

导航路径寻优的地图数据库分层索引机理^①

沈永增, 吕天剑, 沈旭东

(浙江工业大学 信息工程学院, 杭州 310023)

摘要: 研究了导航路径寻优的地图数据库分层索引机理。以路网分层模型为基础, 研究并设计了 G-SDBCScan (Geospatial Database Convergence Scan) 索引算法, 并将此算法应用于面向地图数据库的分层索引机制。最后通过嵌入式数据库 SQLite 在分层索引机制中的应用来验证分层索引机制的有效性。

关键词: 导航路径寻优; 分层模型; 地图数据库; G-SDBCScan 索引; 分层索引机制

Hierarchical Indexing Mechanism for Map Database Based on Navigation Path Optimization

SHEN Yong-Zeng, LV Tian-Jian, SHEN Xu-Dong

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

Abstract: This paper deals with the hierarchical indexing mechanism for map database based of navigation path optimization. It is based on the road network hierarchical model, researches and designs the G-SDBCScan (Geospatial Database Convergence Scan) indexing algorithm and uses this algorithm for the map database's hierarchical indexing mechanism. Finally, the SQLite embedded database uses in the application of hierarchical indexing mechanism to verify the validity of hierarchical indexing mechanism.

Keywords: navigation path optimization; hierarchical model; map database; G-SDBCScan index; hierarchical indexing mechanism

1 引言

在嵌入式导航系统中, 导航路径寻优算法是其核心部分, 而该算法则需要依赖低层空间地理数据的模型及其数据存储。一般而言, 导航算法面对的是海量电子地图数据, 那么如何在有限空间的嵌入式设备上组织、存储、提取空间数据才是关键。因此对于导航寻径算法依赖的路网数据的存储和路网数据的索引是重中之重。分层导航问径寻优算法依赖的是分层路网数据模型的建立^[1,2], 本文解决在嵌入式设备资源极端有限的环境下, 建立高效的分层空间索引机制, 在下述路网数据物理存储格式的条件下, 保证对路网数据的高效访问及其导航问径算法的高效性^[3]。

(1) 每次计算任何两点间的最优路径过程中读入内存的网格数据的总量必须空间在某一常量以内。

(2) 底层数据存储必须充分利用存储空间以达到数据紧缩的效果。

2 地图数据库分层索引算法研究

空间索引指的是依据空间对象所在的位置及其分布特征按照一定的顺序排列的一种数据结构, 并且该数据结构包含空间对象的内容信息。它的性能直接影响整个导航系统的性能。从空间数据存储介质角度出发, 将空间索引分为以下 3 类^[4]:

(1) 基于外存的索引(基于文件的索引)

该索引所针对的空间数据存储的操作系统的文件中, 主要通过对文件存储结构的研究来加速空间数据的访问。

(2) 基于主存的索引(基于内存的索引)

① 基金项目:浙江省科技厅面上项目(2007C30008)

收稿时间:2010-10-13;收到修改稿时间:2010-11-23

该索引所针对的空间存储在操作系统操纵系统的内存中，通过减少算法的运算量来加速空间数据的访问。

(3) 基于数据库的索引

研究如何利用数据库所提供的存储手段和编程技术来对空间进行索引。

在后 PC 机时代，由于 PC 机的性能的提升，包括内存容量的不断扩大，因此基于内存索引的研究技术也不断成熟，例如基于目标排序的索引、特定的索引方法等(B 树、B+树、R 树系列等)。然而对于嵌入式设备而言，其性能同 PC 机而言仍有很大差距，因此，在嵌入式设备上主要依靠的是基于地图数据库的索引。

2.1 G-SDBCScan 索引算法

一般而言，路径规划算法同道路计算特征数据存储的主要结合点在于需要将特征数据转换为内存邻接表，在此过程中需要不断地 I/O，因此 I/O 的次数极大地考验导航问径的高效性。另外，路径规划对特征数据的读取在无特定约束的情形下是一个发散的过程，在此情形下其效率取决于路径规划算法的最优性。本文研究提出一种 G-SDBCScan (Geospatial Database Convergence Scan, 地理空间数据库收敛扫描) 索引，依据该索引算法所特定存储的路网网格数据^[5]能够为路径规划算法提供多方位的特征数据索引，并在规划算法允许的情况对于数据的读取起到一定的收敛作用。

