

6-1-2020

Meteorological Service Federate Design and Realization Based on HLA

Yintian Liu

1. College of Software, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China;;

Xiaodong Wang

1. College of Software, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China;;

Zaikui Wang

2. Naval Simulation Flight Training Center, Beijing 102488, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Meteorological Service Federate Design and Realization Based on HLA

Abstract

Abstract: To increase flight safety and flight experience under special weather phenomena, the diversity and typical cases of special weather conditions should be considered in flight simulation training, the dynamic and successive meteorological data should be studied, and the insufficient of meteorological services should be overcome by comparing with the traditional flight simulator. *The meteorological service with the generation model of multiple size of template library for typical special weather, the dynamical deduction model of meteorological data, and the interpolation calculation model of meteorological grid-point data were proposed. The meteorological service federate based on High Level Architecture (HLA) was established. FOM/SOM templates were built, and the unit flowchart was given.* The more realistic special weather phenomena for flight simulation training system can be provided by the service.

Keywords

HLA, data interpolation of meteorological lattice, meteorological service, dynamic deduction of meteorological data

Recommended Citation

Liu Yintian, Wang Xiaodong, Wang Zaikui. Meteorological Service Federate Design and Realization Based on HLA[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(7): 1582-1588.

基于 HLA 的气象服务邦员设计与实现

刘胤田¹, 王小东¹, 王再奎²

(1. 成都信息工程大学软件工程学院, 四川 成都 610225; 2. 海军模拟飞行训练中心, 北京 102488)

摘要: 为了增加特殊天气现象下的飞行经验并保障飞行安全, 飞行模拟训练中需要考虑特殊天气的多样性和典型性, 气象数据的动态性和连续性, 克服传统飞行模拟器使用的气象服务特殊天气现象单一、气象数据静止缺乏连续性的不足, 提出具有多尺寸典型特殊天气模板库生成模块、气象数据动态推演模块以及气象格点数据插值计算模块的气象服务; 并基于 HLA 接口规范建立气象服务邦员, 设计 FOM/SOM 模板; 给出气象服务仿真单元流程图。该气象服务能为飞行模拟训练系统提供较为真实的特殊天气现象。

关键词: HLA; 气象格点数据插值; 气象服务; 气象数据动态推演

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2017) 07-1582-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201707024

Meteorological Service Federate Design and Realization Based on HLA

Liu Yintian¹, Wang Xiaodong¹, Wang Zaikui²

(1. College of Software, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China;

2. Naval Simulation Flight Training Center, Beijing 102488, China)

Abstract: To increase flight safety and flight experience under special weather phenomena, the diversity and typical cases of special weather conditions should be considered in flight simulation training, the dynamic and successive meteorological data should be studied, and the insufficient of meteorological services should be overcome by comparing with the traditional flight simulator. *The meteorological service with the generation model of multiple size of template library for typical special weather, the dynamical deduction model of meteorological data, and the interpolation calculation model of meteorological grid-point data were proposed. The meteorological service federate based on High Level Architecture (HLA) was established. FOM/SOM templates were built, and the unit flowchart was given.* The more realistic special weather phenomena for flight simulation training system can be provided by the service.

Keywords: HLA; data interpolation of meteorological lattice; meteorological service; dynamic deduction of meteorological data

引言

飞行训练涉及到场地航路、费用支出以及复杂



收稿日期: 2015-08-10 修回日期: 2015-09-24;
基金项目: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306044);

作者简介: 刘胤田(1972-), 男, 四川隆昌, 博士后, 教授, 研究方向为系统仿真技术和智能计算; 王小东(1991-), 男, 江苏淮安, 硕士, 研究方向为系统仿真。

的操作规程, 对飞行员的综合素质要求高。而使用高层体系结构(High Level Architecture, HLA)建立飞行模拟训练系统具有安全可控、无破坏性、可多次重复和经济性等特点^[1], 既可以保证高强度高频度的训练要求, 又能增加飞行员处理各种事故的经验。本文的气象服务为飞行员的模拟飞行训练提供危险的特殊天气现象, 并遵守 HLA 标准规成员化

