

陆慧娟 徐展翼 高志刚 关伟 编著

# 嵌入式数据库 原理与应用

清华大学出版社



21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

陆慧娟 徐展翼 高志刚 关伟 编著

# 嵌入式数据库 原理与应用



清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书介绍嵌入式数据库系统的基本原理、实现方法和应用技术,包括嵌入式数据库的基础知识、常用技术以及一些高级主题。

全书共分为6章,内容包括嵌入式数据库概述、系统结构、存储和组织、事务管理和系统安全机制,最后以当前广泛使用的SQLite和Berkeley DB为例介绍应用程序开发中使用嵌入式数据库的方法。

本书可以作为高等学校计算机及相关专业本科高年级选修课程或研究生课程的教材,同时也可以作为计算机应用人员及工程技术人员的自学参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

嵌入式数据库原理与应用/陆慧娟,徐展翼,高志刚,关伟编著. —北京:清华大学出版社,2013.8

21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

ISBN 978-7-302-32862-9

I. ①嵌… II. ①陆… ②徐… ③高… ④关… III. ①数据库系统 IV. ①TP311.13

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第136404号

责任编辑:高买花 王冰飞

封面设计:常雪影

责任校对:焦丽丽

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:11.5 字 数:268千字

版 次:2013年9月第1版 印 次:2013年9月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:23.00元

---

产品编号:041393-01

针对嵌入式数据库技术的快速发展,以及国内嵌入式数据库方面缺乏系统教科书的现状,我们编写了本书,介绍嵌入式数据库系统的基本原理、实现方法和应用技术。

全书共6章。第1章综述嵌入式数据库的概况,主要介绍嵌入式数据库的概念、发展趋势、特点和分类,并以一个实例说明其应用。第2章是有关嵌入式数据库系统结构的内容,介绍嵌入式数据库的基本结构,然后以目前国内外广泛流行的4种嵌入式数据库为例,介绍其系统结构、主要特点和应用领域,最后介绍嵌入式数据库设计和实现中涉及的关键技术。第3、4、5章是有关数据库实现方面的内容。第3章主要介绍嵌入式数据库的存储介质和数据组织方法,包括嵌入式数据库的存储体系和存储介质,以及磁盘型和内存型数据库的存储方法、索引方法和装载方法。第4章主要介绍事务管理方法,包括事务模型、事务调度、过载控制、并发性、实时性和移动性。第5章讨论了嵌入式数据库的安全机制,包括安全的体系结构、安全机制及其设计方法等。第6章是嵌入式数据库的应用案例,主要介绍SQLite和Berkeley DB这两个典型嵌入式数据库的应用编程方法。

最后,附录A~附录D提供本书正文样例中的源代码,附录E总结本书中用到的英文缩写词的解释,以方便读者参考。

本书可以作为高等学校计算机及相关专业本科高年级选修课程或研究生课程的教材,同时也可以作为计算机应用人员及工程技术人员的自学参考书。

本书由陆慧娟、徐展翼、高志刚、关伟编著。第1、6章由徐展翼编写;第2章由高志刚编写;第3章由关伟、高志刚编写;第4、5章由陆慧娟编写。全书由陆慧娟、高志刚统稿,由浙江工业大学杨良怀教授、浙江大学陈文智教授、浙江大学王总辉博士审阅。

在本书编写过程中,李川、王萌、陆江江、熊翔、魏莎莎、李孟筑等参加了资料收集、文字录入、绘图和校对等工作,杨良怀、王总辉、何灵敏、王修晖、陈科杰、道克刚等老师为本书提供了许多建议和参考资料,编者所在单位的领导和同事也给予了很大的支持,同时清华大学出版社魏江江、刘向威和王冰飞老师为本书的出版做了大量的工作,在此一并致谢。

在本书编写过程中参考了国内外同行的研究成果和相关资料,在此,编者谨向本书参考文献中列出的作者表示感谢!

