

SISTEMA ESPECIALISTA PARA DIAGNÓSTICOS DE PROBLEMAS TECNOLÓGICOS DE USINAGEM

Orlando Maurício Duran Acevedo

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Escuela de Ingeniería Mecánica, Av. Los Carrera N° 01567, Quilpué, Chile. E-mail: orlando.duran@ucv.cl

Luiz Airton Consalter

Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Campus I, BR 285 km 171, CEP 99001-970, Passo Fundo/RS, Brasil. E-mail: lac@upf.br

Ricardo Soto

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Escuela de Ingeniería Informática, ricardo.soto@ucv.cl

***Resumo.** O caráter essencialmente empírico do processo de usinagem e o inter-relacionamento de seus parâmetros torna extremamente difícil a identificação e solução dos problemas para as empresas. Nesse sentido, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um modelo computacional para diagnóstico e solução de problemas em usinagem. O modelo utiliza a Lógica Difusa como principal ferramenta para a construção de árvores de decisão que analisam os problemas descritos pelo usuário sugerindo possíveis soluções. Como vários problemas (rugosidade, desgaste, etc.) podem se manifestar simultaneamente é necessário que o usuário os identifique e os qualifique lingüisticamente pela ordem de importância (alto, médio, baixo). Em seguida, a base de conhecimento é acionada a partir das funções de pertinência e os termos de intensidade atribuídos a cada problema manifestado. Na base de conhecimento estão armazenadas relações de pertinência entre cada um dos problemas possíveis e os elementos do sistema máquina-fixação-peça-ferramenta (MFPF). Isso visa expressar o impacto que cada elemento tem na geração de cada um dos problemas. Para isso, recorre-se à valorização associativa em termos lingüísticos fornecidos por especialistas de usinagem cujo conhecimento está armazenado nesta base. Depois de avaliadas as entradas dos usuários e dos especialistas, o sistema passa a varrer as regras associadas aos elementos do sistema MFPF para fornecer informação de possíveis soluções. Eventualmente, e devido ao caráter aproximado do conhecimento e das descrições, o sistema poderá fornecer vários caminhos alternativos, sendo que cada um deles possuirá um fator de recomendação diferente, da maior à menor possibilidade de solucionar o problema.*

Palavras-chave: tecnologia da usinagem, sistema especialista, lógica difusa, diagnóstico.

1. INTRODUÇÃO

Os processos industriais, especialmente a usinagem, têm um caráter essencialmente empírico. Assim, qualquer iniciativa para resolver problemas práticos ou levar a cabo a otimização na produção dependerá de resultados experimentais, avaliações empíricas e, principalmente, da experiência técnica. A grande quantidade de parâmetros de corte e variáveis envolvidas em um processo industrial (com uma forte inter-relação) aumenta ou dificulta os esforços de otimização. O fato de ignorar que uma modificação de um determinado parâmetro de corte pode disparar uma série de efeitos sérios ao processo industrial, é a causa da maior quantidade de problemas num ambiente industrial. Este fato

conduz a custos mais altos, a uma baixa produtividade e baixa qualidade. Como um exemplo para melhor compreensão, considere o caso da tentativa para resolver o problema de quebras sucessivas da ferramenta de corte em uma operação de torneamento. Para evitar quebras da ferramenta o técnico ou o especialista poderia adotar uma geometria de ferramenta com um ângulo negativo. Porém, se a causa do problema fosse a vibração resultante causada por uma rigidez precária do sistema de máquina-ferramenta-fixação-peça, então, a solução adotada pelo técnico aumentaria as forças em superfícies da ferramenta que causariam vibração mais alta na operação, e o colapso final da ferramenta. Uma solução apropriada para este caso seria, simplesmente, a seleção de outro material de ferramenta com uma mais alta tenacidade. Podem ser achadas muitas situações como a descrita aqui dentro da indústria nacional e estrangeira.

Apesar da disponibilidade de informação dentro de catálogos e manuais, junto com a informação do apoio técnico que certos provedores de ferramentas oferecem aos usuários, o conhecimento dos profissionais que atuam no chão de fábrica não é sistematizado para a sua aplicação correta na indústria. Isto pode conduzir a decisões erradas e perda de tempo nas tentativas de solução de problemas em usinagem. Como consequência, ter-se-á uma elevação desnecessária dos custos de produção, quedas no índice de produtividade e um baixo desempenho de qualidade, o que pode ser refletido, em definitivo, na perda de competitividade dentro de um mercado exigente e globalizado. Isso poderá acontecer principalmente quando os profissionais encarregados das operações de usinagem não possuem suficiente experiência ou quando os recursos e procedimentos tecnológicos evoluem e as pessoas não acompanham esta evolução. Tudo isto poderia ser evitado ou rapidamente solucionado se o conhecimento técnico estivesse disponível de uma maneira estruturada e útil.