<http://www.china-simulation.com>

• 1582 •

为该模拟训练系统联邦的仿真服务邦员之一, 通过联邦运行支撑环境(Run-time Infrastructure, RTI)软件总线和其他邦员进行互连。

气象服务是指基于大气科学的理论与技术, 根据社会、经济、军事等需要, 向社会提供各类的工作, 而气象服务的最主要的形式就是气象信息服务^[2]。航空气象中的气象要素和天气现象对航空技术装备的飞行活动的有着巨大的影响, 军用和民用航空都重视在各种天气现象条件下的飞行训练, 而飞行模拟器在当今的民用和军用飞行训练方面起着不可替代的作用。飞行模拟器的大气解算模型就是获取气象服务所提供的气象数据作为输入, 经解算后提供给航电火控、飞行控制系统^[3]。当前使用的飞行模拟器中的气象服务的不足之处: 1)只模拟简单天气, 没有提供复杂危险的特殊天气系统的描述, 例如雷暴、飏线、下击暴流等; 2)气象模型简单, 缺乏随时间的动态推演; 3)虚拟现实视景中气象要素缺乏, 难以提供沉浸感, 比如风的描述; 4)训练员难以从座椅抖动、运动平台和各种飞行仪表上感受气象要素对飞行的影响。产生这些问题主要都是由于缺乏接近真实、动态、连续的气象数据支撑, 本文的气象服务针对当前飞行模拟器的气象服务的不足, 提出自己的气象服务模型: 1)多尺寸的典型特殊天气系统模板库生成模型; 2)飞行实体实时位置的气象数据计算模型; 3)气象数据动态推演模型。

1 气象服务模型分析

王再奎等人提出利用 WRF (Weather Research Forecast)这种气象预报模式进行精确气象仿真的思路^[4]。本文的气象环境数据在气象数据源的产生方法上选择 WRF 基础之上, 提出自己的气象服务模型。

1.1 气象服务数据生成

1.1.1 WRF 模式概述

WRF 预报模式是由美国研究、业务及大学的科学家共同参与开发研究的新一代中尺度预报模

式和同化系统, 这是一种完全可压非静力模式, 采用 Arakawa C 网格^[5]。WRF 模式具有模拟和实时预报的功能特点, 能够进行对流天气系统模拟、天气要素预报、涡旋中尺度对流系统预报、陆面模拟、降雨模拟等; WRF 模式之所以具有动态连续的特点, 是因为 WRF 模式具有时间积分方案, 高频部分采用时间分裂积分, 低频部分采用三阶时间积分方案; WRF 模式有高度模块化和分层设计的软件框架, 为用户选择模式性能和进行预报提供便利。

1.1.2 气象数据生成模型

特殊天气系统源数据的产生是一个相对独立环节, 在装有 Linux 系统的服务器上, 利用 WRF 模式开源软件, 输入某地区历史气象数据作为场数据, 经过数小时的计算, 最后生成具有时间长度的某分辨率某区域大小的特殊天气系统源数据。气象数据生成模型结构如图 1 所示。有了各个特殊天气系统源数据, 这还并不能直接作为模板使用。由于所选地区本身就具有一定的地形特征而导致气象要素取得无效数值, 比如多山地区的近地面的部分格点气象数据就会缺失, 所以我们需要对数据进行清洗; 由于有将特殊天气系统随意放置在整个模拟世界的需要, 而飞行活动本身也是在 1 h 之内完成的事情, 更短暂可能就 10 min, 而特殊天气系统源数据本身的尺寸或是时间长度并不满足要求, 相反会带来数据冗余, 所以我们需要对这些数据按需求进行时空上的裁剪; 裁剪完之后进行经纬度无关化处理就会形成各种尺寸的各种特殊天气系统的模板, 每个尺寸会有多个, 但是我们需要一种典型(最能体现那个特殊天气系统)的特殊天气描述, 我们还需使用气象可视化软件(如 Micaps)来辅助筛选尺寸为大、中、小这 3 种尺寸的典型特殊天气, 最后组成模板库, 供气象服务使用。

