
dSPACE

*** 基于 Matlab/Simulink 平台***

实 时 快 速 原 型 及 硬 件 在 回 路 仿 真
的 一 体 化 解 决 途 径

恒润科技有限公司

2004 年 6 月

目 录

1	概述	1
2	dSPACE—实时快速原型及硬件在回路仿真的一体化解决途径	1
2.1	RCP (Rapid Control Prototyping) —快速控制原型	1
2.2	HILS (Hardware-in-the-Loop Simulation) —硬件在回路仿真	1
2.3	用 dSPACE 进行控制系统开发	1
2.4	建立用户 dSPACE 系统	1
3	dSPACE 体系结构	1
3.1	dSPACE 软件	1
3.1.1	代码生成及下载软件 (Implementation Software)	1
3.1.1.1	代码的生成过程	1
3.1.1.2	MATLAB/Simulink-现代控制设计平台	1
3.1.1.3	RTI(Real-Time Interface)-从方框图自动生成代码并下载	1
3.1.1.4	PPC 编译器	1
3.1.2	实验软件 (Experiment Software)	1
3.1.2.1	ControlDesk 综合实验环境	1
3.1.2.2	MLIB 和 MTRACE—实现自动试验及参数调整	1
3.1.2.3	MotionDesk—实时动画	1
3.1.2.4	CLIB--PC 与实时处理器通讯	1
3.1.2.5	AutoMationDesk-自动化测试工具	1
3.1.3	TargetLink-产品级代码的生成	1
3.2	dSPACE 硬件	1
3.2.1	智能化的单板系统	1
3.2.1.1	DS1103 PPC 控制器板	1
3.2.1.2	DS1104 PPC 控制器板	1
3.2.2	标准组件系统	1
3.2.2.1	处理器板 (Processor Boards)	1
3.2.2.1.1	处理器板概述 (总线和中断)	1
3.2.2.1.2	DS1005 PPC 板-处理器 POWER PC750FX, 800MHz	1
3.2.2.1.3	DS1006 PPC 板-处理器 X86 处理器, 2.2GHz	1
3.2.2.2	I/O 板	1
3.2.2.2.1	简单 A/D 和 D/A 转换	1
3.2.2.2.2	Multi-I/O	1

3.2.2.2.3	增量编码器接口	1
3.2.2.2.4	定时及数字 I/O	1
3.2.2.2.5	复杂模拟信号及阻型传感器	1
3.2.2.2.6	其它 I/O	1
3.2.2.2.7	DS2211 HIL I/O 板	1
3.2.2.3	附件 (Accessories)	1
3.2.2.3.1	大系统扩展盒 PX10/PX20	1
3.2.2.3.2	接插键指示灯面板	1
3.2.2.3.3	DS830 连接缓冲器板-连接远距离系统	1
3.2.3	汽车内置系统	1
3.2.3.1	AutoBox-汽车内置试验扩展箱	1
3.2.3.2	MicroAutoBox-车辆快速测试控制原型系统的最佳选择	1
4	应用实例	1
4.1	机器人新型控制原理测试--用 μ -综合与分析法控制机械手	1
4.2	驱动方面的应用-验证 ASIC 控制器原理	1
4.3	机械工程方面的应用—Achenbach Buschhüten 平面度控制	1
4.4	航空航天方面的应用—Simona 开发飞行仿真器	1
4.5	汽车的硬件在回路仿真—ABS 控制器测试试验台	1
4.6	电力电子方面的应用-机车驱动系统硬件在回路仿真	1
4.7	ECU 开发应用-菲亚特公司开发 ERG 控制器	1
4.8	DaimlerChrysler 开发主动悬架	1
4.9	Delphi 利用 Targetlink 进行电控产品开发	1
4.10	Audi 公司动力传动系统 HIL 仿真测试	1
4.11	DS2302、DS4002 的应用实例	1
附录 1—I/O 板技术特性		1
附录 2—dSPACE 对计算机软件及硬件的要求		1

1 概述

在当今社会，市场对产品的需求呈现多样性、快速性的趋势，这就使企业的新品开发面临着多样性需求与快速开发之间的矛盾；对控制系统鲁棒性及可靠性的要求也日益增加；并行工程（即：设计、实现、测试和生产准备同时进行）被提上了日程。dSPACE 为并行工程的实现创造了一个良好的环境。

对于进行控制算法研究的工程师而言，最头疼的莫过于没有一个方便而又快捷的途径，可以将他们用控制系统设计软件（如 MATLAB/Simulink）开发的控制算法在一个实时的硬件平台上实现，以便观察与实际的控制对象相连时，控制算法的性能；而且，如果控制算法不理想，还可以很快地进行反复设计，反复试验直到找到理想的控制方案。

对一些大型的科研应用项目，如果完全遵循过去的开发过程，由于开发过程中存在着需求的更改，软件代码甚至代码运行硬件环境的不可靠性（如：新设计制造的控制单元存在缺陷），最终导致项目周期长、费用高，缺乏必要的可靠性，甚至还可能导致项目以失败告终。这就要求在开发的初期阶段就引入各种试验手段，并有可靠性高的实时软/硬件环境做支持。

另外，当产品型控制器生产出来后，测试工程师又将面临一个严重的问题。由于并行工程的需求，控制对象可能还处于研制阶段，或者控制对象很难得到，用什么方法才能在早期独立地完成对控制器的测试呢？

我们将这些问题概括为两种：快速控制原型（RCP）和硬件在回路仿真（HILS）。dSPACE 提供了这两方面应用的统一平台。

dSPACE 是德国的一家国际性高科技公司，成立于 1988 年。

公司除在德国 Paderborn 设有总部以外，在美国的麻省还设有分部。

目前，公司的主要产品方向：为控制工程项目的开发和测试提供软/硬平台。

公司的宗旨：将控制工程师从各种杂务中解脱出来，使他们在开发的初期可以全身心致力于控制算法的研究；在产品测试阶段为测试工程师提供一个适应性强，界面友好的测试环境。

dSPACE 公司目前已拥有 10000 多家用户，其中 70%销往德国以外的国家。

dSPACE 实时仿真系统是由 dSPACE 公司开发的一套基于 MATLAB/Simulink 的控制系统

开发及测试的工作平台，实现了和 MATLAB/Simulink 的完全无缝连接。dSPACE 实时系统拥有具有高速计算能力的硬件系统，包括处理器、I/O 等，还拥有方便易用的实现代码生成/下载和试验/调试的软件环境。这样，在 dSPACE 强大能力的支持下，就可以很好地解决上述问题：

- 在控制系统开发的初期，把 dSPACE 实时系统作为控制算法及控制逻辑代码的硬件运行环境。通过 dSPACE 提供的各种 I/O 板，在原型控制算法和控制对象之间搭建起一座实时的桥梁；让控制工程师将全部精力放在控制算法的研究和试验上，从而开发出最适合控制对象或环境的控制方案。
- 当产品型控制器制造完以后，还可以用 dSPACE 实时仿真系统来仿真控制对象或外环境，从而允许对产品型控制器进行全面、详细地的测试，甚至连极限条件下的应用也可以进行反复测试。在 dSPACE 试验工具软件的帮助下，测试工程师不用再象过去那样用一大堆的信号监测仪器费力地监测各种试验信号，而只需在计算机屏幕上随时观看测试工具软件记录下的各种信号和曲线即可。从而大大节约测试费用，缩短测试周期，增加测试的安全性及可靠性。

dSPACE 实时系统具有很多其他仿真系统所不能比拟的优点：

- **组合性强：**dSPACE 在设计时就考虑了大多数用户的需求，设计了标准组件系统，可以对系统进行多种组合。对不同用户而言，可以在运算速度不同的多种处理器（如：TI 公司的 TMS 系列、DEC 公司的 Alpha 系列、Motorola 公司的 PowerPC 系列）之间进行选择，最快的处理器浮点运算速度高达 1000MFlops；I/O 也具有广泛的可选性，通过选择不同的 I/O 配置，即可组成不同的应用系统。
- **过渡性好，易于掌握和使用：**由于 dSPACE 与 MATLAB 的无缝连接，使广大 MATLAB 用户可以轻松地掌握 dSPACE 的使用，从而方便地从非实时分析、设计过渡到实时的分析、设计。
- **对产品型实时控制器的支持性强：**针对用户最终需要将仿真代码转换到产品型控制器的需求，dSPACE 提供了从仿真代码到产品型控制器代码的生成工具，还提供产

品型控制器与 dSPACE 实时系统的硬件接口，从而允许将 dSPACE 实时系统纳入闭环测试中，这样，就可以在 dSPACE 实时系统的帮助下，顺利完成原型设计到产品的转换。

- **快速性好：**由于 dSPACE 与 MATLAB 的无缝连接，使用户在几分钟之内就可以完成模型/参数的修改、代码的生成及下载等工作，从而可以在短期内完成对原型的反复更改和试验，尽快推出产品，完全避免了过去的那种因为局部改动就要多花费几周甚至几个月的时间进行代码的修改和重新测试。大大节省了时间和费用。
- **性能价格比高：**对用户而言，dSPACE 更象是一种平台，这就意味着用户用 dSPACE 完成一种产品的设计和测试后，还可以用 dSPACE 进行其它新品的开发或实时仿真测试。这一特点使 dSPACE 具有较高的性能价格比。
- **基于 PC 机，WINDOWS 操作系统：**为了便于用户掌握和使用，dSPACE 充分考虑了大多数用户都使用 WINDOWS 这一特点，其代码生成及下载软件、试验工具软件都基于 WINDOWS，而不象其他仿真系统那样基于 UNIX 或 DOS。另外，考虑到用户普遍使用 PC 机，dSPACE 实时系统与主机的硬件接口一般采用标准 ISA/PCI 总线，从而避免了用户在附加设备上的投资。
- **实时性好：**一旦代码下载到实时系统，代码本身将是独立运行的，试验工具软件只是通过内存映射访问试验过程中的各种参数及结果变量，不会产生对试验过程的中断。
- **可靠性高：**dSPACE 实时系统硬件、代码生成及下载软件、试验工具软件都是由 dSPACE 工程师精心设计、制造和调试的，不存在任何兼容性问题，可靠性高。是可以信赖的软/硬件平台。
- **灵活性强：**dSPACE 实时仿真系统允许用户在单板系统和多板系统、单处理器系统 and 多处理器系统、自动生成代码和手工编制代码之间进行选择，使 dSPACE 系统具有很大的灵活性，从而可以适应用户各方面的应用需求。

正是由于 dSPACE 的无可比拟的优越性，使得 dSPACE 从诞生之日起就引起了众多工程

技术人员及专家学者的注意。目前，dSPACE 已广泛应用于航空航天、汽车、发动机、电力机车、机器人、驱动及工业控制等领域。越来越多的工厂、学校及研究部门开始用 dSPACE 来解决在实际工作及研究中碰到的问题。由于他们的努力，dSPACE 的应用领域正在日益拓宽。许多汽车界的用户都把 dSPACE 作为可以信赖的开发测试工具，如：Audi 公司用 dSPACE 实现了 ABS 控制器测试台；有的汽车界用户如：Chrysler、Delphi、Ford、General Motors、Honda、Toyota Motor、Nissan、Mazda Motor 等公司用 dSPACE 进行动力控制原型的开发；而德国的铁路运输巨头 Adtranz 则用 dSPACE 实现了电力机车的仿真；美国的 Boeing, Calspan 公司用 dSPACE 进行飞行器的控制系统设计和仿真；还有一些研究部门如荷兰的 Delft 工业大学、日本的 Waseda 大学等用 dSPACE 进行机器人控制算法的研究；而且，由于 dSPACE 的高度可靠性，许多工业用户用 dSPACE 实现工业过程控制，如 Achenbach Buschütten 公司就依赖 dSPACE 的高可靠性来控制型材的平面度；丹麦的 Grundfos 还用 dSPACE 来验证专用集成电路的设计可行性。

总而言之，dSPACE 已成为众多用户解决实际问题的一条可以信赖的途径，而且，正是由于 dSPACE 的存在，使得控制系统的开发、产品型控制器的仿真测试变得更加方便易行，大大加快了新产品的研制速度，也使技术人员对控制算法及仿真测试方案的研究进入更高的境界。dSPACE 公司也将不遗余力地为广大工程科研工作者着想，不断推出更先进的产品。

2 dSPACE—实时快速原型及硬件在回路仿真的一体化解决途径

对工程技术人员而言，所面临的无非是两种应用问题：一是在开发的初期阶段，快速地建立控制对象及控制器模型，并对整个控制系统进行多次的、离线的及在线的试验来验证控制系统软、硬件方案的可行性。这个过程我们称之为**快速控制原型（RCP）**；第二个问题就是已设计完的控制器投入生产后，在投放市场前必须对其进行详细的测试。如果按传统的测试方法，用真实的对象或环境进行测试。这样做无论是人员、设备还是资金都需要较大的投入，而且周期长，不能进行极限条件下的测试，试验的可重复性差，所得测试结果可记录性及可分析性都较差。现在普遍采用的方法就是：在产品上市之前，采用真实的控制器，被控对象或者系统运行环境部分采用实际的物体，部分采用实时数字模型来模拟，进行整个系统的仿真测试，这个过程我们称之为**硬件在回路仿真（HILS）**。

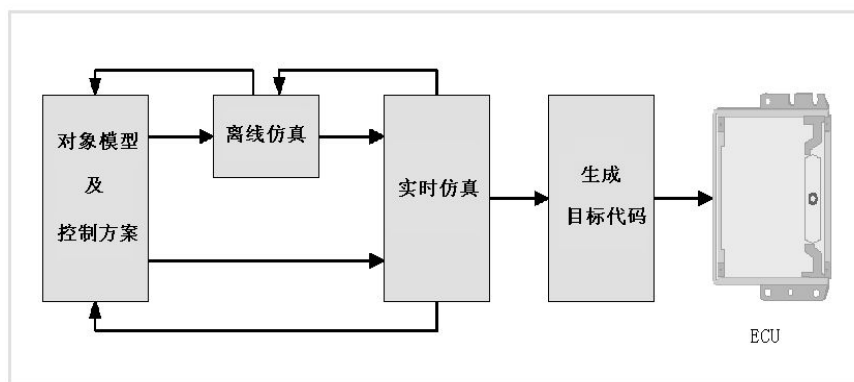
dSPACE 实时仿真系统为这两种应用提供了协调统一的一体化解决途径，即用 dSPACE 实时系统，既可以实现快速控制原型也可以实现硬件在回路仿真。

2.1 RCP（Rapid Control Prototyping）—快速控制原型

要实现快速控制原型，必须有集成良好便于使用的建模、设计、离线仿真、实时开发及测试工具。dSPACE 实时系统允许反复修改模型设计，进行离线及实时仿真。这样，就可以将错误及不当之处消除于设计初期，使设计修改费用减至最小。

使用 RCP 技术，可以在费用和性能之间进行折衷；还可在最终产品硬件投产之前，仔细研究诸如离散化及采样频率等的影响、算法的性能等问题。通过将快速原型硬件系统与所要控制的实际设备相连，可以反复研究使用不同传感器及驱动机构时系统的性能特征。而且，还可以利用旁路（BYPASS）技术将原型电控单元（ECU： Electronic Control Unit）或控制器集成于开发过程中，从而逐步完成从原型控制器到产品型控制器的顺利转换。

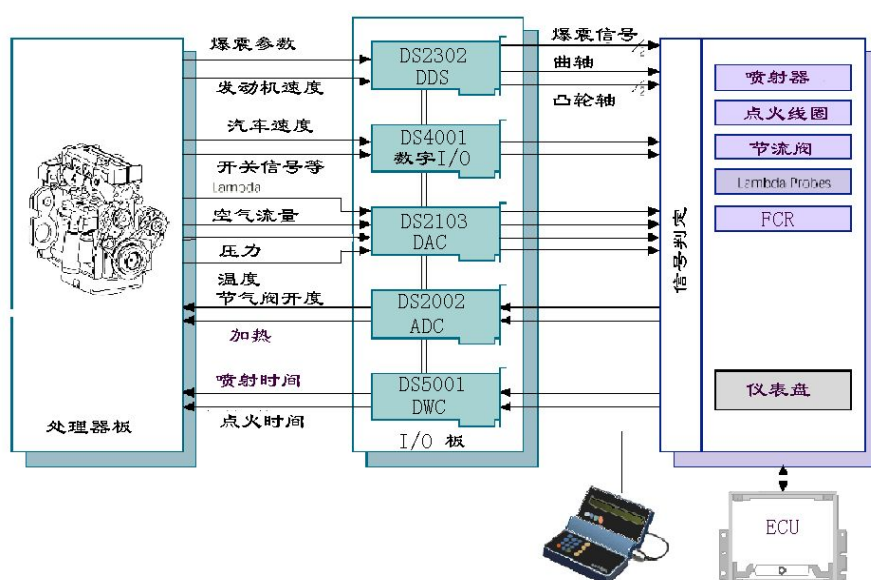
RCP 的关键就是代码的自动生成和下载，只需鼠标轻轻一点，就可以在几秒钟内完成设计的更改。



快速控制原型过程

2.2 HILS（Hardware-in-the-Loop Simulation）——硬件在回路仿真

当新型控制系统设计结束，并已制成产品型控制器，需要在闭环下对其进行详细测试。但由于种种原因如：极限测试、失效测试，或在真实环境中测试费用较昂贵等，使测试难以进行，例如：在积雪覆盖的路面上进行汽车防抱死装置（ABS）控制器的测试就只能在冬季有雪的天气进行；有时为了缩短开发周期，甚至希望在控制器运行环境不存在的情况下（如：控制对象与控制器并行开发），对其进行测试。dSPACE 实时仿真系统的 HIL 仿真将助您解决这一问题。



现在，许多控制工程师都把 HIL 仿真作为替代真实环境或设备的一种典型方法。在 HIL

仿真中，实际的控制器和用来代替真实环境或设备的仿真模型一起组成闭环测试系统，难以建立数学仿真模型的部件（如液压系统）可以保留在闭环中，这样就可以在实验室环境下完成对 ECU 的测试，从而可以大大降低开发费用，缩短开发周期。

这两方面应用的区别仅仅是：在 RCP 中，dSPACE 的仿真对象是控制器，实现了控制器的功能；而在 HILS 中，dSPACE 的仿真对象是设备或环境，实现了某一设备或外环境的功能。

2.3 用 dSPACE 进行控制系统开发

工程师在进行控制系统开发时，常常需要同时面临许多难以解决的问题，而开发的时间却要求愈来愈紧迫。

- 由于在制造过程中存在的公差、老化和元器件装配等问题，对控制系统提出了相当高的可靠性要求；
- 对控制性能越来越高的要求使得控制算法越来越复杂；
- 并行工程要求设计、实现、测试及生产准备同时进行。
- 有时控制对象在开发过程中也在不断发生变化。

dSPACE 公司为了减轻控制工程师的负担，增强企业/院校的产品开发能力，缩短产品开发周期，提高产品的开发质量，从而增强其市场竞争力，彻底改变了过去的那种启发式开发方法，推出面向应用的现代开发方法。

按照过去的开发方法，一般包括下列的典型步骤：

- 根据调查情况用文字说明的方式定义需求和设计目标
- 根据过去的经验提出系统的结构
- 由硬件人员设计并制造硬件电路
- 由控制工程师设计控制方案，并将控制规律用方程的形式描述出来
- 由软件人员采用手工编程的方式实现控制规律
- 由系统工程师或电子专家将代码集成于硬件电路中
- 用真实控制对象或测试台对系统进行测试

由上述过程可以看出，传统的开发方法至少存在三个较大的问题：

1. 在对控制规律的控制特性或控制效果还没有一点把握的情况下，硬件电路已经制造了，这时，还不知道所设计的方案能在多大程度上满足要求，抑或根本就不能满足要求，但已经产生了较大的硬件投入资本。
2. 由于采用手工编程，所以会产生代码不可靠的问题，这样，在测试过程中如果出现问题（在大多数情况下这是必然的），就很难确定是控制方案不理想还是软件代码有错误。更重要的是手工编程将会占用大量的时间，导致虽然有了控制方案，却要等待很长时间才能对其进行验证和测试，从而在不知道方案是否可行的情况下就浪费了大量的时间、人力和物力，给开发带来不必要的开支和经济损失。
3. 即使软件编程不存在问题，如果在测试过程中发现控制方案不理想，需要进行修改，则新一轮工作又将开始。大量的时间又将耗费在软件的修改和调试上。另外，由于涉及的部门太多，再加上管理不善所引入的种种不协调，导致开发周期长而又长，最终导致产品虽然研制成功了，但初始需求已经发生了变化，市场机会已经错过，产品已没有了销路，从而使整个开发以失败告终。

而 dSPACE 提倡的基于模型面向应用的现代开发方法则要有效的多。

现代开发方法的最重要的特征就是计算机辅助控制系统设计（CACSD: Computer-Aided Control System Design）。将计算机支持工具贯穿于控制系统开发测试的全过程。计算机辅助控制系统设计不仅仅是进行控制方案的设计和离线仿真，还包括实时快速控制原型、产品代码生成和硬件在回路测试。这是一个完整的流线型的控制系统开发步骤，一般将由下列过程组成：

◆ 概念定义/需求定义/详细说明

/* 在传统方法中，这一过程的产物就是几千字甚至几万字的文字说明。在现代方法中为了避免文字说明的模糊性及理解性错误，详细说明将采用模型方式。可以用信号流图的方式进行定义。*/

◆ 控制方案设计

/* 控制方案的设计也不再采用过去的那种先将对象模型简化成手工可以处理的形

式，再根据经验进行手工设计的方式。而是用诸如 MATLAB/SIMULINK 等计算机辅助建模及分析软件建立对象尽可能准确的模型，并进行离线仿真，从而避免了传统设计过程中，由于对象过于简化，也没有相应的计算机辅助设计工具做支持而带来的到试验阶段才发现所设计的方案根本就不能满足实际对象的要求的尴尬局面。*/

◆ 快速控制原型（RCP）

/* 按现代设计方法，方案设计结束后，无须再象过去那样要花极大的耐心等待软件工程师进行手工编程，再由电子工程师将代码集成于硬件电路中，而是利用计算机辅助设计工具自动将控制方案框图转换为代码并自动下载到硬件开发平台，从而快速实现控制系统的原型，并且包括了实际系统中可能包括的各种 I/O，软件及硬件中断等实时特性。之后，就可以利用计算机辅助试验测试管理工具软件进行各种试验，以检验控制方案对实际对象的控制效果，并随时修改控制参数，直到得到满意的结果为止。即使是模型需要相当大的修改，从修改到下一次对原型的测试的也只需要几分钟的时间。从而在最终实现控制方案之前，就已经对可能得到的结果有了相当的把握，避免了过多的资源浪费和时间消耗。*/

◆ 生成产品代码

/* 将模型转换为产品代码是开发过程中最关键的一步。过去这种转换完全是通过手工编程实现的，现代开发方法则不同，产品代码的大部分是自动生成的。对大多数工程师而言，如果能够加快开发速度，损失代码的部分实时运行效率是可以接受的，如：自动生成代码的运行效率不低于手工代码的 10%，内存占用量不超过手工代码的 10%。*/

◆ 硬件在回路仿真（HILS）

/* 有了控制系统的初样，并不意味着计算机辅助设计工具（软件/硬件）就没有用了。相反，现在由于控制系统所完成功能的日渐复杂性，对其进行全面综合的测试，特别是故障情况和极限条件下测试就显得尤为重要了。但如果用实际的控制对象进行测试，很多情况是无法实现的，抑或要付出高昂的代价，（** 如：对汽车电控单元的测试就包括不同车型，不同路况，不同环境（雨、雪、风、冰等）下的测试，

如果用真实的汽车必然要花费相当长的时间，付出高昂测试费用。) 但如果用计算机辅助设计工具对控制对象进行实时仿真，就可以进行各种条件下的测试，特别是故障和极限条件下的测试。而这正是传统开发方法所不具备的。*/

dSPACE 为流线型控制系统开发提供了一套计算机辅助控制系统设计的工具包-CDP (Control Development Package)。CDP 主要基于下列工具：

