

文章编号: 1007 130X(2006)05 0058 03

一个基于嵌入式实时操作系统内核的状态^{*}

A State Monitor Based on the Kernel of Embedded Real Time Operating Systems

刘云生, 汪磊

LIU Yun sheng WANG Lei

(华中科技大学计算机科学与技术学院, 湖北 武汉 430074)

(School of Computer Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074 China)

摘要: 在嵌入式实时系统的研发过程中, 传统的交叉调试技术无法全面了解系统的实时运行状态。更为严重的是, 它会破坏运行任务的实时性。本文在嵌入式交叉调试器研究的基础上提出并实现了一种基于嵌入式实时内核的系统状态监视器, 它不但能够获取开发者所需的系统状态数据, 而且能够有效保证运行任务的实时性。

Abstract In the development of real time systems, the traditional cross debugging technology cannot completely deal with the real time operating state of the whole system, and it can even greatly endanger the real time performance of the system. With the experience of developing cross debuggers, this paper introduces a state monitor based on the kernel of embedded real time operating systems. The monitor can obtain necessary state information and ensure the real time performance of the system at the same time.

关键词: 嵌入式实时操作系统; 交叉调试器; 监视器

Key words: embedded real time operating system; cross debugger; monitor

中图分类号: TP316

文献标识码: A

1 引言

随着嵌入式实时操作系统的出现, 中断管理、进/线程调度、进程间通讯等机制都被引入到嵌入式系统中。嵌入式系统的运行状态变得十分复杂, 传统的交叉调试技术很难有效地分析、了解系统的实时运行状态。并且, 交叉调试技术是一种中断式的人工调试技术, 其中断时间在实时应用环境下是无法接受的。因此, 必须有一种更高效且满足实时应用需求的调试手段。

在嵌入式实时操作系统 ARTs OS 的交叉调试器研究过程中, 笔者体会到了这种调试技术的局限性。于是, 我们设计并实现了一种基于 ARTs OS 内核的实时运行状态监视器 KAware。KAware 能够在尽可能减小对系统实时性影响的前提下感知并记录 ARTs OS 内核状态的变化, 并以图形化的方式呈现给系统开发者。

本文首先分析了现有各种监视技术的优点及局限性,

然后给出了 KAware 的层次设计结构, 重点介绍了 KAware 在减小对系统实时性影响上所采用的技术。

2 相关工作比较

传统的嵌入式调试技术称为交叉调试技术(Cross Debugging), 其调试主体运行在主机端, 用插桩的方式将一小段代码(stub 程序)植入目标机的软件系统中, 用于接管异常及调试中断并受主机端控制。这种技术解决了嵌入式系统往往因资源受限而不能运行一个完整调试器的问题。但是, 其效率较低并且会严重影响到任务的实时性。

Ray Ford 在文献[1]中介绍了一种通用嵌入式实时监视子系统(GERTMs), 其设计是一个附加到应用进程上的监视器模块, 用于监视系统中各个应用进程上产生的事件。这种方法虽然能够很好地监视系统应用, 但对于嵌入式操作系统自身的开发却没有多大帮助。英特尔欧洲超级计算机研发中心为他们的 Paragon 并行计算系统设计了一套性

* 收稿日期: 2004 09 01; 修订日期: 2004 10 22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60073045); 预研项目基金资助项目(JW0529); “十五”预研项目基金资助项目(J15. 3. 3)
作者简介: 刘云生(1940-), 男, 湖南衡阳人, 教授, 博士生导师, 研究方向为现代数据库理论与技术及其集成实现、数据库和信息系
统开发; 汪磊, 硕士生, 研究方向为嵌入式系统调试技术。

通讯地址: 430074 湖北省武汉市华中科技大学科技产业大厦华洋软件研发中心; Tel: (027) 87522513, 13507179131; E mail: ysl
liu@hust.edu.cn

Address Huaxiang R&D Center, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074 P. R. China

能监视工具集^[2]，它在每个分布式主机上监视功能的实现方法类似于 GERTMs，是一种集成于核外应用的监视器。这套系统用于分析分布式计算环境的性能，和我们的试验环境不同，无法直接应用，但其层次结构设计很值得借鉴。文献 3, 4 介绍的也是一种分布式环境下的监视器。其中文献 3] 提到了系统内核对系统状态监视的支持 (Event Tap)，这一点类似于 KAware 的设计思想。本文试图结合以上各种监视器的设计，为 ARTs OS 提供一个可靠的实时内核监视器。

3 KAware 实时内核监视器

KAware 的设计目的是将 ARTs OS 的内部状态以图形化的方式显示出来，作为调试器的辅助手段，让开发者能够十分直观地了解 ARTs OS 的实时内部状态变化过程。

