

# 如何开始 DSP 的开发?

电子科技大学 TI-DSPs 技术/培训中心 管庆

对于 DSP 工程师来说, 除开必须了解和熟悉 DSP 本身的结构 (包括软件指令系统和硬件结构) 和技术指标外, 大量的时间和精力是花费在熟悉和掌握其开发工具和环境中。因此, 各 DSP 生产厂商以及许多第三方公司作了极大的努力, 为 DSP 系统集成和硬软件的开发提供了大量有用的工具。

TI 的 DSP 的开发环境和工具主要包括以下三个部分:

- 。代码生成工具 (编译器, 连接器, 优化 C 编译器, 转换工具等)
- 。系统集成及调试环境与工具
- 。实时操作系统

图 1 是 TI 的 TMS320 系列 DSP 的软件开发流程图, 阴影部分是软件开发的最常用路径, 其它部分是可选的。

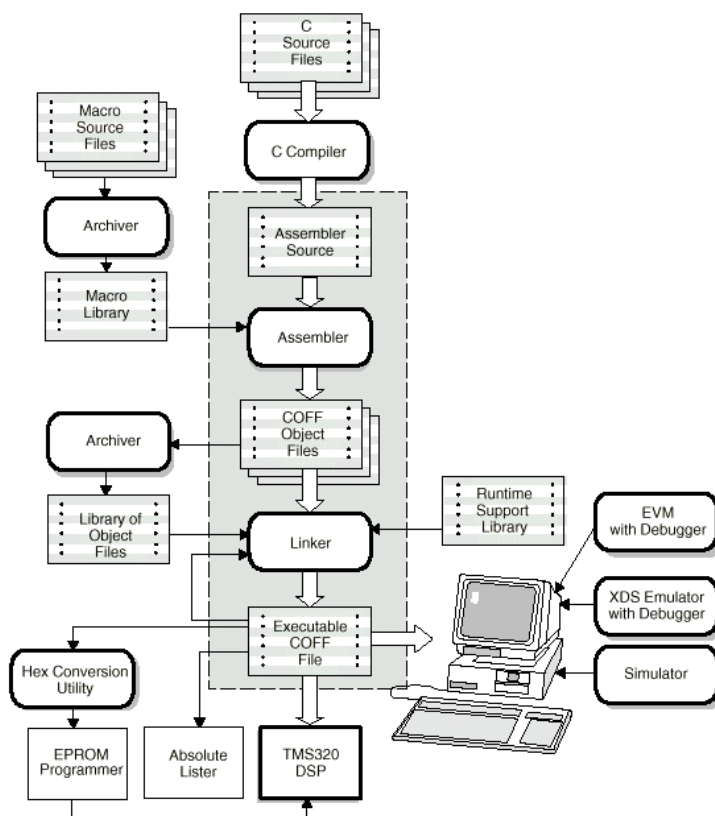


图 1 TI 的 TMS320 系列 DSP 的软件开发流程图

## § 1 代码生成工具

当你选择好一个型号的 DSP，并完成了硬件电路的设计后，你便进入 DSP 的软件开发阶段。这个阶段的工作量往往占这个系统开发的 70% 以上。通过图 1 看出，你可以使用汇编语言或 C 语言（最新版的 CCS 中带的代码生成工具可以支持 C++）编写的源程序代码。编写完成后，使用代码生成工具进行编译、连接，最终形成机器代码。由于 TI 的各个 DSP 系列所使用的汇编指令、机器代码各不相同，所以应使用相应的代码生成工具。代码生成工具包括：

- **C 编译器(C compiler)** 将 C 源程序代码编译成为 320 系列对应汇编语言源代码。编译包中包括一个外壳程序 (**shell program**)、一个优化器 (**optimizer**) 和一个内部列表公用程序 (**interlist utility**)。

其中，外壳程序能自动调用编译、汇编、连接等工具，并接受相应的参数，简化用户的操作。优化器能改进代码来提高 C 程序的效率。内部列表公用程序能将 C 源程序同汇编语言输出相结合，以供用户参考或完成手工优化。

- **汇编器(Assembler)** 将汇编语言源文件转变为基于公用目标文件格式 (COFF) 的机器语言目标文件，即通常指的 OBJ 文件。源文件可以包括汇编语言指令 (instruction)、汇编指令 (assembler directives) 和宏指令 (macro directives)。‘C5000 系列提供两种指令集，所以你可以使用**助记符指令集** (Mnemonic Instruction Set) 或**代数指令集** (Algebraic Instruction Set)，但两种不能混用。**连接器 (linker)** 将目标文件连接起来产生一个可执行模块。它能调整并解决外部符号的引用。连接器的输入是可重新定位的 COFF 目标文件和目标库文件。

