

(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
2020 年 12 月 3 日 (03.12.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/238097 A1

(51) 国际专利分类号:
G01M 17/007 (2006.01) **G05B 17/02** (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/120934

(22) 国际申请日: 2019 年 11 月 26 日 (26.11.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201910473051.9 2019年5月31日 (31.05.2019) CN

(71) 申请人: 中国科学院深圳先进技术研究院 (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518000 (CN)。

(72) 发明人: 李慧云 (LI, Huiyun); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518000 (CN)。石印洲 (SHI, Yinzhou); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518000 (CN)。林定方 (LIN, Dingfang); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518000 (CN)。潘仲鸣 (PAN, Zhongming); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518000 (CN)。

(74) 代理人: 深圳中一联合知识产权代理有限公司 (SHENZHEN ZHONGYI UNION INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国广东省深圳市福田区园岭街道深南中路 1014 号报春大厦 9 楼 (5 号信箱), Guangdong 518028 (CN)。

(54) Title: TESTING METHOD FOR AUTONOMOUS VEHICLE, DEVICE, AND SYSTEM

(54) 发明名称: 一种自动驾驶车辆的测试方法、装置及系统

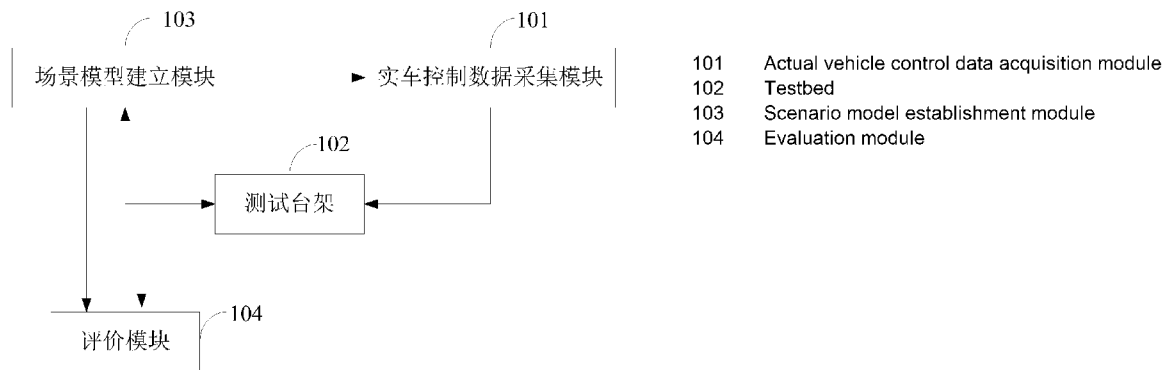


图 1

(57) Abstract: A testing method for an autonomous vehicle comprises: an actual vehicle control data acquisition module (101) used to acquire operation control data; a testbed (102) used to generate a reaction force according to the operation control data and scenario information, and acquire, according to the reaction force, state data of the autonomous vehicle; a scenario model establishment module (103) used to establish a traffic scenario model, a traffic flow model, an autonomous vehicle kinetic model, and an environment sensing sensor model, and acquire position data of the autonomous vehicle; and an evaluation module (104) used to calculate, according to the position data and the state data, a report value for evaluating a traveling state of the autonomous vehicle. The invention combines a scenario model comprising traffic flow data and the testbed, and accordingly enables realistic testing of the capabilities of an autonomous vehicle, such as environment identification, identification response time and response manner for dangerous situations, and the safety and stability of an independent recognition capability in a complex traffic environment.

(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, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, 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: 一种自动驾驶车辆的测试系统, 实车控制数据采集模块 (101) 用于采集操控数据; 测试台架 (102) 用于根据操控数据, 以及场景信息, 产生反作用力, 根据反作用力获取自动驾驶车辆的状态数据; 场景模型建立模块 (103) 用于建立交通场景模型、交通流模型、自动驾驶车辆动力学模型和环境感知传感器模型, 获取自动驾驶车辆的位置数据; 评价模块 (104) 用于根据位置数据, 以及状态数据, 计算用于评价自动驾驶车辆行驶状态的回报值。通过测试台架结合包括交通流数据的场景模型, 可以更加真实的测试自动驾驶车辆对环境的识别能力、危险情况的识别响应时间及处理方式, 在复杂交通环境下自主认识能力的安全性和稳定性。

一种自动驾驶车辆的测试方法、装置及系统

本申请要求于 2019 年 05 月 31 日在中国专利局提交的、申请号为 201910473051.9、发明名称为“一种自动驾驶车辆的测试方法、装置及系统”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

5 技术领域

本申请涉及自动驾驶车辆测试技术领域，具体涉及一种一种自动驾驶车辆的测试方法、装置及系统。

背景技术

智能驾驶是未来自动驾驶车辆发展的必然趋势，是避免人为驾驶失误和提高交通效率的有效途径。现有通信、电子与计算机技术的日新月异为智能驾驶技术的开发奠定了坚实的基础。美国电气和电子工程师协会(IEEE)预测，至 2040 年，75%的自动驾驶车辆将是智能驾驶自动驾驶车辆。智能驾驶自动驾驶车辆的市场增速将是其他自动驾驶车辆的 10 倍，并且智能驾驶自动驾驶车辆的出现将交通事故率降至 10%。

在自动驾驶车辆行业中，所有技术要从实验室走向量产，都需要经过验证的环节。传统自动驾驶车辆要走向自动驾驶，除了各家技术方案公司的努力，包括但不限于 OEM（原始设备制造商）、自动驾驶公司，还需要对实验结果进行不断测验，进行对称调试优化。

在自动驾驶车辆正式上路之前，需要有针对性的测试来证明其运行安全性。路测无疑是最直接的方式，但由于自动驾驶车辆的重量以及速度，在实际场景中测试有重大的安全隐患，尤其是在技术尚未成熟之前，安全隐患更大。但是，如果没有实际的路测，技术的更新升级的难度很大。因此，各国政府、科研院所、企业都大力展开对标准体系的编制以及自动驾驶考试考核场地的构建和相关测试方式方法的探究。

在对自动驾驶车辆的测试过程中，应考虑道路行人、参与自动驾驶车辆、道路基础设施及交通信号灯等基本的交通因素。特别是在开放的公共道路测试过程中，由于混合了传统驾驶自动驾驶车辆及其他交通参与者，会提高自动驾驶车辆道路通行过程中的复杂性程度，导致自动驾驶车辆在测试道路上安全行驶的不确定因素上升，增加了产生道路交通事故的风险。并且，自动驾驶车辆需要约 2.75 亿英里的行驶里程来证明系统的安全性。为了验证自动驾驶车辆比人类更好的性能，自动驾驶车辆所需测试里程需达到数十亿英里，传统的路测测试方法不仅试验周期长，而且测试成本大，无法满足市场的需求。

随着虚拟现实技术的发展，运用计算机三维建模的方式构建出虚拟的街道、城乡、高速公路等作为测试环境，并在虚拟环境中加入所需的测试用例，这种虚拟测试方法可缩减

自动驾驶技术的研发周期。测试场景用例主要来源于有人驾驶自动驾驶车辆的交通事故、自然驾驶数据以及以往测试中人类接管案例和对特殊场景进行模拟的试验数据，以验证自动驾驶车辆的运行安全性。

然而目前的模型在环、软件在环的仿真工具等无法测试实际执行效果，尤其是包含运动学和动力学、交通规则、车路协同等实际效果。无法测试自动驾驶车辆的自动驾驶车辆对环境的识别能力、对危险情况的识别响应时间及处理方式，及在复杂交通环境下自主认知能力的安全性和稳定性。

技术问题

本申请实施例的目的之一在于：提供一种自动驾驶车辆的测试方法、装置及设备，以解决现有技术中对自动驾驶车辆进行仿真测试时，无法测试自动驾驶车辆对环境的识别能力、对危险情况的识别响应时间及处理方式，及在复杂交通环境下自主认知能力和多系统协同工作的安全性和稳定性的问题。

技术解决方案

为解决上述技术问题，本申请实施例采用的技术方案是：

本申请实施例的第一方面提供了一种自动驾驶车辆的测试系统，所述自动驾驶车辆的在环测试系统包括实车控制数据采集模块、测试台架、场景模型建立模块、评价模块，其中：

所述实车数据采集模块用于采集被测试的自动驾驶车辆的操控部件的操控数据；

所述测试台架用于根据所述被测试的自动驾驶车辆的操控数据，以及自动驾驶车辆的场景信息，生成场景反馈指令，根据所述场景反馈指令控制所述测试台架的电机产生对所述被测试的自动驾驶车辆的反作用力，根据所述反作用力获取所述自动驾驶车辆的状态数据；

所述场景模型建立模块用于建立交通场景模型、交通流模型、自动驾驶车辆动力学模型和环境感知传感器模型，所述环境感知传感器模型用于根据所述自动驾驶车辆动力学模型、交通场景模型和交通流模型生成操控指令控制所述自动驾驶车辆的操控部件，并结合所述状态数据获取自动驾驶车辆动力学模型在所述交通场景模型的位置数据；