- MathWorks 公司 MATLAB：用来进行模型的分析、设计、优化和数据的离线处理
- MathWorks 公司 Simulink：用来进行基于方框图的控制系统离线仿真
- MathWorks 公司 Real-Time-Workshop：用来从方框图模型直接生成 C 代码
- dSPACE 公司 Real-Time Interface (RTI)：用来使代码可以在单处理器/多处理器目标系统中运行
- dSPACE 系列软件工具：用来对闭环试验进行交互操作（自动/手动）

利用 CDP，可以完成从系统建模、分析、离线仿真直到实时仿真的全过程。对大多数用户而言，一般有以下几个开发步骤：

步骤 1：用线性或非线性方程建立控制对象的理论模型。该方程应能用 MATLAB 的 m-file 格式或 Simulink 方框图方式表示，以便于用 MATLAB/Simulink 进行动态分析。

步骤 2：用 MATLAB 工具箱设计一原始控制方案。这些工具箱包括：Control System Toolbox, Nonlinear Control Toolbox, Robust Control Toolbox, 和 Optimization Toolbox。

步骤 3：用 Simulink 对控制方案设计进行离线仿真。

步骤 4：在 Simulink 方框图中，从 RTI 库用拖放指令指定实时测试所需的 I/O（A/D 转换器，增量编码器接口等），并对 I/O 参数（如 A/D 电压范围等）进行设置。

步骤 5：用鼠标选择 RTW Build，自动完成目标 DSP 系统的实时 C 代码生成、编译、连接和下载。即使是复杂的大型控制系统该过程一般也只需几分钟左右。

步骤 6：用 ControlDesk 试验工具软件包与实时控制器进行交互操作，如调整控制参数，显示控制系统的状态（如发动机速度，液压等），跟踪过程响应曲线等。

步骤 7：如果需要，利用 MLIB/MTRACE 从实时闭环控制系统获得数据，并将该数据回传给用于建模和设计的软件环境（如：MATLAB），由 MATLAB 根据一定的算法计算下一步控制参

数并通过 MLIB/MTRACE 将参数送给实时系统，实现参数的自动的优化过程。

步骤 8: 返回步骤 1。只有通过实时测试，才能得到一些反馈信息如：对象模型是否需要改进、控制特性是否过严或过松、控制系统对不能建模的对象动特性（如：考虑到实时性而将部分对象直接包含于闭环测试中）、干扰及传感器噪音是否有足够的鲁棒性。

如果采用传统的开发方法，那么在开发过程中至少要包括一个控制工程师，负责根据原始说明设计电气线路；一个程序员负责开发控制系统设计人员所描述的控制算法代码。这样，在开发过程中就难免由于各种协调问题产生时间延误。而且由于硬件方面的种种限制，对控制系统参数的修改必须花很长时间才能得到验证，导致开发周期过长。

利用 dSPACE，则可使工程师全神贯注于控制方案的构思而不必再在琐碎的杂务上花费相当多的时间，从而可以大大缩短开发周期。（如果不想使用 MATLAB/Simulink，也可以使用其他工具生成控制算法代码或进行手工编程）。

2.4 建立用户 dSPACE 系统

dSPACE 允许用户根据需求来组建用户系统，无论是软件还是硬件，dSPACE 都提供了多项选择：

自动/手动实现控制代码的生成和下载

如果将 dSPACE 的 TDE 集成开发环境与 Mathworks 的 MATLAB/Simulink+RTW 联合使用，外加一个 C 编译器，只需鼠标轻轻一点，一切均可自动完成。

如果代码不是源于 Simulink，用 dSPACE 提供的系列软件库也可以完成代码生成及下载。

单板系统/标准组件系统

dSPACE 允许在单板系统和标准组件系统之间进行选择。

单板系统本身就是一个完整的实时仿真系统，DSP 及 I/O 全部集成于同一板上。

标准组件系统至少由一块处理器板和一些 I/O 板组成。I/O 的类型及数目、计算性能及存储区均可通过附加 I/O 板和处理器板进行扩展。处理器板和 I/O 板之间的通讯由 PHS（Peripheral High-Speed bus）总线完成。

PC 机内置式系统/扩展盒式系统

dSPACE 实时系统板为标准 8 位或 16 位 PC/AT 板，可直接插入 PC 机内的 ISA 或 PCI 总线，也可插入扩展盒中，并通过总线或 Ethernet 与主机相联。

单处理器/多处理器系统

如果用单处理器系统不能满足要求，可以用 dSPACE 的多处理器系统。多处理器系统以 DS1005 PPC 处理器板为核心（主 CPU 为 PowerPC），同时，也可通过处理器板之间的光纤通信接口板扩展处理器板，组成并行多处理器系统，从而大大加快模型的仿真速度，适应用户对快速实时计算模型的要求。DS1005 PPC 处理器板可通过 PHS 总线管理 I/O，因此，由 DS1005 PPC 处理器板组成的多处理器系统除 I/O 能力可以扩展外，计算能力也同时得以扩展。

3 dSPACE 体系结构

作为一个全方位的计算机辅助设计与测试平台，dSPACE 拥有简单易用的代码生成及下载软件、试验工具软件，还拥有灵活性极强的硬件组合系统。

就软件而言，考虑到大多数用户使用 MATLAB 进行控制系统的设计和各種模型的建立，dSPACE 将自己的代码生成及下载软件集成于 MATLAB 中，实现了与 MATLAB 的无缝连接。从而允许用户直接在 MATLAB 中调用 dSPACE 的各种函数库如：实时接口 RTI、实时数据采集 MTRACE 及 MATLAB 到 dSPACE 的接口 MLIB 等。

虽然 dSPACE 的代码生成及下载软件、试验工具软件都是模块化的，但从用户的实际需求出发，dSPACE 提供了软件组合 CDP。CDP 包括 Real-Time Interface, ControlDesk, MLIB/MTRACE。CDP 配合 MATLAB/Simulink/RTW，就可以实现控制系统开发测试的全过程：

- 建立模型（控制系统及控制对象）
- 离线仿真
- 设置实时 I/O
- 生成代码
- 编译及下载
- 试验
- 通过 MATLAB 指令实现自动测试

就硬件而言，dSPACE 针对不同用户的需求，提供了多种可供选择的方案：

- 单板系统：主要面向快速控制原型用户；I/O 数量有限，但包括了进行快速控制原型设计所需的大多数 I/O（包括 A/D，D/A，数字 I/O 等）。还特别考虑了驱动应用方面的需求，配有增量编码器信号接口及 PWM 信号发生器。无论是用来进行原型设计，还是直接用作核心控制板来进行驱动控制都不失为一种较完美的选择。
- 标准组件系统：考虑到用户需求的多样性，dSPACE 特别设计了标准组件系统，把处理器板，I/O 板完全分开，并提供多个系列和品种。这样，就允许用户根据特定需求随意组装，可以使用多块处理器板、多块（多种）I/O 板，使系统的运算速度、内存及 I/O 能

力均可大大扩展，从而可以适应特别复杂的应用。

- 车辆内置式系统：dSPACE 还专门设计了车辆内置式系统，用来满足汽车、火车、飞机等用户对内置式系统在空间体积、振动和环境温度上的需求。

3.1 dSPACE 软件

3.1.1 代码生成及下载软件（Implementation Software）

3.1.1.1 代码的生成过程

代码的生成及下载可以自动完成也可手工完成。无论是单处理器系统还是多处理器系统，均可由 Simulink 方框图自动生成代码并下载到实时系统硬件中。另外，dSPACE 还提供了方便易用的软件工具来实现手工代码的下载。

从 Simulink 自动生成并下载

将控制原型或仿真模型从离线仿真转到实时仿真的最快捷的方式就是用 Simulink。dSPACE 的实时接口库 RTI（Real-Time Interface）允许通过图标的方式来指定用户 I/O。RTI 与 MathWorks 的 RTW（Real-Time Workshop）共同生成 dSPACE 硬件所需的代码。因此，无论用的是单处理器系统还是多处理器系统，代码的生成及下载过程被简化成鼠标的轻轻一击。

3.1.1.2 MATLAB/Simulink-现代控制设计平台

MATLAB

MATLAB[®]集计算、可视化及编程于一身。在 MATLAB 中，无论是问题的提出还是结果的表达都采用你习惯的数学描述方法，而不需要用传统的编程语言进行前后处理。这一特点使 MATLAB 成为了数学分析、算法开发及应用程序开发的良好环境。MATLAB 是 MathWorks 产品家族中所有产品的基础。MATLAB 省去了工程师用 C 或 Fortran 等高级语言编程的需求，

使他们集中精力于数据分析和算法的开发。它相对于 C 语言的地位就和 C 相对汇编语言的地位相当。

MATLAB 工具箱

MATLAB 包括下列常用工具箱：控制系统工具箱；系统识别工具箱；模糊逻辑工具箱；LMI 控制工具箱；模型预测控制工具箱； μ -分析及综合工具箱；神经网络工具箱；优化工具箱等。

Simulink

SIMULINK[®]是用来建模、分析和仿真各种动态系统的交互环境，包括连续系统，离散系统和混杂系统。Simulink 提供了采用鼠标拖放的方法建立系统框图模型的图形交互界面。通过 Simulink 提供的丰富的功能块，你可以迅速地创建系统的模型，不需要书写一行代码。

Stateflow

Stateflow[™]提供了图形工具帮助你设计和分析事件驱动系统。Stateflow 基于有限状态机理论，能够快速建立和仿真复杂事件驱动系统的逻辑行为。这样，Simulink 的用户可以在他们的模型之中描述事件驱动行为。通过 Simulink 和 Stateflow 你可以在统一的环境下设计，建立和仿真整个控制系统的行为。

RTW (Real-Time Workshop)

Real-Time Workshop[®]可从 Simulink 方框图中自动生成 C 代码。RTW 与 dSPACE 的 RTI (Real-Time Interface) 联合可完成从方框图到 dSPACE 实时硬件的无缝转换。

Stateflow Coder

Stateflow Coder[™] 是一个单独提供的与 Stateflow 结合使用的工具，能够生成独立的控制逻辑代码。

注：MATLAB、Simulink 及 RTW 请参考我公司 MATLAB 产品介绍，我公司是 MATLAB 公司产品在中国的唯一代理。

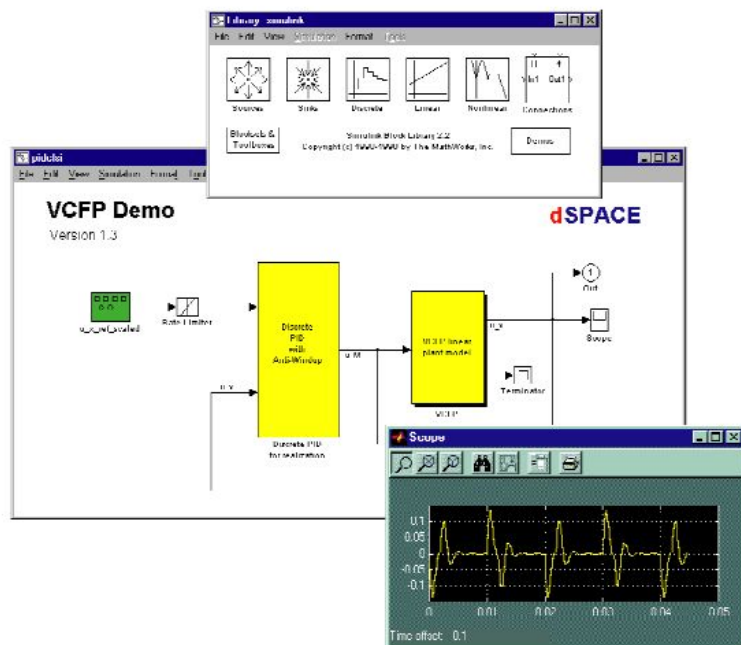
3.1.1.3 RTI(Real-Time Interface)-从方框图自动生成代码并下载

RTI 是连接 dSPACE 实时系统与软件开发工具 MATLAB/Simulink 之纽带。RTI 对 Simulink 库进行了扩展,利用这些框图可以无需写任何代码就能完成包括 I/O 接口及初始化过程的全部设置。同时通过对 RTW 进行扩展,可实现从 Simulink 模型到 dSPACE 实时硬件代码的无缝自动下载。这可使您完全致力于实际设计过程并能迅速完成设计的更改,费力的手工编程已成为过去。

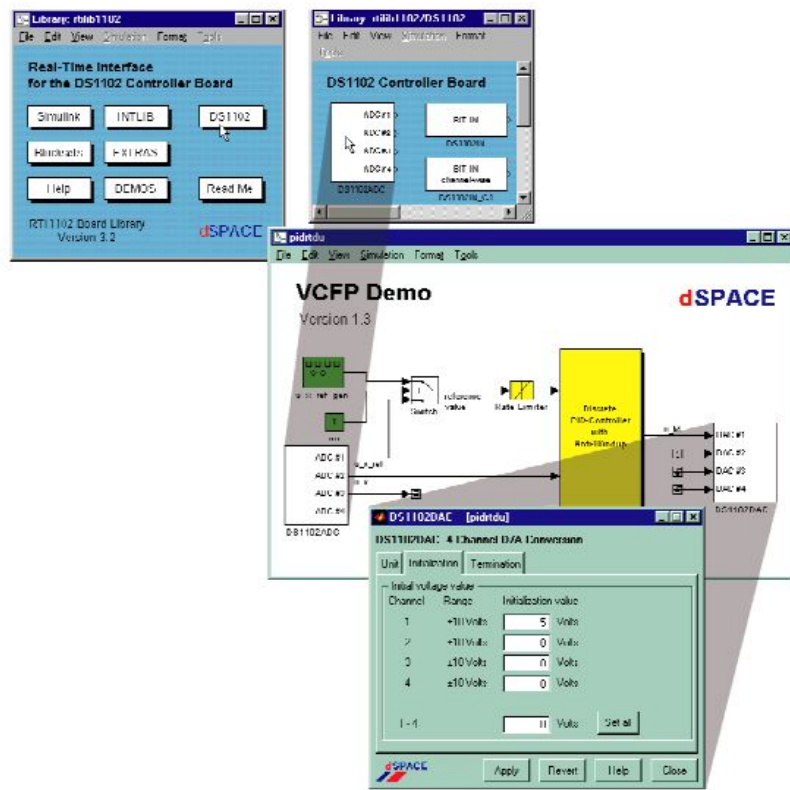
首先,可以用图形方式从 dSPACE 的 RTI 库中选定相应的 I/O 模型,将之拖入 Simulink 模型中并指定其参数,以完成对 dSPACE I/O 板的选定。之后,只要鼠标点一下,RTI 就会自动编译、下载并启动实时模型。另外,RTI 还根据信号和参数产生一个变量文件,可以用 dSPACE 的试验工具软件如 ControlDesk 进行变量的访问。

通过 RTI 来实现控制原型或对象仿真实时代码的生成一般有下列几个步骤:

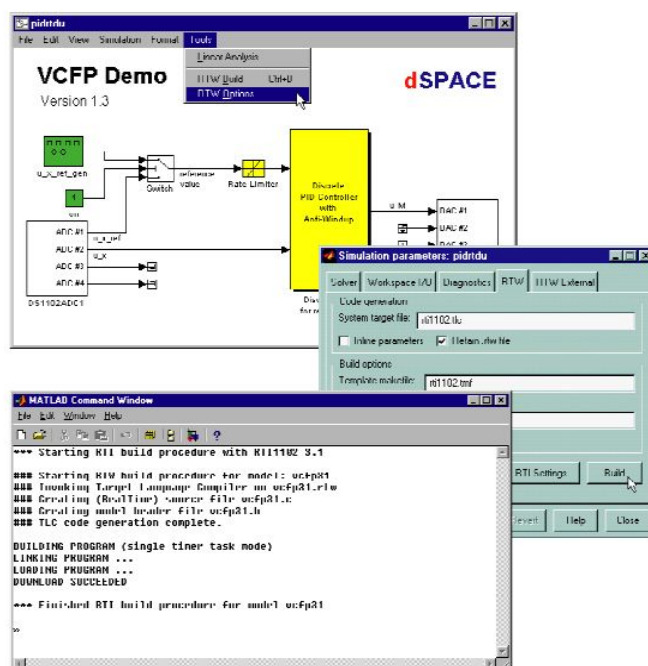
① 用 Simulink 建立模型并进行离线仿真



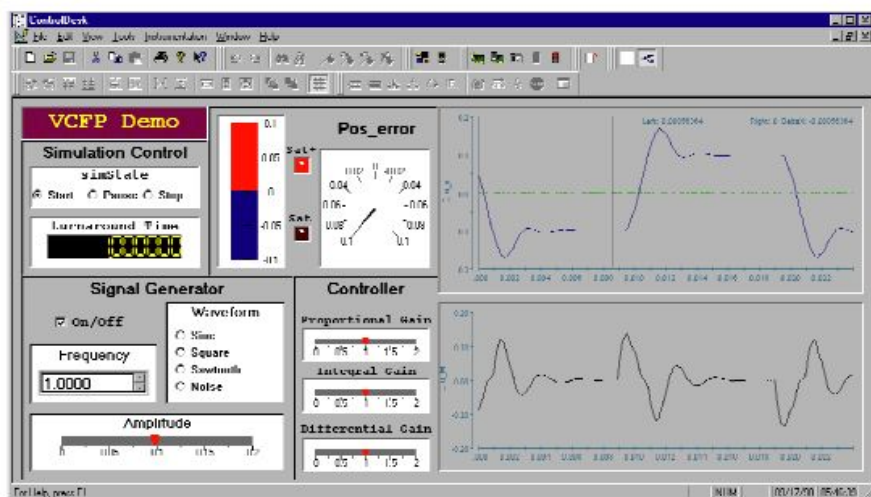
② 加入 dSPACE I/O, 将离线模型转为实时模型



③ 用 RTW “Build”命令生成实时代码并下载到实时硬件中



④ 用 dSPACE 试验工具进行试验过程中的交互操作



除标准 I/O 功能外，RTI 还支持用户在 SIMULINK 框图中完成：

- 指定部分模型为定时执行
- 指定部分模型为软件中断
- 指定部分模型为硬件中断

- 指定中断及定时任务的优先级
- 支持单采样频率和多采样频率
- 支持单任务模式和多任务模式

另外，RTI 还充分考虑了实际工程应用中可能遇到的各种问题，如：

- 通过附加手段解决采样频率不同的模块之间数据传送的不一致性
- 支持多处理器，允许在 SIMULINK 中完成多处理器模型的分割
- 允许指定处理器之间的数据通讯协议，可采用：同步 BUFFER，异步 BUFFER，及共享存储区方式
- 允许处理器之间进行中断

RTI 可以处理连续系统、离散系统、混合系统和多采样频率系统。

当系统比较复杂，单处理器系统难以完成时，需要多个处理器并行工作。这时，就需要 RTI-MP 的帮助以完成多处理器系统的系统设计、建立多处理器网络结构（包括处理器之间的通讯）。RTI-MP 允许用拖放方式对系统模型进行分割，每一个子系统均可进行单独调整。为了对多处理器系统进行观察及参数修改，需要配合使用多处理器试验工具软件 ControlDesk Multiprocessor Extension。

3.1.1.4 PPC 编译器

不论用何种方式（手动或自动）生成实时系统，都需要一个 C 编译器。根据配置的不同，dSPACE 系统使用 POWER P C 编译器 Compiler For PPC：适用于所有基于 POWER PC 处理器的系统。

3.1.2 实验软件（Experiment Software）

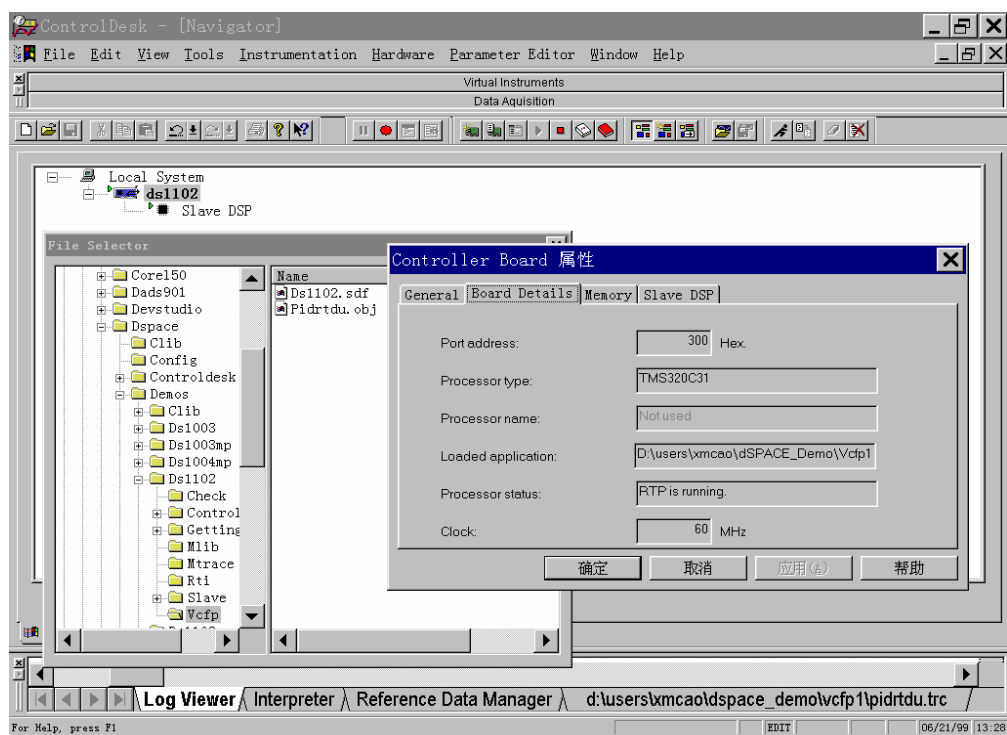
3.1.2.1 ControlDesk 综合实验环境

ControlDesk 是 dSPACE 开发的新一代实验工具软件。虽然控制器的开发及仿真模型的建立还是使用 MATLAB/SIMULINK，但是，一旦模型已经通过 RTI 实现并下载到实时硬件中，余下的就是 ControlDesk 的事了。ControlDesk 将提供对实验过程的综合管理。利用 ControlDesk

可以实现：

① 对实时硬件的图形化管理

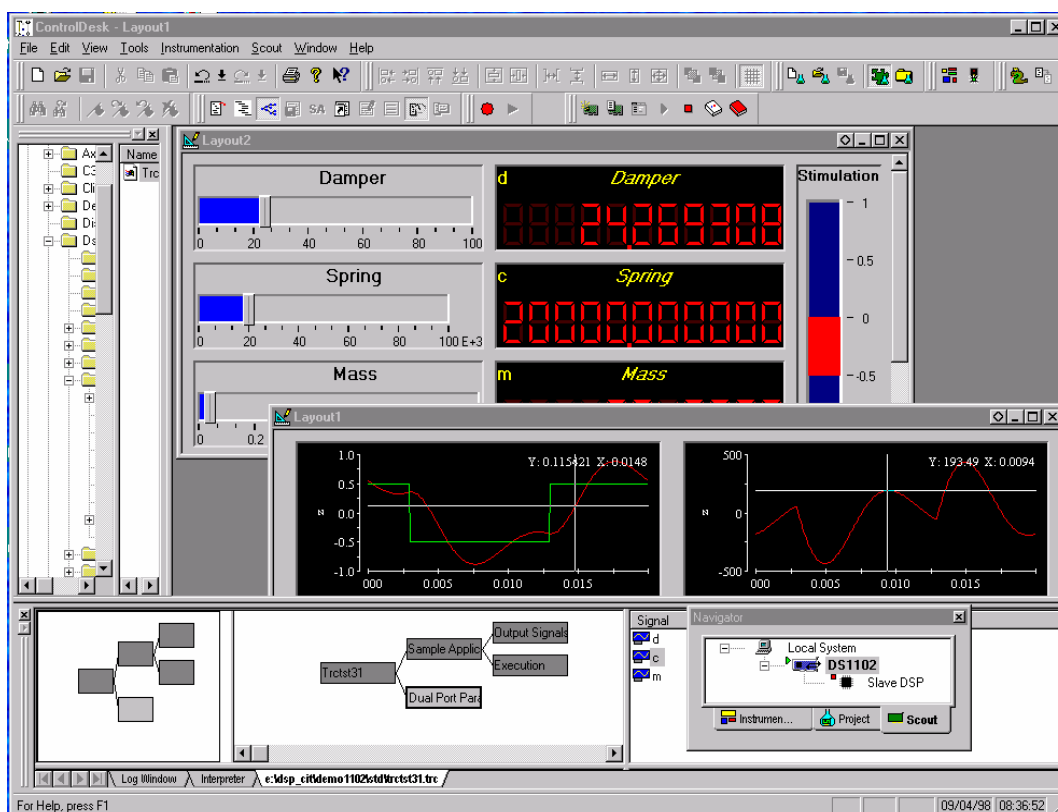
- 方便地进行新硬件的注册管理
- 检查内存大小及处理器时钟频率
- 利用 WINDOWS 拖放方式轻松完成目标程序的下载
- 用 START 和 STOP 控制实时程序的启动和停止
- 通过 ERROR MESSAGE LOGGING 窗口实现出错监视功能
- 观看配置数据



