

Relatório de Estágio

Estágio para licenciatura no tema

Técnicas de Simulação, Controlo e Optimização para Sistemas Autónomos-
Aplicações na Robótica e em Processos de Manufatura

PRODEP Proc. N° 4.3/1.04/92

Autor

Fernando Emanuel Coutinho de Vilhena e Mascarenhas

Junho de 1993



FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Rua dos Bragas, 4099 Porto Codex, PORTUGAL

Telef. 351-2-317105/107/412/457 · Telex 27323 FEUP P · Telefax 351-2-319280

Ação de Formação Prodep 4.3/7.04/92

Formando: Fernando Emanuel Coutinho de Vilhena e Mascarenhas

Orientador Científico: Fernando Manuel Ferreira Lobo Pereira

Este relatório corresponde à apreciação científica das actividades desenvolvidas pelo Licº Fernando Emanuel Coutinho de Vilhena e Mascarenhas durante o segundo semestre de 1992.

O trabalho desenvolvido foi de elevado mérito e executado com grande dedicação.

Os trabalhos realizados e o relatório apresentados pelo formando reflectem, com rigor a natureza dos trabalhos executados.

Além do empenhamento e das excelentes qualidades do estagiário concorreram para o sucesso deste trabalho, os meios disponibilizados.

O Supervisor do Estágio na FEUP

Fernando M. F. Lobo Pereira
Prof. Aux. da FEUP

ISR - Instituto de Sistemas e Robótica

DEEC - R. dos Bragas, 4099 Porto Codex, Portugal

Fax: 351 - 2- 319280

Tel: 351 -2 - 2007505

REFERÊNCIA DO PROJECTO 4.3/1.58/92

Parecer Técnico

Acompanhei os trabalhos de estágio realizados no Pólo do Porto do Instituto de Sistemas e Robótica pelo Lic^o Fernando Emanuel Coutinho de Vilhena e Mascarenhas, bem como apreciei os trabalhos produzidos e apresentados em Congressos Internacionais e o relatório oportunamente apresentado.

Com base no acompanhamento referido, considero que aqueles trabalhos reflectem o trabalho efectivamente realizado, revelando elevado empenhamento do estagiário.

Sou portanto de parecer que foram plenamente atingidos os objectivos inicialmente propostos no plano de trabalhos,

O Supervisor do Estágio no Instituto de Sistemas e Robótica



Prof. Doutor Jorge L. Martins de Carvalho

Sistemas de Produção Just-In-Time: Conceitos, Vantagens e Problemas

Fernando Emanuel Coutinho de Vilhena e Mascarenhas

Page 4 of 4

4

6213/099-91/LEEC1992/MAST

24 09 09

Índice

Âmbito do trabalho:	3
Introdução	4
Conceitos fundamentais.....	5
Produção Just-in-time.....	5
Sistema Push Versus Sistema Pull	5
Total Quality Control	6
Statistical Process/Quality Control.....	6
Factory Automation	7
Total Productive Maintenance	7
Envolvimento dos Fornecedores.....	7
Consideração do factor Homem	8
Fases de implementação de um sistema de produção JIT	9
Análise do fluxo do processo produtivo.....	9
Iniciação de um projecto piloto	9
Estabelecimento de objectivos.....	9
Sistemas de medida	9
Encontrar um líder	10
Formar equipas de projecto	10
Revisão dos sistemas de apoio existentes.....	10
Envolvimento da gestão	10
Formação e Treino	10
Melhoria contínua	11
Reconhecer o sucesso.....	11
Aumento da responsabilidade dos trabalhadores	11
Ferramentas para avaliação de sistemas produtivos.....	12
Modelos de Simulação	12
Modelos Determinísticos.....	13
Modelos Estocásticos.....	14
Modelização de sistemas JIT para a produção de múltiplos produtos.....	14
Conclusões.....	16
Vantagens e Problemas associados a um sistema JIT	16
Considerações Finais	17
Referências:	18

Âmbito do trabalho:

O trabalho que a seguir se apresenta foi desenvolvido no âmbito do Programa PRODEP e como complemento da Cadeira de Seminário/Projecto do 5º ano do Curso de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, sobre a orientação do Prof. Fernando Lobo Pereira e do Eng. João Tasso Borges de Sousa.

O objectivo deste trabalho consistiu no estudo das várias vertentes associadas à filosofia de produção Just-In-Time (JIT) em sistemas de manufactura para a definição posterior da estrutura e características de um ambiente de simulação de sistemas de manufactura para avaliação do desempenho conjunto de estratégias hierárquicas de planeamento e controlo.