所述评价模块用于根据所述自动驾驶车辆动力学模型在所述交通场景模型的位置数据，以及所述被测试的自动驾驶车辆的仿真数据，计算用于评价自动驾驶车辆行驶状态的回报值。

结合第一方面，在第一方面的第一种可能实现方式中，所述实车数据采集模块包括用于采集方向盘的旋转角度的角度传感器，用于采用不同档位的档位开关，以及用于采集踏

板行程的行程传感器中的一种或者多种。

结合第一方面，在第一方面的第二种可能实现方式中，所述测试台架包括模拟电机、实验台控制系统、传感器和转向加载系统中的一项或者多项，其中：

所述模拟电机用于速度控制模拟，以及根据场景中的道路进行滚动阻力模拟；

5 所述实验台控制系统用于接收自动驾驶车辆系统的决策指令，或者向所述自动驾驶车辆系统发送指令，或者接收人工输入的操控指令；

所述传感器包括转速传感器和转矩传感器，用于检测自动驾驶车辆轮毂转速以及所传递的转矩；

10 所述转向加载系统用于自动驾驶车辆转向时，由转向加载电机产生阻止车轮转向的转矩，验证自动驾驶车辆自动转向。

结合第一方面，在第一方面的第三种可能实现方式中，所述评价模块具体用于，根据公式：

$$r = \left(v \times \left(\frac{1 - |v - \beta|}{\alpha} \right)^{\mathbb{I}[d_1 \leq x1]} \right) \times \cos \varphi \times (1 - |\sin \varphi|) \times (1 - |d_2|) \times \left(\frac{|d_1|}{x2} \right)^{\mathbb{I}[d_1 \leq x2]}$$

15 计算用于评价自动驾驶车辆行驶状态的回报值，其中： $\mathbb{I}[\cdot]$ 表示指示函数，当函数内部条件满足时取值为 1，否则取值为 0， v 为自动驾驶车辆的纵向速度， d_1 为自动驾驶车辆与正前方车道边缘线的距离， d_2 为自动驾驶车辆与车道中轴线的距离， α 和 β 是自动驾驶车辆转弯时的约束参数， r 为回报值， $x1$ 为自动驾驶车辆与正前方车道边缘线的距离阈值， $x2$ 为自动驾驶车辆与车道中轴线的距离阈值。

20 结合第一方面，在第一方面的第四种可能实现方式中，所述自动驾驶车辆的测试系统还包括融合模块，所述融合模块用于对场景中的多个自动驾驶车辆的传感数据，以及场景中的多个道路的传感数据进行采集，并对采集的多个传感数据进行融合。

本申请实施例的第二方面提供了一种基于第一方面任一项所述自动驾驶车辆的测试系统的自动驾驶车辆的测试方法，所述自动驾驶车辆的测试方法包括：

25 根据预先建立的交通场景模型和交通流模型，结合环境感知传感器模型，生成对自动驾驶车辆的操控指令，并基于所述操控指令采集被测试自动驾驶车辆的操控部件的操控数据；

基于所述操控数据，结合所述自动驾驶车辆的场景信息，生成场景反馈指令，根据所述场景反馈指令控制所述测试台架的电机产生对所述被测试自动驾驶车辆的反作用力，根

据所述反艇力获取所述自动驾驶车辆的状态数据；

根据所述状态数据，确定自动驾驶车辆动力学模型在交通场景模型中的位置数据；

根据所述状态数据，以及位置数据，计算用于评价自动驾驶车辆行驶状态的回报值。

结合第二方面，在第二方面的第一种可能实现方式中，所述根据所述仿真数据，以及

5 所述位置数据，计算用于评价自动驾驶车辆行驶状态的回报值的步骤包括：

根据公式：

$$r = \left(v \times \left(\frac{1 - |v - \beta|}{\alpha} \right)^{\mathbb{I}[d_1 \leq x1]} \right) \times \cos \varphi \times (1 - |\sin \varphi|) \times (1 - |d_2|) \times \left(\frac{|d_1|}{x2} \right)^{\mathbb{I}[d_1 \leq x2]}$$

计算用于评价自动驾驶车辆行驶状态的回报值，其中： $\mathbb{I}[\cdot]$ 表示指示函数，当函数内部条件满足时取值为 1，否则取值为 0， v 为自动驾驶车辆的纵向速度， d_1 为自动驾驶车
10 辆与正前方车道边缘线的距离， d_2 为自动驾驶车辆与车道中轴线的距离， α 和 β 是自动驾驶车辆转弯时的约束参数， r 为回报值， $x1$ 为自动驾驶车辆与正前方车道边缘线的距离阈值， $x2$ 为自动驾驶车辆与车道中轴线的距离阈值。

结合第二方面，在第二方面的第二种可能实现方式中，所述根据预先建立的交通场景模型和交通流模型，结合环境感知传感器模型，生成对自动驾驶车辆的操控指令，并基于
15 所述操控指令采集被测试自动驾驶车辆的操控部件的操控数据的步骤包括：

建立交通场景模型、包括交通流数据的交通流模型、自动驾驶车辆动力学模型以及环境感知传感器模型；

根据所述环境感知传感器模型在所述交通场景模型和交通流模型所采集的环境感知数据，生成对自动驾驶车辆的操控指令。

20 第三方面，本申请实施例提供了一种基于第一方面任一项所述自动驾驶车辆的测试系统的自动驾驶车辆的测试装置，其特征在于，所述自动驾驶车辆的测试装置包括：

操控数据采集单元，用于根据预先建立的交通场景模型和交通流模型，结合环境感知传感器模型，生成对自动驾驶车辆的操控指令，并基于所述操控指令采集被测试自动驾驶车辆的操控部件的操控数据；

25 状态数据采集单元，用于基于所述操控数据，生成场景反馈指令，根据所述场景反馈指令控制所述测试台架的电机产生对所述被测试自动驾驶车辆的反作用力，根据所述反艇力获取所述自动驾驶车辆的状态数据；

位置数据确定单元，用于根据所述状态数据，确定自动驾驶车辆动力学模型在交通场

景模型中的位置数据；

回报值计算单元，用于根据所述状态数据，以及位置数据，计算用于评价自动驾驶车辆行驶状态的回报值。

5 本申请实施例的第四方面提供了一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现如第二方面任一项所述自动驾驶车辆的测试方法的步骤。

本申请实施例提供的自动驾驶车辆的测试方法的有益效果在于：通过建立包括交通流模型的场景模型，通过环境感知传感模型实时检测自动驾驶车辆行驶环境，对自动驾驶车辆行驶环境进行识别和响应，生成操控指令，由待测试的自动驾驶车辆执行所述操控指令，
10 采集所述待测试的自动驾驶车辆的操控数据，由测试台架基于自动驾驶车辆的场景信息、以及自动驾驶车辆的操控数据，生成场景反馈指令，根据所述场景反馈指令控制测试台架的电机产生对所述被测试的自动驾驶车辆的反作用力，实现对车辆的动量进行缓冲，并能够模拟实际场景的道路的缓冲力的大小和作用方式，得到自动驾驶车辆的状态数据，基于所述状态数据计算自动加载车辆的位置，根据所述位置数据和所述状态数据，计算所述自
15 动驾驶车辆行驶状态的回报值，从而可以使得本申请所述测试方法可以通过测试台架结合包括交通流数据的场景模型，更加真实的反应自动驾驶车辆的行驶状态，能够更加可靠的测试自动驾驶车辆对环境的识别能力、危险情况的识别响应时间及处理方式，在复杂交通环境下自主认识能力的安全性和稳定性。

20 附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案，下面将对实施例或示范性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申请的一些实施例，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它的附图。

25 图 1 是本申请实施例提供的一种自动驾驶车辆的测试系统示意图；

图 2 是本申请实施例提供的实车数据采集模块示意图；

图 3 是本申请实施例提供的一种测试台架的结构示意图；

图 4 是本申请实施例提供的用于回报函数设计的状态信息示意图；

图 5 是本申请实施例提供的速度与回报值约束示意图；

30 图 6 是本申请实施例提供的一种自动驾驶车辆的测试方法的实现流程示意图；

图 7 是本申请实施例提供的一种自动驾驶车辆的测试装置示意图；

图 8 是本申请实施例提供的自动驾驶车辆的测试设备的示意图。

本发明的实施方式

为了使本申请的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本申请进行详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明，并不用于限定本申请。

为了说明本申请所述的技术方案，下面通过具体实施例来进行说明。

图 1 为本申请实施例提供的一种自动驾驶车辆的测试系统的结构示意图，详述如下：

所述自动驾驶车辆的测试系统包括实车控制数据采集模块 101、测试台架 102、场景模型建立模块 103、评价模块 104，其中：

所述实车数据采集模块 101 用于采集被测试的自动驾驶车辆的操控部件的操控数据；

所述测试台架 102 用于根据所述被测试的自动驾驶车辆的操控数据，以及自动驾驶车辆的场景信息，生成场景反馈指令，根据所述场景反馈指令控制所述测试台架的电机产生对所述被测试的自动驾驶车辆的反作用力，根据所述反作用力获取所述自动驾驶车辆的状态数据；

所述场景模型建立模块 103 用于建立交通场景模型、交通流模型、自动驾驶车辆动力学模型和环境感知传感器模型，所述环境感知传感器模型用于根据所述自动驾驶车辆动力学模型、交通场景模型和交通流模型生成操控指令控制所述自动驾驶车辆的操控部件，并结合所述状态数据获取自动驾驶车辆动力学模型在所述交通场景模型的位置数据；

所述评价模块 104 用于根据所述自动驾驶车辆动力学模型在所述交通场景模型的位置数据，以及所述被测试的自动驾驶车辆的仿真数据，计算用于评价自动驾驶车辆行驶状态的回报值。

