

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2022 年 5 月 19 日 (19.05.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/099596 A1

(51) 国际专利分类号:
G06F 9/50 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2020/128622

(22) 国际申请日: 2020 年 11 月 13 日 (13.11.2020)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人: 浙江大学(ZHEJIANG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。

(72) 发明人: 何再兴(HE, Zaixing); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang (CN)。 超越(CHAO, Yue); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。 杨东升(YANG, Dongsheng); 中国浙江省杭州市西湖区

余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。 杨之乐(YANG, Zhile); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。

(74) 代理人: 杭州六方于义专利代理事务所(普通合伙)(HANGZHOU LIUFANGYUYI PATENT AGENCY); 中国浙江省杭州市下城区建国北路 236 号 1401 室, Zhejiang 310003 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,

(54) Title: ADAPTIVE LEARNING INTELLIGENT SCHEDULING UNIFIED COMPUTING FRAMEWORK AND SYSTEM FOR INDUSTRIAL PERSONALIZED CUSTOMIZED PRODUCTION

(54) 发明名称: 一种面向工业个性化定制生产的自适应学习智能调度统一计算框架及系统

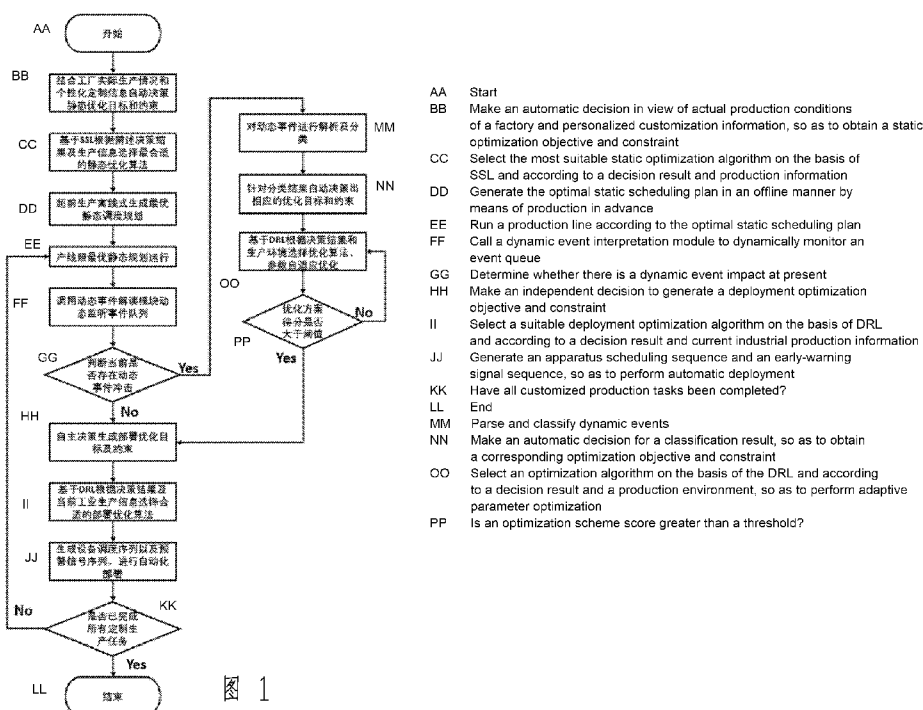


图 1

(57) Abstract: An adaptive learning intelligent scheduling unified computing framework and system for industrial personalized customized production. On the basis of a deep neural network and reinforcement learning, by taking a bottom-layer industrial big data module as an information basis, first, an automatic decision is made for a global customized production task, so as to select the most suitable optimization algorithm, and a global optimal static scheduling plan is generated; the current dynamic event of a factory is

PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则4.17的声明:

- 发明人资格(细则4.17(iv))

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

monitored in real time; if no dynamic event that requires dynamic scheduling optimization is monitored, global optimal static plans are executed in sequence; when a dynamic event impact that requires dynamic scheduling optimization is monitored, current dynamic event information is interpreted and classified, and corresponding optimization algorithms are automatically matched for different dynamic event types, so as to perform dynamic scheduling optimization; and a subsequent module evaluates a dynamic scheduling optimization scheme, chooses, according to an evaluation result, to regenerate an optimization scheme or makes an automatic decision on the basis of the scheme, so as to select the most suitable optimization algorithm, and generates a device deployment sequence for automatic deployment. On the basis of deep reinforcement learning, and with regard to the characteristics of complex procedures, a large amount of customization information, numerous dynamic event categories and high frequency in personalized customized production, a two-step approach is utilized in three aspects, i.e. a static scheduling plan, a dynamic scheduling plan and device deployment, that is, classification and decision are first performed and then targeted optimization is performed, such that the optimization efficiency and effect are improved. A fully automatic adaptive learning intelligent unified computing framework and system for a personalized customized production line are provided. The system is more suitable for the characteristics of personalized customized production, can effectively improve the efficiency of the personalized customized production, and reduces the human decision costs to the greatest possible extent.

(57) 摘要: 一种面向工业个性化定制生产的自适应学习智能调度统一计算框架及系统, 基于深度神经网络和强化学习, 以底层的工业大数据模块为信息基础, 首先面向全局定制生产任务自动决策选择最合适的优化算法, 生成全局最优静态调度规划; 实时监听工厂当前动态事件; 若未监测到需要进行动态调度优化的动态事件, 则顺序执行全局最优静态规划; 当监测到需要进行动态调度优化的动态事件冲击时, 对当前动态事件信息进行解读并分类, 针对不同的动态事件类型自动匹配相应的优化算法进行动态调度优化; 后续模块对动态调度优化方案进行评估, 根据评估结果选择重新生成优化方案或者基于方案自动决策选择最合适的优化算法, 并生成设备部署序列进行自动部署。基于深度强化学习, 针对个性化定制生产中工序复杂, 定制信息量大, 动态事件类别多、频率高的特点, 在静态调度规划、动态调度规划以及设备部署等三方面均采用两步走的方式, 即先分类决策再有针对性地优化, 提高优化效率和效果, 提出了全自动自适应学习的智能个性化定制生产线统一计算框架及系统, 该系统更加适应个性化定制生产的特点, 能够有效提升个性化定制生产效率, 并最大限度降低人工决策成本。

一种面向工业个性化定制生产的自适应学习智能调度统一计算框架及系统

技术领域

本发明属于工业个性化定制生产系统调度领域，尤其涉及一种面向工业个性化定制生产的自适应学习智能调度统一计算框架及系统。

背景技术

这里的陈述仅提供与本发明相关的背景技术，而不必然地构成现有技术。

当前智能制造技术的兴起让工业发达国家纷纷意识到制造业的广阔前景，中国政府发布《中国制造 2025》来指引我国的经济转型发展，通过建设智能制造系统以促进制造产业发展。而个性化定制生产是智能制造的一种极为重要的模式，在个性化定制生产任务中，用户会介入产品的生产过程，以获得自己定制的个人属性强烈的商品或获得与其个人需求匹配的产品或服务。随着经济发展以及人们的多元消费需求增加，个性化定制服务逐渐成为客户的主流选择。