1.2 气象数据动态推演

HLA/RTI 本身就自带时间管理服务, 整个联邦有着共同的时间推进策略和注册相应的同步点。而我们气象服务只需要在每个时间步长中, 变化对

应的时刻的该区域的特殊天气的气象要素, 具体气象数据动态推演模型见图 2。

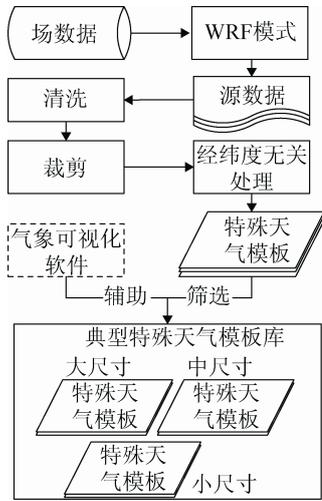


图 1 气象数据生成模型结构图
Fig. 1 Generation model of meteorological data

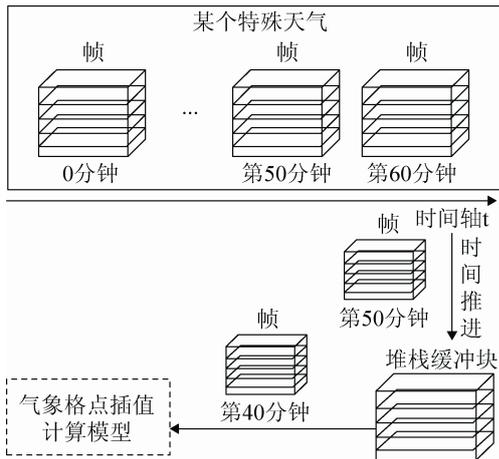


图 2 气象数据动态推演模型结构图
Fig. 2 Dynamical deduction model of meteorological data

为了达到气象数据动态推演的目的, 首先利用 WRF 模式生成从 0~60 min, 每隔 10 min 输出一次气象数据, 这样就会有 6 块某种特殊天气模板, 我们称这种某个时刻的特殊天气模板数据为帧, 这样 6 帧组成了某中特殊天气模板动画, 用来描述这个特殊天气系统从产生到消亡; 申请一个与气象数据帧大小一样的缓冲块, 专门缓存下一时刻的特殊天气模板数据; 单独开辟一个线程, 根据气象服务的仿真步长, 循环播放某个特殊天气模板动画, 直到控制台撤销这个区域的特殊天气。

1.3 气象格点数据实时插值

气象服务给飞行实体提供的气象数据是根据飞行实体的实时位置来进行气象格点数据插值而计算得出。气象格点是整个地球坐标系由经纬线分割而成, 气象格点数据就是某个特殊天气系统在这个格点上的气象要素的数值, 插值方法见图 3。

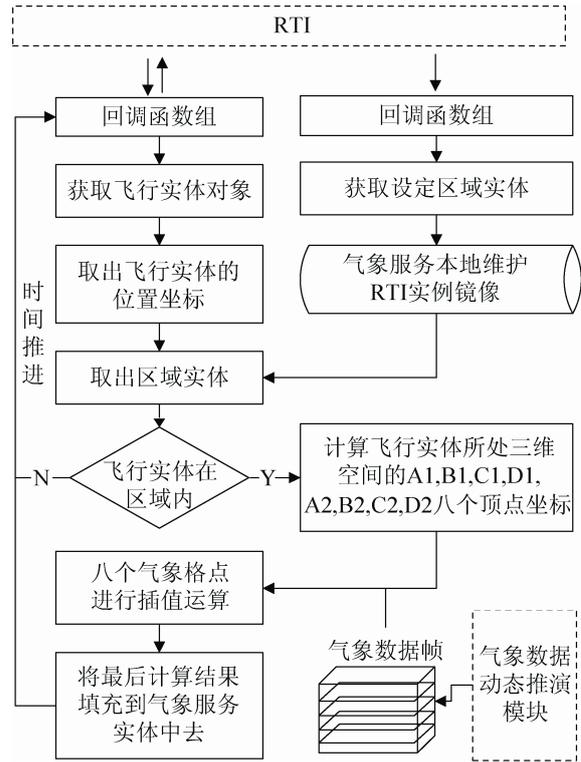


图 3 气象格点数据插值模型结构图
Fig. 3 Interpolation calculation model of meteorological data

气象格点精度(分辨率)不同, 所以飞行实体的位置并不会时刻恰好在格点上, 确切的说多数时刻是不会在格点上的, 所以, 需要使用插值运算来提供实时位置上的气象数据; 特殊天气模板和从 RTI 总线上取得的特殊天气所设置的区域要预先放到内存中, 即 RTI 维护实体的本地镜像; 由于气象数据生成的特殊天气模板与经纬度无关, 所以需要计算出区域左上点的经纬度作为特殊天气模板数据的原点; 再确定飞行实体所属的上下高层, 取得对应上下高层的数据进行插值运算; 最后将运算后的结果填充到气象服务实体中, 由回调函数组发送到 RTI 总线上。

