



T-Engine论坛嵌入式系统技术系列丛书

源码开放的

嵌入式实时操作系统

T-Kernel

T-Kernel 標準ハンドブック

改訂
新版

[日] 坂村 健 等著
周 立 功 等译
梁 青 等审校



北京航空航天大学出版社



T-Engine 论坛嵌入式系统技术系列丛书

源码开放的嵌入式实时操作系统 T-Kernel

T-Kernel 標準ハンドブック(改訂新版)

[日] 坂村 健 等著
周立功 等译
梁 青 等审校

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

T-Kernel 是源码开放的嵌入式实时操作系统内核,占据了全球嵌入式微处理器操作系统市场约 60% 的份额。本书从 T-Kernel、T-Engine 和 ITRON 关系及结构入手,详细介绍了 T-Kernel 规范、通用 T-Kernel 规范、T-Kernel/OS 函数、T-Kernel/SM 函数、T-Kernel/DS 函数和 T-Monitor 规范等内容,特别是对 T-Kernel 函数和使用规范进行了细致、全面的介绍。全书共分 5 大部分:第 1 部分概要介绍了 T-Engine 起源以及 T-Kernel、T-Engine 和 ITRON 关系及结构;第 2 部分详细介绍了 T-Kernel 规范、通用 T-Kernel 规范、T-Kernel/OS 函数、T-Kernel/SM 函数和 T-Kernel/DS 函数;第 3 部分详细介绍了 T-Monitor 规范和使用到的函数;第 4 部分为 T-Engine 大事记和参考文献;第 5 部分为 T-Kernel 相关函数和错误代码列表。5 大部分合为一体,全面、系统地说明了 T-Kernel 的标准规范。

本书是学习和使用 T-Kernel 者的必备手册,可作为从事嵌入式系统应用开发的工程技术人员以及高等院校相关专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

源码开放的嵌入式实时操作系统 T-Kernel/(日)坂
村健等著;周立功等译. — 北京:北京航空航天大学出版社,
2005.10

ISBN 7-81077-734-3

I. 源… II. ①坂…②周… III. 实时操作系统
IV. TP316.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 113793 号

日文版原名:T-Kernel 標準ハンドブック(改訂新版).

Copyright © 2005 by T-Engine Forum. All rights reserved.

Translation Copyright © 2005 by Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press.

本中文简体字版由日本 T-Engine 论坛授权北京航空航天大学出版社在中华人民共和国境内独家出版发行。
版权所有。

北京市版权局著作权合同登记号 图字:01-2005-4868 号

源码开放的嵌入式实时操作系统 T-Kernel T-Kernel 標準ハンドブック(改訂新版)

[日]坂村 健 等著

周立功 等译

梁 青 等审校

责任编辑 孔祥燮

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail:bhpress@263.net

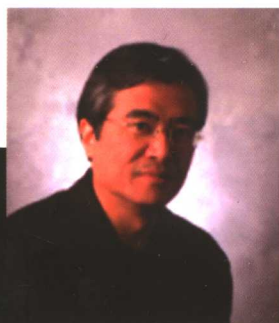
涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:22.25 字数:498 千字

2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 7-81077-734-3 定价:45.00 元(含光盘 1 张)



原作者简介

坂村 健 先生
Ken Sakamura

坂村 健 先生是世界上研究计算机结构的知名学者、工学博士。也是IEEE的Computer Society的Fellow, Golden Core Member。世界著名的TRON嵌入式实时计算机操作系统结构就是由坂村 健先生研究创立的。坂村 健先生现任东京大学信息学环研究生院副院长、博导、教授。同时,兼任T-Engine Forum主席、日本泛网(ubiquitous networking)计算技术研究所所长等要职。

T-Kernel是源码开放的嵌入式实时操作系统内核，占据了全球嵌入式微处理器操作系统市场约60%的份额。本书从T-Kernel、T-Engine和ITRON关系及结构入手，详细介绍了T-Kernel规范、通用T-Kernel规范、T-Kernel/OS函数、T-Kernel/SM函数、T-Kernel/DS函数和T-Monitor规范等内容，特别是对T-Kernel函数和使用规范进行了细致、全面的介绍。

