

网络化多智能体系统的事件触发一致性研究

姜全福, 余丽娟

南昌应用技术师范学院, 江西 南昌 330108

摘 要 : 本文展开了对网络化多智能体系统的事件触发一致性研究。概述了多智能体系统和事件触发机制, 揭示了其基本概念和分类, 并对多智能体系统中事件触发的应用进行了阐述。对网络化多智能体系统的特性和面临的挑战进行了探讨, 特别强调了事件触发一致性的重要性和所面临的困境。叙述了事件触发一致性研究的现状, 包括对已有研究成果的相关理论和方法的概述和分析。结合对研究现状的总结, 为网络化多智能体系统的发展提供理论支撑和技术指导, 提出了未来研究的展望和改进方向。

关 键 词 : 网络化多智能体系统; 事件触发; 多智能体系统

Study On Event Triggering Consistency Of Networked Multi-Agent Systems

Lou Quanfu, Yu Lijuan

Nanchang Normal College of Applied Technology, Nanchang, Jiangxi 330108

Abstract : In this paper, the event-triggered consistency of networked multi-agent systems is studied. This paper summarizes the multi-agent system and event triggering mechanism, reveals its basic concept and classification, and expounds the application of event triggering in multi-agent system. The characteristics and challenges of networked multi-agent systems are discussed, especially the importance of event-triggered consistency and the dilemma. This paper describes the current situation of the study of event-triggered consistency, including the summary and analysis of the relevant theories and methods of the existing research results. Combined with the summary of the research status, it provides theoretical support and technical guidance for the development of networked multi-agent systems, and puts forward the prospect and improvement direction of future research.

Keywords : networked multi-agent system; event trigger; multi-agent system

一、引言

随着信息技术的迅猛发展, 网络化多智能体系统正成为当今社会中的重要组成部分。这些系统由多个智能体组成, 这些智能体可以相互交互、协作和竞争, 从而实现各种复杂的任务和功能。这种系统广泛应用于物联网、智能交通、工业自动化等领域, 为社会的发展和进步提供了巨大的推动力。随着系统规模的增大和功能的复杂化, 如何有效地管理和控制多智能体系统中的事件触发成了一项关键挑战^[1]。

多智能体系统中的事件触发是指当系统中的某些条件或事件发生时, 触发系统中其他智能体的相应行为或反应。在网络化环境中, 多智能体系统的事件触发机制更加复杂和多样化, 涉及各种网络通信、信息传输和决策协调等方面的问题。在智能交通系统中, 当某车辆检测到交通拥堵时, 它可以通过网络向其他车辆发送信息, 以协调交通流量并减少拥堵情况。在工业自动化领域, 多个机器人可以通过网络实时共享任务信息, 实现协作操作和生产调度。研究如何实现网络化多智能体系统中的事件触发一

致性, 具有重要的理论意义和实际应用价值。

二、多智能体系统的事件触发机制

(一) 多智能体系统概述

多智能体系统 (Multi-Agent Systems, MASs) 是由多个智能体 (Agent) 组成的复杂系统, 每个智能体都具有自主性、感知能力和决策能力, 能够根据环境变化和其他智能体的行为作出相应的响应。在多智能体系统中, 智能体之间通过通信和协作来完成各种任务和目标, 形成了一个分布式的决策和执行网络^[2]。智能体可以是机器人、传感器、软件代理等各种实体或虚拟实体, 它们可以位于不同的地理位置, 运行在不同的计算平台上, 并且可以具有不同的功能和能力。多智能体系统的设计和实现涉及智能体的建模与设计、通信协议的设计以及系统整体的协调与管理等方面。

在多智能体系统中, 智能体之间的关系通常是动态变化的, 它们之间可以相互竞争, 相互协作, 相互学习, 从而形成一套复

作者简介:

姜全福 (1979年9月-), 男, 蒙古族, 江西抚州, 硕士, 教授, 研究方向: 课程与教学论 (数学), 应用数学和教育教学。

余丽娟 (1988年2月-), 女, 汉族, 江西上饶, 硕士研究生, 高校讲师, 研究方向: 马克思主义理论, 高校思想政治教育。

基金项目:

