

文章编号: 1001-0920(2002) 02-0203-04

列车运行过程的多 Agent 集成探讨

董海鹰^{1,2}, 李 军^{1,2}, 薛钧义¹

(1. 西安交通大学 工业自动化系, 陕西 西安 710049; 2. 兰州铁道学院 电信与自动控制系统, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 分析了铁路列车运行过程的特点, 讨论了其运行过程中智能控制的现状及存在的问题。针对采用单一智能模式控制的缺点及多目标运营要求, 提出采用多 Agent 集成技术, 建立铁路列车运行过程自动化的综合智能控制。讨论了建立列车运行过程控制的多 Agent 集成系统的必要性和可行性, 并给出该系统的结构和实现方法。

关键词: 列车运行过程控制; 模糊逻辑; 神经网络; 专家系统; 多 Agent

中图分类号: TP 18

文献标识码: A

Study on multiagent integration of train operation process

DONG Hai-yong^{1,2}, LI Jun^{1,2}, XUE Jun-yi¹

(1. Department of Industry Automation, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2. Department of Telecommunication & Auto control, Lanzhou Railway Institute, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The characteristics of train operation process are analyzed, and the present developing status of intelligent control for train operation process and existent problems are discussed. Owing to the disadvantage of single intelligent control mode and the multiobjective running demand, the multiagent integration technique is put forward to build an integrated intelligent control system for train operation. At the same time the necessity and feasibility of building the multiagent control system are discussed. The structure of the system and implement method are also provided.

Key words: train operation process control; fuzzy logic; neural network; expert system; multiagent

1 引言

列车的重载和高速一方面给铁路运输带来了新的曙光, 另一方面也向铁路自动化提出了挑战。尽管列车运行的控制由 ATP 和 ATC 发展到 ATO, 但由于列车的运行过程本来就是复杂多变的, 实施重载和高速后, 列车的安全隐患和不可控因素会大大增加, 同时传统的 ATP, ATC 和 ATO 都是基于传统控制方法的列车自动化控制系统, 所以难以适应日益复杂的运行。这就需要寻求新的控制策略, 以满

足列车重载和高速以及安全、正点、舒适的多目标要求。

列车的运行过程与一般的工业过程有着明显的区别, 它是定性与定量、时间与空间、局部线性与整体非线性、人-机结合的复杂过程。系统具有多个输入变量和多个输出变量, 绝大部分参变量具有非线性、时变、不确定性和空间分布性, 因而很难给出一个统一、确定、形式化的数学模型, 也无法给出安全性、舒适性、节能性等控制目标的形式化描述。

基于人工智能与软计算技术的智能控制得到迅

收稿日期: 2000-11-20; 修回日期: 2001-06-22

作者简介: 董海鹰(1966—), 男, 甘肃武威人, 博士生, 从事智能控制、数据挖掘等研究; 薛钧义(1937—), 男, 江苏江阴人, 教授, 博士生导师, 从事计算机控制技术、智能控制等研究。

速发展和广泛应用, 这为列车运行的自动化提供了强有力的手段。尤其是基于多 Agent^[1]集成的分布式智能系统框架, 非常适合列车这种具有串接式结构、时空分布的系统。

2 列车运行过程的多种智能控制模式

列车按运行工况可分为起动加速、恒速运行、调速制动、空气制动 4 个过程。在每一工况下, 列车的运行模型是不同的。若再细化到每一个运行区间, 应加上时间和空间的约束条件, 因此各个过程的特征和控制要求是不同的。在实际运行过程中, 上述模型交替出现, 控制目标和要求也随之变化, 单一控制器显然不能满足要求。

2.1 专家系统技术

在传统的列车控制中, 列车控制品质的优劣完全取决于列车司机的经验。于是, 人们自然想到把专家技术引入到列车控制中来, 这便形成了基于专家监督指导的列车智能控制系统^[2~4]。在这个人机系统中, 司机仍然是控制系统的主体, 计算机只是在人失去控制能力后才接管控制权。

但是, 专家系统无法表达符号以外的知识, 并且获取知识难, 实时性和自适应性差, 因此列车专家系统控制的智能化程度并不高, 得到的控制品质也不是很好。这就需要把专家系统与其它智能化技术(如模糊逻辑技术、神经网络技术等)相结合, 为列车控制提供新的途径, 以得到更好的控制品质。

