

第 3 章 XDS560 硬件仿真器简介

由于处理器速度的提高和系统级别的集成,硬件的复杂度越来越高,从而使得调试也变得越来越难。开发者需要实时地观察他们所构造系统的运行情况,但是现在高级芯片的自封闭程度日益提高,导致访问硬件内部状态的途径减少,硬件逻辑状态和存储器内容的可视化也变得越来越差。传统的技术(如 ICE)只能部分地解决问题,因为具有集成 ICE 结构的硬件版本造价昂贵,而且不是最终产品。另外,它在高速处理器中不能实现。

TI 公司研制的 The Code Composer Studio™ XDS560™ 硬件仿真器提供了一个在 TI 数字信号处理器(DSP)和基于 DSP 的产品上实现实时可视化的办法。对于速率达到 2MB/s (以前 DSP 硬件仿真器带宽的 100 倍)的实时数据交换(RTDX)数据链接这样的片上操作,XDS560 能实现可视化。为了减少调试开始前的等待时间,XDS560 支持高达 0.5MB/s 的程序代码下载速率。同时,XDS560 还支持高级事件触发,即在不中断系统工作的条件下实时实现对复杂事件队列的定义和评估,以获得更高的实时控制能力。功能强大的用户界面使得在所有处理器上设定各种各样复杂的条件变得简单、规则。此外,XDS560 与 TI 之前的 XDS510™ 硬件仿真器是完全兼容的,从而使开发者在采用这项新技术时仍然可以有效使用已有的软硬件。

3.1 实时硬件仿真面临的挑战

由于许多系统开发工具把硬件仿真器当成联系主机开发平台与目标系统的桥梁,这使得硬件仿真技术对于研发嵌入式应用程序来说尤为重要。在系统研发周期的后阶段,研发人员需要频繁地使用硬件仿真来观测(或检测)系统的执行、调试和资源配置情况。

硬件仿真是为了达到以下目的:

- 通过调试不稳定的运行情况使应用程序正常工作;
- 通过解决实时条件下硬件和软件的问题使应用程序实时工作;
- 调整性能以满足系统要求;
- 利用现有的系统配置诊断一些问题。

硬件仿真的应用在程序开发过程中具有重要意义,这意味着硬件仿真技术的进步可以直接提高研发效率,并且最终促进所开发产品的市场化。

从开发者的立场来说,现阶段工业发展有一些积极的趋势。不幸的是,这些趋势都有同样的负面影响:在系统运行时,它们会限制开发者观察某个程序的具体运作。因此,这些趋

势成为发展下一代硬件仿真技术的新挑战。首先,处理器的速度继续变快,采用更快的内核和总线时钟频率,不断突破逻辑分析器和 ICE 技术的限制。其次,片上特征比以往任何时候都要丰富,这预示着只能通过处理器总线访问系统内部,因此,传统的访问芯片内部的方法越来越少。片上系统(SOC)的解决方法要求在其芯片上组合越来越多的 ASIC 配置;以前,很多性能都是片外的,易于监测,但是现在都是片上的,使其对逻辑分析器而言变得不可见。同时,芯片集成了更大的片上存储器,如高速缓存器,这些存储器对于逻辑分析器来说也都是不透明的。最后,为了获得更高的处理能力,利用最适合当下任务的处理器组合,许多高级系统都采用异类多处理器模式。在同一块芯片上集成了 TMS320C55x DSP 和 ARM RISC 内核的 TI 的 OMAP 无线平台便印证了这一趋势。对于这种异类多处理器系统而言,对其内部的实时访问会导致其他可视化问题随着处理器数目的增加而更加恶化。

3.2 传统硬件仿真技术的问题

过去,大部分调试都这样进行:在某一断点上停止处理器的工作,检测寄存器和存储器的状态,判断系统是否工作正常;然后系统又在另外的断点上停止工作,检测状态,如此重复,直至找出问题所在。这种“停止模式”的调试过程不但冗长耗时,而且还造成了实时系统工作的间断。这样,实时系统变得名不副实,而调试过程也不能如实地反映实际应用情况。

