

数字孪生技术在智慧机场建设中的应用综述

康 永

(东部机场集团有限公司, 南京 211106)

摘要:数字孪生技术融合多种信息化技术,为虚拟现实和计算机仿真等方面提供了技术支撑,也是未来人类建立虚拟世界的必要条件。作为航班起降港口的机场一直被看作是一个城市甚至一个国家的门户,为此通过建立基于数字孪生技术的虚拟机场,不仅可以为机场管理人员和航班保障人员提供更直观更高效的工作模式,也可为旅客提供更多的服务体验。通过描述数字孪生机场的技术概念和建立方式,并对数字孪生技术在航班保障运行、安全应急处理、旅客出行服务等业务应用场景进行阐述和分析,为数字孪生机场的相关研究和应用提供理论依据。

关键词:数字孪生;智慧机场;元宇宙;地理信息系统(GIS);建筑信息模型(BIM);机场协同决策(A-CDM)

中图分类号:TP391 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2022)05-0255-07

随着国民经济的快速发展,人们的出行越来越频繁。飞机一直是中远程旅行的首选交通工具,而机场作为航班起降和保障的港口,在民航行业中充当着重要的角色。2020 年初,民航局印发了《中国民航四型机场建设行动纲要(2020—2035 年)》,提出建设以“平安、绿色、智慧、人文”为核心的四型机场,明确了智慧机场建设的核心目标,主要包括加快信息基础设施建设实现数字化,推进数据共享与协同实现网络化,推进数据融合应用实现智能化,以及切实保障信息安全 4 个方面内容^[1]。而数字孪生技术作为信息基础设施建设的核心要素,已经在智慧机场建设中逐步发挥了更核心更重要的作用。

1 数字孪生技术

2003 年,美国密歇根大学的 Michael Grieves 教授提出了“信息镜像模型”(information mirroring model)的概念,即数字孪生的抽象概念被首次提出。2011 年,Grieves 教授正式提出数字孪生(digital twin,DT),用来描述概括物理世界的虚拟映射和交互反馈,随后一直沿用至今。在 Grieves 教授提出的数字孪生参考模型中,数字孪生由 3 部分组成,即物理空间的实体产品、虚拟空间的虚拟产品、虚实之间的连接数据和信息^[2]。

数字孪生是数字化浪潮的必然产物,未来所有实物都会在数字世界建有孪生体,他们之间平行发展相互作用,包括人、物、设备、工业、建筑都将形成

虚拟化物体,使物理世界能够更高效、更安全、更低成本的发展,当数字世界全面打通并形成一个独立的系统与物理世界并行,这就形成了元宇宙。元宇宙的核心技术之一就是数字孪生技术,基于数字孪生技术生成现实世界的镜像,能够基于扩展现实技术提供沉浸式体验,可以说世界万物皆可数字孪生,未来将是数字孪生的世界。

国内对数字孪生研究较为早期的中国信息通信研究院^[3-4]多次发布了数字孪生城市白皮书,并提出了数字孪生城市概念和架构,指出通过对物理世界的人、物、事件等所有要素数字化,在网络空间再造一个与之对应的“虚拟世界”,形成物理维度上的实体世界和信息维度上的数字世界共生共存、虚实交融的格局。北京航空航天大学数字孪生技术研究小组陶飞等^[5-6]在 2017 年以来,与国内外学者共同开展数字孪生理论与应用探索,并且与 20 多个行业的管理和技术专家就数字孪生在相关领域的落地应用开展了合作与探讨,在相关文献中明确描述了数字孪生技术在卫星/空间通信网络、船舶、车辆、发电厂、飞机、复杂机电装备、立体仓库、医疗、制造车间、智慧城市 10 个领域的应用。周成益^[7]以数字孪生机场的基础数据作为研究对象,提出数据交互和挖掘是“数字孪生机场”的关键核心。孙凌^[8]通过分析机场建设和运行管理存在的问题,提出并探讨了建立数据孪生机场需要实现的主要功能和

