



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117094455 A

(43) 申请公布日 2023. 11. 21

(21) 申请号 202310772277.5

G08G 1/14 (2006.01)

(22) 申请日 2023.06.28

(71) 申请人 天津大学

地址 300072 天津市南开区卫津路92号

(72) 发明人 吴华明 雷松鑫 李俊毅 郭鑫垚

张妤 郑璐 王意骁

(74) 专利代理机构 天津市三利专利商标代理有

限公司 12107

专利代理师 张义

(51) Int. Cl.

G06Q 10/047 (2023.01)

G06Q 10/0631 (2023.01)

G06Q 50/10 (2012.01)

G06N 5/01 (2023.01)

G06N 3/092 (2023.01)

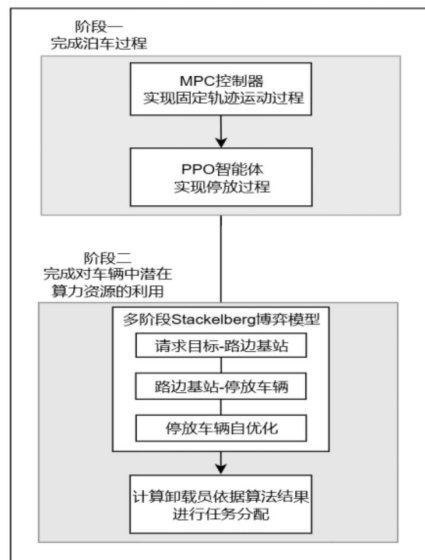
权利要求书2页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

一种智能停车场调度方法及系统

(57) 摘要

本发明公开了一种智能停车场调度方法及系统,以实现自动泊车路径规划以及促进停放车辆参与计算解决计算压力的功能,实现智能停车场内时空和算力资源的最大化利用。方法包括如下步骤:基于自动泊车混合控制器进行自动泊车的步骤;基于车载边缘计算给出定价策略指导停放车辆参与计算的步骤。本发明提出了一种基于深度强化学习结合MPC控制理论的算法,指导车辆调度,以减少车辆在停车场内所耗费的时间。同时,提出PVEC计算范式,激励停车场内停放车辆参与任务卸载并提供算力,使得停车场内闲置计算资源得以充分开发。两者组合,构成停车场内指导车辆按照最少时间寻找车位以及停车后为停车场计算需求提供计算服务的调度系统,效果较好。



1. 一种智能停车场调度方法,其特征在于,包括如下步骤:

基于自动泊车混合控制器进行自动泊车的步骤;

基于车载边缘计算给出定价策略指导停放车辆参与计算的步骤。

2. 根据权利要求1所述的智能停车场调度方法,其特征在于,所述基于自动泊车混合控制器进行自动泊车的步骤,包括如下:

基于MPC控制器模型完成车辆沿巡航路径寻找车位过程的步骤;

基于PPO智能体完成车辆完成泊车过程的步骤。

3. 根据权利要求2所述的智能停车场调度方法,其特征在于,

所述MPC控制器模型构建如下:

首先,建立关于车辆位置 $(x, y)$ 、车辆加速度 $a$ 、车辆速度 $v$ 、车辆转向角速度 $\delta$ 、车辆前轮间距 $L_f$ 、车辆航向角 $\psi$ 、车辆航行轨迹与参考路径的误差 $cte$ 的约束条件:

$$x_{t+1} = x_t + v_t * \cos \psi_t * dt,$$

$$y_{t+1} = y_t + v_t * \sin \psi_t * dt,$$

$$\psi_{t+1} = \psi_t + v_t / L_f * \delta_t * dt,$$

$$v_{t+1} = v_t + a * dt,$$

$$cte_{t+1} = f(x_t) - y_t + v_t * \sin(e\psi_t) * dt,$$

$$e\psi_{t+1} = \psi_{t+1} + v_t / L_f * \delta_t * dt.$$

利用车辆航行轨迹与参考路径的误差 $cte$ 、航向角误差 $e\psi$ 、偏移量误差 $eL$ 、速度误差 $eSp$ 、车辆状态角误差 $eAng$ 构建滚动优化函数 $J$ :

$$J = \sum_{t=1}^N \left[ (cte_t - cte_{ref})^2 + (e\psi_t - e\psi_{ref})^2 + (eL_t - eL_{ref})^2 + (eSp_t - eSp_{ref})^2 + (eAng_t - eAng_{ref})^2 \right],$$

