

基于 GPS 与转角检测的车辆操纵性能分析方法

祁婷婷, 郑永安, 史忠科

(西北工业大学 自动化学院, 陕西 西安 710072)

摘要:在车辆的日常行驶中,通过操纵运动模型来分析其转向性能是车辆稳定行驶的关键。基本线性二自由模型描述了恒速时,给定转向角输入下,汽车的侧向运动和横摆运动响应。但实际行驶中,车速会随时变化,为了分析变车速下车辆的操纵性能,文中基于实验室已有的 GPS 和方向盘转角检测系统,测得车辆实际行驶中的车速、转向角和经纬度,然后运用四阶龙格库塔法,求解车辆运动方程在变车速下的侧向速度和横摆角速度响应,解算为车辆的位置信息后,与 GPS 系统测得的经纬度位置信息进行对比。实车试验结果表明,模型求解的车辆路径和 GPS 测量的车辆实际路径基本一致,验证了文中方法在分析操纵模型中车速变化时的车辆操纵性能的可行性。

关键词:变化车速;车辆操纵;GPS;转角检测

中图分类号:U467

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)10-0184-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.10.046

Vehicle Handling Performance Analysis Method Based on GPS and Steering Angle Detection

QI Ting-ting, ZHENG Yong-an, SHI Zhong-ke

(College of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: In the daily running of a vehicle, using handling model to analyze steering performance is a key to its stably running. Two DOF linear handling model describes the lateral and yawing motion of vehicles under constant speed and given steering angle. In actual driving, the speed changes at any time. In order to analyze vehicle performance under variable speed, in this paper, vehicle speed, steering angle, latitude and longitude are detected using the GPS and steering angle detection system, then fourth-order Runge-Kutta method is used to solve vehicle handling model, as output results, lateral speed and yaw are used to calculate the vehicle location, compare this vehicle location with the real location represented by latitude and longitude location measured by GPS system. The vehicle-road test results show that the path of the vehicle calculated by model is basically similar to the actual path measured by GPS. The proposed method is available to analyze vehicle's handling performance when the vehicle speed is changeable in the handling model.

Key words: variable speed; vehicle handling; GPS; steering angle detection

0 引言

车辆的操纵性能是决定车辆安全行驶的重要性能,主要讨论驾驶员在实际驾驶中,给方向盘一定的角输入和力输入下,车辆的转向性能表现,同时也考验在外界侧向干扰下,车辆保持稳定行驶的能力^[1]。一般希望车辆在稳态响应和瞬态响应中都具有一定的不足转向特性,以保证车辆安全行驶^[2]。目前常用来分析车辆操纵性能的运动模型有线性二自由度模型和三自由度模型^[3-4],这两种模型均假定车辆的前进速度恒定,研究一定车轮转角下,车辆的侧向运动、横摆运动

以及车身侧倾运动。然而,在实际行驶中,前进速度和加速度会随时发生变化,驾驶员与乘员感受最为直接的就是这两个运动变量的变化,车辆在变化车速下行驶时的操纵特性与恒速下行驶的特性必然也不同。文献[5]提出了车速变化对车辆操纵性能的影响这一问题,但仅通过估算实际车速数据的平均值作为输入来分析车辆运动,不能准确描述实际行驶工况下的车辆运动。

文中给出一种方法,结合线性二自由度模型、经典四阶龙格库塔法、车载 GPS 系统、转角检测系统、

收稿日期:2013-01-08

修回日期:2013-04-12

网络出版时间:2013-07-24

基金项目:国家自然科学基金重点项目(61134004);西北工业大学基础研究基金(JC20110265)

作者简介:祁婷婷(1982-),女,山西大同人,硕士研究生,研究方向为车辆动力学建模与分析;郑永安,教授,硕士研究生导师,研究方向为控制理论与控制工程、系统工程;史忠科,教授,博士研究生导师,研究方向为现代控制理论与应用、非线性控制。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130724.1012.055.html>

MATLAB 仿真平台和实车道路试验,求解基于操纵模型的车辆路径,和试验测得的实际路径进行对比,由于车辆路径直接反应了驾驶员的操纵下车辆的直行和转向响应,路径对比也就直能接反应了车辆的操纵性能^[6]。