具体的，所述实车数据采集模块 101 可以设置在自动驾驶车辆内，可以在所述自动驾驶车辆内搭载激光雷达、摄像头等传感器，如图 2 所示，所述实车数据采集模块可以包括角度传感器、转速传感器、直线加速度传感器、角速度传感器、拉力传感器等。其中：

整车控制器向方向柱电机控制器发送旋转指令，控制方向柱电机旋转，通过角度传感器采集方向柱的旋转角度并发送至整车控制器；

整车控制器向驱动电机控制器或发送机油门控制器发送驱动指令，驱动电机或发动机驱动车轮旋转，可以由转速传感器采集所述车轮的转速并发送至整车控制器；

整车控制器可以向刹车踏板控制装置发送刹车指令，由刹车踏板执行机构执行刹车指令时，可以由拉力传感器采集拉力信号，根据所述拉力信号计算刹车幅度数据，或者也可

以由行程传感器采集踏板行程。

当然，如图 2 所示，还可以包括直线加速度传感器采集所述自动驾驶车辆的自动驾驶行驶加速度，以及角度传感器采集所述自动驾驶车辆的转弯速度，或者还包括由整车控制器根据自动驾驶车辆的行驶状态进行灯光控制的自动灯光系统。

5 图 3 为本申请提供的一种测试台架的示意图，如图 3 所示，所述测试台架 102 针对无人驾驶自动驾驶车辆的驱动、转向、制动系统试验与测试需求，本申请提出一套多功能轴耦合式试验平台，可用于全车综合测试与验证，也可以单独进行某子系统的测试与验证，通过导入交通流数据和场景信息，根据场景信息中的道路具体信息，比如道路的坡度、道路的路面材质等，结合预先统计的车辆在不同的行驶状态下所对应的摩擦作用力，以及摩
10 擦力作用方式，来控制测试台架作用于自动驾驶车辆的反作用力，从而能够使得自动驾驶车辆的测试更加与实际情况更加吻合，通过导入真实场景的交通流数据，可以使得自动驾驶车辆能够针对更加有效的对实际场景的突发状况进行训练，可以测试自动驾驶车辆对环境的识别能力，对危险情况的识别响应时间及处理方式，及在复杂交通环境下自主认知能力和多系统协同工作的安全性和稳定性。通过测试台架可以使得模拟测试环境接近实地环
15 境。可适用于整车性能测试、耐久、传动系统测试、ADAS 及无人驾驶开发测试等领域。

所述测试台架可以包括驱动电机，所述驱动电机可以与工业电网相连，或者也可以与车载动力电池相连，所述驱动电机可选用直流、交流或永磁电机，驱动电机需满足超负载、低惯量的需求，功率可以为 80-150kw，可以为所述驱动电机配套逆变器、AC/DC 交流直流转换器。根据待测试的车型的可提供 2 驱（前驱/后驱）或 4 驱版，以满足测试需求。可以
20 根据场景模型，模拟道路滚阻，模拟速度控制，满足不同工况的测试循环要求。

在所述测试台架上可以包括实验台控制系统、转速传感器、转矩传感器、转向加载系统等，其中：

所述实验台控制系统可以采用 PLC，可用于接收并执行整车控制系统发出的决策指令，能够人工输入驱动、转向、刹车指令并执行，能够向整车控制系统发指令。

25 所述转速传感器、转矩传感器，可根据不同精度级别的扭矩测试需求搭载传感器，用于测试自动驾驶车辆轮毂转速，以及通过法兰、万向节、花键轴、花键套、万向节等配件传递过来的转矩，刹车测试时可检测并记录最大转速与转矩。或者还可以包括测功机，可通过轴承支座、飞轮与轮毂传动相连，可以包括用于检测轮毂方向角的方向角检测系统与加载系统。

30 所述转向加载系统，可用于对 EPS（电子控制式电动助力转向系统）进行测试。自动驾驶车辆转向时，实验台控制系统发指令给转向加载电机，加载电机给出一个阻止车轮转

向的转矩（模拟车轮与地面之间的阻力转矩），验证自动驾驶车辆自动转向柱转向效果。

本申请所述场景模型建立模块 103，可用于建立交通场景模型、交通流模型、自动驾驶车辆动力学模型和环境感知传感器模型，其中：

所述交通场景模型可基于 Prescan 等仿真器建立复杂场景自动驾驶交通场景建模，涵盖道路模型、环境模型、道路使用者模型以及天气光照模型等。基于外部地图数据导入，获取道路坡度、曲率、倾斜等信息，完成真实道路高度一致的参数化的路面模型，可用于自动化测试；可进行复杂路网结构建模，如三岔路口、立交桥等。所述交通场景模型可以包含路面及路边设施、交通标识、建筑物以及绿化带等信息。天气光照模型可以包含白天夜晚及太阳光照射、雨雪雾天气以及车灯及路灯模型。

所述交通流模型可以通过采用城市级宏观交通流数据，采用拟合（regression）或生成对抗网络（GAN, Generative Adversarial Networks）学习的方式，生成高保真的背景交通流信息。将数据导入微观交通流工具 Vissim 等，生成微观交通流数据环境，将所述微观交通流数据注入自建的自动驾驶车辆动力学仿真平台 Matlab Simulink，得到交通流模型。

所述自动驾驶车辆动力学模型可以通过对所述自动驾驶车辆进行 2D 或 3D 动力学建模，所述自动驾驶车辆动力学模型可以包括制动系统、转向系统和悬架系统的动力学仿真模型建立，实现自动驾驶车辆纵向加/减速，横向的运动，可以通过自动驾驶车辆动力学，基于模型预测控制（Model Predictive Control, MPC）或 PID 控制器（比例-积分-微分控制器）进行描述。

所述环境感知传感器模型，可用于采集信号，所采集的信号通过融合之后，再传输到决策层，最后传输到整个执行机构。其中传感器种类可以包括摄像头、毫米波雷达、超声波雷达、激光雷达以及需要定位的 DGPS+IMU 传感器。这些传感器能是用来检测周围的一些交通场景，比如自动驾驶车辆和行人，也可以进行路径规划和定位，确认自动驾驶车辆在道路中的位置，再结合检测出来的可行驶区域，进行局部的路径规划，最后进行控制整个自动驾驶车辆动力制动转向系统。

所述评价模块可用于测试单车决策控制性能、车路协同测试、大规模自动驾驶车辆无线通信技术和能力，以及车联网通信拥塞控制策略测试，额头于评价函数设计状态的状态信息可以包括：自动驾驶车辆前进方向与车道坐标系纵轴的夹角 φ ，自动驾驶车辆沿车体坐标系横轴的速度，也即前行的速度 v ，自动驾驶车辆距离正前方 $200m$ 内的车道边缘的距离 d_1 ，以及自动驾驶车辆车体坐标系原点距离车道轴线的侧方偏移距离 d_2 。 $d_2=0$ 表示

自动驾驶车辆在车道轴线上, $|d_2|=1$ 表示自动驾驶车辆在车道边缘上, $|d_2|>1$ 表示自动驾驶车辆在车道外。

图 4 示出了用于回报函数设计的状态信息的示意图, 图中上下两边的粗线表示车道边缘, 中间虚线表示车道的中轴线, 自动驾驶车辆纵向速度 v 与车道中轴线的夹角即为 φ , 绿线表示的距离 d_1 为自动驾驶车辆与正前方车道边缘线的距离, 蓝线表示的距离 d_2 为车体坐标系原点距离车道中轴线的距离。

本申请所述回报函数的设计包括以下几个方面的考虑: (a) 希望自动驾驶车辆行驶的纵向速度 v 能尽量大; (b) 希望自动驾驶车辆前进方向与车道的方向尽量一致, 即夹角 φ 尽量趋于零; (c) 希望自动驾驶车辆与正前方车道边缘线的距离 d_1 尽量大; (c) 希望自动驾驶车辆行驶过程中尽量位于车道中轴线附近, 即 d_2 趋于零; (d) 希望自动驾驶车辆在弯道之前能预知弯道, 提前刹车减速, 确保在不冲出赛道的前提下安全过弯。基于上述对自动驾驶车辆表现的期望, 本文给出了如下形式的回报函数:

$$r = \left(v \times \left(\frac{1 - |v - \beta|}{\alpha} \right)^{\mathbb{I}[d_1 \leq x1]} \right) \times \cos \varphi \times (1 - |\sin \varphi|) \times (1 - |d_2|) \times \left(\frac{|d_1|}{x2} \right)^{\mathbb{I}[d_1 \leq x2]}$$

计算用于评价自动驾驶车辆行驶状态的回报值, 其中: $\mathbb{I}[\cdot]$ 表示指示函数, 当函数内部条件满足时取值为 1, 否则取值为 0, v 为自动驾驶车辆的纵向速度, d_1 为自动驾驶车辆与正前方车道边缘线的距离, d_2 为自动驾驶车辆与车道中轴线的距离, α 和 β 是自动驾驶车辆转弯时的约束参数, r 为回报值, $x1$ 自动驾驶车辆与正前方车道边缘线的距离阈值, $x2$ 为自动驾驶车辆与车道中轴线的距离阈值, 比如 $x1$ 可以取值为 10, $x2$ 取值为 50, 根据道路的宽窄、道路的安全级别, 可以调整 $x1$ 和 $x2$ 的取值, 以适应不同道路的测试要求。所述约束参数 α 和 β 可以根据参考初始值, 结合实际测量的结果不断优化方式, 来确定所述约束参数。