Esta proposta de trabalho surgiu integrada numa linha de investigação desenvolvida por um grupo do Departamento de Controlo e Sistemas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto na área do planeamento e controlo de processos de manufactura

Introdução

A evolução nas comunicações e transportes veio tornar cada vez mais real o conceito de mercado global. As grandes companhias têm volumes de produção que os mercados locais, dos países onde operam, não têm capacidade de absorver. Têm assim que tentar conquistar outros mercados, onde poderão estar em desvantagem com as companhias locais.

Num mercado global impera a diversidade de necessidades dos consumidores, que as companhias que desejem sobreviver na guerra do consumo, devem satisfazer. O ênfase deixa de estar unicamente no preço, e passa a focar factores como a qualidade, a diversidade e a possibilidade de rapidamente satisfazer as necessidades dos consumidores. A rapidez com que uma companhia é capaz de satisfazer uma encomenda, ou de por um novo produto no mercado, passa a ser um factor muito importante na conquista e manutenção de um mercado.

Esta modificação do mercado exige que as companhias adoptem novas formas de produção, abandonando o conceito de produção em massa e focando-se na diversidade e qualidade. Uma filosofia de produção que parece adaptar-se bem a estas novas exigência é a produção Just-In-Time (JIT).

O conceito de produção Just-in-time foi desenvolvido na Toyota, no início dos anos 50, numa tentativa de competir com as grandes companhias de produção de automóveis do Ocidente, que empregavam produção em larga escala. Este conceito permitiu à Toyota, utilizando uma produção de menor volume e com uma grande diversidade de produtos, colher os benefícios das economias de escala, normalmente associadas à produção em grande volume de um pequeno número de produtos.

Talvez o melhor indicador do desempenho da produção JIT seja a sua crescente adopção pelas mais diversas companhias, incluindo os Três Grandes de Detroit, Ford, General Motors e Chrysler, as companhias com que a Toyota pretendia competir quando desenvolveu o conceito JIT.

Intimamente ligados à filosofia Just-In-Time são os conceitos de Total Quality Control (TQC), Statistical Quality/Process Control (SP/QC), Factory Automation (FA), Total Productive Maintenance (TPM) [8], Envolvimento dos Fornecedores e Consideração do Factor Homem, que não devem ser encarados como capítulos isolados mas sim como conceitos complementares que quando empregues em conjunto permitem a implementação com sucesso da produção Just-In-Time.

É este conjunto de conceitos que foi explorado e que agora se passa a expor de forma condensada.

Conceitos fundamentais

Produção Just-in-time

A filosofia de produção Just-In-Time (JIT) baseia-se em conceitos extremamente simples:

- produzir apenas o necessário, quando for necessário;
- eliminação de desperdícios de matéria prima, capital, mão de obra, tempo de inactividade, enfim, tudo aquilo que não acrescente valor ao produto final;
- melhoria contínua da produtividade, qualidade, serviços ao cliente, etc.

No JIT a existência de stock é apontada como a origem de todos os males, que apenas serve para encobrir os defeitos de concepção existentes no processo de fabrico, como a existência de componentes defeituosos, processos de manufactura e/ou máquinas não adequados, mão-de-obra mal formada ou um mau escalonamento/sequenciamento da produção.

Idealmente, a aplicação da filosofia JIT conduziria a sistemas com os seguintes atributos:

- Produção sem defeitos (qualidade total);
- Fluxo contínuo de manufactura
- Tempos de setup e tamanho de lotes de produção mínimos
- Stock nulo
- Operações standard, comuns a uma grande variedade de produtos
- Manutenção preventiva
- Sistema de controlo da produção do tipo Pull
- Número mínimo de fornecedores, que usem também JIT
- Níveis de produção uniformizados
- Trabalhadores multi-funcionais

Sistema Push Versus Sistema Pull

Num sistema do tipo Push, a procura de partes inventoriadas e de Work-In-Progress (WIP) é prevista de acordo com as encomendas e as características do processo de produção. Um sistema deste tipo é pouco flexível e tem mau comportamento a variações súbitas da procura, provocando níveis elevados de stock ou rotura do mesmo. O recurso a stocks de segurança é usual para absorver a variância da procura.

Num sistema do tipo Pull, ao contrário do que se passa num sistema Push, o fluxo de componentes de uma estação para a estação seguinte é controlado pela necessidade de componentes da estação seguinte.