2.2 神经网络技术

神经网络具有很强的非线性逼近能力、优化能力和容错能力, 非常适合于列车运行过程的建模与控制。文献[5]把神经网络用于驼峰的速度控制, 文献[6]把列车的每一工况用一个神经网络来建模并进行控制, 均取得了较好的效果。

但是, 神经网络不能定义事例特征, 缺乏逻辑模型具有的体系性, 对一些具有模糊的知识不能处理或处理不好。神经网络将控制问题看成“黑箱”的映射问题, 缺乏明确的物理意义, 控制经验的定性知识不易融入控制中, 因此它的应用受到了一定的限制。鉴于这种情况, 可将神经网络技术与其它智能体结合起来, 构成一个集成智能控制系统。

2.3 模糊控制技术

基于模糊预测控制技术的具有 ATD 功能的智能化地铁列车控制系统, 于 1984 年在日本仙台市开发成功并投入应用。此后, 德国、法国等一些国家也

将模糊技术用于列车控制。文献[7~9]用模糊控制技术实现了列车运行控制。但是模糊控制是基于规则的推理, 要有足够的系统控制知识, 方可进行很好的控制, 而现实中要对复杂的控制系统获取足够的专家知识往往是不可能的。另外, 模糊控制对于系统的定量数据缺乏学习能力。

由上述分析可知, 不能用单一的模型来描述列车的整个运行过程。对于这种具有特殊性的复杂系统, 必须采用多模型集成的技术, 建立分布式多 Agent 集成系统, 以取长补短, 互为扩充, 解决复杂的综合性的智能问题。集成系统不仅应有神经网络的学习能力、优化能力和连接式结构, 而且应有模糊系统类似于人类思维方式的 If-Then 规则并易于嵌入专家知识, 此外还应有遗传算法的全局优化能力^[10]。

3 列车运行过程控制的多 Agent 集成框架

3.1 多 Agent

Agent 是一个具有控制问题求解机理的计算单元, 它可以指一个机器人, 一个专家系统, 一个过程, 一个模式或求解单元。Agent 既能完成各自的局部问题求解, 又能通过协作求解全局问题。Agent 相互协作产生不同的行为, 响应不同的环境。每个 Agent 根据当前的状态决定自己的行为, 协作解决当前的全局任务。多 Agent 系统是分布式智能控制的一个分支, 其目的是将大的复杂系统建成若干小的且易于管理、彼此能相互通信及协调的智能体。多智能体具有如下特点:

1) 整个系统是一个分布式系统, 具有一般分布式系统所具有的资源共享、易于扩展、可靠性高、灵活性强和实时性好的特点;

2) 各智能体之间相互协调与合作, 以解决大规模的复杂问题, 并能克服建立庞大的知识库所造成的知识管理和扩展的困难;

3) 系统具有很强的鲁棒性和可靠性, 即使某些智能体不能正常工作, 系统的性能也不会显著下降或引起系统崩溃。

3.2 列车运行过程多 Agent 系统的模型

铁路列车运行控制过程可以看作一个多 Agent 系统。它涉及制动、控制、检测、诊断、供电、信号系统等, 其中每一个子系统, 每一个环节, 每一个工况, 都相当于一个多 Agent 系统。采用多 Agent 技术, 可

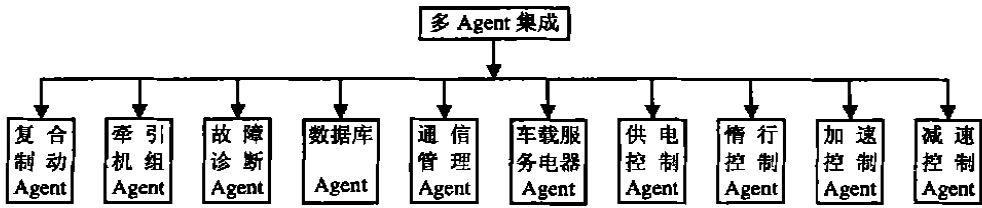


图 1 列车运行过程层次结构的多 Agent 策略

以实现各种控制方法及数学模型、专家系统、神经网络、模糊控制的系统集成, 以建立列车控制系统的典型对象, 对列车运行过程进行分布式智能控制, 从而实现铁路运输的高度自动化。从控制角度看, 近似动力学模型、模糊控制、神经网络、专家系统都可看成列车运行控制系统的子系统(Agent)。这些子系统分别用于列车运行过程的不同工况或相同工况以及其它功能环节的测控。在实际应用中, 各子系统之间需要相互协调。

