器人实现特定的TCP姿势的精度和刚性(Steifigkeit),这种工作效率不仅在机器人的工作空间中分布得非常不均匀,而且还将关于冗余参数(例如肘关节位置)发生变化。机器人在某种姿势和位置上的特性是非常难以预测的,而且预测需要很高的专业知识。因此,没有经验的使用者虽然能够对机器人进行非常简单的编程,但是也会使机器人不知不觉地迅速得到较差的特性。在很多使用场合中,这些特性仍然是足够的并且处于容许范围之内。但是,如果机器人需要在例如关于周期时间、动力、有效载荷或精度的能力极限上运行,则使用者将不再能够有目的地引导机器人到达任意的任意位置。

[0017] 相反,如果只对工具参考点的姿势,而不是操纵器臂的总的姿势进行示教,则可以优化的方式在自动执行程序时关于不同的标准选择机器人位置。但是,该机器人位置通常与示教期间的位置有所不同。这种事先不可预测的运动的后果就是可能会导致人与机器有发生碰撞的危险。

[0018] 为了对稍后在自动模式下完全自动化进行的运动过程进行编程,公知的是对冗余工业机器人的操纵器臂进行手动引导的调整,直至工具参考点位于期望的位置上,并且还能够在需要时位于期望的方向上。工具参考点可以被称为工具中心点(TCP),并且例如可以是固定在操纵器臂的最后的节肢手部法兰上的工具的工作点。替代地,工具参考点或工具中心点(TCP)例如还可以是操纵器臂的手部法兰上的一固定的点。在一种所期望的工具参考点在空间中的姿势中,在空间中例如通过三个位置值(X, Y, Z)和三个方向值(A, B, C)来表示的工具参考点在空间中的坐标作为位置值被存储在机器人控制器的机器人程序中。因此,可以通过工具参考点的多个被存储的姿势实现对运动过程的编程。然后,所存储的工具参考点的姿势可以通过机器人控制器连续地进入例如点对点运动模式(PTP)。替代

地,还可以确定,即在机器人控制器中计算出工具参考点的运动路径,例如直线(LIN)形式的运动路径,其从一所存储的工具参考点的姿势通向任一个接下来的姿势;或者样条曲线(SPLINE)形式的运动路径,其延伸通过多个所存储的工具参考点的姿势。

[0019] 在冗余工业机器人的情况下,当根据这种工具参考点在空间中的姿势的基点(Stützpunkten)计算运动路径时将自动计算操纵器臂的姿势,即所有关节位置的总和。在此必须取消所谓的冗余,也就是说,对于在根据工具参考点的各个姿势回溯计算关节位置值的过程中可能有无限多个关节位置值的一个或多个冗余的关节只对应唯一的关节位置值。目前,这种对冗余的取消只有在机器人程序已经完全生成并以自动模式执行时的时间点上才会发生。这样做的结果就是:与到达编程的时间点时在记录工具参考点的各个姿势的那一时刻相比,操纵器臂的总体姿势(Gesamtpose)在运动过程中是不同的。这意味着:与操作人员,即编程在进行手动引导调整期间所做的调整相比,操纵器臂可能会在空间中展示出完全不同的行为。因此,在编程之后的自动运行中,操纵器臂可能会做出意外的、甚至是危险的行为,直至发生碰撞。

[0020] 为了能够对此进行弥补,在一种替代的编程方法中,在编程中不是存储或不是只存储工具参考点的姿势,而是在工具参考点的姿势之外还附加地或替代地检测和存储操纵器臂的所有关节的全部关节位置值。在这种情况下可以不再考虑取消冗余,因为所有的关节位置值都已经通过教导过程、即所谓的示教被预先确定。但是在这种编程方式中,除了工具参考点之外,操作人员、即编程还必须手动地调整所有的关节,至少要手动地调整一个冗余的关节。这意味着一方面会产生较高的编程费用,另一方面也会有操作人员选择操纵器臂的不适宜的总姿势的风险,这不利于工业机器人在后面将要自动执行的工作进程。

[0021] 根据本发明,通过在手动引导地调整操纵器臂期间,在取消冗余的情况下确定至少一个冗余关节的优化的关节位置值并根据操纵器臂的工具参考点的第二位置和第二方向回溯计算操纵器臂的所有关节的关节位置值,以及通过根据在进行手动引导调整期间由回溯计算得到的优化的关节位置值,利用机器人控制器控制地自动调整操纵器臂的所有关节,操作人员可以集中静力于对工具参考点的姿势和运动路径的编程,而无需考虑、特别是必须自己手动地调节整个操纵器臂的姿势。另一个优点在于:操作人员已经在手动引导编程期间,通过马上在后台自动执行的回溯计算和对操纵器臂的全部关节的调整而直接获得了关于整个操纵器臂在以后的实际姿势的反馈。这样做的优点还在于:可以简单、快捷地实现对运动过程的编程,并且能够获得可使用的、特别是可安全执行的和可预见的机器人程序。

[0022] 在根据本发明方法的另一种实施方式中,可以从多个预先设定的不同算法中选择一种算法,以在取消冗余的情况下,通过确定至少一个冗余关节的优化的关节位置值,根据操纵器臂的工具参考点的第二位置和第二方向,回溯计算操纵器臂的所有关节的关节位置值。

