

(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 2018/072395 A1

(51) 国际专利分类号:
B60W 40/105 (2012.01) **B60W 30/095** (2012.01)
B60W 40/04 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2017/078516

(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:
201610910341.1 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,
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,

(54) Title: RECONSTRUCTION METHOD FOR SECURE ENVIRONMENT ENVELOPE OF SMART VEHICLE BASED ON DRIVING BEHAVIOR OF VEHICLE IN FRONT

(54) 发明名称: 基于前向车辆驾驶行为的智能车辆安全环境包络重构方法

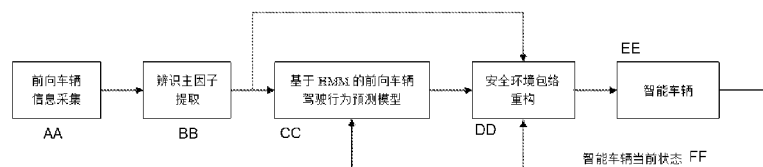


图 1

AA Front vehicle information acquisition
BB Principal identification factor extraction
CC Prediction model of the driving behavior of a front vehicle based on hidden markov model (HMM)
DD Secure environment envelope reconstruction
EE Smart vehicle
FF Current state of the smart vehicle

(57) Abstract: A reconstruction method for a secure environment envelope of a smart vehicle based on the driving behavior of a vehicle in front, starting from the simulation of the behavior of a real driver pre-estimating the potential collision risk of the drive area in front, introducing a prediction regarding the driving behavior of the vehicle in front to the environment sensing link of the smart vehicle, reconstructing, on the basis of the prediction result regarding the driving behavior of the vehicle in front, a secure environment envelope of the smart vehicle. The method uses a signal as an observed value, such as the trajectory point sequence of the vehicle in front, the indicators of the vehicle in front, the smart vehicle speed, the relative longitudinal speed of the smart vehicle and the vehicle in front, etc., and predicts the driving behavior of the vehicle in front by means of a hidden markov model (HMM); the method corrects, on the basis of the prediction result about the driving behavior of the vehicle in front, the transverse spacing and the longitudinal spacing between the smart vehicle and the vehicle in front, realizes the reconstruction of a secure environment envelope of a smart vehicle, and further realizes the pre-estimation regarding the potential collision risk of the smart vehicle in the safe drive area, and improves the security of the smart vehicle.

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: 一种基于前向车辆驾驶行为的智能车辆安全环境包络重构方法, 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, 对智能车辆安全环境包络进行重构。该方法以前向车辆轨迹点序列、前向车辆转向灯、智能车辆速度、智能车辆与前向车辆的纵向相对速度等信号作为观测值, 通过隐马尔科夫模型(HMM)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, 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。

基于前向车辆驾驶行为的智能车辆安全环境包络重构方法

技术领域

本发明涉及智能汽车领域，具体为一种基于前向车辆驾驶行为的智能车辆安全环境包络重构方法。

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对安全环境包络重构，对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。

因此，本发明提出一种基于前向车辆驾驶行为的智能车辆安全环境包络重构方法，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，建立前向车辆驾驶行为预测模型，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，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。通过查阅资料，目前在智能车辆安全驾驶区域内引入前向车辆驾驶行为的应用尚未见到报道。

发明内容

本发明的目的在于提供一种基于前向车辆驾驶行为的智能车辆安全环境包络重构方法，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，对智能车辆安全环境包络进行重构。本发明以前向车辆轨迹点序列、前向车辆转向灯、智能车辆速度、智能车辆与前向车辆的纵向相对速等信号作为观测值，通过隐马尔科夫模型（HMM）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，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。

本发明的技术方案：一种基于前向车辆驾驶行为的智能车辆安全环境包络重构方法由前向车辆驾驶行为预测模型和智能车辆安全环境包络重构算法组成。其中前向车辆驾驶行为预测模型负责对前向车辆驾驶行为进行预测，智能车辆安全环境包络重构算法负责根据预测结果进行安全环境包络重构。

