

基于边缘计算的输变电工程全环节单元确认的精准造价智能管控技术研究

栾 凌¹ 潘连武² 闫 雷² 武小琳²

¹ 国网辽宁省电力有限公司沈阳供电公司 沈阳 110000

² 国网辽宁省电力有限公司 沈阳 110006

摘要 为进一步提高输变电工程造价管理的精细化水平,对输变电工程全环节单元确认的精准造价管控技术进行了深入研究。首先,针对缺乏精准计量方式、缺乏成熟管控技术以及各环节单元口径协调难等现存问题进行了细致分析。然后,构建了基于边缘计算的输变电工程全环节单元确认的精准造价智能管控模型,并且采用基于混合策略的免疫粒子群算法对其模型进行优化求解。使用边缘计算搭建输变电工程各环节的造价计算模型极大地缩短了计算延迟时间,降低了数据冗余成本。最后,采用免疫粒子群算法对模型进行优化,摆脱了传统优化算法易陷于局部最优的缺点,使得模型数据处理更高效性、更精准,进一步实现了边缘计算协同的高可靠性优势,实现了高精度的全环节各单元的造价管控体系。

关键词: 造价智能管控;边缘计算;免疫粒子群算法;输变电工程

中图法分类号 TP391

Research on Intelligent Control Technology of Accurate Cost for Unit Confirmation in All Links of Power Transmission and Transformation Project Based on Edge Computing

LUAN Ling¹, PAN Lian-wu², YAN Lei² and WU Xiao-lin²

¹ Shenyang Power Supply Company of State Grid Liaoning Electric Power Company Limited, Shenyang 110000, China

² State Grid Liaoning Electric Power Company Limited, Shenyang 110006, China

Abstract In order to further improve the refinement level of the cost management of power transmission and transformation projects, the precise cost control technology confirmed by the whole link unit of power transmission and transformation projects is studied in-depth. First of all, the existing problems such as the lack of accurate measurement method, lack of mature control technology and the difficulty in coordinating the caliber of each link unit are analyzed in detail. Then, the intelligent control model of accurate cost of the whole link unit confirmation of power transmission and transformation project based on edge computing is constructed. The model is optimized by immune particle swarm optimization algorithm based on hybrid strategy. The cost calculation model of each link of power transmission and transformation project built by edge computing greatly shortens the calculation delay time and reduces the cost of data redundancy. Finally, immune particle swarm optimization algorithm is adopted to optimize the model to get rid of the disadvantage that traditional optimization algorithm is easy to fall into local optimal. Immune particle swarm optimization makes model data processing more efficient and accurate. The algorithm further realizes the advantage of high reliability of edge computing collaboration, and realizes the high precision cost control system of each unit in the whole link.

Keywords Intelligent cost control, Edge computing, Immune particle swarm optimization, Power transmission and transformation project

1 引言

随着电力技术革新与进步,电力行业间的竞争也不断加剧。电力企业为了提升自身的竞争力,开始向智能化、一体化、精细化与高效率的方向发展。其中,大数据平台的构建、云计算以及电力建筑信息模型(Building Information Modeling, BIM)的应用尤为广泛。文献[1]提出了根据各类数据信息建立基于大数据应用的输变电工程造价系统平台,提高了输变电工程造价管控的信息化水平;文献[2]提出了基于BIM技术的输变电工程全环节管控策略,通过计算机数学模型对输变电工程的各项数据进行优化控制,实现了动态、精细

化地管理。但是随着电力技术的创新与新能源的发展和分布式能源的并入,目前我国输变电施工方案变得愈加复杂,在输变电工程全环节造价技术理论体系的构架下,需要考虑的因素也急剧增加。上述方法虽然提高了输变电工程造价管控的信息化与精细化水平,但却局限于造价数据的限制,导致管控效率低下并且会造成极大的数据冗余成本。文献[3]应用云计算技术对造价信息进行管理,实现云储存与数据挖掘在输变电工程造价管控中的应用。但在覆盖地域广泛的输变电工程造价计算中,传统云计算方式也存在着数据延迟的不足^[4]。

