

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2022 年 5 月 27 日 (27.05.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/105437 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06Q 10/04 (2012.01) **G06N 3/04** (2006.01)
G06N 3/08 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2021/121113
- (22) 国际申请日: 2021 年 9 月 28 日 (28.09.2021)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202011304527.5 2020 年 11 月 19 日 (19.11.2020) CN
- (71) 申请人: 歌尔股份有限公司(GOERTEK INC.) [CN/
CN]; 中国山东省潍坊市高新技术产业开发区
东方路 268 号, Shandong 261031 (CN)。
- (72) 发明人: 邹李兵(ZOU, Libing); 中国山东省潍坊市
高新技术产业开发区东方路 268 号, Shandong
261031 (CN)。 张一凡(ZHANG, Yifan); 中国山
东省潍坊市高新技术产业开发区东方路 268 号,
Shandong 261031 (CN)。 宁越(NING, Yue); 中国
山东省潍坊市高新技术产业开发区东方路

268 号, Shandong 261031 (CN)。 张富强(ZHANG,
Fuqiang); 中国山东省潍坊市高新技术产业开发区
东方路 268 号, Shandong 261031 (CN)。

- (81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家
保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,
BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU,
CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,
GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT,
JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK,
LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,

(54) Title: PATH PLANNING METHOD AND APPARATUS, AND ELECTRONIC DEVICE

(54) 发明名称: 一种路径规划方法、装置和电子设备

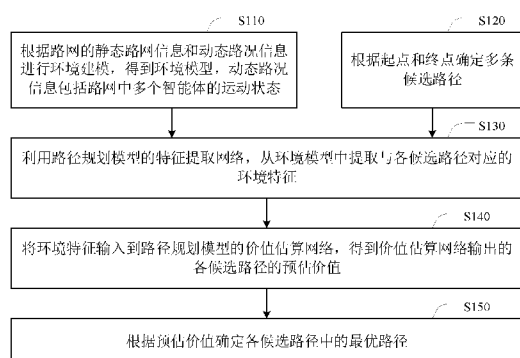


图 1

- S110 Carry out environment modeling according to static road network information and dynamic road condition information of a road network to obtain an environment model, wherein the dynamic road condition information comprises motion states of multiple intelligent agents in the road network
- S120 Determine multiple candidate paths according to a starting point and an end point
- S130 By means of a feature extraction network of a path planning model, extract, from the environment model, environment features corresponding to the candidate paths
- S140 Input the environment features into a value estimation network of the path planning model to obtain estimated values, output by the value estimation network, of the candidate paths
- S150 Determine an optimal path in the candidate paths according to the estimated values

(57) Abstract: A path planning method and apparatus, and an electronic device. The method comprises: carrying out environment modeling according to static road network information and dynamic road condition information of a road network to obtain an environment model (S110); determining multiple candidate paths according to a starting point and an end point (S120); by means of a feature extraction network of a path planning model, extracting, from the environment model, environment features corresponding to the candidate paths (S130); inputting the environment features into a value estimation network of the path planning model to obtain estimated values, output by the value estimation network, of the candidate paths (S140); and determining an optimal path in the candidate paths according to the estimated values (S150). The dynamic road condition information comprises motion states of multiple intelligent agents in the road network and has spatial globality; and during path planning, the environment features corresponding to the candidate paths determined according to the starting point and the end point are extracted according to the environment model, and therefore, the planning of a full path, instead of planning in different time windows, is realized, and temporal globality is achieved.

RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要：一种路径规划方法、装置和电子设备。其中方法包括：根据路网的静态路网信息和动态路况信息进行环境建模，得到环境模型(S110)；根据起点和终点确定多条候选路径(S120)；利用路径规划模型的特征提取网络，从环境模型中提取与各候选路径对应的环境特征(S130)；将环境特征输入到路径规划模型的价值估算网络，得到价值估算网络输出的各候选路径的预估价值(S140)；根据预估价值确定各候选路径中的最优路径(S150)。该动态路况信息中包括路网中多个智能体的运动状态，具有空间上的全局性；在进行路径规划时，根据环境模型，提取根据起点和终点确定的候选路径对应的环境特征，从而实现了全路径的规划而非分时间窗口的规划，具有时间上的全局性。

一种路径规划方法、装置和电子设备

技术领域

本申请涉及计算机技术领域，尤其涉及一种路径规划方法、装置和电子设备。

发明背景

路径规划是实现导航乃至自动驾驶的基础，目前路径规划常用的方法主要包括静态路径规划和动态路径规划这两大类。静态路径规划适合智能体（例如智能体）和任务相对不变的环境下，这种场景是理想状态下的场景，但在实际的生活，更多是动态场景，其动态要素包括智能体个数是动态的、智能体速度是可变的、任务的随机性以及各种环境噪声的影响，因而动态路径规划具有更大的实用性，也具有更大的挑战性。

现有技术中，动态路径规划主要是以单体动态规划为主（如 D*），但由于未考虑其他可自主移动的智能体的影响，在 multi-agent 动态环境下，效果并不好。另外如 DWA（Dynamic Window Approach，动态窗口法）等路径规划方法，时间窗口小，具有时间上的局限性。

由此，需要一种改进的路径规划方式。

发明内容

本申请实施例提供了一种路径规划方法、装置和电子设备，以实现路径规划的空间全局性和时间全局性。

本申请实施例采用下述技术方案：

第一方面，本申请实施例提供一种路径规划方法，包括：根据路网的静态路网信息和动态路况信息进行环境建模，得到环境模型，动态路况信息包括路网中多个智能体的运动状态；根据起点和终点确定多条候选路径；利用路径规划模型的特征提取网络，从环境模型中提取与各候选路径对应的环境特征；将环境特征输入到路径规划模型的价值估算网络，得到价值估算网络输出的各候选路径的预估价值；根据预估价值确定各候选路径中的最优路径。

