

## Controle de sistemas híbridos com restrições de confiabilidade e tempo de resposta

Luciana Pacheco, Herman Lepikson, Eduard Costa

UFBA – Universidade Federal da Bahia  
CTAI – Centro de Automação Industrial

GRUPO:  A  B  C  D  E

TEMA: o tema da lista de “Temas Preferenciais” que melhor representa o conteúdo do trabalho

PALAVRAS CHAVE: controle autônomo, controle distribuído, confiabilidade, tempo-real, campos de petróleo, sistema supervisório.

**RESUMO** - Em sistemas industriais automatizados, a inatividade não-programada de recursos e as falhas de processos estão entre os fatores que mais influenciam a produtividade, já que ambos provocam uma descontinuidade nas atividades de produção. Por conta disso, os sistemas de controle autônomo e distribuído têm ganhado grande importância, em função de suas características superiores de desempenho. Nesse tipo de sistema, com restrições de confiabilidade e tempo de resposta, o não cumprimento dos requisitos impostos pode resultar em resultados catastróficos, tanto humanos como financeiros e ambientais. Usando como estudo de caso a arquitetura de controle típica de campos de produção de petróleo, propõe-se um controle inteligente em nível local e de campo, de modo que haja um controlador local em cada sistema de produção, capaz de tomar suas decisões mais complexas de forma autônoma ou mediante acordo com os controladores dos demais poços. Além disso, um sistema supervisório remoto deve interferir nas ações locais, em situações complexas onde um controle local não seja suficiente.

**ABSTRACT** - In automatized industrial systems, inactivity due to unplanned of short resources or processes failures have a great influence on the system's performance, because generate discontinuity in its activities. So, distributed and autonomous control systems have great significance in this kind of systems, because of their higher performance presented. If safety and real-time constraints are not observed in these systems, it can results in several kind of

catastrophes (humans, financial and environmental). Assuming as a case study the typical control architecture of oil fields, this paper proposes an intelligent control in local and remote levels. Thus, the local controller will be able to take important decisions in an autonomous way or by agreement with others controllers. Besides that, a supervisory system will manage more complex situations, where the local control is not enough.

### INTRODUÇÃO

Um sistema de controle é um processo que utiliza dispositivos para interagir com um sistema que se deseja controlar (Fig. 1). Através de dispositivos sensores, o sistema de controle obtém informações sobre o sistema controlado e sobre o ambiente, utilizando este conhecimento para manipular atuadores que fazem com que o sistema controlado obtenha um determinado resultado [1].

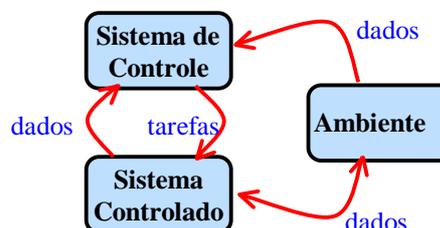
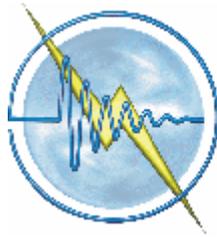


Fig. 1. Sistema de Controle Típico.

Com o aumento de complexidade dos sistemas industriais, passa a haver necessidade de coordenação mais inteligente entre os diversos



controladores, de forma a manter um funcionamento satisfatório e permitir um grau elevado de tolerância a falhas [2].

O projeto de sistemas de controle envolve alguns princípios que lhes permitam cumprir seus objetivos, e uma exigência fundamental é a estabilidade. Além disso, o sistema deve possuir um tempo de resposta aceitável e deve ser ajustado, de forma que seus erros sejam reduzidos a algum valor mínimo aceitável. No entanto, precisão e tempo de resposta aceitável tendem a ser requisitos conflitantes entre si, sendo necessário estabelecer uma relação eficiente entre eles, que satisfaça as restrições do sistema.

Existem sistemas que são freqüentemente submetidos a situações de incerteza. Nestes casos, a adoção de funções de controle puramente convencional nem sempre é eficiente, pois pode ser necessário que o sistema se adapte, em tempo-real, a falhas internas ou a mudanças não previstas do ambiente, para assim garantir e até aprimorar seu desempenho e robustez. Neste sentido, uma alternativa interessante é a utilização de sistemas de controle inteligente e autônomo, que operam sem intervenção externa, em ambientes não-estruturados, ou seja, submetidos a incertezas [3], [4].

