

嵌入式数据库 SQLite 在雷达信号处理系统中的应用^①

Application of SQLite Embedded Database in Radar Signal Processing System

李 坤 姚龙海 程 涛 (电子工程学院 研三队 安徽 合肥 230037)

摘 要: 嵌入式系统和嵌入式数据库技术的不断发展完善,使其在雷达信号处理设备中的应用日益广泛。对嵌入式数据库 SQLite 的内部结构、主要接口函数和技术特点给予简单的介绍,以 Blackfin533 和 μ CLinux 为开发平台,介绍了嵌入式数据库 SQLite 在雷达信号处理系统中的具体应用。

关键词: 嵌入式数据库 SQLite 雷达信号处理 Blackfin533

科学技术的飞速发展使得现代战场电磁环境日益复杂,如何在纷繁复杂的战场电磁环境中及时、准确的侦察到敌方的情报,是进行正确决策、克敌制胜的关键。便携式雷达侦察装备体积小、机动性强,可以隐蔽在前线,是战场侦察敌情的重要手段之一。我国边境线漫长,地形条件复杂多变,便携式雷达侦察装备对于增强地形复杂的边境地区日常雷达情报侦察能力意义重大。

嵌入式系统体积小、功耗低、稳定性强,在便携式雷达信号处理装备中应用广泛,但传统的便携式雷达侦察装备缺乏有效的数据处理和管理能力,需要连接主机或者数据库服务器进行雷达信号处理。装备的体积和功耗较大,速度慢,已经难以适应复杂多变的现代战场环境。嵌入式数据库本身体积小,占用的硬件资源少,响应速度快,可以很好的解决上述问题。

1 嵌入式数据库技术概述

嵌入式数据库系统是指支持某种特定计算模式或移动计算的数据库管理系统,通常是与嵌入式操作系统及具体的应用集成在一起,无需独立运行数据库引擎,由程序直接调用相应的 API 函数就可实现对数据的存取操作。主要应用于由 ARM/DSP 组成的嵌入式设备和智能手机等移动设备中。嵌入式数据库的主要

设计思想是:在向上层应用提供标准数据库接口的同时,摆脱传统数据库仅仅由软件驱动的束缚,根据嵌入式系统的实际情况用 SOC(system on chip)技术同时实现硬件驱动。嵌入式数据库主要具有以下特点:

(1) 体积适当:嵌入式系统中硬件资源有限,对数据的存储和程序的运行都有较强的空间限制,所以嵌入式数据库的体积要适当。

(2) 功能齐备:嵌入式系统开发中,用户需求决定了需要一个大小适中、功能齐备的数据库来实现数据管理。

(3) 方便移植:嵌入式系统的平台种类繁多,因此嵌入式数据库应有一定的可移植性,以适用于不同的软硬件平台。

(4) 开源代码:开源的代码在产品的开发过程中不仅可以减少开发成本,还可以为后期的维护完善和稳定运行都提供了最彻底的解决方法。

2 开放源码嵌入式数据库 SQLite

2.1 SQLite 的内部结构

SQLite 是 D.理查德·希普用一个小型的 C 库开发的一种嵌入式关系数据库管理体制。它安全独立,不具有外部依赖性,可以方便的应用于各类嵌入式系统中。SQLite 采用模块化的设计思路,主要由 4 个组

^① 收稿时间:2009-01-20

件构成: 内核(Core)、SQL 编译器(SQL Compiler)、后端(Backend)以及附件(Accessories)。SQLite 利用虚拟机和虚拟数据库引擎(VDBE), 使调试、修改和扩展 SQLite 的内核变得非常方便。所有 SQL 语句都被编译成易读的、可在 SQLite 虚拟机中执行的程序集。其内部结构如图 1 所示。

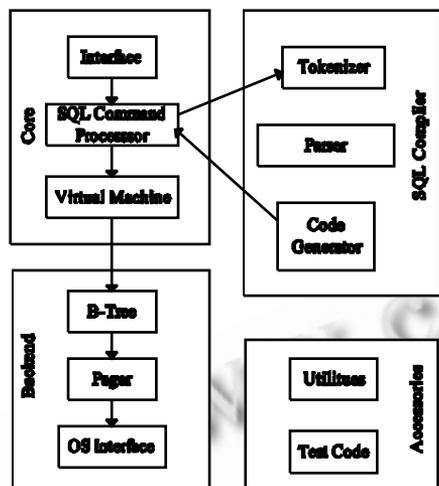


图 1 SQLite 的内部结构图

SQLite 的接口是一些已经编写好的 C 库, 即使使用不同语言的 API, 在底层仍然使用 C 库执行。SQL 语句通过接口进入到高效的 SQL 编译器, 由标记处理器(tokenizer)分解成柠檬分析器(parser)可以识别的各个标志符, 然后由分析器重新组合标志符并调用代码生成器(code generator)生成虚拟机器码, 交由虚拟机(virtual machine)去执行, 最终完成 SQL 语句指定的任务。虚拟机是 SQLite 内部结构的核心, 不仅完成与数据操作相关的全部操作, 而且还是客户和存储之间信息进行交换的中间单元。数据库按照 B-树(B-tree)的形式存储在磁盘上, 通过可调整的页面缓冲(pager)获得对数据的快速查找和存储。为了方便移植, SQLite 使用一个抽象层接口(OS interface)与不同操作系统进行对接。

