



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113236271 A

(43) 申请公布日 2021.08.10

(21) 申请号 202110558142.X

(22) 申请日 2021.05.21

(71) 申请人 上海隧道工程有限公司

地址 200032 上海市徐汇区宛平南路1099号5楼

申请人 上海大学

(72) 发明人 周文波 胡珉 吴惠明 裴烈烽

李刚 吴秉键 卢靖 高新闻 喻钢

(74) 专利代理机构 上海金盛协力知识产权代理有限公司 31242

代理人 严帅

(51) Int.Cl.

E21D 9/093 (2006.01)

E21F 17/18 (2006.01)

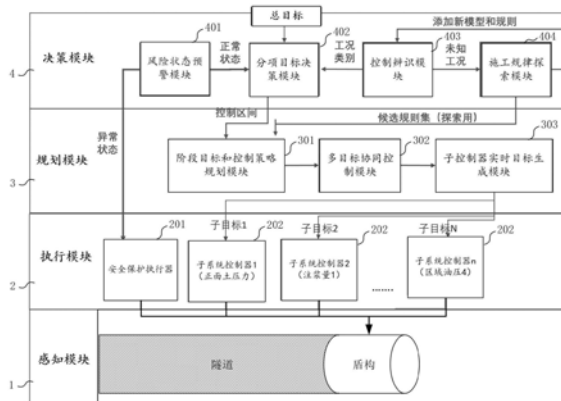
权利要求书3页 说明书9页 附图1页

(54) 发明名称

盾构智能控制系统及方法

(57) 摘要

本发明揭示了一种盾构智能控制系统及方法,所述盾构智能控制系统包括:感知模块、执行模块、规划模块及决策模块;感知模块用以获取掘进过程中盾构机、隧道和周边土体的信息;执行模块用以对盾构机掘进子系统进行执行控制;规划模块用以对盾构机掘进执行模块的控制目标或控制量进行动态设置;决策模块用以对盾构机推进的安全状态和盾构机所处的施工环境进行判断,完成掘进阶段目标区间的决策。本发明提出的盾构智能控制系统及方法,可提高盾构控制的精确度及智能性。



1. 一种盾构智能控制系统,其特征在于,所述盾构智能控制系统包括:  
感知模块,用以获取掘进过程中盾构机、隧道和周边土体的信息;  
执行模块,用以对盾构机掘进子系统进行执行控制;  
规划模块,用以对盾构机掘进执行模块的控制目标或控制量进行动态设置;  
决策模块,用以对盾构机推进的安全状态和盾构机所处的施工环境进行判断,完成掘进阶段目标区间的决策。

2. 根据权利要求1所述的盾构智能控制系统,其特征在于:

所述执行模块用以对盾构机掘进子系统进行执行控制,包括:切削面压力平衡系统,盾构推进系统、同步注浆系统和尾部油脂压注系统;

所述感知模块用以通过读取盾构机内部系统控制信息和反馈信息、隧道内和环境中所布置各类传感器和监测装置完成;

所述规划模块动态设置的信息包括:设定土压力、推进系统油缸压力比例、设定注浆量和注浆压力、设定尾部油脂量和尾部油脂压力;在盾构机推进过程中,输出给执行层的控制值的更新频率能力应达到秒级要求。

3. 根据权利要求1所述的盾构智能控制系统,其特征在于:

所述决策模块包括风险状态预警模块、分项目标决策模块、控制辨识模块和施工规律探索模块;

风险状态预警模块,用以根据工程数据对当前安全状态进行辨识,并根据风险来源,启动执行层对应的安全保护措施;风险来源包括设备故障、通讯故障、控制失效、环境失稳;

分项目标决策模块,用以在正常状态下,根据工程总目标和当前工况类别,结合确定掘进系统、姿态系统的分项决策目标范围,包括:管片轴线偏差范围和地面沉降变形范围;

控制辨识模块,用以根据历史工程中提取的土质类别和控制模式类别特征信息,辨识当前工程情况,确定当前土质类别和当前控制模式类别;如果无法找到类似工程,则告知施工规律探索模块;

施工规律探索模块,用以对于控制模式无法辨识的工况,根据工程特征,利用知识库规则或者知识图谱,通过推理模块,筛选出有利于盾构掘进控制的规则,通过推理机指导规划层进行小幅度地进行分项决策目标范围或控制参数调整,寻找满足施工目标的合理目标和控制参数设置。

4. 根据权利要求1所述的盾构智能控制系统,其特征在于:

所述规划模块包括:阶段目标和控制策略规划子模块、多目标协同控制子模块、子控制器实时目标生成子模块;

阶段目标和控制策略规划子模块,用以基于分项目标决策模块的输出,预测在不同控制策略下的各分项控制指标在一段推进区间内的环变化情况,规划满足分项控制目标区间的分项环控制目标范围和控制策略候选集;其中预测模型建议选择以神经网络和深度学习为代表的驱动方法;

多目标协同控制子模块,用以基于用户定义的控制效果综合评价函数,对控制策略候选集进行筛选,平衡多个分项目标之间的关系,在控制策略候选集中寻找一个使得综合评价函数最优的方案,并基于该方案,给出推进区间段中厘米级的分项控制目标值;

子控制器实时目标生成子模块,用以根据各分项环控制目标值,结合实时反馈,给出各

控制子系统的控制目标值,并按照秒级的更新频率进行输出。

5. 根据权利要求1所述的盾构智能控制系统,其特征在于:

所述执行模块包括安全保护执行器和各子系统的控制器;

