

## 嵌入式实时操作系统——理论基础

### 参考文献和网址链接

#### 11 章

【译者注】《Hartstone: 针对硬实时系统应用的综合基准测试要求 (Hartstone: Synthetic Benchmark Requirements for Hard Real-Time Applications)》原文可从下面网址获得: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/322837.322853>。

#### 13 章

关于行走测试算法的说明, 可以参考

<https://forum.allaboutcircuits.com/threads/walking-ones-and-walking-zeros-algorithm.6808/>

关于行进测试方法, 可以参考文档

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.461.3754&rep=rep1&type=pdf>

#### 1. 简单周期任务及非周期任务

为了满足应用场景的需求, 可以使用微控制器中的多个硬件 WDT (例如, Cypress 的多计数看门狗定时器 MCWDT, 可以参阅 <http://www.cypress.com/file/377751/download>)。

【译者注】微软的 ThreadX 及其所有中间件通过了 IEC—61508 SIL4 的安全认证等级:

<https://docs.microsoft.com/en-us/azure/rtos/general/functional-safety-artifacts>

通过使用标准内核功能的受限子集来满足此级别的要求, 例如 Ravenscar 配置文件中

(可参考 <http://www.openstd.org/JTC1/SC22/WG9/n575.pdf>) 的描述指定了下列功能:

## 附录 B

### B1 通信产品

#### B.1.1 USB:

SEGGER emUSB Device: 专门为嵌入式系统所设计的高速 USB 协议栈, 软件是 ANSI "C" 书写, 可以运行在任何平台上。

<https://www.segger.com/emusb.html>

## B.1.2 网络:

FreeRTOS+TCP 网络协议入门

[https://www.freertos.org/FreeRTOS-Plus/FreeRTOS\\_Plus\\_TCP/TCP\\_Networking\\_Tutorial.html](https://www.freertos.org/FreeRTOS-Plus/FreeRTOS_Plus_TCP/TCP_Networking_Tutorial.html)

针对初学者的 TCP/IP 模型和协议套件

<http://www.steves-internet-guide.com/internet-protocol-suite-explained/>

TCP/IP 模型解析| Cisco CCNA 200-30

[www.tcpipguide.com/free/t\\_UnderstandingTheOSIReferenceModelAnAnalogy.htm](http://www.tcpipguide.com/free/t_UnderstandingTheOSIReferenceModelAnAnalogy.htm)

串行数据传输标准

<https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/serial-data-communications/transmission-standards.php>

SEGGER emNet TCP/IP stack

为高性能、多功能性和小内存占用而优化的协议栈，几乎可以在任何 CPU 上使用

<https://www.segger.com/products/connectivity/emnet/>

## B2 文件系统

SEGGER emFile 是一个可用于嵌入式应用的文件系统，可支持任何媒体介质，提供基本的硬件访问功能。emFile 是一个高速和多功能软件库，并针对 RAM 和 ROM 中的最小内存消耗进行了优化。

<https://www.segger.com/emfile.html>

## B3 图形用户接口 (GUI)

OpenGL ES 视频

[https://www.youtube.com/watch?v=VN\\_qGY43A1Y](https://www.youtube.com/watch?v=VN_qGY43A1Y)

PEG - Portable Embedded Graphics 软件

[www.swellsoftware.com](http://www.swellsoftware.com)

Segger emWIN 软件

<https://www.segger.com/products/user-interface/emwin/>

emWin 视频

<https://www.youtube.com/watch?v=SwlkysAKggU>

B4 性能测试

1.Dhrystone benchmark

针对 ARM Cortex Dhrystone 性能测试。

[https://static.docs.arm.com/dai0273/a/DAI0273A\\_dhrystone\\_benchmarking.pdf](https://static.docs.arm.com/dai0273/a/DAI0273A_dhrystone_benchmarking.pdf)

参考文献:

Dhrystone: A synthetic system programming benchmark, Reinhold P. Weicker, Computing Practices, Vol.27, No.10, pp 1013-1030, Oct.1984.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Dhrystone>

2.Whetstone benchmark

参考文献:

A Synthetic Benchmark, H.J.Curnow and B.A.Wichmann, Computer Journal, Vol.19, No.1, pp 43-49, Jan.1976.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Whetstone\\_%28benchmark%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Whetstone_%28benchmark%29)

3.Hartstone benchmark

Hartstone 有一系列时序要求，用于测试系统处理硬实时应用程序的能力。

参考文献:

Hartstone: Synthetic Benchmark Requirements for Hard Real-Time Applications,

N.Weiderman, Technical Report, Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University CMU/SEI-89-TR-23, June 1989.

