

RTOS 与 CPU 指令设计

—— μ C/OS-III的启示

邵贝贝 清华大学

何小庆 北京麦克泰软件技术公司董事长

2010中国集成电路产业促进大会

暨第五届‘中国芯’颁奖典礼, 天津

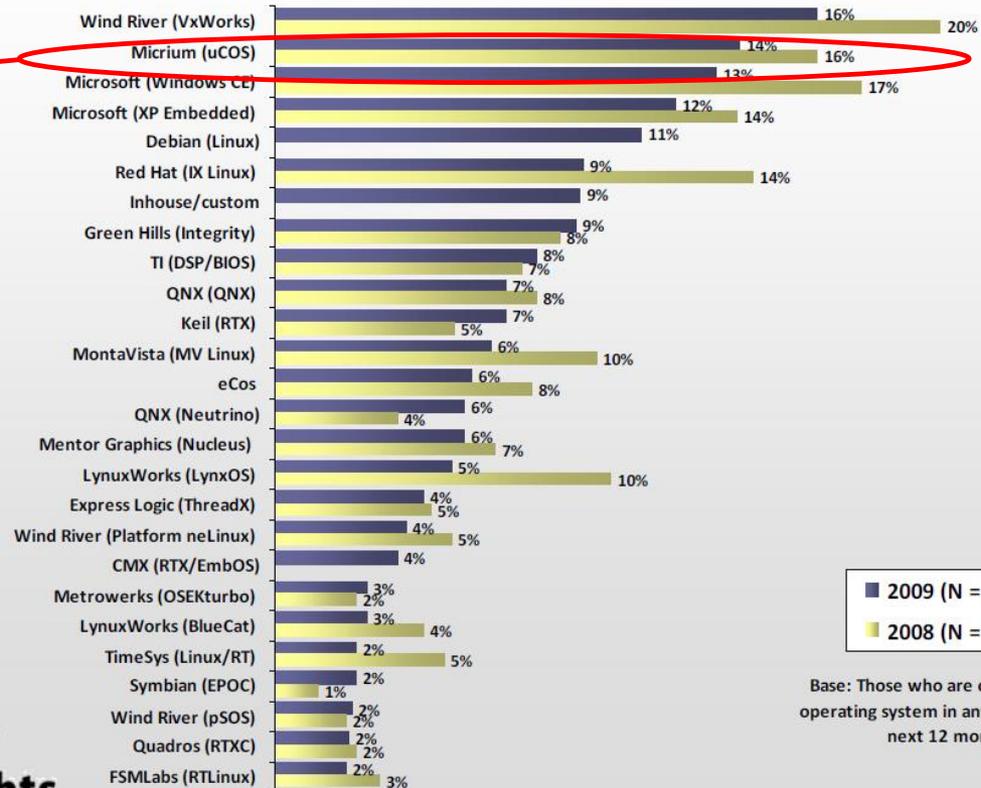
主要内容

- 简介实时操作系统**μC/OS-II**的由来与发展
- **RTOS**软件与**CPU**设计的相互促进
- 单片机的双核与多核趋势，为**RTOS**提供了广阔的改造空间
- **CPU**与**MCU** 设计中应该关注的其他新技术
- 结论与建议

