

(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
2018 年 4 月 26 日 (26.04.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/072394 A1

- (51) 国际专利分类号:
B60W 30/095 (2012.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2017/078515
- (22) 国际申请日: 2017 年 3 月 29 日 (29.03.2017)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201610910181.0 2016年10月19日 (19.10.2016) CN
- (71) 申请人: 江苏大学 (JIANGSU UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。
- (72) 发明人: 何友国 (HE, Youguo); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。袁朝春 (YUAN, Chaochun); 中国江苏省镇江市学

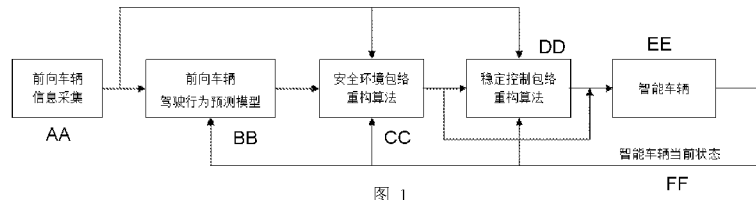
府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。陈龙 (CHEN, Long); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。江浩斌 (JIANG, Haobin); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。蔡英凤 (CAI, Yingfeng); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。王海 (WANG, Hai); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。

(74) 代理人: 北京德崇智捷知识产权代理有限公司 (JW IP LAW FIRM); 中国北京市朝阳区酒仙桥路 14 号 A5 楼 7 层 701, Beijing 100015 (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,

(54) Title: INTELLIGENT VEHICLE SAFETY DRIVING ENVELOPE RECONSTRUCTION METHOD BASED ON INTEGRATED SPATIAL AND DYNAMIC CHARACTERISTICS

(54) 发明名称: 融合空间和动力学特性的智能车辆安全驾驶包络重构方法



- AA Front vehicle information collection
BB Front vehicle driving behavior prediction model
CC Safety environment envelop reconstruction algorithm
DD Stable control envelop reconstruction algorithm
EE Intelligent vehicle
FF Intelligent vehicle current state

(57) Abstract: Provided is an intelligent vehicle safety driving envelope reconstruction method on the basis of integrated spatial and dynamic characteristics. Starting from simulating an actual driver's estimation of potential collision risks in the forward driving area, a prediction result of a front vehicle driving behavior is introduced to an environment perception link of the intelligent vehicle; on the basis of the prediction result of the front vehicle driving behavior, a safety driving envelope of the intelligent vehicle is reconstructed by integrating spatial and dynamic characteristics (a safety environment envelope reconstruction and a stable control envelope reconstruction), so as to improve the safety and stability of intelligent vehicle. First, based on the prediction of the front vehicle driving behavior, a lateral and a longitudinal distance between the intelligent vehicle and the front vehicle are corrected, to realize the envelop reconstruction of the safety environment of the intelligent vehicle and to improve the safety of intelligent vehicle. Then, on the basis of the reconstructed safety environment envelope and an dynamical model of the intelligent vehicle, the stable control envelope of the intelligent vehicle is reconstructed, so as to improve the stability of the intelligent vehicle.



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: 融合空间和动力学特性的智能车辆安全驾驶包络重构方法, 从模拟真实驾驶员对前向行驶区域潜在碰撞风险进行预估的行为出发, 将前向车辆驾驶行为预测结果引入到智能车辆的环境感知环节, 基于前向车辆驾驶行为预测结果, 融合空间特性和动力学特性对智能车辆的安全驾驶包络进行重构(安全环境包络重构和稳定控制包络重构), 提高智能车辆的安全性和稳定性。首先, 基于前向车辆驾驶行为预测结果对智能车辆与前向车辆的横向间距、纵向间距进行修正, 实现智能车辆安全环境包络重构, 提高智能车辆安全性。然后, 基于重构的安全环境包络, 结合智能车辆动力学模型, 对智能车辆的稳定控制包络进行重构, 提高智能车辆稳定性。

融合空间和动力学特性的智能车辆安全驾驶包络重构方法

技术领域

本发明涉及智能汽车领域，具体为一种融合空间和动力学特性的智能车辆安全驾驶包络重构方法。

背景技术

随着汽车工业的迅猛发展以及人民生活水平的不断提高，汽车保有量持续攀升，随之而来的是越来越大的交通压力，道路拥堵，交通事故频发等一系列亟待解决的问题，智能交通系统作为解决上述问题的有效途径，受到社会各界的广泛关注。智能车辆作为智能交通系统中的新兴技术，已经成为国内外研究的热点。智能车辆首先要解决的问题就是环境感知问题，即通过视觉传感器、雷达传感器、车载传感器等进行车辆周围交通环境以及智能车辆自身运动参数的感知。但目前国内外学者只是针对智能车辆周边车辆当前运动参数进行感知，进行路径规划和跟踪控制。然而周边车辆尤其是前向车辆驾驶行为的随机变化，使得智能车辆很难对潜在的碰撞风险进行预估，进而影响路径规划和跟踪控制的准确性。因此，为了模拟驾驶员驾驶车辆过程中对潜在碰撞危险的预估的行为，将前向车辆驾驶行为预测引入到安全环境包络中，根据前向车辆驾驶行为预测结果，融合空间信息和动力学特性，进行安全驾驶包络重构（安全环境包络重构和稳定控制包络重构），从安全性和稳定性的角度为智能车辆规划与决策提供依据。