江西省教育厅科学技术研究项目, 基于动态事件触发的离散时间多智能体系统安全一致性, 项目编号: GJJ2203203

江西省教育厅科学技术研究项目, 课题名称: 基于非线性方程组有限元方法的采摘机器人模拟研究, 课题编号: GJJ219003

杂的自组织系统（self-self-）不受中心化控制机构的指导，而是由各个智能体的局部行为和相互作用决定了多智能体系统的行为。这种分布式决策与执行结构，使多智能体系统在应对复杂、动态和不确定环境时，具有较高的灵活性和应变能力^[3]。智能交通、智能制造、智能家居、物联网等各种领域都可以应用多个智能车身系统，为人类生活、工作带来了诸多便利与变革。在智能交通系统中，多台智能车辆可以实现优化交通流量，并通过通信和协作来预防交通事故的发生；在智能制造中，多台智能机器人协同工作，生产效率和质量都能得到提升^[4]。应用前景广阔，具有研究价值的多智能车身系统。

（二）事件触发的定义与分类

事件触发是多智能体系统中的一种重要机制，指的是当系统中的某些条件或事件发生时，触发系统中其他智能体的相应行为或反应。在多智能体系统中，事件触发机制扮演着协调和控制智能体行为的重要角色，能够实现系统的灵活性和自适应性。事件触发可以根据触发的方式和机制进行分类，主要分为外部事件触发和内部事件触发两类。

外部事件触发是指由系统外部环境或其他系统产生的事件引发系统中智能体的响应。这些外部事件可以是来自传感器的环境变化信息、用户的指令或其他系统的消息等。在智能交通系统中，当传感器检测到交通拥堵或者车辆之间的碰撞时，会触发系统中其他车辆采取相应的行驶策略，以减少交通事故的发生和交通拥堵的程度。内部事件触发则是指系统内部的某些条件或事件引发智能体间的相互作用和协调^[5]。这些内部事件可以是某个智能体完成了特定任务、达到了某个状态或者发生了某种变化。在工业自动化系统中，当某个机器人完成了特定的生产任务时，会触发其他机器人或系统采取相应的行动，实现生产线的协调运作。通过对事件触发的分类和定义，可以更好地理解多智能体系统中事件触发机制的本质和作用，为系统设计和优化提供指导和参考。

（三）事件触发在多智能体系统中的应用

事件触发广泛而深入地应用于多智能车身系统。这一机制不仅可以促进智能机体之间的协作与信息沟通，而且可以提高系统的响应速度与效率，从而实现系统功能的最优化与智能化。在智能交通领域，在交通管理和车辆控制系统中，广泛使用事件触发机制。当红绿灯检测到某路口车流量过大时，为优化车辆通行流畅度，系统会触发信号灯时长的调整^[6]。智能车辆之间还可以通过事件触发机制，提高交通安全和效率，实现信息共享和协同行驶。在物联网中，实时监控和控制环境变化，可以通过事件触发机制实现各种传感器节点。当一个温度传感器察觉到周遭气温超越既定界限时该系统将自动启动警示并执行必要的调节行动，例如启动空调或通风系统，协助人们迅速适应气候的波动，同时提升能源的使用效率与减缓资源的耗损。在制造业的自动化领域通常采用基于事件的启动机制来安排生产流程和任务合作。例如当一个机器人完成了它的指定生产活动，它会激发其他机器人或控制系统开始执行接下来的工序，这样确保了生产线的流畅对接与高效运作^[7]。通过这种方式不仅实现了生产过程的自主化与智能

化，而且还在提升生产速度和品质的同时，达到了资源使用的最佳化。借助于事件激发系统制造业的作业流程得以转变为自动化与智能化操作。这一转变不仅提升了制作效能与产品品质而且还确保了资源的最佳化配置。

三、网络化多智能体系统的特点与挑战

（一）网络化系统的特点

其高度分布式、动态变化和异构性主要体现了网络化多智能体系统的特点。联网系统是由多个通过网络连接的智能体组成的，它们之间可以在不同的计算平台上运行，处于不同的地理位置。这种高度分布式的结构，使系统在适应不同环境和应用需求的同时，灵活性和扩展性都很强。联网系统的结构和拓扑经常是动态变化的，随着时间和环境的变化，智能体之间可能会发生连接和关系的变化。这种动态性需要通过适应性极强的算法和机制来实现系统的稳定可靠运行，从而使系统的设计和管理变得更加复杂和困难^[8]。联网系统中的智能体，其功能和能力往往不同，对系统的整合和交互都会带来一定的挑战，可能会采用不同的通讯协议和数据格式。