世界RTOS市场

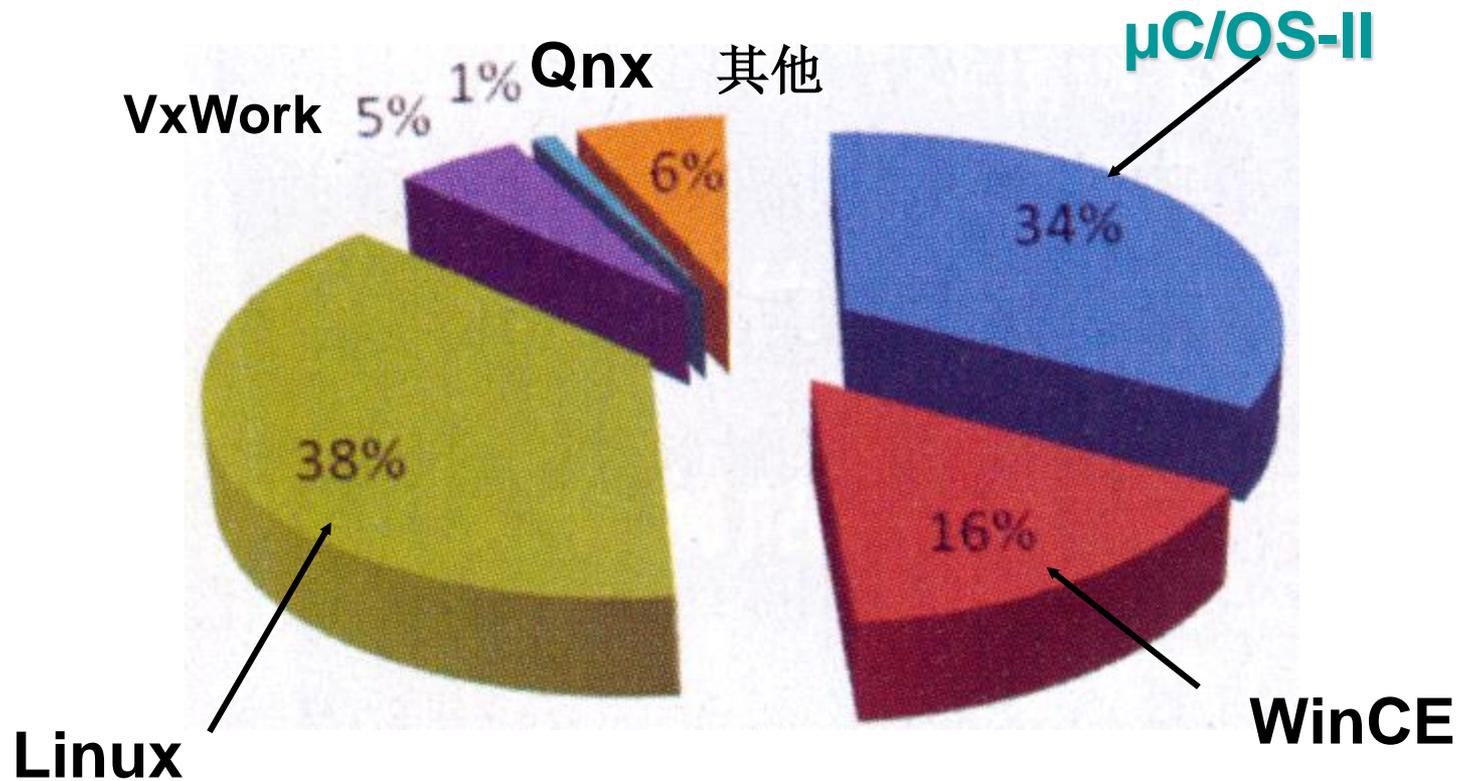
2009 Embedded Market Study

Please select ALL of the operating systems you considering using in the next 12 months.