综上所述,我们提出了一种基于免疫粒子群算法(Immune Particle Swarm Optimization, IM-PSO)优化边缘计算网

络(Edge Computing, EC)的输变电工程全环节单元确认的精准造价智能管控技术。边缘计算实现了边缘层数据库与云中心数据库的协同对接以及单元独立高效计算的功能,真正达到工程全环节口径统一的效果^[5]。采用免疫粒子群算法优化边缘计算网络节点与传统粒子群算法优化相比,增强了粒子的全局搜索能力与局部开发能力,增强了边缘计算的计算速度与精度^[6]。运用该技术对工程全环节进行全面综合的管理,提高了造价管控精度,解决了当前输变电工程全环节单元确认的精准造价管控问题。

2 输变电工程全环节精准造价现存问题

由于电网信息侧和物理侧的耦合加深以及智能电网和新型能源的高速发展,输变电工程施工方案日益复杂且规模不断增大。现有的 BIM 技术与大数据应用在管控造价过程中无法全面满足当前电力行业所追求的一体化、智能化、精细化与高效率的综合需求,故研究输变电工程全环节单元确认的精准造价管控技术在当前阶段十分具有前瞻性。

目前,输变电工程全环节单元确认的精准造价管控技术存在不足之处,具体问题如下。

2.1 缺乏精准的计量方式

在以往的输变电工程建设过程中,工程的设计概算提供了造价的主要数据来源,但设计概算并不能真正反映输变电工程全环节的造价总金额,且当前输变电工程各环节数据的对接仍然大多依靠人工,导致区域性数据传输至计算中心可能会存在观测误差和输入数据误差,降低精确程度。

2.2 缺乏成熟的管控技术

由于当前输变电工程施工方案的复杂性,输变电工程项目管理技术也面临着革新问题,其建设各阶段都需要进行管理流程优化,都需要解决各环节存在或可能存在的脱节“孤岛”问题,以提高输变电工程全环节造价计算结果的输出效率。

2.3 各环节单元口径协调难

传统输变电工程造价管控系统难以做到工程各方口径一致,对于设计、施工与运营、维护等方面的长期管控难题一直没有较好的解决办法^[7],因此引入边缘计算,利用边缘计算强大的信息处理与协调能力,统一工程各方数据口径,修正因为区域、季节、市场、施工环节等因素变化导致的数据差异,同时采用免疫粒子群算法对边缘计算的节点进行优化,提高输变电工程造价管控的精度与体系的全周期生命力。

3 基于免疫粒子群算法优化的输变电工程造价边缘计算网络模型

3.1 基于混合策略的免疫粒子群算法

混合策略就是将传统的优化算法、进化算法或者新技术应用到传统粒子群算法之中,用于提高粒子的多样性与局部开发能力,增强其收敛速度与精度^[8]。本文是在免疫算法的基础上采用粒子群算法对抗原与抗体群体进行优化更新,以解决单一算法存在的局部最优问题,其步骤如下:

(1)确定抗体的群体个数 M ,学习因子 P_r 与 c_2 ,权重 ω 。

(2)由 Logistic 混沌映射产生 M 个随机无规律抗体^[9] x_i 及其速度 v_i ,其中 $i=1,2,\dots,M$,并形成初始抗体种群 P_0 。

$$x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}) \quad (1)$$

$$v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{im}) \quad (2)$$

(3)计算当前群体 P_k 中抗体适应度函数值、个体与种群的最优值 p_{best} 与 p_{gbest} ,将 p_{gbest} 作为免疫记忆抗体^[10],并判断是否满足终止条件。若满足终止条件则输出结果,反之继续运行。

(4)更新抗体的个体与群体最优值:

$$p_{best}(t+1) = \begin{cases} p_{best}(t), & f(x_i(t+1)) \geq f(p_{best}(t)) \\ x_i(t+1), & f(x_i(t+1)) < f(p_{best}(t)) \end{cases} \quad (3)$$

$$f(p_{best}(t)) = \min\{f(p_{best}(t))\} \quad (4)$$

(5)根据式(3)与(4)更新抗体位置与速度:

$$x_{i,j}(t+1) = x_{i,j}(t) + v_{i,j}(t+1), j=1,2,\dots,D \quad (5)$$

$$v_{i,j}(t+1) = \omega \times v_{i,j}(t) + c_1 r_1 [p_{i,j} - x_{i,j}(t)] + c_2 r_2 [p_{g,j} - x_{i,j}(t)] \quad (6)$$

