

嵌入式Linux 上 GUI 应用的开发技术

林甲威 孙未末 陈金海

摘 要 在嵌入式Linux 上设计 GUI 应用程序是流行的趋势。本文首先概述了嵌入式系统, 嵌入式Linux 以及嵌入式 GUI, 接着着重介绍了一种成熟的嵌入式 GUI 即 Qt/Embedded, 并较全面的剖析了该环境下的程序开发技术。结合笔者的开发经历和嵌入式英汉双向翻译字典软件实例, 文章最后提供了嵌入式 GUI 应用程序开发的若干成熟经验。

关键词 嵌入式Linux 嵌入式 GUI Qt/Embedded 嵌入式字典软件

一、引言

近年来, 随着 3C 技术(消费类电子, 计算机, 通信)趋向融合, 嵌入式系统得到迅猛发展和普及, 嵌入式技术的研究与发展成为当前的一个热点话题。多种新新的嵌入式设备如信息家电、手持设备、移动电话和 PDA 等发展迅速, 它们往往配置 32 位的 CPU, 相当数量的内存和 Flash, 支持多种输入设备, 一般的还具备液晶显示屏。在硬件技术进步的基础上, 随着移动互联网、个人信息管理、移动办公、游戏和娱乐等应用的开展和普及, 这些新型嵌入式系统对无整的图形用户界面(GUI)的需求将会越来越迫切。

Linux 是当前流行的操作系统。首先它是源码开放的系统, 可方便地进行裁减和定制; 其次, Linux 系统已经支持大多数嵌入式系统上使用的芯片, 如 x86, Strong ARM, MIPS 和 PowerPC; 最后, Linux 是免费的, 使用 Linux 不需要支付昂贵的 License 费用。以上特点决定了利用 Linux 搭建嵌入式系统是可行、合算且令人振奋的方案。然而, 桌面 Linux 上图形系统 X- Window system (SFree 86) 采用了客户/服务器模式, X Server 和 X Client 之间的通信协议是效率不高的 X 协议, 并且 X 窗口太过臃肿和庞大, 所需系统资源过高, 所以嵌入式 Linux 系统迫切需要轻量级的 GUI。幸运的是, 不少厂家和开放源码组织已经提供了这样的 GUI, 如 Qt/Embedded, Microwindows, MiniGUI 等。尽管已具备了基本的轻量级 GUI 系统, 但由于 Flash 磁盘空间、内存资源和功耗的限制, 嵌入式 Linux 系统上的 GUI 应用软年设计很大程度上不同于桌面系统应用软件的开发。比如, 应用程序的用户界面就需要精心定制, 来方便用户在较小尺寸的屏幕上输入输出。又如, 嵌入式系统上的应用程序一般不允许崩溃, 所以必须采取安全有效的内存管理策略保证程序的可靠性和鲁棒性。

二、嵌入式系统和嵌入式Linux

嵌入式系统主要由嵌入式处理器、相关支撑硬件和嵌入式软件系统组成, 它是集软硬件于一体的可独立工作的“器件”。嵌入式处理器目前趋向用 32 位甚至 64 位的高性能处理器。相关支撑硬件包括显示卡、存储介质(ROM 和 RAM 等)、通讯设备等。嵌入式系统有别于一般的计算机处理系统, 它不具备像硬盘那样大这容量的存储介质, 而大多使用闪存(Flash Memory)作为存储介质。嵌入式软件包括与硬件相关的底层软件、操作系统、图形界面、通讯协议、数据库系统、标准化浏览器和应用软件等。总体看来, 嵌入式系统具有便利灵活、性能价格比高、嵌入性强等特点。