Durante a execução de uma operação podem surgir alguns problemas, sendo que muitos deles têm que ser rapidamente solucionados para evitar consequências superiores. Entre os problemas que poderiam existir durante operações, pode-se salientar a quebra de ferramenta, vibração, qualidade deficiente, baixa integridade superficial, cavacos inadequados e muitos mais. Na tentativa de resolver esses problemas, podem ser usadas muitas estratégias e fontes de consulta, tais como manuais de usinagem, catálogos de fabricantes de ferramenta, etc. Porém, quase toda a informação contida nestas fontes tem um caráter quantitativo e usa valores de entrada nominais. Para usar esta informação e extrair conselhos para resolver problemas é necessário um sistema de sensores na operação. Por outro lado, muitos fabricantes não possuem suficiente instrumentação para monitorar ou controlar o comportamento da operação. Assim, qualquer possibilidade de analisar o desempenho de operação resume-se a observações de caráter visuais e auditivas, ou seja, feitas por humanos, tais como os operadores ou técnicos. Dessa forma, quase todos os julgamentos feitos pelos técnicos e operadores ao tentar resolver qualquer problema nas operações, são feitos a partir de informação imprecisa e qualitativa. Então, valores nominais e quantitativos junto com as ações indicadas na literatura só podem ser considerados, quando muito, como um bom ponto de partida na tentativa de resolver os problemas das operações.

Outro fator que deveria ser levado em conta é a fuga de conhecimento da empresa. Isso acontece quando os profissionais qualificados migram para outras companhias. Se a companhia quiser manter seu nível de qualidade e competitividade, tem que recompor o conhecimento perdido com novos investimentos em treinamento ou através da incorporação de profissionais novos com habilidades semelhantes e experiência na área. Isto pode consumir tempo (próprio de qualquer curva de aprendizagem) durante o qual a companhia fica exposta a novos erros e grandes riscos.

Este artigo pretende descrever um modelo de solução baseada na lógica difusa como base para o diagnóstico em operações de usinagem. Nas próximas seções, são revisados tópicos da literatura como sistemas especialistas e lógica difusa, operações de usinagem e seu diagnóstico. Em seguida descreve-se a metodologia proposta e, então, se faz a descrição de um protótipo desenvolvido para implementar o modelo. Nas conclusões, apresenta-se o potencial de aplicação e futuras ações que apontam para a

implantação de um sistema especialista para diagnóstico em operações de usinagem usando a plataforma da Internet.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO

Entre os processos industriais, a usinagem tem uma presença importante em aplicações industriais. É sabido que aproximadamente 80% de produtos fabricados têm, diretamente ou indiretamente alguma operação de usinagem Dieter (1981). Além disso, sabe-se que a relação entre tempo efetivo e tempo improdutivo em usinagem corresponde a 70:30, o oposto do que acontecia antes dos anos setenta. Essa mudança aconteceu em função de desenvolvimento tecnológico e de novas formas de organização industrial. De acordo com os paradigmas de produção moderna, os resultados econômicos e técnicos das operações de usinagem muito dependem do que acontece durante o tempo efetivo de corte, ou seja, o tempo onde a ferramenta entra em contato efetivo com a peça arrancando material. Isto significa uma grande responsabilidade na fase de planejamento de processos. Nesse momento é evidente a necessidade de conhecimento aplicado para evitar problemas e gerar soluções aperfeiçoadas que resultem em processos técnica e economicamente satisfatórios. Isto é possível através de, pelo menos, três tipos de recursos: máquina, ferramental e conhecimento. Grande parte das companhias tem hardware e ferramentas cortantes com alta capacidade de desempenho, enfrentando satisfatoriamente as demandas do mercado. Os mercados em abertura e a globalização garantem o acesso aos recursos de produção mais modernos para qualquer empresa que assim o desejar. Então, isso não constitui um maior problema, mas sim a ausência ou falta de conhecimento estruturado da usinagem. O despreparo técnico, como previamente mencionado, tem sido a grande barreira para a melhoria contínua em operações de usinagem.

