

Mecatrônica como Solução de Automação

MECHATRONICS AS AUTOMATION SOLUTION

Paulo Eigi Miyagi

Escola Politécnica
Universidade de São Paulo

Emilia Villani

Instituto Tecnológico de Aeronáutica
São José dos Campos - SP

RESUMO

Inicialmente, este texto apresenta um breve histórico da automação onde procura-se indicar alguns marcos da evolução de técnicas, ferramentas e conceitos que estão diretamente relacionados a mecatrônica e, como este é hoje entendido. A seguir apresenta-se uma amostra de alguns temas atuais de pesquisa e desenvolvimento dentro da área de mecatrônica. Destaca-se em particular os conceitos de distribuição e comunicação de atividades e funções de controle e automação de sistemas assim como a iniciativa de um importante projeto neste contexto que está sendo desenvolvido no Estado de São Paulo. Por fim listam-se alguns eventos e associações nacionais e internacionais que regularmente divulgam material técnico-científico relacionados com a mecatrônica e automação.

PALAVRAS-CHAVES

automação, mecatrônica, pesquisa e desenvolvimento.

INTRODUÇÃO

Os primórdios da automação industrial remontam ao final do século XVIII. Entre os primeiros exemplos se encontra uma máquina de tear controlada através de um sistema de cartões perfurados, que foi construída por volta de 1795. A revolução industrial no século XIX e as grandes guerras mundiais no século XX tornaram a automação parte integrante da realidade industrial. Até meados da década de 70, os sistemas automáticos eram compostos apenas por elementos mecânicos e/ou elétricos. O controle era realizado através de mecanismos físicos ou circuitos elétri-

cos de regulação. As desvantagens deste tipo de sistema são diversas. Entre elas cita-se a baixa reusabilidade, dificuldade de atualização ou adaptação do sistema de controle, entre outras.

Na década de 70, o surgimento dos circuitos integrados representou um passo definitivo para a automação de sistemas, caracterizando seus principais elementos de acordo com a Fig. 1.



Fig. 1 – Sistema de automação.

De uma forma bastante simplificada, um sistema de automação moderno pode ser descrito como sendo composto por um objeto de controle (também chamado de planta) e por dispositivos de atuação, detecção, monitoração, comando e controle. Os dispositivos de detecção (sensores, chaves de fim de curso, etc.) transmitem a informação do estado atual da planta para o dispositivo de controle. Tendo como base o estado atual do sistema e o estado desejado, o dispositivo de controle interfere na evolução do objeto de controle através dos dispositivos de atuação (motores elétricos, atuadores pneumáticos, válvulas, etc.). Usuários, operadores e até mesmo outros sistemas de controle podem acompanhar a evolução do sistema através de dispositivos de monitoração (visores, telas, lâmpadas sinalizadoras, etc.) e interferir no processo através de dispositivos de comando (botões, teclados, etc.).

Atualmente, na grande maioria dos casos, os dis

positivos de controle são sistemas microprocessados, implementados usando a tecnologia de circuitos integrados. Exemplos tradicionais de dispositivo de controle incluem microcomputadores, microcontroladores, controladores programáveis, entre outros.

A utilização de sistemas microprocessados para automação e controle deu origem ao conceito de Mecatrônica. O termo Mecatrônica, ou seu equivalente em inglês Mechatronics, surgiu no Japão na década de 80' e pode ser definido como "a combinação sinérgica de engenharia *mecânica*, *eletrônica* e de *computação* aplicada ao desenvolvimento de produtos e sistemas." Este conceito é ilustrado na Fig. 2.

