
ARQUITETURA MULTIAGENTE PARA INTEGRAÇÃO CAD/CAPP/CAM EM UM CONTEXTO DE TELEMANUFATURA VIA INTERNET

Alberto José Álvares

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica, Grupo de Automação e Controle (GRACO), CEP 70910-900, Brasília, DF, alvares@AlvaresTech.com

João Carlos Espíndola Ferreira

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, GRIMA-GRUCON, Caixa Postal 476, CEP 88040-900, Florianópolis, SC, jcf@grucon.ufsc.br

Resumo Este trabalho descreve uma proposta de arquitetura multiagente para integração CAD/CAPP/CAM voltada para manufatura remota de peças rotacionais utilizando a Internet, em especial os protocolos associados à World Wide Web. Esta arquitetura associada a uma metodologia especifica os módulos do sistema e como estes módulos interagem entre si. A metodologia é concebida a partir do paradigma de modelagem baseada em síntese por features de projeto, a fim de permitir a integração das atividades de projeto (CAD), planejamento do processo (CAPP) e manufatura (CAM Planejamento e CAM execução). O procedimento inicia-se na modelagem de uma peça por features num contexto de manufatura remota utilizando a Web como meio de comunicação, num modelo computacional cliente-servidor. O cliente conecta-se ao Modelador de Features Neutro via Web e inicia a instanciação de uma nova peça a ser modelada a partir de uma base de dados, usando a biblioteca de features padronizadas disponibilizada pelo sistema. Após a conclusão e validação do modelo, a peça criada é armazenada e disponibilizada para os demais módulos do sistema. O sistema é concebido num ambiente distribuído de agentes de softwares interoperáveis denominado de Comunidade de Agentes de Manufatura, sendo sua arquitetura estratificada em três níveis: Projeto, Planejamento do Processo e Manufatura. O fluxo de informações entre os três níveis da arquitetura é realizado através do encapsulamento das informações, adotando-se o *Knowledge Query and Manipulation Language* (KQML) como padrão de linguagem de mensagens entre os agentes.

Palavras Chaves: Telemanufatura, Features, CAPP, CAM, Internet.

Abstract: This paper describes a multiagent architecture for CAD/CAPP/CAM integration for the remote manufacture of cylindrical parts using Internet, especially through the protocols associated with the World Wide Web. This methodology specifies the modules of the system, and how these modules interact with each other. The methodology is conceived starting from the modeling paradigm based on the synthesis of design features, in order to allow the integration of the design activities (CAD), process planning (CAPP) and manufacturing (CAM Planning and Execution). The procedure

begins with the modeling of a part by features in a context of remote manufacture using the Web as the communication means, in a client-server computer model. The system is conceived in a distributed environment of agents of interoperable pieces of software called Community of Manufacturing Agents, whose architecture is stratified in three levels: Design, Process Planning and Manufacturing. The flow of information among the three levels is accomplished through information encapsulation, being adopted the Knowledge Query and Manipulation Language (KQML) as the language pattern of messages among the agents.

Keywords: Telemanufacturing, Features, CAPP, CAM, Internet.

1 INTRODUÇÃO

A integração entre as etapas do ciclo produtivo é um dos caminhos que devem ser explorados na busca pela redução de custos e tempos de produção. De acordo com Shah e Mantyla (1995) a modelagem do produto é o ponto central para a promoção de tal integração. Num sistema de produção integrado, o modelo do produto, definido no módulo de CAD, deve estar disponível para outros módulos (CAE, CAPP, CAM, CAQ, etc) para que estes possam realizar suas funções. Estes módulos também devem ser capazes de enviar informações de realimentação para o módulo de CAD, para possibilitar que as alterações necessárias na peça possam ser efetuadas ainda na etapa de projeto (por problemas detectados na fabricação, por exemplo). A utilização de *features* como base de informação para a modelagem do produto é o caminho para se atingir esta integração (Tönshoff et al., 1994; Salomons et al. 1993).

A Tecnologia da Informação, em especial, a tecnologia de redes de comunicação e Internet, está abrindo um novo domínio para a construção dos futuros ambientes CAD/CAPP/CAM (Lee et al., 1999) e se colocam como candidatos em potencial para possibilitar o desenvolvimento de sistemas integrados. Este é um novo paradigma para estes sistemas computacionais baseados em ambiente globalizados, centrados em rede e especialmente distribuídos. Isto permitirá que os desenvolvedores de produtos, projetistas, tenham maior facilidade de comunicação possibilitando o compartilhamento e

o projeto cooperativo durante o desenvolvimento do produto. Com o crescimento da popularidade dos navegadores baseados na WWW está ficando mais evidente que o ambiente de projeto orientado a rede se tornará um novo paradigma para o desenvolvimento de produto.

Erickson (1988) revisou mais de 127 sistemas CAPP e projetos associados. Ele observou que a incompatibilidade nos softwares, no hardware e nas diferentes representações de produto, recursos e planos de processo inibiram o desenvolvimento de um sistema integrado de propósito geral. O autor sugere que os futuros sistemas CAPP deverão ser modulares, fáceis de integrar, amigáveis e de fácil manutenção. Ham e Lu (1988) sugerem que as futuras pesquisas deverão incluir a integração de projeto e manufatura aplicando técnicas de inteligência artificial. Shunmugam et al. (2002) destacam que poucos sistemas CAPP reportados na literatura levam em consideração aspectos de otimização da seqüência das operações ou sugerem seqüências alternativas de operações ou planos de processo. Giusti et al. (1989) apresentam o CAPP KAPLAN descrevendo uma abordagem baseada em conhecimento para planejamento de processo de peças rotacionais. Cho et al. (1991) descrevem o desenvolvimento de um sistema integrado de planejamento de processo e monitoração para operações de torneamento. Rico et al. (1997) descrevem um CAPP para peças rotacionais baseado em *features* e perfis 2D. Kruth e Detand (1992) descrevem um sistema de CAPP para geração de planos de processos não lineares.

