

基于 AMR 传感器的行驶车辆检测分类算法^{*}

周 丰, 王明哲, 倪 枫

(华中科技大学 控制科学与工程系, 武汉 430074)

摘 要: 深入研究了各向异性磁阻(AMR)传感器的数据采集原理及特征波形向量提取方法,提出基于 AMR 传感器及加权欧氏距离的车辆分类识别算法。道路车辆检测实验数据显示,与感应线圈车辆检测法及视频车辆检测等方法相比,该检测方法基本不受环境路况天气等外在因素的影响,满足长期稳定精确等车辆检测的要求,同时在性能、成本、寿命、实时性、维护和升级等方面整体上有较大的优越性。

关键词: 智能交通; 车型分类; 磁阻传感器; 加权欧氏距离; 地磁测量

中图分类号: TP274 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2010)07-2533-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.07.037

Passing vehicle classification algorithm based on AMR sensors

ZHOU Feng, WANG Ming-zhe, NI Feng

(Dept. of Control Science & Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Based on the research of the anisotropic magnetoresistive (AMR) sensor data acquisition, and characteristics of the wave vector extraction method, this paper presented an AMR sensors and weighted Euclidean distance based vehicle classification and recognition algorithm. Road vehicle detection experimental results indicate that this method is almost not affected by road environment and weather factors comparing to inductive loop and vision-based vehicle detection methods. It also meets the long-term stable and accurate vehicles detection requirements, while performance, cost, life circle real-time, maintenance and upgrading, etc. are superior to the traditional detection methods.

Key words: ITS; vehicle classification; AMR sensor; weighted Euclidean distance; magnetic field measurement

道路行驶车辆实时检测是当前交通信号灯智能控制急待解决的问题。虽然智能交通控制系统的研究和应用取得了引人注目的进展,但如何直接获得道路车流的实时数据,仍是缓解城市交通拥堵,取得较好的信号灯控制效果必须解决的首要问题。

目前世界上的道路车辆检测工具有磁感应式探测器、超声波式探测器、压电探测器、雷达探测器、光电探测器、红外探测器以及视频探测器等^[1],其中以感应线圈和视频图像检测为多。Stencel 和 Gajda 等人^[2,3]使用感应线圈作为传感器获取不同车型的特征曲线,然后采用模型匹配的方法进行车型分类。A. Klausner 等人^[4]通过视频、红外、声音等多传感器采集车型数据,然后采用数据融合算法识别车型;Gupte 等人^[5]也提出了基于视频检测和图像序列的分类方法。以上这些车型检测分类方法取得了一定的效果,但然而仍有其局限性。感应线圈和视频图像检测存在的主要缺点是算法实时性差,一些重要的控制检测数据,如当前车流速度、路口等待车辆排队长度以及车辆通过时间和车辆类型等都很难以实时获得。另外,感应线圈检测系统具有价格低、技术成熟的特点,但是存在检测信息量小、安装维护施工困难、受车辆挤压容易损坏等固有缺陷,难以满足长期稳定精确检测的要求。视频图像检测系统易受环境及气候的影响,车辆检测精度有待继续提高。为此,本文研究并提出了基于 AMR (anisotropic magnetoresistive, 各向异性磁

阻)传感器^[6,7]的车辆检测分类方法,在普通基于 AMR 传感器的车辆检测法的基础上,研究提出了一种数据采集分析及特征波形向量提取算法,并将加权欧氏距离分类算法应用于车辆的分类中。实验结果显示,该车辆检测方法具有长期稳定精确性的特点,不受外在天气环境路况的影响,有较强的实用性。

1 车辆地磁检测基础

1.1 地磁检测概述

地球磁场强度为 0.5 ~ 0.6 高斯。虽然在地球不同地方磁场强度会不一样,但是在相对广阔的区域(大约几千米),磁场强度基本是恒定的。而本文测试的范围大约为数十米,因此,在本文的测量范围内,没有外在扰动时,可将地磁场视为恒定不动的。当有铁磁物体进入传感器测量的地磁场范围内时,必定会改变地磁场的分布,形成一个扰动。大的铁磁物体,如一辆汽车,可看做多个双极性磁铁组成的模型。这些双极性磁铁具有北—南的极化方向,引起地球磁场的变化,由进入的车辆前端发动机和车轮对地磁场产生的扭曲和畸变,会因铁磁物体的结构及质量的不同而不同,也就是说不同类型的车辆对地磁的干扰是不一样的。可以利用这个变化特征来检测车辆的存在以及对通行车辆进行分类。因此,本文采用 AMR 传感器检测通行车辆对地球磁场的扰动,经过电路转换后获得通行车辆的特征曲线,然后针对特征曲线,采用加权欧氏距离聚类算