个性化定制生产具有生产需求变化快、定制加工流程复杂、动态事件频率高，类别多、定制信息量大，众多设备协调运作难度大等特点。发明人发现，在传统的个性化定制生产统一计算框架中，面对多种生产需求，往往只采用统一的调度优化方式进行优化，难以很好地适应个性化定制生产中生产过程高度离散、复杂以及动态事件量多且高频的特点，在实际应用场景中，传统个性化定制生产统一计算框架及系统，智能化程度不够，面对繁杂多样的定制信息，往往需要人工决策生产调度规划，制定调度优化目标等，现有的个性化定制生产线仅仅解放了重复性体力劳动，而没能很好地解决脑力劳动的负担。因此在现有计算框架及系统的基础上，引入生产过程中动态事件分类优化策略，并进一步提升个性化定制生产线智能化水平很有必要。

发明内容

本发明的目的是为了克服现有技术的不足，提供一种面向工业个性化定制

生产的自适应学习智能调度统一计算框架及系统，针对个性化定制生产中工序复杂，定制信息量大，动态事件类别多、频率高的特点，在静态调度规划、动态调度规划以及设备部署等三方面均采用两步的方式，即先分类再有针对性地优化，提高优化效率和效果，同时进一步提升个性化定制生产的智能化水平，形成智能决策链，最大程度降低人工劳动成本，针对定制信息量大、设备协调运作难度大等特点，通过宏观策略建模，提升个性化定制生产各设备及各模块之间的协调性。

为实现上述目的，本发明采用如下技术方案：

S1、系统读取实时更新工业大数据模块的信息，在生产开始前，系统中最优静态调度规划模块就根据其中的定制任务信息、设备信息、物料信息生成最优静态调度规划，加工开始后，系统调用动态事件解读模块动态监听事件队列，直到读取到可处理的动态事件。

S2、基于深度强化学习技术，结合工业大数据模块的数据信息，动态事件解读模块对动态事件进行自动分类，生成分类标签，并根据分类标签决策相应的优化目标及约束的具体内容。

S3、动态调度优化模块自动接收步骤 2 生成的优化目标决策方案，基于深度强化学习技术，动态调度优化模块根据分类标签以及优化目标和约束自动选择不同的优化算法，并选择合适的方法对算法各参数进行优化，直到满足对应的优化目标和约束，形成最终的动态调度优化方案。

S4、调度部署及评估模块自动接收步骤 3 生成的动态调度优化方案，采用深度神经网络的方法，评估优化方案，从效率、能耗、部署复杂度、稳定性等多方面计算获取到优化方案的得分，若得分高于分数标准，则在空间尺度上进行设备调度部署优化，结合前述步骤生成的优化方案，根据当前工业生产情况及产线设备分布情况。自动选择相应部署优化算法，并生成设备调度序列。

S5、系统自动根据步骤 4 生成的部署序列进行自动部署，工业大数据模块实时接收设备调度变化信息，对当前工业生产环境进行更新。至此，本发明所提出的框架包含的四个模块形成多模块协同动态决策链，整个流程完全由计算

机完成决策无需工作人员参与。完成一次循环后，系统解决当前动态事件带来的影响，继续延续优化后的最优静态规划，并调用动态事件解读模块动态监听事件队列，进行从步骤 2 到步骤 5 的循环，直到处理完所有的个性化定制生产任务。

所述最优静态调度规划模块，包括获取工业大数据模块提供的信息；采用深度神经网络半监督学习方式，提取工业生产环境特征，通过提前标注一部分有标签的信息结合其他没有进行标注的信息进行训练，让半监督模型回归，学习如何根据特征对信息进行分类，让系统学习在不同生产环境下决策出相应的静态目标权重参数和约束，根据决策内容，选择最匹配的静态优化算法，保证系统能够自适应个性化定制生产中的多种复杂工况。整个过程采用超前离线式生成的方式，在生产线运行前即可得到全局生产任务的最优静态规划。系统包含静态优化算法库，内含多种经典静态优化算法，包括质量预测法、最优化算法、启发式方法、最大继承算法、遗传算法等及其衍生算法，用户也可根据自身需求和实际生产环境特征，对算法库进行更新，完成算法库更新后系统在决策过程中也会将用户个人算法考虑在内。

静态目标包括最大完工时间最小、能源消耗最低以及生产加工成本最低等，静态目标的决策主要为对多静态目标的综合权重分析及优化，决策生成静态多目标综合权重参数。

所述最优静态调度规划，是在全局个性化定制生产任务上生成的从宏观层面考虑的符合最大完工时间最小、能源消耗总和最低、加工成本最低的调度规划方案。最优静态调度规划的优化算法由系统根据当前环境和个性化定制生产任务自主决策选择。是本发明提出的智能生产线宏观策略建模重要组成部分。

所述动态事件解读模块，包括监听工业大数据模块提供的生产数据信息，监测可进行动态调度优化的动态事件；基于深度强化学习技术根据动态事件的内容进行分类，以当前工业生产信息作为智能体强化学习环境，令智能体观察当前环境下动态事件的特征，设置相应的激励，强化其动态事件分类的动作。类别包括生产线时间偏差、机器故障、物料问题、合同事件等；根据工业大数

据模块提供的当前工业生产环境数据以及事件分类结果，自动决策出当前事件下动态调度优化的多目标动态权重参数和对应约束。

动态目标包括最大完工时间最小、能源消耗最低、生产加工成本最低、生产计划调整灵活性最高、调度稳定性最高（即相较于最优静态调度规划的变化最低）等，动态目标的决策主要包括为对多动态目标的综合权重分析及优化，最终生成多动态目标综合权重。

多动态目标综合权重，其形式如下式表示：

$$\begin{aligned} \min Z = & \alpha \cdot f_{\text{norm}}(T) + \beta \cdot f_{\text{norm}}(E) + \gamma \cdot f_{\text{norm}}(C) + (1 - \delta \cdot f_{\text{norm}}(P)) \\ & + (1 - \varepsilon \cdot f_{\text{norm}}(Q)) \end{aligned}$$

其中 α 表示时间权重参数； β 表示能耗权重参数； γ 表示成本权重参数； δ 表示灵活性权重参数； ε 表示稳定性权重参数；T 表示车间生产时间，E 表示车间生产能耗，C 表示车间生产成本，P 表示调度方案灵活性，Q 表示调度方案稳定性， $f_{\text{norm}}(x)$ 表示归一化函数，将时间、能耗、成本、灵活性和稳定性等 5 个指标量纲统一，且函数值在 0 到 1 之间。各权重参数值也在 0 到 1 之间。

所述动态调度优化模块包含动态优化算法选择策略模型以及优化算法参数自适应学习方法。考虑到动态事件种类多样、规律难以确定的特点，本系统采用深度强化学习的方式生成动态优化算法选择策略模型，并以监督学习的方式让系统自适应匹配优化算法与参数优化方法。

动态优化算法选择策略模型以多种优化算法和当前事件分类标签、工业生产环境作为智能体强化学习环境，令智能体观察不同优化算法之间的优化结果差距，设置相应的激励，强化其优化算法选择动作。分情况决策不同类别动态事件对应的动态调度优化算法。系统包含动态优化算法库，内含多种经典动态优化算法，包括多智能体算法、模拟退火算法、混合粒子群算法、禁忌搜索算法以及遗传算法及其变种，用户可根据自身需求和实际生产环境特征，对算法库进行更新，完成算法库更新后，系统决策过程中也会将用户个人算法考虑在内。

