(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 118586583 B
(45)授权公告日 2025.03.07

(21)申请号 202410625740.8
(22)申请日 2024.05.20
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 118586583 A
(43)申请公布日 2024.09.03
(73)专利权人 武汉和弦科技有限公司
地址 430000 湖北省武汉市江岸区花桥街江大路30号17栋1-7层
(72)发明人 陆正武 孙光艳 陆尤家
(74)专利代理机构 武汉红观专利代理事务所(普通合伙) 42247
专利代理师 徐春燕
(51)Int.Cl.
G06Q 10/063(2023.01)
G09B 9/00(2006.01)
G06Q 50/26(2024.01)

(56)对比文件
CN 107133088 A,2017.09.05
CN 115439101 A,2022.12.06

审查员 谢艳花

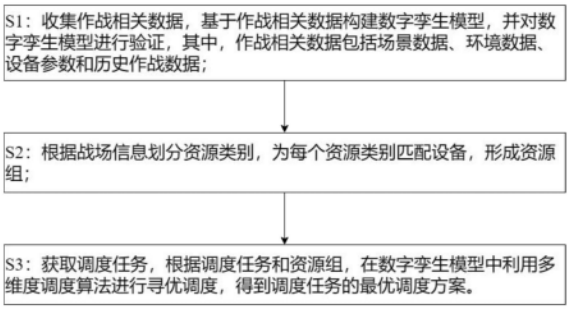
权利要求书3页 说明书9页 附图1页

(54)发明名称

一种基于数字孪生模拟时空协同作战智能调度方法

(57)摘要

本发明提供一种基于数字孪生模拟时空协同作战智能调度方法,涉及智能调度技术领域,包括:S1:收集作战相关数据,基于作战相关数据构建数字孪生模型,并对数字孪生模型进行验证,其中,作战相关数据包括场景数据、环境数据、设备参数和历史作战数据;S2:根据战场信息划分资源类别,为每个资源类别匹配设备,形成资源组;S3:获取调度任务,根据调度任务和资源组,在数字孪生模型中利用多维度调度算法进行寻优调度,得到调度任务的最优调度方案。本发明不仅从战术效果、资源利用率和能源效率这三个核心维度出发,制定了全面而精细的调度方案,而且能够根据作战需求的变化,灵活调整并给出相应的优化方案。



CN 118586583 B

1.一种基于数字孪生模拟时空协同作战智能调度方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1:收集作战相关数据,基于作战相关数据构建数字孪生模型,并对数字孪生模型进行验证,其中,作战相关数据包括场景数据、环境数据、设备参数和历史作战数据;

S2:根据战场信息划分资源类别,为每个资源类别匹配设备,形成资源组;

S3:获取调度任务,根据调度任务和资源组,在数字孪生模型中利用多维度调度算法进行寻优调度,得到调度任务的最优调度方案;

步骤S3包括:

S31:初始化数字孪生模型和调度环境;

S32:获取调度任务X,根据调度任务X定义目标优先级,根据目标优先级构建目标函数F;

S33:根据调度任务X和资源组R构建解空间,解空间包括任务分配和资源配置方案;

S34:利用多维度调度算法在解空间中搜索调度任务X的解集合,对解集合进行评估,从解集合中选择Pareto前沿解,并从Pareto前沿解中选择最优解,即调度任务X的最优调度方案;

步骤S34包括:

S341:根据调度任务T设置优化目标,优化目标包括总时间、总移动距离和总能源消耗;

S342:确定个体数量、初始信息素蒸发率、信息素强度和启发式因子,在所有路径上初始化信息素浓度,利用贪心策略生成初始解;

S343:每个个体根据信息素浓度和启发式因子选择其路径,进行资源调度模拟,在完成路径,即完成一次任务调度后,根据路径的质量更新信息素浓度;

S344:每个个体根据选择的路径构建解集合,并根据目标函数评估解集合的质量,更新Pareto前沿解;

S345:根据解集合中的最优解和平均解的质量自适应调整信息素蒸发率,并根据Pareto前沿解更新信息素浓度;

S346:设置周期t,每隔一次周期t,则利用交叉和变异方法来生成新的解集合,并重新分配给个体;

S347:重复步骤S343-S346,直至达到迭代停止条件,输出Pareto前沿解中的最优解,即调度任务T的最优调度方案;

目标函数为:

$$F=\sum_{n} f_n(C_n)\times T_n + P(T_n);$$

式中,F为目标函数的值,n=1,2,3,C_n表示目标优先级,$f_n(C_n)$表示动态权重,T_n表示第n个优化目标,$P(T_n)$表示T_n的罚项函数;

步骤S345包括:

步骤一、计算当前解集合中的最优解质量Q_{best}和整个解集合的平均解质量Q_{avg};

步骤二、计算最优解质量Q_{best}和平均解质量Q_{avg}的质量差异ΔQ,$\Delta Q = Q_{best} - Q_{avg}$;

