

中文引用格式:王渊洁,王秉,史志勇,等. 平行安全管理及其模型研究[J]. 中国安全科学学报, 2025, 35(3): 45-51.

英文引用格式:WANG Yuanjie, WANG Bing, SHI Zhiyong, et al. Study on parallel safety & security management and its model[J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(3): 45-51.

平行安全管理及其模型研究*

王渊洁^{1,2,3}, 王秉^{1,2,3}教授, 史志勇^{1,2,3}, 陈嘉鑫^{**1,2,3}助理研究员

(1 中南大学 资源与安全工程学院, 湖南长沙 410083; 2 中南大学 安全理论创新与促进研究中心, 湖南长沙 410083; 3 中南大学 安全科学与应急管理研究中心, 湖南长沙 410083)

中图分类号: X915.2 文献标志码: A DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.03.0625

基金项目: 长沙市自然科学基金资助(kq2402230); 湖南省教育厅资助科研项目(24B0032); 湖南省自然科学基金资助(2024JJ5455); 中南大学“高端智库”项目(2024znzk01)。

【摘要】 为丰富安全管理理论, 创新安全管理范式, 基于平行系统理论与安全管理理论, 开展平行安全管理研究。首先从平行系统理论出发, 结合现代安全管理学知识, 探讨平行安全管理的概念, 并提出平行安全管理概念模型; 然后构建并解析平行安全管理模型; 最后以城市安全为例, 应用分析平行安全管理模型。结果表明: 平行安全管理是一种通过实现人工安全系统和现实安全系统之间的虚实互动, 进而达到解决复杂安全问题、有效实施安全方案和高效培训人员等多重目标的安全管理新范式, 其模型具有突破现实条件制约、灵活性和可扩展性、高性能分布式计算、冗余性与容错性、模拟预测与持续改进和任务调度与负载均衡等特点, 可为城市安全管理等复杂系统安全管理提供模式参考。

【关键词】 平行安全管理; 安全管理模型; 平行系统理论; 人工安全系统; 计算实验; 平行执行

Study on parallel safety & security management and its model

WANG Yuanjie^{1,2,3}, WANG Bing^{1,2,3}, SHI Zhiyong^{1,2,3}, CHEN Jiaxin^{1,2,3}

(1 School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha Hunan 410083, China; 2 Safety & Security Theory Innovation and Promotion Center (STIPC), Central South University, Changsha Hunan 410083, China; 3 Safety & Security Science and Emergency Management Center, Central South University, Changsha Hunan 410083, China)

Abstract: In order to enrich the safety & security management theories and innovate the safety & security management paradigm, the research work of parallel safety & security management was carried out based on the parallel system theory and safety & security management theory. Firstly, starting from the parallel system theory and combining with the knowledge of modern safety & security management, the concept of parallel safety & security management was explored and the parallel safety & security management conceptual model was proposed. On this basis, the parallel safety & security management model was constructed and explained. Finally, taking urban safety & security as an example, this paper analyzed the application of the parallel safety & security management model. The research shows that

* 文章编号: 1003-3033(2025)03-0045-07; 收稿日期: 2024-10-10; 修稿日期: 2024-12-13

** 通信作者: 陈嘉鑫(1993—), 男, 重庆人, 博士, 博士后, 助理研究员, 主要从事生成式人工智能安全与国家安全学等方面的研究。E-mail: 2496674906@qq.com。

parallel safety & security management is a new paradigm for safety & security management through realizing the virtual-real interaction between artificial safety & security systems and real safety & security systems to achieve multiple objectives such as solving complex safety & security problems, effective implementation of safety & security solutions and efficient training of personnel. Its model has the characteristics of breaking the constraints of real-world conditions, flexibility and scalability, high performance distributed computing, redundancy and fault tolerance, simulation prediction and continuous improvement, task scheduling and load balancing, which can provide a model reference for safety & security management of complex systems, such as urban safety & security management.