G-SDBCScan 索引算法的基本思想是对采用网格划分后的路网数据分为级数为 N (N=1,2,3...) 级的收敛网格域，每级的网格收敛域半径可选 (半径 R=m* 单个网格范围，m=0,1,...)，并从左上角开始按照逆时针方向依次索引排序存储，同时在每级的收敛域中，存储每个网格数据相对于原始参照网格的方向。图 1 显示的是采用 G-SDBCScan 索引算法对于 13*13 网格块分 3 级收敛存储。

图 1 中，设定的原始网格数据参照对象为网格 096，该网格数据的第一圈外围网格按照逆时针方向依次存储第一级收敛域网格同该网格中特征数据的连接信息。第二圈和第三圈包围网格按照逆时针方向依次存储第二级收敛域网格同该网格中特征数据的连接信息，并且两圈网格在垂直方向按照从上到下的方向存储。同理，第三级收敛域网格存储的是外围第 4 圈至第 6 圈的网格特征数据的连接信息。同时，在存储各级收敛域网格特征数据连接信息时，需要存储当前有

效网格同参照网格之间的方向。算法流程描述如下：

(1) 确定网格收敛域的级数 N (N=1,2,3...) 以及特征数据所在网格作为参照。

(2) 选定各级收敛域的半径，半径 R=m* 单个网格范围，m=0,1,...，同时对参照网格的方向系进行 16 进制的方向编码。

(3) 由拓扑信息计算同选定特征数据具备连接关系的网格编码值^[6]，并按照逆时针方向依次存储在各级收敛域的网格编码链表中。如果，收敛域半径 N>=2，则从上到下同时以逆时针方向存储网格编码。

(4) 从第一级收敛域开始，顺序取出网格编码值及其特征数据，计算同参照网格的方向偏移编码，按照顺序存储在方向编码链表中。

(5) 数据库中建立各级收敛域的数据基表，以记录的形式按照顺序依次存储上述数据。

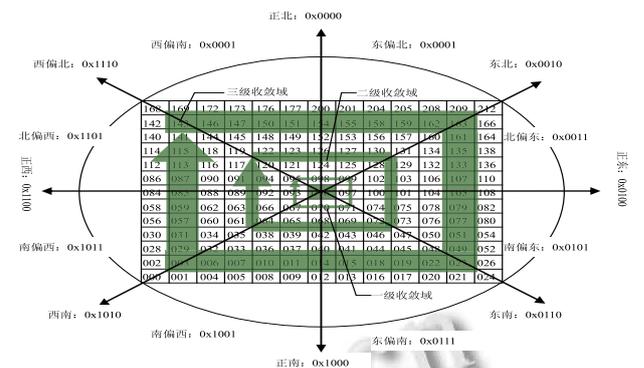


图 1 13*13 网格 3 级收敛域示意图

导航问径在查询网格数据 (以三级收敛域为例) 时，首先需要判断起点网格和终点网格的连接方向以及它们之间的网格跨度半径 Re。如果 Re>=三级收敛域半径 R3，则从该收敛域开始读取数据直至第一级收敛域，读取数据的原则可以根据特征数据是否在方向。如果 Re=二级收敛域半径 R2，则从第二级收敛域至第一级收敛域开始读取数据，如果 Re=一级收敛域半径 R1，则读取第一级收敛域网格数据。

2.2 地图数据库分层索引算法的改进

G-SDBCScan 索引算法解决的是路网数据分层结构中单层网络网格数据块的索引。以该索引算法为基础，本文研究单层路网数据索引结构如图 2 所示。

图 2 中，通过使用加入“页”的形式来管理网格

单元，一个页包含 16 个网格，所有的页数据组成路网数据的基表数据。对于基表数据的访问采用数据库直接访问的方式，即通过记录页地址和页内块地址数据的格网地址索引表来达到访问数据页基表的目的。格网地址索引表的使用能够有效提高地图数据库中网格数据的访问效率，表 1 是使用嵌入式数据库 Sqlite 通过读取 2000 个坐标点数据为例的实验数据。