针对不同的优化算法，本发明通过深度学习的方式来提取优化算法的特征，

具体以深度神经网络监督学习的方式，对优化算法自动归类，在参数优化算法库中选择合适的参数优化方法。用户也可以对参数优化算法库进行更新，系统可自动提取个人算法特征进行分类。

所述调度部署及规划模块，包括基于深度强化学习的自适应方案评估策略，针对接收到的优化方案计算其得分，分数高于规定分数阈值则进行下一步的调度部署。在部署过程中，参照前述步骤生成的静态调度方案或动态调度方案，结合当前工业生产环境信息，通过深度强化学习技术，以当前工业生产环境和调度方案为环境，采用深度学习的方式提取生产环境及调度方案的特征，采用强化学习的方式自主决策当前的部署优化目标权重参数和相关约束，并选择合适的优化算法，最终生成部署序列。系统包含部署优化算法库，内含多种经典的设备部署优化算法，包括自适应遗传算法、蚁群优化算法、多目标遗传算法、粒子群算法等算法大类，还包含其衍生算法，用户也可根据自身需求和实际生产环境特征，对算法库进行更新，完成算法库更新后，系统决策过程中也会将用户个人算法考虑在内。

本发明在部署优化过程中考虑的优化目标主要包括运输开销、设备时延开销、生产能力、部署复杂度等方面，本发明所提出的系统主要在多优化目标的权重比例做决策。

所述实时更新工业大数据模块是指实际工业生产过程中产生和监测到的所有数据信息，包括动态事件信息、物料信息、生产设备信息、个性化定制生产任务信息、工厂当前运营信息等。

所述多模块协同动态决策链，是指本发明提出的统一计算框架，只需工业大数据模块实时接收外部数据，结合动态事件解读模块、动态调度优化模块、调度部署及评估模块，即可形成闭环决策通路，整个过程中若无人工发出高级决策指令，全部决策任务均由计算机自动完成。依靠闭环决策链，本发明提出的统一计算框架只需接收数据，即可完成智能生产线上的设备及工序的自动规划部署。

所述宏观策略建模，是指从整个工厂生产环境的整体来可考虑智能生产线

的运行及优化，而非将注意力仅放在当前工序或者当前事件上，在处理随机动态事件过程中，仍要注意整个生产环境及个性化定制生产任务。包括生产任务方面的宏观策略建模和生产要素方面的宏观策略建模。

生产任务方面的宏观策略建模是指整个框架在任务初始化后首先根据用户提供的全局生产任务自动选择静态优化算法，并生成一个基于全局生产任务的最优静态规划，在后续的局部动态调度优化调整中，将会参考最优静态规划，尽量减小对全局最优静态规划的改变，以保证整体框架运行中能够兼顾总体生产任务。

生产要素方面的宏观策略建模是指在计算框架运行过程中，会实时更新工业大数据模块的信息，其他模块可以随时取用当前信息，该信息包含整个工厂生产环境的全部信息，本发明提出的框架在运行过程中不仅仅局限于当前事件所涉及到的部分设备或工序的信息，而会参考当前整个生产环境的信息，从而考虑对其他生产工序及设备的影响。

针对个性化定制生产中工序复杂，定制信息量大，动态事件类别多、频率高的特点，在静态调度规划、动态调度规划以及设备部署等三方面均采用两步走的方式，即先分类再有针对性地优化，

本发明基于深度学习，针对个性化定制生产中动态事件发生频率高、事件类型多样的特点，对生产线上在静态调度规划、动态调度规划以及设备部署等三个层级进行分类再有针对性地优化，结合深度强化学习、半监督学习、监督学习等多种深度神经网络自适应学习技术，提出了全自动自适应学习的智能个性化定制生产线统一计算框架。

由于采用上述技术方案，本发明具有以下有益效果：

本发明提出的统一计算框架及系统，采用多步走的方法进行静态调度优化、动态调度优化以及设备部署优化，对静态调度优化问题和规划部署问题，面对不同情况，能够有针对性地选择不同的优化算法进行优化，提升优化的效率和效果。

针对传统个性化定制生产线智能化水平不足，人工决策劳动成本高的特点，

本发明提出的多模块协同机制闭环智能决策链，在无外部人工高级干预的情况下，能够实现个性化定制生产线的全自动运行。

此外本发明提出了宏观策略模型，在调度过程中考虑整体生产任务和生产数据，提升该框架内各模块以及各设备间的协调性，同时更适应复杂多样的个性化定制生产任务。

附图说明

构成本申请的一部分的说明书附图用来提供对本申请的进一步理解，本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请，并不构成对本申请的限定。

图 1 是本发明系统运行流程图；

图 2 是本发明框架模型图；

图 3 基于 SSL 的静态优化算法原理图；

图 4 是基于 DRL 的动态事件分类原理图；

图 5 是基于 DRL 的优化算法选择原理图；

图 6 是优化结果实例甘特图；

图 7 是多模块协同闭环决策链示意图。

具体实施方式

应该指出，以下详细说明都是例示性的，旨在对本申请提供进一步的说明。除非另有指明，本文使用的所有技术和科学术语具有与本申请所属技术领域的普通技术人员通常理解的含义。

以下结合附图对本发明作进一步的详细描述。应当理解，此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

参照图 1，按照本发明的发明内容完整方法实施的实施例机器实施过程如下：

针对个性化定制生产中工序流程复杂、定制生产信息量大，动态事件频率高、类型多以及当前生产线智能程度不足的情况，本发明建立了一种面向个性化定制生产自适应学习智能调度统一计算框架及系统，如图 2 所示，该框架主要由以下五个模块组成：

最优静态调度规划模块：结合工业生产环境及个性化定制生产任务，自主决策生成静态优化目标及约束，并在静态优化算法库中选择合适的算法，在生产开始前离线式生成全局最优静态调度规划。

动态事件解读模块：动态监听生产过程中的事件序列，针对动态事件信息生成不同的分类标签，基于分类结果自动决策出相应的优化目标以及约束；

动态调度优化模块：根据动态事件解读模块生成的优化目标和约束，自动选择相应的优化方法，以便在满足优化目标和约束的基础上获得更好的优化效果，在选择相应优化方法的基础上，通过深度学习技术自适应学习优化参数并生成最终的优化方案；

调度部署及评估模块：接收动态调度优化模块生成的优化方案，并进行评估，若评估结果满足条件，则进行调度部署优化，并生成部署序列；

实时更新工业大数据模块：包含动态事件信息、运营信息、物料信息、设备信息以及定制任务信息等工厂数据，是各模块间协同作业的媒介，为其他模块提供数据基础。

本发明提出框架技术路线如下：

S1、系统读取实时更新工业大数据模块的信息，在生产开始前，系统中最优静态调度规划模块就根据其中的定制任务信息、设备信息、物料信息生成最优静态调度规划，加工开始后，系统调用动态事件解读模块动态监听事件队列，直到读取到可处理的动态事件。

在本步骤中，具体的在本发明开始运行后，首先解读相关信息，基于深度神经网络半监督学习，提取工业生产环境特征，通过提前标注一部分有标签的信息结合其他没有进行标注的信息进行训练，让半监督模型回归，学习如何根据特征对信息进行分类，分类结果即为对应算法序号，原理图如图 3 所示，根据实际生产情况和个性化定制生产任务自主决策静态优化目标和约束，进而选择合适的静态优化算法，结合全局生产任务生成最优静态调度规划，若在生产过程中没有动态事件扰动，生产线将会按照最优静态规划运行。在运行过程中，由动态事件解读模块实时监听生产过程中的动态事件。在监测到可处理的动态