因此，本发明提出一种融合空间和动力学特性的智能车辆安全驾驶包络重构方法，通过摄像头、激光雷达对智能车辆前方交通环境及前向车辆进行感知，对前向车辆驾驶行为进行预测。根据前向车辆驾驶行为预测结果对智能车辆与前向车辆的横向间距、纵向间距进行修正，实现智能车辆安全环境包络重构。同时，根据重构的安全环境包络，结合智能车辆动力学模型，对智能车辆的稳定控制包络进行重构，进而实现对智能车辆安全驾驶区域内潜在的碰撞危险进行预估，提高智能车辆的安全性和稳定性。通过查阅资料，目前在通过融合空间特性和动力学特性对智能车辆安全驾驶包络进行重构的方法尚未见到报道。

发明内容

本发明的目的在于提供一种融合空间和动力学特性的智能车辆安全驾驶包络重构方法，从模拟真实驾驶员对前向行驶区域潜在碰撞风险进行预估的行为出发，将前向车辆驾驶行为预测结果引入到智能车辆的环境感知环节，基于前向车辆驾驶行为预测结果，融合空间特性和动力学特性对智能车辆的安全驾驶包络进行重构（安全环境包络重构和

稳定控制包络重构), 提高智能车辆的安全性和稳定性。首先, 基于前向车辆驾驶行为预测结果对智能车辆与前向车辆的横向间距、纵向间距进行修正, 实现智能车辆安全环境包络重构, 提高智能车辆安全性。然后, 基于重构的安全环境包络, 结合智能车辆动力学模型, 对智能车辆的稳定控制包络进行重构, 提高智能车辆稳定性。

本发明的技术方案: 一种融合空间和动力学特性的智能车辆安全驾驶包络重构方法由智能车辆安全环境包络重构算法和稳定控制包络重构算法组成。其中, 智能车辆安全环境包络重构算法负责基于前向车辆驾驶行为预测结果对智能车辆与前向车辆的安全横向间距、安全纵向间距进行修正, 实现对智能车辆安全驾驶区域内潜在的碰撞危险进行预估, 提高智能车辆的安全性。智能车辆稳定控制包络重构算法负责基于环境包络重构的结果, 结合智能车辆动力学特性, 对智能车辆的横摆角速度安全区域进行重构, 提高智能车辆的稳定性。

本发明所述智能车辆安全环境包络重构算法如下:

智能车辆根据前向车辆与智能车辆的横向间距、纵向间距确定前方安全行驶区域, 即本发明所述的安全环境包络。根据传感器及动力学模型, 建立智能车辆与前向车辆相对位置信息公式如式(1)所示:

$$\begin{bmatrix} \Delta p_{x,j}(t) \\ \Delta p_{y,j}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(-e_{\psi}(t)) & -\sin(-e_{\psi}(t)) \\ \sin(-e_{\psi}(t)) & \cos(-e_{\psi}(t)) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{x,j}(t) - p_{x,sub}(t) \\ p_{y,j}(t) - p_{y,sub}(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中: $p_{x,j}(t)$ 为第 j 个前向车辆的纵向坐标, $p_{x,sub}(t)$ 为智能车辆的纵向坐标, $e_{\psi}(t)$ 车辆与路面的定位误差, $p_{y,j}(t)$ 为第 j 个前向车辆的横向坐标, $p_{y,sub}(t)$ 为智能车辆的横向坐标, $\Delta p_{x,j}(t)$ 为智能车辆与第 j 个前向车辆纵向相对距离, $\Delta p_{y,j}(t)$ 为智能车辆与第 j 个前向车辆横向相对距离。

通过变换得到智能车辆与前向车辆的间距如式(2)所示:

$$\begin{bmatrix} C_{x,j}(t) \\ C_{y,j}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta p_{x,j}(t) \\ \Delta p_{y,j}(t) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{sgn}(\Delta p_{x,j}(t)) \cdot L_v \\ \text{sgn}(\Delta p_{y,j}(t)) W_v \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中: L_v 为前向车辆的长度, W_v 为前向车辆的宽度, $C_{x,j}(t)$ 为智能车辆与前向车辆的纵向间距, $C_{y,j}(t)$ 智能车辆与前向车辆的横向间距。

公式(2)所表示的智能车辆与前向车辆的纵向间距和横向间距是根据前向车辆当前位置计算得到的, 作为智能车辆下一时刻安全环境包络的参考值, 未考虑前向车辆驾驶行为变化的有随机性。当前向车辆下一时刻具有左转向驾驶行为或右转向驾驶行为时, 智

能车辆与前向车辆的横向间距会增大或减小；当前向车辆下一时刻具有紧急制动驾驶行为时，智能车辆与前向车辆的纵向间距会减小。因此，为了对前方安全行驶区域内潜在的碰撞风险进行预估，本发明将前向车辆驾驶行为预测引入到智能车辆安全环境包络构建环节，根据预测结果对智能车辆与前向车辆的纵向间距和横向间距进行修正，进而实现对智能车辆安全环境包络的重构，修正公式如式(3)所示：

$$\begin{bmatrix} C'_{x,j}(t) \\ C'_{y,j}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_x & 0 \\ 0 & \omega_y \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} C_{x,j}(t) \\ C_{y,j}(t) \end{bmatrix} \quad (3)$$

ω_x 为纵向修正因子，表示纵向间距变化尺度，由于对前向车辆纵向预测结果为匀速驾驶行为或紧急制动驾驶行为，所以 ω_x 的取值范围在 0-1 之间。 ω_y 为横向修正因子，表示横向间距变化尺度，由于对前向车辆横向预测结果为左转向驾驶行为或右转向驾驶行为，同时考虑智能车辆与前向车辆横向相对位置，当横向间距变小时， ω_y 的取值 0-1 之间，当横向间距变大时， ω_y 的取值大于 1。为了提高智能车辆安全环境包络重构的准确性，本发明通过 HMM 模型预测结果的概率值大小来确定 ω_x 和 ω_y 的值。

