

路面施工机群沥青混合料的混杂控制研究

王洪礼¹ 任炜¹ 高强²

(1. 天津大学机械学院, 天津 300072)(2. 天津大学自动化学院, 天津 300072)

摘要 目前国内工程机械机群的研究主要集中在单机智能化与机群智能调度与监控的研究, 以实现机群系统的最优资源配置、最优工作效率和最佳工作质量为目标。然而这些研究大多缺乏控制理论的支持, 故很难分析系统的可控性、稳定性和鲁棒性等性能指标。本文分析了路面施工机群的混杂特性, 并以路面施工中沥青混合料供求为对象, 给出了具体的混杂控制方法。

关键词 路面机械, 机群, 供应链, 混杂控制

引言

近年来, 智能化路面施工机群得到越来越多的关注, 并在路面施工机械的单机性能, 机群的调度, 物料供应链的协调等方面做了大量研究工作, 以期获得施工机群的最优资源配置、最优工作效率和最佳工作质量。其中, 三一重工在机群智能调度与监控、机群管理与通信方法等方面多了较深入的研究^[1-3]。天津工程机械研究院运用多主体技术, 实现了对机群系统的改造^[4,5], 同时, 人们对机群系统管理也做了大量的研究工作^[6-8]。然而, 相关文献与研究并没有控制理论的支持, 所以很难评价机群系统的可控性、稳定性、鲁棒性等性能指标。本文分析了路面施工机群沥青混合料的供求链的典型的混杂特性; 给出了沥青混合料供应链的混杂控制方法, 计算出拌和机工作离散域的阈值; 最后通过仿真实验分析了系统的稳定性。

1 混杂系统

混杂系统(HS)主要研究由连续子系统和离散子系统相互作用而构成的一类动态系统, 又称为混杂动态系统(HDS)。连续子系统的动态特性随时间发展不断演化, 离散子系统的动态演化受事件驱动。二者相互作用, 使系统的运行轨迹整体上呈现离散位置的迁移, 局部上呈现连续状态的渐进演化。在综合了连续变量动态系统(CVDS)和离散事件动态系统(DEDS)演化特征的基础上, 表现出更

加复杂的动态行为。

混杂系统研究具有广泛的工程背景, 如生产过程自动化、自动化调度、机器人控制、计算机通讯等。大多数复杂工业控制系统在结构组成和动态行为上均表现出显著的混杂特性, 在本质上是非纯一的。随着现代计算机技术的高速发展, 混杂系统已经成为当今控制与计算机科学界的前沿热点, 逐步成为联系控制科学、数学和计算机科学的学科体系^[9]。

本文中, 混杂系统采用层次结构模型, 如图1所示。

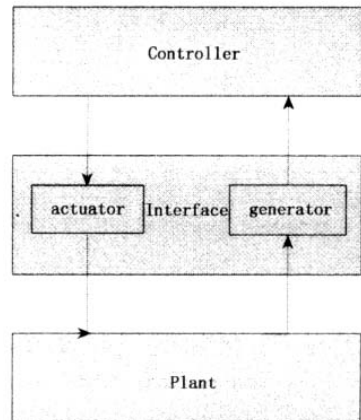


图1 混杂系统层次机构模型

Fig. 1 Level model for hybrid system

系统由三部分构成: 控制器、接口和对象。控制器是一个离散事件动态系统, 可由自动机描述, 它

通过接口接受事件,并监督对象行为;同时还可以通过接口向对象发送命令事件,控制对象的行为。在混杂系统中,控制器起到关键作用。对象是一个连续动态系统,受控制器的监控,其行为可以用微分或差分方程描述。接口由执行器和生成器构成,负责离散变量和连续变量格式的转换。

路面施工机群存在大量连续过程和离散事件,是一个较复杂的混杂系统。沥青混合料的供应链模型则更能体现这一特性。下一节将做详细的介绍。

2 路面施工过程的混杂特性分析

路面施工过程包括施工准备、沥青混合料的配比设计、验证、热拌沥青混合料拌制、混合料运输、摊铺和碾压成型。这一过程需要装载机、沥青混合料拌和设备、自卸卡车、沥青路面摊铺机、压路机以及沥青混合料转运车等机械化施工机群协调工作。各施工机械的启/停、转向等均由离散事件触发,而各机械的速度、位移、液压传动过程和物料的温度变化等都是连续变化的。二者通过各种形式的接口存在于一个系统中。

