**车道保持算法说明书**

**版本信息**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **日期** | **版本** | **作者** | **修改内容** |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

目录

[1 范围 3](#_Toc516129583)

[2 术语缩写 3](#_Toc516129584)

[3 内容 3](#_Toc516129585)

[3.1 系统说明 3](#_Toc516129586)

[3.1.1 系统定义 3](#_Toc516129587)

[3.1.2 功能框架 4](#_Toc516129588)

[3.1.3 功能要求 4](#_Toc516129589)

[3.1.4 场景需求 5](#_Toc516129590)

[3.2 算法分析 7](#_Toc516129591)

[3.2.1 Camera输出信号接口说明 7](#_Toc516129592)

[3.2.2 坐标系统 8](#_Toc516129593)

[3.2.3 道路模型说明 8](#_Toc516129594)

[3.2.4 PID控制器说明 9](#_Toc516129595)

[3.3 主要算法说明 10](#_Toc516129596)

[3.3.1 最终期望行驶轨迹计算（final desire line） 10](#_Toc516129597)

[3.3.2 当前期望行驶轨迹计算（current desire line） 11](#_Toc516129598)

[3.3.3 期望航向角计算 12](#_Toc516129599)

[3.3.4 方向盘转角计算 13](#_Toc516129600)

[3.3.5 方向盘扭矩计算 13](#_Toc516129601)

[4 总线通信信号定义 14](#_Toc516129602)

# 范围

本手册只针对乘用车、商用车的车道保持系统，不涉及其他车辆。

提供的车道保持功能需要在车道线清晰、常规车道线情况下提供服务，包括实线、虚线、黄线、双黄线等。对于车道线模糊不清无法正常识别、车道宽度远远超出正常车道宽度、或者车道宽度远远小于正常车道宽度的路面无法提供车道保持服务。

# 术语缩写

LKA Lane Keeping Assist 车道保持系统

EPS Electric Power Steering 电动助力转向系统

BCM Body Control Module 车身控制器模块

HMI Human Machine Interface 人机界面

TCU Transmission Control Unit 变速箱控制单元

ESP Electronic Stability Program 电子稳定控制系统

TCS Traction Control System 牵引力控制系统

SAS Steering Angle sensor 方向盘转角传感器

# 内容

## 系统说明

### 3.1.1 系统定义

LKA(Lane Keeping Assist)即车道保持系统，该功能的目的是驾驶员在无意识的过程中偏离正常车道线，系统主动进行转向干预修正，防止驾驶疲劳或注意力分散等行为引发危险。

如果进入系统抑制，则车道保持功能不可用。

### 3.1.2 功能框架

 功能框架如图所示。I-Camera中功能模型主要分为六个部分：

1. Lane Detection

I-Camera会实时采集当前道路的数据信息，并通过并行加速计算、曲线拟合等方式得到当前道路的车道线模型。

1. Situation Analysis

通过分析总线信号，采集当前车辆的运行状态，以及驾驶员的控制指令，分析当前的驾驶场景。

1. Trajectory Planning

通过道路模型，进行轨迹规划。

1. Lateral Control

计算横向控制过程中，当前周期需要的方向盘转角。

1. Steering Control

计算横向控制过程中，发送给EPS的扭矩请求值。

1. Output Suppress

判断是否需要系统抑制，如果有系统抑制，则EPS请求值无效。

### 3.1.3 功能要求

LKA功能，是指车辆在正常行驶的过程中，检测到车辆处于驾驶员无意识的偏离当前行驶车道时，系统主动进行转向干预修正，防止驾驶疲劳或注意力分散等行为引发危险。

抑制：

为了兼顾报警的准确性及驾驶交互的舒适性，系统会分析车辆实时运行情况和驾驶员的驾驶行为，并设置了一些抑制源。当抑制源有效，则对应的预警服务不会发出。主要抑制源如下：

1. 车速低于60Km/h(推荐值)时进入系统抑制；
2. 本车两侧车道线出现单侧丢失、宽度大于阈值、曲率大于阈值等情况时，进入系统抑制；
3. 左转向或右转向开关处于开的位置时，进入LKA系统抑制；
4. 驾驶员的主动操作行为，例如方向盘输入扭矩大于阀值、方向盘转角及转动角速度大于阈值、加速踏板深度大于阈值、制动压力大于阈值、ESP/ABS介入等情况时，进入LKA系统抑制。