嵌入式操作系统是嵌入式系统的核心部分。除传统的嵌入式操作系统和实时操作系统如 VxWorks, Lynx, QNX, PSOS 等外, 随着信息家电和手持式设备的迅速发展, 目前出现了该领域的四大嵌入式操作系统, 即 Windows CE, Palm OS, Symbian EPOC 和嵌入式 Linux。而正如引言部分所述的 Linux 系统的特点, 用它搭建嵌入式系统具有很强的优势, 目前已经成为流行的趋势。所谓嵌入式 Linux 是指按照嵌入式操作系统的要求而设计的一种小型 Linux, 一般由一个 Kernel(内核)及一些根据需要进行定制的系统模块组成。其 Kernel 很小, 一般只有几百 KB 左右, 即使加上其他必须的模块和应用程序, 所需的存储空间也很小。它有多任务的系统特征, 有些甚至具有实时性。一个小型的嵌入式 Linux 系统只需要引导程序、Linux 微内核、初始化进程 3 个基本元素。运行嵌入式 Linux 的 CPU 可以是 x86, ARM/Strong ARM, Alpha, Sparc, MIPS, PPC 等。嵌入式 Linux 的外部存储器使用 ROM、Compact Flash, Memory Stick 等。它的内存可以是普通的 SDRAM。目前成熟的嵌入式 Linux 产品不断涌现, 其代表有美国新墨西哥理工学院的 RT-Linux, MontaVista 公司的 HardHat Linux 以及 Lineo 公司的 BlueCat 与 Embedix SDK。

嵌入式 Linux 有广阔的应用空间, 目前在信息家电、手持设备甚至移动电话领域都出现成熟的产品。比如, 日本 Sharp 采用 Lineo 公司的嵌入式 Linux 开发出了 Zaurus SL5500 系列的高端 PDA 产品, Motorola 采用 MontaVista Linux 开发出新一代的手机, 而 Compaq 在英国的实验室已经成功的把 Linux 移植到 iPAQ PDA 上^[2, 5, 6]

三、嵌入式 CUI

林甲威 复旦大学计算机与信息技术系 硕士研究生 上海 200433
孙未末 复旦大学计算机与信息技术系 讲师 博士 上海 200433
陈金海 复旦大学计算机与信息技术系 教授 上海 200433

随着市场需求的发展,嵌入式系统对完整的图形系统的要求越来越迫切,比如消费电子和工业实时控制系统。这些系统对GUI的基本要求包括:

- 轻型, 占用资源少
- 高性能
- 高可靠性
- 可配置

此外,适合嵌入式Linux的GUI还要求是开放源码的自由软件。目前,Linux系统上的嵌入式Linux主要有:^[5,7]

· Tiny-X: 该工程有SuSe发起,目标是裁减XFree86使之适合内存较少的嵌入式Linux,并且在内存不够时X Server仍然能较好工作。基于Tiny-X的X Server已控制在1MB以下。

· Microwindows: 它是一个著名的开放源码的嵌入式GUI软件。Microwindows提供了现代图形窗口系统的一些特性。它不需要其他图形系统的支持,可以充分利用Linux提供的Frame Buffer机制来进行图形显示。Microwindows的可移植性很强,它支持很多软硬件。Microwindows的主要目标之一就是运行在嵌入式Linux上。

· MiniGUI: MiniGUI是国内最早出现的几个自由软件项目之一,由原清华大学一位老师开发。MiniGUI是一种面向嵌入式系统或者实时系统的图形用户界面支持系统。它主要运行于Linux控制台,实际可以运行在任何一种具有POSIX线程支持的POSIX兼容系统上。

· Qt/Embedded: 它是著名的Qt库开发商挪威 Troll Tech公司面向嵌入式系统的Qt版本。其特点是可移植性好,产品较成熟,开发文档和SDK齐全。图形栈直接基于Frame Buffer而不是X11,对内存资源需求少,显示性能好。该公司既提供商业版本的Qt/Embedded,也有开发源码的版本供下载。它是很好的一种供学习和开发的嵌入式GUI。本文后面讨论的GUI应用开发就基于Qt/Embedded

四、Qt/Embedded 程序设计

Qt是跨平台的C++ GUI应用框架,著名的Linux桌面系统KDE即是基于Qt开发的。Qt/Embedded是嵌入式Linux下成熟的GUI系统,已经有多家厂商选择Qt/Embedded来开发他们的产品,如HP/Compaq, Sharp, Motorola。Qt/Embedded首先是Qt库,但为了适合嵌入式环境,不少地方作了修改。因此,Qt/Embedded下的程序设计类似于桌面Linux环境的Qt,但有自己的特点和要求。下面首先介绍Qt程序设计知识,再描述embedded环境下的特点^[1]。

1 Qt 程序设计知识

Qt提供了一套C++类库,其基本特点是面向对象,基于组件。下面是笔者总结的几个知识点。

· GUI类库和工具类库: Qt提供的可视组件非常齐全,如QPushButton, QLabel, QFrame, QMenu, QDialog, QTreeView, QBrowserView等,它们都称之为QWidget。这些可视组件可供用户开发符合他们所需的各种用户界面。此外,Qt不提供了众多的工具类,例如C++ STL更丰富的模板库。所有的类