本发明所述智能车辆稳定控制包络重构算法如下：

本发明在二自由度自行车模型基础上考虑轮胎饱和特性和路面误差，建立自主车辆动力学模型如式(4)所示：

$$\begin{bmatrix} \dot{\beta} \\ \dot{\gamma} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ \gamma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \delta_f \quad (4)$$

$$a_{11} = -\frac{2k_{af}C_f + 2k_{ar}C_r}{mv_x}, \quad a_{12} = -1 + \frac{2k_{af}C_f l_f + 2k_{ar}C_r l_r}{mv_x^2}$$

$$a_{21} = -\frac{-2k_{af}C_f l_f + 2k_{ar}C_r l_r}{I_z}, \quad a_{22} = -\frac{2k_{af}C_f l_f^2 + 2k_{ar}C_r l_r^2}{mv_x^2}$$

$$b_1 = \frac{2k_{af}C_f}{mv_x}, \quad b_2 = \frac{2k_{af}C_f l_f}{I_z}$$

其中，状态变量 β 为质心侧偏角，状态变量 γ 为车辆的横摆角速度， δ_f 为汽车前轮转向角， C_f 为前轮侧偏刚度， C_r 为后轮侧偏刚度， k_{af} 为前轮侧偏刚度调整系数， k_{ar} 为后轮侧偏刚度调整系数， m 为智能车辆质量， v_x 为车辆纵向速度， l_f 为质心到前轴距离， l_r 为质心到后轴距离， I_z 为汽车绕 z 轴转动惯量。

考虑到轮胎饱和特性，为了保证车辆横向控制稳定性，车辆的横摆角速度和质心侧

偏角必须限定在一定范围内, 本发明定义为稳定控制包络。根据智能车辆的动力学特性, 稳定控制包络应定义为:

$$\beta(t) \leq \beta_{\max} = \tan^{-1}(0.02\mu g)$$

$$\gamma(t) \leq \gamma_{\max} = \frac{a_{y,\max}}{v_x}$$

其中, μ 为轮胎与路面摩擦系数, g 为重力加速度, $a_{y,\max}$ 横向加速度最大值。

这里稳定控制包络主要是基于道路附着系数、轮胎侧向的附着力等因素, 没有考虑到安全环境包络的约束, 即这里的横摆角速度和质心侧偏角只要在稳定控制包络围内即可。但当考虑到环境包络约束时, 这时车辆的横摆角速度就需要满足智能车辆横向行驶在安全环境包络范围内, 这就需要融合空间特性和动力学特性对稳定控制包络进行重构。重构方法如下:

根据安全环境包络重构的结果, 这时智能车辆与前向车辆的横向安全距离为 $C'_{y,j}(t)$, 智能车辆当前时刻横向速度为 v_y , 横向加速度为 a_y 。经过时间 Δt 后, 智能车辆横向位移为

$$l(t) = v_y \Delta t + \frac{1}{2} a_y^2$$

当 $l(t) < C'_{y,j}(t)$ 时, 这时的最大横摆角速度仍为 $\gamma_{\max} = \frac{a_{y,\max}}{v_x}$ 。

当 $l(t) \geq C'_{y,j}(t)$ 时, 此时根据需要对 a_y 进行限制以保证 Δt 时间后智能车辆与前向车辆横向不发生碰撞, 此时最大横向加速度为 $a_{y,\max} = \sqrt{2(C'_{y,j}(t) - v_y \Delta t)}$ 。

此时, 最大横摆角速度为 $\gamma_{\max} = \frac{\sqrt{2(C'_{y,j}(t) - v_y \Delta t)}}{v_x}$ 。

本发明的有益效果:

本发明从模拟真实驾驶员对前向行驶区域潜在碰撞风险进行预估的行为出发, 将前向车辆驾驶行为预测引入到智能车辆的环境感知环节, 对智能车辆安全驾驶区域内潜在的碰撞危险进行预估。基于前向车辆驾驶行为预测结果对智能车辆的安全环境包络进行重构; 基于安全环境包络对智能车辆的稳定控制包络进行重构。实现了融合空间特性和动力学特性的智能车辆安全驾驶包络进行重构算法, 提高智能车辆的安全性和稳定性。

附图说明

图 1 为本发明系统框图。

图 2 为前向车辆具有左转向驾驶行为时安全环境包络横向间距变化示意图；

其中 (a) 表示智能车辆与前向车辆的当前横向距离示意图；(b) 表示前向车辆具有左转向驾驶行为时，智能车辆与前向车辆的横向间距变化示意图；

图 3 为前向车辆具有紧急制动驾驶行为时安全环境包络纵向间距变化示意图；

其中 (a) 表示智能车辆与前向车辆的当前纵向距离示意图；(b) 表示前向车辆具有紧急制动驾驶行为时，智能车辆与前向车辆的纵向间距变化示意图；

图 4 为智能车辆稳定控制包络示意图；

图 5 为智能车辆左转向时稳定控制包络重构示意图；

其中，(a) 表示智能车辆的横向位移距离还在安全环境包络中横向安全距离的约束范围内；(b) 表示智能车辆的横向位移距离已经超出了安全环境包络中横向安全距离的约束。

