

文章编号: 1002-0446(2000)01-0017-06

面向自主车辆导航的地理信息系统*

潘 亮 薛宏涛 沈林成

(国防科技大学自控系 长沙 410073)

摘 要: 本文介绍了一种面向自主车辆导航的地理信息系统的系统结构及空间数据管理方法. 利用面向对象技术, 对地形模型和空间数据管理模型进行抽象, 建立了框架式的类体系, 并在此基础上实现了系统功能.

关键词: 自主车辆导航, 地理信息系统, 地形模型, 空间数据管理模型, 面向对象

中图分类号: TP24 文献标识码: A

1 引言

自主车辆导航技术研究的目标是实现在没有外界导引和无人驾驶条件下, 按照给定的起点和终点规划出满足任务要求的避碰路径, 并在地图数据支持下, 借助传感信息完成相应运动, 它涉及了地图表示、路径规划、路径执行控制、传感信息处理与精确定位等相关技术. 由于工作环境的复杂性以及当前技术水平的限制, 在没有关于环境的先验知识条件下, 至今还很难解决. 目前所做的工作都需要对环境加以一定的限制, 并提供充分的环境知识, 即地理信息. 因此, 对地理信息的获取、组织、管理与利用将成为自主车辆导航关键问题之一. 本文将从系统结构的角度介绍我们在面向自主车辆导航的地理信息系统研究方面的有关工作.

2 软件系统结构

现有的商业化的通用地理信息系统一般是从地学应用的角度出发, 系统运行控制机制和内部数据结构的组织方式都是围绕各种地学应用的需求而设计, 着重于对地理信息的几何、拓扑、属性信息的完备描述, 应用功能也着重于为地学应用领域提供各种分析手段, 运行效率则是次要目标, 这样的系统数据更新周期长, 不适合实时性要求较高、并且和硬件关联较大的自主车辆导航任务, 因此需要建立适合面向自主车辆导航的系统结构和数据模型.

地理信息系统可以有两种结构: 平台式结构和框架式结构. 平台式的地理信息系统应当提供完备的功能模块, 在此基础上用户通过系统的命令接口或开发描述语言组合不同的模块进行二次开发, 这种系统一般是面向多种应用的通用地理信息系统, 如 MAPGIS、Arc/Info、MapInfo 等系统; 框架式系统一般是面向特定应用, 只提供地理信息系统的基本的功能, 如: 空间数据的存取、查询, 通过扩展系统基本结构的方式进行二次开发. 平台式系统功能强大, 但开发周期长, 需要多方面的专业知识, 而且很难修改其结构以满足某些特殊的应用. 由于以上原因, 面向车辆导航的地理信息系统是框架式结构, 这主要表现在: (1) 它提供地理信息系统的基本功能; (2) 具有较好的重用性和可扩展性, 能够满足车辆精确定位和自主导航以及今后的任务要求.

* 收稿日期: 1998-12-28

面向自主车辆导航的地理信息系统主要提供以下功能: 数据采集、数据的实时处理与显示、地图编辑、空间数据管理、拓扑分析、辅助决策. 系统的数据主要来自三个方面: 数字化仪、GPS 接收机和第三方的数据. 数字化仪将纸质底图数字化; GPS 用于实时测图和车辆跟踪和精确定位. 自主车辆导航地理信息系统的主体数据是空间数据, 脱离了空间数据, 描述空间对象的属性数据将失去意义. 把属性又分为基本属性和附加属性. 基本属性是用于标识地理要素、或是和空间位置密切相关的属性, 如: 地物标注、对象标识; 附加属性是由用户根据应用确定的, 比如某一区域的面积、人口数量等. 为了简化系统的开发, 同时又考虑到系统的可扩展性, 在设计和实现时把系统结构分成基础层和应用层. 基础层的数据结构及运行控制逻辑结构的基本设计指导思想是充分提高空间数据和基本属性数据的操作效率. 对于实时性要求不高的应用层操作则与基础层的功能分离, 形成独立的模块, 并且利用已有的成熟技术进行开发设计, 如附加属性数据的增加、删除、修改、查询可以通过 ODBC 接口对关系数据库进行操作. 基础层与应用层是一种松散的耦合关系, 这样即使没有应用层的数据, 整个系统仍然可以运行. 基础层和应用层的数据之间的对应关系是通过地物标识建立的. 操作的合法性以及数据的一致性、完整性验证都是由空间数据管理核心来维护. 系统结构如图 1 所示.