从列车运行过程看, 列车在区段运行的目标是安全、迅速、平稳地抵达预定停车点。在一个区段的运行中, 包含不同的运行状态(工况), 相邻工况之间具有因果联系, 即前一个工况的终端状态为后一个工况的初态。各工况都有自身的模型与特点, 采取的控制策略也不相同。所以可将每一工况看作一个 Agent, 各 Agent 之间相互协作, 共同完成运行任务。列车运行过程具有层次结构的多 Agent 集成框架如图 1 所示。

但是, 从层次结构中某一个功能 Agent 的内部运行过程看, 各个环节的 Agent 或各个功能块的 Agent 之间又具有时序结构, 如图 2 所示。

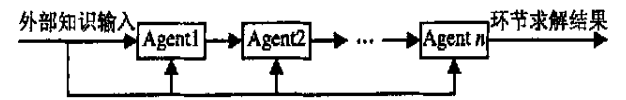


图 2 时序结构的 Agent 集成策略

铁路运输网具有较好的软、硬件基础, 网络通讯技术比较成熟。智能控制理论的发展和高速网络技术以及现场总线技术的发展, 为分布式智能控制奠定了基础。从智能系统的角度看, 单一智能系统没有足够的知识、资源和信息去解决一个全局问题, 需要多 Agent 之间的相互协作与协调。因此, 从控制角度和运行角度看, 建立列车运行过程的多 Agent 集成系统是必要而可行的。

3.3 列车运行过程多 Agent 系统特征与计算机集成结构

列车运行过程的知识包含描述性知识、判断性

知识和过程性知识。根据铁路运输的实际情况, 列车运行控制系统具有如下特征: 1) 既有定性的描述, 又有定量的描述; 2) 具有时间与空间的统一性; 3) 确定性知识和非确定性知识同时存在; 4) 运行过程的复杂性和可变因素的多样性; 5) 存在信息的共享、传递、时变以及运行过程中的突发性事件、路况的恶化、机车车辆的各种故障等实变性。

在列车运行的多 Agent 集成系统中, 针对各过程具有等同地位的特点, 应采用分布式的方法, 即任一子系统不具有全局信息, 问题的解决要通过协作共同完成。其结构可分为以下 3 个层次:

- 1) 通讯层: 主要负责各子系统之间以及协作层中协作模块之间信息的收发;
- 2) 协作层: 为各子系统之间交换信息提供一个平台, 它是分布式智能控制中比较重要的一层;
- 3) 控制层: 即协作层与控制对象之间的接口, 接受来自协作层的命令, 指导控制任务的执行, 不同的 Agent 可映射成运行在不同计算机平台(软件、硬件) 上的软件模块。

根据列车自身的特点及现代工业控制网络技术, 可以构建多 Agent 系统的计算机网络。图 3 是一种支撑多 Agent 系统的计算机集成方案。由于铁路运输的多 Agent 系统具有多个知识源、信息量大、各知识源相互独立的特点, 可采用黑板模型建立知识库。

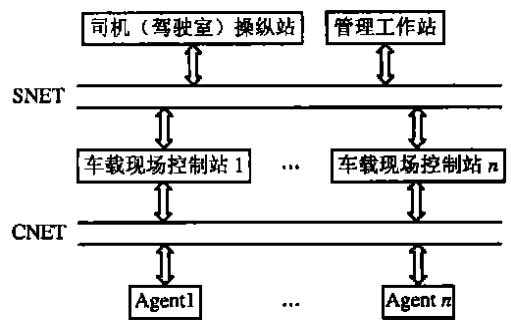


图 3 列车多 Agent 计算机集成方案

3.4 黑板调度系统

Agent 在一般情况下按如下方式工作: 首先从

公告板的广播中取得当前状态,并由“开关”做出决策,选择特定的内核功能和 I/O 通道。内核处理来自输入通道的数据,并把结果输出到相应的输出通道。多 Agent 同时推断处理结果,对结果数据做出评价,作为事件报告给公告板。列车的公告板调度系统如图 4 所示。