第二方面，本申请实施例还提供一种路径规划装置，该装置包括：

环境建模单元，用于根据路网的静态路网信息和动态路况信息进行环境建模，得到环境模型，所述动态路况信息包括路网中多个智能体的运动状态；

候选路径单元，用于根据起点和终点确定多条候选路径；

特征提取单元，用于利用路径规划模型的特征提取网络，从环境模型中提取与各候选路径对应的环境特征；

价值估算单元，用于将环境特征输入到路径规划模型的价值估算网络，得到价值估算网络输出的各候选路径的预估价值；

路径确定单元，用于根据预估价值确定各候选路径中的最优路径。

第三方面，本申请实施例还提供一种电子设备，包括：处理器；以及被安排成存储计算机可执行指令的存储器，可执行指令在被执行时使处理器执行如上的路径规划方法。

第四方面，本申请实施例还提供一种计算机可读存储介质，计算机可读存储介质存储一个或多个程序，一个或多个程序当被包括多个应用程序的电子设备执行时，使得电子设备执行如上的路径规划方法。

本申请实施例采用的上述至少一个技术方案能够达到以下有益效果：在进行环境建模时考虑了静态和动态两方面信息，使路径规划的实用性更高，并且动态路况信息中包括路网中多个智能体的运动状态，具有空间上的全局性；在进行路径规划时，根据环境模型，提取根据起点和终点确定的候选路径对应的环境特征，从而实现了全路径的规划而非分时间窗口的规划，能够平衡当前决策的收益和未来的总收益，具有时间上的全局性。

附图简要说明

此处所说明的附图用来提供对本申请的进一步理解，构成本申请的一部分，本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请，并不构成对本申请的不当限定。在附图中：

图 1 示出了根据本申请一个实施例的路径规划方法的流程示意图；

图 2 示出了根据本申请一个实施例的候选路径的环境特征提取的流程示意

图；

图 3 示出了根据本申请一个实施例的路径规划方法的流程示意图；

图 4 为本申请实施例中一种电子设备的结构示意图。

具体实施方式

为使本申请的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本申请具体实施例及相应的附图对本申请技术方案进行清楚、完整地描述。显然，所描述的实施例仅是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，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，都属于本申请保护的范围。

本申请的技术构思在于，在进行路径规划时不仅考虑自身状态，还考虑了其他智能体的状态，并且对路径进行整体规划，由此兼顾了空间和时间双方面的全局性。

以下结合附图，详细说明本申请各实施例提供的技术方案。

图 1 示出了根据本申请一个实施例的路径规划方法的流程示意图。如图 1 所示，该方法包括：

步骤 S110，根据路网的静态路网信息和动态路况信息进行环境建模，得到环境模型，动态路况信息包括路网中多个智能体的运动状态。

路网是道路交通网络的简称，静态路网信息能够描述道路方向、连接关系、长度等静态不变的信息。而实际场景中，道路上通常行驶着其他智能体，为了提升技术方案的实用价值，本申请还在环境建模时使用了动态路况信息，以考虑路网中多个智能体的运动状态。

本申请中，智能体所指代的是在可以在路网中自主移动的目标，例如各类车辆。

步骤 S120，根据起点和终点确定多条候选路径。

确定候选路径的过程可以利用现有技术，例如选用任一种路径查找算法来实现。根据一对起点和终点，通常可以查找到多条候选路径，本申请的目标就

是从多条候选路径中选出最优路径。

需要说明的是，步骤 S120 和步骤 S110 没有严格的先后执行顺序，也可以并行执行。

步骤 S130，利用路径规划模型的特征提取网络，从环境模型中提取与各候选路径对应的环境特征。

步骤 S140，将环境特征输入到路径规划模型的价值估算网络，得到价值估算网络输出的各候选路径的预估价值。

本申请中，路径规划模型包括两个子网络，即用于进行环境帖子提取的特征提取网络和进行路径比较的价值估算网络。预估价值可以根据实际需求选择不同维度来实现，例如选择时间维度，则预估价值就是预测通行时间；此外还可以选择安全维度、舒适性维度等等，在此不再一一列举。

步骤 S150，根据预估价值确定各候选路径中的最优路径。

该步骤可以利用现有技术，如 E-greedy 算法来实现。

可见，图 1 所示的方法，在进行环境建模时考虑了静态和动态两方面信息，使路径规划的实用性更高，并且动态路况信息中包括路网中多个智能体的运动状态，具有空间上的全局性；在进行路径规划时，根据环境模型，提取根据起点和终点确定的候选路径对应的环境特征，从而实现了全路径的规划而非分时间窗口的规划，能够平衡当前决策的收益和未来的总收益，具有时间上的全局性。

在一些实施例中，利用路径规划模型的特征提取网络，从环境模型中提取与各候选路径对应的环境特征包括：对候选路径中包含的路段，从环境模型中提取路段的静态环境特征和动态环境特征，将路段的静态环境特征和动态环境特征进行拼接，得到路段环境特征；利用长短期记忆神经网络 LSTM，根据候选路径中各路段的路段环境特征，确定候选路径的环境特征。

从起点到终点的候选路径，通常是由多个路段组成的，每个路段是一段道路。为了得到候选路径的环境特征，可以先确定每个路段的环境特征。由于环境建模包括动态和静态两方面，因此可以分别提取路段的静态环境特征和动态

环境特征，再将二者拼接得到路段的环境特征，拼接操作可以具体利用 `concat()` 函数来实现。

再得到各路段的环境特征后，会面对一个问题：对于多个候选路径来说，各候选路径所包含的路段数量和组成不完全一致（否则就构成了相同路径），如果进行简单的拼接操作，就会造成各候选路径的环境特征长度不一致，这样不便于后续进行价值估算。因此，本申请基于已得到的路段的环境特征，利用 LSTM 得到候选路径的环境特征，从而确保候选路径的环境特征的格式统一，实现了候选路径嵌入（Path-Embedding）。

在一些实施例中，静态路网信息包括路段的矢量表示，根据路网的静态路网信息和动态路况信息进行环境建模，得到环境模型包括：将静态路网信息构建成路网有向图 $G = (V, E, W)$ ，其中 V 中的元素表征路网中的各路段， E 中的元素表征各路段之间的关系， W 中的元素表征各路段的长度；从环境模型中提取路段的静态环境特征和动态环境特征包括：利用图神经网络 Graph-Bert，从有向图中提取特征向量作为路段的静态环境特征。

在一些技术方案中，路径规划使用的是对路径经过栅格化处理得到的栅格路网地图。栅格路网地图由于是把连续的路网离散化为一个个路网栅格，因此降低了精度，是一种为了便于神经网络学习的折中方案。在本申请的实施例中，则是直接利用路段的矢量表示，建立路网有向图来代替路网栅格地图。