对比结果表明,该方法效果良好,可用来分析变化车速下车辆的操纵性能,具有一定的实际应用价值。

1 方法的总体思路

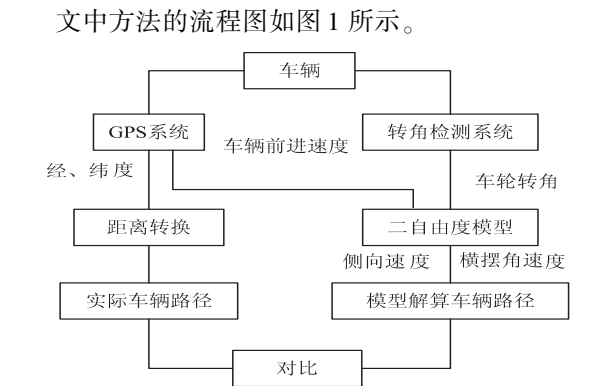


图 1 方法的流程图

方法步骤为:

(1)在试验车辆上装载 GPS 系统和方向盘转向角检测系统,由驾驶员驾驶车辆在公路上行驶一段时间的路程,路线选取直线与弯道相间的路段,这样可以充分表达车辆的实际操纵过程,比较全面地对文中方法的准确性进行验证。

GPS 系统实时检测车辆在行驶过程中的经度值、纬度值和车辆前进速度值。方向盘转向角系统检测驾驶员操作方向盘转过的角度,设定转向系统的传动比为固定值,由该角度值除以传动比得到车轮的实际转角。

(2)通过 MATLAB 平台,以试验获得的实时前进车速和车轮转角数据为输入,带入编写的二自由度模型和四阶龙格库塔法程序,计算一组试验的输出响应,即侧向速度和横摆角速度,将前进车速和侧向速度经过车体坐标系与地面坐标系的转换得到经纬度坐标系下纬度方向和经度方向的速度值,积分求得距离,从而得到模型求解的车辆路径。

(3)在试验中通过 GPS 系统获得车辆运行的实际经纬度值,直接表征了车辆的实时位置和走过的路径,将该经纬度值经过计算转换为经度方向和纬度方向的距离,得到试验测量的车辆路径。

(4)将步骤(2)和(3)中求解的路径进行对比,分析其误差及来源,由于路径直接体现了车辆在不同操纵输入下的运动过程,以对比路径的方式很好且直接地表达了车辆的操纵性能。

2 模型路径求解

2.1 线性二自由度操纵模型

线性二自由度模型是描述车辆操纵性能的基本模型,设定车辆为单一质量刚体,在地平面的运动存在三个自由度,沿车辆前进方向的纵向运动、沿车辆侧向并与前进方向垂直的侧向运动和绕垂直于地面方向的横摆运动,假定车辆纵向速度为恒定不变,只考虑转向角为输入时,车辆侧向速度和横摆角速度的输出响应。模型忽略了悬架系统运动时,车身侧倾造成的载荷转移,设定左右侧车轮的垂直载荷相同,可以简化为两轮

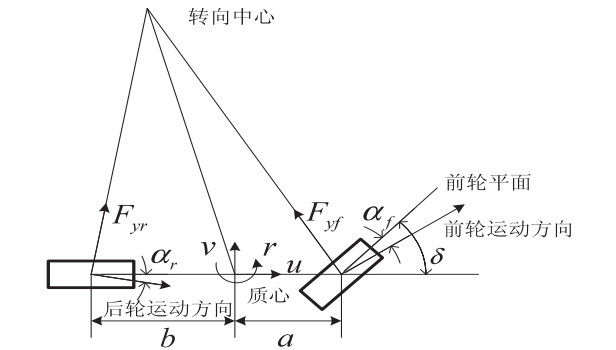


图 2 车辆受力分析图

其中, u 是纵向速度(前进车速); v 是侧向速度; r 是横摆角速度; δ 是前轮转向角; α_f 和 α_r 分别是前后车轮的侧偏角; F_{yf} 和 F_{yr} 分别是前后车轮的侧向力; a 和 b 是质心到前轴和后轴的距离。

车辆行驶中,横摆角速度对前后车轮的纵向速度的影响相对较小,认为前后轮的纵向速度相同,即:

$$u_f = u_r = u$$

车辆侧向速度一般较小,横摆角速度对前后车轮的侧向速度的影响不可忽略,所以有:

前轮侧向速度: $v_f = v + ar$;

