



# Design de robôs

A prototipagem e o comissionamento virtual estão a provocar o desenvolvimento dos manipuladores robotizados e dos sistemas de automação

O produto industrial e o design de aplicações continua a ser uma arte onde as equipas de engenheiros reúnem os seus conhecimentos, experiência e criatividade para criarem algo de novo. O que mudou foi a forma como as soluções ou abordagens criadas são avaliadas e analisadas para se certificarem de que vão resultar em produtos superiores. Em vez dos simples métodos por tentativas do passado, a ABB usa métodos sofisticados de prototipagem e comissionamento virtual para desenvolver manipuladores robotizados e sistemas de automação que atendam às crescentes exigências de desempenho. A prototipagem virtual facilita a fase de conceção do produto e melhora a engenharia de detalhe e a função de teste de um sistema. Relativamente aos testes de aplicações, o comissionamento virtual é usado para verificar a funcionalidade de um sistema de automação antes de se iniciar o comissionamento real. O RobotStudio da ABB reduz com sucesso o tempo de comissionamento, fornecendo uma ferramenta de comissionamento virtual que permite simulações realistas do sistema.

## Foto de rosto

Robôs como este IRB 7600FX da ABB na secção de prensagem da VOLVO em Olofström na Suécia dependem de simulação para atenderem a necessidades cada vez mais exigentes e complexas.

Os manipuladores robotizados enfrentam requisitos cada vez mais exigentes e complexos, tal como os sistemas de automação onde são usados. É esperado dos construtores de máquinas e dos integradores de sistemas que entreguem e comissionem sistemas com menor tempo de ciclo em períodos de tempo mais curtos, com melhorias na qualidade, desempenho e custo.

Mas a ABB consegue responder a este desafio, por duas razões. Os engenheiros da ABB assumem uma abordagem mecatrónica –considerando a engenharia mecânica, eléctrica e o software em simultâneo. Usam a mais recente tecnologia de simulação disponível, incluindo simulações dinâmicas, CAD 3-D, análise de elementos finitos, design e optimização probabilística.

Design virtual – desenvolvimento de produto

Um robô industrial é um sistema mecatrónico com uma estrutura mecânica, normalmente referido como um manipulador robotizado e um controlador. Um manipulador robotizado é constituído por ligações estruturais, caixas de transmissão reductoras, servo motores e travões. Dependendo do programa para a aplicações específica, o robô industrial executa a sua trajetória de movimentação e cumpre a sua tarefa num sistema de automação. O controlador robotizado é constituído por um controlador principal para planeamento da trajetória e servo-conversores que controlam os motores eléctricos.

A conceção de um manipulador robotizado industrial é um processo de engenharia complexo. Os passos principais neste processo iterativo são:

- Design cinemático: decidir o número de juntas, comprimentos do braço e configuração
- Design dinâmico de corpo rígido: projetar a estrutura, bem como os motores, travões e aparelhagens adjacentes (incluindo parâmetros de configuração do controlo de movimento) que cumpram os requisitos do tempo de ciclo e do tempo de vida
- Design térmico: avaliar o enrolamento e a temperatura do eixo do motor com base em critérios de design térmico
- Design de rigidez: avaliação do desempenho do controlo do robô com base na análise da frequência de Eigen ou na análise da precisão do trajeto

---

**A prototipagem virtual é usada para avaliar a precisão do design dos manipuladores robotizados, considerando vários parâmetros ao mesmo tempo.**

A prototipagem virtual é usada para avaliar a precisão do design do manipulador robotizado, considerando vários parâmetros ao mesmo tempo. Estas simulações são usadas para determinar todas as especificações exatas para o design do robô, tais como peso, velocidade, aceleração e precisão do robô.

Por exemplo, na optimização do tempo de ciclo de um robô de carga e descarga de moldes na oficina de prensagem, o



Através do comissionamento virtual, podem ser realizados, sem qualquer problema, testes eficazes ao sistema.

desafio é determinar as especificações corretas para as caixas de velocidades e selecionar os parâmetros de controlo do sistema de tração que irá minimizar o tempo de ciclo e o binário da caixa de velocidades.

Com a prototipagem virtual, os engenheiros tomam uma abordagem de otimização multiobjectivos para analisar a melhor relação de compromisso entre o desempenho do tempo de ciclo do robô e o binário da caixa de velocidades. A prototipagem virtual permite aos engenheiros executarem milhares de testes para determinar a melhor relação de

Um controlador virtual simula exatamente o comportamento de um controlador real, mas é executado num PC standard.

compromisso para um desempenho máximo com o binário mínimo. Através destas técnicas a ABB desenvolveu uma solução de robô gêmeo que é usada em aplicações de automação de prensagem, conhecida como Twin Robot Xbar – TRX<sup>1</sup>→1. A relação de compromisso entre o desempenho de prensagem e o binário nominal total das caixas de velocidades foi obtido com otimização multiobjectivo→2. Esta relação apresenta uma visão quantitativa sobre o impacto do desempenho do robô sobre o design e o custo do sistema de tração. Por exemplo, o exame de dois pontos extremos de design na frente do Pareto revela que um aumento no desempenho de 5% da prensagem é conseguido aumentando o custo do sistema de tração em 7%.