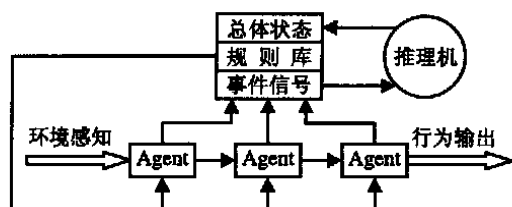


图 4 列车公告板调度系统

列车控制系统采用分布式平行处理方式。公告板系统仅是信息中心而不是控制中心,即公告板本身并不发送指令去指挥各个 Agent 工作,而仅对总体做出估计,得到总体状态,然后以广播形式发送给各个 Agent。Agent 根据总体状态调整自己的工作方式,与其它 Agent 协调共同完成当前的任务。

4 列车运行过程的多 Agent 协作

4.1 协作目的

列车运行有 3 种典型的牵引策略:1) 节时策略,即求得最少运行时间;2) 节能策略,即确定在给定线路条件下的最节能牵引方式;3) 在给定线路条件、列车参数、两点间运行时分条件下,求解较为节能的牵引方式。第 3 种策略显然较好,但是该策略仅靠某一子系统是无法实现的。

在列车运行的多 Agent 集成控制系统中,各子系统只有通过相互协作,才能实现以下运输目的:1) 通过并行性提高任务的完成率;2) 通过共享资源扩大完成任务的能力范围;3) 使用不同的方法去完成任务,提高任务完成的可靠性;4) 通过避免任务间的有害相互作用减少任务间的冲突。

4.2 多 Agent 协作

列车运行过程控制的多 Agent 协作,实现并完成多变量大系统的总目标和任务。对于多 Agent 集成系统,主要是研究在各 Agent 协作的环境下如何协调多 Agent 的行为。各 Agent 之间的协作关系到各工况能否顺利衔接,各子系统能否正常工作,以实现安全、正点、舒适的运输。其中运行工况控制 Agent、故障诊断 Agent、牵引电动机控制 Agent、供电 Agent 是并行工作的,它们的协作通过黑板调度

来完成。在这 4 个运行工况中,其控制 Agent 是一种串行工作方式,协作是有因果性的。

在列车运行过程中,各个 Agent 采用不同的知识和数据进行推理,并可采用不同的推理机制。如果各个 Agent 相互作用,就会大大提高系统解的可信度。比如:数学模型采用深层次、数值化的知识,而专家系统采用浅层次、符号化的知识,通过协作实现浅层与深层知识的集成。列车控制系统中的协作采用水平协作方式。

在分布式智能控制中,主要的协作形式可分为两类:任务共担和结果共享。列车运行过程中知识量大,数据和信息多,应采用任务共担的方法。即分别用子系统承担各自的任務,而且各子系统还可将任务分配下去,分成更小的子系统。关键是如何划分子系统,可按物理上的连接关系来划分,也可按任务的因果关系来划分。对于列车运行过程,可以结合二者来划分。

5 结 论

本文分析了列车运行过程的多 Agent 集成控制,给出了基于多 Agent 的分布式智能控制系统的策略,并且讨论了各 Agent 之间的协作问题。当前,我国铁路各线路都在实施提速战略,多 Agent 分布式智能控制系统无疑是铁路运输全面提速的技术保障。下一步的研究工作是各个 Agent 的知识表示、推理、协作及它们的集成。

参考文献(References):

- [1] Shugen Ma, Hackwood S, Beni G. Multi-agent supporting systems (MASS): Control with centralized estimator of disturbance [A]. IROS 94, Proc of the IEEE/RSJ/GI[C]. Munich, 1994. 679-686.
- [2] 董海鹰. 列车专家控制系统研究[D]. 兰州: 兰州铁道学院, 1998.
- [3] 董海鹰. 列车专家控制系统的知识表示研究[J]. 测控技术(Measurement & control Technology), 1999, 18(4): 7-9.
- [4] 董海鹰, 党建武. 基于框架式模糊 Petri 网的列车专家控制系统的知识表示研究 [J]. 铁道学报 (J of China Railway Society), 2000, 19(3): 112-115.
- [5] 党建武, 靳蕃. 驼峰速度控制系统中神经网络方法的研究[J]. 铁道学报 (J of China Railway Society), 1996, 18(5): 69-74.