本发明所述前向车辆驾驶行为预测模型如下：

基于 HMM 理论，建立前向车辆驾驶员驾驶行为 HMM 预测模型 $\lambda = (N, M, \pi, A, B)$ ，其中：

前向车辆驾驶行为状态 S ： $S = (S_1, S_2, \dots, S_N)$ ， t 时刻所处状态为 q_t ， $q_t \in S$ ，本项目状态数 $N = 4$ ，其中， S_1 为匀速驾驶行为， S_2 为紧急制动驾驶行为， S_3 为左转向驾驶行为， S_4 为右转向驾驶行为；

观测序列 V ： $V = (v_1, v_2, \dots, v_M)$ ， t 时刻观测事件为 O_t ，本项目观测值数 $M = 7$ ，其中， v_1 为前向车辆相邻轨迹点序列极径变化观测值， v_2 为前向车辆相邻轨迹点序列极角变化观测值， v_3 智能车辆速度， v_4 智能车辆与前向车辆的纵向相对速度， v_5 前向车辆左转向灯， v_6 前向车辆右转向灯， v_7 前向车辆刹车灯。

π ：前向车辆驾驶行为初始状态概率矢量， $\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_N)$ ，其中 $\pi_i = P(q_1 = S_i)$ ；

A ：状态转移矩阵，即前向车辆驾驶行为状态转移矩阵， $A = \{a_{ij}\}_{N \times N}$ ，其中， $a_{ij} = P(q_{t+1} = S_j | q_t = S_i)$ ， $1 \leq i, j \leq N$ ；

B ：观测事件概率分布矩阵，即不同前向车辆驾驶行为在 S 下各观测状态出现的概率， $B = \{b_{jk}\}_{N \times M}$ ，其中， $b_{jk} = P[O_t = v_k | q_t = S_j]$ ， $1 \leq j \leq N$ ， $1 \leq k \leq M$ 。

智能车辆安全环境包络重构算法

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。

本发明的有益效果:

本发明从模拟真实驾驶员通过对前向车辆驾驶行为进行预测进而实现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, 对前向车辆在行车过程中的突然制动、突然转向驾驶行为进行预测。根据前向车辆驾驶行为对安全环境包络进行重构, 对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。

附图说明

图 1 为本发明系统框图。

图 2 为本发明前向车辆驾驶行为预测模型离线训练流程图。

图 3 为本发明前向车辆驾驶行为预测流程图。

图 4 为前向车辆具有左转向驾驶行为时横向间距变化示意图。

其中 (a) 表示智能车辆与前向车辆的初始横向距离示意图；(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距离示意图。

图 5 为前向车辆具有紧急制动驾驶行为时纵向间距变化示意图。

其中 (a) 表示智能车辆与前向车辆的初始纵向距离示意图；(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距离示意图。

具体实施方式

下面参照附图并结合实例对本发明的构思、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 1，一种基于前向车辆驾驶行为的智能车辆安全环境包络重构方法由前向车辆驾驶行为预测模型和智能车辆安全环境包络重构算法组成。

1、前向车辆驾驶行为预测模型的实现包括如下

前向车辆驾驶行为预测模型建立：本发明建立前向车辆驾驶行为预测模型包括：匀速驾驶行为预测模型(US_HMM)、紧急制动驾驶行为预测模型(EB_HMM)、左转向驾驶行为预测模型(LT_HMM)、右转向驾驶行为预测模型(RT_HMM)。

前向车辆驾驶行为预测模型离线训练：如图 2 所示，为本发明所述离线训练流程图，包括如下步骤：

- (1) 模型参数初始化。主要是对 HMM 模型中的 π 、 A 、 B 进行初始化。
- (2) 选取前向-后向算法，用当前样本，计算前向频率 $\alpha_t(i)$ 和后向概率 $\beta_t(j)$ ；
- (3) 利用 Baum-Welch 算法，计算当前新的模型估计值 $\hat{\lambda} = (\pi, A, B)$ 。
- (4) 计算似然概率 $P = (O / \hat{\lambda})$ ；
- (5) 如果 $P = (O / \hat{\lambda})$ 是递增的，则用步骤(3)计算出来的新的估计值重新对该样本进行