以上几个工具是 **DSP 软件开发所必备的**，而下面的工具是可以选用的：

- **归档器 (archiver)** 将一组文件归入一个归档文件，也叫归档库。另外，归档器允许通过删除、替代、提取或增加文件来调整库。归档器最有用的应用之一是建立目标文件库。C 编译器自带有目标文件库。
- **助记符到代数语言的转换公用程序 (mnemonic-to-algebraic translator utility)** 转换汇编语言源文件。该程序接收含有助记符的指令，并将其转换为代数指令，产生一个含有代数指令的汇编语言源文件。
- **运行支持库公用程序 (runtime-support utility)** 建立用户的 C 语言运行支持库。标准运行支持库函数在 rts.src 里提供源代码，在 rts.lib 里提供目标代码。若使用 C 语言开发，应该在连接器工具调用是添加该库文件。
- **运行支持库 (runtime-support library)** 包含 ANSI 标准运行支持函数、编译器公用程序函数、浮点算术函数和被 C54x 编译器支持的 C 输入/输出函数。
- TI DSP 的调试器接收可执行的 COFF 文件作为输入，但大多可擦除存储器却不支持 COFF 文件。十六进制转化公用程序 (**hex conversion utility**) 将 COFF 目标文件转化为 TI-Tagged, ASCII-hex, Intel, Motorola-S, Tektronix 等目标格式，从而可以将转化文件装载在可擦除程序存储器里。同时该转换工具还可以自动生成 BOOTLOADER 程序所需要的引导信息。

- **绝对列表器 (absolute lister)** 接收已经连接的目标文件作为输入，并产生.abs 文件作为输出。汇编.abs 文件后产生含有绝对地址的列表。没有绝对列表器，要产生这样的列表就只能采用冗长的手工操作。
- **交叉引用列表 (Cross-Reference Lister)** 用目标文件来产生一个交叉引用列表，列出符号、符号的定义、以及它们在已连接的源文件中的引用。

## §2 系统集成与调试工具

TI 公司为 TMS320 系统的集成与调试所提供的工具包括：

- ◆ **软仿真器 (Simulator)** -----软件仿真器 ◆ **DSP 入门套件 (DSK, DSP Starter Kit)**
- ◆ **标准评估模块 (EVM)**
- ◆ **扩展开发系统 XDS (eXtended Development System)** ----硬件仿真器 XDS510
- ◆ **集成开发软件 CCS (Code Composer Studio)** 1. 软仿真器 (Simulator)

软仿真器是一个软件程序，使用主机的处理器和存储器来仿真 TMS320 DSP 的微处理器和微计算机模式，从而进行软件开发和非实时的程序验证。在 PC 机上，典型的软仿真速度是每秒几百条指令。

使用这种便宜的软仿真器，就可以在没有目标硬件的情况下作 DSP 软件的开发和调试。它使用由 TMS320 宏汇编器/连接器或 ANSI C 编译器所产生的目标代码。由 I/O 指令的端口地址所指定的输入和输出文件来仿真与处理器相连接的 I/O 器件。可以按用户定义的时间间隔，周期性地设置中断标志，仿真中断信号。在软仿真器中，可以设置断点及跟踪模式。程序执行一旦终止或暂停，就可以对内部寄存器、程序和数据存储器作检查和修改。也可以显示跟踪寄存器。整个仿真的记录可以做成一个文件，下次再作仿真的时候，运行该文件就可以恢复同样的机器状态。

以前的软仿真器软件与其它开发工具如代码生成工具是分离的，使用起来不是太方便。现在，软仿真器作为 CCS (Code Composer Studio, 一种集成开发环境) 的一个标准插件，已经被广泛应用于 DSP 的开发中。

## §2 DSK 系列评估工具以及标准评估模块 (EVM)

DSP 入门套件 (DSK, DSP Starter Kit)、评估模块 (EVM, Evaluation Module) 是 TI 或 TI 的第三方 (Third Party) 为 TMS320 DSP 的使用者设计和生产了一种评价 DSP 的平台，目前可以为 C2000、C3x、C5x、C5000、C6000 等片种提供。DSK 或 EVM 板除了提供一个完整的 DSP 硬件系统外 (包括 A/D & D/A、外部程序/数据存储器、外部接口等)，还提供有完整的代码生成工具以及调试工具。用户可以使用 DSK 或 EVM 板来作 DSP 的实验，进行诸如控制系统、语音处理等测试应用；也可以用来编写和运行实时源代码，并对其进行评估；还可以用来调试用户自己的系统。例如，TI 的 VC5402 DSK、C6701EVM 板、银杏科技的 DES 系列都属于这类开发工具。