Keywords: parallel safety & security management; safety & security management model; parallel system theory; artificial safety & security system; computational experiment; parallel execution

0 引言

随着信息技术的蓬勃发展和数据体量的爆发式增长,信息空间已形成多人、多机和多物的开放性网络世界。人类已从传统的二元空间(物理空间和社会空间)迈向由物理空间、社会空间及信息空间共同构成的三元空间^[1]。与此同时,系统安全问题正从二元空间交互安全逐渐发展演变为三元空间交互安全^[2]。在此背景下,基于平行系统理论的平行安全管理得到学界关注。

王飞跃^[3]最先提出平行世界的平行安全,并构建基于社会物理信息系统(Cyber-Physical-Social Systems, CPSS)的生成式对抗安全智慧系统。李滢东等^[4]以平行系统理论为基础,提出平行安全系统框架。韩金朋等^[5]提出元安全概念,并阐述了平行安全的框架、关键技术与应用案例。陈晓光等^[6]构建了“灵境卫士”网络安全平行监管系统,并分析其在工业物联网防护等领域的典型应用。总体来看,当前关于平行安全管理的研究主要集中于网络空间安全,重点关注 Security 事件,缺乏三元空间视域下 Safety 与 Security 一体化的通用性平行安全管理理论研究,这严重阻碍平行安全管理的进一步创新与发展。

鉴于此,笔者将平行系统理论与安全管理理论融合,提出平行安全管理概念,构建并解析平行安全管理模型;并以城市安全为例,对平行安全管理模型展开应用分析,以期丰富和完善平行安全管理理论,拓展平行安全管理的应用范畴。

1 平行安全管理概念的提出

平行系统理论指出,平行系统是由某个自然的现实系统和对应的一个或多个虚拟人工系统所组成

的共同系统,其核心思想是通过构建虚实互动的现实系统和人工系统来研究复杂系统的控制优化^[7]。平行系统的核心理论与技术是由人工系统(Artificial systems)、计算实验(Computational experiments)与平行执行(Parallel execution)组成的 ACP 方法,具体为:①针对现实系统建立与之对应的人工系统;②利用人工智能和机器学习等多种方法对构建的不同数学问题进行计算实验;③实现现实系统与人工系统的平行执行,即运用人工系统指导现实系统,同时运用现实系统优化人工系统^[4,7]。

基于平行系统理论,结合现代安全管理学知识,可将平行安全管理理解为:平行安全管理是从三元空间视域出发,针对某一现实安全系统,建立与之对应的人工安全系统,并使人工安全系统与现实安全系统虚实互动,形成平行安全系统,进而根据反馈调节各自的安全状态参数或安全管理策略,以达到有效实施安全方案、精准解决安全问题及对相关人员进行培训学习等目标的一种安全管理范式。基于此,构建平行安全管理概念模型如图 1 所示。其中,现实安全系统表示现实存在的与自系统安全状态相关的所有系统(包括自系统和他系统)及它们间的关联关系的集合^[8];人工安全系统表示以某现实安全系统为基础,通过人工搭建形成的可映射现实安全系统状态的多功能系统。

图 1 中,物理空间是具有物质性的实体空间,是其他 2 个空间的基础,其内安全要素均可物理观测与感知到;社会空间主要由人与人之间的关系构成,对人的存在具有强依赖性,人在社会空间的安全管理中发挥主导作用;信息空间以信息技术为重要支撑,形成一个跨越地域与边界的虚拟空间,其内安全要素客观存在而无实体,建立于人的认知中并附着于物理载体^[9]。各个空间具有其逻辑范围,互有差