上述在观测实时系统运作时遇到的问题意味着可视化在日渐消失。由于处理速度、集成程度的不断提高,片上高速缓存器容量的不断变大,以及异类多处理器的应用,系统开发人员不能再实时地观测应用系统运行时其内部的具体行为。另外,无论片上还是片外,系统 I/O 的运行速率都只有处理器运行速率的 1/3,导致各芯片内部的信息变得更加不可见,这使问题变得更糟。在这种形势下,开发人员失去了用传统硬件仿真技术调试实时嵌入式应用程序的能力。

3.3 XDS560 硬件仿真器增强了设计的可视化

TI 的 XDS560 硬件仿真器为开发者提供了他们所需的下一代产品实时系统操作的可视化,并且它支持所有 TI 向大家推荐的数字信号处理器(DSP),如 TMS320C5000™, TMS320C6000™, TMS320C2000™, TMS470™(ARM)和 OMAP™平台。

XDS560 硬件仿真器的主要特点有:

- 高速实时数据交换(RTDX)——XDS560 支持的最大速率为 2MB/s,这是此前硬件仿真器(如 TI 的早期产品 XDS510)带宽的 100 倍。RTDX 具有在对目标处理器内核运行间断最少的前提下进行双向数据传输的能力,它对目标系统数据事件的实时

可视化有着重要的影响。由于带宽的增加,高速 RTDX 不仅在多通道或多处理模式的窄带应用范围实现了可视化,而且在一个全新的宽带应用范围内(如视频)也能实现。

- 更快的代码下载速率——XDS560 硬件仿真器的代码下载速率达到 0.5MB/s,这比 XDS510 快了 8 倍。由于代码需要不断重复地检验纠错,而各种应用系统都日渐庞大、复杂,嵌入式代码的下载时间越来越长。更快的代码下载速率节约了时间,使开发者集中精力完成任务,从而促进效率的提高。
- 高级事件触发——利用高级事件触发,开发者可以在控制断点停止内核运行之前,完成对复杂事件队列的定义;使硬件仿真器的某一管脚跳变为高或低电平以响应外设,等等。它使得开发者可以更快地分析和修正可能出现的各种软件错误,加速开发产品的市场化,减少已发布产品与其他外设的匹配问题。
- 与 XDS510 的兼容性——XDS560 与 TI 现有的 XDS510 是完全兼容的。使用 XDS510 的开发者只要通过极小的改变就可以同样使用 XDS560——继续使用原来的配置有 14 管脚 JTAG 连接器的目标板。总的来说,XDS560 其实是 XDS510 的性能增强版,它具有开发者所期待的 XDS510 的所有功能。此外,XDS510 的很多性能,如代码下载和标准 RTDX,在 XDS560 下除了运行更快以外,没有其他任何改变。

3.4 XDS560 硬件仿真器的体系结构

图 3-1 展示的是一个完整的硬件仿真体系的结构组成,包括 XDS560 硬件仿真器、目标硬件和主机软件等组成部分。



图 3-1 XDS560 硬件仿真体系的结构组成

XDS560 硬件仿真体系结构的第一部分是目标芯片中的硬件仿真成分。更高的时钟频率使片上硬件仿真逻辑成为必要,这样它能与处理器的工作频率保持一致。此外,高水平的集成技术把总线集成到芯片内部,而不是连接到外部管脚,这种方法同样促使硬件仿真逻辑在片上运行,使得访问系统总线的途径变多。而处理器本身集成了对 JTAG 运行控制、高速

RTDX、高级事件触发等性能的支持。

XDS560 硬件仿真体系结构的第二部分是 XDS 硬件仿真器本身,包括:

- 基于 PCI 总线的硬件仿真卡;
- 一条长度大于 1.5m 的高柔韧度连接线;
- 信用卡大小的连接线接口,比 XDS510 的小了 8 倍,重量很轻;
- 一个与连接器连通的 JTAG,14 个管脚,电压范围为 0.5~5V。