Nesse contexto, entende-se que a solução é a sistematização de conhecimento de usinagem na forma de regras de decisão, formando assim uma base de conhecimento dentro do domínio de usinagem. Esta base de conhecimento deveria estar disponível a usuários finais e deveria ser expansível e atualizável.

A disponibilidade de baixos custos de software dedicados à sistematização de conhecimento e especificamente as plataformas para Sistemas de Especialistas, permite que os usuários criem suas próprias bases de conhecimento de forma rápida e fácil. Então, dentro de ambientes onde o conhecimento está disponível, não é mais admissível usar a informação de uma maneira desestruturada, porém é imperativa a criação de sistemas capazes de apoiar e administrar o conhecimento tecnológico de uma companhia de maneira confiável e economicamente viável.

3. OS SISTEMAS ESPECIALISTAS E A FABRICAÇÃO

Sistemas Especialistas (ES) na área de Fabricação têm sido recorrentemente usados. Uma pesquisa feita por Pham e Pham (1999) apresenta diferentes aplicações de inteligência artificial (AI) em ambientes industriais. Experiências diversas em implementação de sistemas de controle, reconhecimento de padrões, planejamento da produção e de processos e que combinam o uso de redes neurais, da lógica difusa e dos algoritmos genéticos foram comentados pelos autores. Monostori (2003) faz comentários aos avanços obtidos com aplicações de inteligência artificial na produção e conclui que as aplicações mais promissórias nesta área são aquelas relacionadas com os Agentes e Sistemas Holônicos. Aplicações de AI que esse autor salienta estão relacionadas com implementações em visão, reconhecimento de linguagem natural e diagnóstico. Por outro lado, aplicações de AI podem ser encontradas nas diferentes fases do ciclo de vida em produção, desde Projeto Conceitual (Durán e Zaroni, 2001; Durán, 1999) até a programação em linguagens de alto nível de dispositivos programáveis (Durán e Batocchio, 1997a; 1997b; 1998), passando pela programação da produção, simulação, e treinamento.

Considerando operações de usinagem, pouco tem sido publicado em aplicações de Sistemas Especialistas. Isto se deve, acredita-se, à grande quantidade de variáveis associadas a esses processos. Como Wong et alli. (1999) salientam, a seleção de dados de corte é uma tarefa complexa e não pode ser formulada facilmente através de modelos determinísticos. De acordo com os autores, informação ótima sobre as condições de corte, basicamente se origina da experiência de operadores e técnicos, como também, da própria intuição humana. A maioria das decisões é feita baseando-se em informação incompleta e aproximada, situação que conduz a pensar em ferramentas de AI para alcançar uma modelagem computacional correta. Também de acordo com Wong et alli. (1999), a Lógica Difusa é uma metodologia apropriada para representar a estratégia e ações que um especialista executa quando seleciona ferramentas cortantes e as suas condições de corte. Um trabalho semelhante foi apresentado por Almeshai e Oraby (2003) que propôs uma solução baseada em AI para avaliar parâmetros de corte selecionados, comparando-os com informação dos recursos disponíveis, objetivos de produção e restrições. O sistema desenvolvido por Almeshai e Oraby (2003) busca prever o desempenho de operações através de certos fatores como uso de ferramentas, forças cortantes, qualidade superficial, rugosidade e vibração manifestadas durante a operação. A solução proposta pelos autores consiste em dois passos fundamentais: aplicação de modelo fundamental matemático, como equações de Taylor e outros, e em uma segunda fase, o uso de algoritmos lógicos para a implementação da tarefa de avaliação das condições sugeridas pelo usuário.

A partir dos trabalhos na literatura sobre técnicas de AI e planejamento de processos em operações de usinagem discutidos nesta seção, pode-se concluir que para o tipo de informação e a natureza do processo, a Lógica Difusa é uma metodologia adequada para automatizar o planejamento de processo e representar as decisões de usinagem.