安全保护执行器,用以根据决策层的风险报警,根据风险类别和等级,执行不同的操作;风险类别分为通讯故障风险、设备故障风险、施工安全风险三类,根据风险的等级,确定是停机、预警,还是提示增加或修改辅助控制手段;

各子系统控制器,用以供执行子控制实时目标生成子模块的控制要求,主要的子系统有切口压力值控制子系统、同步注浆控制子系统、尾部油脂注入子控制系统和区域油压控制子系统。

6. 根据权利要求1所述的盾构智能控制系统,其特征在于:

所述感知模块利用传感器进行盾构掘进动态采集,而控制器和安全保护装置根据上一层的控制要求,联合执行机构完成控制任务;

所述感知模块获取盾构机位置数据、控制参数和各部分内部传感器的数据、成型隧道数据、隧道和盾构机之间的关系数据、周边地质和环境变化信息;

所述盾构机信息包括:设备电信息、设备运动信息、设备受力信息、设备控制信息、设备位置信息;

所述隧道信息包括:管片拼装点位、管片上浮信息和管片与盾构机位置关系;周边土体信息包括:周边土体的沉降变形和土体地质预报数据。

7. 根据权利要求1所述的盾构智能控制系统,其特征在于:

所述阶段目标和控制策略规划子模块包括目标规划器;所述目标规划器用以结合策略层的阶段性目标和施工工程环境进行判断,规划各部分控制目标,包括盾构姿态、隧道轴线、地表变形;

所述多目标协同控制子模块包括目标分解和协调器;所述目标分解和协调器用以根据规划的控制目标,考虑各子控制系统和控制参数之间相互关系,对目标进行分解和优化;

所述子控制器实时目标生成子模块包括模型参数估计器、自适应参数调整器、设备控制能力评价器;

所述模型参数估计器用以根据最新的数据、趋势预测和模型评价,对控制模型进行训练和修改,确定执行模块各控制模型参数;

所述自适应参数调整器用以根据控制模型和控制参数,给出控制变量的设定值;包括推力速度、推力压力、刀盘转速、土压力、注浆量;对于不确定或未知的施工状态,根据实际的过去和现在的输入输出,根据启发式规则不断尝试不同的控制变量设定值;

所述设备控制能力评价器用以评价控制过程中被控变量是否能达到并保持在设定值附近,其评估结果输出自适应参数调整器,为参数调整提供依据。

8. 根据权利要求1所述的盾构智能控制系统,其特征在于:

所述风险状态预警模块包括控制失效检测器、系统健康监督器及模型控制性能预测和监督器;

所述控制失效检测器用以检测执行层与感知层之间的数据通信是否正常、关键设备存在故障或故障报警;一旦发现通信和设备故障,启动盾构机安全保护装置,实施停机或将部分功能隔离;

所述系统健康监督器用以对整个盾构装备的健康和工程安全状况进行分析和评价,如果发现影响设备健康或施工安全的隐患,将通知安全保护装置,采取设定的安全防护动作;所述模型控制性能预测和监督器用以分析目前的模型是否能够满足施工控制目标的要求,预测在目前控制模型下核心控制指标的变化趋势,判断是否需要进行模型或模型参数的调整;

所述分项目标决策模块包括模型选择器、模型库、控制模型训练器;

所述模型选择器用以根据对当前建设条件和模型性能的判断,从模型库存中选择合适的模型作为当前控制模型的原型;

所述模型库用以存储针对不同工况的模型,供模型选择器挑选;

所述控制模型训练器用以对出现的新工况,即在现有模型库中未能覆盖到的工况,利用训练器内置算法,对新工况所对应的施工数据进行训练,形成新的模型,并将其放入模型库;

所述控制辨识模块包括工况辨识器;所述工况辨识器用以对当前盾构机推进的工况进行辨识,分析当前工况是否属于模型库中所包括的已认知的已知工况,还是模型库中未包含的未知的新工况;如果是新工况,则启动控制模型训练器,对当前新工况进行训练;

所述施工规律探索模块包括启发式规则生成器、启发式规则库及启发式规则选择器;

启发式规则生成器用以从知识库中提取隧道施工知识,以启发式规则作为知识图谱的表达形式,通过知识自动获取,为未来不确定或新的控制任务做准备;

启发式规则库用以存储和管理启发式规则,为启发式规则选择器服务;

启发式规则选择器用以从启发式规则库中选择合适的启发式规则,对不确定的情况提出候选解决方案。

9. 根据权利要求1所述的盾构智能控制系统,其特征在于:

所述盾构智能控制系统还包括信息集散器、信息预处理器、当前工程信息存储器;

信息集散器用以从传感器获取设备和环境的信息,并将控制信息传递给控制器。

信息预处理器用以使用数据预处理算法对噪声和人工数据输入错误进行修正,提升数据分析的可靠性;

信息存储器用以使用数据库技术存储所有与本过程相关的设计信息、在线监测数据和施工控制数据。

10. 一种盾构智能控制方法,其特征在于,所述盾构智能控制方法包括:

感知步骤,获取掘进过程中盾构机、隧道和周边土体的信息;

执行步骤,对盾构机掘进子系统进行执行控制;

规划步骤,对盾构机掘进执行步骤的控制系统的控制目标或控制量进行动态设置;