后轮侧向速度: $v_r = v - br$ 。

由牛顿定律,物体线动量变化率等于所受合力,角动量变化率等于所受的合力矩。对车辆的线动量和角动量求时间导数得到下列两式:

$$m(\dot{v} + ur) = F_{yf} + F_{yr} \tag{1}$$

$$I\dot{r} = aF_{yf} - bF_{yr} \tag{2}$$

其中, m 是整车质量; I 是车辆绕质心垂线的转动惯量。

定义轮胎侧偏角为车轮平面与车辆运动方向的夹角,即车轮纵向速度和车辆速度矢量的夹角,当该角度较小时,可以近似有:

$$\alpha_f = \frac{v + ar}{u} - \delta \tag{3}$$

$$\alpha_r = \frac{v - br}{u} \tag{4}$$

根据弹性充气轮胎的侧偏特性,车轮在滚动时受到侧向力,其滚动方向与车轮平面形成一定夹角,即侧偏角,当角度值较小时,侧向力和侧偏角呈线性关系,且方向相反,前后轮侧偏刚度值 C_f 和 C_r 为正:

$$F_{yf} = -C_f \alpha_f \quad (5)$$

$$F_{yr} = -C_r \alpha_r \quad (6)$$

将式(3)~(6)带入式(1)和(2),得到线性二自由度模型的微分方程式:

$$m(\dot{v} + ur) = C_f \delta - \frac{C_f + C_r}{u} v - \frac{aC_f - bC_r}{u} r$$

$$I\dot{r} = aC_f \delta - \frac{aC_f - bC_r}{u} v - \frac{a^2 C_f + b^2 C_r}{u} r$$

整理为状态方程如下:

$$\dot{X} = AX + BU \quad (7)$$

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{(C_f + C_r)}{mu} & -u - \frac{aC_f - bC_r}{mu} \\ -\frac{(aC_f - bC_r)}{Iu} & -\frac{a^2 C_f + b^2 C_r}{Iu} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} C_f/m \\ aC_f/I \end{bmatrix}; X = \begin{bmatrix} v \\ r \end{bmatrix}; U = [\delta]$$

2.2 四阶龙格库塔法求解路径

龙格库塔法是求解微分方程最常用的方法,算法精度高,可改变计算步长,在工程上应用广泛。此节运用经典四阶龙格库塔法求解上节式(7)表达的微分方程,其中车辆纵向速度 u 是系数矩阵中的一个变化参数,由 GPS 系统测得;车轮转向角 δ 是输入变量,由转角检测系统测得,计算式表达如下:

设定系统状态量和输入量的初值:

$$X(0) = [0; 0], u(0) = 0, \delta(0) = 0$$

系统方程: $\dot{X} = f(X, u, \delta) = AX + BU$

采样时间: $T = 0.01$ s

算法步骤:

$$k_1 = f(X_{i-1}, u_{i-1}, \delta_{i-1})$$

$$k_2 = f(X_{i-1} + k_1 \frac{T}{2}, u_i - \frac{1}{2}, \delta_i - \frac{1}{2})$$

$$k_3 = f(X_{i-1} + k_2 \frac{T}{2}, u_i - \frac{1}{2}, \delta_i - \frac{1}{2})$$

$$k_4 = f(X_{i-1} + k_3 T, u_i, \delta_i)$$

$$X_i = X_{i-1} + (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \frac{T}{6}$$

其中:

$$u_i - \frac{1}{2} = (u_i + u_{i-1}) / 2$$

$$\delta_i - \frac{1}{2} = (\delta_i + \delta_{i-1}) / 2$$

$i = 1, 2, \dots, n$, n 为试验数据的样本点数。

算法通过当前时刻和前一时刻的速度值、车轮转角值,以及前一时刻的状态值,计算当前时刻的状态值,得到车辆侧向速度 v 和横摆角速度 r 的变化曲线,将 u 和 v 经过车辆坐标系和经纬度坐标系的变换后,得到经度方向和纬度方向的速度,积分解算为距离,得到车辆在经纬度坐标系下的路径。