事件后进入下一步。

静态目标包括最大完工时间最小、能源消耗最低以及生产加工成本最低等，静态目标的决策为对多静态目标的综合权重分析及优化，决策生成静态多目标综合权重参数。

S2、基于深度强化学习技术，结合工业大数据模块的数据信息，动态事件解读模块对动态事件进行自动分类，生成分类标签，并根据分类标签决策相应的优化目标及约束的具体内容。

在本步骤中，具体的，当监听到可处理的动态事件后，由于个性化定制生产过程中动态事件种类多样，所以先对监听到的动态事件进行解读，基于深度强化学习技术，原理模型图如图 4，以当前工业生产信息作为智能体强化学习环境，令智能体观察当前环境下动态事件的特征，设置相应的激励，强化其动态事件分类的动作。通过解读动态事件的特征来生成事件的分类标签，标签包括生产线时间偏差、机器故障、物料问题、合同事件等，或者在一个动态事件下同时生成多个标签。在本步骤中，还会根据生成的标签，结合当前工业生产情况信息，自动决策出多目标动态优化权重参数和对应约束。动态优化方程和约束方程共同组成动态调度优化方案。

多目标动态权重综合优化的形式，可参考以下公式：

$$\begin{aligned} \min Z = & \alpha \cdot f_{\text{norm}}(T) + \beta \cdot f_{\text{norm}}(E) + \gamma \cdot f_{\text{norm}}(C) + (1 - \delta \cdot f_{\text{norm}}(P)) \\ & + (1 - \varepsilon \cdot f_{\text{norm}}(Q)) \end{aligned}$$

其中 α 表示时间权重参数； β 表示能耗权重参数； γ 表示成本权重参数； δ 表示灵活性权重参数； ε 表示稳定性权重参数；T 表示车间生产时间，E 表示车间生产能耗，C 表示车间生产成本，P 表示调度方案灵活性，Q 表示调度方案稳定性， $f_{\text{norm}}(x)$ 表示归一化函数，将时间、能耗、成本、灵活性和稳定性等 5 个指标量纲统一，且函数值在 0 到 1 之间。各权重参数值也在 0 到 1 之间。

S3、动态调度优化模块自动接收步骤 2 生成的优化目标决策方案，基于深度强化学习技术，动态调度优化模块根据分类标签以及优化目标和约束自动选择不同的优化算法，并选择合适的方法对算法各参数进行优化，直到满足对应

的优化目标和约束，形成最终的动态调度优化方案。

在本步骤中，具体的，在接收到前序步骤生成的优化方案之后，首先通过动态优化算法选择策略模型选择对应的优化算法，其原理如图 5 所示，以当前事件分类标签、工业生产信息作为智能体强化学习环境，令智能体观察不同优化算法之间的优化结果差距，设置相应的激励，强化其优化算法选择的动作。达到分情况决策不同类别动态事件对应动态调度优化算法的目标。

在本步骤中，针对不同的优化算法，以深度神经网络监督学习的方式提取优化算法的特征，对优化算法自动归类，在参数优化算法库中选择合适的参数优化方法。用户也可以对参数优化算法库进行更新，系统可自动提取个人算法特征进行分类。最终实现优化算法的参数优化，生成最终的动态调度优化方案。相关的优化实例甘特图如图 6

S4、调度部署及评估模块自动接收步骤 3 生成的动态调度优化方案，采用深度神经网络的方法，评估优化方案，从效率、能耗、部署复杂度、稳定性等多方面计算获取到优化方案的得分，若得分高于分数标准，则在空间尺度上进行设备调度部署优化，结合前述步骤生成的优化方案，根据当前工业生产情况及产线设备分布情况。自动选择相应部署优化算法，并生成设备调度序列。

在本步骤中，具体的，在获取到前述步骤生成的动态调度优化方案后，调度部署及评估模块首先通过自主决策生成的自适应评估方案，针对优化方案，在效率、能耗、规划部署灵活性以及相较于最优静态调度方案变化稳定性等方面进行评分，若得分超过分数阈值，则针对动态调度优化方案进行设备部署方面的优化，在部署过程中，参照已经生成的静态调度方案或动态调度方案，结合当前工业生产环境信息，通过深度强化学习技术，原理图如图 5，以当前工业生产环境和调度方案为环境，采用深度学习的方式提取生产环境及调度方案的特征，采用强化学习的方式自主决策当前的部署优化目标权重参数和相关约束，并选择合适的优化算法，最终生成部署序列。

S5、系统自动根据步骤 4 生成的部署序列进行自动部署，工业大数据模块实时接收设备调度变化信息，对当前工业生产环境进行更新。至此，本发明所

提出的框架包含的四个模块形成多模块协同动态决策链，整个流程完全由计算机完成决策无需工作人员参与。完成一次循环后，系统解决当前动态事件带来的影响，继续延续优化后的最优静态规划，并调用动态事件解读模块动态监听事件队列，进行从步骤 2 到步骤 5 的循环，直到处理完所有的个性化定制生产任务。

在本步骤中，具体的，在得到设备部署序列后，进行自动化部署，并将当前生产情况改变信息实时更新至工业大数据模块，形成从工业大数据模块，动态事件解读模块，动态优化调度模块，调度部署及评估模块再到工业大数据模块的多模块协同动态决策链，如图 7，构建闭环决策通路，整个过程中若无人工发出高级决策指令，全部决策任务均由计算机自动完成。依靠闭环决策链，提升产线智能化水平，降低生产线的人工决策劳动强度，且更适应个性化定制生产加工流程复杂、动态扰动繁杂的特点。

上述实施中，分别通过建立全局最优静态规划以及工业大数据模块实时更新，从生产任务和生产数据两个方面建立个性化定制生产宏观策略模型，让系统更加适应个性化定制生产中设备协调运作难度大以及生产任务信息量大的特点。

由此实施可见，本发明基于深度神经网络及强化学习，针对个性化定制生产中工序复杂，定制信息量大，动态事件类别多、频率高的特点，在静态调度规划、动态调度规划以及设备部署等三方面均采用多步走的方式，即先分类再有针对性地优化，提高优化效率和效果，提出了全自动自适应学习的智能个性化定制生产线统一计算框架，能够有效提升工业个性化定制生产效率，并最大限度降低人工成本。

以上仅为本发明的具体实施例，但本发明的技术特征并不局限于此。任何以本发明为基础，为解决基本相同的技术问题，实现基本相同的技术效果，所作出地简单变化、等同替换或者修饰等，皆涵盖于本发明的保护范围之内。

权利要求书

12

- 1、一种面向工业个性化定制生产的自适应学习智能调度统一计算框架及系统，其特征在于，包括以下步骤：

S1、系统读取实时更新工业大数据模块的信息，在生产开始前，系统中最优静态调度规划模块就根据其中的定制任务信息、设备信息、物料信息生成最优静态调度规划，加工开始后，系统调用动态事件解读模块动态监听事件队列，直到读取到可处理的动态事件；

S2、基于深度强化学习技术，结合工业大数据模块的数据信息，动态事件解读模块对动态事件进行自动分类，生成分类标签，并根据分类标签决策相应的优化目标及约束的具体内容；