决策步骤,对盾构机推进的安全状态和盾构机所处的施工环境进行判断,完成掘进阶段目标区间的决策。

## 盾构智能控制系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于隧道盾构技术领域,涉及一种盾构控制系统,尤其涉及一种盾构智能控制系统及方法。

### 背景技术

[0002] 盾构机是一个极其复杂大型设备,内部各子系统互相影响,必须协同工作,才能使盾构机保持良好的性能,以合理的姿态按照正确的轨迹前行,确保隧道管片按照设计轴线精准成环,并维持周边环境稳定。盾构自动驾驶技术面临诸多困难。首先,其周边环境是不断变化且不完全可知的。其次,盾构机的控制目标和控制系统复杂,对盾构机控制不只是掘进方向控制问题,还包括切削面土体平衡和盾构尾部土体稳定等问题。控制系统除了姿态控制子系统以外,还包括切削子系统、推进子系统、密封子系统、注浆子系统和土体改良子系统等众多系统的控制。这些子系统互相耦合,影响最终的整体控制效果。另外,以液压驱动为主的动力体系和滞后的土体监测技术也给盾构机自动掘进带来了更大的挑战。

[0003] 当前的研究由于从不同角度展开,并没有形成一个智能盾构设计的完整技术路线,研究内容和控制目标都是局部的。这导致了绝大部分的研究还处于理论层面,只是通过实验仿真或者决策咨询的形式验证模型的可行性,无法实现盾构机自动掘进。

[0004] 有鉴于此,如今迫切需要设计一种新的盾构控制方式,以便克服现有盾构控制方式存在的上述至少部分缺陷。

### 发明内容

[0005] 本发明提供一种盾构智能控制系统及方法,可提高盾构控制的精确度及智能性。

[0006] 为解决上述技术问题,根据本发明的一个方面,采用如下技术方案:

[0007] 一种盾构智能控制系统,所述盾构智能控制系统包括:

[0008] 感知模块,用以获取掘进过程中盾构机、隧道和周边土体的信息;

[0009] 执行模块,用以对盾构机掘进子系统进行执行控制;

[0010] 规划模块,用以对盾构机掘进执行模块的控制目标或控制量进行动态设置;

[0011] 决策模块,用以对盾构机推进的安全状态和盾构机所处的施工环境进行判断,完成掘进阶段目标区间的决策。

[0012] 作为本发明的一种实施方式,所述执行模块用以对盾构机掘进子系统进行执行控制,包括:切削面压力平衡系统,盾构推进系统、同步注浆系统和尾部油脂压注系统;

[0013] 所述感知模块用以通过读取盾构机内部系统控制信息和反馈信息、隧道内和环境中所布设各类传感器和监测装置完成;

[0014] 所述规划模块动态设置的信息包括:设定土压力、推进系统油缸压力比例、设定注浆量和注浆压力、设定尾部油脂量和尾部油脂压力;在盾构机推进过程中,输出给执行层的控制值的更新频率能力应达到秒级要求。

[0015] 作为本发明的一种实施方式,所述决策模块包括风险状态预警模块、分项目标决

策模块、控制辨识模块和施工规律探索模块；

[0016] 风险状态预警模块，用以根据工程数据对当前安全状态进行辨识，并根据风险来源，启动执行层对应的安全保护措施；风险来源包括设备故障、通讯故障、控制失效、环境失稳；

[0017] 分项目标决策模块，用以在正常状态下，根据工程总目标和当前工况类别（从控制辨识模块获得），结合确定掘进系统、姿态系统的分项决策目标范围（阶段性控制目标区间），包括：管片轴线偏差范围和地面沉降变形范围；

[0018] 控制辨识模块，用以根据历史工程中提取的土质类别和控制模式类别特征信息，辨识当前工程情况，确定当前土质类别和当前控制模式类别；如果无法找到类似工程，则告知施工规律探索模块；

[0019] 施工规律探索模块，用以对于控制模式无法辨识的工况，根据工程特征，利用知识库规则或者知识图谱，通过推理模块，筛选出有利于盾构掘进控制的规则，通过推理机指导规划层进行小幅度地进行分项决策目标范围或控制参数调整，寻找满足施工目标的合理目标和控制参数设置。

[0020] 作为本发明的一种实施方式，所述规划模块包括：阶段目标和控制策略规划子模块、多目标协同控制子模块、子控制器实时目标生成子模块；

[0021] 阶段目标和控制策略规划子模块，用以基于分项目标决策模块的输出（控制目标区间），预测在不同控制策略下的各分项控制指标在一段推进区间（一般5-20环）内的环变化情况，规划满足分项控制目标区间的分项环控制目标范围和控制策略候选集；其中预测模型建议选择以神经网络和深度学习为代表的驱动方法；

[0022] 多目标协同控制子模块，用以基于用户定义的控制效果综合评价函数，对控制策略候选集进行筛选，平衡多个分项目标之间的关系，在控制策略候选集中寻找一个使得综合评价函数最优的方案，并基于该方案，给出推进区间段中厘米级的分项控制目标值；

[0023] 子控制器实时目标生成子模块，用以根据各分项环控制目标值，结合实时反馈，给出各控制子系统的控制目标值（例如土压力控制值、注浆量控制值、推进油压控制子系统），并按照秒级的更新频率进行输出。

[0024] 作为本发明的一种实施方式，所述执行模块包括安全保护执行器和各子系统的控制器；

[0025] 安全保护执行器，用以根据决策层的风险报警，根据风险类别和等级，执行不同的操作；风险类别分为通讯故障风险、设备故障风险、施工安全风险三类，根据风险的等级，确定是停机、预警，还是提示增加或修改辅助控制手段；

[0026] 各子系统控制器，用以供执行子控制实时目标生成子模块的控制要求，主要的子系统有切口压力值控制子系统、同步注浆控制子系统、尾部油脂注入子控制系统和区域油压控制子系统。