下一次的估计，返回步骤(2)，逐步迭代，直到 $P = (O / \hat{\lambda})$ 不再明显增大，即收敛，此时的模型 $\hat{\lambda}$ 即为所求模型。

下面以前向车辆左转向驾驶行为预测模型(LT_HMM)为例，说明本发明 LT_HMM 的训练过程。

(1) 训练样本的选取。

本发明选取的左转向驾驶行为预测模型的观察序列包括：前向车辆相邻轨迹点序列极径变化观测值、前向车辆相邻轨迹点序列极角变化观测值、智能车辆速度、智能车辆与前向车辆的纵向相对速度、前向车辆左转向灯、前向车辆右转向灯、前向车辆刹车灯 7 个参数。HMM 的观察序列以向量的形式进行描述，如式(4)所示。

$$O(t) = \{v_1 \ v_2 \ v_3 \ v_4 \ v_5 \ v_6 \ v_7\} \quad (4)$$

其中， v_1 为前向车辆相邻轨迹点序列极径变化观测值， v_2 为前向车辆相邻轨迹点序列极角变化观测值， v_3 智能车辆速度， v_4 智能车辆与前向车辆的纵向相对速度， v_5 前向车辆左转向灯， v_6 前向车辆右转向灯， v_7 前向车辆刹车灯。

样本数量 100 组。

(2) 模型参数初始化。

本发明采用均值法得到 π 和 A 的初始值。 $\pi = [0.25 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.25]$ ，

$$A = \begin{bmatrix} 0.25 & 0.25 & 0.25 & 0.25 \\ 0.25 & 0.25 & 0.25 & 0.25 \\ 0.25 & 0.25 & 0.25 & 0.25 \\ 0.25 & 0.25 & 0.25 & 0.25 \end{bmatrix}。$$

本发明根据不同轨迹模式的先验特性来确定输出概率矩阵 B 初始概率分布。

$$B = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 & 0.1 & 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.3 & 0.08 & 0.08 & 0.08 & 0.08 & 0.08 & 0.3 \\ 0.08 & 0.3 & 0.08 & 0.08 & 0.3 & 0.08 & 0.08 \\ 0.08 & 0.3 & 0.08 & 0.08 & 0.08 & 0.3 & 0.08 \end{bmatrix}。$$

(3) 训练左转向驾驶行为预测模型。

按照图 2 所示离线训练流程，将左转向驾驶行为训练样本送入初始化后的左转向驾驶行为预测模型中进行训练，最终得到左转向驾驶行为预测模型。

$$\hat{\pi} = [0.0246 \ 0.0324 \ 0.1257 \ 0.8173];$$

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} 0.1132 & 0.1271 & 0.2119 & 0.5478 \\ 0.0243 & 0.3471 & 0.2694 & 0.3592 \\ 0.1432 & 0.0221 & 0.5034 & 0.3213 \\ 0.4318 & 0.1349 & 0.2392 & 0.1941 \end{bmatrix};$$

$$\hat{B} = \begin{bmatrix} 0.1912 & 0.2136 & 0.0981 & 0.952 & 0.1104 & 0.0896 & 0.1019 \\ 0.2851 & 0.0745 & 0.0847 & 0.0832 & 0.0791 & 0.0785 & 0.3149 \\ 0.0785 & 0.2832 & 0.0788 & 0.0847 & 0.3168 & 0.0791 & 0.0789 \\ 0.0791 & 0.2841 & 0.0831 & 0.0789 & 0.0806 & 0.3159 & 0.0783 \end{bmatrix}$$

2、前向车辆驾驶行为预测过程:

预测过程如图 3 所示。将原始参数进行特征提取, 形成一组观察序列 O 。应用前向-后向算法计算每个模型产生当前观察序列的概率 $P(O/\lambda)$, 概率值最大的模型便是当前驾驶行为。