收稿日期: 2009-12-27; 修回日期: 2010-01-26 基金项目: 武汉市科学技术局关键技术攻关项目(20061002078)

作者简介: 周丰(1979-),男,湖北武汉人,博士研究生,主要研究方向为智能交通控制、数据采集处理(zfw@hust@163.com);王明哲(1949-),男,教授,博导,主要研究方向为离散事件系统、集成系统体系结构设计及评价;倪枫(1982-),男,博士研究生,主要研究方向为集成系统体系结构设计及评价。

法实现道路行驶车辆的实时分类。

1.2 AMR 传感器原理

William Thomson 发现的磁阻效应^[6,8],在一定范围内可以认为是线性的,如图 1 所示为某 AMR 传感器特性曲线,其中能够引起磁阻效应的方向称为敏感方向或者感应方向。不过一直到 100 多年后,因为厚膜电路技术的发展,才将此发现投入实验性应用,即制造 AMR 传感器。AMR 传感器一般是将铁镍合金薄膜沉积在硅片上形成电阻条,然后,用四个这样的电阻连接成一个惠斯通电桥;经过信号放大和信号调理、采样电路等处理后可以得到传感器感应方向上的磁场波形的一组离散值,这些数据通过通信端口发送给上位机进行识别处理。从图 1 中可以看出,在地球磁场的测量范围内,AMR 传感器的输出可以看做是线性的(根据需要线性误差最小可以达到 0.1%),适合用于测量地球磁场。

1.3 加权欧氏距离分类算法

欧氏距离(Euclidean distance)^[9]测度是聚类分析中常用的分类统计量。其定义如下:

设 n 维向量空间中的两个点为

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T, Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T$$

定义 X, Y 之间的欧氏距离为

$$D = (X, Y) = \|X - Y\|_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

定义 X, Y 之间的加权欧氏距离定义为

$$WD(X, Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \omega_i (x_i - y_i)^2}$$

其中: $\omega_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 分别表示每个分量的权重。

实验分析得出,车辆不同特征部位产生的磁场扰动不同,通过加权欧氏距离来区分汇总总是恰当的。在聚类分析时,一般将对象特征表示为一个 n 维的特征向量。对象向量之间的加权欧氏距离可以表示两个对象之间的相似度,通过比较对象向量间的加权欧氏距离,按照距离越小越相似的原则,可以将未知对象归为距离最小的那类对象。

2 车辆检测分类

通过上面的理论分析,可以给出车辆检测分类的功能原理(图 2):基于不同车型引起地球磁场的不同扰动,由 AMR 传感器检测输出。事先,需要已知车型的检测曲线,以相同特征提取为特征向量存放在基本库中。在实时检测分类时,检测获得道路行驶车辆的车型输出曲线,提取波形的特征向量,计算比对该车型特征向量与库中已知车型特征向量间的加权欧氏距离,以距离越小原则给出分类结果。

车辆的检测与分类功能流程图如图 2 所示。

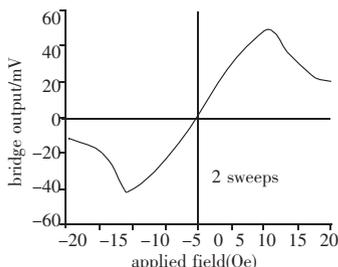


图 1 AMR 传感器特性曲线

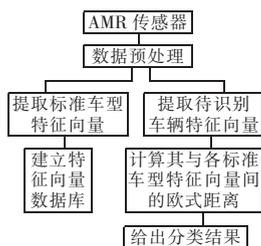


图 2 车辆检测及分类流程图

2.1 车辆检测数据预处理

数据预处理主要包括采样、数字滤波及波形归一化处理。

根据香农采样定理:设 f_{max} 为信号最大频率, f_s 为采样频率,当 $f_s \geq 2f_{max}$ 时,采样信号能完全重构原始信号。本文传感器输出的特征曲线可假定为带限信号,这里根据实际情况及反馈的试验数据,选择采样周期为 65 ms。