目标板通过 XDS560 卡以及连接线与主机操作平台相连。带有小而轻接口的连接线,具有足够的长度和柔韧性,即使是在对空间要求很大、目标板与主机距离较远的情况下,开发者仍可以自由地使用 XDS560。

第三部分是调试和硬件仿真软件,Code Composer Studio™ v2,提供集成开发环境(IDE)。这种自设定软件采用先进的用户界面,使调试 SOC 设备变得尽可能简单。同时,它可以加载插入式应用程序,以显示和控制 XDS560 获取的目标硬件上的仿真数据。

值得注意的是,从这种体系结构我们应该看到,硬件仿真的许多新的性能并不是一个新的硬件仿真器单独作用的结果,事实上,它是处理器芯片先进的仿真特性、主机开发软件提供的显示与控制界面和硬件仿真器本身共同作用的结果。从这个意义上来说,XDS560 不仅仅是一种简单的新产品,它还代表了 JTAG 硬件仿真技术的全新概念。

图 3-2 展示的是 XDS560 硬件仿真体系的运行流程。图底部表示的是硬件级,主机上的硬件仿真器使用嵌入式的仿真设备通过 JTAG 端口与目标 DSP 相连,最终完成相互之间的通信。硬件级的上面,调试软件 Code Composer Studio 通过 JTAG 端口连接到 DSP/BIOS,操作构成 DSP 软件框架的系统、驱动和算法,然后进一步监测其应用状况。

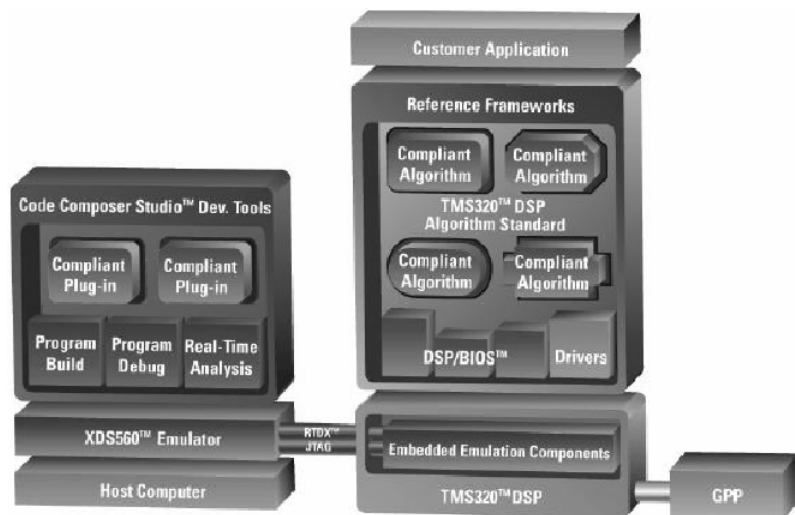


图 3-2 XDS560 硬件仿真体系结构与操作流程

图 3-3 阐述的是图 3-2 中各仿真模块的功能。图的左下方是 XDS560 块,包括板上 DSP 与存储器、连接主机的 PCI 总线界面、扫描控制界面、JTAG 传输线和连接器上的高速 RTDX 管脚。图的左上方是调试软件,包括各种内置或嵌入的性能和目标 DSP 的驱动。右

