

CONTROLES ADAPTATIVOS COMO UM DIFERENCIAL COMPETITIVO

ADAPTIVE CONTROL LIKE A COMPETITIVE DIFFERENTIAL

Alexandro Maffei¹, Carlos Frederico Viero², Márcio Walber³

¹ Mestrando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de Passo Fundo, Bairro São José, BR-285, CEP 99052-900 – CX. Postal 611, E-mail: alexandromaffei@yahoo.com.br

² Mestrando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de Passo Fundo, Bairro São José, BR-285, CEP 99052-900 – CX. Postal 611, E-mail: vierocf123@hotmail.com

³ Professor Doutor do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de Passo Fundo, Bairro São José, BR-285, CEP 99052-900 – CX. Postal 611, E-mail: mwalber@upf.br

RESUMO

Um sistema de controle adaptativo é projetado para operar em ambiente de mudança constante, monitorando seu desempenho e alterando, desta forma, alguns aspectos do seu mecanismo de controle para alcançar o desempenho ideal ou próximo do ideal. Para isso ele usa um controle de feedback e sistemas de otimização, chamados de Controles Adaptativos. Nesse estudo abordaremos a utilização de Controles Adaptativos em processos e usinagem, sendo que a motivação da aplicação deste sistema neste tipo de processo é aumentar a taxa de remoção de material por unidade de tempo, obtendo uma redução do custo do volume de material removido.

Palavras-chaves: Usinagem, Controles Adaptativos, Otimização.

ABSTRACT

An adaptive control system is used in situations in which exist a constant change in the values of the monitored variables, acting by changing the control mechanisms to achieve performance as required. For this it uses a feedback control and a optimization system, called Adaptive Controls. In this study we discuss the use of Adaptive Control in machining processes, aiming to increase the material removal rate per unit time, looking for cut costs of the material volume removed.

Key-words: Machining, Adaptive Controls, Optimization.

1. INTRODUÇÃO

A competitividade de mercado vem obrigando as indústrias manufatureiras a tornarem-se cada vez mais eficientes. Para tanto a tomada de decisão baseada em informações precisas, se torna uma atividade fundamental principalmente na otimização de processos fabris. Alguns fatores que influenciam nesta nova posição da manufatura atual são:

- Aumento na variedade dos produtos e, conseqüentemente, no tamanho de lotes;
- Exigência de tolerâncias mais apertadas (maior precisão e melhor qualidade);
- Maior confiabilidade dos produtos;
- Maior variedade de materiais compostos com propriedades diversas;
- Redução do lead-time dos projetos;
- Melhoria contínua do produto;
- Melhoria contínua na relação entre qualidade, custo e entrega.

Essa pesquisa visa conceituar uma outra proposta para competitividade entre as empresas além das citadas acima, dessa forma, serão abordados alguns conceitos preliminares para uma melhor compreensão do tema abordado antes de entrarmos diretamente no conceito de **Controle Adaptativo**.

Inicialmente serão apresentados conceitos de sistemas, sistemas lineares e sistemas não lineares, posteriormente colocações sobre a diferença entre automação e automatização. O entendimento destes conceitos são fundamentais para a construção de um entendimento sobre *Controles Adaptativos* e sua real capacidade de diferenciação entre as empresas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A primeira revolução industrial trouxe as primeiras máquinas-ferramenta, e com elas os processos de mecanização e automação. As fábricas desenvolveram-se com processos de manufatura. Os recursos (material, mão-de-obra, processos e por consequência o comércio) foram colocados onde havia energia. Como a maioria usava energia hidráulica, logo estas fábricas foram se instalando ao redor dos rios. A água movimentava uma roda d'água girando um eixo que percorria a extensão da fábrica. Neste momento as máquinas eram extensões de alguma capacidade dos operadores. O operador desenvolve diferentes habilidades dependendo do tipo de tarefa (trabalho com couro, ferro, fundição, etc...), desta forma os processos foram divididos de acordo com as habilidades necessárias para operá-los.

De acordo com De Masi (1999), o desenvolvimento da sociedade industrial passou por três momentos distintos:

Primeira Revolução Industrial, que foi impulsionada pela invenção da máquina a vapor na Europa no final do século XVIII, nascendo assim a sociedade capitalista industrial, centrada na produção manufatureira em larga escala e não mais artesanal.