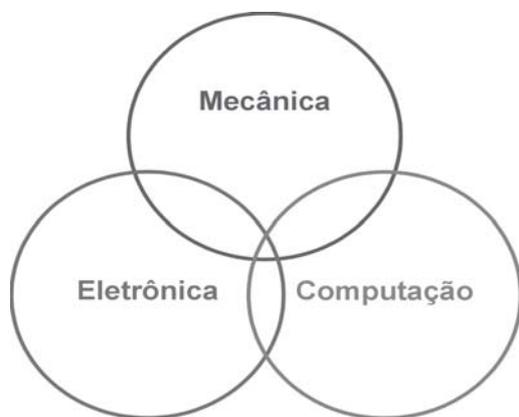


Fig. 2 – O conceito de Mecatrônica

Dentro deste contexto, o objetivo deste artigo é fornecer um panorama da pesquisa em desenvolvimento neste área no Brasil e no mundo. A Seção 2 apresenta os principais temas de pesquisa e áreas de aplicação. Na Seção 3, destacam-se dois pontos particularmente importantes no âmbito da Mecatrônica: distribuição e comunicação. Finalmente, algumas conclusões são apresentadas na Seção 4.

PANORAMA DA PESQUISA NA ÁREA DE MECATRÔNICA

No que se refere à aplicação dos conceitos de Mecatrônica para automação, as pesquisas atualmente em desenvolvimento no Brasil e no mundo abordam uma gama de tópicos extremamente variada, com aplicações nas mais diversas áreas. O panorama aqui apresentado considera três linhas de pesquisa: *Supervisão e Controle*, *Instrumentação* e *Robótica*, dentro das quais apresenta-se alguns dos principais proble-

mas atualmente tratados no âmbito científico e industrial.

Observa-se que esta não é uma tentativa de classificação da pesquisa na área de Mecatrônica, muitos dos trabalhos aqui apresentados se referem a duas ou mais destas linhas de pesquisa. Além disso, este não é de forma alguma um panorama exaustivo, existem pesquisas de igual importância e impacto que não se enquadram em nenhuma destas linhas e que não são citadas neste documento.

SUPERVISÃO E CONTROLE

Historicamente, o controle de sistemas automáticos é dividido em duas grandes linhas: aquela que trata dos sistemas que evoluem em função da ocorrência de eventos discretos, chamados de Sistemas a Eventos Discretos – SED, e aquela que trata de processos que evoluem continuamente no tempo, chamados de Sistemas de Variáveis Contínuas – SVC.

No domínio dos SED, um aspecto crucial do projetado sistema de controle é a inclusão de funções para a detecção, o diagnóstico e o tratamento de falhas, de forma a garantir a operação do sistema nas mais diversas condições às quais ele possa ser submetido. Exemplos de pesquisas nesta área no âmbito internacional são (FABRE; BENVENISTE; JARD, 2002) e (BARIGOZZI; MAGNI; SCATTOLINI, 2002). Estes trabalhos propõem abordagens diferentes para o tratamento de falhas em sistemas complexos, de grande porte, onde o diagnóstico é realizado através da modelagem de processos estocásticos. No âmbito nacional uma pesquisa que aborda este mesmo tema propondo uma solução distinta é apresentada em (RIASCOS; MIYAGI, 2004).

Ainda no domínio dos SED, uma área que também vem recebendo bastante atenção da comunidade científica e industrial é a automação predial. A pesquisa nesta área tem como objetivo não apenas os chamados 'edifícios inteligentes' (em geral edifícios comerciais) (ZUOJUN; WENLONG; YALOU, 2002), mas também as 'casas inteligentes', ou domótica (ROSA et al, 2004). Entre os principais desafios está a integração, de forma efetiva, de sistemas prediais de diferentes fabricantes. Exemplos de pesquisas nesta área são (ARAUJO; PEREIRA, 2004) e (BASTIDAS; MIYAGI, 2004).

No domínio dos SVC muitas das pesquisas atualmente em desenvolvimento se baseiam na aplicação de técnicas originárias da Inteligência Artificial. Como

exemplo ilustrativo, o trabalho apresentado em (ZHOU, 2002) propõe uma nova abordagem para projetos de controladores fuzzy utilizando funções de Lyapunov baseadas em aritmética fuzzy. Já (SANCHEZ; PEREZ; RICALDE, 2002) apresenta a utilização de controle baseado em redes neurais recorrentes para controle de trajetória do manipulador de um robô. No âmbito nacional, um exemplo interessante é a pesquisa apresentada em (MOEDINGER; COELHO, 2004), que ilustra a otimização de um controlador baseada em algoritmo genético.