本申请所述回报函数采用乘积的形式, 而不是采用加和的形式, 通过乘积的形式使得回报函数有超线性的性质, 对自动驾驶车辆行为变化更敏感, 从而能更快速地使自动驾驶车辆行为符合期望。

所述回报函数的乘积项分别对应了前文所述的对自动驾驶车辆行为的五项期望。因为

希望自动驾驶车辆纵向速度能尽量大，所以 v 作为了乘积项，在不受其他乘积项影响的前提下， v 越大，获得的回报值越大。 $\cos \varphi$ 和 $(1-|\sin \varphi|)$ 项约束自动驾驶车辆前进方向与车道的方向夹角 φ 趋于零，当 $\varphi=0$ ， $\cos \varphi \times (1-|\sin \varphi|)$ 项为1，不会对结果产生影响；当 $\varphi \neq 0$ ， $\cos \varphi \times (1-|\sin \varphi|) < 1$ ，将使回报值减少。自动驾驶车辆与正前方车道边缘线的距离由以下乘积项约束：

$$\left(\frac{|d_1|}{x2} \right)^{\mathbb{I}[d_1 \leq x2]} = \begin{cases} \frac{|d_1|}{x2}, & d_1 \leq x2 \\ 1, & d_1 > x2 \end{cases}$$

其中，所述自动驾驶车辆与正前方车道边缘线的距离阈值 $x2$ ，可以设置为50米，当 $d_1 > 50$ ，该项取值为1，不会对回报值结果产生影响；而当 $d_1 \leq 50$ ，该项取值小于1，将使回报值减小，且 d_1 越小，回报值将越小。

$(1-|d_2|)$ 项约束自动驾驶车辆位于车道（指行驶方向的车道，对于单行方向的车道，则指整个车道，对于双行方向的车道，则指自动驾驶车辆当前行驶方向的车道）中轴线附近，当 $d_2=0$ 米，即自动驾驶车辆位于车道中轴线位置， $(1-|d_2|)$ 项为1，不会对结果产生影响， $d_2 \neq 0$ 米，自动驾驶车辆偏离车道中轴线位置， $(1-|d_2|) < 1$ ，将使回报值减小，甚至使回报值为负。

自动驾驶车辆过弯时的行为约束由下式所示复合项实现：

$$v \times \left(\frac{1-|v-\beta|}{\alpha} \right)^{\mathbb{I}[d_1 \leq x1]} = \begin{cases} v \times \left(\frac{1-|v-\beta|}{\alpha} \right), & d_1 \leq x1 \\ v, & d_1 > x1 \end{cases}$$

其中， α 和 β 是需要根据实验效果进行调整的自动驾驶车辆转弯约束参数，可以根据。

该项综合考虑了自动驾驶车辆进入弯道前和进入弯道时的速度约束，可以将 $d_1=10$ 设置为是否遇到弯道的界限值。当 $d_1 > 10$ ，自动驾驶车辆未遇到弯道，复合项退化为速度项，此时速度越大对应的回报值越大；当 $d_1 \leq 10$ 时，该项是关于速度 v 的二次函数。

当约束参数 $\alpha=120, \beta=180$ 时，绘制该二次函数的曲线图，即速度与回报值的约束曲

线如图 5 所示, 此时二次函数的曲线图存在极大值点, 在 $v=181/2$ 处取得, 表示当自动驾驶车辆遇到弯道时, 欲使复合项的取值尽量大, 自动驾驶车辆的速度应该尽量的逼近 90.5km/h , 从而限制了自动驾驶车辆在经过弯道时的最大速度, 避免了自动驾驶车辆因速度过大冲出赛道。此外, 自动驾驶车辆在入弯前的速度可能远大于 90.5km/h , 一旦 d_1 达到所设置的边界值, 自动驾驶车辆会自动地进行刹车减速, 从而实现了预知弯道并刹车的自动驾驶控制。实际情况可以根据自动驾驶车辆的实际行驶数据, 来优化确定所述约束参数 α 和 β 。

在本申请的一种实施方式中, 对传感数据进行融合时, 还可包括融合模块, 所述融合模块用于对场景中的多个自动驾驶车辆的传感数据, 以及场景中的多个道路的传感数据进行采集, 并对采集的多个传感数据进行融合。多传感器信息融合通过对多个传感器获得的信息进行协调、组合、互补来提高系统的有效性, 取得比单一传感器更好的性能。可以通过多源信息分布式并行融合方法、卡尔曼滤波方法、动静滤波技术、交互自适应、因子图方法等方法对多传感器信息进行融合, 减少高精度传感器数据量, 提高感知融合精度。

图 6 为本申请实施例提供的一种基于上述自动驾驶车辆的测试系统的自动驾驶车辆的测试方法的实现流程示意图, 详述如下:

在步骤 S601 中, 根据预先建立的交通场景模型和交通流模型, 结合环境感知传感器模型, 生成对自动驾驶车辆的操控指令, 并基于所述操控指令采集被测试自动驾驶车辆的操控部件的操控数据;

其中, 所述操控指令可以通过建立的交通场景模型、包括交通流数据的交通流模型、自动驾驶车辆动力学模型以及环境感知传感器模型, 将交通流数据注入自动驾驶车辆仿真平台, 在所述自动驾驶车辆仿真平台建立包括交通流数据的交通场景模型, 通过环境感知传感器模型检测交通场景模型所采集的环境感知数据, 生成对自动驾驶车辆的操控指令。

在步骤 S602 中, 基于所述操控数据, 结合所述自动驾驶车辆的场景信息, 生成场景反馈指令, 根据所述场景反馈指令控制所述测试台架的电机产生对所述被测试自动驾驶车辆的反作用力, 根据所述反艇力获取所述自动驾驶车辆的状态数据;

根据所述操控数据, 结合所述交通场景模型的道路信息, 在所述测试台架对所述自动驾驶车辆进行行驶测试, 根据场景信息中包括的道路数据, 确定车辆当前行驶的道路参数, 包括如道路的坡度、道路的材质、天气情况(雨天、明天、雪天)等, 根据所述道路参数, 结合所述车辆的操控数据, 来确定作用于所述自动驾驶车辆的反作用力, 即作用于所述自

动驾驶车辆的摩擦力，从而使得自动驾驶车辆能够更加真实的模拟实际测试场景，生成更加真实的自动驾驶车辆的状态数据，包括车辆的速度、加速度、角速度等。

在步骤 S603 中，根据所述状态数据，确定自动驾驶车辆动力学模型在交通场景模型中的位置数据；

- 5 根据所述状态数据，可以确定所述自动驾驶车辆动力学模型在交通场景中的位移信息，根据所述位移信息可以确定自动驾驶车辆驾驶自动驾驶车辆的位置数据，包括上述提到的自动驾驶车辆的前进方向与车道中轴线的夹角 φ ，自动驾驶车辆与正前方车道边缘线的距离 d_1 ，车体坐标系原点距离车道中轴线的距离 d_2 等。

- 10 在步骤 S604 中，根据所述状态数据，以及位置数据，计算用于评价自动驾驶车辆行驶状态的回报值。

根据所述状态数据中包括的车辆速度、加速度、角速度等信息，以及位置数据，可以对单个车辆的回报值进行计算，其中一种计算方式可以为：

$$r = \left(v \times \left(\frac{1 - |v - \beta|}{\alpha} \right)^{\mathbb{I}[d_1 \leq x1]} \right) \times \cos \varphi \times (1 - |\sin \varphi|) \times (1 - |d_2|) \times \left(\frac{|d_1|}{x2} \right)^{\mathbb{I}[d_1 \leq x2]}$$

- 15 计算用于评价自动驾驶车辆行驶状态的回报值，其中： $\mathbb{I}[\cdot]$ 表示指示函数，当函数内部条件满足时取值为 1，否则取值为 0， v 为自动驾驶车辆的纵向速度， d_1 为自动驾驶车辆与正前方车道边缘线的距离， d_2 为自动驾驶车辆与车道中轴线的距离， α 和 β 是自动驾驶车辆转弯时的约束参数， r 为回报值， $x1$ 自动驾驶车辆与正前方车道边缘线的距离阈值， $x2$ 为自动驾驶车辆与车道中轴线的距离阈值。

- 20 本申请所述回报函数采用乘积的形式，而不是采用加和的形式，通过乘积的形式使得回报函数有超线性的性质，对自动驾驶车辆行为变化更敏感，从而能更快速地使自动驾驶车辆行为符合期望。

- 所述回报函数的乘积项分别对应了前文所述的对自动驾驶车辆行为的五项期望。因为希望自动驾驶车辆纵向速度能尽量大，所以 v 作为了乘积项，在不受其他乘积项影响的前提下， v 越大，获得的回报值越大。 $\cos \varphi$ 和 $(1 - |\sin \varphi|)$ 项约束自动驾驶车辆前进方向与车道的方向夹角 φ 趋于零，当 $\varphi = 0$ ， $\cos \varphi \times (1 - |\sin \varphi|)$ 项为 1，不会对结果产生影响；当 $\varphi \neq 0$ ， $\cos \varphi \times (1 - |\sin \varphi|) < 1$ ，将使回报值减少。自动驾驶车辆与正前方车道边缘线的距离由以下乘
- 25

积项约束：

$$\left(\frac{|d_1|}{x2}\right)^{\mathbb{I}[d_1 \leq x2]} = \begin{cases} \frac{|d_1|}{x2}, & d_1 \leq x2 \\ 1, & d_1 > x2 \end{cases}$$