O sistema pode ser aproximado a um sistema de gestão de stocks em que se utiliza uma política de nível de encomenda. Quando o número de produtos existentes no buffer de saída de uma estação desce abaixo de um determinado nível, a estação inicia a produção de forma a repor o stock no nível anterior. Para que a produção seja possível, a estação retira do buffer de saída da estação precedente, a quantidade de produto necessária. Assim as necessidades da estação mais a jusante (última estação) vão-se propagar ao longo da linha de produção, sendo o nível de stock de produto

entre estações mantido dentro de níveis controlados. Este é o tipo de sistema de produção adoptado a uma filosofia do tipo Just-In-Time. Para implementar este tipo de política de controlo é habitual o recurso a kanbans (testemunhos ou cartões), como elementos de transferência de informação do fim para o princípio da linha de produção.

O sistema Pull de controlo da produção permite absorver as variações da procura de uma forma mais eficaz, emprestando ao mesmo tempo flexibilidade a todo o processo de produção. Este tipo de controlo é também aplicável a uma escala maior, passando as fábricas fornecedoras a ser encaradas como as estações a montante e os clientes como as estações a jusante da planta.

Total Quality Control

O Total Quality Control é apontado como a melhor abordagem para assegurar a qualidade do produto em [8] e é por vezes referido como controlo de qualidade alargado a toda a empresa (Company Wide Quality Control).

No TQC pretende-se que os responsáveis de todas as fases associadas à produção de um produto se envolvam na problema da qualidade do produto, desde o início do seu desenvolvimento, dando-se particular importância ao estabelecimento de vias de comunicação entre todos os intervenientes, num processo designado por *simultaneous engineering*. É defendida uma perspectiva orientada ao mercado, isto é dando prioridade máxima à satisfação das necessidades dos clientes.

Statistical Process/Quality Control

O Statistical Process/Quality Control baseia-se no uso de sinais estatísticos para aumentar a performance de qualquer tipo de sistemas onde seja produzido trabalho, a saída apresente variações e haja desejo de introduzir melhoramentos. É dada prioridade à prevenção.

Os problemas de qualidade são atribuídos a variações (nas matérias primas ou nas condições do processo) e a análise estatística permite a identificação das causas dessas variações. Podem-se identificar essencialmente dois tipos de causas de variações: causas comuns e causas especiais.

As causas comuns são normalmente identificadas como uma fonte de variações que afecta todos os valores individuais da saída do processo em estudo. Estas não podem ser eliminadas sem que o processo seja reformulado.

Quanto às causas especiais, são factores que causam variações que caem fora da distribuição normal do output do processo. A menos que todas as causas especiais de variação sejam identificadas e corrigidas, o output do processo continuará a ser afectado de forma imprevisível.

Existe uma forte correlação entre o tipo de causa de uma variação e o tipo de acção necessário para a eliminar, ou pelo menos atenuar. Assim, causas especiais exigem normalmente acções locais, enquanto que para eliminar causas comuns é necessário recorrer a acções sobre o sistema. Na maior parte dos casos é necessária intervenção ao nível da gestão para corrigir causas comuns.

Factory Automation

A evolução tecnológica pôs à disposição um conjunto de ferramentas automatizadas com diversas aplicações em processos de manufactura. Áreas funcionais como o design e teste de um produto, design de processos, fabrico, montagem, inspecção, manuseamento de materiais, armazenamento e planeamento da produção foram grandemente afectadas pela revolução introduzida pelo conceito de Factory Automation.

Este conceito, do qual os Flexible Manufacturing Systems (FMS) são o exemplo prático, permite implementar alguns dos conceitos em que o JIT assenta, nomeadamente a eliminação de desperdícios e o aumento da qualidade e flexibilidade do sistema produtivo. A Factory Automation, quando propriamente implementada permite uma redução significativa dos tempos de design de um produto, setup de máquinas, processamento, manuseamento de produtos e inspecção de qualidade, enfim, o tempo total de resposta às solicitações do mercado. Surge assim como uma ferramenta ideal para perseguir os ideais JIT.

De referir ainda que a automação estende-se não só à produção mas a todas as actividades com ela relacionadas, como o armazenamento. Um exemplo da aplicação da automação ao armazenamento é o centro de armazenamento de peças desenvolvido pela Toyota em Aurora, Illinois descrito em [3].

Total Productive Maintenance

Apesar dos benefícios resultantes da automatização, existem obstáculos à sua implementação, nomeadamente o elevado custo associado. Assim a utilização efectiva de equipamento automático de elevado custo torna-se uma grande preocupação, pois a produção em excesso é contra-productiva.

Outro aspecto importante da automatização é que operações manuais serão gradualmente substituídas por máquinas controladas por computador, sendo o trabalho dos operadores limitado à carga e descarga de máquinas, criando-se assim uma outra importante forma de desperdício, o excesso de mão-de-obra. Isto exige a reconversão de grande parte da força de trabalho, de forma a evitar graves problemas sociais.

