

# 基于 MEMS 的公交车辆转弯判定方法

罗进珮,李冰冰,郑雅羽

(浙江工业大学 信息工程学院,浙江 杭州 310023)

**摘要:**目前,公交车载报站器主要依靠司机手动操作,极大地增加了司机的负担,亟需一种准确、快速的自动报站解决方案。基于 GPS 技术的全自动报站系统能够较好地解决公交车出站、到站的自动播报,然而由于 GPS 自身精度的限制,当车辆转弯时,仅凭 GPS 信息无法进行及时、准确的播报。为此,文中提出了一种基于 MEMS 的公交车辆转弯判定方法。通过对车内系统进行智能化改造,部署 MEMS 传感器与车载终端,采集车辆的各项行驶数据与传感器数据,建立转弯判定模型,判定车辆转弯行为,使其在实际行驶中及时、准确地判断车辆转弯,播报转弯提醒。实验结果表明,该方法可以较为准确地判定车辆转弯,准确率可达 88%。

**关键词:**公交车辆;MEMS;加速度计;陀螺仪;GPS

**中图分类号:**TP301

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2015)07-0058-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.07.013

## Determination Method of Bus Turning Based on MEMS

LUO Jin-pei, LI Bing-bing, ZHENG Ya-yu

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology,  
Hangzhou 310023, China)

**Abstract:** Currently, station reporters depend on manual operation of drivers which put extra burden on drivers. It is urgent need of an automatic reporter solution with accuracy and timeliness. Automatic station reporter based on GPS can solve the problem in some ways. However, the traditional method could not report the audio broadcast timely and accurately when the vehicle turns due to the accuracy limitation of GPS. For the purpose, a determination method of bus turning based on MEMS sensors is proposed in this paper. Collect driving data and sensor data after intelligent vehicle modification by MEMS sensors in smart vehicle equipment. Moreover, establish turning model to determine turning of bus to make it timely and accurate to determine bus turnings and report audio broadcast. Experiment results show that the method can determine bus turnings accurately and the accuracy of this method can reach 88% in practice.

**Key words:** bus; MEMS; accelerometer; gyroscope; GPS

## 0 引言

近年来,公交车辆的报站方式有了较大改善,传统的人工喊话式报站已基本被手动报站器报站所取代。当前,手动报站器的使用十分广泛,车辆行驶过程中在出站、到站、转弯等阶段需要驾驶员手动操作报站器,播报语音提示<sup>[1]</sup>。尽管手动报站器技术成熟且使用简便,但是需要驾驶员在保证安全驾驶的前提下手动操作,一方面增加了司机的工作量,在一定程度上也增加了安全隐患;另一方面由于驾驶员的错误操作,容易出现报站不及时、错报、漏报的现象<sup>[2]</sup>。

随着公交系统的更新换代,目前公交车载报站器

正逐步由手动报站器向基于 GPS 的全自动报站系统演进。全自动报站系统主要依靠 GPS 技术,在投入运营之前,需要测定线路中所有要素点的坐标,包括站点的入口坐标、出口坐标、转弯点坐标等。使用时无需额外的人为操作,驾驶员只需专注于车辆的安全驾驶,车载设备可根据车辆实时的 GPS 坐标与要素点的 GPS 坐标进行比对,即可自动进行报站,因此减轻了驾驶员的工作量,同时也减少了驾驶过程中因兼顾报站器所带来的安全隐患。

然而,由于 GPS 技术的限制,在民用领域的精度约为 10 m<sup>[3]</sup>。对于精度要求稍低的出站、到站等播报

收稿日期:2014-09-02

修回日期:2014-12-04

网络出版时间:2015-06-23

基金项目:浙江省自然科学基金项目(Y1110532)

作者简介:罗进珮(1990-),男,硕士研究生,研究方向为大数据分析、可穿戴设备;郑雅羽,博士,副研究员,硕士生导师,通讯作者,研究方向为嵌入式系统应用与开发。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150623.1005.001.html>

提醒使用 GPS 技术基本可以完成,但当车辆转弯时,报站器需要及时播报转弯提醒,提醒乘客与过往车辆,而单凭 GPS 技术无法准确、及时地判定转弯点。为此,文中提出一种基于 MEMS 传感器的公交车辆转弯判定方法。通过在车辆上部署三轴陀螺仪传感器与三轴加速度传感器,在指定区域内对车辆的行驶情况进行监测,结合相应的判定模型,判定车辆转弯行为,从而及时、准确地播报车站转弯提醒。