3 GPS 试验路径

GPS 系统测得的是车辆行驶路径的经度和纬度值^[7],需要将其解算为距离值后,再与模型解算的路径进行对比。地球表面两点的位置关系如图 3 所示。

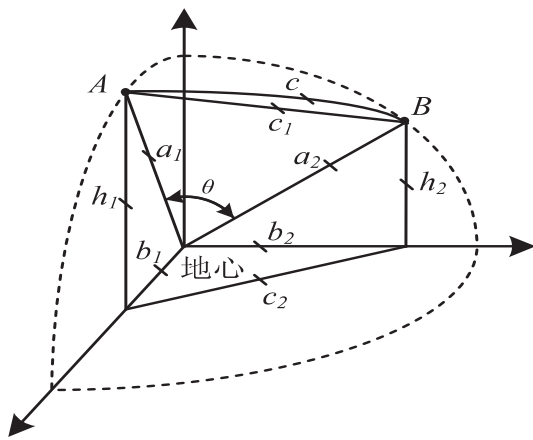


图 3 地球表面两点间的位置示意图

设定 R 为地球半径, lat 为纬度, lon 为经度, θ 为连接两点 A 和 B 与地心的夹角, c 为两点间的弧长,以下给出由经纬度计算距离的公式:

(1) 求两点间的距离。

已知: $a_1 = a_2 = R$

两点的经纬度三角函数值:

$$\sin(\text{lat}A) = h_1/a_1 \quad \sin(\text{lat}B) = h_2/a_2$$

$$\cos(\text{lat}A) = b_1/a_1 \quad \cos(\text{lat}B) = b_2/a_2$$

$$\cos(\text{lon}A - \text{lon}B) = \frac{b_1^2 + b_2^2 - c_2^2}{2b_1b_2}$$

根据角度余弦定理和平面几何公式:

$$\cos\theta = \frac{a_1^2 + a_2^2 - c_1^2}{2a_1a_2}$$

$$c_1^2 = (h_1 - h_2)^2 + c_2^2$$

由以上各式推导得到:

$$\cos\theta = \sin(\text{lat}A)\sin(\text{lat}B) + \cos(\text{lat}A)\cos(\text{lat}B)\cos(\text{lon}A - \text{lon}B)$$

两点间的距离为:

$$c = \theta R$$

(2) 求两点间的纬度距离。

两点经度方向的弧长: $\Delta y_1 = (\text{lat}A - \text{lat}B)R$

弧对应直线长: $\Delta y_2 = 2R\sin(\frac{\text{lat}A - \text{lat}B}{2})$

在距离很小的时候,两式误差为 0。

(3)求两点间的经度距离。

两点经度方向夹角: $\text{lon}A - \text{lon}B$

A 点对应的纬度圈半径: $R_A = R\cos(\text{lat}A)$

B 点对应的纬度圈半径: $R_B = R\cos(\text{lat}B)$

分别计算两个纬度圈半径下的经度距离:

$\Delta x_1 = (\text{lon}A - \text{lon}B) R_A$

$\Delta x_2 = (\text{lon}A - \text{lon}B) R_B$

在距离很小的时候,两式误差为 0。

4 试验验证及误差分析

4.1 试验验证

采用实验室已有的车载 GPS 系统、方向盘转角检测系统和桑塔纳 2 000 型试验车辆,在公路上进行实车试验,天气条件为晴天。

GPS 系统:由天线和接收模块组成,测量车辆行驶过程的经度值、纬度值、前进车速。经度和纬度值精确至 0.001°,车速精确至 0.01 km/h。

方向盘转角检测系统:由旋转变压器、数据采集电路板、改装的方向盘和固定件组成,测量车辆行驶过程的方向盘转角,精确至 0.001°。

桑塔纳 2 000 型试验车辆:搭载整个试验系统,完成实车道路试验,车辆基本参数如表 1 所示^[7]。

表 1 试验车辆基本参数

参数	符号	数值	单位
车辆质量	m	1 340	kg
横摆转动惯量	I	2 212.73	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
质心到前轴距离	a	1.248	m
质心到后轴距离	b	1.3	m
前轮侧偏刚度	C_f	53 000	N/rad
后轮侧偏刚度	C_r	53 000	N/rad

