

农用运输车果园路谱振动信号采集分析

王玉兴¹ 游展辉¹ 吴伟斌¹ 黄家曦¹
刘文超¹ 李泽艺¹ 侯晓捷² 游鑫辉³

1. 华南农业大学工程学院, 广州 510642; 2. 华南农业大学电子工程学院, 广州 510642;
3. 华南农业大学数字与信息学院, 广州 510642

摘要 采集农用轮式运输车在草地、泥地及 15.1° 坡度砂石路等 3 种不同果园路况下运行时的振动加速度信号, 利用 LabVIEW 信号处理模块对运输车的振动加速度信号进行分析, 通过对振动加速度信号进行二次积分得到振动位移信号, 研究农用运输车果园路谱振动信号特征并进行相关性分析。结果表明, 农用轮式运输车的速度和装载质量对草地的路面不平度信号影响显著; 坡度对路面不平度信号的影响最大, 其次是速度, 最后是装载质量。

关键词 山地果园; 农用运输车; 虚拟仪器; 振动加速度; 振动位移; 信号分析

中图分类号 S 24; S 237 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2018)04-0024-06

在山地果园果品收集和农机物资运输过程中, 山地特殊环境使得驾驶农用运输车会遇到各种复杂的路况, 这些复杂的路况会导致运输车的平顺性变差、驾驶舒适性明显降低、所运输新鲜果品的品质损坏, 严重情况下还会对运输车内的精密仪器产生各种振动干扰^[1-4]。运输车在山地果园运行时, 不同的路面路况会产生不同特征的振动信号, 当运输车为实现自动驾驶而加装精密导航仪器时, 就必须有专门的减震装置来为这些精密仪器减震, 防止不良振动影响仪器精度和寿命。目前国内对路面路谱的大部分研究基于标准行车公路进行的, 而针对山地果园路谱的振动加速度研究甚少, 基于这种现状, 本研究主要针对山地果园的特殊路况进行。为了适应果园复杂路况, 并在后续山地果园运输车加装精密导航仪器, 本研究重点对草地、果园泥路和砂石坡度路等 3 种典型山地路况进行车速和振动加速度数据采集和分析, 并针对山地果园路谱振动加速度信号和影响因素进行分析研究, 为山地果园农用运输车加装合适减震机构提供依据。

1 材料与方法

1.1 振动和速度信号采集系统研究框架

采用五轮仪和 NI 数据采集卡分别采集运输车在山地果园不同路况匀速行驶时的车速和受路面激励产生的振动加速度数据^[5], 获得运输车的车速和振动加速度信号, 再利用声音和振动信号处理分析方法对运输车的振动加速度信号进行分析处理^[6-8]。图 1 为振动和速度信号系统结构框图。

1.2 模拟果园路况选定

如图 2 所示, 分别选取长 100 m 的草地、泥路和坡度砂石路等不同类型道路进行测试。在果园泥路进行测试时, 当载荷为 150 或 200 kg 时, 测试车辆无法采用高档位行走, 此处只进行低速挡位和中速挡位测试。

1.3 仪器安装及速度测定

速度和振动加速度信号采集仪器安装示意图如图 3 所示。测试采用的运输车的结构尺寸长、高、宽分别为为 2 780 mm×1 200 mm×1 390 mm, 整车质量 450 kg、车轮规格 R 250 mm 和车轮胎压 0.28

收稿日期: 2018-01-22

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项合作研究任务(201403036); 广东省现代农业产业技术体系创新团队—茶叶产业创新团队设施与机械化岗位专家(2017LM1093); 广东省省级科技计划项目(2017A090905020); “十二五”农村领域国家科技计划课题研究子任务(2014BAD16B0103)

