

# 基于激光三维扫描的沉箱地貌显示系统研究\*

罗瑞华, 曹其新, 李宝顺

(上海交通大学机器人研究所, 上海 200240)

摘要: 本文介绍了一种基于激光三维扫描的沉箱地貌显示系统, 分析了该系统实现的主要难点和关键技术。该系统能以点云的形式实时显示大范围场景的三维立体模型, 具有较大的工程应用前景。

关键词: 激光三维扫描; 运动控制; 高速数据采集; OpenGL

中图分类号: TN944.8 文献标识码: A 文章编号: 1009-9492(2007)11-0035-03

## 1 引言

沉箱广泛地应用于桥梁基础、隧道基坑、高层建筑基础、地下工程等建设领域。它通过在地面下部设置一个气密性高的钢筋混凝土结构工作室, 向工作室注入压缩空气, 抑制地下水, 使设备在干涸的环境下施工。操作人员在地面控制室内操作挖掘机对沉箱内的地表进行遥控挖掘<sup>[1]</sup>。在挖掘过程中, 实时了解沉箱内的地貌环境状况, 是操作人员必需关注的重点。使用激光三维扫描技术能对中近距离的宽场景、大物体进行快速高精度扫描, 以一定浓密度的点云来表示物体的三维图像信息, 为实时显示沉箱内的地貌环境提供了新的方法。

## 2 系统总体方案设计

系统工作原理如图 1 所示, 激光扫描传感器固定在回转云台上, 使回转云台沿激光扫描平面的垂直轴方向旋转。所选用的激光扫描传感器是德国 SICK 公司生产 LMS291-S05 型, 它可以在 26ms 内完成 180 度平面视角范围的扫描, 扫描方式是每隔 0.5 度发送一次激光脉冲测距, 测量范围可达 80m, 测量精度为 10mm。当激光扫描完一个平面时, 扫描点的测量数据被送至地面控制室的主机内, 主机接收完扫描数据后, 立即发出下一次转动指令, 使回转云台运转至下一个扫描点。通过控制回转云台按一定规律执行步进转动, 同时对激光扫描传感器的输出不断进行数据采集和处理, 就可得到一定分辨率的空间点云信息。其中每个采样点的信息包括: 采样点到激光器的

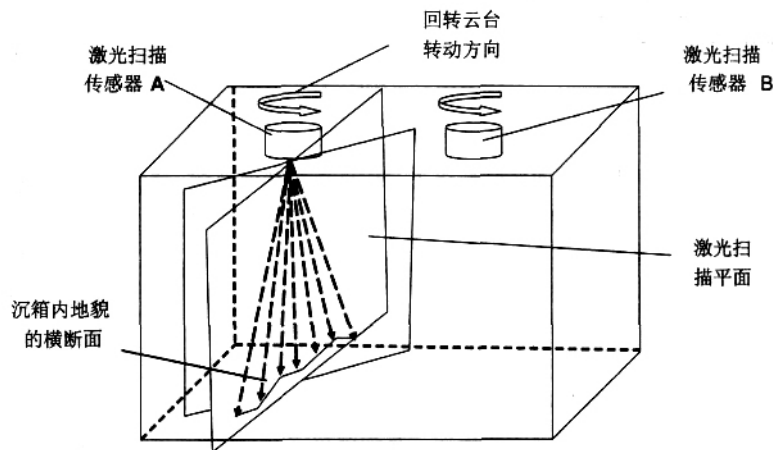


图 1 系统工作原理示意图

距离  $r$ , 激光扫描的方向角 以及回转云台的转角。利用上述信息组成的点图可以表示对目标物体表面的三维采样结果。

为了提高成像分辨率, 获得更多的采样点信息, 系统采用了 DSP 控制器控制两台步进电机带动两个激光扫描传感器同时扫描, DSP 通过控制 PWM 脉冲模块产生的脉冲个数和脉冲频率来控制步进电机的转角和转速。由于沉箱工作室到在地面控制室的距离有 150 米左右, 所以在主控室的主机端扩展了 RS-422 串口卡、RS-232 串口卡和 CAN232MB 协议转换器, 用来实现主机与激光扫描传感器、DSP 运动控制器的远程通信。