### 3.1.4 场景需求

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 当前状态 | 驾驶员行为 | 系统表现 | 需测试（Y/N） |
| 1 | 当电源状态为上电状态，LKA处于关闭状态 | 驾驶员按下LKA选择开关 | LKA进入工作状态，仪表点亮LKA系统图标 | Y |
| 2 | 电源状态为上电状态，LKA处于打开状态 | 驾驶员按下LKA选择开关 | LKA进入关闭状态，仪表不再显示LKA系统图标 | Y |
| 4 | 电源状态为上电状态，LKA处于打开状态，双侧车道线良好 | 车速从60Km/h降至55Km/h以下 | 仪表显示LKA不可用 | Y |
| 5 | 电源状态为上电状态，LKA处于打开状态，只有左侧车道线良好，车速高于60Km/h | 无 | 仪表显示LKA不可用 | Y |
| 6 | 电源状态为上电状态，LKA处于打开状态，只有右侧车道线良好，车速高于60Km/h | 无 | 仪表显示LKA不可用 | Y |
| 7 | 电源状态为上电状态，LKA处于打开状态，双侧车道线良好，车速大于60Km/h | 左侧出现车道偏离行为 | 仪表显示LKA可用，并显示对应的LKA扭矩输出状态 | Y |
| 8 | 电源状态为上电状态，LKA处于打开状态，双侧车道线良好，车速大于60Km/h | 右侧出现车道偏离行为 | 仪表显示LKA可用，并显示对应的LKA扭矩输出状态 | Y |
| 9 | 电源状态为上电状态，LKA处于打开状态，双侧车道线良好，车速大于60Km/h，左侧出现车道偏离行为 | 猛踩制动踏板 | 仪表车道线双侧状态为绿色，不发出声音报警 | Y |
| 10 | 电源状态为上电状态，LKA处于打开状态，双侧车道线良好，车速大于60Km/h，右侧出现车道偏离行为 | 猛踩制动踏板 | 仪表显示LKA不可用 | Y |
| 11 | 电源状态为上电状态，LKA处于打开状态，双侧车道线良好，车速大于60Km/h，左侧出现车道偏离行为 | 猛踩油门踏板 | 仪表显示LKA不可用 | Y |
| 12 | 电源状态为上电状态，LKA处于打开状态，双侧车道线良好，车速大于60Km/h，右侧出现车道偏离行为 | 猛踩油门踏板 | 仪表显示LKA不可用 | Y |
| 13 | 电源状态为上电状态，LKA处于打开状态，双侧车道线良好，车速大于60Km/h，左侧出现车道偏离行为 | 打左转向 | 仪表显示LKA不可用 | Y |
| 14 | 电源状态为上电状态，LKA处于打开状态，双侧车道线良好，车速大于60Km/h，右侧出现车道偏离行为 | 打左转向 | 仪表显示LKA不可用 | Y |
| 15 | 电源状态为上电状态，LKA处于打开状态，双侧车道线良好，车速大于60Km/h，左侧出现车道偏离行为 | 打右转向 | 仪表显示LKA不可用 | Y |
| 16 | 电源状态为上电状态，LKA处于打开状态，双侧车道线良好，车速大于60Km/h，右侧出现车道偏离行为 | 打右转向 | 仪表显示LKA不可用 | Y |
| 17 | 电源状态为上电状态，LKA处于打开状态，双侧车道线良好，车速大于60Km/h，同时左侧出现车道偏离行为 | 猛向左侧打方向盘 | 仪表显示LKA不可用 | Y |
| 18 | 电源状态为上电状态，LKA处于打开状态，双侧车道线良好，车速大于60Km/h，右侧出现车道偏离行为 | 猛向右侧打方向盘 | 仪表显示LKA不可用 | Y |
| 19 | 电源状态为上电状态，LKA处于打开状态，双侧车道线宽度大于5m | 无 | 仪表显示LKA不可用 | Y |
| 20 | 电源状态为上电状态，LKA处于打开状态，双侧车道线宽度小于2.5m | 无 | 仪表显示LKA不可用 | Y |
| 21 | 电源状态为上电状态，LKA处于打开状态，车道线曲率过大 | 无 | 仪表显示LKA不可用 | Y |
| 22 | 电源状态为上电状态，LKA处于打开状态，双侧车道线差别过大 | 无 | 仪表显示LKA不可用 | Y |

## 3.2 算法分析

### 3.2.1 Camera输出信号接口说明

Camera输出双侧车道线的具体信息，每条车道线包含六个参数：

1. 车道线起始位置，表示车道线的起点
2. 车道线长度，表示车道线长度
3. 车道线曲率，曲率的导数即曲率半径
4. 车道线曲率变化率
5. 车道线的横向偏移
6. 车道线的航向角

