

Multi-Agent 的连续轧制过程控制系统研究

谭树彬^{1,2}, 刘建昌²

(1. 东北大学 流程工业综合自动化教育部重点实验室, 辽宁 沈阳 110004; 2. 东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘要:结合带钢连续轧制过程控制系统的特点,提出基于多智能体理论的控制方法.将多智能体理论应用于连续轧制过程的控制之中,给出了基于多智能体轧制过程的控制系统架构,并对多智能体控制系统的划分机制、协调机制和模型结构等关键问题进行了分析和研究,提出一套基于多智能体的带钢连续轧制过程控制系统的全新控制结构.该系统有利于建立轧制流程的广义集成模型,消除控制系统之间的耦合关系,实现连续轧制生产的高度自动化和智能化.

关键词:多智能体;带钢轧制流程;控制系统

中图分类号:TP273.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-4785(2008)02-0150-05

Research On multi-Agent based control system for continuous rolling process

TAN Shu-bin^{1,2}, LIU Jian-chang²

(1. Ministry of Education Key Laboratory of Integrated Automation of Process Industry, Northeastern University, Shenyang 110004, China; 2. College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: This paper describes a multi-Agent control system for a strip rolling process. In order to realize distributed intelligent control of the system, multi-Agent theory was applied after analyzing the characteristics and structure of its control system. Then a control strategy based on multi-Agent interaction was designed. Finally, the partition method, the coordination mechanism, and the model structure of the multi-Agent control system for the strip rolling process were analyzed. The paper concludes with a new control structure and system for strip rolling processes, which help to build up the generally integrated model, to eliminate the coupling among control systems, and to realize the more intelligentized control.

Key words: multi-Agent; strip rolling process; control system

国外,在罗克韦尔自动化、西门子、三菱-日立、奥钢联等公司的轧制流程控制系统中,已经不拘泥于工业网络、现场总线这种形式上的变化,而是在控制系统结构、集成策略上,都在探索采用更为先进的控制方法^[1-2].而多智能体系统是当今人工智能中的前沿研究方向之一,是分布式人工智能研究的一个重要分支,其目标是将大的复杂系统(软硬件系统)建造成小的、彼此相互通讯及协调的、易于管理的多智能体机制系统^[3-4].因此,多智能体理论在分布式环境中有着极为广阔的应用前景,并在智能机器人、

交通控制、虚拟现实等领域有成功的应用^[5-10],这为复杂流程工业生产线的优化设计和先进控制提供了坚实的理论支持和实践基础,为将来多智能体控制技术和方法在连续轧制流程及其他复杂流程工业生产中的实现和应用提供了理论参考和方法支持.遗憾的是,同其他领域相比,在与人工智能理论有着天然联系的复杂流程自动控制领域,多智能体理论、技术与控制理论的结合和应用还仅仅处于理论研究和探索阶段.

在板带材连续轧制流程的同一机架的厚度控制系统中,为了保证带钢的厚度控制精度,需要同时采用多种厚度自动控制方法,比如前馈式厚度控制、监控式厚度控制、张力式厚度控制、金属秒流量厚度控制、轧制力厚度控制等方法.同时,还需要轧辊偏心

收稿日期:2007-01-17.

基金项目:高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20060145025);辽宁省自然科学基金资助项目(20052033).

通讯作者:谭树彬. E-mail: tshubin@163.com.

补偿、硬度识别、Smith 预估控制等功能。所以,从厚度控制的角度来看,每种厚度控制方法和辅助补偿措施都可以视为系统中的一个子系统(Agent),采用 multi-Agent 技术,可以实现各种控制方法及数学模型、专家系统、神经网络的集成,从而对板带材多机架连续轧制进行分布式控制,实现整个生产过程的高度自动化和智能化。将 multi-Agent 技术引入到板带材厚度控制系统中,不是为了证明某一控制策略或者模型比其他策略或模型更为优秀,而是按照 multi-Agent 的思想,对不同的控制策略或者模型进行完善,使其标准化,能够和其他子系统(Agent)进行交互,实现不同控制策略或者模型的集成,发挥它们的长处,避免它们的负面作用^[11]。