[0023] 为了能够从至少一个冗余关节的关节位置的多个或无穷多个解中找出唯一适用的关节位置,已知的有各种不同的算法,特别是优化的算法。在本实施方式中,在机器人控制器中设有至少两个、特别是多个不同的用于取消冗余的算法可供使用,特别是操作人员可以在执行根据本发明的方法之前以及根据需要在执行根据本发明的方法期间选择算法。

[0024] 因此,工业机器人的操作人员对算法的选择特别可以在其手动引导地调整操纵器

臂之前进行。通过使操作人员在运动过程进行手动引导的编程之前从多个可能的算法中选出算法,操作人员就可以在手动引导地编程期间根据一定的标准预先确定冗余关节的行为,特别是操纵器臂的全部姿势,并因此使操纵器臂的基本行为与待编程的处理任务和/或操作任务相符。这进一步改善了操纵器臂无论是在手动引导编程期间还是在之后的行为的可预见性。

[0025] 在一种特定的实施方式中,可以在机器人控制器中存放这样一种算法:其能够根据操纵器臂的各种不同的静态特性和/或运动学特性自动地对至少一个冗余关节的关节位置值进行优化。操作人员特别可以在对机器人程序进行手动引导编程之前选出所需要的算法,然后在手动引导地调整操纵器臂期间使用该算法,也就是相应地自动调整操纵器臂的关节,尤其是冗余的关节。

[0026] 替代地或附加地,按照操纵器臂的静态特性和/或运动学特性对至少一个冗余关节的关节位置值进行优化,这可以根据关于待编程的运动过程的要求来进行。这可能意味着:存放在机器人控制器中的每个算法都对应于一种适用于优化策略的要求。因此对于操作人员而言,对工业机器人的编程变得简单了,因为操作人员已经不再需要了解各个算法的各种表现,而是只需要选择与其任务分配相符的要求即可,而这种要求在机器人控制器中对应于特定的算法。

[0027] 待优化的特性例如可以是过程力(Prozesskraft),操纵器臂的刚性,操纵器臂的定位精度,操纵器臂的运动速度,操纵器臂的加速能力和/或在操纵器臂的力反馈过程中的灵敏度。因此,例如对于利用机器人引导的工具切削加工工件(例如钻孔或铣削)的任务,整个操纵器臂具有非常高的刚性是较为有利的,由此可以确保实现尺寸准确的加工,并且在切削加工过程中所产生的较高的过程力能够被操纵器臂的机械结构完全吸收。在其他的应用中(例如磨削或抛光),可能需要操纵器臂具有一定的柔性,以便只有已降低的最大力通过机器人引导的工具作用在工件上。在第一种情况下,应该适当地将冗余的关节分派在例如关于过程力方向具有操纵器臂的较高的静态刚性的关节位置上。在第二种情况下,应该适当地将冗余的关节分派在例如关于过程力方向具有操纵器臂的较大灵活性的关节位置上。

[0028] 因此,对至少一个冗余关节的关节位置值的优化也可以根据一个或多个预先设定的作用方向来进行。在此,可以按照作用方向(Wirkrichtung,动作方向),例如过程力方向,根据操纵器臂的关节位置、特别是操纵器臂的冗余关节的关节位置有选择地向所考虑的各个关节施加更大或更小的力矩。

[0029] 预先设定的一个或多个作用方向可以由工业机器人的操作人员在手动引导地调整操纵器臂之前手动地向机器人控制器预先设定,或者由机器人控制器自动确定,特别是根据由操作人员通过其对操纵器臂的手动引导所预先设定的运动方向由机器人控制器自动地确定。

[0030] 在根据本发明方法的另一种实施方式中,可以将机器人控制器设计和/或设置为:在根据手动引导调整期间通过回溯计算得到的优化关节位置值并通过机器人控制器可控地自动调整操纵器臂的所有关节之后或期间,手动地调整操纵器臂的关节,尤其是至少一个冗余的关节。

[0031] 利用这种基本方法,操作人员能够特别是在手动引导编程期间直接并提前看到操

纵器臂在程序运行中后面的总体姿势。操作人员可以在手动引导编程期间目视检查操纵器臂的总体姿势,但是在上述另一种实施方式中,操作人员也可以在自动调整之后或期间根据需要手动地调整操纵器臂的关节,特别是至少一个冗余的关节,以便例如能够有针对性地操纵器臂的被自动优化地总体姿势进行矫正。由此可以通过简单的操作确保机器人的最大可能的能力和最大可能的可预见性。

[0032] 在此可以将机器人控制器设计和 / 或设置为:能够通过力反馈手动调整操纵器臂的关节。力反馈可以随着相对于特别是至少一个冗余关节的优化关节位置值的偏差而线性或累进地增加。

[0033] 本发明的目的除了通过根据本发明的方法来实现之外,还可以通过一种工业机器人来实现,该工业机器人具有:机器人控制器,该机器人控制器被设计和 / 或设置用于执行包含已编程的运动过程的机器人程序;冗余的操纵器臂,操纵器臂具有多个彼此相接的节肢和关节,这些节肢和关节根据机器人程序被自动化,和 / 或在手动操作中可自动地调整,在此,机器人控制器被设计和 / 或设置用于执行上述的方法。

[0034] 综上所述,通过根据本发明的方法,整个操纵器臂可以在对工具参考点的手动引导编程中直接处于操纵器臂以后在自动执行机器人程序的过程中所具有的总体姿势中,在此,操纵器臂的总体姿势可以动 / 静态地 (kinetostatisch) 关于后面的任务被优化地选择。