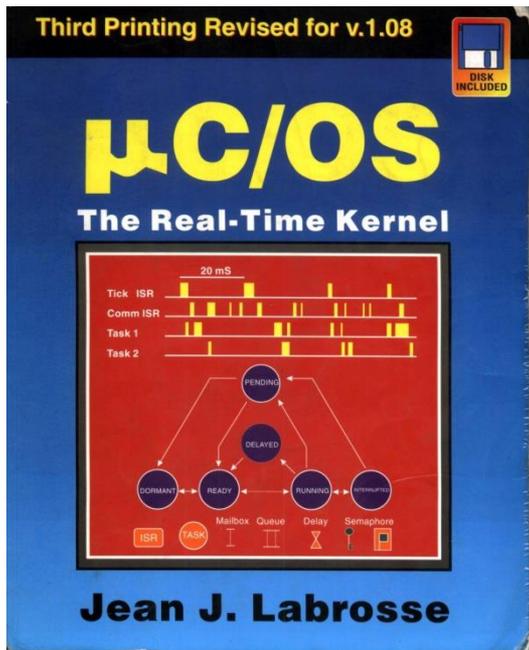


14% 代表着在未来项目中考虑使用μC/OS-II

μC/OS-II 在中国嵌入式系统中的影响力



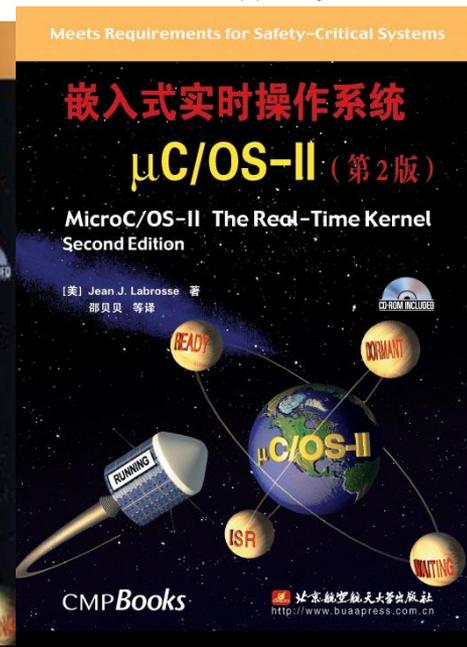
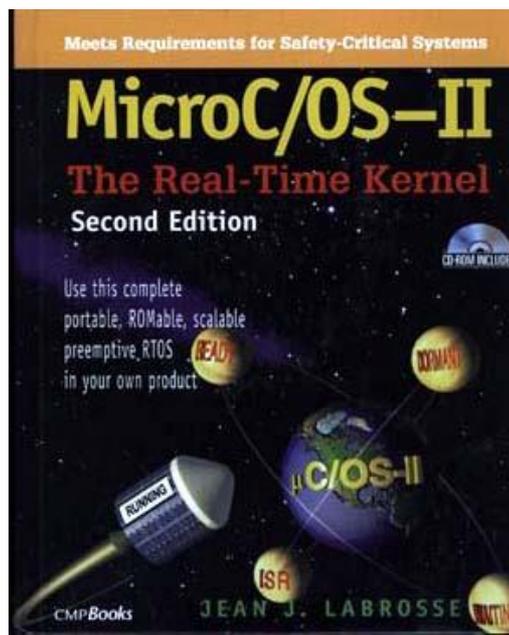
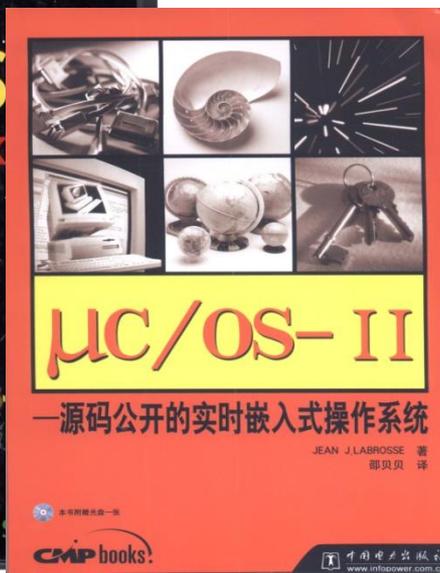
资料来源：《电子产品世界2009年第1期》



μC/OS-II 概况

- μC/OS 诞生于1992年，是专门为68HC11 CPU写的
- μC/OS-II V2.0诞生于1998年
- μC/OS-II V2.52诞生于2002年
- μC/OS-III 诞生于2009年

– 现在有ST、NXP, TI的Cortex M3 版本



μC/OS-II 核心调度算法 (1)

Ready List

OSRdyGrp

1	0	1	0	0	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---

OSRdyTbl[OS_LOWEST_PRIO/8+1]

	← X →				← X →				
[0]	0	0	0	0	0	1	0	0	Y
[1]	0	0	0	0	0	0	0	0	
[2]	0	1	0	0	0	0	0	0	
[3]	0	0	0	0	0	0	0	0	
[4]	0	0	0	0	0	0	0	0	
[5]	0	0	0	1	0	0	0	0	
[6]	0	0	0	0	0	0	0	0	
[7]	1	0	0	0	0	0	0	0	

Task Priority

0	0	Y	Y	Y	X	X	X
---	---	---	---	---	---	---	---

Idle Task READY Forever

μC/OS-II 核心调度算法 (2)

需要查表:

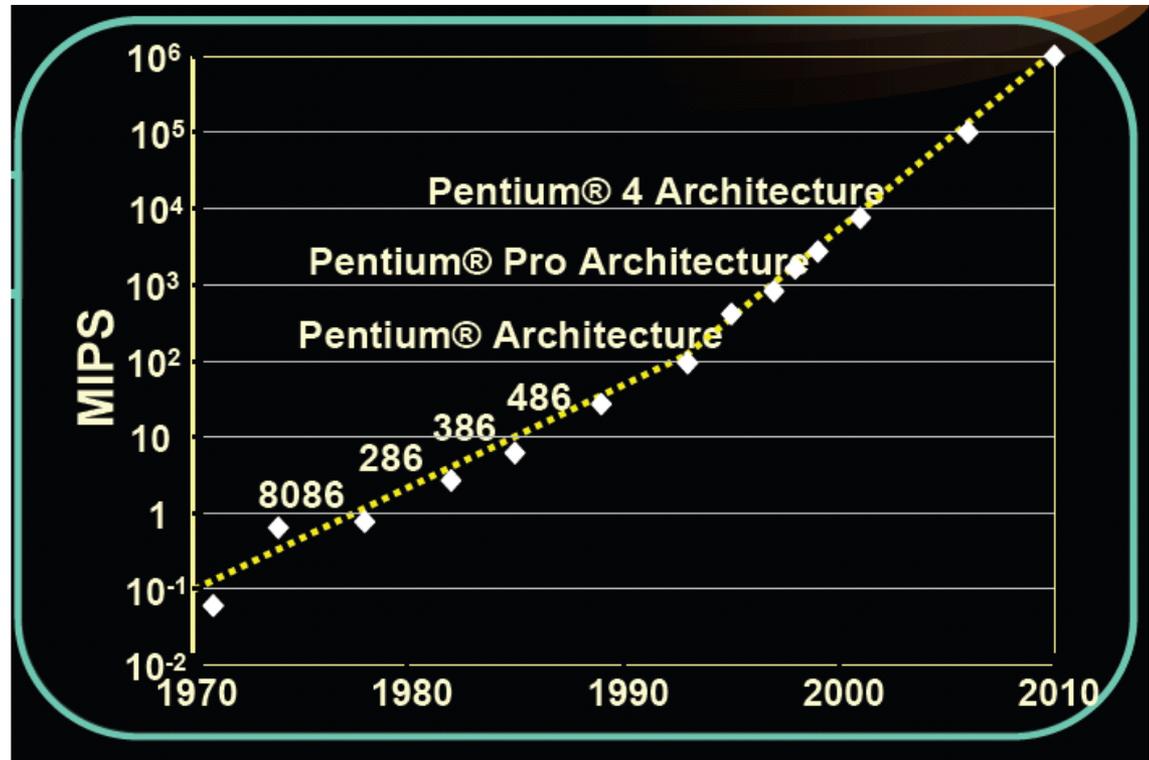
```
char OSUnMapTbl[]={
  0,0,1,0,2,0,1,0,3,0,1,0,2,0,1,0,
  4,0,1,0,2,0,1,0,3,0,1,0,2,0,1,0,
  5,0,1,0,2,0,1,0,3,0,1,0,2,0,1,0,
  4,0,1,0,2,0,1,0,3,0,1,0,2,0,1,0,
  6,0,1,0,2,0,1,0,3,0,1,0,2,0,1,0,
  4,0,1,0,2,0,1,0,3,0,1,0,2,0,1,0,
  5,0,1,0,2,0,1,0,3,0,1,0,2,0,1,0,
  4,0,1,0,2,0,1,0,3,0,1,0,2,0,1,0,
  7,0,1,0,2,0,1,0,3,0,1,0,2,0,1,0,
  4,0,1,0,2,0,1,0,3,0,1,0,2,0,1,0,
  5,0,1,0,2,0,1,0,3,0,1,0,2,0,1,0,
  4,0,1,0,2,0,1,0,3,0,1,0,2,0,1,0,
  6,0,1,0,2,0,1,0,3,0,1,0,2,0,1,0,
  4,0,1,0,2,0,1,0,3,0,1,0,2,0,1,0,
  5,0,1,0,2,0,1,0,3,0,1,0,2,0,1,0,
  4,0,1,0,2,0,1,0,3,0,1,0,2,0,1,0};
```