(6)由 Logistic 混沌映射生成 N 个随机无规律的新抗体。

(7)基于抗体浓度的选择,用群体中相似抗体百分比计算产生 $N+M$ 个新抗体的概率,依照概率大小选择 N 个抗体。将适应度较差的抗体在免疫记忆抗体中进行替换^[11],形成新的抗体种群 P_{k+1} ,然后转至第(3)步,其中第 i 个粒子浓度为:

$$D(x_i) = \frac{1}{\sum_{n=1}^{N+M} [f(x_i) - f(x_n)]} \quad (7)$$

由式(7)可得出抗体替换的概率选择公式为:

$$P_R(x_i) = \frac{\sum_{n=1}^{N+M} [f(x_i) - f(x_n)]}{\sum_{i=1}^{N+M} \sum_{n=1}^{N+M} [f(x_i) - f(x_n)]} \quad (8)$$

其中, x_i 与 $f(x_i)$ 为第 i 个粒子及其适应度函数值。

3.2 基于免疫粒子群算法优化边缘计算的输变电工程造价管控网络模型

边缘计算不同于云计算,它是将计算和处理能力从远端的云数据处理中心下沉到距离用户较近的接入网端口,使得海量数据能够就近处理,各端口也能实现高效协同的工作,从而满足敏捷性、实时性、数据优化等方面的关键需求^[12]。

同时为了提高输变电工程造价边缘计算网络模型的精度要求,本文采用基于混合策略的免疫粒子群算法对边缘计算网络的边缘节点进行优化,在边缘节点计算专注于节点最优的情况下实现整体网络模型的最优化。节点优化主要为网络各节点路径与数据传递效率的优化。

边缘计算网络模型中各节点路径优化主要体现在节点间寻求最短路径,其需满足以下条件:

$$X_n(r) = \sum_{(a,b) \in r} X_n(a,b) \quad (9)$$

$$\omega(r) = \sum_{(a,b) \in r} \omega(a,b) \quad (10)$$

其中, r 为最短路径; $X_n(a,b)$ 为每条路径上的输变电工程造价约束条件; $\omega(a,b)$ 为满足上述所有条件的最小权值约束^[13]。

边缘计算网络模型中数据传递效率要求效率最大化。因此可以将节点端与端之间的数据传递效率定义为某段时间内端点接收数据量与端点发出数据量的比值最小化^[14],即:

$$\min P_{rr} = P_{re} / P_{te} \quad (11)$$

其中, P_{re} 表示数据的传递效率; P_{re} 表示一段时间内的接收数据量; P_{te} 表示一段时间内的发出数据量。

由上述可得,基于混合策略的 IM-PSO 优化边缘计算各节点路径与传递效率的输变电工程造价模型如图 1 所示,该架构主要分为 3 部分,分别是数据终端层、边缘节点优化层和边缘计算层。