[0035] 操作人员可以例如根据待编程的加工和 / 或处理任务通过直观的手动引导对末端执行器进行定位和对齐。由此使得操作人员能够附加地说明:机器人是否在所期望的姿势上满足特定的要求。机器人的这些被另外编程的尤其是动 / 静态特性可以在机器人控制器中被添加到一种姿势或一个运动阶段中。规划算法可以根据这些信息计算操纵器臂的当前优化的姿势。优化的位置被直接传递到操纵器臂的关节的驱动器上,从而使得操作人员可以立即看到操纵器臂的正确姿势并以这些姿势继续工作。

[0036] 在此编程可以如下方式进行。首先,操作人员选出其能够用于进行工作的工具参考点,即,操作人员能够通过与该工具参考点相连接的操纵器臂的节肢手动引导地使其运动。例如,在机器人的重力补偿模式下,操作人员可以用手使工具参考点进入到所期望的姿势。在此,例如肘关节的位置并不重要。对于该期望的姿势,现在可以附加地存储所需要的特性,例如:待发生的最大力或力矩的预期方向,待发生的最大速度的预期方向,待发生的最大动力 / 加速的预期方向,最高精度的预期方向,最高的力灵敏度的预期方向,最好的可调性和 / 或最大机械刚性的预期方向。

[0037] 例如,在机器人执行加工操作时(如钻孔,磨削,铣磨或高精度、灵敏的接合任务或测量任务),或者机器人在操作任务过程中触碰到其负荷或周期时间的底限时,这些特性是非常重要的。

[0038] 在此,对方向的编程可以例如简单地通过手动引导工具来实现。在这里可以采用有特色的工具方向(例如碰撞方向),或者选择清楚的坐标方向。同样,还可以将所期望的动 / 静态特性与一平面相关联,即,在所期望的平面上,机器人例如应该具有在该姿势中可能的最高精度。这同样可以通过工具的方向来设定,该方向在这种情况下被定义为该平面的法向量。在此,方向的预先设定可以与实际的目标姿势无关。操纵器臂可以在设定特性方向之后在此处于其已编程的姿势中,并在此自动地选择优化的位置。

附图说明

[0039] 下面将参照附图对可根据发明的方法运行的工业机器人的具体实施例进行详细说明。这些实施例的具体特征可以与在实施例中所提到的这些特征的具体联系无关地描述了本发明的普遍特征,在适当情况下这些特征也可以单独或组合地考虑。其中:

[0040] 图 1 以透视图示出了轻型机器人类型的冗余的工业机器人,其具有示意性示出的机器人控制器和操纵器臂,操纵器臂的姿势可手动引导地调整,

[0041] 图 2 示出了与操纵器臂的待优化的不同特性相关的、被取消的各种冗余的不同变型,

[0042] 图 3 以图解示例性地示出了用于对如图 1 所示的冗余轻型机器人的运动过程进行编程的根据本发明的方法的流程图,

[0043] 图 4 以图解示出了在夹持和举起任务的举例中根据本发明的用于对如图 1 所示的冗余轻型机器人的运动过程进行编程的方法的流程图,

[0044] 图 5 以图解示出了在避免碰撞的举例中根据本发明的方法的流程图,其中,允许对操纵器臂的优化姿势进行手动校正。

具体实施方式

[0045] 图 1 示出了一示例性的机器人工作位置,其中有工业机器人 1 的操纵器臂 1a。在该实施方式中,工业机器人 1 被设计为 KUKA LBR 类型的所谓的轻型机器人,其具有操纵器臂 1a 以及配属的机器人控制器 2。在该实施例的情况下,冗余的操纵器臂 1a 包括八个依次设置并借助于七个关节 4 可转动地彼此连接的节肢 5 至 12。

[0046] 工业机器人 1 的机器人控制器 2 被设计或设置用于执行机器人程序,通过机器人控制器可以使操纵器臂 1a 的关节 4 按照其机器人程序自动地或手动操作地自动调整或转动运动。为此使机器人控制器 2 与可控的电驱动器相连接,电驱动器被设计用于调整操纵器臂 1a 的关节 4。

[0047] 机器人控制器 2 被设计和 / 或设置用于执行一个或多个根据本发明的方法,用于通过手动引导地调整操纵器臂 1a 的姿势对冗余的工业机器人 1 的运动过程进行编程,下面将根据多个具体的实施例对此进行详细说明。

[0048] 在图 2 中以图解示例性地示出了根据本发明的方法的步骤。外面左侧的视图示出了操纵器臂 1a,其具有固定在其手部法兰 13 上的工具 14,在本实施例中工具 14 为磨削工具。工具 14 用于加工工件 15。在此,工具参考点 16 例如可以是位于工具 14 的旋转轴线上的一点。

[0049] 如图 2 中的内侧左面的视图所示,在第一方法步骤中,手动引导地调整操纵器臂 1a 的、对应于工具参考点 16 的节肢 5-12 从空间中的第一位置和第一方向至空间中的第二位置和 / 或第二方向。在此,如图所示,这种手动引导的调整可以通过工业机器人 1 的操作人员的手 17 进行。在本实施例中,被手动引导的节肢 5-12 是操纵器臂 1a 的手部法兰 13。