本文提出将多智能体理论应用于板带材连续轧制流程的控制策略之中,按照多智能体理论对控制系统按功能、任务和知识进行划分,研究多智能体系统模型结构、协调控制机制以及多智能体控制系统的设计和实现等。

1 基于多智能体的控制系统建模

从模块设计及实现的观点上看,把一个复杂的问题分解成相对独立的模块则更容易处理、调试及维护,并使系统对软件及硬件的错误具有容错能力,系统更具有可靠性。钢铁工业的带钢连续轧制流程可以归属为一个多智能体系统,它由相互协调的多个单智能体组成,形成基于多智能体的控制系统设计方法。

将综合轧制道次和控制功能 2 种方法划分智能体,并构建基于多智能体的连续轧制过程控制系统结构模型。以 7 机架热连轧为例,采用多智能体的层次设计属性,构建基于多智能体的连续轧制过程控制系统结构模型框架如图 1 所示。

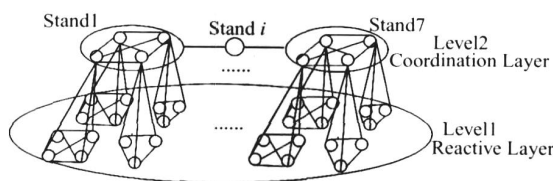


图 1 基于多智能体的连续轧制过程控制系统结构模型

Fig. 1 Structure model of control system of continuous rolling process based on multi-Agent

多智能体系统可由多个智能和能力较低或较单一的智能体组成,也可由几个较复杂的智能体成员为基础,结合其他简单智能体成员共同组成。多个多智能体系统又可以组成更为复杂的智能系统。在第 n 层由多个智能体构成的组织,在第 $n+1$ 层可以

看成单个实体;相反的,在第 $n+1$ 层的单个实体,在第 n 层上可看成由多个智能体构成的组织,每两级相邻的层次上都有这样的关系。对连续轧制过程控制系统按照功能进行划分,其中 Level 2 为连轧线中每个机架的控制系统,包括张力控制系统(ATC)、厚度自动控制系统(AGC)、速度自动控制系统(AVC)、以及板形自动控制系统(AFC)等。Level 1 为 Level 2 进一步细化具有一定功能的控制子系统。其中,厚度自动控制系统划分为压力 AGC、监控 AGC、流量 AGC、Smith-AGC 等控制子系统;张力自动控制系统又划分为活套角度和电机扭矩等控制子系统。

图 1 只是一个简化的模型框架,实际构建基于多智能体的连续轧制过程控制系统结构模型时,还要考虑张力控制、动态变规格控制、轧件跟踪、前馈控制、补偿控制、解耦控制等涉及多个机架或难以归属为哪个机架的控制功能。

2 连续轧制流程多智能体的划分机制

由多个 Agent 相互协作,实现对复杂系统的控制,便构成了 multi-Agent 控制系统。该系统中,每个 Agent 是一个物理或抽象的实体。在厚度自动控制系统中,需要多种基于不同厚度控制方法的 Agent 相互协作,构成一个 multi-Agent 系统。另外,在多机架冷连轧系统中,也可以将每个机架视为一个机架 Agent,构成一个 multi-Agent 系统。

在连续轧制流程中,每个智能体为一种物理的(如按照轧机的物理结构进行界定,那么每个机架就可以作为一个智能体)或者虚拟的自我独立的单元(如按照功能进行划分,则厚度控制、张力控制、速度控制以及板形控制等都可以设计成为单个的智能体),智能体应具有对外界环境做出响应及推理、决策和相互间进行协调的能力,可以解决给定的问题并实现特定目标。在对连续轧制流程按照多智能体理论进行划分时,既不能划分得太“细”,又不能将智能体的粒度划分得太“粗”,如粒度划分得太细,则导致智能体个数太多,虽然简化了单个智能体的复杂程度,但是不利于多个智能体之间的协作,如划分得太粗,则单个智能体的复杂程度将增加。因此,需要在智能体粒度和单个智能体的复杂程度之间做出平衡,这也正是研究连续轧制流程多智能体的划分机制的意义所在。