最后基于现实情况给出限制条件

$$\begin{cases} -1 \leq a \leq 1, \\ -15 \leq \delta_t \leq 15. \end{cases}$$

求解此模型即可指导汽车完成沿着巡航路径的寻找车位过程。

4. 根据权利要求1所述的智能停车场调度方法,其特征在于,所述基于车载边缘计算给出定价策略指导停放车辆参与计算的步骤,包括如下:

构建多阶段Stackelberg博弈模型,基于该博弈模型建立优化问题,利用逆向归纳方法对模型进行求解的步骤;

根据结果给出配套的定价策略指导任务分配的步骤。

5. 一种智能停车场调度系统,其特征在于,包括自动泊车单元和车载边缘计算单元;

所述自动泊车单元用于基于自动泊车混合控制器进行自动泊车;

所述车载边缘计算单元用于基于车载边缘计算给出定价策略指导停放车辆参与计算。

6. 根据权利要求5所述的智能停车场调度系统,其特征在于,所述自动泊车单元,具体用于如下:

基于MPC控制器模型完成车辆沿巡航路径寻找车位过程;

基于PPO智能体完成车辆完成泊车过程。

7. 根据权利要求6所述的智能停车场调度系统,其特征在於,所述MPC控制器模型构建如下:

首先,建立关于车辆位置 $(x, y)$ 、车辆加速度 $a$ 、车辆速度 $v$ 、车辆转向角速度 $\delta$ 、车辆前轮间距 $L_f$ 、车辆航向角 $\psi$ 、车辆航行轨迹与参考路径的误差 $cte$ 的约束条件:

$$\begin{aligned}x_{t+1} &= x_t + v_t \cdot \cos \psi_t \cdot dt, \\y_{t+1} &= y_t + v_t \cdot \sin \psi_t \cdot dt, \\\psi_{t+1} &= \psi_t + v_t / L_f \cdot \delta_t \cdot dt, \\v_{t+1} &= v_t + a \cdot dt, \\cte_{t+1} &= f(x_t) - y_t + v_t \cdot \sin(e\psi_t) \cdot dt, \\e\psi_{t+1} &= \psi_{t+1} + v_t / L_f \cdot \delta_t \cdot dt.\end{aligned}$$

利用车辆航行轨迹与参考路径的误差 $cte$ 、航向角误差 $e\psi$ 、偏移量误差 $eL$ 、速度误差 $eSp$ 、车辆状态角误差 $eAng$ 构建滚动优化函数 $J$ :

$$J = \sum_{t=1}^N \left[ (cte_t - cte_{ref})^2 + (e\psi_t - e\psi_{ref})^2 + (eL_t - eL_{ref})^2 + (eSp_t - eSp_{ref})^2 + (eAng_t - eAng_{ref})^2 \right],$$

最后基于现实情况给出限制条件

$$\begin{cases} -1 \leq a \leq 1, \\ -15 \leq \delta_t \leq 15. \end{cases}$$

求解此模型即可指导汽车完成沿着巡航路径的寻找车位过程。

8. 根据权利要求5所述的智能停车场调度系统,其特征在於,所述车载边缘计算单元,具体用于如下:

构建多阶段Stackelberg博弈模型,基于该博弈模型建立优化问题,利用逆向归纳方法对模型进行求解;

根据结果给出配套的定价策略指导任务分配的。

## 一种智能停车场调度方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及智能调度技术领域,具体涉及一种智能停车场调度方法及系统。

### 背景技术

[0002] 随着城市发展和汽车普及,停车难成为了一大社会问题。为了解决这个问题,全自动停车场应运而生。全自动停车场可以高效利用空间,提高停车效率,减少人力成本。然而,全自动停车场的车位寻找及路径规划问题仍然具有挑战性。为了实现自动泊车环节的智能化,研究者们已经尝试采用各种控制策略和优化算法,如基于模型预测控制MPC的方法和基于强化学习的方法。

[0003] MPC方法可以预测系统未来行为,并进行优化控制决策。这种方法在给定路线的车辆运动中非常适用,但在复杂的全自动停车场场景中,MPC方法难以应对多智能体协作和动态环境。强化学习是一种自适应算法,能够通过与环境交互来学习最佳策略。基于强化学习的方法在多智能体协作和动态环境中具有较好的性能。然而,现有的强化学习方法在实际应用中存在收敛速度慢、计算复杂度高等问题。