Segunda Revolução Industrial, na esteira da descoberta da eletricidade, no final do século XIX tendo como um dos símbolos de sua época, Carl Marx, que expôs uma sociedade marcada pela exploração do trabalho, defendendo uma maior igualdade social para todo trabalhador.

Terceira Revolução Industrial, por meio do desenvolvimento da automação, iniciou nas primeiras décadas do século XX, através das teorias de Taylor e Ford, dando origem assim a sociedade capitalista, produção e consumo em massa.

“A atividade de produção é inerente à atividade humana,..., até a revolução industrial, no século XVIII, os produtos eram elaborados diretamente por artesões. Com o surgimento das fábricas e com o aumento no volume de produção houve uma divisão do processo de produção em atividades de projeto, fabricação e comercialização”, (BACK, 2008).

Uma melhoria nos equipamentos se dá com a invenção do motor e de componentes elétricos. As máquinas-ferramenta eram fornecidas com seus próprios acionamentos permitindo maior liberdade no layout das fábricas.

Intercambialidade de peças e divisão da mão-de-obra geram o princípio de linha dedicada. Isto permite a manufatura de produtos de volume com qualidade que, anteriormente, não poderiam ser adquiridos pelas pessoas devido seu alto custo, pois eram feitos sob encomenda. Isto dá origem a produção em massa, com produtos padronizados sendo colocados no mercado em alto volume. Este tipo de linha é extremamente caro para se fazer alterações. A chegada do transistor entre outras tecnologias trouxeram a possibilidade de construir controles de máquinas reprogramáveis, com um certo grau de liberdade, desta forma, as máquinas de manufatura, horas antes dedicadas, passam a ter capacidade de produzir mais de um produto.

O Controle Numérico (NC), desenvolvido por volta do ano de 1947, pelo MIT (Massachusetts Institute Of Technology), é a primeira experiência de combinação entre software e hardware. A possibilidade de usinagem de peças complexas em pequenos lotes torna-se real. Desta forma os sistemas de manufatura elevam sua capacidade e flexibilização. Nos Comandos Numéricos a velocidade de corte e a taxa de avanço são parâmetros que fazem parte dos programas. A determinação destes parâmetros de funcionamento depende do conhecimento e experiência em relação à peça de trabalho, os materiais da ferramenta, as condições de refrigeração e de outros fatores. Para

minimizar o risco de falha nos equipamentos (o que raramente ocorria) os parâmetros programados pelos operadores, para as variáveis de máquina, eram sempre conservadores. Esta forma de interpretação leva a uma queda de produtividade do sistema (*American Society of Mechanical Engineers* – 1989).

Com a integração dos “*transistors*” e outros componentes eletrônicos em sistemas compactos (VLSI - “*very large-scale integration*”) permitem a disponibilização de computadores para o controle dos sistemas de manufatura. A partir deste momento tem-se a disposição tarefas específicas de manufatura com algoritmos computacionais no controle das mesmas (*American Society of Mechanical Engineers* – 1989). Para o controle de manufatura por computador as máquinas tiveram que conter interfaces para a comunicação tornando-se compatíveis com os computadores. Já os computadores tiveram que desenvolver ferramentas compatíveis para se comunicar com o processo. Desta forma, algoritmos, componentes e novos conceitos foram desenvolvidos para que essas tecnologias pudessem trabalhar de forma unificada.

Para melhor compreender a importância e o conceito de **Controle Adaptativo**, faz-se necessário entender alguns temas, que serão discutidos a seguir:

2.1 O conceito de Sistema.

Um sistema pode ser definido, geralmente, como uma coleção de componentes ou processos inter-relacionados e interdependentes agindo conjuntamente, com objetivos comuns, para transformar entradas em algum tipo de “saída”, DEMING (1990).

Uhlmann (2002), entende o conceito de sistema a partir de Bertalanffy como sendo “ um conjunto de elementos em inter-relação entre si e com o ambiente”.