步骤三、根据ΔQ的值更新信息素蒸发率ρ,信息素蒸发率ρ包括全局蒸发率ρ_{global}和

局部蒸发率ρ_{local};

步骤四、从当前解集合中选择Pareto前沿解,使用Pareto前沿解更新全局信息素浓度,对于每个在Pareto前沿的解s,更新路径(i,j)上的信息素浓度;

步骤五、对于非Pareto解的路径,进行局部信息素浓度更新。

2.如权利要求1所述的一种基于数字孪生模拟时空协同作战智能调度方法,其特征在于,步骤S1包括:

S11:收集作战相关数据,包括场景数据、环境数据、设备参数和历史作战数据,并对作战相关数据进行标准化处理;

S12:根据作战相关数据构建作战场景的三维数字模型,包括模拟地形、建筑物、天气系统、移动作战单元和环境条件;

S13:设置可变参数,将其配置到三维数字模型中;

S14:获取实际数据,根据实际数据对三维数字模型进行校正,以调整三维数字模型的参数,得到数字孪生模型。

3.如权利要求2所述的一种基于数字孪生模拟时空协同作战智能调度方法,其特征在于,资源类别包括定位类、交战类、探测类、指示类和追踪类,定位类匹配有声呐设备和雷达设备,交战类匹配有导弹设备和鱼雷设备,探测类匹配有声呐设备和雷达设备,指示类匹配有火控系统和指挥中心,追踪类匹配有无人设备和舰船。

4.如权利要求1所述的一种基于数字孪生模拟时空协同作战智能调度方法,其特征在于,信息素蒸发率的更新公式为:

$$\rho_{type} = \rho_{type,0} + k \cdot tanh(\gamma \cdot \Delta Q);$$

式中,ρ_{type}是更新后的信息素蒸发率,其中,type表示global或local,$\rho_{type,0}$是初始信息素蒸发率,k是调整幅度系数,γ是调整敏感度系数,tanh是双曲正切函数,用于将调整幅度限制在[-k,k]范围内。

5.如权利要求1所述的一种基于数字孪生模拟时空协同作战智能调度方法,其特征在于,全局信息素浓度的更新公式为:

$$\tau_{ij}^{global}(t+1) = (1-\rho_{global}) \bullet \tau_{ij}^{global}(t) + \sum_{s \in S_{pareto}} (\frac{F^{-1}(s)}{Z} \bullet \Delta\tau_{ij}^{s});$$

式中,$\tau_{ij}^{global}(t+1)$表示t+1时刻的全局信息素浓度,$\tau_{ij}^{global}(t)$为t时刻的全局信息素浓度,ρ_{global}为全局蒸发率,S_{Pareto}为Pareto前沿解,$F^{-1}(s)$表示解s的目标函数的逆,Z为归一化因子,$\Delta\tau_{ij}^{s}$表示解s的信息素增量;

局部信息素浓度的更新公式为:

$$\tau_{ij}^{local}(t+1) = (1-\rho_{local} \bullet \alpha_{ij})\tau_{ij}^{lcoal}(t);$$

式中,α_{ij}为路径(i,j)的动态系数,$\tau_{ij}^{local}(t+1)$为t+1时刻的局部信息素浓度,

$\tau_{ij}^{lcoal}(t)$为t时刻的局部信息素浓度。

6.如权利要求1所述的一种基于数字孪生模拟时空协同作战智能调度方法,其特征在于,启发式因子表示为:

$$\eta_{ij}=\frac{1}{\sum_{x=1}^{3}\sum_{y=1}^{3}w_x\cdot U_{xy}\cdot d_y(i,j)};$$

式中,η_{ij}为启发式因子,$d_y(i,j)$表示路径(i,j)在第y个优化目标上的成本,w_x是第x个优化目标的权重,U_{xy}表示第x个优化目标和第y个优化目标之间的相关性矩阵。

一种基于数字孪生模拟时空协同作战智能调度方法

技术领域

[0001] 本发明涉及智能调度技术领域,具体涉及一种基于数字孪生模拟时空协同作战智能调度方法。

背景技术

[0002] 作战资源调度是军事指挥控制领域的研究热点,时空协同作战调度是指在军事作战中,利用各种时空信息技术手段,对作战计划进行动态调整和优化,实现多个作战单元之间的协同作战。它涉及到多个方面,包括战场情报收集、战术决策、资源调度等。

[0003] 时空协同作战调度是一种创新的作战调度方式,它强调在作战过程中,对时间和空间资源进行高效协同和精确配置,以优化作战效能。时空协同作战调度充分利用时间资源、空间距离上能够形成紧密的配合,共同完成作战任务。

[0004] 随着现代战争形态的不断演变,时空协同作战调度也需要不断适应新的作战需求和技术发展。例如通过数字孪生技术,我们能够模拟各种可能出现的作战场景与条件,并据此快速评估不同调度策略的成本效益,从而显著提升调度效率。此外,数字孪生技术还具备智能分析作战过程的能力,可以进一步优化时空协同作战调度方案,推动其水平迈向新的高度。这一技术的运用,无疑将为现代战争中的时空协同作战调度带来革命性的改变。

