

An Unmanned Intelligent Hoisting System Architecture

Xiao Nie, Hanfei Yuan, Ke Wang, Tianqi Dai, Sheng Ling

Department of Construction Management and Real Estate, Southeast University, Nanjing Jiangsu
Email: nx2515106605@163.com

Received: Apr. 29th, 2020; accepted: May 14th, 2020; published: May 21st, 2020

Abstract

With the rapid development of artificial intelligence in manufacturing and driverless industries, the field of construction machinery has begun to usher in its own unmanned and intelligent era. Through literature analysis of artificial intelligence and related technologies such as unmanned field focuses from logic in three aspects, technology, physical wisdom hoisting system architecture, the logical order of system, respectively on the system of perception, decision-making, control three levels for technical framework, to show the physical elements of technology; a safe and efficient implementation scheme of unmanned intelligent tower crane system is constructed.

Keywords

Artificial Intelligence, Unmanned, Hoisting System, Architecture

一种无人智慧吊装系统架构

聂 骁, 袁晗菲, 王 克, 戴天琦, 凌 胜

东南大学建设与房地产系, 江苏 南京
Email: nx2515106605@163.com

收稿日期: 2020年4月29日; 录用日期: 2020年5月14日; 发布日期: 2020年5月21日

摘 要

随着制造业、无人驾驶等行业人工智能的飞速发展, 工程机械领域也开始迎来自己的无人化、智能化时代。通过文献分析人工智能以及无人驾驶等领域相关技术, 重点从逻辑、技术、物理三个方面对智慧吊装系统进行了架构, 明确了系统的逻辑顺序, 分别对系统感知、决策、控制三个层次进行技术的架构、再对技术实现的物理要素进行说明; 构建了一个安全、高效的无人智慧塔吊系统的实现方案。

关键词

人工智能, 无人驾驶, 吊装系统, 架构

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

装配式建筑的发展使工地现场吊装任务大幅增加, 人们对塔吊的性能以及效率提出了更高的要求; 同时, 塔吊作为施工现场主要的水平和垂直运输工具, 其相关事故却频发不断, 2017 年塔吊每月平均事故发生次数高达 10.9 次, 塔吊已成为施工现场主要的危险源, 严重制约着建筑业的发展。提升建筑工程塔吊安全管理水平, 提升塔吊安全保障十分必要。其次, 在施工现场, 经常是多塔吊协同工作, 当现场多个塔吊同时参与吊运时, 塔吊间工作的先后顺序和 workflow 安排等行为, 缺少综合协调管理的人员和平台, 仅靠塔吊信号工两两间的临时沟通决策, 很难在短时间内进行吊运路径优化和具体操作的指挥协调, 进一步加大了管理的难度。人工智能的发展, 为塔吊性能优化提供了契机, 我们希望将人工智能相关技术应用于塔吊智能化当中, 通过人工智能算法代替塔吊工的决策、通过塔吊自动采集信息并分析数据来判断吊装安全问题; 构建一种安全、高效的无人操作智慧化吊装系统。通过理论上对塔吊实现智能化进行研究分析, 为实际技术应用发展提供相应参考。

2. 文献综述

由于建筑行业多个维度的复杂性使得其无法像一般的工业那样将生产流水线化并进行大规模的快速施工, 而对于塔吊智能化的研究国内更是少之又少, 表 1 主要对国内外一些塔式起重机自动化研究的情况进行说明。

Table 1. Related literature on tower crane

表 1. 塔式起重机相关文献论述

来源	相关内容
Lin 等[1]	提出了一种概率上完整的规划方法用于处理提升路径规划的问题, 基于快速探索随机树(RRT)的规划器能帮助起重机姿势受限空间的模拟。
Cai 等[2]	使用 CUDA 变成在图形处理单元上实现了主从并行遗传算法, 用混合配制空间基于图像的碰撞检测算法实现了在复杂环境中有效避免碰撞生成了高质量的提升路径。
Taghaddos 等[3]	构建一个由密集型数据库支持的编程算法, 能在现场布局上规划多台起重机的使用, 达到了起重机的自动规划和优化目标。
Albahnassi 等[4]	提出了一个运动规划框架, 能够近乎实时地可视化和模拟起重机运动规划结果。
Peng 等[5]	以基于 BIM 的全面框架模拟 3D BIM 模型中移动式起重机安全提升, 提出了一个支持系统的移动式塔式起重机决策。
Chen 等[6]	根据起重机操作与提升物体姿态之间的关系建立了计算规划两台起重机协同提升路径的算法。
An 等[7]	提出一种考虑起重机操作路径的重新优化策略, 规划塔式起重机的起升路径。
丁玉岐[8]	提出了一种计划管理层、设备管理层、设备终端构成的智慧无人化起重机系统。
赵挺生等[9]	对建筑工程塔吊安全影响因素进行了分析。