S3、动态调度优化模块自动接收步骤2生成的优化目标决策方案，基于深度强化学习技术，动态调度优化模块根据分类标签以及优化目标和约束自动选择不同的优化算法，并选择合适的方法对算法各参数进行优化，直到满足对应的优化目标和约束，形成最终的动态调度优化方案；

S4、调度部署及评估模块自动接收步骤3生成的动态调度优化方案，采用深度神经网络的方法，评估优化方案，从效率、能耗、部署复杂度、稳定性等多方面计算获取到优化方案的得分，若得分高于分数标准，则在空间尺度上进行设备调度部署优化，结合前述步骤生成的优化方案，根据当前工业生产情况及产线设备分布情况。自动选择相应部署优化算法，并生成设备调度序列；

S5、系统自动根据步骤4生成的部署序列进行自动部署，工业大数据模块实时接收设备调度变化信息，对当前工业生产环境进行更新。至此，本发明所提出的框架包含的四个模块形成多模块协同动态决策链，整个流程完全由计算机完成决策无需工作人员参与；完成一次循环后，系统解决当前动态事件带来的影响，继续延续优化后的最优静态规划，并调用动态事件解读模块动态监听事件队列，进行从步骤2到步骤5的循环，直到处理完所有的个性化定制生产任务；

- 2、根据权利要求1所述一种面向工业个性化定制生产的自适应学习智能调度统一计算框架及系统，其特征在于：所述最优静态调度规划模块，包括获取工业大数据模块提供的信息；采用深度神经网络半监督学习方式，提取工业生产环境特征，通过提前标注一部分有标签的信息结合其他没有进行标注的信息进行训练，让半监督模型回归，学习如何根据特征对信息进行分类，从而让系统在不同生产环境下决策出相应的静态目标权重参数和约束，根据决策内容，选择最匹配的静态优化算法，保证系统能够自适应个性化定制生产中的多种复杂工况。整个过程采用超前离线式生成的方式，在生产线运行前即可得到全局生产任务的最优静态规划。系统包含静态优化算法库，内含多种经典静态优化算法，包括质量预测法、最优化算法、启发式方法、最大继承算法、遗传算法等及其衍生算法，用户也可根据自身需求和实际生产环境特征，对算法库进行更新，完成算法库更新后系统在决策过程中也会将用户个人算法考虑在内；
静态目标包括最大完工时间最小、能源消耗最低以及生产加工成本最低等，静态目标的决策主要为对多静态目标的综合权重分析及优化，决策生成静态多目标综合权重参数；
所述最优静态调度规划，是在全局个性化定制生产任务上生成的从宏观层面考虑的符合最大完工时间最小、能源消耗总和最低、加工成本最低的调度规划方案。最优静态调度规划的优化算法由系统根据当前环境和个性化定制生产任务自主决策选择。是本发明提出的智能生产线宏观策略建模重要组成部分。
- 3、根据权利要求1所述一种面向工业个性化定制生产的自适应学习智能调度统一计算框架及系统，其特征在于：所述动态事件解读模块，包括监听工业大数据模块提供的生产数据信息，监测可进行动态调度优化的动态事件；基于深度强化学习技术根据动态事件的内容进行分类，以当前工业生产信息作为智能体强化学习环境，令智能体观察当前环境下动态事件的特征，

设置相应的激励，强化其动态事件分类的动作。类别包括生产线时间偏差、机器故障、物料问题、合同事件等；根据工业大数据模块提供的当前工业生产环境数据以及事件分类结果，自动决策出当前事件下动态调度优化的多目标动态权重参数和对应约束；

动态目标包括最大完工时间最小、能源消耗最低、生产加工成本最低、生产计划调整灵活性最高、调度稳定性最高（即相较于最优静态调度规划的变化最低）等，动态目标的决策主要包括为对多动态目标的综合权重分析及优化，最终生成多动态目标综合权重；

多动态目标综合权重，其形式如下式表示：

$$\begin{aligned} \min Z = & \alpha \cdot f_{norm}(T) + \beta \cdot f_{norm}(E) + \gamma \cdot f_{norm}(C) + (1 - \delta \cdot f_{norm}(P)) \\ & + (1 - \varepsilon \cdot f_{norm}(Q)) \end{aligned}$$

其中 α 表示时间权重参数； β 表示能耗权重参数； γ 表示成本权重参数； δ 表示灵活性权重参数； ε 表示稳定性权重参数；T表示车间生产时间，E表示车间生产能耗，C表示车间生产成本，P表示调度方案灵活性，Q表示调度方案稳定性， $f_{norm}(x)$ 表示归一化函数，将时间、能耗、成本、灵活性和稳定性等5个指标量纲统一，且函数值在0到1之间。各权重参数值也在0到1之间。

- 4、根据权利要求1所述一种面向工业个性化定制生产的自适应学习智能调度统一计算框架及系统，其特征在于：所述动态调度优化模块包含动态优化算法选择策略模型以及优化算法参数自适应学习方法。考虑到动态事件种类多样、规律难以确定的特点，本系统采用深度强化学习的方式生成动态优化算法选择策略模型，并以监督学习的方式让系统自适应匹配优化算法与参数优化方法；

动态优化算法选择策略模型以多种优化算法和当前事件分类标签、工业生产环境作为智能体强化学习环境，令智能体观察不同优化算法之间的优化结果差距，设置相应的激励，强化其优化算法选择动作。分情况决策不同类别动态事件对应的动态调度优化算法。系统包含动态优化算法库，内含

多种经典动态优化算法，包括多智能体算法、模拟退火算法、混合粒子群算法、禁忌搜索算法以及遗传算法及其变种，用户可根据自身需求和实际生产环境特征，对算法库进行更新，完成算法库更新后，系统决策过程中也会将用户个人算法考虑在内；

针对不同的优化算法，本发明通过深度学习的方式来提取优化算法的特征，具体以深度神经网络监督学习的方式，对优化算法自动归类，在参数优化算法库中选择合适的参数优化方法。用户也可以对参数优化算法库进行更新，系统可自动提取个人算法特征进行分类。

- 5、根据权利要求1所述一种面向工业个性化定制生产的自适应学习智能调度统一计算框架及系统，其特征在于：所述调度部署及规划模块，包括基于深度强化学习的自适应方案评估策略，针对接收到的优化方案计算其得分，分数高于规定分数阈值则进行下一步的调度部署。在部署过程中，参照前述步骤生成的静态调度方案或动态调度方案，结合当前工业生产环境信息，通过深度强化学习技术，以当前工业生产环境和调度方案为环境，采用深度学习的方式提取生产环境及调度方案的特征，采用强化学习的方式自主决策当前的部署优化目标权重参数和相关约束，并选择合适的优化算法，最终生成部署序列。系统包含部署优化算法库，内含多种经典的设备部署优化算法，包括自适应遗传算法、蚁群优化算法、多目标遗传算法、粒子群算法等算法大类，还包含其衍生算法，用户也可根据自身需求和实际生产环境特征，对算法库进行更新，完成算法库更新后，系统决策过程中也会将用户个人算法考虑在内；部署优化过程中考虑的优化目标主要包括运输开销、设备时延开销、生产能力、部署复杂度等方面，系统主要在多优化目标的权重比例做决策。