发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明提供一种基于数字孪生模拟时空协同作战智能调度方法,不仅从战术效果、资源利用率、能源效率这三个核心维度出发,制定了全面而精细的调度方案,而且能够根据作战需求的变化,灵活调整并给出相应的优化方案。

[0006] 本发明的技术目的是这样实现的:

[0007] 本发明提供一种基于数字孪生模拟时空协同作战智能调度方法,包括以下步骤:

[0008] S1:收集作战相关数据,基于作战相关数据构建数字孪生模型,并对数字孪生模型进行验证,其中,作战相关数据包括场景数据、环境数据、设备参数和历史作战数据;

[0009] S2:根据战场信息划分资源类别,为每个资源类别匹配设备,形成资源组;

[0010] S3:获取调度任务,根据调度任务和资源组,在数字孪生模型中利用多维度调度算法进行寻优调度,得到调度任务的最优调度方案。

[0011] 在上述技术方案的基础上,优选的,步骤S1包括:

[0012] S11:收集作战相关数据,包括场景数据、环境数据、设备参数和历史作战数据,并对作战相关数据进行标准化处理;

[0013] S12:根据作战相关数据构建作战场景的三维数字模型,包括模拟地形、建筑物、天气系统、移动作战单元和环境条件;

[0014] S13:设置可变参数,将其配置到三维数字模型中;

[0015] S14:获取实际数据,根据实际数据对三维数字模型进行校正,以调整三维数字模型的参数,得到数字孪生模型。

[0016] 在上述技术方案的基础上,优选的,资源类别包括通信类、支援类、防御类、攻击类和侦查类,通信类匹配有通信设备和通信系统,支援类匹配有运输设备和维护设备,防御类匹配有防护设备和防空导弹系统,攻击类匹配有陆空攻击设备和导弹系统,侦查类匹配有侦察设备和雷达设备。

[0017] 在上述技术方案的基础上,优选的,步骤S3包括:

[0018] S31:初始化数字孪生模型和调度环境;

[0019] S32:获取调度任务X,根据调度任务X定义目标优先级,根据目标优先级构建目标函数F;

[0020] S33:根据调度任务X和资源组R构建解空间,解空间包括任务分配和资源配置方案;

[0021] S34:利用多维度调度算法在解空间中搜索调度任务X的解集合,对解集合进行评估,从解集合中选择Pareto前沿解,并从Pareto前沿解中选择最优解,即调度任务X的最优调度方案。

[0022] 在上述技术方案的基础上,优选的,步骤S34包括:

[0023] S341:根据调度任务T设置优化目标,优化目标包括战术效果、资源利用率和能源效率;

[0024] S342:确定个体数量、初始信息素蒸发率、信息素强度和启发式因子,在所有路径上初始化信息素浓度,利用贪心策略生成初始解;

[0025] S343:每个个体根据信息素浓度和启发式因子选择其路径,进行资源调度模拟,在完成路径,即完成一次任务调度后,根据路径的质量更新信息素浓度;

[0026] S344:每个个体根据选择的路径构建解集合,并根据目标函数评估解集合的质量,更新Pareto前沿解;

[0027] S345:根据解集合中的最优解和平均解的质量自适应调整信息素蒸发率,并根据Pareto前沿解更新信息素浓度;

[0028] S346:设置周期t,每隔一次周期t,则利用交叉和变异方法来生成新的解集合,并重新分配给个体;

[0029] S347:重复步骤S343-S346,直至达到迭代停止条件,输出Pareto前沿解中的最优解,即调度任务T的最优调度方案。

[0030] 在上述技术方案的基础上,优选的,目标函数为:

[0031] $$F=\sum_{n} f_n(C_n)\times T_n + P(T_n)$$

[0032] 式中,F为目标函数的值,n=1,2,3,C_n表示目标优先级,$f_n(C_n)$表示动态权重,T_n表示第n个优化目标,$P(T_n)$表示T_n的罚项函数。

[0033] 在上述技术方案的基础上,优选的,步骤S345包括:

[0034] 步骤一、计算当前解集合中的最优解质量Q_{best}和整个解集合的平均解质量Q_{avg};

[0035] 步骤二、计算最优解质量Q_{best}和平均解质量Q_{avg}的质量差异ΔQ,$\Delta Q=Q_{best}-Q_{avg}$;

[0036] 步骤三、根据ΔQ的值更新信息素蒸发率ρ,信息素蒸发率ρ包括全局蒸发率ρ_{global}和局部蒸发率ρ_{local};

[0037] 步骤四、从当前解集合中选择Pareto前沿解,使用Pareto前沿解更新全局信息素

浓度,对于每个在Pareto前沿的解s,更新路径(i,j)上的信息素浓度;

[0038] 步骤五、对于非Pareto解的路径,进行局部信息素浓度更新。

[0039] 在上述技术方案的基础上,优选的,信息素蒸发率的更新公式为:

[0040] $\rho_{type}=\rho_{type,0}+k\cdot\tanh(\gamma\cdot\Delta Q)$

[0041] 式中,ρ_{type}是更新后的信息素蒸发率,其中,type表示global或local,$\rho_{type,0}$是初始信息素蒸发率,k是调整幅度系数,γ是调整敏感度系数,tanh是双曲正切函数,用于将调整幅度限制在[-k,k]范围内。

[0042] 在上述技术方案的基础上,优选的,全局信息素浓度的更新公式为:

[0043] $$\tau_{ij}=(1-\rho_{global})\cdot\tau_{ij}+\sum_{s\in S_{Pareto}}\frac{F^{-1}(s)}{Z}\cdot\Delta\tau_{ij}^{s})$$

[0044] 式中,τ_{ij}表示信息素浓度,ρ_{global}为全局蒸发率,S_{Pareto}为Pareto前沿解,$F^{-1}(s)$表示解s的目标函数的逆,Z为归一化因子,$\Delta\tau_{ij}^{s}$表示解s的信息素增量;

[0045] 局部信息素浓度的更新公式为:

[0046] $\tau_{ij}=(1-\rho_{local}\cdot\alpha_{ij})\cdot\tau_{ij}$

[0047] 式中,α_{ij}为路径(i,j)的动态系数。

[0048] 在上述技术方案的基础上,优选的,启发式因子表示为:

[0049] $$\eta_{ij}=\frac{1}{\sum_{x=1}^{3}\sum_{y=1}^{3}w_x\cdot U_{xy}\cdot d_y(i,j)}$$

[0050] 式中,η_{ij}为启发式因子,$d_y(i,j)$表示路径(i,j)在第y个优化目标上的成本,w_x是第x个优化目标的权重,U_{xy}表示第x个优化目标和第y个优化目标之间的相关性矩阵。

[0051] 本发明的方法相对于现有技术具有以下有益效果:

[0052] (1)本发明通过构建与实际数据同步的高精度数字孪生模型,实现了动态的作战环境模拟与参数调整。该方法通过明确划分资源类别并匹配适宜设备,优化资源配置,提高使用效率。应用多维度调度算法,结合多目标优化,使得调度方案在满足多种优先级和约束下达到最优。此外,采用Pareto前沿解的选择策略,确保在多目标决策中实现最佳平衡,有效提升作战调度的精确度和适应性,增强对复杂多变作战环境的应对能力;

[0053] (2)本发明通过详细定义多目标优化函数,有效地处理了作战调度中的复杂决策问题。通过优化目标函数F,该方法不仅考虑了战术效果、资源利用率、能源效率,还引入了动态权重和罚项函数,使得调度策略能够灵活地调整以适应不同的作战需求和条件。这种方法能够在保证作战效率的同时,最大限度地减少资源消耗,从而在多个关键性能指标之间实现最优平衡;

[0054] (3)本发明信息素的管理和更新机制是实现有效路径选择和资源调度的关键。通过初始的信息素浓度设置和贪心策略生成的初始解,为算法提供了良好的起点。随后,通过自适应调整信息素蒸发率和根据Pareto前沿解更新信息素浓度的策略,该方法能够动态地调整搜索策略,反映出最新的调度优先级和环境变化。这种智能的信息素管理不仅提高了算法的收敛速度,还增强了解的多样性和质量;

[0055] (4)本发明通过采用交叉和变异方法生成新的解集合,并利用多维度调度算法进

行迭代优化,显著提高了调度任务的解决效率和质量。每个迭代周期中,通过评估解集合的质量并选择Pareto前沿解,该方法确保了解的持续优化和适应性调整。这种迭代优化过程不仅加速了最优解的搜索,还通过细致地调整调度策略来应对复杂多变的作战环境,最终输出最优的调度方案,确保作战任务的成功执行。

附图说明

[0056] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0057] 图1为本发明实施例的方法流程图。

具体实施方式

[0058] 下面将结合本发明实施方式,对本发明实施方式中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施方式仅仅是本发明一部分实施方式,而不是全部的实施方式。基于本发明中的实施方式,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施方式,都属于本发明保护的范围。

[0059] 如图1所示,本发明提供一种基于数字孪生模拟时空协同作战智能调度方法,包括以下步骤:

[0060] S1:收集作战相关数据,基于作战相关数据构建数字孪生模型,并对数字孪生模型进行验证,其中,作战相关数据包括场景数据、环境数据、设备参数和历史作战数据;

[0061] S2:根据战场信息划分资源类别,为每个资源类别匹配设备,形成资源组,其中,设备包含测试评分;

[0062] S3:获取调度任务,根据调度任务和资源组,在数字孪生模型中利用多维度调度算法进行寻优调度,得到调度任务的最优调度方案。

[0063] 具体的,本发明一实施例中,步骤S1包括:

[0064] S11:收集作战相关数据,包括场景数据、环境数据、设备参数和历史作战数据,并对作战相关数据进行标准化处理。

[0065] 首先收集与作战任务直接相关的各类数据。这包括但不限于场景数据,如地理位置、地形特征、环境数据,如气象条件、温度、湿度、设备参数,如武器系统的性能指标、车辆的机动性能,以及历史作战数据,以往的作战经验、敌我双方的行动记录。收集到的数据需要经过标准化处理,以确保数据格式的一致性和数据质量,便于后续的分析和模拟使用。标准化处理包括数据清洗以去除无效、错误的数据点、数据转换,如统一量度单位、时间格式等、数据编码如分类数据的数值化等。

[0066] S12:根据作战相关数据构建作战场景的三维数字模型,包括模拟地形、建筑物、天气系统、移动作战单元和环境条件。

[0067] 使用标准化后的数据构建一个三维数字模型。这个模型是作战环境的虚拟呈现,包括地形的高低起伏、建筑物的布局、以及天气系统的动态变化等。此外,模型中还会模拟移动作战单元,如坦克、飞机、士兵等,和各种环境条件对作战的影响。

[0068] S13:设置可变参数,将其配置到三维数字模型中。

[0069] 在三维模型中设置可变参数,以模拟不同的作战场景。例如,可以调整天气条件如雨量、风速,或是改变某些作战单元的部署位置和数量。

[0070] S14:获取实际数据,根据实际数据对三维数字模型进行校正,以调整三维数字模型的参数,得到数字孪生模型。

[0071] 在模拟过程中,需要实时获取实际作战数据,这些数据用于校正和调整三维数字模型的参数,确保模型的准确性和实时性。

[0072] 以一个具体示例作说明:

[0073] 本实施例为海上作战模拟过程,首先,需收集海洋地理位置的详细数据,包括海域的深度、潮流和海流情况。收集气象条件数据,如风速、风向、海浪高度、温度和湿度等。详细记录各类舰艇和潜艇的性能指标,如速度、耐久性、武器系统的射程和精度等。分析以往的海战记录,包括战术使用、敌我双方的行动记录和战果。

[0074] 接着,剔除错误和无效的数据点,如不符合当前技术标准的旧数据。统一数据的量度单位(如将海里转换为公里)、时间格式等。对分类数据进行数值化处理,便于后续的分析和模拟。

[0075] 使用Unity构建一个包含海域地形、天气系统和舰艇的详细三维模型。利用物理引擎模拟海浪、风力对舰艇的影响,以及舰艇之间的动态交互。集成动态天气系统,模拟从风平浪静到风暴的各种天气条件。根据收集的数据设定舰艇的物理属性,如浮力、速度、机动性等。

[0076] 为三维数字模型配置可变参数,根据战术需求调整天气参数(风速、雨量)、海流和潮汐。配置战斗单元的部署,如舰艇的阵型、潜艇的潜伏深度和位置。进行不同参数设置下的战术模拟,测试在各种环境条件下的作战效果。评估不同战术选择对作战结果的影响,如突击、撤退或防守。

[0077] 在模拟过程中,实时接入模拟训练中的数据,如舰艇的实际移动速度和武器系统的操作数据。根据实际操作中的反馈,调整和校正三维模型的参数。

[0078] 具体的,本发明一实施例中,资源类别包括通信类、支援类、防御类、攻击类和侦查类,通信类匹配有通信设备和通信系统,支援类匹配有运输设备和维护设备,防御类匹配有防护设备和防空导弹系统,攻击类匹配有陆空攻击设备和导弹系统,侦查类匹配有侦察设备和雷达设备。

[0079] 其中,通信类通常需配备通信设备和通信系统,通信设备:包括手持无线电、车载无线电、便携式通信设备等,主要用于实现战场上的即时通信,确保指挥官和战斗单位之间能够快速、有效地交换信息。通信系统:高级通信系统如卫星通讯系统、光纤通信网络、加密通信系统等,用于提供长距离和安全的通信链路,支持复杂的指挥控制操作和战略级通信。

[0080] 支援类需要配备运输设备和维护设备,运输设备:包括军用卡车、装甲运输车、轮船和运输飞机等,用于运送部队、武器、弹药和其他物资,确保前线部队的物资补给和快速部署。维护设备:包括工程车辆、维修工具和设施,用于维护和修理武器系统、车辆和其他军事设备,保持战斗力的持续性和设备的运行效率。

[0081] 防御类需要配备防护设备和防空导弹系统。防护设备:包括防护墙、掩体、防弹衣和其他防护结构,用于保护士兵和关键设施免受敌方攻击。防空导弹系统:高技术的防空系

统,如地对空导弹和防空炮,用于检测、追踪和拦截来袭的飞行物,如飞机、直升机和导弹,保护重要目标和部队。

[0082] 攻击类需要配备陆空攻击设备和导弹系统,陆空攻击设备:包括坦克、自行火炮、战斗机和攻击直升机,用于对敌进行有效的地面和空中攻击,摧毁敌方的战斗力和战略资源。导弹系统:包括地对地导弹、巡航导弹和战术弹道导弹,提供精确远程打击能力,用于摧毁敌方的指挥中心、通信节点和其他关键目标。