Outra alternativa é a utilização de modelos híbridos na representação de comportamentos dinâmicos. Estes modelos permitem a redução de complexidade do sistema, por conta da incorporação de modelos de processos dinâmicos com diferentes níveis de abstração. A partir daí, é possível definir uma estrutura e metodologia básica para a análise e síntese de sistemas autônomos e inteligentes, de forma a garantir a correteza, o desempenho e o funcionamento estável e seguro do sistema [5].

### SISTEMAS HÍBRIDOS

Sistemas híbridos podem ser definidos como sistemas contendo dois tipos distintos de componentes que interagem entre si: SDVC (Sistema Dinâmico de Variáveis Contínuas) e SED (Sistema a Eventos Discretos) [5], sendo que esta interação influencia na evolução de cada subsistema [6], [7].

Um SED é definido como um sistema cuja evolução dinâmica depende da ocorrência de eventos. Um evento pode ser identificado com uma ação proposital (ligar um interruptor), uma ocorrência espontânea (perda de conexão com um provedor de internet) ou o resultado da

verificação de uma condição (temperatura do reator excedeu o limite de segurança). Os eventos produzem mudança de estados e, de modo geral, ocorrem em instantes de tempo irregulares [8]. Já um SDVC geralmente muda de estado a cada instante, e seu comportamento é descrito por uma função que relaciona o estado (variável dependente) ao tempo (variável independente) [9].

A estrutura básica de um sistema de controle híbrido pode ser dividida em três partes: o sistema controlado, uma interface e o controlador. A interface fornece os mecanismos necessários para a comunicação entre o sistema controlado e o controlador, já que estes, em geral, utilizam diferentes tipos de sinais [10].

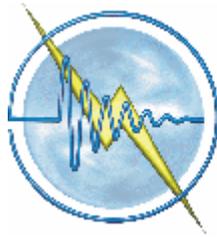
Um exemplo de sistema híbrido é um campo de produção de petróleo, que além de envolver grande quantidade de dados contínuos e discretos em seu modelo, apresenta diferentes comportamentos em função das características de cada poço, o que dificulta a adoção de soluções genéricas e passa a exigir um acompanhamento mais específico [11].

### ESTADO DA ARTE NO CONTROLE DE CAMPOS DE PETRÓLEO

No atual estado da arte, a arquitetura de controle de produção de petróleo, quando automatizada, é tipicamente *mestre-escravo*, onde um controlador *mestre* interroga cada controlador *escravo*, e recebe destes o estado do ponto de E/S controlado (sensores, atuadores, motores, etc). Já os *escravos* controlam os pontos de E/S e repassam as informações solicitadas pelo *mestre* ou espontaneamente, caso haja algum problema [12].

A comunicação com os controladores locais existentes em cada poço ocorre de forma hierarquizada, onde uma central remota coleta periodicamente resultados produzidos pelo conjunto de poços acompanhados. Isto ocorre por meio de controladores acoplados a cada sistema de produção, que enviam, por radiofrequência, as informações solicitadas. Porém, os controladores locais executam basicamente funções de controle convencional, como controle PID e liga-desliga, que nem sempre são suficientes.

Além disso, a comunicação com a central ocorre de forma assíncrona, o que torna o sistema inflexível e, muitas vezes, ineficiente, já que muitos problemas que deveriam ser detectados e tratados rapidamente e de forma automática, são tratados manualmente ou após um tempo demorado, quando o sistema já pode estar em



colapso. Exemplo disso são situações emergenciais que exijam solução rápida e imediata, como vazamento de gás ou rompimento de uma tubulação de óleo. Na realidade atual, a detecção possivelmente não seria imediata pela central remota e a solução dependeria da ação de operadores *in loco*, que além de estarem sujeitos a trabalhar em locais inóspitos, estariam também sujeitos a atrasos na detecção do ponto de falha e atrasos devidos ao deslocamento.