其中，所述自动驾驶车辆与正前方车道边缘线的距离阈值 $x2$ ，可以设置为 50 米，当 $d_1 > 50$ ，该项取值为 1，不会对回报值结果产生影响；而当 $d_1 \leq 50$ ，该项取值小于 1，将使

5 回报值减小，且 d_1 越小，回报值将越小。

$(1-|d_2|)$ 项约束自动驾驶车辆位于车道（指行驶方向的车道，对于单行方向的车道，则指整个车道，对于双行方向的车道，则指自动驾驶车辆当前行驶方向的车道）中轴线附近，当 $d_2 = 0$ 米，即自动驾驶车辆位于车道中轴线位置， $(1-|d_2|)$ 项为 1，不会对结果产生影响， $d_2 \neq 0$ 米，自动驾驶车辆偏离车道中轴线位置， $(1-|d_2|) < 1$ ，将使回报值减小，甚至

10 使回报值为负。

自动驾驶车辆过弯时的行为约束由下式所示复合项实现：

$$v \times \left(\frac{1-|v-\beta|}{\alpha}\right)^{\mathbb{I}[d_1 \leq x1]} = \begin{cases} v \times \left(\frac{1-|v-\beta|}{\alpha}\right), & d_1 \leq x1 \\ v, & d_1 > x1 \end{cases}$$

其中， α 和 β 是需要根据实验效果进行调整的自动驾驶车辆转弯约束参数，可以根据。

该项综合考虑了自动驾驶车辆进入弯道前和进入弯道时的速度约束，可以将 $d_1 = 10$ 设置为

15 是否遇到弯道的界限值。当 $d_1 > 10$ ，自动驾驶车辆未遇到弯道，复合项退化为速度项，此时速度越大对应的回报值越大；当 $d_1 \leq 10$ 时，该项是关于速度 v 的二次函数。

当约束参数 $\alpha = 120, \beta = 180$ 时，绘制该二次函数的曲线图如图 5 所示，此时二次函数的曲线图存在极大值点，在 $v = 181/2$ 处取得，表示当自动驾驶车辆遇到弯道时，欲使复合项的取值尽量大，自动驾驶车辆的速度应该尽量的逼近 90.5km/h ，从而限制了自动驾驶车

20 辆在经过弯道时的最大速度，避免了自动驾驶车辆因速度过大冲出赛道。此外，自动驾驶车辆在入弯前的速度可能远大于 90.5km/h ，一旦 d_1 达到所设置的边界值，自动驾驶车辆会

自动地进行刹车减速，从而实现了预知弯道并刹车的自动驾驶控制。

当然，上述评价函数的计算公式，还可以根据速度或平稳度的权重，对评价函数进行修改，从而得到满足实际使用需求的评价函数计算结果。

图 6 所述自动驾驶车辆的测试方法，与图 1 所述的自动驾驶车辆的测试系统对应。

5 图 7 为本申请实施例提供的一种自动驾驶车辆的测试装置的结构示意图，所述自动驾驶车辆的测试装置包括：

操控数据采集单元 701，用于根据预先建立的交通场景模型和交通流模型，结合环境感知传感器模型，生成对自动驾驶车辆的操控指令，并基于所述操控指令采集被测试自动驾驶车辆的操控部件的操控数据；

10 状态数据采集单元 702，用于基于所述操控数据，生成场景反馈指令，根据所述场景反馈指令控制所述测试台架的电机产生对所述被测试自动驾驶车辆的反作用力，根据所述反作用力获取所述自动驾驶车辆的状态数据；

位置数据确定单元 703，用于根据所述状态数据，确定自动驾驶车辆动力学模型在交通场景模型中的位置数据；

15 回报值计算单元 704，用于根据所述状态数据，以及位置数据，计算用于评价自动驾驶车辆行驶状态的回报值。

所述自动驾驶车辆的测试装置，与所述自动驾驶车辆的测试方法对应。

图 8 是本申请一实施例提供的自动驾驶车辆的测试设备的示意图。如图 8 所示，该实施例的自动驾驶车辆的测试设备 8 包括：处理器 80、存储器 81 以及存储在所述存储器 81 20 中并可在所述处理器 80 上运行的计算机程序 82，例如自动驾驶车辆的测试程序。所述处理器 80 执行所述计算机程序 82 时实现上述各个自动驾驶车辆的测试方法实施例中的步骤。或者，所述处理器 80 执行所述计算机程序 82 时实现上述各装置实施例中各模块/单元的功能。

示例性的，所述计算机程序 82 可以被分割成一个或多个模块/单元，所述一个或者多个模块/单元被存储在所述存储器 81 中，并由所述处理器 80 执行，以完成本申请。所述一个或多个模块/单元可以是能够完成特定功能的一系列计算机程序指令段，该指令段用于描述所述计算机程序 82 在所述自动驾驶车辆的测试设备 8 中的执行过程。例如，所述计算机程序 82 可以被分割成：

30 操控数据采集单元，用于根据预先建立的交通场景模型和交通流模型，结合环境感知传感器模型，生成对自动驾驶车辆的操控指令，并基于所述操控指令采集被测试自动驾驶车辆的操控部件的操控数据；

状态数据采集单元，用于基于所述操控数据，生成场景反馈指令，根据所述场景反馈指令控制所述测试台架的电机产生对所述被测试自动驾驶车辆的反作用力，根据所述反艇力获取所述自动驾驶车辆的状态数据；

位置数据确定单元，用于根据所述状态数据，确定自动驾驶车辆动力学模型在交通场景模型中的位置数据；

回报值计算单元，用于根据所述状态数据，以及位置数据，计算用于评价自动驾驶车辆行驶状态的回报值。

所述自动驾驶车辆的测试设备可包括，但不仅限于，处理器 80、存储器 81。本领域技术人员可以理解，图 8 仅仅是自动驾驶车辆的测试设备 8 的示例，并不构成对自动驾驶车辆的测试设备 8 的限定，可以包括比图示更多或更少的部件，或者组合某些部件，或者不同的部件，例如所述自动驾驶车辆的测试设备还可以包括输入输出设备、网络接入设备、总线等。

所称处理器 80 可以是中央处理单元(Central Processing Unit, CPU)，还可以是其他通用处理器、数字信号处理器 (Digital Signal Processor, DSP)、专用集成电路 (Application Specific Integrated Circuit, ASIC)、现成可编程门阵列 (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、分立硬件组件等。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。

所述存储器 81 可以是所述自动驾驶车辆的测试设备 8 的内部存储单元，例如自动驾驶车辆的测试设备 8 的硬盘或内存。所述存储器 81 也可以是所述自动驾驶车辆的测试设备 8 的外部存储设备，例如所述自动驾驶车辆的测试设备 8 上配备的插接式硬盘，智能存储卡 (Smart Media Card, SMC)，安全数字 (Secure Digital, SD) 卡，闪存卡 (Flash Card) 等。所述存储器 81 还可以既包括所述自动驾驶车辆的测试设备 8 的内部存储单元也包括外部存储设备。所述存储器 81 用于存储所述计算机程序以及所述自动驾驶车辆的测试设备所需的其他程序和数据。所述存储器 81 还可以用于暂时地存储已经输出或者将要输出的数据。

所属领域的技术人员可以清楚地了解到，为了描述的方便和简洁，仅以上述各功能单元、模块的划分进行举例说明，实际应用中，可以根据需要而将上述功能分配由不同的功能单元、模块完成，即将所述装置的内部结构划分成不同的功能单元或模块，以完成以上描述的全部或者部分功能。实施例中的各功能单元、模块可以集成在一个处理单元中，也可以是各个单元单独物理存在，也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中，上述集成

的单元既可以采用硬件的形式实现，也可以采用软件功能单元的形式实现。另外，各功能单元、模块的具体名称也只是为了便于相互区分，并不用于限制本申请的保护范围。上述系统中单元、模块的具体工作过程，可以参考前述方法实施例中的对应过程，在此不再赘述。

5 在上述实施例中，对各个实施例的描述都各有侧重，某个实施例中未详述或记载的部分，可以参见其它实施例的相关描述。

 本领域普通技术人员可以意识到，结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤，能够以电子硬件、或者计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行，取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可
10 以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能，但是这种实现不应认为超出本申请的范围。

 在本申请所提供的实施例中，应该理解到，所揭露的装置/终端设备和方法，可以通过其它的方式实现。例如，以上所描述的装置/终端设备实施例仅仅是示意性的，例如，所述模块或单元的划分，仅仅为一种逻辑功能划分，实际实现时可以有另外的划分方式，例如
15 多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统，或一些特征可以忽略，或不执行。另一点，所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通讯连接可以通过一些接口，装置或单元的间接耦合或通讯连接，可以是电性，机械或其它的形式。

 所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的，作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元，即可以位于一个地方，或者也可以分布到多个网络
20 单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

 另外，在本申请各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中，也可以是各个单元单独物理存在，也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现，也可以采用软件功能单元的形式实现。

 所述集成的模块/单元如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用
25 时，可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解，本申请实现上述实施例方法中的全部或部分流程，也可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成，所述的计算机程序可存储于一计算机可读存储介质中，该计算机程序在被处理器执行时，可实现上述各个方法实施例的步骤。其中，所述计算机程序包括计算机程序代码，所述计算机程序代码可以为源代码形式、对象代码形式、可执行文件或某些中间形式等。所述计算机可读介
30 质可以包括：能够携带所述计算机程序代码的任何实体或装置、记录介质、U 盘、移动硬盘、磁碟、光盘、计算机存储器、只读存储器（ROM，Read-Only Memory）、随机存取存