O Total Productive Maintenance (TPM), conceito desenvolvido no Japão, defende o alargamento da responsabilidade dos trabalhadores a actividades como a detecção de avarias nas máquinas, manutenção básica e organização da área de trabalho.

Os trabalhadores são organizados em pequenos grupos aos quais é ministrado treino na detecção de falhas das máquinas e em manutenção preventiva. Os trabalhadores passam a ser responsáveis por todas as actividades relativas à sua área de trabalho desde a limpeza até à organização e disposição das ferramentas. O TPM permite assim reduzir o desperdício inerente aos tempos de inactividade de máquinas e trabalhadores.

Envolvimento dos Fornecedores

O envolvimento dos fornecedores é fundamental na implementação dos ideais JIT numa empresa. Uma redução dos níveis de inventário implica uma redução das matérias primas disponíveis em stock, o que obriga a fornecimentos mais frequentes de menores quantidades de produto.

Para que não existam problemas de rotura por falta de matéria prima é necessário que as entregas sejam feitas pontualmente. Outra exigência é que a qualidade da matéria prima seja assegurada pelos fornecedores, de forma a eliminar possíveis problemas de qualidade no produto produzido. Idealmente, os fornecedores deveriam operar, também, sobre uma filosofia Just-in-time.

De forma a fazer cumprir estas exigências a empresa cliente pode colaborar com os fornecedores na implementação de processos de controlo de qualidade (usando, por exemplo, SP/QC), culminando o processo com a certificação da qualidade do produto fornecido. Os fornecedores que possuam certificação de qualidade terão preferência sobre os outros.

O envolvimento dos fornecedores é lucrativo para ambas as partes envolvidas:

- do ponto de vista dos fornecedores podem vender o seu produto a um preço mais elevado, justificado pelo cumprimento das exigências do cliente quanto a qualidade e prazos de entrega;
- do ponto de vista da empresa cliente, permite uma redução dos problemas de qualidade, por eliminação de um possível foco de defeitos, permite uma economia em termos de espaço de armazenamento e custos de inspecção e manutenção de stocks.

Consideração do factor Homem

Os conceitos de JIT, TPM, FA e TQC são elementos críticos no desenvolvimento de um sistema produtivo efectivo. No entanto, o elevado potencial destes conceitos não pode ser realizado sem a participação de um factor primordial: a participação da força de trabalho.

Assim, o núcleo de um sistema de manufatura eficaz e competitivo deverá consistir num grupo de trabalhadores dedicados, disciplinados, bem treinados, inovativos e respeitados, que participem activamente em todas as actividades de optimização da produção. Os trabalhadores, devido às suas responsabilidades diárias, têm um profundo conhecimento do processo de manufatura e, normalmente, as sugestões propostas por estes são efectivas e de fácil implementação.

Talvez mais importante ainda, a participação origina motivação, satisfação no trabalho e melhor aceitação das mudanças necessárias, ao mesmo tempo que estimula o aparecimento de ideias inovativas, o aumento da comunicação e a realização pessoal.

Fases de implementação de um sistema de produção JIT

Uma vez decidida a implementação do sistema JIT a um processo produtivo, Stromstad em [4] indica um conjunto de passos a seguir para uma correcta implementação. Esses passos consistem em:

Análise do fluxo do processo produtivo

É elaborada uma análise detalhada do fluxo do processo produtivo. Cada linha de produtos é categorizada e agrupada em famílias com fluxos e processos de manufatura semelhantes.

O resultado desta análise é a categorização de todos os passos da manufatura em actividades que acrescentam, ou não, valor ao produto final. Cada uma das actividades que não acrescenta valor ao produto final torna-se candidata a eliminação.

Iniciação de um projecto piloto

É importante seleccionar um projecto piloto de implementação, que tenha elevada probabilidade de sucesso. Normalmente, a introdução de mudanças num processo relativamente estático cria grandes expectativas, que não se devem gozar, se se pretende uma boa aceitação dessas mudanças. Assim deve-se escolher para projecto piloto, uma linha de produtos que opere sem grandes percalços e que não tenha problemas de qualidade relativamente significantes. O projecto piloto deve ser compreendido pelos níveis de gestão e deve contar com o seu apoio e envolvimento.

Estabelecimento de objectivos

Qualquer projecto deve possuir objectivos bem definidos, contra os quais será avaliada a performance. Os objectivos a estabelecer podem variar muito de companhia para companhia: redução do inventário de Work-In-Progress; redução dos lead-times; aumento da produtividade; redução dos custos de manufatura; etc.