[0050] 对至少一个冗余的节肢 4 的关节位置值的优化可以根据一个或多个预先设定的作用方向来进行,如图 2 中的内侧右面的三幅视图所示。在此,可以按照作用方向 18,例如过程力方向,根据操纵器臂 1a 的关节位置、特别是操纵器臂 1a 的冗余关节 4 的关节位置有

选择地向所考虑的各个关节 4 施加更大或更小的力矩。

[0051] 预先设定的一个或多个作用方向 18 可以由工业机器人 1 的操作人员在其手动引导地调整操纵器臂 1a 之前通过机器人控制器 2 手动地预先设定,或者由机器人控制器 2 自动确定,特别是根据由操作人员通过其对操纵器臂 1a 的手动引导所预先设定的运动方向由机器人控制器 2 自动地确定。

[0052] 待优化的特性例如可以是过程力,操纵器臂的刚性 (MAX 1),操纵器臂的定位精度,操纵器臂的运动速度,操纵器臂的加速能力和 / 或在操纵器臂的力反馈过程中的灵敏度 (MAX 2)。因此,例如对于利用机器人引导的工具 14 切削加工工件 15 (例如钻孔或铣削)的任务,整个操纵器臂 1a 具有非常高的刚性 (MAX 1) 是较为有利的,由此可以确保实现尺寸准确的加工,并且在切削加工过程中所产生的较高的过程力能够被操纵器臂 1a 的机械结构完全吸收。在其他的应用中 (例如磨削或抛光),可能需要操纵器臂具有一定的柔性并由此具有更好的灵敏度,以便只有已被降低的最大力通过机器人引导的工具 14 作用在工件 15 上。在第一种情况下,适当地将冗余的关节 4 分派在例如关于过程力方向具有操纵器臂 1a 的较高的静态刚性的关节位置上,如图 2 中的上部和下部视图所示。在第二种情况下,适当地将冗余的关节 4 分派在例如关于过程力方向具有操纵器臂的较高的灵敏度 (MAX 2) 的关节位置上,如图 2 中的中间视图所示。

[0053] 在图 2 中外侧右面的三幅视图中示出了:在各种取消冗余的情况下,通过确定至少一个冗余关节 4 的优化的关节位置值,根据操纵器臂 1a 的工具参考点 16 的第二位置和第二方向,回溯计算操纵器臂 1a 的所有关节 4 的关节位置值;以及在手动引导调整期间,根据回溯计算得到的优化的关节位置值,通过机器人控制器 2 可控地自动调整操纵器臂 1a 的所有关节 4。在图 2 中下部示意性示出的变形中,关于较高的刚性 (MAX 1) 选择对关节位置值的优化并选择作用方向 18,该作用方向在下部的视图中例如是从左向右指向的水平方向。这意味着对关节位置值的优化应该这样进行:操纵器臂 1a 应该在水平方向上具有较高的刚性,以便例如工具 14 在加工工件 15 时能够带来较高的过程力,而不会造成操纵器臂 1a 移位,如图 2 中下部最右侧视图所示。

[0054] 通过在图 2 中的示意图中所示出的三个变形举例,说明了从多个预先设定的不同算法中选出一种算法,用以在取消冗余的情况下,通过确定至少一个冗余关节 4 的优化的关节位置值,根据操纵器臂 1a 的工具参考点 16 的第二位置和第二方向,回溯计算操纵器臂 1a 的所有关节 4 的关节位置值。

[0055] 如图 3 整个右侧所示,这种对算法的选择可以通过工业机器人 1 的操作人员的手 17 来进行,特别是在其手动引导地调整操纵器臂 1a 之前进行,如图中左侧上面所示。在如图 3 所示的实施例中,操作人员例如选择最大精度 (MAX 4) 并设定所期望的作用方向 18。

[0056] 因此,编程可以如下所述地进行。首先,操作人员选出其能够用于进行工作的工具参考点 16,即,操作人员能够通过操纵器臂 1a 的与该工具参考点相连接的节肢 (例如手部法兰 13) 手动引导地使其运动。例如,在工业机器人 1 的重力补偿模式下,操作人员可以用手使工具参考点 16 进入到所期望的姿势,如图 3 中左侧上面的视图所示。在此,例如肘关节 19 的位置并不重要。对于该期望的姿势,现在可以附加地存储所需要的特性 (MAX 1 至 MAX 5),例如:待发生的最大力 (MAX 5) 或力矩的预期方向,待发生的最大速度 (MAX 3) 的预期方向,待发生的最大动力 / 加速的预期方向,最高精度 (MAX 4) 的预期方向,最高的力

灵敏度 (MAX 2) 的预期方向,最好的可调性和 / 或最大机械刚性 (MAX 1) 的预期方向。

[0057] 在此,对方向的编程可以简单地通过用操作人员的手 (17) 引导工具 14 来实现,如图 3 中右侧上面的视图所示。在这里可以采用有特色的工具方向,例如碰撞方向 (箭头),或者选择清楚的坐标方向。同样,还可以使所期望的动 / 静态特性与平面 E 建立联系,即,在所期望的平面 E 上,工业机器人 1 例如应该具有在该姿势中可能的最高精度 (MAX 4)。这同样可以通过工具 14 的方向来设定,该方向在这种情况下被定义为平面 E 的法向量 (箭头)。在此,方向的预先设定可以与实际的目标姿势无关。操纵器臂 1a 可以在设定特性方向之后再处于其已被编程的姿势中,如图 3 中右侧下面的视图所示,在此,相对于操纵器臂 1a 的意外姿势 (如左侧上面的视图所示),肘关节 19 可以在优化的位置上被自动优化 (在图 3 左侧下面的视图中以旋转箭头 P 示出)。此后,操纵器臂能够被自由地用手继续引导,在此,操纵器臂保持其特性。