在多机架冷连轧系统中,可以将每个机架的厚度自动控制系统视为一个 Agent。同时,还需要协调多个机架的速度分配、轧制力分配等过程级 Agent,从而构成一个 multi-Agent 系统,如图 2 所示。



图 2 基于多智能体的厚度控制系统模型结构

Fig. 2 Framework of multi-Agent gauge control system

3 连续轧制流程多智能体控制的协调

连续轧制过程控制是复杂的快速动态实时过程,多智能体系统要在这样的环境下,在有限时间、资源的约束下,解决任务调配、动作协调、化解冲突等协调合作问题。

基于现有的轧制机理模型和控制方法及对连轧生产线自动化系统,根据各智能体行为之间的相互影响程度,各智能体之间的相互约束条件以及每个智能体对其他智能体的解耦或补偿的期望要求,设计适于连续轧制过程、具有自学习和容错能力的自适应协作和协调机制。自学习能力主要体现在 2 个方面:一是系统可以根据生产线的实时反馈信息来改进协作和协调机制;二是通过智能体的相互作用进行智能体学习以改进协作和协调机制。自适应协调模型的动态协调特性主要体现在:1)系统结构的动态改变,智能体间的协作网络结构能够根据解决任务的需要自动进行调整和优化;2)系统可以根据最新的任务需要或平衡状态自主地协调行动。多智能体控制系统协作和协调机制还应保证当个别智能体出现故障时其他智能体能正常运行,使系统具有容错功能。

4 连续轧制流程多智能体控制的模型

在连续轧制流程多智能体控制系统中,由不同控制子系统的多个智能体相互协作,实现对复杂系统的控制,共同构成多智能体控制系统。每个智能体是一个物理或抽象的实体,每个智能体具有自己特定的功能,它们分工、合作、相互交流,资源、信息共享,这样就动态地构建了一个对轧制条件变化具有

最佳反应能力的控制系统模型。图 3 给出了轧机多机架 Multi-Agent 系统的模型结构。

文献[12]和[13]的研究成果为 multi-Agent 分布式控制系统的设计和实施提供了切实可行的应用平台——集成架构(integrated architecture,IA)和指导方法。multi-agent 之间需要进行通讯和协调。在工业实时控制中,必须确保报文的实时性、准确性和可重复性。IA 架构中的 NetLinx 通讯网络将 DeviceNet 网络、ControlNet 网络和 EtherNet/IP 有机地融合在一起,在应用层中统一采用了 CIP(通用工业协议),从而实现了网络之间信息路由和无缝连接。不同网络层面、不同智能体之间的通讯无需处理器参与,实现了控制任务与通讯任务的分离,为提高分布式系统可靠性和系统重构能力奠定了基础,同时还简化了程序开发工作。

5 多智能体控制系统仿真平台的构建

对各个轧制流程中的各控制子系统分别进行建模,然后采用 IA 方式进行架构,如图 4 所示。该架构主要由 Logix 控制平台、NetLinx 通讯网络、ViewAnyWare 人机界面和 FactoryTalk 企业实时数据交换技术构成。其中,Logix 控制平台是 Agent 实现自主行为控制的基础,NetLinx 通讯网络是 Agent 之间相互通讯与协调的平台,FactoryTalk 企业实时数据交换技术为分布式系统中的数据共享与资源定位提供支持,ViewAnyWare 人机界面则为整个系统提供统一的监控和操作环境。构建连续轧制流程多智能体控制系统仿真平台,为进一步的理论研究和应用研究打下良好基础。