## §3 硬仿真器 Emulators (XDS510)

TMS320 扩展开发系统 XDS (eXtended Development System) 是功能强大的全速仿真器，

用以系统级的集成与调试。每个 DSP 器件都提供了边界扫描仿真接口(JTAG),通过 XDS510 访问内部的器件寄存器和状态机,从而实现 DSP 状态的监控。即便 DSP 焊接到了目标系统中,这种非插入式的方法仍然可以工作。

XDS510/XDS510WS 仿真器是用户界面友好、以 PC 或 SUN 工作站为基础的开发系统,可以对 C2xx、C3x、C4x、C5x、C54x、C8x、C6x 等所有片种实施全速扫描式仿真。因此,是开发过程中不可缺少的工具。需要提醒的是 XDS510 是一个硬件平台,必须配合软件才能工作。目前 CCS 是一个非常好的软件开发工具。

使用硬仿真器时,用户通过一根电缆将 XDS510 控制器与目标系统相连,通过终端(PC 或工作站)软件(Emulators)监视或控制目标系统上 DSP 程序的执行情况。参见图 2。

由于 TI 的各种型号的 DSP 中都提供了标准的扫描逻辑电路,使用不同的 DSP 时不用更换 XDS510 仿真器,仅仅需要做相应的配置,如安装与 DSP 系列对应的调试软件,配置地址范围、内部或外部存储器资源以及片内存储器和外设及等待状态、访问权限等等。

TI 提供的一套 XDS510 仿真器包括:

- XDS510 仿真器 PC 板 (在 PC-AT 上工作, 占用一个 16-bit 插槽)
- IEEE1149.1 (JTAG) 或 MPSD 目标电缆 (除 C30、C31、C32 XDS510 使用 MPSD 电缆外, 其余各片种都使用 IEEE 1149.1 目标电缆)
- 各片种的调试软件。目前 CCS 已经集成了该调试软件。

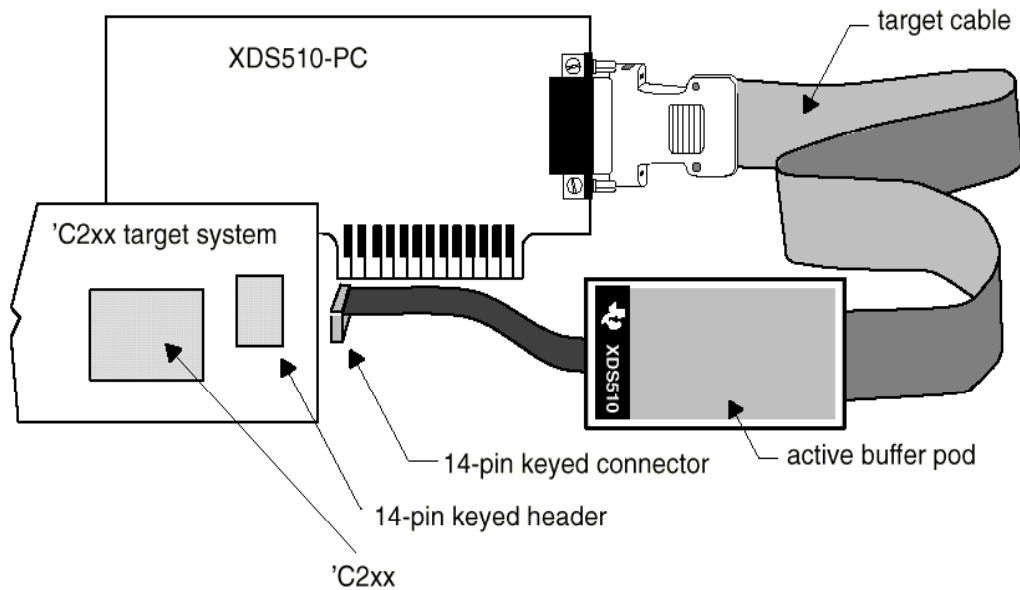


图 2 使用 XDS510 仿真器调试 'C2XX 系统

除 TI 自己提供 XDS510 仿真器外,还有很多的国内外厂家都提供类似产品,如 SpectrumDigital、合众达、闻亭等。他们都提供多种 PC 接口的仿真器,如特别适合于笔记本电脑使用的并行接口的仿真器 XDS510PP。银杏科技开发的 XDS510+EVM 二合一板 (DES5410PP-U) 就属于并口型仿真器。此外,还有 PCI、USB 接口的仿真器,以适应不同用户的要求。