② 用户虚拟仪表的轻松建立

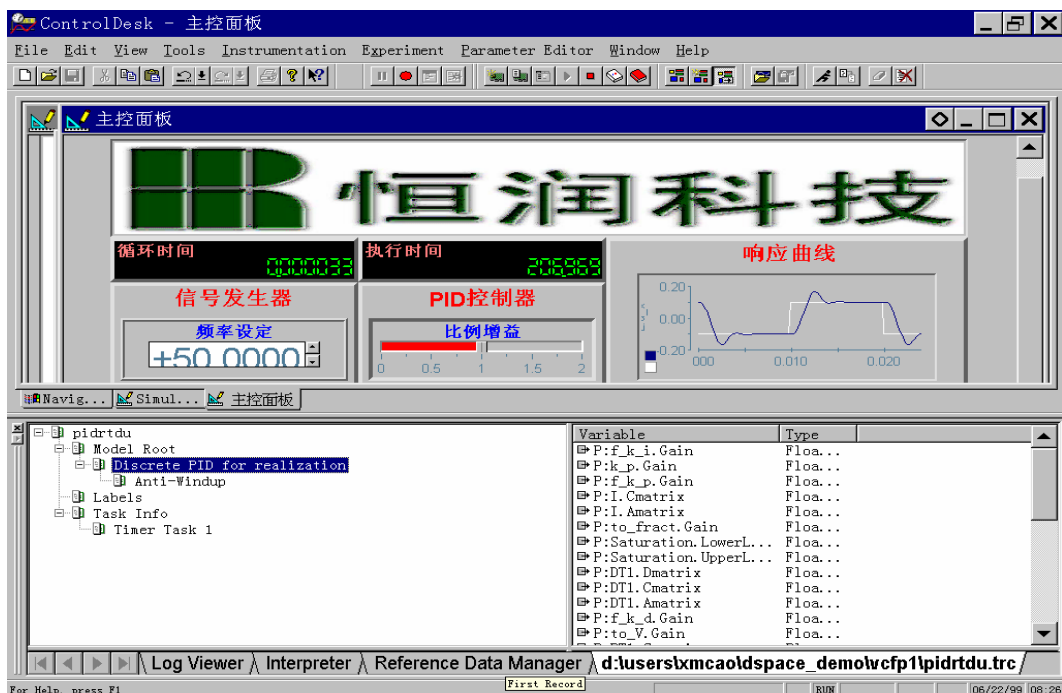
- 用拖放方式建立虚拟仪表
- 与实时程序进行动态数据交换
- 跟踪实时曲线
- 在线调参

- 记录实时数据（可记录在文件中）
- 实时数据回放
- 提供各种专业虚拟仪表库（汽车库等）



③ 变量的可视化管理

- 以图形方式访问 RTI 生成的变量文件
- 通过拖放操作在变量和虚拟仪表之间建立联系
- 除访问一般变量外，还可访问诸如采样时间、中断优先级、程序执行时间等其它与实时操作相关的变量



④ 参数的可视化管理

- 可根据实时变量树生成参数文件
- 通过参数文件对实时试验进行批参数修改
- 通过多个参数文件的顺序调入研究不同参数组对实时试验的影响

⑤ 实验过程自动化

- 提供到 ControlDesk 所有组成部分的编程接口
- 对耗时及须重复进行的试验过程可以实现自动化，如：参数研究
- 利用 Macro Recorder 记录 ControlDesk 的操作
- 利用面向对象的功能强大的算法语言编制自动试验算法
- 提供到 MATLAB 接口，实现与 MATLAB 的数据交换

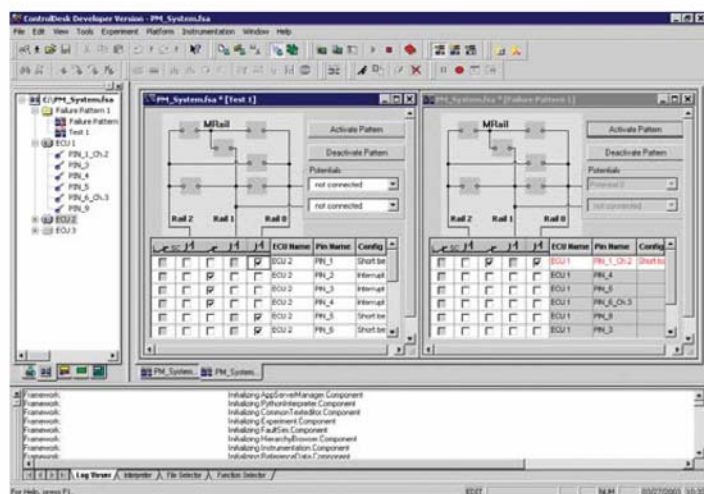
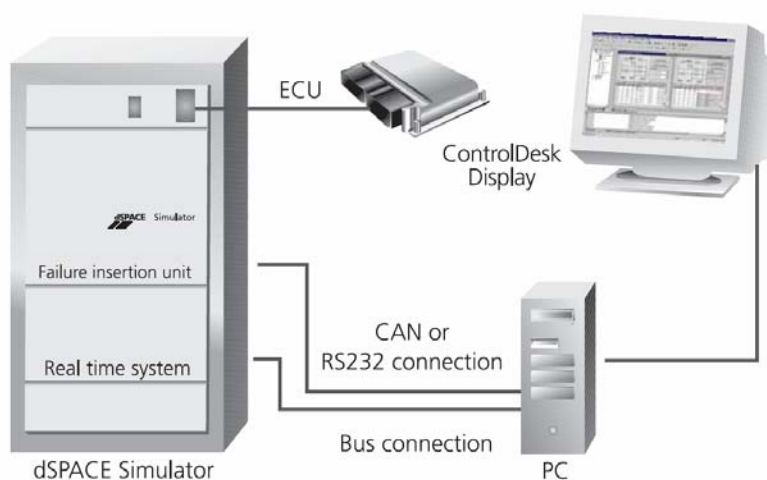
ControlDesk 故障仿真

- 对标准 ControlDesk 功能的扩展
- 在中型或大型 dSPACE 模拟器中远程控制故障注入单元
- 通过故障仿真浏览器可访问所有故障仿真部件

- 在故障模式窗口中实现管脚错误定义
- 可导入 ECU 管脚描述文件

ControlDesk的故障仿真功能使得操作dSPACE模拟器的故障注入单元变得非常便利。

利用ControlDesk故障仿真功能可以仿真电控单元(ECU)的线束故障。比如你可以仿真ECU单个管脚对地短路或电压短路故障，或者是仿真ECU单个管脚断线的情况。



3.1.2.2 MLIB 和 MTRACE—实现自动试验及参数调整

利用 MLIB 和 MTRACE，可以大大增强 dSPACE 实时系统的自动实验能力。使用这两个库可在不中断试验的情况下从 MATLAB 通过 M 编程直接访问 dSPACE 板上运行的应用程序。

序中的变量。甚至无需知道变量的地址，有变量名就足够了。这样就可以利用 MATLAB 的数字计算及图形能力进行顺序自动测试、数据记录和控制参数的优化。

MLIB 和 MTRACE 联合使用可组成一个完美的整体。有 MATLAB 强大的计算能力做支持，可以自动执行所能想到的任何试验。比如控制器的优化：用 MTRACE 记录数据，然后将数据传送给 MATLAB。MATLAB 自动计算出新的控制器参数，并通过 MLIB 送回处理器板或控制板。

MLIB 和 MTRACE 也可以和 ControlDesk 同时使用。

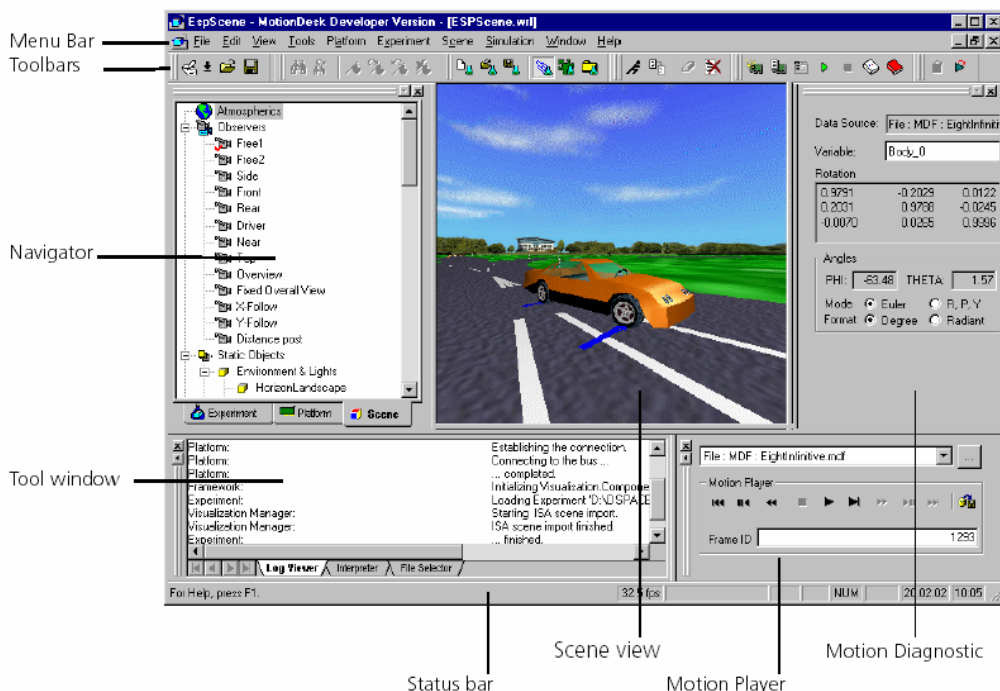
3.1.2.3 MotionDesk—实时动画

通常情况下，实时仿真过程的可视化是通过记录时间响应或仪表显示来实现的。不过，这些方法多多少少都有些抽象。比如说仿真一辆汽车，要想从显示的力或角度来推断物体的实际运动是相当困难的。操纵性和临界反应用普通的方法更是难以识别。

利用 MotionDesk，仿真与真实世界之间的界限消失了。MotionDesk 可为 dSPACE 处理器板上在线仿真的物体提供三维动画效果。仿真的任何改变所引起的结果都可以马上在屏幕上显示出来。

试设想一下，用汽车 HIL 仿真设备对 ABS 电控单元原型进行测试的场景。汽车是由 dSPACE 处理器板仿真的。通过对仿真汽车进行极限操作如：在被冰覆盖的路面上进行应急刹车等，可对电控单元进行全面测试。在操作仿真汽车的同时，可以象实际情况下一样在屏幕上进行观察。当踩加速器时，可以看到汽车加速；当踩刹车时，可以看到汽车减速，当然，如果 ABS 控制器工作不正常，汽车将会继续飞驰。

MotionDesk 并不局限于汽车领域。其它如机器人、飞行仿真等领域也有相当的应用。



MotionDesk 的特点:

概要:

- 1、机械系统实时的 3-D 在线动画模式
- 2、使用 VRML2 语言格式建立的 3-D 目标库（丰富的汽车应用库）
- 3、动画视景设计
- 4、直观的视景导航栏
- 5、与其他的 dSPACE 工具类似的图形用户界面
- 6、凭借纹理的透视画法实现逼真的画面效果
- 7、DS1005 板或 DS1103 控制器板进行数据获取
- 8、基于文件的记录和动画数据的分析

显示:

- 1、导航栏列出所有动态静态目标
- 2、对于运动目标，轻松分配仿真数据
- 3、随意配置观察器

- 4、多样的描绘技术（金属框，阴影）
- 5、观察隐藏部分的透明画法，例如位于底盘内的悬架系统
- 6、视景信息
- 7、力矢量的显示

3.1.2.4 CLIB---PC 与实时处理器通讯

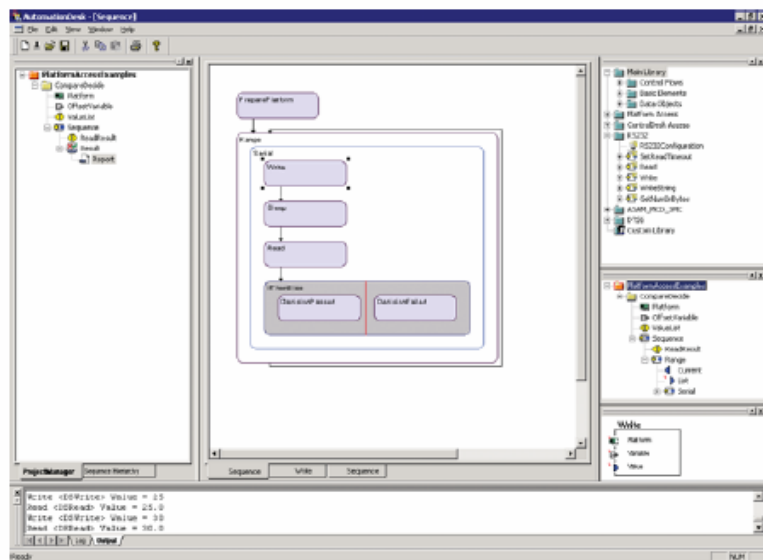
每一个实时仿真试验都需要在主机和控制器/处理器之间进行交互操作，如：改变参数、记录数据、在线显示等。dSPACE 的 ControlDesk 及其它工具为大部分的控制任务提供了全面的解决方案。

但是，在某些情况下，可能会需要在没有 dSPACE 工具的情况下进行控制，如第三方测试、使用其它的可视化工具或使用用户编写的主程序等。

CLIB 可在其他工具和实时硬件之间建立联系。CLIB 包括一整套的 C 函数，可用来建立用户主界面，完成各种处理器控制功能，访问处理器存储器。它可从变量的符号名自动寻找其地址。CLIB 允许多个程序（包括 dSPACE 工具和 dSPACE 以外的工具）同时访问处理器。

3.1.2.5 AutoMationDesk-自动化测试工具

*AutomationDesk's user interface
— a convenient way of
organizing test projects.*



- 图形化的测试序列编辑器
- 用于管理大型测试项目的项目管理器
- 可扩展的自动测试库
- 易于访问Simulink 和实时仿真程序
- 伴随整个开发过程的测试

为了满足目前汽车领域乃至将来的需要，AutomationDesk提供了一个强有力并且方便的测试自动化环境。它提供了一个类似于ControlDesk的图形用户界面，用户可以很直观、很方便地对它进行操作。并且它还提供了一个有效的图形化测试序列编辑器，通过这个编辑器可以方便地对自动测试序列进行编辑。另外，用户也可以通过项目管理器，组织大型的测试项目进行序列测试。用户还可以将许多自动测试函数存储到一个数据库中供自己调用。这个数据库在扩展和维护方面非常方便。AutomationDesk是dSPACE工具家族的又一个得力的工具。因为如果V模式开发中各个部分能够实现无缝连接的话，这就意味着将来在开发电控单元（ECU）过程中可以大幅度地节省时间和成本。

功能描述

测试序列编辑器

- 用图形化的方式描述自动测试的顺序
- 拖拉方式的高效开发模式
- 强大的自动化测试功能。从AutomationDesk图形测试序列库中可以方便地以拖拉方式拖出自动测试功能模块。
- 高效的编辑器功能使得测试工作变得简单和快速。
- 由于在自动测试顺序编辑器中可访问Simulink 和实时仿真程序，因此这就允许用户在系统早期功能开发和硬件在回路仿真期间就可以对系统进行自动化测试。这也使得重复使用自动化测试成为可能。

项目管理器

- 管理大型的测试项目、数据和结果。
- 测试的管理以及测试项目的结构化描述

- 与开发系统无缝连接
- 自动生成基于XML的HTML和PDF标准表格

自动测试库

- 记录和生成激励信号
- 输入和重置测量数据
- 与诊断工具集DTS6有接口
- 通过ASAM-MCD 3MC (早期 ASAP3) 接口远程控制外部标定工具
- 与诸如MATLAB等第三方工具交互
- 通过串口与PC机通讯
- 便于扩展，例如通过拖拉方式
- 访问Simulink 和 实时仿真程序
- 对ControlDesk进行远程控制
- 与故障仿真接口

开放的结构

- 通过AutomationDesk可集成现有Python脚本
- 无需编译即可扩展
- 通过DLL 或 COM接口方式，可远程控制第三方工具
- 系统要求
- Windows 98, Windows Me, Windows NT 4.0, Windows 2000, Windows XP
- ≥ 128 MB RAM
- Pentium 处理器, Pentium II , 450 MHz 或更高

3.1.3 TargetLink-产品级代码的生成

利用现代控制系统开发工具，可用最少的时间完成控制系统原型的设计，但如何从原型控制系统向产品型控制器转换仍然是最大的问题。目标代码的实现仍然是采用即费时又易出错的手工编程方式。由于现代控制器的日渐复杂性，将来，手工编程将会耗费更多的时间。

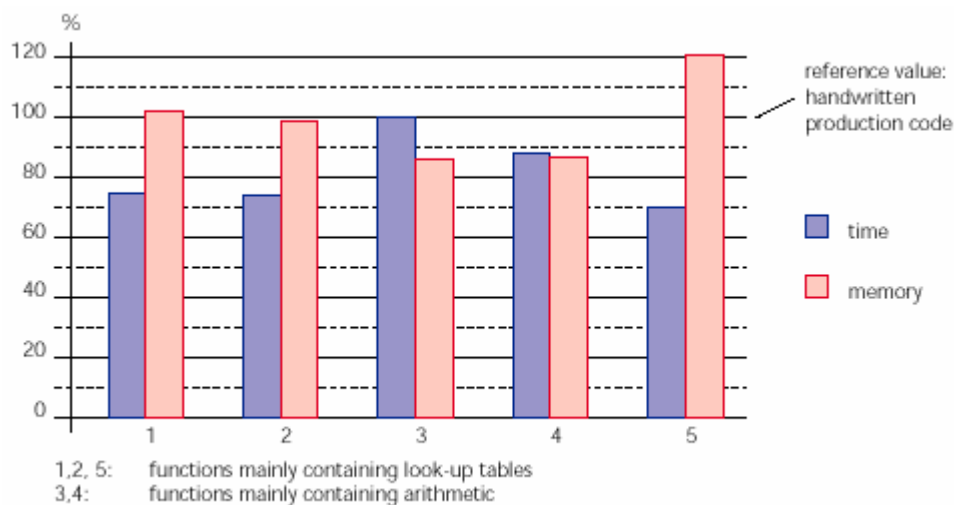
dSPACE 为解决这一问题，开发了一种新型代码生成工具-TargetLink。TargetLink 将在几秒钟之内完成代码的生成。由于 TargetLink 是在汽车界用户的密切合作下开发的，它将能很好地满足工业用户的需求。与产品代码相比即可看出 TargetLink 的有效性。

用 TargetLink 可以直接从 MATLAB/Simulink/Stateflow 生成代码。生成的代码可靠性高，易读性好。可产生定点运算代码，适应多种微处理器和编译器。与传统的手工代码相比，TargetLink 具有很多优越性。

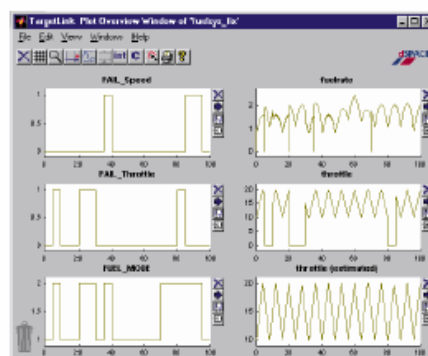
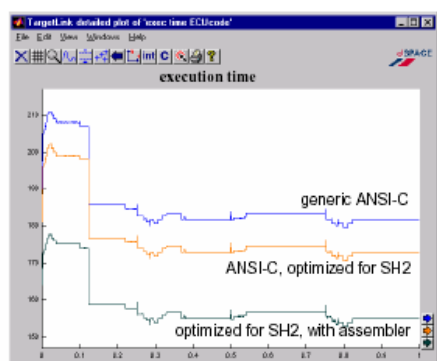


	传统的代码编程	用 TargetLink 生成代码
方法	手工将模型转换为 C 语言，费时	自动从 Simulink/Stateflow 模型转换到目标处理器
生成时间	费时的手工编程	几秒钟之内即可完成的自动代码生成
上市时间	时间长，可达几个月	通过缩短目标代码生成时间使减为最短
模型处理	C 代码级算法转换	基于模型的转换
代码维护	难以维护	易于理解和维护

TargetLink 已在某汽车用户提供的 ECU 上进行了实际测试，并将 TargetLink 产生的代码与原始手写代码进行了对比测试，测试结果如下：



测试证明，TargetLink 代码运行速度快，效率高。还允许用户对速度及存储区性能进行进一步的优化。一般采用了三级优化手段来提高代码效率。如图，三级优化分别是通用 C，通用 C 加优化，通用 C 加优化再嵌入汇编代码。



TargetLink 功能简介

代码生成

- 直接从 Simulink/Stateflow 中生成用于定点处理器或浮点处理器的 ANSI C 代码
- 符合产品质量要求的代码：代码的长度和速度可以与手工代码媲美
- 可以适应用户指定的编程风格
- 与用户代码的接口
- 方便集成继承的代码
- 可利用 EVM 板进行处理器在回路仿真考验生成的代码
- 支持 OSEK/VDX 操作系统

- 支持多速率系统
- 支持所有符合 OSEK/VDX 规范的操作系统
- 为任务间的通信所优化的高效代码

比例尺定标

- 手动设置或自动定标
- 多种量化选项，如上下余量或饱和范围

优化功能

- 图块的优化（合并图块与消除中间变量）
- 控制流程优化
- 多种查表算法
- 选项：指定处理器、编译器的组合优化

代码的可靠性

- 一致的代码
- 自动报表文件生成（HTML）

dSPACE Data Dictionary 数据字典

- 一致的数据管理，独立于任何模型划分
- 适合于大型工作组里的大范围 ECU 开发项目
- 用户可以定义数据结构类型并声明相应变量

模块

- TargetLink Base Module 基础模块
- TargetLink Module for Operating Systems - OSEK 用于 OSEK 的模块
- Target Optimization Modules 用于特定处理器和编译器的优化模块
- Target Simulation Module 用于处理器在环的仿真模块