摩尔定律

摩尔1965年文章指出，芯片中的晶体管数量每年会翻番，1975年，又修正了摩尔定律，每隔24个月，晶体管的数量将翻番。Intel官员称，芯片的性能每隔18个月翻番一次

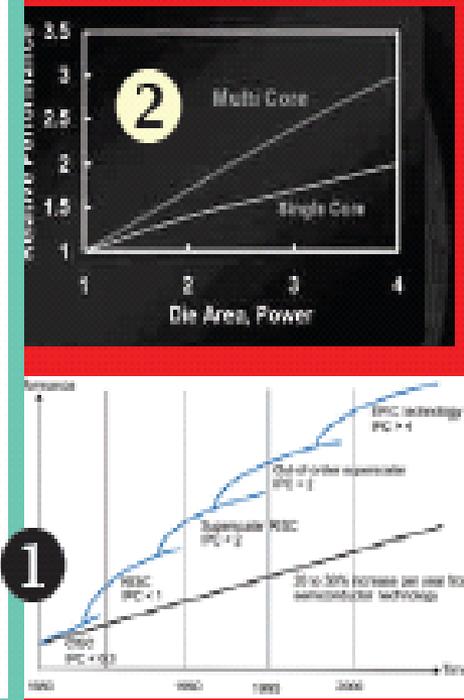
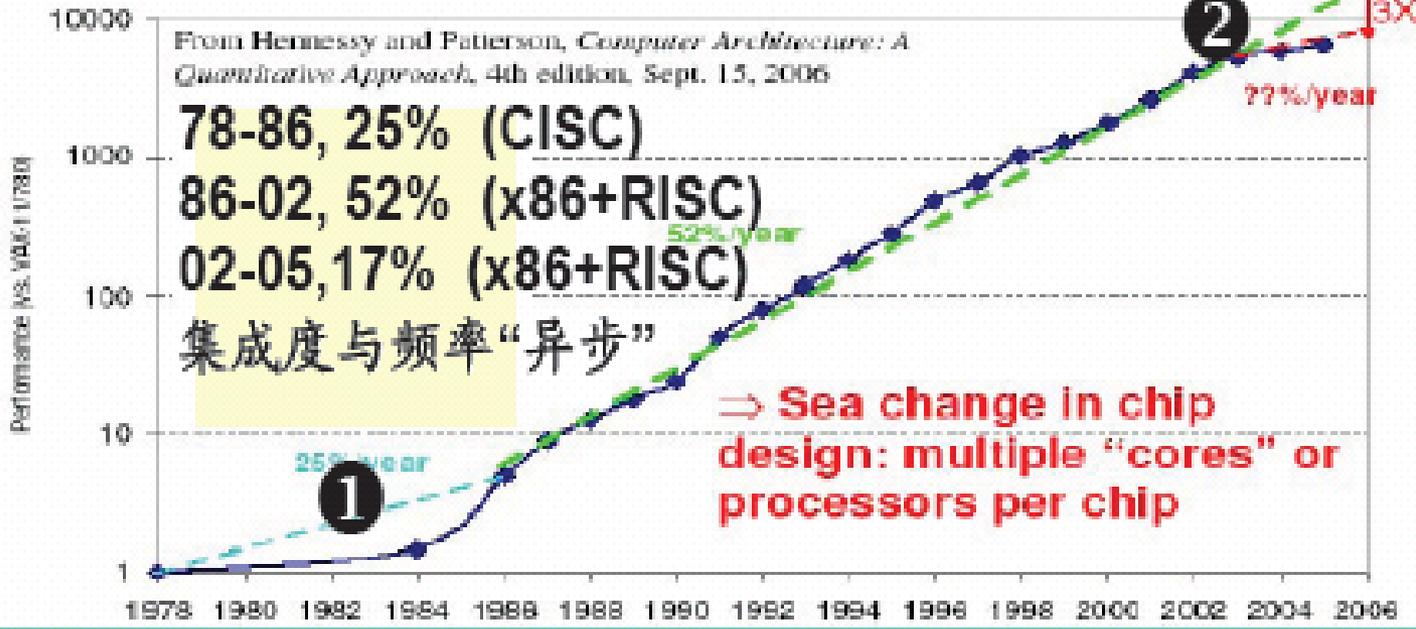
PC机 CPU 性能