[0004] 另外,物联网和无线通信技术的发展促进了具有低延迟和实时处理要求的计算密集型应用的出现,如计算机视觉、自然语言处理和自动驾驶。然而,停车场计算资源有限的移动设备很难为用户提供所需的服务质量,一些不恰当的计算范式也会导致纳入停放车辆提供算力的任务分配系统具有很高的计算延迟和能量消耗。为了解决这些问题,研究者们同样尝试采用各种方法,如基于合同激励的方法、基于一主多从Stackelberg博弈模型的方法、考虑移动车辆在内的多通道边缘计算联合任务卸载等。

[0005] 基于合同激励的方法可以用于促进停放车辆提供计算资源,最终设计基于合同的最优化问题指导任务分配。这种方法可以有效地激励停放车辆提供算力,但只是单一地优化了提供服务的车辆效益,没有考虑请求车辆的效益,也没有把路边基站考虑在内。基于一主多从Stackelberg博弈模型的方法采用一主多从Stackelberg博弈模型能够确立请求车辆在任务分配过程中的领导地位,最终也能根据请求方的意愿给出任务分配策略。但是,任务量足够大时,一主多从博弈模型受算法会面临收敛速度慢的问题。考虑移动车辆在内的多通道边缘计算联合任务卸载,该计算范式将移动车辆考虑在内,任务可以由路边基站卸载到两种车辆,最终优化所有设备总加权任务处理延迟最小。但是,从实际情况的角度考虑,停车场内移动车辆也有属于自己的计算任务,提供算力有限,优化目标也过于单一。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的是提供一种智能停车场调度方法及系统,以实现自动泊车路径规划以及促进停放车辆参与计算解决计算压力的功能,实现智能停车场内时空和算力资源的最大化利用。

[0007] 为实现本发明的目的,本发明提供的技术方案如下:

[0008] 第一方面

[0009] 本发明实施例提供了一种智能停车场调度方法,包括如下步骤:

[0010] 基于自动泊车混合控制器进行自动泊车的步骤;

[0011] 基于车载边缘计算给出定价策略指导停放车辆参与计算的步骤。

[0012] 其中,所述基于自动泊车混合控制器进行自动泊车的步骤,包括如下:

[0013] 基于MPC控制器模型完成车辆沿巡航路径寻找车位过程的步骤;

[0014] 基于PPO智能体完成车辆完成泊车过程的步骤。

[0015] 其中,所述MPC控制器模型构建如下:

[0016] 首先,建立关于车辆位置(x,y)、车辆加速度a、车辆速度v、车辆转向角速度 $\delta$ 、车辆前轮间距 $L_f$ 、车辆航向角 $\psi$ 、车辆航行轨迹与参考路径的误差cte的约束条件:

$$[0017] \quad x_{t+1} = x_t + v_t * \cos \psi_t * dt,$$

$$[0018] \quad y_{t+1} = y_t + v_t * \sin \psi_t * dt,$$

$$[0019] \quad \psi_{t+1} = \psi_t + v_t / L_f * \delta_t * dt,$$

$$[0020] \quad v_{t+1} = v_t + a * dt,$$

$$[0021] \quad cte_{t+1} = f(x_t) - y_t + v_t * \sin(e\psi_t) * dt,$$

$$[0022] \quad e\psi_{t+1} = \psi_{t+1} + v_t / L_f * \delta_t * dt.$$

[0023] 利用车辆航行轨迹与参考路径的误差cte、航向角误差 $e\psi$ 、偏移量误差eL,速度误差eSp,车辆状态角误差eAng构建滚动优化函数J:

$$[0024] \quad J = \sum_{t=1}^N \left[ (cte_t - cte_{ref})^2 + (e\psi_t - e\psi_{ref})^2 + (eL_t - eL_{ref})^2 + (eSp_t - eSp_{ref})^2 + (eAng_t - eAng_{ref})^2 \right],$$

[0025] 最后基于现实情况给出限制条件

$$[0026] \quad \begin{cases} -1 \leq a \leq 1, \\ -15 \leq \delta_t \leq 15. \end{cases}$$

[0027] 求解此模型即可指导汽车完成沿着巡航路径的寻找车位过程。

[0028] 其中,所述基于车载边缘计算给出定价策略指导停放车辆参与计算的步骤,包括如下:

[0029] 构建多阶段Stackelberg博弈模型,基于该博弈模型建立优化问题,利用逆向归纳方法对模型进行求解的步骤;

[0030] 根据结果给出配套的定价策略指导任务分配的步骤。

[0031] 第二方面

[0032] 本发明实施例提供了一种智能停车场调度系统,包括自动泊车单元和车载边缘计算单元;