具体实施方式

下面参照附图并结合示例对本发明的构思、具体工作过程行清楚完整地描述。显然，所描述的实施例只是本发明的一部分实施例，而不是全部实施例，基于本发明实施例，本领域技术人员在不付出创造性劳动的前提下所获得的其他实施例，均属于本发明保护范围。

见图 1，一种融合空间和动力学特性的智能车辆安全驾驶包络重构方法由智能车辆安全环境包络重构算法和稳定控制包络重构算法组成。首先，智能车辆安全环境包络重构算法基于前向车辆驾驶行为预测结果对智能车辆与前向车辆的安全横向间距、安全纵向间距进行修正。然后，智能车辆稳定控制包络重构算法基于环境包络重构的结果，结合智能车辆动力学特性，对智能车辆的横摆角速度安全区域进行重构。通过融合空间特性和动力学特性的智能车辆安全驾驶包络重构实现对对智能车辆安全驾驶区域内潜在的碰撞危险进行预估，提高智能车辆的安全性和稳定性。

安全环境包络重构

下面以前向车辆预测结果为左转向驾驶行为为例，说明本发明横向安全距离重构。

如图 2 (a)所示，当只考虑前向车辆②当前位置时，智能车辆①与前向车辆②的横向间距为 $C_{y,j}(t)$ ，如图 2 (b)所示，当考虑前向车辆②具有左转向驾驶行为时，智能车辆①与前向车辆②的横向间距变为 $C'_{y,j}(t)$ 。对比图 2 (a)和图 2(b)可知，这时智能车辆①与前向车辆②的横向间距变小了，根据预测结果对横向安全距离重构得到新的横向安全间距为 $C'_{y,j}(t) = \omega_y C_{y,j}(t)$ ，其中 ω_y 为横向修正因子，表示横向间距变化尺度， ω_y 值的大小根

据前向车辆驾驶行为预测模型预测出的左转向驾驶行为的最大似然概率确定。可以看出，当考虑前向车辆具有左转向驾驶行为时，智能车辆对前向车辆左转向驾驶行为进行预测，通过重构横向安全距离，减小了横向碰撞的风险。

下面以前向车辆预测结果为紧急制动驾驶行为为例，说明本发明纵向安全距离重构。

如图 3 (a)所示，当只考虑前向车辆②当前位置时，智能车辆①与前向车辆②的纵向间距为 $C_{x,j}(t)$ ，如图 3 (b)所示，当考虑前向车辆具有紧急制动驾驶行为时，智能车辆①与前向车辆②的纵向间距变为 $C'_{x,j}(t)$ 。对比图 3 (a)和图 3 (b)可知，这时智能车辆①与前向车辆②的纵向间距变小了，根据预测结果对纵向安全距离重构得到新的纵向安全间距为 $C'_{x,j}(t) = \omega_x C_{x,j}(t)$ ，其中 ω_x 为纵向修正因子，表示纵向间距变化尺度， ω_x 值得大小根据前向车辆驾驶行为预测模型预测出的紧急制动驾驶行为的最大似然概率确定。可以看出，当考虑前向车辆具有紧急制动驾驶行为时，智能车辆对前向车辆紧急制动驾驶行为进行预测，通过重构纵向安全距离，减小了纵向碰撞的风险。

稳定控制包络重构

考虑到轮胎饱和特性，为了保证车辆横向控制稳定性，车辆的横摆角速度和质心侧偏角必须限定在一定范围内，本发明定义为稳定控制包络。根据智能车辆的动力学特性，稳定控制包络应定义为：

$$\beta(t) \leq \beta_{\max} = \tan^{-1}(0.02\mu g)$$

$$\gamma(t) \leq \gamma_{\max} = \frac{a_{y,\max}}{v_x}$$

稳定控制包络如图 4 所示。

这里稳定控制包络主要是基于道路附着系数、轮胎侧向的附着力等因素，没有考虑到安全环境包络的约束，即这里的横摆角速度和质心侧偏角只要在稳定控制包络范围内即可。但当考虑到环境包络约束时，这时车辆的横摆角速度就需要满足智能车辆横向行驶在安全环境包络范围内，这就需要融合空间特性和动力学特性对稳定控制包络进行重构。重构方法如下：

下面以智能车辆左转向为例，说明本发明横摆角速度重构。

根据安全环境包络重构的结果，这时智能车辆与前向车辆的横向安全距离为 $C'_{y,j}(t)$ ，智能车辆当前时刻横向速度为 v_y ，横向加速度为 a_y 。经过时间 Δt 后，智能车辆横向位移为

$$l(t) = v_y \Delta t + \frac{1}{2} a_y^2$$

如图 5(a)所示, 当 $l(t) < C'_{y,j}(t)$ 时, 智能车辆的横向位移距离还在安全环境包络中横向安全距离的约束范围内, 所以此时的最大横摆角速度仍为 $\gamma_{\max} = \frac{a_{y,\max}}{v_x}$ 。

如图 5(b)所示, 当 $l(t) \geq C'_{y,j}(t)$ 时, 此时的横摆角速度虽然仍在稳定包络范围内, 但这时智能车辆的横向位移距离已经超出了安全环境包络中横向安全距离的约束, 因此需要对横摆角速度进行限制, 重构稳定控制包络。此时据需要对 a_y 进行限制以保证 Δt 时间后智能车辆与前向车辆横向不发生碰撞, 此时最大横向加速度为 $a_{y,\max} = \sqrt{2(C'_{y,j}(t) - v_y \Delta t)}$ 。

$$\text{此时, 最大横摆角速度为 } \gamma_{\max} = \frac{\sqrt{2(C'_{y,j}(t) - v_y \Delta t)}}{v_x}。$$