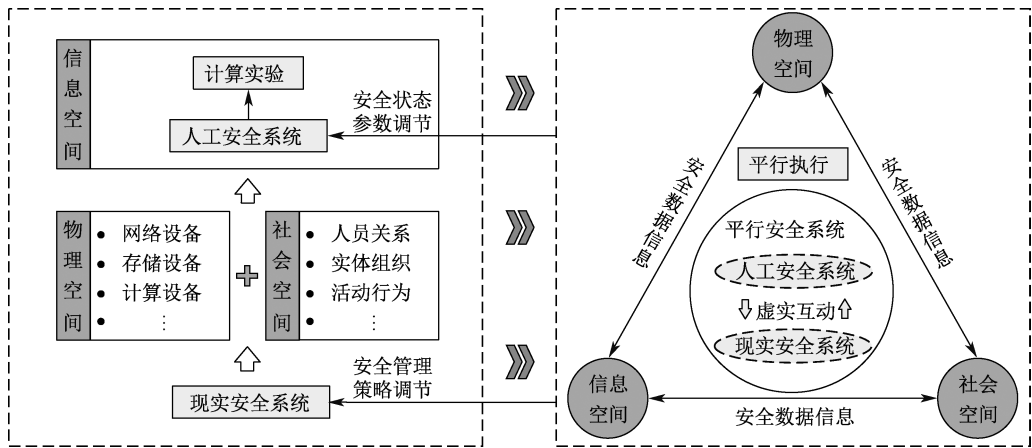


图1 平行安全管理概念模型

Fig.1 Parallel safety & security management concept model

异且相互交织,共同构成三元空间,其内部的安全要素通过安全数据信息相互连接^[2]。在三元空间视域下,平行安全管理概念模型的运行逻辑为:①针对现实安全系统,运用物理空间与社会空间中的安全要素(如人员和设备等)共同构建信息空间中的人工安全系统;②在信息空间中,以人工安全系统为“计算实验室”进行计算实验;③基于计算实验结果,在三元空间中进行人工安全系统与现实安全系统的平行执行,形成平行安全系统;④根据虚实互动的平行执行情况,调节优化现实安全系统和人工安全系统。

2 平行安全管理模型的构建与解析

2.1 模型构建

在现实安全系统中,由于法律、道德和成本等多方面条件约束,以及部分安全问题的复杂性和特殊性(如城市洪涝灾害、工业园区爆炸事故和重大传染病疫情等),现实中难以甚至无法采取重复实验的科学方法来研究相关安全问题。鉴于此,基于平行安全管理的内涵,构建一个可集成多种资源搭建不同场景,执行多重任务并进行不同类型计算实验的平行安全管理模型,如图2所示。平行安全管理模型处于高性能计算环境之中,由人工安全系统、计算实验和平行执行3个主要模块以及数据库、模型库和工具库3个基础模块构成,具备突破现实条件制约、高性能分布式计算和灵活可拓展等特点(表1)。根据平行安全管理模型,原本因需要付出巨大经济代价或系统太过复杂而无法进行的实验,可基于人工安全系统进行计算实验,使得复杂特殊的安全问题参数化、确定化和简单化,充分获取并集

表1 平行安全管理模型的特点

Table 1 Characteristics of parallel safety & security management model

序号	特点	具体解释
1	突破现实条件制约	平行安全管理模型中的计算实验具有成本低、无法律与道德风险和不影响社会正常运行等特点,可突破以往无法通过重复实验获取安全规律与经验的局限 ^[11]
2	灵活性和可扩展性	平行安全管理模型具有良好的灵活性与可扩展性,可通过增加处理器或计算节点,在不需完全重构系统的条件下,适应各种不同类型的安全场景和不断增长的计算需求,以及完成更大规模的计算任务
3	高性能分布式计算	平行安全管理模型可将计算任务分配到不同的处理器或计算节点上并行处理,将一个计算任务拆分成多个子任务并行执行,从而加快计算任务的完成速度,提高响应速度和效率
4	冗余性和容错性	平行安全管理模型具有冗余设计和容错机制,能够在某些处理器或计算节点发生故障时仍然保持正常运行,同时可通过备份数据和任务重分配等方式持续提供服务,确保计算任务的完成和数据的安全
5	模拟预测与持续改进	平行安全管理模型可对现实安全系统进行模拟、预测并持续改进,通过模拟现实安全场景发现存在的安全问题,并进行安全预测和安全方案检验,从而改进和完善现实安全系统
6	任务调度与负载均衡	平行安全管理模型可提供高效的任务调度和负载均衡机制,确保各个计算节点或处理器之间的任务分配合理且均衡,从而避免资源浪费,有助于提高模型的稳定性和整体性能