下方是 DSP 硬件仿真的组成成分,包括 JTAG 和 RTDX 界面。最后,图的右上方描述的是在应用程序接受实时测试时用来监测硬件结构和事件的各种特征。

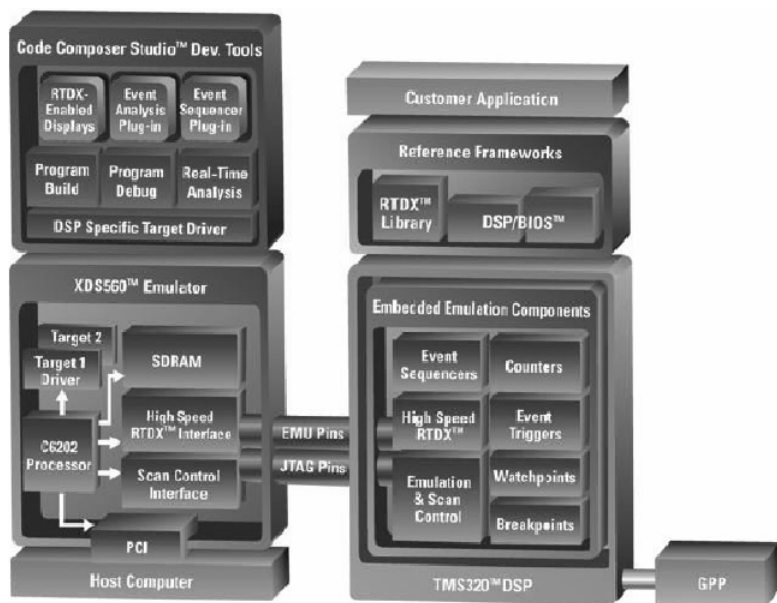


图 3-3 XDS560 硬件仿真体系结构与功能模块

3.5 RTDX 中的实时数据可视化

RTDX 可以实现目标系统与主机间的实时异步数据交换。它允许用户在系统应用过程的某一特定时刻插入数据,并且在系统实时运行的时候观察该数据的变化情况。由于 RTDX 是双向传输的,因此它同样允许输入仿真数据到目标系统。

早在 1998 年,TI 就研发出了 RTDX 技术,并且能在 XDS510 系列硬件仿真器中运行。这种 RTDX 被称作是标准 RTDX。XDS560 同样支持标准 RTDX,并且突破了在 XDS510 上的一些限制,使性能得到改善。而如果 XDS560 与一个支持高速 RTDX 的处理器一起工作,那么它自己也能运行高速 RTDX。所以,RTDX 的性能有三种可能的级别,但是它们的特点和性能都是相同的。

通过满足工业标准的 Microsoft Component Object Module (COM™) 界面,Code Composer Studio IDE 可以获得多元的 RTDX 数据。正是这一重要特点使得任何支持 ActiveX 的应用软件都可以获得 RTDX 数据,包括普通的桌面数据可视化软件,如 Microsoft Excel™,或者信号分析处理软件,如 The Math Works 研发的 MATLAB™ 和 National Instruments 的 LabVIEW™ 等。

对于开发者来说,一个很重要的任务是检查一些基本的 DSP 算法或滤波器是否工作正

常。要完成这一任务,一种思路是将它们的运行结果和与之相同且已知能正常工作的算法或滤波器的运行结果作比较,而这些可作为参考的基本 DSP 算法或滤波器可以在诸如 MATLAB 之类的信号处理分析包中找到。例如,开发者可以让某个信号通过目标 DSP 的 FIR 滤波器,滤波以后的信号可以通过 RTDX 实时地传到主机,然后再用第三方提供的信号分析包进行功率谱分析;同样的信号可以在主机上用信号分析包提供的参考 FIR 滤波器进行滤波,再用功率谱分析,得到参考结果;最后,就可以比较这两种结果了。这种思路为 DSP 开发者检验他们设计的 DSP 算法是否正确提供了一种简单而直观的途径。相对于以前用人工进行成千上万的数据比较来说,这使开发效率前进了一大步,而这正是上述的两种不同操作方式的结果。

在上述思路中,信号分析包利用支持 Microsoft COM 的界面去收集目标 DSP 的信号,然后进行信号处理的计算以及图表和显示模式的构建。而 DSP 的程序员已经用一个第三方提供的信号分析包成功地将 TI 的 DSP 与 RTDX 技术组合在一起,并以此创造出一个功能强大的实时分析工具。图 3-4 展示的是一个信号通过目标 FIR 滤波器后,再用 MATLAB 进行功率谱分析的例子。