上文所列出的一系列的详细说明仅仅是针对本发明的可行性实施方式的具体说明, 它们并非用以限制本发明的保护范围, 凡未脱离本发明技艺精神所作的等效实施方式或变更均应包含在本发明的保护范围之内。

权利要求书

1、融合空间和动力学特性的智能车辆安全驾驶包络重构方法，其特征在于，包括智能车辆安全环境包络重构算法和稳定控制包络重构算法；其中，所述智能车辆安全环境包络重构算法负责基于前向车辆驾驶行为预测结果对智能车辆与前向车辆的安全横向间距、安全纵向间距进行修正，实现对智能车辆安全驾驶区域内潜在的碰撞危险进行预估，提高智能车辆的安全性；所述智能车辆稳定控制包络重构算法负责基于安全环境包络重构的结果，结合智能车辆动力学特性，对智能车辆的横摆角速度安全区域进行重构，提高智能车辆的稳定性。

2、根据权利要求 1 所述的融合空间和动力学特性的智能车辆安全驾驶包络重构方法，其特征在于，所述智能车辆安全环境包络重构算法为：

智能车辆根据前向车辆与智能车辆的横向间距、纵向间距确定前方安全行驶区域，即为安全环境包络；根据传感器及动力学模型，建立智能车辆与前向车辆相对位置信息表达式：

$$\begin{bmatrix} \Delta p_{x,j}(t) \\ \Delta p_{y,j}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(-e_{\psi}(t)) & -\sin(-e_{\psi}(t)) \\ \sin(-e_{\psi}(t)) & \cos(-e_{\psi}(t)) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{x,j}(t) - p_{x,sub}(t) \\ p_{y,j}(t) - p_{y,sub}(t) \end{bmatrix}$$

其中： $p_{x,j}(t)$ 为第 j 个前向车辆的纵向坐标， $p_{x,sub}(t)$ 为智能车辆的纵向坐标， $e_{\psi}(t)$ 为车辆与路面的定位误差， $p_{y,j}(t)$ 为第 j 个前向车辆的横向坐标， $p_{y,sub}(t)$ 为智能车辆的横向坐标， $\Delta p_{x,j}(t)$ 为智能车辆与第 j 个前向车辆纵向相对距离， $\Delta p_{y,j}(t)$ 为智能车辆与第 j 个前向车辆横向相对距离；

通过变换得到智能车辆与前向车辆的间距表达式：

$$\begin{bmatrix} C_{x,j}(t) \\ C_{y,j}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta p_{x,j}(t) \\ \Delta p_{y,j}(t) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \operatorname{sgn}(\Delta p_{x,j}(t)) \cdot L_v \\ \operatorname{sgn}(\Delta p_{y,j}(t)) W_v \end{bmatrix}$$

其中： L_v 为前向车辆的长度， W_v 为前向车辆的宽度， $C_{x,j}(t)$ 为智能车辆与前向车辆的纵向间距， $C_{y,j}(t)$ 为智能车辆与前向车辆的横向间距；

将前向车辆驾驶行为预测引入到智能车辆安全环境包络构建环节，根据预测结果对智能车辆与前向车辆的纵向间距和横向间距进行修正，实现对智能车辆安全环境包络的重构；所述修正表达式为：

$$\begin{bmatrix} C'_{x,j}(t) \\ C'_{y,j}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_x & 0 \\ 0 & \omega_y \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} C_{x,j}(t) \\ C_{y,j}(t) \end{bmatrix}$$

其中, ω_x 为纵向修正因子, 表示纵向间距变化尺度; ω_y 为横向修正因子, 表示横向间距变化尺度; $C'_{x,j}(t)$ 为考虑前向车辆驾驶行为后重构的纵向间距; $C'_{y,j}(t)$ 为考虑前向车辆驾驶行为后重构的横向间距。

3、根据权利要求 2 所述的融合空间和动力学特性的智能车辆安全驾驶包络重构方法, 其特征在于, 所述 ω_x 的取值范围在 0-1 之间; 所述 ω_y 的取值为: 当横向间距变小时, ω_y 的取值 0-1 之间, 当横向间距变大时, ω_y 的取值大于 1。

4、根据权利要求 2 所述的融合空间和动力学特性的智能车辆安全驾驶包络重构方法, 其特征在于, 所述前向车辆驾驶行为预测采用 HMM 模型进行预测。

5、根据权利要求 1 所述的融合空间和动力学特性的智能车辆安全驾驶包络重构方法, 其特征在于, 所述稳定控制包络重构算法为:

在二自由度自行车模型基础上考虑轮胎饱和特性和路面误差, 建立自主车辆动力学模型:

$$\begin{bmatrix} \dot{\beta} \\ \dot{\gamma} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ \gamma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \delta_f;$$

$$\text{其中: } a_{11} = -\frac{2k_{af}C_f + 2k_{ar}C_r}{mv_x}, \quad a_{12} = -1 + \frac{2k_{af}C_f l_f + 2k_{ar}C_r l_r}{mv_x^2},$$

$$a_{21} = -\frac{-2k_{af}C_f l_f + 2k_{ar}C_r l_r}{I_z}, \quad a_{22} = -\frac{2k_{af}C_f l_f^2 + 2k_{ar}C_r l_r^2}{mv_x^2},$$

$$b_1 = \frac{2k_{af}C_f}{mv_x}, \quad b_2 = \frac{2k_{af}C_f l_f}{I_z}$$

状态变量 β 为质心侧偏角, 状态变量 γ 为车辆的横摆角速度, δ_f 为汽车前轮转向角, C_f 为前轮侧偏刚度, C_r 为后轮侧偏刚度, k_{af} 为前轮侧偏刚度调整系数, k_{ar} 为后轮侧偏刚度调整系数, m 为智能车辆质量, v_x 为车辆纵向速度, l_f 为质心到前轴距离, l_r 为质心到后轴距离, I_z 为汽车绕 z 轴转动惯量;