[0083] 侦查类需要配备侦察设备和雷达设备,侦察设备:包括无人侦察飞机(UAV)、侦察车辆和特种侦察装备,用于搜集关于敌方位置、活动和资源的情报,为战斗部署和战术决策提供支持。雷达设备:包括地面雷达、舰载雷达和空中雷达系统,用于实时监控空中、地面和海上的动态,快速识别敌方单位和设备,提供情报支持和目标指示。

[0084] 具体的,本发明一实施例中,步骤S3包括:

[0085] S31:初始化数字孪生模型和调度环境;

[0086] S32:获取调度任务X,根据调度任务X定义目标优先级,根据目标优先级构建目标函数F;

[0087] S33:根据调度任务X和资源组R构建解空间,解空间包括任务分配和资源配置方案;

[0088] S34:利用多维度调度算法在解空间中搜索调度任务X的解集合,对解集合进行评估,从解集合中选择Pareto前沿解,并从Pareto前沿解中选择最优解,即调度任务X的最优调度方案。

[0089] 具体的,在构建了数字孪生模型后,根据其校正的参数初始化调度环境,即在数字孪生模型中,设置可调值,用于应对不同的调度任务或作战策略。

[0090] 获取具体的调度任务,如海上防御、海上打击、包围攻击等。根据各个调度任务的性质和战场情况,确定优化目标的优先级,以此为基础,本实施例构建的目标函数如下:

[0091] $$F=\sum_{n} f_n(C_n)\times T_n + P(T_n)$$

[0092] 式中,F为目标函数的值,n=1,2,3,C_n表示目标优先级,$f_n(C_n)$表示动态权重,T_n表示第n个优化目标,$P(T_n)$表示T_n的罚项函数。

[0093] 本实施例中的优化目标包括最大化战术效果、最大化资源利用率、最大化能源效率。考虑到在作战时,随着任务紧张或外部环境变化,不同的目标优先级应当需要动态调整不同优化目标的优化权重,因此,采用一个动态权重函数来基于目标优先级对权重进行调整。同时,由于会有效果波动、利用率低、能源快速见底的异常情况,因此设置一个罚项函数来避免。

[0094] 根据调度任务和资源组,构建一个包含所有可能的任务分配和资源配置方案的解空间。具体为:

[0095] 详细分析可用资源及其特性,如设备性能、位置等,各个设备包含其测试评分,以及任务的需求。创建一个包括所有可能的资源配置和任务分配方案的解空间,每个方案都是一个潜在的调度方案。

[0096] 应用多维度调度算法在解空间中搜索最优解,并从中选择最适合当前作战需求的调度方案。步骤S34包括:

[0097] S341:根据调度任务T设置优化目标,优化目标包括战术效果、资源利用率和能源效率;

[0098] S342:确定个体数量、初始信息素蒸发率、信息素强度和启发式因子,在所有路径上初始化信息素浓度,利用贪心策略生成初始解;

[0099] S343:每个个体根据信息素浓度和启发式因子选择其路径,进行资源调度模拟,在完成路径,即完成一次任务调度后,根据路径的质量更新信息素浓度;

[0100] S344:每个个体根据选择的路径构建解集合,并根据目标函数评估解集合的质量,更新Pareto前沿解;

[0101] S345:根据解集合中的最优解和平均解的质量自适应调整信息素蒸发率,并根据Pareto前沿解更新信息素浓度;

[0102] S346:设置周期t,每隔一次周期t,则利用交叉和变异方法来生成新的解集合,并重新分配给个体;

[0103] S347:重复步骤S343-S346,直至达到迭代停止条件,输出Pareto前沿解中的最优解,即调度任务T的最优调度方案。

[0104] 以一个具体例子作说明:

[0105] 根据调度任务T,确定优化目标,包括战术效果、资源利用率和能源效率。

[0106] 确定个体数量,设置初始全局蒸发率$\rho_{global}=0.1$,局部蒸发率$\rho_{local}=0.01$。

[0107] 在所有路径上初始化信息素强度,设其值为0.5。计算每条路径的启发式因子。利用贪心策略生成初始解,选择启发式因子最高的路径作为起始解。

[0108] 启发式因子的计算公式为:

[0109] $$\eta_{ij}=\frac{1}{\sum_{x=1}^{3}\sum_{y=1}^{3}w_x\cdot U_{xy}\cdot d_y(i,j)}$$

[0110] 式中,η_{ij}为启发式因子,$d_y(i,j)$表示路径(i,j)在第y个优化目标上的成本,w_x是第x个优化目标的权重,U_{xy}表示第x个优化目标和第y个优化目标之间的相关性矩阵。