<http://www.sei.cmu.edu/reports/90tr007.pdf>

#### 4.Rhealstone benchmark

Rhealstone 测试数据是从实时系统性能最关键的六类活动中获得的总和,与实际应用无关。

Rhealstone 指标可以帮助开发人员选择适合他们应用的实时计算机系统。

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S147466701741398X>

参考文献:

Implementing the Rhealstone Real-Time Benchmark, R.P.Kar, Dr. Dobbs Journal, pp 46-102, April.1990.

#### 5.SPEC benchmarks:

SPEC 旨在为不同计算机系统上密集型工作负载的计算提供比较的性能测量。

<http://www.spec.org/benchmarks.html>

参考文献:

SPEC as a Performance Evaluation Measure, R.Giladi and N.Ahituv, IEEE Computer, Vol.28, No.8, pp 33-42, August 1995.

#### 6.EEMBC benchmark 软件

EEMBC 对预测广泛的嵌入式处理器和内存子系统的性能有帮助

<http://www.eembc.org/products/index.php>

#### 7.CoreMark:

CoreMark 是一个旨在称为测量嵌入式系统中央处理器 (CPU) 性能的基准测试, 它由 EEMBC 的 Shay Gal-On 于 2009 年开发, 励志成为行业标准, 取代过时的 Dhrystone 基准测试。

<http://en.wikipedia.org/wiki/Coremark>

## B5 RTOS

Azure (以前的 ThreadX)

Azure RTOS 是一个嵌入式开发套件, 包括一个为资源受限的设备提供高可靠、高性能、小而强大的操作系统。

<https://azure.microsoft.com/en-us/services/rtos/>

Deos 是一个经过验证的全功能 DO-178 A 级实时操作系统(RTOS), 它解决了航空电子设备和安全关键应用的高稳健性和正式可认证性问题。

[http://www.ddci.com/products\\_deos.php](http://www.ddci.com/products_deos.php)

## embOS

Segger 的 embOS 旨在成为嵌入式实时应用程序开发的基础。

<http://www.segger.com/embos.html>

## eSOL

eSOL 是一家多核和多核处理器软件开发解决方案的领先供应商。

[http://www.esol.com/embedded/multicore\\_manycore.html](http://www.esol.com/embedded/multicore_manycore.html)

## FreeRTOS

FreeRTOS 是一个针对微控制器和微处理器、免费使用、市场领先的小型实时操作系统

<http://www.freertos.org/>

## HeartOS

DDC-I 的 HeartOS 是一个基于 POSIX 的硬实时操作系统, 速度快、尺寸小并且功能强大, 适用于包括安全关键的大多数中小型嵌入式应用。

[http://www.ddci.com/products\\_heartos.php](http://www.ddci.com/products_heartos.php)

## INTEGRITY

来自 Green Hills Software 的 INTEGRITY 是领先的 RTOS, 广泛的用于安全关键嵌入式系统。

<http://www.ghs.com/products/rtos/integrity.html>

## ITRON

ITRON 是日本开放标准, 是硬实时嵌入式 RTOS 应用程序。ITRON 和  $\mu$ ITRON 是 ITRON 项目 RTOS 规范的名称。'μ' 表示特定规范, 用于较小的 8 位或 16 位 CPU 目

标。基于  $\mu$ ITRON 的 API 的开源 RTOS 示例规范是 eCos (<http://ecos.sourceforge.org/>) 和 RTEMs (<http://www.rtems.com/>)

[http://en.wikipedia.org/wiki/ITRON\\_project](http://en.wikipedia.org/wiki/ITRON_project)

#### QNX

QNX Neutrino RTOS 支持非对称多处理 (AMP) 和对称多处理 (SMP)，以及绑定多处理器 (BMP)。

<http://www.qnx.co.uk/products/neutrino-rtos/index.html>

#### RTX 实时操作系统

Keil RTX 是专为 ARM 和 Cortex-M 设备设计的免版税、确定性实时操作系统。

<http://www.keil.com/rl-arm/kernel.asp>

#### SAFERTOS

SAFERTOS 是面向微控制器的、经过安全认证的嵌入式实时操作系统 (RTOS)。SafeRTOS 及其工业设计保证包已通过 TÜV SÜD 的 IEC 61508 SIL 3 预认证。