（二）多智能体系统的挑战

NetworkMulti-Smart 系统面临诸多挑战，主要包括通信延迟、信息不确定、冲突协调以及安全隐私等方面。智能机体之间的信息传递可能会因网络通信的延迟和不稳定而产生一定的延迟和丢包现象，从而对系统的实时性和响应性产生影响。系统中的信息不确定性是一个普遍存在的问题，智能机体往往只能获取局部的信息，而这种信息不对称会导致系统决策和行为不够准确和一致，因此对整个系统的整体状态的了解有限。资源分配冲突、任务调度冲突等智能机体之间在多智能体系统中可能存在的冲突和竞争，需要通过恰当的协调机制加以解决。智能机体之间的通信和数据传输可能受到攻击和窃听，导致系统安全受到威胁，这也是互联网系统中安全和隐私保护的重要挑战。网络化多智能体机器系统在设计 and 实现过程中迫切需要解决的关键问题是如何有效地管理和解决这些挑战。

（三）事件触发一致性的必要性与困难

事件触发一致性是网络化多智能体系统中保证系统稳定与性能的重要因素。事件触发一致性要求能够在系统中的某一事件发生时，为了保持系统的一致性和协调性，触发所有相关智能体的相应行为或反应。网络化多智能体系统中实现事件触发一致性并不是一件容易的事情。可能导致不同智能体之间的事件触发时间不一致，从而影响系统的整体一致性，因为系统的分布式结构和网络通信的延迟。智能体之间的异构性和信息不对称性，会使事件触发的条件和响应方式产生差异，使管理和控制难以统一。如何合理调度和协调事件触发，可能存在系统中的冲突和竞争现象，可能存在不同智能体之间的优先级和权重不同的问题，具有挑战性。事件触发一致性的实现需要采用合适的算法和技术手段，综合考虑系统的结构特征、沟通机制和协调策略等因素加以解决。

四、事件触发一致性研究现状

（一）相关理论与方法概述

事事件触发一致性的研究涉及多智能体系统的协同控制、通信协议设计和分布式算法等多个领域。在相关理论与方法概述中，时间同步算法是其中一项关键技术^[9]。时间同步算法的目标是确保系统中的智能体在相同的时间点上触发事件，以维持系统的一致性。常见的时间同步算法包括：基于网络时间协议（Network Time Protocol, NTP）的时钟同步算法和逻辑时钟（Logical Clocks）算法。NTP 算法通过网络中的时间服务器向智能体提供精确的时间信息，实现智能体间的时钟同步。逻辑时钟算法则利用事件发生的先后顺序来标记事件的逻辑时间戳，从而实现智能体间的事件顺序一致性。逻辑时钟的更新规则可以表示为：

$$C_i(t) = \max(C_i(t'), V_j(t)) + 1$$

其中 $C_i(t)$ 表示智能体 i 的逻辑时钟， t' 是智能体 i 上一个事件的时间戳， $V_j(t)$ 表示智能体 j 在时间 t 时的逻辑时钟。

基于事件图的建模方法是研究事件触发一致性的重要手段，除了时间同步算法。事件图可以清晰地描述事件触发关系和系统中的时序限制，有助于研究者对事件触发的先后顺序和时序关系进行分析。事件图的数学表述可以用有方向的图 $G=(V,E)$ 来表示，系统中的事件以节点 V 来表示，事件之间的触发关系则用边 E 来表示。通过分析事件图来实现系统的一致性和稳定性，合适的事件触发策略和控制算法可以被设计出来。在当前的事件触发一致性研究中，时间同步算法和基于事件图的建模方法是两个重要的方向，它们提供了重要的理论支持和技术手段，以实现联网多智能体系统的稳定运行。