Os objectivos escolhidos devem ser mensuráveis pela equipa responsável pelo projecto de implementação.

Sistemas de medida

Deve ser implementado um sistema de medida, que permita avaliar o progresso em direcção aos objectivos estabelecidos. O sistema de medida deve ser simples de entender por todas as pessoas envolvidas no projecto e deve permitir que os dados sejam facilmente recolhidos e entendidos. O sistema de medida deve ser suficientemente flexível para acomodar outros requisitos de medida especificados pela equipa responsável ou pela direcção da companhia.

Encontrar um líder

Todo o projecto que pretenda ser bem sucedido necessita de um líder, que deverá ser alguém que tenha um interesse pessoal no sucesso do projecto e reúna a competência e as condições necessárias para a conclusão do mesmo. O líder deverá ser um gestor experimentado, conhecedor da planta e que conheça a forma como os procedimentos e processos formais operam na planta. Deve também conhecer a forma como a implementação do sistema JIT pode afectar cada uma das medidas de performance escolhidas, e pelas quais é responsável.

Formar equipas de projecto

A implementação de um sistema JIT não é uma tarefa de uma pessoa só, nem é uma tarefa que possa ser desempenhada por uma equipa de consultores. Exige a participação de pessoas pertencentes a equipas de projectos da empresa.

A escolha das pessoas que irão compor a equipa de implementação do projecto piloto é extremamente importante para assegurar o sucesso deste. Essa escolha deverá recair sobre pessoas experimentadas, que representem as diferentes funções existentes na planta. A participação deve ser voluntária. O número de componentes da equipa não deve ser muito grande de forma a assegurar boa comunicação entre todos os participantes. A participação de outras pessoas, especialistas em determinados campos, deve ser solicitada quando tal for necessário. A equipa deve em primeiro lugar passar por uma fase de treino em trabalho de equipa e nos conceitos de JIT.

Revisão dos sistemas de apoio existentes

As modificações introduzidas pelo JIT exigem uma revisão dos sistemas de apoio e procedimentos usados a todos os níveis da planta. Um exemplo de um sistema que necessita de ser revisto para incorporar as condicionantes do JIT é o sistema de escalonamento da produção.

Envolvimento da gestão

É de capital importância manter os níveis de gestão envolvidos e informados acerca do projecto de implementação. Para o efeito é útil manter reuniões periódicas entre os responsáveis pela equipa de implementação e elementos da direcção. Nessas reuniões devem ser abordados assuntos como as medidas de performance usadas, o estado de implementação do projecto, os problemas de implementação e as actividades que necessitam de decisão a nível da direcção.

Formação e Treino

Em paralelo com o treino da equipa de implementação, todos os trabalhadores ao nível da planta fabril devem receber formação mínima acerca da produção JIT e das suas implicações. Isto permite envolver os trabalhadores no processo e fazer notar a sua importância no sucesso do projecto. Este é o primeiro passo na modificação que a função de cada trabalhador na planta vai sofrer, com a implementação da filosofia Just-in-time. Cada trabalhador deve-se aperceber da importância do seu desempenho e das suas novas responsabilidades no funcionamento da planta.

Melhoria contínua

Deve-se incentivar a proposição de sugestões para melhorias no processo de fabrico, por parte das pessoas envolvidas. Deve-se dar particular ênfase a sugestões que conduzam a pequenas, mas frequentes, melhorias. Cada uma destas pequenas melhorias vai contribuir para o êxito do projecto.

Reconhecer o sucesso

Todas as pessoas apreciam um elogio por um trabalho bem feito. O reconhecimento do sucesso não implica o envolvimento de grandes valores monetários mas deve sim, ser consistente e preciso no tempo. A informação dos trabalhadores acerca do estado de implementação do projecto e das metas atingidas permite o envolvimento destes no sucesso do projecto.

Aumento da responsabilidade dos trabalhadores

Este é um dos pontos mais importantes para o sucesso de um projecto JIT. A consciencialização dos trabalhadores acerca da sua importância para o desempenho da empresa e o reconhecimento da sua importância pela direcção, é fundamental. A cada trabalhador ou grupo de trabalho deve ser dada total independência na gestão do seu local de trabalho. Este passo pode encontrar algumas barreiras culturais.

De realçar que estas fases são unicamente indicativas. Cada projecto de implementação é um projecto em si, cuja especificidade depende das características intrínsecas do processo produtivo em que se pretende implementar a filosofia JIT.