TargetLink Blockset Stand-Alone 独立运行块

- 无需 License 可以按装在任意一台 PC 机上
- 兼容 Real-Time Workshop 和所有的 dSPACE 硬件

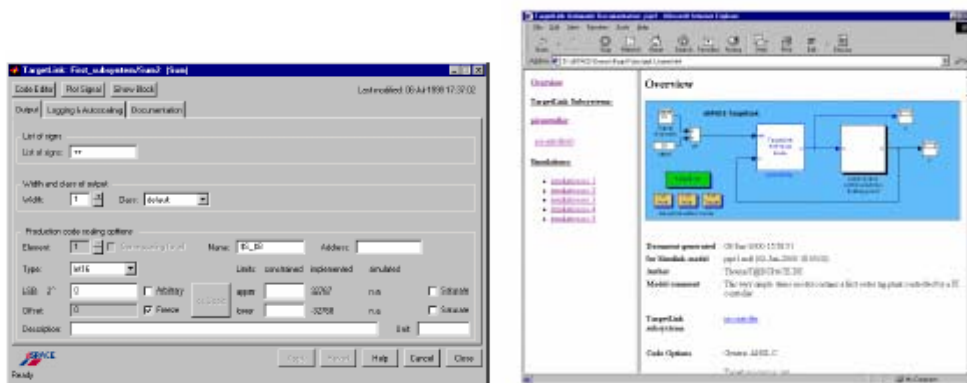
- 快速原型和代码实现可以用同一模型无需转换

其他特点

- 用户特定代码格式：文件和函数头文件和注释行等
- 代码覆盖度分析：动态的分析代码执行过程
- 累增代码生成：通过只生成被改动的子系统来加速代码生成

代码的质量

- 符合 ISO/IEC 15504（SPICE）的开发流程
- 多数遵循 MISRA C 标准（汽车工业标准）



目前 TargetLink 支持以下 CPU 的部分主流型号有:

- Motorola M683xx
- Motorola HCS12
- Motorola MPC5xx
- Infineon C16x
- Infineon TriCore
- Hitachi SH2
- Hitachi H8S/26xx

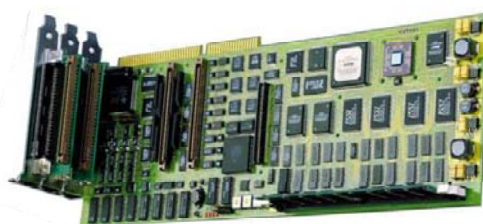
3.2 dSPACE 硬件

3.2.1 智能化的单板系统

3.2.1.1 DS1103 PPC 控制器板

现代控制器的功能越来越复杂，这就要求在投入生产之前对控制器进行详尽的优化设计。这一优化过程需要有功能强大的硬件开发平台做支持。

为满足这一要求，dSPACE 推出了 DS1103 PPC 控制器板，这是迄今为止所有单板系统中功能最强大、I/O 最丰富的开发系统。为了不给开发带来任何限制，DS1103 使用了 PowerPC 处理器来进行浮点运算（400MHz）。



对于新型控制器的开发而言，dSPACE 的单板方案是功能强大而又可以信赖的工具。单板方案提供了控制器方案设计、代码生成和下载所需的一切，使 RCP 更加方便易行。

DS1103 PPC 控制器拥有大量 I/O 接口，使其可以满足 RCP 的要求。DS1103 PPC 控制器板除 36 路 ADC、8 路 DAC 以外还配有数字 I/O。同时，DS1103 PPC 控制器板还集成了一个以 TI 公司的 TMS320F240 DSP 为核心的 I/O 子系统，可用来满足特殊的 I/O 要求。这种 DSP 可提供三相 PWM 信号发生器，尤其适于驱动方面的应用。

DS1103 拥有 6 路数字增量编码器接口，可以方便地应用于机器人的设计。DS1103 还有一个测速控制器，可用来对数字或模拟增量编码器位置信号进行解析，这使其可以应用于电气驱动控制。

DS1103 还集成了 Simens 的 CAN 控制器，使其也可以适应汽车及自动化方面的应用。

DS1103 可以方便地插入 PC 机中。由 PC 机负责提供电源，完成程序下载。所有的实时计算都是由 PPC 控制器板独立执行。只有 dSPACE 的试验工具软件并行运行于主机上。

技术特性：

主处理器:

- Motorola PowerPC 604e/400MHz
- Superscalar 微处理器
- 10.1 SPECfp95, 15.9 SPECint95
- 3 个整型单元, 1 个浮点单元
- 2 个片内定时器单元
- 32Kbyte 指令缓存
- 32Kbyte 数据缓存
- 快速无序指令执行 (Fast out-of-order instruction execution)

定时器: 2 个通用定时器

存储器:

- 2MByte 局部 SRAM, 程序存储器, 缓存, 无等待状态
- 128Mbyte 全局 DRAM, 用于存储数据及与主机进行数据

中断电控单元:

- 主机中断, CAN 中断, 从 DSP 中断, 串口中断, 增量编码器中断, 4 路外部中断
- PWM 同步中断

模拟输入 (ADC):

- 16 路 16 位通道 (4-1 多路输出, 4 采样保持单元), $4\mu s$ 采样时间 (250KHz)
- 4 路 12 位通道, 采样保持, 800ns 采样时间 (1.25MHz)
- 输入电压范围: $\pm 10V$
- $>65db$ 信噪比

模拟输出 (DAC):

- 8 路 14 位通道
- 典型建立时间: $5\mu s$
- 输出电压范围: $\pm 10V$

数字 I/O

- 可独立编程通道
- 4 通道 8 位数字 I/O 口

增量编码器子系统:

- 6 通道数字输入
- 数字噪音滤波器
- 最大 1.65MHz 输入频率, 例如四倍脉冲计数频率能达:6.6MHz
- TC 3005H:带有附加模拟输入

串行接口:

- 支持 RS232、RS422 收发器
- 最大 1Mbaud 的波特率

CAN 接口:

- Siemens 80C164 微处理器
- ISO 11898 收发器
- 时钟频率发生器
- 4Kword 双端口存储器

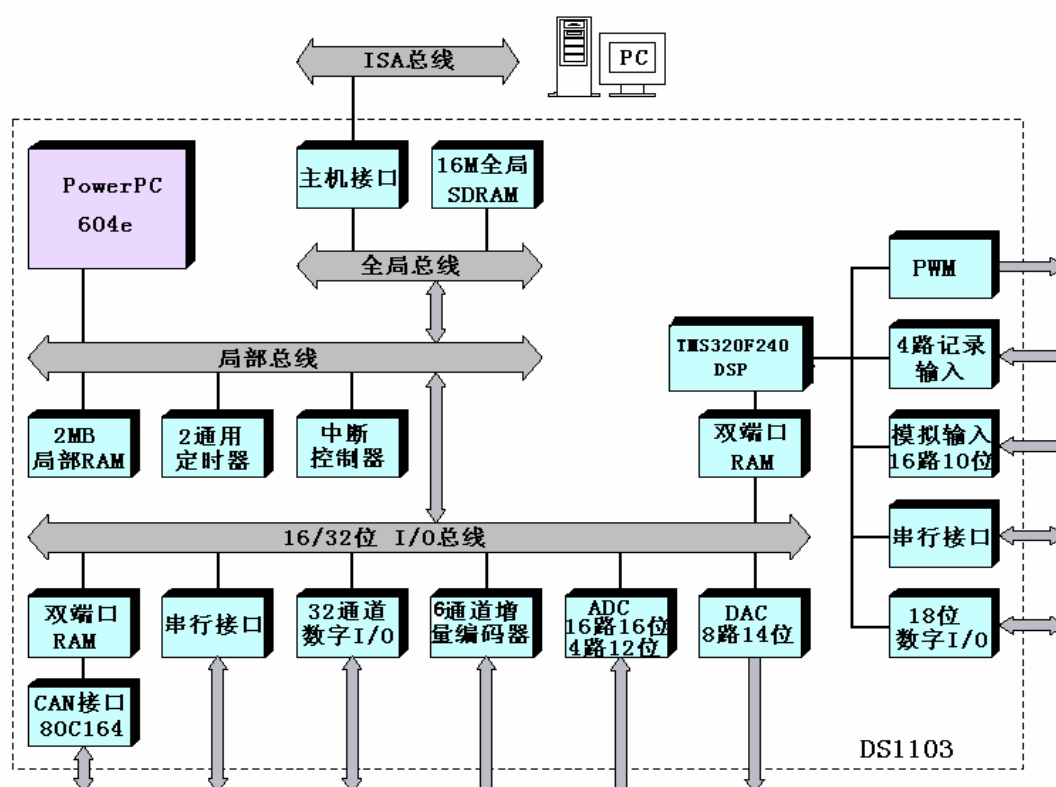
从 DSP 子系统:

- TI 公司的 TMS320F240 DSP, 20MHz, 为电机控制而设计
- 独立子系统
- 4Kword 双端口 RAM
- 支持对称及非对称 PWM 和空间矢量调制
- 三相 PWM 输出, 外加 4 路单 PWM 输出
- 4 路记录输入
- 2 个 ADC 单元, 每单元 8 路输入, 10 位, 采样保持, 6.6 μ s
- 18 位数字 I/O(TTL),可单独编程

物理特性:

- 供电:5V,6A;-12V,250mA;+12V,750mA

- 过温传感器
- 16 位 ISA 总线插槽
- 支持即插即用 (Plug&Play) BIOS
- I/O 接口: 3×100 SUB-D 型接插键 (High-density) 共占用三个 ISA 插槽
- 可与 I/O 端子板相连: CLP1103(带指示灯)及 CP1103



3.2.1.2 DS1104 PPC 控制器板

DS1104 是新开发的用于快速控制原型的单板硬件，它使得你的 PC 机拥有强有力的开发系统。基于 PowerPC 技术的实时硬件以及丰富的 I/O 接口提供了用于解决不同工业领域的控制器的开发更理想的方案。新板 DS1104 控制器板价格低廉，使得它成为一套既适用工业开发又适用大学研究极好的开发系统。

它拥有 dSPACE 原型板所有的优点：完全的图形化的设计， Simulink/Stateflow 建模和

实验管理软件，而且仅占用一个 PC 机的 PCI 插槽。

技术特性:

主处理器:

- MPC8240, PowerPC 603e/250MHz
- 32kByte 内部缓存



定时器

- 1 个采样率定时器，32 位 downcounter
- 4 个通用定时器，32 位
- 用于时间测量的 64 位时间基

存储器:

- 32MByte 同步 DRAM(SDRAM)
- 8MByte 程序存储器，缓存

终端控制单元:

- 定时器中断，串口中断，从 DSP 中断，增量编码器中断，ADC（模拟输入）中断，主机中断以及 4 路外部中断
- PWM 同步中断

模拟输入:

- 4 路 ADC 输入，16 位
- 输入电压范围: $\pm 10V$
- 2 μs 采样时间
- >80db 信噪比
- 4 路 12 位 ADC 通道
- 输入电压范围: -10V~+10V
- 800ns 采样时间

模拟输出 (DAC)

- 8 通道 16 位，最大设置时间:10us
- 输出电压范围：±10V

增量编码器界面：

- 2 个数字输入，TTL 或 RS422
- 24 位数字增量编码器
- 最大 1.65MHz 输入电频，例如四倍脉冲计数频率能达:6.6MHz
- 传感器供电电压 5V/0.5A

数字 I/O：

- 20 位数字 I/O
- 输出电流±5mA

串行接口：

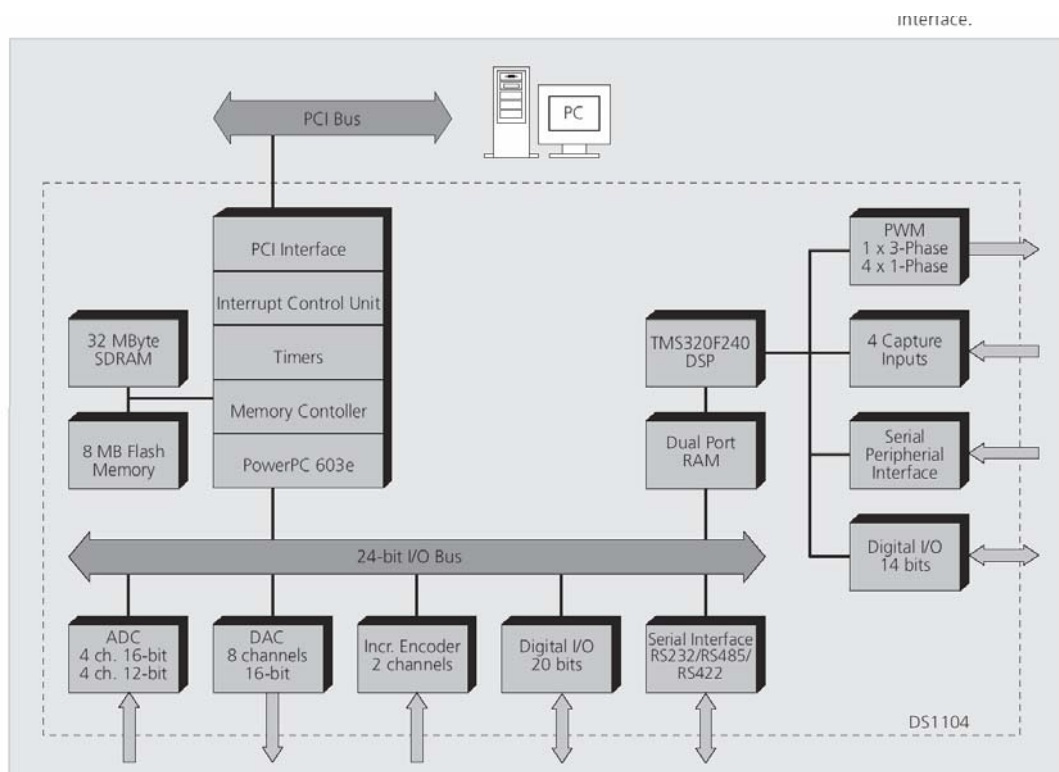
- 支持 UART（RS232，RS485 或 RS422）收发器

从 DSP 子系统：

- TI 公司的 TMS320F240 DSP
- 4Kword 双端口 RAM
- 三相 PWM 输出，，外加 4 路单 PWM 输出
- F/D 和 D/F，各 4 路
- 14 位数字 I/O（TTL）

物理特性：

- 供电：5V,2.5A / -12V,0.2A / 12V,0.3A
- 32 位 5V，PCI 插槽

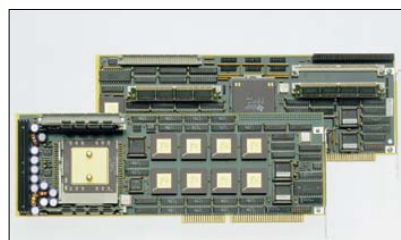


3.2.2 标准组件系统

3.2.2.1 处理器板 (Processor Boards)

3.2.2.1.1 处理器板概述 (总线和中断)

dSPACE 系统的基本出发点是将实时系统和提供用户接口的系统完全分开。无论主机的要求多么复杂，也无论使用的是何种操作系统,dSPACE 实时硬件都能保证满足每一采样周期的准确时间要求。



所有的 dSPACE 标准组件板都必须至少配置一块处理器板。所有的 dSPACE 标准组件系统都是以 DS1005 或 DS1006 为核心构造的。处理器板通过高速 32 位总线 (PHS 总线) 提供到 I/O 板的接口，通过 ISA 总线到主机的硬件接口。

I/O 总线接口：

32 位 PHS 总线（Peripheral high-speed bus）的特点正是实时控制系统所不可缺少的。

- 保证 I/O 访问时间：不存在其它多 CPU 总线系统中存在的等待时间。对 I/O-处理器通讯而言总线处于开放状态。由于 PHS 总线是专门为实时应用设计的，不存在其它利用外部传输协议的总线所存在的内含软件问题。
- 所有板均由 dSPACE 精心测试：这就保证了所有的硬件板和系统都能合作默契，不存在任何兼容问题。

PHS 总线物理参数：

- 32 位总线
- 传输速率：20Mbytes/s
- 每一处理器板最多可与 16 块 I/O 板相联
- 每一处理器板最多可同时处理 8 个 I/O 板来的 64 个中断
- 通过同步线使能几个板上的若干通道同时进行数据的输入/输出（I/O 板应支持此功能）

为 I/O 总线上的外部中断提供软件支持：

利用 PHS 总线中断库可以有效扩展 dSPACE 板的中断处理能力。该 C 语言库提供中断初始化函数、中断使能/禁止函数、中断结束函数。所有 dSPACE I/O 板均可使用这些函数，包括 ECU 接口用的特定 I/O 也可以使用这些函数。

比如说用来进行中断处理功能，只需制定中断处理函数的名称，产生中断的 I/O 板及中断在接受板上的中断号即可。初始化函数即可对处理器板和 I/O 板进行中断处理器编程。

PC 总线接口：

dSPACE 实时系统硬件和 PC 机之间通过 PC 总线接口进行数据传输。PC 机扮演智能终端的角色：作为 ControlDesk 和 MotionDesk 的图形平台；作为 MATLAB 与 MLIB/MTRACE 组合的前置和后置处理。

由于主机程序不包含在闭环中，所以实时系统和 PC 之间的数据传输没有准确的时间要求。通常情况下，从实时系统向主机传输数据所需的时间与 PC 机的计算时间（如：图形绘制）相比几乎可以忽略不计。

dSPACE 板和主机之间的接口是通过 ISA 总线或 Ethernet 完成的。通过将 dSPACE 处理器板上的全部内存映射到 PC 内存中，使主机能够访问 dSPACE 处理器板上的所有内存。

3.2.2.1.2 DS1005 PPC 板-处理器 POWER PC750FX, 800MHz

DS1005 PPC 处理器板在 I/O 管理能力及数字运算能力都非常强，运算能力可达 12.6 SPECfp95，21.8 SPCEint95。其组成多处理器系统的 CPU 之间的数据传输速率 >1.25Gbit/S。

利用 MATLAB/Simulink 及 dSPACE 的实时接口库 (RTI-1005MP) 可轻松完成对 DS1005 的编程。在 MATLAB/Simulink 环境下，无需写任何一行代码就可以增减并设置与 DS1005 板相连的所有 I/O 板。代码的生成、编译和下载简化为鼠标的轻轻一点。对于那些直接用手编写 C 代码，dSPACE 提供用来进行初始化和访问 I/O 的基本 C 函数。在调试器、编译器和下载软件的帮助下同样可以完成代码向 DS1005 板的下载。

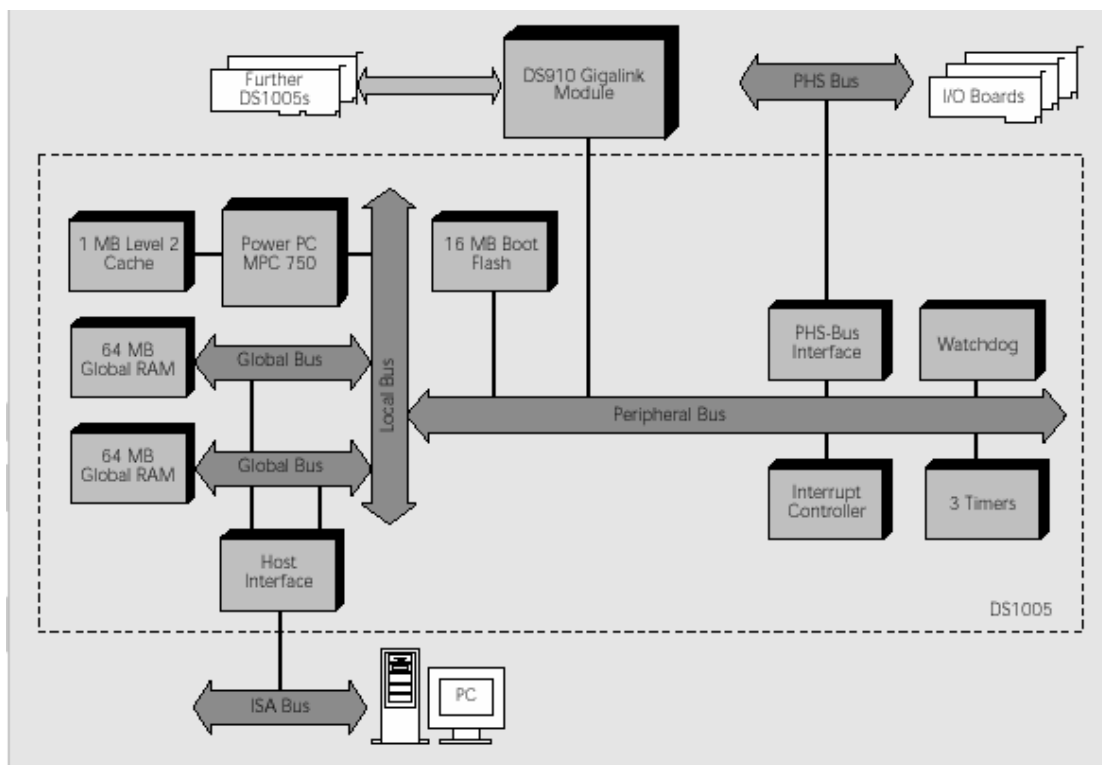
技术特性:

处理器:

- Motorola 公司的 PowerPC750FX (800MHz)
- 2KWords 的片内数据缓存及 32KWords 的片内指令缓存
- Superscalar (最多 4 路并行指令)
- 12.6 SPECfp95, 21.8 SPCEint95

存储器:

- 1MByte 二级缓存
- 16MByte 闪存
- 128M SRAM 主存储器

**PHS 总线接口:**

- 32 位同步 I/O 总线
- 20Mb/s 传输速率，对新的 I/O 接口板提供 30Mb/s 传输速率
- 多至 64 个 PHS 总线中断
- 用于所有 I/O 板并行采样及更新的同步线

并行处理: (选件)

- 需 DS910Gigalink 模块
- 高速光纤接口，传输速率>1.25Gbit/S
- 最大可连 20 个处理器板
- 光缆长度最大能达 100m
- 4 条双向连接通道
- 实时中断处理

计时器及中断:

- 两个通用定时器

- （多处理器系统）时间同步单元

- 中断控制器

串口：

- 标准 UART RS232 接口

物理特性：

- 供电：5V/4A
- 16 位 ISA 总线插槽

3.2.2.1.3 DS1006 PPC 板-处理器 X86 处理器，2.2GHz



DS1006 处理器板是 dSPACE 公司新推出的，目前在用于快速原型（RCP）和半实物仿真（HIL）领域处理速度最快的处理器板。它采用了 64 位 Opteron 处理器，主要用于处理诸如动力系统和虚拟车辆等复杂的、大型的、对处理性能要求极高的模型。

技术特性：

- 将 x86 处理器技术应用于 RCP 和 HIL
- 采用 AMD Opteron-248 处理器，主频 2.2GHz
- 完全支持 Simulink 模型
- 通过 PHS 高速总线可以与所有 dSPACE I/O 板连接
- 多个 DS1006 处理器板间通过光纤连接

DS1006 板采用了 2.2 GHz AMD Opteron-248 作为主处理器；该处理器是业界第一款采用了 64 位 AMD64 技术的 x86 处理器产品，它的内部集成了一个 1MB 的 L2 cache，突破内存瓶颈。DS1006 处理器板上集成了一个 256MB 的本地存储器用于运行实时模型，一个 128MB 的全局存储器用于和上位机进行数据交换；另外，用户还可以根据实时应用的需要

加上一块 2MB 的板上启动 flash 存储卡（可选件），以使 DS1006 处理器板具有自启动功能。

,

DS1006 板卡支持多处理器应用。用户可以根据需要把两块或多块 DS1006 处理器板通过光纤连接起来组成一个性能更高的（需要 DS911 Gigalink 模块），多处理器之间同步运行的系统。

DS1005 与 DS1006 的选择问题：

在需要较高的采样速率和大量的 I/O 处理能力情况下 DS1005 是个更好的选择。

当仿真模型对处理器计算能力要求非常高并且 I/O 数目相对少、采样速率更高的情况下 DS1006 是个更好的选择。

HIL 实时仿真通常要求 1ms 的采样时间，Tesis DYNAware 的 6 缸汽油机模型 en-DYNA 和动力学模型 ve-DYNA 在 DS1006 上运行时间都只需要 0.15ms，并且这 0.15ms 还包含计算和 I/O 信号处理以及 CAN 通信。因此，对于 1ms 的限制，硬件卡仍能保留 85% 的处理能力将来运行更复杂的模型。在 DS1006 上运行发动机模型只需要 0.034ms 的时间，如此高的速度能够实现非常小的仿真步长，这对于一些特殊的应用场合及其有利，如一级方程式赛车 HIL 仿真中发动机和车辆动力学仿真通常的采样时间只有 0.25 到 0.5ms。