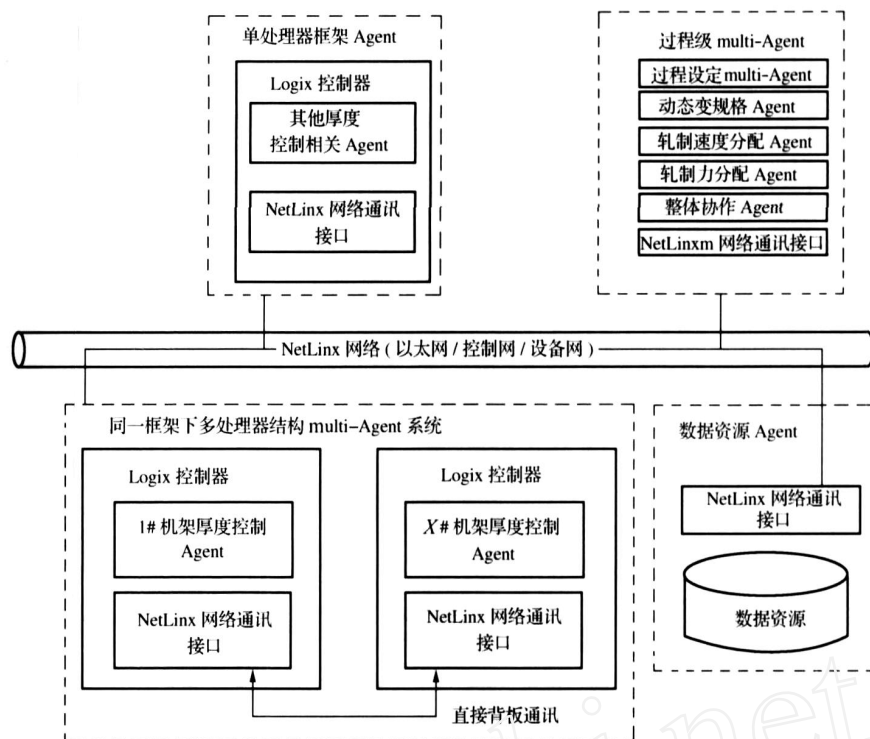


图3 基于多智能体的连续轧制过程控制系统结构模型

Fig. 3 Framework of multi-Agent control system for multi-stand rolling mill

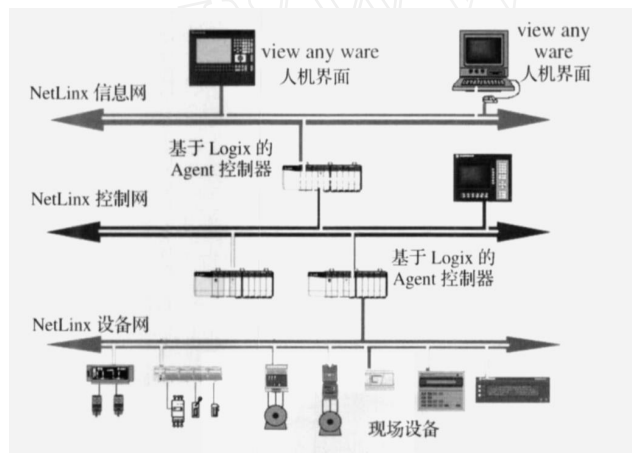


图 4 多智能体控制系统仿真平台的集成架构

Fig.4 Integrated architecture of simulation on multi-Agent control system

6 连续轧制过程多智能体控制系统的仿真和优化策略

板带材厚度控制理论中的模型大多数为单一的控制模型,是针对某一特定问题建立的、分别解决生产过程中的具体问题.所以,单个模型的应用局限性很大,也比较难以获得满意的效果.分布式 multi-Agent 技术就是克服这一局限性的重要途径,它可以实现多个控制模型的集成并协调运行.借鉴满意控制的基本思想,考虑每个性能指标对产品综合性能

的影响程度,以及用户对带钢产品各项性能指标的要求程度,提出系统的综合性能指标.在综合性能指标中,以权重或满意度的严格程度来表征各性能指标的重要程度.

基于综合性能指标求取综合优化控制策略,综合优化控制策略将体现在各个智能体之间对耦合变量的解耦、单个智能体对自身目标和全局目标的综合考虑、对多控制目标和多控制动作总体协调和优化等.在对国内钢铁企业多个冷、热连续轧制流程控制系统进行消化、研究和分析的基础上,收集大量现场数据,在所构建的仿真平台上进行连续轧制流程多智能体控制系统的仿真实验研究.对基于多智能体的控制系统设计方法、连续轧制流程多智能体的划分机制和协调机制等进行验证,实现对连续轧制流程多智能体控制技术的仿真和优化.