根据智能车辆的动力学特性, 建立稳定控制包络为:

$$\beta(t) \leq \beta_{\max} = \tan^{-1}(0.02\mu g)$$

$$\gamma(t) \leq \gamma_{\max} = \frac{a_{y,\max}}{v_x}$$

其中, μ 为轮胎与路面摩擦系数, g 为重力加速度, $a_{y,\max}$ 横向加速度最大值;

结合安全环境包络的约束, 融合空间特性和动力学特性对稳定控制包络进行重构。

6、根据权利要求 5 所述的融合空间和动力学特性的智能车辆安全驾驶包络重构方法，其特征在于，所述对稳定控制包络进行重构的方法为：

根据安全环境包络重构的结果，即智能车辆与前向车辆的横向安全距离为 $C'_{y,j}(t)$ ，智能车辆当前时刻横向速度为 v_y ，横向加速度为 a_y ，经过时间 Δt 后，智能车辆横向位移为：

$$l(t) = v_y \Delta t + \frac{1}{2} a_y^2$$

当 $l(t) < C'_{y,j}(t)$ 时，最大横摆角速度仍为 $\gamma_{\max} = \frac{a_{y,\max}}{v_x}$ ；

当 $l(t) \geq C'_{y,j}(t)$ 时，对 a_y 进行限制 $a_y(t) = \sqrt{2(C'_{y,j}(t) - v_y \Delta t)}$ ；此情况下，最大横摆角速度修正为 $\gamma_{\max} = \frac{\sqrt{2(C'_{y,j}(t) - v_y \Delta t)}}{v_x}$ 。

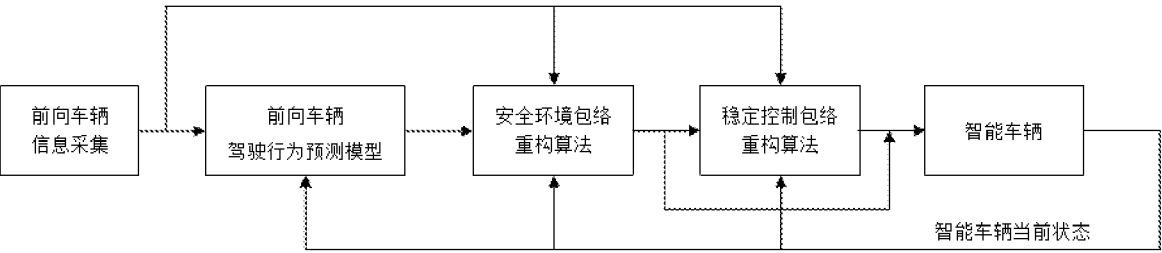
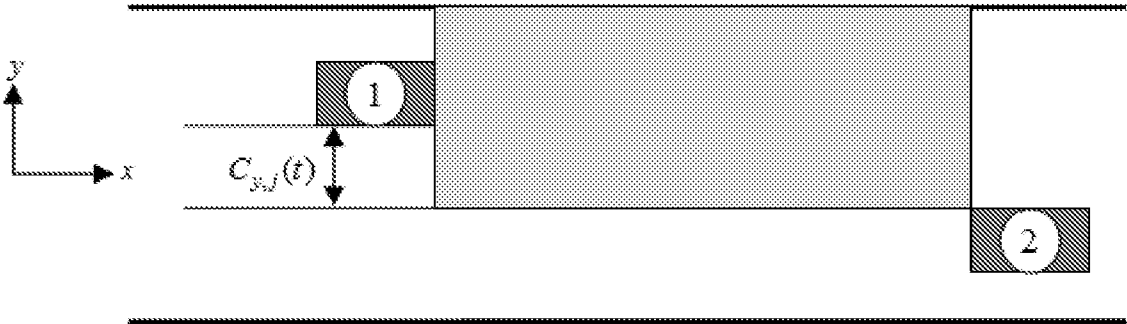
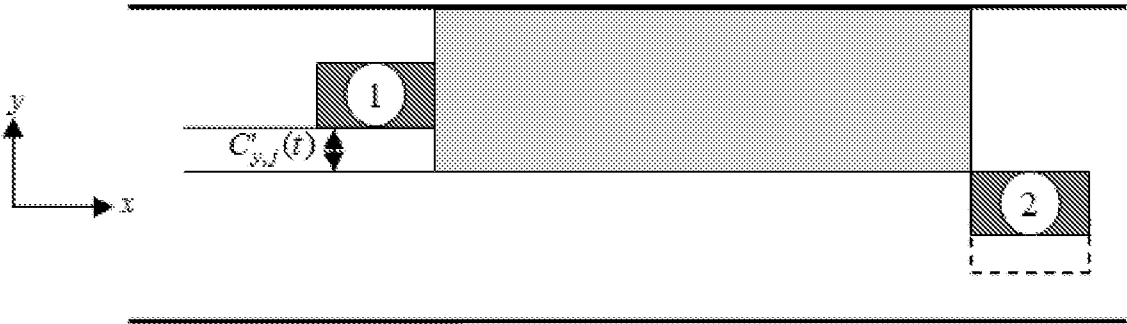