在有向图中， V 是顶点集，而在本申请的实施例中将 V 作为路段集合，以其中的元素表征路网中的各路段。 E 是路段与路段之间的关系集合，在一些实施例中，对于 $e_{ij} \{e_{ij} \in E\}$ 取值如下（ e_{ij} 表征路段 l_i 与路段 l_j 之间的关系）：若路段 l_i 与路段 l_j 不邻接，则 $e_{ij}=0$ ；若路段 l_i 与路段 l_j 邻接，且从路段 l_i 入路段 l_j ，则 $e_{ij}=1$ ；若路段 l_i 与路段 l_j 邻接，且从路段从 l_j 入路段 l_i ，则 $e_{ij}=2$ ； $e_{ii}=3$ 。需要说明的是， e_{ij} 的具体取值可以不限于上面给出的示例。

W 是路段长度集合， $w_{l_i} \{w_{l_i} \in W\}$ 表示某路段 l_i 的长度。

构建有向图 G 后，通过 Graph-Bert 网络提取有向图的节点之间的连接关系，

通过查询操作输出路段集合 V 中指定路段 l 的特征向量。

Graph-Bert 网络是加入了 Bert (Bidirectional Encoder Representations from Transformers, 基于 Transformer 的双向编码器表示) 的图神经网络, 可以通过注意力 Attention 机制, 实现有向图的迁移 (transfer)。通过 Graph-Bert 可提取有向图 G 的节点的相关性, 用于节点特征表达或有向图的重构。

在一些实施例中, 根据路网的静态路网信息和动态路况信息进行环境建模, 得到环境模型包括: 根据动态路况信息确定各路段的动态环境属性, 动态环境属性包括智能体数量维度和/或速度维度; 利用路径规划模型的特征提取网络, 从环境模型中提取与各候选路径对应的环境特征包括: 利用动态环境属性的各维度的值拼接成特征向量作为动态环境特征, 或者, 利用神经网络从动态环境属性中提取特征向量作为动态环境特征。

在一些实施例中, 考虑到动态路况信息对路径规划的影响因素主要在于路网中智能体的数量和速度, 因此可以通过将动态环境属性的各维度的值拼接成特征向量作为动态环境特征, 操作简单。当然, 如果为了提升精度, 也可以利用神经网络从动态环境属性中提取特征向量作为动态环境特征, 但是相应地会增加路径规划所需的时间。

具体地, 可以计算智能体平均速度作为速度维度的值, 这意味着在进行路径规划时, 自身可以以智能体平均速度完成候选路径的该路段。然而在特殊情况下也会出现问题, 那就是某一路段没有智能体, 那么如果仍然是将智能体平均速度 (此时为 0) 作为速度维度的值, 就会导致自身在该路段无法通行。而实际上, 若该路段没有其他智能体, 意味着该路段是较为理想的情况, 可以以该路段的最大限速通行。即在一些实施例中, 若智能体数量维度的值不为 0, 则速度维度的值为智能体平均速度; 若智能体数量维度的值为 0, 则速度维度的值为预设的最大速度。

例如, 路段 l 的动态环境特征表示为向量 $(avgSpeed, carNums)$, 其中, $carNums$ 是路段 l 上的车辆总数, 若 $carNums$ 不为 0, 则

$avgSpeed = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n CarSpeed_i$, $CarSpeed_i$ 是第 i 辆车的速度, $n = carNums$, 若 $carNums = 0$, 则 $avgSpeed = maxSpeed$, $maxSpeed$ 为预设的最大速度, 表征路段 l 的最高限速。

可以看出, 速度维度的值表征路段在实际行驶时可采用速度。

在一些实施例中, 预估价值为预测通行时间, 该方法还包括: 将各候选路径作为训练样本, 将候选路径的预测通行时间作为样本预测值, 获取候选路径的模拟通行时间和/或实际通行时间作为样本真实值; 根据样本预测值和样本真实值确定训练损失值; 根据训练损失值和反向传播算法对特征提取网络和时间预测网络的参数进行更新。

在离线场景下由于无法获取实际通行时间, 可以利用模拟器模拟车辆在规划的路径上行驶, 得到模拟通行时间。

在一些实施例中, 根据样本预测值和样本真实值确定训练损失值包括: 利用均方差函数计算训练损失值 $L = \frac{1}{m} \sum (\hat{y} - y)^2$, 其中 y 为样本真实值, $\hat{y}$ 为样本预测值, m 为样本数量。均方差函数可以计算出样本预测值和样本真实值之间的欧式距离。样本预测值和样本真实值越接近, 两者的均方差就越小, 路径规划模型的效果也就越好。

在一些实施例中, 将各候选路径作为训练样本包括: 将训练样本放入样本经验池中; 在样本经验池中的训练样本数量达到预设值的情况下, 执行根据训练损失值和反向传播算法对特征提取网络和时间预测网络的参数进行更新的步骤, 并在参数更新后, 对样本经验池进行初始化。由此可以实现路径规划模型的在线学习, 能够及时更新路径规划模型以提升效果。

下面以一个具体实施例进行介绍。

步骤 S210, 初始化经验池 D , 设置其容量大小为 N 。

步骤 S220, 初始化路径规划模型的特征提取网络 $F - Network$, 对其参数进行随机赋值。

步骤 S230, 初始化路径规划模型的价值估算网络 $Q - Network$, 对其参数

进行随机赋值。

步骤 S240, 根据静态路网信息, 生成有向图 G , 初始化 Graph-Bert。

步骤 S250, 利用多个训练阶段对路径规划模型进行训练。具体地, 在每个训练阶段中执行如下的子步骤 S251~S253:

步骤 S251, 模拟生成多个包含起点 $start$ 和终点 end 的路径规划任务 $T(start, end)$, 路径规划任务个数为 M 。

步骤 S252, 初始化路网动态数组 B , 数组长度与有向图 G 中 V 的大小相等, 即 $Size(D) = Size(V)$ 。数组 B 初始化值为 0。

步骤 S253, 并行生成 M 个 agent。每个 agent 进一步执行如下的子步骤 S2531~S2536:

步骤 S2531, 对每个任务 T , 通过路径查找算法, 找出候选路径 $\{p_0, p_1, p_2, \dots, p_n\}$ 。

步骤 S2532, 对候选路径 p_i , 参照图 2 示出的方式, 利用 $F - Network$ 进行候选路径的环境特征的提取, 具体包括子步骤 S25321~S25324:

步骤 S25321, 利用图神经网络 Graph-Bert, 从有向图中提取特征向量 z_s 作为路段的静态环境特征。

步骤 S25322, 确定路段 l_{T_i} 的动态环境特征 z_a 为 $(avgSpeed, carNums)$, 具体确定方式可以参照前述实施例。

步骤 S25323, 通过 $concat()$ 函数将 z_s 和 z_a 拼接成路段 l_{T_i} 的环境特征。具体地, 可以通过两个 FC (Fully Connected, 全连接) 层对拼接的特征进行处理, 得到路段 l_{T_i} 的环境特征 $z_{T_i} = FC(concat(z_s, z_a))$ 。

步骤 S25324, 将 z_{T_i} 输入到 LSTM 中, 得到候选路径 p_i 的环境特征 d_{p_i} 。

步骤 S2533, 将 d_{p_i} 输入到 $Q - Network$, 得到预测通行时间 $\hat{y}_{p_i}$ 。

步骤 S2534, 利用 E-greedy 算法根据 $\hat{y}_{p_i}$ 选择出最优路径 p_k 。

步骤 S2535, 模拟运行 agent, 并更新路网的动态数组 B 。

步骤 S2536, 记录模拟通行时间 y_k , 得到一个训练样本 $(p_k, y_k, \hat{y}_k)$, 添加到

样本经验池 D。

步骤 S254, 若样本经验池中的新样本数 $>0.7*N$, 则计算这些新样本的均方差损失, 根据计算的均方差损失, 利用反向传播算法对 *F-Network* 和 *Q-Network* 的参数进行更新。

步骤 S255, 重置路网动态数组 *B*。

在进行在线学习的过程中, 只需要将步骤 S253 及其子步骤中的 agent 用实际车辆代替即可, 即不需要模拟运行 agent 而是可以根据车辆的实际运行情况得到实际通行时间。

本申请的实施例还提供了一种路径规划装置, 可用于实现如上任一实施例所示的路径规划方法。

具体地, 图 3 示出了根据本申请一个实施例的路径规划装置的结构示意图。如图 3 所示, 路径规划装置 300 包括:

环境建模单元 310, 用于根据路网的静态路网信息和动态路况信息进行环境建模, 得到环境模型, 动态路况信息包括路网中多个智能体的运动状态。

候选路径单元 320, 用于根据起点和终点确定多条候选路径。

特征提取单元 330, 用于利用路径规划模型的特征提取网络, 从环境模型中提取与各候选路径对应的环境特征。

价值估算单元 340, 用于将环境特征输入到路径规划模型的价值估算网络, 得到价值估算网络输出的各候选路径的预估价值。

路径确定单元 350, 用于根据预估价值确定各候选路径中的最优路径。

在一些实施例中, 特征提取单元 330, 用于对候选路径中包含的路段, 从环境模型中提取路段的静态环境特征和动态环境特征, 将路段的静态环境特征和动态环境特征进行拼接, 得到路段环境特征; 利用长短期记忆神经网络 LSTM, 根据候选路径中各路段的路段环境特征, 确定候选路径的环境特征。

在一些实施例中, 静态路网信息包括路段的矢量表示, 环境建模单元 310, 用于将静态路网信息构建成路网有向图 $G = (V, E, W)$, 其中 *V* 中的元素表征路网中的各路段, *E* 中的元素表征各路段之间的关系, *W* 中的元素表征各路段的长度;

特征提取单元 330，用于利用图神经网络 Graph-Bert，从有向图中提取特征向量作为路段的静态环境特征。

在一些实施例中，环境建模单元 310，用于根据动态路况信息确定各路段的动态环境属性，动态环境属性包括智能体数量维度和/或速度维度；特征提取单元 330，用于利用动态环境属性的各维度的值拼接成特征向量作为动态环境特征，或者，利用神经网络从动态环境属性中提取特征向量作为动态环境特征。

在一些实施例中，若智能体数量维度的值不为 0，则速度维度的值为智能体平均速度；若智能体数量维度的值为 0，则速度维度的值为预设的最大速度。

在一些实施例中，预估价值为预测通行时间，该装置还包括训练单元，用于将各候选路径作为训练样本，将候选路径的预测通行时间作为样本预测值，获取候选路径的模拟通行时间和/或实际通行时间作为样本真实值；根据样本预测值和样本真实值确定训练损失值；根据训练损失值和反向传播算法对特征提取网络和时间预测网络的参数进行更新。

在一些实施例中，训练单元，用于利用均方差函数计算训练损失值 $L = \frac{1}{m} \sum^m (y - \hat{y})^2$ ，其中 y 为样本真实值， $\hat{y}$ 为样本预测值， m 为样本数量。

在一些实施例中，训练单元，用于将训练样本放入样本经验池中；在样本经验池中的训练样本数量达到预设值的情况下，执行根据训练损失值和反向传播算法对特征提取网络和时间预测网络的参数进行更新的步骤，并在参数更新后，对样本经验池进行初始化。

能够理解，上述路径规划装置，能够实现前述实施例中提供的路径规划方法的各个步骤，关于路径规划方法的相关阐释均适用于路径规划装置，此处不再赘述。

图 4 是本申请的一个实施例电子设备的结构示意图。请参考图 4，在硬件层面，该电子设备包括处理器，可选地还包括内部总线、网络接口、存储器。其中，存储器可能包含内存，例如高速随机存取存储器(Random-Access Memory, RAM)，也可能还包括非易失性存储器(non-volatile memory)，例如至少 1 个磁

盘存储器等。当然，该电子设备还可能包括其他业务所需要的硬件。

处理器、网络接口和存储器可以通过内部总线相互连接，该内部总线可以是 ISA(Industry Standard Architecture, 工业标准体系结构) 总线、PCI(Peripheral Component Interconnect, 外设部件互连标准)总线或 EISA(Extended Industry Standard Architecture, 扩展工业标准结构) 总线等。总线可以分为地址总线、数据总线、控制总线等。为便于表示，图 4 中仅用一个双向箭头表示，但并不表示仅有一根总线或一种类型的总线。