Este trabalho descreve uma arquitetura multiagente associada a uma metodologia para integração CAD/CAPP/CAM voltada para manufatura remota de peças rotacionais utilizando a Internet, em especial os protocolos associados à *World Wide Web* (WWW). Esta metodologia especifica os módulos do sistema e como estes módulos interagem entre si, sendo apresentado na forma de diagramas IDEF0.

A arquitetura proposta para o módulo CAD é baseada no paradigma de Projeto por *Features*. Já os módulos CAPP/CAM idealizados podem ser caracterizados segundo as quatro dimensões definidas por Shah e Mantyla (1995) da seguinte forma: na dimensão de Planejamento é voltado para geração de planos de processos não lineares para peças rotacionais utilizando Tornos CNC, contendo definição de operações, fixação/setup, seqüências de operações, ferramentas, parâmetros de corte, geração do código G e estimativa de custos, ou seja, micro planejamento; na dimensão de Planejamento associado ao tempo pode ser aplicado no nível tático e no nível operacional de um sistema de Gestão da Produção; na dimensão Método de Planejamento é caracterizado com sendo um CAPP Generativo; e na dimensão Profundidade de Planejamento é definido como dinâmico, ou seja, planos podem ser mudados dinamicamente durante a manufatura em função das características dinâmicas do sistema de manufatura, trabalhando também de forma on-line.

2 CAD COOPERATIVO E SISTEMAS CORRELATOS

Na prática de projeto de engenharia, cada vez mais as atividades associadas aos vários aspectos de manufatura estão sendo consideradas durante a fase de projeto. Modelagem baseada em *Features* tem sido considerada como um novo paradigma para integração das atividades de engenharia, desde o projeto até a manufatura. Assim o conceito de *features* tem sido usado em uma ampla gama de aplicações como projeto de

peças e montagem, projeto para manufatura, planejamento de processo e inúmeras outras aplicações. Estas aplicações estão migrando para ambientes computacionais heterogêneos e distribuídos para suportar o processo de projeto e manufatura que serão distribuídos tanto na dimensão espacial quanto temporal.

Nota-se que é indesejável e freqüentemente improvável requerer que todos os participantes nas atividades de projeto e manufatura de um produto usem o mesmo sistema de hardware e software. Então os componentes devem ser modulares e comunicar-se com os demais através de uma rede de comunicação para efetiva colaboração.

Muitos esforços de pesquisa têm sido empregado no desenvolvimento de ambientes de projeto orientados a redes de computadores, normalmente, denominados de centrados em rede. Shah et al. (1997) desenvolveram uma arquitetura para padronização da comunicação entre o núcleo de um sistema de modelagem geométrica e as aplicações. Han e Requicha (1998) propõem uma abordagem similar que possibilita o acesso transparente para diversos modeladores sólidos.

Smith e Wright (2001) descrevem um serviço de manufatura distribuído denominado de Cybercut, desenvolvido na Universidade de Berkeley (<http://cybercut.berkeley.edu>) que possibilita a concepção de uma peça prismática que será usinada utilizando-se de um sistema CAD/CAM desenvolvido em Java em um contexto de manufatura remota (Álvares et al., 2002).

O Cybercut é um sistema orientado ao problema de Projeto e Fabricação baseado na web (Smith e Wright, 2001) consistindo de três componentes: software de CAD escrito em Java usando applets via páginas web; um sistema de Planejamento de Processo Auxiliado por Computador (CAPP) que acessa uma base de conhecimento contendo informações sobre ferramentas e fixações; um CNC de arquitetura aberta que pode receber informações de planejamento e projeto em linguagem de alto nível e executar a usinagem utilizando uma fresadora Haas VF-1.

Com acesso à interface de CAD (Cybercut), a partir da Internet, qualquer engenheiro com um *browser* WWW torna-se um potencial usuário desta ferramenta de prototipagem rápida on-line. A Interface Gráfica com Usuário (GUI) possibilita que um usuário remoto seja capaz de fazer o carregamento de um arquivo CAD em um formato específico, de troca de dados universal, para o servidor Cybercut, o qual irá executar o planejamento de processo necessário e gerar o Código G apropriado para a fresadora. A peça poderá ser usinada e enviada para o projetista. O engenheiro pode ter um protótipo funcional dentro de poucos dias por uma fração do custo que a fabricação própria exigiria. O Cybercut trabalha com os processos de fresamento e furação, entretanto o sistema não permite a teleoperação da máquina CNC (Álvares et al., 2002).

Hardwick et al. (1996) propõem uma infra-estrutura que permite a colaboração entre empresas no projeto e manufatura de novos produtos. Esta arquitetura integra o WWW para compartilhamento de informações na Internet utilizando o padrão STEP para modelagem de produto. Martino et al. (1998) propõem uma abordagem para integrar as atividades de projeto com as demais atividades de manufatura e produção baseada em *features*, que suporta Projeto por *Features* e Reconhecimento de *Features*. Entretanto estes trabalhos são conceituais em sua essência e não apresentam uma representação bem estruturada e nem algoritmos detalhados.