## 1 传感器数据的采集与处理

### 1.1 数据采集

三轴陀螺仪传感器,是一种用于传感与维持方向的装置,可用于测定物体运动的角速度,以判别物体的运动状态。三轴加速度传感器,可用于测定物体在其三轴上变化或恒定的加速度<sup>[4]</sup>。在本方法中,将对现有的公交车辆进行智能化改造,对其部署三轴陀螺仪传感器与三轴加速度传感器,结合车载终端,采集车辆的各项行驶数据与传感器数据。

### 1.2 数据处理

由于传感器自身的信号误差、噪声等因素,容易对数据结果造成一定影响<sup>[5]</sup>,在实际的应用中需要通过有效的降噪方法改善传感器的性能,以满足实际需求<sup>[6]</sup>。另外,在理想的情况下,可直接通过加速度传感器与陀螺仪来监测车辆的行驶情况,但在实际应用中,由于传感器的安装位置、自身姿态等不可控因素,无法确定传感器的确切姿态,因此在后期处理时还需要对原始数据进行处理,以便建立合适的判定模型。

#### (1) 数据预处理。

研究表明,随机噪声是影响 MEMS 传感器精度的主要因素<sup>[7]</sup>。故为了消除或减小系统误差和随机误差,在实际使用中可使用滑动平均滤波法对原始数据进行预处理<sup>[8]</sup>。

陀螺仪传感器与加速度传感器监测的动态数据  $y(t)$  由确定性成分  $f(t)$  和随机性成分  $e(t)$  组成,前者为测量结果或有效信号,后者为随机起伏的测试误差或噪声<sup>[9]</sup>。经离散化采样后,可相应地将动态测试数据写成

$$y_i = f_i + e_i, i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

为了更精确地表示测量结果,抑制随机误差  $e_i$  的影响,可对运动监测数据  $y_i$  作平滑和滤波处理。具体地说,就是对非平稳的数据  $y_i$ ,在适当的小区间上视为接近平稳而作局部平均,以减小  $e_i$  所造成的随机起伏。对逐一区间进行不断的局部平均,可得出较为平滑的测量结果  $f_i$ ,滤除频繁起伏的随机误差。对于  $N$  个非平稳数据  $y_i$ ,视之为每  $m$  个相邻数据的小区间内是接近平稳的,即其平均值接近于常量。于是可取每

$m$  个相邻数据的平均值,来表示该  $m$  个数据中任一个的取值,并视其为抑制了随机误差的测量结果或消除了噪声的信号<sup>[10]</sup>。该均值通常表示其中点数据或端点数据的测量结果或信号,针对每一区间的均值其一般表达式为:

$$f_i = y_i = \frac{1}{m} \sum y_i \quad (2)$$

根据传感器的工作频率与目标区间长度确定表达式中的  $m$ 。通过滤波平均后,可滤除或减少数据中频繁的随机起伏误差与噪声,使其显示出较为平滑的变化趋势。结合传感器自身的特性以及后续分析方法与精度的要求,设置传感器的工作频率为 10 Hz,经滤波处理后,计算每秒的陀螺仪传感器与加速度传感器均值,以供后续的分析处理<sup>[11]</sup>。

#### (2) 传感器姿态的判断。

众所周知,在地球上的任何物体都会受到重力影响而产生重力加速度。而加速度传感器可用于测定物体在其三轴上变化或恒定的加速度。当加速度传感器处于静止状态时,其三轴加速度分量分别为  $G_x$ ,  $G_y$ ,  $G_z$ ,其矢量和等于重力矢量  $\vec{G}$ ,可得:  $G^2 = G_x^2 + G_y^2 + G_z^2$ <sup>[12]</sup>。通过此时加速度的三轴分量,可以估计加速度传感器的大致姿态。

由于加速度传感器与陀螺仪传感器处于同一水平面,因而亦可确定陀螺仪传感器所处的姿态,进而确定车辆转弯时所参考的旋转轴。为了得到三轴加速度值与陀螺仪旋转轴间的对应关系,通过数次试验,再取其均值,根据具体的实验结果得出。当三轴加速度传感器上的某一轴上的值更接近于  $G$  时,便选用该轴为陀螺仪旋转轴。