AMR 传感器会受到外在环境及其他因素影响,采集的数据难免掺入噪声。影响因素有:传感器本身的近似非线性所引入的误差、电路引入误差、背景噪声等。对于前两者,主要通过提高电路的可靠性、稳定性来克服,如采用高精度的电源等。对于背景噪声,经过分析发现,它相对于实际输出波形来说,频率要高得多,因此可以通过低通滤波来处理。这里采用巴特沃思双线性低通数字滤波^[10]:

$$|H(jw)|^2 = 1/[1 + (w/w_c)^{2N}]$$

其中: N 为滤波器阶数, w_c 为截止频率。根据实际情况,选取适当参数。实验结果显示这种方法效果较好,能有效去除高频噪声。

另外,由于在 AMR 传感器测量中,车辆特征曲线波形的长度会受到车速的影响,具体表现为:输出波形的长度随车速的大小成比例伸缩。例如,图 3 所示的波形曲线均由图 4 中相同的小汽车所引起。可以看出,图 4 中曲线 1 所表示的速度是曲线 2 所表示速度的两倍,其波形长度只有曲线 2 波形长度的一半。如果按照同一采样周期采样,它们的特征向量维数显然不同。同样,车型长度也会影响波形长度。为了在车辆识别算法实现不同车型车辆具有相同维数的特征向量,本文对波形进行归一化处理:根据比例伸缩特征曲线,将所有车辆的特征曲线都固定到指定的长度,然后再进行采样提取特征向量,这样就可以得到相同维数的特征向量。这种做法实质是使用波形形状作为分类识别的特征,而不考虑波形的长度,同时也忽略了车辆的长度。

2.2 数据采集及特征波形向量提取

图 3 所示为某小汽车通过 AMR 传感器时的输出波形。其波形的峰值、谷值及波形形状等由车辆所含铁质组成结构引起,而不同车型所含铁质组成结构不同,因此,通过科学选取波形特征,表征车型类别。本文选取特征波形的一组采样值作为该对象的特征向量,以 (v_1, v_2, \dots, v_n) 表示。其中: n 为向量维数; v_1, v_2, v_n 为波形采样值。这样做的好处是含义简单明了、算法计算量小、实时性好。

首先提取并设置已知车辆类别的特征向量。假设共有 M 种车型,第 i 种车型的特征向量用 V_i 表示: $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in})^T$ 。其中: n 为向量维数; $v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in}$ 为特征波形的采样值。通过道路实验测试,将以上这 M 种已知车型的特征向量存入车型特征数据库。是实时道路车型识别的基础,是加权欧氏距离分类算法的准则库。应该指出,实时车型识别仅为道路车流检测提供服务,所以车型库中的准则车型应该尽可能少,以提供实时识别算法的速度。自然,道路未知车型的特征向量构造要求与车型特征库完全一致。



图 3 小汽车的输出曲线

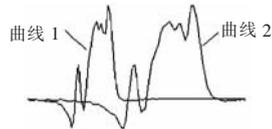


图 4 小汽车不同速度时的输出曲线

2.3 车辆识别分类算法

通过上面的数字滤波、波形归一化处理,采样提取特征向

量之后,得到了未知车辆的特征向量 $V_x = (v_{x1}, v_{x2}, \dots, v_{xn})^T$, 及已知的 M 种车型的特征向量, $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in})^T, i = 1, 2, \dots, M$ 。构造车型分类算法如下:

a) 离线试验通过 AMR 传感器分别检测 M 种已知车辆的特征曲线。

b) 对特征曲线作预处理。即信号滤波预处理, 波形归一化预处理等。

c) 经过预处理后, 对特征曲线以周期 T_c 进行采样, 得到已知车型的特征向量: $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in})^T, i = 1, 2, \dots, M$ 。保存已知车型特征向量到数据库, 供在线分类识别使用。