Por exemplo, estes trabalhos não definem como distribuir o processamento computacional necessário entre os componentes distribuídos, e como modelar a comunicação entre os componentes para minimizar o atraso da rede. Se as ações de troca de dados entre as aplicações não puderem ser disparadas apropriadamente, isto acarretará em um problema crítico para a computação distribuída. Logo, é crucial o desenvolvimento de um sistema bem integrado, centrado em rede e com arquitetura baseado em agentes para projeto e manufatura distribuída e cooperativa.

Sistemas de modelagem cooperativa tipicamente têm uma arquitetura cliente/servidor, diferindo na distribuição de funcionalidade e de dados entre clientes e servidores. Um problema recorrente nos sistemas cliente/servidor está associado ao conflito entre a limitação da complexidade da aplicação cliente e a minimização do carregamento da rede. Em um contexto de modelagem cooperativa, a complexidade do cliente é determinada principalmente pelas facilidades de modelagem e interatividade implementadas no cliente, enquanto que o carregamento da rede é determinado, principalmente, pelo tipo e tamanho do modelo de dados sendo transferido de/para os clientes e da largura de banda disponível.

Uma solução de compromisso pode ser concebida entre os dois extremos, os chamados *thin clients* e *fat clients*. Uma arquitetura *thin client* pura tipicamente coloca toda a funcionalidade no servidor, o qual envia uma imagem de sua interface de usuário para ser mostrada no cliente.

O outro extremo, um puro *fat client* oferece total facilidade de interação e modelagem local, mantendo seu próprio modelo local. Comunicação com o servidor é requerida quando houver necessidade de sincronizar as modificações de dados do modelo local com os outros clientes.

Lee et al. (1999) apresentam a arquitetura de um sistema de modelagem baseada em *features* centrado em rede, em um ambiente de projeto distribuído, denominado de NetFeature System. Esta abordagem combina técnicas de modelagem baseada em *features* com tecnologia de comunicação e de computação distribuída para suportar atividades de modelagem de produto e projeto cooperativo em uma rede de computadores. A abordagem é implementada em uma arquitetura cliente/servidor, na qual os clientes realizam a modelagem baseada em *features* através da Web. O servidor cria o modelo de *features* neutras e as outras aplicações se comunicam umas com as outras usando um protocolo de comunicação padrão para acessar os objetos remotos. O sistema foi concebido a fim de ter um bom balanceamento entre as funcionalidades disponíveis no lado do cliente e a largura de banda disponível na Internet.

O processamento no lado do cliente é importante quando a aplicação é baseada na Web. Isto significa que o servidor dá ao cliente alguma responsabilidade pelo processamento dos dados, ou seja, o cliente deve ter mais funcionalidades do que simplesmente um *front-end* desprovido de processamento local e normalmente denominado *thin clients*. Foi utilizado no NetFeature System um protocolo de comunicação padronizado baseado em CORBA (*Common Object Request Broker Architecture*).

WebSpiff (Bidarra et al., 2001) baseia-se numa arquitetura cliente/servidor consistindo, no lado do servidor, de dois componentes principais: Sistema de Modelagem SPIFF que fornece toda a funcionalidade para modelagem baseada em feature, utilizando o kernel de modelagem ACIS (Corney e

Lim, 2001); Gerenciador de Sessão que fornece funcionalidade para iniciar, associar-se, sair e fechar uma sessão de modelagem, bem como, gerência todas as comunicações entre o sistema SPIFF e os clientes.

Os componentes do portal WebSpiff (<http://www.webspiff.org>) fornecem o acesso inicial a uma sessão WebSpiff para um novo cliente, que inclui um servidor web onde os dados do modelo são disponibilizados para *download* pelos demais clientes que estão desenvolvendo o projeto cooperativo. Os clientes executam operações localmente, associadas com a visualização, interação com o modelo em *features*, mensagens semânticas de alto nível, especificação de operações de modelagem, bem como as atualizações de dados dos clientes são enviados via rede. O servidor coordena a sessão de colaboração, mantém um modelo de produto centralizado e provê todas as funcionalidades que não podem, ou não devem, ser implementados no cliente. Uma importante vantagem desta arquitetura é que existe apenas um modelo de produto centralizado, então evita-se inconsistências entre múltiplas versões do mesmo modelo.

3 METODOLOGIA WEBMACHINING

A metodologia proposta é concebida a partir do paradigma de modelagem baseada em síntese por *features* de projeto, a fim de permitir a integração das atividades de projeto (CAD), planejamento do processo (CAPP) e manufatura (CAM Planejamento e CAM execução) utilizando como referência o Modelo de *Features* de Manufatura definido pelo AP 224. O procedimento inicia-se na modelagem de uma peça por *features* num contexto de manufatura remota utilizando a Web como meio de comunicação, num modelo computacional cliente/servidor.

O cliente conecta-se ao Modelador de *Features* Neutro via Web e inicia a instanciação de uma nova peça a ser modelada a partir de uma base de dados, usando a biblioteca de *features* padronizadas disponibilizada pelo sistema. Após a conclusão e validação do modelo, a peça criada é armazenada e disponibilizada para os demais módulos do sistema.

O sistema é concebido num ambiente distribuído de agentes de softwares interoperáveis denominado de Comunidade de Agentes de Manufatura (MAC), sendo sua arquitetura estratificada em três níveis: Projeto, Planejamento do Processo e Manufatura.

No nível superior reside um grupo de Agentes de Projeto, os quais atuam como uma ferramenta CAD baseada em *features* e também permite aos usuários que se conectem aos níveis inferiores.