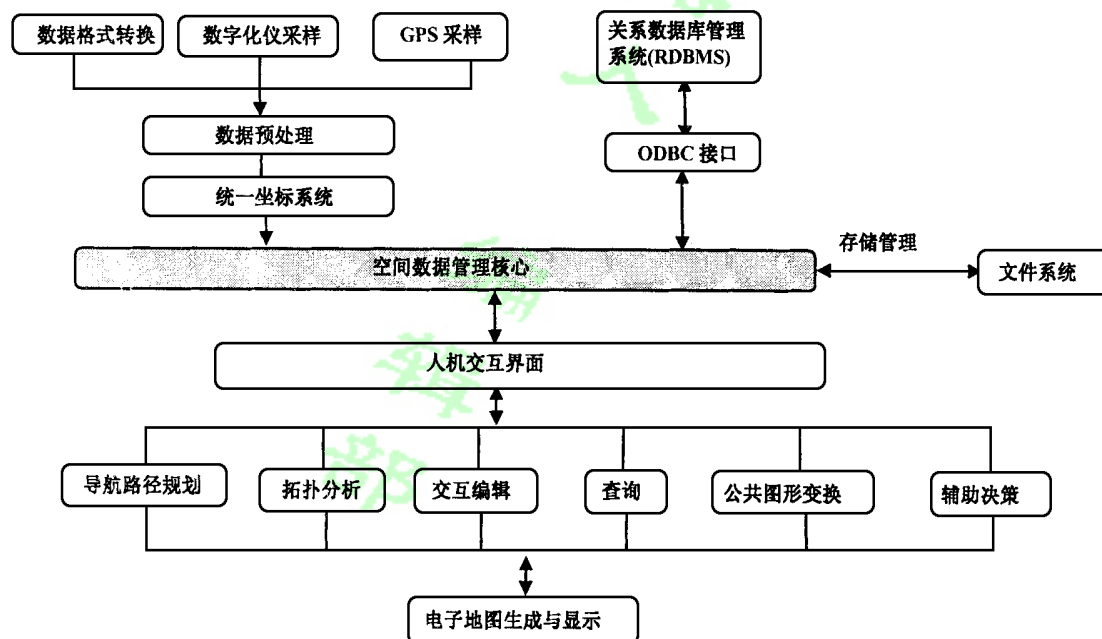


图 1 系统基本结构

3 数字地形模型

由于相同的地形可以有不同的表达方式, 表达方式的选择决定着问题求解的难易程度及其实现效率. 因此, 面向自主车辆导航的地理信息系统的关键问题是建立高效的、适合于地图导航的地形数据模型. 对于地形导航来说特别重要的是: (1) 地形数据. 主要是道路、路面状况、道路限制、障碍等对车辆运动有直接影响的因素; (2) 地形的特征和结构.

在概念上对于地理信息数据通常有基于几何的观点和基于特征的观点:

基于几何的观点: 将地理要素看作由点、线、面组成, 注重地理要素的空间位置和几何形状, 不区分有相同几何形状的地理要素: 点可能代表独立地物、障碍物; 线可以代表公路、铁路或其他特征线; 面可以代表植被、湖泊或行政区域等。

基于特征的观点: 将数据分为空间数据和属性数据; 空间数据决定地理要素的空间位置; 属性数据是除此之外的其他信息, 如: 地物类型、地物几何形状、地物名称等。

对于自主车辆导航任务, 仅用地形要素的空间数据和几何形状不能提供关于环境的充分信息; 而基于特征的观点又没有考虑到具有相同几何特征的地物具有相同或相近的操作。因此一种好的数据模型应当结合二者的优点, 可以按照两种观点快速、有效地利用和操纵数据。根据车辆导航对地形信息的要求以及目前各种地形模型方法优缺点, 我们提出了一种面向对象的数字地形模型。这种模型支持数字化仪和 GPS 接收机的地形数据的获取和编辑, 又支持有效的地形查询和自动路径规划。模型中的对象可以看作是对地形要素的直接描述, 对象对应于地形要素, 对象的操作对应于地形要素的变换, 对象的属性和操作的属性对应于地形要素的可变量属性。面向对象的方法不是为了说明单个对象, 而是注重于状态和行为模式, 该模式为整个对象类所共有, 通过属性或特征实现对象的状态, 但和关系数据库不同, 这些特征不受不可分解数据类型的限制, 从而在模型分析和实现阶段保持对应的高标准的描述。