王玉兴, 博士, 教授. 研究方向: 农业机械设计和机电一体化. E-mail: scauwyx@scau.edu.cn

通信作者: 吴伟斌, 博士, 教授. 研究方向: 机电一体化和信息技术应用. E-mail: wuweibin@scau.edu.cn

MPa。果园运输车分别按照不同速度和不同载荷测试，确定振动影响因素间的关系。图 3 中车厢的速度显示记录仪与五轮仪霍尔传感器连接，车厢所载

蓝色水桶每桶各 25 kg。分别以 50、100、150 和 200 kg 装载 4 组，每组测试重复 3 次。

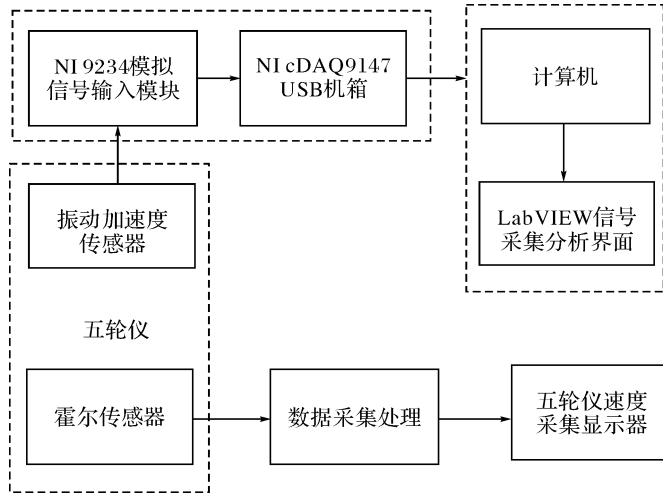
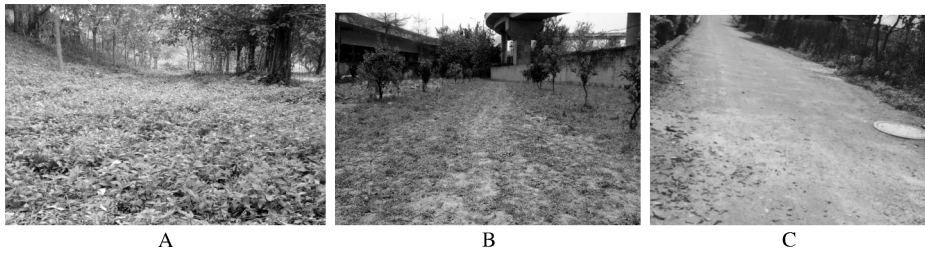


图 1 振动和速度信号采集系统结构框图

Fig.1 Structure block diagram of vibration and speed signal collecting system



A: 草地 Grassland; B: 泥路 Mud road; C: 15.1°坡度砂石路 15.1° slope of dinas road.

图 2 果园模拟路况

Fig.2 The simulated road position of the orchard



1.信号采集计算机 Signal collecting computer; 2.五轮仪 Fifth wheel instrument; 3.振动传感器位置 The situation of the vibration sensor; 4.速度显示器 Speed monitor.

图 3 运输车测试图

Fig.3 Plan of the transport test

2 结果与分析

2.1 运输车速度标定

在不同路况条件下对低、中和高速 3 个挡位各

分别进行 3 次测试，测试结果最后取均值，结果如表 1 所示。由表 1 可知，运输车在载荷相同的情况下，不同路况对运输车速度存在一定影响；同种路况条件下，随着载荷增加，相同挡位车速会下降。

2.2 振动信号采集处理

本研究通过在五轮仪轮轴加装 PCB 352C33 振动加速度传感器，对轮轴振动加速度信号进行采集，然后通过计算机对该信号进行实时处理，并保存数据。振动加速度信号通过上位机采集显示，研究表明，甘蔗地路谱加速度响应范围为 0~6 Hz，工程采样率 10 倍于加速度最大频率^[9-10]。根据实验研究要求，采样率为 1 kHz。最后将加速度信号进行低通滤波处理，以去除仪器上的底噪杂波。

本设计对振动加速度信号要进行后期处理分析，采用LabVIEW图形化编程软件，利用软件原有

表 1 不同路况和不同载荷速度均值
Table 1 The statistics of average speed in different road positions and load

路况 Road conditions	载荷/kg Load	高速挡位 High speed gear	中速挡位 Medium speed gear	低速挡位 Low speed gear	km/h
泥路 Mud road	50	3.90	2.23	1.23	
	100	3.60	2.33	1.27	
	150	/	2.27	1.13	
	200		2.00	1.20	
草地 Grassland	50	5.00	2.63	1.43	
	100	4.56	2.46	1.40	
	150	4.36	2.40	1.33	
	200	4.23	2.36	1.30	
15.1°坡度细 砂石路 15.1° slope of dinas road	50	/	2.33	1.13	
	100		2.00	1.13	
	150		2.00	1.13	
	200		1.93	1.16	