系统主要硬件构成如图 2 所示。

系统主机使用的是 Windows 操作系统, 软件程序采用

\* 上海市科委重点科研项目 (编号: 04DZ12006)

Visual C++ 6.0 开发。Visual C++ 提供了一个支持可视化编程的集成开发环境，而且编写的程序具有很好的实时性。使用 Visual C++ 6.0 提供的 MSComm 控件控制串行端口发送和接收数据。在串口初始化时，一个 MSComm 控件对应着一个串口，对每个串口分别编写初始化设置和发送、接收数据程序。

### 3 主要难点和关键技术

#### (1) 激光三维扫描的运动控制

激光三维扫描的运动控制应满足以下要求：

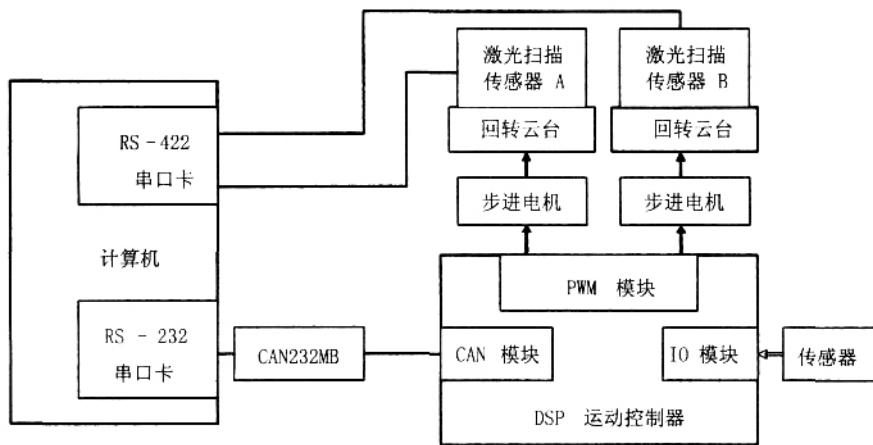


图 2 系统主要硬件构成

系统应满足一定的实时性要求，能迅速实现外部响应。回转云台能保证在指定时间内，平稳扫描 180 度视场，能够实现正反两个方向的连续或单步灵活转动。

系统应具有良好的功能扩展性。对于附加的传感器的需要，能够在小幅度增加系统复杂性和成本的前提下方便地实现。

系统应具有较高的稳定性和抗干扰特性，要保证各功能单元之间数据的精确快速传输，及控制指令的正确执行，还要保证系统的平稳运行，为提高扫描质量创造条件。

根据运动控制要求，本系统采用以 TMS320LF2407A DSP 作为运动控制器的开环控制方案。基于 DSP 运动控制器构成的电机控制系统事实上是一个单片系统，因为整个电机控制所需的各种功能都可以由 DSP 控制器来实现，可以大幅度缩小目标系统的体积，减少外部元器件的个数，增加系统的可靠性。另外，由于各种功能都通过软件编程来实现，目标系统升级容易，扩展性、维护性都很好<sup>[2]</sup>。为保证足够的扫描分辨率，回转云台每次转动的角度都很小，所以必需在步进电机和回转云台之间加减速器。减速器的作用除了调节传动比，还可以匹配转动惯量。为了消除累积误差，在回转云台的原点位置设置了光纤传感器来检测回转云台是否到达原点，每当回转云台转完一个周期时，都是从原点位置重新开始启动转动角度的计数。