用面向对象的方法, 在两个层次上对地理要素的特征编码: 通过类类型表征几何特征; 通过基本属性唯一地标识地物对象, 如图 2 所示。

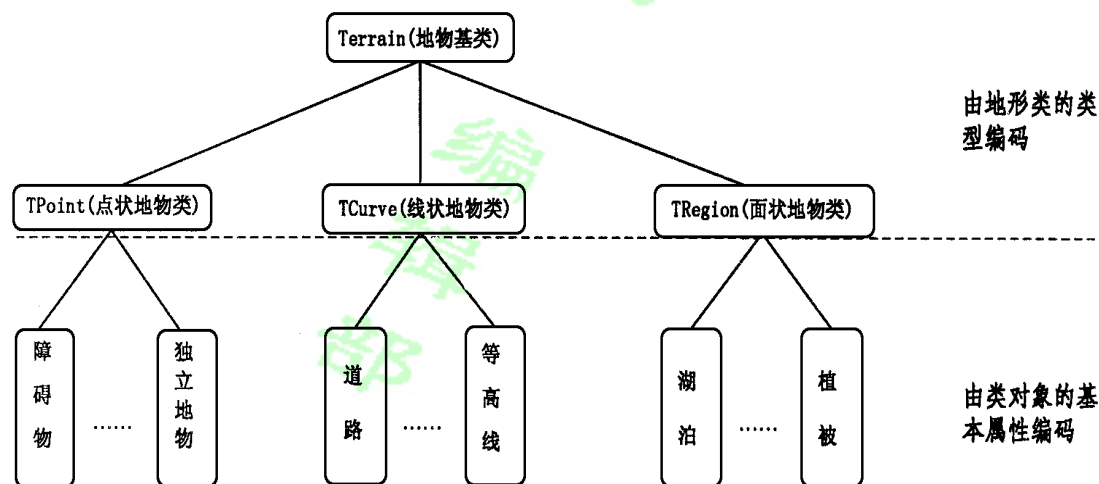


图 2 地形类的派生关系

地物基类 Terrain 提供基本属性和公共操作接口, 基本属性用于标识对象的类型, 区别同类型的不同对象, 公共操作包括数据采集、滤波、编码、解码、坐标变换、显示、图形变换、编辑、查询等操作, 这些操作以虚函数的形式定义, 具体实现则在派生类中。通过类继承和多态性的机制, 使具有不同几何特征的地物有相同的操作接口, 屏蔽了具体实现上的差异, 同时简化了地物对象的管理。

除了地理要素的空间位置、几何特征, 地理信息系统还需要地理要素之间的相互关系, 如: 包含、邻接、相交, 这样才能更好地反映现实世界。对于自主车辆导航任务来说, 主要是道路间的连接关系和地物间的空间关系; 道路的连接关系构成道路网拓扑结构, 它由结点和弧段构

成; 结点和弧段不能孤立地存在, 是根据一定的算法从空间数据中计算得到. 在具体实现时, 把结点和弧段也作为地物对象, 从地物基类中派生, 也有相同的基本属性和公共操作, 从而简化系统对数据对象的管理. 道路网的拓扑结构为路径规划和辅助决策提供数据基础. 而地物间的空间关系通过符号投影进行空间推理可以得到, 它为空间查询提供了数据基础.

数据、对数据的操作以及数据间的关系共同构成数据模型. 面向对象的地形数据模型把数据和对数据的操作封装成地形对象, 把数据间的关系转化成地形对象间的关系, 使地形对象可以和真实世界的地理要素对应起来, 从而提供了对真实世界更自然的表示.

4 空间数据管理模型

数字地形模型定义了地理要素的抽象数据模型, 这些数据实体在程序中是以类对象的形式存在, 如何组织和管理这些空间数据将会影响到程序的可移植性和操作的效率. 空间数据管理有两个主要问题: 如何组织空间数据和对非结构化数据的管理.