本书得到了浙江省高等教育重点建设教材项目的资助。

由于时间仓促，限于编者知识水平，书中如有不当之处，恳请读者批评指正。对本书的意见请按电子邮件地址 [hjlu@cjlu.edu.cn](mailto:hjlu@cjlu.edu.cn) 反馈给编者，在此表示感谢。

编 者

2013 年 5 月

# 目录

## C O N T E N T S

### 第1章 嵌入式数据库概述

1

- 1.1 嵌入式数据库的现状和发展趋势 1
- 1.2 嵌入式数据库的应用 3
- 1.3 嵌入式数据库的特点 4
- 1.4 嵌入式数据库的分类 4
  - 1.4.1 基于内存方式 5
  - 1.4.2 基于文件方式 5
  - 1.4.3 基于网络方式 6
- 1.5 简单的嵌入式数据库实例 7
  - 1.5.1 功能需求 7
  - 1.5.2 数据需求 8
  - 1.5.3 数据库设计 8
  - 1.5.4 数据表实例 9
  - 1.5.5 软件界面结果显示 10

本章小结 11

习题1 11

### 第2章 嵌入式数据库的系统结构

12

- 2.1 嵌入式数据库的结构 12
- 2.2 典型的嵌入式数据库 13
  - 2.2.1 Berkeley DB(BDB) 14
  - 2.2.2 SQLite 17
  - 2.2.3 Empress 19
  - 2.2.4 OpenBASE Mini 21
- 2.3 设计和实现中的关键技术 23

本章小结 25

习题2 25

### 第3章 嵌入式数据库的存储与组织

27

- 3.1 嵌入式数据库的存储体系 27
- 3.2 嵌入式数据库的存储介质 30
- 3.3 磁盘型数据库 33
  - 3.3.1 磁盘型数据库的散列技术 34
  - 3.3.2 磁盘型数据库的索引技术 39
- 3.4 内存型数据库 46
  - 3.4.1 内存型数据库概述 46
  - 3.4.2 内存型数据库的数据组织方式 48
  - 3.4.3 数据库记录与内存的映射关系 54
  - 3.4.4 内存受限时内存数据库装入策略 54
  - 3.4.5 典型的内存型数据库 56
  - 3.4.6 内存型数据库的应用 57
- 本章小结 57
- 习题3 58

### 第4章 嵌入式数据库的事务管理

59

- 4.1 事务的特点和模型 59
  - 4.1.1 传统数据库事务及其特点 59
  - 4.1.2 嵌入式实时事务的模型和特点 60
- 4.2 事务的调度机制 60
  - 4.2.1 实时事务预分析 60
  - 4.2.2 可调度性分析 61
  - 4.2.3 基于功能替代的二次调度策略 61
- 4.3 事务的过载控制 62
  - 4.3.1 过载解决算法 63
  - 4.3.2 过载管理算法 65

# C O N T E N T S

|       |            |    |
|-------|------------|----|
| 4.4   | 事务的并发性     | 66 |
| 4.4.1 | 并发控制特点     | 66 |
| 4.4.2 | 正确性标准      | 68 |
| 4.4.3 | 并发控制策略     | 69 |
| 4.5   | 事务的实时性和移动性 | 70 |
| 4.5.1 | 实时性        | 71 |
| 4.5.2 | 移动性        | 74 |
|       | 本章小结       | 75 |
|       | 习题 4       | 75 |

## 第 5 章 嵌入式数据库的安全机制

76

|       |                   |    |
|-------|-------------------|----|
| 5.1   | 嵌入式数据库安全现状        | 76 |
| 5.2   | 嵌入式数据库安全需求及安全体系结构 | 77 |
| 5.2.1 | 安全威胁              | 77 |
| 5.2.2 | 系统安全需求            | 77 |
| 5.2.3 | 系统安全体系结构          | 78 |
| 5.3   | 嵌入式数据库系统安全机制及设计方案 | 80 |
| 5.3.1 | 身份认证              | 81 |
| 5.3.2 | 访问控制              | 83 |
| 5.3.3 | 数据加密              | 84 |
| 5.3.4 | 安全通信              | 88 |
| 5.3.5 | 安全审计              | 93 |
| 5.4   | SQLite 的安全机制简介    | 94 |
|       | 本章小结              | 94 |
|       | 习题 5              | 95 |