#### (3) 计算加速度计数值。

加速度计数值(counts 值)代表加速度绝对值的积分的复位次数,1 s 内积分的复位次数定为 counts/s,即表示 1 s 内运动的频率与强度。物体的运动幅度越大,counts 值也越大<sup>[13]</sup>。当车辆转弯时,陀螺仪旋转轴的角速度达到峰值,与此同时由于受横向加速度的影响,counts 随之变大,并达到阶段性峰值。在此步骤中,对滤波整合后的三轴加速度均值按照式(3)可得到每秒的 counts 值。

$$\text{counts} = A_x^2 + A_y^2 + A_z^2 \quad (3)$$

下文在建立判定模型时将参考并结合 counts 值,综合车辆的行驶状况,辅助判定车辆转弯。

## 2 车辆转弯判定模型

为了判定车辆在实际行驶过程中的转弯情况,需要针对车辆转弯过程中的姿态,建立相应的车辆转弯判定模型。根据试验中采集并处理后的三轴加速度传

感器与三轴陀螺仪传感器数据,同时可结合预设的转弯点 GPS 坐标范围、车速等数据确定车辆转弯判定模型的各项指标。

2.1 指标采集试验

为了了解车辆在直道行驶环境下各传感器的表现,以及确定车辆在各类转弯、变道行为下各参数的指标范围,需要对车辆在各类驾驶条件下进行试验。根据相关的调研结果,在中等规模城市中,公交车在运营高峰期间的平均车速在 10 km/h 以下,局部路段仅有 7–8 km/h。而在平峰期间其平均车速也在 20 km/h 以下<sup>[14]</sup>。为此,以 15 km/h 为界,设计相应的试验方案,采集车辆在直行、转弯、变道下的各类数据,具体的试验方案如表 1 所示。

表 1 试验方案

驾驶类型	驾驶时间或次数
低速直线行驶(15 km/h 以下)	5 min
快速直线行驶(15 km/h 以上)	5 min
低速路口转弯(15 km/h 以下)	5 次左转,5 次右转
快速路口转弯(15 km/h 以上)	5 次左转,5 次右转
变换车道	5 次左变道,5 次右变道

根据驾驶情况的不同,以下将结果分类列出。  
(1)低速直线行驶(15 km/h 以下)。  
按照实验结果,绘制试验期间的旋转轴折线图,如图 1 所示。由图中可知,本轮试验中,旋转轴的波动不大,基本在±0.2 之间波动。

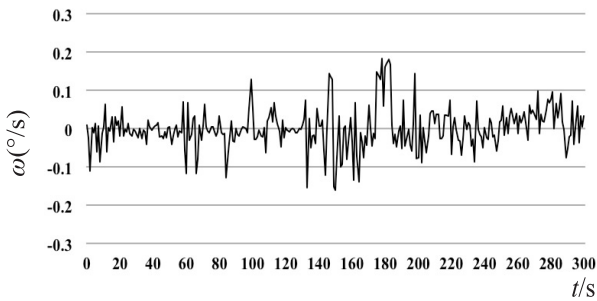


图 1 低速行驶旋转轴折线图

(2)快速直线行驶(15 km/h 以上)。  
按照实验结果,绘制试验期间的旋转轴折线图。经观察,本轮试验中,旋转轴的波动较之前更小,基本在±0.15 之间。

(3)低速路口转弯(15 km/h 以下)。  
驾驶车辆低速通过路口进行转弯试验,采集车辆在左转、右转期间的传感器数据,绘制旋转轴峰值与对应 counts 值,试验结果如表 2 所示。以表中的部分数据为依据作为下文拟定评判模型中的关键指标。

(4)快速路口转弯(15 km/h 以上)。  
与上述试验方法类似,驾驶车辆快速通过路口进行转弯试验,实验结果如表 2 所示。以表中的部分数

据为依据作为下文拟定评判模型中的关键指标。  
(5)变换车道。

通过车辆变道试验,采集车辆在正常行驶时进行左变道、右变道期间的传感器数据,实验结果如表 2 所示。由实验数据可知,车辆正常变道时,陀螺仪旋转轴峰值较转弯时其波动范围有所减小。