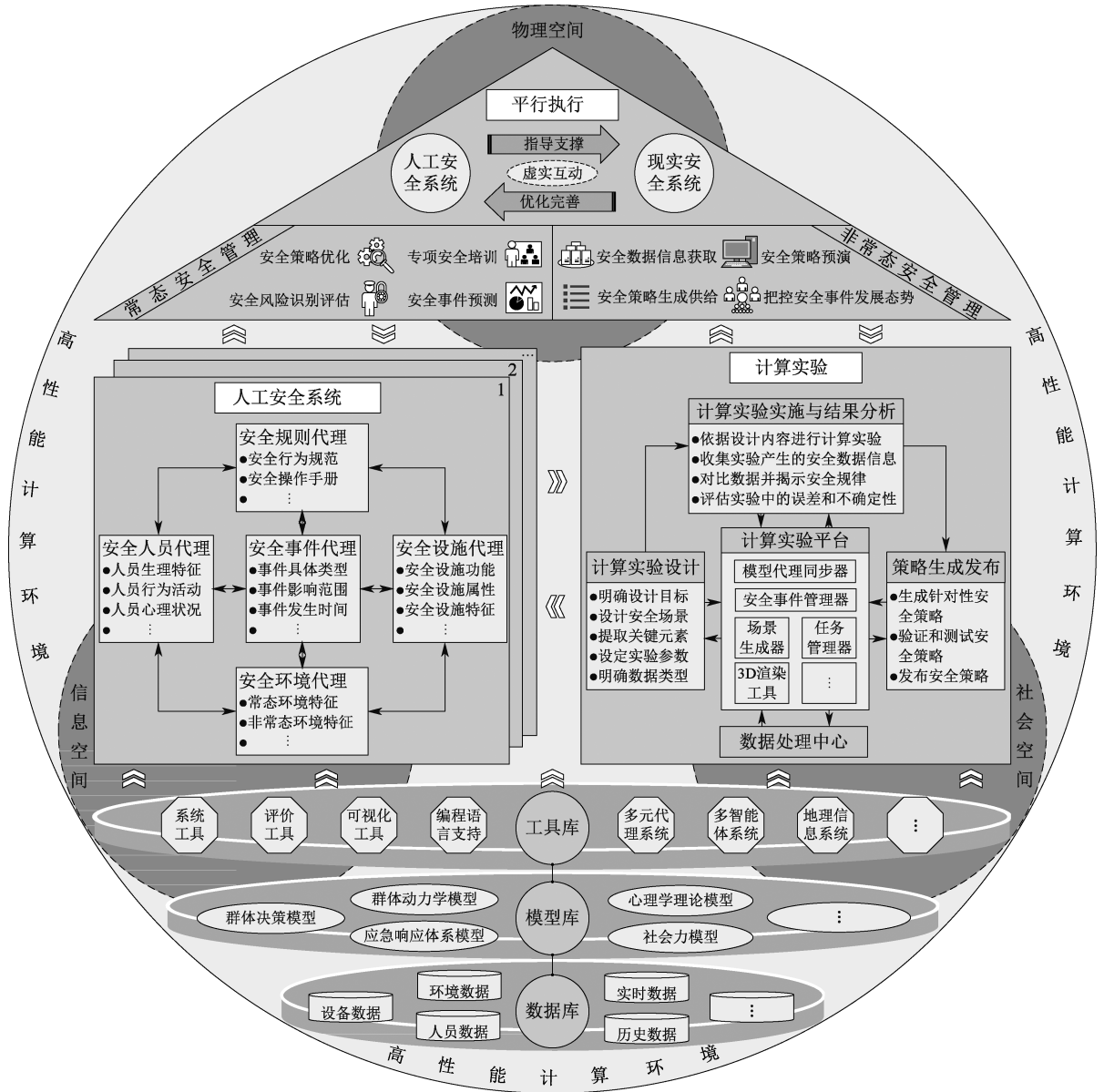


图2 平行安全管理模型

Fig. 2 Parallel safety & security management model

成安全数据信息,使人工安全系统与现实安全系统处于并行运行状态,实现2个系统的平行执行,并形成实时自适应调节的平行安全系统,进而为解决常态和非常态安全管理^[10]中不定、多样和复杂的安全问题提供科学有效的滚动优化方案。