在 DSP 的运动控制主程序中，根据 CAN 模块接收到的主机指令执行正向转动、反向转动、清零归原点运动。

回转云台转动的方式是每次步进 0.9 度。当回转云台转动到位后，转动成功标志位有效，DSP 向主机返回转动成功消息。回转云台转动的流程如下：

回转云台从原点位置正向快速转动 0.9 度——停止并等待——两个激光器开始扫描——主机接收完扫描数据——回转云台正向快速转动 0.9 度——……

回转云台从原点位置开始累计转动 200 次后，正好转动 180 度，然后开始反方向快速转动 0.9 度，直到转动 200 次到达原点位置，完成一个转动周期的循环。当回转云台转完一个 180 度时，激光已经扫描完整个沉箱空间，所以系统扫描的成像周期是回转云台转动周期的一半。

#### (2) 高速数据采集与运动控制的同步

激光扫描传感器的通信波特率有四种设置：9.6/19.2/38.4/500 k Baud。由于激光扫描获取的数据量很大，为了减少系统成像周期，传感器的数据输出接口必需采用高速输出方式。但是在使用 500k 波特率进行高速串口数据采集过程中，发现主机与激光器之间有时候会通信失败，通信失败的概率在 9% 左右。在用

WIN32 API 函数编写的串口调试程序与激光器进行 500k 波特率通信调试时，一样会发生这种现象。用其它波特率通信则没有任何问题<sup>[3]</sup>。当回转云台转动到某个位置后，如果在该位置激光扫描的数据接收失败，则会造成信息帧的丢失或者错位。在本系统中，通过运用线程同步技术和数据接收超时重发机制，有效解决了这个问题。

线程同步是指线程之间所具有的一种制约关系，一个线程的执行依赖另一个线程的消息，当它没有得到另一个线程的消息时应等待，直到消息到达时才被唤醒。VC++ 提供了同步对象来协调多线程的并行，其中事件是最灵活的线程间同步对象<sup>[4]</sup>。为了对 DSP 和两个激光扫描传感器的数据收发线程进行同步，在主程序中设置了三个事件对象：

dspComuEvt: 主机正确接收到 DSP 返回的数据；

las1ComuEvt: 主机正确接收到激光扫描传感器 A 的扫描数据；

las2ComuEvt: 主机正确接收到激光扫描传感器 B 的扫描数据。

在创建这三个事件时都设置成是人工重置事件对象，初始状态都为无信号状态。在 DSP 和激光扫描传感器对应的串口接收数据线程中判断接收到的 DSP 返回数据和激光扫描数据是否正确，判断的根据是三个对应串口接收到的数据长度是否为各自通信协议中定义的数据长度。如果主机正确接收到数据，则设置相应的事件对象为有信号状态。

在数据处理的主线程中，调用了 WIN32 API 函数

WaitForSingleObject 来监视事件信号，WaitForSingleObject 函数会阻塞自身的运行，直到以下两种情况出现后才返回：

等待的对象处于有信号状态；

等待的超时时间到，且指定的对象仍处于无信号状态。

当主机发出激光扫描指令后，如果在等待的超时时间内接收到激光返回的扫描数据，则转入数据处理；如果在等待的超时时间内没有收到扫描数据，则重发激光扫描指令。当主机判断超时三次后激光扫描的数据接收事件仍处于无信号状态，则放弃这次扫描数据，本次扫描的点坐标都为零。然后使回转云台转动计数标志加 1，向 DSP 发送下一次转动指令，并把 dspComuEvt、las1ComuEvt 和 las2ComuEvt 复位为无信号状态，为下一次接收数据做好准备。

### (3) 点云的成像显示和实时更新

点云的显示是通过在 VC++6.0 中嵌入 OpenGL 来实现的。OpenGL 可以绘制复杂的几何造型，其与硬件无关的特性使它可以在不同的硬件平台上实现。获取的点云数据经过 OPENGL 函数的视图变换、造型变换、投影变换、视口变换以后，就可以在屏幕上显示出三维立体效果。

我们以激光扫描传感器 A 的位置为原点建立直角坐标系，扫描数据的坐标值都是在这个坐标系中确定的。假设另一个激光器 B 在坐标系中的位置为 (TRANSFORM\_X, TRANSFORM\_Y, 0)，则激光器 B 扫描的数据转化为坐标数据只需要在计算公式上加上一个偏移量。OpenGL 初始观察点设置为以原点位置为观察点，观察方向对着目标物体，这样可以清楚观察到沉箱工作室的全貌。