[0111] 本实施例中,考虑到多个优化目标(如战术效果、资源利用率和能源效率),通过$d_y(i,j)$表示路径(i,j)在第y个优化目标上的成本。这样可以更全面地评估一条路径的优劣,有助于找到在多个目标上都表现良好的解。通过引入一个目标间相关性矩阵U_{xy},来评估一条路径的综合质量。

[0112] 每个个体根据当前的信息素浓度和启发式因子,用轮盘赌的方式选择路径,进行一次完整的调度任务,即从起点到终点的一个调度方案。在完成任务后,根据该路径的实际表现(如战术效果、资源利用率和能源效率),更新该路径上的信息素浓度。表现好的路径,信息素浓度增加的幅度大;反之,增加的幅度小。

[0113] 对于每个个体得到的一个完整调度路径,其实是一个可行解。将所有个体的解构成一个解集合。然后,用预设的目标函数评估每个解的质量,得到解集合中每个解的目标函数值。接着,从解集合中选出Pareto前沿解,即那些在任一目标上表现最好且不会被其他解完全支配的解,作为当前的Pareto前沿解。

[0114] 更新Pareto前沿解集合,确保存储非劣解:

[0115] 比较新解与现有Pareto解。

[0116] 如果新解支配任何现有解,则替换被支配解。

[0117] 如果新解非劣且不被任何现有解支配,则加入Pareto集。

[0118] 为了平衡算法的探索性和利用性,需要动态调整信息素蒸发率。具体步骤如下:

[0119] 步骤一、计算当前解集合中的最优解质量Q_{best}和整个解集合的平均解质量Q_{avg}。

[0120] 具体的,本实施例中,质量Q是对目标函数值的标量化值。遍历当前解集合中的所有解,找出质量最高的解,其质量就是Q_{best}。同时,计算所有解的质量值的平均值,作为Q_{avg}。

[0121] 步骤二、计算最优解质量Q_{best}和平均解质量Q_{avg}的质量差异ΔQ,$\Delta Q=Q_{best}-Q_{avg}$;ΔQ反映了当前最优解与整体解的质量差距。ΔQ越大,说明最优解与其他解的质量差距越大,算法可能已经趋于收敛;ΔQ越小,说明解集合中的解质量比较接近,算法可能还处于探索阶段。

[0122] 步骤三、根据ΔQ的值更新信息素蒸发率ρ,信息素蒸发率ρ包括全局蒸发率ρ_{global}和局部蒸发率ρ_{local};信息素蒸发率ρ控制了信息素衰减的速度,它影响了算法的全局搜索能力和局部搜索能力的平衡。当ΔQ较大时,说明算法已经找到了比较好的解,此时应该加快信息素衰减,鼓励算法在当前较优解附近进行深入搜索;当ΔQ较小时,说明算法还没有找到令人满意的解,此时应该减缓信息素衰减,鼓励算法进行更广泛的探索。

[0123] 信息素蒸发率的更新公式为:

[0124] $\rho_{type}=\rho_{type,0}+k\cdot\tanh(\gamma\cdot\Delta Q)$

[0125] 式中,ρ_{type}是更新后的信息素蒸发率,其中,type表示global或local,$\rho_{type,0}$是初始信息素蒸发率,k是调整幅度系数,γ是调整敏感度系数,tanh是双曲正切函数,用于将调整幅度限制在[-k,k]范围内。

[0126] 本实施例中,在更新信息素蒸发率时,使用双曲正切函数tanh将ΔQ映射到[-k,k]区间内,可以自适应地调整蒸发率。当ΔQ较大时,$\tanh(\gamma\cdot\Delta Q)$趋近于1,蒸发率增加约k;当ΔQ较小时,$\tanh(\gamma\cdot\Delta Q)$趋近于0,蒸发率维持在初始值$\rho_{type,0}$附近。引入调整幅度系数k和调整敏感度系数γ,可以灵活控制蒸发率的调整幅度和对ΔQ变化的敏感程度。通过调节这两个参数,可以在算法的不同阶段实现对蒸发率的精细控制。

[0127] 步骤四、从当前解集合中选择Pareto前沿解,使用Pareto前沿解更新全局信息素浓度,对于每个在Pareto前沿的解s,更新路径(i,j)上的信息素浓度;其中,全局信息素浓度的更新公式为:

[0128] $$\tau_{ij}=(1-\rho_{global})\cdot\tau_{ij}+\sum_{s\in S_{Pareto}}\frac{F^{-1}(s)}{Z}\cdot\Delta\tau_{ij}^{s})$$

[0129] 式中,τ_{ij}表示信息素浓度,ρ_{global}为全局蒸发率,S_{Pareto}为Pareto前沿解,$F^{-1}(s)$表示解s的目标函数的逆,Z为归一化因子,$\Delta\tau_{ij}^{s}$表示解s的信息素增量;

[0130] 本实施例中,使用Pareto前沿解更新信息素使算法向着非支配解集合的方向搜索,有助于找到更多的Pareto最优解。对解的目标函数值取倒数,再进行归一化,使目标函数值大的解获得更多的信息素奖励,从而更多地指导后续搜索。引入归一化因子Z,平衡不同解对信息素的贡献,避免个别极端解主导搜索方向。