- 6、根据权利要求1所述一种面向工业个性化定制生产的自适应学习智能调度统一计算框架及系统，其特征在于：所述实时更新工业大数据模块是指实

际工业生产过程中产生和监测到的所有数据信息，包括动态事件信息、物料信息、生产设备信息、个性化定制生产任务信息、工厂当前运营信息等。

- 7、根据权利要求2所述一种面向工业个性化定制生产的自适应学习智能调度统一计算框架及系统，其特征在于：所述多模块协同动态决策链，是指本发明提出的统一计算框架，只需工业大数据模块实时接收外部数据，结合动态事件解读模块、动态调度优化模块、调度部署及评估模块，即可形成闭环决策通路，整个过程中若无人工发出高级决策指令，全部决策任务均由计算机自动完成。依靠闭环决策链，本发明提出的统一计算框架只需接收数据，即可完成智能生产线上的设备及工序的自动规划部署。
- 8、根据权利要求2所述一种面向工业个性化定制生产的自适应学习智能调度统一计算框架及系统，其特征在于：所述宏观策略建模，是指从整个工厂生产环境的整体来可考虑智能生产线的运行及优化，而非将注意力仅放在当前工序或者当前事件上，在处理随机动态事件过程中，仍要注意整个生产环境及个性化定制生产任务。包括生产任务方面的宏观策略建模和生产要素方面的宏观策略建模；

生产任务方面的宏观策略建模是指整个框架在任务初始化后首先根据用户提供的全局生产任务自动选择静态优化算法，并生成一个基于全局生产任务的最优静态规划，在后续的局部动态调度优化调整中，将会参考最优静态规划，尽量减小对全局最优静态规划的改变，以保证整体框架运行中能够兼顾总体生产任务；

生产要素方面的宏观策略建模是指在计算框架运行过程中，会实时更新工业大数据模块的信息，其他模块可以随时取用当前信息，该信息包含整个工厂生产环境的全部信息，本发明提出的框架在运行过程中不仅仅局限于当前事件所涉及到的部分设备或工序的信息，而会参考当前整个生产环境的信息，从而考虑对其他生产工序及设备的影响。