为了方便用户观察，三维显示图形设计成具有平移、旋转、缩放等功能。通过 VC++ 的 OnMouseMove 函数来获取鼠标指针的当前位置信息，当用户拖动鼠标时，通过调用 OpenGL 的场景变换函数 glTranslatef () 和 glRotatef () 来跟随鼠标操作。

glTranslatef (m\_xpos, -m\_ypos, -m\_zoom); //跟随鼠标操作进行平移变换，通过移近或移远图像可以实现对目标的局部放大和缩小观察

glRotatef (m\_xrot, 1.0f, 0.0f, 0.0f); //跟随鼠标操作进行旋转变换

glRotatef (m\_yrot, 0.0f, 1.0f, 0.0f);

点云的显示是通过调用 OpenGL 函数 glBegin (GL\_POINTS);

```
{
    glVertex3f* ()
}
```

glEnd (); 来实现。

其中 glVertex3f\* () 是要显示的坐标点，参数是坐标点的三个坐标值<sup>[9]</sup>。

为了得到实时更新的图像，定义了两个全局数据结构数组来存放激光扫描传感器的采样点数据。假设回转云台从 0 位置开始转动，转动 200 次后完成了一个成像周期，然后开始反方向转动。当再转到第 199 位置扫描时，新的

扫描数据就会替代原来第 199 位置对应的数据，依此类推，新的扫描数据逐渐更新旧的数据，在屏幕上就可以看到实时更新的点云图像，而且屏幕上始终显示的是完整的三维图像。

## 4 实验结果分析

图 3 显示的是在实验室环境下激光扫描成像的效果。实验室长约 8 米，宽 7 米，高 5 米，两个激光扫描传感器放置在实验室的两个角落向上扫描。为了方便观察，对扫描图像翻转了 180 度，所以实验室的天花板位置是显示在图像下方。图中还设置了坐标标尺用来估算深度。图 4 显示的是用鼠标对图像进行平移、旋转、缩放操作以后的观察效果。

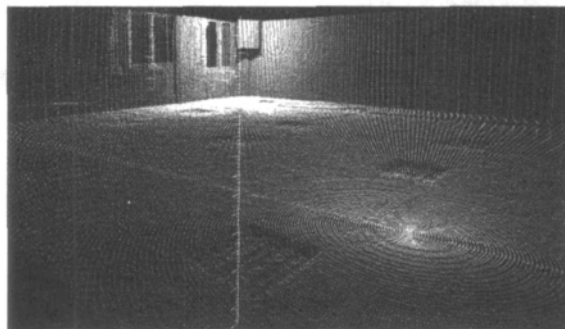


图 3 实验室环境的激光三维扫描成像效果

从扫描图像可以看出，本系统建立了整个周围环境的立体模型，能清楚地分辨出目标物体位置。图中可看出天花板上日光灯管组的个数和形状，每个日光灯管组的实际长度约为 0.6 米。物体离激光器的距离越近，点云越密集，成像越清晰。系统的成像周期大约为一分钟左右。成像的精度与激光扫描传感器的扫描分辨率、回转云台每次转动的角度大小密切相关。回转云台每次转动的角度间隔越小，激光扫描的横断面就越密集，点云成像的分辨率就越高，但是成像周期也会相应增加。

从图中也可以看出，在同一个平面上的点云并不是完全均匀和线性排列的，这主要是因为受到激光测量误差、步进电机转动误差以及目标反射面噪声信号的影响，但是这种误差并不影响对地貌环境整体情况的判断。