[0027] 作为本发明的一种实施方式，所述感知模块利用传感器进行盾构掘进动态采集，而控制器和安全保护装置根据上一层的控制要求，联合执行机构完成控制任务；

[0028] 所述感知模块获取盾构机位置数据、控制参数和各部分内部传感器的数据、成型隧道数据、隧道和盾构机之间的关系数据、周边地质和环境变化信息；

[0029] 盾构机信息包括：设备电信息（电流电压）、设备运动信息（如：推进速度、旋转速

度)、设备受力信息(土仓压力)、设备控制信息(如:开关信息、阀开度信息)、设备位置信息(如切口水平位置、切口高程位置);

[0030] 隧道信息包括:管片拼装点位、管片上浮信息和管片与盾构机位置关系;

[0031] 周边土体信息包括:周边土体的沉降变形和土体地质预报数据。

[0032] 作为本发明的一种实施方式,所述阶段目标和控制策略规划子模块包括目标规划器;所述目标规划器用以结合策略层的阶段性目标和施工工程环境进行判断,规划各部分控制目标,包括盾构姿态、隧道轴线、地表变形;

[0033] 所述多目标协同控制子模块包括目标分解和协调器;所述目标分解和协调器用以根据规划的控制目标,考虑各子控制系统和控制参数之间相互关系,对目标进行分解和优化;

[0034] 所述子控制器实时目标生成子模块包括模型参数估计器、自适应参数调整器、设备控制能力评价器;

[0035] 所述模型参数估计器用以根据最新的数据、趋势预测和模型评价,对控制模型进行训练和修改,确定执行模块各控制模型参数;

[0036] 所述自适应参数调整器用以根据控制模型和控制参数,给出控制变量的设定值;包括推力速度、推力压力、刀盘转速、土压力、注浆量;对于不确定或未知的施工状态,根据实际的过去和现在的输入输出,根据启发式规则不断尝试不同的控制变量设定值;

[0037] 所述设备控制能力评价器用以评价控制过程中被控变量是否能达到并保持在设定值附近,其评估结果输出自适应参数调整器,为参数调整提供依据。

[0038] 作为本发明的一种实施方式,所述风险状态预警模块包括控制失效检测器、系统健康监督器及模型控制性能预测和监督器;

[0039] 所述控制失效检测器用以检测执行层与感知层之间的数据通信是否正常、关键设备存在故障或故障报警;一旦发现通信和设备故障,启动盾构机安全保护装置,实施停机或将部分功能隔离;

[0040] 所述系统健康监督器用以对整个盾构装备的健康和工程安全状况进行分析和评价,如果发现影响设备健康或施工安全的隐患,将通知安全保护装置,采取设定的安全防护动作;所述模型控制性能预测和监督器用以分析目前的模型是否能够满足施工控制目标的要求,预测在目前控制模型下核心控制指标的变化趋势,判断是否需要模型或模型参数的调整;

[0041] 所述分项目标决策模块包括模型选择器、模型库、控制模型训练器;

[0042] 所述模型选择器用以根据对当前建设条件和模型性能的判断,从模型库存中选择合适的模型作为当前控制模型的原型;

[0043] 所述模型库用以存储针对不同工况的模型,供模型选择器挑选;

[0044] 所述控制模型训练器用以对出现的新工况,即在现有模型库中未能覆盖到的工况,利用训练器内置算法,对新工况所对应的施工数据进行训练,形成新的模型,并将其放入模型库;

[0045] 所述控制辨识模块包括工况辨识器;所述工况辨识器用以对当前盾构机推进的工况进行辨识,分析当前工况是否属于模型库中所包括的已认知的已知工况,还是模型库中未包含的未知的新工况;如果是新工况,则启动控制模型训练器,对当前新工况进行训练;

- [0046] 所述施工规律探索模块包括启发式规则生成器、启发式规则库及启发式规则选择器；
- [0047] 启发式规则生成器用以从知识库中提取隧道施工知识，以启发式规则作为知识图谱的表达形式，通过知识自动获取，为未来不确定或新的控制任务做准备；
- [0048] 启发式规则库用以存储和管理启发式规则，为启发式规则选择器服务；
- [0049] 启发式规则选择器用以从启发式规则库中选择合适的启发式规则，对不确定的情况提出候选解决方案。
- [0050] 作为本发明的一种实施方式，所述盾构智能控制系统还包括信息集散器、信息预处理器、当前工程信息存储器；
- [0051] 信息集散器用以从传感器获取设备和环境的信息，并将控制信息传递给控制器。
- [0052] 信息预处理器用以使用数据预处理算法对噪声和人工数据输入错误进行修正，提升数据分析的可靠性；
- [0053] 信息存储器用以使用数据库技术存储所有与本过程相关的设计信息、在线监测数据和施工控制数据。
- [0054] 根据本发明的一个方面，采用如下技术方案：一种盾构智能控制方法，所述盾构智能控制方法包括：
- [0055] 感知步骤，获取掘进过程中盾构机、隧道和周边土体的信息；
- [0056] 执行步骤，对盾构机掘进子系统进行执行控制；
- [0057] 规划步骤，对盾构机掘进执行步骤的控制系统的控制目标或控制量进行动态设置；
- [0058] 决策步骤，对盾构机推进的安全状态和盾构机所处的施工环境进行判断，完成掘进阶段目标区间的决策。
- [0059] 本发明的有益效果在于：本发明提出的盾构智能控制系统及方法，可提高盾构控制的精确度及智能性。本发明系统构建一个完整的面向自动掘进的盾构智能控制体系，为智能盾构设计和制造提供技术支撑。