d) 对于一个待测车型的车辆, 按照上面方法提取其特征向量: $V_x = (v_{x1}, v_{x2}, \dots, v_{xn})^T$ 。

e) 分别计算 V_x 与 V_1, V_2, \dots, V_M 之间的加权欧氏距离 $WD(V_x, V_1), WD(V_x, V_2), \dots, WD(V_x, V_M)$ 。

f) 根据距离越小越相似原则, 比较距离 $WD(V_x, V_1), WD(V_x, V_2), \dots, WD(V_x, V_M)$ 之间的大小, 假设 $WD(V_x, V_j)$ 最小, 则可以判定该待测车辆为第 j 类车型。

2.4 试验及结果分析

本文实验将设计好的 10 个传感器组成 RS485 网络置于选好的道路上, 记录过往车辆数据保存到文件。

选取四类已知车型, 即小轿车、面包车、中巴车、大货车, 经过 20 次离线试验检测提取各类车型特征向量。图 5 所示为四类车型的特征曲线。

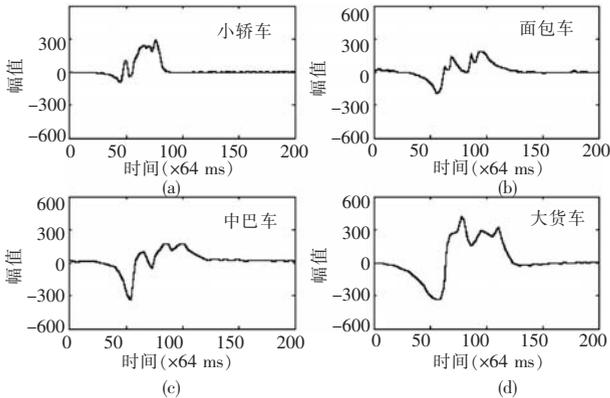


图 5 四类车型的特征曲线

然后, 对 80 辆小汽车、60 辆面包车、40 辆中巴车、40 辆大货车进行了在线分类识别, 识别结果如表 1 所示。

表 1 车辆检测试验分类结果

待测	结果				正确率/%
	小轿车	面包车	中巴车	大货车	
小轿车 (80 辆)	73	4	2	1	91.3
面包车 (60 辆)	6	49	4	1	81.7
中巴车 (40 辆)	1	2	35	2	87.5
大货车 (40 辆)	0	1	2	37	92.5

表中结果显示: 小轿车、大货车识别率较高, 面包车识别率稍低; 另外, 车型大小越接近, 发生的误判率越高; 最后, 经过在线实验验证算法实时性好。本文方法具有较好的实用性和有效性, 不过仍可进一步改进提高, 这将是笔者下一步的工作。

3 各种车辆检测方法对比

通过研究磁感应式检测器、超声波式检测器、雷达检测器、红外检测器以及视频检测器等车辆检测方法的理论、实验室研究结果及实际使用效果, 可以看出它们各有优缺点。

基于视频图像处理与视觉技术的车辆检测器具有处理速度快、安装维护便捷且费用较低、可监视范围广、可获取更多种类的交通参数等诸多优点, 因而近年来在智能交通系统 (ITS) 中得到了越来越广泛的应用。缺点是受天气 (雨、雾气、沙尘等) 及光线强度影响大。

超声波式检测器主要是利用超声测距原理。超声波传感器在路口这种灰尘极大的恶劣环境中使用寿命非常短, 因此并不实用。

红外车辆检测利用红外辐射原理对设备或材料及其他物体的表面进行检验和分类, 其较大的局限性是受可见度影响大。

雷达车辆检测器利用雷达原理完成对速度、流量等交通流的实时检测和统计。雷达功率的大小, 还有当时的天气、路况、车况等因素, 对车辆的检测有较大的影响。

理论分析及实验结果显示, 基于 AMR 传感器及加权欧氏距离的车辆分类识别和检测系统基本不受环境路况天气等外在因素的影响, 满足长期稳定精确等车辆检测要求。如表 2 所示, 综合考虑性能、成本、寿命、实时性、维护和升级等, 这种方法较传统检测方法有较大的优势。