收稿日期:2022-02-03

作者简介:康永(1980—),男,辽宁锦州人,东部机场集团有限公司,南京禄口国际机场信息技术部副主任,高级工程师,硕士,研究方向为大中型企业信息化及智慧机场建设。

实施路径。张雷^[9]通过研究 GIS 和 BIM 等技术的特点,对 GIS+BIM 融合的现状及其必要性进行了分析,提出数字孪生机场中 GIS+BIM 的应用场景,并总结了其价值及应用空间。

2 数字孪生机场概述

机场不仅仅是航班的起降港口,也可以称之为城市的门户与形象,因为机场既能展现一个城市的形象和形象,也是集众多科学技术、人文服务于一身的体验圣地。数字孪生机场是利用物理世界实体机场的模型,结合传感器自动采集的实时数据,在数字虚拟世界映射出一个与物理现实世界完全相同的数字机场模型,去反映真实实体机场生产运行的过程。数字孪生机场是智慧机场的基础设施,可以在此基础上发展多方向的应用,不仅为机场运行保障人员提供更优化更高效的管理能力,也可以为旅客提供更多的服务体验。

充满现代化元素的物理机场不仅包括机场静态的机坪、航站楼、地下管线等实体,也涵盖动态的航空器、车辆、人员、旅客等随着时间不断变化的物体,通过建立物理世界的数据库模型,同时采集各种动态实时数据,使物理机场在虚拟世界中同步映射出孪生机场,其包括各方数据的同步交互和计算,建立物理世界和虚拟世界的孪生数据中心,基于孪生数据中心能够在此基础上形成相应的信息系统平台,以满足各种业务场景的需求,同时能够与物理机场和孪生机场进行交互与管理,从而实现可闭环的并不断迭代优化的数字孪生机场,其总体概念模型如图 1 所示。

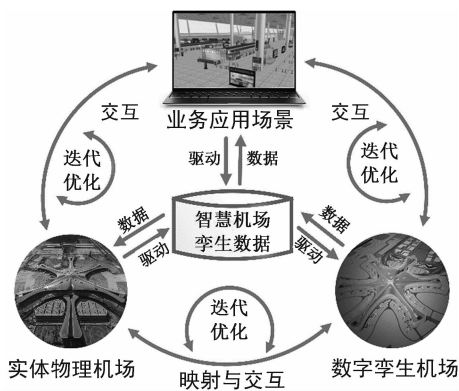


图 1 数字孪生机场概念模型

数字孪生机场从总体架构上可以分为感知层、平台层、应用层。感知层和平台层作为智慧机场建设的基础 IT 设施,能够支撑机场行业数字化转型和智慧化应用的持续建设与发展。在此过程中,物联网、大数据、人工智能等数字化创新技术,是打造数字孪生机场全要素数字化、全息三维数据引擎、

高逼真可视化渲染、智能分析模型等多维产品的重要基石。感知层通过卫星遥感、地理信息系统 (GIS)、建筑信息模型 (BIM)、三维仿真等多种技术,实现机场空域、航站楼内外、机场地表地下的全方位建模,以及对机场设备设施的多维度空间表达,从而完成物理机场的虚拟仿真。同时通过物联网手段,采集机场航班、设施设备、工作人员的实际状态,实现机场的实时智能感知。机场数字孪生服务平台作为中间层,涵盖高精度地图服务、物联感知服务、统一位置服务、虚拟仿真服务、虚拟三维服务、业务场景服务等一系列的微服务功能,在感知层和应用层发挥承上启下的作用。应用层作为实现各应用场景需求而直接与用户交互,是数字孪生机场真正体现其实用价值的所在,根据智慧机场建设的主要应用方向,可涵盖航班保障运行、安全应急、旅客服务等多个方面,其总体架构图如图 2 所示。