4. LÓGICA DIFUSA E USINAGEM

Pode-se concentrar esta discussão em três artigos principais: Chen et alli. (1995) apresentou um Sistema Especialista baseado em Lógica Difusa chamado SAM (ou Assistente Inteligente para o Operador) que basicamente ajuda os especialistas na seleção de uma ferramenta e estabelece as condições de utilização a partir de conhecimento impreciso e aproximado. Fang (1995) propôs um sistema que permite diagnosticar operações de torneamento, usando Lógica Difusa. A metodologia usada pelo autor introduz o conceito de matriz de relação difusa para quantificar o risco que existe a partir de uma série de sinais vindo da operação (forças cortantes, vibrações e outros parâmetros da operação de usinagem). O artigo acima mencionado aponta ao uso do sistema proposto com uma ferramenta de monitoração on-line. Mais recentemente, Hasmi et alli. (2000) apresentaram um sistema de seleção de dados de corte para operações de furação baseado em Lógica Difusa. O sistema permite selecionar a velocidade de corte para esta operação. De acordo com os autores, a relação entre a dureza de um material e a velocidade cortante pode ser definida como sendo de tipo difuso. A partir de informação imprecisa e aproximada de casos semelhantes de operações de furação, tal como a durezas de materiais, diferentes diâmetros e valores de avanço, o sistema permite sugerir valores apropriados de corte para a operação que está sendo planejada.

5. METODOLOGIA PROPOSTA

Esta seção é dividida em duas partes principais. A primeira parte descreve os passos para estruturar uma base de conhecimento enquanto que a segunda parte descreve o funcionamento do sistema e a estrutura do protótipo desenvolvido.

A base de conhecimento é onde é armazenada inteligência sobre condições de usinagem através de um conjunto de regras difusas. Esta base de conhecimento difusa é definida através da participação de especialistas em usinagem. A definição do conjunto de regras é realizada através da seleção de uma

série de termos lingüísticos que representam intensidade para certos parâmetros de corte e/ou condições da operação, junto com suas respectivas funções de pertinência. São escritas regras de decisões usando estas condições e funções de pertinência para associar certos tipos de problemas e/ou sintomas a determinadas condições de corte ou determinadas situações durante a operação, por exemplo, a geometria de corte da ferramenta. As regras difusas ajudarão então ao usuário a solucionar problemas de usinagem através da recomendação de novas condições de corte e alterações na geometria ou tipo da ferramenta.

Devido a que operações de usinagem envolvem um grande número de variáveis e condições, esta metodologia baseada em regras poderia gerar um grande número de regras de decisão. Isto constitui uma limitação reconhecida destes sistemas especialistas afetando o desempenho da implementação e de suas aplicações. Alguns autores têm investigado esse problema desenvolvendo mecanismos eficientes para acelerar o processo de procura dentro de um sistema especialista baseado em regras. Aqui se optou pela utilização de um algoritmo interativo de procura (ou navegação) semelhante ao proposto por Liu e Liu (2003). Os autores criaram um algoritmo de meta-programação que constrói uma base de regras de um modo automático e realiza um processo de busca seletivo. Em outras palavras, a proposta é implementar um meta-mecanismo que permite ao sistema selecionar subconjuntos de regras dedicadas a certos sintomas ou problemas, concentrando o processo de procura nas regras associadas com um elemento particular do sistema Máquina-Fixação-Peça-Ferramenta (MFPF). Os elementos selecionados são assim relacionados com o problema específico declarado pelo usuário. O mecanismo proposto de navegação dentro do conjunto de regras pode ser melhor entendido através da Figura 1.

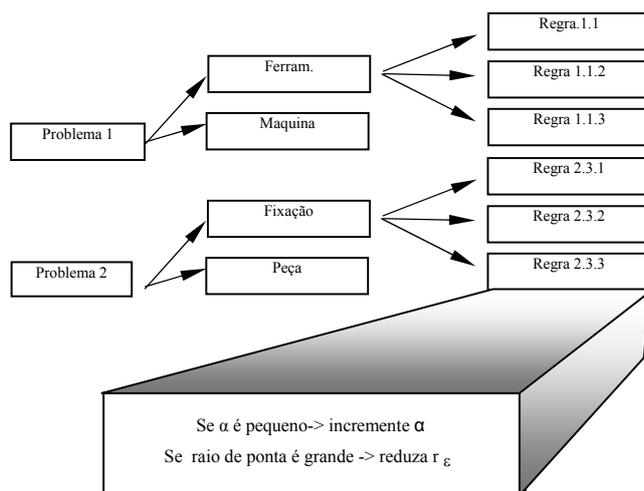


Figura 1. Algoritmo de navegação para agilizar o processo de procura.

Como vários problemas ou sintomas podem surgir simultaneamente, é necessário que o usuário identifique ou qualifique o grau de intensidade que cada problema/sintoma tem. Com tal objetivo, foi definida uma escala de termos lingüísticos que representam o grau de intensidade que cada tipo de problema manifesta em uma determinada aplicação (Tabela 1).