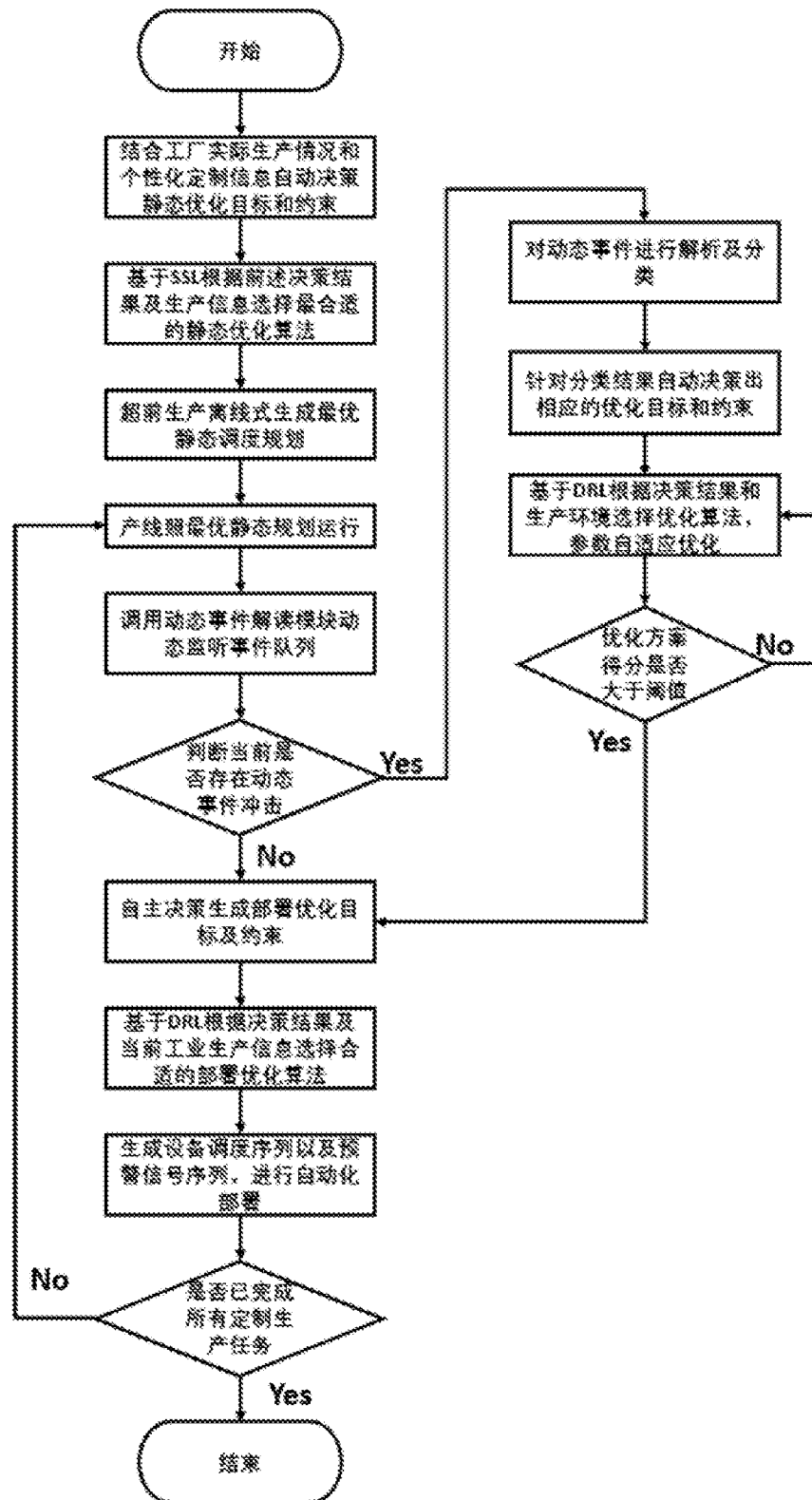


图 1

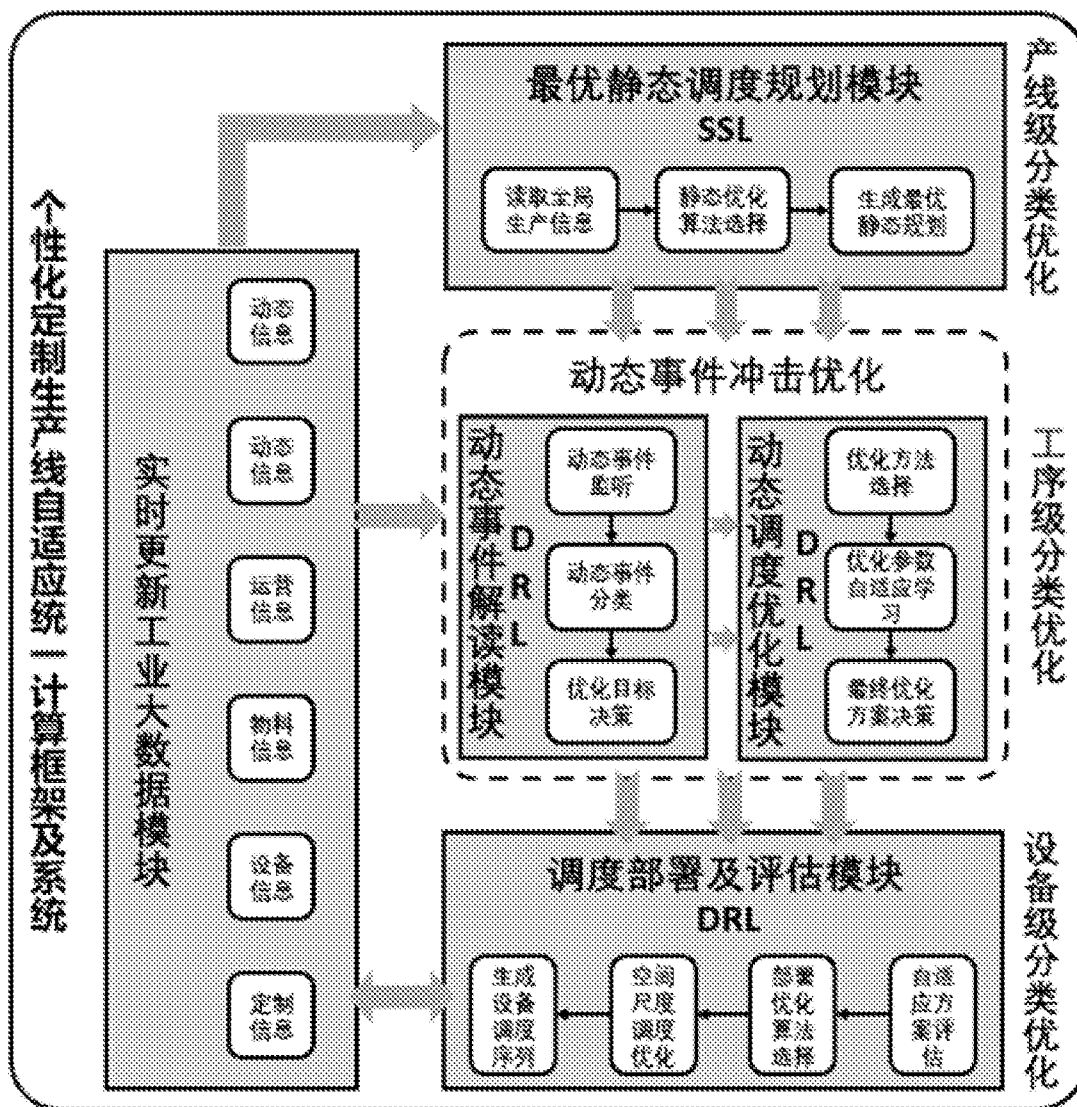


图 2

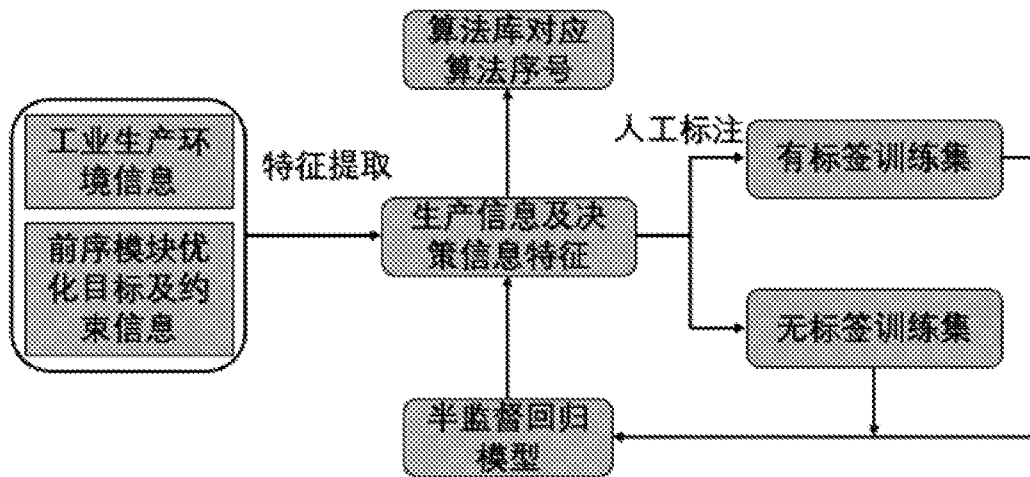


图 3

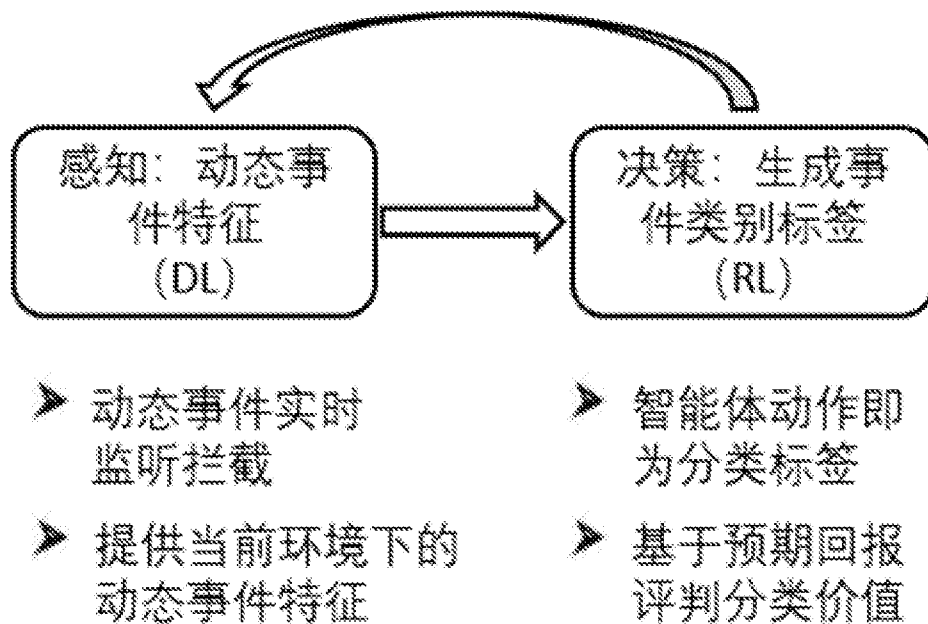


图 4

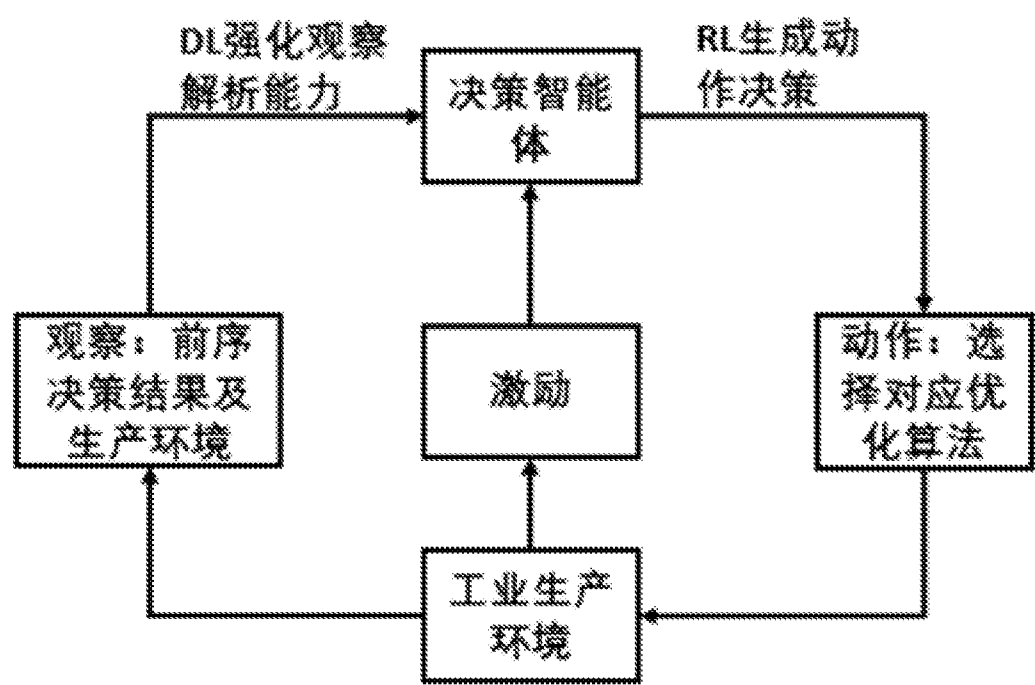


图 5

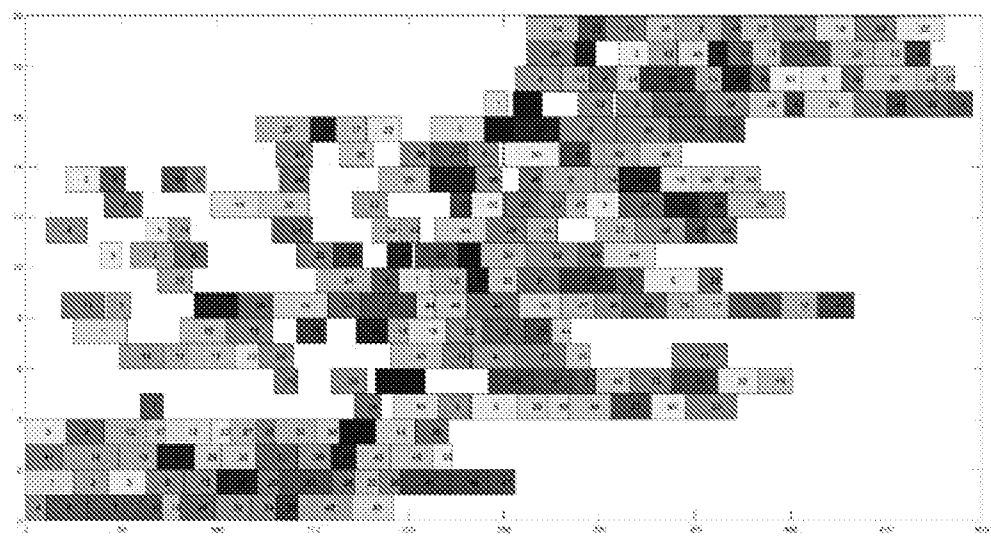


图 6

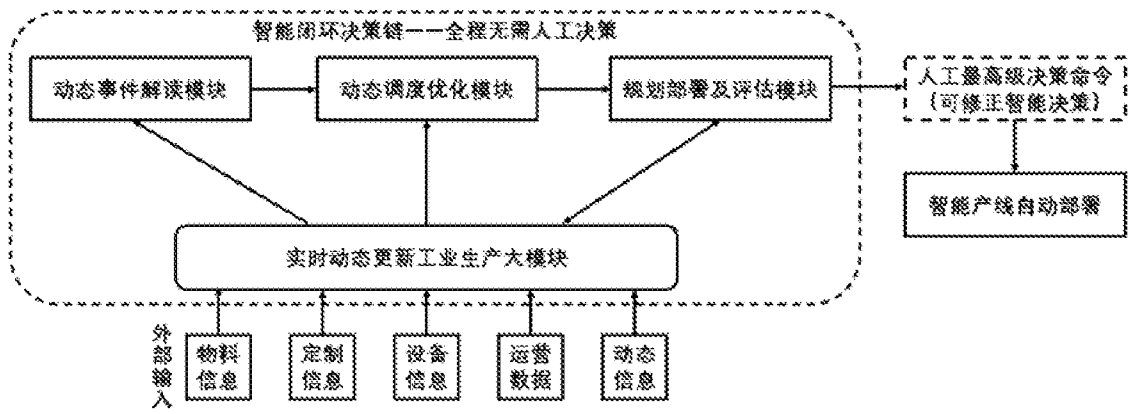


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/128622

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F 9/50(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI, EPODOC, BAIDU, CNPAT, CNKI, IEEE: 工业, 个性化, 定制, 自适应, 智能, 调度, 框架, 实时, 更新, 最优, 静态, 动态, 分类, 目标, 约束, 决策, 部署, 循环, industrial, personalize, custom, adaptive, intelligent, dispatch, framework, real-time, update, optimal, static, dynamic, categorical, objective, constraint, decision, deployment, loop

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 110737529 A (BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 31 January 2020 (2020-01-31) description paragraphs [0122]-[0196]	1-8
A	CN 111882215 A (WUHAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 03 November 2020 (2020-11-03) entire document	1-8
A	CN 111199272 A (TONGJI UNIVERSITY) 26 May 2020 (2020-05-26) entire document	1-8
A	CN 104951425 A (NORTHEASTERN UNIVERSITY) 30 September 2015 (2015-09-30) entire document	1-8
A	US 2011224816 A1 (PEREIRA, Ana Maria Dias Madureira) 15 September 2011 (2011-09-15) entire document	1-8

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

02 August 2021

Date of mailing of the international search report

16 August 2021

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088, China

Authorized officer

Facsimile No. (86-10)62019451

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/128622