[0058] 在图 4 中,根据待编程的示例性任务示出了利用操纵器臂 1a 举起目标 20 和使目标 20 运动的四个步骤。在该示出的示例性任务中,不需要由工业机器人的操作人员预先设定作用方向 18。但是通过事先设定或实现在菜单中选出的举起的任务,可以特定于任务地规定所必需的作用方向 18,即沿与重力相反的方向取向的作用方向 18。在此,作用方向 18 可以通过机器人控制器 2 自动地确定。在通过利用操作人员的手 17 所进行的手动引导调整对如图 4 中的右侧上面的视图所示的夹紧过程编程之后,可以自动地进行对关节位置值的优化,特别是对冗余的肘关节 19,如图 4 中左侧下面的视图中箭头 P 所示,从而可以操纵器臂 1a 的优化的姿势将目标举起,如图 4 中右侧下面的视图所示。

[0059] 在如图 5 所示的实施例中,在将操纵器臂 1a 的所有关节 4 自动地调整至优化关节位置值之后或期间,附加地对操纵器臂 1a 的关节 4 进行手动调整,以便例如在关节会与障碍物 21 发生碰撞的优化姿势的情况下 (如图 5 中左侧视图所示),能够附加地手动调整操纵器臂 1a 的关节 4,从而能够例如在特殊情况下通过操作人员的手 17 使肘关节 19 摆动地离开障碍物 21,由此可以进行修正的编程,如图 5 中右侧视图所示,该修正的编程不会与障碍物 21 发生冲突,但是却能够非常接近于操纵器臂 1a 的优化姿势地经过障碍物 21。在此可以将机器人控制器 2 设计和 / 或设置为,只利用力反馈 (箭头 F) 手动地调整操纵器臂 1a 的关节 4。力反馈可以随着相对于特别是至少一个冗余关节 4 的优化的关节位置值的偏差而线性或累进地增加。这意味着:随着由操作人员为了绕过障碍物 21 而调整的操纵器臂 1a 的姿势的偏差逐渐增大,手动地使操纵器臂 1a 运动也变得更加困难,即,只能逐渐增大力的消耗,由此可以将逐渐增大的相对于操纵器臂 1a 的优化姿势的偏差通过力反馈传输给操作人员。这可以指导操作人员使操纵器臂 1a 的姿势只是大体上并且只是尽可能轻微地摆动偏离优化的姿势,总体上讲这对于绕过障碍物 21 是完全必要的。