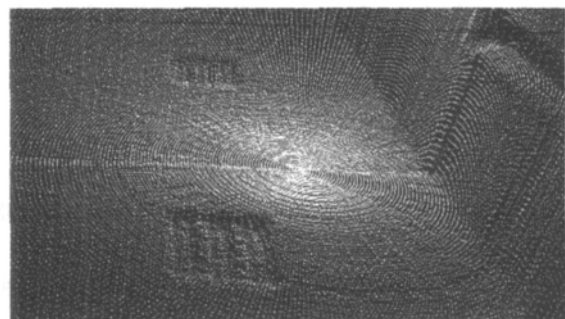
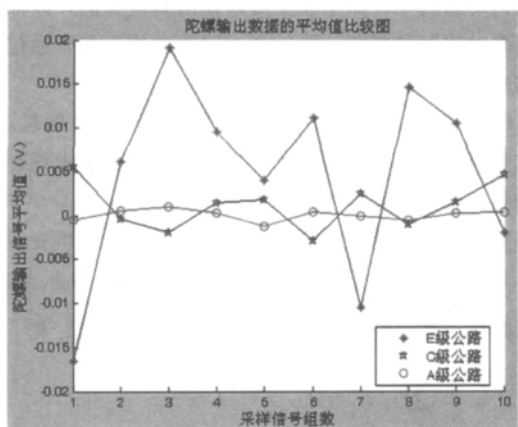


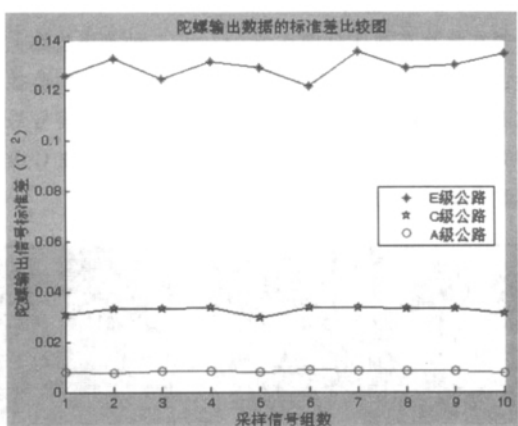
图 4 不同视角的图像观察效果

(下转第 86 页)





(a) 平均值



(b) 标准差

图 5 在三种等级路况跑车陀螺数据统计特征量比较图

况越差 (公路等级越低), 各组采样获得的陀螺输出信号的平均值差异越大; 而路况越好, 各组采样陀螺数据的平均值差异较小; 各级公路之间的陀螺电压平均值差别无明显规律, 故不能作为判断路况等级的依据。

然而标准差指标反映了实际数据偏离平均值的程度,

(上接第 37 页)

## 5 结束语

本系统采用激光三维扫描的方法实现了以点云的形式在远距离的主机屏幕上实时显示大范围场景的整体地貌环境, 成像精度和成像周期都达到了工程应用要求。系统扫描直接获取数字距离信号, 具有全数字特征, 易于自动化显示输出和处理, 可靠性好。在沉箱施工中, 操作人员可以根据显示屏上的点云图像判断出地貌的起伏情况等重要信息, 为实现远程遥控挖掘提供了决策依据。

参考文献:

- [1] 张凤祥, 等. 沉井与沉箱 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002.

公路等级越高, 各组计算得到的平均值越稳定, 各组的标准差均很小 (A 级路面的各组标准差在 0.0073~0.0087 之间); 公路等级越低, 各组采样数据得到的平均值差异越大, 各组标准差均较大 (E 级路面的各组标准差在 0.1219~0.1356 之间); 这样, 对陀螺信号利用标准差这一统计量能很好的区分车载不同等级公路上行驶时的情况, 这为主控制 CPU 实时调整数字 PID 控制参数提供了依据, 提高了天线系统在运动中对卫星的对准精度。

## 3 结束语

本文分析了路况和车速对车载移动卫星通讯天线系统陀螺输出信号的影响, 并进行了 MATLAB 仿真验证。在对各种路况行驶时采集的陀螺输出数据进行分析对比之后, 得到了可以在时域中利用标准差的办法区分别不同等级路况的结论, 这对于采用自适应控制算法和基于陀螺闭环技术的车载移动卫星通讯天线系统是具有重要意义的。