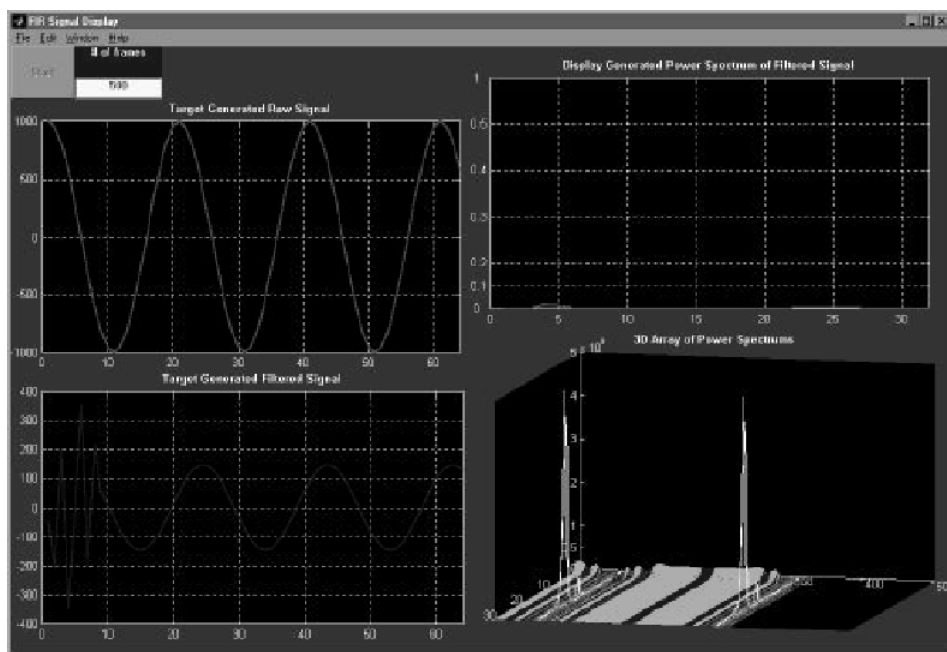


图 3-4 用 MATLAB 进行功率谱分析

在这里我们提一下 FIR 数字滤波器,它是图 3-4 中信号处理过程的理论背景,由于它的有限冲击响应特性,故名 FIR(finite impulse response),同时,由于它的输出可以写成有限卷积的形式,它也被叫做非递归滤波器、卷积滤波器或者滑动平均(MA)滤波器。另外功率谱计算的是周期信号谐波分量的能量分布。

为了实现标准 RTDX,DSP/BIOS 添加了一个长度小于 2MB(高速 RTDX 长度是 4MB)的监测码,对 RTDX 发出请求后,主机可以通过 JTAG 连接线得到该监测码。在主机端,这

些数据可以被处理成连续或者截断的模式。

由于 Code Composer Studio v2 的高性能,还可以在异类多目标处理器上同时运行 RTDX。这一特点也开创了一些新的调试技术,例如,用 RTDX 使多片上处理器通过调适器完成彼此之间的通信,将 RTDX 带宽的空闲部分分给各个 RTDX 通道,以此实现对不同处理器的监测。

3.6 高速 RTDX

为了增加 RTDX 的带宽,XDS560 硬件仿真技术利用了两个标准 TI JTAG 连接器上的非 JTAG 管脚。这两个管脚可以支持互斥功能,如基准限定和多处理器控制,包括现在 XDS560 的高速 RTDX。而高速 RTDX 操作只需要一个管脚,所以用户可以根据需要自由地分配剩下的那个管脚。

在 XDS510 上,RTDX 的带宽是 10~20kB/s,可以胜任一些窄带的应用,如 CD,简单的视频会议,音频电话等等。XDS560 支持高速 RTDX 仿真,速率能够达到 2MB/s,对于 ADSL、硬盘驱动、H. 261 视频会议甚至视频流服务器等应用,都可实现实时可视化。

TI 的一些高性能 DSP,如 TMS320C55x™、TMS320C621x、TMS320C671x 和 TMS320C64x™ 系列,都支持高速 RTDX。在这些平台上,采用 XDS560 可以将 RTDX 的带宽提高到 2MB/s;即便是在那些不支持高速 RTDX 而只支持标准 RTDX 的 DSP 上,采用 XDS560 也可以使其带宽提高 3 倍,并且可以在更大范围内实现可视化,而加深对实时系统运行的理解。