图 1

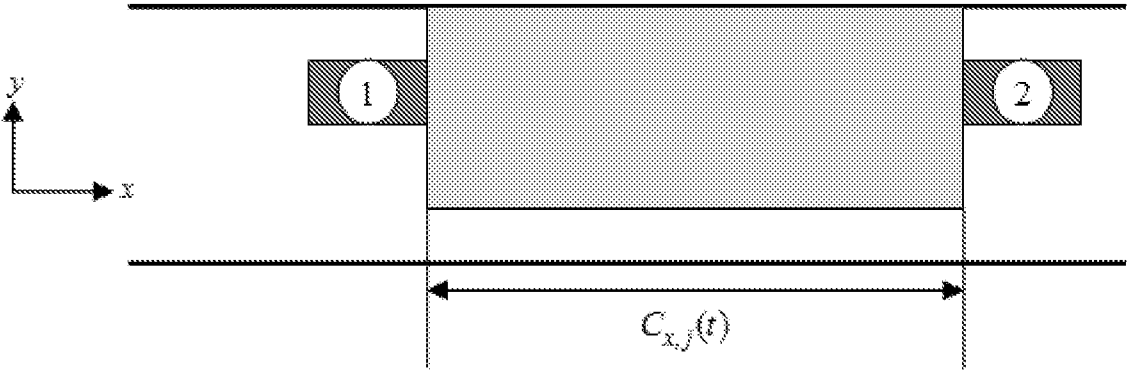


(a)

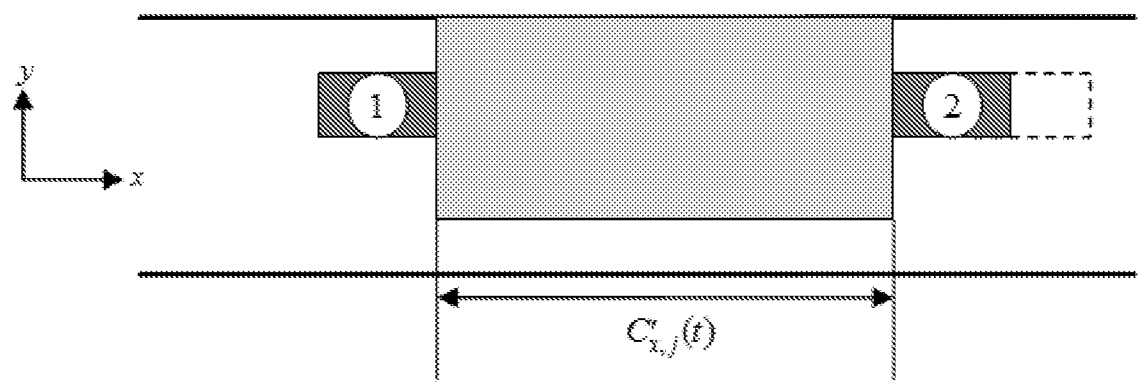


(b)

图 2



(a)