通过增加软件监视功能，避免了交叉调试技术对任务执行的长时间中断。但是，监视器的运行仍然不可避免地会增加系统开销，对运行任务的实时性造成影响。这个问题在实时调试技术中就已经存在，即探针效应 (Probe Effect)。文献 5] 探讨了这种影响以及用来减小这种干扰性的技术。KAware 在设计上必须采取合理的结构，将这种影响降到最低。

3.1 ARTs OS 简介

ARTs OS 是自主研发的采用微内核设计思想和构件化结构的嵌入式实时操作系统，其结构如图 1 所示，分为四个层次：硬件抽象层 (HAL)、实时微内核层、系统服务组件层和应用层。

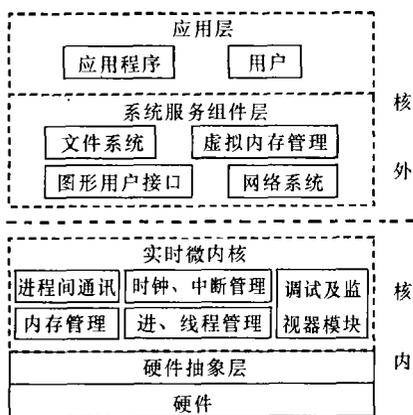


图 1 ARTs OS 系统结构

其中，硬件抽象层封装了与芯片相关的代码，实现对硬件的可移植性。实时微内核实现进程、线程管理，基本内存管理，进程、线程间的通讯和同步管理，基本时钟和中断管理以及内核调试、监视功能。系统服务组件层主要有 I/O 管理接口、设备驱动、网络接口以及文件系统等。最上层的应用层提供应用编程接口 (POSIX 标准 API)、基本交互式接口 SHELL 以及应用开发调试工具等。系统服务组件层和应用层都属于核外。

3.2 KAware 系统结构

KAware 采用的是主机 + 目标机的结构，其主要组成部分为基于 ARTs OS 内核的监视模块、核外数据发送线

程、主机端的数据采集处理器以及面向开发者的图形化显示工具集，如图 2 所示。

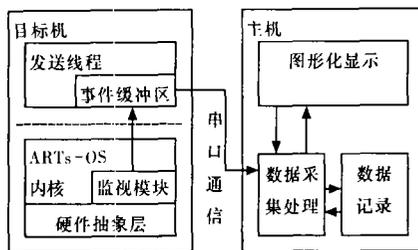


图 2 KAware 系统结构

3.3 内核监视模块

ARTs OS 系统内部可被监视的状态变化很多，如各种中断的产生，内存分配、回收，进、线程调度，进、线程间通讯等。监视的内容越多，开销也就越大。KAware 的内核监视模块能够在系统生成时配置所需监视的内容，这样就避免了冗余的监视开销，提高了实时性。

内核监视模块采用事件模型感知系统状态的变化。每当一个受监视的状态变化产生时，由相关模块通知监视模块。此时，监视模块将此次变化封装成一个 < ID, TIMESTAMP, TYPE, INFO > 的四元组，称为一个事件。其中，ID 表示事件编号，TIMESTAMP 是一个产生自 CPU 的时间戳，TYPE 表示事件类型，而 INFO 记录下此事件的相关信息。

封装好的事件被保存到核外发送线程内的事件缓冲区中，然后内核监视模块立刻返回，不涉及事件的处理、发送。

对于某些频繁发生的事件，采用设定阈值的方法，当状态变化幅度超过设定的阈值时，才产生一个事件，这样就可以有效地控制事件产生的频率。

3.4 核外数据发送线程

由于串口通信本身速度的限制，通过串口和主机通信相对于很多实时应用是一个十分“缓慢”的过程。为了避免这种串口通信的时间开销对系统实时性造成影响，我们采用了感知事件和发送事件数据相分离的方法。数据发送由核外特定线程负责。

核外数据发送线程比实时应用线程的优先级要低。由于 ARTs OS 采用基于优先级的抢占式调度策略，因而只有在系统中没有实时任务或实时任务都挂起时，数据发送线程才有机会运行。此时，它将事件缓冲区中记录的事件数据通过串口发送给主机。这样，串口通信的时间开销不会对整个系统的实时性能造成影响。

3.5 数据采集处理器

数据采集处理器位于监视主机端，它是 KAware 中最繁忙的部分，KAware 中所有复杂的计算工作都由此模块完成。它的主要功能有：

- (1) 接受目标机端发送的事件数据，分析计算事件的相关信息；
- (2) 记录处理结果到日志文件 (数据库) 中；
- (3) 计算各种性能数值，如 CPU 利用率、各个线程执行时间等；
- (4) 接受图形化显示工具的显示要求和查询请求；

(5) 按需求将处理结果交由图形化显示工具来显示。

3.6 图形化工具集

图形化工具集是面向 ARTs OS 开发者的一套可视化窗口工具,它将数据采集处理器分析、处理的结果以各种表格、图形的方式显示出来,便于开发者对 ARTs OS 内部状态有直观的理解。它是 KAware 监视系统唯一的用户接口。