技术细节

处理器

- AMD Opteron 248 (2.2 GHz)
- 64 kB L1 数据cache, 64 kB L1 指令 cache
- 1 MB L2 cache
- Cache 按处理器时钟速率运行

内存

- 256 MB DDR SDRAM 本地内存用于应用程序和动态应用数据
- 128 MB SDR SDRAM 全局内存用于与主机交换数据
- 主机可访问全部全局内存
- 板上 2 MB 的闪存用于自启动

PHS 总线接口：

- 可以与原有 I/O 板相连
- 32 位同步 I/O 总线

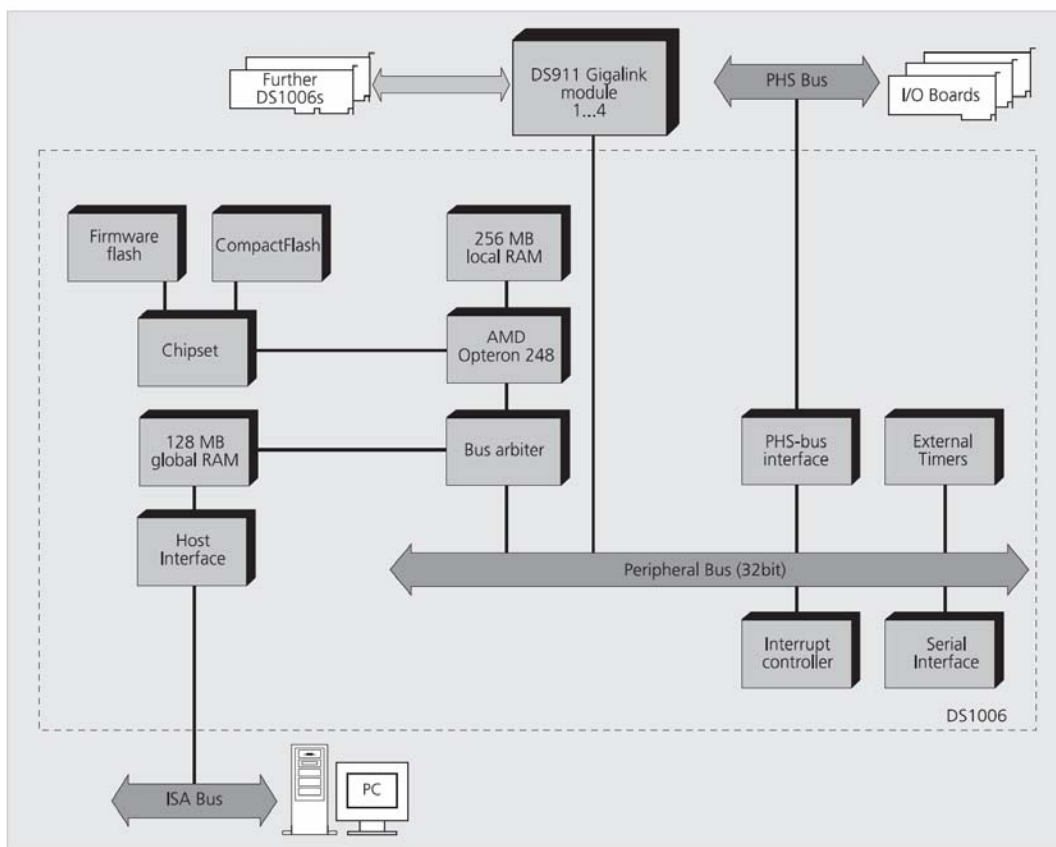
- 20Mb/s 传输速率，对新的 I/O 接口板提供 30Mb/s 传输速率
- 多至 64 个 PHS 总线中断
- 用于所有 I/O 板并行采样及更新的同步线

计时器及中断：

- 三个通用定时器
- （多处理器系统）时间同步单元
- 中断控制器可实现多达 20 个中断缘控制

并行处理：（选件）

- 需 DS911Gigalink 模块
- 高速光纤接口，传输速率>1.25Gbit/S
- 最大可连 20 个处理器板
- 光缆长度最大能达 100m
- 4 路双向连接通道
- 实时中断处理



供电

- ISA 总线: +5 V $\pm 5\%$, 2.0 A
+12 V $\pm 5\%$, 0.5 A (不连DS911模块)
+12 V $\pm 5\%$, 1.5 A (连DS911模块)

- CPU电源接头: +5 V $\pm 5\%$, 18 A

物理特性

- 需要三个16位全长的ISA插槽
- 与DS911和DS814连接的时候不需要更多ISA插槽
- 温度范围0 - 40 °C (实验室使用)
- 配合PX10和PX20在测试台架上使用
- PX10 可放置一个DS1006, PX20中可放置2个DS1006

3.2.2.2 I/O 板

为了满足快速控制原型及硬件在回路仿真的需求，dSPACE 提供了系列 I/O 板可供选择。

3.2.2.2.1 简单 A/D 和 D/A 转换

对 A/D 和 D/A 转换而言，可以在不同的通道数、分辨率及速度之间进行选择。

A/D 转换板	通道数	分辨率	采样时间 (2 通道)	采样时间 (所有通道)	板号
高速 A/D	5 in	最大 16 位	5 μ s(16 位)	5 μ s(16 位)	DS2001
多通道 A/D	32 in	最大 16 位	5 μ s(16 位)	93.5 μ s(16 位)	DS2002
多通道 A/D	32 in	最大 16 位	5.7 μ s(16 位)	72.5 μ s(16 位)	DS2003

D/A 转换板	通道数	分辨率	建立时间	板号
D/A	5 out	12 位	3 μ s	DS2101
高分辨率 D/A	6 out	16 位	1.6 μ s	DS2102
多通道 D/A	32 out	14 位	10 μ s	DS2103

3.2.2.2.2 Multi-I/O

Multi-I/O 板	通道数	分辨率	采样时间 (2 通道)	采样时间 (所有通道)	板号
A/D	20 in	12 位	34μs	39.4μs	DS2201
D/A	8 out	12 位	建立时间: 6μs		
Bit I/O	16 in/out	I/O 方向可按位选择			
	通道数	定时器	PWM(分辨率)	频率(分辨率)	
Timing I/O	2in;4out; 2 in/out	16 位	Ready-to-use OUT (40ns)	Ready-to-use IN/OUT (160ns)	

Multi-I/O 板						板号
Multi-I/O 板	通道数	分辨率	特性			DS2211
A/D	16 in	14 位	0—60v 转换时间: 16 通道最大 2μs			
D/A	20 out	12 位	0-10v,5mA,建立时间: 20μs			
Bit I/O	32 in/out	16 in/out				
	通道数	定时器	PWM(分辨率)	频率(分辨率)		
Timing I/O	8in;9out;	16 位	Ready-to-use in/out (50ns)	Ready-to-use in/out (50ns)		
基于角度的信号	<ul style="list-style-type: none">● 基于角度信号处理单元● 曲轴信号输出 1 通道● 凸轴信号输出 2 通道● 爆震信号输出 2 通道● 点火信号输入 8 通道● 喷射信号输入 6 通道					
其它	<ul style="list-style-type: none">● 2 路 CAN● 串行口(RS232,RS422)● 电阻输出(10 通道)					

3.2.2.2.3 增量编码器接口

增量编码器接口板	通道数	功能描述	板号
数字量接口	5 in	记录数字增量编码器信号	DS3001
数字/模拟量接口	6 in	记录数字/正弦增量编码器信号	DS3002

3.2.2.2.4 定时及数字 I/O

定时/数字 I/O 板	通道数	定时器	PWM(分辨率)	频率(分辨率)	
-------------	-----	-----	----------	---------	--

Timing I/O	8 in/out	30 位	Ready-to-use IN/OUT (200ns)	Ready-to-use IN/OUT (160ns)	DS4002
数字 I/O	32 in/out	24in/out,4in,4out			
数字 I/O	96 in/out	每 8 位一组可编程			DS4003
数字波形记录	16 in	32 位	Ready-to-use IN (25ns)	Ready-to-use IN (25ns)	DS5001
数字波形输出	16 out	32 位	Ready-to-use OUT (25ns)	Ready-to-use OUT (25ns)	DS5101

3.2.2.2.5 复杂模拟信号及阻型传感器

复杂模拟信号板	通道数	功能描述		板号
DDS	6 out	产生传感器仿真信号		DS2302
Bit I/O	36 in/out	I/O 方向可按位选择		
Timing I/O	6 out	Read-to-use PWM 输出	Read-to-use 频率 输出	
阻型传感器仿真板	4 out	仿真阻型传感器,如:温度传感器 (10Ω-500KΩ)		DS2401

3.2.2.2.6 其它 I/O

其它接口板	通道数	功能描述	板号
原型板		将用户器件集成于 dSPACE 系统	DS4201
串行通讯	4 in/out	串行通讯接口(RS422,RS485,RS232)	DS4201-S
ECU 接口		到用户 ECU 的接口	DS4121
CAN 接口		到 CAN 总线的接口	DS4302
MIL-STD-1553 接口		到 MIL-STD-1553 总线的接口	DS4401

LIN 接口	16	到 LIN 总线的接口	DS4330
ARINC429 接口		到 429 总线的接口	DS4501
Ethernet 接口	1	到以太网（UDP/IP）的接口	DS4502E

3.2.2.2.7 DS2211 HIL I/O 板



- dSPACE Simulator所需的基本I/O硬件
- 完全适用于所有硬件在回路仿真需要
- 是发动机、动力系统和车辆动力学应用的最佳产品
- 可模拟、测量多达8缸的发动机的所有信号(级联可实现更多缸数)
- 支持的汽车信号电压高达42V
- 支持双电源系统

在有些特殊的应用中我们就需要特殊的解决方案，尤其是在进行汽车电子的硬件在回路仿真研究时更是如此。而DS2211 HIL I/O板就是为模拟和测量汽车信号而专门设计的。该板上不仅集成了HIL 所需的各种I/O信号，而且支持的信号电压高达42V。DS2211 HIL I/O板是新推出的一款核心I/O板卡，适用于所有dSPACE 仿真机。由于DS2211的卓越的性能，可以预见，它将逐渐替代近年来被业界公认的功能最强、最成功的DS2210硬件在回路I/O板，从而成为业界新的主流板卡。DS2211与DS1005 PPC处理器板结合即可组成一个dSPACE仿真机的核心。DS1005 PPC处理器板担负实时模型的解算工作，比如运行一个发动机模型，此时DS2211就为该模型提供测量、仿真所需的的所有信号。当两块或多块DS2211联合使用时，仿真机就可以仿真从8缸到16缸、甚至更复杂的模型。

角度同步信号

DS2211 HIL I/O板有一个角度处理单元，它可以快速产生和测量曲轴转角相关信号，以满足仿真转速高达29,000转 / 分的发动机的需要。如果需要更多的I/O，可以把几块DS2211板卡级联使用。把他们的时间基准连接器连接起来后就可以对角同步进行操作。其中一块DS2211板担任角度主处理器，其他板卡读取它的时间作为基准，然后进行信号产生和角同步操作。其它类似的应用在dSPACE板卡中也有，比如将DS4002数字信号I/O板和DS5001数字波形记录板的时间基准相连。

软件支持

通过RTI软件对I/O进行设计和连接很简单。所有的I/O，包括角度处理单元，都可以在Simulink图形化设计环境中完成。当需要与CAN接口连接时，在Simulink中还需要RTI CAN模块支持。该模块的CAN控制器提供了对话窗口，用来设置模块的接收和发送模式。

技术特性：

基于角度的信号

- 基于角度的处理单元(APU)，角度分辨率为0.011°，速度范围为 0~ ±29,000转 / 分，速度分辨率为0.112转 / 分，6个中断通道。
- 使用6个独立的中断，可以将发动机设置为任意位置，角度增益为0.01度。
- 曲轴信号输出1通道（可编程模拟和数字波形）
- 凸轴信号输出4通道（2路可编程模拟和数字输出，2路仅有数字输出）
- 爆震信号输出4通道,一个周期内最高可达8通道（基于TI TMS320VC33 DSP）
- 点火信号输入8通道（7、8通道被PWM输入信号共享），每个通道的每次采集中允许存在最多16个脉冲
- 8通道喷油信号输入，每次采集最多16个脉冲信号
- 对点火和喷油信号的复杂比较功能的支持

模拟输入

- 16路14位A/D
- 输入电压范围0–60 V
- 差分输入
- 每通道最长转换时间20 μ s

模拟输出

- 20路12位
- 输出电压范围 0–10 V
- 输出电压幅值5-10V
- 传感器线与系统接地差分输出范围-10V ~ +12 V
- 5mA电流输出通道
- 4通道转速或爆震信号发生器（TI TMS320VC33 DSP）附带4路模拟波形输出（没有传感器线， ± 10 V）

数字I/O

- 输入电压范围0–60 V
- 输出电压范围 5–60 V (由外部供电决定)
- 16路数字输入（功能上可以定义为PWM）
- 8路专用PWM输入（2针与喷射输入信号共享），分辨率50 ns
- 16路数字输出
- PWM 输出9通道，16位分辨率，推挽输出，最大 ± 50 mA
- PWM输入输出通道可用于F/D 和 D/F
- 支持2V电压数字输出，可选Pin方式

通讯接口

- 2路CAN接口，基于SAB 80C167
- 串行接口 (RS232, RS422)
- 串行接口基于爆震处理器(TMS320VC33 DSP)，以便于与DS2302自主信号发生器板相连

电阻信号

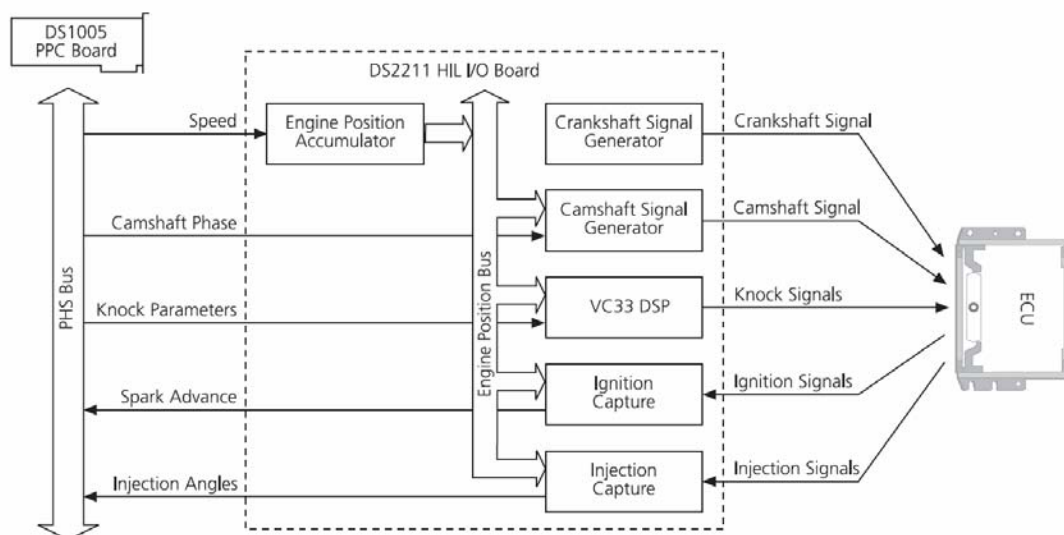
- 10通道电阻输出，分辨率16 位，15.8Ω到1 MΩ
- 电压范围±10V
- ±80 mA, 最大250 mW

物理特性

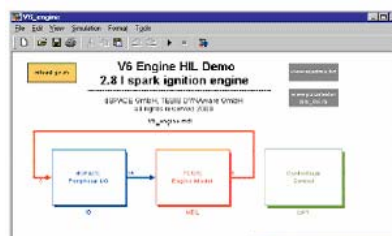
- 支持的电压+5 V, 2 A / +12 V, 0.25 A / -12 V, 0.35 A
- 全长ISA卡
- 需要3个ISA插槽（供电和I/O连接）
- I/O连接方式为 2 x 100 针连接器和一个50针的D型头

应用案例:6缸发动机HIL仿真

DS2211与DS1005 PPC板可以组成一个紧凑且功能强大的dSPACE硬件在回路仿真器。该仿真器是性能和系统仿真强有力的工具。在下面的例子中，DS1005用于发动机模型解算，并负责把所有解算后的数据发送给DS2211(比如，发动机速度、凸轮轴角度以及发动机爆震参数)。DS2211通过一个发动机位置寄存器，并根据当前的发动机速度不断地计算出发动机当前的位置。由于角度分辨率为16位，发动机速度分辨率能达到0.111转 / 分，由此计算出的发动机位置参数就成为进一步计算其他信号的依据。

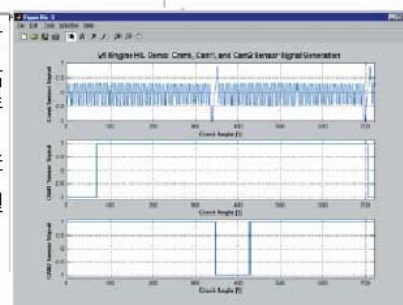


该模型运行在 DS1005 PPC 板上，而 DS2211 起激励 I/O 的作用



基于发动机的位置和其他模型的参数，DS2211 HIL I/O板可以生成所有需要的信号（例如，曲轴、凸轮轴、和爆震信号）。

当仿真复杂的发动机时，为了便于ECU处理，这就要求系统具有更高的实时性。在并行工程中，DS2211读出ECU的响应进行仿真（例如，点火和喷信号），并进行预处理，以便于在DS1005上进行实时模型运算。



仿真曲轴和凸轮轴的信号

应用案例：仿真12缸的EVT发动机

要对12缸48阀电磁阀组的发动机进行硬件在回路仿真的确是一个挑战，尤其要考虑大量的I/O问题更是如此。发动机ECU共生成12路喷射信号和12路点火信号。另外，12个缸各需要4路阀信号来控制电磁阀触发器。因此，在仿真发动机的过程中需要同步捕获72路来自于ECU的角度信号。

DS2211 HIL I/O板卡就是专为诸如上述应用要求而设计的。该板卡可以与其它专业的角同步处理板卡结合使用。在这个案例中，dSPACE仿真系统硬件是由多块DS2211板和3块DS5001数字波形记录板组成。DS2211板卡的任务是采集每个缸的喷射和点火信号（每个缸有6~8路信号）。在几块DS2211板中有一块板卡是角度主处理器，以便于所有产生和采集的

信号都能够实现角度同步。

另外，对直喷汽油发动机进行仿真时，也会遇到诸如角度同步信号采集的问题。

3.2.2.3 附件 (Accessories)

3.2.2.3.1 大系统扩展盒 PX10/PX20

所有 dSPACE 板都是标准 8 位或 16 位 PC/AT 总线板，可直接插入 PC 机中。但当 dSPACE 系统较大时如包括 15 块甚至更多的 dSPACE 板，PC 机就没有足够的空间了。

PX10 和 PX20 扩展盒为用户系统提供 10/20 个槽用来插放处理器板和 I/O 板。扩展盒中还包括电源、风扇及接口电路。每一个扩展盒配有完整的接口电路：包括接口板和电缆。

有两种方式可将扩展盒与主机连接起来：

- 直接通过总线相连，每一个 PC 机可与四个扩展盒相连；
- 将扩展盒纳入 Ethernet 网。



3.2.2.3.2 接插键指示灯面板

用接插键面板可以方便地访问 dSPACE I/O 板上的输入输出信号。通过 BNC 接插键访问模拟信号，通过 Sub-D 接插键访问大多数数字信号。

指示灯面板用来指示数字信号的电平。



Connector/
LED Combi Panels
in Rack and
Desktop version

3.2.2.3.3 DS830 连接缓冲器板-连接远距离系统

对大的标准组件系统，可能需要把系统分装在几个 PX10/PX20 扩展盒中，这时，需要用 DS830 连接缓冲器板将几个扩展盒连接起来组成一个系统。

DS820 板允许将电缆长度从 30cm 延长到 100m。使用 RS-422-A 标准，提供一个接收器端口，一个发送器端口。

3.2.3 汽车内置系统

dSPACE 考虑到汽车用户要求车内电控单元空间体积小特点，开发了 AutoBox 和 MicroAutoBox。其中，AutoBox 可作为一种特殊的扩展盒，所有标准组件板均可插入盒内。而 MicroAutoBox 则是比 AutoBox 体积更小的一种特别系统，有自己独特的处理器及 I/O。特别适用于对大量汽车进行快速测试。

3.2.3.1 AutoBox-汽车内置试验扩展箱

在进行汽车内置试验时（如：发动机的驱动性或 ABS 控制器特性的测试）需要将处理器板、I/O 板装在汽车、飞机或火车内，这种安装必须具有结构紧凑，抗干扰性强等特点。

AutoBox 是一种专门为内置试验设计的工作平台。内部备有 7 个插槽（可增加到 14 个），可安装在车内任意位置。例如，可以将 AutoBox 安装在行李箱内，通过 Ethernet 与笔记本电脑相连。这样，就可以在驾驶室中通过试验工具 ControlDesk 来控制 and 观测试验。

通常情况下，并不希望每次试验都要从主机把代码下载到处理器板上。例如，专门的测试人员对驾驶舒适度及操纵性的测试只要一次下载就够了。在这种情况下，可以利用 AutoBoot 指令，无须人为干预，从插在 AutoBox 内的一块存储器板上自动引导，实现 AutoBox 的自启动。

技术特性：

框架：

- 7 个 16 位 ISA 插槽（2 个预留给接口板）

- 温控冷却
- 灰尘过滤器
- 紧凑型铝制外壳

供电:

- 135W, 8-100V DC
- 由汽车蓄电池供电
- Load-dump 保护: 最大 120V
- 遥控电源开关



Ethernet 接口 (TCP/IP):

- Slot-CPU 板 (80486DX-2/66MHz)
- AutoBox 用 Ethernet 板
- 主机用 Ethernet 板或 PCMCIA Ethernet Adapter
- Ethernet 电缆

物理尺寸:

- 尺寸: 195mm×200mm×440mm
- 重量: 5.3Kg(包括内置板)
- 温度范围: -10-55℃

AutoBoot 选择:

- 允许在没有主机情况下, AutoBox 作为独立系统工作
- 包括一套硬件板: PCMICA 存储器板 (2Mbyte SRAM)
 - ◆ PCMICA carrier 板 (AuToBox 用)
 - ◆ PCMCIA carrier 板 (PC 用, 可选)
- 占用 AutoBox 一个槽

3.2.3.2 MicroAutoBox-车辆快速测试控制原型系统的最佳选择

- 具有可用于车辆的小型尺寸, 实时的硬件, I/O, 信号调理和飞行数据记录仪

- 具有自启动能力的独立系统
- 根据 FlexRay 和 CAN 和 LIN 的接口需求有三种的类型

尽管标准组件系统功能强大、适应性强，但是，在电控单元原型转为产品型 ECU 之前，需要用大量车辆进行快速测试，每一辆汽车中都需要装上相同的原型系统，这时，标准组件系统的体积就太大了，成本也太高，MicroAutoBox 就成了最佳选择。



MicroAutoBox 集成了开发阶段进行快速测试的所有特征。体积小，足可以安装在车内的任意位置。MicroAutoBox 采用独立工作方式，也可以通过 PCMCIA 和 ISA 接口与笔记本电脑相连。

MicroAutoBox 配备了一个强大的浮点处理器，充足的存储器空间，PC 接口和电源接口。系统中还为长时间的数据采集准备了一个飞行数据记录仪。用户的应用程序存储在非易失性存储器中，这使 MicroAutoBox 可以在系统上电后自动启动。MicroAutoBox 可与 PC 或便携式计算机临时性的连接起来以下载用户程序或进行数据分析，这一联接是可热插拔的。汽车上特定应用的 I/O 接口单元已一并包含在 MicroAutoBox 硬件系统中，系统中甚至还包括适于汽车工作电平的信号调理。用户可以根据需要从 MicroAutoBox 的两个标准型号中选择，它们仅是在 I/O 配置上有些差异。MicroAutoBox 的 I/O 配置一旦确定就不能再扩展，因此 MicroAutoBox 的 I/O 扩展能力不如标准组件系统强，因此不能代替基于 AutoBox 的原型系统。MicroAutoBox 的最大优点就在于其 I/O 可以按用户需求定做，从而可以很好地满足用户需求。