1、空间数据的组织. 空间数据一般是按层次结构组织的. 比如可以根据一定的目的和分类指标, 如按地理要素或地质要素, 或几何特征, 对底图上的图形要素进行分类, 每一类作为一个图层, 多个图层叠加形成一幅子图. 这种方式结构清晰, 但对输入和管理要求较高. 根据自主车辆导航的特点和要求, 我们采用“要素-专题”的方法来简化管理层次. 对存放矢量坐标的地图数据不分层, 每个要素都有一个要素分类标识, 通过这种方法可以将地图数据分为逻辑上的“层”, 而没有必要在物理结构上以文件的方式区分. 这种方法数据更新简便、分析误差小、容易控制绘制符号和线型. 当然达到这一目的的代价是增加了软件的复杂性, 降低了查询的效率. 由于采用了面向对象的技术, 这种层次关系转变成类对象的管理和包含层次, 其结构如图 3 所示.

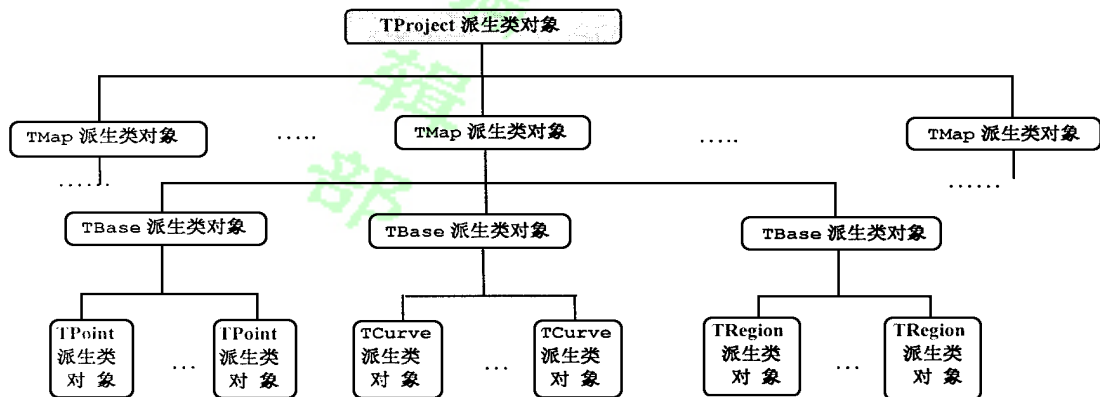


图 3 管理和包含层次结构

其中, TMap 派生类对象对应于一幅子图, 每幅子图包含点、线、面三种空间数据, 这三类地物对象分别顺序放在相应的 TBase 派生类对象中, 它就像一张地物对象表, 只是表中放的不是对象的数据, 而是指向地物对象的指针. 为了加快查找速度, 定义了一张索引表, 这样, 在根据对象标识查找时, 可以有效地缩小查找的范围. 在系统中, 对用户直接可见的只有处于顶层的 TProject 派生类对象, 它负责对子图对象的管理(如: 地图拼接、子图校正与合并), 和所有的人机交互操作. 在具体实现时, TProject 派生类对象又通过调用下一层对象的接口, 这种

调用最终传递到地物对象层, 由地物对象完成后, 再逐级返回操作结果. 这个过程也是和管理层次相对应的;

(2) 对非结构化数据的管理. 空间数据是非结构化的, 这主要体现在: 线、面状地物中采样点的数目是不确定的; 地物的数目是不确定的; 地图拼接时, 子图的数目是不确定的. 在物理实现上, 对非结构化数据的管理必然涉及到内存的动态分配. 这类问题一般是用链表结构来实现. 但内存的分配、回收, 链表的操作、维护都十分繁琐. 可以看到, 对变长数据的操作具有共同的特点, 都涉及对象的存储、遍历查找, 只是所操作的对象类型不同. 采用面向对象中的模板技术, 同时考虑到查找的效率, 定义了一种与操作对象无关的抽象数据类型, 称为动态数组, 这种数据类型具有数组和链表的优点: 既能象数组用下标索引, 又能象链表一样动态添加、删除对象. 对象的类型由模板参数决定. 在按下标查找时, 动态数组具有和普通数组一样的效率. 通过动态数组, 为不同类型的对象提供了统一的管理方法.