2.2 SQLite 提供的主要接口函数

SQLite 不是关系型数据库, 不能用标准的 SQL 语句对数据库进行操作, 对数据库的操作要调用专门的 API 函数来实现。这些 API 函数提供了查询、插入、删除的功能。SQLite 本身提供了 C 语言的 API 接口, 对数据库的操作主要通过调用以下三个核心 API 函数来实现:

- (1) 打开数据库: `sqlite * sqlite_open (const char * dbname, int mode, char ** errmsg);`
- (2) 关闭数据库: `int sqlite_close (sqlite * db);`
- (3) 执行 SQL 语句: `int sqlite_exec (sqlite * db, char * sql, int (* Callback)(void *, int, char **, char **), void * parg, char ** errmsg);`

前两个函数用来打开和关闭数据库, `sqlite_exec` 函数用来执行 sql 语句, 它的五个参数的意义分别为:

- ① 调用 `sqlite_open` 函数获得的数据库结构的指针。
- ② 待执行的一个或多个 SQL 语句字符串, 语句间必须用";"号隔开。
- ③ 指向 Callback 函数的指针, Callback 函数由用户编写, 用来接收查询结果, 如果是查询(SELECT)语句, 查询结果的每一条记录都会调用 Callback 函数一次; 如果不是查询语句, 则第三、四个参数为 NULL, 所有 SQL 执行完毕后返回 0, 否则返回错误代码, 可通过第五个参数值来查看详细错误信息。
- ④ 为 Callback 函数第一个参数的指针。
- ⑤ 指向错误信息的指针。

2.2 SQLite 的主要技术特点

SQLite 开放源码, 可以免费用何用途。SQLite 虽然是个极端轻量级的数据库, 却保留了数据库的大部分特征, 他提供了对 SQL92 的大多数支持: 支持多表和索引、事务、视图、触发和一系列户接口及驱动。其主要特征如下:

- (1) 支持原子的、一致的、独立的和持久的(ACID)事性, 即使系统崩溃和掉电。
- (2) 零配置(Zero configuration), 无需安装和管理。
- (3) 一个完整的数据库存储在单一磁盘文件中。
- (4) 数据库文件可以在不同字节顺序的机器间自由共享。
- (5) 支持数据库大小至 2 TB。
- (6) 字符串和二进制大对象(BLOBs)的大小仅被有效限制。
- (7) 源码体积小, 编译后低于 250 KB。
- (8) 大部分的操作比关系型数据库引擎要快。
- (9) 简单易用的 API 函数。

3 SQLite在雷达信号处理系统中的应用

3.1 系统开发环境

嵌入式系统的显著特点在于：可以根据应用对象的不同而订制其对应的服务，具有很强的针对性。根据雷达信号处理的实际需求，选用了具有强大数据处理能力的 Blackfin533 处理器 + μ Clinux 构建了 SQLite 数据库开发的软硬件平台。

Blackfin 系列 DSP 是 ADI 公司推出的高性能、低功耗的新一代 DSP 处理器，它融合了 Analog Devices/Intel 的微信号结构(MSA)，应用广泛。 μ Clinux 是当前广泛应用的一种嵌入式 Linux 操作系统，是一个完全符合 GNU/GPL 公约的项目，开放源码。 μ Clinux 针对嵌入式应用的特点，对 Linux 的内核进行了修改和重新编译，其大小远小于原来。它包含 Linux 常用的 API，保留了原来 Linux 操作系统具有的高稳定性、强大的网络功能和卓越的文件系统支持功能等优点。

3.2 系统结构和功能

嵌入式雷达信号处理系统主要由以下几部分组成：雷达信号处理模块、信号特征管理模块、嵌入式数据库和输出显示模块。其结构如图 2 所示：

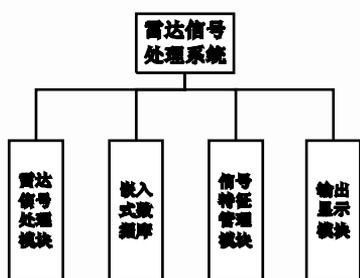


图 2 嵌入式雷达信号处理系统结构图

系统的主要功能是：将接收机截获的雷达脉冲信号数据，经 Blackfin533 预处理和分选后，与嵌入式数据库中的已有雷达信号进行特征匹配识别，并将结果输出显示。嵌入式数据库的使用，使得整个雷达信号处理过程可以在嵌入式系统上独立完成。嵌入式雷达信号处理系统的简单流程如图 3 所示。