从表 1 可以看出，国外对塔吊自动化的研究局限于单个塔吊或塔吊群路径规划，对于吊装全过程的研究很少，因此，我们从塔吊吊装至安装全过程入手，实现一种无人智慧吊装系统的架构。

3. 系统的逻辑架构

基于对无人驾驶技术、塔吊操作流程、传感技术、计算机技术、人工智能等理论的研究，我们将“无人驾驶塔吊”的设计分为三个功能层次，它们分别是感知层、决策层和控制层。这三个层次构成了我们整个设计的基本框架，它们承担着不同的任务，实现着不同的功能，但总是共同作用在塔吊工作的每一个时期。

吊装过程是一个非常复杂的过程，需要几个系统相互协作才能实现最终的操作，三个层次之间的逻辑关系决定了系统信息的传递路径，从而决定了系统各机器的操作，如图 1 所示，该系统的主要路径为：环境信息通过感知层各机器相互配合采集后，再以相应信号形式传递给决策系统，决策系统再通过对信息的分析做出决策，决策系统再将系统传递给控制系统，控制系统将操作指令通过塔吊一一实现，最终实现感知 - 决策 - 控制的过程。

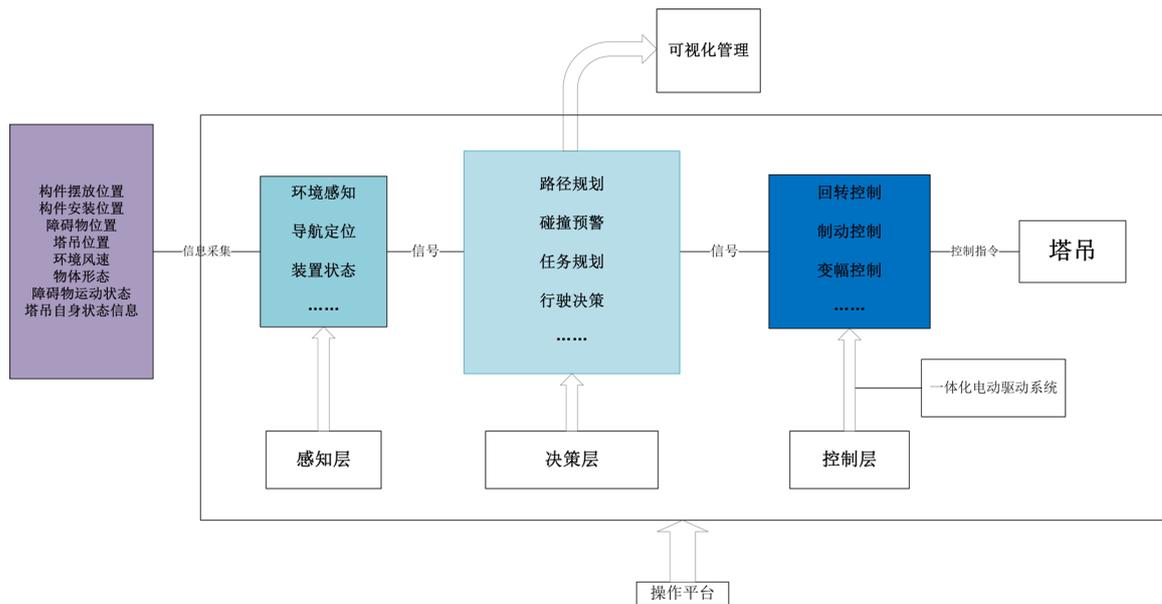


Figure 1. System logic architecture
图 1. 系统逻辑架构

4. 系统技术架构

4.1. 感知层技术架构

技术实现：GPS+嵌入式传感系统。

GPS (Global Positioning System)，即全球定位系统，在施工之前将构建放置于预定位置，并将位置信息录入系统，系统通过 GPS 的定位功能获取装配式建筑构建的现场位置，同时嵌入式传感系统实时收集环境以及塔吊自身状态信息，比如激光雷达获得环境中一些目标距离、方位、高度、速度、姿态、甚至形状等参数，并实时反馈给决策层，实现感知层各类信息采集功能；在信息采集过程中，多个传感器同时工作，会出现信息重复等现象，以障碍物位置信息为例，塔吊小车上激光雷达传感器收集到的障碍物位置信息与塔吊其他位置的激光雷达传感器收集的障碍物位置信息肯定不一致，如果将所有数据全部传