试验结果如图 4 所示,其中“.”表示通过模型计算得到的车辆路径,“x”表示由 GPS 系统测得的车辆实际路径,两者基本匹配。图 5 给出两者的差值。

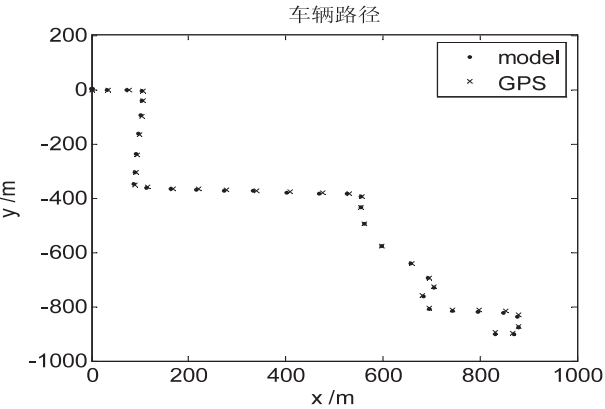


图 4 GPS 路径与模型路径对比

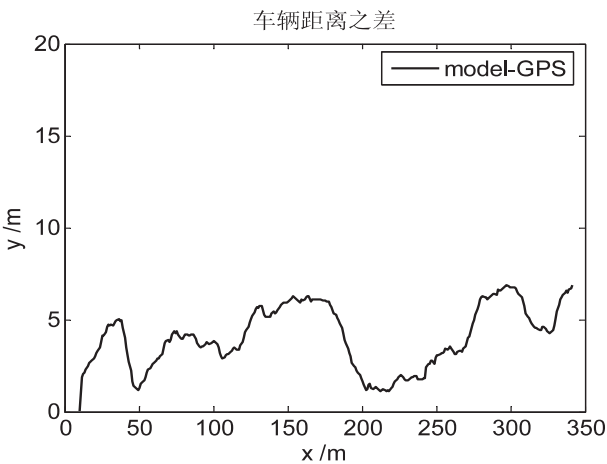


图 5 GPS 路径与模型路径差值

4.2 误差分析

分析模型计算的车辆路径与车载 GPS 系统解算的车辆路径之间的误差,来源有三方面:

(1)模型误差。二自由度模型忽略了车身侧倾运动的影响,车辆在转向时,载荷由转弯内侧向外侧发生轴向转移^[8]。另外,转向前半程的减速过程和后半程的加速过程会使载荷发生轴间转移,车轮的侧偏刚度和侧偏角也因此发生变化,给系统侧向速度和横摆角速度响应带来误差。

(2)GPS 系统和转角检测系统误差。GPS 系统存在静态漂移和动态漂移误差,会造成其测量的经纬度值存在偏差,如果道路纵向坡度达到一定值,也会影响 GPS 数据的准确性。另外,驾驶员操纵方向盘时会存在不同程度的自由行程,该值在转向操纵时尤其难以把握,直接影响车轮转角的实际值,给模型计算结果带来误差。

(3)车辆转向系统误差。转向系统的转向传动比会因车辆的使用年限和使用条件不同而不同,很难准确把握其真实值^[9],而车辆的转向响应对车轮转角非常敏感,这也是路径计算的误差来源。

5 结束语

文中提出了一种变化车速下分析车辆操纵性能的方法,经过车载 GPS 和转角检测系统的实车试验验证,结果表明该方法可行且效果较好,在分析车辆实际行驶中的运动响应方面有良好的应用价值。

参考文献:

[1] 余志生. 汽车理论[M]. 北京:机械工业出版社,2009:130-131.

[2] Pacejka H B. Tyre and Vehicle Dynamics[M]. 2nd Revised ed. [s. l.]:Butterworth-Heinemann Ltd,2006:21-22.

[3] Rajamani R. Vehicle Dynamics and Control[M]. [s. l.]:


```
22. dbrProp. Value = Convert. ToDouble( DynamicPropertyDic.  
Value )  
23. End If;Next;End If; End If; trans. Commit ( );End Using  
24. Catch e As System. Exception  
25. Application. ShowAlertDialog ( " Error occurs when insert  
Dynamic block: " + BlockName)  
26. End Try  
27. End Sub
```

上述代码,第 2、3 行是定义字典实体类,并赋值字典键/值对分别为动态块的参数名称及值;第 8 到 10 行是获得动态块的 ObjectId;第 16 到 18 行是判断 ENT 是否是块并获得块对象;第 19 到 23 行是判断块是否为动态块并遍历整个动态块,如果字典键与块参数名称一致,则更改动态块参数值。

