



Construção de robôs humanoides: do design à entrega

O corpo humano é uma maravilha, seja na capacidade de se movimentar em praticamente qualquer terreno, a acuidade e profundidade da visão binocular, o tato e a destreza no manuseio de objetos e no uso de ferramentas. Os ambientes construídos por pessoas e para pessoas são projetados para aproveitar ao máximo essas capacidades.

Tais ambientes são comuns até mesmo nas configurações mais avançadas de fabricação, armazenamento e outros ambientes industriais. Apesar do alto grau de automação, ainda é necessária uma força de trabalho humana para preencher as lacunas entre vários sistemas de automação fixos, cada um projetado para cumprir uma finalidade específica. As tarefas voltadas a humanos, que muitas vezes se alteram de um dia para o outro, exigem movimentos flexíveis e autônomos para unir processos automatizados e garantir a continuidade e o desempenho de toda a operação.

O problema é que a força e a resistência humanas são limitadas. E os trabalhadores nessas funções podem se ferir. Trabalhos árduos e, por vezes perigosos, apresentam rotatividade elevada. Como resultado, pode ocorrer falta de força de trabalho, perturbando gravemente o fornecimento e a produção.

As tarefas cujo requisito é serem efetuadas por pessoas não podem ser realizadas com a simples adição de máquinas de uso específico, é necessário realizar grandes despesas e extensas modificações na fábrica ou no armazém. Tais tarefas são aplicações ideais para robôs humanoides, eliminando preocupações com a escassez de mão de obra e

liberando as pessoas do trabalho penoso e do perigo em potencial, para desempenharem funções mais criativas.

É por isso que os robôs humanoides, antes associados a fantasias de ficção científica e animatrônicos de parques temáticos, tornaram-se um campo vital de pesquisa e desenvolvimento. Apenas nos últimos 10 anos, a tecnologia humanoide avançou ao ponto em que muitas equipes acadêmicas, startups e empresas estabelecidas estão desenvolvendo humanoides que prometem transformar o local de trabalho e tirar as pessoas de situações de perigo.

A revolução contínua nas capacidades humanoides tem sido impulsionada por avanços nos sistemas de visão, sensores táteis e proprioceptivos, densidade de potência da bateria, algoritmos de inteligência artificial, velocidade de processamento e outras tecnologias. Mas, no cerne da questão está sempre o movimento. Se os braços e pernas de um robô não responderem às entradas dos sensores e aos comandos de motion do sistema com velocidade, potência, precisão e até elegância, então ele não conseguirá realizar seu trabalho de forma satisfatória. Os avanços em motores e atuadores motorizados são fundamentais para a revolução contínua em projetos robóticos voltados a humanos.

O movimento humanoide apresenta desafios técnicos e comerciais

No campo em rápida expansão dos robôs humanóides, os engenheiros sofrem intensa pressão para desenvolver rapidamente projetos que possam fornecer novas capacidades, mantendo a acessibilidade econômica, antes dos concorrentes. Em ambientes de desenvolvimento como esse, tudo depende de um projeto e iteração rápidos para chegar a um protótipo de sucesso. Mas, é justamente na fase de prototipagem que a verdadeira dimensão dos desafios de motion envolvidos se torna evidente.

Projetar um robô com o desempenho ideal do motion já é um grande desafio. Projetá-lo de forma que possa ser fabricado com facilidade e em grandes quantidades acrescenta outra dimensão ao desafio. O projeto torna-se arriscado quando as equipes de projeto não conseguem conciliar desempenho com comercialização. Um protótipo bem-sucedido deve levar em conta aspectos técnicos e comerciais desde o início.

Do ponto de vista técnico, os produtos de motion que não tenham sido projetados especificamente para movimento robótico são muito grandes, muito pesados e pouco adequados aos requisitos cinemáticos de execução de tarefas semelhantes às humanas em escala humana. Por exemplo, os projetistas podem ficar tentados a especificar motores amplamente disponíveis que foram originalmente projetados para uso em drones. Mas esses motores são projetados para operar em rpm comparativamente altas e não conseguem fornecer o torque consistente por toda a faixa de velocidade necessária para articulações de braços e pernas humanóides.

Do ponto de vista comercial, projetar considerando a capacidade de fabricação e de comercialização é fundamental desde o primeiro momento. Um motor que fornece um ajuste aproximado a um preço baixo ajuda os engenheiros de projeto a cumprir prazos e orçamentos apertados. No entanto, se o robô tiver um desempenho abaixo do ideal, e se um motor acessível e pronto para uso não for fabricado com qualidade consistente e apoiado por um suporte técnico eficaz, então uma pechincha na fase de projeto torna-se um risco na comercialização.