3、利用前向车辆驾驶行为预测结果进行安全环境包络重构:

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 4 (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 4 (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 4 (a)和图 4 (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 值得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 5 (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 5 (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 5 (a)和图 5 (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。

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、基于前向车辆驾驶行为的智能车辆安全环境包络重构方法，其特征在于，由前向车辆驾驶行为预测模型和智能车辆安全环境包络重构算法组成；所述前向车辆驾驶行为预测模型负责对前向车辆驾驶行为进行预测，所述智能车辆安全环境包络重构算法负责根据预测结果进行安全环境包络重构。

2、根据权利要求 1 所述的基于前向车辆驾驶行为的智能车辆安全环境包络重构方法，其特征在于，所述前向车辆驾驶行为预测模型为 HMM 预测模型 $\lambda = (N, M, \pi, A, B)$ ，

前向车辆驾驶行为状态 S ： $S = (S_1, S_2, \dots, S_N)$ ， t 时刻所处状态为 q_t ， $q_t \in S$ ，本项目状态数 $N = 4$ ，其中， S_1 为匀速驾驶行为， S_2 为紧急制动驾驶行为， S_3 为左转向驾驶行为， S_4 为右转向驾驶行为；

观测序列 V ： $V = (v_1, v_2, \dots, v_M)$ ， t 时刻观测事件为 O_t ，本项目观测值数 $M = 7$ ，其中， v_1 为前向车辆相邻轨迹点序列极径变化观测值， v_2 为前向车辆相邻轨迹点序列极角变化观测值， v_3 智能车辆速度， v_4 智能车辆与前向车辆的纵向相对速度， v_5 前向车辆左转向灯， v_6 前向车辆右转向灯， v_7 前向车辆刹车灯；

π ：前向车辆驾驶行为初始状态概率矢量， $\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_N)$ ，其中 $\pi_i = P(q_1 = S_i)$ ；

A ：状态转移矩阵，即前向车辆驾驶行为状态转移矩阵， $A = \{a_{ij}\}_{N \times N}$ ，其中， $a_{ij} = P(q_{t+1} = S_j | q_t = S_i)$ ， $1 \leq i, j \leq N$ ；

B ：观测事件概率分布矩阵，即不同前向车辆驾驶行为在 S 下各观测状态出现的概率， $B = \{b_{jk}\}_{N \times M}$ ，其中， $b_{jk} = P(O_t = v_k | q_t = S_j)$ ， $1 \leq j \leq N$ ， $1 \leq k \leq M$ 。

3、根据权利要求 2 所述的基于前向车辆驾驶行为的智能车辆安全环境包络重构方法，其特征在于，所述前向车辆驾驶行为预测模型的实现包括如下：

建立匀速驾驶行为预测模型、紧急制动驾驶行为预测模型、左转向驾驶行为预测模型、右转向驾驶行为预测模型四个模型；

将所述四个模型进行离线训练；

对前向车辆的驾驶行为进行预测。

4、根据权利要求 3 所述的基于前向车辆驾驶行为的智能车辆安全环境包络重构方法，其特征在于，所述将所述四个模型进行离线训练的过程包括：

(1) 模型参数初始化：主要是对 HMM 模型中的 π 、 A 、 B 进行初始化；

(2) 选取前向-后向算法，用当前样本，计算前向频率 $\alpha_t(i)$ 和后向概率 $\beta_t(j)$ ；

(3) 利用 Baum-Welch 算法, 计算当前新的模型估计值 $\hat{\lambda} = (\pi, A, B)$ 。

(4) 计算似然概率 $P = (O / \hat{\lambda})$;

(5) 如果 $P = (O / \hat{\lambda})$ 是递增的, 则用步骤(3)计算出来的新的估计值重新对该样本进行下一次的估计, 返回步骤(2), 逐步迭代, 直到 $P = (O / \hat{\lambda})$ 不再明显增大, 即收敛, 此时的模型 $\hat{\lambda}$ 即为所求模型。

