

缩短产品开发周期

联合仿真技术帮助 GDLS工程师 在样机试制之前精确模拟整个系统的性能

通用动力陆地系统公司 | 根据对Zhian Kuang先生的采访编辑而成

战斗车辆上的炮塔驱动装置面临一个非常复杂的设计上的挑战。当车辆行驶在崎岖地形时，炮塔驱动装置对车辆进行运动补给，保持以99.5%的精确度瞄准目标。在过去，通用动力陆地系统公司(GDLS)工程师使用单独的仿真技术评估炮塔驱动设计的不同方面，例如刚性体结构、柔性体和控制系统。但这样工程师不能在建立和测试样机之前把炮塔驱动装置作为一个整体系统来评估。

在最近几年，GDLS工程师开始使用基于多学科的联合仿真技术进行模拟炮

塔驱动装置的运行，考虑运行中的所有关键物理量，这个仿真工作的核心是使用Adams动力学软件对炮塔驱动装置中的刚性体、非线性约束和接触进行建模。Adams被选中的原因是因为它的非线性接触能力。这种方法所需的准确性和相对较少的假设提供了更加准确的仿真预测，减少由物理原因引起故障的解决时间，并最终缩短推向市场的时间。

设计过程中考虑多物理场

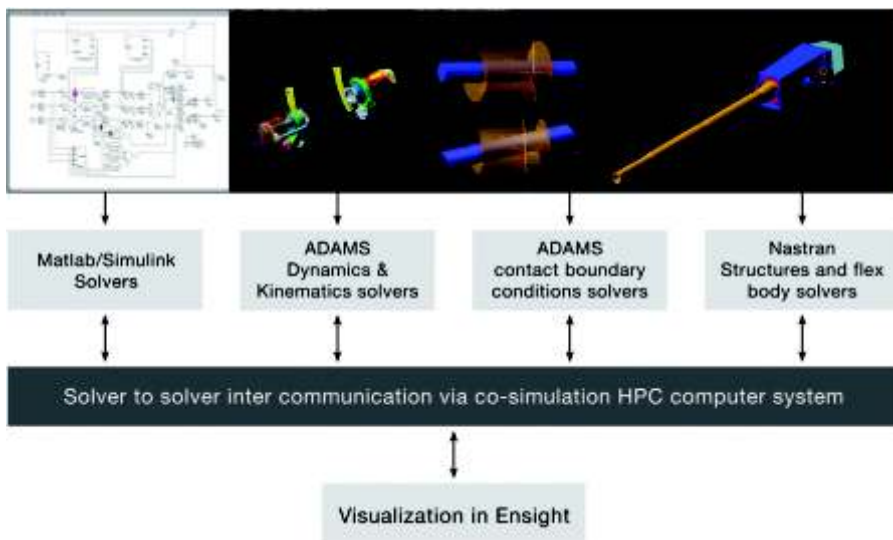
GDLS建立了各种战斗车辆，如

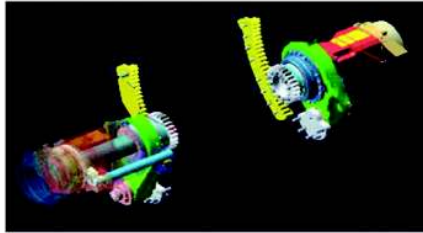
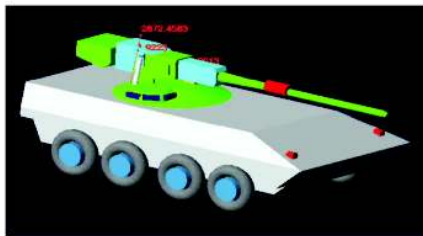
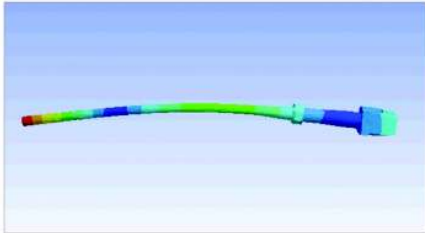
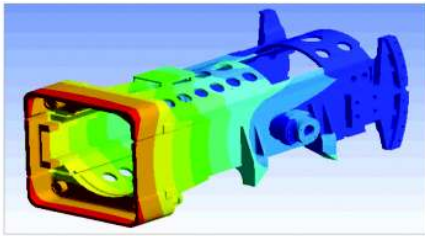
Abrams M1坦克、Stryker移动枪系统和MRAP防爆防弹运兵车。设计这些产品为获得最佳性能，需要考虑包括刚性体结构、柔性体、悬挂系统、非线性物体接触、非线性大变形、热、电气、电磁、流体以及其他广泛的物理场。

GDLS已经具有单个物理场的模拟能力，并且在设计过程中经常进行单物理场仿真。但这些仿真严重依赖自身范围之外的其他物理过程，必须做出对精度有负面影响的假设。习惯上，驱动器、控制器及相关电子电路的设计师必须等到采购和测试机械系统之后才能调整他们的系统，以满足机械要求。这个过程通常是一个新产品交货期提前的控制因素。