通过上述实例可知,用户可以在块中添加可变参量,比如将不同长度、角度、大小甚至整个图形样式等相关内容和数据设计到一个图块中,只要在程序中寻找相应的 PropertyName,修改相应的参数值 Value,这样就能实现对块参考的修改。

4 结束语

文中研究了利用 ObjectARX. NET 对 AutoCAD 二次开发的实现过程,在参数化数据文件的组织和读取中,根据信息参数化的思想组织数据文件,程序采用基于关键字的方式读取相关数据便于了数据文件进行扩充;把动态块技术广泛地应用于 CAD 出图中,用户通过修改动态块的属性和参数值,可以进行粗糙度标高的标注及改变图形尺寸而保持块的完整性。高质量的动态块能够提高工程设计人员的工作效率,降低其出错率,达到预期的理想效果,使其应用于实际的冷却塔

软件开发出图程序中。冷却塔结构的参数化和快速化设计可以使所开发的系统具有模板性能好、独立性强、内部功能高效等特点,工作量大为减少,达到事半功倍的效果。

参考文献:

[1] 陈文峰,刘祚秋,钟志辉,等. AutoCAD 二次开发在工程计算软件中的应用[J]. 科学技术与工程,2011,11(24):5844-5848.
[2] 李长勋. AutoCAD ObjectARX 程序开发技术[M]. 北京:国防工业出版社,2005.
[3] 傅 强,焦建民. 基于 ObjectARX 的 AutoCAD 二次开发与应用[J]. 信息技术,2006(4):103-105.
[4] 闻 涛,赵良臣. 用 ObjectARX 进行 AutoCAD 二次开发的研究[J]. 浙江工程学院学报,2003,20(1):37-40.
[5] 宗胜强,刘振宇,王 清. ObjectARX 开发技术的应用[J]. 河北建筑工程学院学报,2007,25(3):123-125.
[6] 黄高峰,吕海森,晏 洪,等. 水工设计中基于 ObjectARX 的面向对象二次开发技术[J]. 科技广场,2008(12):114-116.
[7] 余兴胜. 用 .NET 进行 AutoCAD 二次开发的方案探索[J]. 铁道勘测与设计,2006(3):39-46.
[8] 张晓露,陈永生,郭玉臣. 基于 ObjectARX 和 ADO. NET 的列车线路图计算机辅助设计[J]. 计算机应用,2009,29(S2):149-151.
[9] 刘 彬. 基于 .NET 的 AutoCAD 二次开发实例[J]. 现代矿业,2009(12):120-122.
[10] 许颖慧,杨 峰. AutoCAD 二次开发图形接口系统的研究[J]. 科技信息,2008(11):55-56.
[11] 曾洪飞,张 帆,卢择临. AutoCAD VBA & VB. NET 开发基础与实例教程[M]. 北京:中国电力出版社,2008.

(上接第 187 页)

Springer-Verlag,2006:359-363.
[4] 喻 凡,林 逸. 汽车系统动力学[M]. 北京:机械工业出版社,2005:211-213.
[5] Baffet G, Charara A, Lechner D. Estimation of vehicle sideslip, tire force and wheel cornering stiffness[J]. Control Engineering Practice,2009,17(11):1255-1264.
[6] 陈 森,姜 江,陈英武,等. 一类非确定性车辆路径问题模型及其算法设计[J]. 计算机工程,2011,37(14):186-188.
[7] 李东江,张大成. 桑塔纳 2000 系列轿车结构与维修[M].

北京:机械工业出版社,2003:12-14.
[8] You Seung-Han, Hahn Jin-Oh, Lee Hyeongcheol. New adaptive approaches to real-time estimation of vehicle sideslip angle[J]. Control Engineering Practice,2009,17(12):1367-1379.
[9] Ahmadi J, Sedigh A K, Kabganian M. Adaptive vehicle lateral-plane motion control using optimal tire friction forces with saturation limits consideration[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology,2009,58(8):4098-4107.

基于GPS与转角检测的车辆操纵性能分析方法

作者：[祁婷婷](#)，[郑永安](#)，[史忠科](#)，[QI Ting-ting](#)，[ZHENG Yong-an](#)，[SHI Zhong-ke](#)

作者单位：[西北工业大学 自动化学院, 陕西 西安, 710072](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

ISTIC

年，卷(期)：2013(10)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201310046.aspx