## 附图说明

- [0060] 图1为本发明一实施例中盾构智能控制系统的组成示意图。
- [0061] 图2为本发明一实施例中盾构智能控制系统的组成示意图。

## 具体实施方式

- [0062] 下面结合附图详细说明本发明的优选实施例。
- [0063] 为了进一步理解本发明，下面结合实施例对本发明优选实施方案进行描述，但是应当理解，这些描述只是为进一步说明本发明的特征和优点，而不是对本发明权利要求的限制。
- [0064] 该部分的描述只针对几个典型的实施例，本发明并不局限于实施例描述的范围。相同或相近的现有技术手段与实施例中的一些技术特征进行相互替换也在本发明描述和保护的范围内。
- [0065] 说明书中各个实施例中的步骤的表述只是为了方便说明，本申请的实现方式不受

步骤实现的顺序限制。说明书中的“连接”既包含直接连接,也包含间接连接。

[0066] 说明书中,总目标(区间)指工程上所要求的最终成型隧道轴线偏差控制目标、保持环境安全地面变形的目标;分项决策目标(多环)指根据区间工程特点,给出的推进段(多环)的管片轴线偏差范围、地面沉降变形范围,在决策层制定;分项环控制目标范围(单环)指每环的盾构尾部水平和高程偏差范围、切口前方累计变形量范围、盾尾后方累计变形量范围在决策层制定;分项控制目标值(厘米级)指按厘米级给出盾构尾部水平和高程偏差目标,盾构切口水平和高程偏差目标、环切口前方单次变形目标值、盾尾后方单次变形量目标值;控制子系统控制目标(秒级)指盾构各推进区域油压值、盾构土仓压力控制值、盾构环各注浆孔注浆量控制值、盾构各注浆孔注浆压力控制值、盾构尾部油脂环注入量控制值(秒级)。

[0067] 本发明揭示了一种盾构智能控制系统,图1为本发明一实施例中盾构智能控制系统的组成示意图;请参阅图1,所述盾构智能控制系统包括:感知模块1、执行模块2、规划模块3及决策模块4。感知模块1用以获取掘进过程中盾构机、隧道和周边土体的信息;执行模块用以对盾构机掘进子系统进行执行控制;规划模块用以对盾构机掘进执行模块的控制目标或控制量进行动态设置;决策模块用以对盾构机推进的安全状态和盾构机所处的施工环境进行判断,完成掘进阶段目标区间的决策。

[0068] 如果盾构机出现不安全状态,则会进行报警并向执行层发出停机等指令,启动安全保护措施确保工程安全。决策模块对盾构机所处的施工环境进行判断后,根据目前所处的地层类别、隧道上浮特性等结论,以环/米为单位向规划层给出控制目标区间值。包括:盾构姿态偏差控制区间和地表特征点位沉降值允许范围等。如果发现盾构机所处的施工环境为未知环境时,无法给出明确的控制目标区间时,则提供探索性的控制目标区间和调整规则(策略)给规划层,由规则层根据规则和现场反馈进行设定。

[0069] 在一实施例中,所述感知模块1用以通过读取盾构机内部系统控制信息和反馈信息、隧道内和环境中所布设各类传感器和监测装置完成。所述执行模块2用以对盾构机掘进子系统进行执行控制,包括:切削面压力平衡系统,盾构推进系统、同步注浆系统和尾部油脂压注系统。所述规划模块3动态设置的信息包括:设定土压力、推进系统油缸压力比例、设定注浆量和注浆压力、设定尾部油脂量和尾部油脂压力;在盾构机推进过程中,输出给执行层的控制值的更新频率能力应达到秒级要求。

[0070] 在本发明的一实施例中,所述感知模块1利用传感器进行盾构掘进动态采集,而控制器和安全保护装置根据上一层的控制要求,联合执行机构完成控制任务。所述感知模块1获取盾构机位置数据、控制参数和各部分内部传感器的数据、成型隧道数据、隧道和盾构机之间的关系数据、周边地质和环境变化信息。盾构机信息包括:设备电信息(电流电压)、设备运动信息(如:推进速度、旋转速度)、设备受力信息(土仓压力)、设备控制信息(如:开关信息、阀开度信息)、设备位置信息(如切口水平位置、切口高程位置)。隧道信息包括:管片拼装点位、管片上浮信息和管片与盾构机位置关系;周边土体信息包括:周边土体的沉降变形和土体地质预报数据。

[0071] 请继续参阅图1,在本发明的一实施例中,所述执行模块2包括安全保护执行器201和各子系统控制器202。所述执行模块2以工程感知层的反馈信号为基础,面向控制目标调节执行机构的输出,是基于偏差的控制思想,经典PI D控制和模糊控制等方法均可以作用

候选的控制方法使用。安全保护执行器201用以根据决策层的风险报警,根据风险类别和等级,执行不同的操作;风险类别分为通讯故障风险、设备故障风险、施工安全风险三类,根据风险的等级,确定是停机、预警,还是提示增加或修改辅助控制手段。各子系统控制器202用以供执行子控制实时目标生成子模块的控制要求,主要的子系统有切口压力值控制子系统、同步注浆控制子系统、尾部油脂注入子控制系统和区域油压控制子系统。