从空间区域角度划分,数字孪生机场的建设主要包括空域空间、地面空间、楼内空间和地下空间 4 个方向。空域空间包括机场上空空域情况和周边建筑物,不仅完成航路航线的数字化建模,以满足航班在时间、高度、经纬度等多维度实时数据管理,同时对机场周边建筑物需要形成可定期更新的立体数据模型,可以与机场净空区超高标准进行校验。地面空间主要是建立机坪区域高精度 GIS 地图,通过机坪上各种设备设施映射绑定真实地理信息坐标系,构建机坪数字孪生底座。楼内空间是指通过技术手段构建数字孪生航站楼,既能够为旅客提供更真实的出行服务和体验,也能够为航站楼管理者提供更真实的实时数据,以便能够做出更精准的决策。地下空间可建设基于现场高精度互感“透视”功能的地下设施电子沙盘,实现多层次、多角度浏览,便于管理和观察机场地下管线整体运行情况^[10]。数字孪生机场空间区域示意图如图 3 所示。

从数字孪生机场建模角度,根据空间区域的不同,其采用的建模方式也不尽相同,同时由于部分区域需要增加时间维度,因此也会进一步增加其建模的复杂程度。空域空间可根据飞行器的广播式自动相关监视系统 (ADS-B) 或雷达信息进行实时空间定位,系统定时保存空间位置即可建立其数字孪生体,机场周边建筑能够借助卫星、倾斜摄影等技术进行建模,由于其相对变化周期长,数字孪生模型相对固定。以机坪区域为主的地面空间相对为二维空间,需要增加时间维度来建立孪生体,主要包括航空器、车辆、人员 3 个建模对象,可利用全球定位系统 (GPS)、北斗技术