De forma geral, o controle de um sistema de produção de petróleo é feito em vários níveis, envolvendo atividades que permitem desde o acionamento dos equipamentos de produção, passando pela análise e manipulação de dados obtidos, ajuste das variáveis observadas, manutenção dos equipamentos, até a suspensão ou interrupção da operação. Entretanto, para que este controle seja feito de forma eficiente, é necessário um gerenciamento também eficaz destas atividades, que envolve: o acompanhamento da produção; manutenção corretiva, preventiva e preditiva do sistema de elevação; e o ajuste do bombeamento ao potencial de produção do poço de petróleo.

Em se tratando de sistemas críticos, a exemplo dos campos de produção de petróleo, a centralização total do processo decisório apresenta grandes desvantagens, pois caso suas demandas de confiabilidade e de tempo-real não sejam atendidas, os resultados podem ser catastróficos, tanto em termos de tempo de resposta, continuidade de operação e confiabilidade do processo. A deficiência no processo de distribuição de dados pode ser observada pela inflexibilidade existente na comunicação do sistema como um todo, já que este se constitui em um sistema tipicamente mestre-escravo. Esta deficiência resulta ainda em problemas relativos a tempo de resposta, que podem ser verificados em caso de necessidade de uma detecção e ação rápida para a solução de uma instabilidade. Esta solução é, de fato, dificultada pela demora na obtenção e tratamento das informações, bem como a demora para uma ação efetiva. Conseqüentemente, problemas de continuidade e de confiabilidade de operação podem advir dos problemas anteriores.

### PROPOSTA

Uma alternativa conveniente para melhorar o desempenho do processo de produção é distribuir o processo decisório pelos controladores locais, transferindo parte da inteligência do sistema,

anteriormente centralizada, para cada sistema local de produção.

O sistema proposto consiste em um controle inteligente em nível local e de campo, de forma que o controlador local em cada sistema físico tome decisões complexas de forma autônoma e o supervisor central seja capaz de interferir nas ações locais em situações em que uma ação local não seja suficiente.

Para o controle local, a decisão deve ser tomada analisando-se os dados obtidos do processo e da base de dados, inclusive dados históricos. Estes dados devem ser analisados por algoritmos *neuro-fuzzy*<sup>1</sup>, que serão embutidos em cada controlador para ajustar parâmetros de controle e configuração, re-treinando seus procedimentos internos, para evitar que o sistema entre em condições de falha ou instabilidade.

Para o controle remoto, a decisão pode ocorrer por instrução do sistema supervisor, que interage com cada controlador local, ajustando parâmetros, modificando os algoritmos de operação e de controle, ou ainda atualizando os objetivos do sistema local.

As atividades devem ocorrer em intervalos fixos de tempo (de modo a antever e realizar ajustes de possíveis falhas, antes que elas ocorram, mantendo assim a estabilidade e a distribuição de informações do sistema) ou em casos de falhas inesperadas (de modo a corrigi-las e a manter a continuidade de operação do sistema).

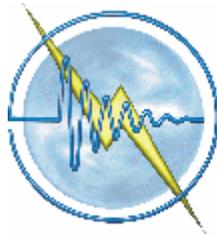
### METODOLOGIA

Na Fig. 2 é representada uma visão geral do ambiente, mostrando seus níveis de interação.



Fig. 2. Visão geral do ambiente.

<sup>1</sup> Os algoritmos *neuro-fuzzy* são algoritmos inteligentes com capacidade de aprendizagem e de tratamento de incertezas (situações que não possuem uma solução determinística). Tais algoritmos não serão detalhados no contexto deste trabalho



O Supervisório Central tem como principais atribuições:

- Armazenar e obter dados de um historiador de processos, com informações de todos os sistemas de produção, e supervisionar a ação de cada um, realizando análises e ajustes remotos;
- Prover rotinas e funções de teste dos equipamentos e construir estratégias de controle remoto para instabilidades não tratadas localmente;
- Visualizar e sinalizar os sistemas que apresentem alguma anormalidade;

Já o controle local proposto foi estruturado em três camadas hierárquicas: camada reativa, camada de inteligência e camada de treinamento (Fig. 3).