[0072] 如图1所示,在本发明的一实施例中,所述规划模块3包括:阶段目标和控制策略规划模块301、多目标协同控制模块302、子控制器实时目标生成模块303。

[0073] 阶段目标和控制策略规划模块301用以基于分项目标决策模块的输出(控制目标区间),预测在不同控制策略下的各分项控制指标在一段推进区间(一般5-20环)内的环变化情况,规划满足分项控制目标区间的分项环控制目标范围和控制策略候选集;其中预测模型建议选择以神经网络和深度学习为代表的驱动方法。

[0074] 多目标协同控制模块302用以基于用户定义的控制效果综合评价函数,对控制策略候选集进行筛选,平衡多个分项目标之间的关系,在控制策略候选集中寻找一个使得综合评价函数最优的方案,并基于该方案,给出推进区间段中厘米级的分项控制目标值。

[0075] 子控制器实时目标生成模块303用以根据各分项环控制目标值,结合实时反馈,给出各控制子系统的控制目标值(例如土压力控制值、注浆量控制值、推进油压控制子系统),并按照秒级的更新频率进行输出。

[0076] 请继续参阅图1,在本发明的一实施例中,所述决策模块4包括风险状态预警模块401、分项目标决策模块402、控制辨识模块403和施工规律探索模块404。

[0077] 风险状态预警模块401用以根据工程数据对当前安全状态进行辨识,并根据风险来源,启动执行层对应的安全保护措施;风险来源包括设备故障、通讯故障、控制失效、环境失稳。

[0078] 分项目标决策模块402用以在正常状态下,根据工程总目标和当前工况类别(从控制辨识模块获得),结合确定掘进系统、姿态系统的分项决策目标范围(阶段性控制目标区间),包括:管片轴线偏差范围和地面沉降变形范围。

[0079] 控制辨识模块403用以根据历史工程中提取的土质类别和控制模式类别特征信息,辨识当前工程情况,确定当前土质类别和当前控制模式类别;如果无法找到类似工程,则告知施工规律探索模块。

[0080] 施工规律探索模块404用以对于控制模式无法辨识的工况,根据工程特征,利用知识库规则或者知识图谱,通过推理模块,筛选出有利于盾构掘进控制的规则,通过推理机指导规划层进行小幅度地进行分项决策目标范围或控制参数调整,寻找满足施工目标的合理目标和控制参数设置。

[0081] 图2为本发明一实施例中盾构智能控制系统的组成示意图;请参阅图2,在本发明的一实施例中,子系统控制器202包括控制器及执行器,所述控制器连接所述执行器;所述执行器连接盾构机。

[0082] 所述阶段目标和控制策略规划子模块301包括目标规划器3011;所述目标规划器3011用以结合策略层的阶段性目标和施工工程环境进行判断,规划各部分控制目标,包括盾构姿态、隧道轴线、地表变形。

[0083] 所述多目标协同控制子模块302包括目标分解和协调器3021;所述目标分解和协

调器3021用以根据规划的控制目标,考虑各子控制系统和控制参数之间相互关系,对目标进行分解和优化。

[0084] 所述子控制器实时目标生成子模块303包括模型参数估计器3031、自适应参数调整器3032、设备控制能力评价器3033。

[0085] 所述设备控制能力评价器3033用以评价控制过程中被控变量是否能达到并保持在设定值附近,其评估结果输出自适应参数调整器,为参数调整提供依据。

[0086] 所述模型参数估计器3031用以根据最新的数据、趋势预测和模型评价,对控制模型进行训练和修改,确定执行模块各控制模型参数。

[0087] 所述自适应参数调整器3032用以根据控制模型和控制参数,给出控制变量的设定值;包括推力速度、推力压力、刀盘转速、土压力、注浆量;对于不确定或未知的施工状态,根据实际的过去和现在的输入输出,根据启发式规则不断尝试不同的控制变量设定值。

[0088] 在本发明的一实施例中,所述风险状态预警模块401包括控制失效检测器4011、系统健康监督器4012及模型控制性能预测和监督器4013。

[0089] 所述控制失效检测器4011用以检测执行层与感知层之间的数据通信是否正常、关键设备存在故障或故障报警;一旦发现通信和设备故障,启动盾构机安全保护装置,实施停机或将部分功能隔离。

[0090] 所述系统健康监督器4012用以对整个盾构装备的健康和工程安全状况进行分析和评价,如果发现影响设备健康或施工安全的隐患,将通知安全保护装置,采取设定的安全防护动作。

[0091] 所述模型控制性能预测和监督器4013用以分析目前的模型是否能够满足施工控制目标的要求,预测在目前控制模型下核心控制指标的变化趋势,判断是否需要模型或模型参数的调整。

[0092] 所述分项目标决策模块402包括模型选择器4021、模型库4022、控制模型训练器4023。

[0093] 所述模型选择器4021用以根据对当前建设条件和模型性能的判断,从模型库4022存中选择合适的模型作为当前控制模型的原型。

[0094] 所述模型库4022用以存储针对不同工况的模型,供模型选择器4021挑选。所述控制模型训练器4023用以对出现的新工况,即在现有模型库中未能覆盖到的工况,利用训练器内置算法,对新工况所对应的施工数据进行训练,形成新的模型,并将其放入模型库;

[0095] 所述控制辨识模块403包括工况辨识器4031;所述工况辨识器4031用以对当前盾构机推进的工况进行辨识,分析当前工况是否属于模型库中所包括的已认知的已知工况,还是模型库中未包含的未知的新工况;如果是新工况,则启动控制模型训练器,对当前新工况进行训练。