库都提供源代码。

· Qt对模型: Qt有事件行为的对象都继承自QObject类。主要有三种事件机制: 即信号和槽机制(Signal and Slot), 事件和事件过滤器以及定时器。信号和槽机制用于对象之间的通信,它基于TCP/IP的Socket,相比于Windows和X11下的回调函数机制,更具灵活性和易用性;Qt的每种事件如QMouseEvent, QKeyEvent都有相应的事件处理函数,这些函数可由QObject的子类(如各种QWidget)往下继承,利用多态性实现对它们的用户自定义处理,并且,在事件传递过程中,可为QObject对象安装事件过滤器。Qt除了在每个QObject对象中都内置定时器外,还提供单独的QTimer类满足用户对各种定时功能的要求。

· 线程支持和国际化编程: Qt封装了Posix线程库,提供了线程、互斥量、条件变量和信号量等类,用户可以很容易的设计多线程的GUI应用;Qt对i18n的支持也非常好,其内部类库全部使用Unicode编码,典型如QString类。另外,提供多种手段支持Unicode16或UTF8和CJK、Big5、GB2312以及欧洲拉丁语之间的转换,以中文的支持甚佳。

2 Qt/Embedded 开发的要求

Qt/Embedded是嵌入式Linux下的Qt,它对Qt的重要修改的图形引擎基于Linux的Frame Buffer而不是X11,它自己管理图形区域而不是由X11 Server,并采用了Server/Client的机制,即所有的GUI客户程序由且只能由一个Server程序进行管理。Qt/Embedded的系统结构如图1所示:

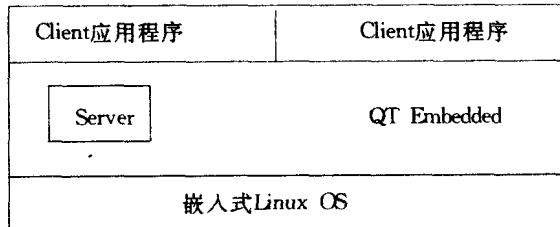


图1 Qt/Embedded 体系结构

· Server/Client: Server负责系统设备,响应Client的请求。所有的系统事件如键盘或鼠标事件都由Server先获取再发送给Client。而Client基于Qt的基本事件机制,可进一步的传递事件给各个QObject。Qt/Embedded实现Server和Client之间通信依靠Local Socket和Shared Memory(由QCopChannel类实现),每个Client在启动时必须连到Server。图形操作方面,顶层窗口和屏幕区域由Server管理,但Client的窗口是自管理的,而且图形操作是应用程序自己完成的。

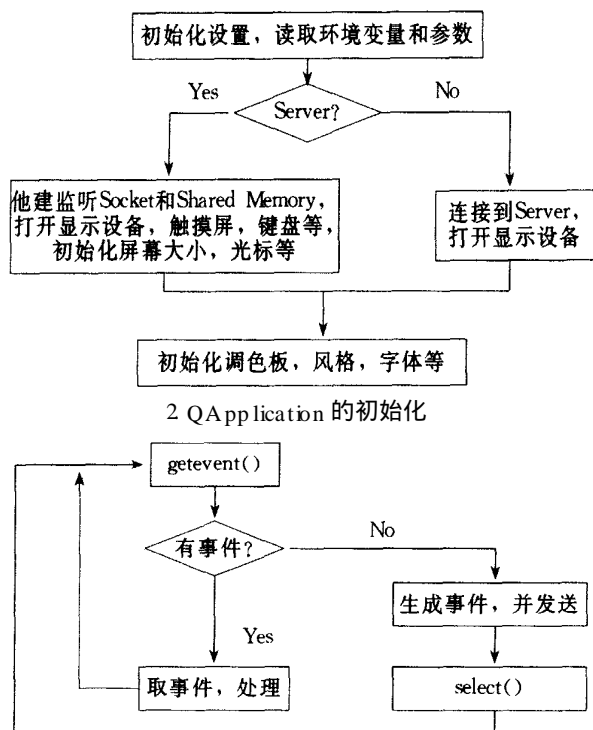
· 应用程序和事件: Server和每个Client都称之为QApplication,它有一个全局的发送事件队列和接收事件队列。每个QApplication总是一直处理事件,直至队列为空。图2和图3分别是Qt/Embedded下的应用初始化过程和事件循环。