[0033] 所述自动泊车单元用于基于自动泊车混合控制器进行自动泊车;

[0034] 所述车载边缘计算单元用于基于车载边缘计算给出定价策略指导停放车辆参与计算;

[0035] 其中,所述自动泊车单元,具体用于如下:

[0036] 基于MPC控制器模型完成车辆沿巡航路径寻找车位过程；

[0037] 基于PPO智能体完成车辆完成泊车过程。

[0038] 其中,所述MPC控制器模型构建如下:

[0039] 首先,建立关于车辆位置 $(x, y)$ 、车辆加速度 $a$ 、车辆速度 $v$ 、车辆转向角速度 $\delta$ 、车辆前轮间距 $L_f$ 、车辆航向角 $\psi$ 、车辆航行轨迹与参考路径的误差 $cte$ 的约束条件:

$$[0040] \quad x_{t+1} = x_t + v_t * \cos \psi_t * dt,$$

$$[0041] \quad y_{t+1} = y_t + v_t * \sin \psi_t * dt,$$

$$[0042] \quad \psi_{t+1} = \psi_t + v_t / L_f * \delta_t * dt,$$

$$[0043] \quad v_{t+1} = v_t + a * dt,$$

$$[0044] \quad cte_{t+1} = f(x_t) - y_t + v_t * \sin(e\psi_t) * dt,$$

$$[0045] \quad e\psi_{t+1} = \psi_{t+1} + v_t / L_f * \delta_t * dt.$$

[0046] 利用车辆航行轨迹与参考路径的误差 $cte$ 、航向角误差 $e\psi$ 、偏移量误差 $eL$ 、速度误差 $eSp$ 、车辆状态角误差 $eAng$ 构建滚动优化函数 $J$ :

$$[0047] \quad J = \sum_{t=1}^N \left[ (cte_t - cte_{ref})^2 + (e\psi_t - e\psi_{ref})^2 + (eL_t - eL_{ref})^2 + (eSp_t - eSp_{ref})^2 + (eAng_t - eAng_{ref})^2 \right],$$

[0048] 最后基于现实情况给出限制条件

$$[0049] \quad \begin{cases} -1 \leq a \leq 1, \\ -15 \leq \delta_t \leq 15. \end{cases}$$

[0050] 求解此模型即可指导汽车完成沿着巡航路径的寻找车位过程。

[0051] 其中,所述车载边缘计算单元,具体用于如下:

[0052] 构建多阶段Stackelberg博弈模型,基于该博弈模型建立优化问题,利用逆向归纳方法对模型进行求解;

[0053] 根据结果给出配套的定价策略指导任务分配的。

[0054] 本发明提出了一种基于深度强化学习结合MPC控制理论的算法,指导车辆调度,以减少车辆在停车场内所耗费的时间。同时,提出PVEC计算范式,激励停车场内停放车辆参与任务卸载并提供算力,使得停车场内闲置计算资源得以充分开发。两者组合,构成停车场内指导车辆按照最少时间寻找车位以及停车后为停车场计算需求提供计算服务的调度系统,指导停车场内时空资源和算力资源的分配调度。

## 附图说明

[0055] 图1为本发明实施例方法流程示意图;

[0056] 图2为利用本发明实施例停车场调度第一示意图;

[0057] 图3为利用本发明实施例停车场调度第二示意图。



## 具体实施方式

[0058] 下面结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,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例,都属于本发明保护的范围。

[0059] 本发明旨在设计一个配套未来智能停车场使用的智能调度系统。在该系统的第一个功能单元中实现车位寻找和自动泊车。通过深度强化学习算法训练AC-PPO网络结合MPC控制器进行控制,实现了全自动停车场的智能化,同时采用集中式训练和分布式执行策略,降低了计算复杂性,使得该算法适用于大型全自动停车场中多个智能体共同协作的问题。此外,还结合停车场全局模型,采用离线训练策略,更好地获取最优路径,在实现全自动停车场的智能化、提高停车效率和优化车辆流等方面具有广泛的应用前景和实际意义。

[0060] 同时,在第二个功能单元考虑停放车辆提供计算能力。我们的模型被证明在给定参数的不同变化下都是有效的,能符合绝大多数的实际需求;绝大多数模型都在考虑移动边缘计算(MEC),考虑停车计算的论文相对较少,我们的模型能够将停放车辆和边缘服务商结合,基于数字孪生技术通过虚拟空间停车场内资源配置指导现实停车场,使得计算资源能够被充分利用且具有极强的现实意义。