Ferramentas para avaliação de sistemas produtivos

A implementação de sistemas de produção Just-in-time criou a necessidade de desenvolvimento de ferramentas de apoio à decisão para este tipo de sistemas de manufatura. No entanto, um conjunto de factores, entre os quais:

- elevado número de objectivos dificilmente quantificáveis e possivelmente incompatíveis, característicos de um sistema JIT;

- diferentes definições de manufatura JIT, enfatizando diferentes métodos e atributos;

- dificuldade de identificação de operações adequadas a uma implementação JIT;

- falta de modelos para custos de ruptura

tornam difícil o desenvolvimento de ferramentas matemáticas de apoio à decisão. Como resultado destas dificuldades, a atenção dos analistas focou-se num componente particular do sistema JIT, o sistema Pull baseado em kanban, descrito atrás.

Assim os esforços para modelizar sistemas pull baseados em Kanban distribuem-se essencialmente por três vertentes (ver [5]):

- Modelos de simulação, em que se recorre à simulação para explorar os efeitos das variações dos diferentes parâmetros e configurações do sistema;

- Modelos determinísticos, em que um modelo matemático do comportamento do sistema é desenvolvido, em que se assumem apenas relações determinísticas;

- Modelos estocásticos, em que a procura e o processo são modelizados por processos estocásticos.

De seguida apresentar-se-ão em mais detalhe estas três aproximações.

Modelos de Simulação

Os modelos de simulação desenvolvidos para sistemas baseados em Kanban são usados com os seguintes propósitos:

- Análise do efeito de diferentes ambientes de manufatura na performance do sistema;

- Configuração do sistema para optimizar determinadas medidas de performance;

- Comparação destes sistemas com sistemas Push em diferentes ambientes de manufatura.

A aplicação de modelos de simulação ao estudo de sistemas controlados por Kanban por Kimura & Terada em [1], e outros autores, conduziu a um conjunto de conclusões a seguir sumariadas:

- A variância dos tempos de processamento, taxa de procura, taxa de abastecimento de matéria prima e parâmetros da produção pioram a performance do sistema.

- O aumento do número de kanbans no sistema pode absorver os efeitos das variações, à custa de níveis de inventário maiores. Tem que se estabelecer um equilíbrio entre os objectivos de minimizar os níveis de inventário, por um lado, e maximizar a qualidade de serviço aos clientes e o throughput do sistema.

- para sistemas Push, a amplificação das flutuações da produção e inventário ocorre devido a erros de previsão. No que diz respeito à amplificação, a escolha entre sistemas Push e Pull é determinada pelo grau de precisão das previsões da procura;

- Nos casos em que tamanho da ordem de produção é pequeno comparativamente ao nível da quantidade produzida, as flutuações da produção não são amplificadas para a estação precedente. Outro factor que influencia a taxa de amplificação é o lead-time, desde o momento em que um kanban é removido de um contentor até ao momento em que a produção correspondente a esse kanban é finalizada. Quanto maior o lead-time, maior a amplificação.

- Os sistemas Kanban funcionam melhor quando a diferença de tempos de processamento entre estações é inferior a 10%. Além disso, é preferível ter os maiores tempos de processamento no princípio da linha, do que perto da procura final.

- A performance dos sistemas kanban é sensível ao tamanho dos lotes e aos tempos de setup. Baixa produtividade, elevados tempos de inoperacionalidade de máquinas, baixa flexibilidade dos trabalhadores e capacidades mal balanceadas afectam negativamente a performance do sistema.

Os modelos de simulação desenvolvidos até à data permitiram obter boas indicações acerca dos factores que afectam os sistemas kanban, e modelizam a natureza estocástica dos sistemas de manufactura sem ter que se recorrer às permissas que tornam os modelos analíticos passíveis de tratamento.

Modelos Determinísticos

Os modelos determinísticos podem ser divididos em três grupos:

- Modelos de programação matemática
- Modelos baseados em equações estruturais
- Modelos de inventário

Nos modelos de programação matemática, é definida uma função objectivo (p.ex., minimizar o número pesado de kanbans no sistema), um conjunto de variáveis de decisão (p.ex. o número de kanbans em cada estação em cada período) e um conjunto de restrições que especificam as características próprias do sistema. Modelos deste tipo têm sido desenvolvidos por vários autores para analisar o efeito da flutuação da procura sobre a flutuação de quantidades como os níveis de inventário e ordens de produção nas estações precedentes.

Os modelos estruturais consistem num conjunto de equações estruturais que são usadas para explorar o comportamento do sistema, sobre várias condições.

Kimura e Terada em [1] desenvolveram um conjunto de equações estruturais para um sistema pull baseado em kanbans, e utilizaram esse modelo para examinar o efeito da flutuação na procura.