五、GUI应用开发和设计实例

1 应用程序开发要点

嵌入式Linux是资源受限的系统,运行嵌入式Linux和嵌入式GUI的设备一般是消费电子、PDA或移动终端等,它

们内外存储空间有限,输入输出设备特殊(比如,输出设备是尺寸较小的液晶显示,而输入设备是触摸屏和笔),需要功耗低的软硬件,并且,这些设备手持的甚至移动的工作状态对GUI应用程序的用户界面提出了更大的挑战。总结长期的嵌入式GUI应用开发经验,笔者认为,嵌入式GUI应用程序特别需要考虑以下两点:



3 QApplication 的中件处理过程

· 安全有效的内存管理策略。软件的性能和稳定性很大程度上取决于内存管理策略。在嵌入式系统上,内存资源非常宝贵,同时对应用程序的可靠性要求很高,一般绝不允许崩溃。所以内存资源的管理主要采用动态的形式,但对于频繁分配和释放的内存对象,则应当采取静态预分配和动态管理相结合的办法。一些具体的要求,比如(1)UI元素如供输入输出的表单应该用动态生成,若被切换,则立即删除,这样可减少UI元素占据的内存数量;(2)不能选择消耗内存过多的算法,有时宁愿选择较低效但占用内存少的算法,因为嵌入式GUI对实时的要求往往不是太高;(3)防止频繁的分配不定在的内存和过深的函数调用(如很深的递归),这可减少堆(heap)和栈(stack)破碎的风险。

· 精心定制用户界面。嵌入式GUI应用程序对用户界面的需求特别高,应当认真考虑嵌入式系统上的用户操作要求,设计美观友好、方便使用的用户界面。一些具体的要求包括(1)设计“正好”(Just Good Just Enough)的界面,多余或不够的功能都是不可取的,这要求开发人员全面认真的考虑该软年的非功能性要求,比如使用时机或地点,主要用户群等;(2)充分利用该设备的输入输出特性,例如对于用笔输入的PDA的一个英汉双语翻译字典软件,其程序界面应当选用超链接来方便用户用笔点击;(3)其他的要求,例如快速装载,界面可定制(如满足左手习惯的人),考虑用户出错(如上面例子中的

字典软件,用户很可能输错英文单词中的某个字母,因此若翻译失败则应当给出源词的近邻单词,可供用户进一步选择)等等。

2 设计实例

该实例是笔者在Compaq iPAQ PDA(配置:StrongARM 206Mhz CPU, 32M RAM 和 32M Flash, 320 * 240 LCD 显示屏)上开发的嵌入式英汉双向翻译字典软件(下面称之为eDict)。首先要用Compaq的FamiliarLinux^[2]取代iPAQ上预装的微PocketPC操作系统,且装上Qt/Embedded使之具备完整的图形系统,还要配置交叉编译平台(Host机是Redhat7.3Linux,目标编译器选用arm-linux-g++,开发语言是C++)。限于篇幅,略过翻译引擎(算法),只简单的介绍内存使用和用户界面的设计,且若需源码则另外提供。

eDict有三种输入输出表(form),分别是输入表单InputForm(供用户输入源词进行翻译),结果表单ResultForm(显示成功翻译的结果)和相近单词表单CloseForm(翻译失败,给出近邻单词),其他主要UI元素有记录历史源词的下拉列表框,ResultForm和CloseForm中使用的HTML视图。用户友好和方便性体现在超文本浏览,丰富色彩的界面,提供相近单词,历史回退,笔拖拉选择以及对PDA设备上HardKey的支持。主要的翻译引擎用Translation类表示,该类完成复杂的翻译过程。为减少UI元素带来的系统内存开销,在InputForm,ResultForm和CloseForm这三种表单之间切换时,只维护一种表单,即创建新的表单对确并显示之,然后删除当前的表单;而对于Translation类,由于它频繁生成和删除,所以采取了静态和动态相结合的内存管理策略,具体办法是为该类重载new和delete,使它们工作在预分配的静态内存空间上,只在用生成太多的Translation对象从而耗尽该静态空间的情况下,才进一步用全局的new向系统申请内存并用全局的delete释放。