2 气象服务邦员设计

2.1 系统联邦环境

基于 HLA 的飞行模拟训练系统联邦构成层次图如图 4 所示。

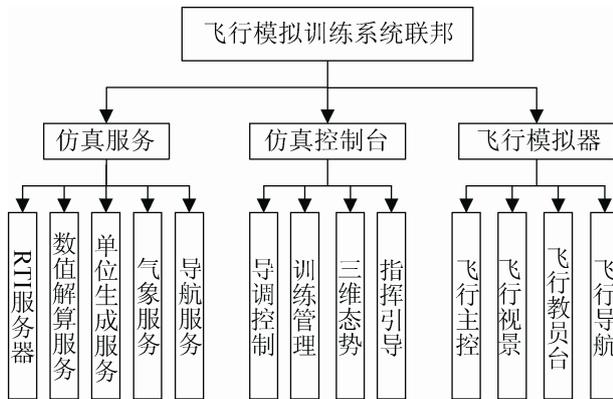


图 4 整个联邦系统层次结构
Fig. 4 Federal system hierarchy

2.2 气象服务邦员角色分析

2.2.1 气象服务供求关系

本文的气象服务邦员是飞行模拟训练系统联邦中仿真服务模块的子服务，通过和存在“发布-订购”关系的其他邦员之间相互作用构成了整个气象服务环境。整个气象服务环境的构建需要单位生成服务、气象服务邦员、导调控制台和飞行模拟器的参与。气象服务、单位生成服务、控制台和飞行模拟器之间的“发布-订购”供求关系如图 5 所示。

从邦员之间供求关系图中可以看出气象服务的内容：1)发布气象服务对象，实时更新气象服务对象；2)获取控制台发布的全局天气设置，通过这种设置初始化气象服务实体的气象要素；3)获取实时飞机对象，从而获得飞机的实时位置；4)获取特殊天气的摆放位置，即区域对象，从而模拟特殊天气在某个地方出现。

2.2.2 气象服务数据

由于气象服务针对航空气象，航空气象所描述的气象要素和特殊天气现象是本气象服务关注的重点。详细描述见表 1。

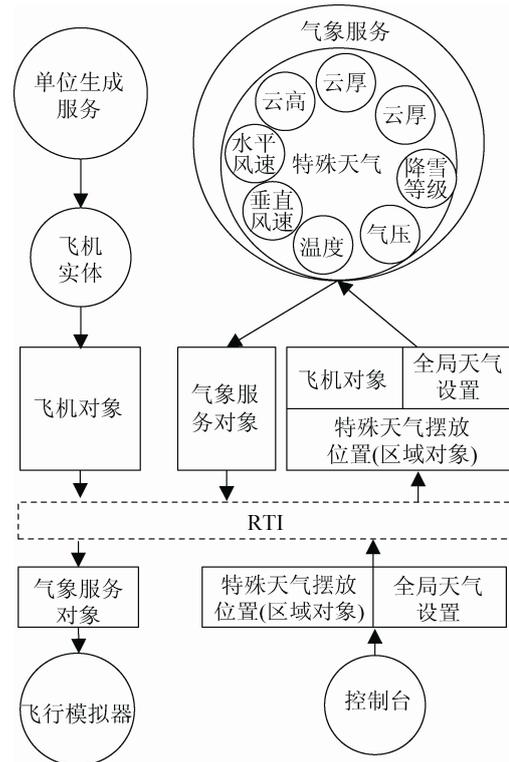


图 5 邦员之间供求关系图
Fig. 5 Relationships between federate

2.3 FOM/SOM 设计

整个气象服务邦员开发过程中，FOM (Federation Object Model)/SOM(Simulation Object Model)的设计是一个重要组成部分，FOM/SOM 定义了联邦执行和联邦成员的交互数据，是 HLA 应用系统进行数据交互的基础，也是 HLA 系统开发给的关键技术之一^[6]。开发 FOM/SOM 实际上就是对所需要开发的分布式仿真系统交互数据进行建模和抽象的过程。