### 3.2.2 坐标系统

#### 3.2.2.1 车道坐标系

车道坐标系统是指的是一条可识别的车道，每条车道都有自己的坐标系，如图1所示。



图1 车道坐标系

#### 3.2.2.2 环境坐标系

环境坐标系为Camera最终输出所使用的坐标系，也就是道路模型中使用的坐标系统，如图2所示。



图2 环境坐标系

### 3.2.3 道路模型说明

Camera采用回旋曲线道路模型，如图3所示，模型参数均是通过算法拟合得出，因此对于特殊道路并不适用，例如道路曲率半径小于100m。

模型方程为：

y=1/6 \* a \* x^3 + 1/2 \* b \* x^2 + tan(c) \* x + d

参数说明：

a表示车道线曲率变化率，单位为1/m\*m

b表示车道线曲率，单位为1/m

c表示当前车辆航向角，单位为rad

d表示车道线距离camera原点的横向偏移距离，单位为m

根据模型方程可以得到车辆两侧的车道线信息。



图3 车道线模型

### 3.2.4 PID控制器说明

PID控制器（比例-积分-微分控制器）是一个在工业控制应用中常见的反馈回部件，由比例单元P、积分单元I和微分单元D组成。PID控制的基础是比例控制；积分控制可消除稳态误差，但可能增加超调；微分控制可加快大惯性系统响应速度以及减弱超调趋势。

本系统使用的PID控制框图，如图4所示。



图4 PID控制器框图

参数说明：

Input：控制器输入值

Output：控制其输出值

Kp：比例环节增益

Ki：积分环节增益

Kd：微分环节增益

Ref：反馈参考值

## 3.3 主要算法说明

车道保持控制算法主要包含了5个部分，最终期望行驶轨迹计算，当前期望行驶轨迹计算，期望航向角计算，方向盘转角计算，方向盘扭矩值计算。

### 3.3.1 最终期望行驶轨迹计算（final desire line）

在车道保持算法中，最终期望行驶轨迹指最佳的车辆运行轨迹，为当前车道的最中央。

Camera会将识别到的双侧车道线的具体信息发出。如图5所示，line1和line2为Camera识别出的当前车道的车道线，则最终期望轨迹为中间虚线。

计算方法为，将line1和line2车道线模型中的4个主要参数，横向偏离距离、航向角、曲率、曲率变化率相加除以2即可。

line1曲线方程为：

y=1/6 \* a1 \* x^3 + 1/2 \* b1 \* x^2 + tan(c1) \* x + d1

line2曲线方程为：

y=1/6 \* a2 \* x^3 + 1/2 \* b2 \* x^2 + tan(c2) \* x + d2

则最终期望行驶轨迹方程为：

y=1/6 \* （a1+a2）\*1/2 \* x^3 + 1/2 \* (b1+b2)\*1/2 \* x^2 + tan((c1+c2)\*1/2) \* x + (d1+d2)\*1/2



图5 最终期望行驶轨迹计算

### 3.3.2 当前期望行驶轨迹计算（current desire line）

如图6所示，当前车辆为M1点，line3为最终期望行驶的轨迹线，车辆距离最终期望轨迹line3的横向距离为L1。

line5为横向距离为0时的曲线，与line3平行的曲线。其与3.3.1中最终期望行驶轨迹接近平行，line5仅为方便算法理解。

基于舒适性考虑，横向控制车辆当前期望轨迹是车辆以一定的横向速度，不断在向最终期望轨迹无限趋近。假设横向移动速度为0.4m/s，则完成横向移动时间t（s）。在一定的时间t内，车辆继续向前运动，其轨迹与最终期望轨迹相较于M2点，则可以得到当前期望的行驶轨迹line4。此时，车辆纵向移动距离为L2。

当前期望行驶轨迹line4，道路模型与line3相比，需要更新其横向偏移距离，航向角，及曲率。

line3 曲线方程由3.2.1得到：

y=1/6 \* a3 \* x^3 + 1/2 \* b3 \* x^2 + tan(c3) \* x + d3

line4 曲线方程为：

y=1/6 \* a4 \* x^3 + 1/2 \* b4 \* x^2 + tan(c4) \* x + d4

根据分析可知：

a4 = a3；

b4 = 1/(1/b3+L1)；

c4 = c3 + arctan(L1/L2)；

d4 = 0；

为了防止由于车速过小，导致的L2过小，进而导致c4产生强变化，设置L2最短距离为30m。



图6 当前期望轨迹

### 3.3.3 期望航向角计算

通过3.2.2过程得到了当前期望的运行轨迹，轨迹方程为y=1/6 \* a4\* x^3 + 1/2 \* b4 \* x^2 + tan(c4) \* x + d4。