5、根据权利要求 3 所述的基于前向车辆驾驶行为的智能车辆安全环境包络重构方法, 其特征在于, 所述对前向车辆的驾驶行为进行预测的过程包括:

将原始参数进行特征提取, 形成一组观察序列 O ; 应用前向-后向算法计算每个模型产生当前观察序列的概率 $P(O / \lambda)$, 概率值最大的模型便是当前驾驶行为。

6、根据权利要求 1 所述的基于前向车辆驾驶行为的智能车辆安全环境包络重构方法, 其特征在于, 所述智能车辆安全环境包络重构算法的实现包括:

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:

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

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, $C_{y,j}(t)$ 智能车辆与前向车辆的横向间距;

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; 所述修正的表达式为:

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

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; ω_x 和 ω_y 的值通过前向车辆驾驶行为预测结果的概率值大小来确定。

7、根据权利要求 6 所述的基于前向车辆驾驶行为的智能车辆安全环境包络重构方法，其特征在于，所述 ω_x 的取值范围在 0-1 之间；当横向间距变小时，所述 ω_y 的取值 0-1 之间，当横向间距变大时，所述 ω_y 的取值大于 1。

附图

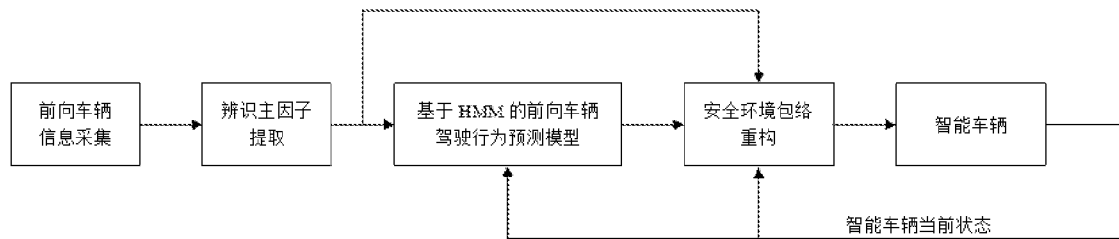


图 1

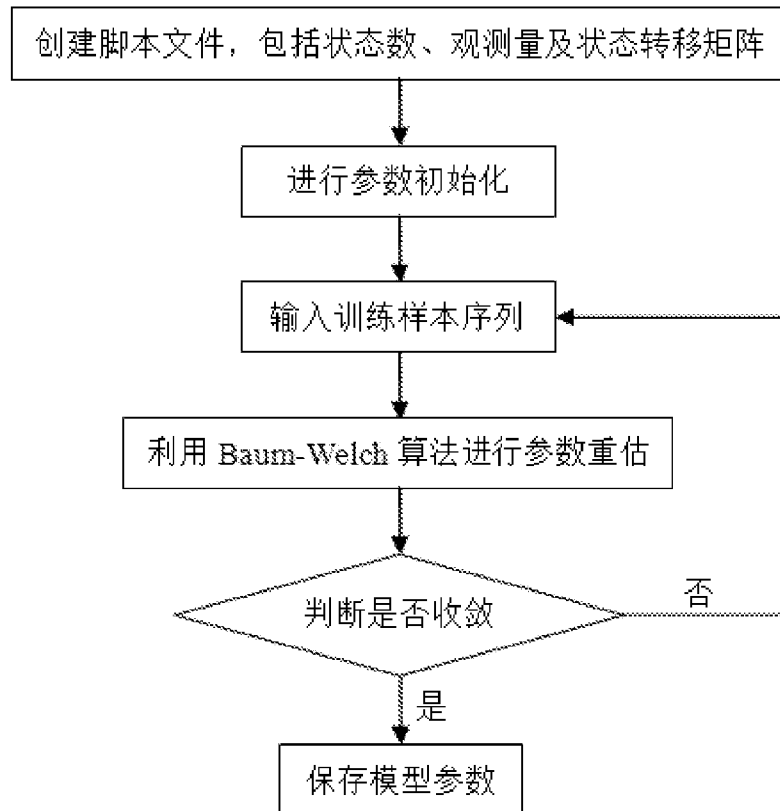


图 2

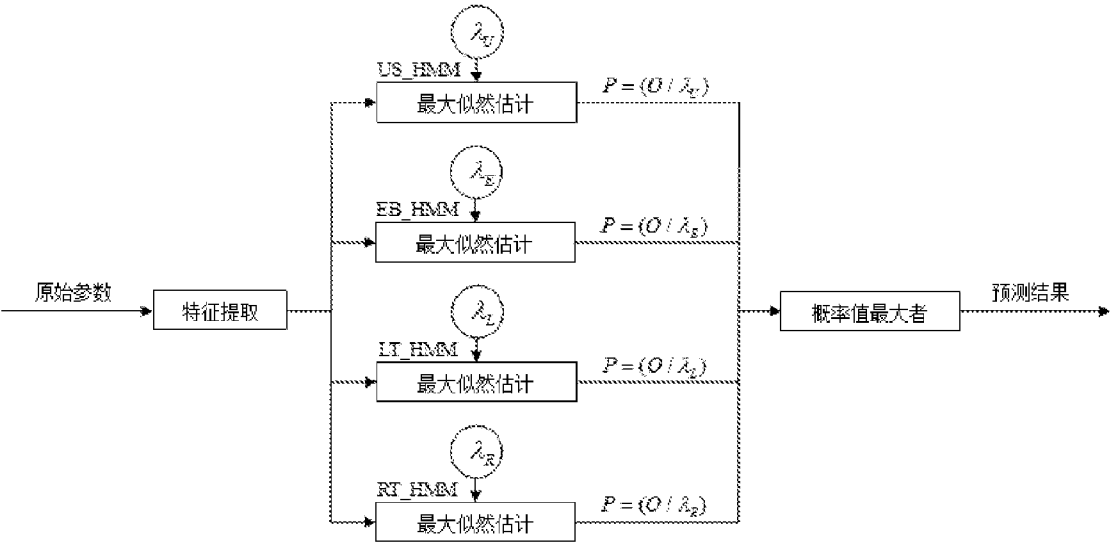
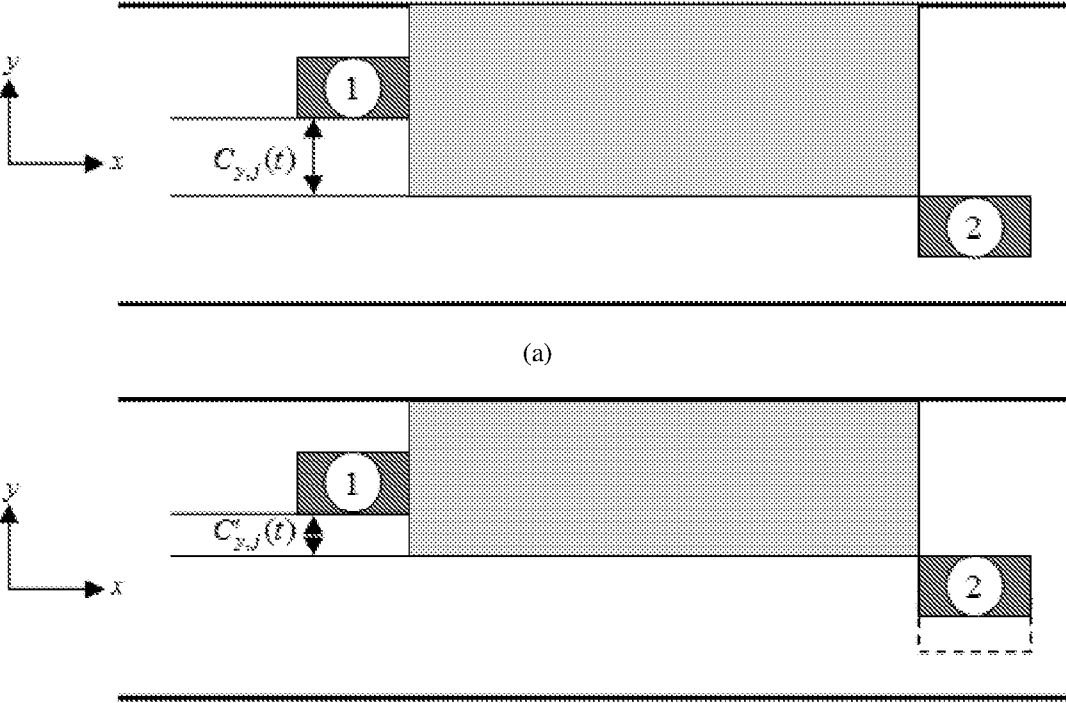
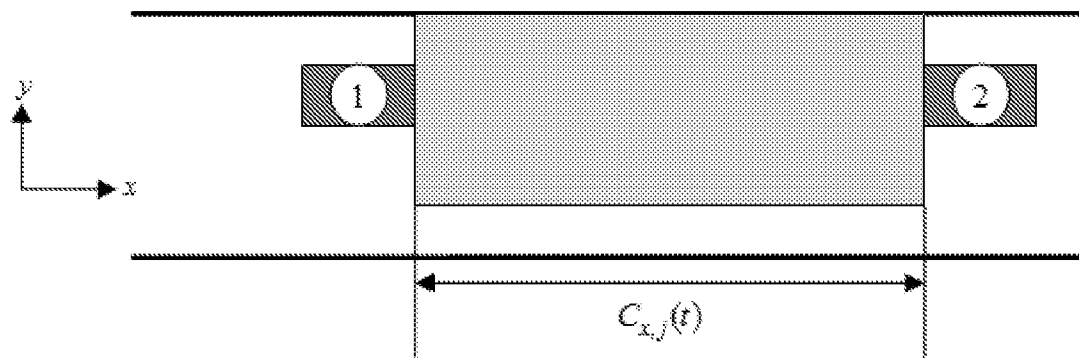