摩尔定律的理论极限是4nM，当前存储器IC达到~20nM，15nM技术已经出现，后摩尔时代尚未到来
然而……



CPU设计提前进入后摩尔时代了吗？

Uniprocessor Performance (SPECint)



- 25年前不符合摩尔定律时发生了什么？
- 当前状况和25年前的情况惊人地相似
- 再前进一步：需要新CPU设计技术，也需要多核（同核并行、异构组合...）、3D....理念

μC/OS-III 一个全新的商用RTOS



- 发挥有特殊指令CPU的优势，算法按照CPU架构优化
- 允许任务使用同一优先级，支持时间片调度法
- 不使用关中断的方式保护临界段代码，
- 可定义任意多的任务、信号量等，动态配置内核资源
- 增加了很多新功能
- 内在性能测试可测得系统的各种性能指标。
μC/Probe 调试工具软件，动态显示、修改各种变量

μC/OS完整的产品线（组件）

μC/OS-MMU 和 μC/OS-MPU

uc/os kernel 附件模块

μC/FS

文件系统模块，支持
FAT 和 EFS

μC/USB Device, μC/USB Host, 和 μC/USB OTG

通用的**USB** 协议栈

μC/Bluetooth

蓝牙方案

μC/CAN

可靠的 **CAN** 协议

μC/GUI

嵌入式系统图形软件

μC/TCP-IP

与uc/os 内核紧密联系的高性能**TCP/IP** 栈

μC/Modbus

高质量的**Modbus**协议实现

μC/FL

容易使用的引导程序

μC/BuildingBlocks

μC/Shell

μC/CRC

μC/Clk

μC/LCD

适合集成电路产业的商业模式

- **Micrium**一直坚持 嵌入式系统开发者不必要为不需要的软件付费的原则
 - 用户得到的软件是针对特定系统而裁减和优化如支持**ARM Cortex M3** 核的各个公司**MCU** 产品, **ST32,NXP,TI Stellaris (PIC32 -计划)**
- 所有**μC/OS** 和附加组件模块都是一次授权(**royalty free**)
- **μC/OS (Micrium公司)** 有多种商业授权模式
 - **Per product (产品)**
 - **Product line (产品线)**
 - **Per CPU (CPU)**
 - **Site (属地)**
- **μC/OS** 内核在大学教育和非商业目的的使用是免费
 - **μC/OS**组件 (除**TCP-IP**书籍包含代码外) 不能免费获得
 - 社区有大量的支持**μC/OS** 的组件, 比如**LWIP**, 商业用户可以获得**μC/OS, uc/TCP-IP** 30天代码评估