全书共分5大部分：第1部分概要介绍了T-Engine起源以及T-Kernel、T-Engine和ITRON关系及结构；第2部分详细介绍了T-Kernel规范、通用T-Kernel规范、T-Kernel/OS函数、T-Kernel/SM函数和T-Kernel/DS函数；第3部分详细介绍了T-Monitor规范和使用到的函数；第4部分为T-Engine大事记和参考文献；第5部分为T-Kernel相关函数和错误代码列表。5大部分合为一体，全面、系统地说明了T-Kernel的标准规范。

本书是学习和使用T-Kernel者的必备手册，可作为从事嵌入式系统应用开发的工程技术人员以及高等院校相关专业师生的参考用书。

致中国读者

在当今现代社会中微处理器起着非常重要的作用,每年全世界要生产一百亿只微处理器。提到微处理器的应用,就不得不提到具有其代表性的个人计算机。虽然 PC 产量高达两亿台,但也只占到微处理器产量的 2%。微处理器的其他用途基本上是由于嵌入式控制。即,用于嵌入手机、传真、数码相机和汽车等的内部,以便进行控制。这种从个人计算机到嵌入式控制的发展趋势,今后还会不断加快发展步伐。随着这股发展势头,嵌入式微处理器所用的操作系统正在得到大家的广泛关注。

我对嵌入式实时操作系统的研究至今已有 20 年。这个实时操作系统称为 TRON(The Realtime Operating Nucleus),其最新版本就是本书《源码开放的嵌入式实时操作系统 T-Kernel》的内容。根据对嵌入式操作系统长期的研究和实际运用,T-Kernel 不仅具备了所有必要的功能,而且具有容易理解的特点。它的另一个重要特点是:T-Kernel 的规格和源程序由世界范围的 NPO(非盈利组织)T-Engine 论坛实施了标准化及源码开放,只要与 T-Engine 论坛签订相应的使用规约,便可以无偿使用。

TRON 不仅在工业控制机器方面得到广泛应用,在信息化家电等嵌入式机器方面也有非常好的实际成绩。例如,T-Kernel 用在携带电话的通信控制、汽车的引擎控制和数码相机的控制等多种多样的、面向消费者的产品的控制中。

中国作为当今信息化家电产品的生产基地,而且拥有巨大的消费市场,受到了全世界的瞩目。毋庸置疑,开放的 T-Kernel 的应用,可以实现嵌入式技术标准化,提高生产能力。

全世界最为广泛使用的嵌入式操作系统的解说书在中国出版了。T-Engine 论坛还计划陆续出版相关的嵌入式技术丛书。以此期待增加更多的理解 T-Kernel 相关技术的工作人员,在中国未来嵌入式机器领域的发展上起到更广泛的作用。

最后,对致力于此书的翻译、校对工作的周立功、梁青等诸位先生表示衷心感谢。

TRON 工程总负责人

坂村 健

2005 年 9 月

译者序

TRON 与 T-Kernel 的关系

坂村健教授现任东京大学信息学环研究生院副院长、教授、博导,研究方向为计算机系统结构。他不仅是世界上研究计算机结构的知名学者、工学博士。也是 IEEE 的 Computer Society 的 Fellow, Golden Core Member。世界著名的 TRON 嵌入式实时计算机操作系统结构就是由坂村健教授研究创立的。现在,坂村健教授在 TRON 计算机系统理论上,致力于泛在计算(ubiquitous computing)技术的研究。坂村健教授现兼任:

- 日本 Ubiquitous 网络计算技术研究所所长;
- IEEE Computer Society 的 Fellow, Golden Core Member;
- 亚州 Ubiquitous 网络计算技术会议副主席;
- 日本 TRON 工程会议主席;
- 日本政府研究开发/标准化战略委员会委员等要职。

1984 年“TRON 项目计划”面市开始,已经推行了 20 年,先后推出了 ITRON(嵌入式系统用实时操作系统规范)、JTRON(Java 与 ITRON 的混合操作系统规范)、BTRON(计算机及手机信息终端等最终客户直接操作的操作系统规范体系)、CTRON(以通信控制及信息处理为目的的操作系统接口规范)及 TRON HMI(面向各种电子机器的人机界面标准)等规范。