递给决策层，决策层将无法确定哪一个数据为准确的数据；并且在嵌入式传感系统中，不止两个传感器，几十个甚至上百个传感器同时工作，将所有数据全部传递给决策层分析，决策层势必崩溃；其次，在数据传递过程中，外界的干扰也会导致一些数据失真，这些也会影响决策层的决策；为了解决这个问题，在数据传递之前，我们需要用卡尔曼滤波算法对采集的数据进行处理，将重复的数据进行剔除，同时降低外界对信号的干扰。

4.2. 决策层技术架构

技术实现：神经网络专家系统[10] [11]。

神经网络专家系统可以控制系统始终适应复杂的环境神经网络，人工神经网络帮助专家系统在专家的交互中直接获取专家的经验数据，并加以综合；同时专家系统为人工神经网络提供解释。选用以人工神经网络为中心，传统专家系统为支持的神经网络专家系统决策模式，当遇到一般情况下的吊装任务，通过人工神经网络的决策以实现系统的决策；当决策过程受到干扰或参数被破坏或状态变化时，专家系统可以在线提取知识库中的规则，修改网络功率，调整模糊控制器的比例因子，使决策系统始终做出正确的决策。同时，该决策系统还能对每一次吊装过程进行学习，并将其存储与知识库中，以应对在之后吊装中遇到相同问题。神经网络专家系统只是为决策系统的框架，其具体的实现必须包含其功能实现的各种算法以辅助决策层实现各类决策任务；以路径规划算法实现吊装路径的确定以及路径的优化决策，以碰撞检测预警算法等实现吊装过程中的碰撞预警、避让等决策，通过机器学习算法完成系统的自我学习功能，再将每次决策后的信息传递给控制层。

4.3. 控制层技术架构

技术实现：车辆控制系统。

车辆控制系统最早应用于无人车，可以利用继电器、可编程控制器、开关元件等实现电机的启动、制动、顺序控制和正反转控制；利用微处理器、传感器、电机控制技术实现对机器变幅、角度、速度的细化控制。塔吊的吊装过程包括起升、回转、变幅；各个过程对速度、角度、起重重量等参数都有很为细致的规定，因此对于这一部分的控制是控制系统的重要工作，通过车辆控制系统，可以很好的解决各类要求。

5. 系统物理架构

通过前面的分析，系统已经形成了基本的技术框架以及逻辑框架，但是系统的实现必须要有硬件的支持，本部分主要说明系统架构所需要的硬件等物理要素。

5.1. 感知层物理架构

感知层技术主要由 GPS+嵌入式传感系统实现，其硬件见表 2。

Table 2. Perception layer physical architecture

表 2. 感知层物理架构

硬件设备	对应功能
GPS 接收器	确定待吊构件位置以及构件安装位置
超声波传感器	近距离和障碍物探测
激光雷达	高精地图制作、障碍物识别和跟踪和自身定位，获得环境中一些目标距离、方位、高度、速度、姿态、甚至形状等参数，对目标进行跟踪

Continued

倾角传感器	量测塔机倾斜角度
毫米波雷达	量测距离、速度
重量传感器	获取荷载大小信息
力矩传感器	获取塔机所受力矩大小
风速传感器	采集环境风速信息
温湿度检测仪	监测环境温度与湿度
作业区域限制器	识别作业禁区

以上只是感知层实现数据采集功能的实现，其信号的传递可以建立在无线通讯网络上，那么最重要的问题就是数据的延迟性，随着 5G 以及移动网络的发展，0 延迟已经能基本实现，在感知层数据传递上，我们可以选择基于 5G 的无线通讯网络，选择无线通讯网络，必须以路由器实现，因此，路由器也是系统重要组成部分。