Por outro lado, uma solução personalizada de alta qualidade aumenta o risco porque aumenta substancialmente os custos e pode não ser passível de escala, para uma produção em grandes volumes.

Ainda assim, os riscos de desempenho e comercialização não são inevitáveis. Pode parecer que os desafios técnicos e comerciais se opõem um ao outro, mas, ambos podem ser resolvidos com uma estratégia de desenvolvimento otimizada, que especifique produtos de motion com base nos requisitos de desempenho e de capacidade de fabricação.



Comece com uma estratégia de motion no nível do sistema

As decisões de motion devem levar em conta o sistema como um todo. Nos níveis de desempenho exigidos para o movimento humanoide, um motor não é apenas um motor. Ele deve ter a forma, peso e características de desempenho altamente específicas, incluindo a capacidade de responder às explosões de aceleração dinâmica exigidas de uma articulação de robô humanoide, além de operar com maior eficiência. E, como já mencionamos, deve atender aos critérios e manter, ao mesmo tempo, a acessibilidade e a capacidade de fabricação de uma solução comercial pronta para uso.

Para alcançar a especificação ideal do motor, comece por compreender e documentar os requisitos de aplicação de cada articulação robótica, inclusive o torque dinâmico completo e a faixa de velocidade, a amplitude das cargas inerciais que provavelmente serão encontradas na operação e todas as metas de peso e a área ocupada pela instalação.

Depois de entender os requisitos dinâmicos de cada junta, comece o projeto da junta pela especificação do sistema mecânico, não comece pela especificação do motor, pode ser uma junta de atuação rotativa ou linear, e pela arquitetura da caixa de engrenagens. Essas especificações vão determinar como combinar o motor certo com o respectivo sistema de engrenagens.

Por exemplo, pense nos efeitos potenciais da conformidade e da folga na engrenagem. Uma imprecisão mínima que seria aceitável em uma aplicação de automação industrial pode ser problemática em um robô humanoide, que precisa manter o equilíbrio enquanto executa tarefas extremamente delicadas e poderosas. Ou então, leve em conta que mesmo o humanoide mais capaz pode esbarrar em coisas ou cair em um mundo dinâmico, assim como pode ocorrer com uma pessoa. A engrenagem selecionada precisa ser capaz de suportar forças e cargas imprevisíveis.

Uma discussão minuciosa sobre os tipos de engrenagem vai além do escopo deste artigo. No entanto, gostaríamos de observar que as articulações rotativas são o tipo mais comum em robôs humanoides, combinadas de forma a replicar o movimento dos tornozelos, joelhos, quadris, ombros, cotovelos, pulsos e assim por diante. A engrenagem harmônica, também conhecida como engrenagem de onda de deformação, atende excepcionalmente bem aos requisitos dessas juntas rotativas.

A engrenagem harmônica oferece:

- Relações de redução altas em uma única fase para alta densidade de potência e aceleração/desaceleração suave.
- Sem recuo para proporcionar um posicionamento preciso e controle confiável.
- O formato axialmente mais compacto, permitindo um design de robô compacto e ágil.
- Confiabilidade e resiliência quando encontra cargas de impacto.
- Disponibilidade em produtos comerciais prontos para uso adequados para juntas robóticas.

Tipo de transmissão	Torque/Força	Folga	Peso	Eficiência	Custo
Planetário	Neutro	Negativo	Neutro	Positivo	Positivo
Harmônico	Positivo	Positivo	Positivo	Negativo	Negativo
Cicloidal	Positivo	Neutro	Negativo	Neutro	Negativo
Parafuso esférico	Positivo	Neutro	Positivo	Neutro	Positivo

Tipos de redutores de engrenagem e respectivos atributos relativos

Ao selecionar uma engrenagem harmônica, considere se um conjunto de engrenagens com diâmetro externo relativamente maior poderia atender aos seus requisitos de projeto. O aumento do diâmetro possibilitou usar um motor de diâmetro maior, permitindo aproveitar as vantagens da regra D²L. Esta regra estabelece que o torque aumenta de forma diretamente proporcional a um aumento no comprimento da pilha de laminação do motor. Ou, dito de outra forma, como o quadrado do aumento do diâmetro do braço do momento.