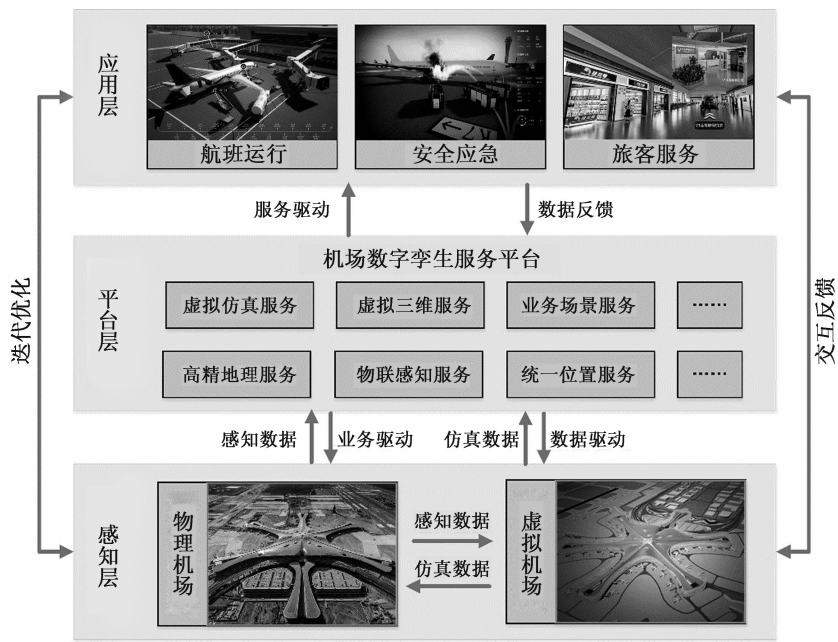


图 2 数字孪生机场总体架构图

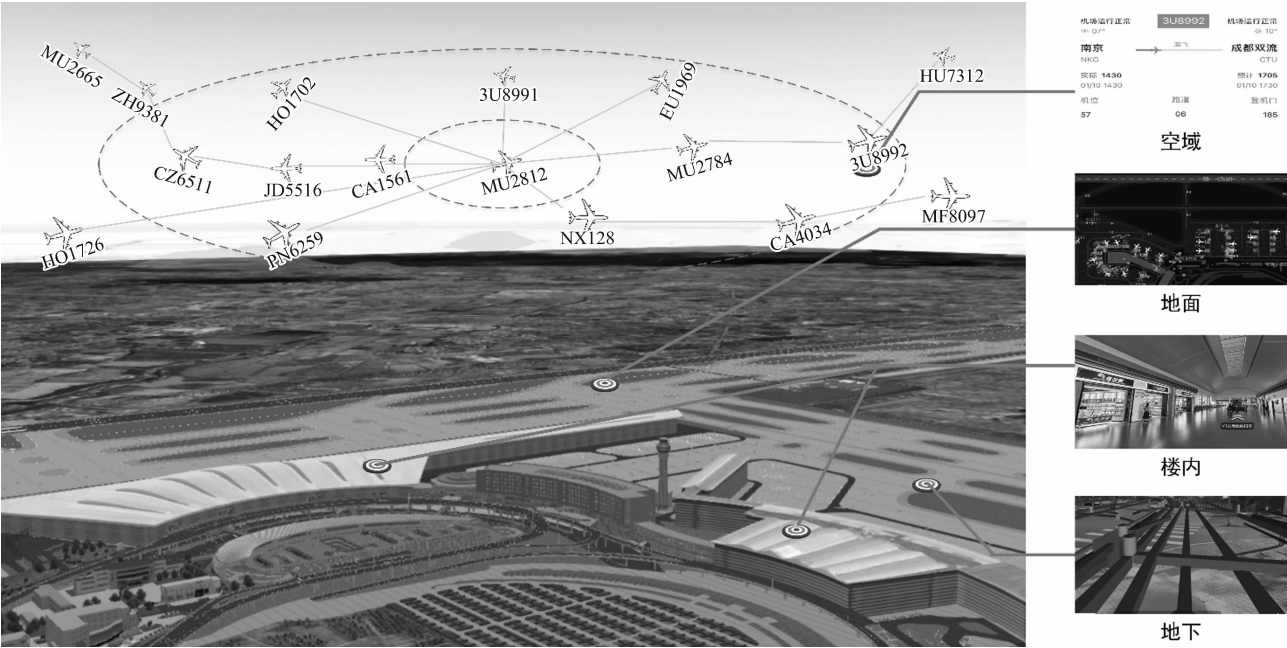


图 3 数字孪生机场总体架构图

结合 GIS 平台进行建模。航站楼楼内空间主要通过结合 BIM 技术和三维激光建模建立孪生体,能够为航站楼管理人员和旅客提供更多数字化服务。地下空间可通过雷达技术或 BIM 资料进行建模,可为机场管线管理人员提供技术支撑。

3 数字孪生机场场景应用

数字孪生机场的建设不仅仅是只构建一个虚拟的机场,虚拟机场是数字孪生机场的基本要素,在数字虚拟机场之上需要建立更多的业务应用场景,才能使数字孪生机场更能充分发挥作用。根据

机场的运行特征,数字孪生机场主要应从提高航班保障运行效率、支撑安全和应急能力、提升旅客服务水平 3 个方面入手。

3.1 数字孪生技术在航班运行中的应用

航班保障是每个机场最核心的工作,航班的每一次安全起降都是空管、航司、机场以及驻场单位等多方相互协作的成果,机场协同决策(A-CDM)系统就是负责航班保障空地协同运行管理平台,其核心目标是共享整合机场资源、优化流程,提高机场整体作业水平和效率,提高航班正点率^[11]。因此数

字孪生机场在航班运行中的核心应用之一是要充分融合 A-CDM 系统所有功能,在数字孪生机场之上建立更加先进的 A-CDM 系统。

1)通过多种技术手段建立生产运行模拟仿真的数字孪生体,主要涉及航空器位置、航路信息、空域地图、天气信息、人员位置、车辆位置、车辆基本信息、航班动态信息、实时视频、区域管制等信息,基于各自的业务规则,在平台统一进行可视化空地一体的展示与监控,实现多类信息高度集中化。在此基础上建立生产运行指挥仿真模拟,基于多维空地运行监控数据,结合航班信息集成系统根据航班配置运行规则和条件,通过模拟仿真推演算法生成航班运行仿真验证报告,运行指挥人员可根据报告获知航班计划时刻冲突、航班保障资源分配冲突、