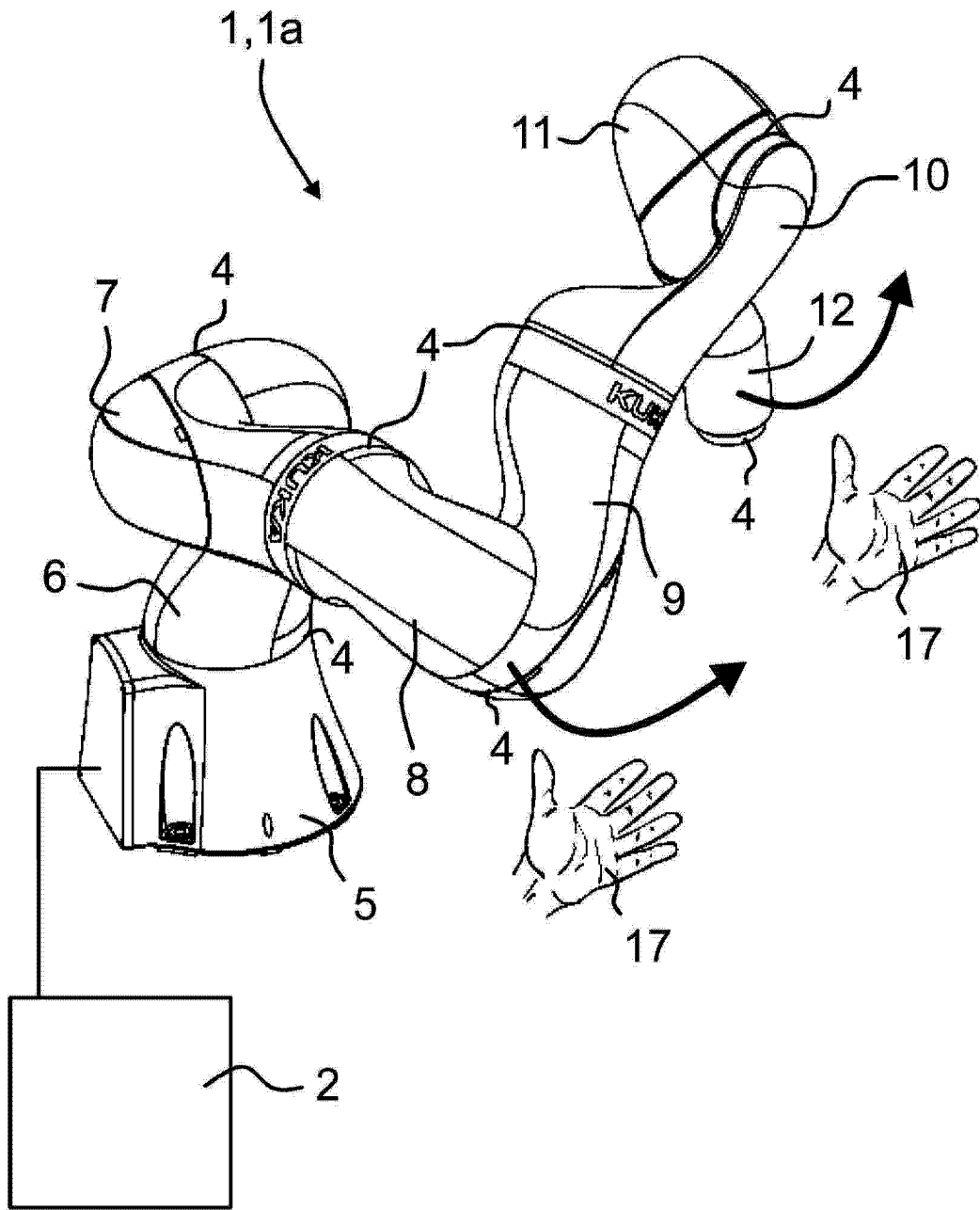


图 1

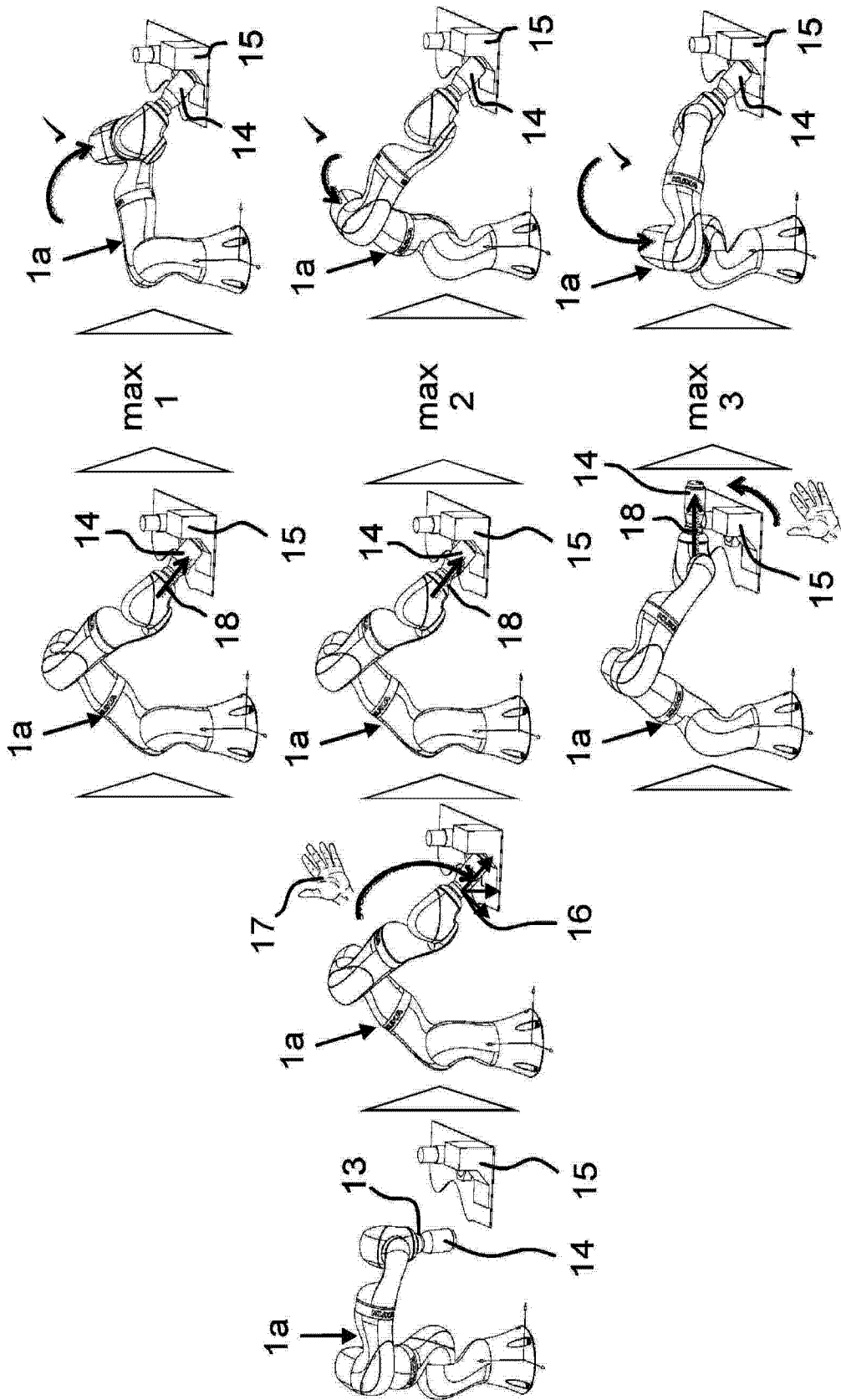