LKA横向控制过程中，当前车辆位置为m1，实时计算下一刻车辆到达前方位置需要的航向角，下一刻的位置由当前车速v与时间常数t决定，时间常数可调，通常取1 ，此时对应的车辆位置为m2，纵向距离为n。如图7所示，line4为当前期望的行驶轨迹，对应的航向角为θ4，车辆行驶至m2，需要的角度为θ2；Ego为本车当前轨迹，其轨迹方程如下所示：

y=1/6 \* a0\* x^3 + 1/2 \* b0 \* x^2 + tan(c0) \* x + d0

其中，由于本车轨迹与本车坐标系一致，故d0、c0、d0为0；b0为本车转弯半径，可通过横摆角速度和车速求得。

求取期望航向角θ2的方法有多种，现对其进行介绍：

方法一：

当line4中，c4为0，则车辆的航向角为0，此时车辆位置与line4的切线平行。当前期望行驶轨迹方程变为y=1/6 \* a4\* x^3 + 1/2 \* b4 \* x^2 + d4。

n = v\*t

k3 =1/6 \* a4\* n^3 + 1/2 \* b4 \* n^2 + d4

θ3 = atan（k3/n）

θ4=c4

则，θ2 = θ3 + θ4。

方法二：

直接根据k2求取，即

k2 = 1/6 \* a4\* n^3 + 1/2 \* b4 \* n^2 + tan(c4) \* x + d4

则，θ2 = atan( k2/n )



图7 期望航向角计算

### 3.3.4 方向盘转角计算

期望方向盘计算也有多个方法，现对其进行介绍：

方法一：

采用前馈+PID反馈的方式，前馈主要用于解决道路曲率问题，反馈用于解决车辆横向位置偏差K问题。

前馈控制的输入为道路曲率，采用阿克曼角计算，即：

β=b\*b4\*r

其中，转向比为r，轴距为b，当前期望行驶轨迹的曲率为b4。

反馈控制采用PID控制，其目的为消除车辆横向位置偏差（即图7中的k值），则其输入θ0可由k计算获得：

θ0 = atan( k/n )，也即θ1 + θ2

其中，k = 1/6 \* (a4 - a0)\* x^3 + 1/2 \* (b4 - b0) \* x^2 + tan(c4 - c0) \* x + (d4 - d0)

θ0作为PID控制的输入，PID控制的反馈参考值为0，PID中P、I、D三个增益值需要通过试车调试与匹配获得，最终输出反馈方向盘转角γ。

则期望方向盘转角为：

α=β+γ

方法二：

直接采用PID反馈的方式求取方向盘转角，解决横向偏差k2问题。此时，PID输入的期望航向角为θ2，由k2求得，即：

θ2 = atan( k2/n )