Em outras palavras, dobrar o diâmetro do braço do momento gera um aumento quatro vezes maior do torque ou, como alternativa, permite que o comprimento dos ímãs do rotor seja reduzido em 3/4 sem perda de torque. A regra D²L oferece uma maneira simples de maximizar o torque de cada junta. Além disso, em muitos projetos, a redução do comprimento axial de uma junta robótica permite um robô mais ágil e com mais espaço livre para trabalhar em espaços apertados e próximo dos objetos ao seu redor.



Projetar para ter capacidade de fabricação e de comercialização em escala.

Depois de projetar uma arquitetura conjunta que faça sentido, o próximo passo é avaliar se os componentes dessa arquitetura podem ser ampliados para a produção total de um robô que o mercado pretendido irá adotar. Pergunte a si mesmo se o seu projeto é sólido o suficiente para escalar e se os componentes que você selecionou estarão facilmente disponíveis, funcionalmente ideais e mecanicamente confiáveis quando fizer a transição do protótipo para a produção em grande escala.

Na Kollmorgen, já vimos muitos casos de protótipos que foram criados sob restrições de tempo ou orçamentárias, tendo a conveniência do design ou o preço do produto como principais critérios de seleção. Quando os resultados são um projeto de junta muito grande, muito pesado e com desempenho abaixo da média, o resultado é ainda mais tempo e dinheiro gastos em refazer o projeto para corrigi-lo, ou, até mesmo abandonar o projeto por completo. O pior resultado é seguir em frente com a produção do projeto com custos elevados, apenas para depois enfrentar a rejeição do mercado.

Acreditamos fortemente no valor, tanto de curto quanto de longo prazos, de acertar o design desde o início, para chegar ao mercado mais rapidamente com um produto melhor e mais lucrativo. Para muitas empresas, isto exige mudar a mentalidade que separa a P&D da produção. Na realidade, para ter sucesso, é necessário colocar a P&D e a produção continuamente juntas, compartilhando objetivos, recursos e processos.

A excelência operacional, além do projeto funcional, deve ser incorporada ao processo de prototipagem. Desde o início do projeto, considere como o design evoluirá e se expandirá do protótipo para os testes de campo, para a produção inicial em pequena escala e, em seguida, para a produção total. Dessa forma, você evita atrasos, contratemplos ou até mesmo a necessidade de uma reformulação total.

No que diz respeito à seleção, dimensionamento e configuração de motores, isso significa levar em consideração diversos fatores além das características de velocidade, torque e potência, como por exemplo:

- As características de carga do sistema de engrenagens nos ambientes altamente variáveis em que os robôs humanoides operam e os requisitos de desempenho que o motor deve atender.
- A distância entre o motor, a caixa de engrenagens e os outros componentes da junta.
- Temperaturas do ambiente de operação, aumento térmico do motor e todas as provisões para dissipar o calor.
- Como o excesso de calor pode afetar o desempenho do motor ou componentes próximos, como lubrificantes de engrenagens e componentes eletrônicos de feedback.
- A sequência de fabricação em termos de onde os cabos passam, como os dispositivos de feedback são instalados, como os adesivos são distribuídos e assim por diante.

Esses e muitos outros fatores são extremamente importantes ao projetar um protótipo que incorpore os princípios de DFM (Design for Manufacturing). A

Kollmorgen sempre trabalhou com o DFM em mente, tanto no projeto e fabricação de nossos próprios sistemas de motion, quanto em colaborações de engenharia para ajudar a otimizar os projetos de nossos clientes para o DFM.

Temos centenas de anos de experiência coletiva e trabalhamos com milhares de aplicações de clientes, ajudando a otimizar motores para os requisitos de desempenho da aplicação, bem como para a capacidade de fabricação. Nossos processos comprovados incluem a colaboração desde o projeto inicial, passando pela prototipagem e design iterativo, até as revisões finais do design e o dimensionamento total da produção, dando aos clientes confiança em um projeto que permanece no caminho certo do princípio ao fim.

Além disso, fornecemos produtos de motion com especificações e qualidade idênticas ano após ano, ao mesmo tempo que inovamos continuamente para atender às necessidades de um mercado em constante evolução. Nosso objetivo é sempre fornecer produtos com desempenho ideal para novas iniciativas de desenvolvimento e, também garantir acesso consistente aos produtos necessários para a produção completa e os requisitos de serviço pós-venda.



Vários líderes da indústria em robótica humanoide comprovaram nossos processos, capacidades e produtos ao visitarem nossas fábricas para realizar suas próprias auditorias. E a cada visita, a Kollmorgen excede as expectativas.