参考文献:

- [1] 刘晓军. 稳定跟踪平台移动载体姿态测试技术与建模 [D]. 长沙: 国防科技大学, 2006.  
 [2] GB/T/031-1986. 车辆振动输入与路面平度表示方法 [S]. 中国标准出版社, 1987.  
 [3] 刘献栋, 等. 公路路面不平度的数值模拟方法研究 [J]. 北京航空航天大学学报, 2003, (9): 843-846.  
 [4] 陈果, 翟婉明. 铁路轨道不平顺随机过程的数值模拟 [J]. 西南交通大学学报, 1999, (2): 138-142.  
 [5] 张智永, 等. 微机陀螺零点漂移数据滤波方法的研究 [J]. 中国惯性技术学报, 2006, (4): 67-69.  
 [6] 张志涌. 精通 MATLAB6.5 版 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.  
 [7] Richard C.Dorf, Robert H.Bishop 著, 谢红卫等译. 现代控制系统 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.  
 [8] 刘政华, 等. 机械电子学 [M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2000.

第一作者简介: 邓跃, 男, 1978 年生, 湖南邵东人, 硕士研究生, 工程师。研究领域: 机电测控理论与技术。

(编辑: 向飞)

- [2] 何苏勤, 等. TMS320C2000 系列 DSP 原理及实用技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.  
 [3] 苏岳龙, 等. 基于 VC++6.0 的高速串口通信数据采集系统 [J]. 微计算机信息, 2005, (05): 147-148.  
 [4] 龚建伟. Visual C/Turbo C 串口通信编程实践 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.  
 [5] 郭兆龙. Visual C++ OpenGL 应用程序开发 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006.

第一作者简介: 罗瑞华, 男, 1977 年生, 江西铅山人, 硕士研究生。研究领域: 机器人控制的软件实现。

(编辑: 梁玉)

## Product Based on TRIZ

**QIU Cheng<sup>1</sup>, FENG Jun-wen<sup>1</sup>, DING Jun-wu<sup>2</sup>** (1. School of Economics & Management, Nanjing University of S&T, Nanjing210094, China; 2. School of Information Engineering, Yangzhou University, Yangzhou225009, China)

**Abstract:** How to judge the product maturity is important for the product development strategy of company. The TRIZ methods for product maturity are introduced, the drawback is analyzed and complementary ways are given in the paper. In the end, a case is given to verify the feasibility of the new method.

**Key words:** product life cycle; product maturity; S curve

## 07-11-35 Research of Caisson Physiognomy Display System Based on 3D Laser Scan

**LUO Rui-hua, CAO Qi-xin, LI Bao-shun**(Robot Graduate School of Shanghai Jiaotong University, Shanghai200240, China)

**Abstract:** This text introduced a caisson physiognomy display system based on 3D laser scan, analyzed main difficulty and key technique to realize this system. Real-time diorama of wide scene by form of dot cloud can be shown in the system. So the system has good foreground in engineering application.

**Key words:** 3D Laser Scan; motion control; high-speed data acquire; OpenGL

## 07-11-38 Study on the Hill-start Assist System for Car

**KONG Zeng-hua, LI Wei-guang, KUANG Zhi-wei**(School of Mechanical Engineering, South China Univ. of Tech., Guangzhou510640, China)

**Abstract:** Based on analyzing the principium, function and composition of the HSA system, the hardware and software structure of the system have been designed. This system is implemented successfully in practice with the newly disposal of pneumatic circuit in Zhujiang GZ6112S1 Car.