O nível intermediário consiste de Agentes de Planejamento que incorporam as características de um CAPP generativo utilizando métodos de representação do conhecimento baseados em inteligência artificial, destacando-se os sistemas especialistas, lógica difusa, redes neurais e algoritmos genéticos. Este grupo de agentes interpreta as definições de projeto, modelagem geométrica realizada pelo usuário, e determina como fabricar a peça usando o Agente de Manufatura, que reside no nível inferior.

O Agente de Manufatura permite também a teleoperação da máquina de comando numérico via Internet. As informações sobre recursos de manufatura disponíveis (máquinas, ferramentas, informações de materiais, dispositivos de fixação,

etc) estão disponíveis através de uma base de dados relacional que é acessada pelos diversos agentes do sistema. O fluxo de informações entre os três níveis da arquitetura é realizado através do encapsulamento das informações, adotando-se o *Knowledge Query and Manipulation Language* (KQML) como padrão de linguagem de mensagens entre os agentes.

As mensagens são trocadas usando conexões sockets diretas (Álvares e Romariz, 2002) entre os agentes. A metodologia proposta utiliza a tecnologia Internet e de comunicação para oferecer um novo paradigma para o desenvolvimento dos futuros ambientes integrados CAD/CAPP/CAM.

Este ambiente é globalizado, centrado em rede e espacialmente distribuídos, tendo como front-end com o sistema CAD/CAPP/CAM navegadores baseados na Web e a linguagem Java e VRML (*Virtual Reality Modeling Language*), permitindo a independência da plataforma computacional do usuário.

A originalidade desta proposta está associada à contribuição metodológica para o desenvolvimento de sistemas de TeleManufatura via Internet a partir da concepção de um produto/peça até a sua fabricação, usando a Internet como meio de conexão entre as várias tecnologias avançadas de manufatura utilizadas.

4 ARQUITETURA MULTIAGENTE

A utilização de uma arquitetura baseada em sistemas multiagentes (MAS) é sem dúvida a mais atrativa atualmente, principalmente devido a evolução dos sistemas computacionais em especial de Unix para computadores pessoais e a utilização de redes de comunicação baseadas no protocolo TCP/IP em uma arquitetura cliente/servidor. Desta forma pode-se utilizar diversos tipos de agentes trabalhando cooperativamente e de forma distribuída na resolução dos diversos problemas associados à integração CAD/CAPP/CAM em um contexto de uma comunidade de agentes. Por exemplo, pode-se utilizar um sistema de gerenciamento de base de dados relacional (MySQL® ou SQL®) para compartilhar as informações dos recursos disponíveis de manufatura (máquinas, ferramentas, informações de materiais, dispositivos de fixação, etc) e ter os agentes como os resolvidores das atividades de planejamento do processo. Os agentes podem ser implementados utilizando diversas abordagens na sua lógica de decisão: sistemas especialistas baseado em regras de produção, lógica difusa, redes neurais, tabelas de decisão, entre outros. Pode-se utilizar a linguagem de comunicação de agentes KQML ou FIPA-ACL como linguagem que os agentes usam para se comunicar.

Este ambiente em rede de agentes de softwares interoperáveis é denominado de Comunidade de Agentes de Manufatura (MAC). A figura 8.2 apresenta a arquitetura MAC que pode ser estratificada em três níveis: no nível superior reside um grupo de Agentes de Projeto, os quais atuam como ferramentas CAD e também permite aos usuários que se conectem aos níveis inferiores. O nível intermediário consiste de Agentes de Planejamento. Este grupo de agentes interpreta as definições de projeto, modelagem geométrica, realizada pelo usuário, e determina como fabricar a peça usando o Agente de Fabricação selecionado, o qual reside no nível inferior. É utilizado uma interface transparente entre o projeto, planejamento e fabricação. A partir deste fluxo de informações entre os três níveis da arquitetura é necessário realizar o encapsulamento destas informações, sendo adotado o KQML (<http://www.cs.umbc.edu/kqml>) como padrão de linguagem de

mensagens entre os agentes. O KQML contém informações sobre quais agentes enviam mensagem, onde eles estão, como interpretar a mensagem recebida pelo destinatário. As mensagens são trocadas usando conexões sockets diretas entre os agentes.

É utilizado a ferramenta computacional JATLite (Java Agent Template Lite). JATLite (<http://java.stanford.edu/index.html>) é um pacote de programas escritos em Java que permite aos usuários a criação de agentes de softwares que comunicam-se de forma robusta na Internet. JATLite oferece uma infraestrutura básica na qual agentes registrados em um *Agent Message Router* (AMR), normalmente denominado de facilitador ou mediador, usam um nome e um password, conectando-se e desconectando-se da Internet, mandando e recebendo mensagens, transferindo arquivos com FTP, enviando e-mail e geralmente trocando informações com outros agentes, através dos vários computadores onde eles estão sendo executados.