航班计划过站时间不合理、机位分配指标评价、航空器滑行时间评价等信息,不仅能够提升运行指挥的安全裕度,而且能够提高指挥人员的工作效率。此外还需要建立航班保障任务的分发与汇聚,包括任务名称、任务状态、任务内容、任务执行人等信息,在孪生机场中可显示派工任务的相关信息及任务轨迹。根据航班运行的实时动态,结合数字孪生的资源位置以及空闲情况,自动或人工派发工作任务,保障人员及车辆接收到任务之后,到达指定位置后开始执行任务,直至任务完成返回接单地点,全过程中都可以根据智能终端或车载终端进行跟踪,并在孪生机场中进行呈现。由此基于数字孪生技术建立的机场协同决策系统将会是现在和未来发展的主要目标^[12-14]。具体实现成果如图 4 所示。

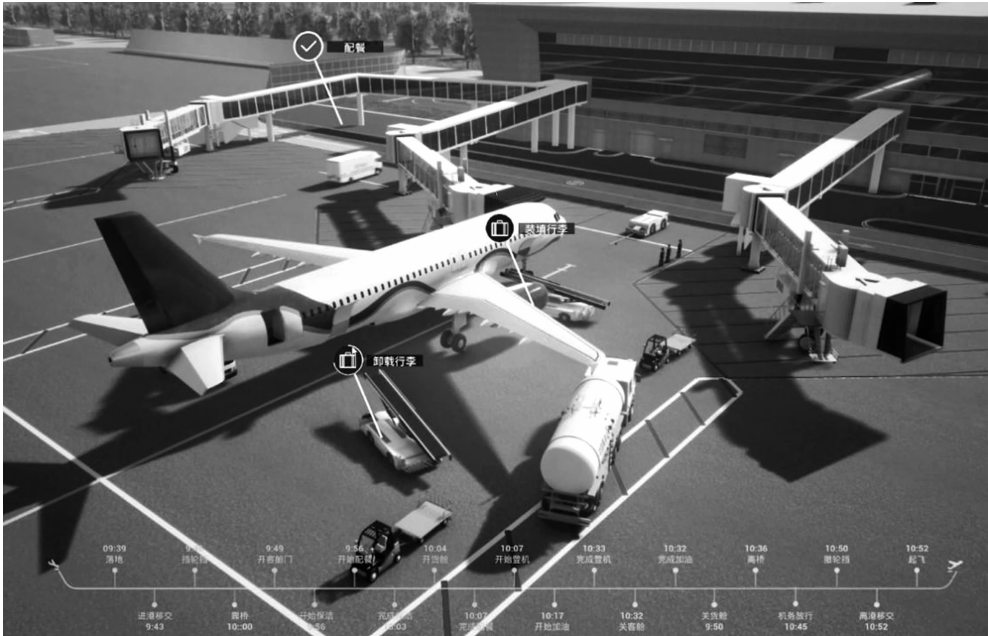


图 4 基于数字孪生技术的机场协同决策系统

2)借助数字孪生机场建立空侧运行服务平台,在飞行区内跑道、滑行道、机位等静态平面资源的 GIS 平台之上,结合航班、车辆、工作人员的实时状态和位置信息,为飞行区管理人员提供一个数字化办公平台,实现对飞行区的资源、运行、环境、安全、施工、运行标准和综合业务进行一体化可视管理,辅助机场管理人员及时掌握生产运行动态,提高飞行区运行管理水平。由于航站楼承担了国内外进出港以及海关边检等多项职能,因此几乎所有航站楼都划分了不同的楼层,由于室内对 GPS 和北斗等信号的屏蔽作用,导致无法直接对工作人员和旅客进行比较精准的定位。数字孪生相关的衍生技术为人员定位提供多种解决方案,比如重点旅客可通

过人像视频分析进行定位,工作人员可根据手持智能终端通过蓝牙进行定位,也有部分机场因地制宜,根据航站楼特有的多路 WIFI 信号区分楼层并通过三点定位原理来实现,最终呈现在航站楼的数字孪生环境中,可满足机场寻找旅客,最优分配任务等特定需求^[15]。