3.7 高级事件触发

高级事件触发是硬件仿真一项新的关键性能,由 DSP 本身和调试器上先进的用户界面共同实现,它提供了探测目标处理器事件组成并做出相应反应的能力。利用它,开发者可以:

- 设置硬件断点和观察点;
- 对各种事件进行计数;
- 精确地探测调试队列。

为了完成这些操作,处理器内含的仿真资源被用来探测总线、对事件进行计数和排列。因为这些资源都是直接源于目标处理器,所以无论在存储器还是处理周期上,都不会带来额外的开销,而基于高级事件触发的所有新的性能也就可以称为真正意义上的实时和非间断。

调试软件 Code Composer Studio 提供了一系列窗口,使得对高级事件触发的应用得以

简化。如图 3-5 所示的源代码窗口,开发者可以在其中选择使用各种常用的调试操作,只要点击某一行代码,就可以选择硬件断点、观察点或计数器。

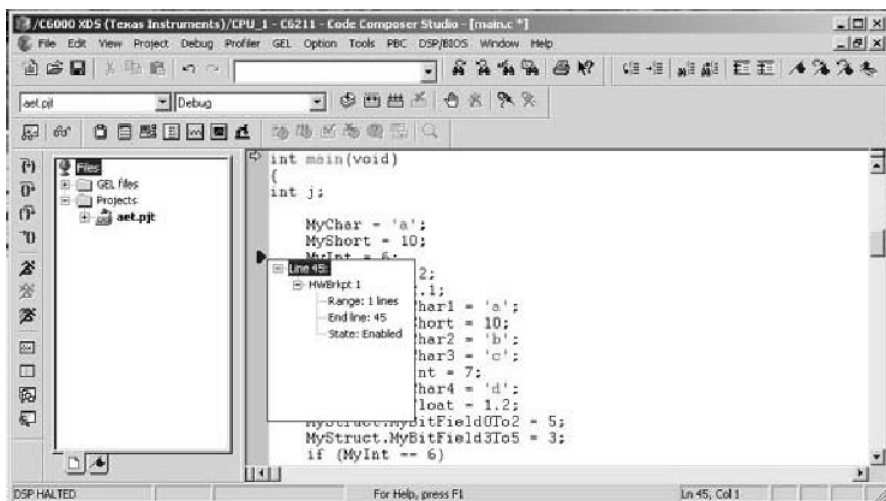


图 3-5 源代码窗口

图 3-6 描述的是事件分析窗口,从中我们可以简单明了地看到片上仿真资源的利用情况。开发者可以有选择地中断部分或者全部的调试工作(如中断硬件断点或者数据观察点),保存它们以备后用。中断一些调试工作可以释放所占用的片上资源以作他用,而这些停止的调试工作可以稍后再被启用。高级事件触发可以告诉开发者仿真资源是否足以执行发出请求的操作,也可以显示出那些能够暂时停止以便释放资源的操作。此外,它还支持链式断点——这些链式断点要求队列中的两个或更多事件(条件)得以满足。