储器（RAM, Random Access Memory）、电载波信号、电信信号以及软件分发介质等。需要说明的是，所述计算机可读介质包含的内容可以根据司法管辖区内立法和专利实践的要求进行适当的增减，例如在某些司法管辖区，根据立法和专利实践，计算机可读介质不包括是电载波信号和电信信号。

- 5 以上所述实施例仅用以说明本申请的技术方案，而非对其限制；尽管参照前述实施例对本申请进行了详细的说明，本领域的普通技术人员应当理解：其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分技术特征进行等同替换；而这些修改或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本申请各实施例技术方案的精神和范围，均应包含在本申请的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1. 一种自动驾驶车辆的测试系统，其特征在于，所述自动驾驶车辆的测试系统包括实车控制数据采集模块、测试台架、场景模型建立模块、评价模块，其中：

所述实车数据采集模块用于采集被测试的自动驾驶车辆的操控部件的操控数据；

5 所述测试台架用于根据所述被测试的自动驾驶车辆的操控数据，以及自动驾驶车辆的场景信息，生成场景反馈指令，根据所述场景反馈指令控制所述测试台架的电机产生对所述被测试的自动驾驶车辆的反作用力，根据所述反作用力获取所述自动驾驶车辆的状态数据；

所述场景模型建立模块用于建立交通场景模型、交通流模型、自动驾驶车辆动力学模型和环境感知传感器模型，所述环境感知传感器模型用于根据所述自动驾驶车辆动力学模型、交通场景模型和交通流模型生成操控指令控制所述自动驾驶车辆的操控部件，并结合所述状态数据获取自动驾驶车辆动力学模型在所述交通场景模型的位置数据；

所述评价模块用于根据所述自动驾驶车辆动力学模型在所述交通场景模型的位置数据，以及所述被测试的自动驾驶车辆的仿真数据，计算用于评价自动驾驶车辆行驶状态的
15 回报值。

2. 根据权利要求1所述的自动驾驶车辆的测试系统，其特征在于，所述实车数据采集模块包括用于采集方向盘的旋转角度的角度传感器，用于采用不同档位的档位开关，以及用于采集踏板行程的行程传感器中的一种或者多种。

3. 根据权利要求1所述的自动驾驶车辆的测试系统，其特征在于，所述测试台架包括
20 模拟电机、实验台控制系统、传感器和转向加载系统中的一项或者多项，其中：

所述模拟电机用于速度控制模拟，以及根据场景中的道路进行滚动阻力模拟；

所述实验台控制系统用于接收自动驾驶车辆系统的决策指令，或者向所述自动驾驶车辆系统发送指令，或者接收人工输入的操控指令；

所述传感器包括转速传感器和转矩传感器，用于检测自动驾驶车辆轮毂转速以及所传
25 递的转矩；

所述转向加载系统用于自动驾驶车辆转向时，由转向加载电机产生阻止车轮转向的转矩，验证自动驾驶车辆自动转向。

4. 根据权利要求1所述的自动驾驶车辆的测试系统，其特征在于，所述评价模块具体用于，根据公式：

30

$$r = \left(v \times \left(\frac{1 - |v - \beta|}{\alpha} \right)^{\mathbb{I}[d_1 \leq x1]} \right) \times \cos \varphi \times (1 - |\sin \varphi|) \times (1 - |d_2|) \times \left(\frac{|d_1|}{x2} \right)^{\mathbb{I}[d_1 \leq x2]}$$

计算用于评价自动驾驶车辆行驶状态的回报值，其中： $\mathbb{I}[\cdot]$ 表示指示函数，当函数内部条件满足时取值为 1，否则取值为 0， v 为自动驾驶车辆的纵向速度， d_1 为自动驾驶车辆与正前方车道边缘线的距离， d_2 为自动驾驶车辆与车道中轴线的距离， α 和 β 是自动驾驶车辆转弯时的约束参数， r 为回报值， $x2$ 为自动驾驶车辆与正前方车道边缘线的距离阈值， $x1$ 为自动驾驶车辆与车道中轴线的距离阈值。

5. 根据权利要求 1 所述的自动驾驶车辆的测试系统，其特征在于，所述自动驾驶车辆的测试系统还包括融合模块，所述融合模块用于对场景中的多个自动驾驶车辆的传感数据，以及场景中的多个道路的传感数据进行采集，并对采集的多个传感数据进行融合。

6. 一种基于权利要求 1-5 任一项所述自动驾驶车辆的测试系统的自动驾驶车辆的测试方法，其特征在于，所述自动驾驶车辆的测试方法包括：

根据预先建立的交通场景模型和交通流模型，结合环境感知传感器模型，生成对自动驾驶车辆的操控指令，并基于所述操控指令采集被测试自动驾驶车辆的操控部件的操控数据；

基于所述操控数据，结合所述自动驾驶车辆的场景信息，生成场景反馈指令，根据所述场景反馈指令控制所述测试台架的电机产生对所述被测试自动驾驶车辆的反作用力，根据所述反艇力获取所述自动驾驶车辆的状态数据；

根据所述状态数据，确定自动驾驶车辆动力学模型在交通场景模型中的位置数据；

根据所述状态数据，以及位置数据，计算用于评价自动驾驶车辆行驶状态的回报值。

7. 根据权利要求 6 所述的自动驾驶车辆的测试方法，其特征在于，所述根据所述仿真数据，以及所述位置数据，计算用于评价自动驾驶车辆行驶状态的回报值的步骤包括：

根据公式：

$$r = \left(v \times \left(\frac{1 - |v - \beta|}{\alpha} \right)^{\mathbb{I}[d_1 \leq x1]} \right) \times \cos \varphi \times (1 - |\sin \varphi|) \times (1 - |d_2|) \times \left(\frac{|d_1|}{x2} \right)^{\mathbb{I}[d_1 \leq x2]}$$

计算用于评价自动驾驶车辆行驶状态的回报值，其中： $\mathbb{I}[\cdot]$ 表示指示函数，当函数内部条件满足时取值为 1，否则取值为 0， v 为自动驾驶车辆的纵向速度， d_1 为自动驾驶车

辆与正前方车道边缘线的距离， d_2 为自动驾驶车辆与车道中轴线的距离， α 和 β 是自动驾驶车辆转弯时的约束参数， r 为回报值， x_1 为自动驾驶车辆与正前方车道边缘线的距离阈值， x_2 为自动驾驶车辆与车道中轴线的距离阈值。

8. 根据权利要求6所述的自动驾驶车辆的测试方法，其特征在于，所述根据预先建立的交通场景模型和交通流模型，结合环境感知传感器模型，生成对自动驾驶车辆的操控指令，并基于所述操控指令采集被测试自动驾驶车辆的操控部件的操控数据的步骤包括：

建立交通场景模型、包括交通流数据的交通流模型、自动驾驶车辆动力学模型以及环境感知传感器模型；

- 10 根据所述环境感知传感器模型在所述交通场景模型和交通流模型所采集的环境感知数据，生成对自动驾驶车辆的操控指令。

9. 一种基于权利要求1-5任一项所述自动驾驶车辆的测试系统的自动驾驶车辆的测试装置，其特征在于，所述自动驾驶车辆的测试装置包括：

- 15 操控数据采集单元，用于根据预先建立的交通场景模型和交通流模型，结合环境感知传感器模型，生成对自动驾驶车辆的操控指令，并基于所述操控指令采集被测试自动驾驶车辆的操控部件的操控数据；

状态数据采集单元，用于基于所述操控数据，生成场景反馈指令，根据所述场景反馈指令控制所述测试台架的电机产生对所述被测试自动驾驶车辆的反作用力，根据所述反艇力获取所述自动驾驶车辆的状态数据；

- 20 位置数据确定单元，用于根据所述状态数据，确定自动驾驶车辆动力学模型在交通场景模型中的位置数据；

回报值计算单元，用于根据所述状态数据，以及位置数据，计算用于评价自动驾驶车辆行驶状态的回报值。

- 25 10. 一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，其特征在于，所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求6至8任一项所述自动驾驶车辆的测试方法的步骤。