|                                        |                |
|----------------------------------------|----------------|
| <b>第 6 章 嵌入式数据库应用案例</b>                | <b>96</b>      |
| 6.1 Linux 系统下基于 SQLite 的软件开发           | 96             |
| 6.1.1 SQLite 3 安装                      | 96             |
| 6.1.2 SQLite 嵌入式数据库的 ARM-Linux 移植      | 98             |
| 6.1.3 SQLite 的 API 接口                  | 103            |
| 6.1.4 SQLite 工具                        | 111            |
| 6.2 安卓系统下基于 SQLite 的手机软件开发             | 112            |
| 6.3 iOS 系统下基于 SQLite 的手机软件开发           | 117            |
| 6.4 Berkeley DB 的开发                    | 124            |
| 6.4.1 案例概述                             | 124            |
| 6.4.2 案例分析                             | 124            |
| 本章小结                                   | 128            |
| 习题 6                                   | 128            |
| <br><b>附录 A Linux 系统下 SQLite 样例源代码</b> | <br><b>129</b> |
| <br><b>附录 B 安卓系统下 SQLite 样例源代码</b>     | <br><b>138</b> |
| <br><b>附录 C iOS 下 SQLite 样例源代码</b>     | <br><b>147</b> |
| <br><b>附录 D Berkeley DB 实例源代码</b>      | <br><b>165</b> |
| <br><b>附录 E 英文词汇表</b>                  | <br><b>168</b> |
| <br><b>参考文献</b>                        | <br><b>172</b> |

## 第1章 嵌入式数据库概述

目前计算机已进入了后 PC(Personal Computer, 个人计算机)时代。形式多样的数字化产品已经开始成为继 PC 之后信息处理的主要工具。手机、PDA(Personal Digital Assistant, 个人数字助理)等手持移动设备, VCD(Video Compact Disc, 视频压缩盘)、机顶盒、网络冰箱等家电产品, 车载 GPS(Global Positioning System, 全球定位系统)、数控机床等先进制造业产品, 都采用了嵌入式系统。

嵌入式系统中的数据存储和管理以及数据查询等功能的高实时性由嵌入式数据库来实现。嵌入式数据库是很多现代数字化产品的关键基础软件。例如, 新型的汽车上安装了许多小型的车用计算机部件, 用来控制燃料的使用, 根据温度和气压调整发动机的运转。这些部件彼此相连, 测出的数据能够作为汽车运行保养的基础分析数据。当汽车修理时, 修理人员插入一个与计算机连接的相关部件, 就可以获取这些数据进行故障分析。另外, 还可以增加数据连接功能, 如连接到全球定位系统, 让司机准确获知当前的位置; 与电子地图相连, 输入目的地, 显示出到达目的地的最佳路径; 以及连上互联网获取其他信息, 如天气预报、餐厅的地址和电话等, 甚至可以进行移动商务。其中, 完善的数据库管理功能是提供上述服务的重要保证。

计算的移动性、连接的频繁断接性、网络条件的多样性、网络通信的非对称性、系统的高伸缩性和低可靠性以及电源能力的有限性等因素对嵌入式数据库的性能提出了非常高的要求。由此可见, 传统数据库管理系统已经无法满足嵌入式计算环境的需求。为提高数字化产品的竞争力, 需要针对相关的领域需求, 研究开发具有自主知识产权的嵌入式数据库系统。

### 1.1 嵌入式数据库的现状和发展趋势

嵌入式数据库系统可以从体系结构方面来定义: 嵌入式数据库系统是指支持移动计算或某种特定计算模式的数据库管理系统, 它通常与操作系统和具体应用集成在一起, 运行在智能型嵌入式设备或移动设备上。在不引起混淆的情况下, 通常把数据库系统简称为数据库。嵌入式数据库技术涉及数据库、分布式计算以及