2.2 模型分析

2.2.1 人工安全系统

由图1可知:在平行安全管理模型中,人工安全系统是平行于现实安全系统的孪生系统,依托物理空间与社会空间,存在于信息空间。人工安全系统主要运用基于代理的建模方法,其组成见表2。人工安全系统作为平行安全管理模型的核心之一,具

有获取数据、建模和自我优化等功能。首先,人工安全系统可借助机器学习、数据挖掘和深度学习等方法向现实安全系统学习,并获得大规模、多样化的安全数据信息,以满足数据集需求。其次,利用自底向上的多智能体方法对人工安全系统中的代理及其之间的相互作用建模。例如:通过安全人员代理与安全环境代理的交互,实现安全人员对安全环境的感知,或通过安全人员代理与安全事件代理的交互,模拟安全人员在安全事件发生时的行为特征。此外,人工安全系统可通过与现实安全系统进行数据交互,利用数据驱动优化自身状态参数。需要说明的是,人工安全系统不追求与现实安全系统完全一致,

只要求其在规模、行为方式和系统特性等方面与现实安全系统具备一致性,二者之间的行为等价却不相同^[11]。因此,人工安全系统是现实安全系统的一种可能的实现方式,现实安全系统是人工安全系统可能出现的某一种“现实”。此外,通常在平行安全模型中运行的不止一个人工安全系统,可依据现实情况创建多个不同的人工安全系统,以满足实际需求。

表2 基于代理的人工安全系统组成

Table 2 Components of agent-based artificial safety & security system

序号	特点	具体解释
1	安全人员代理	反映安全人员的性别、年龄、身高和体重等生理特征,同时可体现安全人员的行为活动与心理状况等微观特性
2	安全设施代理	包括通用设施、基础设施和专用设施,在常态和非常态安全管理下呈现出不同的功能和属性,可充分满足不同安全场景下的需求
3	安全规则代理	可规范和约束各代理本身及代理之间相互作用的准则,包括安全人员行为规范、安全设施操作手册和安全相关法律法规与政策文件等
4	安全环境代理	可通过与安全人员、安全设施和安全事件等交互形成的动态环境描述,具备常态和非常态安全管理下的环境特征
5	安全事件代理	包括安全事件类型、影响范围和发生时间等属性,可反映安全事件的演化规律,并通过与其他代理交互影响安全人员、安全设施和安全环境的状态

2.2.2 计算实验

计算实验是指借助人工安全系统这一可控和可重复的“计算实验室”,设计各类智能体的数量组合策略与时序互动规则,并生成不同的复杂安全场景,以计算的手段让安全人员代理通过做实验的方式在其中活动、学习,并逆向分析与评估其学习到的“经验知识”的适用情况,使安全人员代理在“计算实验室”的复杂安全场景中得出真正适用于不同真实安全场景的安全策略^[12]。由图2可知:计算实验以计算实验平台(包括模型代理同步器、任务管理器和场景生成器等)和数据处理中心(包括场景、代理、模型、算法等数据资源)为支撑,通过计算实验设计、计算实验分析与评估和策略生成与发布3个步骤完成计算实验流程,具体解释如下:

1) 计算实验设计。①明确计算实验的设计目标(如探究某种安全事件发生的机制、评估现有安全管理模式的效果等),对整个计算实验设计进行指导;②根据设计目标,确定安全场景类型,并在安

全人工系统基础上设计所需安全场景;③提取安全场景中的关键元素,并定义其属性和运行规则,确保计算实验的真实性;④根据设计目标和提取的关键元素,设定具体的计算实验参数,使计算实验更接近现实情况;⑤明确计算实验中需要收集的数据类型,以及数据的处理和分析方法,以便后续分析评估计算实验的结果。

2) 计算实验实施与结果分析。①按照计算实验设计的安全场景和参数等,进行计算实验并确保实验的准确性和可重复性;②收集计算实验过程中产生的安全数据信息,并对其进行预处理和清洗,消除异常值和噪声,以便后续分析;③通过对比分析收集的安全数据信息(即实验数据)与预期结果,揭示安全现象背后的安全规律;④评估计算实验过程中可能存在的误差和不确定性,明确实验结果的可靠性和局限性。