存储器，用于存放程序。具体地，程序可以包括程序代码，程序代码包括计算机操作指令。存储器可以包括内存和非易失性存储器，并向处理器提供指令和数据。

处理器从非易失性存储器中读取对应的计算机程序到内存中然后运行，在逻辑层面上形成路径规划装置。处理器，执行存储器所存放的程序，并具体用于执行以下操作：

根据路网的静态路网信息和动态路况信息进行环境建模，得到环境模型，动态路况信息包括路网中多个智能体的运动状态；根据起点和终点确定多条候选路径；利用路径规划模型的特征提取网络，从环境模型中提取与各候选路径对应的环境特征；将环境特征输入到路径规划模型的价值估算网络，得到价值估算网络输出的各候选路径的预估价值；根据预估价值确定各候选路径中的最优路径。

上述如本申请图 1 所示实施例揭示的路径规划装置执行的方法可以应用于处理器中，或者由处理器实现。处理器可能是一种集成电路芯片，具有信号的处理能力。在实现过程中，上述方法的各步骤可以通过处理器中的硬件的集成逻辑电路或者软件形式的指令完成。上述的处理器可以是通用处理器，包括中央处理器 (Central Processing Unit, CPU)、网络处理器 (Network Processor, NP) 等；还可以是数字信号处理器 (Digital Signal Processor, DSP)、专用集成电路 (Application Specific Integrated Circuit, ASIC)、现场可编程门阵列 (Field-Programmable Gate Array, FPGA) 或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体

管逻辑器件、分立硬件组件。可以实现或者执行本申请实施例中的公开的各方法、步骤及逻辑框图。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等。结合本申请实施例所公开的方法的步骤可以直接体现为硬件译码处理器执行完成，或者用译码处理器中的硬件及软件模块组合执行完成。软件模块可以位于随机存储器，闪存、只读存储器，可编程只读存储器或者电可擦写可编程存储器、寄存器等本领域成熟的存储介质中。该存储介质位于存储器，处理器读取存储器中的信息，结合其硬件完成上述方法的步骤。

该电子设备还可执行图 1 中路径规划装置执行的方法，并实现路径规划装置在图 1 所示实施例的功能。本实施例中电子设备执行的其他具体功能可以参见上述方法实施例的相关内容，在此不再赘述。

本申请实施例还提出了一种计算机可读存储介质，该计算机可读存储介质存储一个或多个程序，该一个或多个程序包括指令，该指令当被包括多个应用程序的电子设备执行时，能够使该电子设备执行图 1 所示实施例中路径规划装置执行的方法，并具体用于执行：

根据路网的静态路网信息和动态路况信息进行环境建模，得到环境模型，动态路况信息包括路网中多个智能体的运动状态；根据起点和终点确定多条候选路径；利用路径规划模型的特征提取网络，从环境模型中提取与各候选路径对应的环境特征；将环境特征输入到路径规划模型的价值估算网络，得到价值估算网络输出的各候选路径的预估价值；根据预估价值确定各候选路径中的最优路径。

本实施例中计算机可读存储介质存储的程序执行的其他具体功能可以参见上述方法实施例的相关内容，在此不再赘述。

本领域内的技术人员应明白，本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此，本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且，本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质（包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等）上实施的计算机程序产品的形式。

本申请是参照根据本申请实施例的方法、设备（系统）、和计算机程序产品的流程图和 / 或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和 / 或方框图中的每一流程和 / 或方框、以及流程图和 / 或方框图中的流程和 / 或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器，使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中，使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品，该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上，使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理，从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

在一个典型的配置中，计算设备包括一个或多个处理器（CPU）、输入/输出接口、网络接口和内存。

计算机可读介质包括永久性和非永久性、可移动和非可移动媒体可以由任何方法或技术来实现信息存储。信息可以是计算机可读指令、数据结构、程序的模块或其他数据。计算机的存储介质的例子包括，但不限于相变内存（PRAM）、静态随机存取存储器（SRAM）、动态随机存取存储器（DRAM）、其他类型的随机存取存储器（RAM）、只读存储器（ROM）、电可擦除可编程只读存储器（EEPROM）、快闪记忆体或其他内存技术、只读光盘只读存储器（CD-ROM）、数字多功能光盘（DVD）或其他光学存储、磁盒式磁带，磁带磁磁盘存储或其他磁性存储设备或任何其他非传输介质，可用于存储可以被计算设备访问的信息。按照本文中的界定，计算机可读介质不包括暂存电脑可读媒体（transitory media），如调制的数据信号和载波。

以上所述仅为本申请的实施例而已，并不用于限制本申请。对于本领域技术人员来说，本申请可以有各种更改和变化。凡在本申请的精神和原理之内所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本申请的权利要求范围之内。

权利要求

1、一种路径规划方法，其中，所述方法包括：

根据路网的静态路网信息和动态路况信息进行环境建模，得到环境模型，
所述动态路况信息包括路网中多个智能体的运动状态；

根据起点和终点确定多条候选路径；

利用路径规划模型的特征提取网络，从环境模型中提取与各候选路径对应的环境特征；

将所述环境特征输入到所述路径规划模型的价值估算网络，得到所述价值估算网络输出的各候选路径的预估价值；

根据所述预估价值确定各候选路径中的最优路径。

2、如权利要求1所述的方法，其中，所述利用路径规划模型的特征提取网络，从环境模型中提取与各候选路径对应的环境特征包括：

对候选路径中包含的路段，从所述环境模型中提取路段的静态环境特征和动态环境特征，将路段的静态环境特征和动态环境特征进行拼接，得到路段环境特征；

利用长短期记忆神经网络 LSTM，根据候选路径中各路段的路段环境特征，确定候选路径的环境特征。

3、如权利要求2所述的方法，其中，所述静态路网信息包括路段的矢量表示，所述根据路网的静态路网信息和动态路况信息进行环境建模，得到环境模型包括：

将静态路网信息构建成路网有向图 $G = (V, E, W)$ ，其中 V 中的元素表征路网中的各路段， E 中的元素表征各路段之间的关系， W 中的元素表征各路段的长度；