Os modelos de inventário encaram os sistemas kanban sobre uma perspectiva de stocks. Em Miyazaki *et al* [9] são desenvolvidas expressões para o nível de inventário médio, num sistema em que kanbans são recolhidos e enviados para as estações fornecedoras em intervalos fixos de tempo. São derivadas expressões para o número mínimo de kanbans necessários. É também indicado um algoritmo para determinar o intervalo óptimo entre recolhas de kanbans, minimizando a soma do custo de stockagem e dos custos de retirar os kanbans.

Modelos Estocásticos

Nos modelos estocásticos de sistemas pull, a procura final e os tempos de processamento nas diversas estações são aproximadas por variáveis aleatórias, e características do sistema como os níveis de ordens atrasadas, níveis de inventário e throughput são analisadas. Esta análise conduziu às seguintes conclusões:

- Existência de uma relação significativa entre o tamanho dos lotes de produção e o lead times de manufatura.

- O custo de rotura é uma função convexa do tamanho dos kanbans.

- O número de kanbans afecta os níveis de inventário e as ordens em atraso de forma inversa, exigindo um compromisso.

Uma outra aproximação usando modelos estocásticos é descrita por Di Mascolo *et al* em [6]. Ao invés de utilizar a simulação para a avaliação do modelo, os autores desenvolvem um procedimento iterativo para determinar o número de kanbans necessários em cada estação, obtendo resultados muito semelhantes aos obtidos recorrendo à simulação, com um esforço computacional menor.

Como conclusão, é de referir que o desenvolvimento de modelos para sistema pull baseados em kanban permitiu ganhar um considerável conhecimento sobre a operação e performance destes sistemas em diversos ambientes. Outro aspecto importante é que os resultados obtidos pelas três aproximações descritas estão de acordo uns com os outros, em larga extensão. Contudo, os tipos de sistemas investigados são restritos, normalmente, à produção de um único produto. De seguida, apresentam-se algumas abordagens à modelização de sistemas JIT para a produção de múltiplos produtos.

Modelização de sistemas JIT para a produção de múltiplos produtos

Muitas companhias usam linhas de montagem de modelos mistos para a produção em pequenos lotes de diversos produtos. Isto permite a satisfação da procura de uma variedade de produtos, sem incorrer na necessidade de constituir grandes stocks. A filosofia de produção Just-in-time adapta-se bem aos objectivos destas companhias, desde que problemas como a determinação do tempo de ciclo das linhas, a determinação do número e sequência de estações na linha, o balanceamento da linha e a determinação da sequência de escalonamento para a produção de diversos produtos na linha de produção, tenham sido resolvidos. No entanto, embora a importância que estes sistemas de produção assumem, o seu estudo tem sido preterido, em detrimento de sistemas com linhas de produção de um único produto.

Uma aproximação usando modelos matemáticos para sistema de produção de múltiplos produtos é descrita por Miltenburg em [7] e dirige-se ao problema de encontrar um calendário de sequenciamento para a produção de diversos produtos numa linha de produção. Um resultado importante a reter é que os sistemas JIT só funcionam correctamente, neste tipo de aplicação, quando existe uma taxa de uso constante para todas as peças componentes. Para minimizar a

variação no uso de cada componente deve-se sequenciar produtos em lotes pequenos. É assumido que os produtos requerem aproximadamente o mesmo número e mistura de componentes. Neste caso consegue-se atingir uma taxa de uso constante, considerando apenas as taxas de procura dos produtos finais.

Conclusões

Vantagens e Problemas associados a um sistema JIT

Tendo em conta o que foi referido atrás, algumas conclusões podem ser tiradas no que diz respeito aos benefícios associados a um sistema JIT:

- menores custos de inventário
- lealdade dos clientes
- envolvimento dos trabalhadores
- maior contacto com os consumidores
- maior qualidade
- incremento da capacidade de produção utilizada, em consequência de um melhor planeamento
- maiores lucros
- menores custos associados ao processamento de informação e administração.
- libertação de espaço

No entanto, uma má implementação do sistema JIT pode trazer problemas quanto a:

- calendarização da produção
- previsão da procura
- comunicação insuficiente
- falta de planeamento por parte dos clientes
- problemas de satisfação de encomendas em caso de procura inesperada
- problemas de rotura de stocks
- ausência de espaço para erros.

A opção pelo sistema JIT deve ter em conta os benefícios e os problemas associados, assim como todas as características intrínsecas ao processo produtivo e deve contemplar a necessidade de se proceder a profundas alterações nos processos utilizados.