联合仿真过程概述

全新的联合仿真过程协同求解机械系统的动力学和非线性接触特性与数字马达/控制器系统的离散特性的相互作用。MATLAB/Simulink环境下使用“Adams plant model”（包含所有刚性体和柔性体动力学系统）初始化和控制联合仿真过程。联合仿真允许控制系统模型使用基于Adams变量的ode4 Runge-Kutta积分器处理离散模型。完成每一个





时间步时， Simulink把结果输出到Adams，等待Adams使用GSTIFF积分器求解计算其设定变量的结果。求解状态变量时， Adams把数据通过PIPE通信线传给Simulink，并进行到下一个时间步。控制模型在Simulink中仿真。控制系统被设计为两种操作模式。惯性稳定模式在俯仰和偏航的扰动方面稳定空间中的武器。非稳定模式在车辆的局部坐标系中控制枪炮的仰角和方位角。枪炮/支架系统弯曲模式的控制算法被设计包括补偿两个刚体动力学。

机械系统建模

把炮塔驱动装置最终版的CAD模型（含有所有的装配公差）导入到Adams中。对于复杂机械产品，由于累积公差造成的问题直到样机测试阶段才能被确定。Adams模型通过结合各个部件的公差和提供可结合的累积公差影响的3D冗余约束来克服这个问题。这使工程师有可能在样机试制之前确定产品公差的影响和调查紧或松公差的影响。

“使用Adams，提早识别和理解炮塔驱动装置的故障问题，节省排除故障的大量时间和金钱。”

在这个高度复杂的武器系统，考虑非线性对精确仿真是至关重要的。Adams的核心优势就是系统中的非线性建模能力——非线性开/关接触、部件变形和非线性材料相关的大变形。

Adams通过机构分析确定哪些物体依然作为计算速度快的刚性体，和哪些物体需要转换为更加精确的柔性体。例如，如果一个组件的第一阶模态频率远高于运行中能经历的频率，那么它通常作为刚体来建模。由枪、闭锁块和适配器组成的装配体的第一阶模态在自由模态分析的范围内，当装配约束时也是这样，那么它当做柔性体建模。另一方面，装配约束时的支架第一阶模态在关注范围之外，那么它作为刚性体建模。

直流减速电机作为驱动控制枪的射角。在Adams中建立每一个电机模型，包括电机制动、转子、定子和齿轮输出轴。用来电机控制器的GDLS电子电路在Simulink中建模。Simulink控制系统模型的力矩命令被设置到输出轴。输出轴齿轮啮合扇形齿轮，驱动枪部件在转台的参考坐标系中结合装配公差运动。

对比测量数据

Adams机械模型的频率响应与测量的数据比较。仿真以组件模式运行，包含了基于公差的所有物体的可能设计位置的全部范围。前五阶频率的仿真预测和物理测试之间的差异百分比分别是3%、18%、10%、10%和17%。允许这个系统通过设置重力载荷关闭一些

公差，以及减少第四和第五阶模态频率的差异到0.1%和0.25%。重要的是注意在首次分析中产生的这些仿真预测没有调整模型来匹配测量数据。在连接点处调整影响1、2阶模态频率的连接约束的细节，让工程师理解连接约束和接触力是如何影响机械系统的频率响应。GDLS工程师比较简单轴套力、3D接触、经典连接约束和力的性能，以理解样机中每个组成部分对测量响应的贡献。

检测和排除故障

炮塔驱动装置最关键的考虑因素之一是潜在的故障，比如作用在旋转部件上的侧向载荷引起轴柔性化并增加轴和轴承之间的摩擦力。在某些情况下，摩擦力能提高旋转轴的制动水平。出现故障的组件通常作为柔性体建模以增加仿真精度。

Adams关键优势之一是在样机试制之前识别故障情况，通过在摩擦力（取决于轴和轴承上的负载和其他因素）中使用非线性接触。在此应用中，Adams识别了一个即使设计师都确信不会发生的轴故障。后来，建造样机时确定故障是在原始设计阶段发生的。问题的提早识别和理解节省了大量时间和金钱进行故障排除。

Adams另一个关键优势是机械模型要求相对较少的假设。多物理场方法需要的准确度和相对较少的假设，使GDLS工程师理解、协商和权衡上下游的需求对系统要求的影响，比过去有更好的认识。

总之，相比其他CAE方法，多物理场联合仿真要求较少的假设和更容易的物理原因故障排除。炮塔驱动装置的联合仿真使GDLS工程师在样机试制之前准确模拟了整个系统的性能。发现问题、评估可能的解决方案、了解组件特性对系统性能的影响帮助显著缩短产品开发周期。这就是为什么GDLS工程师称这个模型为使用Adams建立的“虚拟样机”，并且这个虚拟样机节省生产成本尤其是在产品的R&D过程。