表 1 数据查询效率对比

	数据地址索引	数据库内部索引 (B+树)
时间 (ms)	<1ms	2~3ms

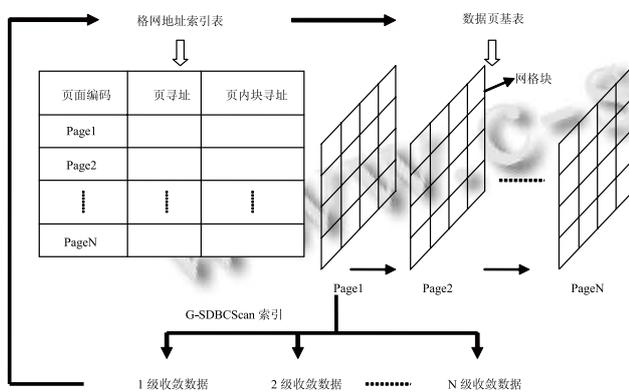


图 2 单层路网数据索引结构示意图

在数据页基表中，对于每个道路结点使用 G-SDBCScan 索引算法建立同该结点相连接的多级收敛数据表，上层路径寻优算法可根据多级收敛数据表查询读取网格数据。同时为了能够使得路径寻优算法对结点读取的连续性，需要建立多级收敛数据表中结点数据的地址索引。

点索引来连通底层网络至高层网络的可达性，结点的索引通过记录上下层同名结点的 ID 来实现，同名结点 ID 必须保证上下层中的 ID 相同。多层网络的层间索引结构如图 3 所示。

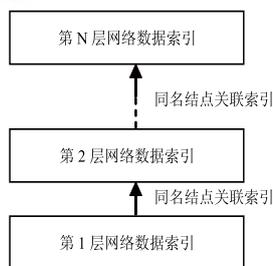


图 3 多层网络的层间索引结构示意图

本文研究的分层索引针对的是分层导航路径寻优算法，一般路径寻优是在确定起止点的情况下查找最优路径，其检索流程如下：

(1) 若起止点距离较近 (9 个网格之内)，则直接在底层路网数据中检索。反之，则通过结点索引在底层找到上层入口点以及终点的下层入口点。

(2) 在同层检索时，根据单层路网数据索引结构，判断搜索点之间的距离权值来确定几级收敛域数据搜索。

(3) 根据 G-SDBCScan 索引算法读取网格数据，利用流行的最优算法 (如 A* 算法) 判断路径的最优性。

(4) 重复步骤 (2) (3) 直至两个搜索点重合。

(5) 各个检索结果合并得到最优路径。

2.3 可行性分析

本文研究的分层索引机制从建立的过程来看确定有一定的复杂性，但是从导航路径寻优高效性的特点来看，前期存储工作的复杂能够在一定程度上提高路径寻优的效率。分层索引机制的关键在于单层路网数据索引结构以及层和层之间的拓扑连接。目前在该方面的数据存储结构研究应用中，大多数采用多叉树 (如四叉树、8 叉树) 来建立数据的索引，上述的索引算法固然对于数据的读取具有一定高效性，但是也存在一定的缺点：

- (1) 索引的建立需要在内存中开辟一定的空间
- (2) 数据的读取是发散的

本文研究的分层索引机制是将数据按照导航路径寻优所需的数据索引结构进行存储，因而无需在内存开辟一定的空间来初始化索引结构。另外 G-SDBCScan 索引算法专门针对导航路径而建立，其算法的思想使得数据在读取的过程中具备一定的收敛性，能够提高路径寻优的效率。

3 实验结果与分析

为验证地图数据库分层索引机制的有效性，本文通过将嵌入式数据库 Sqlite 应用于分层索引^[7]。

实验平台使用 ARM-Linux 嵌入式开发平台，其硬件配置如下：S3C2440 (主频 400MHz)、64M Nandflash、64M Sdram、显示屏分辨率为 480*272。软件开发使用 QT/Embedded 实现。实验数据对象为杭州市地图数据，通过对其数据进行提取和组织来建立杭州路网分层模型