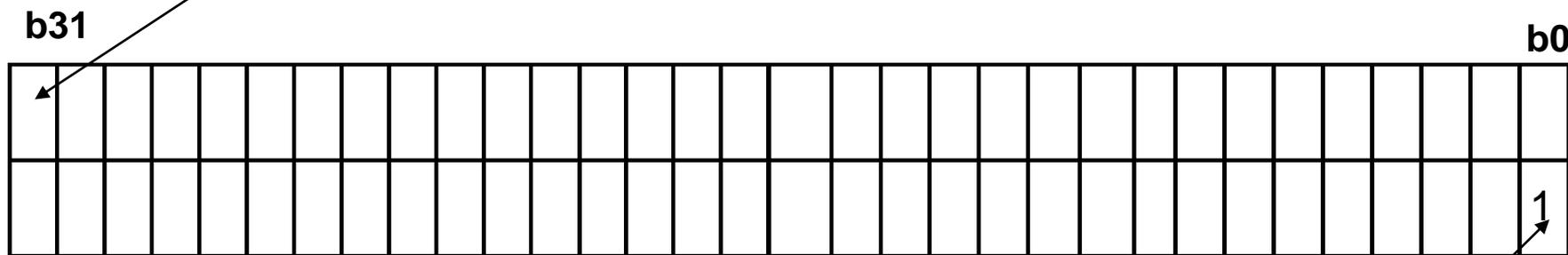
发挥一些有特殊指令CPU的优势

- 发挥一些有特殊指令**CPU**的优势，使用全新的优先级算法
- **μC/OS-II**的**8+1B**查表算法无疑适用于**8b CPU**，对于**16/32b MCU**，优势趋弱
- 特别是对于有特殊硬件指令的**CPU**，可发挥相关特殊指令的优势，实现更快的算法
- 一些先进**CPU**还含有堆栈溢出监控寄存器，实时监控可能的栈溢出有个寄存器可写入堆栈极限值，当栈达到极限时产生中断

CPU硬件算法指令CLZ，使μC/OS经典的软件算法无用武之地

Count Leading Zero

Ready List 最高优先级



找出最高优先级程序

N=0;
读入优先级表的第1个32位数;
不为零则跳转到**CLZ**指令;

数出前置0的个数

N+=32;
CLZ;
最高优先级=**N+前置0**数目;

Ideal task

PowerPC的指令

- **32位PowerPC:**
 - **cntlzw** or cntlz (Count Leading Zeros Word) Instruction
 - Description: The cntlzw and cntlz instructions count the number (between 0 and 32 inclusive) of consecutive zero bits starting at bit 0 of general-purpose register (GPR) *RS* and store the result in the target GPR *RA*.
- **64位PowerPC还有:**
 - **cntlzd** (Count Leading Zeros Double Word) Instruction
 - A count of the number of consecutive zero bits, starting at bit 0 (the high-order bit) of register GPR *RS* is placed into GPR *RA*. This number ranges from 0 to 64, inclusive.

32MIPS CPU 也有类似指令

ARM Cortex 3 中的相关指令

- 从ARM Cortex M3 开始出现CLZ指令
- **CLZ (Count leading Zero)**
 - 数出前导0的数目，即找出第一个1的位置
 - 被多数中文手册翻译成“返回0的数目”有误
- **ARM Cortex与ARM7和ARM9并不兼容**
- 目前Freescale 已经出到ARM Cortex M4， 有汽车级产品

16位S12X单片机片内XGate CPU的特别指令

找出寄存器RS中第一个1的位置并写入RD，若RS为0，C置位

– **BFFO RD, RS** **Bit Field Find First One**

Searches the first “1” in register RS (from MSB to LSB) and writes the bit position into the destination register RD. The upper bits of RD are cleared. In case the content of RS is equal to \$0000, RD will be cleared and the carry flag will be set. This is used to distinguish a “1” in position 0 versus no “1” in the whole RS register at all.

利用BFFO指令简化 μ C/OS算法

b0															b15
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1



Idle task

- 任务数可任意多
- 32位机更快

CPU与MCU 设计中应该关注的其他新技术

- 使用于控制目的的MCU更可靠

- ECC 存储器纠错技术

- 1 位出错则纠错，对于用户是透明的，2位出错叫中断

- 8Byte为组，可使用72位海明码

- 模块化通讯协议技术

- 同步以太网（1588）协议模块

- FlaxRay 通讯协议模块

- 我国应该参与到制定协议的俱乐部当中去

结论与建议

- **μC/OS-II**在我国用户甚广、颇具影响力。而**μC/OS-III**则是全新的，更适合于新近推出的**CPU**，目前还只有面向**ST**、**NXP**、**TI**公司**ARM Cotrex-3**的代码和一本手册型书出售。**Micrium**正在和各半导体厂商合作，逐步推出**μC/OS-III**用于其他各种**CPU**的商业版本
- 中国广大学者应尽快从用得着的功能和**cpu**开始，逐个升级**μC/OS-II**的功能，公开和讨论源代码的改进，使之成为全新的**μC/OS-II**
- 我国**CPU**设计者要关注用户需要的一些核心算法，使之能用硬件实现。自主设计的**CPU**要顺应国际技术发展大形势，融入到国际合作俱乐部中，在兼容国际流行**CPU**基础上创新