[0061] 如图1所示,本发明实施例提供了一种智能停车场调度方法,包括如下步骤:

[0062] 基于自动泊车混合控制器进行自动泊车的步骤和基于车载边缘计算给出定价策略指导停放车辆参与计算的步骤。

[0063] 其中,基于自动泊车混合控制器进行自动泊车的步骤,包括如下:

[0064] 基于MPC控制器模型完成车辆沿巡航路径寻找车位过程步骤和基于PPO智能体完成车辆完成泊车过程步骤;

[0065] 其中,所述的MPC控制器模型构建如下:

[0066] 首先,建立关于车辆位置 $(x, y)$ 、车辆加速度 $a$ 、车辆速度 $v$ 、车辆转向角速度 $\delta$ 、车辆前轮间距 $L_f$ 、车辆航向角 $\psi$ 、车辆航行轨迹与参考路径的误差 $cte$ 的约束条件:

$$[0067] \quad x_{t+1} = x_t + v_t * \cos \psi_t * dt,$$

$$[0068] \quad y_{t+1} = y_t + v_t * \sin \psi_t * dt,$$

$$[0069] \quad \psi_{t+1} = \psi_t + v_t / L_f * \delta_t * dt,$$

$$[0070] \quad v_{t+1} = v_t + a * dt,$$

$$[0071] \quad cte_{t+1} = f(x_t) - y_t + v_t * \sin(e\psi_t) * dt,$$

$$[0072] \quad e\psi_{t+1} = \psi_{t+1} + v_t / L_f * \delta_t * dt.$$

[0073] 利用车辆航行轨迹与参考路径的误差 $cte$ 、航向角误差 $e\psi$ 、偏移量误差 $eL$ 、速度误差 $eSp$ 、车辆状态角误差 $eAng$ 构建滚动优化函数 $J$ :

$$[0074] \quad J = \sum_{t=1}^N \left[ (cte_t - cte_{ref})^2 + (e\psi_t - e\psi_{ref})^2 + (eL_t - eL_{ref})^2 + (eSp_t - eSp_{ref})^2 + (eAng_t - eAng_{ref})^2 \right],$$

[0075] 最后基于现实情况给出限制条件

$$[0076] \quad \begin{cases} -1 \leq a \leq 1, \\ -15 \leq \delta_t \leq 15. \end{cases}$$

[0077] 求解此模型即可指导汽车完成沿着巡航路径的寻找车位过程。

[0078] 其中,实现智能体协同路径规划的PPO智能体的构建与训练步骤如下:

[0079] 1. 建立智能体的模型,包括状态、动作和回报函数。其中状态包括智能体的位置、目标点位置、线速度和角速度;动作包括前行、左转、右转和静止;回报函数包括到达奖励、碰撞惩罚和引导智能体向目标点行驶的奖励。

[0080] 2. 为智能体搭建网络模型,包括CriticNetwork-Q、New-Actornetwork- $\mu'$ 和Old-Actornetwork- $\mu$ 。对于每个智能体,有对应的网络参数 $\theta_Q$ 、 $\theta_{\mu'}$ 和 $\theta_{\mu}$ ,其中初始化 $\theta_{\mu'} = \theta_{\mu}$ 。初始化状态空间X,以及经验池(Experience Replay Buffer)。

[0081] 3. 根据算法进行训练:

[0082] (1) 针对智能体,选择行为a,并获得回报函数r,将此状态(X、a、r、X')存入经验池。

[0083] (2) 从经验池中获取一个批次的样本,将最后一个“下一个状态”last X'输入到Q网络中,输出 $\theta_{out}$ ,并根据 $\theta_{out}$ 和经验池中的r,计算得到集合R。

[0084] (3) 将经验池中所有的X组成一个状态集合,输入到Q网络中,输出价值集合 $\theta_{value}$ 。根据集合R和集合 $\theta_{value}$ 计算优势函数adv。