沥青混合料供应链具有典型的混杂特性:系统的运行由量变和质变的交替而构成。在拌和机生产出新的混合料之前,物料的消耗是随摊铺机的工作效率和时间成正比的,是一个连续变化的过程;当拌和机生产出新的混合料,则物料的总量产生突变,而这一突变是由拌和机有新的混合料生产这一事件驱动的。也可以说整个物料的供应链是一个分段连续的过程,如图2所示。

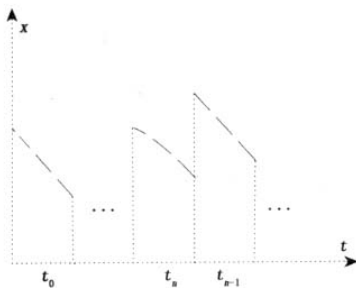


图2 混杂系统状态演化图
Fig.2 State evolution of hybrid system

纵坐标为连续状态变量 x , 横坐标为离散化时间 t , 在每一个离散时间内, 状态变量是线性变化的, 在离散时间间隔处, 状态发生突变, 系统由一个

状态演化到另一个状态。

3 路面施工过程的混杂控制方法分析

在由拌和机、摊铺机与自卸卡车组成的子系统中, 沥青混合料的生产者是拌和机, 消耗者是摊铺机。自卸卡车作为运输者, 并没有对沥青混合料的数量产生影响, 因此, 在该系统中, 将自卸卡车的运输过程视为时延。

在施工过程中, 由于摊铺机的工作能力基本保持恒定, 而拌和机的工作机动性明显强于摊铺机, 所以对拌和机生产的有效控制显得更有意义。

由拌和机、自卸卡车和摊铺机组成的子系统建立混杂系统模型如图3所示。在该模型中, 混杂系统由沥青混合料的数量这一连续受控过程、混合料数量监控器以及处于这两部分之间的接口组成。离散动态由沥青混合料数量监控器构成; 连续动态由沥青混合料的数量表示; 接口分为两部分, 一部分是对沥青混合料数量的判断, 另一部分是拌和机的启/停开关。混杂控制方法的动作执行器即为这个启/停开关, 沥青混合料数量监控器通过控制这一开关, 控制拌和机的生产, 从而控制本混杂系统中的沥青混合料数量。

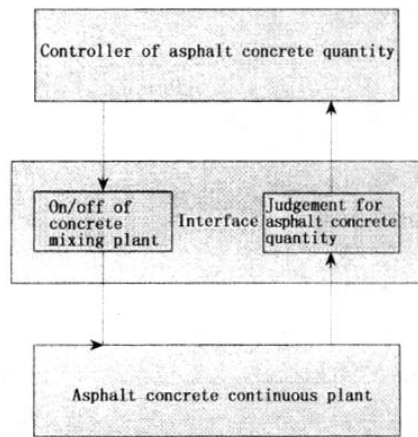


图3 混杂系统模型
Fig.3 Hybrid system model of asphalt concrete

令沥青混合料的状态空间为 X , t 时刻对应的混合料总量为 x . 则可把整个状态空间划分为三个区域

$$X = \{0, a\} \cup \{a, b\} \cup \{b, +\infty\}$$

其中, a 和 b 是两个阈值. 当变量 x 的运行轨迹落在

区间 $|0, a|$ 时,拌和机对应的离散状态为“混合料不足”,对应的离散驱动事件为“启动拌和机”;当变量 x 的运行轨迹落在区间 $|a, b|$ 时,拌和机对应的离散状态为“混合料适中”,对应的离散驱动事件为“拌和机正常启/停”;当变量 x 的运行轨迹落在区间 $|b, +\infty|$ 时,拌和机对应的离散状态为“混合料过多”,对应的离散驱动事件为“停止拌和机”.