3)利用可视化技术构建以管理服务为中心的数字孪生管网系统,可以快速提供真实准确的综合管线及设备设施信息,实现快速查询统计、事故处理、辅助分析决策等功能。通过运用电磁感应和探地雷达等多种探测技术,研究复杂环境下多种材质、不同埋设方式、管线密集区域的精准探测,确定地下管线及附属设施的空间位置和属性等,实现现

场高精度互感“透视”功能的地下设施电子沙盘,包括地下综合管网、设备设施、地下构筑物、地下房屋、公路隧道等信息,并建立多专业综合管网一张图展示,用户可查看有权限的任意管网信息,通过管网查询、管网统计、施工影响分析来实现资产统计、辅助施工管理等目标,切实提升机场地下管网从建设、运行到废弃的全生命周期的管理水平^[16]。

4) 基于数字孪生的虚拟机场业务培训系统以真实的虚拟环境为背景,辅以真实的业务运行规则,搭建模拟沉浸式的培训环境。参加培训人员可以通过 VR 或真实的上机操作,完成多种现实环境无法模拟的培训内容。以模拟事件为主线的协同培训可实现多用户、多角色同时参与培训,共同完成培训事件处理。虚拟机场业务培训系统可使传统的培训模式发生巨大变化,摆脱单纯的单点应答式培训模式,转为全面的事件全过程处置培训,能够更加全面地评测真实能力。同时系统能够针对每次模拟培训可以实现全过程复盘回放,以可视化方式对培训过程进行回顾,重现实际操作过程中的问题和缺陷,总结培训经验。

3.2 数字孪生技术支撑机场安全与应急处理

净空管理是机场保证飞行安全的一项重要工作,机场净空管理控制得好坏直接关系到机场的运行安全和未来发展。随着城市化进程的快速发展,各机场的净空管理也越来越成为机场飞行安全关注的重点,借助数字孪生技术建立机场空域可视化平台是解决净空管理重要手段。卫星遥感技术是可根据需要随时获取地面建筑物高程、地表形变监测有效且精确的技术之一,能够自动生成和提取机场周边建筑物高度、无须单独建模,同时配合 GIS 平台形成净空区域数字孪生模型,并结合各机场净空管理要求,即可判断净空区域是否符合飞行要求,从而提升机场净空安全^[17]。

基于数字孪生机场服务平台的可视化安防监控平台不仅能够支持机场各类安防资源的可视化,而且还可以提供室内外平面立体等多种形式的地图支持及资源检索、分析、巡查和视频调用等功能。其中数字孪生机场全景展示平台实现机场多维度观测和全量数据分析,从而掌握机场运行态势情况,通过对飞机、人员、车辆等物体的多维度、全方面感知,并运用人像识别、视频识别、人流量监测、轨迹跟踪、行为检测等技术,实现机场飞行安全和公共安全的全风险及时判别,当发现风险能够及时通知相应管理人员进行快速处理,把风险消灭在萌

芽之中。当风险处置完成后,可通过历史数据进行孪生模拟,真实重现事故发生现场,复盘风险处理流程并分析处置效果,便于后续修订安全风险处理流程。通过感知检测或视频监控图像,结合图像的智能识别分析功能,实现对各类异常行为、人群聚集、环境卫生等情况在数字孪生机场中实时模拟展示,实现预警、提示,资源优化管理等,由此搭建的机场安全信息综合管理平台为机场安防业务的数字化、可视化管理打下基础^[18]。

借助数字孪生机场可搭建应急救援模拟演练平台,通过计算机建模技术能够实现多场景模拟,既能减少演练对实际工作的影响,也能通过随时随地演练达到预期的效果。演练平台可模拟多种协同角色,包括消防、医护、警察等,各角色均可在同一空间内的不同区域按预案进行救援事件处置,数字孪生的演练平台如图 5 所示。演练平台可实现全过程记录,以可视化方式全程记录事件处理的经过,包括事件发生起因、协同响应时间、救援资源配置、进场路线选择、事件处理过程、救援结果评测等,每次模拟演练均可以实现全过程复盘回放,以可视化方式进行事件处置总结,分析预案优化方向,对协同机制查漏补缺。