A arquitetura do sistema Multiagentes MAC é apresentada na figura 1, sendo utilizado o ambiente de desenvolvimento de agentes JATLite baseado na linguagem KQML. A arquitetura proposta é constituída por cinco grupos de agentes: um facilitador (1), um gerenciador de base de dados (2), dois de projeto (3 e 4), sete de planejamento do processo (5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11) e cinco de fabricação (12, 13, 14, 15 e 16), conforme descrição a seguir:

1. AGENTE FACILITADOR (AF): realiza o gerenciamento da comunicação entre os agentes, administrando o roteamento das mensagens entre os agentes, segurança do sistema e o registro de agentes, por exemplo. É implementado através do *Agent Message Router* da arquitetura JATLite, sendo um agente disponibilizado pelo ambiente JATLite. Deverá haver pelo menos um AF definido na arquitetura. Será necessário mais de um AF em função da quantidade de agentes presentes no sistema, a fim de melhorar a performance do mesmo. O maior gargalo do ambiente de desenvolvimento JATLite é o AMR, pois os agentes sempre se comunicam uns com os outros via AMR. Esta definição será tratada durante a implementação e testes do protótipo a ser desenvolvido.

2. AGENTE GERENCIADOR DE BASE DE DADOS (ADB): este agente faz a interação com a base de dados MySQL. Qualquer agente que deseja alguma informação disponibilizada pela base de dados (linguagem SQL) faz uma solicitação para o Agente Gerenciador de Base de Dados, e este envia a resposta para o agente que solicitou a informação. O Agente Facilitador realiza o roteamento de mensagens entre estes agentes.

3. AGENTE DE INTERFACE CAD COM O USUÁRIO (AICAD): a interface gráfica com o usuário (GUI) para projeto por features (CAD by Features) é implementada através de um applet Java. Assim toda GUI executada por um cliente remoto (CAD by Features), para definir o modelo de features e geométrico da peça bruta e da peça acabada (modelagem do produto), possui um AICAD incorporada à interface. Este agente (AICAD) irá se comunicar com a comunidade de agentes através de uma conexão ao AF, e este fará o roteamento da mensagem para o agente em questão. São enviadas mensagens para os demais módulos do sistema comunicando os dados referentes ao projeto em desenvolvimento (modelo de produto) como: usuário, nome da peça, nome do projeto, entre outros; que permitirá a identificação do modelo de produto que o cliente está

elaborando. A conexão com a base de dados MySQL é realizada diretamente via mecanismo PHP, a fim de melhorar o desempenho do sistema, não usando o AGUI para esta finalidade, ou seja, a instanciação da peça por features e a consulta à biblioteca de features, base de dados, é feita via PHP. A visualização 3D do modelo de produto é gerenciada via AICAD, que se comunica com o agente de modelagem 3D.

4. AGENTE DE MODELAGEM 3D BASEADO EM ACIS (AACIS): é responsável pela modelagem 3D utilizando o kernel ACIS, transformando o formato .acis em .vml. Recebe mensagens do AICAD para construção de modelos 3D das peças modeladas por features.

5. AGENTE MAPEAMENTO DE FEATURES DE MANUFATURA (AMFM): realiza o mapeamento de features de projeto em features de manufatura, no caso, usinagem para operações de torneamento cilíndrico interno e externo,

faceamento, furação, rosqueamento, entre outras. Recebe informações do AICAD e consulta a base de dados através do ADB.

6. AGENTE DETERMINAÇÃO DAS OPERAÇÕES DE USINAGEM (ADOU): faz a seleção dos processos de usinagem tendo como entrada as features de usinagem determinadas pelo AMFM e as restrições são associadas às dimensões, tolerâncias, material da peça, entre outras. Recebe informações do AMFM e consulta a base de dados através do ADB.

7. AGENTE DETERMINAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE USINAGEM E SETUP (ASUS): faz a determinação da sequência de usinagem e setup para fixação da peça. Recebe informações do ADOU e consulta a base de dados através do ADB.