[0085] (4) 使用优势函数的均方误差作为Q网络的损失函数,进行反向传播更新网络参数。

[0086] (5) 进行重要性采样,计算Actor网络的目标函数,使用clip剪裁方法进行调整,最大化目标函数,进行反向传播更新网络参数。

[0087] (6) 将新的Actor网络参数赋予旧的Actor网络,循环(2)-(5)一定次数,直到模型精度达到预设阈值。

[0088] 4. 模型收敛后,停止训练,该训练好的网络就是我们的PPO智能体。使用时只需调用智能体即可指导车辆完成泊车过程。

[0089] 对于基于车载边缘计算给出定价策略指导停放车辆参与计算的步骤。详细说明如下:把停放车辆与停车场的路边服务基站考虑在内,把请求车辆、路边服务基站、停放车辆三者计算密集型网络结构内建立了一种PVEC(parking vehicular edge computing)计算范式,从而更好地研究该计算范式内的资源分配问题,指导停放车辆提供算力。利用数字孪生的思想,提取计算范式所需要的参数与变量的数值,在数字端将其描述成一种多阶段Stackelberg博弈模型,基于该博弈模型建立优化问题,利用逆向归纳方法对模型进行求解,从而由结果给出配套的定价策略指导任务分配,并且基于不满意度反馈机制激励停放车辆提供算力,从而实现停放车辆参与停车场内任务计算并且停放车辆、请求车辆以及路边基站三者间效益都达到最优、负面影响都降到最小的目的。

[0090] 多阶段Stackelberg博弈模型建立如下:

[0091] (1) 请求车辆-路边基站博弈(阶段3):



$$\begin{aligned}
 & \mathcal{P}_2 : \max_{f_i} U_i(f_i), \\
 & \text{s.t. } f_i > f_i^l, \\
 & \frac{c_i}{f_i} + \frac{d_i}{r_i} < t_i^m. \\
 [0092] \quad U_i(f_i) &= \frac{\theta}{t_i^m} \ln\left(\frac{f_i}{f_i^l} + \delta\right) - pf_i.
 \end{aligned}$$

[0093] (2) 路边基站-停放车辆博弈(阶段2):

$$\begin{aligned}
 & \mathcal{P}_1 : \max_{p, f_e, f_{PV}} U_{SP}, \\
 & \text{s.t. } p \geq 0, \\
 & f_{PV} \geq 0, \\
 & 0 \leq f_e \leq f_e^{\max}, \\
 [0094] \quad U_{SP} &= \sum_{i=1}^n pf_i - ekf_e^2 - cf_{PV}, \quad f_e + f_{PV} = \sum_{i=1}^n f_i.
 \end{aligned}$$

[0095] (3) 停放车辆自优化(阶段1):

$$[0096] \quad U_{PV}(c) = cf_{PV} - \frac{f_{PV}}{f_{PV}^{\max}} \alpha, \quad c \geq 0, \quad 0 \leq f_{PV} \leq f_{PV}^{\max}.$$

[0097] 其中,  $U$ 表示定义的效益,  $f_i$ 表示用户 $i$ 从路边服务器购买的计算资源量,  $f_i^l$ 表示用户 $i$ 本身的计算资源量,  $\delta$ 为一个大于1的常数控制 $\ln$ 函数的定义域范围,  $p$ 表示路边服务器的计算资源价格,  $\theta$ 表示时间延迟影响因子,  $t_i^m$ 表示完成任务最大容忍时间延迟,  $c_i$ 表示任务的计算卸载量,  $d_i$ 表示传输数据量,  $r_i$ 表示任务传输到边缘的传播速率,  $e$ 表示单位能量的价格,  $k$ 表示能耗转换因子,  $f_e$ 表示边缘服务器计算资源量,  $f_{PV}$ 表示停放车辆的计算资源量,  $f_e^{\max}$ 表示路边服务器最大容忍计算量,  $c$ 表示停放车辆给路边服务器提供计算资源的单价,  $\alpha$ 表示不满意度影响因子,  $f_{PV}^{\max}$ 表示停放车辆最大容忍计算量。

[0098] 模型求解过程如下:

[0099] 1. 第3阶段博弈为单变量极值问题, 我们求导后在端点讨论自变量取值, 得到 $f_i$ 关于 $p$ 的最优解。

[0100] 2. 我们将 $f_i$ 关于 $p$ 的最优解代入阶段2的效益函数。对于分段函数的情况采用示性

函数进行表示。对于多个用户的情况采用如下规则进行排序:  $\frac{\tau_1}{f_1^l \delta + f_1^l} \geq \frac{\tau_2}{f_2^l \delta + f_2^l} \geq \dots \geq \frac{\tau_n}{f_n^l \delta + f_n^l}$ 。

后面, 基于KKT条件对凸规划问题进行求解, 得到 $p$ ,  $f_i$ 和 $f_{PV}$ 关于 $c$ 和常数的最优解。

[0101] 3. 对于第一阶段 $i$ 从属集合大小的考虑即对可利用停放车辆数目的确定, 通过采

样概率进行筛选。设车辆在停车场内停放时长概率分布为  $F(t) = \int_0^t f(x) dx (t < T^{\max})$ 。

统计结果表明停放时间概率分布遵循破松分布。故条件概率分布可表示为

$$F(t|t > T_j) = \frac{F(t, t > T_j)}{1 - F(T_j)} = \frac{F(t)}{1 - F(T_j)} \quad (t > T_j)$$