#### §4 集成开发环境 (CCS)

CCS(Code Composer Studio)是一个完整的 DSP 集成开发环境,也是目前最优秀、最流行的 DSP 开发软件之一。CCS 最早是由 GO DSP 公司为 TI 的 ‘C6000 系列开发的,后来 TI 收购了 GO DSP,并将 CCS 扩展到其它系列。现在所有的 TI DSP 都可以使用该软件工具进行开发,只是只有 ‘C5000 和 ‘C6000 的 CCS 中才提供 DSP/BIOS 功能,而在 ‘C2000 和 ‘C3X 的中是没有 DSP/BIOS 功能的。所以有时也将用于 ‘C2000 和 ‘C3X 开发的集成开发环境称为 CC (Code Composer),以示区别。CCS 支持软仿真器、各种型号硬仿真器、各种 DSK 和 EVM 板,你只需要向相应的生产厂家索取驱动程序,然后在 CCS 安装便可以使用了。

## 1. CCS 包含哪些功能?

- ◆ 集成可视化代码编辑界面,可直接编写C,汇编、.H文件、.cmd文件等。
- ◆ 集成代码生成工具,包括汇编器、优化C编译器、连接器等等。
- ◆ 基本调试工具,如装入执行代码(.OUT文件),查看寄存器窗口,存储器窗口,反汇编窗口,变量窗口等,支持C源代码级调试。
- ◆ 支持多DSP调试
- ◆ 断点工具,包括硬件断点、数据空间读/写断点,条件断点(使用GEL编写表达式)等等。
- ◆ 探针工具(probe points),可用于算法仿真,数据监视等。
- ◆ 剖析工具(profile points),可用于评估代码执行的时钟数。
- ◆ 数据的图形显示工具,可绘制时域/频域波形,眼图,星座图,图象等,并可自动刷新(使用Animate命令运行)。
- ◆ 提供GEL工具,令用户可以编写自己的控制面板/菜单,从而方便直观地修改变量,配置参数等。
- ◆ 支持RTDX(Real Time Data eXchange)技术,利用该技术可在不中断目标系统运行的情况下,实现DSP与其他应用程序(OLE)实现数据交换。
- ◆ 开放式的plug-ins技术,支持其它第三方的ActiveX插件,支持各种仿真器包括软仿真(只需安装相应的驱动程序)。
- ◆ 提供DSP/BIOS工具,利用该工具可增强对代码的实时分析能力,如分析代码执行的效率,调度程序执行的优先级,方便管理或使用系统资源(代码/数据占用空间,中断服务程序的调用,定时器使用等等),从而减小开发人员对硬件资源熟悉程度的依赖性。

## 2. DSP/BIOS的功能

DSP/BIOS 是 CCS 提供的一套工具,它本身仅占用极少的 CPU 资源。DSP/BIOS 提供底层的应用函数接口,可用于支持系统实时分析、使用线程来管理程序、管理硬件中断、调度软件中断,周期函数, idle 函数。若使用 DSP/BIOS 编写代码后,CCS 可以提供多种分析和评估代码工具,如图形化显示各个线程占用的 CPU 时间,代码执行时间统计,显示输出信息等。这时,你可以方便直观地了解代码各个部分的开销情况。当然,你也可以不使用 DSP/BIOS 工具,而使用传统的汇编和 C 编写 DSP 应用程序。但当你熟悉了 DSP/BIOS 后,你会发现它是一个十分有效的开发工具。事实上,CCS 中的 DSP/BIOS 工具已经具有实时操作系统的很多功能特点,如任务的调度管理、任务间的同步和通讯、内存管理、实时时钟管理、中断服务管理等等。需要强调的是只有 ‘C5000 和 ‘C6000 的 CCS 才带有 DSP/BIOS。

## §5 实时操作系统(Real Time Operation System, RTOS)

对操作系统的需要与否取决于任务的复杂程度和对系统性能的要求。对于简单的 DSP 任务,用本章前面个章节的开发工具已经能满足任务的需要,往往不需要操作系统就可以进行。但当 DSP 的任务增加和任务的复杂性提高,例如对实时性要求很高的多 DSP 并行操作的多任务系统,可能就需要某种操作系统来管理系统的资源,调度、安排任务的执行以及任务间的信息交换、通讯、同步。