“TRON 项目计划”为了向全世界推广,一直采用结构自由开源、“弱标准化”的方针,曾经出现过多种版本的开发环境及操作系统式样。随着嵌入式系统的高功能、网络化、高度 HMI 化,软件开发和调试都变得非常复杂。TRON 相关软件的可移植性、可重用性出现了问题。加之嵌入软件开发技术人员严重不足,缺乏可以兼容的软件中间件。

为了实现更为理想的实时操作系统的嵌入式计算结构,“TRON 项目计划”开始了一次新的革命——启动了 T-Engine 项目计划。为了更进一步实现标准化,基于 TRON 的 T-Kernel 由此而来。

T-Engine(T引擎)是为在短时间内高效开发实时嵌入式系统而设计的,由标准化硬件结构(T-Engine)与标准开源结构实时操作系统核心(T-Kernel)组成的嵌入式系统的开放式标准平台。

在 T-Engine 开发过程中,搭载的 CPU 为可变的,而规定了其他硬件结构规范、操作系统核心界面规范、对象数据格式规范等要素,使 TRON 在标准化的基础结构上,具备充分的外围资源及开发环境。这个开放式标准平台结构的最大目标是将 CPU 从基础结构中独立出来,使在 T-Kernel 上开发的中间件可不依存于 CPU 结构而移植。

通过使用丰富的中间件,可以做到大幅度缩短应用系统开发时间及降低成本;通过使用高质量的硬件和软件,可方便地进行调试;在小批量生产时,可照原样开发平台;由于系统稳定、尺寸小,很容易使其直接成为商品,可在很短时间内投向市场。

为了将 T-Engine 这种体系结构向全世界推广,2002 年成立了 T-Engine 论坛,该论坛已经在全世界拥有 470 家会员公司(截至 2004 年 11 月)。

T-Kernel 的应用情况

实际上,在全世界的微处理器中,用于 PC 机及服务器的仅占 2%,其余的 98%都用于嵌入式系统。在这 98%的嵌入式系统中,有 60%是使用以 T-Kernel 技术为基础的 OS。通过生产厂家提供、软件公司制造、本公司开发等各种渠道,据估计这一系统已经安装到了全球 30 亿~40 亿台家用电子产品当中,远远超过 Windows 的普及程度,尽管 T-Kernel 在 PC 机领域知名度几乎为零。当然,准确的统计是不可能的,但如果说它是世界上用得最多的 OS,这一点是不会错的。

在 2003 年的年底,微软公司终于也加入坂村健教授领导的 T-kernel 阵营,为未来“泛网社会”(ubiquitous network society)共同努力。美国微软公司副总裁古川亨与东京大学教授坂村健一同出席了记者招待会,宣布微软公司加入 T-Kernel 阵营,这一合作被评论为“历史性进展”。普遍认为这是时代变化的象征——虽然微软公司是 PC 机时代的最大赢家,但在实时嵌入式系统方面,现在已不再是微软公司一家企业就能垄断一切的时代了。

坂村健教授将 20 年研究的心血结晶——标准开源结构实时操作系统核心(T-Kernel)公开于世,只要遵守 T-Engine 论坛制定的 T-License(T-Kernel 的源代码许可协议),任何人都可以免费使用。坂村健教授说:“我认为就一种类似社会基础设施的产品向用户征收费用是不对的,这样做还会阻碍计算机行业的发展,庞大的基础设施应该是免费提供的。”如果坂村健教授决定哪怕是向每位 T-Kernel 用户收取 10 美分的费用,那么到现在他早就轻而易举地成为一位亿万富翁了。

T-Engine 论坛之所以能够获得这么多的支持,原因之一是 T-Kernel 作为事实上的世界标准,其实际成绩一直在不断得到证实。T-Kernel 广泛应用于汽车、移动电话、传真机、电视机、录像机和家电等领域,其主要的用户 NTT DoCoMo、丰田、佳能、理光、松下、索尼、NEC、