的信号显示、语谱图分析和频谱分析功能模块，整合成加速度信号时频域分析软件系统^[10-14]，由于采用原有功能模块居多，因此，程序面板十分简洁(图 4)。

为防止数据溢出，系统每进行 1 次循环便加入 1 ms 的延迟让内存释放。振动加速度采集、处理和保存数据过程如图 5 所示，通过 PCB 352C33 振动加速度传感器将电压信号传输到 NI 9234 模数转换采集卡上，NI 9234 将信号放大和预滤波处理后传输到计算机处理，再保存。

2.3 振动信号时域分析统计

振动加速度信号分别进行时域振动水平分析和频谱图分析，并根据路况和载荷进行分类^[15-18]。在草地、果园泥路以及 15.1°坡度细砂石路等路况下，不同载荷和速度条件，振动加速度信号的均方根、指数平均水平、峰值和极差统计结果见表 2。由表 2 可知，速度挡位越高振动加速度剧烈程度越高；同时泥路路况下的加速度均方根值总体最小，由于泥路路面越软，加速度功率谱密度的峰值越大，其所对应的峰值频率越低，路面变形越大，运输机的低频激励越大，即地面变形增大了车辆的低频振动。因此，在泥路情况下振动情况尤其剧烈^[19-21]。

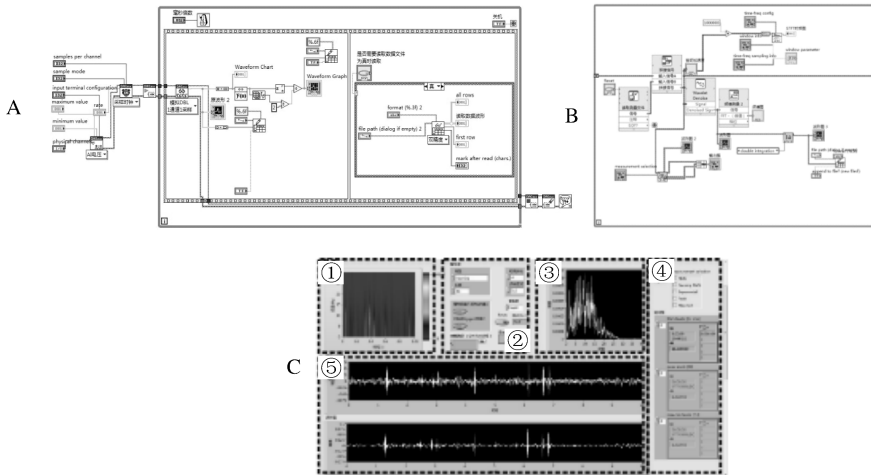


图 4 信号读取分析程序框图

Fig.4 The program block diagram of signal read and analysis

2.4 路面不平度激励信号试验

由于不同的速度和不同的载荷会影响路面不平度激励信号的幅值，因此，需要通过对振动加速度信号进行二次积分得到振动位移，分析路面不平度激励信号特征。选择运输车作业的速度和装载质量作为因子，以分析所得的振动频率均值为指标。速度分低速、中速与高速，载荷分别为 50、100、200 kg，

每种组合进行 3 次试验，NCCZR 试验完成后，每种因子取其均值进行分析。

1) 草地路况。运输车在草地中高速、中速、低速等挡位速度分别为 4.4、2.35、1.35 km/h，载荷分别为 50、100、200 kg，试验结果见表 3，方差分析见表 4。由表 4 可得出，速度和载荷对草地的路面不平度信号影响显著。

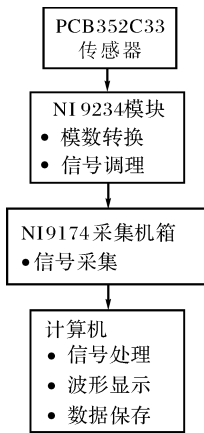


图 5 振动加速度采集信号存储过程

Fig.5 The storage procedure of signal collection of vibration acceleration

表 2 各路况振动加速度时域特征统计

Table 2 The feature statistics of vibration acceleration time domain of different situation