（二）已有研究成果与案例分析

有许多理论和方法被提出，并在事件触发一致性研究领域取得了一些重要的研究成果。有研究者提出了基于事件图（EventGraph）来描述事件触发关系和系统中时序约束的建模方法。事件图可以表示系统中的事件和触发条件为结点，以边表

示触发关系，这样就形成了有方向的图形结构。基于事件图的建模方法可以帮助研究人员设计合适的触发策略和控制算法，以分析事件触发的顺序和系统中的时序关系。部分研究工作还对事件触发一致性方法的有效性和性能进行了模拟实验和案例分析的验证。研究者可以通过在智能交通系统中的应用实验，评估不同事件触发策略对系统交通流量和拥堵状况的影响，使控制算法和协调策略在系统中得到优化。

（三）研究存在的不足与改进空间

虽然在事件触发一致性方面有了不少研究工作的进展，但仍有一些不足之处，也有一些问题需要解决。现有的方法常常假定系统中的智能体之间存在着对可能出现的恶意攻击和安全威胁的完全信任和协作，而对此加以忽视。未来的研究能够加强对事件触发一致性算法的考虑，该算法能够更加健康和更安全地设计在系统安全和隐私保护方面。对系统动态变化和不确定因素的处理往往缺乏现有的方法，对复杂的动态环境不能很好地适应^[10]。实现对环境变化和不确定性的系统适应性调整和优化，可引入适应性控制和强化学习等方法。现有的方法往往只考虑技术和算法，即事件触发一致性，而忽略匹配商业需求和用户预期。未来的研究可以将事件触发一致性的方案设计得更符合实际需求和可行性，与实际应用场景和用户需求相结合。

五、结论

本文对事件触发一致性的重要性和面临的困难进行了分析，对已有研究成果和案例进行了回顾，对有关理论和方法进行了分析，对事件触发一致性研究的现状和进展进行了揭示。对现有研究中的不足和改进空间进行了总结，并对今后的研究提出了展望和努力方向。事件触发一致性的研究不仅涉及技术层面的挑战，还需要考虑到系统的安全性、适应性和实用性，为推动网络化多智能体系统的发展和应用，未来的研究还需要继续加强系统整体性能的优化和改进。

参考文献：

- [1] 基于多率采样的 MASs 在 FDI 攻击下的安全一致性 [J]. 贾新春; 吕腾; 王悦; 白文杰. 山西大学学报 (自然科学版), 2022(05): 1186-1194.
- [2] 陈婷; 牛兴龙; 兰艳亭. 具有外部干扰的非线性多智能体系统的编队控制 [J]. 系统科学与数学, 2023(05): 1106-1119.
- [3] 王悦; 贾新春; 游秀; 吕腾. DoS 攻击下基于多率采样的多智能体系统安全一致性 [J]. 控制理论与应用, 2022(10): 1890-1897.
- [4] 赵玉康. 基于云的网络化多智能体系统分布式一致性控制 [D]. 南京邮电大学, 2023.DOI: 10.27251/d.cnki.gnjdc.2023.001647.
- [5] 张雅淳; 武艳; 杨清海. 通信链路感知的多智能体动态事件触发一致性控制 [J/OL]. 北京邮电大学学报, 2024, 47 (02): DOI: 10.13190/j.jbupt.2023-106.
- [6] 陈世明; 叶舒康; 马旭阳, 等. 基于事件触发的不确定多智能体系统自适应一致性 [J/OL]. 控制理论与应用, 2023-12-15.
- [7] 林娜. 基于事件触发的网络化多智能体系统一致性问题研究 [D]. 中国科学技术大学, 2023. DOI: 10.27517/d.cnki.gzkju.2023.000051.
- [8] 吕伊铮. 有向拓扑下基于动态事件触发的多智能体系统领导跟随一致性研究 [D]. 华东交通大学, 2023. DOI: 10.27147/d.cnki.ghdju.2023.000104.
- [9] 张保俊. DoS 攻击下多智能体系统隐私保护平均一致性研究 [D]. 杭州电子科技大学, 2023. DOI: 10.27075/d.cnki.ghzdc.2023.001217.
- [10] 熊明月. 网络攻击下基于事件触发的多智能体系统一致性控制 [D]. 西南大学, 2023. DOI: 10.27684/d.cnki.gxndx.2023.003457.