六、结束语

在嵌入式Linux广泛应用的背景下,随着消费类电子设备硬件技术的发展和各种应用需求的增长,势必出现越来越多嵌入式Linux上的GUI软件。本文着重介绍了一个成熟的嵌入式GUI系统即Qt/Embedded,并且较全的剖析了用它开发嵌入式GUI的要点和知识点。在结合一个设计实例的基础上,给出了若干开发嵌入式GUI应用软件的成功经验。

参考文献

- [1] <http://www.trolltech.com/>
- [2] <http://www.handhelds.org/>
- [3] <http://www.embedded.com/>, <http://www.pocketix.com/>
- [4] <http://www.linux-devices.com/>
- [5] <http://www.zaurus.com/dev/>
- [6] <http://www.zaurus.com/dev/>
- [7] <http://www-900.ibm.com/developerWorks/cn>

(收稿日期:2003年12月4日)

ISSN 1007-757X

Microcomputer Applications

Monthly

(Since 1985)

Wu Qidi

Editor-in-Chief

Vol. 20, No. 7 (General No. 135)

July 2004

Summary**Computer Science and Technology Applied in Bioinformatics** P(1)*Wan Weibing Shi Pengfei (Research Institute of Image Processing & Pattern Recognition, Shanghai Jiaotong University Shanghai 200030)***Abstract** Bioinformatics is a new, cross disciplinary area. How to apply computer science and technology to the management of biological information, such as gathering, storing, analyzing and integrating it, is a hot topic before researchers and developers. This article gives an introduction to the status quo and development in this area.**Keywords** computer science bioinformatics database DNAResearch & Design**A Persistent Framework of Data Layer Using Design Patterns** P(5)*Zhan Yingting Zhang Liping Wang Xiaoyong (Department of Computer Science & Technology, Huadong University of Science & Technology Shanghai 200237)***Abstract** This article first introduces the concept of design patterns and then describes how to construct a persistent framework using patterns such as Data Access Object Pattern, Value Object Pattern and Service Locator Pattern, encapsulating data access and operations of the resource, optimizing system performances and, improving maintainability and extensibility of application programs.**Keywords** design patterns persistent framework Data Access Object Pattern Value Object Pattern Service Locator Pattern**A Method for Determining the Color Image's Cluster Number Based on Principal Component Transform** P(8)*Dong Dongxia (Shanghai East Century School Shanghai 201201)***Abstract** For determining the color image's cluster number, a new method based on Principal Component Transform (PCT) is presented in this article. Scale space filter is used to find peaks of the principal component's histogram so to obtain its cluster number. Experiments show that it is highly effective.**Keywords** color image segmentation principal component transform scale space filteringDevelopment & Application**Design and Implementation of an Online Player on the Web** P(10)*Dong Guo Shao Shi (Department of Computer Science & Technology, Huadong Normal University Shanghai 200062)***Abstract** This article discusses some key points of online player technology, such as selection of sound resource from the Web and implementation of MP3 decompression. In light of a comparison among some popular decompression solutions using hardware, it proposes a solution using software based on ARM CPU MP3. An implementation of an online player on the Web is also given.**Keywords** MP3 player decode uClinux arm**Design and Implementation of a Remote Thunder-Monitoring System** P(13)*He Jinxin Li Wenyin Zhou Bin Zhu Wuguang Tong Zhichen (School of Computer Science & Technology, Jilin University Changchun 130026)***Abstract** This article introduces a remote thunder-monitoring system, which keeps on alert using digital receivers in real time. The software of this system runs on a monitoring microcomputer in order to display thunder alarms directly. Efficient communication between digital receivers and the microcomputer is also guaranteed. Besides the alarm list, there are electronic locating map and monitoring panel to display thunder alarms.**Keywords** thunder monitoring alarm**On Developing GUI Applications on Embedded Linux** P(16)*Lin Jiawei Sun Weiwei Chen Jinhai (Department of Computing & Information Technology, Fudan University Shanghai 200433)***Abstract** This article introduces embedded systems such as embedded Linux and embedded GUI, focusing on QT/Embedded, a sophisticated embedded GUI stack. Finally, the embedded GUI Application is illustrated with embedded software for an English-Chinese/Chinese-English Translation Dictionary.**Keywords** embedded Linux embedded GUI Qt/Embedded embedded dictionary software