9.8 × 10 ⁻³ m/s ²					
路况	挡位	载荷/kg	均方根 RMS	峰值 Peak	极差 Range
Road condition	Stalls	Load	根 RMS	Peak	Range
草地路 Grassland	低速挡 Low speed gear	50	3.308	19.52	34.67
		100	3.754	28.22	41.50
		150	3.393	13.57	24.22
		200	3.831	16.25	27.30
	中速挡 Medium speed gear	50	10.120	57.89	92.36
		100	9.768	71.25	99.73
		150	9.700	50.05	80.18
		200	8.945	47.59	78.61
	高速挡 High speed gear	50	38.520	245.90	353.50
		100	36.150	293.10	417.70
		150	36.870	274.40	364.60
		200	40.920	269.80	381.60
泥路 Mud road	低速挡 Low speed gear	50	2.961	16.03	29.18
		100	3.027	28.27	42.37
		150	4.227	31.81	49.35
		200	3.560	19.15	33.45
	中速挡 Medium speed gear	50	11.755	56.28	96.40
		100	7.921	61.45	116.59
		150	9.194	53.53	83.54
		200	11.913	74.85	126.69
	高速挡 High speed gear	50	34.780	172.32	264.86
		100	42.735	189.78	296.71
		50	4.301	11.45	20.28
		100	4.889	12.74	24.35
细砂石路 Dinas road	低速挡 Low speed gear	150	4.568	18.82	33.86
		200	4.265	17.98	32.40
		50	12.81	30.42	59.70
	中速挡 Medium speed gear	100	10.82	37.21	60.78
		150	11.03	52.25	98.49
		200	11.09	44.70	84.56

表 3 运输车在草地路况的试验结果

Table 3 Test result on grassland of transporter

试验编号 Test number	速度 v/ (km/h) Velocity	载荷 m/kg Load	位移信号频率 f/Hz Displacement signal frequency
1	4.40	50	3.5
2	4.40	100	4.5
3	4.40	200	5.5
4	2.35	50	2.0
5	2.35	100	3.0
6	2.35	200	3.5
7	1.35	50	2.0
8	1.35	100	2.5
9	1.35	200	3.0

表 4 运输车在草地路况下的试验方差分析

Table 4 Variance analysis on grassland of transporter

方差来源 Source of variance	自由度 Degree of freedom	平方和 Sum of square	均方根 RMS	F	P
速度 Velocity	2	6.889	3.444	49.6	0.001 50
载荷 Load	2	3.389	1.694	24.4	0.005 74
误差 Errors	4	0.278	0.069		

2) 泥路路况。在中高速、中速、低速等挡位速度分别为 2.4、1.4 km/h, 装载质量分别为 50、100、200 kg, 试验结果如表 5 所示, 方差分析见表 6。由表 6 可知, 速度和装载质量对泥路路况的路面不平度信号影响显著。运输车在载质量不超 200 kg 和同种路况下, 运输车随着载荷增加, 运输车速度降低, 在高挡位随着载荷增加车速下降尤为明显。

表 5 运输车在泥地路况下的试验结果

Table 5 Test result on mud road of transporter

试验号 Test number	速度 v/ (km/h) Velocity	载荷 m/kg Load mass	位移信号频率 f/Hz Displacement signal frequency
1	2.40	50	2.5
2	2.40	100	3.0
3	2.40	200	5.0
4	1.40	50	2.0
5	1.40	100	2.25
6	1.40	200	2.75

表 6 运输车在泥地路况的试验方差分析

Table 6 Variance analysis on mud road of transporter

方差来源 Source of variance	自由度 Degree of freedom	平方和 Sum of square	均方根 RMS	F	P
速度 Velocity	1	0.666 7	0.666 7	64	0.015 3
载荷 Load	2	0.770 8	0.385 4	37	0.026 3
误差 Errors	2	0.020 8	0.010 4		

3) 坡度路况。为了探究坡度、装载质量和速度

对路面不平度信号的影响,以分析所得的集中频率范围的平均值为指标,选择运输机作业的速度、装载质量和坡度作为因子,进行三因素三水平的正交试验分析(表 7、8、9)。经过 SPSS 分析,可得路面不平度信号的方差分析(表 10)。由表 10 可知,坡度对路面不平度信号的影响最大,其次是速度,最后是装载质量。