3.3 数字孪生技术为旅客提供更优质服务

旅客是机场除航空器外服务的核心主体,旅客出行体验的好坏是评价机场服务能力重要的指标,大部分情况下出发旅客到达机场后最核心的要务是如何快速完成值机、安检和登机,而到达旅客核心要务是如何快速完成换乘。由于各机场功能区布局不同导致交通线路不尽相同,因此旅客最重要的需求就是路线引导,通过数字孪生技术能够为旅客提供多方位的导航体验^[19-20]。数字孪生机场能够自动感知旅客当前所在位置,结合数字孪生的综合交通模型,可以为旅客提供基于二维和三维电子地图的机场交通路线指引、服务设施查询、航班信息查询、机场交通线路查询、行李流转信息查询等一系列的沉浸式服务,具体实现效果如图 6 所示。

不少旅客认为等待航班是一个漫长的过程,通过数字孪生机场让旅客在等待的过程中能够体验各种感兴趣的情景,及时让旅客感受到沉浸式的出行体验,利用旅客的感官和认知通过虚拟现实技术把物理世界和虚拟世界结合起来,可用于机场的人文展览、地区旅游、综合商业等体验场景,让旅客坐着逛机场。航站楼是旅客聚集和等待的重要区域,因此楼内环境关系到旅客的出行舒适程度,通过多



图 5 基于数字孪生技术的应急救援模拟演练平台



图 6 基于数字孪生技术的旅客服务应用场景

种传感器时刻感知楼内人流、空气、温度、湿度等环境信息,并与三维的数字孪生机场模型进行匹配,根据实际应用场景按照细化的粒度来进行管理,可提升旅客出行的舒适程度。

4 数字孪生机场建设思路

数字孪生机场由于涵盖了基础设施建设以及多个场景应用,因此其建设是个漫长的过程。数字孪生机场建设主要包括 3 个阶段,首先需要建立具有数据孪生特点的虚拟机场模型,实现多场景多应用的仿真环境建设和整合,主要包括二维和三维地理信息系统、高精度综合定位系统、空侧运行管理系统、机坪车辆管理系统、设施设备管理系统、工程建设及运营筹备系统等。其次建设具备数字孪生

技术的数据中台,作为多个系统之间数据交互的共享中心,该过程需要建立统一的数据标准,融合多源异构数据,实现数据感知、数据处理、数据共享等核心功能。最后阶段是实现机场实时可视化运营、联动指挥、模拟推演预测等相关业务应用,为机场运营管理者提供跨领域、跨业务、全域视角的一体化指挥决策平台,从而提升个性化、精细化、智慧化机场建设与治理水平。当然数字孪生机场建设的 3 个阶段可以交叉同步开展,根据场景的轻重缓急、客观条件、技术能力、信息安全等方面综合评估后开展建设。

民航局机场司曾专门针对数字孪生机场撰文,详细描述了数字孪生机场的建设思路,首先要以物

理感知为建设前提,映射物理实体,实现对物理机场的全流程复制展现。其次以数据处理作支撑,由于机场运行态势的时刻变化,数据的准确性和时效性将直接影响数字孪生机场最终的呈现效果,而数据挖掘和分析是智慧机场的核心载体。最终实现机场各种信息的可视化,是快速发现问题、识别问题的有效工具,为智慧机场建设与智慧化运营提供基础平台^[21]。

5 结语

随着信息技术的不断发展,基于数字孪生技术的智慧机场建设是当前物联网、大数据、虚拟现实等技术自然融合的结果。本文通过对数字孪生机场的技术概念和建立方式进行了概述,并在智慧机场建设中能够在航班保障运行、安全应急处理、旅客出行服务等业务领域发挥其独特的场景应用价值进行了综述。通过分析可以看出,数字孪生技术在智慧机场建设过程中具有良好的发展前景,并且通过数字孪生理念推动智慧机场建设是可行的。建设数字孪生机场是当前建设智慧城市的先行者,相信通过数字孪生机场的建设将为“万物皆可孪生”的未来元宇宙世界提供更多的参考价值。