表 2 指标采集试验结果

序号	行为	车速/(km/h)	旋转轴峰值	counts 值
1	低速 左转	13.6	0.327	99.01
2		7.2	0.506	115.33
3		13.5	0.350	107.32
4		10.8	0.376	100.74
5		10.6	0.366	100.27
6	低速 右转	13.5	-0.313	99.00
7		7.5	-0.510	110.37
8		10.5	-0.417	101.59
9		9.8	-0.502	112.12
10		9.6	-0.497	112.73
11	快速 左转	19.8	0.304	100.97
12		18.0	0.367	101.95
13		18.9	0.366	107.32
14		15.4	0.349	98.163
15		18.9	0.334	100.74
16	快速 右转	19.8	-0.306	99.92
17		18.0	-0.350	102.21
18		16.2	-0.371	98.36
19		15.3	-0.373	99.05
20		16.4	-0.338	99.60
21	左向 变道	27.0	0.159	86.87
22		36.0	0.130	91.17
23		25.2	0.121	94.06
24		27.0	0.101	86.91
25		32.2	0.096	88.16
26	右向 变道	34.6	-0.179	94.52
27		35.1	-0.157	89.59
28		34.2	-0.155	84.50
29		34.4	-0.125	96.64
30		31.5	-0.115	87.68

在以上试验基础上,驾驶车辆以较为平稳的速度通过转弯半径较大的路段,采集传感器数据,并与车辆连续变道期间的旋转轴数据进行比对,绘制对比折线图,如图 2 所示。

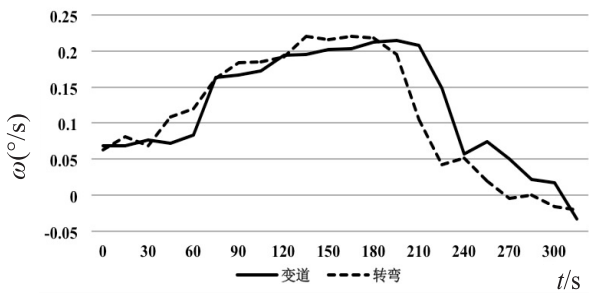


图 2 车辆变道与转弯对比折线图



经观察后可知,两种驾驶行为中二者的数据波形较为相似,且大半径转弯期间旋转轴峰值较之前有所降低,连续变道期间旋转轴峰值较正常变道峰值有所提高。因此,在实际判定中需要甄别出两者的区别,尽可能地减小错判情况。

### 2.2 确定评判模型

对以上的各种驾驶类型进行分析归纳后,可以拟定车辆转弯的判定模型。由于车辆在转弯与变道时都会对传感器造成一些影响,因此在构建模型时可结合 GPS 与车速等因素,尽可能地区分车辆转弯与变道的情况,提高评判的准确性。具体评判指标如下所示。

(1) 根据车辆启动时,三轴加速度传感器的初始值判定传感器的姿态,选定陀螺仪旋转轴;

(2) 车辆行驶后,根据其 GPS 坐标,与先前采集的 GPS 转弯点进行比对,仅当二者位置相距 30 m 之内判定模型方才有效,避免绝大多数的转弯错判,区分车辆变道与转弯半径较大的转弯;

(3) 当车辆转弯时,由于不同车速对陀螺仪所产生的影响有所不同,根据之前的试验结果,在此分别拟定旋转轴阈值与 counts 参考阈值;

(4) 若车速低于 15 km/h,取转弯的旋转轴阈值  $R = \pm 0.31$ ,counts 参考阈值  $C = 99.0$ ;

(5) 若车速高于 15 km/h,取转弯的旋转轴阈值  $R = \pm 0.29$ ,counts 参考阈值  $C = 98.1$ ;

(6) 通过读取 GPS 数据,获取车辆实时车速,根据以上阈值对车辆转弯进行判定,若判定为转弯后则之后的数秒内暂停转弯判定,避免重复。

## 3 实验结果与分析

为了检验本方法在实际使用中的具体效果,在车载设备中实现该评判模型,准备进行实际的车载实验,对判定方法进行相应评估。

### 3.1 实验方案

关于本方法的评估有两个评价指标:一是当车辆在不同环境与条件下通过转弯点时,设备能否检测到车辆的转弯姿态,并通过评判模型能否准确判断车辆转弯,即方法的准确性;二是当车辆在驶入转弯路口到设备侦测、判断为转弯点的时间是否及时,即方法的时效性。