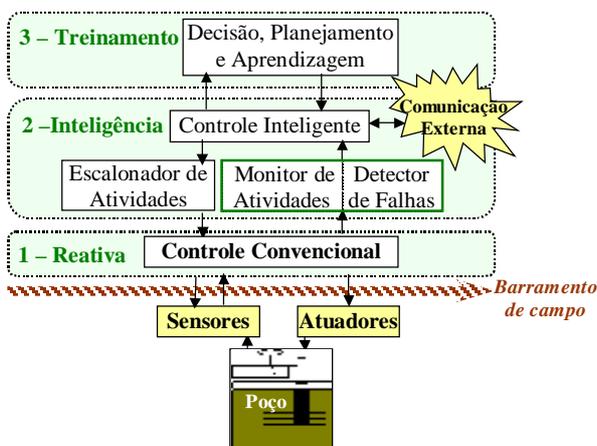


Fig. 3. Sistema de Monitoração e Controle Local.

Cada camada deve se comunicar com as adjacentes, enviando, para a camada superior, seus estados e ações realizadas e, para a camada inferior, ações de comando e ajuste.

A camada reativa possui caráter híbrido e conecta o sistema físico de produção (que lida com dados contínuos) às demais camadas de controle do sistema (que manipulam dados discretos), trabalhando simultaneamente com variáveis contínuas e discretas. Desta forma, funciona como a interface entre o sistema físico e o controle inteligente. É conectada aos dispositivos de campo (sensores, atuadores etc.) e executa as ações de controle convencional no sistema, como: controle de abertura e fluxo de válvulas, controle PID, acionamento de motor elétrico, etc. Além disso, transmite informações operacionais do sistema para a camada de

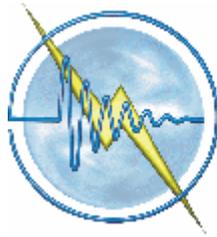
inteligência e realiza os ajustes de procedimentos e regras calculados localmente ou por ela propostos.

Na camada de inteligência, o controlador provê um controle avançado (controle APC<sup>2</sup>) cujo processamento é baseado em algoritmos neuro-fuzzy, que analisam além dos dados do processo local, os dados dos demais controladores, armazenados no historiador de processo. Desta forma, o controlador pode tratar falhas que não são trabalhadas eficientemente com as informações de único controlador local.

A camada de inteligência é proposta contendo os seguintes módulos:

- Módulo Monitor de atividades (MMA), que monitora os dados do processo, analisando a consistência de seus dados e detectando possíveis falhas operacionais (através do detector de falhas embutido neste módulo). É composto por *threads* que realizam um processamento temporizado das informações dos sensores;
- Módulo Escalonador de atividades (MEA), que visa garantir a previsibilidade da execução de uma seqüência de instruções, definindo prioridades, seqüências, e duração das tarefas obtidas do Módulo de Controle Inteligente. Em seguida as transmite para a Camada Reativa;
- Módulo de Controle Inteligente (MCI), que confronta os dados do MMA com os dados obtidos da Camada de Treinamento, para então propor novas ações de controle. Este processamento é feito através de algoritmos neuro-fuzzy, para lidar com as incertezas e permitir que o sistema "aprenda" a lidar com situações não previstas no modelo. Em condições ideais, as ações propostas são enviadas ao MEA, e em caso de imprecisão, são obtidas do historiador as informações de processos e os dados históricos dos demais controladores, para que sejam feitas nova análise e processamento. Estes dados são ainda filtrados e transmitidos para a Camada de Treinamento, para que a base de conhecimentos dos controladores seja treinada e atualizada;

<sup>2</sup> APC – Advanced Process Control



# III SEMINÁRIO NACIONAL DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

INDUSTRIAL, ELÉTRICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO,  
EMPREGABILIDADE E EMPREENDEDORISMO

A interação entre estes módulos internos e entre controladores deve ser rápida o suficiente para que não haja descontinuidade operacional. Em caso de descontinuidade ou imprecisão nas ações propostas, o Supervisor Central deve ser acionado e notificado da redução local de atividade. Demais controladores também devem ser notificados, de forma que possam executar ações preventivas ou de correção. Além disso, aqueles controladores que tiverem condições favoráveis para tal, devem aumentar o ritmo de produção, para que a média esperada para o campo seja mantida.

## RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se, com esta proposta, melhorar o estado da arte em controle de sistemas industriais, em especial, sistemas distribuídos e de caráter híbrido. Para isso, é proposta uma estratégia de controle que visa tratar de forma eficiente os aspectos de confiabilidade e tempo de resposta, inerentes a esses sistemas.