2.3.1 对象类和交互类设计

气象服务与其他联邦之间存在着“发布-订购”类型的交互关系，即每个处于本地成员身份需要通过 RTI 向处于异地成员发布本地操作的信息，处于异地的成员需要订购本地成员的某些操作信息。根据本气象服务的主要任务可确定联邦中的对象类：气象服务 WeatherServer、单位实体 Entity、气象区域 WeatherRegion；联邦中的交互类：气象初始化 WeatherInit。详细说明见表 2。

表 1 气象服务气象数据特点描述表

Tab. 1 Meteorological service data feature description

名称	描述	取值规则
坐标系	气象数据所存在的坐标系统	地球坐标系(经纬高)
设置区域	由经纬(X,Y)确定的某个天气系统发生的模拟地理位置	随经纬度(X,Y)取值
粒度	地球坐标系中的一种分辨率,这种尺度影响气象服务的频率。粒度越小,地球被划分的格点越密集,与飞行实体数据交换越频繁。	1°(约 111 km), 0.5°(约 55.5 km), 0.1°(约 11 km), 0.05°(约 550 km)
气象要素	对自然要素的描述,组成天气系统的基本单位	水平风速、垂直风速、水平风向、雨雪雾等级等
特殊天气	由气象要素组合成具有一定特点且影响飞行活动的天气系统的集合	飏线、大侧风、风切变、雷暴、顺风、下击暴流
动态推演	一个天气系统从诞生到消亡具有自己的生命周期	30 min, 45 min, 1 h

表 2 气象服务对象类和交互类描述表

Tab. 2 Meteorological service object and interaction class description

类型	名称	描述
对象类	Entity	单位生成服务所产生的单位所抽象出来的对象类,记录了单位有关的属性(比如单位类型、位置、速度等)
对象类	WeatherServer	气象服务的对象类,这个对象类里记录了所有需要的气象元素(比如水平风速、垂直风速等)
对象类	WeatherRegion	特殊气象出现的位置,记录了区域中心点、半径和天气类型(比如中心点位置、半径大小等)
交互类	WeatherInit	记录仿真控制台发送的气象初始化设置(比如云厚度、云高度、降雨等级等等)

2.3.2 对象类和交互类属性及其参数的特性

HLA 对象模型模板 OMT 规范了每个对象类(或交互类)用一个能够表明其特征的属性集来描述,HLA 使用属性表来描述这些属性集。需要确定对象类和交互类参数: Datatype 数据类型、Cardinality 基数、Units 单位等交互类参数。

对象类 WeatherRegion 部分状态属性表如表 3 所示,交互类 WeatherInit 部分参数属性表如表 4 所示。其中 QIVector64 为复杂数据类型,部分复杂数据类型表如表 5 所示。

2.3.3 对象类与交互类发布与订阅

关于气象服务主要对象类和交互类的部分属性发布/订阅关系如表 6 所示。

3 气象服务邦员实现

本气象服务邦员采用 MÄK 公司对 RTI 接口规范的实现的商用 RTI 软件 MÄK RTI ver 4.2.0.3 作为联邦运行支撑环境;程序框架使用分布式仿真互连可视化快速开发平台 QuickLink;编程语言使用 QT C++ ver 4.8.0 来实现界面和后台与 RTI 的通信,

最终完成整个气象服务系统的实现。整个协同开发过程遵守联邦开发和执行过程模型(Federation Development and Execute Process Model, FEDEP)。通过使用 MÄK RTI、QuickLink 开发平台、封装好的 HLA 适配器这些技术使开发者无需了解太多 HLA/RTI 以及软件设计模式等专业技术细节,使得程序员完全不需要考虑对象类和交互类属性的发布和订购的细节、仿真推进循环的细节、Windows 消息处理的细节等,极大地减少了程序员的开发工作,提高整个大型仿真项目的实施进度。简化后的仿真单元流程图如图 6 所示。