所述从所述环境模型中提取路段的静态环境特征和动态环境特征包括：

利用图神经网络 Graph-Bert，从所述有向图中提取特征向量作为所述路段的静态环境特征。

4、如权利要求2所述的方法，其中，所述根据路网的静态路网信息和动态路况信息进行环境建模，得到环境模型包括：

根据所述动态路况信息确定各路段的动态环境属性，所述动态环境属性包括智能体数量维度和/或速度维度；

所述利用路径规划模型的特征提取网络，从环境模型中提取与各候选路径对应的环境特征包括：

利用动态环境属性的各维度的值拼接成特征向量作为动态环境特征，或者，利用神经网络从动态环境属性中提取特征向量作为动态环境特征。

5、如权利要求4所述的方法，其中，

若所述智能体数量维度的值不为0，则所述速度维度的值为智能体平均速度；

若所述智能体数量维度的值为0，则所述速度维度的值为预设的最大速度。

6、如权利要求1所述的方法，其中，所述预估价值为预测通行时间，该方法还包括：

将各候选路径作为训练样本，将候选路径的预测通行时间作为样本预测值，获取候选路径的模拟通行时间和/或实际通行时间作为样本真实值；

根据所述样本预测值和所述样本真实值确定训练损失值；

根据所述训练损失值和反向传播算法对特征提取网络和时间预测网络的参数进行更新。

7、如权利要求6所述的方法，其中，所述根据所述样本预测值和所述样本真实值确定训练损失值包括：

利用均方差函数计算训练损失值 $L = \frac{1}{m} \sum^m (y - \hat{y})^2$ ，其中 y 为样本真实值， $\hat{y}$ 为样本预测值， m 为样本数量。

8、如权利要求6所述的方法，其中，所述将各候选路径作为训练样本包括：

将训练样本放入样本经验池中；

在所述样本经验池中的训练样本数量达到预设值的情况下，执行根据所述

训练损失值和反向传播算法对特征提取网络和时间预测网络的参数进行更新的步骤，并在参数更新后，对所述样本经验池进行初始化。

9、一种路径规划装置，其中，所述装置包括：

环境建模单元，用于根据路网的静态路网信息和动态路况信息进行环境建模，得到环境模型，所述动态路况信息包括路网中多个智能体的运动状态；

候选路径单元，用于根据起点和终点确定多条候选路径；

特征提取单元，用于利用路径规划模型的特征提取网络，从环境模型中提取与各候选路径对应的环境特征；

价值估算单元，用于将环境特征输入到路径规划模型的价值估算网络，得到价值估算网络输出的各候选路径的预估价值；

路径确定单元，用于根据预估价值确定各候选路径中的最优路径。

10、如权利要求 9 所述的装置，其中，

特征提取单元，用于对候选路径中包含的路段，从环境模型中提取路段的静态环境特征和动态环境特征，将路段的静态环境特征和动态环境特征进行拼接，得到路段环境特征；利用长短期记忆神经网络 LSTM，根据候选路径中各路段的路段环境特征，确定候选路径的环境特征。

11、如权利要求 9 所述的装置，其中，还包括训练单元，用于将各候选路径作为训练样本，将候选路径的预测通行时间作为样本预测值，获取候选路径的模拟通行时间和/或实际通行时间作为样本真实值；根据样本预测值和样本真实值确定训练损失值；根据训练损失值和反向传播算法对特征提取网络和时间预测网络的参数进行更新。

12、一种电子设备，包括：

处理器；以及

被安排成存储计算机可执行指令的存储器，所述可执行指令在被执行时使所述处理器执行下述操作：

根据路网的静态路网信息和动态路况信息进行环境建模，得到环境模型，动态路况信息包括路网中多个智能体的运动状态；根据起点和终点确定多条候

选路径；利用路径规划模型的特征提取网络，从环境模型中提取与各候选路径对应的环境特征；将环境特征输入到路径规划模型的价值估算网络，得到价值估算网络输出的各候选路径的预估价值；根据预估价值确定各候选路径中的最优路径。