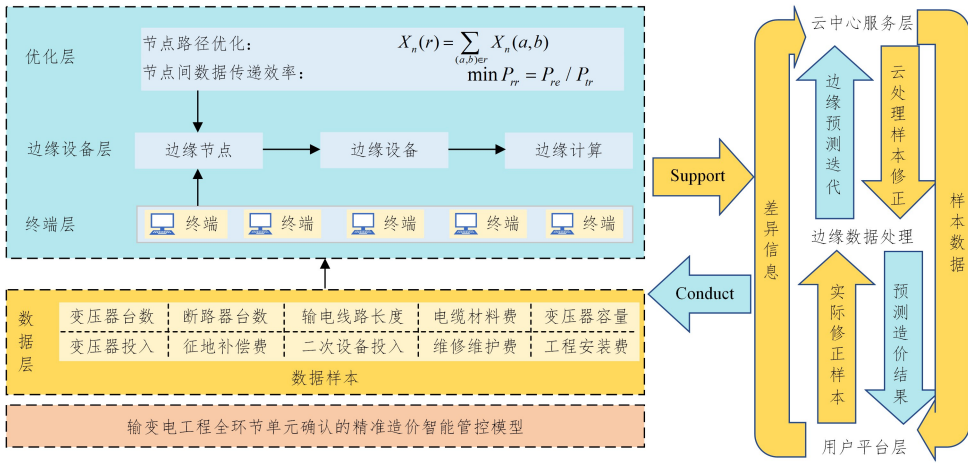


图 1 基于 IM-PSO 优化边缘计算的输变电工程造价模型图

Fig. 1 IM-PSO optimization edge computing based cost model diagram for power transmission and transformation project

输变电工程造价数据经由用户平台侧采集修成后,得到所需要的边缘数据并上传至边缘计算模型之中,其中数据类型主要如图 1 所示。边缘计算各终端节点接收数据并处理,经过上述方法优化网络节点与数据间传递效率的模型,其效率与精度进一步提高。并且,在各边缘层网络节点对各类数据单独计算选取最优结果后,将计算结果上传至边缘计算中心层进行比对分析,若不满足最优条件,则将存在差异信息的数据处理修正后再次传递至边缘层重复进行边缘层计算,从而得到更为准确的造价预测结果以方便进行全环节管控。同时经 IM-PSO 算法优化后的网络节点之间的传输路径更短、效率更高,使得边缘计算的速度更快、精度更高。

4 仿真算例

4.1 优化模型与参数设置

本文采用基于混合策略的免疫粒子群算法处理输变电工程造价管控模型中边缘计算的节点,对其节点之间路径与节点之间数据传递效率进行优化,寻求其节点间最短路径,使得节点间数据传递效率最大化。输变电工程造价智能管控的边缘计算优化目标模型为:

$$f(r_{ij}, p_{rr}) = \min\{X_n(r_{ij}) \otimes P_{rr}\} \quad (12)$$

其中, r_{ij} 为边缘计算 i, j 节点之间数据传递路径; p_{rr} 为传递路径 r 中的数据传递效率。

为满足上述目标,本文构造输变电工程造价管控模型中边缘计算节点路径与节点间数据传递效率之间的二维关系,通过免疫粒子群算法对其进行优化处理,优化流程如图 2 所示。

设置抗体群体规模为 $M=100$, 最大迭代次数为 $MIT=100$, 学习因子 $c_1=c_2=0.8$; 设置 Logistic 参数 $\mu=3.9$; 设置 $S=8$ 用以判断 S 次迭代后抗体是否优化^[15], 抗体浓度的概率选择上限为 $P_R=0.5$ 。

4.2 算例结果与分析

边缘计算与云计算的优化结果如表 1 所列。

表 1 造价管控模型的优化结果

Table 1 Optimization results of cost control model

优化目标	IM-PSO-EC	Cloud Computing (PSO)
节点路径	4.486×10^{-6}	12.059×10^{-6}
传递效率/%	97.213	93.15
$f(r_{ij}, p_{rr})$	4.3610×10^{-4}	1.1×10^{-3}

经过上文所提及的免疫粒子群算法优化边缘计算的输变电工程造价模型后,模型边缘计算的节点路径与节点间数据传递效率都得到了较为明显的优化,节点路径与传递效率的总体优化目标提高了 39.65%。如图 3 所示,边缘计算的节点路径与节点间数据传递效率都得到了较为明显的优化,优化后模型整体的计算效率与精度也得到了极大的提高。

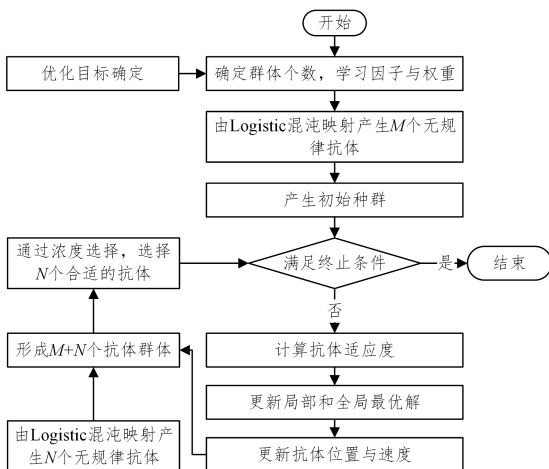


图 2 输变电工程造价管控模型优化流程图

Fig. 2 Optimization flow chart of cost control model of power transmission and transformation project