东芝、日立和富士通等已在各自的领域使用了 20 年。

原因之二：信息完全公开，听取用户的意见并建立在开放的基础上。OS 源码公开，允许改变一次，但是与各个用户的知识秘密有关的改变部分允许非公开。这是嵌入式系统实现管理许可证规定，避免知识产权纠纷的一个关键。

原因之三：T-Engine 论坛是一个以针对 21 世纪的未来技术——泛网计算技术为目的，将 RFID、传感器网络等技术包容起来的项目。

随着 T-Engine 论坛在日本以外知名度的提高，美国的 IBM、Microsoft、MIPS、Oracle、Sun，欧洲的索尼·爱立信、ARM、Vodafone，韩国的三星、SK 电子、LG 电子等企业也相继加入。在中国科学院计算机技术研究所和北京大学等的共同研究开始后，广州周立功单片机发展有限公司等中国的企业也开始加入 T-Engine 论坛。

基于 T-Kernel 建立新产业

现将中国科学院计算技术研究所所长李国杰院士公开发表的一篇文章中的部分内容*摘录如下：

Linux 操作系统在中国计算机界几乎人人皆知，但比它更流行、更开放的另一个操作系统——T-Kernel 却很少有人知道，这不能不说是一件憾事。用途如此广泛，源码又完全开放，这正是我们需要的操作系统，我们至少应该像重视 Linux 一样重视 T-Kernel。

我在 20 世纪 90 年代初研制曙光一号时开始接触 TRON，后来听说美国政府出面干涉，不允许 T-Kernel 装在微机上。以后几年没有继续关注，直到 2004 年 12 月应坂村健教授邀请参加 Ubiquitous Computing 大会，才发现 T-Kernel 在日本已用得红红火火。我体会到 T-Kernel 的好处至少有两点，一是几乎没有任何约束的开放，网上可以下载 T-Kernel 源码，企业可以做任何商品化产品开发；二是实时处理速度比 Linux、Window CE 等现有操作系统快，实时处理可以到微秒级。正是实时处理上有优势，微软才放下架子加入 T-Engine 联盟，做实时 Linux 的软件公司也移植到 T-Kernel 平台上。

不论是汽车电子还是家用电器，T-Kernel 都是很适合的实时嵌入式操作系统。我国东软公司等企业已经在 T-Kernel 基础上开发汽车电子软件。中科院计算所与东京大学坂村教授领导的研究所成立泛在计算联合实验室，重点开发基于 T-Kernel 的嵌入式系统，已开发了手机上的视频播放器，计算所宁波分部也正在与当地企业合作开发各种嵌入式软件。

开放软件并不是拿来就用，需要我们消化吸收，才能有自己的创新。必须真正弄明白 T-Kernel 的原理机制和优点，才能开发出有市场竞争力的产品。计算所正在做将 T-Kernel 移植到龙芯 CPU 的工作，探索一条推广龙芯 CPU 的新路子。

* 摘自 2004 年的《计算机世界》报。

T-Kernel 的后续图书

过去有关 T-Kernel 嵌入式实时操作系统应用情况的详细报道和技术资料几乎都是日文版的,而国内熟练掌握日文且熟悉嵌入式系统的专业人才确实也不多,自然而然缺乏对 T-Kernel 技术发展的跟踪、引进、消化与吸收,所以国内了解和应用 T-Kernel 的人员比较少。

当复旦大学计算机系陈章龙教授对我谈起 T-Kernel 在日本的应用情况时,立即引起了我的关注,恰逢坂村健教授来北京大学主办讲座,在日本 Ubiquitous 网络计算技术研究所 (www.ubin.jp) 中国室室长梁青先生的帮助下,我有幸与坂村健教授相识,得知在 2004 年初就已开始在中国推广 T-Kernel 并在《计算机世界报》连载。非常可惜的是在中国却没有一本介绍 T-Kernel 的专著可供读者参考,我猜测可能是因为免费的原因,因此一直没有人愿意无偿投入精力和资金来做这件“利他”的事情。我想既然坂村健教授能够这样地将凝聚自己 20 年心血的 OS 免费让大家使用,而且还多次带人来中国无偿进行宣传和讲座,这是一件多好的事情,于是我主动地向坂村健教授请求愿意无偿来共同做好这件事情,期望 T-Kernel 能够在中国广泛地得到应用。