Incorpore a tecnologia sem carcaça da Kollmorgen

Os sistemas mecânicos são infinitamente variados e os produtos de motion não são criados da mesma maneira. A Kollmorgen se dedica a fornecer a maior seleção de motores projetados para robôs, em uma ampla variedade de tamanhos, com modificações padrão e personalizadas de baixo custo, que atendem aos requisitos precisos de desempenho de cada aplicação sem sacrificar a capacidade de fabricação.

O compromisso e a especialidade da Kollmorgen são fornecer desempenho confiável em motores da mais alta qualidade, além de capacidade de fabricação confiável em qualquer escala.

Por exemplo, dois dos requisitos mais importantes são minimizar o consumo de energia, uma vez que os robôs humanoides normalmente operam autonomamente com energia da bateria, e otimizar o torque, uma vez que devem carregar o seu próprio peso enquanto executam tarefas que aplicam força humana ou mesmo sobre-humana com extrema precisão.

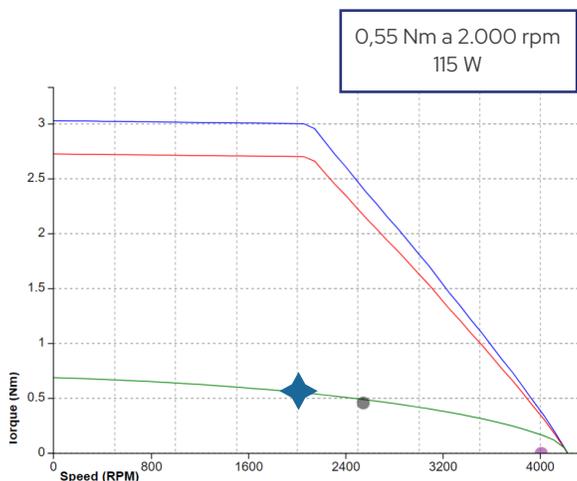
A Kollmorgen oferece motores sem carcaça projetados especificamente para os requisitos de juntas robóticas. São compactos, leves e eficientes no consumo de energia, inclusive têm a opção de ajustar as características do enrolamento para obter eficiência máxima nas faixas específicas de torque e velocidade de cada aplicação.

Essas características ajudam os engenheiros de robótica a minimizar o tamanho, o peso e o consumo de energia, fornecendo torque ideal em motores menores e mais leves. Juntas leves permitem uma melhor distribuição de peso que melhora o equilíbrio e a estabilidade do robô. Articulações axialmente menores permitem maior destreza do braço robótico, ao mesmo tempo que reduzem o risco de impacto com estruturas e objetos. A eficiência energética permite tempos de operação mais longos entre uma carga e outra da bateria.

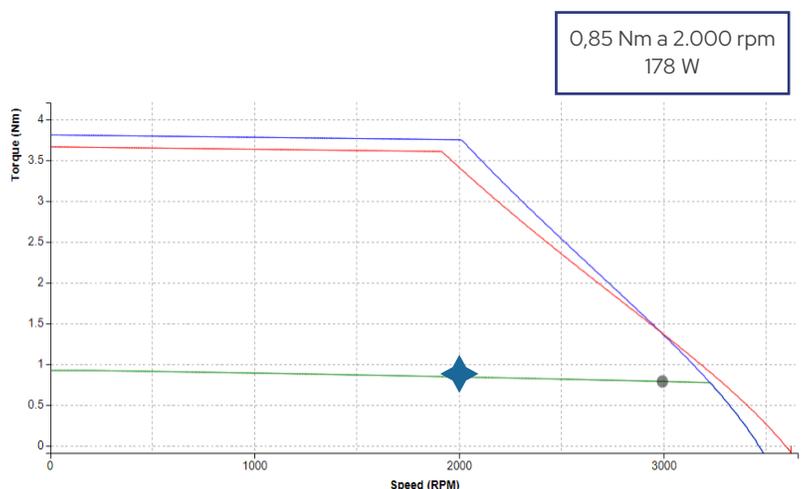
Considere, por exemplo, a série TMB2G de servomotores sem carcaça da Kollmorgen, projetados especificamente para atender aos requisitos de formato, consumo de energia e desempenho de articulações robóticas. São motores projetados para atender aos requisitos de dimensão, de torque e de velocidade das engrenagens harmônicas padrão para permitir as articulações robóticas mais compactas e precisas sem a despesa de especificar engrenagens personalizadas.