表 3 对象类 WeatherRegion 部分属性表

Tab. 3 Part of WeatherRegion property

对象类	属性	数据类型	描述
	GlobalId	QIString	对象全局 Id
	Counter	unsigned char	引用计数器
WeatherRegion	RegionCenter	QIVector64	区域中心位置
	RegionRadius	QIVector64	区域半径大小
	WeatherType	unsigned char	区域典型特殊天气编号

表 4 交互类 WeatherInit 部分属性表

交互类	属性	数据类型	描述
WeatherInit	Horizontal WindSpeed	float	水平风速/(m/s)
	RainLevel	unsigned char	雨等级(0,1,2,3,4,5)
	Visibility	float	能见度/m
	Humidity	unsigned char	湿度[0, 100]
	Temperature	char	温度(摄氏度)

表 5 部分复杂数据类型表

复杂数据类型	字段名	数据类型	单位
QIVector64	Pos_X	double	rad
	Pos_Y	double	rad
	Pos_Z	double	m/s
QIString	m_pString	void*	char
	String	char*	char
	Size	int	one

表 6 气象服务主要对象类和交互类部分属性发布/订阅关系表

Tab. 6 Publish / subscribe relationship of meteorological service object and interaction class

类型	联邦成员				
	属性	单位生成服务	气象服务	飞行模拟器	仿真控制台
对象类 Entity	privilegeToDeleteObject	P			
	EntityType(单位类型)	P	S	S	
	Pos(位置)	P	S	S	S
	Vel(速度)	P	S	S	
对象类 WeatherServer	privilegeToDeleteObject			P	
	HorizonWindSpeed(水平风速)	P	PS	P	
	RainLevel(降雨等级)	P	PS	P	
对象类 WeatherRegion	privilegeToDeleteObject				P
	RegionCenter(区域中心点)		S		P
	RegionRadius(区域半径)		S		P
交互类 WeatherInit	HorizonWindSpeed(水平风速)		S		P
	VerticalWindSpeed(垂直风速)		S		P
	WindDirection(风向)		S		P

(注: P 代表发布, S 代表订购, PS 即发布又订购)

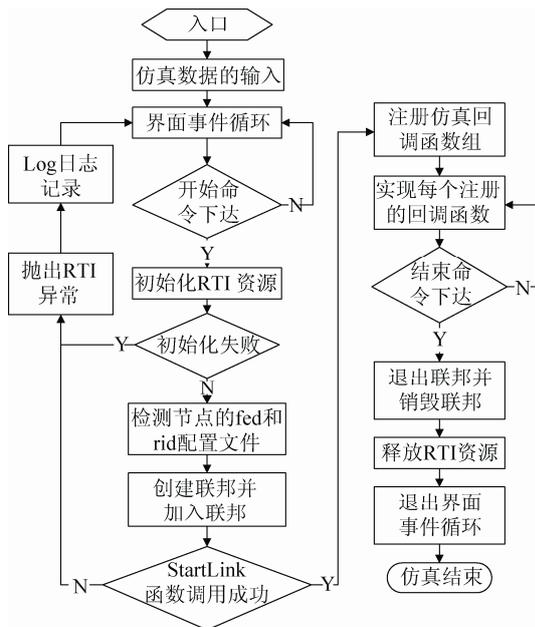


图 6 联邦成员仿真单元流程图

Fig. 6 Federate simulation unit flowchart

4 结论

本文构建了气象服务模型,该模型考虑了复杂多样的特殊天气气象数据的复用,同时具备气象数据动态推演的效果,能够为飞行员的模拟训练提供多种典型特殊天气现象(例如:飚线、大侧风、风切变、雷暴、顺风 and 下击暴流等),通过使用动态推演模型模拟较为真实的天气现象演变;该气象服务同样也满足仿真效率要求:当仿真实体 ≥ 50 h,能够达到仿真耗时 3 s 以下。由于气象仿真的逼真效果受多方面因素影响,需要更多数据反馈作量化分析,在未来的工作中还需要考虑特殊天气区域边界和周围全局天气的气象数据融合。

(下转第 1595 页)