移动通信等多个学科领域,是 20 世纪 90 年代中期开始产生的一个较新的研究领域。最近几年,随着移动设备和通信网络的技术进展以及硬件价格的逐步降低,对适合于移动环境下应用的数据管理技术提出了迫切的需求,并且这种技术已成为研究的热点。

国际上著名的商业数据库公司如 Sybase、Oracle 等都已推出了移动/嵌入式数据库产品,以支持嵌入式系统中的数据处理需求。国内也有单位如中科院、东北大学、浙江大学、中国人民大学等正在开展这方面的研究。由于嵌入式产品具备硬件平台多样性和应用个性化的特点,因此嵌入式软件呈现出一种高度细分的市场格局,国外产品也很难垄断整个市场,这为我国的嵌入式软件行业提供了一个难得的发展机遇。

近年来,嵌入式数据库的研究取得不少进展,以下几个趋势值得关注:

(1) 智能化和主动化。以往的嵌入式数据库往往是以存储为目的的被动型数据库,只能被动地接受操作系统和应用程序的调用来执行相应的动作。能够根据数据库中存储的情况和自身特点,适当地做出优化来满足不同条件下的应用需求的智能化、主动型嵌入式数据库是未来研究的热点。

(2) 多媒体嵌入式数据库。随着高档电子消费品日益受到人们的青睐,能够对视频、音频、文字、图像进行存储和快速检索的嵌入式数据库将具有更大的市场,并成为人们研究的热点。

(3) 时空数据库。导航设备、水文、地质、地形地貌相关电子产品的快速发展,迫切需要能够同时处理时间和空间数据的时空数据库。

当然,除了上述嵌入式数据库的发展方向以外,还有很多新的方向,例如当前盛行的云嵌入式数据库等。

嵌入式数据库实现技术的改进和升级可以从以下几个方面寻找突破口:

(1) 数据库内核。由于嵌入式系统可用资源的受限性,嵌入式数据库内核的大小是一个关键的问题,那种以牺牲数据库的功能来换取较小的内核显然与发展趋势相背离。

(2) 数据库的可靠性。嵌入式数据库的应用越来越广泛,也越来越复杂,其功能已经从传统的添加、删除等操作转向声音、视频、三维或多维数据、智能控制等方向,因此可靠性的提高也是至关重要的一环。

(3) 数据库的可移植性。尽管目前的嵌入式数据库产品可以支持多种不同的操作系统,但在嵌入式系统开发过程中,开发人员仍需充分考虑硬件平台、操作系统平台以及它们的接口定义,如果有能适用于绝大多数操作系统平台,或者对操作系统平台透明的嵌入式数据库,势必可以大大地提高开发效率。

随着互联网、高速无线互联、廉价内存及高速处理器的出现,嵌入式系统对数据管理的要求越来越高。高性能、高可靠性、具有实时处理和自动恢复功能的嵌入式数据库,已成为众多移动应用的基础支撑。嵌入式数据库技术正逐渐成为先进制造重点产业、重大产品的关键、共性技术之一,它的应用能极大地提高数字化产品的附加值,拓宽以数字电视、移动通信设备、数字仪表、网络通信设备、安全设备、工控系统及智能家电为代表的数字产品的发展空间。

## 1.2 嵌入式数据库的应用

嵌入式数据库在国外已经有 30 多年的历史,应用领域非常广泛。下面介绍它的一些主要应用领域。

(1) 网络通信。随着互联网的发展,网络越来越普及,网络设备的处理能力越来越强,各种要求也越来越高,运用嵌入式数据库成为必然趋势。嵌入式数据库在一些企业内部互联网装置、网络传输的分布式管理装置、语音邮件追踪系统、VoIP (Voice over Internet Protocol, 网络电话) 交换机、路由器、基站控制器等系统中都有应用。