Os motores TBM2G podem aproveitar a regra D²L para entregar desempenho completo nas juntas axialmente mais leves e compactas. O design também permite um furo passante grande para acomodar a fiação e outros componentes que passam pelas articulações do braço do robô. Esses motores funcionam com uma ampla variedade de encoders e podem até mesmo ser fornecidos com sensores Hall integrados que aumentam o comprimento do motor.

Com um aumento térmico especialmente baixo, os motores TBM2G podem operar muito perto de componentes sensíveis à temperatura sem comprometer o desempenho. Por exemplo, a temperatura máxima do enrolamento de 155 °C de um motor com isolamento Classe F equivale a 140 °C nominais nas proximidades do encoder e dos componentes da engrenagem. Mas os motores TBM2G oferecem desempenho excepcional sem exceder 85 °C, melhorando significativamente a confiabilidade e a vida útil das articulações robóticas.



Desempenho de motor típico a temperatura ambiente de 25 °C e temperatura máxima do enrolamento de 85 °C



Desempenho do motor TBM2G a temperatura ambiente de 25 °C e temperatura máxima do enrolamento de 85 °C

O poderoso gerador de curva de desempenho da Kollmorgen, uma das diversas ferramentas de design on-line de autoatendimento disponíveis no site da Kollmorgen, foi usado para criar as análises do motor mostradas nos gráficos. Como você pode ver, o motor TBM2G fornece desempenho excepcional operando a uma temperatura do enrolamento de 85 °C. Para alcançar um desempenho comparável, praticamente todos os outros servomotores sem carcaça disponíveis devem funcionar muito mais quentes, normalmente a uma temperatura máxima de enrolamento de 155 °C.

Esse é um grande problema para articulações robóticas estreitamente integradas. À medida que a temperatura do enrolamento passa de 85 °C, o lubrificante das engrenagens degrada-se rapidamente e os dispositivos de feedback eletrônico podem se tornar pouco confiáveis. Por outro lado, se um motor projetado para desempenho ideal a 155 °C for operado a uma temperatura máxima do enrolamento de 85 °C, seu desempenho será prejudicado substancialmente. O TBM2G é o único

servomotor sem carcaça do mercado projetado para oferecer desempenho superior dentro das limitações de temperatura reais de uma articulação robótica.

Os servomotores TBM2G também oferecem aos projetistas de robôs a capacidade de dimensionar corretamente cada motor para cada articulação. Ao contrário dos dois ou três tamanhos de carcaça normalmente oferecidos com servomotores típicos, os motores TBM2G estão disponíveis em sete tamanhos de carcaça, cada um com três comprimentos de pilha, e uma variedade de opções padrão para um ajuste ideal à aplicação. A escolha das variações de enrolamento otimiza o desempenho do motor em diversas tensões de barramento, incluindo enrolamentos ideais para robôs humanoides alimentados por baterias.

A Série TBM2G é construída com os mais altos padrões de qualidade, com a capacidade de fabricação, a entrega e o suporte necessários para levar seu robô humanoide do protótipo à produção em escala em qualquer volume, em qualquer lugar do mundo.

O parceiro de Motion é importante

A série de servomotores sem carcaça TBM2G é apenas um exemplo do compromisso da Kollmorgen com a robótica superior. Nossos motores sem carcaça TBM e RBE, juntamente com vários outros produtos, atendem a uma ampla variedade de requisitos de motion para o campo diversificado e em rápido crescimento de humanoides, bem como de outros projetos robóticos.

E, tão importante quanto, nossa equipe de engenharia possui vasta experiência em robótica. Ajudamos a projetar de forma colaborativa a solução de motion ideal para dar vida às capacidades exclusivas do seu robô. Com a manufatura enxuta, os processos reproduzíveis e os controles de

qualidade, ajudaremos você a passar rapidamente da prototipagem para a produção em escala, com sistemas de Motion entregues no prazo, sempre. Além disso, ofereceremos suporte regional de longo prazo para sustentar a entrega do produto em todo o ciclo de vida do robô, gerenciando custos e escalando a produção conforme o necessário.

Entre em contato conosco para tratar das suas necessidades e objetivos com um especialista em robótica da Kollmorgen.

Sobre a Kollmorgen

A Kollmorgen, uma marca Regal Rexnord, tem mais de 100 anos de experiência em Motion, comprovada com motores, drives, soluções de controle para AGV e plataformas de controle de automação de maior desempenho e confiabilidade do setor. Oferecemos soluções inovadoras que são inigualáveis em desempenho, confiabilidade e facilidade de uso, dando aos fabricantes de máquinas uma vantagem inquestionável no mercado.