5.2. 决策层物理架构

决策层是各类算法以及相应系统的集成，需要分析、处理大量的数据，所以其实现必须建立在性能优良的 AI 芯片上，目前市场上，英特尔与英伟达一直是 AI 芯片领域上的两大集团，像特斯拉、地平线、眼擎科技这些后起之秀也开始在市场上拥有一席之地；通过一些资料的查询，英伟达发布的 Drive Xavier 是目前性能最为优良的 AI 芯片，Drive Xavier 的面积达到 350 mm²，内建 90 亿个晶体管，它支持每秒 30 万亿次运算，功率只有 30 瓦，包括一个定制的 8 核 CPU、一个新的 512 核 Volta GPU、一个新的深度学习加速器、一个全新的计算机视觉加速器以及一个全新的 8K HDR 视频处理器。优良的 AI 芯片，为决策层的运算提供了基础，保证了决策实现的准确以及迅速。

5.3. 控制层物理架构

控制层实现这对塔吊的吊臂、吊钩、变幅小车、回转机构等机器的控制，而在技术架构中就已经说明车辆控制系统由继电器、可编程控制器、开关元件的物理元件构成；在控制层，可编程控制器可接受由决策层发出的信号指令，按照已经存储好的逻辑运算对继电器、开关元件以及其他机械设备进行控制。

6. 总结与展望

本文通过文献综述对国内外塔式起重机智能化的研究进行了梳理，并从逻辑、技术、物理三个方面对系统进行了架构，提出了一种无人化智能吊装系统的方案。但是，本文仅从理论层面对其进行了说明，其具体的实现需要以大量的试验为基础，同时，感知、决策、控制三个层次之间的数据传递涉及多种数据格式的转换，这也是日后研究的一个重点。

基金项目

东南大学省级大学生创新创业训练项目(201910286045Y)：装配式建筑无人操作智慧吊装系统的架构设计(指导教师：黄有亮)。

参考文献

[1] Lin, Y.S., Yu, H., Sun, G. and Shi, P.H. (2016) Lift Path Planning without Prior Picking/Placing Configurations: Using Crane Location Regions. *Journal of Computing in Civil Engineering*, **30**, 04014109.1-04014109.12.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000437](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000437)

- [2] Cai, P.P., Cai, Y.Y., Chandrasekaran, I. and Zheng, J.M. (2016) Parallel Genetic Algorithm Based Automatic Path Planning for Crane Lifting in Complex Environments. *Automation in Construction*, **62**, 133-147. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.09.007>
- [3] Taghaddos, H., Hermann, U. and Abbasi, A.B. (2018) Automated Crane Planning and Optimization for Modular Construction. *Automation in Construction*, **95**, 219-232. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.009>
- [4] Al Bahnassi, H. and Hammad, A. (2012) Near Real-Time Motion Planning and Simulation of Cranes in Construction: Framework and System Architecture. *Journal of Computing in Civil Engineering*, **26**, 54-63. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000123](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000123)
- [5] Le, P. and Chua, D.P.H. (2017) Decision Support for Mobile Crane Lifting Plan with Building Information Modelling (BIM). *Procedia Engineering*, **182**, 563-570. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.154>
- [6] Shen, X.L., An, J.Q. and Terano, T. (2018) Calculation Method of Load Distribution for Two-Crane Cooperative Lift. 2018 37th Chinese Control Conference (CCC), Wuhan, 25-27 July 2018. <https://doi.org/10.23919/ChiCC.2018.8483893>
- [7] An, J.Q., Wu, M., She, J.H. and Terano, T. (2018) Re-Optimization Strategy for Truck Crane Lift-Path Planning. *Automation in Construction*, **90**, 146-155. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.029>
- [8] 丁玉岐, 马文波. 智能、无人化起重机[J]. 建设机械技术与管理, 2018, 31(8): 42-45.
- [9] 赵挺生, 周炜, 徐凯, 贺凌云. 建筑工程塔吊安全影响因素分析[J]. 工业安全与环保, 2019, 45(2): 17-22.
- [10] Cai, G., Xie, Q. and Li, G. (2011) Neural Network Expert System and Its Application in Command. *IEEE International Conference on Computer Science & Service System*, Nanjing, 27-29 June 2011.
- [11] Jia, Y.Q., Wang, P.X., Li, Y., *et al.* (2003) Study of Manufacturing System Based on Neural Network Multi-Sensor Data Fusion and Its Application. *IEEE International Conference on Robotics, Intelligent Systems and Signal Processing*, Changsha, 8-13 October 2003.