INSTRUMENTAÇÃO

A instrumentação trata do desenvolvimento de dispositivos de atuação e detecção, bem como do processamento dos sinais fornecidos por estes dispositivos. Nesta linha, destaca-se a chamada “instrumentação inteligente” onde sensores e atuadores possuem funções para auto-calibração, auto-compensação e auto-validação, funções estas que no passado foram consideradas típicas do dispositivo de controle (PEREIRA; BEZERRA; DUARTE NETO, 2004). Outro tópico de grande interesse são os sistemas de visão e o processamento de imagens. Exemplos no âmbito nacional e internacional são as pesquisas ilustradas em (INANC; SZNAIER; CAMPS, 2004), onde se utiliza identificação robusta e técnicas de síntese de controle no projeto de sistemas de visão, e em (LOSS; TOZZI, 2004) que trata do reconhecimento de contornos naturais no processamento de imagens.

ROBÓTICA

A robótica é por si só um tema de pesquisa extremamente abrangente, envolvendo entre outras coisas questões relacionadas a instrumentação e ao projeto de sistemas de controle e supervisão. As características de um sistema robótico variam significativamente de acordo com sua aplicação. Alguns exemplos são robôs manipuladores usados em ambientes industriais (Fig. 3), robôs para inspeções de tubos e dutos, robôs cirúrgicos, etc. Neste contexto, vem recebendo particular atenção da comunidade científica o desenvolvimento de robôs móveis autônomos. Uma das principais questões é a navegação, isto é como, a partir das imagens coletadas pelo sistema de visão e sensoriamento dos robôs, detectar obstáculos e definir a trajetória a ser utilizada pelo robô. Exemplos de pesquisas que buscam uma solução para este problema são (MARAVALLI; DE LOPE, 2002), (FERREIRA; SARCINELLI FILHO; BASTOS

FILHO, 2004) e (OKAMOTO JUNIOR; GRASSI JUNIOR; CORRÊA, 2003).

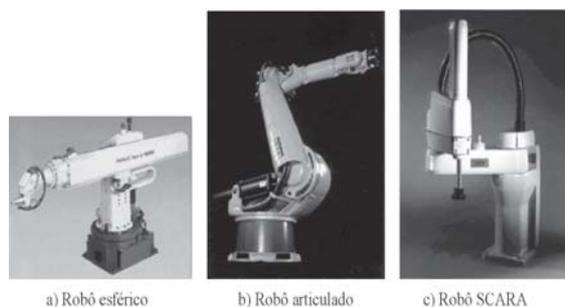


Fig. 3 – Robôs industriais.

Uma vez apresentado este breve panorama da pesquisa em desenvolvimento na área de mecatrônica, a próxima seção discute dois conceitos-chaves para o futuro dos sistemas mecatrônicos: distribuição e comunicação.

DISTRIBUIÇÃO E COMUNICAÇÃO

A incorporação do conceito de **distribuição** em métodos de projeto e em propostas de soluções é essencial para tratar a crescente complexidade dos problemas da área de Mecatrônica. O princípio das abordagens baseadas na distribuição é “dividir para conquistar”. Este princípio pode ser aplicado em inúmeras áreas e para os mais variados problemas. Como exemplo ilustrativo é apresentado o problema de projeto de sistemas de controle e supervisão híbridos.

Projeto de Sistemas de Controle e Supervisão Híbridos

A partir da classificação dos sistemas em SED e SVC, define-se como *sistemas híbridos* aqueles onde coexistem simultaneamente sub-sistemas que pertencem às duas classes apresentadas anteriormente (ANTSAKLIS; KOUTSOUKOS, 1998). Neste caso, a evolução do sistema pode ocorrer parcialmente em função do tempo e em função da ocorrência de eventos discretos. Esta natureza heterogênea é um fator que dificulta o projeto de sistemas de controle e supervisão, uma vez que as técnicas já extensivamente utilizadas e validadas para SED e SVC não podem ser empregadas diretamente. Exemplos de sistemas híbridos são encontrados em todas as áreas, destacando-se sistemas de manufatura, sistemas prediais, indústria alimentícia, indústria petroquímica, aviação, entre outras.