(2) 工业控制。工业控制的基本方式是反馈的闭环或半闭环的控制。随着工业控制技术的发展,简单的数据采集方式和反馈方式很难满足要求。采用嵌入式数据库既能进行高速的数据采集,也能进行快速的反馈。正因为如此,在一些核电站监控装置、化学工厂系统监控装置、电话制造系统监控装置、汽车引擎监控装置及工业级机器人中有广泛应用。

(3) 消费类电子。目前在中国消费类电子产品应用广泛,例如个人消费相关的 PND (Portable Navigation Devices, 便携式自动导航系统)、移动电话、PDA、SmartPhone、数码产品等,信息家电和智能办公相关的机顶盒、家用多媒体盒、互联网电视接收装置、打印机、一体机以及汽车电子等。在欧美和日本,嵌入式数据库在这些方面已经有不少的成功应用。

(4) 医疗领域。北美和欧洲的一些著名的厂商利用嵌入式数据库开发过完整的电子病历系统,同时将数据库嵌入到医疗器械当中,例如血液分析装置、乳癌的检测装置、医学图像装置等。这样医疗系统的各个环节可以无缝地和各种医疗设备进行数据交流,并轻松地处理这些设备送过来的数据信息,在必要的时候共享给受限用户查看。

(5) 军事应用。一些著名的军事机构和全球著名的武器生产商将嵌入式数据库运用到它们的系统控制装置、战士武器、军舰装置、火箭和导弹装置中。这些场合用的数据库有很多安全设定和个性化设定,按照每个客户的技术标准要求来个性化引擎级构件。具体的应用级构件由客户自己完成。

(6) 地理信息系统。国外在地理信息系统方面已经发展了很多年,国内这些年也逐渐加大对地理信息系统方面的投入。嵌入式数据库在地理信息系统方面的应用非常广泛,例如空间数据分析系统、卫星天气数据、龙卷风和飓风监控及预测、大气研究监测装置、天气数据监测、相关卫星气象和海洋数据的采集装置、导航系统等,几乎涉及地理信息的方方面面。

(7) 空间探索。一些全球著名的机构将嵌入式数据库用在一些空间探索装置中,如众所周知的一些太阳系内行星的探测器等。

随着嵌入式系统广泛应用及嵌入式实时操作系统的不断普及,为嵌入式环境提供数据管理成为系统中需要解决的重要问题。当前的数据管理不仅用于大型通用的后台数据库中,在各种网络设备(如路由器、交换机等)、移动通信、计算和娱乐设备(如掌上电脑、移动电话、便携式媒体播放机等)、数据采集与控制设备、数字化智能家电产品、交通、建筑、医疗智能设备等应用领域,计算和数据技术向微型化、网络化、移动性方向发展,业界预测将来会出

现数以亿计的嵌入式设备需要数据管理,数据采用集中式方法进行管理是远远不够的,这些都是嵌入式数据库应用的潜在市场。

### 1.3 嵌入式数据库的特点

与传统数据库系统相比,嵌入式数据库系统有以下几个主要特点:

(1) 嵌入性。嵌入式数据库不仅可以嵌入到其他的软件中,也可以嵌入到硬件设备中,因此无论是在网络上不同计算机之间还是在同一台计算机的不同进程之间,数据库操作并不要求进程间通信,而且其对所有数据的操作都使用应用编程接口,不需要对某种查询语言进行解析,也无须生成解析计划。

(2) 实时性。实时性是指在完成时间方面具有一定的要求。实时性和嵌入性是分不开的,只有具有嵌入性的数据库才能第一时间得到系统的资源,对系统的请求在第一时间作出响应。但是并不是具有嵌入性就一定具有实时性。为了使嵌入式数据库具有很好的实时性,必须做很多额外的工作。

(3) 灵活性。当前的嵌入式数据库产品大多具有很强的灵活性,支持多种开发平台,面向多种开发工具,预留灵活的开发接口。

(4) 移动性。具有嵌入性的数据库通常具有比较好的移动性,但是具有比较好的移动性的数据库不一定具有嵌入性。

(5) 伸缩性。伸缩性是嵌入式数据库的特点之一,没有伸缩性就无法在较小的空间上管理大规模存储空间上的数据。大部分嵌入式数据库可以提供线程/任务级别的引擎,使系统的伸缩空间大大扩大。