表 7 坡度路况因素水平

Table 7 Factor level of slope dinas road

水平 Level	坡度/(°) Slope	速度/(km/h) Velocity	载荷/kg Load
1	0	1.3	50
2	7.5	2.5	100
3	15	4.5	200

表 8 坡度路况试验方案

Table 8 Test programme of slope dinas road

水平 Level	坡度/(°) Slope	速度/(km/h) Velocity	载荷/kg Load
1	1(0)	1(1.3)	1(50)
2	1(0)	2(2.5)	2(100)
3	1(0)	3(4.5)	3(200)
4	2(7.5)	1(1.3)	2(100)
5	2(7.5)	2(2.5)	3(200)
6	2(7.5)	3(4.5)	1(50)
7	3(15)	1(1.3)	3(200)
8	3(15)	2(2.5)	1(50)
9	3(15)	3(4.5)	2(100)

表 9 运输车在坡地路况下的试验结果及分析

Table 9 Test result on slope dinas road of transporter

试验编号 Test number	坡度/(°) Slope	速度/(km/h) Velocity	载荷/kg Load	指标 Index
1	1	1	1	3
2	1	2	2	2.3
3	1	3	3	3.6
4	2	1	2	2.6
5	2	2	3	3.8
6	2	3	1	3.6
7	3	1	3	2.8
8	3	2	1	3.3
9	3	3	2	3.7
I	8.9	8.4	9.4	
II	10	9.4	8.2	
III	9.8	10.9	10.2	
R	1.1	2.5	2.0	

表 10 路面不平度信号的方差分析

Table 10 Variance analysis of road roughness signals

方差来源 Source of variance	平方和 Sum of square	自由度 Degree of freedom	均方根 RMS	F	Sig
坡度 Slope	0.576	2	0.288	0.359	0.736
速度 Velocity	0.429	2	0.214	0.268	0.789
载荷 Load mass	0.249	2	0.124	0.155	0.866
误差 Errors	1.602	2	0.801		

3 讨论

五轮仪通过外接的测速器,对运输车在草地和泥地路况下的低、中和高挡位速度进行标定,不同挡位速度分别在 50、100、150、200 kg 载荷条件下进行多次重复测试。由于泥地情况运输车牵引力不足,因此,泥地的 150、200 kg 载荷实验只能取消。在载荷相同的情况下,运输车在草地路况速度比泥地快 1 km/h;在同种路况下,载荷增大,车速降低。根据时域信号的时域特征统计,在不同路况下,对 4 种载荷和 3 种速度条件进行分析。对草地和泥路路况下的振动加速度时域特征的均方根值统计分析可得,低速挡位和中速挡位振动分别小于 10、15 g,高速挡位影响偏高,均在 35 g 以上;速度检验统计量值的概率 P 值为 0.001 50,装载质量的检验统计量值的概率 P 值为 0.005 74,表明速度和载荷对草地的路面不平度信号影响显著。不同路况下,载荷一定,振动加速度频率随着运输机速度提高振动频率也会升高。在同一路况下,载荷对振动加速度的影响会随着车速减小而有所影响。在路况一定的情况下,载荷增大,车速会降低。影响程度会随着车速挡位的降低而变弱,尤其是运输车在低速情况下,载荷对草地的路面不平度信号影响程度尤为不明显。通过对振动加速度二次积分,分析振动位移信号获得的路面不平度激励信号的特征,对路面不平度激励信号的试验分析,其中速度的 P 值为 0.001 50、装载质量的 P 值为 0.005 74,表明速度和装载质量对草地的路面不平度信号影响显著。此外,坡度、速度和载荷的显著性水平 Sig 值分别为 0.736、0.789 和 0.866,表明坡度对路面不平度信号的影响最大,其次是速度,最后是装载质量。

参 考 文 献

- [1] 曹正清,施双容,阎勇.农用运输车辆售后服务信息管理系统软件的开发[J].农业工程学报,1997,13(1):159-162.
- [2] 田东波,张伟夫.日本农业机械发展状况的统计分析[J].江苏理工大学学报,1998,19(6):19-22.
- [3] 周杰,徐红梅,王君.基于 ADAMS 的轮式拖拉机行驶平顺性研究[J].华中农业大学学报,2017,36(3):93-100.
- [4] 何洪阳,陈春俊,缪晓郎,等.高速列车表面压力测试信号的振动干扰分离研究[J].振动与冲击,2015,34(19):71-75,90.
- [5] 李忠国,张为公,周耀群,等.谱减在基于动载的路面不平度识别中的应用[J].东南大学学报(自然科学版),2007,37(1):51-55.
- [6] 张宇波.基于信号处理的声音模式识别过程及方法研究[J].计