Uma forma de abordar o problema de projeto de sistemas de controle e supervisão para sistemas híbridos é divisão do processo de projeto em duas fases (DI BENEDETTO; LYGEROS, 2003). De forma resumida, na primeira fase, a partir dos requisitos do sistema de controle, e da especificação das entidades físicas envolvidas (planta a ser controlada) deve ser desenvolvida uma proposta para o sistema de controle. Esta proposta é descrita, juntamente com a planta, em um *modelo* que permite a validação do sistema de controle, isto é, a verificação de que o comportamento do sistema obedecerá os requisitos estabelecidos nas mais diversas condições nas quais o sistema poderá vir a operar. Uma vez que tal proposta está devidamente validada, prossegue-se para a segunda fase, onde, a partir da parte do modelo correspondente ao sistema de controle, desenvolve-se e implementa-se em alguma linguagem de programação o sistema de controle propriamente dito, que deverá realizar a interface com as entidades físicas e reais. Esta abordagem é ilustrada na Fig. 4.

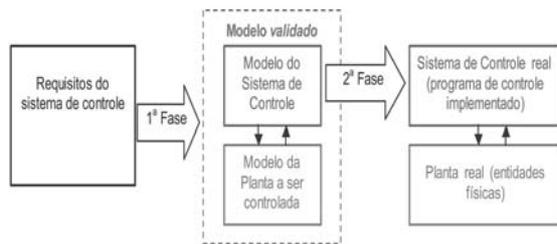


Fig. 4 – Fases do desenvolvimento de um Sistema de Controle.

No caso de sistemas de grande porte, formado por um grande número de componentes com elevado grau de interação entre si, a execução da 1ª Fase, assim como da 2ª Fase pode ser tornar proibitivamente complexa. A solução consiste então na utilização de técnicas que permitam uma *decomposição* ou *distribuição* deste problema complexo em problemas menores e mais simples, que podem ser facilmente tratados.

Para a fase 1ª Fase, exemplos de abordagens baseadas neste princípio são aquelas que propõem a associação de ferramentas de modelagem tradicionais de SEDs e SVCs, como redes de Petri, autômatos e equações diferenciais, com conceitos como ‘orientação a objetos’ (PIRES; DA COSTA, 2000), proveniente da Engenharia de Software, ou ‘sistemas multi-agentes’ (ODREY; MEJÍA, 2003), proveniente da Inteligência

Artificial. Nestes casos o modelo desenvolvido é composto por um conjunto de módulos (objetos ou agentes) parcialmente independentes e que interagem entre si para realizar as diversas tarefas do sistema. Cada objeto ou agente tem uma complexidade relativamente baixa em relação ao sistema global, tornando viável sua modelagem. Estas abordagens têm ainda como vantagem a especificação de módulos com funções e interfaces definidas, o que permite sua reutilização em diferentes projetos.

Uma vez construído o modelo do sistema de controle e da planta a ser controlada, um segundo problema se refere à análise do seu comportamento. Duas abordagens são freqüentemente utilizadas: simulação e verificação formal de propriedades. Em ambos os casos o conceito de *distribuição* pode ser igualmente aplicado como solução para a complexidade do problema. No caso da simulação, os módulos que compõem o modelo do sistema de controle e da planta são distribuídos entre dois ou mais computadores, cada um dos quais é responsável por determinar a evolução dinâmica de uma parte do sistema. Um exemplo é apresentado em (PRIMIKIRI; MALKAWI, 2001). Entre as vantagens da simulação distribuída estão menores tempos de simulação e menor utilização de recursos computacionais (processadores, memória, etc.). No caso da verificação formal de propriedades, a natureza híbrida do sistema resulta na explosão do número de estados alcançáveis pelo modelo, o que, com exceção de sistemas muito simples, inviabiliza sua aplicação. Neste caso também a *distribuição* é essencial, uma vez que permite a verificação de modelos complexos através da verificação de um ou poucos módulos separadamente (FREHSE et al, 2002).