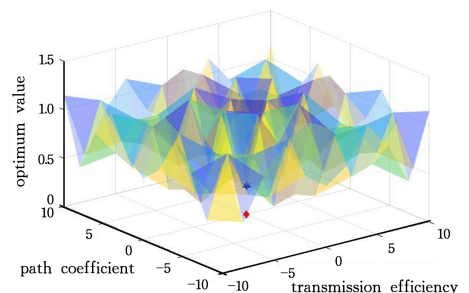


图 3 边缘计算目标值优化图

Fig. 3 Optimization plot of edge computing for target value

图 4 给出了抗体的寻优过程。由两种算法比较可知,IM-PSO 算法中抗体每当趋于局部最优时,都会被大规模替换并由 Logistic 混沌映射随机生成,同时 Logistic 混沌映射生成的抗体粒子是严格不规律的,使得寻优结果极大程度地避免

了陷入局部最优的状况。Logistic 混沌映射如图 5 所示,可知当 μ 值接近 4 时,其生成的粒子均为随机无规律粒子。

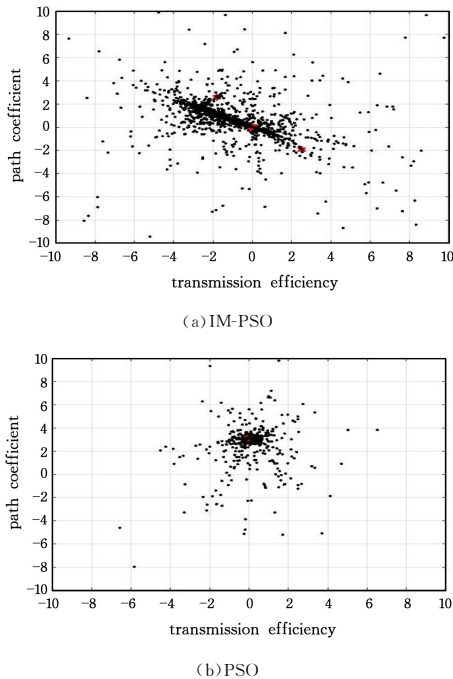


图 4 抗体种群最优值变化图

Fig. 4 Optimal value change plot of antibody population

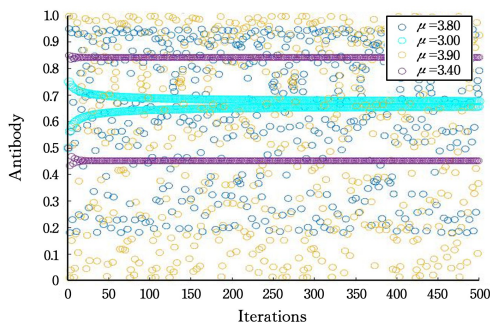


图 5 Logistic 混沌映射抗体图

Fig. 5 Antibody plot of Logistic chaotic mapping

图 6 给出了免疫粒子群算法和粒子群算法的迭代过程对比。可以看出,免疫粒子群算法比传统的粒子群算法收敛速度更快,迭代至 30 次就达到收敛,并且收敛精度更高。

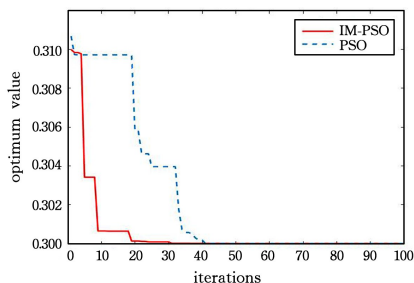


图 6 迭代过程对比图

Fig. 6 Comparison plot of iterative process

结束语 本文建立了免疫粒子群算法优化边缘计算网络节点的输变电工程造价管控模型,以边缘计算处理数据的高效性优势与云边协同的高可靠性优势,实现了高精度的全环节各单元的造价管控体系,其可以提升数据处理速度,保证数