(下转第 218 页)

仿真中, 由该模型产生 300 个采样点, 稳态后前 50 个点作为初始数据, 随后的 50 个数据均落于 C 区。重新作假设检验, 置信区间边界经一次调整后便固定不变。从控制图中可看出第 200 个采样时刻检测到故障, 从 SPE 图也可明显看出有故障发生。经诊断确定是控制量 u_1 发生异常, 实际原因是该时刻 u_1 发生阶跃扰动。截取的部分监测图如图 2 所示, 其中 “*” 为正常数据, “+” 为故障数据。

5 结 论

本文从实际生产过程经验出发, 提出了如何在线判别过程的新采样数据是正常数据、劣点或故障数据的准则, 以及如何更改正常操作域的一种实验方法; 同时提供了一种基于迭代 PCA 的过程监测算法, 实现了生产过程的在线建模和实时监测, 也可以进行简单的故障诊断。由于各种生产过程本身特性的不同, 在应用准则判断过程是否正常时要根据具体情况而定。应用本文算法对双效蒸发器模型进行仿真, 证明该算法是有效可行的。

参考文献(References):

[1] E B Martin, A J Morris, J Zhang. Process performance monitoring using multivariate statistical process control [J]. IEE Proc Contr Theory Appl, 1996, 143(2): 132-144.

[2] F Jia, E B Martin, A J Morris. Multiple sensor disturbance identification through principle component analysis[A]. Proc of the 14th IFAC[C]. Beijing, 1999. 551-556.

[3] Barry M Wise, Neal B Gallagher. The process chemometrics approach to process monitoring and fault detection[J]. J Process Contr, 1996, 6(6): 329-348.

[4] J Zhang, E B Martin, A J Morris. Fault detection and diagnosis using multivariate statistical techniques [J]. Chem Eng Res, 1996, 74(12): 89-96.

[5] S Joe Qin, Weihua Li, H Henry Yue. Recursive PCA for adaptive process monitoring[A]. Proc of the 14th IFAC[C]. Beijing, 1999. 85-90.

[6] Bhupinder S Dayal, John F MacGregor. Recursively exponentially weighted PLS and its applications to adaptive control and prediction[J]. J Process Contr, 1997, 7(3): 169-179.

[7] S Joe Qin. Recursive PLS algorithms for adaptive data modeling[J]. Comp Chem Eng, 1998, 22(4/5): 503-514.

[8] S Wold. Cross-validatory estimation of the number of components in factor and principle components models [J]. Technometrics, 1978, 20(4): 397-405.

[9] Golub G H. Some modified matrix eigenvalue problems [J]. SIAM Rev, 1997, 15: 318-334.

[10] 蒋慰孙, 叶银川. 多变量控制系统分析与设计[M]. 北京: 中国石化出版社, 1997.

(上接第 206 页)

[6] Jing Wan, Zi-xing Cai, Li-min Jia. Automatic train operation based on direct fuzzy neural control[A]. Proc of the 2nd Chinese World Congress on Intelligent Control and Intelligent Automation[C]. Xi'an, 1997. 578-584.

[7] 何兵, 万百五, 贾利民. 高速列车自动运行智能控制器设计研究[A]. 第 2 届全球智能控制大会论文集[C]. 西安, 1997. 572-577.

[8] 何兵, 万百五. 递阶模糊逻辑系统研究及其在列车自动化中的研究[J]. 西北工业大学学报(J of Northwestern

Polytec Univ), 1998, 16(3): 427-433.

[9] Chang C S, Xu D Y. Differential evolution based tuning of fuzzy automatic train operation for mass rapid transit system[J]. Proc of the IEE, 2000, 147(3): 206-212.

[10] Seong Ho Han, Yun Sub Byen, Jong Hyen Baek, et al. An optimal automatic train operation (ATO) control using genetic algorithms (GA) [A]. TENCON '99, Proc of the IEEE[C]. Cheju Island, South Korea, 1999. 360-362.