7 结束语

以连续轧制流程为代表的复杂工业流程,随着模型的增多和控制策略的复杂,对控制系统的集成和协作提出了更高的要求.现代连续轧制流程由于大多采用多层递阶的控制结构,控制系统内部联系紧密,自治程度不高,一旦某个控制环节出现故障,就会影响到其他控制子系统,甚至造成整个控制系统瘫痪.多智能体理论对于复杂系统、复杂问题的强

大表现力及其开放性、智能化的特性,无疑使它成为指导和支撑现代化工业过程控制系统的最佳理论选择之一.连续轧制流程中每一个控制子系统可归属为一个智能体,采用多智能体控制思想,可以建立轧制流程的的广义集成模型,有利于消除控制系统之间的耦合关系,实现连续轧制生产的高度自动化和智能化.

参考文献:

- [1]刘金琨,尔联洁.多智能体技术应用综述[J].控制与决策,2001,16(2):133-140.
LIU Jinkun, ER Lianjie. Overview of application of multi-Agent technology[J]. Control and Decision, 2001, 16(2):133-140.
- [2]王伟,柴天佑.工业中应用的控制技术发展新动向[J].控制工程,2006,13(1):1-5.
WANG Wei, CHAI Tianyou. Some trends of control techniques in application of process industry[J]. Control Engineering of China, 2006,13(1):1-5.
- [3]FRANCISCO P M. Methodologies and tools for intelligent Agents in distributed control[J]. IEEE Intelligent System, 2005(1):42-49.
- [4]蔡自兴,贺汉根.智能科学发展的若干问题[J].自动化学报,2002,28(增刊):142-145.
CAI Zixing, HE Hangen. Some issues on intelligence science development[J]. Acta Automatica Sinica, 2002, 28(Sup):142-145.
- [5]DUFFIE N A. Non-hierarchical control of a flexible manufacturing[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 1987, 3(2):175-179.
- [6]刘金琨,王树青.钢铁工业过程多智能体系统研究[J].信息与控制,1998,27(6):427-432.
LIU Jinkun, WANG Shuqing. Multi-Agent system for iron and steel industrial process[J]. Information and Control, 1998,27(6):427-432.
- [7]王江,杨家本,赵元.流程工业通用多智能体系统生产计划调度的原型系统[J].计算机集成制造系统,2000,6(6):61-65.
WANGJiang, YANGJiabben, ZHAO Yuan. Production planning and scheduling system based on MAS for

process industries[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2000,6(6):61-65.

- [8]VAADMIR M. Industrial adoption of Agent-based technologies[J]. IEEE Intelligent System, 2005(2):27-35.
- [9]DUFFIE N A, PRABHU V V. Real-time distributed scheduling of hierarchical manufacturing systems[J]. Journal of Manufacturing Systems, 1994,13(2):175-179.
- [10]JEFF Y C P, TENENBAUM J M. An intelligent Agent framework for enterprise integration[J]. IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics, 1991, 21(6):1391-1408.
- [11]STURM M. Hybridization of neural and fuzzy systems by a multi-Agent architecture for motor gearbox control[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1997, 89:21-26.
- [12]FRANCISCO P M, RAYMOND J. Methodologies and tools for intelligent Agents in distributed control[J]. IEEE Intelligent Systems, 2005(1):42-49.
- [13]VLADIMIR M, DUNCAN M. Industrial adoption of Agent-based technologies[J]. IEEE Intelligent Systems, 2005(1):27-35.

作者简介:



谭树彬,男,1974年生,讲师,博士,主要研究方向为复杂工业过程建模与控制以及轧钢自动化.



刘建昌,1960年生,男,教授,博士生导师,信息科学与工程学院院长,兼任教育部高等学校自动化专业分教学指导委员会委员,中国自动化学会教育工作委员会副主任委员、全国高等学校教学研究会自动化学科(专业)委员会副主任委员、辽宁省自动化学会理事,并兼任《控制与决策》、《东北大学学报》和《冶金自动化》等学术杂志的编委、RAL国家重点实验室客座教授,主要研究方向为智能控制理论与应用、复杂工业过程建模与控制,发表学术论文100余篇,出版专著2部,获国家专利2项.