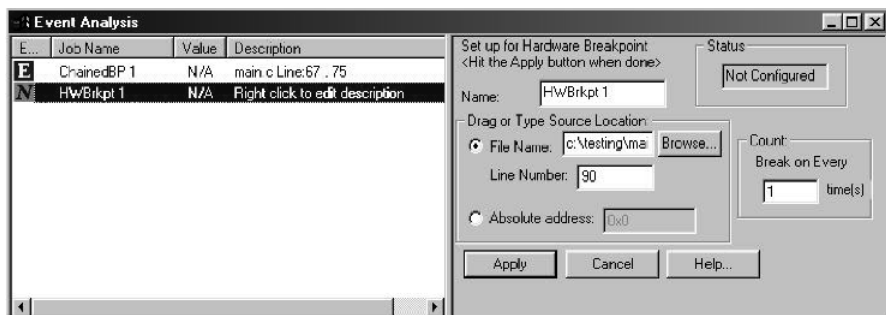


图 3-6 事件分析窗口

高级事件触发可以测试运行周期数、分支数、传输延时(对存储器设计有重要意义)、高速缓存的“击中或错过”次数(对检测代码失效和决定所需的最少高速缓存很有好处)、DMA 及其他中断等事件,以此帮助开发者分析系统运行性能和折中考虑系统资源配置。Code Composer Studio 的配置功能可以执行这些操作,这可以帮助实时系统开发者满足系统在资源消耗、时序和规模方面的要求。

3.8 事件队列

事件队列是处理复杂调试情况的一个强有力的工具,它常常可以大幅度减少寻找造成实时间断的漏洞的时间。虽然执行的时候,它类似于 Code Composer Studio 的一个插件程序,但是实际上它却已成为该系统的一个标准部分。在不对应用程序的执行产生任何中断的前提下,开发者可以利用事件队列对他们定义的条件进行长时间的监控;在所有的条件都为真的时候,事件队列可以做出相应的响应。

利用事件队列,开发者可以把事件和逻辑操作组合起来,用大家所熟悉的“是”与“否”状态来表示,再将其组成队列。这一系列的逻辑操作都是片上仿真硬件采用实时非中断的方式完成的。在所有的条件都满足的时候,应用程序做出一个相应的响应,如中断处理器工作,使管脚输出高或低电平等等。因此,开发者可以根据观察到的最终响应来判断系统的工作状态是否正常,以避免系统的崩溃。

图 3-7 展示的是事件队列在实际中的应用。通过简单的拖放调试器源代码窗口中的变量和代码行,我们就可以编出不同的调试程序。这些由“IF-THEN-ELSE”语句和布尔逻辑条件组成的调试程序结构简单、功能完善,它们可以在系统运行的时候实时地监测系统的各种行为。