Tabela 1. Escala de termos lingüísticos do grau de intensidade de cada tipo de problema

PROBLEMA	Termo Lingüístico				
Vibrações	Muito alto	Alto	Meio	Baixo	Nulo
Rugosidade	Alto	Alto	Meio	Baixo	Muito baixo
Consumo de potência	Alto	Alto	Meio	Baixo	Muito baixo
Desgaste da ferramenta	Alto	Meio	Normal		

..etc

Então, a través um conjunto definido de funções de pertinência, correspondentes aos termos lingüísticos, o usuário pode expressar a intensidade com que cada um dos problemas ou sintomas está surgindo durante uma dada aplicação. Por exemplo, para o termo de “alta” rugosidade, pode ser considerada uma função de pertinência de formato trapezoidal delimitada pelos seguintes limites (2.0, 10.0, 12.0, 20.0) como é mostrado na Figura 2.

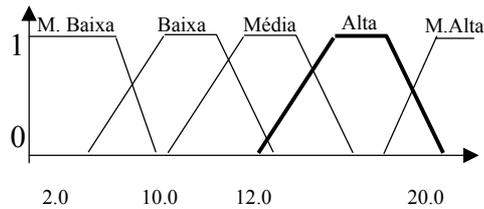


Figura 2. Função de pertinência para as condições associadas à rugosidade.

Os problemas podem ser associados com níveis diferentes de intensidade, para qualquer um dos elementos do sistema máquina-fixação-peça-ferramenta. Isso no sentido de expressar o impacto que cada um desses elementos pode ter na geração do problema declarado pelo usuário.

Essa associação também pode ser feita usando certos termos lingüísticos para representar o grau de influência entre cada um dos elementos do sistema de MFPT e os problemas prováveis durante uma dada operação. As condições são obtidas de acordo com consenso de um conjunto de julgamentos de um ou mais especialistas em usinagem. De acordo com o exemplo acima mencionado, os termos lingüísticos atribuídos poderiam ser como segue na Tabela 2.

Tabela 2. . Escala de termos lingüísticos de intensidade entre MFPT e problemas prováveis

PROBLEMA	Máquina	Fixação	Peça	Ferramenta
Vibrações	Alto	Médio	Médio	Alto
Rugosidade	Baixo	Baixo	Médio	Alto
Consumo de potência	Etc.
Desgaste de ferramenta

Analisando o problema de vibração, a Tabela 2 mostra que os elementos com maior influência na geração daquele problema são: a máquina e a ferramenta. A partir dessa informação o sistema analisará apenas o subconjunto de regras que são relacionadas a estes elementos e o problema mencionado. Através dessa estratégia será reduzido o tempo de inferência significativamente e o desempenho de sistema será aumentado.

Nesta segunda parte da seção descreve-se o funcionamento do sistema e do protótipo desenvolvido. Suponha que, depois do usuário entrar com informação sobre uma determinada operação de corte, ele procede a descrição do ou dos problemas prevalentes. Por exemplo, suponha que a vibração da ferramenta de corte é o sintoma principal que se manifesta durante a operação. Também, suponha que é sabido que o elemento que influencia a estabilidade de operação e, conseqüentemente causa a ocorrência de vibrações, é a ferramenta cortante. O sistema varrerá as regras associadas àquele elemento (a ferramenta), como observado na Figura 1, e extrairá uma série de recomendações para resolver o mencionado problema. Suponha que o ângulo de folga na situação descrita é de 4°. A função

de pertinência para o ângulo de folga (α) é mostrado na Figura 3. Neste exemplo, o valor *crisp* para o ângulo de folga ($\alpha = 4^\circ$) cruza duas funções de pertinência associadas a termos lingüísticos respectivos. Então, o ângulo α pode ser considerado parcialmente como um ângulo pequeno e parcialmente como um ângulo médio. O termo “parcialmente” pode ser representado por uma porcentagem ou peso que será usado para avaliar as regras difusas e extrair as recomendações da base de conhecimento. Por exemplo, e observando a figura 3, o ângulo de folga de 4° pode ser considerado em 75% como um ângulo de tamanho médio ou em 60% como um ângulo de tamanho pequeno. Portanto, as regras difusas que incorporam o termo “ângulo de folga pequeno” participarão com um peso equivalente de 60% nas recomendações da base de conhecimento. Por outro lado, as regras que incorporam o termo “ângulo de folga médio” terão um peso de 75% nas ações indicadas. Isto supõe uma combinação de duas ou mais ações indicadas e estas ações serão declaradas pelo sistema com os seus respectivos pesos. De maneira semelhante, ao avaliar as regras que consideram a velocidade de corte serão usadas as funções de pertinência mostradas na Figura 4.