## Engenharia de sistemas

Uma vez alcançado um design de sucesso do robô industrial, o passo seguinte é a colocação com sucesso do robô num sistema de automação. Juntamente com dispositivos como controladores lógicos programáveis (PLC), servomotores e conversores, e os equipamentos e software mecânico necessários, o robô passa a fazer parte de um sistema de automação discreto.

A prototipagem virtual [1], [2] também melhora a engenharia detalhada e a função de teste de um sistema. Antes do trabalho detalhado sobre o sistema de automação poder começar, é criado um projeto conceitual. Em conjunto, os grupos de engenharia mecânica, elétrica e de software, participam do processo. O layout tridimensional criado pelos engenheiros mecânicos torna-se um protótipo virtual para os engenheiros do robô. Ao usar o RobotStudio, uma ferramenta de programação e simulação offline da ABB para aplicações robotizadas, os engenheiros podem posicionar robôs virtuais no modelo, ensaiar percursos e trajetos e verificar a acessibilidade do robô. A programação e remoção de erros das aplicações para robôs pode ser efetuada no mesmo ambiente e imediatamente aplicada ao protótipo virtual

usando controladores robotizados virtuais que permitem, assim, o desenvolvimento e verificação de ciclos. Se for necessária remodelagem, identificada, por exemplo, pela análise de acessibilidade, as modi-

ficações necessárias podem ser facilmente comunicadas aos engenheiros mecânicos.

O uso de protótipos virtuais na fase de engenharia de detalhe não tem que ser limitado a aplicações para robôs. As simulações podem ser expandidas para uma gama muito mais ampla de aplicações, como, por exemplo, para o desenvolvimento de complexas aplicações PLC ou de aplicações de movimentação, com vantagens significativas no desenvolvimento e testes.

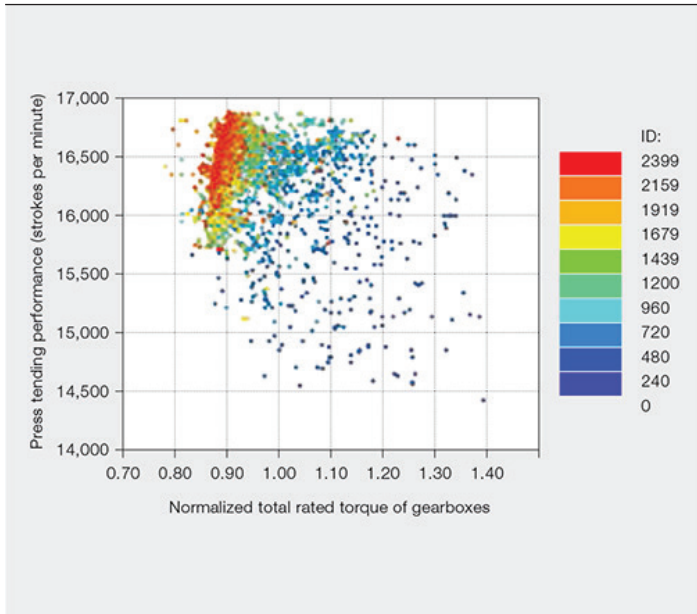
## Comissionamento virtual

O comissionamento virtual é um método de simulação para verificar a funcionalidade de um sistema de automação antes de iniciar o seu comissionamento real. O processo envolve a replicação do

### Rodapé

1 O robô TRX é constituído por dois manipuladores (4-eixos) interligados com uma travessa.

## 2 Design interno do Twin Robot Xbar – Robô TRX criados com sistema de tração de otimização de multiobjetivos



## 3 Vista de uma oficina de prensagem virtual criada com o RobotStudio da ABB



## 4 Vista sobre o modelo de oficina de prensagem virtual



comportamento do hardware dentro de um ambiente de software, permitindo uma transição suave do virtual para o ambiente físico.

Durante os testes e implementação, os métodos de comissionamento virtual, como o hardware-in-the-loop (H-I-L) e software-in-the-loop (S-I-L), são utilizados para os testes de integração e do sistema até o teste de aceitação final.