启动实验车辆与车载终端,开始对车辆的行驶情况进行检测,经评判模型判断为转弯则自动标记。针对本方法的准确性评价,将程序中检测到的转弯点与实际路段中的转弯点进行比对,统计判定方法的准确性。此外,结合实际的路况,适当增加外界的干扰因素,如道路的颠簸、不规律的变道等。而针对本方法的时效性评价,手动标记车辆开始驶入转弯点的时间,将

其与程序所判断转弯点的时间点进行比对,计算检测延时,最终统计平均检测延时。

### 3.2 实验结果

挑选合适的路段进行若干次车载实验,待实验结束后,将实验数据导出,对其分析比对。具体实验结果如表 3 所示,其中的误判数表示在本次实验过程中车辆并未转弯却被误判为转弯的次数,平均延时表示车辆驶入转弯路口到评判模型得出转弯结论所需要的平均耗时。

表 3 实验结果

序号	实际转弯点数	正确数	误判数	平均延时/ms
1	5	5	1	574.3
2	4	4	1	1 189.3
3	6	6	0	1 153.1
4	5	4	1	1 040.3
5	7	6	1	1 273.4
6	11	9	0	880.5
7	11	8	0	908.8

在多次实验中挑选其中一段线路绘制陀螺仪旋转轴折线图,如图 3 所示。观察折线图各个峰值点,再结合实验中的实际路线,可知图 3 折线图各个拐点便代表各个转弯点。

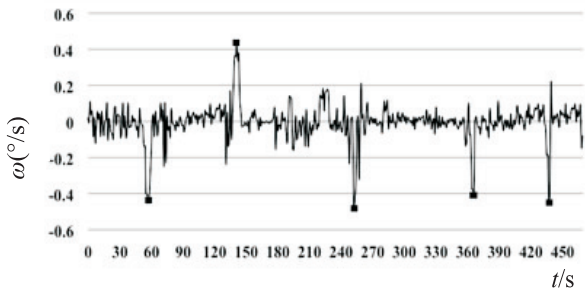


图 3 车辆行驶实验陀螺仪旋转轴折线图

以上实验结果表明,该方法在实际使用中可以较为准确地判断车辆转弯情况,基本可以满足公交运营时的正常使用。经统计后可得其平均准确率可达 88%,判断转弯所需的平均延时时间为 1 002.8 ms。

分析上述实验数据,探究导致本方法在实验中漏判、误判的原因及其延时的成因,通过对数据的分析比对,结果如下:

(1) 车辆在临近或远离转弯点时突然变换车道,受 GPS 精度影响,且变道时的传感器数值波动较大,一定程度上易造成误判;

(2) 车辆在转弯时若转弯半径较大,且车辆行驶得较为平稳时,传感器数值波动较小,未达到评判模型中的阈值标准,因而易造成漏判;

(3) 由于本判定方法的评判依据主要来源于三轴陀螺仪传感器与三轴加速度传感器,因此,仅能在转弯

行为开始之后,传感器才能侦测到相应变化,才可对其进行评判,从而造成评判时的延时。

### 4 结束语

文中通过应用传感器技术提出了一种基于 MEMS 传感器的公交车辆转弯判定方法。通过部署三轴陀螺仪传感器与三轴加速度传感器,将其运用到智能车载终端之上,实时监测车辆的行驶状况。建立相应的车辆转弯判定模型,同时结合预设转弯点 GPS 坐标,在目标范围内判断车辆转弯,及时播报转弯提醒,从而弥补基于 GPS 的全自动报站系统在路口转弯时的不足与缺陷。尽管如此,该方法还有许多改进之处,未来可部署多个三轴陀螺仪传感器与三轴加速度传感器,整合多个数据源,优化判断模型,提高结果的准确性与及时性。

### 参考文献:

[1] 颜世强,李树广. 公交车自动报站系统的设计[J]. 工业控制计算机,2004,17(6):51-51.

[2] 许连华,李学庆. 基于 GPS 的公交车自动报站系统[J]. 计算机工程,2005,31(23):191-192.

[3] 苏洁,周东方,岳春生. GPS 车辆导航中的实时地图匹配算法[J]. 测绘学报,2001,30(3):252-256.

(上接第 57 页)

文中对水声网络 MAC 协议的分析,为搭建水下通信节点实现数据包的稳定传输具有一定的指导意义。

### 参考文献:

[1] 刘磊,李宇,张春华,等. 水声通信网竞争式介质访问控制协议的研究[J]. 应用声学,2014(5):202-208.