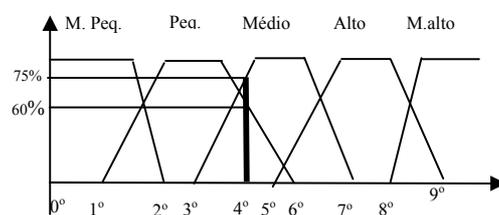


Figura 3. Função de Pertinência associada ao ângulo de Folga (α).

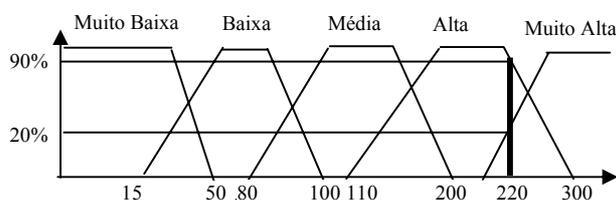


Figura 4. Função de Pertinência associada à velocidade de corte.

Se a velocidade usada na situação descrita antes for de 220m/min, este valor será fuzzificado para ser usado na avaliação da regra seguinte:

Se V_c é muito alto - > reduza V_c

O que dará uma certa porcentagem de peso ao conceito de V_c muito alto (20%). Em função de tal valor, o sistema emitirá uma determinada recomendação, no caso, reduzir a velocidade com um determinado peso.

O protótipo desenvolvido foi escrito inteiramente usando a plataforma MATLAB e o *Fuzzy Toolkit*. Através dele se construiu uma interface (Figura 5) que permite ao usuário identificar qual ou quais os problemas que se apresentam numa determinada situação e entrar com as condições de corte e outras especificidades do processo. Logo, o sistema dispara o processo de inferência e apresenta uma serie de recomendações para tentar resolver o problema identificado pelo usuário, além de uma explicação de por que esse problema teria se apresentado, na tentativa de ser didático na execução do programa. Observe que a entrada de dados pode ser realizada de diferentes formas, usando o teclado para digitar os valores específicos, usando *sliders* ou *listboxes* que armazenam valores padrões ou freqüentemente utilizados em situações reais. Na região superior direita o usuário poderá especificar qual ou quais os

problemas que se apresentam numa dada situação e poderá qualificá-los usando termos de intensidade predefinidos em *listboxes*. Imediatamente abaixo da região mencionada, o usuário poderá identificar a intensidade ou importância que ele está dando aos problemas enunciados, de maneira a guiar os processos de busca na base de regras por parte do motor de inferência. Além desses elementos, a interface possui três regiões onde se mostram os valores submetidos ao motor de inferência, os valores recomendados pelo sistema especialista para tentar resolver o problema e uma breve explicação de porque esse(s) problema(s) estaria(m) se manifestando.