3) 策略生成与发布。①基于计算实验结果,生成针对性的安全策略;②验证和测试安全策略,确保策略可有效解决安全问题;③经过验证和测试后,将最终安全策略发布输出至现实安全系统中的安全管理人员,为相关决策提供支撑。

2.2.3 平行执行

人工安全系统与现实安全系统之间的平行执行,是指根据现实安全系统中的安全数据信息与安全实际情况对人工安全系统优化完善,同时运用人工安全系统中计算实验得到的安全策略指导现实安全系统,实现2个系统之间虚实互动的平行执行。具体言之,一方面,通过收集分析现实安全系统中的安全数据信息优化完善人工安全系统,使人工安全系统从被动转向主动、静态转向动态和离线转向在线,最终将其由从属地位提升至平等地位^[11],从而充分发挥人工安全系统在平行安全管理中的重要作用;另一方面,通过人工安全系统的计算实验,充分挖掘现实安全系统中蕴含的安全规律和潜在的安全问题,并提供相关安全策略,从而实现对现实安全系统的决策支撑。

一般而言,平行执行的具体内容可依据常态与非常态2种不同的安全管理状态^[10]划分。在常态安全管理下(即无安全事件发生),平行执行可完成安全风险识别评估、安全事件预测、安全策略优化和安全培训等多项功能。首先,针对现实安全系统,可在人工安全系统构建类似的安全场景并进行计算实验,通过分析计算实验结果,识别、评估潜在安全风险,预测现实安全系统中可能发生的安全事件。其

次,人工安全系统的计算实验结果可输入到现实安全系统中进行平行执行,优化现有安全策略及方案措施,修正现实安全系统的状态,并对现实安全系统中的人员进行专项安全培训,提升人员的安全意识和技能水平。再次,针对现实安全系统中的某种安全现象或安全行为,可在人工安全系统中进行可重复、可配置和可引导的计算实验,揭示安全现象或安全行为背后的安全规律。此外,随着高新科技的涌现,可在人工安全系统中检验高新技术带来的安全风险,确保其在现实应用中的安全性。

在非正常安全管理下(即安全事件发生的一段时间内),平行安全管理模型将进入应急响应状态。现实安全系统为人工安全系统提供实时安全数据信息,人工安全系统依据安全数据信息进行计算实验,将生成的安全策略提供给现实安全系统使用,或预演现有安全策略并验证其实施效果,实现安全策略的滚动优化,最终通过现实安全系统与人工安全系

统之间的信息交互与协同演化,全过程实时把控安全事件发展态势,实现科学高效的非常态安全管理。

3 模型的应用分析

以城市安全为例,从三元空间视角出发,结合城市相关要素,构建城市平行安全管理模型,如图3所示。核心包括3方面:①城市三元空间由物理空间(包括建筑、设施和交通等)、社会空间(包括人口、组织和机制等)和信息空间(包括数据、信息和知识等)构成,为城市平行安全管理过程提供基础支撑;②现实城市安全系统涉及人群、工业和生态等城市要素以及可能发生的自然灾害、事故灾难、公共卫生事件和社会安全事件,现实城市安全系统通过向人工城市安全系统导入数据并对其优化完善,同时接收人工城市安全系统的决策支持;③ACP过程包括构建人工城市安全系统、计算实验和平行执行,该过程通过实现现实城市安全系统和人工城市安全系统