用 MicroAutoBox 进行完快速测试后，还可以用它来进行其他方面的工作，如：实现 Bypass 原型设计，协助完成原型 ECU 到产品型 ECU 的转换。

与其他原型实验系统有何区别？

- 尺寸小，功能强
- 用于车载测试和开发非常理想
- 具有自启动能力

	AutoBox 系统	MicroAutoBox	ECU
处理器	浮点，可升级	浮点	定点，目标类型
存储器	大，可扩展	大	有限
I/O	灵活，组件化	数量固定*	取决于应用程序，数量固定
信号调理	外部配备	内建	内建
几何尺寸	比较大	小	小
操作/运行	PC 或 PCMCIA 通讯， 可自启动	独立运行或 PC	独立运行
编程	容易	容易	困难

*可应用户进行调整

技术明细表

处理器

- PowerPC 750FX, 800MHz

存储器

- 2MB 主存储器
- 4MB 存储器，用于与便携机或 PC 机通讯
- 16MB 非易失性闪存，用于存储代码段和飞行记录数据
- 用于飞行记录数据时戳的时钟功能

定时器 (Timers)

- 采样定时器，用于主采样率 / 调度表
- 性能定时器，用于执行时间测量
- 具有比较寄存器的向上计数器

信号调理

- 信号调理，以适应车载设备电平，不含功率驱动（放大）设备
- 过电压保护

- 过电流和短路保护

与便携机或 PC 机的连接

- 与便携机或 PC 机的连接以进行程序下载，实验设定，信号监视和飞行记录仪数据读出
- 分开的连接端口
- 高速主机端接口（100Mbits/s）
- 支持 PCMCIA，PCI 和 ISA 方式的主机连接
- 电缆长度可延伸到 10 米

外壳

- 铸铝外壳
- 抗震
- 尺寸大约 200*225*50mm（7.9*8.9*2 in）
- 操作温度-40 到+85
- 无散热风扇
- ZIF 插头，用于 I/O 信号和电源连接

电源

- 最大功率消耗 20W
- 6-40V 电源输入
- 有过电压和电源反接保护

数字 I/O

- 由 683356 从处理器上引出的数字 I/O，20MHz，带有时间处理单元
- 16 个离散量输入
- 4 个共用的频率或 PWM 输入
- 16 个共用的离散量输入 / 输出
- 10 个数字量输出，5mA 输出电流
- 4 个 PWM 输出，2.5Hz—100KHz PWM 频率，占空比 0-100%，最高 16 位分辨率
- 用于不同应用程序的 I/O 软件支持

模拟 I/O

见后面的介绍

三种不同规格的 MicroAutoBox

为适应不同的应用，为用户提供最大的便利，dSPACE 的 MicroAutoBox 备有三种标准型号。

分 别 是 MicroAutoBox 1401 / 1501 和 MicroAutoBox 1401 / 1504 和

MicroAutoBox1401/1505/1506。

	MicroAutoBox 1401/1501	MicroAutoBox 1401/1504	MicroAutoBox 1401/1505/1506
CAN 接口	1 个双路 CAN 接口 共 2 个 CAN 通道	2 个双路 CAN 接口 共 4 个 CAN 通道	
串行接口	基于CAN处理器的串行口 1 x RS232 接口 1 x K/L-线或 LIN 接口合用	基于CAN处理器的串行口 1 x RS232 接口 1 x K/L-线或 LIN 接口合用	基于CAN处理器的串行口 2 x RS232 接口 2 x K/L-线或 LIN 接口合用
ECU 接口	双端口存储器接口, 16 K x 16-bit DPRAM	—	双端口存储器接口, 16 K x 16-bit DPRAM
FlexRay 接口	—	—	2个FlexRay控制器插槽 通常支持一个控制器（2通道）
模拟输入	16路12位通道 4到1多路开关 同时采样保持 所有通道的建立时间均为 6.7μs 0 – 5 V 输入电压范围	24路12位通道 4到1多路开关 同时采样保持 所有通道的建立时间均为 6.7μs 0 – 5 V 输入电压范围	16路12位通道 4到1倍多路开关 同时采样保持 所有通道的建立时间均为 6.7μs 0 – 5 V 输入电压范围
模拟输出	8路12位通道 0 – 4.5 V 输出电压范围 最大 5 mA	—	8路12位通道 0 – 4.5 V 输出电压范围 最大 5 mA
数字I/O	由 68336 从处理器上引出的数字I/O, 20MHz, 带有时间处理单元 16 个离散输入 4 个复用的频率或PWM输入 16 个时间处理单元通道TPU 16 个复用的离散量输入/输出 10个数字量输出, 5 mA 输出电流 4个 PWM 输出, 2.5 Hz – 100 kHz PWM频率, 占空比0 – 100%, 最高16位分辨率 用于不同应用程序的 I/O 软件支持		

振动和冲击测试

为明确在实际使用条件下的抗震性，对 MicroAutoBox 进行了极限振动测试。MicroAutoBox

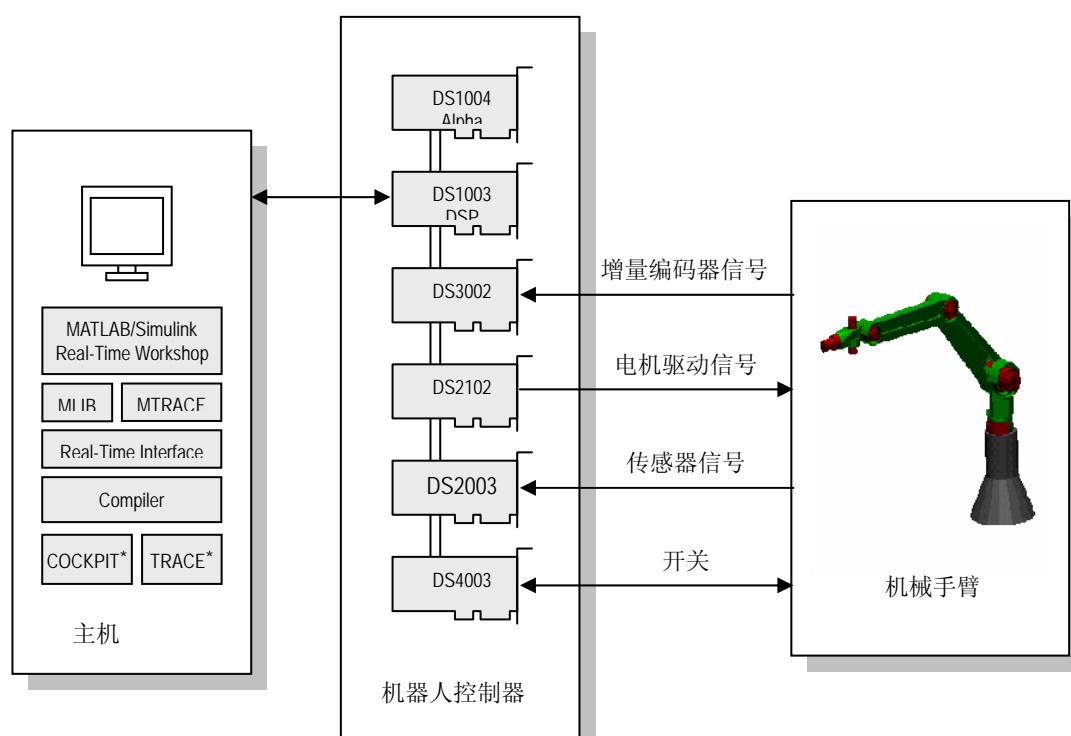
通过了 5g 的正弦波信号，从 5Hz 到 2000Hz 的扫频振动；以及 3 个轴向，峰值加速度为 15g 的冲击试验。实验中 MicroAutoBox 始终运行着实时代码，没有出现程序执行错误。

4 应用实例

4.1 机器人新型控制原理测试--用 μ -综合与分析法控制机械手

对控制系统性能日益增高的要求及现代控制系统设计方法的引入导致控制规律越来越复杂，而这些复杂的控制规律必须在实时数字控制器上才能得以实现。

某用户用 dSPACE 系统在实时条件下对机器人这一复杂非线性控制系统的不同控制方案进行了评估。在该例中，用户用 dSPACE 系统来设计和测试一 6-自由度机械手臂的轨迹跟踪控制。机械手的每一个关节是由一直流电机驱动的。用两个增量编码器来读取每一个关节的旋转角度。为实现较强的鲁棒性，用户使用了 μ -综合技术；并用 MATLAB 的 μ -综合与分析工具箱进行控制系统的设计。



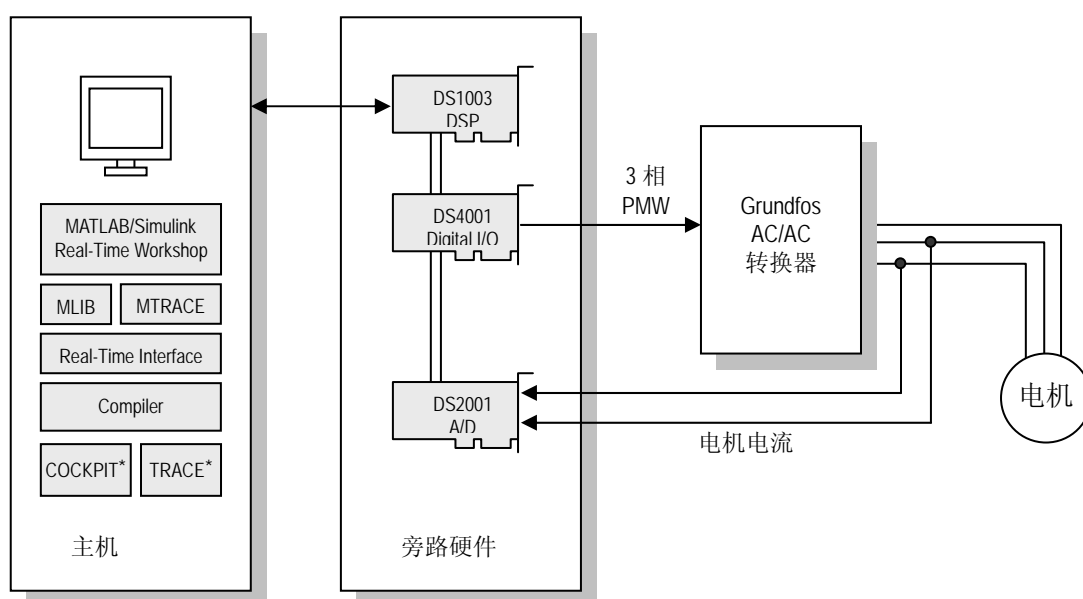
整个系统的结构如上图所示。dSPACE 系统由一块 DS1003 DSP 板，4 块 I/O 板和一块 DS1004 Alpha 板组成。其中，DS1003 DSP 板负责计算控制器算法；DS1004 Alpha 板负责产生复杂的动态轨迹；四个 I/O 板包括：DS3002 增量编码器接口板负责获得数字角度编码器信

号；DS2102 D/A 转换板负责产生各关节电机的驱动信号；DS2003 A/D 转换板负责读取传感器信号；DS4003 数字 I/O 板负责激励开关和查询开关状态。

试验结果表明，即使是在有额外负载的情况下，机械手臂也能成功地跟踪预定轨迹。如果没有快速的 I/O 硬件和高性能的处理器的，这一切都是不可能实现的。dSPACE 与 MATLAB 及其工具箱的无缝连接，使得用户可以测试不同控制器的鲁棒性并找出其中最适于控制机械手的控制器。利用 MLIB 和 MTRACE 则可以有效地实现对系统的自动辨识。

4.2 驱动方面的应用-验证 ASIC 控制器原理

丹麦的 Grundfos 是享有盛誉的泵产品制造商。他们利用 dSPACE 系统进行新型变频器（如 X3000）的设计和验证。



注：COCKPIT/TRACE 已由 Controldesk 代替

X3000 微型变频器的构思非常特别：将泵和电控单元结合在一起，但把尺寸却缩至最小。尽管尺寸小了，但却包括了标准变频器所应有的所有部件，除储能元件外，还包括了诸如启动冲量电路、晶体管桥电路、驱动电路、控制电路等。如此高的集成要求只能通过专用集成

电路（ASIC）和混成技术才能实现。但这些集成电路的调试却相当困难。因此，必须从一开始就进行非常严谨的设计。

Grundfos 用 MATLAB/Simulink 建立了一个完整的变频器模型，该模型包括了 X3000 的所有元部件。dSPACE 实时系统负责对新型控制策略进行验证和评估。通过 Simulink 对模型进行部分修改后就可下载到 dSPACE 硬件中。将 dSPACE 硬件与已有的控制器连接起来，由 dSPACE 硬件负责修改过的功能。使用这种旁路技术（Bypass）可使开发者进行各种严峻条件下的测试，并依此确定新的保护策略。dSPACE 还有助于消除仿真和实际硬件之间的差距，从而大大简化专用集成电路的开发过程。由于 dSPACE 与 MATLAB/Simulink 之间的无缝连接，可以轻而易举地对设计进行更改。

其应用结果是相当可观的。利用 ASIC 技术实现的集成变频器，无论是性能还是可靠性都得到很大改善，而费用却明显降低了。变频器的输出功率高达 14KW。

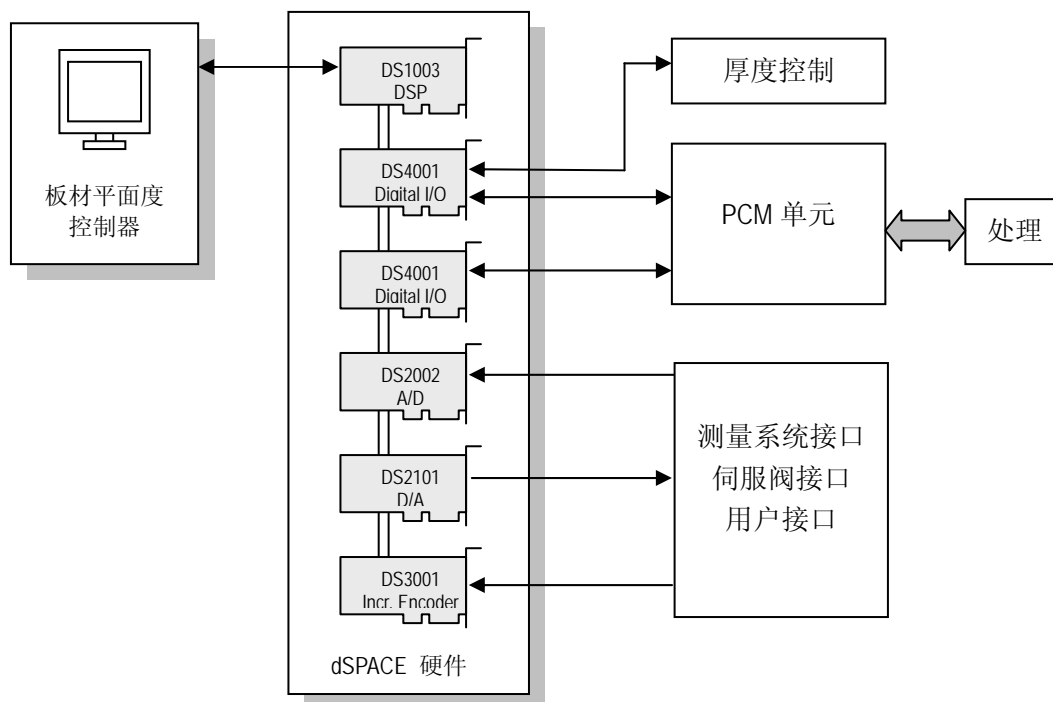
4.3 机械工程方面的应用—Achenbach Buschhüten 平面度控制

dSPACE 系统被广为采用的原因不仅仅是因为它强大的功能和灵活性，更主要的是由于它的可靠性。Achenbach Buschhüten 是世界著名的金属制材企业，加工生产包括铝、铜、锌、合金等各种板材，他们借助 dSPACE 系统进行板材的质量控制。这个应用实例很好地说明了 dSPACE 硬件的可靠性。

为了在轧制过程中获得良好和稳定的平面度，最为重要的是必须拥有一个快速的控制机制来实时调整轧制力。这个控制过程敏感度很高，对控制有严格要求，做得不好，轻则造成加工出来板材长短不一，重则造成工件材料严重破坏。

Achenbach Buschhüten 将压电传感装置安装在一个辊轮上用于测量压力值，通过电荷放大器，光学转换器和一个 PCM（脉冲编码调制器）控制单元把测量到的值送至 dSPACE 硬件。dSPACE 硬件负责处理所有的数字和模拟信号，计算新的设定值。这样，dSPACE 系统充当了一个高性能的控制器来控制执行机构，调整轧制间隙的大小。整个系统与一台 PC 机整装在一起，后者负责在线显示、统计、数据备份等工作。系统的模块化允许系统根据需要方便地进行调整。

整个应用充分体现了 dSPACE 系统的优越性，尤其是它的可靠性。采用了 dSPACE 技术的几年时间里，整个系统没有发生过一次故障，有效地控制了轧制质量。



4.4 航空航天方面的应用—Simona 开发飞行仿真器

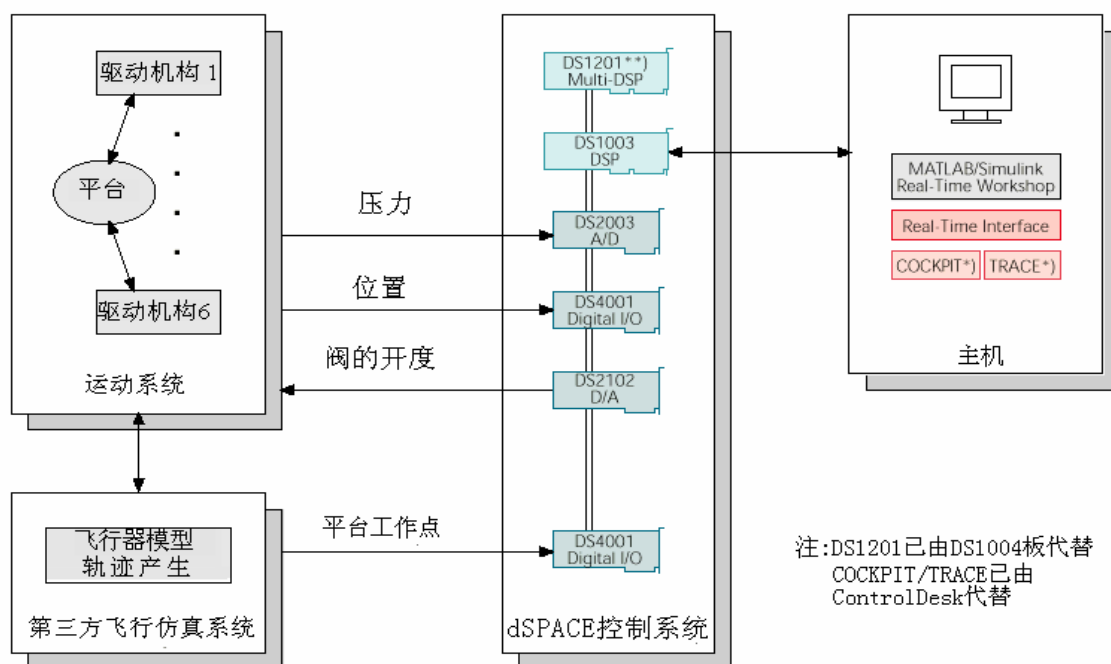
dSPACE 在航天技术方面最杰出的应用莫过于荷兰 Simona 公司的新型仿真器的开发。Simona 与大的飞行器制造商合作，在飞行器仿真器的开发上进行了探索和革新。目前他们的项目之一就是开发一个高科技的仿真器。仿真器完成之后，可以对极限飞行操纵性进行高精度的仿真。

整个仿真器由一个集成的运动系统构成，可使驾驶员座舱和显示仪表进行 6 自由度的运动。仿真器由六个并行液压驱动机构驱动。为获得较高的性能，需要复杂及功能强大的控制器。

Simona 选择了 dSPACE 来完成这些要求很高的任务。采用 dSPACE 的标准组件系统，用 DS1003 板做主处理器，而 DS1201 多处理器板负责计算控制器。主要输入信号为液压缸的

压力及缸体的偏移量。由 DS2003 A/D 板负责采集压力信号，DS4001 数字 I/O 板负责采集偏移量。多级控制算法是用 MATLAB/Simulink 开发的，因此可以方便地通过 Real-Time Workshop 和 dSPACE 的 Real-Time Interface 在 dSPACE 硬件中实现。控制算法负责计算液压阀新的工作点。再通过 DS2102 高分辨率 D/A 板将该值传送给液压驱动机构。

MathWorks 公司的产品和 dSPACE 公司的产品联合工作，就可以快速实现复杂控制算法的代码生成和下载，使得 Simona 可以在最短的时间内实现其控制策略。



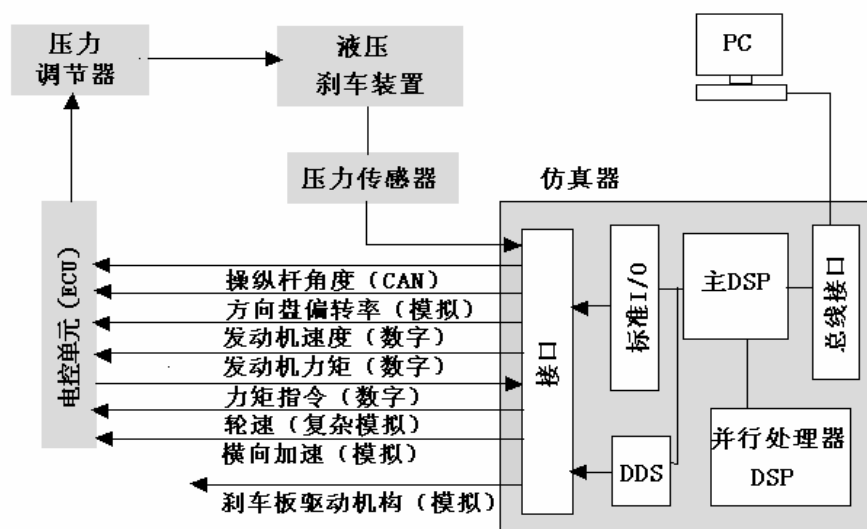
4.5 汽车的硬件在回路仿真—ABS 控制器测试试验台

对现代汽车而言，汽车的舒适性、效率及安全性相当依赖于实现动力系控制、防抱死刹车系统、牵引控制等的电控单元的性能。ECU 的软件也越来越复杂，以至于在开发的早期就需进行详细测试。如果用真实的汽车对新的 ECU 进行测试既昂贵又消耗时间，特别是进行一些极限环境下的测试如：积雪覆盖的路面上的小摩擦测试就只能局限于冬季的几个月。而且用真实汽车进行测试存在可重复性差、不能复现同一测试条件等缺点。硬件在回路仿真这种技术允许在测试台上重复进行测试，从而可以比较产品型 ECU 及原型 ECU 的各种特性。

该例描述了一个用于测试防抱死刹车系统（ABS）的工业型 HIL 测试台，该测试台已安装在 Audi AG。

为了在达到期望的准确性的同时保证模型的实时可执行性，Audi HIL 测试工作台使用了 TESIS（Munich, Germany）开发的 ve-DYNA 三维汽车动力学模型。由于在闭环控制中液压刹车系统的非线性及快速动态特性使得给其建立模型非常困难，所以在 ve-DYNA 仿真模型中没有实现刹车液压系统的动力学模型，而是将真实的 Audi A8 型液压刹车系统和 Audi A8 Quattro 四轮驱动的液压刹车系统置于一测试架上，该测试架与 ABS 控制器和 VEDYNA 模型同时相连。