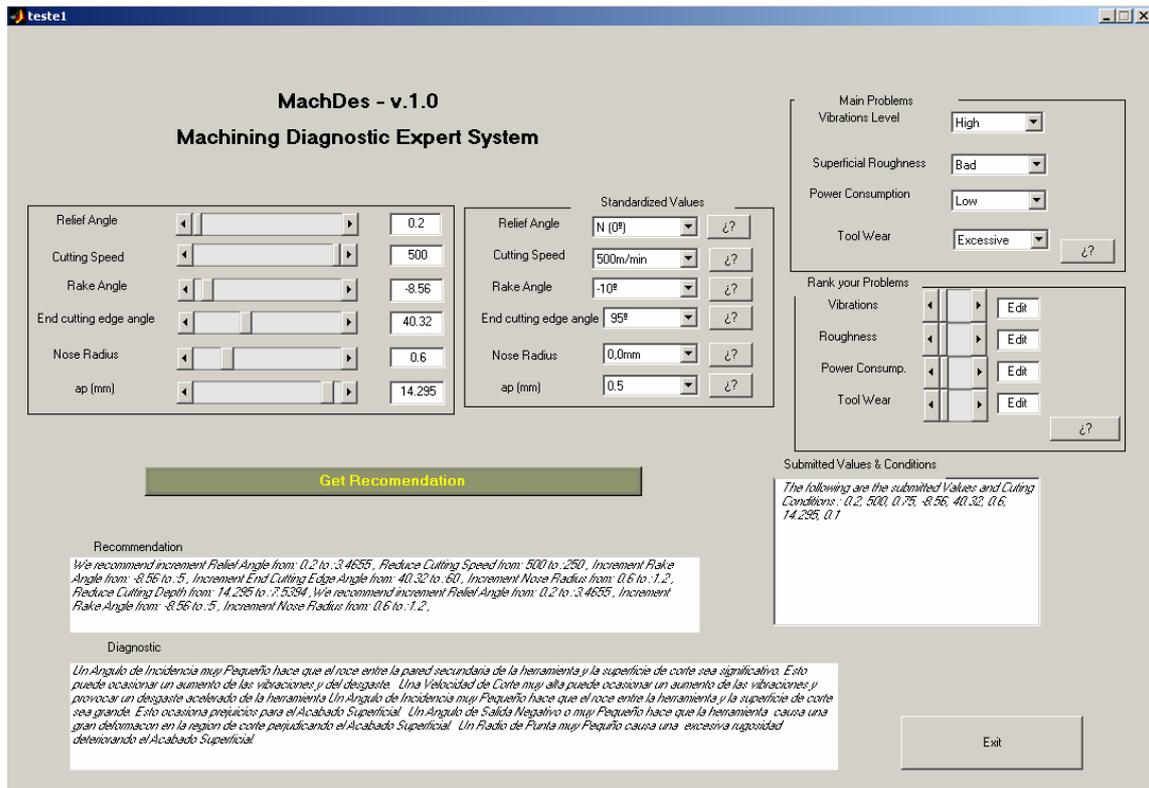


Figura 5. Visão geral da Interface com o usuário do protótipo desenvolvido

6. CONCLUSÕES

Um sistema de diagnóstico baseado em Lógica Difusa foi proposto. As metas do sistema são solucionar problemas em operações de corte a partir da descrição de uma determinada situação problemática e suas condições de corte. A hipótese central é que o conhecimento sobre operações de usinagem é desestruturado, aproximado e impreciso. Isto leva a se recomendar o uso de técnicas de lógica difusa. Quando o usuário descrever uma determinada situação de usinagem, faz isto usando julgamentos imprecisos e valores qualitativos. Pelo uso da metodologia difusa, a solução proposta permite ao usuário descrever uma determinada condição de corte, enumerando os problemas que podem estar surgindo durante a operação usando termos lingüísticos. Esses termos são os mesmos que serão usados para varrer o conjunto de regras, ao procurar as recomendações para resolver o problema descrito. Um protótipo que implementa a proposta se apresentou. Este protótipo foi construído inteiramente utilizando o *MATLAB* e a *Fuzzy Toolkit*.