图 3

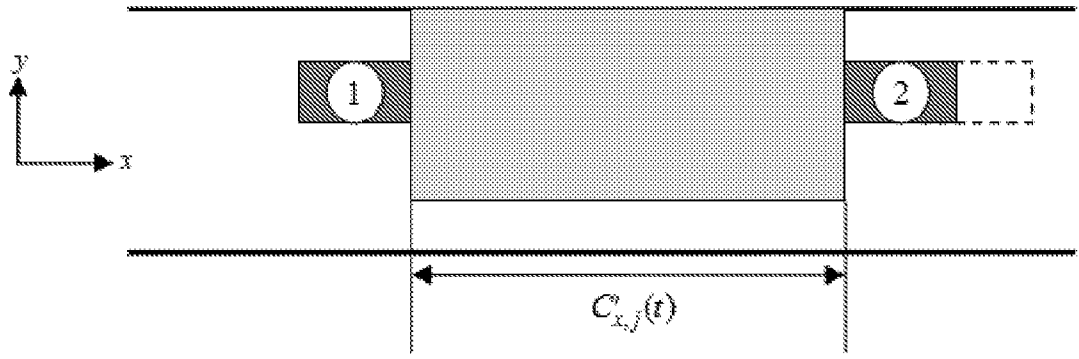


(b)

图 4



(a)



(b)

图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/078516

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B60W 40/105 (2012.01) i; B60W 40/04 (2006.01) i; 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; G06K

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)

CNABS, CPRSABS, DWPI, VEN: 车辆, 驾驶, 智能, 自动, 无人, 包络, 安全, 环境, 预测; vehicle, drive, intelligent, automatic, unmanned, envelope, safety, environment, prediction, foresee