, 求导得到条件密度

$f(t|t > T_j) = \frac{f(t)}{1 - F(T_j)}$ , 最后, 根据条件密度在时间段内求积分得到采样概率

$$P_j = \int_{T_j}^{T_j+T_0} \frac{f(t)}{1 - F(T_j)} = \frac{1 - F(T_j + T_0)}{1 - F(T_j)}。$$

[0102] 4. 我们把 $f_{PV}$ 关于 $c$ 的效用函数代入第一阶段的表达式, 并且通过上述采样概率筛选确定有 $M$ 个车加入计算。将任务量分给每个车辆 $f_j = \frac{f_{PV}}{M}$ 。效用函数为凸函数, 求导即可

得到最优解 $c$ 。

[0103] 5. 最终我们得到表达式:

$$[0104] \quad c^* = ke \left( \frac{\alpha}{f_j^{max}} + \sqrt{\frac{\delta \Gamma_k F_k}{c}} - \delta F_k - \frac{c}{2ke} \right);$$

$$[0105] \quad p^* = \sqrt{\frac{c \Gamma_k}{\delta F_k}}, \text{ 其中, } F_k = \sum_{i=1}^k f_i^l, \quad \Gamma_k = \sum_{i=1}^k \tau_i。$$

[0106] 如图2-图3所示, 在第一阶段, 一辆具有无人驾驶功能的汽车到达停车场入口, 停车场的网络接管无人驾驶汽车的控制并操控车载摄像头与雷达, 使无人驾驶汽车首先沿着紫色的巡航路径进行巡航。当车载摄像头探测到空车位时(图中绿色区域附近), 车辆开始调用PPO智能体进行运行, 该模块指导车辆进行停泊。在车辆停放到车位上以后, 进行第二部分的博弈与计算资源卸载。

[0107] 在第二阶段, 已经找到车位并且停泊的汽车进入如上图所示的PV区域, 停车场内再次驶入的车如有计算需求, 我们将其视作请求车辆, 放在RV区域。我们在请求车辆(RV), 路边基站(SP), 停放车辆(PV)之间, 在计算卸载员的监督操作下, 进行资源调度的操作, 其中计算卸载员主要负责基于算法运行的结果下达任务部署命令, 以及对停放车辆实行激励。最终, 达到停放车辆参与计算, 以及协助停车场按照最优效益机制处理计算任务的目的。

[0108] 需要说明的是, 本发明采用基于深度强化学习的AC-PPO算法结合MPC控制器, 训练网络生成全局最佳协作, 规划每个智能体的连续无碰撞停车路径, 同时实现最小化时间等优化目标。这样可以在复杂的全自动停车场场景中实现智能化、提高停车效率和优化车辆流。

[0109] 另外, 本发明采用集中式训练和分布式执行策略, 训练时使用集中式学习训练评估网络和策略网络, 执行时只需利用当前智能体的状态进行预测。这种策略降低了计算复杂性, 使该算法适用于大型全自动停车场中多个智能体共同协作的问题。

[0110] 本发明考虑多种影响因子并基于严格的数学规律对相对效益进行表示; 对于计算资源的分布的不均衡性和拥有计算资源的车辆的自私性, 基于不满意度调整回报函数来控制资源分配并且激励停放车辆的资源共享; 我们的多阶段Stackelberg博弈模型可以协同优化三个博弈阶段目标的相对效益最大化, 给出最优定价策略指导任务分配。本发明通过建立多阶段Stackelberg博弈模型、基于条件概率模型筛选可用车辆、基于拉格朗日乘子与梯度下降算法求解等方式, 从模型层面与算法层面减少噪声数据并降低复杂度, 提高算法

效率和精度。

[0111] 基于数字孪生的PVEC计算范式架构与模型描述:基于数字孪生的思想,在现有PVEC计算范式的基础上加以改良,结合第一部分自动泊车混合控制器对停车场内停放车辆、路边基站、请求方的博弈进行动态模拟。同时,将其博弈关系描述为多阶段Stackelberg博弈模型,每一阶段的最优解都可以带入到下一阶段的参数中来维持每一个阶段博弈的单一变量,从模型的层面降低计算复杂度,保证三者间相对效益最大化。博弈模型影响因子的刻画也有严格的数学支撑与创新性的数学设计。