### O processo permite uma transição suave do ambiente virtual para o ambiente físico.

Dependendo da fase em que está a ser testada a aplicação do comissionamento virtual - a arquitetura adapta-se à fase de engenharia adequada do processo. Nas fases iniciais de teste é usada uma abordagem SIL, enquanto que em fases de teste posteriores uma abordagem HIL é mais adequada. S-I-L implica - a utilização de controladores virtuais. H-I-L significa que os controladores reais que executam a aplicação de automação a ser verificada estão incluídos no ambiente de teste. Um controlador virtual simula exatamente o comportamento de um controlador real, mas é executado num PC standard.

Atualmente, H-I-L é o cenário de teste predominante, que liga um PLC dedi-

cado através de um fieldbus a um PC com um modelo de simulação do sistema. Esta arquitetura permite uma execução em tempo real das aplicações de controlo. A complexidade dos sistemas atuais, normalmente requer a interligação de vários controladores de tipos diferentes para executar as tarefas de automação. Por isso, a simulação de partes maiores ou de um sistema completo requer uma infraestrutura de hardware que esteja apenas disponível apenas nas últimas fases do projeto.

Para facilitar testes eficientes nas fases iniciais do projeto - de preferência ao mesmo tempo que o desenvolvimento de aplicações - é importante ter um meio fácil de carga e de envio dos programas para o ambiente de teste virtual que funcione no mesmo PC onde são desenvolvidas as aplicações. A deteção atempada de problemas, e a capacidade de corrigir os mesmos com esforço moderado, torna-se cada vez mais importante, especialmente porque o componente de software de um sistema de automação tem aumentado drasticamente ao longo do tempo - e aumenta ainda mais.

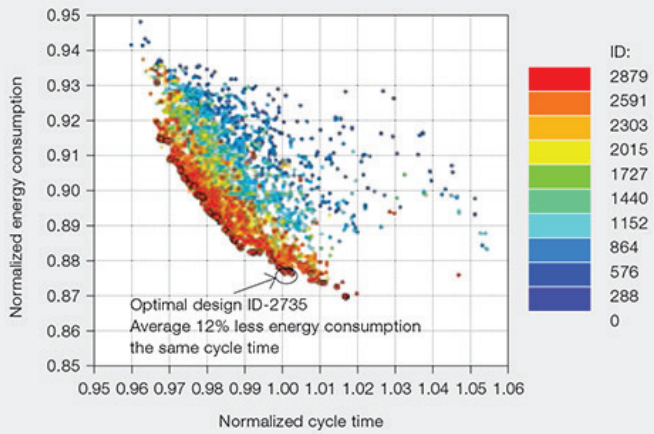
Para simular o sistema físico/alvo ou máquina é necessário um modelo virtual do sistema; sendo necessário modelar sensores e atuadores. O RobotStudio da ABB tem componentes inteligentes que imitam o comportamento de sensores e atuadores reais e que fornecem uma interface de sinal de processo para os

ligar com controladores reais ou virtuais permitindo, assim, a simulação completa de um sistema. Os componentes inteligentes podem ser usados para integrar de forma flexível a funcionalidade de vários componentes de automação no ambiente de comissionamento virtual.

Linhas de prensagem Tandem  
A automação de prensagem numa oficina de prensagem automóvel demonstra o valor da tecnologia de comissionamento virtual. O tamanho e a potências das prensas que constituem uma linha de prensagem impossibilitam a realização de testes reais do sistema na oficina. No entanto, através do comissionamento virtual, podem ser realizados, sem qualquer problema, testes eficazes ao sistema.

Uma linha de prensagem Tandem cria placas moldadas que serão posteriormente soldadas entre si para constituir um corpo de um automóvel. É composta por várias prensas alinhadas permitindo a passagem de peças brutas, para serem convertidas em placas moldadas. A primeira prensa (prensa para estirar) executa a moldagem e as outras recortam os contornos interiores e exteriores.

Devido ao elevado custo de uma linha de prensagem no sistema de automação completo, é crucial obter a produtividade máxima para otimizar o retorno do investimento destes equipamentos. Para obter a melhor taxa de saída a automação de transferência das placas entre



O design de eficiência energética é um requisito ganhou importância rapidamente e que pode ser avaliado através da prototipagem virtual. O objetivo é selecionar os parâmetros de controlo do sistema de tração, por exemplo, binários permitidos e velocidade, que irão minimizar o consumo de energia ao mesmo tempo que o tempo de ciclo é minimizado [3]. O problema é formulado num problema de otimização multiobjectivo com os parâmetros de controlo dos sistemas de tração como variáveis do projeto e os dois objetivos em conflito seguintes:

- Minimizar o consumo de energia
- Minimizar o tempo de ciclo

O método Pareto frontal para otimização multiobjectivo é usado nesta análise. Na otimização Pareto frontal, são minimizadas durante a otimização duas funções objetivas separadas (tempo de ciclo e consumo de energia). É obtido um conjunto de soluções Pareto, que exploram a relação de compromisso entre os dois objetivos em conflito. O algoritmo de otimização MOGA-II [4] implementa métodos não gradientes especialmente adequados para este tipo de problema e é usado o design para eficiência energética.