图 2

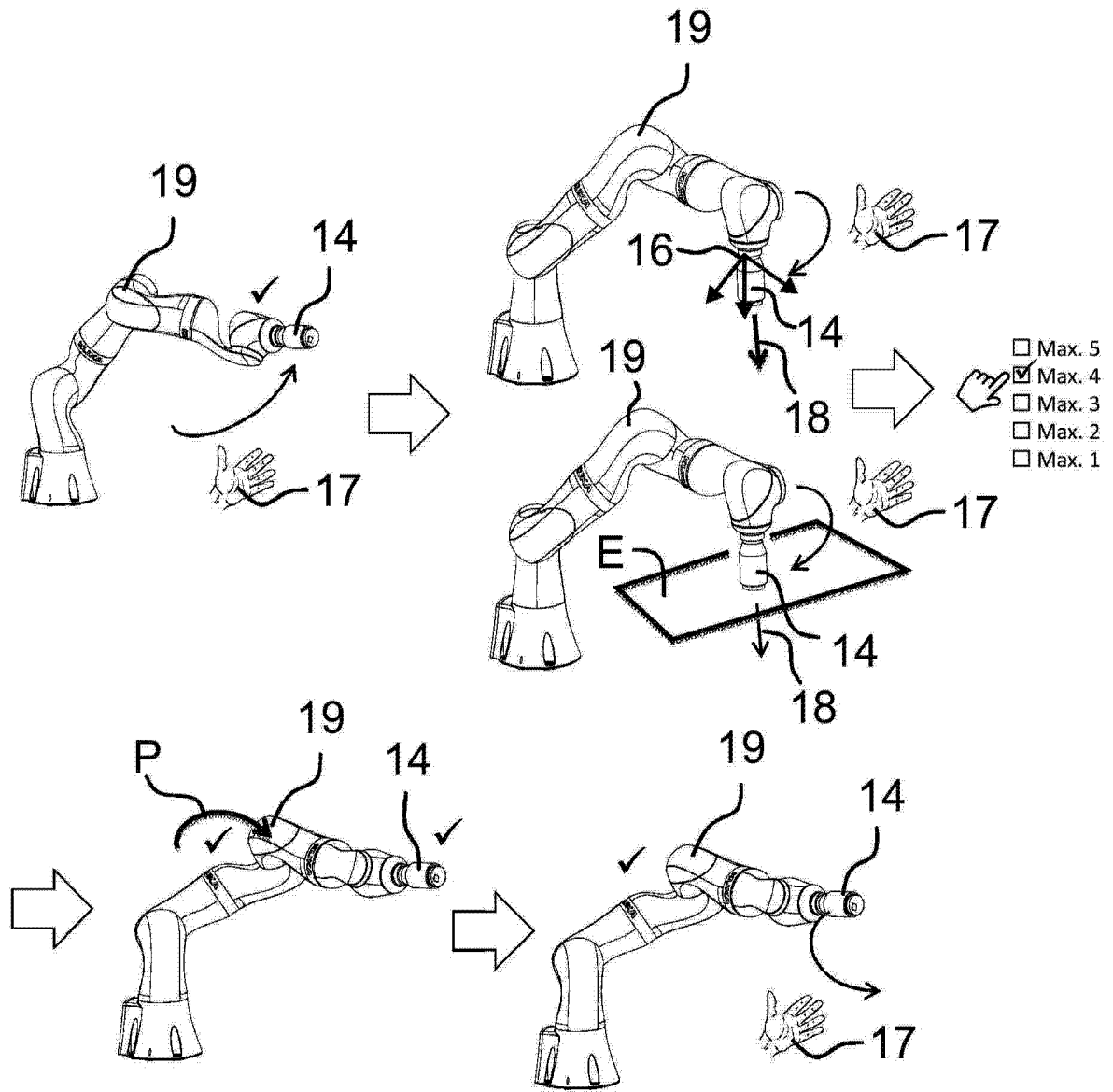


图 3