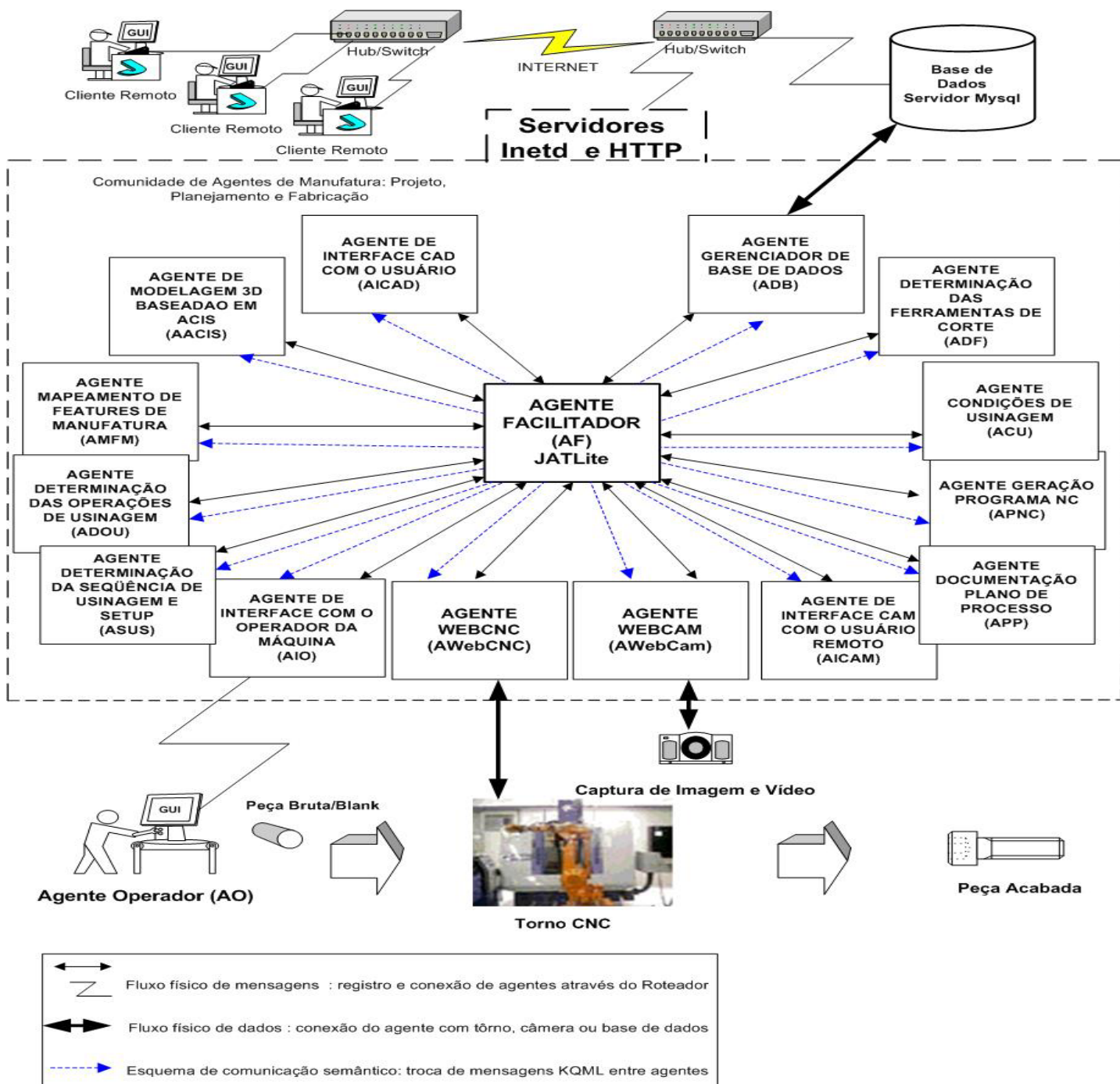


Figura 1- Arquitetura sistema Multiagente WebMachining.

8. AGENTE DETERMINAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE CORTE (ADF): faz a seleção da ferramenta de corte tendo como entrada as máquinas-ferramenta e as restrições são o tipo de material do par peça/ferramenta, dimensões e geometria das ferramentas, vida da ferramenta, entre outras. Recebe informações do ASUS e consulta a base de dados através do ADB.

9. AGENTE CONDIÇÕES DE USINAGEM (ACU): determina as condições de corte tendo como entrada os parâmetros das ferramentas e material e as restrições são os critérios utilizados como vida de ferramenta, econômicos, potência da máquina, capacidade da máquina, entre outros. Recebe informações do ADF e consulta a base de dados através do ADB.

10. AGENTE GERAÇÃO PROGRAMA NC (APNC): determina a trajetória das ferramentas tendo como entrada o modelo do produto baseado em features e as restrições baseada nas próprias features e eixos de deslocamento das ferramentas para evitar colisões, gerando ao final do processo o programa NC para a máquina-ferramenta a ser utilizada. Recebe informações do ASUS, ADF e do ADB.

11. AGENTE DOCUMENTAÇÃO PLANO DE PROCESSO (APP): monta o documento referente ao plano de processo incluindo informações de planos alternativos e de estimativa de custos. Comunica-se com os demais agentes de planejamento de processo e ADB.

12. AGENTE DE INTERFACE CAM COM O USUÁRIO REMOTO (AICAM): toda GUI associada ao CAM, executada por um cliente remoto e utilizada para fazer a teleoperação da máquina-ferramenta CNC, possui um AICAM incorporada à interface. Este agente (AICAM) irá se comunicar com a comunidade de agentes através de uma conexão ao AF, fazendo o roteamento da mensagem para o agente em questão

13. AGENTE WebCam (AWebCam): é responsável pela captura de vídeo e imagem do sistema de teleoperação,

enviando as imagens capturadas diretamente para a GUI associada ao CAM. Recebe mensagens do AF referente à identificação do usuário, login e senha, para permitir a execução do servidor WebCam.

14. AGENTE WebCNC (AWebCNC): é responsável pelo controle remoto da máquina CNC, recebendo comandos e enviado o status da máquina para a GUI associada ao CAM. Recebe mensagens do AF referente à identificação do usuário, login e senha, nome do arquivo com o programa NC e dados de planejamento do processo (fixação, ferramentas e peça bruta), sendo responsável pela implementação do protocolo de Comando Numérico Distribuído (DNC) através da Web.

15. AGENTE INTERFACE COM O OPERADOR DA MÁQUINA (AIO): esta interface gráfica (GUI) instrui o operador no chão-de-fábrica, sendo implementada através de um applet Java. Este agente de interface com o operador (AIO) dá as instruções para o operador sobre fixação da peça bruta, setup de ferramentas, preparação da máquina, agendamento da fabricação de uma peça, entre outras.

16. AGENTE OPERADOR DA MÁQUINA (AO): este agente (AO) é o operador da máquina-ferramenta, que recebe instruções de fixação da peça bruta, setup de ferramentas, preparação da máquina, agendamento da fabricação de uma peça e outros dados associados ao planejamento de processo e que só podem ser tratados por uma operador humano.

5 SISTEMA WEBMACHINING: MODELAGEM IDEF0 E IDEF1X

O sistema proposto integrado CAD/CAPP/CAM, denominado de WebMachining, foi modelado através da metodologia IDEF0. A figura 2 apresenta a estratificação do sistema nos três níveis associados aos agentes de softwares interoperáveis denominado de Comunidade de Agente de Manufatura, sendo as atividades: CAD by Features; CAPP; CAM.