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E	CN 106564495 A (JIANGSU UNIVERSITY), 19 April 2017 (19.04.2017), claims 1-3	1, 6-7
X	CN 205573939 U (JIANGSU UNIVERSITY), 14 September 2016 (14.09.2016), description, pages 1-8, and figures 1-4	1-5
A	CN 105530061 A (JIANGSU UNIVERSITY), 27 April 2016 (27.04.2016), entire document	1-7
A	CN 105528593 A (JIANGSU UNIVERSITY), 27 April 2016 (27.04.2016), entire document	1-7
A	CN 1833934 A (INSTITUTE OF AUTOMATION, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES), 20 September 2006 (20.09.2006), entire document	1-7
A	US 2010233559 A1 (DAIMLER AG et al.), 16 September 2010 (16.09.2010), entire document	1-7
A	US 2009021396 A1 (HEDDERICH, M.), 22 January 2009 (22.01.2009), entire document	1-7

☐ 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	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search
20 June 2017

Date of mailing of the international search report
27 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
ZHANG, Wei
Telephone No. (86-10) 62085300

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2017/078516

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 106564495 A	19 April 2017	None	
CN 205573939 U	14 September 2016	None	
CN 105530061 A	27 April 2016	None	
CN 105528593 A	27 April 2016	None	
CN 1833934 A	20 September 2006	CN 100429101 C	29 October 2008
US 2010233559 A1	16 September 2010	DE 102007033202 A1	22 January 2009
		US 8685578 B2	01 April 2014
		WO 2009010119 A1	22 January 2009
US 2009021396 A1	22 January 2009	WO 2006111222 A1	26 October 2006
		EP 1874611 A1	09 January 2008
		DE 102005018408 A1	26 October 2006
		JP 2008539111 A	13 November 2008

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/078516

A. 主题的分类

B60W 40/105(2012.01)i; B60W 40/04(2006.01)i; 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; G06K

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))

CNABS, CPRSABS, DWPI, VEN; 车辆、驾驶、智能、自动、无人、包络、安全、环境、预测; vehicle, drive, intelligent, automatic, unmanned, envelope, safety, environment, prediction, foresee

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
E	CN 106564495 A (江苏大学) 2017年 4月 19日 (2017 - 04 - 19) 权利要求1-3	1, 6-7
X	CN 205573939 U (江苏大学) 2016年 9月 14日 (2016 - 09 - 14) 说明书第1-8页和附图1-4	1-5
A	CN 105530061 A (江苏大学) 2016年 4月 27日 (2016 - 04 - 27) 全文	1-7
A	CN 105528593 A (江苏大学) 2016年 4月 27日 (2016 - 04 - 27) 全文	1-7
A	CN 1833934 A (中国科学院自动化研究所) 2006年 9月 20日 (2006 - 09 - 20) 全文	1-7
A	US 2010233559 A1 (DAIMLER AG等) 2010年 9月 16日 (2010 - 09 - 16) 全文	1-7
A	US 2009021396 A1 (HEDDERICH MARKUS) 2009年 1月 22日 (2009 - 01 - 22) 全文	1-7

☐ 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 20日

国际检索报告邮寄日期

2017年 7月 27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

受权官员

张炜

传真号 (86-10)62019451

电话号码 (86-10)62085300

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/078516

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	106564495	A	2017年 4月 19日	无			
CN	205573939	U	2016年 9月 14日	无			
CN	105530061	A	2016年 4月 27日	无			
CN	105528593	A	2016年 4月 27日	无			
CN	1833934	A	2006年 9月 20日	CN	100429101	C	2008年 10月 29日
US	2010233559	A1	2010年 9月 16日	DE	102007033202	A1	2009年 1月 22日
				US	8685578	B2	2014年 4月 1日
				WO	2009010119	A1	2009年 1月 22日
US	2009021396	A1	2009年 1月 22日	WO	2006111222	A1	2006年 10月 26日
				EP	1874611	A1	2008年 1月 9日
				DE	102005018408	A1	2006年 10月 26日
				JP	2008539111	A	2008年 11月 13日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)