问题与讨论

嵌入式系统联谊会

www.esbf.org.cn

RTOS与CPU指令设计

— $\mu\text{C}/\text{OSIII}$ 启示

产品和应用补充

邵贝贝 清华大学教授

何小庆北京麦克泰软件董事长
中软协嵌入式系统分会副秘书长



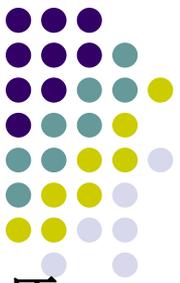
μC/OS完整的产品线

- μC/OS-II 和μC/OS-III
- μC/OS-MMU 和 μC/OS-MPU
 - uc/os kernel 附件模块
- μC/FS
 - 文件系统模块，支持FAT 和 EFS
- μC/GUI
 - 嵌入式系统图形软件
- μC/TCP-IP
 - 与uc/os 内核紧密联系的高性能TCP/IP 栈
- μC/Probe
 - μC/OS 内核分析工具

μC/OS完整的产品线



- μC/USB Device, μC/USB Host, 和 μC/USB OTG
 - 通用的USB 协议栈
- μC/Bluetooth
 - Bluetooth 方案
- μC/CAN
 - 可靠的 CAN 协议
- μC/Modbus
 - 高质量的Modbus协议实现
- μC/FL
 - 容易使用的引导程序
- μC/BuildingBlocks
 - μC/Shell
 - μC/CRC
 - μC/Clk
 - μC/LCD



适合集成电路产业的商业模式

- Micrium坚持 嵌入式系统开发者不必要为不需要的软件付费的原则
 - 用户得到的软件是针对特定系统而裁减和优化如支持ARM Cortex M3 核的各个公司MCU 产品, ST32, LPC1700, TI Stellaris , PIC32
- 所有 $\mu\text{C}/\text{OS}$ 和附加组件模块都是一次授权(royalty free)
- Micrium公司 针对 $\mu\text{C}/\text{OS}$ 有多种商业授权模式
 - Per product (产品)
 - Product line (产品线)
 - Per CPU (CPU)
 - Site (属地)
- $\mu\text{C}/\text{OS}$ 内核在大学教育和非商业目的的使用是免费
 - $\mu\text{C}/\text{OS}$ 组件 (除TCP-IP书籍包含代码外) 不能免费获得
 - 社区有大量的支持 $\mu\text{C}/\text{OS}$ 的组件, 比如LWIP,
 - 商业用户可以获得 $\mu\text{C}/\text{OS}$, uc/TCP-IP 30天代码评估

技术特点和优势之一

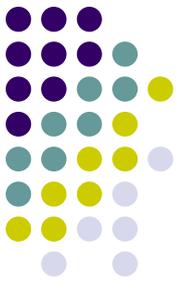
— Clean Source Code



- 所有软件模块都依据严格的代码标志而撰写
 - 遵循ANSI C 和MISRA 标准
 - 40页讲述代码标准技术手册AN-2000
- 丰富的注释是 μ C/OS代码的特点
 - 多数模块注释行占代码总行数50%
 - 注释是传统手册的补充
- Jack Ganssle, Embedded.com 著名专栏作家对 μ C/OS代码的评价
 - “Beautiful”
 - “Clearly well crafted”
 - “Pretty darn perfect”

技术特点和优势之二

一 获得了大量安全认证



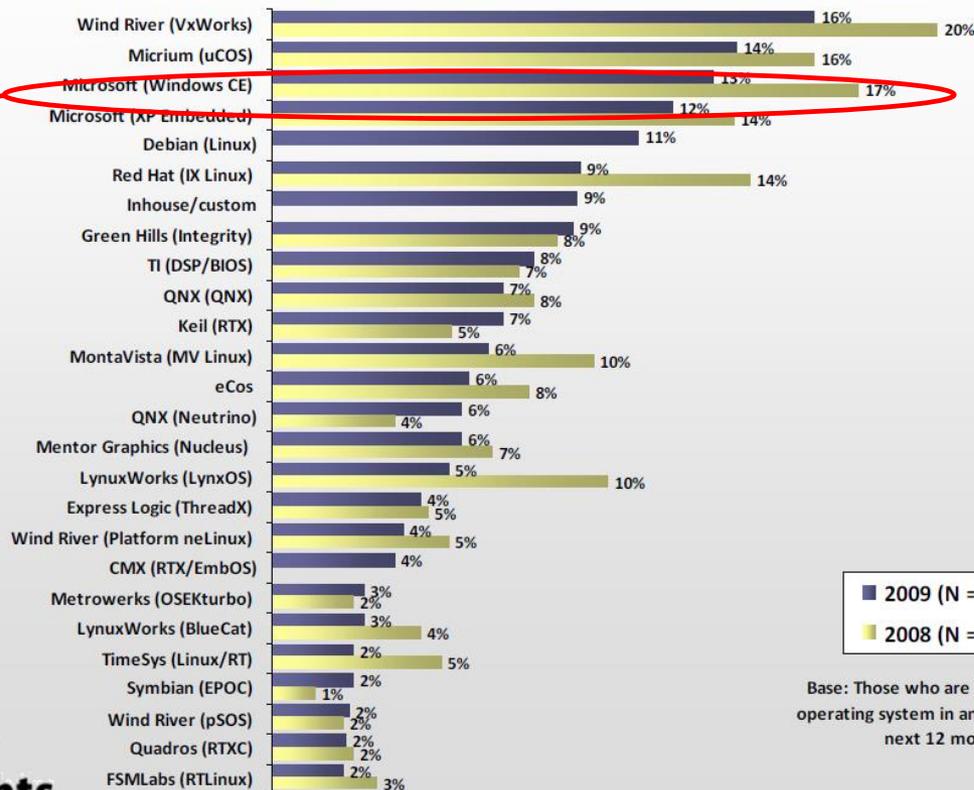
- 得益于 “clean source code”， $\mu\text{C}/\text{OS}$ 获得多种不同的安全认证
 - DO-178B (FAA)
 - FDA510(k)
 - IEC-61508
- 其他Micrium 组件模块都正在认证之中
- 所有的组件模块在设计上均支持安全和关键性的应用