(b)
图 3

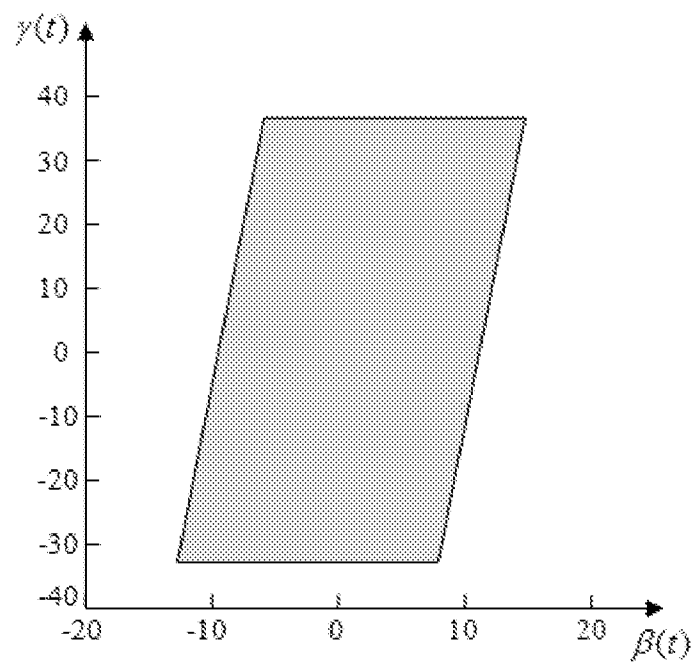
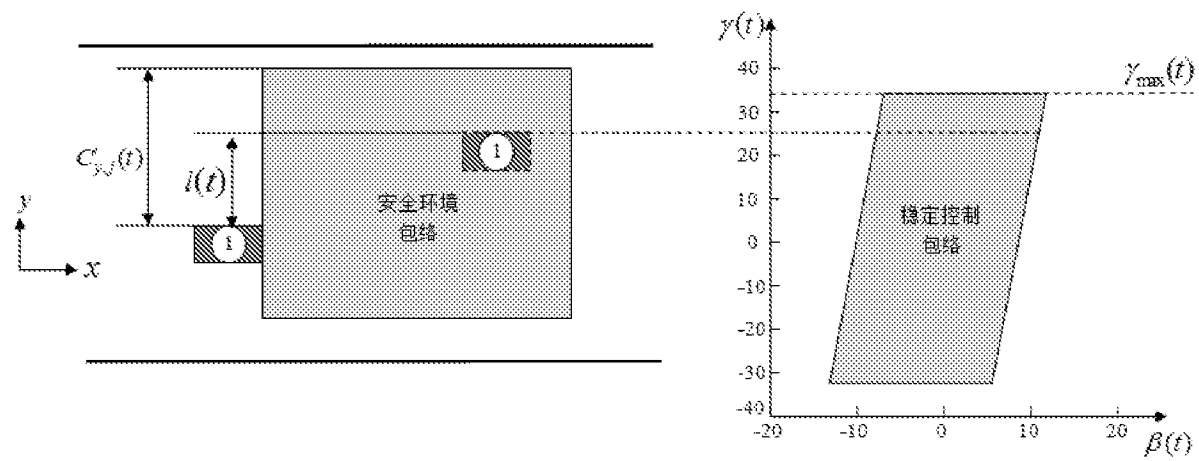
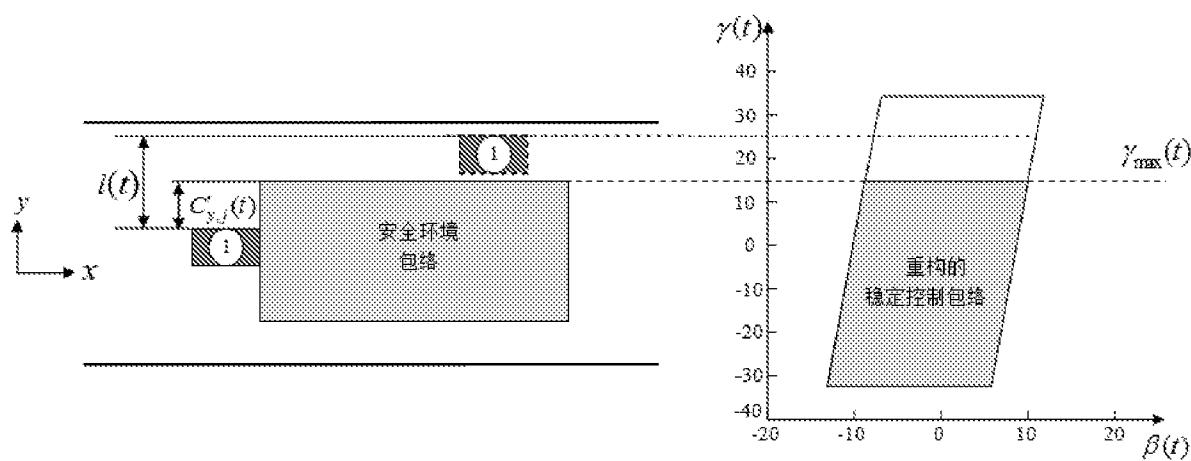


图 4



(a)



(b)
图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/078515

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B60W 30/095 (2012.01) 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)

B60W

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)

VEN, CNPAT, CNKI: 碰撞, 驾驶, 包络, 重构, 方法; collision, drive, envelope, reconstitution, method

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 205573939 U (JIANGSU UNIVERSITY) 14 September 2016 (14.09.2016), entire document	1-6
A	CN 105711586 A (JIANGSU UNIVERSITY) 29 June 2016 (29.06.2016), entire document	1-6
A	CN 105691388 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 22 June 2016 (22.06.2016), entire document	1-6
A	CN 103150337 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 12 June 2016 (12.06.2016), entire document	1-6
A	WO 2016026922 A1 (VALEO SCHALTER & SENSOREN GMBH) 25 February 2016 (25.02.2016), entire document	1-6

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“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
“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	“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
“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)	“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
“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	“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 26 June 2017	Date of mailing of the international search report 20 July 2017
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer WANG Rui Telephone No. (86-10) 62085447

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/078515

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 205573939 U	14 September 2016	None	
CN 105711586 A	29 June 2016	None	
CN 105691388 A	22 June 2016	None	
CN 103150337 A	12 June 2016	None	
WO 2016026922 A1	25 February 2016	DE 102014111951 A1	21 August 2014
		KR 2017046696 A	02 May 2017

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/078515

A. 主题的分类

B60W 30/095(2012.01)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)

B60W

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))

VEN, CNPAT, CNKI:碰撞、驾驶、包络、重构、方法; collision, drive, envelope, reconstitution, method

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
A	CN 205573939 U (江苏大学) 2016年 9月 14日 (2016 - 09 - 14) 全文	1-6
A	CN 105711586 A (江苏大学) 2016年 6月 29日 (2016 - 06 - 29) 全文	1-6
A	CN 105691388 A (南京航空航天大学) 2016年 6月 22日 (2016 - 06 - 22) 全文	1-6
A	CN 103150337 A (南京航空航天大学) 2016年 6月 12日 (2016 - 06 - 12) 全文	1-6
A	WO 2016026922 A1 (VALEO SCHALTER & SENSOREN GMBH) 2016年 2月 25日 (2016 - 02 - 25) 全文	1-6

☐ 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

2017年 6月 26日

国际检索报告邮寄日期

2017年 7月 20日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(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

王锐

电话号码 (86-10)62085447

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/078515

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	205573939	U	2016年 9月 14日	无			
CN	105711586	A	2016年 6月 29日	无			
CN	105691388	A	2016年 6月 22日	无			
CN	103150337	A	2016年 6月 12日	无			
WO	2016026922	A1	2016年 2月 25日	DE	102014111951	A1	2014年 8月 21日
				KR	2017046696	A	2017年 5月 2日