[0131] 步骤五、对于非Pareto解的路径,进行局部信息素浓度更新。对于那些不在Pareto前沿的解,它们所涉及的路径也需要进行信息素更新,但更新幅度应该较小,以免过度影响

搜索方向。局部信息素浓度的更新公式为：

[0132] $\tau_{ij}=(1-\rho_{local}\cdot\alpha_{ij})\cdot\tau_{ij}$

[0133] 式中，α_{ij}为路径(i,j)的动态系数。

[0134] 本实施例中，对非Pareto解涉及的路径进行信息素更新，维持算法的探索性，避免过早收敛。引入动态系数α_{ij}，根据路径(i,j)的历史表现，动态调整其信息素蒸发速度。例如，根据路径(i,j)在历史解中出现的频率、质量等指标，计算出一个0到1之间的α_{ij}值，α_{ij}越大，表明路径(i,j)的历史表现越好，其信息素蒸发就应该越慢。

[0135] 本实施例中，根据上述五个步骤，在每一轮迭代中，都能根据当前解集合的质量，自适应地调整信息素更新策略，在探索与利用之间进行平衡，从而更高效地搜索出优质的Pareto最优解集合。

[0136] 每经过t次迭代，就利用遗传算法的交叉和变异操作，生成新的解集合。即随机选择一些个体，对它们的路径进行随机交叉或变异，产生新的路径。这样可以扩大解空间的搜索范围，避免算法早早陷入局部最优。

[0137] 重复上述步骤，直到达到预设的迭代停止条件。如迭代次数达到上限，或解的质量提升不明显等。最终从Pareto前沿解中选出最优解，作为调度任务T的最优调度方案输出。

[0138] 以上所述仅为本发明的较佳实施方式而已，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

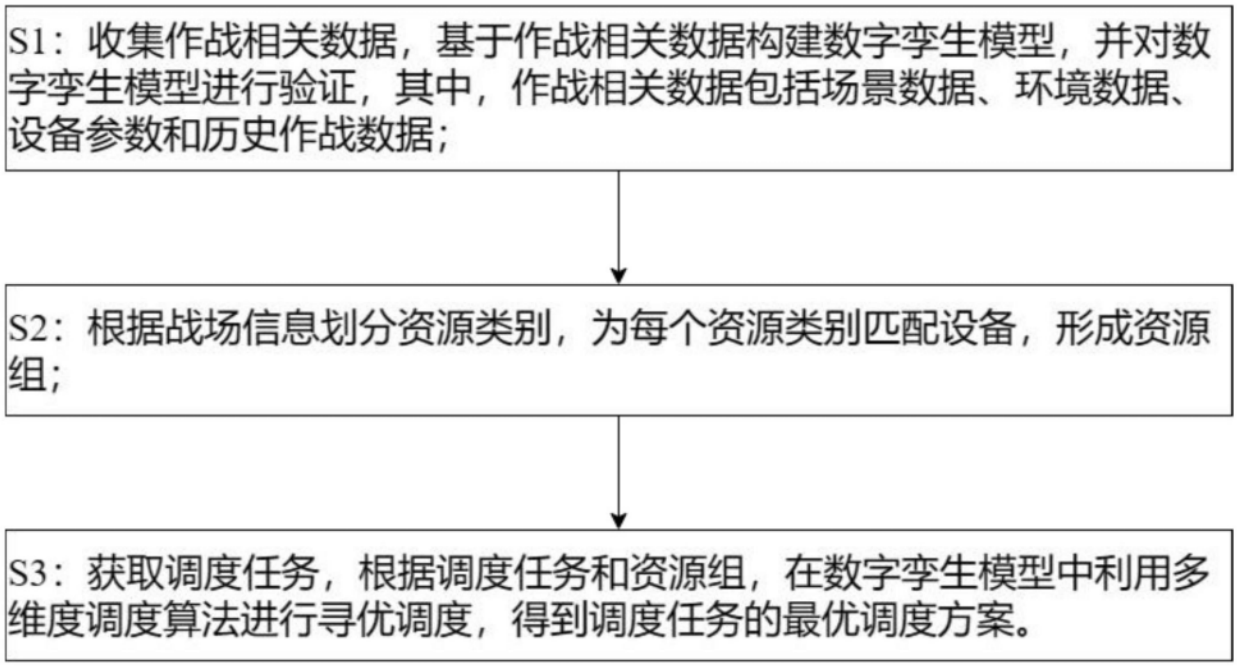

S1：收集作战相关数据，基于作战相关数据构建数字孪生模型，并对数字孪生模型进行验证，其中，作战相关数据包括场景数据、环境数据、设备参数和历史作战数据；
S2：根据战场信息划分资源类别，为每个资源类别匹配设备，形成资源组；
S3：获取调度任务，根据调度任务和资源组，在数字孪生模型中利用多维度调度算法进行寻优调度，得到调度任务的最优调度方案。

图1