调查显示出增加迅速的市场情况



2009 Embedded Market Study

Please select ALL of the operating systems you considering using in the next 12 months.



14% 代表着在未来项目中考虑使用μC/OS-II



μC/OS的典型应用



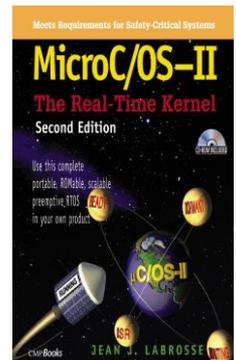
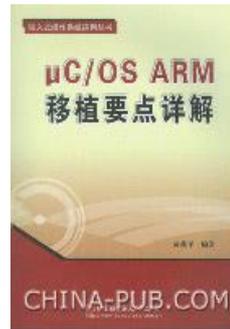
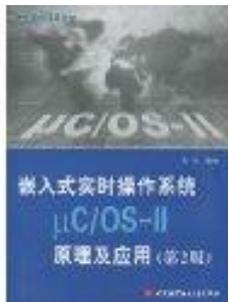
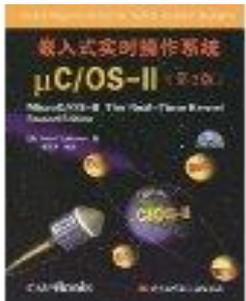
- 过程控制装置
- 通信设备
- 消费电子产品
- 仪器仪表
- 军事电子设备
- 航空航天系统
- 计算机外设





教育、培训和社区

- 大学，职业技术学院和培训机构开设 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 课程和试验
- 各类出版机构出版的图书两百余种，学术文章千余篇*
 - 仅在卓越，当当等电子网站现在销售的就20—30种
 - 仅北航出版社就有出版 $\mu\text{C}/\text{OS}$ 专著8本，相关书籍百种
 - *通过中国知网学术搜索获得数据，Google 学术搜索有类似结果
- $\mu\text{C}/\text{OS}$ 内核在大学教育和非商业目的的使用是免费
 - $\mu\text{C}/\text{OS}$ 组件（除TCP-IP书籍包含代码外）不能免费获得
 - 社区有大量的支持 $\mu\text{C}/\text{OS}$ 的组件，比如LWIP,
 - 商业用户可以获得 $\mu\text{C}/\text{OS}, \mu\text{C}/\text{TCP-IP}$ 30天代码评估

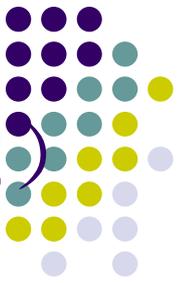


μC/OS, μC/OS-II 和 μC/OS-III 比较 (1)



特性	Uc/os	Uc/os-II	Uc/OS-III
发表时间	1992	1998	2009
是源代码	是	是	是（需要授权）
抢占多任务	是	是	是
最大的任务数	64	256	没限制
每个优先级的任务数	1	1	没限制
事件标记 (Event flag)	没有	有	有
不使用信号量通知任务	没有	没有	有
动态运行配置	没有	没有	有
编译时配置	有	有	有
代码尺寸 (code size)	3—8K	6—26K	6—20K
时间片轮转调度 (Round robin)	没有	没有	有
内建的内核认识支持	没有	有	有

μC/OS, μC/OS-II 和 μC/OS-III 比较 (2)



特性	Uc/os	Uc/os-II	Uc/OS-III
内建的性能测量	没有	有限制	可以扩展
使用汇编语言优化调度器	没有	没有	有
系统服务的数量	20	90	70
MISRA-C:1998支持	没有	有	没有
MISRA-C:2004支持	没有	没有	有
DO178B ED-12B	没有	有	进行中
FDA 认证和批准	没有	有	进行中
SIL3/SIL4 运输和核系统	没有	有	进行中
IEC61508	没有	有	进行中

- 从uC/OS, uC/OS-II和uC/OS-III 可以清楚地看到MCU 从 8-16-32 位发展过程中嵌入式软件和RTOS 的变化。