<http://www.highintegritysystems.com/safertos/>

还可以在以下位置查看他们有趣的白皮书

<https://www.highintegritysystems.com/white-papers/>

#### SMX

来自 Micro Digital 的 SMX 是一种实时操作系统，专门用于嵌入式系统。

<http://www.smxrtos.com/about.html>

#### ThreadX (现在是 Azure)

来自 expresslogic 的 ThreadX 专为深度嵌入式应用而设计，它还通过了安全关键应用的认证。<http://rtos.com/products/threadx/>

#### VxWorks

Wind River 的 VxWorks 可能是嵌入式系统的最主要 RTOS 之一。它有多种版本，针对特定行业量身定制。<https://www.windriver.com/products/vxworks>

#### $\mu$ C/OS-III

来自 Micrium 的  $\mu$ C/OS-III 是一个高度可移植、可固化、可扩展、抢占式、实时、确定性多任务内核，可用于微处理器、微控制器和 DSP。

<https://www.silabs.com/developers/micrium>

【译者注】 $\mu$ C/OS-III 现在已经是一个开源软件，商业版本由 weston embedded solution 维护

<https://weston-embedded.com/micrium/overview>

## B.6 工具

### QNX Momentics 工具套件

Momentics 是一个全面的、基于 Eclipse 的集成开发环境，它具有创新分析工具，并可最大限度地了解系统行为。Momentics 让开发人员对实时交互、内存配置文件一目了然。专用多核工具可帮助开发者将代码从单核迁移到多核系统，并安全地优化性能。

<http://www.qnx.org.uk/products/tools/qnx-momentics.html>

### Atollic TrueSTUDIO

Atollic TrueSTUDIO 是应用于 ARM 微控制器的 C/C++ 编译器和调试器开发套件，Atollic TrueINSPECTOR 是一款用于静态源代码分析的专业工具。Atollic TrueANALYZER 在系统测试期间测试覆盖率工具。Atollic TrueVERIFIER 分析你的源代码，对于每个功能自动生成带有单元测试的测试套件，并能在你的目标板上自动执行。

<http://www.atollic.com/index.php/product-overview>

【译者注】ST 收购了 Atollic，并将 Atollic TrueSTUDIO 集成到其知名的 STM32Cube 开发环境，命名为 STM32CubeIDE。

### IAR Embedded Workbench for Arm

IAR Embedded Workbench 一个集成开发环境，包含的 IAR C/C++ 编译器可以生成基于 Arm 处理器的，性能最快、代码最紧凑的应用程序。

<http://www.iar.com>

【译者注】IAR Embedded Workbench 除了 Arm 版本 还广泛支持 8-16-32 位 MCU，包括最新支持 RISC-V 处理器。

### Tracealyzer

这是一款功能强大且直观的可视化工具，可让你更快、更轻松地进行故障排除，并提高软件质量、性能和稳健性。

<http://percepio.com/>

### RAPID RMA:

RAPID RMA 中包含的多种分析工具，支持设计人员针对各种设计场景的模型测试软件，并评估不同的实现方式可能对优化其系统的性能的影响(通过隔离和识别软实时系统和硬实

时系统中潜在的调度瓶颈)。

<https://www.tripac.com/>

Stateviewer

Stateviewer 是一个插件式内核感知调试器，供工作的工程师使用 IAR Embedded Workbench、Keil 或 Eclipse 环境使用。

<https://www.highintegritysystems.com/tools/stateviewer>

SEGGER Embedded Studio

SEGGER Embedded Studio 是一个精简而强大的 C/C++ IDE(集成开发环境),用于 ARM 微控制器。

<https://www.segger.com/embedded-studio.html>

【译者注】SEGGER Embedded Studio 最新支持 RIC-V 处理器。

Keil  $\mu$ Vision IDE

Keil 的  $\mu$ Vision IDE 结合了项目管理、制作工具、源代码等功能在一个强大的环境中进行编辑、程序调试和完整的仿真。

<http://www.keil.com/uvision/>

Green Hills Probe

Green Hills Probe 是一个连接到板载调试端口的高级硬件调试设备，支持大多数现代微处理器上的 IEEE 1149.1 JTAG 和 BDM 调试接口，这些微处理器来自三十多家制造商的一千多种芯片。Green Hills Probe 具备灵活的电气接口，以及开箱即用的 Green Hills 多核系统支持。长期以来，Green Hills Probe 为嵌入式项目提供快速、可靠的调试、编程和系统可见性。

<http://www.ghs.com/products/probe.html#overview>