[0096] 所述施工规律探索模块404包括启发式规则生成器4041、启发式规则库4042及启发式规则选择器4043。

[0097] 启发式规则生成器4041用以从知识库中提取隧道施工知识,以启发式规则作为知识图谱的表达形式,通过知识自动获取,为未来不确定或新的控制任务做准备。启发式规则库4042用以存储和管理启发式规则,为启发式规则选择器服务。启发式规则选择器4043用以从启发式规则库中选择合适的启发式规则,对不确定的情况提出候选解决方案。

[0098] 在本发明的一实施例中,所述盾构智能控制系统还包括信息集散器501、信息预处理器502、当前工程信息存储器503。

[0099] 信息集散器501用以从传感器获取设备和环境的信息,并将控制信息传递给控制器。

[0100] 信息预处理器502用以使用数据预处理算法对噪声和人工数据输入错误进行修正,提升数据分析的可靠性。

[0101] 信息存储器503用以使用数据库技术存储所有与本过程相关的设计信息、在线监测数据和施工控制数据。

[0102] 如图2所示,在本发明的一实施例中,所述指挥层以历史工程数据仓库和知识库为依托,进行工程特征状态的辨识和控制模型的创建和控制策略的制定。历史工程数据仓库包括海量的历史工程的数据和各种控制措施的评价标签。知识库包含大量的盾构掘进控制经验的规则和知识图谱,从论文、报告、工程案例中进行提取。所述策略模块包括工程状态识别与策略制定器,用以在模型推理模块或启发式规则推理模块的支持下,基于当前和历史工程数据评估现状,预测未来趋势变化,给出阶段性的控制目标。

[0103] 所述模型推理模块包括模型设计器、模型存储器和模型选择器。模型设计器用以利用工程数据仓库的基础上,利用机器学习等方法提取各种施工条件下的控制规则方法和控制模型。模型存储器用以保存和管理各种施工条件下的控制模型和应急方案。模型选择器用以根据对当前建设条件和模型性能的判断,从模型库存中选择合适的模型作为当前控制模型的原型。

[0104] 所述启发式规则推理模块包括启发式规则生成器、启发式规则库和启发式规则选择器。启发式规则生成器用以从知识库中提取隧道施工知识,以启发式规则作为知识图谱的表达形式,通过知识自动获取,为未来不确定或新的控制任务做准备。启发式规则库用以存储和管理启发式规则,为启发式规则选择器服务。启发式规则选择器用以从启发式规则库中选择合适的启发式规则,对一些不确定的情况提出候选解决方案。

[0105] 本发明还揭示一种盾构智能控制方法,所述盾构智能控制方法包括:

[0106] 感知步骤,获取掘进过程中盾构机、隧道和周边土体的信息;

[0107] 执行步骤,对盾构机掘进子系统进行执行控制;

[0108] 规划步骤,对盾构机掘进执行步骤的控制系统的控制目标或控制量进行动态设置;

[0109] 决策步骤,对盾构机推进的安全状态和盾构机所处的施工环境进行判断,完成掘进阶段目标区间的决策。

[0110] 各步骤的具体处理细节可参见以上盾构智能控制系统中有关模块的对应描述,这里不做赘述。

[0111] 综上所述,本发明提出的盾构智能控制系统及方法,可提高盾构控制的精确度及智能性。本发明系统构建一个完整的面向自动掘进的盾构智能控制体系,为智能盾构设计和制造提供技术支撑。

[0112] 需要注意的是,本申请可在软件和/或软件与硬件的组合体中被实施;例如,可采用专用集成电路(ASIC)、通用目的计算机或任何其他类似硬件设备来实现。在一些实施例中,本申请的软件程序可以通过处理器执行以实现上文步骤或功能。同样地,本申请的软件

程序(包括相关的数据结构)可以被存储到计算机可读记录介质中;例如, RAM存储器, 磁或光驱动器或软磁盘及类似设备。另外, 本申请的一些步骤或功能可采用硬件来实现; 例如, 作为与处理器配合从而执行各个步骤或功能的电路。

[0113] 以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合, 为使描述简洁, 未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述, 然而, 只要这些技术特征的组合不存在矛盾, 都应当认为是本说明书记载的范围。

[0114] 这里本发明的描述和应用是说明性的, 并非想将本发明的范围限制在上述实施例中。实施例中所涉及的效果或优点可因多种因素干扰而可能不能在实施例中体现, 对于效果或优点的描述不用于对实施例进行限制。这里所披露的实施例的变形和改变是可能的, 对于那些本领域的普通技术人员来说实施例的替换和等效的各种部件是公知的。本领域技术人员应该清楚的是, 在不脱离本发明的精神或本质特征的情况下, 本发明可以以其它形式、结构、布置、比例, 以及用其它组件、材料和部件来实现。在不脱离本发明范围和精神的情况下, 可以对这里所披露的实施例进行其它变形和改变。