[2] Chen K C. Medium access control of wireless LANs for mobile computing[J]. IEEE Network,1994,8(5):50-63.

[3] Zhou X D,Li J D,Yang J. A novel power control algorithm and MAC protocol for CDMA-based mobile ad hoc network [C]//Proc of military communications conference. [s. l. ]:[s. n. ],2005:754-760.

[4] Huang Pei,Wang Chen,Xiao Li,et al. RC-MAC;a receiver-centric medium access control protocol for wireless sensor networks[C]//Proc of IWQoS. [s. l. ]:[s. n. ],2010.

[5] 徐明,刘广钟. 三维水声传感器网络中高效路由协议的研究[J]. 计算机科学,2012,39(10):90-93.

[6] Sphinx. ns-3-tutorial[R/OL]. 2013. <http://www.nsnam.org>.

[4] 李圣怡,刘宗林,吴学忠. 微加速度计研究的进展[J]. 国防科技大学学报,2004,26(6):34-37.

[5] Hou H. Modeling inertial sensors errors using AV[D]. Calgary:Univ of Calgary,2004.

[6] 张杰,周栋明. GPS 驯服中无偏滑动平均滤波算法的研究[J]. 电子学报,2013,41(2):412-416.

[7] 傅建国,王孝通,李博,等. MEMS 陀螺随机误差模型研究[J]. 传感器技术,2005,24(3):75-77.

[8] Wang J H. An intelligent MEMS IMU-based land vehicle navigation system enhanced by dynamics knowledge[C]//Proc of US ION 61st ann meeting. [s. l. ]:[s. n. ],2005:27-29.

[9] Yun J,Ko Jaepyung. An inexpensive and accurate absolute position sensor for driving assistance[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement,2008,57(4):864-873.

[10] 刘艺柱,杨瑞兰. 采用滑动平均滤波法提高硬币识别准确率的研究[J]. 制造业自动化,2010,32(1):42-44.

[11] Papoulis A. Probability, random variables, and stochastic process[M]. 3rd ed. [s. l. ]:McGraw-Hill,1977:212-224.

[12] 林生荣,张辉. 三轴加速度传感器校正方法研究[J]. 传感器与微系统,2011,30(11):72-74.

[13] 管培培,丁宁伟,汤强,等. 三维加速度 counts 估算不同步速能量消耗应用初探[J]. 山东体育科技,2013,35(1):72-75.

[14] 常玉林,胡启洲. 城市公交线网优化的线性模型[J]. 中国公路学报,2005,18(1):95-98.

[7] 常秀丽. 基于 NS-3 的 AdHoc 网络路由协议研究与仿真[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.

[8] 张登银,张保峰. 新型网络模拟器 NS-3 研究[J]. 计算机技术与发展,2009,19(11):80-84.

[9] 栾俊,李太浩. 基于 NS-3 的 WiFi 场景仿真[J]. 农业网络信息,2012(1):18-20.

[10] 李艳蕊,施海彬. 基于 NS-3 的无线传感器网络物理层设计及仿真[J]. 电子测量技术,2009,32(8):52-55.

[11] 邢达波. 水声传感器网络路由算法仿真研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2009.

[12] Parrish N,Tracy L. System design considerations for undersea networks:link and multiple access protocols[J]. IEEE Journal on Selected Areas of Communications,2008,26(9):1720-1730.

[13] 彭琴,张杰,童峰. 基于 ALOHA 多址协议的水声传感器网络仿真研究[J]. 厦门大学学报:自然科学版,2007,46(S1):22-24.

[14] 王建强,李世威,曾俊伟,等. 基于 NS-3 的 VANETs 路由协议性能仿真研究[J]. 微计算机应用,2011,32(11):20-27.

基于MEMS的公交车辆转弯判定方法

作者：[罗进珮](#)，[李冰冰](#)，[郑雅羽](#)，[LUO Jin-pei](#)，[LI Bing-bing](#)，[ZHENG Ya-yu](#)

作者单位：[浙江工业大学 信息工程学院, 浙江 杭州, 310023](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

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

年，卷(期)：2015(7)

引用本文格式：[罗进珮](#). [李冰冰](#). [郑雅羽](#). [LUO Jin-pei](#). [LI Bing-bing](#). [ZHENG Ya-yu](#) [基于MEMS的公交车辆转弯判定方法](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(7)