Observa-se no entanto, que a principal contribuição dos sistemas distribuídos não consiste apenas na divisão do esforço computacional necessário para a realização das tarefas de modelagem e análise. Com a tendência atual de globalização, indústrias de manufatura têm se estabelecido de forma distribuída, onde não apenas seus componentes são produzidos em diferentes plantas mas também em diferentes países (CERONI; MATSUI; NOF, 1999). A adoção desta estrutura distribuída abre espaço para o surgimento de uma nova necessidade: o desenvolvimento de sistemas de controle de forma distribuída, onde por exemplo equipes de projeto se encontram em cidades e países distintos (ZHANA et al, 2003).

Uma vez validado o sistema de controle, a etapa

seguinte consiste na sua implementação. A implementação do sistema de controle de forma distribuída traz uma série de vantagens, entre as quais destacam-se a possibilidade de utilização de equipamentos e tecnologias de diferentes fabricantes, a possibilidade de distribuir os dispositivos do ponto de vista de sua localização geográfica, o que inclui o monitoramento e o comando à distância de sistemas industriais.

Os conceitos descritos acima vêm sendo aplicados para diversos estudos de caso, entre os quais se encontram o sistema de supervisão de uma usina de cana de açúcar e o sistema de integração e gerenciamento de um 'edifício inteligente' (VILLANI, 2004).

O Projeto Kyatera/TIDIA e sua aplicação em sistemas de manufatura

Um aspecto crucial no desenvolvimento de sistemas distribuídos é a comunicação entre os módulos (dispositivos) que compõem o sistema. As fronteiras abertas pelos recentes avanços da tecnologia de redes têm um impacto significativo no desenvolvimento de sistemas distribuídos na área de Mecatrônica. No contexto brasileiro, algumas das principais pesquisas nesta área se enquadram dentro do Projeto Kyatera/TIDIA.

O Programa TIDIA (Tecnologia da Informação no Desenvolvimento da Internet Avançada) foi criado pela FAPESP (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo) como resposta à crescente importância da tecnologia da informação e, em particular, da Internet. No momento as redes de alta velocidade estão na linha de frente desta onda tecnológica e estão em desenvolvimento tanto as tecnologias de implementação de tais redes quanto as tecnologias que possibilitarão o seu amplo uso pela sociedade. A Internet 2 e os programas Abilene (Rede de Alta Velocidade de um consórcio de universidades americanas - UCAID) e vBNS+ (Rede de Alta Velocidade, parceria da National Science Foundation e da empresa MCI) nos Estados Unidos são exemplos de esforços atuais nesta direção (FAPESP, 2004). No Brasil, a FAPESP através do programa TIDIA, objetiva catalisar um substancial incremento das atividades nesta área. O programa deve incentivar o uso e a desenvolvimento de novas tecnologias, tanto nas áreas de "hardware", quanto nas áreas de "software" e de redes.

No contexto do Programa TIDIA, o Projeto Kyatera visa estabelecer uma rede de fibras ópticas interligan-

do laboratórios para pesquisa, desenvolvimento e demonstração de tecnologias da internet. Dentro deste projeto, de particular interesse para a Mecatrônica é o telecommando e monitoração remota de sistemas de manufatura (WANGA et al, 2003). As pesquisas nesta área abordam, entre outras coisas, os seguintes tópicos:

§ Desenvolvimento de uma plataforma para auxiliar o projeto de sistemas de gerenciamento distribuído para sistemas de manufatura (GIERACH; THOMPSON; BANERJEE, 2002).

§ Utilização de robôs móveis e sistemas de visão omnidirecional para inspeção de ambientes de manufatura.

§ Monitoração remota de processos de usinagem (WANG et al, 2004).