据处理顺序的正确性。经过仿真实验分析,该优化模型相对于采用传统的 BIM 技术、大数据应用以及云计算技术对输变电工程造价管控计算,提高了输变电工程全环节造价计算的准确度,降低了工程竣工前后的结算误差,可以充分解决目前输变电工程项目实施阶段全环节单元缺乏精准计量方式等问题。同时采用了基于混合策略的 IM-PSO 算法进行模型优化,解决了传统粒子群算法易陷于局部最优解,且不适用于大规模实际工程的造价管理应用等问题,使得计算结果更加精确。并且,在该模型的基础上还可以对优化目标进一步改进,可考虑对节点路径与传递效率以外的其他因素进行进一步优化。同时,可以在 IM-PSO 优化方法中引入考虑贴近度的输变电工程历史数据对比机制。

参考文献

- [1] LI Y, LI Q. The Application of BIM Technology in Budget Control of Port Construction Cost[J]. Journal of Coastal Research, 2020, 103: 644-648.
- [2] TAO Q, GU C Q, WANG Z Y, et al. An intelligent clustering algorithm for high-dimensional multiview data in big data applications[J]. Neurocomputing, 2020, 393: 234-244.
- [3] HASHMI S A, ALI C F, ZAFAR S. Internet of things and cloud computing-based energy management system for demand side management in smart grid[J]. International Journal of Energy Research, 2020, 45(1): 1007-1022.
- [4] HIRSCHING C, GOERTZ M, WENIG S, et al. On control and balancing of rigid bipolar MMC-HVdc links enabling subsystem-independent power transfer [J]. Electric Power Systems Research, 2020, 189: 106768.
- [5] CHAKRABORTY D, ELHEGAZY H, ELZARKA H, et al. A novel construction cost prediction model using hybrid natural and light gradient boosting[J]. Advanced Engineering Informatics, 2020, 46: 101201.
- [6] MAO L C, YUN H. Application of a modified CES production function model based on improved PSO algorithm[J]. Applied Mathematics and Computation, 2020, 387: 125178.
- [7] ROSTAMI M, FOROUZANDEH S, BERAHMAND K, et al. Integration of multi-objective PSO based feature selection and node centrality for medical datasets [J]. Genomics, 2020, 122(6): 4370-4384.
- [8] KARASEKRETER N, BAIFTI F, FIDAN U, et al. PSO Based Clustering for the Optimization of Energy Consumption in Wireless Sensor Network [J]. Emerging Materials Research, 2020, 9(3): 1-7.
- [9] RAHMAN I U, ZAKARYA M, RAZA M, et al. An n-state switching PSO algorithm for scalable optimization[J]. Soft Comput, 2020, 24: 11297-11314.
- [10] WANG Y Z, WANG L D, YAN X, et al. Fuzzy immune particle swarm optimization algorithm and its application in scheduling of MVB periodic information[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2016, 32(6): 3797-3807.
- [11] FENG H, GUO S, ZHU A, et al. Energy-efficient User Selection and Resource Allocation in Mobile Edge Computing[J]. Ad Hoc

Networks, 2020, 107:102202.

- [12] LU W, XU X, YE Q, et al. Power Optimization in UAV-Assisted Wireless Powered Cooperative Mobile Edge Computing Systems[J]. IET Communications, 2020, 14(15):2516-2523.
- [13] LIN H, ZEADALLY S, CHEN Z H, et al. A survey on computation offloading modeling for edge computing[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2020, 169:102781.
- [14] LV Z, QIAO L. Optimization of collaborative resource allocation for mobile edge computing [J]. Computer Communications, 2020, 161:19-27.

- [15] RAUSCH T, RASHED A, DUSTDAR S. Optimized container scheduling for data-intensive serverless edge computing[J]. Future Generation Computer Systems, 2021, 114:259-271.



LUAN Ling, born in 1978, BE, deputy senior economist. Her main research interests include intelligent cost control and edge computing.