空间数据管理核心的结构决定了整个系统的结构. 它的一个重要特点就是可扩展性. TProject、TMap、TBase、Terrain、TPoint、TCurve、TRegion 是系统的基本框架, 它提供了基本属性和基本功能, 通过类继承和函数重载, 可以对数据做不同的处理和解释, 也可以根据应用加入新的基本属性和函数, 从而扩展系统的功能. 我们对地形数据进行二维和三维的变换和显示就是基于所建立的基本框架. 通过扩展空间数据管理核心的基本框架, 可以迅速、高效地实现和改变系统功能, 而且有效地实现代码重用, 控制代码的规模, 使程序可读性好更易维护.

5 结束语

根据自主车辆导航的任务要求, 我们建立了以地形类库和地图管理类库形式给出的数字地形模型和空间数据管理模型, 在空间数据管理核心的基本框架上实现了导航地图的数据采集、无级缩放、地图漫游、局部开窗显示、地图拼接、地图校正、地图编辑、地图管理、地物查询、拓扑分析等基本功能, 同时通过扩展基本框架, 利用 OpenGL 实现了对地形数据在三维空间的显示和变换, 为今后的路径规划提供了数据基础和良好的可视化环境.

由于自顶向下都采用了面向对象的方法, 使面向自主车辆导航的地理信息系统有以下优点: (1) 有较好的灵活性和可扩展性. (2) 代码独立于开发环境, 有良好的可移植性. (3) 实现了对空间数据和属性数据的高效管理和操作.

参 考 文 献

- 1 沈林成, 常文森. 移动机器人数字地形模型, 机器人, 1996, 18(3)
- 2 沈林成, 常文森. 自主车辆地形数据库和路径规划系统. 自动化学报, 1994, 20(3)
- 3 沈林成. 自主移动机器人地形导航. 数字地形模型与自动路径规划. 国防科技大学博士论文, 1994
- 4 龚健雅, 朱欣焰. 地理信息系统基础软件吉奥之星 NT 版的总体设计思想和关键技术. 武汉测绘科技大学学报, 1997, 22(3)
- 5 李伟生, 许云涛. 适合共享的面向对象的地理数据模型. 武汉测绘科技大学学报, 1996, 21(1)
- 6 田增平, 周傲英. 地理信息系统中的数据库技术. 计算机科学, 1995(6)
- 7 张超, 陈丙咸, 郭伦. 地理信息系统. 北京: 高教出版社, 1995
- 8 严蔚敏, 吴伟民. 数据结构. 清华大学出版社, 1997
- 9 李建中, 王珊. 数据库系统原理. 北京: 电子工业出版社, 1998
- 10 朱海滨. 面向对象技术—原理与设计. 长沙: 国防科技大学出版社, 1992

- 11 Oosterom P V *et al.* An Object-oriented Approach to the Design of Geographic Information Systems, Computer & Graphics, 1989, 13(4)

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM FOR NAVIGATION OF AUTONOMOUS VEHICLE

PAN Liang XUE Hong-tao SHEN Lin-cheng

(Department of Automatic Control, National University of Defence Technology, Hunan 410073)

Abstract: The architecture of GIS for navigation of autonomous vehicle and the management method of spatial data are presented in the paper. By using the object-oriented technique, class library is designed, which is the abstract of terrain model and spatial data management model. And the system is built on base of the class library.

Keywords: Navigation of autonomous vehicle; GIS; terrain model; spatial data management model; object oriented

作者简介:

潘 亮 (1973-), 男, 博士. 研究领域: 地形信息处理, 科学计算可视化, 智能控制.

薛宏涛 (1973-), 男, 博士. 研究领域: 智能机器人, 智能控制.

沈林成 (1965-), 男, 副教授. 研究领域: 地形信息处理, 任务规划, 智能控制.

(上接第 16 页)

The basic idea is to acquire the motion information of the robot and to enable virtual force guidance system to determine the future motion according to the estimation. The VFG system assures that the goal attracts the robot and obstacles repulse it, the resultant force determines the motion. Simulation results are presented to show fine real-time property, avoid the obstacle effectively and arrive at the goal.

Keywords: Mobile robot; potential field; planning; prediction

作者简介:

董立志 (1972-), 男, 硕士研究生. 研究领域: 计算机控制与仿真, 机器人规划与控制.

孙茂相 (1938-), 男, 教授. 研究领域: 现代控制理论及应用, 机器人规划与控制.

朱 枫 (1963-), 男, 副研究员. 研究领域: 机器人视觉, 机器人, 传感器及信息处理.