CONCLUSÕES

Este artigo apresentou uma visão geral de algumas das principais linhas de pesquisa na área de Mecatrônica aplicada à automação. No entanto, devido a grande abrangência do assunto, muitos tópicos de igual importância e impacto não foram abordados. Um panorama mais completo pode ser obtido nos anais dos principais congressos e conferências nacionais e internacionais na área de mecatrônica. No âmbito nacional, destacam-se o Simpósio de Mecatrônica do Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica (COBEM), organizado pela Associação Brasileira de Ciências Mecânicas (ABCM) (PESCE et al, 2003) e o Congresso Brasileiro de Automática (PEREIRA, 2004), organizado pela Sociedade Brasileira de Automática (SBA). No âmbito internacional, entre os principais congressos se encontram o IFAC World Congress (CAMACHO; BASAÑEZ; DE LA PUENTE, 2002), organizado pela International Federation of Automation and Control (IFAC) e o Mechatronics Forum International Conference (ERDEN, 2004), além de diversos simpósios e conferências organizados pelo International Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) e pela American Society of Mechanical Engineers (ASME).

ABSTRACT

Initially this text presents a historical briefing of the automation where it is indicated some aspects of the evolution of techniques, tools and concepts that directly are related with mechatronics and, as this is understood today. Then, it is presented a sample of some current subjects of research and development in the

mechatronics area. A specific discussion is about the concepts of distribution and communication of control activities and functions in automation systems as well as the initiative of an important project in this context that is being developed in the State of Sao Paulo, Brazil. Finally there is a list of representative national and international events and associations that regularly divulge technical and scientific material related with the mechatronics and automation.

KEYWORDS

Automation, mechatronics, research and development.

REFERÊNCIAS

- E. FABRE; A. BENVENISTE, C. JARD. "Distributed Diagnosis for Large Discrete Event Dynamic Systems". Proc. of 15th IFAC World Congress, Barcelona, 2002.
- A. BARIGOZZI, L. MAGNI, R. SCATTOLINI. "A Probabilistic Approach for Fault Detection and Isolation in Industrial Systems". Proc. of 15th IFAC World Congress, Barcelona, 2002.
- L. A. M. RIASCOS; P.E. MIYAGI "Detection and Treatment of Faults in Manufacturing Systems based on Petri Nets". Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. ABCM, Rio de Janeiro, vol. 26, n.3, pp.280-289, 2004.
- L. ZUOJUN, X. WENLONG, H. YALOU. "The Energy Saving Control of Air Condition System in Intelligent Building". Proc. of the 4th World Congress on Intelligent Control and Automation, Shanghai, 2002.
- P. F. F. ROSA, S. S. LIMA, W. T. BOTELHO, A. CARRILHOY. "Um Agente de Identificação para Aplicações Domóticas". Anais do XV Congresso Brasileiro de Automática, Gramado, 2004.
- J. J. ARAUJO, C. E. PEREIRA. "Análise de Protocolos de Automação Predial e Residencial". Anais do XV Congresso Brasileiro de Automática, Gramado, 2004.
- G. BASTIDAS, P.E. MIYAGI. "An Open Distributive Systems Approach for Building Automation". Proc. of the 9th Mechatronics Forum International Conference, Istanbul, 2004.
- C. Zhou. "Fuzzy Arithmetic based Lyapunov Function for Design of Fuzzy Controllers". Proc. of 15th IFAC World Congress, Barcelona, 2002.
- E. N. SANCHEZ, J. P. PEREZ, L. J. RICÁLDE "Recurrent Neural Control for Robot Trajectory Tracking". Proc. of 15th IFAC World Congress, Barcelona, 2002.
- L. H. MOEDINGER, L. S. COELHO. "Otimização de Controlador por Alocação de Pólos baseada em Algoritmo Genético Híbrido com Método Simplex". Anais do XV Congresso Brasileiro de Automática, Gramado, 2004.
- D. R. V. PEREIRA, J. P. M. BEZERRA, A. DUARTE NETO, J. D. MELO "Instrumentação Inteligente em Rede Aplicada ao Processo de Medição de Vazão e BSW". Anais do XV Congresso Brasileiro de Automática, Gramado, 2004.
- T. INANC, M. SZNAIER, O.I. CAMPS. "Synthesizing Robust Active Vision Systems: A combined robust identification Mu-synthesis Approach." Proc. of 15th IFAC World Congress, Barcelona, 2002.
- L. A. LOSS, C. L. TOZZI. "Discriminação de Contornos Naturais Através de Tempo-Escala-Frequência". Anais do XV Congresso Brasileiro de Automática, Gramado, 2004.
- D. MARAVALI, J. DE LOPE "Integration of Potential Field Theory and Sensory based Search in Autonomous Navigation". Proc. of 15th IFAC World Congress, Barcelona, 2002.
- A. FERREIRA, M. SARCINELLI FILHO, T. F. BASTOS FILHO. "Desvio Tangencial de Obstáculos para um Robô Móvel Navegando em Ambientes Semi-estruturados". Anais do XV Congresso Brasileiro de Automática, Gramado, 2004.
- J. OKAMOTO JR, V. GRASSI JR, F. R. CORRÊA. "Modeling autonomous mobile robot system with an object oriented approach". Proc. of 17th International Conference of Mechanical Engineering (COBEM), São Paulo, 2003.