[0112] 将子任务卸载到PV导致的额外性能损失以不满意度的形式被计入效益函数中,以此作为激励停放车辆提供算力的部分,便于以实现三者间相对效益最大化为目的构建模型。

[0113] 另外,基于调研结果统计得出停放车辆时间在大数意义下遵循泊松分布,我们吸收其为先验知识,利用条件概率表征停放车辆时间分布概率阈值,在模型求解过程中过滤掉不满足条件的车辆,达到筛选的目的。

[0114] 总之,本申请两个功能单元的结合:我们的智能调度系统是两个功能单元以上下游关系结合的统一体,兼顾了车位寻找、自动泊车功能以及停车后的提供计算资源的功能,而不是单一的停车指导,在系统的功能上具有科学性和多样性。

[0115] 最后应当说明的是:上述实施例只是用于对本发明的举例和说明,而非意在将本发明限制于所描述的实施例范围内。此外本领域技术人员可以理解的是,本发明不局限于上述实施例,根据本发明教导还可以做出多种的变型和修改,这些变型和修改均落在本发明所要求保护的范围内。

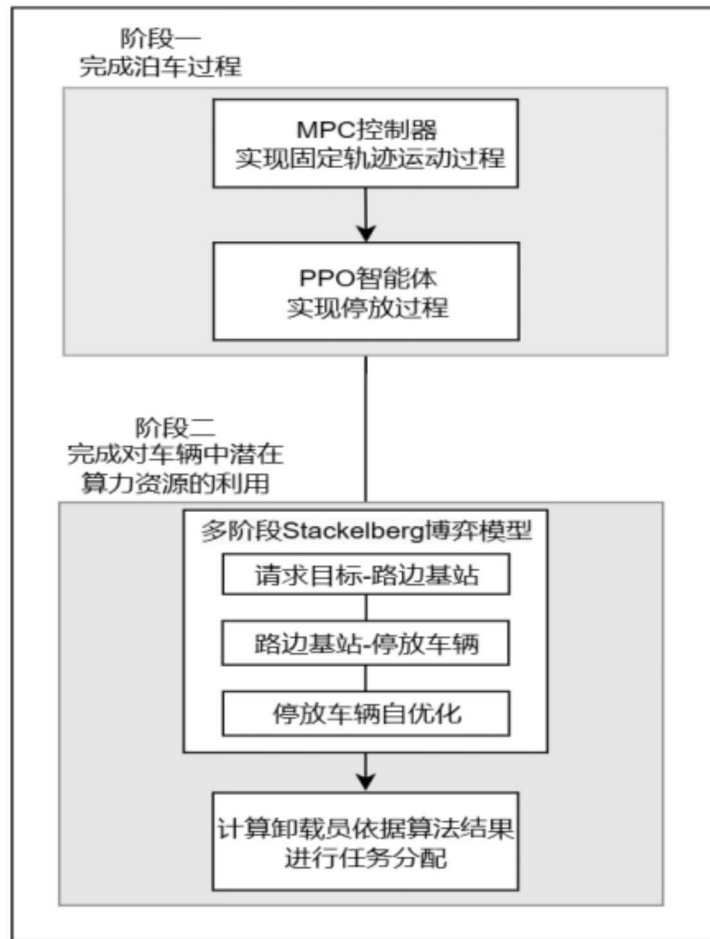


图1



图2

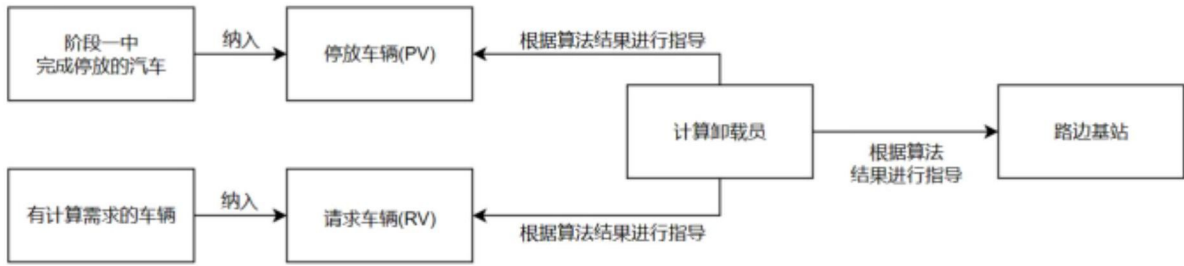


图3