参考文献

[1] 中国民用航空局. 关于印发《中国民航四型机场建设行动纲要(2020—2035 年)》的通知[EB/OL]. (2020-01-03) [2021-12-03]. http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/ZCFB/202001/t20200110_200302.html.
[2] 刘占省,史国梁,孙佳佳. 数字孪生技术及其在智能建造中的应用[J]. 工业建筑,2021,51(3):184-192.
[3] 中国信息通信研究院. 数字孪生城市白皮书(2020 年)[EB/OL]. (2020-12-31)[2021-12-03]. http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/202012/t20201217_366332.htm.
[4] 中国信息通信研究院. 数字孪生城市研究报告(2018 年)

[R]. 北京:中国信息通信研究院,2018.
[5] 陶飞,刘蔚然,张萌,等. 数字孪生五维模型及十大领域应用[J]. 计算机集成制造系统,2019,25(1):1-18.
[6] 陶飞,刘蔚然,刘检华,等. 数字孪生及其应用探索[J]. 计算机集成制造系统,2018,24(1):1-18.
[7] 周成益.“数字孪生机场”的核心:万物基于数字[J]. 综合运输,2020(4):71-77.
[8] 孙凌. 数字孪生机场建设的思考[J]. 中国高新科技,2021(14):149-150.
[9] 张雷. GIS+BIM 在数字孪生机场建设中的应用[J]. 工程技术研究,2021,6(6):12-14.
[10] 顾建祥,杨必胜,董震,等. 面向数字孪生城市的智能化全息测绘[J]. 测绘通报,2020(6):134-140.
[11] 卢敏,冯霞,徐涛. 机场协同决策研究综述[J]. 智能建筑,2018(8):58-61.
[12] 王红微,杨鹏,靳慧斌,等. 基于数字孪生的航班保障预警系统[J]. 科学技术与工程,2020,20(24):9954-9962.
[13] 熊明兰,王华伟. 基于数字孪生的民机运行安全框架体系设计[J/OL]. 计算机集成制造系统: 1-18 [2022-02-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5946.TP.20210421.1548.006.html>.
[14] 刘仍海. 基于数字孪生的机坪安全预警系统建设研究[J]. 山西交通科技,2021(4):103-105.
[15] 宋洋,张卓. 基于三维数字模型的机场场道质量动态可靠性分析[J]. 科学技术与工程,2021,21(11):4614-4620.
[16] 陈斯迅,李在蓉,王禹钦,等. 管道数字孪生体模型的构建及应用[J]. 油气储运,2021,40(6):642-650.
[17] 李震. 关于卫星遥感技术在机场净空管理方面的应用[J]. 科技资讯,2020(22):33-35.
[18] 陈超,闫艳. 应用灾害数字孪生体的应急预案演练系统[J]. 中国安全科学学报,2021,31(7):90-96.
[19] 陈罡. 基于虚拟现实技术的室内设计创新及应用[J]. 科学技术与工程,2019,19(17):229-233.
[20] 于立华. 新产品开发中的虚拟产品体验:顾客参与的视角[J]. 科技和产业,2010,10(5):36-40.
[21] 张锐. 数字孪生“预”见机场未来[N]. 中国民航报,2021-08-23(003).

Application of Digital Twin Technology in Smart Airport Construction

KANG Yong

(Eastern Airports Group Co., Ltd., Nanjing 211106, China)

Abstract: Digital twin technology integrates a variety of information technologies, provides technical support for virtual reality and computer simulation, and it is also a necessary condition for human beings to establish a virtual world in the future. As a port of departure and landing, the airport has always been regarded as the gateway of a city or even a country. Therefore, by establishing a virtual airport based on digital twin technology, it can not only provide more intuitive and efficient working mode for airport managers and flight support personnel, but also provide more service experience for passengers. The technical concept and establishment mode of digital twin airport, and the business application scenarios of digital twin technology is expounded and analyzed in flight guarantee operation, passenger travel service, security emergency treatment and so on, so as to provide a theoretical basis for the relevant research and application of digital twin airport.

Keywords: digital twin; smart airport; metaverse; geographic information system(GIS); building information modeling(BIM); airport-collaborative decision-making(A-CDM)