从某种程度上说,嵌入式场合的数据比传统的数据更复杂,所以要支持各种类型数据(如多媒体数据和空间数据等)以外,还要支持各种数据结构,除了传统的关系型,还要能处理树状结构和网状结构。当然,嵌入式数据库要具备传统数据库所具有的一些特点,例如,一致性是数据库所必需的特性,通过事务(Transaction)、锁功能、日志记录以及数据同步等多种技术保证数据库中各个表内数据的一致性,同时也保证数据库和其他同步或镜像数据库内数据的一致性。

### 1.4 嵌入式数据库的分类

嵌入式数据库的分类方法很多,可以按照嵌入对象的不同分为软件嵌入数据库、设备嵌入数据库、内存数据库;也可以按照系统结构分为嵌入数据库、移动数据库、小型的 C/S (Client/Server, 客户机/服务器) 结构数据库等。按照数据库存储位置的不同而进行分类是目前广泛采用的分类方法,它可以划分为基于内存方式、基于文件方式和基于网络方式三类。下面对这三类数据库进行介绍。

### 1.4.1 基于内存方式

基于内存方式的数据库系统(Main Memory DataBase System)是实时系统和数据库系统的有机结合。实时事务要求系统能较准确地预测事务的运行时间,但对磁盘数据库而言,由于磁盘存取、内外存的数据传递、缓冲区管理、排队等待及锁的延迟等,使得事务实际平均执行时间与估算的最坏情况执行时间相差很大。如果将整个数据库或其主要的“工作”部分放入内存,使每个事务在执行过程中没有 I/O,则为系统较准确估算和安排事务的运行时间具有较好的动态可预测性提供了有力的支持,同时也为实现事务的定时限制打下了基础。

内存数据库是支持实时事务的最佳技术,其本质特征是其“主拷贝”或“工作版本”常驻内存,即活动事务只与实时内存数据库的内存拷贝打交道。对内存数据库可归纳出如下定义:

设有数据库 DB,  $DBM(t)$  是  $t$  时刻 DB 在内存中的数据集,  $DBM(t)$  真包含于 DB; TS 为所有事务的集合,  $AT(t)$  是  $t$  时刻的活动事务集,  $AT(t)$  真包含于 TS;  $Dt(T)$  为  $T$  在  $t$  时刻的操作数据集,  $Dt(T)$  真包含于 DB; 若在任一时刻  $t$ , 均有对任一事务  $AT(t)$ ,  $Dt(T)$  真包含于  $DBM(t)$  成立, 则称 DB 为一个内存数据库, 简记为 MMDB。

按此定义, MMDB 的“工作版本”(当然也可以是整个数据库)常驻内存, 任何一个事务在执行过程中没有内外存间的数据 I/O。

显然, 它要求较大的内存量, 但并不是要求任何时刻整个数据库都能存放在内存, 即内存数据库系统也要处理 I/O 事件。内存数据库已脱离传统磁盘数据库的概念, 传统数据库适用的数据结构、事务处理算法与优化、并发控制及恢复等技术对内存数据库不一定合适, 需独立设计。

实时内存数据库的设计应该打破传统磁盘数据库的设计观念, 考虑内存直接快速存取的特点, 以 CPU 和内存空间的高效利用为目标, 来重新设计、开发各种策略与算法、方法及机制。

目前, 内存数据库系统已广泛应用于航空、军事、电信、电力、工业控制等众多领域, 而这些应用领域大部分都是分布式的, 因此分布式内存数据库系统成为新的研究热点。

### 1.4.2 基于文件方式

文件型数据库就是以文件(File-Based)为组织方式, 数据按照一定格式储存在磁盘中, 使用时由应用程序通过相应的驱动程序甚至直接对数据文件进行读取。这种数据库的访问方式是被动式的, 只要了解其文件格式, 任何程序都可以直接读取, 因此它的安全性很低。