在由拌和机、自卸卡车、摊铺机组成的子系统中,混杂控制流程可以描述如下:

(1) 沥青混合料数量监控器对拌和能力和摊铺能力数据的获取;

(2) 监控器根据摊铺机摊铺能力,确定阈值 a 和 b ,赋值给混合料数量判断部分;

(3) 混合料数量判断持续进行:当混合料数量 $x \leq a$ 时,向混合料数量监控器发送信息“混合料不足”;当 $x \geq b$ 时,向监控器发送信息“混合料过多”; x 处于 a 与 b 之间时,向监控器发送信息“混合料适中”或不发送任何信息;

(4) 混合料监控器接收来自混合料数量判断部分的信息,当信息为“混合料不足”时,给拌和机发送启动信息;当信息为“混合料过多”时,给拌和机发送停机信息;否则发送“保持状态”的消息不发送任何消息;

(5) 待拌和机生产出混合料后,自卸卡车将混合料运送给摊铺机,摊铺机摊铺;

(6) 若摊铺机告知监控器,混合料消耗能力缩小或扩大了,则返回第(2)步;若摊铺机告知监控器当日施工任务完成,则监控器通过接口停止拌和机的生产;否则,返回第(3)步.

4 混杂控制参数的确定

由于该系统中的离散状态以及离散状态引发的离散驱动事件都是由连续变量的两个阈值决定的,因此,阈值的确定是实现系统混杂控制的关键.

首先要确定摊铺机的摊铺能力 Q_{spr} ,由下式给出

$$Q = hBV_0\rho K_B$$

其中 h 为摊铺层厚度 m ; B 为摊铺宽度; V_0 为摊铺速度; ρ 为沥青混合料密度,一般设定为 $\rho = 1.8 \sim 2.35 \text{ t/m}^3$; K_B 为时间利用系数,一般设定为 $K_B = 0.75 \sim 0.95$.

其次是确定沥青混合料的生产能力 Q_{mix} ,拌和机的满负荷生产能力为,为已知固定值.

4.1 阈值 a 的确定

一般情况下,拌和站与摊铺现场之间都有一定的距离,所以沥青混合料需要一个运输时间 t_{tran} ,同时,生产一车混合料也需要时间 t_{pro} ,因此,在开启拌和机时,需要提前开启,提前的时间即为 t_{tran} 与 t_{pro} 的和.

求阈值 a 的问题可以描述为:求值 a ,使得在某一时刻,子系统内的沥青混合料总量 x 减少到值 a 时,即需要启动拌和机进行混合料生产.此时,子系统内的混合料可以供摊铺机使用,直至拌和机生产的第一车混合料运输到摊铺现场.

在拌和机开始生产,到第一车混合料送到摊铺机所需的时间为 $t_{tran} + t_{pro}$,在这一段时间内,摊铺机消耗的混合料数量为

$$x_{out} = Q_{spr}(t_{tran} + t_{pro})$$

由以上分析可知, x_{out} 即可作为阈值 a .

4.2 阈值 b 的确定

设混合料摊铺温度为 T_{spr} (不低于 $110 \sim 130 \text{ }^\circ\text{C}$,否则将称为废料),出厂温度为 T_{mix} ,运输过程中的温度损失为 T_{tran} ,在自卸卡车上的降温速度为 V_{Tlost} ,则混合料可以等待的时间为

$$T_{wait} = (T_{mix} - T_{tran} - T_{spr})/V_{Tlost}$$

在这一时间内,摊铺机消耗的混合料数量为

$$x_{out} = Q_{spr}T_{wait}$$

阈值 b 的作用是判断系统中沥青混合料的总量 x 是否太多而导致积压.求阈值 b 的问题可以描述为:求值 b ,使得在某一时刻,子系统内的沥青混合料总量 x 增加到值 b 时,即需要停止拌和机的生产.当停止拌和机生产后,子系统内的所有沥青混合料,可以在沥青混合料温度降低到低于摊铺温度要求前,也就是在 T_{wait} 内,被摊铺机消耗.

由以上分析可知, x_{out} 即可作为阈值 b .

5 混杂控制的优越性

由拌和机、摊铺机和自卸卡车组成的子系统中通过混杂控制策略改进后,较传统的施工过程表现出明显的优越性.主要表现在以下两个方面:

(1) 增加系统的鲁棒性:在正常施工过程了非正常施工过程,都有完备的控制模式.如出现拌和机原料供应不及时出现的“混合料不足”以及摊铺机出现故障而出现的“混合料过多”等现象时,可

以通过控制律的切换实现系统良性运行.更有意义的是,阈值 a 和 b 可通过学习机制进行修正,表现出良好的鲁棒性;

(2) 实现系统的经济控制:混合料供需基本保持均衡,可以较少拌和设备所配置的成品料仓的使用,从而较少开支;减少拌和机盲目生产引起的物料浪费和摊铺机无料供应引起的时间、人员浪费等.