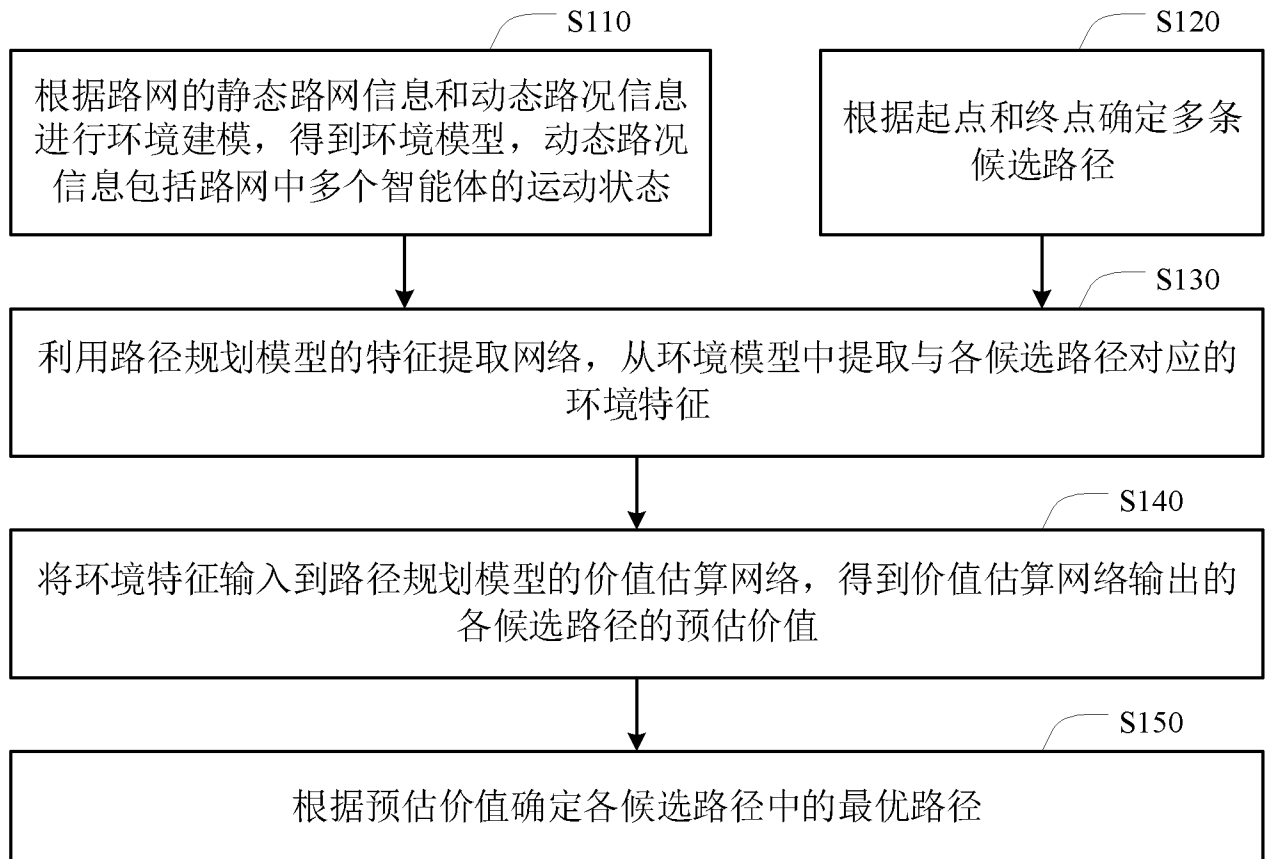


图 1

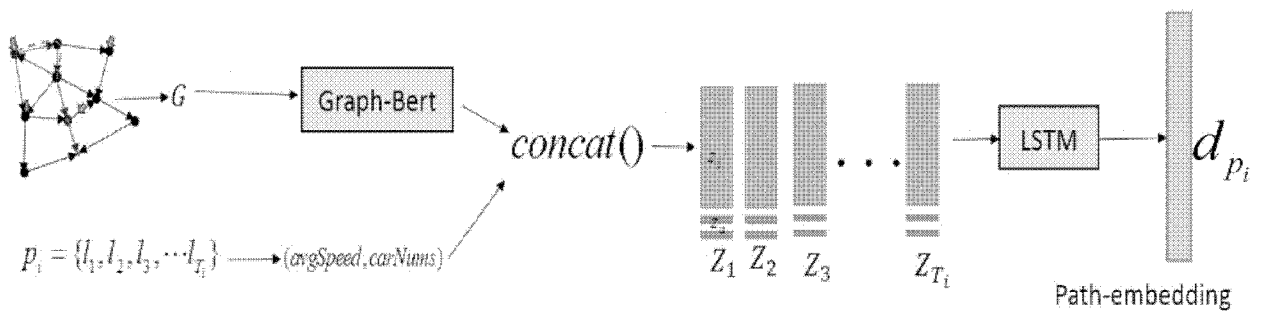


图 2

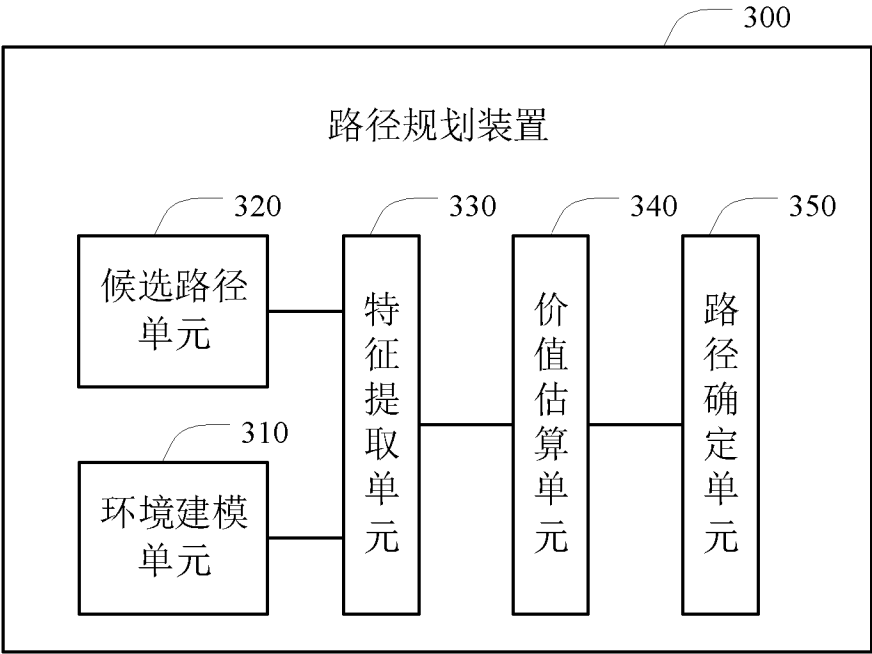


图 3

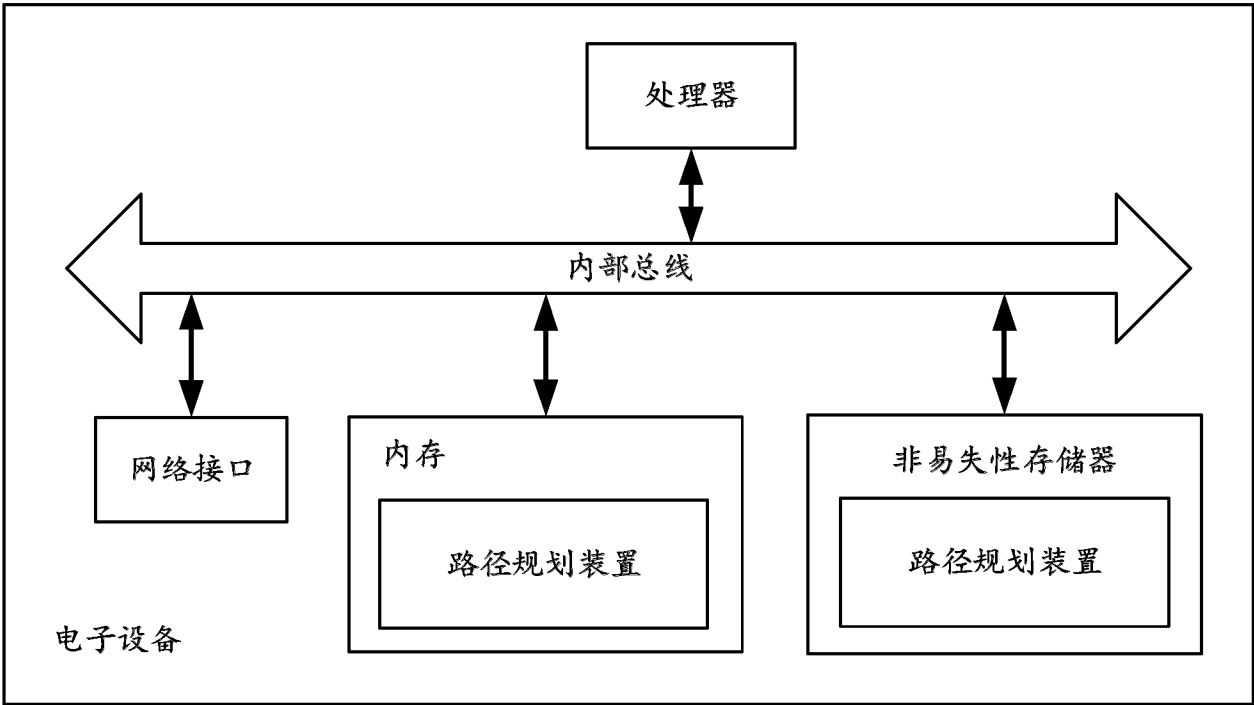


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/121113

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G06Q 10/04(2012.01)i; G06N 3/08(2006.01)i; G06N 3/04(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G06Q; G06N Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 路径, 规划, 路网, 道路, 路段, 静态, 动态, 路况, 环境, 神经网络, 图网络, 速度, path, planning, road, static, dynamic, highway condition, environment, circumstance, neural network, graph network, speed, velocity		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 112529254 A (GOERTEK INC.) 19 March 2021 (2021-03-19) description, paragraphs 5-17	1-12
X	CN 111489553 A (BAIDU ONLINE NETWORK TECHNOLOGY (BEIJING) CO., LTD.) 04 August 2020 (2020-08-04) description paragraphs 35-86, 98-104	1-12
A	CN 110375760 A (BEIJING BAIDU NETCOM SCIENCE AND TECHNOLOGY CO., LTD.) 25 October 2019 (2019-10-25) entire document	1-12
A	CN 110823236 A (BAIDU ONLINE NETWORK TECHNOLOGY (BEIJING) CO., LTD.) 21 February 2020 (2020-02-21) entire document	1-12
A	CN 107180530 A (BEIHANG UNIVERSITY) 19 September 2017 (2017-09-19) entire document	1-12
A	US 2019033085 A1 (WAYMO LLC.) 31 January 2019 (2019-01-31) entire document	1-12
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 20 December 2021		Date of mailing of the international search report 29 December 2021
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10)62019451		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/121113

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	112529254	A	19 March 2021	None			
CN	111489553	A	04 August 2020	None			
CN	110375760	A	25 October 2019	None			
CN	110823236	A	21 February 2020	None			
CN	107180530	A	19 September 2017	None			
US	2019033085	A1	31 January 2019	US	20200174490	A1	04 June 2020
				WO	2019023628	A1	31 January 2019

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/121113

A. 主题的分类 G06Q 10/04(2012.01)i; G06N 3/08(2006.01)i; G06N 3/04(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类																							
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) G06Q; G06N 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNPAT, CNKI, WPI, EPDOC: 路径, 规划, 路网, 道路, 路段, 静态, 动态, 路况, 环境, 神经网络, 图网络, 速度, path, planning, road, static, dynamic, highway condition, environment, circumstance, neural network, graph network, speed, velocity																							