虽然文件数据库存在诸多弊端, 但针对嵌入式系统在空间、时间方面的特殊要求, 基于文件方式的数据库还有一定的用武之地。DBF(Dbase/Foxbase/Foxpro)、Access、Paradox 等数据库都是文件型数据库, 嵌入式数据库 Pocket Access 也是文件型数据库。

### 1.4.3 基于网络方式

根据数据库与应用程序是否存放在一起,可以将嵌入式数据库简单地分为嵌入式本地数据库和嵌入式网络数据库。前面介绍的基于内存方式和基于文件方式的数据库属于嵌入式本地数据库,下面介绍以网络方式存在的嵌入式数据库。

#### 1. 嵌入式网络数据库系统

嵌入式网络数据库系统是指客户端为嵌入式设备,数据存放在远程服务器上的数据库系统。客户端通过网络协议,可以使用 SQL(Structured Query Language,结构化查询语言)接口或者其他接口访问远程数据信息。客户端的主要技术在于网络协议的实现;远程服务器除了提供基本的数据服务外,关键需要处理好多用户并发问题,并维护数据的一致性。

嵌入式设备的通信方式有串口通信、红外通信、蓝牙通信、GPRS(General Packet Radio Service,通用无线分组业务)、CDMA(Code Division Multiple Access,码分多址)拨号通信等。前3种通信方式的通信距离都非常短,串口通信受制于串口线,红外通信只有数米,蓝牙通信理论上仅能达到30m以内。GPRS/CDMA原来只用于手机上的语音通信,最近几年也用于嵌入式设备间以及嵌入式设备与远程服务器之间的数据通信,这种通信方式没有距离限制从而可以真正实现远距离通信,嵌入式设备可以通过GPRS/CDMA拨号连入Internet网络,通过Internet作为中介与其他嵌入式设备、远程服务器通信。

嵌入式网络数据库系统基于GPRS/CDMA拨号通信基础之上。在逻辑上可以把嵌入式设备看作远程服务器的一个客户端。实际上,嵌入式网络数据库是把功能强大的远程数据库映射到本地数据库,使嵌入式设备访问远程数据库就像访问本地数据库一样方便。

嵌入式网络数据库主要由三部分组成:客户端、通信协议和远程服务器。客户端主要负责向嵌入式程序提供接口;通信协议负责规范客户端与远程服务器之间的通信;远程服务器除了需要提供客户端所请求的服务外,还需要解决多客户端的并发问题。

#### 2. 嵌入式网络数据库系统的特点

嵌入式网络数据库系统的主要功能是使嵌入式设备访问远程服务器上的数据。与嵌入式本地数据库系统相比,嵌入式网络数据库系统具有下面的特点:

(1) 无须解析SQL语句。嵌入式网络数据库的客户端只需要把SQL语句(或者有关数据)略加处理后通过有关协议发给远程服务器;远程服务器收到该SQL语句(或者有关数据)后再交给后台的大型数据库系统处理。

(2) 支持更多的SQL操作。因为嵌入式网络数据库只是负责转发SQL语句(或者有关数据),因此理论上远程的后台数据库系统支持的SQL语句,嵌入式网络数据库都支持。

(3) 客户端小,无须支持可裁剪性。嵌入式网络数据库的客户端只需要负责实现协议并通过该协议转发SQL语句(或者有关数据),因此客户端非常小,这有利于嵌入式的应用。

(4) 有利于代码重用,可移植性强。因为嵌入式设备采用统一的协议,因此,采用嵌入

式网络数据库有利于代码重用,可移植性强。

嵌入式网络数据库、嵌入式本地数据库、嵌入式 Web 服务器等构成了各种各样的嵌入式综合信息系统,如手机移动应用、电子地图系统、银行系统、移动警务系统等。在这样的综合信息系统中,嵌入式网络数据库起着至关重要的桥梁作用。