- P. ANTSAKLIS, X. KOUTSOUKOS. "On hybrid control of complex systems: a survey." Proc. 3rd International Conference on Automation of Mixed Processes: Hybrid Dynamic Systems., Reims, 1998.
- M. D. DI BENEDETTO, J. LYGEROS. "Centre of excellence DEWS: a new experiment in research, innovation and use of hybrid systems." IFAC Conference on Analysis and Design of Hybrid Systems, Saint-Malo, 2003.
- J. NORBERTO PIRES, J. M. G. S. DA COSTA. "Object-oriented and distributed approach for programming robotic manufacturing cells". Robotics and Computer Integrated Manufacturing, vol. 16, pp.29-42, 2000.
- N. G. ODREY AND G. MEJÍA. "A re-configurable multi-agent system architecture for error recovery in production systems". Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, vol. 19, n.1-2, pp. 35-43, 2003.
- E. PRIMIKIRI, A. MALKAWI, "Distributed Simulations: An Object-Oriented Approach". Proc. of the 7th International IBPSA Conference, Rio de Janeiro, 2001.
- G. FREHSE et al. "Modular Analysis of Discrete Controllers for Distributed Hybrid Systems". Proc. of 15th IFAC World Congress, Barcelona, 2002.
- J. A. CERONI, M. MATSUI, S. Y. NOF. "Communication-based coordination modeling in distributed manufacturing systems". Int. J. Production Economics vol. 60-61, pp.281-287, 1999.
- H.F. ZHANA, W.B. LEEB, C.F. CHEUNGB, S.K. KWOKB, X.J. GUA. "A web-based collaborative product design platform for dispersed network manufacturing". Journal of Materials Processing Technology vol. 138, pp. 600-604, 2003.
- E. VILLANI "Modelagem e Análise de Sistemas Supervisórios Híbridos". Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.
- FAPESP. "Tidia - Tecnologia da Informação no Desenvolvimento da Internet Avançada". <http://www.tidia.fapesp.br/portal>. Acesso em 26/10/2004.
- L. WANG, R. SAMSA, M. VERNER, F. XI. "Integrating Java 3D model and sensor data for remote monitoring and control" Robotics and Computer Integrated Manufacturing, vol. 19, pp.13-19, 2003.
- K. GIERACH, D. THOMPSON, P. BANERJEE. "An approach for facilitating service management in networked virtual manufacturing environments". Robotics and Computer Integrated Manufacturing, vol. 18 pp. 147-156, 2002.
- L. WANG, P. ORBAN, A. CUNNINGHAM, S. LANG. "Remote real-time CNC machining for web-based manufacturing". Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, vol. 20, n. 6, pp. 563-571, 2004.
- C. P. PESCE, P. E. MYAGI, J. OKAMOTO JR., A. T. FLEURY (Eds.). Proc. of the 17th International Conference of Mechanical Engineering (COBEM), São Paulo, 2003.
- PEREIRA, C. E. (Ed.) Anais do XV Congresso Brasileiro de Automática, Gramado, 2004.
- E. F. CAMACHO, L. BASAÑEZ, J. A. DE LA PUENTE. Proc. of the 15th IFAC World Congress, Barcelona, 2002.
- ERDEN, A. Proc. of the 9th Mechatronics Forum International Conference, Istanbul, 2000

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro das seguintes entidades: FAPESP, CYTED, CNPq e CAPES.