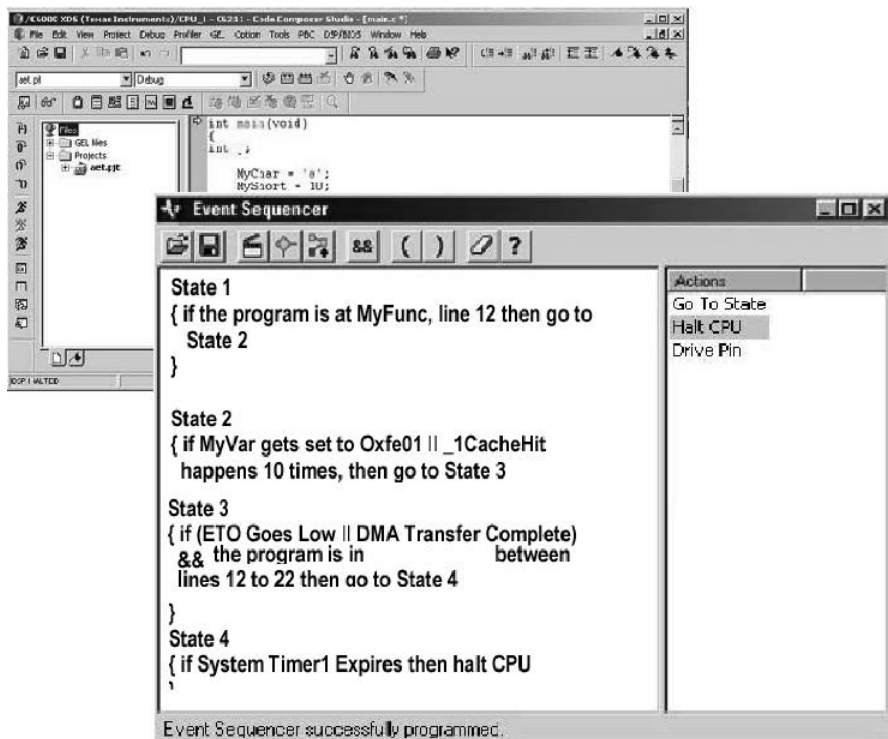


图 3-7 事件队列窗口及其代码

利用事件队列可以很精确地找出那些间歇发生、能影响系统实时性的漏洞。若非如此,我们不可能看到错误发生时系统的状态,也可能永远无法找出问题的所在。

3.9 XDS560 的兼容性

XDS560 与现有的 XDS510 是完全兼容的,只要通过一些极小的改变,开发者就可以在新的硬件仿真器上继续使用原有旧的系统。从开发者的使用角度来说,XDS560 继承了所有 XDS510 的功能,并有所增强。与 XDS510 一样,XDS560 与目标板相连的是 14 管脚的连接;所以,配有 JTAG 连接器的目标板可以方便地在 XDS560 上直接使用。我们对它们的性能做个简单的比较: XDS510 是基于 ISA 总线的,RTDX 的带宽范围是 10~20kB/s; XDS560 支持速率更快的标准 RTDX(对于支持高速 RTDX 的芯片速率可达 2MB/s),支持高级事件触发,代码下载速率达到 0.5MB/s,并且支持即插即用的 PCI 总线界面。

XDS560 支持所有具有基本硬件仿真性能和 RTDX 的 DSP 系列产品,同时包括新推出的具有高速 RTDX 和高级事件触发性能的处理器。开发者可以继续使用 XDS510 系列的硬件仿真器去仿真和调试原有的处理器或者新推出的处理器,由于现在仍有大量的用户使用旧的硬件仿真器,TI 决定继续支持 XDS510 系列技术,以便使开发者可以继续使用 XDS510 或者其他与此类似的产品。当然,功能强大的 XDS560,尤其是它具有的高速 RTDX 性能,对于正在设计某个系统的开发人员来说是个更好的选择。

3.10 XDS560 合作伙伴的扩展

TI 的合作商网络是 eXpressDSP™ Real-Time Software 和 Development Tools 不可或缺的一部分。此前,很多公司与 TI 一起合作,生产与 XDS510 兼容的硬件仿真器。现在,这些公司连同一些新加入合作的公司正在一起研发与 XDS560 兼容的硬件仿真器,这些仿真器增加了 USB 口、以太网卡等通信接口。合作开发 XDS560 类型硬件仿真器的公司有:

- Signum Systems
- EWA/Blackhawk
- Sundance Multiprocessor
- Wintech
- DSP Research
- MicroLAB Systems
- Innovative Integration

各公司的产品及通信接口情况如表 3-1 所示。

表 3-1 各公司的产品及通信接口

公 司	产 品	通信接口
Signum Systems	JDSnet-560	以太网卡
EWA/Blackhawk	USB560	USB
Kane Computing	Predator-II	以太网卡
Wintech	TDS560LAN	以太网卡
	TDS560PCI	PCI
DSP Research	FleXDS 560+	PCI

由于 TI 的合作商还在继续开发新产品,最新 XDS560 系列硬件仿真器的详细资料可以参阅 TI DSP Village Third-Party Catalog (<http://www.dspvillage.com/emulator7>)。

3.11 下一代实时硬件仿真

新的 XDS560 硬件仿真器利用高速 RTDX 实现实时可视化,视频数据的速率达到了 2MB/s(这是之前硬件仿真器的 100 倍),加速了开发者所开发产品的市场化;而高达 0.5MB/s 的代码下载速率使开发者可以更有效地利用时间;同时,高级事件触发技术提供新的事件队列探测、性能分析和断点设置,它们访问起来更直接,还可以有力地组合起来使用。此外,XDS560 与 XDS510 的兼容性节约了开发者对软件和实验板的投资,使得向新调试技术的过渡变得直接易行。

今天,由于更高的时钟频率、更大规模的片上功能、存储器的屏蔽性和异类多处理器技术,传统的硬件仿真技术面临可视化日益减弱的问题,而 XDS560 解决了这一问题,为下一代系统开发者带来了实时硬件仿真的可视化。