- 计算机仿真,2004,21(9):134-137.
- [7] 薛富春,张建民.移动荷载作用下高速铁路轨道-路基-地基耦合系统振动加速度的空间分布特征[J].岩土工程学报,2014,36(12):2179-2187.
- [8] 李臻,贾洪钢,范旭峰.基于振动加速度信号与应力信号的掘进机载荷识别方法[J].工矿自动化,2013,39(2):6-9.
- [9] HUANG Y D, XIAO L, ANDIE P, et al. Evolution of joint formation in resistance microwelding of crossed Pt-10%Ir and 316 LVM stainless steel wires[J]. Journal of Wuhan University of technology (Materials science edition), 2015, 30(6): 1286-1290.
- [10] 纪少波.基于柴油机缸盖振动加速度信号提取缸内燃烧过程信息的研究[D].济南:山东大学,2008.
- [11] 范志达,李尚平,麻芳兰,等.甘蔗地路谱对切割质量影响的仿真分析与试验[J].农业工程学报,2012,28(1):37-41.
- [12] 张春友,侯莹莹,生兆洲.基于小波变换和 Labview 的内燃机振动信号处理[J].中国农机化学报,2015,36(1):233-237.
- [13] 郑党,鲍鸿,张晶.基于小波语谱图分析的语音去噪技术[J].计算机工程与应用,2016,52(4):94-98.
- [14] 潘泉,孟晋丽,张磊,等.小波滤波方法及应用[J].电子与信息学报,2007,29(1):236-242.
- [15] 潘凌云,孙达传,吴美朝.语音识别中基于语谱图的语音音素分割方法[J].杭州大学学报(自然科学版),1995,22(1):42-46.
- [16] 梅森.基于 FFT 频谱分析算法的虚拟示波器的研制[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.
- [17] 黄翔东,王兆华.全相位 FFT 相位测量法的抗噪性能[J].数据采集与处理,2011,26(3):286-291.
- [18] 李国兴,王铁,张晓东.大波形路谱数据对自卸车车架疲劳寿命影响的研究[J].机械传动,2013,37(11):151-154.
- [19] 孙蓓蓓,张晓阳,王戡,等.基于轮胎与地面接触模型的非公路车辆平顺性[J].东南大学学报(自然科学版),2006,36(6):937-940.
- [20] 张晓阳,孙蓓蓓,许志华,等.考虑地面变形特性的车辆地面耦合系统的建模与仿真[J].机械工程学报,2009,45(12):212-217.
- [21] QUYNH L V, 张建润,刘晓波,等.振动压路机用于不同土壤地面的平顺性评价[J].农业工程学报,2013,29(9):39-47.

Acquisition and analysis of vibration acceleration signal of pavement spectrum of agricultural orchard transporter

WANG Yuxing¹ YOU Zhanhui¹ WU Weibin¹ HUANG Jiayi¹
LIU Wenchao¹ LI Zeyi¹ HOU Xiaojie² YOU Xinhui³

1. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. College of Electronic Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

3. College of Mathematics and Informatics, South China Agricultural University,
Guangzhou 510642, China

Abstract This article is aimed to research the vibration acceleration signal of agricultural wheeled transporter when working in grassplot, mud road and 15.1° slope of dinas road conditions. And then the vibration acceleration signal was input in the LabVIEW's signal processing model to analyze and extract its feature. At last, through the correlation of vibration displacement signal, which is acquired by twice integral operation based on the vibration acceleration signal, its characteristics were analyzed and extracted. The results of the vibration displacement signal indicating that speed and load weight significantly affect the pavement roughness of grass. The significant value of slope, speed and load weight indicating that slope has the biggest effect on the pavement roughness signal followed by speed and load mass.

Keywords mountainous orchard; agriculture truck; virtual instrument; vibration acceleration; vibration displacement; signal analysis

(责任编辑:陆文昌)