表 2 各种车辆检测方法的性能比较

性能	视频	地感线圈	超声波	红外线	雷达	AMR
检测准确率	高	高	较低	低	较低	高
寿命	长	短	短	长	中	长
稳定性	中	低	中	中	中	高
环境路况影响性	中	高	高	低	高	低
天气影响性	高	低	低	高	高	低
成本	低	高	高	中	低	低
车辆分类功能	有	一般	一般	一般	有	较强
安装维护改动的方便性	中	很低	高	高	中	高
是否易损	否	是	是	是	否	否

4 结束语

道路行驶车辆车型分类的正确率是计算许多道路行驶车辆实时数据 (如车流速度、队长等) 的基本保证。本文提出的基于 AMR 的道路车辆检测识别算法采用加权欧氏距离为算法核心, 所以使得该算法简单实用、快捷有效, 能够实现行驶车辆数据的实时快速检测分类。该算法对于大 (如重型卡车、双节公交车)、中 (大客车、卡车) 和小 (轿车、吉普车) 型车辆的检测分类正确率达到 90% 以上。实际道路试验结果验证本文提出的车型实时算法是可行和有效的。为智能交通信号灯控制系统在线提供道路车流车速、路口排队队长等实时信息是 AMR 道路车辆检测系统研究的最终目标。下一步笔者计划研究 AMR 传感器网络、多传感器数据融合、行驶车辆特征信息阵列处理和道路车辆统计分析等议题, 而本文提出的简单、有效、快捷的 AMR 传感器实时车辆分类算法为进一步的 AMR 道路车辆检测传感器网络的研究和实施提供了有力的技术支撑。

参考文献:

[1] AUBIN S, PLAINCHAULT P, LENG S S, et al. Sensor technologies to follow vehicles for ITS [C] // Proc of the 6th International Conference on ITS Telecommunications. 2006: 870-873.

[2] STENCEL M. Signal parameterization vs. orthogonalization on example of vehicle's magnetic signature recognition [C] // Proc of 21st IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. 2004: 1416-1418.

因此,事实表中的域包括事实编号和有关事实的说明,其索引定义为事实编号,其余字段是有关事实的说明消息,一个事实是一条记录;事实表可看做一个数据字典。规则表的域包括规则编号(规则名)、规则前提和规则结论,其索引定义为规则编号,一条规则是一条记录。规则表如表2所示。

表2 规则表形式

规则号	前提1	前提2	前提3	结论1	结论2
1	1	3	5	201	202
8	4	1	6	205	212

防空导弹故障诊断系统中的规则知识、事例知识、结构与功能模型知识均按关系数据库存储,对应这些知识可建立以下几个数据表:

- 事实表:对知识库中的所有事实,统一建立一个事实表;
- 规则表:根据规则知识的组织结构,对不同的规则子库分别建立规则表;
- 案例表:所有事例知识可组织在一个事例表中,只需对不同事例的索引作统一调整;
- 结构与功能模型表:结构与功能模型可建立一个表,或按子系统分解结构建立多个表。

5.1.2 知识库管理

知识库管理包括知识库的编辑和检验。编辑功能建立在DAO的数据库访问功能基础上,通过CDAORecordset类来实现。通过它的成员函数Seek、AddNew、Delete和Edit实现对记录的查询、增加、删除和修改。

5.2 推理机设计

防空导弹诊断系统中三种类型的符号知识对应三种推理方式:基于事例的推理直接采用数据库检索方式;基于规则的推理采用规则匹配方式;基于结构与功能模型的推理采用框架推理方式,即根据结构与功能模型库中反映的对象分解结构,逐步检索知识并建立诊断框架。