A divisão da arquitetura em camadas permite que o sistema seja analisado e manipulado com diferentes níveis de abstração, possibilitando sua manutenção e evolução. Isto é facilitado pela divisão de importantes aspectos do sistema em módulos independentes e integráveis, o que lhes confere uma análise e tratamento específicos para cada módulo. Além disso, permite que funções mais complexas sejam trabalhadas de forma eficiente e possibilita que ajustes posteriores, em determinado módulo ou camada, sejam feitos sem que os demais sejam invalidados ou prejudicados.

## CONSIDERAÇÕES GERAIS

Este trabalho estuda aspectos relacionados a sistemas em tempo-real, campos de petróleo, sistemas de controle, sistemas híbridos, dentre outros. A proposta pode ser estendida e adaptada para outros campos de controle e gerenciamento, podendo ser melhorada e ajustada no decorrer de sua utilização prática.

## CONCLUSÃO

O presente trabalho permitiu um estudo multidisciplinar e visa trazer contribuições para o ambiente industrial, dada a aplicabilidade prática da solução, e para a comunidade acadêmica, visto que abre espaço para pesquisas subseqüentes, como a adaptação e o aprofundamento dos aspectos relacionados a sistemas híbridos, ao controle inteligente, à segurança, aspectos de tempo-real e tolerância a

falhas, dentre outros, que podem ser explorados em trabalhos à parte. O principal objetivo desta proposta é a sua validação em um campo de teste para produção de petróleo, para sua posterior utilização em ambiente de produção.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESB e à UFBA pelo apoio dado a esta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- [1] Heinen, F. J. (2002). Sistema de Controle Híbrido para Robôs Móveis Autônomos, São Leopoldo.
- [2] Sreenivasachar, K.; Jayaram, S.; Salama, M.M.A. (1997). Intelligent Autonomous Control of a Unified Power Flow Controller, University of Waterloo, Waterloo, Canada, IEEE.
- [3] Antsaklis, P. J.; Passino, K. M. e Wang, S. J. (1989). Towards intelligent autonomous control systems: Architecture and fundamental issues, *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Volume 1, Issue 4, pp 315 – 342.
- [4] Antsaklis, P. J.; Passino, K. M.; Wang, S. J. (1990). An Introduction to Autonomous Control Systems, *IEEE International Symposium on Intelligent Control*.
- [5] Antsaklis, P. J. & Nerode, A. (1998). Hybrid Control Systems: An Introductory Discussion to the Special Issue, *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol 43, n.4, pp 457-459.
- [6] Demongodin, I. & Koussoulas, N. T. (1998). Differential Petri Nets: Representing Continuous Systems in a Discrete-Event World. *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 43, n.4, pp 573-579.
- [7] Alla, H. & David, R. (1998). Continuous and Hybrid Petri Nets, *Journal of Circuits, Systems Computers*, vol. 8, n. 1, pp 159-188.
- [8] Costa, E. (2004). Introdução aos Sistemas a Eventos Discretos e à Teoria de Controle Supervisorio. *Alta Books*, Rio de Janeiro, ISBN 857608065-6.
- [9] Costa, E. M.; Gôes, G. B. (2003). Redes de Petri, Controle Supervisorio e Controladores lógicos programáveis. Apostila.
- [10] Stiver, J. A.; Antsaklis, D. A.; Lemmon, M. D. (1995). Interface and Controller Design for Hybrid Control Systems, *Lecture in Computer Science 999 Hybrid Systems II*, Springer, Berlin.
- [11] Correa, J. F. S. (1995). Sistema inteligente para aplicações de soluções ao bombeamento mecânico de petróleo. Engenharia de petróleo. Tese de Mestrado. Departamento de Engenharia de Petróleo, Universidade Estadual de Campinas, SP, Brasil.
- [12] Watanabe, E. H. (2006). Aplicação de Software Aberto em Redes Industriais, Dissertação, Universidade federal do Paraná
- [13] Koutsoukos, X. D.; Antsaklis, P. J.; Stiver, J. A.; Lemmon, M. D. (2000). Supervisory Control of Hybrid Systems, Invited Paper, Proceedings of the IEEE, Vol. 88, No. 7.