当 T-Kernel 日文版《T-Kernel 标准使用手册》改订新版刚刚印刷出来还没有上市销售的时候,梁青先生就专程从日本给我带来了样书,经过 2 个多月与梁青先生的共同努力终于完成了本书的翻译工作,并且梁青先生花费了大量的时间和心血仔细校对本书。如果没有坂村健教授的大力支持和梁青先生的共同合作,这本书没有这么快与读者见面。

这本书的出版仅仅是一个良好的开端,后续我将会继续与坂村健教授、梁青先生共同合作编写一系列与 T-Kernel 有关的嵌入式操作系统原理教材,ARM 与 T-Kernel 嵌入式系统基础教程、实验教程及其应用设计丛书,当然也欢迎更多有兴趣的同行加入其中,我的 E-mail 是: zlg3@zlgmcu.com。

写作本文时,我参考了《计算机世界》报公开发表的部分文章和梁青先生提供的大量日文原版详细资料,在此一并表示衷心的感谢。

周立功

2005 年 9 月

序

迎接嵌入式系统的新时代

泛在计算技术可以把计算机芯片嵌入到人们身边的所有物品中,通过网络化连接,实时掌握这些物品的信息,从而最大程度的减轻人类的操作负荷,实现优化控制。目前,这一设想正在逐步变成现实。其实,这一概念,早在 20 多年前,我着手 TRON 工程时就曾考虑过,而今天我们所说的泛在计算,在当时则被称为“无所不在的计算机”。

这一设想的具体实现,需要我们大量开发具有高性能、高质量的嵌入式计算机产品。基于小型紧凑型嵌入式控制、实时 OS 标准,开发出的 ITRON 则成为实现这一设想的关键所在。事实上,这种 ITRON 技术已广泛应用于汽车引擎控制、手机、数字家电等各种设备中,为泛网时代的先锋——嵌入式系统的发展起到了巨大的推动作用。

现有的嵌入式设备,在其功能朝着高性能化、复杂化和大型化方向稳步迈进的同时,也对 ITRON 提出了更高的发展要求。可以预见,作为嵌入式系统进化形态的泛网社会即将到来。为了进一步提高主体硬件及其所连接的外部设备的性能,为了能够充分利用这些硬件设备的处理能力提供高水平的服务,并针对不同的服务生产出个性化商品,需要我们动用互联网、GUI、多媒体、安全体系等新的要素,它们都成为这一网络体系得以实现的必要条件。

如此一来,执行这些处理的软件开发工作量也随之激增,仅软件本身的开发就需要数十人之多。另外,由于产品个性化的实现也越来越依赖于软件,而在以市场为主导的今天,新产品既要具有更加强大的功能,又要具有可以更快地投入市场的特点。而且,一旦发现产品有 BUG,要进行产品回收,随之而来的则是损

失数十亿资金的巨大风险。如此看来,所有嵌入式设备的软件都在本公司内部自行开发是不现实的。现在,越来越多的开发企业都在购买其他公司开发的通用软件,即中间件,并将其嵌入到本公司产品中使用。

在这种情况下,中间件的通用性就显得极为重要。以往的嵌入式设备的开发都必须使用以中间件和设备驱动程序为核心的其他公司的软件,但软件的移植费时、费力。无论是从花费的时间上来看,还是产生 BUG 的几率来看,结果都不甚理想。而理想的中间件最好不依存于 CPU 就能进行源代码互换,通过简单的重新编译就能够使用。