Já Blanchard (1995), define sistema a partir da palavra grega “*systema*” com significado de um todo organizado. Segundo Blanchard, um sistema é um grupo de objetos unidos por alguma forma regular de interação ou interdependência; um grupo de diversas unidades combinadas pela natureza ou forma na composição de um todo integrado para que as funções, operações e movimentos possam trabalhar em harmonia, respondendo a alguma forma de comando. Para Blanchard, em essência, sistema constitui um conjunto de componentes inter-relacionados trabalhando juntos com o objetivo comum de cumprir uma necessidade esperada.

Blanchard apresenta as seguintes classificações de sistemas:

- Natural: oriundo da natureza;
- Artificial: desenvolvidos pelo homem;
- Físicos: tangíveis, feitos de objetos reais que ocupam espaço;
- Conceituais: organização de ideias, um conjunto de especificações e planos, uma série de conceitos abstratos e outros;
- Estáticos: tem estrutura física, porém não executa atividades (ponte/depósito);
- Dinâmico: combina componentes estruturais e atividade;
- Fechado: são auto-contidos e com baixa interação com o ambiente (sistemas químicos equilibrados, circuitos elétricos);
- Abertos: troca informação, energia e materiais com o meio ambiente.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Sistemas Dinâmicos Não Lineares

Sistemas dinâmicos não-lineares são sistemas cujas grandezas que os descrevem evoluem no tempo de forma não-periódica, irregular, aleatória e, portanto, imprevisível. Os modelos matemáticos

que procuram representar seu comportamento apresentam características que têm renovadamente surpreendido os pesquisadores ao longo das últimas décadas.

3.2 Automação e Automatização

Trabalhos automáticos executados por equipamentos de produção são obtidos pela **automatização**. Estes equipamentos contam com um sistema mecânico, eletrônico e, além disso, um sistema computacional para operação e controle da produção sem a interface humana. Desta forma temos a automatização abordando as questões de planejamento, estratégias do processo e operação, ou seja, voltada mais as tomadas de decisão.

A responsabilidade da condução do processo através de programação e retroalimentação (feedback) automática de dados que servirão de parâmetros para os comandos, dá-se o nome de **automação**. É o próprio processo sendo executado de forma automática. Exemplos bem práticos de automação são as operações das máquinas de lavar roupas e a de lavar louças.

As automatizações podem ser divididas em:

Fixas:

- Pouca flexibilidade;
- Para produção de grandes lotes;
- Automatismo obtido via eletromecânico, eletrônica e CLP.

Programáveis ou Flexíveis:

- Processa diferentes tipos de peças;
- Aceita alteração na programação;
- Robustez no tratamento de falha do equipamento;
- Lotes pequenos e médios;
- Exemplos máquinas CNC, TC, MC e robôs industriais.

3.3 Graus de Automação

Os graus de automação industrial podem ser divididos em varias fase:

- Ferramentas manuais: substituição das mãos por ferramentas para execução do trabalho;
- Ferramentas acionadas: este passo foi dado pela revolução industrial com a energização das ferramentas;
- Quantificação da Energia: quantificação da energia para executar a tarefa, a medição torna-se parte do processo embora seja fornecida ainda para o operador tomar a decisão (quanto deve ser mexido, quanto deve ser aquecido, etc.);
- Controle Programado: a máquina pode ser programada para executar uma série de tarefas e, ao final, entregar uma peça acabada. O operador deve observar a máquina para ver se tudo esta funcionando bem;
- Controle com realimentação negativa: usa um sistema de medição para corrigir a ferramenta (regulador de vazão em reatores de fabricação de tinta);
- Controle de máquina com cálculo: em vez de realimentar uma medição simples, ele usa este sinal e calcula um sinal de controle. Este é o primeiro nível de automação disponível pelo computador digital.