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 112529254 A (歌尔股份有限公司) 2021年3月19日 (2021 - 03 - 19) 说明书第5-17段</td> <td>1-12</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>CN 111489553 A (百度在线网络技术北京有限公司) 2020年8月4日 (2020 - 08 - 04) 说明书第35-86, 98-104段</td> <td>1-12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 110375760 A (北京百度网讯科技有限公司) 2019年10月25日 (2019 - 10 - 25) 全文</td> <td>1-12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 110823236 A (百度在线网络技术北京有限公司) 2020年2月21日 (2020 - 02 - 21) 全文</td> <td>1-12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107180530 A (北京航空航天大学) 2017年9月19日 (2017 - 09 - 19) 全文</td> <td>1-12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2019033085 A1 (WAYMO LLC.) 2019年1月31日 (2019 - 01 - 31) 全文</td> <td>1-12</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 112529254 A (歌尔股份有限公司) 2021年3月19日 (2021 - 03 - 19) 说明书第5-17段	1-12	X	CN 111489553 A (百度在线网络技术北京有限公司) 2020年8月4日 (2020 - 08 - 04) 说明书第35-86, 98-104段	1-12	A	CN 110375760 A (北京百度网讯科技有限公司) 2019年10月25日 (2019 - 10 - 25) 全文	1-12	A	CN 110823236 A (百度在线网络技术北京有限公司) 2020年2月21日 (2020 - 02 - 21) 全文	1-12	A	CN 107180530 A (北京航空航天大学) 2017年9月19日 (2017 - 09 - 19) 全文	1-12	A	US 2019033085 A1 (WAYMO LLC.) 2019年1月31日 (2019 - 01 - 31) 全文	1-12
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
PX	CN 112529254 A (歌尔股份有限公司) 2021年3月19日 (2021 - 03 - 19) 说明书第5-17段	1-12																					
X	CN 111489553 A (百度在线网络技术北京有限公司) 2020年8月4日 (2020 - 08 - 04) 说明书第35-86, 98-104段	1-12																					
A	CN 110375760 A (北京百度网讯科技有限公司) 2019年10月25日 (2019 - 10 - 25) 全文	1-12																					
A	CN 110823236 A (百度在线网络技术北京有限公司) 2020年2月21日 (2020 - 02 - 21) 全文	1-12																					
A	CN 107180530 A (北京航空航天大学) 2017年9月19日 (2017 - 09 - 19) 全文	1-12																					
A	US 2019033085 A1 (WAYMO LLC.) 2019年1月31日 (2019 - 01 - 31) 全文	1-12																					
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																							
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																							
国际检索实际完成的日期 2021年12月20日		国际检索报告邮寄日期 2021年12月29日																					
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		授权官员 杨春雨 电话号码 86-(10)-53961437																					

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/121113

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	112529254	A	2021年3月19日	无	
CN	111489553	A	2020年8月4日	无	
CN	110375760	A	2019年10月25日	无	
CN	110823236	A	2020年2月21日	无	
CN	107180530	A	2017年9月19日	无	
US	2019033085	A1	2019年1月31日	US 20200174490 A1	2020年6月4日
				WO 2019023628 A1	2019年1月31日