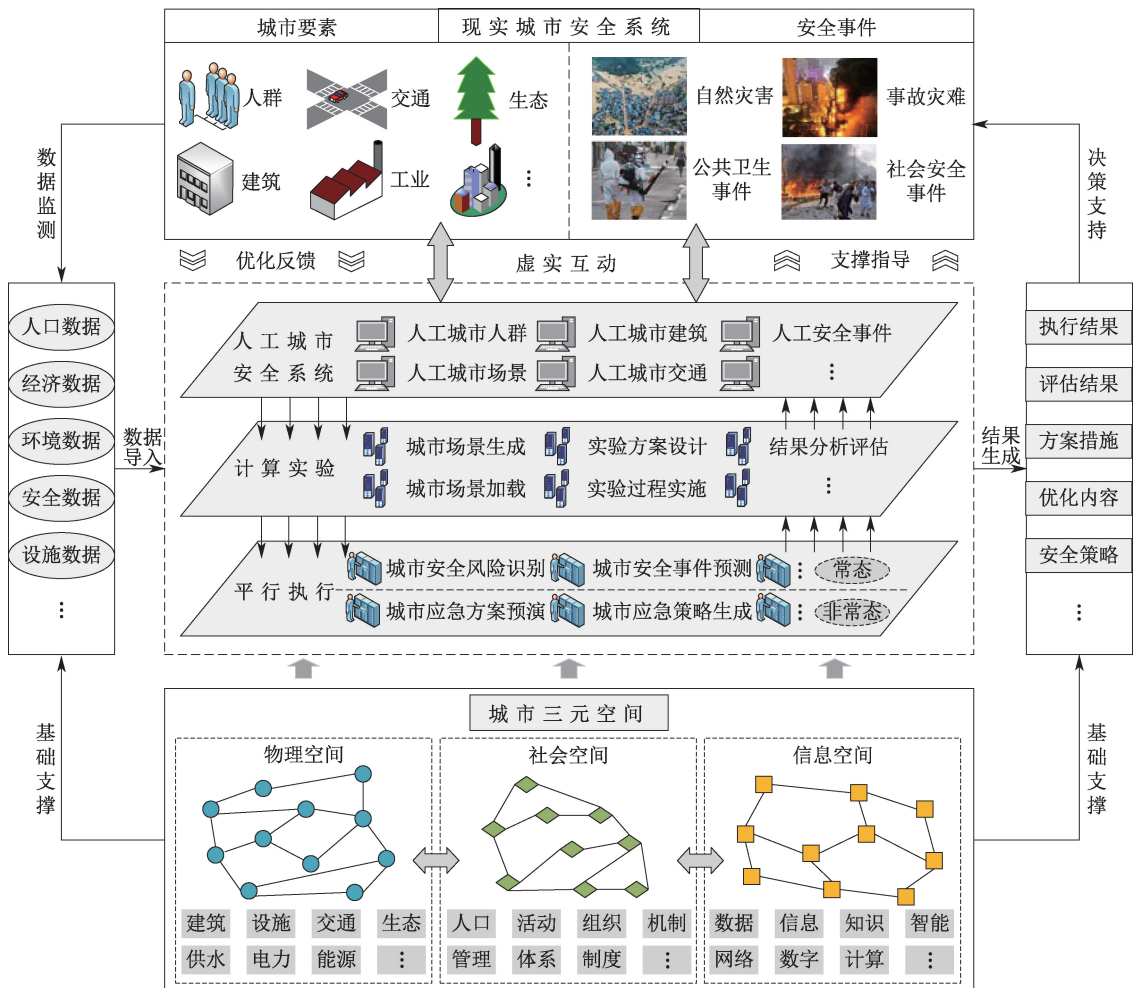


图3 城市平行安全管理模型

Fig.3 Urban parallel safety & security management model

的虚实互动,将生成结果提交至现实城市安全系统中,为其提供决策支持,同时,再将从现实城市安全系统中获得决策效果反馈至人工城市安全系统,通过循环往复的迭代过程,形成一个运行可靠的城市平行安全管理模型,从而完成科学高效的平行城市安全管理目标。

4 结 论

1) 平行安全管理是一种安全管理新范式,其基于某现实安全系统构建对应的人工安全系统,并通过实现现实安全系统与人工安全系统之间的虚实互动,形成实时自适应调节的平行安全系统,最终达到有效实施安全方案、精准解决安全问题及对相关人

员进行培训学习等多重目标。

2) 平行安全管理模型包括人工安全系统、计算实验和平行执行3个主要模块,以及数据库、模型库、工具库3个基础模块,具备突破现实条件制约的灵活性和可扩展性,拥有高性能分布式计算能力,以及冗余性与容错性、模拟预测与持续改进和任务调度与负载均衡等特点。