因此,不仅仅是 ITRON 已经实现的那种实时 OS 内核的标准化,Kernel 所处的执行环境整体的标准化都十分重要。这也就是随着嵌入式设备性能的提高,必然要使用下一代 ITRON——T-Kernel 的原因所在。具体来说,不仅 OS 的功能和调用方法(API: Application Programmer's Interface)要具有兼容性,而且与设备驱动程序的 I/F、开发环境等相关的功能、可使用程序库的功能等、执行对象程序所处环境的很多组成部分都必须具有通用性和兼容性。另外,全局名和编号的分配方法、程序的动态加载、MMU(Memory Management Unit)的充分利用等,也必须制定可以同时协调执行多个独立开发程序应用的规则,并具有支持它的 OS 端功能。

从这个角度来看,与 ITRON 相比,通过大幅度扩大并深化 T-Engine 工程标准化的范围,还包含执行环境的硬件基本结构也要实现标准化,从而大幅度提高中间件的重复利用性和通用性。

为了不致引起误解,在这里必须强调一下,为提高中间件的通用性而对作为开发平台的 T-Engine 进行的“强”标准化,只限在开发阶段。在实际的产品制作中,无论是硬件产品还是软件产品,都是以基于其基本构造,删除不必要的部分,或增加所需模块,自由进行优化配置为其前提条件的。在最终产品中,只要对该设备提供充分必要的软件功能和硬件资源即可,并不需要中间件具备通用性。因此,也没有必要完全遵守 T-Engine 标准规范。为了与之明确区别,我们把面向最终用户开发的最终产品称为“基于 T-Engine 的产品”。

与之相对应,把具有开发资格的用户在开发阶段所使用的通用中间件和开发插件板等称为“T-Engine”,这一名称代表着一种基于 T-Engine 论坛管理规范的标准体制。由于“基于 T-Engine 的产品”和“T-Engine”经常被人混淆、误解,所

以在这里着重强调一下。

本书是对 T-Engine 标准实时核心的“T-Kernel”API 进行说明的规范书。T-Kernel 规范以 ITRON 为基础,凝聚了嵌入式应用的实时、多任务 OS 领域中具有 20 多年历史的 TRON 工程的成果、业绩和经验技术。实时 Kernel 的基本规范,是 10 多年前就已成熟完善的技术,没有多少修改的余地,有变动的部分基本上都是上面所提到的确保中间件通用性能的部分。

ITRON 因 T-Engine 的发展而发生的改变,重要的不是 Kernel 本身的规范,而是其周边环境和执行环境的完备程度。也就是指中间件、设备驱动程序和开发环境等的标准化,只要具备这些条件即可马上使用。对于 T-Engine 来说,从硬件到设备驱动程序、包括中间件在内的系统整体结构都进行了标准化,在此基础上还提供了参考捆装方案。同时,T-Kernel 具备同时协调执行由各个供应商独立开发的中间件和设备驱动程序等的机制。具体来说,内核部分具备目标 ID 编号的自动分配功能,以及实现子系统定义、资源管理、设备管理、动态加载等功能,这些功能的实现促进了中间件和设备驱动程序的通用以及交互应用的发展。

需要注意的是,对于 T-Engine 来说,T-Kernel 并不是单独存在的,而是作为总系统的一部分而存在的。T-Kernel 在 T-Engine 工程中的定位,并不仅是单纯的实时 OS 内核,而且是用于为众多供应商验证开发的中间件和设备驱动程序具有兼容性和通用性而提供的一种基础核心平台。

本书是一本关于 T-Kernel 的规范书,虽然不是概要说明书或者入门手册,但在编辑本次修订版时,为了方便读者阅读,特别增加了对 T-Engine 工程进行简单介绍的“第 1 部分 T-Engine 工程和 T-kernel”和“第 4 部分 T-Engine 相关参考文献目录”。T-Engine 工程涉及的范围极广,本书所介绍的内容只不过是 T-Engine 技术资料中微不足道的一小部分。对于 T-Engine 中的程序开发方法、T-Engine 所用中间件等具体内容及 T-Engine 工程的意义和应用实例等,如果需要更加深入的了解,请阅读参考文献(<http://www.t-engine.org/>)。