- Controle Lógico da Máquina: o telefone com um dial é um exemplo de máquina lógica. O sistema de desligamento de plantas químicas usa controle lógico. Um conjunto de condições inseguras dispara circuitos para desligamento de bombas, fechar válvulas de vapor ou desligar toda a planta.
- Controle Adaptativo: neste tipo de sistema a máquina aprende a corrigir seus sinais de controle **se adequando a condições variáveis**. Um sistema de aquecimento de um edifício que adapta suas respostas a um termostato programado por leituras de medidores externos.
- Controle Indutivo: a máquina rastreia a resposta de suas ações e revisa suas estratégias. Para fazer isso o computador usa programa heurístico.
- Máquina Criativa: ela projeta produto ou circuitos nunca antes projetados. Programa de composição de música. A máquina criativa procura soluções que o seu programa não pode prever.
- Aprendendo pela Máquina: a máquina ensina o homem. O conhecimento passa na forma de informação. A máquina pode ensinar matemática ou experimentos a um aluno em um laboratório imaginário. Isto se dá na forma de instruções que são passadas para o aluno.

3.4 Controle Adaptativo

Segundo Mareels e Polderman (1996), não há uma unanimidade sobre o conceito de sistema adaptativo. Para que este conceito fique melhor explicado os autores usam exemplos de controle adaptativo ou sistema de processamento de sinais.

Como falado anteriormente, o controle adaptativo se desenvolve durante a Segunda Guerra Mundial. Neste período os sistemas adaptativos eram baseados em dispositivos analógicos, estes dispositivos eram o tipo de equipamento disponível na época. Atualmente os sistemas de controle adaptativos usam microprocessadores integrados com os sistemas de CNC, GROOVER (2007).

Um sistema de controle adaptativo é projetado para operar em ambiente de mudança constante, monitorando seu desempenho e alterando, desta forma, alguns aspectos do seu mecanismo de controle para alcançar o desempenho ideal ou próximo do ideal. Para isso ele usa um controle de feedback e sistemas de otimização, ambos interligados, o processamento destas duas informações permite que o sistema se ajuste as condições detectadas e melhore sua performance.

Para KALPAKJIAN (2010), Controles Adaptativos tem seus parâmetros de operação ajustados automaticamente, sendo que o próprio sistema se adapta as novas circunstâncias de operação, de maneira que as alterações nos padrões sejam executadas se comportando como um sistema de feedback dinâmico.

As principais funções de um sistema adaptativo são:

- Identificação: preocupa-se com a identificação do valor atual de performance do sistema, obtém as informações a partir de feedback do sistema;
- Decisão: a partir da performance atual do sistema, decide se altera ou não variáveis para um atingimento de uma performance ainda mais otimizada. Isso se dá, também, com uma análise de quais variáveis deverão ser alteradas no sistema.
- Modificação: implementa a decisão do sistema.

3.5 O Controle Adaptativo Como Ferramenta de Otimização em Processos de Usinagem e Corte.

Para processo de usinagem o controle adaptativo é uma extensão do comando numérico. Como dito anteriormente, a velocidade de corte e os avanços em um processo de usinagem qualquer, são escritos nos programas pelo operador. Isso requer um grau de conhecimento e experiência, do mesmo,

com relação a peça que irá ser usinada. A ideia do uso de controle adaptativo neste caso, é conferir uma melhoria do processo de forma que durante a usinagem, o *Controle Adaptativo* possa ir determinando velocidade de corte e avanço. Neste caso o controle adaptativo é um sistema de feedback que ajusta, automaticamente, o avanço e a velocidade de corte do sistema em tempo real a medida em que o trabalho progride. O processo de ajuste se dá através das variáveis de saída do sistema.

Para estes equipamentos o controle adaptativo pode ser dividido em:

- **Controle Adaptativo Com Otimização:** Refere-se a sistemas em que o desempenho é otimizado de acordo com uma prescrição IP, chamado às vezes de figura de mérito. O IP é geralmente uma função econômica, tais como taxa máxima de produção ou custo mínimo de máquina.
- **Controle Adaptativo Com Restrições:** Neste sistema leva-se em consideração os limites/restrições do equipamento (constraints). A performance do sistema é limitada pelas restrições do equipamento tais como taxa máxima de avanço, torque máximo.

Para operações de usinagem o termo Controle Adaptativo significa medir variáveis de saída para controlar velocidade e avanço. Nas variáveis comumente usadas pelos CA's podemos incluir deflexão do eixo ou força, temperatura de corte e potência. Uma medida comum em processos de usinagem é a taxa de material removido e custo por volume removido. A motivação da aplicação deste sistema neste tipo de processo é aumentar a taxa de remoção de material por unidade de tempo, consequentemente redução do custo do volume de material removido.