为了象真实的汽车一样给 ECU 提供 I/O 信号，整个模型的仿真必须在 1ms 步长内执行完毕（小于 ABS 控制器的采样时间）。



为了在仿真最复杂的汽车配置和操纵时也能使步长小于 1ms，仿真任务由 5 个 TMS320C40 DSP 联合进行。主 DSP 负责计算驱动轨迹模型；用两个 DSP 来建立轴系；其它两个 DSP 向 4 个从处理器写入 141 个信号，读取 175 个信号。五个 DSP 并行，在不同配置下，模型的仿真执行时间从 650 μ s 到 940 μ s 不等。这比用单处理仿真速度快 2.5-3 倍（如果采用 DS1004 Alpha 板，仿真速度还可以加快到 222 μ s）。

在试验过程中，用户选定的系列变量可以被实时地记录下来。最后，这些信号（如：刹

车压力, 车轮打滑, 车轮的轴向及侧向压力等)被自动装载到 MATLAB 工作区。使用 MATLAB 描述语言很容易就能实现不同配置的自动顺序试验。

利用 TRACE 和 COCKPIT, 可以在试验过程中对仿真器进行进一步的观测。通过 COCKPIT 虚拟仪表可用条图, 标尺及数字显示器的方式来显示模型的一些重要参数。使用 COCKPIT 游标可以方便地修改参数如摩擦系数等。

在某次试验结束后, 有 57 个信号的实时数据被传送到 MATLAB 工作区。尽管对实验分析来说这些数据已够多的了, 但想获得较为直观的汽车运动情况是很困难的。因此 HIL 仿真器上配置了 RealMotion 三维动画程序。在试验过程中记录下的图形画面可以存入文件中。记录下来的画面可以单步重放, 从而允许对极限情况进行仔细分析。

4.6 电力电子方面的应用-机车驱动系统硬件在回路仿真

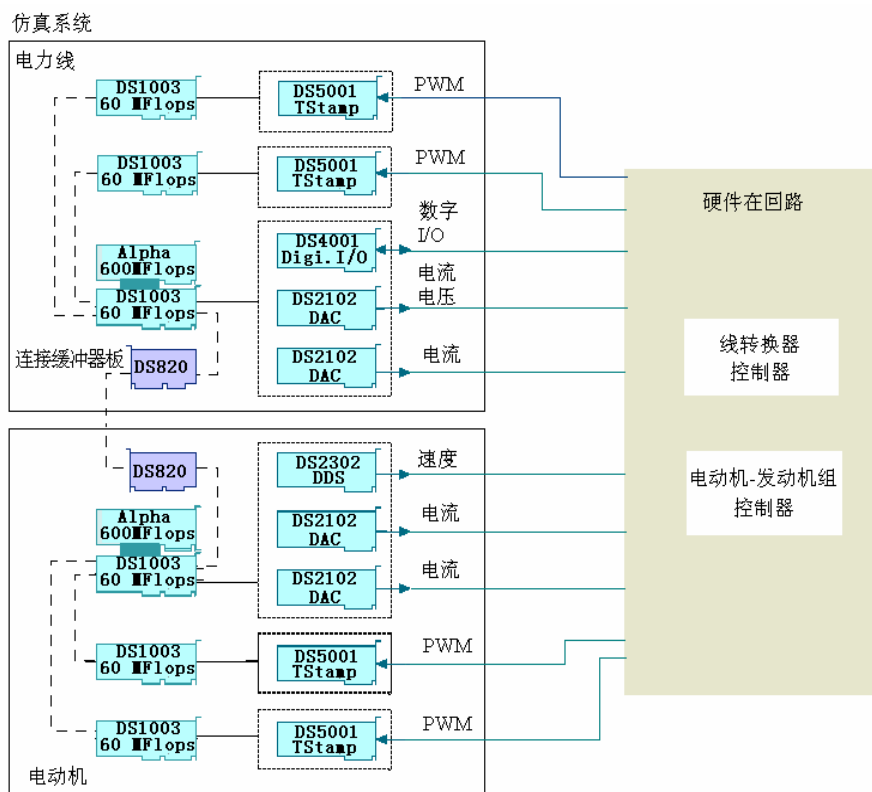
Adtranz 是世界上著名的铁路系统供应商。他们将 dSPACE 用于机车电力转换器领域, 这一应用充分显示了 dSPACE 系统的无限运算能力。现代可控电力转换器必须选择最佳控制参数以达到较高的能量效率, 对电力系数的变化也要有较大的适应性。但是, 用新的控制方案在实际的轨道上进行综合测试从费用及个人安全角度来讲过于冒险, 也太复杂。高达 2000A 的巨大电流不允许出现任何误差或故障。

试验室中的硬件在回路仿真则是一个较为理想的选择, 但对仿真器的要求较高。Adtranz 决定用 dSPACE 实时仿真器来完成这一任务, 用仿真器代替设备, 包括: 供电、电动机和转换器。实时仿真器负责计算所有的电流和电压, 这样就可以安全地对控制器进行测试。计算时间在 50 μ s 以下, 这一时间相对于仿真系统的复杂程度而言已经相当短了。

仿真器分为两部分, 装在两个 PX20 扩展盒中。一部分用来仿真转换器的输配线 (即: 变压器和线转换器); 另一部分用来仿真电动机 (即: 电动机-发电机组、感应电动机和机械部分)。

首先, 由控制输配线和电动机-发电机组的控制器产生高分辨率的脉冲波形, 由四个 DS5001 数字波形记录板进行记录, 然后将 PWM 信号传送给 DS1003 和 DS1004 处理器板。DS1003 板负责管理 I/O 和数据通讯, 而两个 DS1004 Alpha 板则利用其强大的计算能力负责

计算电动机的电流和电压。再通过四个 DS2102 高分辨率 D/A 板将电流和电压信号送回控制器。另外，控制器还需要 DS2302 DDS 板产生的仿真增量编码器信号及 DS4001 数字 I/O 板产生的其它 I/O 信号。



注：DS1003 与 DS1004 板已由 DS1005 板替代。

4.7 ECU 开发应用-菲亚特公司开发 ERG 控制器



通过高级控制技术可以大大减少发动机尾气排放。菲亚特公司在意大利的研究中心采用 dSPACE 原型机来开发新型的针对共轨柴油机的

尾气再循环控制系统。通过 CAN 总线的旁通技术，无需改变 ECU 内部的程序，菲亚特公司的技术人员就可以进行新的控制算法的研究，这大大减轻了开发难度并减少了开发时间。

尾气再循环系统是被广泛应用的减少柴油机氮氧化物排放的装置，氮氧化物是高温条件下氮与氧发生化学反应生成的。尾气再循环技术的基本原理是通过引入废气降低新鲜空气吸入比例从而降低燃烧温度实现的。ECU 控制废气阀门开度来控制新鲜空气吸入比例。使用 MATLAB/Simulink/Stateflow 进行建模并离线仿真，dSPACE 原型机进行随车试验。控制算法必须具有高度鲁棒性以适应大批量生产。

dSPACE 原型机负责新的控制算法的运算，而柴油机 ECU 负责与汽车的传感器和执行器通讯及原有控制算法的计算。

dSPACE 与 MATLAB/Simulink 的无缝集成使得 Fiat 公司开发人员迅速从计算机仿真过渡到现场试验。由于减少了软件编程带来的延迟，ERG 控制器可以广泛进行随车试验。控制算法可以很快地开发出来并用于测试，在标准测试中发动机尾气排放得到了明显改

善。目前 dSPACE 原型机已广泛用于 ECU 新功能的开发。

4.8 DaimlerChrysler 开发主动悬架

当DaimlerChrysler开发主动悬架——主动车身控制系统Active Body Control (ABC)时，使用了dSPACE的快速原型系统AutoBox和 MicroAutoBox使产品的试验到批量生产的过程变的更加可能和周期短。DaimlerChrysler已经将主动车身控制系统应用到Mercedes SL系列中了。

主动车身控制的主要开发目标是限制车身的运动。这些车身的运动或震动是由于不平的路面、制动和转弯所造成的。为了达到主动车身控制的目的，DaimlerChrysler在车辆的悬架系统中集成了特殊的液压伺服缸。通过专用的传感器，相应的ECU能够监控水平位置和车身的加速度。基于这些数据，ECU软件通过施加附加的力来影响车身的运动。

实际中，车身的运动在起步转弯和制动过程中最大能减少68%。利用dSPACE原型系统，DaimlerChrysler能够在没有原型ECU的情况下测试相应的控制功能。这些功能是利用MathWorks的开发工具MATLAB/Simulink所设计的。通过dSPACE的Real-Time Interface 软件将全部dSPACE原型的I/O和Simulink的模型相连接。接下来MathWorks的 Real-Time Workshop软件自动的生成准备运行在dSPACE实时原型上的实时代码。然后控制功能可以在实时的硬件上进行测试。这种测试是利用AutoBox和MicroAutoBox在实车上进行的。考虑到车辆的能力、I/O设备和计算性能，AutoBox和MicroAutoBox都可以满足DaimlerChrysler的需求.例如I/O需要用到22路模拟输入、9路PWM、数字I/O和CAN接口。作为试验控制监控和可视化，DaimlerChrysler采用ControlDesk软件来进行。最终，为了将控制功能应用到产品型ECU，验证过的Simulink模型被作为可执行性技术规范交给了ECU制造商。总的来说，可以借助Mathworks和dSPACE的开发平台快速的开发和验证主动车身控制功能，缩短了开发周期和节省了开发费用。

4.9 Delphi 利用 Targetlink 进行电控产品开发

Delphi为了提高产品质量和缩短开发周期，采用了算法开发、建模和自动代码生成技术。**dSPACE**的产品级代码生成工具**TargetLink**已经成为**Delphi**全新开发环境所用开发工具链中主要的部分。

Delphi许多的控制算法都利用**Simulink/Stateflow**开发环境进行建模。其中一些模型如**EGR (exhaustgas recirculation)**废气再循环控制或滚翻检测算法更多是以**Stateflow**为核心。其他一些模型如自动巡航控制更多是通过**Simulink**开发的。对于所有的情况，**TargetLink**所生成的代码和用于类似应用的手写代码有着同样的质量，能够满足**Delphi**的标准。

- 效率 – 在项目预算内(**ROM, RAM**)没有多余的杂项开销
- 一致性– 保持同样的模型到**C**代码实现风格
- 模块化– 模型可以生成模块化的代码（包含函数调用），允许全局或局部访问模型的变量
- 灵活性 – 自动生成的代码很容易就能调整至符合**Delphi**软件编程标准

为了优化算法开发过程和保证高效率的产品级代码，**Delphi**已经开发了一系列开发流程和指导，用于**Simulink/Stateflow**环境下建模和**TargetLink**代码生成。因此，模型的修改更容易被识别，逻辑或实现的错误发生次数更可能被减少。

Delphi项目更大的挑战在于如何无缝的将自动代码和手写代码进行集成。工程师们成功的克服了这些问题，他们利用**TargetLink**代码生成方面的强大的灵活性实现了无需修改任何手写代码。使用**TargetLink**是**Delphi**软件开发人员很大的优势。不存在语法错误，逻辑错误更容易被识别并且能追踪到根本原因。一个模型的编程和测试得到极大的提高了。因此，工程师们现在有更多的时间来考虑软件的结构并且找到一个最优的解决方案而不是仅仅是最快或是最容易的方案。还要提到另外一个优势，**TargetLink**代码一致性是无与匹比的，它为同一项目中不同工程师的代码交接提供了更好的条件。

4.10 Audi 公司动力传动系统 HIL 仿真测试

对于动力传动系统电控单元，因为包含具有故障辨识功能的复杂的控制逻辑，如果不在一个完整网络里仿真它们的行为就无法实际地进行相应功能测试。

在奥迪公司，SPEA D3是第一套用于分布式实时动力传动系统功能测试的试验设备。它能够最大可能的复用HIL的部件，重新配置或升级所造成的停机时间也非常短，且具有对CAN消息监控的扩展特性。

SPEA C6 是在 SPEA D3 基础上进一步开发出的测试设备，它能够为 Audi 现有和未来汽车平台的动力传动和舒适系统网络提供测试环境。SPEA C6 另外一个特性是能够测试多种发动机和变速箱控制器，这些控制器是和三种类型发动机——进气管内喷射汽油机(MPI)，直喷汽油机(FSI)和共轨柴油机(TDI)——配合使用的。该仿真试验设备是模块化的，只需稍加修改就可实现对多种发动机和不同版本的 ECU 的支持。SPEA C6 包含一个用于车辆动力学控制的单元、合并了舒适性控制功能的中央处理单元、一个用于变速箱的单元和一个用于发动机控制的双 ECU 单元。每个 I/O 单元拥有足够的处理能力、必须的信号调理硬件以及电器负载以处理被测 ECU 的所有信号。所有的操作和配置只用单台 PC 就可以进行。利用 MotionDesk 三维工具可以生成三维动画效果视景。重新设计的驾驶舱包含所有传动系统相关的驾驶员操作设备和仪表。Simulink 中的发动机和变速箱模型被集成为一个完整的动力传动模型，这样有不少优点：例如减少了很多时间上的麻烦，为了仿真不同的模型版本，只需要重新配置一个模型而不需要对每个模拟器分别重配置。这还能保证一个简单的替代过程因为所缺少的模拟器能够被中央处理单元里模拟的 ECU 所替代而无需重新编译代码。它也可以在部件升级或断开的情况下仍然得以使用。因此它为 Audi 的工程师提供了一个用于测试动力传动系统所有控制器，以及开发和验证功能原型的环境。SPEA D3 和 SPEA C6 已经成为 Audi 动力传动系统开发和测试不可替代的工具。

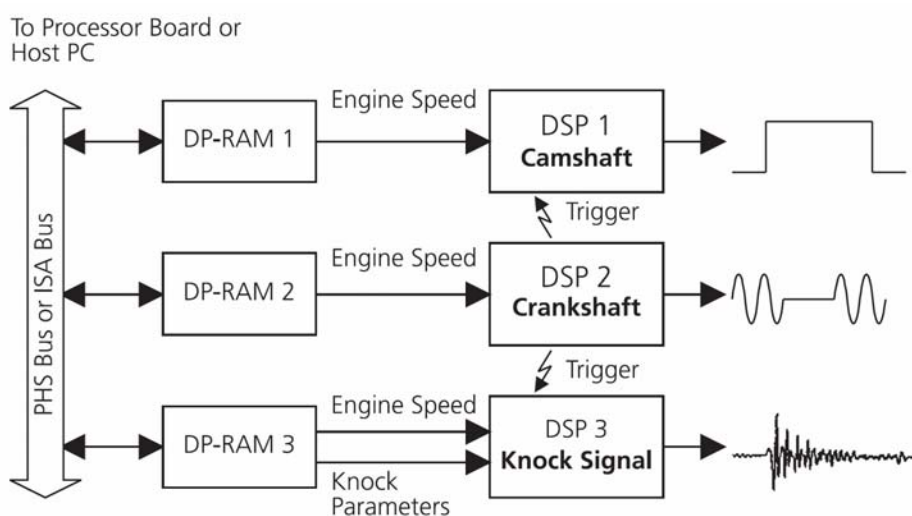
4.11 DS2302、DS4002 的应用实例

Crankshaft, Camshaft and Knock Signal Simulation曲轴凸轮轴和爆振信号仿真

在发动机或传动系统控制的测试应用中，曲轴凸轮轴和爆振的信号模拟起着非常关键的

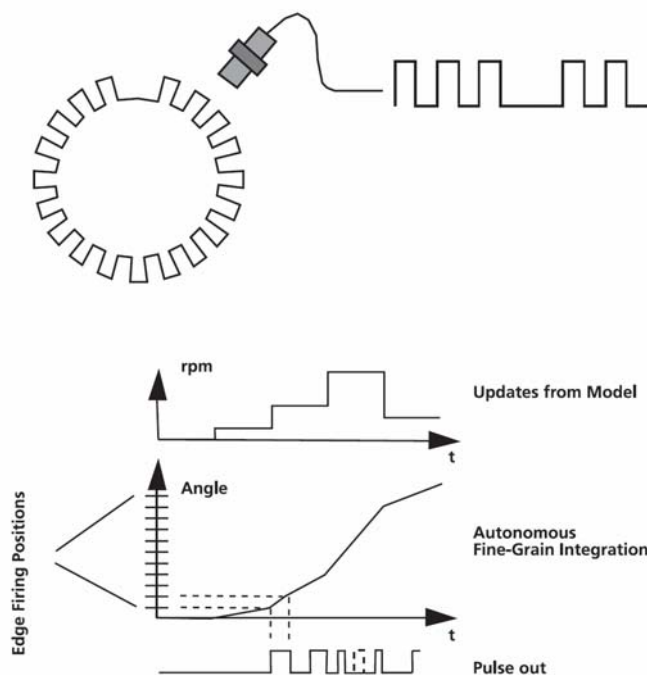
作用。ECU使用这些信号来决定正确的喷油和点火正时。这些仿真的信号需要有很严格的质量需求。例如，在6000 rpm速度下对于曲轴 0.1° 分辨率的角度需要 $2.8\ \mu\text{s}$ 的时间分辨率。

DS2302板是模拟这些信号的非常理想的硬件卡。通道2能够生成sin形式的曲轴信号，该信号还包含两个缺齿。该通道同时还能计算触发凸轮轴和爆振信号，分别从通道1和通道3生成。爆振信号基本包含了减幅的波动，并叠加一个速度相关的随机噪声信号。曲轴和凸轮轴信号主要取决于处理板计算所得的发动机速度，爆振信号也取决于其他多个参数。为了测试不同环境下的发动机ECU，只需简单改变一下发动机的类型或引入噪声就可以了。



Simulating Angle-Based Sensor Signals 基于角度传感器信号的模拟

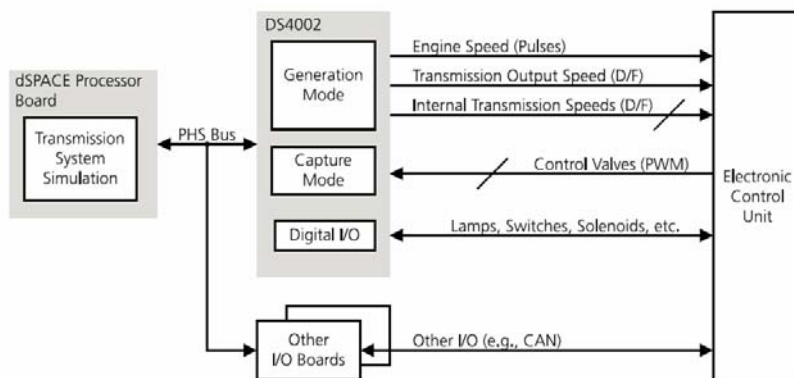
在很多应用中，需要生成精确的基于角度的传感器信号。举例来说，为了得到曲轴信号，DS2302板能够自动的从发动机模型中集成发动机的速度。每次达到特定的角度，就能生成一个脉冲沿。板上有高速的DSP来对所生成的曲轴信号进行微妙级的检测，因此所提高的信号有着非常高的精度。



Simulation of an Automatic Transmission System 自动换挡系统的仿真

下图是自动换挡系统硬件在回路仿真测试系统的实例。变速箱系统在dSPACE的处理器板里进行模拟。DS4002定时器板和数字I/O板非常适合于数字I/O任务的处理。

在仿真过程中，DS4002连续和ECU交换信号。例如，D/F转换功能可以用于模拟变速箱的输出速度和内部变速信号。DS4002生成模拟甚至允许你来模拟齿型传感器，包含缺齿。利用PWM捕获功能你能很容易采集ECU生成的PWM信号比如控制阀的执行器信号。



附录 1—I/O 板技术特性

类别	板号	技术特性		备注
通用 A/D	DS2001 高速 A/D	A/D 通道	<ul style="list-style-type: none"> 5 路并行 A/D 通道（单端） 同时采样/保持 采样&保持跟踪模式或保持模式（可编程） 4, 8, 12, 16 位分辨率（可编程） 输入电压范围：±5V 或±10V（可编程） 1MΩ输入阻抗 80db 信噪比 	执行时间(包括 ADC 转换时间和 DS1005 PPC 板中启动及读取函数运行时间) 2 通道 (16 bit): 5μs 所有通道: 7μs
		采样	<ul style="list-style-type: none"> 处理器板软件触发 同时采样 	
		物理特性	<ul style="list-style-type: none"> 供电: +5V, 2.5A; ±12V, 150mA 8 位或 16 位 ISA 总线槽（仅用于供电） 25 针 SUB-D 型输入接插键 	
	DS2002 多通道 A/D	A/D 通道	<ul style="list-style-type: none"> 32 路 A/D 通道（单端） 2 个独立的 A/D 转换器（独立采样或保持），每个转换器接 16 路多路输入 采样&保持跟踪模式或保持模式（可编程） 4, 8, 12, 16 位分辨率（可编程） 输入电压范围：±5V 或±10V（可编程） 1MΩ输入阻抗 78db 信噪比 	执行时间(包括 ADC 转换时间和 DS1005PPC 板中启动及读取函数运行时间) 2 通道 (16 bit): 5μs 32 通道: 93.5μs
		采样	<ul style="list-style-type: none"> 处理器板软件触发 	
		物理特性	<ul style="list-style-type: none"> 供电: +5V, 2.5A; ±12V, 150mA 8 位或 16 位 ISA 总线槽（仅用于供电） 50 针 SUB-D 型输入接插键 	

	DS2003 多通道 A/D	A/D 通道	<ul style="list-style-type: none"> ● 32 路 A/D 通道（单端） ● 2 个独立的 A/D 转换器（独立采样或保持），每个转换器接 32 路多路输入 ● 同时采样或保持 ● 采样&保持跟踪模式或保持模式（可编程） ● 4, 8, 12, 13, 14, 15, 16 位分辨率（每一对通道可单独编程） ● 输入电压范围：±5V 或±10V（可编程） ● 1MΩ输入阻抗 ● 78db 信噪比 	执行时间(包括 ADC 转换时间和 DS1005 PPC 板中启动及读取函数运行时间) 2 通道: 5.7μs 32 通道: 72.5μs
		采样	<ul style="list-style-type: none"> ● 处理器板软件触发或外部触发 ● 同时触发 	
		物理特性	<ul style="list-style-type: none"> ● 供电: +5V, 1.5A; ±12V, 300mA ● 8 位或 16 位 ISA 总线槽（仅用于供电） ● 50 针 SUB-D 型输入接插键 	

类别	板号	技术特性		备注
快 速 D/A	DS2101 D/A	D/A 通道	<ul style="list-style-type: none"> ● 5 路并行 D/A 通道 ● 12 位分辨率 ● 典型建立时间: 3μs ● 输出电压范围$\pm 5V$, $\pm 10V$, 0-10V (可编程) ● I/O 出错时复位 (可编程) 	用于产生快速控制原型中驱动器所需的控制信号及硬件在回路仿真中的模拟信号仿真。
		触发	<ul style="list-style-type: none"> ● 主处理器板软件触发 ● 立即输出 	
		物理特性	<ul style="list-style-type: none"> ● 供电: +5V, 2.25A ● 8 位或 16 位 ISA 总线槽 (仅用于供电) ● 25 孔 SUB-D 型输出接插键 	
	DS2102 高分 辨率 D/A	D/A 通道	<ul style="list-style-type: none"> ● 6 路并行 D/A 通道 ● 16 位分辨率 ● 限变器输出(可编程) ● 典型建立时间: 1.3μs(限变器禁止); 2μs (限变器使能) ● 输出电压范围: $\pm 5V$, $\pm 10V$, 0-10V (可编程) ● I/O 出错时复位 (可编程) 	高分辨率 16 位 D/A。用于产生快速控制原型中驱动器所需的控制信号及硬件在回路仿真中的模拟信号仿真。
		触发	<ul style="list-style-type: none"> ● 主处理器板软件触发 ● 立即输出或同时更新 	
		物理特性	<ul style="list-style-type: none"> ● 供电: +5V, 3.3A; $\pm 12V$, 50mA ● 8 位或 16 位 ISA 总线槽 (仅用于供电) ● 37 孔 SUB-D 型输出接插键 	
	DS2103 多通 道 D/A	D/A 通道	<ul style="list-style-type: none"> ● 32 路并行 D/A 通道 ● 14 位分辨率 ● 典型建立时间: 10μs ● 输出电压范围: $\pm 5V$ 或 $\pm 10V$ (可编程) ● I/O 出错时复位 (可编程) 	多通道 14 位 D/A。用于产生快速控制原型中驱动器所需的控制信号及硬件在回路仿真中的模拟信号仿真。
		触发	<ul style="list-style-type: none"> ● 主处理器板软件触发 ● 四路一组立即输出或同时更新 	
		物理特性	<ul style="list-style-type: none"> ● 供电: +5V, 3.0A; +12V, 50mA; -12V, 50mA ● 8 位/16 位 ISA 总线槽 (仅用于供电) ● 50 孔 SUB-D 型输出接插键 	