结构,并采用拓扑重构算法得到杭州低层路网节点数为4874、路段数为5928,高层路网节点数为786、路段数为1505。本试验以上述数据为基础,使用分层路径搜索算法,通过设定以下三个条件,对两个结点之间路径最优搜索的时间进行对比,得到测试结果如表2。

- (1)路网数据未采用分层索引(A*算法搜索)
- (2)分层索引未使用G-SDBCScan索引结构。
- (3)分层索引算法使用G-SDBCScan索引结构。

表2 实验数据对比

	起点 ID	终点 ID	时间 (ms)
未使用分层索引	1	100	3240~3412
	200	1000	4362~4510
分层索引 (G-SDBCScan 索引算法)	1	100	2110~2198
	200	1000	2870~3010
分层索引(未加 G-SDBCScan 索引算法)	1	100	2850~2946
	200	1000	3972~4012

从上表我们可以看到在设定的三个不同条件下,导航路径规划的效率是不同的。条件一的情况下缺乏对抽象理论分层作用的重视,因而效率是最低下的。条件二中虽然使用分层索引,但是由于数据读取的分散性,效率并不是最高。条件三是本文研究的分层索引机制(G-SDBCScan索引结构)能够在一定程度上提高路径规划的效率,具有实用性。

(上接第136页)

备对象的地址值。采集设备所有功能都是通过发送IO控制命令完成的,因此只实现ULT_IOControl这个接口函数,其他函数直接返回。

4.5 编译驱动程序

按照3.3节中介绍的方法进行编译,如果没有错误就能得到驱动DLL文件,拷贝到设备上运行并进行测试。

5 结语

随着嵌入式系统的普及及USB接口外设的广泛出现,如何编写用于嵌入式系统的USB驱动越来越受到重视。本文在研究WindowsCE环境下USB系统架构以及USB设备驱动原理的基础上,针对一种采用Cypress公司EZ-USB FX2系列USB控制器的超声波采集设备使用流接口方式实现了设备的USB驱动。

4 结语

本文研究并提出了一种G-SDBCScan索引算法,并将此算法应用于地图数据库分层索引机制中。通过实验数据表明,引入G-SDBCScan算法的分层索引能够有效地提高导航路径寻优算法在读取外存数据有限的情况下的效率,同时也对导航系统路网数据底层存储作出了进一步的研究工作。

参考文献

- 1 赵芳,潘秋生,李建元.道路网络的分层模型与重建算法研究.农业与技术,2008,28(1):162-166.
- 2 刘汉丽,李霖,李清泉,周成虎.用于车辆导航的路径规划数据逻辑模型.测绘科学技术学报,2008,25(1):13-17.
- 3 李楷,钟耳顺.车载电子地图数据物理存储技术研究.中国测绘学会2006年学术年会论文集.北京:中国科学院研究生院,2006.110-115.
- 4 夏启兵.基于关系数据库的地理数据库引擎的研究与实践.郑州:中国人民解放军信息工程大学,2002.
- 5 沈永增,姚萌萌,周巍.空间数据在嵌入式导航系统中的索引.计算机系统应用,2010,19(4):85-88.
- 6 高伟.地理空间数据库引擎的设计与实现[硕士学位论文].郑州:解放军信息工程大学,2007.
- 7 管希萌,刘瑶,徐丽仙,田永晔.嵌入式数据库SQLite应用研究.扬州教育学院学报,2008,26(3):18-22.

本文给出开发WindowsCE平台下USB流驱动的具体过程,其他USB设备流驱动可以参照本文所述方式进行开发。

参考文献

- 1 张冬泉,谭南林,苏树强.Windows CE实用开发技术.北京:电子工业出版社,2009.
- 2 武安河,邵铭,于洪涛.USB设备驱动程序开发.北京:电子工业出版社,2003.3-99.
- 3 赵晶莹,郭海,宋海玉.Windows CE.NET下的USB设备驱动实现.计算机系统应用,2006,15(2):83-85.
- 4 何宗键.Windows CE嵌入式系统.北京:北京航空航天大学出版社,2006.
- 5 微软公司.Microsoft Windows CE Driver Kit.北京:希望电子出版社,1999.