首先在 Blackfin53 中对接收机截获的雷达脉冲信号流进行预处理，主要是按照 DOA、RF 等一个或多个参数对脉冲流进行稀释、分组；然后按一定的分选算法，由 Blackfin53 对信号进行分选；接着由应用程序调用 SQLite 提供的 API 函数查询雷达信号特征

库，对已分选出的雷达信号进行匹配识别；最后将处理结果输出显示。

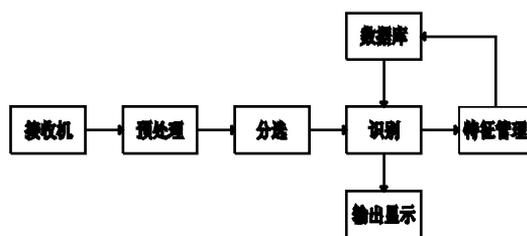


图 3 嵌入式雷达信号处理系统的流程

其中信号识别是雷达信号处理的关键过程，信号识别通常包括：辐射源识别、目标识别和威胁等级的确定等。信号识别的原理如图 4 所示：

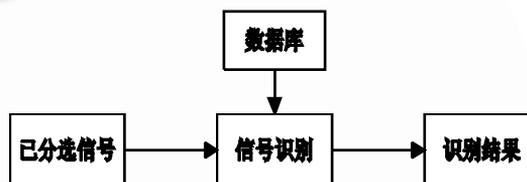


图 4 雷达信号识别原理图

在 SQLite 数据库中存有已知雷达信号数据库，其主要内容是各已知雷达的各种特征参数，如：信号频率的均值、最大值、最小值，信号方位，天线扫描方式、周期，脉内特征，脉冲调制类型等。将已分选的雷达信号的特征参数与数据库中的雷达信号特征参数进行比较，根据参数匹配的程度来确定信号被识别的可信度。信号识别完成后，根据信号匹配情况及时更新雷达信号特征：

(1) 不在数据库中，则添加新的雷达信号并填写新信号的特征参数。

(2) 信号特征部分匹配，则分析产生差异的原因并以此决定是否更新特征参数。

(3) 信号特征完全匹配时不做任何操作。

3.3 SQLite 应用程序交叉编译

为了将嵌有 SQLite 的雷达信号处理程序应用到 Blackfin53 + μ Clinux 开发平台上，必须对雷达信号处理程序进行交叉编译，然后下载到 Blackfin533 雷达信号处理板上。SQLite 嵌入式数据库提供了以源码发布的方式，要在众多的硬件平台进行移植，可以根据不同平台对源码进行交叉编译来实现。编译主要有以下几个步骤：

① 在 Linux 下根据硬件厂商(ADI)、器件型号(Blackfin533)编译出相应的 μ Clinux。

② 下载 SQLite 源代码,解压后,在/uclinux-dist/user/下建立一个新的文件夹,将源程序和信号处理程序放到里面。

③ 添加与 SQLite 对应的 Makefile 文件至 μ Clinux-dist/user 目录下,同时修改 main.mk 文件。

④ 交叉编译。

编译完成后,SQLite 和雷达信号处理程序会被加入内核中,将内核下载到 Blackfin533 雷达信号处理板中。

4 结语

我军信息化建设的不断发展,对便携式雷达信号处理装备的数据处理能力和装备体积的要求越来越高。开放源码的嵌入式数据库 SQLite 内核微小、运行速度快、可以在众多硬件平台上移植,能够很好的适应便携式雷达信号处理装备的需求。

SQLite在以Blackfin533处理器为核心的便携式雷达信号处理装备中的应用,提高了便携式雷达信号处理装备的数据处理能力。同时它使系统具有以下突

出特点:①高可靠性:即使在断电情况下也能保证数据不丢失、损坏,能够在条件恶劣的战场环境下持续、可靠的工作;②速度快:SQLite 大部分的操作比关系型数据库引擎要快,能够在较短的时间内完成雷达信号的处理工作,给指挥员的决策提供了更多的宝贵时间;③便携性:SQLite 源码体积小,编译后低于 250 KB,占用的硬件资源少,有利于装备的小型化,增强了装备的机动性、隐蔽和生存能力。

参考文献

- 1 陈峰.BLACKFIN 系列 DSP 原理与系统设计.北京:电子工业出版社,2004.
- 2 万玛宁.嵌入式数据库典型技术 SQLite 和 Berkeley DB 的研究.微计算机信息,2006,2.
- 3 ADI 公司. ADSP-BF533 Blackfin™ Processor Hardware Reference.
- 4 Hipp DR. Features of SQLite. <http://www.sqlite.org>, 2006.
- 5 Newman C. SQLite. Sam Publishing, 2004.
- 6 孙天泽,袁文菊,张海峰.嵌入式设计及 Linux 驱动开发指南.北京:电子工业出版社,2005.