3) 人工安全系统对应现实安全系统,可完成获取数据、建模和自我优化等功能;计算实验以计算实验平台和数据处理中心为依托,可完成计算实验设计、计算实验分析与评估和策略生成与发布任务;平行执行通过人工安全系统与现实安全系统之间的虚实互动,可实现常态与非常态下的安全管理。

参 考 文 献

- [1] 刘怀玉.《空间的生产》若干问题研究[J]. 哲学动态,2014(11):18-28.
LIU Huaiyu. Review of studies of certain problems in the production of space [J]. Philosophical Trends, 2014(11): 18-28.
- [2] 王秉.安全4.0时代的重大安全科学问题展望[J]. 灾害学,2022,37(2):6-11.
WANG Bing. Prospect on major issues of safety & security science in the age of safety & security 4.0 era [J]. Journal of Catastrophology, 2022,37(2):6-11.
- [3] 王飞跃.平行世界的平行安全:基于CPSS的生成式对抗安全智慧系统[J]. 信息安全与通信保密,2018(10):21-22.
- [4] 李海东,张俊,陶耀东,等.平行安全:基于CPSS的生成式对抗安全智能系统[J]. 智能科学与技术学报,2020,2(2):194-202.
LI Yidong, ZHANG Jun, TAO Yaodong, et al. Parallel security: generative adversarial systems for intelligent security in CPSS [J]. Acta Automatica Sinica, 2020,2(2):194-202.
- [5] 韩金朋,刘忠民,吕秋云,等.元宇宙安全框架[J]. 指挥与控制学报,2022,8(3):249-259.
HAN Jinpeng, LIU Zhongmin, LYU Qiuyun, et al. Metasecurity: a framework for metaverse security based on parallel security [J]. Journal of Command and Control, 2022,8(3):249-259.
- [6] 陈晓光,韩金朋,杨满智,等.灵境卫士:基于ACP的网络安全平行监管研究[J]. 智能科学与技术学报,2023,5(2):247-253.
CHEN Xiaoguang, HAN Jinpeng, YANG Manzhi, et al. ParaDefender: the parallel supervision for cybersecurity based on ACP [J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2023,5(2):247-253.
- [7] WANG Feiyue. Parallel control and management for intelligent transportation system: concepts, architectures, and applications [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2010,3:1-10.
- [8] 黄浪,吴超,王秉.安全系统学学科理论体系构建研究[J]. 中国安全科学学报,2018,28(5):30-36.
HUANG Lang, WU Chao, WANG Bing. Research on construction of safety systematics outline [J]. China Safety Science Journal, 2018,28(5):30-36.
- [9] ZHANG Nan, WANG Feiyue, ZHU Fenghua, et al. DynaCAS: computational experiments and decision support for ITS [J]. IEEE Intelligent Systems, 2008,6:19-23.
- [10] 王秉,王渊洁,张志宏.压电安全管理及其模型[J]. 中国安全科学学报,2023,33(9):1-9.
WANG Bing, WANG Yuanjie, ZHANG Zhihong. Piezoelectric safety & security management and its model [J]. China Safety Science Journal, 2023,33(9):1-9.
- [11] 周敏,董海荣,徐惠春,等.平行应急疏散系统:基本概念、体系框架及其应用[J]. 自动化学报,2019,45(6):1074-1086.
ZHOU Min, DONG Hairong, XU Huichun, et al. Parallel emergency evacuation systems: basic concept, framework and applications [J]. Acta Automatica Sinica, 2019,45(6):1074-1086.
- [12] 王晓,姜婷婷,韩双双,等.平行车联网:基于ACP的智能车辆网联管理与控制[J]. 自动化学报,2018,44(8):1391-1404.
WANG Xiao, YAO Tingting, HAN Shuangshuang, et al. Parallel internet of vehicles: the ACP-based networked management and control for intelligent vehicles [J]. Acta Automatica Sinica, 2018,44(8):1391-1404.



作者简介: 王渊洁 (1996—),男,陕西渭南人,博士研究生,主要研究方向为安全情报学、国家安全学与安全科学基础理论等。E-mail: jay_wangyj@163.com。