希望本书能够对所有开创泛网技术新时代的技术人员有所帮助。

坂村 健

TRON 工程项目负责人

T-Engine 论坛会长

2005 年 5 月

系统调用的表述

在本规范对系统调用的描述内容中,每个系统调用的说明都采用下面给出的格式。

系统调用名称

概要描述

C 语言接口

表示调用系统调用的 C 语言接口。

参 数

描述系统调用参数,即执行系统调用时传递给 OS 的信息。

返回参数

描述系统调用返回参数,即系统调用执行结束时 OS 返回的信息。

错误代码

描述系统调用返回的错误。

- E_SYS、E_NOSPT、E_RSFN、E_MACV 和 E_OACV 是所有系统调用共用的错误代码,它们不包括在每个系统调用的错误代码列表内。
- 只有出现条件十分明显时(例如,系统调用进入等待状态),错误代码 E_CTX 才能包含到每个系统调用的错误代码列表中。但是,根据具体的实现过程,E_CTX 错误代码也可由其他系统调用返回。实现指定出现的 E_CTX 不能包含到每个系统调用的错误代码说明中。

描 述

描述系统调用函数。

当一个参数的传递值有多种选择时,可使用下面的表述方法来描述参数。

- $(x \parallel y \parallel z)$: 可以设置 x 、 y 和 z 中的任何一个。
- $x \mid y$: x 和 y 可以同时设置(这时取 x 和 y 的逻辑和)。
- $([x])$: x 是可选的。

例如:

当 $wfmode := (TWF_ANDW \parallel TWF_ORW) \mid [TWF_CLR]$ 时, $wfmode$ 可以用下面的任何一种方法来设定:

- TWF_ANDW ;
- TWF_ORW ;
- $(TWF_ANDW \mid TWF_CLR)$;
- $(TWF_ORW \mid TWF_CLR)$ 。

附 注

对需要强调或注意的地方进行了补充说明。

基本原理

对采用某个特定规则的原因进行了描述。

目 录

第 1 部分 T-Engine 工程和 T-Kernel

1 何谓 T-Engine	3
2 单一源化的 T-Kernel 和 T-License	6
3 T-Engine 开发组件	7
4 T-Engine 的系统构成	9
4.1 标准开发平台 T-Engine	9
4.2 T-Engine 的软件构成	11
4.3 T-Kernel 概要	13
4.4 T-Kernel 的核心对象	14
4.5 T-Kernel 的动态资源管理	15
4.6 T-Kernel 的内存管理	16
4.7 T-Kernel 的标准化	18

第 2 部分 T-Kernel 规范

1 T-Kernel 概述	21
1.1 T-Kernel 定位	21
1.2 可裁剪性	22
2 T-Kernel 规范的基本概念	24
2.1 基本术语	24
2.2 任务状态和调度规则	25
2.2.1 任务状态	25
2.2.2 任务调度规则	28
2.3 中断处理	31
2.4 任务异常处理	31

2.5	系统状态	31
2.5.1	非任务部分执行时的系统状态	31
2.5.2	任务无关部分(运行状态)与准任务部分(运行状态)	32
2.6	对 象	34
2.7	内 存	35
2.7.1	地址空间	35
2.7.2	非驻留内存	35
2.7.3	保护级别	36
3	通用 T-Kernel 规范	37
3.1	数据类型	37
3.1.1	普通数据类型	37
3.1.2	其他定义的数据类型	39
3.2	系统调用(函数)	40
3.2.1	系统调用(函数)格式	40
3.2.2	在任务无关部分(状态)中可用的系统调用(函数)	40
3.2.3	限制系统调用函数的调用	41
3.2.4	参数数据包的修改	41
3.2.5	函数代码	42
3.2.6	错误代码	42
3.2.7	时 限	43
3.2.8	相对时间和系统时间	44
3.3	高级语言支持程序	45
4	T-Kernel/OS 函数	46
4.1	任务管理函数	46
4.2	任务相关的同步函数	69
4.3	任务异常处理函数	82
4.4	同步和通信函数	89
4.4.1	信号量	89
4.4.2	事件标志	95
4.4.3	邮 箱	103
4.5	扩展同步和通信函数	110
4.5.1	互斥体	110
4.5.2	消息缓冲区	118
4.5.3	集合点端口	126
4.6	内存池管理函数	143