3.6 Aplicação de Controle Adaptativo em Usinagem

Abaixo listaremos algumas fontes de variação no sistema de usinagem onde o uso de sistema adaptativo pode ser vantajoso.

- **Geometria variável de corte:** Há uma mudança na forma, profundidade ou largura de corte, nestes casos, a taxa de avanço é geralmente ajustada para compensar a variabilidade.
- **Dureza variável:** Na peça a usinagem é variável, quando pontos rígidos ou áreas de difícil usinagem são encontrados em uma peça de trabalho, a velocidade ou a alimentação é reduzida para evitar um desgaste prematuro da ferramenta.
- **Rigidez variável:** Se a rigidez da peça variar a taxa de avanço deve ser reduzida para manter a precisão do processo.
- **Desgaste da Ferramenta:** Foi observado na investigação que à medida que a ferramenta começa a desgastar, a força de corte aumenta. Neste caso o Controle Adaptativo deverá responder reduzindo a taxa de avanço.

3.7 Tipos de controle adaptativos

- **Controle Adaptativo Geométrico:** Este tipo de CA está relacionado com o controle da forma e dimensão da peça usinada. O IP deste sistema é a geometria final da peça, logo teremos uma maior precisão na geometria final da peça usinada.
- **Controle Adaptativo Tecnológico:** Se divide em otimizado e por restrição. O CA por restrição trabalha sua otimização limitado pelas variáveis limites do equipamento, ao passo que o otimizado pré-estabelece um valor para o IP e, a partir da definição, passa a ajustar o sistema para alcançá-lo.

4. CONCLUSÃO

O aumento da taxa de produção com melhoria da produtividade foi a força motriz para o desenvolvimento dos Controles Adaptativos em tempo real nos processos de usinagem. Permitir variações na geometria, material das peças e ajustes no desgaste da ferramenta, fornece a máquina capacidade de atingir um nível maior de taxa de remoção de material com isso melhor produtividade. Além disso, permite aumento na vida útil das ferramentas de corte, ou seja, maior eficiência também no uso das ferramentas. Assim esse tipo de sistema é muito vantajoso para processo onde haja variação de geometria de corte e profundidade, aumentando assim a produtividade e baixando o custo hora de remoção de matéria, porém deve-se observar que o custo elevado de aquisição e aplicação restrita para alguns tipos de usinagem são as desvantagens verificadas neste sistema.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

DEMING, W. E. The Logic Thinking Process A sistem approach to complex problem. American Society for Quality, Quality Press Milwaukee, WI 53203 – 2007

DEMING, W. E. Qualidade: A Revolução da Administração. Rio de Janeiro: Saraiva, 1990. System engineering Management - Benjamin S. Blanchard Copyright John Wiley & Sons. Inc. 605 Third Avenue, New York NY, 1995.

CARMONA, D. H. General Systems Theory - A focus on Computer Science Engineering, 2011 Copyright of this edition Dougglas Hurtado Carmona

UHLMANN, G. W. Teoria Geral dos Sistemas do Atomismo ao Sistema (Uma abordagem sintética das principais vertentes contemporâneas desta proto-teoria, 2002.

GROOVER, M. P. Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Process, and Systems, Third Edition Mikell P. Groover – 2007

MAREELS, I. POLDERMAN, J.W. ADAPTIVE SYSTEMS, AN INTRODUCTION. Birkhauser Boston. (1996)

KOREN, Y. Adaptive Control Systems for Machining. Dept of Mechanical Engineering and Applied Mechanics, The University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109

BACK, Nelson. ...[et al]. Projeto integrado de produtos: Planejamento, concepção e modelagem. Barueri, SP: Manole, 2008.

KALPAKJIAN, S. and SCHIMID, S.R., 2010, Manufacturing engineering and technology, 6.ed., Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River.

DE MASI, D. (1999). O futuro do trabalho: Fadiga e ócio na sociedade pós-industrial (Y. A. Figueiredo, Trad.). Rio de Janeiro: José Olympio.