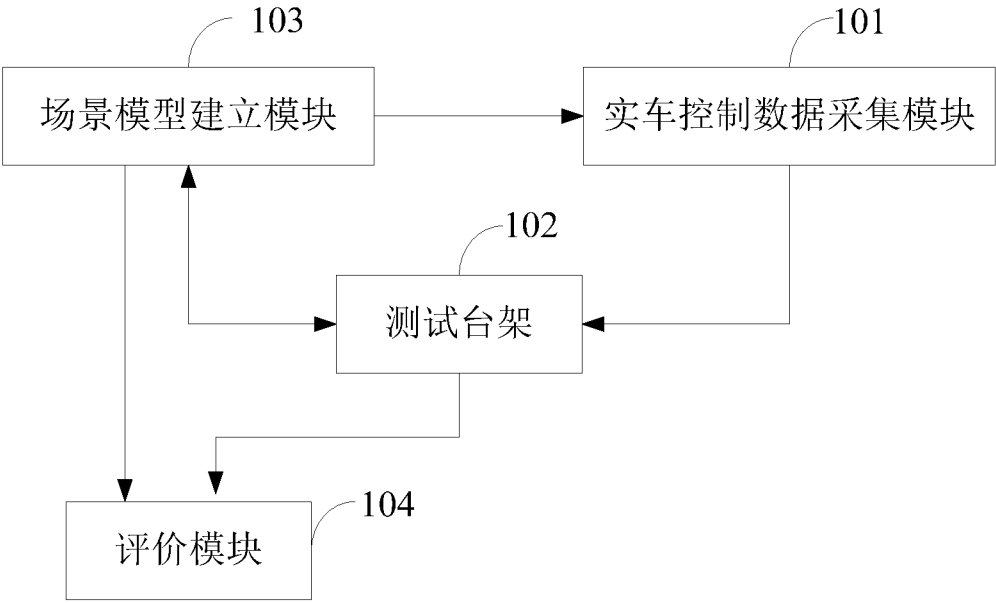


图 1

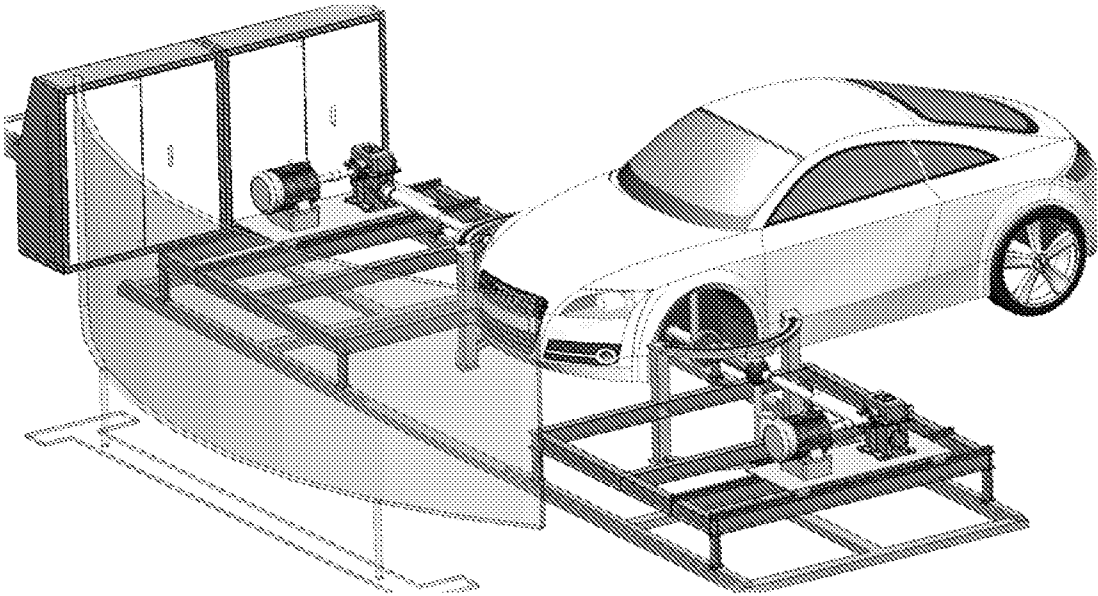


图 2

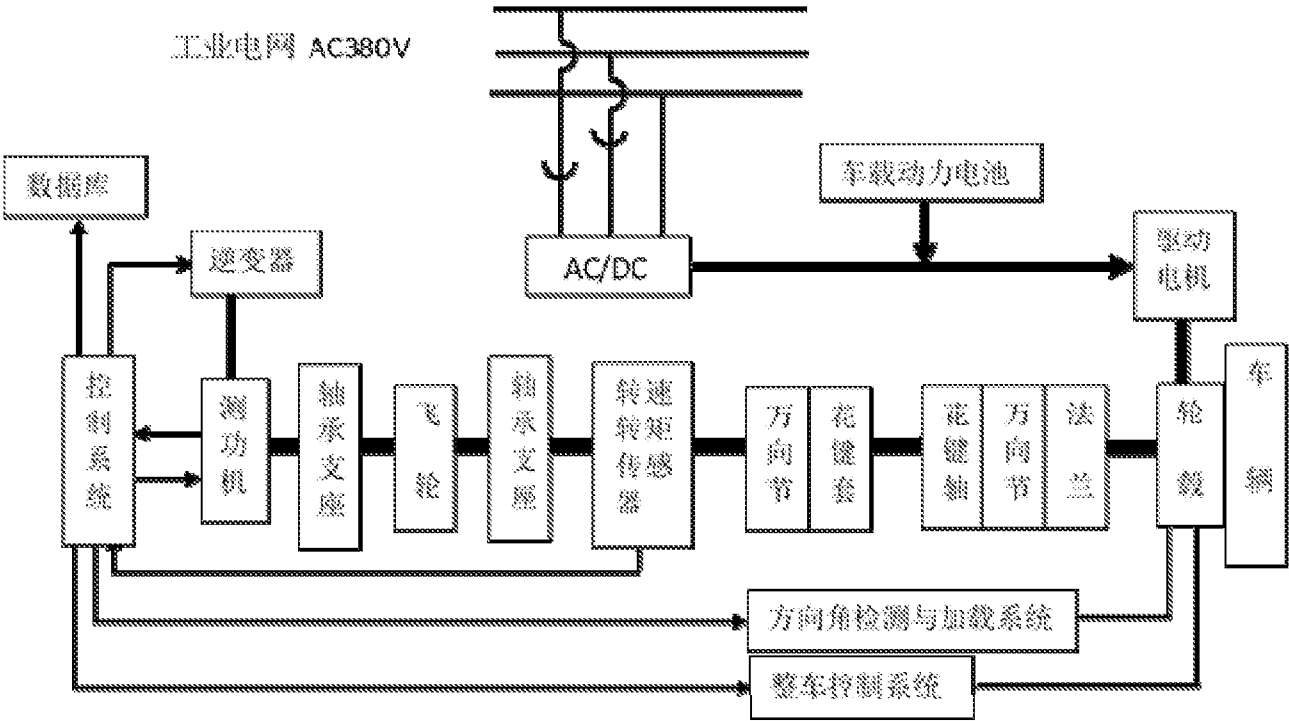


图 3

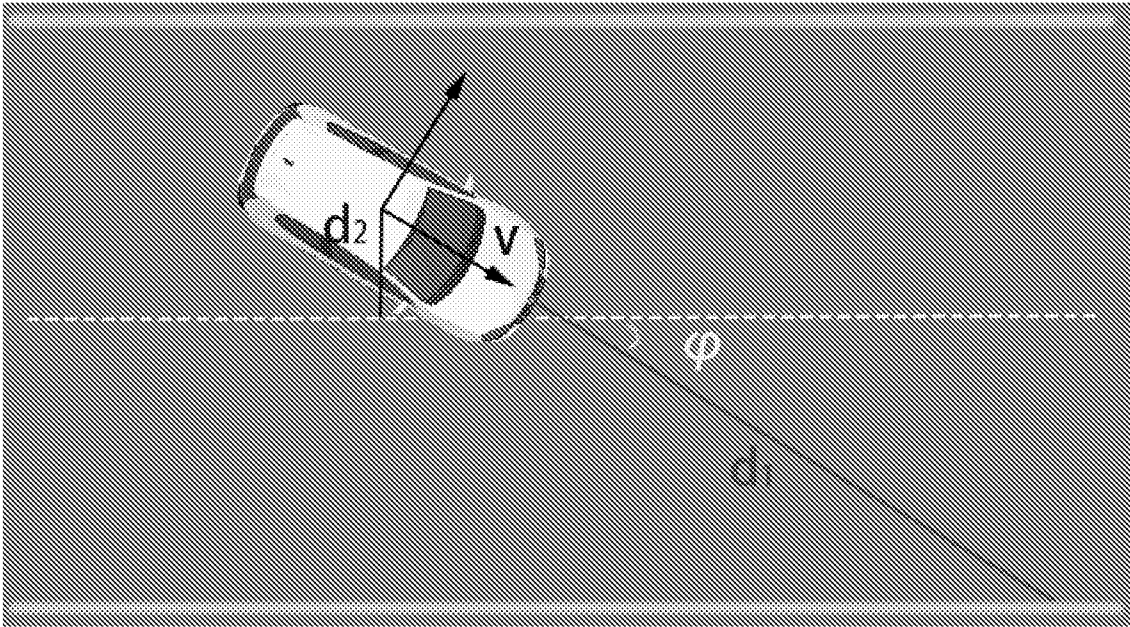


图 4

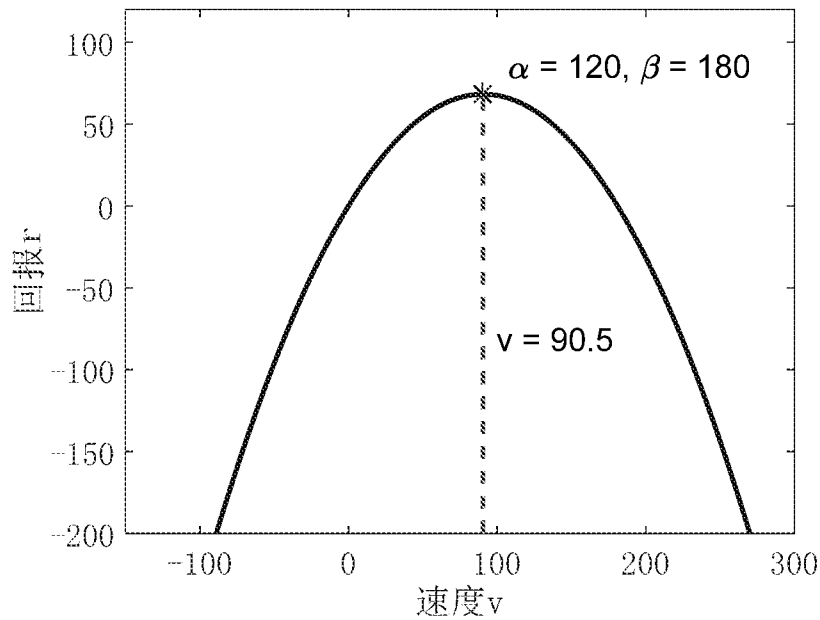


图 5

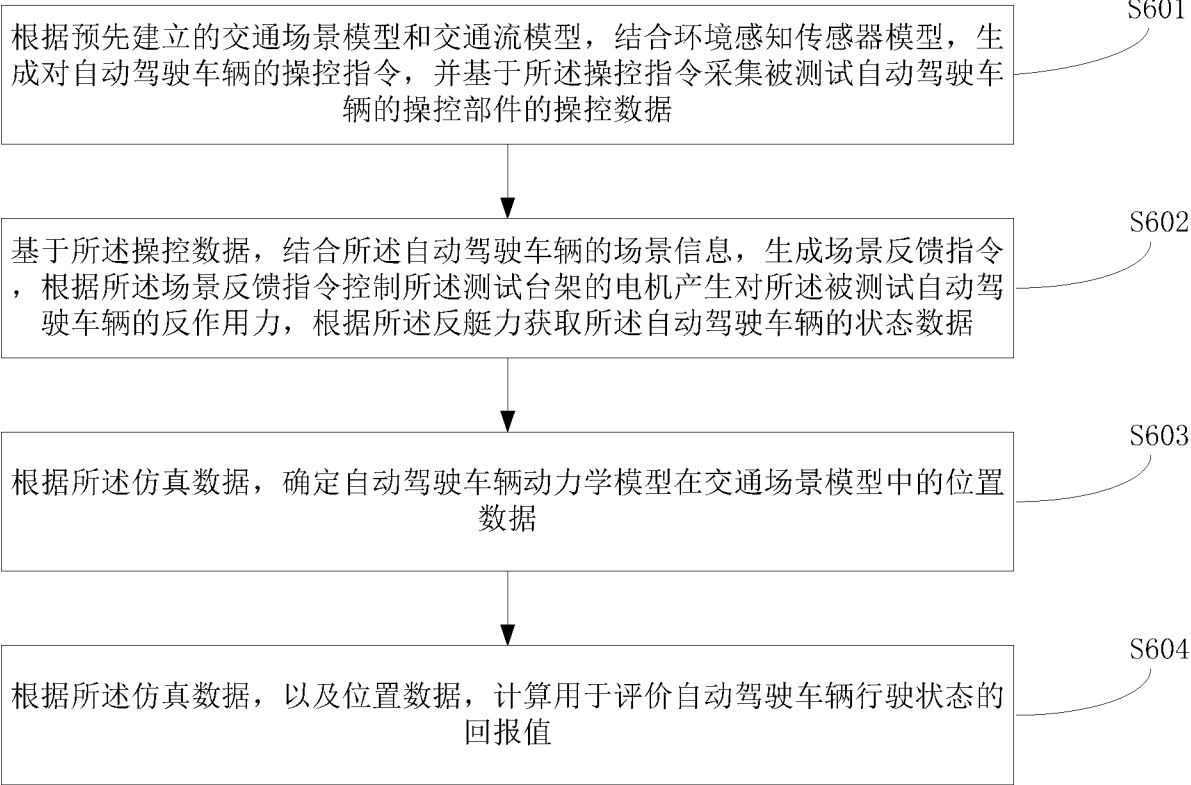


图 6

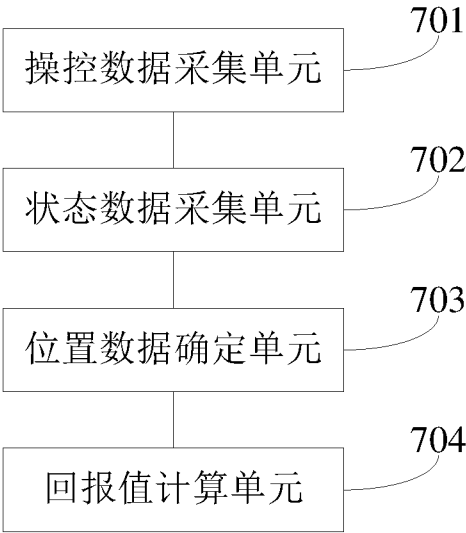


图 7

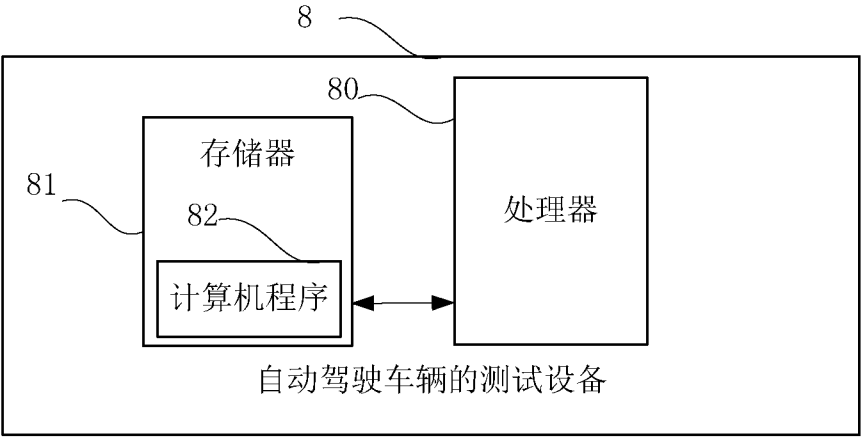


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/120934

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01M 17/007(2006.01)i; G05B 17/02(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)

G01M; G05B

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: 无人, 自动, 智能, 驾驶, 车, 测试, 仿真, 台架, 场景, 模型, 评价, 回报, unmanned, automatic, self, driving, vehicle?, simulat+, test+, bench, scene, model, evaulat+, reward

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 110160804 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 23 August 2019 (2019-08-23) description, paragraphs [0054]-[0127], and figures 1-8	1-10
Y	CN 109213126 A (ANHUI JIANGHUAI AUTOMOBILE GROUP CORP., LTD.) 15 January 2019 (2019-01-15) description, paragraphs [0044]-[0070], and figures 1-2	1-10
Y	CN 107807542 A (BEIJING BEIQI DEBEN AUTOMOTIVE TECHNOLOGY CENTER CO., LTD.) 16 March 2018 (2018-03-16) description, paragraphs [0033]-[0064], and figures 1-2	1-10
Y	WU, Junta et al. "Aggregated Multi-Deep Deterministic Policy Gradient for Self-Driving Policy" <i>Internet of Vehicles. Technologies and Services Towards Smart City. IOV 2018.</i> , 21 November 2018 (2018-11-21), pages 179-192	1-10
A	CN 108627350 A (BEIJING ELECTRIC VEHICLE CO., LTD.) 09 October 2018 (2018-10-09) entire document	1-10



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

18 February 2020

Date of mailing of the international search report

28 February 2020

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/120934