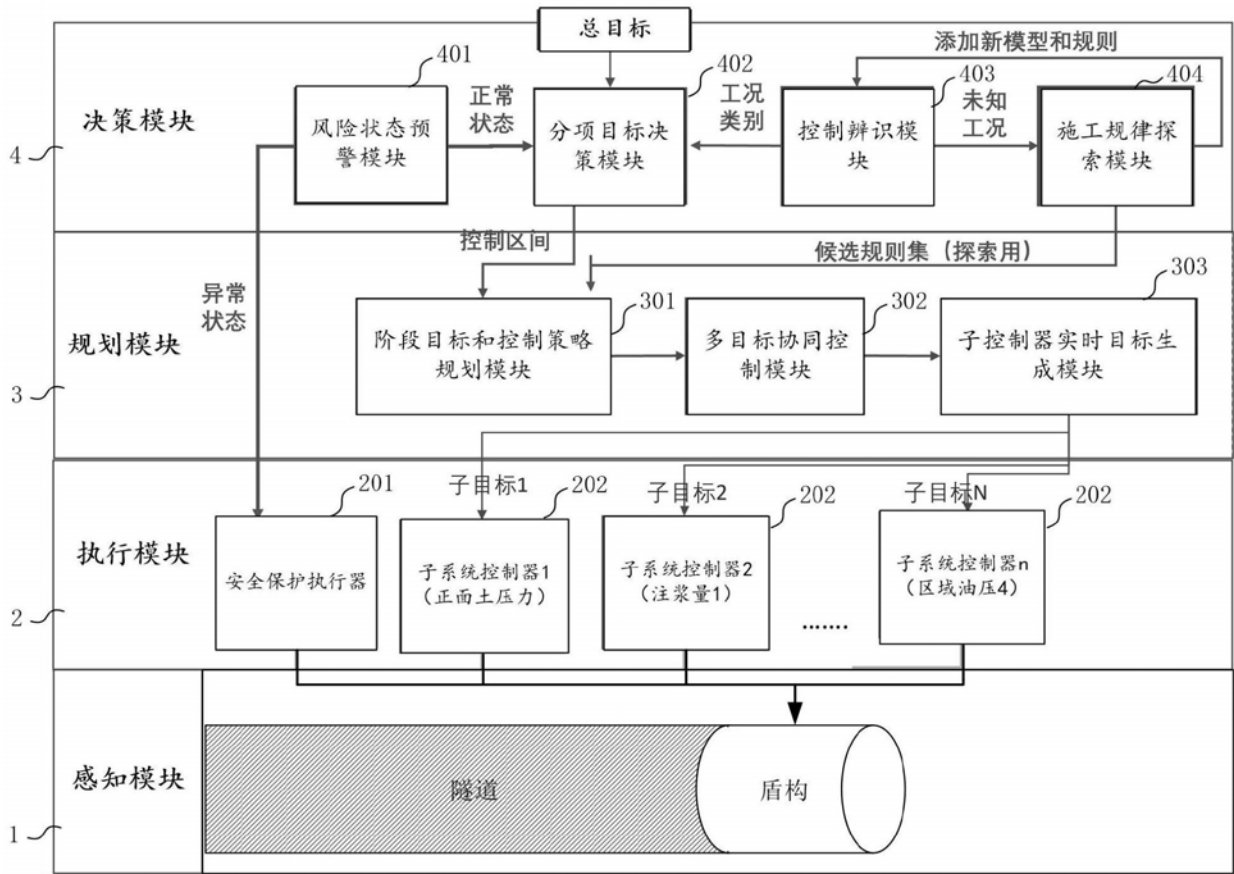


图1

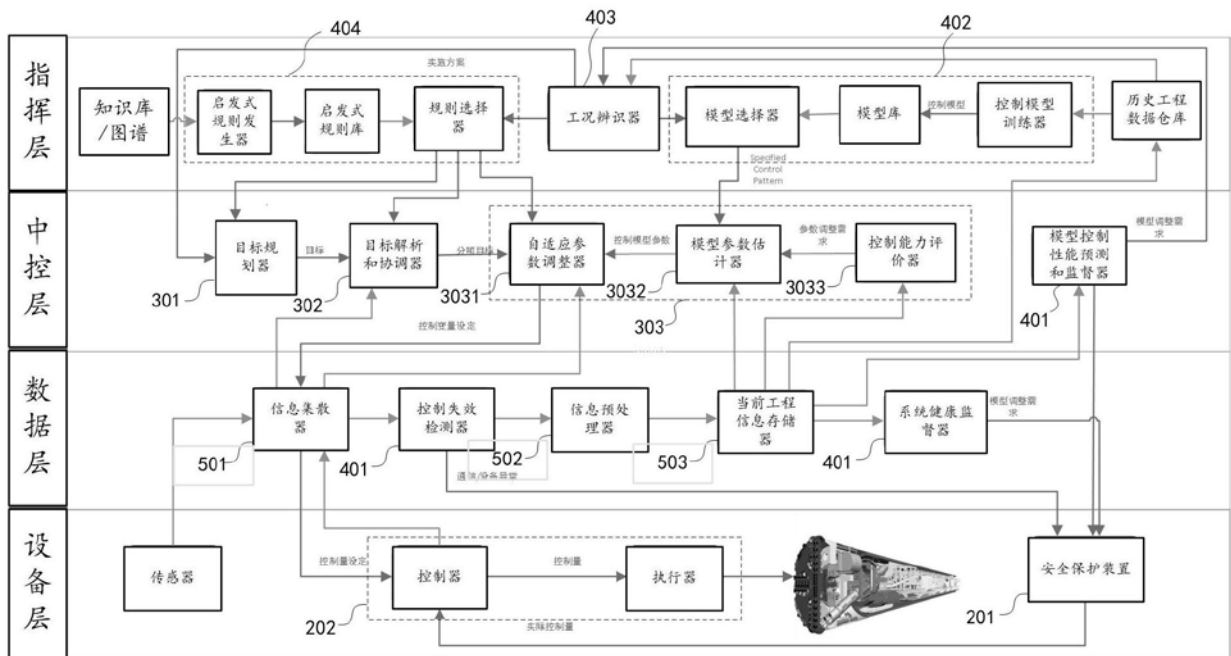


图2