4 KAware 实时性能分析

KAware 在整体结构上仍然是采用交叉技术,将监视器中负载最重的数据计算处理模块分离到主机端,目标机只需要收集、发送数据即可。这样,就能够有效地减少目标机监视模块的工作量,减小对 ARTs OS 实时性的影响。同时,KAware 在设计上采用了将事件数据记录、传送相分离的策略,把传送事件数据的工作放到核外低优先级的特定发送线程中。这样,就能够保证发送数据的工作不会影响到 ARTs OS 上任何其他实时线程。

某些监视技术采用定时查询内核状态的方法。这种方法精确性依赖于定时的时间间隔,间隔越小精度越高;可是,同时查询频率也就越高,系统开销也就越大。KAware 采用的是感知系统状态变化的事件模型。相比定时查询的方法,事件模型可以大大降低内核监视模块的负载,减小对 ARTs OS 内核实时性的影响,同时获得完整的系统状态变化过程。

5 结束语

本文介绍的嵌入式系统内核监视器 KAware 能够在保证系统实时性的前提下获得嵌入式操作系统完整的内部状态变化数据,并以直观的图形方式反馈给系统开发者。这样一种设计能够有效地提高系统开发者的工作效率。KAware 已在 ARTs OS 的研发中起到了重要作用。

参考文献:

- [1] Ray Ford. A Generic Embedded Real Time Monitor Subsystem[A]. Proc of the 1990 ACM Annual Conf on Cooperation [C]. 1990. 312-318.
- [2] Bernhard Ries, R Anderson, W Auld, et al. The Paragon Performance Monitoring Environment[A]. Proc of the 2nd Int' l ACPC Conf on Parallel Computation[C]. 1993. 850-859.
- [3] Hideyuki Tokuda, Makoto Kotera, Clifford E Mercer. A Real Time Monitor for a Distributed Real Time Operating System[A]. Proc of the 1988 ACM SIGPLAN and SIGOPS Workshop on Parallel and Distributed Debugging[C]. 1988. 68-77.
- [4] Kirit J Sheth, Sairan V Iyer, K C Anand. A Non Preemptive Monitor for Real Time Applications[A]. TENCON' 89[C]. 1989.
- [5] 刘建,沈美明,郑纬民. 调试器对并行程序干扰特性的研究[J]. 计算机学报, 2002, 25(2): 122-129.

(上接第 38 页)

5 结束语

传统的直方图均衡算法是一种快速而有效的图像整体对比度增强算法。但是,该算法所采用的积分变换对于图像质量会产生两方面的负面影响:其一,导致低频灰度级的合并,从而导致图像细节丢失;其二,导致图像中高频灰度级对应区域的图像噪声幅度增大。本文提出一种基于分频和融合处理的思路,采用高低通滤波器将图像分为低频分量和高频分量,对低频分量采用直方图均衡算法处理,对高频分量进行线性加权增强,之后再对低频分量和高频分量融合成最终的处理结果。采用这种处理方法可以防止直方图均衡过程对图像噪声的选择性放大,以及对低频灰阶的合并导致图像细节信息丢失。实验结果表明,经过本文算法增强之后的图像整体视觉效果得到有效改善;同时,图像的直方图具有更多的灰度级,细节信息更为丰富,从中可以提取更多有意义的图像特征。

参考文献:

- [1] Lee Jongsan. Digital Image Enhancement and Noise Filtering by Using of Local Statistics[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1980, 2(2): 165-168.
- [2] S Pizer. Adaptive Histogram Equalization and Its Variations[J]. Computer Vision and Image Understanding, 1987, 39(3): 355-368.
- [3] Hui Zhu, Francis H Y Chan, F K Lam. Image Contrast Enhancement by Constrained Local Histogram Equalization[J]. Computer Vision and Image Understanding, 1999, 73(2): 284-290.
- [4] Yeong Taeg Kim. Contrast Enhancement Using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization[J]. IEEE Trans on Consumer Electronics, 1997, 43(1): 1-8.
- [5] 宋刚,刘瑶华.一种能强化细节的自适应直方图均衡法[J]. 山东工业大学学报, 1999, 29(1): 81-87.
- [6] 曹聚亮,吕海宝,谭晓波,等.可保留图像细节的直方图修正法[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(5): 631-635.
- [7] 刘哲.基于信息融合的遥感图像处理方法研究:[博士学位论文][D]. 西北工业大学, 2002.
- [8] R Kenneth, Castleman. Digital Image Processing[M]. Prentice Hall, Inc, 1996.
- [9] 王润生. 图像理解[M]. 长沙:国防科学技术大学出版社, 1995.
- [10] 孙即祥. 数字图像处理[M]. 石家庄:河北教育出版社, 1993.
- [11] 曹新华,刘新明.一种快速自适应直方图均衡叠代算法[J]. 中国医疗器械杂志, 1997, 21(1): 8-11.