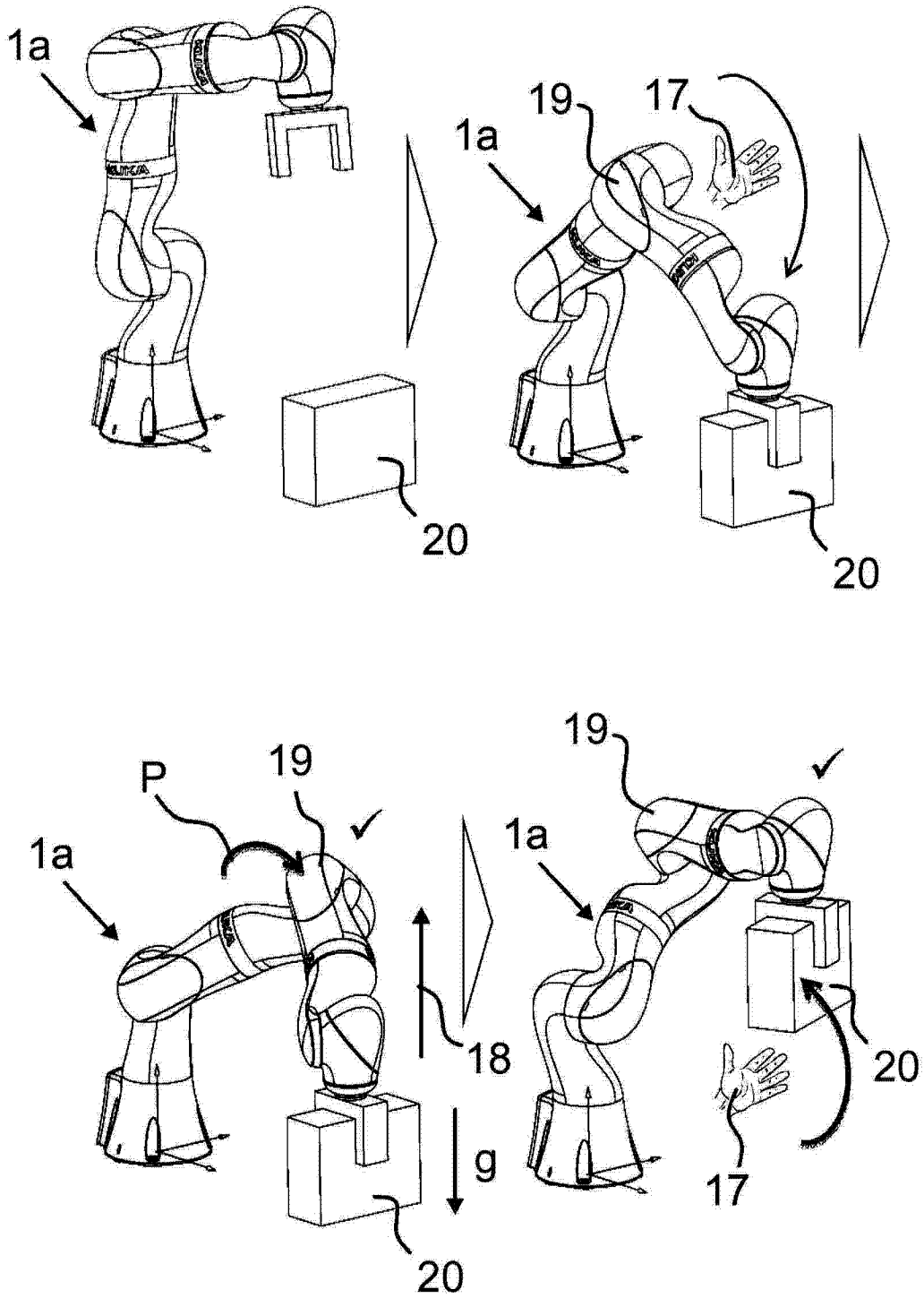


图 4

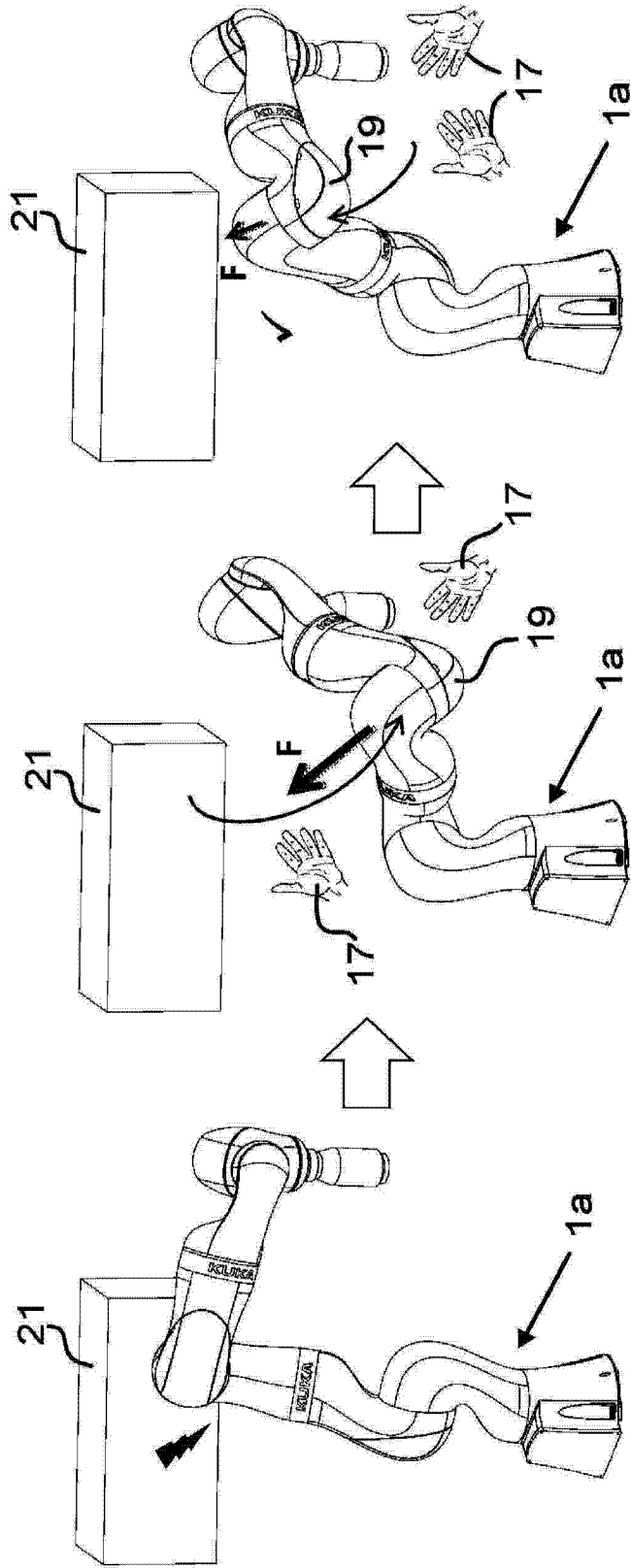


图 5