7. REFERÊNCIAS

- CAO LL., BENGU G. Web-based for reengineering engineering education. **Journal of Educational Computing Research**, Amityville, NY 11701 USA, v.23, n. 4, p.421-430, 2000.
- CHEN, Y., HUI, A. DU. R., A *Fuzzy* Expert System for the Design of Machining Operations, **Int.J.Mach.Tools Manufact**, Oxford, UK, v.35, n. 12, pp.1605-1621, DEC. 1995.
- DIETER George E., **Metalurgia mecânica**. 2^a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1981. 653p.
- DUAN Y.Q., FU Z.T., LI D.L., Toward developing and using Web-based tele-diagnosis in aquaculture. **Expert Systems with Applications**, Oxford, UK, v. 25(2), pp.247-254 aug. 2003
- DURÁN, O., R.ZANONI, Evaluación de Alternativas de Diseño usando Lógica Difusa, **Revista de la Facultad de Ingeniería U.T.A.** Arica, Chile, v. 9, pp.43-51, JAN-DEZ, 2001.
- DURÁN, O. Definición de una metodología de evaluación de alternativas de diseño usando Inteligencia Artificial In: Proceedings of CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA MECÁNICA, 1999, Santiago do Chile.
- DURÁN O., A.BATOCCHIO Programmable Controllers Programme Generation using a Textual Interface, In: 7th. INTERNATIONAL FAIM CONFERENCE FLEXIBLE AUTOMATION AND INTELLIGENT MANUFACTURING, 1997, Middlesbrough. p. 183-191.
- DURÁN O., A.BATOCCHIO Gerador Automático de Software para CP: um enfoque orientado a objeto, **Revista Máquinas e Metais**, n. 381, p. 121-140, oct.1997.
- DURÁN O., A.BATOCCHIO, Automatic PLC Software Generation with a Natural Interface. **International Journal of Production Research**. London, UK, v.37, n.. 4, pp.805 –819 ;Marzo.1998.
- FANG, X.D., Expert System-supported *Fuzzy* Diagnosis of Finish Turning Process States. **Int.J.Mach.Tools Manufact**. Oxford, UK, v.35, n. 6, p.913-924, JUN.1995.
- HASHMI,K. GRAHAM, I.D., MILLS, B., *Fuzzy* logic based data selection for the drilling process, **Journal of Materials Processing Technology**, v.1, n.108, p.55-61, DEC.2000.
- LIU, S.C., LIU,S.Y., An Efficient Expert System for machine Fault Diagnosis, **Int. J. Adv. Manuf. Technol**. Surrey, UK, v.21, n.9, p.691-698, 2003.
- MONOSTORI, L., AI and Machine Learning Techniques for Managing Complexity, changes and uncertainties in Manufacturing. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**. Oxford, UK, v.16, n. 4, p.277-291, JUN. 2003.
- ONG, S.K., AN,N., NEE, C.Y., Web-based Fault Diagnosis and Learning System, **Int. J. Adv. Manuf. Technol**. Surrey, UK, v.18, n.7, p.502-511, 2001.
- PARKINSON B., HUDSON P., Extending the learning experience using the Web and a knowledge-based virtual environment. **Computers & Education** Oxford, UK, v.38, nos.1-3, p. 95-102 jan/apr. 2002.

PHAM DT., PHAM PTN, Artificial Intelligence in Engineering, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, Oxford, UK, v.39, n.6, p. 937-949, jun.1999.

POOLEY R., WILCOX P. Distributing decision making using Java simulation across the World Wide Web. **Journal of the Operational Research Society**, Hampshire, UK, v. 51, n.4, p. 395-404, apr.2000.

WANG JD., CHEN DR. KONG XM., A Web-based remote intelligent expert system for ferrography diagnosis. **Damage Assessment of Structures, Proceedings Key Engineering Materials**, Zurich, v. 245, n.2. 367-372, 2003.

WONG SV, HAMOUDA AMS, EL BARADIE MA, Generalized *fuzzy* model for metal cutting data selection **Journal Of Materials Processing Technology**, Lausanne, Suiza, n.90, p.310-317 Sp. Iss. SI may 1999.

EXPERT SYSTEM FOR DIAGNOSIS OF TECHNOLOGICAL PROBLEMS IN MACHINING

Orlando Maurício Duran Acevedo

Pontifical University Catholic of Valparaíso, School of Mechanical Engineering, Av. Los Carrera N° 01567, Quilpué, Chile. E-mail: orlando.duran@ucv.cl

Luiz Airton Consalter

University of Passo Fundo, School of Engineering and Architecture
Campus I, BR 285 km 171, CEP 99001-970, Passo Fundo/RS, Brasil. E-mail: lac@upf.br

Ricardo Soto

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Esc. Ing. Informática, ricardo.soto@ucv.cl

Abstract. In cutting operations experience and intuition have been mainly used in solving problems that may arise when tool is in contact with the workpiece. Because of that machining knowledge cannot be represented in a structured manner. Hence decisions on machining are taken based on approximate and imprecise information and many times considering qualitative data and personal judgments. Therefore, many firms face problems since they do not have adequate knowledge bases to maintain and represent skills and expertise needed to solve arose problems. On the other hand, artificial intelligence tools have a great potential for automated decision-making systems, running applications in fault diagnosis and training in manufacturing. From this the importance of developing intelligent systems that assist users in generating solutions for manufacturing problems. This paper presents a *fuzzy* based approach for a diagnosis system for solving machining problems. The user describes a given cutting condition and ranks the problems/symptoms that could occur during a certain operation. The description of the problems is based on a series of *fuzzy* terms that are combined by the system with crisp values representing the cutting conditions. After evaluating a series of *fuzzy* rules, the system recommends new values for tool geometry and cutting conditions, along with an explanation about the causes of the problems reported. The system proposed runs under Windows XP and was totally written using MATLAB platform.

Keywords: machining, expert system, *fuzzy* logic, diagnosis.