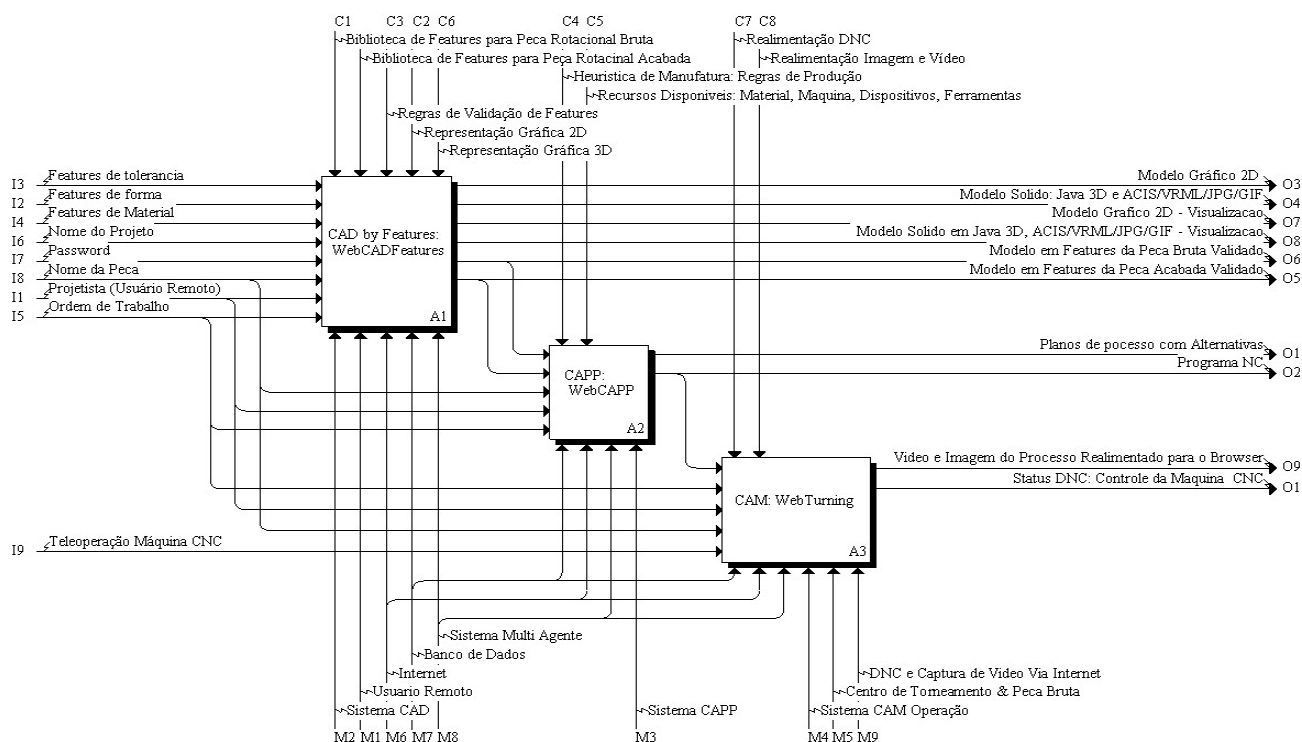


Figura 2 - Diagrama IDEF0: Atividades sistema WebMachining.

O CAD by Features tem como entrada de dados a modelagem por features e outras informações pertinentes, e como saída modelo de features da peça bruta e da peça acabada, que serve com entrada de dados para o CAPP. O CAPP tem como saída a geração do plano de processos e o programa NC. O CAM tem como entrada a dados referentes à teleoperação da máquina CNC e o programa NC (DNC e vídeo/imagem do processo), e como saída o controle da máquina e a fabricação da peça.

O modelo de informação foi concebido através da abordagem metodológica IDEF1X (base de dados relacional), onde o diagrama IDEF1X é apresentado no Apêndice A2 em tamanho ISO OS A0. Todos os dados referente ao modelo de informação estão contidos neste diagrama. O modelo de informação descreve cada subsistema em termos de entidades/objetos, atributos e relacionamentos. A partir deste modelo IDEF1X foi gerado o modelo físico da base de dados para o sistema de gerenciamento de base de dados MySQL.

O modelo de informação é dividido em domínios (CHEP et al., 1998) associados as base de dados de features (Features de Forma, Features de Tolerância, Features de Produção e Features de Materiais) e base de dados de tecnologia de usinagem (Biblioteca de Máquinas-ferramenta, Biblioteca de Ferramentas de corte, Biblioteca de Usinabilidade e Biblioteca de Fixação). A base de dados de features relaciona-se com o modelo do produto e a base de dados de tecnologia de usinagem relaciona-se com o modelo de recursos. Estas bases de dados foram implementadas fisicamente através de uma única base de dados denominada de WebMachining, em MySQL, sendo constituída por oitenta e duas tabelas.

O usuário remoto conecta-se ao sistema criando um novo projeto que será constituído pelos dados referentes à modelagem por features de uma peça acabada e de uma peça bruta, além de informações tecnológicas, tolerâncias dimensionais e geométricas, acabamento superficial, dados de produção e dados do usuário. Todo projeto será constituído por este conjunto de dados para peça bruta e acabada, que estão definidos nos vários domínios descritos. Um usuário pode ter vários projetos concebidos e armazenados no sistema de base de dados. Cada usuário tem uma identificação única no sistema.

Maior detalhamento sobre os modelos IDEFs podem ser obtidas em <http://WebMachining.AlvaresTech.com> e Álvares & Ferreira (2003).