k2 = 1/6 \* a4\* n^3 + 1/2 \* b4 \* n^2 + tan(c4) \* x + d4

θ2作为PID控制的输入，PID控制的反馈参考值为0，PID中P、I、D三个增益值需要通过试车调试与匹配获得，最终输出方向盘转角α。

方法三：

直接根据方向预瞄原理求取方向盘转角，其控制原理如下所示：

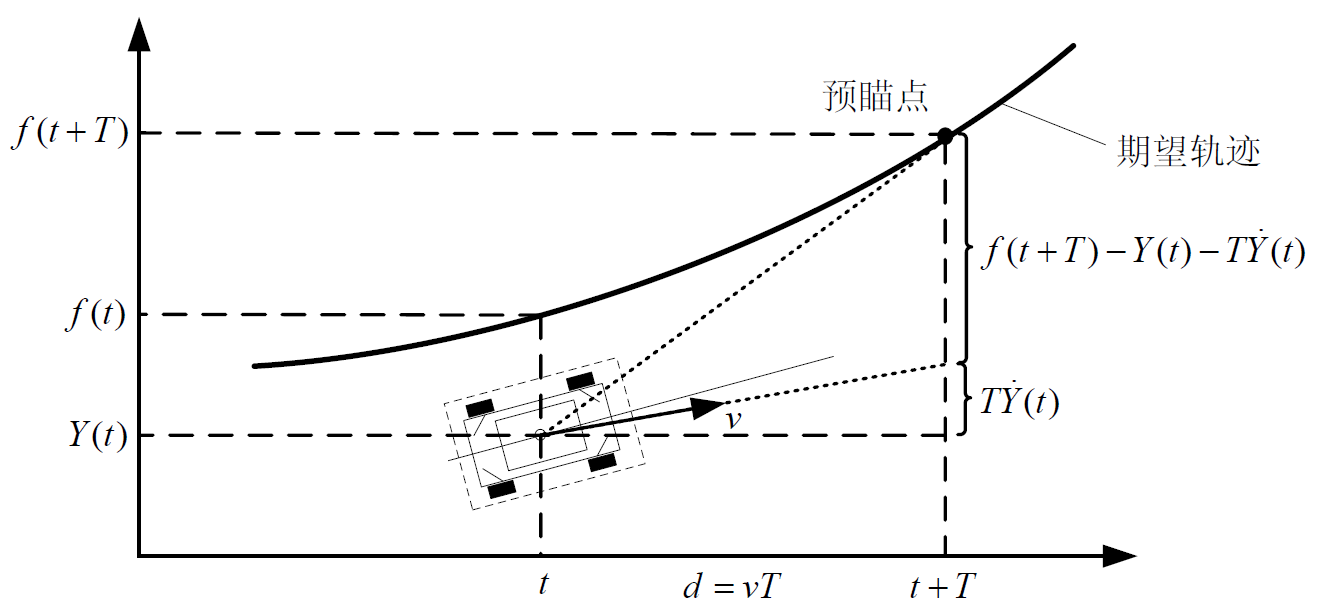


图8 方向预瞄转向示意图

由上图可以求得车辆的期望横摆角速度为：



其中，上式中的与图7中的k2一致，故，。

根据汽车动力学方程，其车辆横摆角速度对方向盘转角的传递函数为：



其中，*k*0，*k*1，*l*0，*l*1，*l*2是与整车参数相关的系数，各自的取值情况如下所示：

，，，，

为求得控制器传递函数，可根据下式求得：





图9 人车闭环系统

由上式可求得，控制器传递函数，并对其进行泰勒展开，忽略二阶项及高阶项后，即得：



其中，

所以，期望方向盘转角为：



其中，上式中的k2如图7所示，其它参数可跟整车动力学参数获得。

### 3.3.5 方向盘扭矩计算

方向盘扭矩控制是通过向EPS输出扭矩值，使方向盘转动至期望的方向盘角度α，采用前馈+PID反馈控制的方式，其中：

前馈控制：主要用于解决弯道处路面给轮胎的回正力矩问题，其输入为道路曲率，建议为预瞄点处的道路曲率；输出为前馈力矩Mf；

反馈控制：主要用于解决方向盘角度误差问题，使方向盘快速转至期望角度，其输入为期望方向盘角度与实际方向盘角度误差，输出为反馈力矩Mb。PID中P、I、D三个增益值需要通过试车调试与匹配获得，输出值即为对应的方向盘扭矩值。

方向盘扭矩的最终输出为前馈力矩Mf+反馈力矩Mb。

# 4 总线通信信号定义

系统从通过总线从整车获取相关的信号，以及相关的配置信息，主要信号如下表：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 发送节点 | 加速踏板位置 | 备注 |
| ECM | 车辆(发动机)运行状态 | 无 |
| ECM | 制动踏板开度 | 无 |
| EPS | 方向盘扭矩 | 无 |
| EPS | 转向角度 | 无 |
| EPS | 转角速度 | 无 |
| ESP | ABS工作状态 | 无 |
| ESP | 车速信号 | 无 |
| ESP | 制动主缸压力信号 | 无 |
| ESP | 横向加速度 | 无 |
| ESP | 纵向加速度 | 无 |
| ESP | 偏航率 | 无 |
| BCM | LKA功能开关状态 | 无 |
| BCM | 仪表显示车速 | 无 |
| BCM | 前雨刮工作状态 | 无 |
| BCM | 左转向灯信号 | 无 |
| BCM | 右转向灯信号 | 无 |

系统会通过总线发出信号，周期为20ms，由BCM接收，并进行相应的显示和提醒，主要信号如下表：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 接收节点 | 摄像头发送信号 | 备注 |
| BCM | LKA当前状态 | 打开/关闭 |
| LKA状态 | 可用/不可用 |
| 摄像头标定状态 | - |
| 驾驶员接管方向盘提醒 | - |
| EPS | 扭矩请求信号 | 扭矩请求具体值 |