类别	板号	技术特性		备注
A/D D/A 数 字 I/O	DS2201 Multi-I/O	模拟输入	<ul style="list-style-type: none"> ● 20 路 12 位 A/D 通道（5 个独立的 A/D 转换器-单端） ● 每一通道同时采样或保持 ● 32.5μs AD 转换时间 ● 输入电压范围：± 10V ● 每一通道软件单独采样 	20 A/D 8 D/A 16 数字 I/O 8 记录/比较通道 适用于需要多种 I/O 而插槽有限的情况（如：用 AutoBox，或 PC 机中没有富余的插槽）。
		模拟输出	<ul style="list-style-type: none"> ● 8 路并行 12 位 D/A 通道 ● 典型建立时间：6μs ● 输出电压范围：± 10V ● 软件触发 DAC 输出或 SYNCOUT 触发 ● 立即输出或同时更新 	
		数字 I/O	<ul style="list-style-type: none"> ● 基于 TI 公司的 TMS320P14 DSP 的可编程数字 I/O 子系统 ● 包括标准函数 ● 16 路数字 I/O 线（可位选） ● 8 通道记录/比较单元(2 in, 4 out, 2 in/out) ● PWM 信号发生器最多 6 通道 ● PWM 频率最大 1MHz, 40ns 分辨率 ● 用户中断 	
		物理特性	<ul style="list-style-type: none"> ● 供电：+5V, 2A; ± 12V, 200mA 	

类别	板号	技术特性		备注
精密位置控制用增量编码器接口	DS3002 增量编码器接口	概要	<ul style="list-style-type: none"> 6 路独立增量编码器接口通道 每一通道都有编码器差动相位输入与定位标志输入 多通道同步采样 提供与其他 I/O 板如 DS5001 的接口, 用来测量计数或定位脉冲的宽度和频率 	适用于驱动领域的位置控制, 用来测量增量编码器产生的数字或 SIN 信号。对 SIN 型输入信号, 可达到 4096 细分。
		传感器信号类型	<ul style="list-style-type: none"> 每一通道可独立选择 SIN 信号: 11μApp 差分或 1Vpp 差动 数字信号: 差分 RS422 或单端 TTL 最小定位标志脉冲宽度: 250ns 	
		位置计数器	<ul style="list-style-type: none"> 32 位分辨率 最大 750KHz 输入频率 四倍频脉冲计数 10MHz 采样频率 软件预置计数器 软件复位计数器或定位脉冲复位 (每一个通道可选择: 单次复位, 每次都复位, 不允许复位) 	配有 32 位位置计数器, 并能接收定位信号。
		SIN 信号记录	<ul style="list-style-type: none"> 每一个周期最多 4096 细分 处理器板进行位置计算 (查表及插补) 偏置误差: $\pm 4\text{mV}$ (输入为 1Vpp) $\pm 75\text{nA}$ (输入为 11μApp) 	
		数据转换时间	<ul style="list-style-type: none"> 从开始转换到将有效数据取入寄存器约 800ns 	
		增量编码器供电	<ul style="list-style-type: none"> 每通道最大 5V, 200mA 电压可调 (带有检测线) 	
		物理特性	<ul style="list-style-type: none"> 供电: +5V, 2A; +12V, 0.2A+0.2A*在用通道 8 位或 16 位 ISA 总线槽 (仅用于供电) 62 孔 SUB-D 型输入接插键(High-density) 	

类别	板号	技术特性		备注
	DS4002 Timing and Digital I/O -- 数字信号的 产生及记录	概要	<ul style="list-style-type: none"> 8 通道 30 位/200ns 时间基数 用于数据存储的快速双端口 RAM 32 位附加数字 I/O 线 (TTL) 	可以工作在两种模式下： <u>信号记录模式</u> （用于测量信号参数如：频率，相角等） <u>脉冲发生模式</u> （用于产生数字信号如：PWM, 驱动信号，传感器信号等） 另外还有 32 条附加数字 I/O 线（用于接收单输入信号如：开关，传感器等，产生控制信号如：继电器）。
		信号记录模式	<ul style="list-style-type: none"> 信号的描述方式为系列上升和下降沿 可存储每一个边沿的时间和极性 每一个通道可存储多达 512 个 30-bit 时戳 $600\text{ns} \leq \text{最小采样时间} \leq 3.4 \mu\text{s}$（由同时工作的通道数决定） 上升/下降沿检测（可编程） 达到预设的边沿数时向主处理器发中断 	
		脉冲发生模式	<ul style="list-style-type: none"> 可存储多达 256 个命令和 29 位延迟常数 $600\text{ns} \leq \text{最小脉冲宽度} \leq 3.4 \mu\text{s}$（由同时工作的通道数决定） 所有通道均可由通道 1/2 触发 通道 1/2 中断（可编程） 程序执行过程中可更新命令和时间常数 循环计数 两路外部触发输入线数字 I/O 	
		数字 I/O	<ul style="list-style-type: none"> 32 条 (TTL) 用于控制信号的输入及输出 24 条双向（可编程 8bit 一组）；4 输入；4 输出 输入模式带锁存 	
		物理特性	<ul style="list-style-type: none"> 供电：+5V，3A 8 位或 16 位 ISA 总线槽（仅用于供电） 50 针 SUB-D 型接插键 	

类别	板号	技术特性		备注
数 字 I/O	DS4003 数字 I/O	数字 I/O	<ul style="list-style-type: none"> ● 96 条双向 TTL 线（3 个 32 位口） ● 每 8 位一组方向可编程 ● 32mA 输出驱动能力 ● 传输速度：20MByte/s ● 输出电流 0.12mA（高电平，2.4-5V），0.2mA（低电平，0-0.8V） 	96 路 数 字 I/O 板
		握手	<ul style="list-style-type: none"> ● 三条与外设通讯的同步线 ● 输入选通，输入应答，输出数据准备好 	
		中断	<ul style="list-style-type: none"> ● 3 个选通中断 ● 3 个用户中断 ● 一个 I/O 错中断 	
		物理特性	<ul style="list-style-type: none"> ● 供电：+5V，1.5A ● 8 位或 16 位 ISA 总线槽（仅用于供电） ● 3 个 50 针 SUB-D 型输入/输出接插键 	
	DS4201 原型 板（用户元件 集成）	用户接口	<ul style="list-style-type: none"> ● 双向 32 位总线缓冲 ● 4 路 PHS 总线访问信号 ● 13 路预定义片选输出 ● 8 路中断线（可编程） ● 读/写信号 ● I/O 出错信号 ● 电源线（地，+5V，+12V，-12V） ● 传输速度可达 25Mbyte/s ● 80-pin 用户接头 	为用户元器 件提供安装 空间及与 dSPACE PHS 总线的接口 电路，用于将 用户电路 （如：I/O）集 成于 dSPACE 系统中。
		定时	<ul style="list-style-type: none"> ● SYNCIN/SYNCOUT 用于 I/O 同步 	
		物理特性	<ul style="list-style-type: none"> ● 供电：+5V，0.5A(不包括用户组件) ● 16 位 ISA 总线槽 ● 115×185mm 用户组件区 ● 50 针 D 接插键（外部设备用） 	

	DS4201-S 串行接口板	串行通讯通道	<ul style="list-style-type: none"> ● 4 通道可选线收发器 RS232 ● 可选收发器 RS422, RS485 ● 时钟源 1.8432MHz/24MHz(RS422, RS485 可选) ● 波特率可编程 ● 16 字节发送器或接收器 FIFO ● 5-8 位字长 ● 偶校验, 奇校验, 无校验 ● 1 位, 1^{1/2} 位, 2 位停止位 ● Modem 控制功能 	允许 dSPACE 系统与外部设备进行串行通讯。支持 RS232/RS422 或 RS485 线收发器。适于两个系统之间的长距离连接。
		中断	<ul style="list-style-type: none"> ● 可编程中断控制单元: 最多 4 路独立串行通讯中断 	
		物理特性	<ul style="list-style-type: none"> ● 供电: +5V, 350mA; +12V, 75mA ● 8 位/16 位 ISA 总线槽 (仅用于供电) ● 50 针 SUB-D 型接插键 	

类别	板号	技术特性		备注
		概要	<ul style="list-style-type: none"> ● 两个通用通道, 用于连接两个 ECU 或双 CPU-ECU ● ECU 安装于最终位置与仿真器 ● ECU 可独立于仿真器运行 	连接 dSPACE 实时系统和用户 ECU, 以在 dSPACE 实时系统的帮助下利用 Bypass 技术顺利
		双端口存储器	<ul style="list-style-type: none"> ● 反射内存: 每通道 16K Word 双向 RAM ● 16bit 存取 ● 高 8bit 与低 8bit 存取 	

其 它 I/O	DS4121 ECU 接口板	物理连接	<ul style="list-style-type: none"> ● 用户定义的接口 (POD) ● 提供 NBD 或 SPI 总线 POD ● 通过双绞线与发动机连接 ● 10Mbit/s 传输速率 ● LED 显示旁通状态 	完成控制算法从实时仿真系统到产品型 ECU 的转换。由用户 ECU 的 I/O 来连接仿真控制器和控制对象。 支持大多数的 8 位, 16 位及 32 位微处理器 (如: Intel 80196; Motorola 68HC11, 68332; Simens 80167 等)。
		中断	<ul style="list-style-type: none"> ● 数据传输同步的双向中断 ● 一条中断线可触发 16 个子中断 ● 连接失效中断 	
		软件支持	<ul style="list-style-type: none"> ● 通过 RTI 配置 ● 提供 C 语言函数对 DS4121 进行存取/控制 	
		兼容性	<ul style="list-style-type: none"> ● 兼容大多数 DS4120 POD ● 与 MicroAutoBox 设计的 POD 兼容 	
		物理特性	<ul style="list-style-type: none"> ● 供电: +5V, 2A ● 8 位或 16 位 ISA 总线槽 	
	DS4302 CAN 接口板	概要	<ul style="list-style-type: none"> ● 4 通道独立的 CAN 控制器 (Intel 82527) ● 支持 CAN2.0A 和 CAN2.0B 协议 ● 每个控制器 3 个 CAN 收发器 ● 控制器时钟可编程 ● 光电隔离可编程 ● 终端电阻 ● 多种中断源 	允许通过 CAN 总线传输数据。用于在汽车内置式电控单元 (CAN 总线) 和 dSPACE 系统之间建立联系。特别适用于汽车及其它领域的控制开发和硬件在回路仿真。
		CAN 收发器	<ul style="list-style-type: none"> ● ISO 11898 高速最大传输速率: 1Mbps ● RS485 收发器 (max. 500 kBd) ● 低速的 Fault-tolerant 收发器 ● 提供背载式用户收发器 	
		物理特性	<ul style="list-style-type: none"> ● 供电: +5V, 2A ● 8 位或 16 位 ISA 总线槽 (仅用于供电) 	

类别	板号	技术特性		备注
其它 I/O	DS4401 MIL-STD-1553 接口板	<ul style="list-style-type: none"> 与 dSPACE 组件系统无缝连接 可用作一个 BC 或一个 RT 终端 双冗余通道配置（可使用直接连接或耦合连接） 遵循 MIL-STD-1553B 通信协议 基于消息帧的 BC 工作模式 支持 4096 种命令的非法化功能 支持基于消息的多种条件的中断 支持特定模式代码消息的中断条件 RT 终端支持基于子地址的“忙”设置功能 RT 终端数据接收支持单消息、双缓冲和循环缓冲三种模式 丰富的 API 函数库 		用于在 MIL-STD-1553 串行总线和 dSPACE 系统之间建立联系。特别适用于航空电子方面的快速控制原型和硬件在回路仿真
	DS5001 数字波形记录板	通道	<ul style="list-style-type: none"> 16 输入通道 25ns 时间分辨率(=20MHz 最大采样速率) 脉冲宽度:25ns-53.68s 信号描述方式:系列上升/下降沿(事件) 每一通道有独立的边沿检测器 	用于快速准确地记录并传输数据给处理器，以便进行复杂信号的频率，相位，占空比等参数分析。用该板可记录数字信号每一个上升/下降沿的极性及时延。广泛应用于汽车，驱动及机器人领域。
		边沿检测	<ul style="list-style-type: none"> 上升/下降沿(可编程) 触发电平:-10V — +10V(可编程为 256 个步长) 	
		信号存储	<ul style="list-style-type: none"> 双端口 RAM 可存储每通道 512 个事件 事件包括:31 位时间标志及边沿极性 可从处理器板存取存储的事件 地址发生器支持:FIFO,LIFO 和随机存取 	
		事件计数器	<ul style="list-style-type: none"> 3 个 32 位计数器 每一个计数器可指定给任意通道 可从处理器板读取或复位计数器 	
		中断	<ul style="list-style-type: none"> 在预定的事件数产生中断 事件缓冲器满时产生中断 	
		物理特性	<ul style="list-style-type: none"> 供电:+5V,2.5A 8 位或 16 位 ISA 总线槽(仅用于供电) 37 针 D 输入接插键 	

类别	板号	技术特性		备注
其它 I/O	DS5101 数字波形输出板	通道	<ul style="list-style-type: none"> 最多 16 个数字输出通道 (TTL) 组件式设计: 每一组件有 2 个通道, 可扩展到 8 个组件 	用于产生复杂的数字脉冲信号包括 PWM 信号。可用于产生驱动控制信号, 仿真传感器信号等。为便于编程, dSPACE 提供了 DWO 软件开发工具包 (DWO-Kit)
		时基 / 分辨率	<ul style="list-style-type: none"> 40MHz 内部共用时基/20-40MHz 外部时基 25ns 时间分辨率 250ns-26s 脉冲宽度 最大输出频率: 2MHz 	
		存储器	<ul style="list-style-type: none"> 用于存储程序 (状态) 和数据 (时延) 的双端口存储器 每一个通道可存储 512 个时延参数 (30 位) 和 128 个程序状态 (90 位) 	
		触发	<ul style="list-style-type: none"> 所有通道到处理器板的中断: 用于同步更新时延 所有通道之间相互触发 外部复位 输出通道可配置为触发信号的输入通道 	
		物理特性	<ul style="list-style-type: none"> 供电: +5V, 6A 8 位或 16 位 ISA 总线槽 37 孔 SUB-D 型输出接插键 	

类别	板号	技术特性		备注
		硬件:		该板是基于算法的波形发生器而不是通常的基于查表的二进制波形发
		DDS 通道	6 通道, 每一通道都包括: <ul style="list-style-type: none"> TI 公司 TMS320C31 DSP (60MHz) 6 路数字 I/O 线 (双向) 16Kword 双端口存储区 插拔式模拟输出组件 (可选) 	

自 主 信 号 发 生 器	DS2302 Direct Digital Synthesis	TMS320C3 1 DSP	<ul style="list-style-type: none">● 60MHz 时钟频率，33.3ns 时钟周期● 2Kword 32 位片上 RAM● 2 路定时器● 用于信号算法的计算	生器。 几乎可以产生任意形状的波形。典型的有： 轮 速 信 号（SIN）； 基于角度的曲轴或凸轮信号（SIN）； 齿形曲轴缺齿传感器信号； 具有不同逻辑电平的数字脉冲； 时变傅里叶综合，如发动机声音仿真。
		数字 I/O	<ul style="list-style-type: none">● 每一通道 6 路数字 I/O 线（TTL）● 双向● 用于外部中断及通用数字 I/O	
		双端口存储器	<ul style="list-style-type: none">● 16Kword 32 位双端口 RAM● 用于程序下载和读/写参数	
		拔插式模拟输出组件	<ul style="list-style-type: none">● 16 位 D/A 转换器（并行接口）● 0.8μs 建立时间● 输出电压范围：±10V● I/O 出错时复位（可编程）● THD-90db	
		中断	<ul style="list-style-type: none">● 定时器中断；外部中断；板上 DSP 中断；主处理器板中断；PC 主机中断	
		物理特性	<ul style="list-style-type: none">● 供电：+5V，4A● 16 位 ISA 总线槽● 44 孔 SUB-D 型输出接插件	
		信号发生 器软件（内含）		
		C 环境	<ul style="list-style-type: none">● SIN，方波，锯齿波● 高斯噪音，PRBS● 曲轴，凸轮，爆震信号● PWM● D/F 转换● 增量传感器仿真● 傅里叶综合● 查表● COCKPIT 控制功能发生器	
主机程序	<ul style="list-style-type: none">● 系统初始化● 存取板上 I/O● 中断控制● 执行时间靠模			

		接口库	<ul style="list-style-type: none"> 编译工具，设置工具，下载工具 用于估算执行时间的 SPEEDCHK 工具 汇编级自动优化加速工具 	
		软件支持	<ul style="list-style-type: none"> PC 主机-DS2302: 用于下载主 PC 程序（需要 dSPACE 主 DSP 接口库 CLIB 的支持） 处理器板-DS2302: 用于从 dSPACE 处理器板控制 DS2302 及存储器存取 	
			<ul style="list-style-type: none"> 	

类别	板号	技术特性		备注
其它 I/O	DS4330 LIN 接口板	通用	<ul style="list-style-type: none"> 16 个独立通道（每通道最多模拟 16 个 LIN Slave） 每通道软件可选波特率（最大 20 kBd） 	主要是用于 LIN 的硬件在回路仿真，和 Simlator 相连
		处理器	<ul style="list-style-type: none"> 板上 slave 处理器：IBM PPC405CR 200MHz 板上的 slave 内存：64MB 	
		软件支持	<ul style="list-style-type: none"> RTI LIN 模块 从 Simulink 直接访问 LIN 原始数据 出错模拟 	
		物理特性	<ul style="list-style-type: none"> 供电：+5V，6A 8 位或 16 位 ISA 总线槽 	
	DS4501 ARINC 接口	<ul style="list-style-type: none"> 利用 IP 技术实现 ARINC429 接口 每个 IP 载板最多 4 个通信模块，每个模块有 4 发送 4 个接收端 可调接收限值和传送输出幅值 		
	DS4502E 以太网接口	<ul style="list-style-type: none"> UDP/IP 协议 以太网通信 10Mbaud 双口 RAM 用于和主处理器的数据交换 9 针 Sub-D 接头带有 RJ45 适配器连接以太网 		
	DS2401 阻型传感器仿真板	<ul style="list-style-type: none"> 可编程，范围 10Ω-500KΩ 12 位分辨率 操作范围：±20V, ±20mA 最大 50 μs 设置时间 立即输出 过压保护 100V 		仿真阻型传感器，如：温度传感器

附录 2—dSPACE 对计算机软件及硬件的要求

dSPACE 的 RCP 及 HILS 开发系统可与 PC/AT 及兼容机相连。用户 PC 机应满足下面的要求。如果不能确定用户 PC 机的兼容性，可参考 PC 机技术参考手册，或咨询供应商。

硬件要求：

- Pentium CPU（最低为 Pentium III，1GHz）
- VGA 图形卡
- 一个并行口，软件保密钥匙用
- 每一个 dSPACE 板占用 PC 机中的一个 ISA 插槽；DS1103 使用一个 ISA 插槽，但其背板上的接插键支架占用 3 个插槽空间；DS1104 占用一个 PCI 插槽。
- PC 机的供电应满足 dSPACE 板的功耗要求。
- 如果将板子插入扩展盒中，则只需占用 PC 机中的一个 ISA 插槽。
- 无论是直接插入 PC 机中，还是插入扩展盒中再通过 ISA 总线与 PC 机相连，dSPACE 板都需要占用 PC 机资源。DS1005、DS1104、DS1103 及 DS2302 需要占用 PC 机的部分 I/O 地址。

(I/O 地址空间：280H-28FH 及 300H-31FH)

- dSPACE 板需要占用的资源（包括 I/O 地址和 64KB 的内存段）可能会被其它外设如 SCSI 控制器或网卡占用，这时，请确保用户 PC 机中的硬件可以重新配置并能使用其它资源。

软件要求：

- Windows NT 4.0 SP6a, Win2000 SP2,（中文 XP 支持有一定问题）
- 主机内存大于 256MB
- 安装 dSPACE 软件至少需要 600MB 的硬盘空间
- 如果需要安装其他软件如 MathWorks 的软件，还需要更多的硬盘空间



主要用户名单

国外用户:

汽车

AVL Audi BMW Bosch DaimlerChrysler Delphi DENSO Ferrari Ford General Motors Magneti
Marelli Motorola Nissan Opel Ricardo Renault Siemens VDO Skoda Toyota Volkswagen Volvo
Cars

航空航天

Boeing Lockheed Martin NASA Nord-Micro Raytheon SAAB The Aerospace Corporation
United Technologies Research Center Veridian Flight Research Group

其他

ABB Fujitsu Hitachi NEC Olympus Optical PhilipsRockwell Shell Siemens Texas
Instruments Toshiba

大学

Harvard University Massachusetts Institute of Technology (MIT), National University of
Singapore, Ohio State University, Princeton University, Stanford University, TU Munich,
University of Michigan, University of Oxford, University of Paderborn, University of
Tokyo University of Toronto

国内用户

北京清华大学, 北京理工大学, 北京航空航天大学, 哈尔滨工业大学, 北方交通大学,
上海同济大学, 上海交通大学, 吉林大学, 东南大学, 上海大学, 西安交通大学, 中国科技
大学, 重庆大学, 大连理工, 成都电子科技大学, 国防科技大学, 华南理工大学, 华中科技
大学, 江南大学, 天津大学, 武汉理工, 西北工业大学, 燕山大学, 香港理工大学, 烟台海

军航空工程学院，山东大学，南京航空航天大学，香港城市大学

601 所，603 所，602 所，615 所，608 所，613 所，三院三部，三院 31 所，三院 33 所，兵器 207 所，兵器 203 所，兵器 218 厂，一院 15 所，一院 14 所，二院二部，207 所，218 所，航天 812 所，803 所，809 所

上海三菱电梯有限公司，通用电气医疗系统（中国）有限公司，东风电动车股份有限公司，一汽无锡油泵油嘴研究所，一汽集团技术中心，一汽大柴，通用电气研究开发中心，株洲电力机车研究所，ASM 装配自动化公司，北京航天华星电子信息有限公司，上海微系统与信息技术研究所

恒润北京公司总部

- 电话: (8610)82011456
- Tel: (8610)82011456
- 传真: (8610)62073600
- Fax: (8610)62073600
- 地址: 北京市西城区北三环中路 27 号商厦大厦 430 室
- 邮编: 100029

恒润上海办事处

- 电话: (8621)64325413 64325415 64325416
- Tel: (8621)64325413 64325415 64325416
- 传真: (8621)64325144
- Fax: (8621)64325144
- 地址: 上海市徐汇区漕宝路 80 号光大会展中心 D 座 505 室
- 邮编: 200235

恒润成都办事处

- 电话: (8628)86203381 86203382 86203383
- Tel: (8628)86203381 86203382 86203383
- 传真: (8628)86203383
- Fax: (8628)86203383
- 地址: 成都市人民南路一段 86 号城市之心大厦 23 楼 N 座
- 邮编: 610016