目前,通过 GPRS/CDMA 拨号上网的速度还比较慢,因此,嵌入式网络数据库只能应用于数据流量较小的领域。但是随着 3G 网络的应用,嵌入式设备上网的速度将越来越快,包括图像、音乐、视频会议等多媒体应用将在嵌入式设备中迅速普及,高速的数据访问将是嵌入式网络数据库领域的发展方向之一。

## 1.5 简单的嵌入式数据库实例

以上介绍了嵌入式数据库的发展、应用、特点以及分类,本节首先描述一个具体案例的背景、数据需求、方案和结果,后续章节中将引用这个案例对嵌入式数据库的相关知识进行探讨。有关具体嵌入式数据库开发的方法和过程将在第 6 章中进行详细阐述。

### 1.5.1 功能需求

学生成绩管理系统是目前学校必不可少的信息管理系统,能够提高学校管理的工作效率,也是学生在校学习过程中经常接触到的管理系统。因此本书采用一个简单的学生选课系统作为例子,它简化为学生和课程两个实体,其实体联系图(Entity Relationship Diagram, E-R 图)如图 1-1 所示,使读者能够快速地了解系统需求,掌握系统内部的基本逻辑。其规定如下:

(1) 某大学有学生若干名,每个学生选修若干门课程,每门课程可以被若干个学生选修。

(2) 每个学生有学号、姓名、性别、年龄、电话等基本信息。

(3) 每门课程有课程号、课程名称、学分等信息。

(4) 学校需要对每个学生的基本信息、所学课程、成绩进行统一管理,以便于对信息进行查询、浏览和修改。

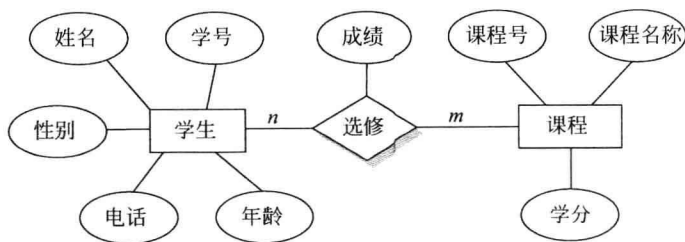


图 1-1 E-R 图

1.5.2 数据需求

学生成绩管理系统的数据库可简化为学生表、课程表和选修表。可按下面的步骤来分析：

- (1) 确定学生的属性，如学号、姓名、性别、年龄、电话等。
- (2) 确定课程的属性，如课程号、课程名称、学分等。
- (3) 确定学生和课程两个实体间为多对多联系，并确定联系“选修”的属性为课程成绩。

1.5.3 数据库设计

根据 E-R 图，将其转化为如下 3 张数据表：学生表、课程表和选修表。

1. 学生登记表——学生表(如表 1-1 所示)

表 1-1 学生表

| 字段名称   | 字段类型 | 字段宽度 | 备注 |
|--------|------|------|----|
| Snum   | 字符型  | 10   | 学号 |
| Sname  | 字符型  | 6    | 姓名 |
| Ssex   | 字符型  | 2    | 性别 |
| Sage   | 数值型  | 3    | 年龄 |
| Sphone | 字符型  | 12   | 电话 |

2. 课程登记表——课程表(如表 1-2 所示)

表 1-2 课程表

| 字段名称    | 字段类型 | 字段宽度 | 备注   |
|---------|------|------|------|
| Cnum    | 字符型  | 4    | 课程号  |
| Cname   | 字符型  | 10   | 课程名称 |
| Ccredit | 数值型  | 3    | 学分   |

3. 选修关系登记表——选修表(如表 1-3 所示)

表 1-3 选修表

| 字段名称  | 字段类型 | 字段宽度 | 备注  |
|-------|------|------|-----|
| Snum  | 字符型  | 10   | 学号  |
| Cnum  | 字符型  | 4    | 课程号 |
| Score | 数值型  | 3    | 成绩  |