A otimização por si mesma é um processo iterativo. As variáveis do design, neste caso, os parâmetros de controlo do sistema de tração, são modificadas e é usado software de simulação de movimento do robô ABB usando o novo conjunto de variáveis para calcular o consumo de energia. Os resultados da simulação são utilizados para calcular a função objetivo e os valores das restrições. Este ciclo de otimização é encerrado quando o limite para o número máximo de avaliações da função definido para a otimização MOGA é atingido.

Caso contrário, o otimizador analisa a função objetivo e os valores de restrição e propõe um novo conjunto teste de valores das variáveis de design. O ciclo de otimização continua até que o critério de convergência é cumprido.

A ilustração acima apresenta o espaço da solução e o Pareto Frontier de uma otimização multiobjectivo, demonstrando a relação de compromisso do desempenho do tempo de ciclo e o consumo de energia. O design selecionado a partir do Pareto Frontier ideal apresenta uma melhoria de 10% do consumo de energia, sem a escarificação do desempenho do robô industrial sob otimização.

as diferentes prensas exige uma coordenação superior entre robôs e prensas.

Para construir o modelo de simulação todos os elementos/dispositivos que constituem o sistema são introduzidos no RobotStudio da ABB → 3. Os dispositivos são simulados por componentes inteligentes, incluindo todas as lógicas, cinemática e propriedades dinâmicas que fazem com que o modelo funcione exatamente como numa instalação real. Os dispositivos típicos a serem simulados são:

- Prensas com dimensões, controlo, sinais de E/S, curvas de movimento
- Robôs e outros dispositivos de automação
- Outros componentes mecânicos como mesas de desempilhamento, arruelas, transportadores e elementos de segurança

Esses componentes podem ser retirados a partir de bibliotecas, se já se estiverem incluídos, ou adicionados de outras fontes ou até mesmo criados de acordo com as especificações do cliente. Uma vez configurados virtualmente, o ambiente está pronto para simulações de sistemas reais. Cenários diferentes, correspondentes a casos de produção reais, podem ser simulados. → 4 apre-

presenta uma vista detalhada de um modelo de oficina de prensagem virtual com a trajetória do movimento do robô assinalada. A otimização do desempenho da linha pode exigir a reprogramação dos robôs, ciclos de prensas, PLC's (logics), ou adaptações de parâmetros previamente gerados. Conhecer o desempenho antes da instalação real é extremamente importante, considerando o risco dispendioso de não obter o desempenho esperado no sistema real.

O uso de simulações virtuais não está limitado ao design e comissionamento → 5: A introdução de novos processos de produção pode ser preparada muito mais facilmente e o diagnóstico de eventuais falhas ou melhorias potenciais de produção pode ser analisado antes da sua implementação no sistema real.

Os protótipos virtuais desenvolvidos durante o processo de design do produto e a engenharia de sistemas de automação também pode ser utilizada para apoiar a manutenção preditiva, identificar quais os componentes a substituir e, em alguns casos, para otimizar programas robotizados em relação ao desgaste, tempo de ciclo ou consumo de energia.

Além disso, os protótipos virtuais podem ser executados em paralelo com o sistema de automação atual, para testar virtualmente equipamento otimizado ou programas antes de serem implementados no sistema real.

**Diego Vilacoba**

**Ramon Casanelles**

ABB Discrete Automation and Motion, Robotics

**Xiaolong Feng**

**Daniel Wäppling**

**Peter Weber**

**Thomas Reisinger**

ABB Corporate R&D

**Comunicação Corporativa**

comunicacao-corporativa@pt.abb.com

**Referências**

- [1] V. Miegel, C. Winterhalter, "Comprehensive Use of Simulation Techniques to Support New Innovative Robot Applications." International Symposium on Robotics/Robotik, Munich, Germany, 2006.
- [2] P.R. Moorea, et al., "Virtual Engineering: An Integrated Approach to Agile Manufacturing Machinery Design and Control." Mechatronics, Vol. 13, No. 10, pp. 1105-1121(17), December 2003.
- [3] X. Feng, et al., "Energy Efficient Design of Industrial Robots Using Multi-Objective Optimization." 43rd International Symposium on Robotics (ISR2012), Taipei, Taiwan, 2012.
- [4] A. Konak, et al., "Multi-Objective Optimization Using Genetic Algorithms: A Tutorial." Reliability Engineering and System Safety, Vol. 91, pp. 992-1007, 2006.