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 109100155 A (CHANG'AN UNIVERSITY) 28 December 2018 (2018-12-28) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/120934

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	110160804	A	23 August 2019	None	
CN	109213126	A	15 January 2019	None	
CN	107807542	A	16 March 2018	None	
CN	108627350	A	09 October 2018	None	
CN	109100155	A	28 December 2018	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/120934

A. 主题的分类

G01M 17/007(2006.01)i; G05B 17/02(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)

G01M; G05B

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; EP0D0C: 无人, 自动, 智能, 驾驶, 车, 测试, 仿真, 台架, 场景, 模型, 评价, 回报, unmanned, automatic, self, driving, vehicle?, simulat+, test+, bench, scene, model, evaulat+, reward

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 110160804 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2019年 8月 23日 (2019 - 08 - 23) 说明书第[0054]-[0127]段、附图1-8	1-10
Y	CN 109213126 A (安徽江淮汽车集团股份有限公司) 2019年 1月 15日 (2019 - 01 - 15) 说明书第[0044]-[0070]段、附图1-2	1-10
Y	CN 107807542 A (北京北汽德奔汽车技术中心有限公司) 2018年 3月 16日 (2018 - 03 - 16) 说明书[0033]-[0064]段、附图1-2	1-10
Y	Junta Wu et al. "Aggregated Multi-deep Deterministic Policy Gradient for Self-driving Policy" Internet of Vehicles. Technologies and Services Towards Smart City. IOV 2018., 2018年 11月 21日 (2018 - 11 - 21), 第179-192页	1-10
A	CN 108627350 A (北京新能源汽车股份有限公司) 2018年 10月 9日 (2018 - 10 - 09) 全文	1-10
A	CN 109100155 A (长安大学) 2018年 12月 28日 (2018 - 12 - 28) 全文	1-10

☐ 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

2020年 2月 18日

国际检索报告邮寄日期

2020年 2月 28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

受权官员

周璐璐

电话号码 86-(10)-53962589

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/120934

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	110160804	A	2019年 8月 23日	无	
CN	109213126	A	2019年 1月 15日	无	
CN	107807542	A	2018年 3月 16日	无	
CN	108627350	A	2018年 10月 9日	无	
CN	109100155	A	2018年 12月 28日	无	