5.2.1 规则对象的表示及推理

为进行规则匹配推理,将规则用对象的形式表示,即规则对象。每条规则是规则对象的一个实例,它是一个独立的知识实体,可以负责自身的匹配推理运算。

5.2.2 问题求解的黑板模型

黑板模型是一种高度结构化的机遇问题求解模型,面向对象程序设计的对象封装特性和对象间的消息通信机制与黑板模型思想十分吻合,两者可以结合。

5.3 原型机验证

按以上方法设计的原型机经过数据输入、试运行、演示与

测试,并结合飞行试验初步应用,表明该系统工作稳定、使用维护方便、经济适用、便于扩充完善与推广。

6 结束语

防空导弹飞行故障诊断技术是保证导弹安全可靠飞行、降低试验成本、提高作战效能的重要手段,而基于知识的推理诊断是解决这类复杂系统诊断问题的一个有效途径。本文在综合研究防空导弹故障诊断技术的基础上,探讨了研制开发防空导弹诊断专家系统的方法;构建了基于多深度知识、多层次推理的防空导弹集成诊断专家系统;阐述了系统的结构和功能,研究了诊断系统的知识模型及问题求解策略。以期能为防空导弹的立项、研制、定型及作战使用提供有效的决策支持依据。

专家系统的开发是一项艰巨而复杂的工作,它需要领域专家与知识工程师的长期合作及实践的不断检验。因此,本文的研究仅仅是一个初步工作。

参考文献:

- LENZ M, BURKHARD H D, PIRK P, *et al.* CBR for diagnosis and decision support [J]. *AI Communication*, 1996, 9(3): 138-146.
- 阮跃. 案例推理在汽轮发电机组故障诊断中的应用[J]. *热能动力工程*, 2000, 15(5): 301-303.
- PORTINALE L. Behavioral Petri nets: a model for diagnostic knowledge representation and reasoning [J]. *IEEE Trans on System, Man and Cybernetics: Part B*, 1997, 27(2): 184-195.
- 丁彩虹. Petri网模型的故障诊断技术研究及其在航天器中的应用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 1999.
- WEN F. New approach to fault diagnosis in electrical distribution networks using a genetic algorithm [J]. *Artificial Intelligence in Engineering*, 1998, 12(1-2): 69-80.
- ZHOU Yang-ping, ZHAO Bing-quan, WU Dong-xin, *et al.* Application of genetic algorithms to fault diagnosis in nuclear power plant [J]. *Reliability Engineering and System Safety*, 2000, 67(2): 153-160.
- JOTA R S, MISLAM S, WU T, *et al.* A class of hybrid intelligent system for fault diagnosis in electric power systems [J]. *Neurocomputing*, 1998, 23(1-3): 207-224.
- GOLDING A R, ROSENBLOOM P S. Improving accuracy by combining rule-based and case-based reasoning [J]. *Artificial Intelligence*, 1996, 87(1): 215-254.
- PAL K, PALMER O. A decision-support system for business acquisitions [J]. *Decision Support Systems*, 2000, 27(4): 411-429.

(上接第2535页)

- GAJDA J, SROKA R, STENCEL M, *et al.* A vehicle classification based on inductive loop detectors [C] // Proc of the 18th Instrumentation and Measurement Technology Conference. 2001: 460-464.
- KLAUSNER A, TENGG A, RINNER B. Vehicle classification on multi-sensor smart cameras using feature- and decision-fusion [C] // Proc of the 1st ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras (ICDSC-07). 2007: 67-74.
- GUPTA S, MASOUD O, MARTIN R F K, *et al.* Detection and classification of vehicles [J]. *IEEE Trans on Intelligent Transportation Systems*, 2002, 3(1): 37-47.

- CARUSO M J, BRATLAND T, SMITH CH, *et al.* A new perspective on magnetic field sensing [J]. *Sensors*, 1998, 15(12): 34-46.
- 李希胜, 于广华. 各向异性磁阻传感器在车辆探测中的应用 [J]. *北京科技大学学报*, 2006, 28(6): 587-590.
- PHAN T, KWAN B W, TUNG L J. Magnetoresistors for vehicle detection and identification [C] // Proc of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Computational Cybernetics and Simulation. 1997: 3839-3843.
- 宋宇辰, 张玉英, 孟海东. 一种基于加权欧氏距离聚类方法的研究 [J]. *计算机工程与应用*, 2007, 43(4): 179-180, 226.
- 谢德才, 常鸿森. 巴特沃思数字滤波器的设计 [J]. *华南师范大学学报: 自然科学版*, 1993(1): 17-22.