实时操作系统的功能主要包括以下几个方面:任务管理、任务间的同步和通讯、内存管理、实时时钟服务和中断服务器管理。RTOS 追求的是调度的实时性、相应时间的可确定性、系统的高度可靠性。评价一个实时操作系统一般可以从任务调度、内存管理、任务通讯、内存开销、任务切换时间、最大中断禁止时间等几个方面来衡量。下面简单介绍几种支持 TI DSP 的商用 RTOS:

### 1) . OSE 实时操作系统

OSE 主要是由 ENEA Data AB 下属的 ENEA OSE Systems AB 负责开发和技术服务的,一直以来都充当着实时操作系统以及分布式和容错性应用的先锋。公司网址:<http://www.enea.com>。该公司开发的 OSE™支持容错,适用于可从硬件和软件错误中恢复的应用,它的独特的消息传输方式使它方便地支持多处理机之间的通信。它的客户深入到电信,数据,工控,航空等领域,尤其在电信方面,该公司已经有了十年的开发经验, ENEA Data AB 现在已经成为日趋成熟,功能强大,经营灵活的 RTOS 供应商,也同诸如爱立信,诺基亚,西门子等知名公司确定了良好的关系。

### 2) . NUCLEUS 实时多任务操作系统

美国著名 RTOS 厂商 ATI 公司 (Accelerated Technology Incorporated, 网站 <http://www.atinucleus.com>) 推出的 NUCLEUS+ 实时多任务操作系统以其微内核技术,源代码提供及广泛的 CPU 支持种类和易学易用等特点得到了国内众多用户的认可。目前, NUCLEUS+ 实时多任务操作系统在国内的通讯,医疗,控制及数据处理等领域得到了大量的应用。此外,针对各种嵌入式应用, NUCLEUS+ 还提供相应的网络协议(如 TCP/IP, SNMP 等),以满足用户对通讯系统的开发要求。另外,可重入的文件系统、可重入的 C 函数库以及图形化界面等也给开发者提供了方便。值得提出的是 ATI 公司最近还发表了基于 Microsoft Developers Studio 的嵌入式集成开发环境—POWERplant EDE。从而率先将嵌入式开发工具与 Microsoft 的强大开发环境结合起来,提供给工程师们强大的开发手段。

### 3) . Precise/MQX™ 实时操作系统

Precise(Precise Software Technologies)是一家为小型设备,特别是那些有限资源的嵌入式系统,提供软件开发平台的公司。公司网站 <http://www.psti.com>。这个开发平台包括操作系统组件和开发工具。Precise 在开发便携式嵌入式协议方面一直处于领先地位,它开发的嵌入式因特网协议支持各种结构的 CPU,如 CISC, RISC 和 DSP。目前,该公司的 RTOS 被广泛应用在数字电话、PBXs、XDSL、cable modems、机顶盒、PDA 等领域。

Precise 软件技术公司成立于 1989 年,并于 1991 推出了一个高品质的用户可配置的便携式嵌入操作系统—Precise/MQX™ RTOS。这些年来, Precise 一直致力于通讯协议的开发,并将大量的嵌入式通讯和网络协议集成到 Precise/MQX™ 中。这对于开发嵌入式网络通讯产品的用户是一个好的选择。

Precise 的 RTOS 是免版税 (royalty-free) 的, 并提供完整的源代码。Precise 支持许多的 CPU, 其中包括 TI 的 TMS320C6000 系列、TMS320C5000 系列、TMS320C4X、TMS320C3X。

#### 4). C EXECUTIVE 和 PSX 实时操作系统

JMI 软件系统有限公司 ( 公司网站<http://www.jmi.com>) 开发的 C EXECUTIVE 是一个专为嵌入式系统设计的多任务、可 ROM 化的实时操作系统。它广泛支持 8 位、16 位和 32 位的 CISC、RISC 以及 DSP, 如 TI 的 TMS320C3X 和 TMS320C6000 系列。它具有快速文本切换、内核占用内存小的特性, 并包括 DOS 兼容的文件系统、TCP/IP 和 SNMP 等选件。PSX 是一个提供兼容 POSIX.1 的系统调用的选件。目前, 在德国有一半以上的电子收银机都采用了 C EXECUTIVE 操作系统。另外, 在激光打印机、通讯和气象卫星、军事和 FAA 雷达系统都大量采用了 C EXECUTIVE。