**Key words:** automobile; hill-start; start-up process; assist system

## 07-11-41 The 3D Numerical Simulation of Radiator

**CHEN Ji-yong<sup>1</sup>, PAN Wei-dong<sup>2</sup>, WU Jiang-hong<sup>2</sup>, LIANG Rong-guang<sup>2</sup>**(1. Yang Jiang Bao Ma Li Auto Air-conditioner Co., Ltd, Yangjiang529565, China; 2. School of Automotive Engineering, South China University of Technology, Guangzhou510640, China)

**Abstract:** After rational predigestion of the radiators physical model, by using the fluent software, adopting the SIMPLEC arithmetic and  $k-\epsilon$  overflow model, solving the N-S equation and energy equation the situation of the air flow side of radiator is simulated in the paper. Comparing several different size and velocity of the air flow situation, we can draw the conclusion of how to improve the structure to increase the average surface heat transfer coefficient of the radiator.

**Key words:** automobile radiator; average surface heat transfer coefficient; Fluent; 3D numerical simulation

## 07-11-43 The Infrared Image Enhancement Arithmetic of Electric Equipment Based on Multi-resolution and SMQT Transform

**HE Xiao-Liang, LI Ai-hua, WANG Sheng-cai**(The Second Artillery Engineering College, Xian710025, China)

**Abstract:** In this paper, a novel technique based on temperature field and the successive mean quantization transform is put forward, which is suitable for infrared image enhancement of the

electric power device. Firstly, using temperature field to replace the traditional method of radiant energy to show the infrared image is brought forward in the paper. Accordingly, the paper analyzes SMQT and use SMQT in infrared image enhancement. At last, the experiment result indicates that the algorithm has some advantages compared with the traditional algorithm for the infrared image enhancement.

**Key words:** image enhancement; electric equipment; infrared image; successive mean quantization transform

## 07-11-47 The Emulsion Mechanical Fault Diagnosis System Based on Expert Knowledge

**CHEN Xue-wen<sup>1</sup>, HUANG Zhi-jian<sup>2</sup>, ZHANG Zheng-shi<sup>3</sup>** (1. Department of Machinery and Electronics, Guangdong Industry Technology College, Guangzhou510300, China; 2. Faculty of Electromechanical Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou510090, China; 3. Guangzhou Double-one Latex Factory, Guangzhou510250, China)

**Abstract:** Technique and fault characteristics of the emulsion machine are analyzed in this paper. The fault diagnosis system based on expert knowledge could satisfy the needs of the emulsion machine fault diagnosis.

**Key words:** expert knowledge; emulsion machine; fault diagnosis

## 07-11-50 A Vehicle Track Recorder Based on Magneto-Inductive Sensor

**SU Wei-jia, WANG Xin-yu, LI Yan-ming**(Mechanical Engineering Institute, Liaoning Technical University, Fuxin123000, China)

**Abstract:** A vehicle track recorder based on magneto-inductive sensor, which has merits of high precision, simple structure and low cost is introduced in the article. The magneto-inductive sensor using the local earth magnetic field to confirm the information of the orientation, and using the information of the orientation and the measurement of the vehicle revolution pulse, the track of the vehicle can be deduced. According to the characteristic of the magneto-inductive sensor, the vehicle track recorder is composed of the magneto-inductive sensor, the C8051F340 (the high integration level Microcontroller-chip), the high capacity storage and LCD. The design of total structure, the hardware and software of this system are introduced.

**Key words:** magneto-inductive sensor; revolution pulse; multimedia card

## 07-11-52 Diagnosis of Valve Gap Abnormal Fault of Diesel Engine Based on Correlation Dimension

**ZHANG Ji-chuan, LI Ai-hua** (No.502 Sector, the Second Artillery Engineering College, Xi'an710025, China)

**Abstract:** The vibration monitor technique is a basic method for diesel engines state monitoring and fault diagnosis. Analyzing the attractor of cylinder cap vibration signal, complex degree is qualitatively depicted, using zone analysis method, and the high frequency information of combustion segment in cylinder cap vibration of diesel engine is pick up by using binary scale wavelet. In the end, the paper uses G-P algorithm to calculate correlation dimension of the high frequency information of combustion segment cylinder cap vibration signal, the results show that the above method is efficient in the diesel engines state monitoring and fault diagnosis.

**Key words:** valve gap; vibration; fault diagnosis; correlation