6 结论

工程机械的施工过程往往是一个大的复杂系统,目前尚缺乏系统级的控制过程研究.应用混杂控制理论,可以对施工过程进行系统级的优化和控制,从而大大提高施工效率.本文以公路沥青混凝土路面施工机群中,沥青混合料数量的控制为例,应用混杂控制方法进行施工过程优化.该方法需要在多智能主体智能化机群实现的基础上进行验证.另外,混杂控制方法在机群施工过程中还有更重要的应用,需做进一步研究.

参 考 文 献

- 李冰,贺尚红,吴运新,吴桐,李自光. 沥青混凝土路面施工机群智能调度与监控系统. 路面机械与施工技术, 2004, (2): 56~59 (Li Bing, He Shanghong, Wu Yunxin, Wu Tong, Li Ziguang. Intelligent Attempering and Monitoring System for Asphalt Concrete Construcion Machines. *Pavement Machinery & Construction Technology*, 2004, (2): 56~59 (in Chinese))
- 戚建,吴桐,贾沛,龙刚强,何伟. 智能化工程机械机群监控中心软件系统. 制造业自动化, 2003, 25(12): 55~57 (Qi Jian, Wu Tong, Jia Pei, Long Gangqiang, He Wei. Monitoring central software system of intelligent machinery of cluster. *Manufacturing Automation*, 2003, 25(12): 55~57 (in Chinese))
- 李玺,胡志刚,戚建. 路面施工机群智能化管理及通信方法研究. 计算机工程与应用, 2003, (27): 220~223 (Li Xi, Hu Zhigang, Qi Jian. Research on Intelligent Management and Communications Methods of Machine Groups of Road Construction. *Computer engineering and application*, 2003, (27): 220~223 (in Chinese))
- 王福山等. 沥青混凝土路面施工机群施工过程智能化控制研究. 工程机械, 2003, (5): 7~12 (Wang Fushan, etc. Intelligent control study on construction process of asphalt concrete road surface machinery of cluster. *Engineering machinery*, 2003, (5): 7~12 (in Chinese))
- 牛占文,王树心,郑尚龙. 机群智能化工程机械故障诊断系统研究. 机械科学与技术, 2003, 22(6): 999~1002 (Niu Zhanwen, Wang Shuxin, Zheng Shanglong. Research on Fault Diagnosis System for Intelligent Construction Machinery Groups. *Mechanical Science and Technology*, 2003, 22(6): 999~1002 (in Chinese))
- 韦华颖,詹剑锋,王磊,王沁. 机群系统的智能配置管理. 计算机工程与应用, 2004, (9): 29~32 (Wei Huaying, Zhan Jianfeng, Wang Lei, Wang Qin. An Intelligent Configuration Information Management System for Clusters. *Computer Engineering and application*, 2004, (9): 29~32 (in Chinese))
- 孟庆平,刘涛英,李恪. 机群系统管理的研究实现. 计算机科学, 2003, 30(4): 26~29 (Meng Qingping, Liu Taoying, Li Ke. Cluster System Management Research and Design. *Computer Science*, 2003, 30(4): 26~29 (in Chinese))
- 朱福民,郑惠强. 移动通讯网络在设备机群管理中的应用. 工程机械, 2004, (7): 6~8 (Zhu Fumin, Zheng Huiqiang. Application of mobile communication network in equipment machinery of cluster management. *Engineering machinery*, 2004, (7): 6~8 (in Chinese))
- 郑刚,谭民,宋永华. 混杂系统的研究进展. 控制与决策, 2004, 19(1): 7~16 (Zheng Gang, Tan Min, Song Yonghua. Research on hybrid system: A survey. *Control and Decision*, 2004, 19(1): 7~16 (in Chinese))

STUDY ON HYBRID CONTROL FOR ASPHALT CONCRETE CONSTRUCTION CLUSTER

Wang Hongli¹ Ren Wei¹ Gao Qiang²

(1. School of Mechanical Engineering, Tianjin University 300072, China)

(2. School of Electrical Engineering & Automation, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract At present the internal study on engineering machinery cluster is focused on the intelligence of single machine and tempering and supervising of machinery cluster, and is short of the support of control theory. In this paper, the hybrid control theory was used to analyze the supply chain of asphalt concrete construction cluster. The application of hybrid control can improve the robustness and continuity of the construction process, and lessen the cost of the construction considerably.

Key words road machines, cluster, supply chain, hybrid control