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	110737529	A	31 January 2020	None	
CN	111882215	A	03 November 2020	None	
CN	111199272	A	26 May 2020	None	
CN	104951425	A	30 September 2015	None	
US	2011224816	A1	15 September 2011	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/128622

A. 主题的分类

G06F 9/50 (2006.01) i

按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)

G06F

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))

WPI, EPDOC, BAIDU, CNPAT, CNKI, IEEE: 工业, 个性化, 定制, 自适应, 智能, 调度, 框架, 实时, 更新, 最优, 静态, 动态, 分类, 目标, 约束, 决策, 部署, 循环, industrial, personalize, custom, adaptive, intelligent, dispatch, framework, real-time, update, optimal, static, dynamic, categorical, objective, constraint, decision, deployment, loop

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 110737529 A (北京理工大学) 2020年 1月 31日 (2020 - 01 - 31) 说明书第[0122]-[0196]段	1-8
A	CN 111882215 A (武汉理工大学) 2020年 11月 3日 (2020 - 11 - 03) 全文	1-8
A	CN 111199272 A (同济大学) 2020年 5月 26日 (2020 - 05 - 26) 全文	1-8
A	CN 104951425 A (东北大学) 2015年 9月 30日 (2015 - 09 - 30) 全文	1-8
A	US 2011224816 A1 (PEREIRA, Ana Maria Dias Madureira) 2011年 9月 15日 (2011 - 09 - 15) 全文	1-8

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2021年 8月 2日

国际检索报告邮寄日期

2021年 8月 16日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局 (ISA/CN)

中国 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

授权官员

吴少鸿

电话号码 86-(10)-53961533

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/128622

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	110737529	A	2020年 1月 31日	无	
CN	111882215	A	2020年 11月 3日	无	
CN	111199272	A	2020年 5月 26日	无	
CN	104951425	A	2015年 9月 30日	无	
US	2011224816	A1	2011年 9月 15日	无	