A aplicação da filosofia de produção Just-in-time a um sistema produtivo exige que este reúna, ou possa reunir, um conjunto de condições necessárias se se pretende evitar alguns dos problemas acima mencionados. O funcionamento de um sistema JIT é deteriorado se:

- os tempos e custos de setup são elevados (e não podem ser reduzidos);
- a qualidade é baixa e os níveis de sucata são elevados;
- a diversidade da linha de produção e/ou a complexidade da estrutura dos produtos é grande;
- a variação da procura é grande;
- a flexibilidade dos trabalhadores é reduzida.

Estes pontos têm uma ou mais das seguintes consequências: ciclo de produção longo, variação grande da carga de trabalho de um posto de trabalho e/ou limitação da capacidade de resposta do sistema.

Um sistema JIT não pode funcionar se os tempos de setup forem longos, pois tal dá origem à existência de grandes lotes de produção. Assim um programa de redução de tempos de setup tem

que ser o primeiro passo a implementar. Tal programa exige, normalmente, um investimento substancial em engenharia e novo equipamento. Uma vez que os tempos de setup sejam reduzidos, o inventário pode também ele ser reduzido, através da diminuição do tamanho dos lotes de produção. Os custos de setup devem ser reduzido e não balanceados contra o custo de inventário. De notar que a diversidade de uma linha de produção não é um impedimento à implementação do JIT, desde que a planta possua a flexibilidade necessária.

Os conceitos de Total Quality Control, Statistical Quality/Process Control , Factory Automation e Total Productive Maintenance, expostos atrás constituem uteis ferramentas na preparação de um sistema para a aplicação do JIT.

Outro problema é traduzir os objectivos a nível estratégico em directivas para a implementação do sistema de produção Just-in-time. Uma metodologia para traduzir os objectivos de alto nível em planos de acção mensuráveis é descrita por Richa e Edwards em [2], usando Policy Deployment (PD), uma aplicação específica de Quality Function Deployment (QFD).

Considerações Finais

Este trabalho permitiu ao autor um conhecimento maior acerca da filosofia de produção Just-In-Time, as suas vantagens e desvantagens. Uma consequência directa deste trabalho foi a especificação da estrutura e características de um ambiente de simulação de sistemas de manufactura para avaliação do desempenho conjunto de estratégias hierárquicas de planeamento e controlo descrita em [10], [11] e [12].

Referências:

- [1] : Kimura,O. & Terada,H. , Design and analisys of Pull Systems, a method of multi-stage production control, International Journal of Production Research.,1981,Vol.19, nº3,pg.241-253
- [2] : Richa,C. & Edwards,D. K., A JIT Implementation Plan Using Policy Deployment, Manufacturig Review, Vol.5, nº3, September 1992
- [3] : Kulwiec, R., Toyota's new parts center targets top service, Modern Materials Handling, November 1992
- [4] : Stromstad, B., Lessons Learned : A Jit Implementation Case Study, Manufacturing Techniques
- [5] : Uzsoy, R. & Martin-Vega, L.A., Modelling kanban-based demand-pull systems: a survey and crieque, Manufacturing Review, Vol.3, nº3, September 1990
- [6] : Di Mascolo, M., Frein, Y. & Dallery,Y. , Queueing Network Modeling and Analisis of Kanban Systems, 0-8186-2615-1/92, IEEE 1992
- [7] : Miltenburg; J., Level Schedules For Mixed-Model Assembly Lines In Just-In-Time Production Systems, Management Science, Vol. 35, nº 2, February 1989
- [8] : Huang, P.Y., Moore, L.J. & Shin, S., World-Class Manufacturing In the 1990s : Integrating TQC, JIT, FA and TPM With Worker Participation, Manufacturing Review, Vol.4, nº2, June 1991
- [9] : Sohal, A.S. & Naylor, D., Implementation of JIT in a Small Manufacturing Firm, Production and Inventory Management Journal, First Quarter, 1992
- [10] : Mascarenhas,F.V., Madureira,J., Furtado,R., Borges de Sousa,J. , SIMCOH - Um Ambiente de Simulação para Planeamento e Controlo Hierárquico de Processos de Manufatura, Endiel'93
- [11] : Borges de Sousa,J., Mascarenhas,F.V., Madureira,J., Furtado,R., Um Ambiente de Simulação para Planeamento e Controlo Hierárquico de Processos de Manufatura, 3ª Jornadas Hispano-Lusas de Inginieria Eléctrica.
- [12] : Borges de Sousa,J., Lobo Pereira,F., Mascarenhas,F.V., Furtado,R. ,Madureira,J., A Simulation Environment for Hierarchic Planning and Control of Manufacturing Systems -IASTED Internacional Conference on Robotics and Control of Manufacturing Systems



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000101633