(上接第 677 页)

表 5 异构无人机测试结果

Table 5 Heterogeneous UAV test results

案例描述 模块名称	按区域划分			按编号划分		
	单节点	两节点	加速比	单节点	两节点	加速比
模型预处理模块	4.097	2.133	1.921	4.097	2.120	1.933
碰撞检测模块	0.137	0.113	1.212	0.137	0.114	1.202
物理更新模块	0.339	0.275	1.233	0.339	0.240	1.413
MPI 通信模块	0	0.091	—	0	0.180	—
其他模块	0.483	0.317	1.524	0.483	0.430	1.123
整体更新	5.056	2.929	1.726	5.056	3.084	1.639
平均 RTF	0.200	0.348	—	0.200	0.320	—

结束语 本文为了解决机器人集群仿真在 Gazebo 平台上存在性能瓶颈问题,通过 MPI 进程通信的方式使得 Gazebo 形成跨节点分布式仿真,并进行了单节点和两节点的性能测试对比,验证了跨节点分布式仿真的性能优越性。但是目前形成的跨节点 Gazebo 版本虽然解决了多进程协同仿真的问题,但由于集群仿真通信频率高、通信量大等问题,其仿真性能依然存在较大瓶颈,如何提高通信性能依然是亟待解决的问题。另外,目前的开发是基于 ROS+Gazebo 仿真,对于单独 Gazebo 仿真需通过另外一套逻辑实现,如何将其统一也是需要解决的问题。目前开发的分布式 Gazebo 也不支持模型动态增删和跨节点动态调整的功能,为更好地支持仿真任务同样需要开发此类功能。因此后续的开发可继续完善这些不足,最终实现稳定、高效、功能强大的跨节点 Gazebo 仿真平台。

参 考 文 献

- [1] REN F J, SUN X. Present Situation and Development of Intelligent Robots[J]. Science & Technology Review, 2015, 33(21): 32-38.
- [2] LIU Y, XU H, GENG C X, et al. Research on Manipulator Motion Planning in ROS/Gazebo[J]. Coal Mine Machinery, 2018, 39(3): 42-44.
- [3] YAO W J. Distributed Multi-robot Circumnavigation Formation Control[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2017.
- [4] CHEN X, XIA Y C, HUANG X H. A Digital Hard-in-the-Loop Real Time Simulation System for Flight Control[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2001, 33(2): 200-203.

- [5] ZHAO Z J, ZHONG S J, LI J L, et al. Ground Simulation of UVA Flight Control[J]. Ordnance Industry Automation, 2013, 32(8): 32-34.
- [6] JIANG Y, YUANG M T. Construction of Robot Flexible Operation Control Platform Based on Gazebo[J]. Industrial Control Computer, 2018, 31(12): 44-46.
- [7] TAN Z. Some Problems in Formation Control of Quadrotor [D]. Hangzhou: Hangzhou Dianzi University, 2019.
- [8] HAO P P, YAO L F. Mobile Robot Path Planning Simulation based on Player/Gazebo[J]. Education Circle, 2010(10): 138.
- [9] ZHANG J W, ZHANG L W, HU Y, et al. Open source operating system-ROS[M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [10] XIE M. Vehicle remote control and navigation simulation based on ROS[D]. Hefei: University of Science and Technology, 2019.
- [11] WANG D G, WANG B H. Seven-degree-of-freedom robot arm Simulation and Motion Planning based on ROS[J]. Science and Technology & Innovation, 2018(2): 116-117.
- [12] QUIGLEY M, CONLEY K, GERKEY B P, et al. ROS: an open-source Robot Operating System[C] // ICRA Workshop on Open Source Software, 2009.
- [13] YU W L. A Mapping Simulation Design of Mobile Robot SLAM Based on ROS[J]. Software Engineering and Applications, 2020, 9(4): 294-301.
- [14] FAN P Q, ZHANG L, TANG S, et al. Implementation and Performance Analysis of MPI+Open MPI Hybrid Programming [J]. Computer Science and Application, 2019, 9(10): 1859-1866.
- [15] ZHANG Z H. The Study of Parallel Computing Based on MPI [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2006.



JIANG Hua-nan, born in 1988, master. His main research interests include high-performance computing, robotics and finite element simulation.



ZHANG Shuai, born in 1986, Ph.D. His main research interests include robotics and CFD simulation.