6 CONCLUSÃO

A arquitetura e metodologia proposta utiliza a tecnologia Internet e de comunicação para oferecer um novo paradigma para o desenvolvimento dos futuros ambientes integrados CAD/CAPP/CAM. Estes ambientes serão globais, centrados em rede e espacialmente distribuídos, tendo como *front-end* com o sistema CAD/CAPP/CAM navegadores baseados na Web e a linguagem Java, permitindo a independência da plataforma computacional do usuário.

O sistema proposto apresenta muitas contribuições para o desenvolvimento de sistemas de telemanufatura baseado na Web, integrando atividades de projeto, planejamento de processos e de manufatura através da modelagem por *features* e utilizando os protocolos TCP/IP. O sistema é inédito no que concerne à abordagem de projeto por síntese de *features* e no processo de fabricação utilizado, sendo voltados para

fabricação de peças rotacionais. Inova também na incorporação de funcionalidades associada à teleoperação via Web da máquina-ferramenta CNC permitindo a integração CAD/CAPP/CAM. A partir desta metodologia está sendo implementado um protótipo que deverá estar concluído até 2005. Maiores informações sobre o projeto WebMachining podem ser consultadas em <http://WebMachining.AlvaresTech.com>.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- Álvares, A. J., Ferreira, J. C. E., "Uma Metodologia para Integração CAD/CAPP/CAM Voltada para Manufatura Remota de Peças Rotacionais Via Web", II COBEF, Uberlândia, MG, 05/2003.
- Álvares, A. J. e Romariz, L. J., 2002, "Telerobotics: Methodology for the Development of a Through-the-Internet Robotic Teleoperated System", Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences, Vol. XXIV, No. 2, págs 122-126..
- Álvares, A. J., Ferreira, J. C. E., Shimabukuro, L. e Fernandes, C. A., 2002, "Um sistema de telemanufatura baseado na web orientado ao processo de oxicorte", XXII ENEGEP, Curitiba.
- Bidarra, R., Van den Berg, E. e Bronsvort, W. F., 2001, "Collaborative Modeling with Features", Proceedings of DET'01, 2001 ASME Design Engineering Technical Conferences, Pittsburgh, USA.
- Cho, K. K., Lee, S. H., Ahn, J. H., 1991, "Development of Integrated Process Planning and Monitoring System for Turning Operation", Anais do CIRP, Vol. 40, págs 423-427.
- Corney J. e Lim T., 2001, "3D Modeling with ACIS", Saxe-Coburg Publications, 2ª Edição.
- Erickson, R. E., 1988, "The state of the art in computer aided process planning", CAM-I report.
- Giusti, F., Santochi M., Dini, G., 1989, "KAPLAN: a Knowledge-Based Approach to Process Planning of Rotational Parts", Annals CIRP, Vol. 38, págs 481-484.
- Ham, L. e Lu, S.C.Y., 1988, "Computer-aided process planning: the present and the future", Anais CIRP 37 (2), págs 591-601.
- Han, J. H. e Requicha, A. A. G., 1998, "Modeler-independent Feature Recognition in a Distributed Environment". Computer-Aided Design, 30(6), págs 453-463.
- Hardwick, M., Spooner, D. L., Rando, T, e Morrir, K. C., 1996, "Sharing Manufavturing Information in Virtual Enterprises", Communications of the ACM, 39(2), págs 46-54.
- Kruth, J. P. e Detand, J., 1992, "A CAPP System for Nonlinear Process Plans", Anais CIRP Vol. 41/1, págs 489-492.
- Lee, J. Y., Han, S. B., Kim, H., Park, S. B., 1999, "Network-centric Feature-based Modeling", Pacific Graphics 1999.

- Martino, T. D., Falcidieno, B. e Hasinger, S., 1998 "Design and Engineering Process Integration Through a Multiple View Intermediate Modeller in a Distributed Object-oriented System Environment", *Computer-Aided Design*, 30(6), págs 437-452.
- Rico, C. S., Mateos, S., Cuesta, E., Duarte, A., 1997, "An Automatic CAPP System for Rotational Parts", 0-7803-4192-9/97, IEEE.
- Salomons O.W., Houten F.J.A.M. van, Kals H.J.J., 1993, "Review of research in feature-based design, *Journal of Manufacturing Systems*", Vol.12, no.2, págs 113-132.
- Shah, J. J., Dedhia H., Pherwani V. e Solkhan S., 1997, "Dynamic Interfacing of Applications to Geometric Modeling Services Via Modeler Neutral Protocol", *Computer-Aided Design*, 29 , págs 811-824.
- Shah, J. J., Mäntylä, M., 1995, "Parametric and Feature-Based CAD/CAM: Concepts, Techniques, and Applications", John Wiley & Sons, New York.
- Shunmugam, M. S., Mahesh, P. e Reddy, S. V. B., 2002, "A method of preliminary planning for rotational components with C-axis features using genetic algorithm", *Computers in Industry*, 1605, págs 1-19.
- Smith, C. S., Wright, P. K., 2001, "Cybercut: An Internet-based CAD/CAM System", *ASME Journal of Computing and Information Science in Engineering*, Vol. 1, No. 1, págs 1-33.
- Tönshoff, H.K., Aurich, J.C., Baum, Th., 1994, "Configurable Feature-Based CAD/CAPP System". *Proceedings of the IFIP International Conference on Feature Modeling and Recognition in Advanced CAD/CAM Systems*. Valenciennes, France, págs 757-769.